瑞安市飞云江治理二期工程

初步设计报告

（上）

（报批稿）

黄河勘测规划设计研究院有限公司
工程设计成果专用章
证书等级：综合甲级
证书编号：A141002608

黄河勘测规划设计研究院有限公司
YellowRiverEngineeringConsultingCo.,Ltd.

二〇二四年五月

瑞安市飞云江治理二期工程

初步设计报告

（上）

（报批稿）

郑重声明

黄河勘测规划设计研究院有限公司拥有本报告的知识产权。其他单位和个人未经许可，不得翻印、传播或他用，否则我公司保留追究其法律责任的权利。

黄河勘测规划设计研究院有限公司
工程设计成果专用章
证书等级 综合甲级
证书编号 A1[illegible]02608

黄河勘测规划设计研究院有限公司
YellowRiverEngineeringConsultingCo.,Ltd.

二〇二四年五月

批　　准： 谢遵党

审　　定： 胡建华

项目经理/设总 王大川　黄细丁　王　灿　董莉莉　孙朝印　吴　思

翟　苹　马莅茗　曹　勇　郭小帅　刘闽豫　闫高辉

审　　查： 王　灿　罗　涛　李继伟　孙朝印　郭小帅　胡丽香

丁正忠　邬向红　姜成桢　随裕芬　闫高辉　关　靖

校　　核： 郝枫楠　赵正伟　慕　平　谢腾飞　韩成梁　胡　洁

王崇伦　曹程禹　李　杰　翟　苹　张　睿　马建军

李豆豆　胡　杰　赵　量　刘　猛　张　琳

编　　写： 董莉莉　马莅茗　曹　勇　郜昕宇　翟贵彬　刘闽豫

吴　思　闫高辉　王天梁　韦拥霞　翟　苹　朱珂莹

付旭豪　刘　谦　程子栋　王孜宇　连　祎　韦　煜

赵冬冬　马　涛　黄玉晓　陈　睿　张　艺　蔡依依

王　璐　张海晓　耿宇博　李一帆　李弈君　葛创杰

荆海峰　任会涛　牛小茹　李　宁　郝建浩　石　砢

宋楠曦　孟庆庆

目　录

1　综合说明 1
1.1　绪言 1
1.1.1　工程概况 1
1.1.2　工程兴建的缘由和任务 1
1.1.3　勘测设计经过 2
1.1.4　初设阶段主要审查意见及落实情况 3
1.1.5　可研阶段主要审查意见及落实情况 4
1.1.6　项目建议书行业意见及落实情况 5
1.1.7　初设与可研的对比分析 5
1.1.8　报告编制依据 19
1.2　水文 20
1.2.1　流域概况 20
1.2.2　气象 20
1.2.3　水文基本资料 20
1.2.4　暴雨 20
1.2.5　洪水 21
1.3　工程地质 22
1.3.1　区域地质 22
1.3.2　水文地质条件 23
1.3.3　各堤段工程地质条件及评价 23
1.3.4　水闸 28
1.3.5　天然建筑材料 28
1.3.6　结论和建议 29
1.4　工程任务和规模 31
1.4.1　工程建设的必要性 31
1.4.2　工程任务和建设标准 34
1.4.3　工程规模 35

1.5 工程布置及建筑物 38
1.5.1 工程等别和标准 38
1.5.2 工程堤线布置 38
1.5.3 主要建筑物 40
1.5.4 交叉建筑物 46
1.5.5 专项提升工程 48
1.6 机电及金属结构 49
1.6.1 电气 49
1.6.2 金属结构 50
1.7 消防设计 50
1.8 施工组织设计 52
1.8.1 施工条件 52
1.8.2 施工导流 52
1.8.3 主体工程施工 53
1.8.4 施工总布置 54
1.8.5 施工总进度 55
1.8.6 工程施工期的安全生产与保护 56
1.9 征地搬迁安置 56
1.9.1 建设征地范围 56
1.9.2 实物复核成果 56
1.9.3 征地搬迁安置规划 56
1.9.4 征地搬迁补偿概算 57
1.10 环境保护设计 57
1.11 水土保持 58
1.12 劳动安全与工业卫生 59
1.13 节能评价 59
1.14 工程管理 60
1.15 工程信息化 61
1.16 设计概算 61
1.17 经济评价 62

1.18 结论与建议 62
1.18.1 主要结论 62
1.18.2 建议 63
2 水文 64
2.1 流域概况 64
2.2 气象 67
2.3 水文基本资料 68
2.4 暴雨 69
2.4.1 暴雨特性 69
2.4.2 设计暴雨 69
2.5 洪水 73
2.5.1 洪水计算单元 73
2.5.2 验证洪水计算 73
2.5.3 设计净雨 75
2.5.4 设计洪水 76
2.5.5 非汛期洪水 79
2.5.6 排涝洪水 80
2.6 潮位 81
2.6.1 潮汐特征 81
2.6.2 设计高潮位 82
2.6.3 设计潮型 83
2.7 干支流洪水遭遇分析 86
2.7.1 干支流洪水频率分析 86
2.7.2 干支流洪水错峰分析 87
2.7.3 洪潮错峰时间分析 90
2.8 河势分析 91
2.8.1 河床总体态势 92
2.8.2 重要险段演变特征 95
2.8.3 堤前河道冲刷分析 115
2.8.4 主要结论及建议 119

2.9 水文自动测报系统 120
3 工程地质 122
3.1 勘察工作情况概况 122
3.1.1 勘察目的和任务 122
3.1.2 勘察所依据的技术标准 123
3.1.3 勘察工作方法及工作量情况 125
3.2 区域地质 129
3.2.1 自然地理条件 129
3.2.2 水文 131
3.2.3 地层 132
3.2.4 区域地质构造与地震 134
3.3 场地工程地质条件 135
3.3.1 地形地貌 135
3.3.2 近场地地质构造 136
3.3.3 地层 136
3.3.4 不良地质作用、特殊岩土及地下埋藏物 140
3.3.5 水文地质条件 142
3.3.6 场地与地基的地震效应 152
3.3.7 场地稳定性分析评价 154
3.4 防洪堤工程地质条件及评价 154
3.4.1 平阳坑段防洪堤工程地质条件及评价 154
3.4.2 梅屿段防洪堤工程地质条件及评价 168
3.4.3 荆谷段防洪堤工程地质条件及评价 184
3.4.4 碧山段防洪堤工程地质条件及评价 200
3.4.5 桐浦塔山至澄头段防洪堤工程地质条件及评价 213
3.4.6 白莲段防洪堤工程地质条件及评价 227
3.5 水闸工程地质条件及评价 242
3.5.1 篁坑水闸工程地质条件及评价 243
3.5.2 涵闸 1 工程地质条件及评价 247
3.5.3 沙垟水闸工程地质条件及评价 251

3.5.4 平阳坑水闸工程地质条件及评价 255
3.5.5 柴下水闸工程地质条件及评价 259
3.5.6 杨家水闸工程地质条件及评价 263
3.5.7 霞岙水闸工程地质条件及评价 266
3.5.8 冯渡水闸工程地质条件及评价 271
3.5.9 马上水闸工程地质条件及评价 275
3.5.10 马中水闸工程地质条件及评价 280
3.5.11 河溪水闸工程地质条件及评价 283
3.5.12 七甲水闸工程地质条件及评价 288
3.5.13 沙垟 2#水闸工程地质条件及评价 291
3.5.14 农渠涵闸工程地质条件及评价 295
3.5.15 沙垟下河闸工程地质条件及评价 299
3.5.16 涵闸 2 工程地质条件及评价 303
3.5.17 涵闸 3 工程地质条件及评价 307
3.5.18 涂头前河闸工程地质条件及评价 311
3.5.19 涵闸 4 工程地质条件及评价 314
3.5.20 涵闸 5 工程地质条件及评价 317
3.5.21 石埠水闸工程地质条件及评价 321
3.5.22 龟岩水闸工程地质条件及评价 325
3.5.23 碧山水闸工程地质条件及评价 329
3.5.24 涂厂水闸工程地质条件及评价 332
3.5.25 渡头水闸工程地质条件及评价 336
3.5.26 洲渎水闸工程地质条件及评价 340
3.5.27 塔山水闸工程地质条件及评价 343
3.5.28 浦底水闸工程地质条件及评价 345
3.5.29 下湾水闸工程地质条件及评价 350
3.5.30 七国垟水闸工程地质条件及评价 353
3.6 天然建筑材料 356
3.6.1 石料 356
3.6.2 砂砾料 358

3.6.3 土料 358
3.7 结论与建议 361
4 工程任务和规模 363
4.1 飞云江流域概况 363
4.1.1 河流水系 363
4.1.2 地形地貌 364
4.1.3 气象水文 364
4.1.4 经济社会 364
4.2 历史洪涝灾害 365
4.3 现状及存在问题 369
4.3.1 防洪工程现状 369
4.3.2 存在的问题 370
4.4 工程建设必要性 375
4.4.1 是进一步完善流域防洪体系的需要 375
4.4.2 是社会经济发展及城乡建设的需要 375
4.4.3 是保障民生、稳定社会的需要 376
4.4.4 是乡村振兴、建设共同富裕示范区的需要 376
4.4.5 是构建浙江省美丽河湖新要求 377
4.5 前期工作情况 378
4.5.1 规划安排情况 378
4.5.2 规划实施情况 389
4.5.3 前期工作情况 391
4.5.4 可研主要设计成果 392
4.6 防洪工程总体布局 392
4.7 工程建设任务和范围 393
4.7.1 工程任务 393
4.7.2 工程治理范围 393
4.7.3 工程建设内容 393
4.8 治理标准和设计水位 393
4.8.1 治理标准 393

4.8.2 设计水位 394
4.9 堤防工程规模 407
4.9.1 现状防洪能力复核 407
4.9.2 堤线论证 408
4.9.3 堤防工程规模 423
4.10 配套水闸规模 424
4.10.1 错峰时间 424
4.10.2 干流洪水位过程 424
4.10.3 配套水闸规模分析 425
4.10.4 配套水闸调度行原则 446
4.11 其他建筑物规模 447
4.12 工程实施影响分析及处理 448
4.12.1 工程建设对上下游河道影响分析 448
4.12.2 工程建设其他影响分析 449
4.13《可研》与《初设》工程调整情况 449
5 工程布置及建筑物 452
5.1 设计依据 452
5.1.1 依据的主要文件 452
5.1.2 依据的相关规范、规程、标准 452
5.1.3 工程基本资料 453
5.1.4 可行性研究报告的主要成果及审查、审批意见 480
5.2 工程等别和标准 485
5.2.1 工程等别和标准的确定 485
5.2.2 坐标系和高程基准 486
5.2.3 地震设防烈度 486
5.2.4 工程合理使用年限 487
5.2.5 计算安全系数 487
5.3 堤线布置 489
5.3.1 堤线布置原则 489
5.3.2 可研批复的堤线 489

5.3.3 堤线布置复核及局部调整 491
5.4 堤型与护岸型式选择 495
5.4.1 堤型选择 495
5.4.2 凹岸顶冲段护岸防冲型式 498
5.4.3 堤防护坡型式选择 506
5.5 工程总布置 511
5.5.1 工程布置原则 511
5.5.2 河道和堤防现状 511
5.5.3 工程总体布置 517
5.6 堤防设计 520
5.6.1 堤顶高程设计 520
5.6.2 堤顶宽度设计 522
5.6.3 填筑土料要求及填筑标准 522
5.6.4 堤防断面设计 522
5.6.5 堤基处理设计 530
5.6.6 堤防工程白蚁防治 533
5.7 堤防设计计算 534
5.7.1 堤防整体稳定计算 534
5.7.2 堤防渗透稳定计算 556
5.7.3 堤防冲刷计算 561
5.7.4 挡墙稳定计算 567
5.7.5 基础处理计算 570
5.7.6 堤防沉降计算 574
5.8 交叉建筑物设计 578
5.8.1 闸型比选 580
5.8.2 闸址选择与总体布置 581
5.8.3 水闸水力设计 614
5.8.4 防渗排水设计 621
5.8.5 结构设计 625
5.8.6 典型结构计算 646

5.8.7 地基处理设计 656
5.9 专项提升工程 662
5.9.1 总体构思 662
5.9.2 方案设计 666
5.9.3 工程量 676
5.9.4 专项设计 688
5.10 建筑设计 708
5.10.1 设计理念 708
5.10.2 总体规划设计 708
5.10.3 建筑方案设计 711
5.10.4 建筑采暖通风与空气调节 716
5.10.5 建筑结构设计 720
5.11 工程安全监测 732
5.11.1 设计依据 732
5.11.2 监测设置原则 732
5.11.3 监测范围及项目的确定 733
5.11.4 堤防工程安全监测 733
5.11.5 闸门工程安全监测 734
5.11.6 相关建筑物监测 735
5.11.7 人工巡视 735
5.11.8 自动化监测 736
5.11.9 监测仪器清单 736
5.11.10 资金概算 737

工 程 特 性 表

项目		单位	数量	备注
一、水文				
流域面积		km²	3719	
赵山渡以上洪峰流量	P=2/5%	m³/s	14100/11100	
高楼溪洪峰流量	P=2/5%	m³/s	1185/972	
金潮港洪峰流量	P=2/5%	m³/s	3300/2700	
设计潮位(上望站)	P=2%	m	5.14	
	P=5%	m	4.79	
二、工程规模				
治理河段长度		km	21.77	
治理标准（设计洪水标准为20年一遇）				排涝标准 10 年一遇村镇 24 小时降雨 24 小时排除不受淹，农田 3 日降雨 4 日排除至作物耐淹水深。
水闸标准				马上、河溪、渡头、浦底4座水闸建筑物级别为3级，其余水闸级别为4级。
设计水位		m	11.38~5.30m	
三、工程效益指标				
保护耕地面积		万亩	6.91	
保护人口		万人	9.65	
防洪标准(重现期)		年	20	
四、主要建筑物				
1．防洪堤				
堤型			斜坡式、直立式(砼轻型框架结构)、复合式(土石混合堤)	
堤线布置			不小于防洪规划确定的河道宽度	
堤顶高程		m	13.00~6.63m	
防洪堤总长		km	21.77	
堤防长度及标准	平阳坑段防洪堤	km	2.54	20年一遇
	马屿镇梅屿段防洪堤	km	2.28	20年一遇
	陶山镇荆谷段防洪堤	km	5.12	20年一遇
	陶山镇碧山段防洪堤	km	6.58	20年一遇
	桐浦塔山至澄头段防洪堤	km	2.55	20年一遇
	白莲段防洪堤	km	2.70	20年一遇
2．新建/改建水闸(交叉建筑物)		座	30	排涝、挡潮闸

项目	单位	数量	备注
3．新建旱闸	座	3	旱闸
4．新建管理房	座	1	面积1100平方米
5．新建防汛仓库	座	5	总面积400平方
6．新建便民服务点	处	4	
7．新建景观节点	处	7	
五、施工			
1．主要工程量			
土方开挖	万m^3	57.74	
表土开挖	万m^3	16.41	
堤身填筑	万m^3	147.47	
种植土回填	万m^3	8.63	
砼浇筑	万m^3	24.56	
砼灌注桩	万m^3	18.47	
钢筋制安	t	24215.12	
2．劳动力及施工强度			
总工日	万工日	69.93	
施工高峰人数	人/日	934	
3．施工临时占地	亩	55.51	
4．总工期	月	36	
六、工程占地和拆迁处理			
1.工程永久征地	亩	1048.63	
其中水域及水工设施用地	亩	286.01	
2.房屋拆迁	万m^2	3.13	
3．搬迁人口及户数	人/户	347/106	
七、经济指标			
1.静态总投资	万元	193131	
2包含建设期融资利息总投资	万元		
工程部分投资	万元	126918	
专项部分投资	万元	5896	
征地和移民补偿部分投资	万元	60317	
3.经济内部收益率	%	10.23	
4.经济净现值	万元	48552.85	

初设与可研建设内容对比表

工作内容	飞云江二期可研报批稿及批复	飞云江二期初步设计	变化原因
工程任务	防洪为主，结合排涝，兼顾改善水生态环境等综合利用。堤防防洪标准 20 年一遇。排涝标准 10 年一遇，村镇 24 小时降雨 24 小时排出不受淹，农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深。		无变化
工程等级和标准	堤防级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇；马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇，校核洪水标准为 50 年一遇。工程区区域构造稳定。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)，相应地震基本烈度为 VI 度。		无变化
主要建设内容及规模	（1）新建堤防 21.77 公里； （2）新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，其中马上水闸（3 孔×4m）、河溪水闸（3 孔×5m）、渡头水闸（3 孔×m）、浦底水闸（3 孔×m），旱闸 3 座； （3）新建管理房 1 处、面积 1100 平方米，防汛仓库 5 处、总面积 400 平方米； （4）新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。		无变化
堤线布置	基本沿规划堤线布置，局部退堤	桐浦塔山至澄头段堤线，桩号 A0+000~A0+547、B0+907~B0+957 段，为避让和保护寺庙及古树，调整轴线，其余堤轴线与可研阶段完全一致。	堤线向飞云侧外移 3～8m，经复核不影响行洪。
堤防结构形式	A 型斜坡式土堤：堤顶宽 6m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，两侧坡比 1:2，迎水侧采用三维植被网草皮灌木护坡＋混凝土框格梁护坡，坡脚设置混凝土挡墙；背水侧采用三维植被网草皮灌木护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在平阳段（桩号 0+000～0+480、0+580～1+569、2+467～2+881）、梅屿段（2+630～4+421）、荆谷段（0+602～5+435）的农田段。	A 型斜坡式土堤：堤顶宽 6m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，两侧坡比 1:2，迎水侧采用三维植被网草皮灌木护坡＋混凝土框格梁护坡，坡脚设置混凝土矮挡墙；背水侧采用三维植被网草皮灌木护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在平阳段（桩号 0+000～0+447、0+595～1+483、2+467～2+881）、梅屿段（2+630～MY4+421）、荆谷段（0+602～5+435）的农田段。	结构形式与可研一致。 平阳坑段减少 119m，原因为增加厂房保护范围及按省道扩建规划调整。
	B 型斜坡式土堤+桩式混合护岸：为 A 型在凹岸段布置，堤身结构与 A 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。2.5m 高程设防冲抗滑桩（密排混凝土灌注桩），顶部设置冠梁，冠梁至堤脚采用块石理砌，坡式护岸块石软体排+混凝土四面六边体。布置在梅屿段（4+421～4+904）、荆谷段（0+313～0+602）。	B 型斜坡式土堤+桩式混合护岸：为 A 型护岸在凹岸段布置，堤身结构与 A 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。2.5m 高程设防冲抗滑桩（密排混凝土灌注桩），顶部设冠梁，冠梁至堤脚采用块石理砌，坡式护岸为充砂袋软体排+混凝土四面六边体。布置在梅屿段（4+421～4+904）、荆谷段（0+313～0+602）。	一致

工作内容	飞云江二期可研报批稿及批复	飞云江二期初步设计	变化原因
堤防结构形式	C 型复合式土石混合堤结构：堤顶宽 7m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设直立式混凝土挡墙＋防浪墙，墙前设 3.0m 宽一级平台：背水坡采用植物护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在碧山段（1+462～6+376）、桐浦段（0+000～0+290）、白莲段（0+537～2+290）。	C 型复合式土石混合堤结构：堤顶宽 7m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设直立式混凝土挡墙＋防浪墙，墙前设 3.0m 宽一级平台：背水坡采用植物护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在碧山段（1+922～6+580）、桐浦段（0+000～B0+353）、白莲段（L0+515～2+243）。	结构形式与可研一致。 荆谷段减少 236m，原因为用地红线制约调整；桐浦段增加 63m，原因是根据冲刷专题，取消凹岸段防冲；白莲段减少 47m，原因用地红线制约调整。
	D 型复合式土石混合堤+桩式混合护岸，为 C 型在凹岸段布置，堤身结构与 C 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。布置在桐浦段（桩号 B0+290～B0+944）。	D 型复合式土石混合堤+桩式混合护岸，为 C 型在凹岸段布置，堤身结构与 C 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。布置在桐浦段（桩号 B0+290～B0+944）。	结构形式与可研一致。 桐浦段减少 63m，原因是根据冲刷专题，取消凹岸段防冲。
	E 型直立式轻型框架，堤顶宽 4m，采用 C30 混凝土框架梁板结构，基础采用 φ80cmC30 混凝土灌注桩。堤后采用草皮+低灌木绿化。布置在碧山段（桩号 6+376～6+580）、桐浦段（0+000～1+599）、白莲段（0+000+537、2+290～2+701）	E 型直立式轻型框架，堤顶宽 4m，采用 C30 混凝土框架梁板结构，基础采用 φ80cmC30 混凝土灌注桩。堤后采用草皮+低灌木绿化。布置在碧山段（1+532～1+922）、桐浦段（0+000～1+599）、白莲段（0+000～0+515、2+243～2+701）。	结构形式与可研一致 碧山段增加 186m，白莲段增加 25m，原因用地红线制约调整。
	F 型直立式轻型框架+表面防冲护岸，为 E 型在凹岸段布置，堤身结构与 E 相同，防冲采用坡式（软体排+混凝土四面六边体）。布置在碧山段（0+000～1+462）。	F 型直立式轻型框架+表面防冲护岸，为 E 型在凹岸段布置，堤身结构与 E 相同，防冲采用坡式（软体排+混凝土四面六边体）。布置在碧山段（0+000～1+462）。	结构形式与可研一致 碧山段增加 70m，原因结合批复红线和冲刷专题调整。
	G 型利用现状道路+桩式防冲护岸，直立式混凝土挡墙＋密排灌注桩，顶宽 3m，堤顶道路采用花岗岩路面，迎水侧设直立式埋石混凝土高挡墙和亲水平台，外侧设灌注桩防冲，背水侧后接交通道路。布置在平阳坑镇区集镇拆迁段（桩号 1+569～2+128）。	G 型利用现状道路+桩式防冲护岸，直立式混凝土挡墙＋密排灌注桩，顶宽 3m，堤顶道路采用花岗岩路面，迎水侧设直立式埋石混凝土高挡墙和亲水平台，外侧设灌注桩防冲，背水侧后接交通道路。布置在平阳坑镇区集镇拆迁段（桩号 1+483～2+128）。	结构形式与可研一致 平阳坑段增加 86m，原因根据省道扩建规划调整。
	H 型直立式防洪墙，堤顶宽 5.5m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设悬臂式钢筋混凝土防洪墙，布置在平阳坑瑞安市平阳坑制革厂段（桩号 0+480～0+580）。	H 型直立式防洪墙，堤顶宽 5.5m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设悬臂式钢筋混凝土防洪墙，布置在平阳坑瑞安市平阳坑制革厂段（桩号 0+447～0+595）。	结构形式与可研一致 平阳坑段增加 33m，原因为增加厂房保护范围。

工作内容	飞云江二期可研报批稿及批复	飞云江二期初步设计	变化原因
水闸结构形式	水闸均采用胸墙式整体结构，顺水流依次为内河侧抛石防冲槽、混凝土护底、闸室段、消力池、砼海漫、抛石防冲槽，基础及翼墙均采用灌注桩处理。	结构形式与可研相同	无变化
机电与金结	1、工作门采用混凝土闸门 26 座，钢闸门 4 座。2、8 座水闸采用 10kV 电源供电，其余采用 0.4kV 电源供电。3、各水闸均采用“现地控制+计算机监控”，可实现集中远程监控及运行调度。	1、工作门采用混凝土闸门 26 座，钢闸门 4 座。2、8 座水闸采用 10kV 电源供电，其余采用 0.4kV 电源供电。3、各水闸均采用“现地控制+计算机监控”，可实现集中远程监控及运行调度。	1、工作闸门调整为采用钢闸门。 2、10kV 供电电源由 8 处调整为 20 处。 3、水闸控制方式与可研一致
特征高程	可研堤顶高程、闸底高程、闸顶高程	初设阶段深化设计，结合现状实测地形，个别水闸底板高程根据现状地形进行调整 0.5~1.0m	结合现状地形阶段深化
施工导流	水闸导流建筑物级别为 5 级，按非汛期 5 年一遇水位设防。	与可研相同	无变化
施工 总工期	施工总工期 36 个月。	施工总工期 36 个月。	无变化
工程征地及拆迁	工程永久征地面积为 1048.63 亩，其中农用地 688.05 亩（耕地 367.44 亩），建设用地 147.06 亩，未利用地 213.52 亩；临时征用土地 318 亩。至规划水平年，生产安置人口 1987 人，搬迁安置人口 348 人。生产安置采用被征地农民基本养老保险的方式安置；搬迁安置采用“本镇集中，就近分散”方式安置。	永久征收土地 1048.63 亩。其中国有土地 286.01 亩，均为水域及水利设施用地；征收集体土地 762.61 亩，其中农用地 695.64 亩，建设用地 49.00 亩，未利用地 17.97 亩。工程施工临时用地 323.73 亩。影响企业 7 个。至规划水平年，生产安置人口 1702 人。搬迁安置人口 348 人。生产安置、搬迁安置方式同可研。	1.实物量变化为实物复核调查引起。 2.安置任务变化为实物量变化引起。 3.生产安置、搬迁安置方式和单价标准与可研一致。
项目投资	估算总投资 235753 万元	概算总投资 193131 万元	较可研批复总投资相比，总投资减少 42622 万元。其中工程部分投资减少 8317 万元，专项部分投资减少 2726 万元，征地拆迁补偿费用减少 31579 万元。

初设主要咨询意见及回复

序号	主要咨询意见	主要咨询意见回复
1	建议进一步深化冲刷分析，复核堤脚防冲设计。	1、《瑞安市飞云江治理二期工程河势分析及设计工况堤前河道冲刷分析专题报告》已补充并通过专家评审。 2、平阳坑等部分堤段防冲措施与冲刷深度报告5.7.3节已复核补充。
2	补充说明本阶段对可研行业意见的落实情况；补充初设和可研成果对比分析	已补充，详见新增章节1.19节 初设与可研建设内容对比表。
3	按照水利厅技术审查意见要求，建议进一步深化河势分析，明确各河段的冲刷值。	根据意见已补充2.8.3堤前河道冲刷分析章节，明确各河段的冲刷值。
4	本阶段进行了详勘，共布置钻孔219个，建议对本次利用的2011年地勘成果进行复核，并作可靠性评价。	勘察引用可行性研究阶段钻孔：40 个，静力触探孔6个，已复核并评价。
5	原则赞同天然建筑材料分析评价结论，建议复核滩地取土的可行性。	拟定料场土质与储量均可满足工程要求，在可征地满足政策允许的条件下均可取土。
6	建议介绍可研阶段建设内容、各段堤线布局（堤距）、各交叉建筑物规模、堤防沿程水位等的主要分析内容及结论，本阶段应在此基础上进行复核分析。	增加4.13小节，对《可研》和《初设》工程调整情况进行说明。
7	建议列表梳理汇总本次主要建设内容及规模	已补充，见报告表4.1-3。
8	建议补充说明各堤段堤线调整的内容，分析调整的缘由及合理性，并说明堤线调整对建设红线的影响。	报告中增加相应内容（见报告5.3.3 堤线布置复核及局部调整）
9	建议补充马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、塔山水闸、浦底水闸闸轴线比选分析；平阳坑水闸、马上水闸、塔山水闸位于现状河道转弯处，水流不顺，建议进一步优化闸轴线。	补充闸轴线比选分析，详见报告5.8.2.4 水闸总体布置 相应水闸部分。已优化平阳坑水闸、马上水闸、塔山水闸的闸轴线设计，详见设计图纸。
10	建议根据河势及冲刷专题分析成果，复核各堤段护坡方案；建议补充背水坡护坡比选内容。	已增加背水坡原则与选型。详见报告5.4.3章节。
11	鉴于飞云江二期治理工程除右岸的平阳坑段为独立防洪封闭圈外，其余左岸各堤段为非独立防洪封闭圈，建议补充说明各堤段上下游防洪封闭情况。	增加非独立防洪封闭圈内容，详见（5.5.3）。
12	从水位成果看，本工程金潮港下游为潮控，建议按海堤工程设计规范对堤顶高程进行复核。	已复核，凹岸段已加高。
13	建议按照不同桩号，分别列出计算要素和沿程水位，结合河势分析成果，适当考虑弯道水流对水位和越浪量的影响的基础上，提出沿程各断面堤顶高程。	增加凹岸断面计算5.6.1-（5），更新表格5.6-1.各断面堤顶高程见图册中堤防断面图。
14	建议根据冲刷计算成果复核河底水平段软体排铺设宽度，复核堤身迎水侧挡墙抗冲性，必要时加深齿脚等。	已复核，报告中补充软体排宽度原则，起终点25m长，中部布置近深泓；迎水侧挡墙加深0.5m。

序号	主要咨询意见	主要咨询意见回复
15	基本赞同闸顶高程计算方法。建议复核波浪计算高度；表 5.8-6 补充各座水闸对应处的堤顶高程（防浪墙顶高程），确保闸顶高程不低于堤顶高程。	已复核波浪计算高度并修改，详见表 5.8-4 水闸闸顶高程计算表。已补充各座水闸对应处的堤顶高程，详见表 5.8-6 水闸闸顶高程表。
16	水闸基础垂直防渗结构采用咬合灌注桩，投资大，建议优化，如采用塑钢板桩，基础垂直防渗结构布置建议向水闸两侧适当延伸或形成封闭圈；建议补充侧向防渗刺墙。	水闸基础垂直防渗结构由 Φ80C30 咬合灌注桩改为塑钢板桩，并向水闸两侧适当延伸；侧向防渗刺墙原设计已有。各水闸、涵闸均已修改，详见设计图纸。
17	复核水闸与连接段堤防的不均匀沉降，对水闸两侧连接段堤防基础采取必要的处理措施，减少不均匀沉降。	参照专家意见，各水闸、涵闸两侧连接段堤防基础采用水泥搅拌桩，见图纸说明。
18	消能防冲计算。消能防冲计算水位组合建议复核，并补充计算内河侧为设计排涝水位、外江侧为低潮位或滩面高程的工况。	参照专家意见修改，详见设计报告表 5.8-10 各水闸消能防冲计算成果。
19	建议补充堤前冲刷观测内容；建议平阳坑水闸、塔山水闸补充渗流监测。	已补充完善。
20	建议结合工程信息化章节设计的内容，统一协调各水闸的计算机监控及视频监视内容，避免重复。	已按专家建议，与信息化专业进行配合。
21	原则赞同堤防防冲结构工程采用候潮施工作业，建议结合一期工程施工经验进行复核。	已复核。
22	建议补充施工期临时度汛标准及采取的针对性度汛措施。	已补充施工期临时度汛标准及采取的针对性度汛措施。
23	建议结合对外交通、地形地质条件，进一步细化施工总布置图，如补充场内外施工道路、施工变电站、砼预制场、围堰、临时堆场等。	已经进行补充。
24	建议补充与可研阶段相比，征地实物成果的主要变化情况及必要说明。	已按意见修改。
25	本工程信息化工程部分投资总体投资大，建议按整个飞云江瑞安段统筹考虑信息化建设，据此复核本次建设内容、工程量和投资。	已复核并修改。
26	基本赞同工程概算的编制依据和方法。具体意见详见咨询报告。	已复核并按专家意见修改。

1 综合说明

1.1 绪言

1.1.1 工程概况

瑞安市飞云江治理工程位于浙江省瑞安市境内。工程范围自赵山渡水利枢纽下游平阳坑至铁路桥，治理范围以《浙江省飞云江流域水利规划》和《浙江省飞云江流域防洪规划》为依据，不在上述范围内的堤段原则上不列入瑞安市飞云江治理工程，工程内容主要包括堤防工程和水闸等交叉建筑物，瑞安市飞云江治理干流河道总长约 51km，列入工程的堤防长 60.31km，其中仙降飞云段堤防长 21.3km，为 50 年一遇，范围为新江溪水闸~铁路桥段，其余堤防为 20 年一遇，总长 38.94km，新建水闸共 42 座，设计防洪标准要求不低于堤防设计防洪标准，为 20 年或 50 年一遇。

飞云江治理工程堤防总长度 60.31km，若一次性实施，工程投资较大，工程实施较为困难。根据水利部和水利厅的相关意见，瑞安市飞云江治理工程拟分三期实施，在满足一、二期投资基本平衡条件下，一期实施建设条件好，保护对象重要性和实施紧迫性强，并且一期内堤线能形成防洪闭合圈堤段，根据飞云江治理工程沿线实际情况，经综合分析，选定马屿天井垟段防洪堤和仙降飞云段防洪堤作为一期工程，其它堤段作为二期、三期工程。一期工程堤防总长度 31.05km，其中 20 年一遇堤防长 9.75km，50 年一遇堤防长 21.30km，工程已完工。通过实施飞云江治理工程，完善闭合飞云江沿线防洪圈：将沿线各乡镇防洪标准提升至 20 年一遇，中心城区段提升至 50 年一遇。

本初步设计报告内容为瑞安市飞云江治理二期工程，主要包含平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段、白莲段，其中飞云江二期桐田先期实施段已经批复，于 2022 年 11 月 6 日开工，不纳入本次工程。新建堤防总长 21.77 公里，利用现状道路封闭 5.38 公里，均为 20 年一遇，水闸 30 座(桐田闸在飞云江二期桐田先期实施段建设，不纳入本次工程内容)。二期工程属浙江省重点水利工程。

1.1.2 工程兴建的缘由和任务

飞云江流域地形特点是山多地少，大部分耕地、村镇、人口分布在沿江沿溪两岸，工农业主要集中在河谷盆地和下游河口平原，流域水利建设控制性防洪工程不足，飞云江干流现状除市区所在地城防基本已建成并达到设计防洪要求外，其余岸线仍处于无堤

防保护状态，仅靠土坡、村边道路等抵御小洪水的侵袭。近年来，随着沿岸城市的建设发展，区域内的人口逐渐增加，居住范围逐渐向江边拓展，一些工矿企业和重要设施也相继入驻，一旦有大洪水侵袭，必将造成巨大人员伤亡和财产损失。

为了从根本上治理飞云江洪涝灾害，基本建成防洪减灾体系，造福域内人民群众，保障社会可持续发展。因此，工程建设任务是以防洪为主，结合排涝，改善水生态环境。

1.1.3 勘测设计经过

2011 年 10 月份浙江省水利水电勘测设计院有限公司编制完成《浙江省飞云江治理工程瑞安市飞云江治理工程项目建议书》，2012 年 2 月份，浙江省发展和改革委员会以“浙发改农经函[2012]46 号”文下发“关于瑞安市飞云江治理项目的复函”。

2012 年 8 月份浙江省水利水电勘测设计院有限公司编制完成了《浙江省飞云江治理工程瑞安市飞云江治理一期工程可行性研究报告》(报批稿)，并完成一期工程初步设计，飞云江治理一期工程现处于工程实施阶段。

2017 年 10 月浙江省水利水电勘测设计院有限公司编制完成了《浙江省飞云江治理工程瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》(报批稿)，但因二期工程涉及永久基本农田较多，未获批复。

2020 年 6 月，浙江省水利水电勘测设计院有限公司提出了“借地还地”的梯状堤型(梯田)结构方案，并于 12 月编制完成了《瑞安市飞云江治理二期生态大堤工程项目建议书》。但因永农借用难度大，未通过立项。

2022 年 5 月，结合国土“三区三线”政策窗口期，拟将范围内永农调出，浙江省水利水电勘测设计院有限公司在 2017 年版可研报告基础上重新编制完成了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》(送审稿)。

2022 年 8 月 9 日，温州市水利局组织召开了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》技术审查会。

2022 年 8 月，浙江省水利水电勘测设计院有限公司根据审查意见进行了修改，编制完成了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》(报批稿)。

2023 年 7 月，《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》成果以浙发改项字〔2023〕188 号文通过浙江省发展和改革委员会批复。

2023 年 4 月 23 日，黄河勘测规划设计研究院有限公司中标《瑞安市飞云江治理二期工程工程勘察设计标段》。

2023 年 9 月 15 日，黄河勘测规划设计研究院有限公司根据浙江省水利水电技术咨询中心咨询意见完成了《瑞安市飞云江治理二期工程初步设计》（送审稿）。

2023 年 10 月 20 日，浙江省发展和改革委员会和浙江省水利厅联合组织召开了《瑞安市飞云江治理二期工程初步设计审查会》。

2023 年 11 月，黄河勘测规划设计研究院有限公司根据审查意见进行了修改，编制完成了《瑞安市飞云江治理二期工程初步设计报告》(报批稿)。

1.1.4 初设阶段主要审查意见及落实情况

2023 年 10 月 20 日，浙江省发展和改革委员会联合省水利厅在杭州组织召开了《瑞安市飞云江治理二期工程初步设计报告（送审稿）》技术审查会，主要专家组意见及落实情况如下：

1) 复核飞云江干流设计洪水位。补充各片区水利计算成果和复核排涝建筑物规模。

回复：已根据意见对报告进行了复核、补充。

2) 建议根据地形地质情况，进一步复核完善堤防、挡墙边坡稳定、渗流、沉降、桩基承载力的计算条件、断面和控制指标，复核计算成果，结合“美丽河湖”建设要求，优化堤防、挡墙的结构、防渗、基础处理、边坡开挖设计。

回复：已复核、补充计算成果，优化结构设计，详见报告及图纸。

3) 建议复核平顺段防冲方案、细化凹岸段防冲设计。

回复：已复核平顺段防冲方案、细化凹岸段防冲设计，详见报告及图纸。

4) 建议复核水闸翼墙的抗滑稳定计算。

回复：已复核修改水闸翼墙的抗滑稳定计算，详见报告 5.8.5.2 章节。

5) 建议根据工程规模复核成果，进一步复核闸门设计成果。

回复：已根据工程规模复核成果，复核了各水闸工作闸门、检修闸门的设计水头；已对浦底水闸进行典型计算，已补充 3m、4m、5m 孔口典型水闸启闭力计算，详见报告。

6) 建议复核深化基坑围护设计内容。

回复：已按补充完善基坑围护设计方案，补充相关内容，详见 8.9 节。

7) 建议进一步复核施工期间对现有交通设施、周边村庄等影响有关内容。

回复：已复核。

8）复核补偿投资概算的编制依据和补偿标准。

回复：已复核补偿投资概算的编制依据和补偿标准。

9）补充工程年运行人数经费和堤防、水闸工程维修养护经费。

回复：已补充，详见 14.4.2。

10）建议补充数字孪生相关内容，进行专项审查；复核一体化平台概算。

回复：已补充数字孪生建设相关内容（具体在一体化平台中章节）；已于 11 月 24 日组织召开专项审查会，进行了专项审查，信息化投资已进行复核，专项完成了修改。

11）建议复核土方开挖、回填、沥青混凝土、软体排等单价。

回复：已专家意见复核、修改相应单价。

1.1.5 可研阶段主要审查意见及落实情况

2017 年 7 月 27 日，浙江省水利厅组织召开了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》技术审查会，主要专家组意见及落实情况如下：

1)补充分析评价III1 淤泥、粉土互层和IIIsis 含泥粉砂层的渗漏渗透稳定性问题，必要时采取适当防渗处理。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：已补充对III1 淤泥、粉土互层和IIIsis 含泥粉砂层的渗漏渗透稳定性的评价。

2)建议进一步落实填筑土料料源及质量。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：瑞安市飞云江一期工程施工实际经验，瑞安境内已没有正常开采的石料场，实际取用交通工程挖方石料作为料源填补工程石料缺口。建议本工程块石料采用外购方式取得。瑞安市南部苍南县境内料场质量能满足工程所需。苍南县外购方案运距较远，距工程区运距约 60km~90km。

各防洪堤岸所需填筑土料可在附近就地取材，土料储量较为丰富，质量能满足填筑土料和防渗土料的设计要求，不足区域可利用满足填筑要求的城市建设弃土。

3)结合区域的汇水能力及河道规模，深化排涝分析计算，复核排涝水闸布置及规模。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：表 4.7-21 水闸规模表中补充水闸规模设计的依据，补充规划水闸宽度及现状河道宽度，本次根据规划依据及现状河宽、排涝要求复核水闸规模。

4)补充旱闸、管理房、生态环境等建设内容的工程规模分析。已在工程规模章节中补充管理用房、便民服务中心等建设内容。

5)建议进一步优化堤防断面结构形式、防冲保护措施及桩基处理方案。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：防冲设计采用软体排方式，上部覆重与膜袋砼方案比选后，结合实际流速情况，推荐采用原四面体结构压重形式。

6)建议优化平阳坑水闸基础处理方案。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：平阳坑水闸周边环境较复杂，基础抛石层厚度不均，本次仍维持灌注桩基础处理方式。

7)建议提供当地政府对该工程实物量调查成果确认意见。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：目前业主已经在委托编制中。

1.1.6 项目建议书行业意见及落实情况

2022 年 5 月份，浙江省水利厅出具了关于瑞安市飞云江治理二期工程项目建议书审查意见的函，主要意见及落实情况如下：

1)进一步核实设计堤轴线与规划堤线的关系。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：在报告 4.6.4 堤线总体布局及规划符合性章节中核实了设计堤轴线与规划堤线的关系。

2)下阶段，应深化区域排涝分析和水闸规模论证。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：在报告 4.7.31 小节中对各片区的流域防洪排涝情况进行了分析，根据排涝情况对水闸规模进行了比选。描述了水闸规模的拟定的原则及各水闸的排涝过程线，通过分析表明本工程水闸规模能够满足区域规划及现状的排涝要求。

3)优化堤线布置、建筑物结构设计等，积极谋划专项债券方案。

浙江省水利水电勘测设计院有限公司回复：公路与多处公路、桥梁交叉相邻处优化堤轴线，堤线与 104 国道相邻处优化堤轴线，避免堤防进入公路建设范围。平阳坑段调整上下游翼墙及基坑支护方案保证龙丽高速安全。

在报告 16.6.3 融资平衡情况小节对项目运营及成本进行了分析。

1.1.7 初设与可研的对比分析

1.1.7.1 初设方案与可研方案主要变化情况

（一）工程规模及建设内容方面

本阶段工程任务、规模、标准、工期与可研一致，局部堤线微调，局部堤段细部结构优化，水闸金属结构和电气深化。

局部堤线微调，具体如下：

调整桐浦塔山至澄头段 40m 堤线，为避让和保护寺庙及古树，堤线向飞云江侧外移 3～8m，调整后堤距较规划堤距减少 8m，20 年一遇水位壅高小于 1cm，基本不影响防洪安全。

局部堤段细部结构优化，具体如下：

（1）典型断面布置调整

初步设计采用的基本堤型与可研阶段一致，结合初步设计实际地形地质等条件，进行调整。

①平阳坑段堤防总长 2.54km，调整 2 段（34m、86m），0+447~0+480 段为减少对堤后厂房影响，由斜坡式土堤调整为直立式防洪墙；1+483~1+569 段为与省道衔接由斜坡式土堤调整为利用现状道路+桩式防冲护岸。

②碧山段堤防总长 6.58km，调整 2 段（460m、104m），其中 1+462~1+922 段，由于可研堤防布置与征地红线不完全匹配（疑是土地预审时上报红线有误），部分堤段征地红线整体向飞云江侧偏移，受用地红线制约由土石混合堤调整为框架堤；6+376~6+580 段与桐田段上游（土石混合堤）衔接，由框架堤调整为土石混合堤。

③白莲段堤防总长 2.7km，调整 2 段（22m、47m），其中 0+515~0+537 段用地宽裕，为节省投资由框架堤调整为土石混合堤；2+243~2+290 段受用地红线制约由土石混合堤调整为框架堤。

（2）堤防防冲结构优化

初步设计补充了堤前冲刷专题分析，对防冲结构优化，主要有：

①本阶段平顺段增加格宾石笼防冲。

②平阳坑段、梅屿段、荆谷段凹岸段防冲阻滑桩（密排灌注桩）桩长经稳定复核，由可研阶段 20.5~24.5m 减少至 11.8~15m。

③荆谷段、桐浦段本阶段增设堤脚至软体排排头间块石防冲。

④桐浦段 0+290~0+353 段 63m，经设计复核，取消凹岸段防冲措施。

（3）堤防地基处理范围调整

可研阶段钻孔 48 个，本阶段增加钻孔 228 个，根据本阶段地勘成果，复核稳定后，对地基处理范围调整，主要有：

①平阳坑段搅拌桩处理范围由 1.70km 减少至 0.92km。

②荆谷段搅拌桩处理范围由 2.07km 增加至 2.77km。

③碧山段、桐浦段增加堤防穿越虾塘区域（4.6km）搅拌桩处理。

水闸金属结构和电气深化，具体如下：

（1）闸门门型调整

水闸工作闸门由可研阶段平面滑动混凝土闸门（26 座）+平面滑动钢闸门（4 座），本阶段调整为平面滑动钢闸门，可减少闸门自重和启闭机容量。

（2）水闸供电方案及电气设备调整

本阶段，经了解场地周边电源情况后，水闸 10kV 供电电源由可研阶段的 8 处调整为 20 处，同步调整 10/0.4kV 变压器、高低压配电柜、配电箱等设备。

（二）工程概算

项目概算总投资为 227837 万元，较可研批复估算总投资 235753 万元减少 7916 万元，减少比例为 3.4%，详见附件 2。主要变化情况如下：

（1）因工程设计优化细化减少 1648 万元，主要是建筑工程投资减少 3885 万元，机电设备、金属结构及安装工程投资增加 1729 万元，施工临时工程投资增加 754 万元，独立费用减少 246 万元。

（2）预备费费率调整减少 2984 万元：工程部分基本预备费减少 2626 万元（费率由 5%调整至 3%）；征地移民补偿部分基本预备费减少 358 万元（费率由 10%调整为 8%）。

（3）征地拆迁费用调整减少 1325 万元：农村部分补偿费减少 191 万元，企（事）业单位补偿费减少 167 万元，其他费用增加 38 万元，有关税费减少投资 1584 万元，其他专项费用增加投资 579 万元。

（4）其他投资调整减少 1959 万元：专项部分，白莲段防洪堤下穿杭深铁路立交工程减少 1956 万元，专项提升工程减少投资 3 万元

（5）因信息价调整减少投资 4795 万元，详见表 1.1-9。

1.1.7.2 初设方案与可研方案主要变化对比表

本工程《初设与可研建设内容对比表》见综合说明之前的列表。详细的对比表如下。

表 1.1-1　　可研、初步设计工程建设内容调整对比表

名称		可研	初设	调整情况
工程任务		防洪为主，结合排涝，兼顾改善水生态环境等综合利用。	防洪为主，结合排涝，兼顾改善水生态环境等综合利用。	一致
建设内容及规模	堤防	新建堤防 21.77km。	新建堤防 21.77km。	一致
	水闸	新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，其中马上水闸（3 孔×4m）、河溪水闸（3 孔×5m）、渡头水闸（3 孔×m）、浦底水闸（3 孔×m），旱闸 3 座	新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166m，其中马上水闸（3 孔×4m）、河溪水闸（3 孔×5m）、渡头水闸（3 孔×5m）、浦底水闸（3 孔×5m）。	一致
	管理房及仓库	新建管理房 1 处、面积 1100m^2，防汛仓库 5 处、总面积 400m^2。	新建管理房 1 处、面积 1100m^2，另设防汛仓库 5 处、总面积 400m^2。	一致
	融合工程	新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。	新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。	一致
主要建筑物	堤线布置	基本沿规划堤线布置，局部退堤	桐浦塔山至澄头段堤线，桩号 A0+000~A0+547、B0+907~B0+957 段，为避让和保护寺庙及古树，调整轴线，其余堤轴线与可研阶段完全一致。	堤线向飞云侧外移 3～8m，经复核不影响行洪。
	特征高程	堤顶高程根据《堤防工程设计规范》公式和允许部分越浪设计的方法和成果。堤顶高程 6.67m～13.00m。	堤顶高程根据《堤防工程设计规范》公式和允许部分越浪设计的方法和成果。堤顶高程 6.67m～13.00m。	堤顶、闸顶高程与可研一致。个别水闸底板高程根据实测河底高程调整 0.5～1.5m。
主要建筑物	堤防断面型式	A 型斜坡式土堤：堤顶宽 6m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，两侧坡比 1:2，迎水侧采用三维植被网草皮灌木护坡＋混凝土框格梁护坡，坡脚设置混凝土挡墙；背水侧采用三维植被网草皮灌木护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在平阳段（桩号 0+000～0+480、0+580～1+569、2+467～2+881）、梅屿段（2+630～4+421）、荆谷段（0+602～5+435）的农田段。	A 型斜坡式土堤：堤顶宽 6m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，两侧坡比 1:2，迎水侧采用三维植被网草皮灌木护坡＋混凝土框格梁护坡，坡脚设置混凝土矮挡墙；背水侧采用三维植被网草皮灌木护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在平阳段（桩号 0+000～0+447、0+595～1+483、2+467～2+881）、梅屿段（2+630～MY4+421）、荆谷段（0+602～5+435）的农田段。	结构形式与可研一致。平阳坑段减少 119m，原因为增加厂房保护范围及按省道扩建规划调整。

名称		可研	初设	调整情况
主要建筑物	堤防断面型式	B 型斜坡式土堤+桩式混合护岸：为 A 型在凹岸段布置，堤身结构与 A 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。2.5m 高程设防冲抗滑桩（密排混凝土灌注桩），顶部设置冠梁，冠梁至堤脚采用块石理砌，坡式护岸块石软体排+混凝土四面六边体。布置在梅屿段（4+421～4+904）、荆谷段（0+313～0+602）。	B 型斜坡式土堤+桩式混合护岸：为 A 型护岸在凹岸段布置，堤身结构与 A 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。2.5m 高程设防冲抗滑桩（密排混凝土灌注桩），顶部设冠梁，冠梁至堤脚采用块石理砌，坡式护岸为块石软体排+混凝土四面六边体。布置在梅屿段（4+421～4+904）、荆谷段（0+313～0+602）。	一致
		C 型复合式土石混合堤结构：堤顶宽 7m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设直立式混凝土挡墙＋防浪墙，墙前设 3.0m 宽一级平台：背水坡采用植物护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在碧山段（1+462～6+376）、桐浦段（0+000～0+290）、白莲段（0+537～2+290）。	C 型复合式土石混合堤结构：堤顶宽 7m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设直立式混凝土挡墙＋防浪墙，墙前设 3.0m 宽一级平台：背水坡采用植物护坡。基础局部采用搅拌桩处理。布置在碧山段（1+922～6+580）、桐浦段（0+000～B0+353）、白莲段（L0+515～2+243）。	结构形式与可研一致。 荆谷段减少 236m，原因为用地红线制约调整；桐浦段增加 63m，原因是根据冲刷专题，取消凹岸段防冲；白莲段减少 47m，原因用地红线制约调整。
主要建筑物	堤防断面型式	D 型复合式土石混合堤+桩式混合护岸，为 C 型在凹岸段布置，堤身结构与 C 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。布置在桐浦段（桩号 B0+290～B0+944）。	D 型复合式土石混合堤+桩式混合护岸，为 C 型在凹岸段布置，堤身结构与 C 相同，防冲采用桩式（灌注桩）+坡式（软体排+混凝土四面六边体）相结合。布置在桐浦段（桩号 B0+290～B0+944）。	结构形式与可研一致。 桐浦段减少 63m，原因是根据冲刷专题，取消凹岸段防冲。
		E 型直立式轻型框架，堤顶宽 4m，采用 C30 混凝土框架梁板结构，基础采用 φ80cmC30 混凝土灌注桩。堤后采用草皮+低灌木绿化。布置在碧山段（桩号 6+376～6+580）、桐浦段（0+000～1+599）、白莲段（0+000+537、2+290～2+701）	E 型直立式轻型框架，堤顶宽 4m，采用 C30 混凝土框架梁板结构，基础采用 φ80cmC30 混凝土灌注桩。堤后采用草皮+低灌木绿化。布置在碧山段（1+532～1+922）、桐浦段（0+000～1+599）、白莲段（0+000～0+515、2+243～2+701）。	结构形式与可研一致 碧山段增加 186m，白莲段增加 25m，原因用地红线制约调整。

名称		可研	初设	调整情况
主要建筑物	堤防断面型式	F 型直立式轻型框架+表面防冲护岸，为 E 型在凹岸段布置，堤身结构与 E 相同，防冲采用坡式（软体排+混凝土四面六边体）。布置在碧山段（0+000～1+462）。	F 型直立式轻型框架+表面防冲护岸，为 E 型在凹岸段布置，堤身结构与 E 相同，防冲采用坡式（软体排+混凝土四面六边体）。布置在碧山段（0+000～1+462）。	结构形式与可研一致 碧山段增加 70m，原因结合批复红线和冲刷专题调整。
		G 型利用现状道路+桩式防冲护岸，直立式混凝土挡墙＋密排灌注桩，顶宽 3m，堤顶道路采用花岗岩路面，迎水侧设直立式埋石混凝土高挡墙和亲水平台，外侧设灌注桩防冲，背水侧后接交通道路。布置在平阳坑镇区集镇拆迁段（桩号 1+569～2+128）。	G 型利用现状道路+桩式防冲护岸，直立式混凝土挡墙＋密排灌注桩，顶宽 3m，堤顶道路采用花岗岩路面，迎水侧设直立式埋石混凝土高挡墙和亲水平台，外侧设灌注桩防冲，背水侧后接交通道路。布置在平阳坑镇区集镇拆迁段（桩号 1+483～2+128）。	结构形式与可研一致 平阳坑段增加 86m，原因根据省道扩建规划调整。
主要建筑物	堤防断面型式	H 型直立式防洪墙，堤顶宽 5.5m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设悬臂式钢筋混凝土防洪墙，布置在平阳坑瑞安市平阳坑制革厂段（桩号 0+480～0+580）。	H 型直立式防洪墙，堤顶宽 5.5m，堤顶道路采用沥青混凝土路面，迎水侧设悬臂式钢筋混凝土防洪墙，布置在平阳坑瑞安市平阳坑制革厂段（桩号 0+447～0+595）。	结构形式与可研一致 平阳坑段增加 33m，原因为增加厂房保护范围。
	水闸结构	水闸由闸室、消力池、护坦和抛石防冲槽等组成，闸室采用平底板胸墙式整体结构。基础及翼墙均采用灌注桩处理。	水闸由闸室、消力池、护坦和抛石防冲槽等组成，闸室采用平底板胸墙式整体结构。基础及翼墙均采用灌注桩处理。	一致
	机电及金属结构	1、工作门采用混凝土闸门 26 座，钢闸门 4 座。2、8 座水闸采用 10kV 电源供电，其余采用 0.4kV 电源供电。3、各水闸均采用“现地控制+计算机监控”，可实现集中远程监控及运行调度。	1、30 座水闸工作门全部采用钢闸门。 2、共划分为 20 个供电区域，每个供电区域引接 1 回 10kV 电源，为供电区域内水闸、管理房、仓库及便民服务点等建筑物提供电源。3、水闸控制方式不变，仍采用“现地控制+计算机监控”，于管理房调度中心可实现水闸的集中远程监控及运行调度	1、工作闸门调整为采用钢闸门。 2、10kV 供电电源由 8 处调整为 20 处。 3、水闸控制方式与可研一致

名称	可研	初设	调整情况
征地拆迁	工程永久征地面积为 1048.63 亩，其中农用地 688.05 亩（耕地 367.44 亩），建设用地 147.06 亩，未利用地 213.52 亩；临时征用土地 318 亩。至规划水平年，生产安置人口 1987 人，搬迁安置人口 348 人。生产安置采用被征地农民基本养老保险的方式安置；搬迁安置采用“本镇集中，就近分散”方式安置。	永久征收土地 1048.63 亩。其中国有土地 286.01 亩，均为水域及水利设施用地；征收集体土地 762.61 亩，其中农用地 695.64 亩，建设用地 49.00 亩，未利用地 17.97 亩。工程施工临时用地 323.73 亩。影响企业 7 个。至规划水平年，生产安置人口 1702 人。搬迁安置人口 348 人。生产安置、搬迁安置方式同可研。	1.实物量变化为实物复核调查引起。 2.安置任务变化为实物量变化引起。 3.生产安置、搬迁安置方式和单价标准与可研一致。

水闸比较

表 1.1-2　　水闸比较表

项　目	可研阶段	初设阶段
1.水闸及净宽	30 座/166m	30 座/166m
2.水闸底板高程		根据新测地形，对个别水闸底高程进行调整
3.水闸闸顶高程		根据水位，对个别水闸闸顶高程进行调整
4.涂头前河闸	3m 宽单孔水闸	考虑现状通行需要，3m 宽单孔水闸南侧增加加 3m 宽通行闸
5.旱闸闸门型式	人字门	一字门

金属结构比较

表 1.1-3　　金属结构比较表

项目		可研	初设
金属结构	水闸工作闸门型式	部分水闸采用平面滑动混凝土闸门，部分采用平面滑动钢闸门	水闸工作闸门全部采用平面滑动钢闸门
	旱闸闸门型式	旱地人字门	旱地一字门
	金属结构总工程量	可研只列出七座典型闸金属结构工程量	完成 30 座水闸，3 座旱闸全部金属结构工程量
	多孔闸检修闸门启闭机	MD 型电动葫芦	单轨移动启闭机

表 1.1-4　　金属结构投资比较

序号	项　目	可研投资（万元）	初设投资（万元）	变化原因
1	闸门钢材	788.25	730.5	可研阶段：工作闸门采用混凝土闸门
				初设阶段：工作闸门全部采用钢闸门，对门体进行了详细的结构计算，工程量更精确
2	门槽埋件	1312.15	1550.2	门槽埋件的工程量受土建水闸高度影响大，初设对各水闸的埋件进行复核，工程量更精确
3	拉杆与轨道	0	171	可研阶段：拉杆计入到闸门里，未给出量；造价未算轨道
				初设阶段：各水闸均详细列出拉杆与轨道的工程量
4	工作门固定卷扬机	448	705	可研阶段：容量 250kN 固卷 26 台，容量 400kN 固卷 11 台，容量 2x250kN 固卷 6 台
				初设阶段：容量 250kN 固卷 27 台，容量 320kN 固卷 11 台，容量 2x200kN 固卷 10 台，考虑采用中等规格配置的启闭机
5	检修门电动葫芦	312	342	可研阶段：容量 2x50kN 电动葫芦 54 台，容量 2x100kN 电动葫芦 6 台
				初设阶段：容量 2x100kN 电动葫芦 51 台，容量 2x160kN 电动葫芦 9 台

水闸电气比较

表 1.1-5　　水闸电气比较表

序号	项　目	可研（万元）	初设（万元）	变化原因
1	10kV 供电电源	330	720	可研阶段：仅 8 座采用 10kV 电源供电，其余均采用 0.4kV 电源供电，且未列计 0.4kV 供电电源投资，未列计管理房 10kV 供电电源。 初设阶段：20 座（19 座+1 座管理房）水闸采用 10kV 电源供电（根据金结专业提供的水闸启闭机的负荷情况，考虑满足电动机直接启动的要求及供电可靠性，确定供电电压等级。管理房 10kV 供电电源兼顾周边 3 个水闸供电）。
2	10/0.4kV 变压器	43	113.4	根据供电电压等级，相应增加 10/0.4kV 变压器数量。
3	配电柜、配电箱、控制箱	136.6	452.1	可研阶段：每座水闸只设置 1 面动力箱，缺少检修箱、照明箱、A 型应急照明箱、0.4kV 低压柜、无功补偿装置等；缺少 10kV 高压柜工程量。 初设阶段：补充检修箱、照明箱、A 型应急照明箱、低压无功补偿装置、0.4kV 低压柜、10kV 高压柜等工程量，启闭机控制箱数量增加。
4	高压电缆、低压电缆、控制电缆	111.65	614.124	可研阶段：低压电缆、控制电缆工程量未详细列计，电缆投资估算偏少；且缺少 10kV 高压电缆工程量。 初设阶段：各水闸均详细列计所需低压电缆、控制电缆的规格及工程量；补充 10kV 高压电缆工程量。
5	柴油发电机	215.5	229.5	可研阶段：每座水闸均配置柴油发电机（共 30 台），但容量偏小，可能无法保证工作闸门的可靠启闭。 初设阶段：通过相邻的水闸共用柴油发电机，柴油发电机数量减少为 19 台，且柴油发电机容量按保证工作闸门的可靠启闭进行选择。
6	视频监视、UPS、通信柜等电气二次设备	233.8	300.96	视频监视系统由前端监视设备、传输设备、控制录像设备、存储设备等组成。 可研阶段：仅列计摄像头，无控制录像设备、存储设备等工程量。 初设阶段：补充缺少工程量，且可实现接入工程信息化系统。
7	防雷接地、防火封堵、设备基础及预埋件、电缆护管/桥架等材料	28	271.525	可研阶段：仅计列接地工程量，缺少防雷、防火封堵、设备基础及预埋件、电缆护管/桥架等。 初设阶段：增加防雷、电缆防火/封堵、设备基础及预埋件、电缆护管/桥架等工程量。

征地搬迁安置

表 1.1-6　　移民征地搬迁安置比较表　　单位：万元

序号	项目	初设	可研	变化（初设-可研）	变化原因
一	**农村部分补偿费**	**11682.76**	**12330.41**	**-647.65**	
（一）	**征地补偿补助费**	**5901.79**	**6683.83**	**-782.04**	
	征收土地补偿及安置补助费	4995.28	5534.06	-538.78	土地复核后，地类调整，河流、滩涂等国有未利用地不予补偿。建设用地在居民点及专项中规划考虑
	临时用地补偿费	240.72	318	-77.28	可研为 318 亩均为耕地。初设 323.73 亩临时用地地类按三调图进行了细化。
	临时用地复垦费	463.8	636	-172.2	临时用地面积及地类变化
	林木和青苗补偿费	202	195.77	6.23	临时用地变化
（二）	**房屋及附属物补偿费**	**3820.82**	**3599.28**	**221.54**	
	房屋结构补偿费	2984.87	2774.25	210.62	实物变化。房屋面积增加，结构变化。增加木结构及棚
	房屋装修补助费	537.47	547.61	-10.14	房屋变化
	附属物补偿费	298.49	**277.42**	21.07	房屋变化
（三）	**搬迁安置费用**	**1552.48**	**1552.64**	**-0.16**	
（四）	**农村集体设施补偿费**	**203.56**	**203.56**		
（五）	**搬迁费补助费**	**156.6**	**156.6**		
（六）	**其他补偿补助费**	**47.5**	**47.5**		
	零星林（果）木	30	30		
	贫困搬迁户建房补助	17.5	17.5		
（七）	**过渡期补助费**		**87**	**-87**	按专家意见去掉该项目
二	**企事业单位补偿费**	**1180.01**	**1346.9**	**-166.89**	
（一）	**房屋及附属建筑物补偿费**	**970.01**	**1226.9**	**-256.89**	实物复核后，企业数量增加 3 个，房屋面积及结构变化
	房屋结构补偿费	861.09	958.41	-97.32	
	房屋装修补偿费	22.81	172.64	-149.83	
	附属建筑物补偿费	86.11	95.84	-9.73	
（二）	**生产设备设施搬迁补偿费**	**210**	**120**	**90**	
三	**专业项目补偿费**	**1626**	**1626**		
	交通设施	1440	1440		
	输变电设施	126	126		
	通讯设施	42	42		

序号	项目	初设	可研	变化（初设-可研）	变化原因
	广播电视设施	18	18		
四	**其他费用**	**1319.58**	**1320.72**	**-1.14**	以上变化引起计算基数调整而相应增加。开办费取费基数采用生产安置人口
	前期工作费	289.78	306.07	-16.29	
	勘测设计科研费	362.22	382.58	-20.36	
	实施管理费	362.22	382.58	-20.36	
	实施机构开办费	102.06	34.8	67.26	
	技术培训费	58.41	61.65	-3.24	
	监督评估费	144.89	153.03	-8.14	
五	**预备费**	**1264.67**	**1662.4**	**-397.73**	以上变化引起计算基数调整及费率变化引起
	基本预备费	**1264.67**	**1662.4**	**-397.73**	
六	**有关税费**	**18222.49**	**19806.22**	**-1583.73**	
（一）	**耕地占用税**	**216.36**	**217**	**-0.64**	
	工程征收土地	92.73	91.72	1.01	
	新址安置用地	123.63	125.28	-1.65	
（二）	**耕地开垦费**	**42.12**	**42.13**	**-0.01**	
（三）	**森林植被恢复费**	**110.41**	**108.67**	**1.74**	
（四）	**社会保险缴费补贴资金**	**17853.61**	**19438.42**	**-1584.81**	计算基数人口按本阶段土地复核成果进行了调整
七	**其他专项费用**	**25021.27**	**53803.88**	**-28782.61**	
（一）	**耕地占补平衡指标费**	**14580.05**	**13557.91**	**1022.14**	计算基数按本阶段土地复核成果进行了调整
	省统筹部分	6627.37	6162.75	464.62	
	市统筹部分	7952.69	7395.16	557.53	
（二）	**安置留地政府收购费**	**10441.22**	**10884.33**	**-443.11**	计算基数按本阶段土地复核成果进行了调整
	平阳坑镇	930.88	979.08	-48.2	
	马屿镇	980.03	951.15	28.88	
	陶山镇	6376.61	6699.3	-322.69	
	桐浦镇	525.87	379.2	146.67	
	潘岱街道	1627.83	1729.5	-101.67	
	锦湖街道		146.1	-146.1	
（三）	**被征地农民基本生活保障资金**		**29361.64**	**-29361.64**	有关税费已计有该项目
	静态总投资	**60316.78**	**91896.53**	**-31579.75**	

专项提升工程对比

表 1.1-7　　专项提升工程对比表

项　目	可研阶段	初设阶段	备注
1.景观投资	3049 万元	3045 万元	减少 4.0 万元。
2.景观节点	分布于 6 个区段，共设计 7 个节点	仅平阳坑和白莲段 2 个区域内设计节点	受红线范围制约，临水节点减少
3.节点面积	60580 ㎡（估算）	80736 ㎡	增加面积为临江区域的生态绿化修复
4.绿化面积	可研阶段无绿化面积指标	71000 ㎡	绿化以生态设计为主，以乡土植物+多年生地被植物为主要遴选物种，绿化与铺装占比 9:1。
4.便民服务中心	1 座一级驿站 3 座二级驿站	4 座二级驿站	红线范围内设计场地较窄 不满足一级驿站设计条件

造价对比

本次工程总投资 192642 万元，可研投资为 235753 万元，投资减少 43110 万元，详见下表。

表 1.1-8　　工程投资对比表

序号	工程或费用名称	估算	概算	概算-估算		原因分析
		金额（万元）	金额（万元）	金额（万元）	增减比例（%）	
I	**工程部分**	135235	125695	-9539	-7.1%	
一	建筑工程	104725	95065.28	-9660	-9.2%	根据冲刷专题结论及专家意见优化防冲措施，增加水平防冲格宾、水平防冲块石及减少垂直防冲灌注桩；优化轻型结构，并减少轻型结构灌注桩桩长；碧山段约 4.6km 堤防穿越虾塘区域，地质情况较差，根据地勘成果复核堤身抗滑稳定及沉降计算，堤基增加搅拌桩处理；10kV 供电电源由 8 处（8 座水闸）增加为 20 处（19 座水闸+1 座管理房），供电设施工程增加；软体排由混凝土预制块改为充填砂。

序号	工程或费用名称	估算	概算	概算-估算		原因分析
		金额（万元）	金额（万元）	金额（万元）	增减比例（%）	
二	机电设备及安装工程	4165	5957	1792	43.0%	10kV 供电电源由 8 处（8 座水闸）增加为 20 处（19 座水闸+1 座管理房）；本阶段深化设计，增加管理房仓库电气设备设施。
三	金属结构设备及安装工程	3595	4082	487	13.5%	22 座水闸工作闸门门型由平面滑动混凝土闸门调整为平面滑动钢闸门。
四	施工临时工程	6213	7361	1148	18.5%	优化设计，可研阶段采用泥结碎石路面，初设阶段采用改善土路面，取消施工场外供电线路工程中 10kV 输电线路，取消变压器；安全文明施工费由 2.0%调整为 2.3%；增加水闸基坑支护；其他临时工程费率由 0.5%调整至 0.8%。
五	独立费用	10097	9569	-528	-5.2%	定员人数由 20 人调整为 12 人；计算基数变化。
	一～五部项合计	128795	122034.28	-6761	-5.2%	
六	基本预备费	6440	3661	-2779	-43.1%	费率由 5%调整至 3%。
II	专项部分	8622	6096	-2526	-29.3%	
一	环境保护工程	126	126	0	0.0%	
二	水土保持工程	870	870	0	0.0%	
三	白莲段防洪堤下穿杭深铁路立交工程	4577	2055	-2522	-55.1%	白莲段防洪堤下穿杭深铁路立交工程深化设计（由铁路设计院专项设计），可研涉及长度约 400m，初设调整至约 200m
四	专项提升工程	3049	3045	-4	-0.1%	
III	征地移民补偿部分	91896	60851	-31045	-33.8%	
一	农村部分补偿费	12330	12139	-191	-1.5%	征地补偿补助费减少 782 万元；房屋及附属物补偿费和过渡期补助费增加 591 万元。
二	企（事）业单位补偿费	1347	1180	-167	-12.4%	企业数量由 4 个增加到 7 个，影响房屋面积增加 1841m2，实物复核后房屋结构发生变化，引起房屋及附属物补偿投资减少 256 万元；生产设施设备搬迁补偿投资增加 90 万元。
三	专业项目补偿费	1626	1626	0	0.0%	

序号	工程或费用名称	估算	概算	概算-估算		原因分析
		金额（万元）	金额（万元）	金额（万元）	增减比例（%）	
四	其他费用	1321	1358	37	2.8%	计算基数调整而相应增加；实施机构开办费可研阶段取费基数为搬迁安置人口，初设采用了生产安置人口
	一～四项合计	16624	16303	-321	-1.9%	
五	基本预备费	1662	1304	-358	-21.5%	费率由 10%调整为 8%。
六	有关税费	19806	18223	-1583	-8.0%	“社会保险缴费补贴资金” 计算基数人口按本阶段土地复核成果进行了调整引起
七	其他专项费用	53804	25021	-28783	-53.5%	“耕地占补平衡指标费”和“安置留地政府收购费”计算基数按本阶段土地复核成果进行了调整，取消被征地农民基本生活保障资金 2.9 亿元
IV	工程总投资					
	静态总投资	235753	192642	-43110	-18.3%	
	融资利息					
	工程总投资	235753	192642	-43110	-18.3%	

其中，因信息价调整减少投资 4795 万元，详见表 1.1-9。

表 1.1-9　　信息价对比表

序号	工程或费用名称	单位	估算信息价	概算信息价	概算-估算信息价	
					金额	增减比例（%）
一	信息价时间		2023 年 1 月	2024 年 3 月		
二	主要材料					
1	水泥	吨	425	363	-62	-14.6%
2	钢筋	吨	4046	3645.8	-400.2	-9.9%
3	柴油	千克	8.04	8.21	+0.17	+2.1%
4	汽油	千克	9.56	9.74	+0.18	+1.9%
5	砂	立方米	189	219	+30	+15.9%
6	碎石	立方米	149.12	156.9	+7.78	+5.2%
7	块石	立方米	143.65	146.97	+3.32	+2.3%
8	塘渣	立方米	87	90.1	+3.1	+3.6%
9	宕渣	立方米	81	82.34	+1.34	+1.7%
10	C25 商品混凝土	立方米	483	422	-61	-12.6%
11	C30 商品混凝土	立方米	507	444	-63	-12.4%

1.1.8 报告编制依据

本工程初步设计报告编制的主要依据有：

1）《关于切实加强中小河流治理和山洪地质灾害防治的若干意见》（国发〔2010〕31 号）；

2）《全国中小河流治理和中小水库除险加固、山洪地质灾害防治、易灾地区生态环境综合治理总体规划》；（2011 年 4 月 6）；

3）《浙江省飞云江流域水利规划》；

4）《浙江省飞云江流域(温州段)综合规划报告(2015－2030 年)》；

5）《浙江省瑞安市金潮港流域综合规划报告》(2018-2035 年)；

6）《瑞安市综合交通体系规划》；（2017.11）

7）《瑞安市土地利用总体规划（2006-2020 年）》（2022.11）；

8）《瑞安市桐浦镇镇规划》(2017-2035 年)；

9）《瑞安市水域保护规划报告》（2022.9）；

10）《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址~铁路桥段堤线调整专题研究报告》(2013 年)》；

11）《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》（浙江省水利水电勘测设计院有限公司）（2023.2）；

12）《水利水电工程初步设计报告编制规程》(SL/T 619-2021)；

13）《防洪标准》(GB50201-2014)；

14）《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2017)；

15）《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)；

16）《水闸设计规范》(SL265-2016)；

17）《水利工程建设标准强制性条文》（2020 年版）；

18）《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》（SL654-2014）。

19）《水工建筑物抗震设计标准》（GB51247-2018）

依据国家和行业主管部门现行的有关法规、规程、规范和技术标准及瑞安市有关政策文件。

1.2 水文

1.2.1 流域概况

飞云江位于浙江省南部，东经 119°36′~120°40′，北纬 27°28′~28°00′。飞云江发源于景宁畲族自治县景南乡的白云尖西北坡，自西向东流经泰顺、文成两县，在瑞安市上望街道新村入东海。飞云江流域面积 3719km²，河长 193km，河道比降 5.7‰。

飞云江主流发源于景泰边白云尖西北坡，流经景宁、泰顺、文成、瑞安四县市，至瑞安市的上望入海。祭坑为流程起点，向北下行至东塘称为东塘溪，至泰顺县黄桥称三插溪，下行至百丈口以下始称飞云江。泰顺县百丈口以上为上游，百丈口至瑞安市滩脚为中游，滩脚以下为下游。下游两岸为滨海平原水网区，平原区河网水面率为 6%左右，河网主干河为温瑞塘河、瑞平塘河。飞云江干流以百丈口(文成县境内)和滩脚(高楼溪入江口附近)为界，分为上、中、下游三河段。百丈口以上为上游段；百丈口至滩脚为中游段；滩脚至入海口为下游段，也是感潮的河口段，长 60.8km。上、中游为山溪性河道，坡陡流急，落差较大；下游属感潮河道，坡降平缓，河湾发育。

1.2.2 气象

根据瑞安气象站实测资料统计，瑞安市多年平均气温为 17.9℃，多年平均水汽压 18.7hPa，多年平均相对湿度 82%，多年平均蒸发量 1210mm(20cm 直径蒸发皿观测值)；多年平均风速 2.2m/s，多年汛期最大平均风速 15m/s。

1.2.3 水文基本资料

飞云江流域内主要有百丈口、岱口水文站，还有瑞安、上关山站观测潮位。雨量站主要有长流仔、阳畲、杨寮、司前、百丈口、夏炉、石垟、文成黄坦、东湾坑、泰顺、大际、文成南田、百丈漈、岱口、十源、玉壶、宁益、瑞安潘山、六科、岩头、曹村、瑞安、篁庄、朱寮、文成、飞云江、夏家山、林溪等站。本次设计所采用的雨量、水位等资料均经浙江省水文局(原名“浙江省水文总站”)逐年整编、审核，较为可靠。

1.2.4 暴雨

流域设计暴雨成果详见表 1.2-1。

表 1.2-1　　飞云江及支流流域设计暴雨成果表(推荐)

方法	历时	均 值 (mm)	Cv	Cs/Cv	各频率P(%)设计暴雨(mm)				
					1	2	5	10	20
飞云江流域	H一日	135	0.49	3	354	316	264	223	181
	H24	H24=H一日×1.13			400	357	298	252	205
	H三日	195	0.45	3	479	431	365	312	257
金潮港流域	H一日	152	0.52	3	419	371	307	258	206
	H24	H24=H一日×1.13			473	419	347	291	233
	H三日	217	0.5	3	578	515	429	362	292
高楼溪流域	H一日				414	370	309	261	212
	H24				468	418	349	295	240
	H三日				560	504	427	365	301

注：高楼溪设计暴雨综合本支流、金潮港综合分析采用飞云江设计暴雨的 1.17 倍计入。

1.2.5　洪水

按流域内水系分布，水库和防洪控制断面位置及水利计算需求等方面因素，将设计流域分为珊溪水库以上、珊溪水库至赵山渡区间、高楼溪、金潮港等四个洪水计算分区，其余区域按照水利计算要求计算净雨过程。

1.2.5.1　干流洪水

本次分析珊溪水库及赵山渡水库坝址以上设计成果均采用原初步设计成果。设计洪水过程按照设计典型洪水“60.8 型”内插成逐时段典型洪水过程。

各断面洪水成果见表 1.2-2。

表 1.2-2　　设计洪水成果表

流域位置	集水面积 (km^2)	项目		各频率 P (%) 洪水(m^3/s)				
				1	2	5	10	20
珊溪水库 (相应)	1529	洪峰	(m^3/s)	10800	9400	7600	5880	4350
		三日洪量	(亿 m^3)	6.3	5.73	4.84	3.86	3.12
珊溪至 赵山渡区间(设计)	773	洪峰	(m^3/s)	6800	5960	4640	3660	2650
		三日洪量	(亿 m^3)	3.5	3.11	2.56	2.24	1.75
珊溪水库 (设计)	1529	洪峰	(m^3/s)	11500	9920	7790	6200	4580
		三日洪量	(亿 m^3)	6.52	5.82	4.86	4.07	3.27
珊溪至 赵山渡区间(相应)	773	洪峰	(m^3/s)	6310	5800	4600	3400	2480
		三日洪量	(亿 m^3)	3.28	3.02	2.54	2.03	1.6

流域位置	集水面积(km²)	项目		各频率 P (%) 洪水(m³/s)				
				1	2	5	10	20
赵山渡以上	2302	洪峰	(m³/s)	16400	14100	11100	8860	6570
		三日洪量	(亿 m³)	9.8	8.84	7.4	6.1	4.87
岙口	1930	洪峰	(m³/s)	14200	12300	9660	7690	5680
		三日洪量	(亿 m³)	8.38	7.48	6.24	5.22	4.18
马屿	2580	洪峰	(m³/s)	17900	15500	12200	9730	7230
		三日洪量	(亿 m³)	11.0	9.87	8.28	6.95	5.60

1.2.5.2 支流洪水

高楼溪、金潮港流域内无水文测站，支流洪水采用设计暴雨推求，成果见表 1.2-3。

表 1.2-3　　高楼溪、金潮港设计洪水成果表

支流	集水面积(km²)	项目		各频率(%)设计洪水成果				
				1	2	5	10	20
高楼溪	125.3	洪峰流量	(m³/s)	1327	1185	972	798	610
		三日洪量	(万m³)	6211	5514	4555	3784	2987
金潮港	349	洪峰流量	(m³/s)	3740	3330	2700	2190	1650
		三日洪量	(万m³)	17900	15700	12700	10400	8010

1.3 工程地质

1.3.1 区域地质

本区地貌单元属低山区—冲海积平原区，一般海拔高程在 5m～150m。工程区平阳坑上游段为低山区，飞云江曲折东流，坡平水缓，江道二侧多发育冲洪积的滩地、心滩，马屿镇以下为冲海积平原， 区内地势平坦，河网密布，地面高程 3.50m～6.5m。

工程区位于测区地质构造属华南褶皱系（I_2）浙东南褶皱带（II_3）温州-临海拗陷（III_8）泰顺-温州断拗（IV_{12}）。区内地质构造表现为主要有北北东向、北东向、南北向和北西向等不同方向断裂，其中以北北东向最为发育。其余各组断裂分布比较零星，规模较小。区内地质构造主要受松阳～平阳大断裂、温州-镇海大断裂、淳安～温州大断裂和泰顺-黄岩大断裂控制，构造形迹影响。

根据全国地震区划图，本区为基本稳定区。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)的划分，场区城镇II类场地基本地震动峰值加速度值 a_{max} 为 0.05g，相应地震烈度

为VI度，基本地震动加速度反应谱特征周期值 TgII为 0.40s；III类场地震动峰值加速度值 a_{max} 为 0.065g，地震动加速度反应谱特征周期值 Tg 为 0.55s。设计地震分组为第二组，区域地壳为稳定区。

1.3.2 水文地质条件

工程区为沿海低山丘陵区～冲海积平原区，根据地下水的赋存条件，分布特征，可将地下水划分为松散岩类孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水三类。地下水以大气降水补给为主，向溪流或地势低洼处排泄。地下水一般径流途径短，循环交替迅速，受气候、季节影响地下水动态变化大。区域水文地质条件简单。

1.3.3 各堤段工程地质条件及评价

1.3.3.1 平阳坑段防洪堤地质概况

各层地基土工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_3 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 杂填土，松散～稍密状，含大量建筑垃圾，特别是在篁坑水闸左岸，分布厚度较大，应挖除或进行地基处理。

0_2 素填土，分布不均匀，厚度变化大，土层均匀性差，不宜利用。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①夹砂砾石，稍密～中密，低压缩性，场地内呈透镜体状分布，厚度薄，工程性质较好。但该层透水性强，对基槽（坑）开挖形成不利影响，设计与施工时应引起注意。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉细砂，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

④$_1$ 粉质粘土，软可塑状，中压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。

④$_3$ 圆砾，中密状，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粉质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$淤泥质粘土，流塑，高压缩性，工程性质差，呈夹层状分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

⑩$_{2}$层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩3 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

1.3.3.2 马屿镇梅屿段防洪堤地质概况

各层地基土工程地质特性评价如下：

0$_{0}$塘泥，0$_{3}$耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_{1}$杂填土，土质不均，主要分布于防洪堤起点附近，应挖除。

0$_{2}$素填土，主要分布于机耕路、水闸两侧及支流两侧的堤岸上，以粉质粘土为主，中高压缩性为主，土质均匀性较好。

①$_{1}$粉质粘土，可塑状，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_{2}$淤泥质粘土、②1 淤泥、②2a 淤泥夹粉砂、②3 淤泥和③1 淤泥质粘土，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$粉细砂夹淤泥、②2 夹卵石，稍密～中密，中压缩性，工程性质较好，局部分布。

④$_{1}$粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，局部分布，厚度不均，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_{2}$粘土，软塑～软可塑，高压缩性，局部分布。

④$_{3}$卵石，中密，低压缩性，局部地段缺失，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$粉质粘土，流塑～软塑，高压缩性，工程性质差，呈透镜体状分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

⑤$_{1}$粉质粘土，⑤$_{3J}$含砾粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，埋藏深度大。⑤$_{3}$圆砾，中密状～密实，低压缩性，工程埋藏深度大。

⑤$_{3}$圆砾，中密，低压缩性，局部揭示，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基

持力层。

1.3.3.3 陶山镇荆谷段防洪堤地质概况

各层地基土工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_2 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 人工填土，沿老堤防或是道路呈线状分布，以可塑～硬可塑状粉质粘土为主，中压缩性为主，土质均匀性较好。

堤防沿线特别是经过村庄聚集地段，局部地段存在松散～稍密状建筑垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②2a 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉砂、③夹圆砾、稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，层位不稳定。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_1$ 粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$ 粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，层位稳定，厚度大，该层可联合④1 粉质粘土共同做为建筑物桩端土层。

④$_3$ 圆砾，中密状～密实，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$ 粘土，软塑，高压缩性，工程性质差，呈夹层状分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。④3g 中砂，中密，局部地段分布，层位不稳定，厚度不大，工程性质较差。

⑤$_2$ 粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，埋藏深度大。

⑤$_3$ 卵石，中密状～密实，低压缩性，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

1.3.3.4 陶山镇碧山段防洪堤地质概况

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥，0$_3$ 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_1$ 人工填土，沿老堤防或是道路呈线状分布，以可塑～硬可塑状粉质粘土为主，中压缩性为主，土质均匀性较好。

堤防沿线特别是经过村庄聚集地段，局部地段存在松散～稍密状建筑垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土，②2a 淤泥夹粉、细砂、②3 淤泥和③1 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，层位稳定。工程性质一般。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_3$ 圆砾，中密状，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩3 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

1.3.3.5 桐浦塔山至澄头段地质概况

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥，0$_3$ 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_1$ 杂填土，松散～稍密状，含大量生活垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

0$_2$ 素填土，沿老堤防或是道路呈线状分布，以可塑～硬可塑状粉质粘土为主，中压

缩性为主，土质均匀性较好。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②1 淤泥、②2a 淤泥夹粉砂、②3 淤泥和③1 淤泥质粘土，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、③3 粉、细砂、稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，工程性质一般。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_1$ 粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$ 粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，层位稳定，厚度大，该层可联合④$_1$ 粉质粘土共同做为建筑物桩端土层。

④$_3$ 圆砾，中密状～密实，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

⑤$_2$ 粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，埋藏深度大。

⑤$_3$ 圆砾，中密状～密实，低压缩性，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层

⑨$_1$ 含碎石粉质粘土：可塑～硬可塑，中压缩性，土质不均匀，厚度变化大，工程性质一般。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩3 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

1.3.3.6 白莲段防洪堤地质概况

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥，0$_3$ 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_1$ 杂填土，松散～稍密状，含大量生活垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

0_2 素填土，沿道路呈线状分布，以粉质粘土为主，中压缩性为主，土质均匀性一般。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥，稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，工程性质一般。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_1$ 粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_3$ 圆砾，中密状～密实，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层。

④$_{3g}$ 粉质粘土混中粗砂呈透镜体分布。

⑨$_1$ 含碎石粉质粘土：可塑，中压缩性，土质不均匀，厚度变化大，工程性质一。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩3 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

1.3.4 水闸

本项目新建水闸 30 座，旱闸 3 座，水闸地质条件及建议地基处理方式详见第三章。

1.3.5 天然建筑材料

一、石料

本工程所需石料包括抛石料碎石和宕渣，共 34.46 万 m^3，其中抛石料 12.45 万 m^3，宕渣 22.01 万 m^3。

本次天然建筑材料调查，场地附近 30km 范围内共调查到 3 处石料场，分别为高楼镇“双坑消防道路工程”石料场、光山矿区石料场、赖岙矿区石料场。若场地附近石料场供应量不能满足要求，苍南县三澳村石料场和三门县其头山矿山石料场可做为备用料场。

本项目工期长，周边料场受开采期限、开采储量等条件的限制，施工期存在料场停采的风险。

二、土料

本工程土方开挖量 49.70 万 m^3，表土开挖量 16.05 万 m^3，土方回填量自然方 154.73 万 m^3，种植土自然方回填量 8.50 万 m^3，利用开挖量回填 48.47 万 m^3，利用表土回填种植土 8.65 万 m^3，本工程料场取土量 105.03 万 m^3。规划料场 4 个。

勘察结果表明：料场土料粘粒含量、有机质含量，击实后渗透系数、水溶岩含量均满足规范要求，但本区含水量偏大，塑性指数偏高，需要经过处理后方可以用。土料储量满足工程需要。若 1#～4#土料场取土困难，工程所需回填土料可考虑利用城市建设弃土中质量能达到本工程需要的部分进行利用。

土料场取土时，应保证堤坝两侧一定的安全距离内不得取土，开挖速度不宜过快，应避免地基扰动，以利保护边坡稳定及防洪堤的安全。

1.3.6 结论和建议

工程区域新构造运动不明显，工程区及周边地区近代地震皆为微震。近场区构造活动微弱，地震震级小，强度弱，频度低，区域构造稳定。

本次勘察，查明场地内工程地质条件，场地内勘察深度范围内涉及的地层可分为 8 个大层，22 个工程地质亚层和 6 个夹层，勘察成果满足勘察招标要求。

拟建场地稳定性差、适宜性差。当采用有效的地基处理措施或桩基础后，能够满足拟建（构）筑物的荷载及变形要求，可进行本工程建设。

工程区主要位于冲海积平原和海积平原区。经调查，工程区域内不存在岩溶、泥石流、采空区、地面塌陷等物理地质现象，工程区不良地质现象主要为小规模滑塌、地面沉降和软土变形。

场地存在特殊性岩土主要为软土、填土、混合土和残积土。

场地堤防沿线内河水对混凝土结构无腐蚀性；自平阳坑至桐浦段地下水对混凝土结构无腐蚀性；白莲段地下水对混凝土结构弱腐蚀性，腐蚀类型为硫酸盐型。涨潮时，内河水受飞云江水倒灌的影响，对混凝土结构弱腐蚀性，腐蚀类型为硫酸盐型；退潮时，内河水对混凝土结构无腐蚀性。

6）场地堤防沿线内河水对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性；平阳坑段、荆谷段、碧山段和桐浦段地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，马屿镇梅屿段与白莲段

地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，白莲段地下水对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。涨潮和退潮时，内河水受飞云江水的影响，对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。

场地堤防沿线内河水对钢结构具有弱腐蚀性；平阳坑段、荆谷段、碧山段地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，马屿镇梅屿段、桐浦段和白莲段地下水对混凝土结构中的钢筋有中腐蚀性；涨潮和退潮时，内河水受飞云江水的影响，对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。

7）场地地层及各工点基础建议见相应章节。

8）场地内地基土体为多元结构，影响河道岸坡稳定的主要控制层为①$_2$淤泥质粘土、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥和③$_1$淤泥质粘土，建议设计时进行抗滑稳定验算。

9）工程区内无可供开采的石料场和砂砾料场，建议本工程石料和砂砾料外购，粘土料、种植土料建议尽量留用堤防原沿线表层土①$_1$粉质粘土。不足部分在 1#～4#土料场剥取表层土使用。工程区土料储量能够满足工程需要，进行相应的处理后，质量也能满足工程需要。若 1#～4#土料场取土困难，工程所需回填土料可考虑利用城市建设弃土中质量能达到本工程需要的部分进行利用。

10）施工期应分段、分期控制加荷速率，严禁大型机械近防洪堤过往，严格控制防洪堤内侧堆填土高度，确保防洪堤稳定。

11)设计与施工注意事项：

a.部分防洪堤存在跨越池塘、河道、涂面等，表部存在新近淤积的流泥分布，其工程特性极差，工程设计时应予重视。

b.经现场调查，堤防滑中线存在建筑垃圾填埋场或堆场（本次钻探在平阳坑段揭露），施工阶段必须引起重视，应加强施工验槽工作。

c.经调查走访，老水闸建造时，闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m，设计与施工时应引起重视。

e.少数水闸工程区范围内有顶管通过，设计与施工时应引起重视。

f.飞云江多年以来存在河道采砂，沙坑密布，浅部地基土地不均匀，如采用天然地基，应加强施工验槽工作，施工中如遇此情况，应及时与设计联系。

g.堤前迎水坡，特别是凹岸处，可能存在厚度较大的抛石层和碎块石层，施工时应引起重视。

h.沿线地下管线、电缆等埋藏物较多，设计和施工前应应及时与相关部门协调。

1.4 工程任务和规模

1.4.1 工程建设的必要性

（1）是进一步完善流域防洪体系的需要

根据《浙江省飞云江流域水利规划报告》和《浙江省飞云江流域防洪规划报告》，飞云江干流沿岸城镇防洪由珊溪水库控制洪水与下游堤防相结合，从而使下游沿岸达到规划的防洪标准。目前珊溪水库已经建成，对下游防洪发挥了重要作用，但由于下游规划的防洪堤尚未建设完成，飞云江干流沿岸主要防洪对象的防洪能力仍然较低，其中平阳坑仅 2 年一遇，马屿镇（梅屿段）仅 10 年一遇，马屿平原大部分区域仅 2 年一遇，局部甚至低于 2 年一遇。为完善流域防洪格局，提高下游沿岸防洪能力至规划标准，同时进一步提高珊溪水库的防洪效益和综合效益，建设赵山渡～宝香河段两岸堤防是必要的。

（2）是社会经济发展及城乡建设的需要

改革开放以来，瑞安市经济飞速发展，社会财富不断积累，人民物质文化生活水平不断提高，但飞云江干流宝香以上河段仍然处于自然防洪状态，乡镇、村庄农防防洪形势严峻，与社会经济发展形势不相适应。尽管 21 世纪初上游建成了流域防洪控制性工程——珊溪水库，但流域防洪格局仍未形成，下游防洪堤仍未建设，在 2005 年的“海棠”台风、2007 年的“罗莎”、“韦帕”、2009 年的“莫拉克”、2013 年的“菲特”等台风灾害中损失惨重，陶山平原、马屿部分乡镇村道路、通信和电力中断，一些民房倒塌、溪流堤防受损、农田被淹。

为保障瑞安市经济可持续发展，建设飞云江干流堤防，使沿线防洪标准提高到规划水平已十分迫切。过去的防洪堤建设过程中，对保护区内排涝能力建设相对投入不足，普遍存在外洪已挡、内涝难除的问题，为了保护区内经济发展迅速，人民生活水平提高后，沿岸平原普遍要求加强配套排涝工程建设。

在本次飞云江治理二期堤防建设的基础上，配套两岸排涝口门（闸门）的建设，使得片区在挡外洪的基础上，有条件将片区涝水排出。然而片区内涝的影响因素较多，仅在口门处建设排涝闸门不一定能使得片区达到排涝标准，往往需要片区配套建设一系列排涝工程，例如内河河道疏浚、卡口拓浚、上游水库配套建设、口门增设排涝泵站等，建议在建设堤防的基础上，片区尽快配套建设排涝工程，使得片区达到排涝标准。

（3）是保障民生、稳定社会的需要

《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告》、《浙江省飞云江流域水利规划报告》和《浙江省飞云江流域防洪规划报告》对流域的防洪工程作了全面规划和统筹安排。其中防洪堤是流域防洪体系中的重要环节，是面向被保护对象的前沿防护工程，直接关系到各防洪保护区的安危。在规划基础上加快实施防洪堤加固建设，为人民生活、经济发展提供可靠的防洪保障已是当务之急。

瑞安市主要乡镇均分布在飞云江两岸，且大多是经济重镇或经济强镇，人口集中，耕地数量多，工商企业分布广泛，是防洪保护的重点区域。堤防保护范围内有甬台温高速铁路、甬台温铁路、330 省道以及大量的通讯干线、电力线路等重要的基础设施。沿江两岸是洪涝灾害频发的地区，由于历史的原因和经济上的制约因素，防洪堤建设落后于经济发展。进入上世纪 90 年代后，流域内发生的多次大洪水给经济发展和人民生命财产带来重大损失。

随着经济发展的不断深入，尤其是乡镇企业经济的迅速发展，社会财富日益增多，飞云江干流两岸人民的生活水平有了很大变化，发生同样频率的洪水所造成的灾情越来越严重，经济损失越来越大。

近些年，瑞安市经济高速发展，为各项防洪工程建设提供了雄厚的物质基础。飞云江干流堤防工程建设，对堤后保护区内的乡镇、工矿企业、农田和广大人民群众的安全至关重要，有利于促进区域经济社会又好又快地向前发展，有利于维护社会稳定。

（4）是乡村振兴、建设共同富裕示范区的需要

习近平总书记指出：“共同富裕本身就是社会主义现代化的一个重要目标。要始终把满足人民对美好生活的新期待作为发展的出发点和落脚点，在实现现代化过程中不断地、逐步地解决好这个问题。”国家“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要提出，支持浙江高质量发展建设共同富裕示范区。浙江高质量发展建设共同富裕示范区是浙江建设的一个示范区。党的十九届五中全会向着更远的目标谋划共同富裕，提出了“全体人民共同富裕取得更为明显的实质性进展”的目标。

乡村振兴战略是习近平同志 2017 年 10 月 18 日在党的十九大报告中提出的战略。十九大报告指出，农业农村农民问题是关系国计民生的根本性问题，必须始终把解决好“三农”问题作为全党工作的重中之重，实施乡村振兴战略。2021 年 4 月 29 日，十三届全国人大常委会第二十八次会议表决通过《中华人民共和国乡村振兴促进法》。2021 年 5 月 18 日，司法部印发了《“乡村振兴法治同行”活动方案》。

浙江高质量发展建设更加注重向农村、基层、相对欠发达地区倾斜，向困难群众倾

斜，支持浙江创造性贯彻“八八战略”，在高质量发展中扎实推动共同富裕，着力在完善收入分配制度、统筹城乡区域发展、发展社会主义先进文化、促进人与自然和谐共生、创新社会治理等方面先行示范，构建推动共同富裕的体制机制，着力激发人民群众积极性、主动性、创造性，促进社会公平，增进民生福祉，不断增强人民群众的获得感、幸福感、安全感和认同感，为实现共同富裕提供浙江示范。

本次飞云江治理二期工程助力飞云江上游沿岸乡镇提升防洪能力，在保障人民生命财产安全的同时，堤防建设结合景观绿道、道路建设、沿岸景观节点建设等内容，坚持人与自然和谐共生，走乡村绿色发展之路；保护飞云江沿岸耕地不受洪水侵袭，传承发展提升农耕文明，走乡村文化兴盛之路；通过堤防建设，提升两岸环境面貌，带动周边旅游发展，农业发展，乡村城镇综合发展，打好精准脱贫攻坚战，走中国特色减贫之路，为飞云江两岸乡村振兴，高质量发展建设共同富裕示范区提供坚实基础。

（5）是构建浙江省美丽河湖新要求

对标“基本建成安全美丽的“浙江水网”框架，水利治理体系和治理能力现代化走

在全国前列，水利数字化改革全面推进，形成一批“重要窗口”水利标志性成果”的十四五期间浙江水利发展目标，奋力打造江河流域治理现代化的浙江经验、浙江样板、全国标杆。为全面建成人与自然和谐的全域幸福河湖，美丽河湖风景线、滨水产业发展带、安居乐业幸福网纵横交织、绵延，美丽浙江大花园的耀眼明珠人文水脉精彩纷呈，美誉度、影响力持续提升，主要江河流域幸福指数领先全国，幸福河湖成色十足。

“十四五”时期主要目标：一是全域推进美丽河湖建设。以“百江千河万溪”水美工程建设为主要抓手，辐射覆盖全省 92 个县（市、区）城市重点发展区块，夯实基础畅想幸福，全面织就一张具有浙江独特韵味底色的全域美丽河湖新格局。二是构建高品质幸福河湖网。根据浙江省地形地貌条件、水系特点和河湖资源禀赋情况，对标“重要窗口”及高水平建设新时代美丽浙江的要求，以八大流域干流及重要支流为主要脉络，以中小河流为次级网络，以湖泊水库为重要节点，重点培育一批能体现浙江河湖风情、彰显历史人文特色的河湖品质示范工程，河湖资产资源价值转换和路径不断完善，重要河湖生态流量监测实现全面覆盖，全域高品质幸福河湖网蓝图“骨架”基本绘就。最终实现八大流域干流、主要支流、重要湖泊及县域母亲河幸福河湖率先设建成幸福河湖，30 个以上县（市、区）完成幸福河湖试点县创建，覆盖辐射 60%以上美丽城镇，城乡居民 15 分钟亲水活动圈覆盖率达到 85%以上。

飞云江作为浙江省八大流域之一，是浙江省百江幸福河建设清单中的重要一项，规

划于 2025 年之前完成 76km 幸福河创建，2035 年完成 62km，治理河道完成达标堤防建设，生态化堤防改造，水环境安全整治，防汛通道贯通工程，滩林地修复，水源地涵养，水土流失防治，滨水绿道建设，滨水公园建设，新建水景观节点，亲水平台，打造水上交通旅游线，打造绿色内河航道线，新建水文化节点，打造水旅融合项目等美丽河湖建设内容。

建设飞云江“云江秀水”幸福生态廊道，首要任务是健全飞云江流域防洪体系，实施推进中下游堤防及河道治理工程，进一步减轻飞云江流域中下游马屿、陶山平原的防洪压力，使沿江高楼镇等主要城镇防洪标准达到 20 年一遇，补齐平阳坑段、陶山段、马屿段等薄弱环节堤段。

综上，瑞安市飞云江二期治理工程是补齐飞云江中下游防洪薄弱短板、提高流域防洪能力的重要措施；同时，堤防工程结合绿道建设，能够整合提升两岸风景名胜、乡村景点，共建生态休闲带、文旅景观带，能够充分利用飞云江的景观价值，发展水经济，推进飞云江流域综合开发、融合发展，打造温州东南“云江秀水片”。

1.4.2 工程任务和建设标准

（1）工程任务

本工程任务为防洪为主，结合排涝，兼顾改善水生态环境等综合利用。

为了保障飞云江干流沿江两岸人民生命财产和工农业生产等各项事业的安全，促进地区经济更快更稳的向 前发展，维护社会稳定，按规划实施飞云江干流治理工程。

（2）建设内容

飞云江干流治理工程考虑到资金安排及建设时序分为一二期，天井垟防洪堤（20 年一遇，9.68km）和仙降防洪堤（50 年一遇，21.37km）列为一期工程，一期工程已经进入竣工验收阶段。

飞云江二期桐田先期实施段已经进入报批阶段，不纳入本次工程。本次飞云江二期工程为飞云江干流治理工程的剩余堤段，主要包含平阳坑段、马屿梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦镇塔山至澄头段、白莲段。防洪保护人口 9.65 万人，保护耕地 6.91 万亩。

（3）分期实施方案

表 1.4-1　　瑞安市飞云江治理工程分期实施方案表

分期	堤段	主要保护对象	岸别	现有防洪能力（年）	规划防洪标准（年）	规划堤长（km）	工程治理长度（km）
一期	天井垟段	马屿镇、原曹村镇等	右	<10	20	9.65	9.68
	仙降段	仙降街道	右	<10	50	21.32	21.37
	一期小计		/	/	/	30.97	31.05
二期先行段	桐田段	桐浦镇桐田	左	<5	20	1.8	1.8
二期	平阳坑段	平阳坑镇	右	5～20	20	2.51	2.54
	马屿镇梅屿段	马屿镇梅屿	左	10～20	20	4.86	2.28
	陶山镇荆谷段	陶山镇荆谷	左	<10	20	10.8	5.12
	陶山镇碧山段	陶山镇碧山	左	<10	20	6.61	6.58
	桐浦镇塔山至澄头段	桐浦镇塔山、澄头	左	<10	20	2.60	2.55
	白莲堤	白莲村、白象村	左	<10	20	2.29	2.70
	本次二期建设小计		/	/	20	29.67	21.77

（3）工程建设标准

根据保护对象的重要性，保护建制镇防洪标准为 20 年一遇。本次飞云江二期工程主要保护范围为平阳坑镇、马屿镇梅屿、陶山镇和桐浦镇。

按照建制镇的标准进行设防，均为 20 年一遇防洪标准，与规划防洪标准相一致。排涝标准根据《治涝标准》（SL723-2016），本次保护范围属于一般重要性区域，采用 10 年一遇，村镇 24h 降雨 24h 排出不受淹，农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深。

1.4.3　工程规模

（1）工程建设内容

（1）水利部分：新建堤防 21.77km；新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166m，其中马上水闸（3 孔×4m）、河溪水闸（3 孔×5m）、渡头水闸（3 孔×5m）、浦底水闸（3 孔×5m）；新建管理房 1 处、面积 1100m^2，防汛仓库 5 处、总面积 400m^2。

（2）融合提升部分：新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。

（2）堤线布置

本次堤线拟定以《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015－2030 年）》、

《浙江省飞云江流域水利规划报告》、《浙江省飞云江流域防洪规划报告》和《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址～铁路桥段堤线调整专题研究报告》为依据，在现有规划堤线基础上，能宽则宽。最小控制堤距见表 1.4-2。

表 1.4-2　　瑞安市飞云江治理二期工程最小堤距统计表

堤防名称		堤防桩号（m）	控制最小堤距（m）	备注
平阳坑段防洪堤		平阳坑0+1210	410	堤防所在河段已经建设高速公路，结合高速公路和匝道进行布置调整
马屿镇梅屿段防洪堤		梅屿段0+565	280	对岸天井垟防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
陶山镇荆谷段防洪堤	飞云江干流	荆谷段0+1700	400	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
陶山镇碧山段防洪堤	碧山镇段	碧山段0+500	440	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
桐浦镇塔山至澄头段	洲渎段、塔山段和浦澄段	桐浦镇塔山至澄头段0+2546	675	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
白莲堤		白莲段0+2700	830	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施

（3）堤防和水闸工程规模

瑞安市飞云江治理设计洪水位根据洪水和潮水组合情况，每个频率计算两个工况：相应频率洪水遭遇平均偏不利的潮水过程、5 年一遇洪水遭遇相应频率潮水过程，取两个工况沿程外包水位作为推荐水位。飞云江治理二期工程堤防规模及设计洪水位见表 1.4-3。

表 1.4- 3　　瑞安市飞云江治理二期工程堤防规模表

堤段	起点	终点	岸别	本次堤防长度（km）	防洪标准（年）	设计洪水位(m)
平阳坑段	徐山村	外垟村	右	2.54	20	11.38~10.16
马屿镇梅屿段	柴下村	河溪水闸	左	2.28	20	7.68~6.61
陶山镇荆谷段	八甲村	金潮港汇合口	左	5.12	20	6.61～5.99
陶山镇碧山段	龟岩	桐田村	左	6.58	20	5.81～5.52
桐浦镇塔山至澄头	洲渎村	澄头村	左	2.55	20	5.52～5.41
白莲堤	白莲村	白象村	左	2.70	20	5.34～5.30
合计				21.77		

配套水闸规模拟定：各出口排涝闸门如下表 1.4-4。

表 1.4-4　　各片区水闸规模表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量（m^3/s）
1	平阳坑片	篁坑水闸	4	2.0	5.34	5.30	16.0
2		涵闸1	3	3.0	5.34	5.30	14.9
3		沙垟水闸	4	2.0	5.34	5.30	19.0
4		平阳坑水闸	8	0.5	5.39	5.30	66.6
5	马屿镇梅屿1	柴下水闸	3	2.0	5.53	5.49	13.7
6		杨家水闸	3	2.0	5.53	5.49	13.7
7	马屿镇梅屿2	霞岙水闸	3	2.0	4.14	3.87	17.4
8		冯渡水闸	3	2.0	4.14	3.87	28.1
9		马上水闸	12	0.5	4.14	3.87	112.5
10		马中水闸	3	1.0	3.74	2.71	22.5
11		河溪水闸	15	-1.0	4.20	3.62	208.8
12	陶山镇荆谷片	七甲水闸	3	1.0	3.45	2.88	8.5
13		沙垟2#水闸	3	1.5	3.49	3.08	13.8
14		农渠涵闸	3	2.0	3.43	2.65	13.2
15		沙垟下河闸	3	1.5	3.54	2.74	15.0
16		涵闸2	3	2.5	2.87	1.66	14.4
17		涵闸3	3	1.0	2.10	1.65	12.0
18		涂头前河闸	3	2.2	3.19	3.09	14.0
19	陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片	涵闸4	6	0.5	3.25	3.23	14.5
20		涵闸5	6	0.5	2.65	2.23	15.0
21		石埠水闸	6	1	3.05	2.12	28.6
22		龟岩水闸	3	1.5	3.94	3.62	5.9
23		碧山水闸	6	1	2.51	2.13	31.1
24		涂厂水闸	6	0	3.35	2.42	59.9
25		渡头水闸	15	0	3.25	2.56	202.1
26		洲渎水闸	6	0.5	3.38	2.71	48.4
27		塔山水闸	12	0.5	3.34	2.67	95.7
28		浦底水闸	15	-1.7	2.84	1.83	151.6
29	白莲片	下湾水闸	5	0	3.39	3.26	40.8
30		七国垟水闸	4	-1.5	3.39	3.26	24.1

1.5 工程布置及建筑物

1.5.1 工程等别和标准

根据《防洪标准》(GB50201-2014)、《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)、《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2017)，结合《浙江省飞云江水利综合规划》和《浙江省飞云江流域防洪规划》及区域社会经济地位的重要性等实际情况，确定各段堤防工程级别及防洪标准见表 1.5-1。堤防沿线交叉建筑物水闸级别按不低于相应堤防级别且设计防洪标准不低于堤防防洪标准为原则综合确定，各段堤防内交叉建筑物水闸级别及洪水标准见表 1.5-2。

表 1.5-1　　瑞安市飞云江治理二期工程各段堤防级别及洪水标准

序号	堤防分段	干流的左/右岸	级别	治理长度(km)	防洪标准【重现期：年】
1	平阳坑段防洪堤	右岸	4	2.54	20
2	马屿镇梅屿段防洪堤	左岸	4	2.28	20
3	陶山镇荆谷段防洪堤		4	5.12	20
4	陶山镇碧山段防洪堤		4	6.58	20
5	桐浦塔山至澄头段		4	2.55	20
6	潘岱白莲段防洪堤		4	2.70	20
	合计			21.77	

备注：工程治理长度合计 21.77km，设防标准均为 20 年一遇。

表 1.5-2　　交叉建筑物水闸级别及洪水标准

序号	各堤防段水闸（站）	级别	设计洪水标准【重现期：年】	校核洪水标准【重现期：年】
1	马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸	3	20	50
2	其余水闸	4	20	50

1.5.2 工程堤线布置

瑞安市飞云江治理二期工程位于温州市瑞安境内，整治范围自平阳坑至铁路桥，整治堤防长 21.77km，设计洪水标准为 20 年一遇。

调整后整治堤防长 21.77km，设计洪水标准为 20 年一遇。工程仍分为 6 段，飞云江干流右岸堤防有平阳坑段(长 2.54km，20 年一遇)；左岸堤防有马屿镇梅屿段防洪堤(长 2.28km，20 年一遇)、陶山镇荆谷段防洪堤(长 5.12km，20 年一遇)、陶山镇碧山段防洪堤(长 6.58km，20 年一遇)、桐浦塔山至澄头段(长 2.55km，20 年一遇)、潘岱白莲段防洪堤(长 2.70km，20 年一遇)。

依据相关规划，根据堤线布置原则，经堤线比选后，各段堤防布置如下：

1)平阳坑段防洪堤

平阳坑段堤线布置本次共分三段进行分析设计：

(1)沙垟水闸上游堤线基本按规划堤线布置；

(2)平阳坑水闸下游堤线考虑在规划堤线的基础上后退至 56 省道外侧(最大后退幅度约 100m)，紧贴 56 省道布置，因 56 省道路面高程略低于 20 年一遇设计洪水位，道路外侧农田田面高程均在 8m 以上，该方案可尽量利用 56 省道作为防汛道路，具有征地面积小、工程部分投资省和工程实施简单等特点；

(3)沙垟与平阳坑水闸之间的平阳坑镇区段，从沙垟水闸开始，向下游朝东南向与 S56 省道连接后，沿现状 S56 省道布置，从镇区穿过，至平阳坑公园，沿高速收费站路基边线与平阳坑水闸相连。防汛通道利用现状沿江东西路。

2)马屿镇梅屿段防洪堤

马屿镇梅屿段防洪堤位于飞云江干流左岸，起点为霞岙村，至终点八甲村粮站。堤线走向基本为东西向，沿飞云江左岸现状岸线布置，本次设计该段堤防堤线布置考虑在规划堤线的基础上后退，并利用现状沿岸道路进行路堤结合以减少征地及节约投资；霞岙村以东堤线因河道较窄采用堤线后退处理，堤线后退约 70~100m，。

3)陶山镇荆谷段防洪堤

陶山镇荆谷段防洪堤位于飞云江干流左岸，具体堤线布置如下：

该段防洪堤位于飞云江干流左岸，起点为八甲村粮站，向东南经八甲村、七甲村、仙篁竹村对岸、再向北至沙垟下村，因该段河道部分河段较窄，在树排头村、仙篁竹村和前林村对岸共三段采用堤线后退方案，最大后退幅度约 140m，防洪堤堤线布置在农田内，规划八甲村至七甲村段基本沿飞云江左岸现状堤线布置，该段堤防堤线布置考虑在规划堤线的基础上后退，并利用现状沿岸道路进行路堤结合，以减少征地及节约投资；从七甲村至金潮港出口局部利用现状道路形成防洪封闭。

4)陶山镇碧山段防洪堤

该段防洪堤位于飞云江干流左岸，起点为龟岩村后龟岩山脚，终点为陶山镇花井村，因该段河道中间转弯段河道较窄，而对岸为仙降街道，转弯段局部堤线根据规划要求后退布置，最大后退幅度约 200m，相应堤线布置在农田内，其余堤段均沿现状岸线布置。利用现状机耕路和现状 104 国道作为防汛通道。

5)桐浦塔山至澄头段防洪堤

桐浦塔山至澄头段防洪堤起点为陶山镇桐利村，终点为澄头村后岩下山脚，此段由两段堤防构成。规划堤线沿干流现状岸线布置，浦底水闸进行外移。本次堤轴线与水闸位置同规划布置，原水闸拆除。防洪堤轴线从西侧开始沿飞云江向东北方向连接至塔山水闸，再向东南侧至山脚下结束。第二段堤防由山脚下开始往东连接至浦底水闸，右侧堤防从浦底水闸开始沿飞云江干支流现状岸线布置至澄头村后岩下山脚。

6) 潘岱白莲段防洪堤

白莲段防洪堤起点为白莲村北侧下湾水闸，经白莲村、至飞云江铁路大桥。现状该段河宽较宽阔，堤线沿飞云江左岸原现状岸线布置，现状该段淤积较为严重。

1.5.3 主要建筑物

1.5.3.1 堤防设计

1)A 型堤防断面(斜坡式)

防洪堤堤顶宽 6m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，路面宽 5m，厚 11cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的宕渣垫层，堤身采用土方碾压填筑。

堤防迎水坡坡比 1:2，采用三维植被网草皮灌木护坡+混凝土框格梁护坡，坡脚设置 2m 高 C25 砼矮挡墙，挡墙采用松木桩基础，桩长 6m。

堤防背水坡坡比 1:2，采用三维植被网草皮灌木护坡，坡脚设 C25 砼排水沟。

A 型主要适用于平阳坑、马屿镇梅屿段及陶山镇荆谷段部分堤线距离现状河岸较远，且非房屋密集段。

荆谷段部分堤线，由于受到可研批复的轴线和征地红线等因素影响，部分 A 型断面坡脚超出红线，尤其是背坡坡脚，将背水坡整体由重力式挡墙替代。。

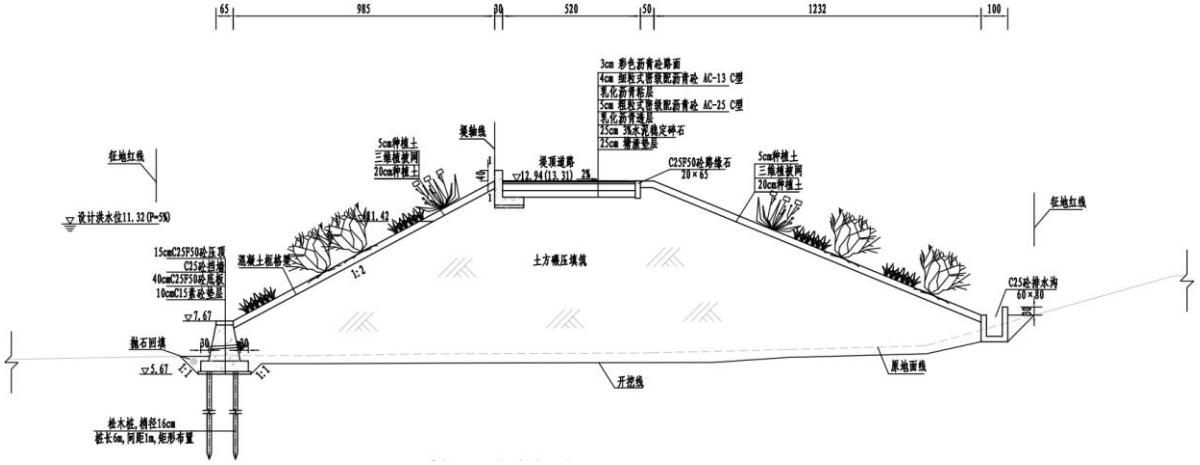


图 1.5-1　　A 型(斜坡式土堤)堤防断面

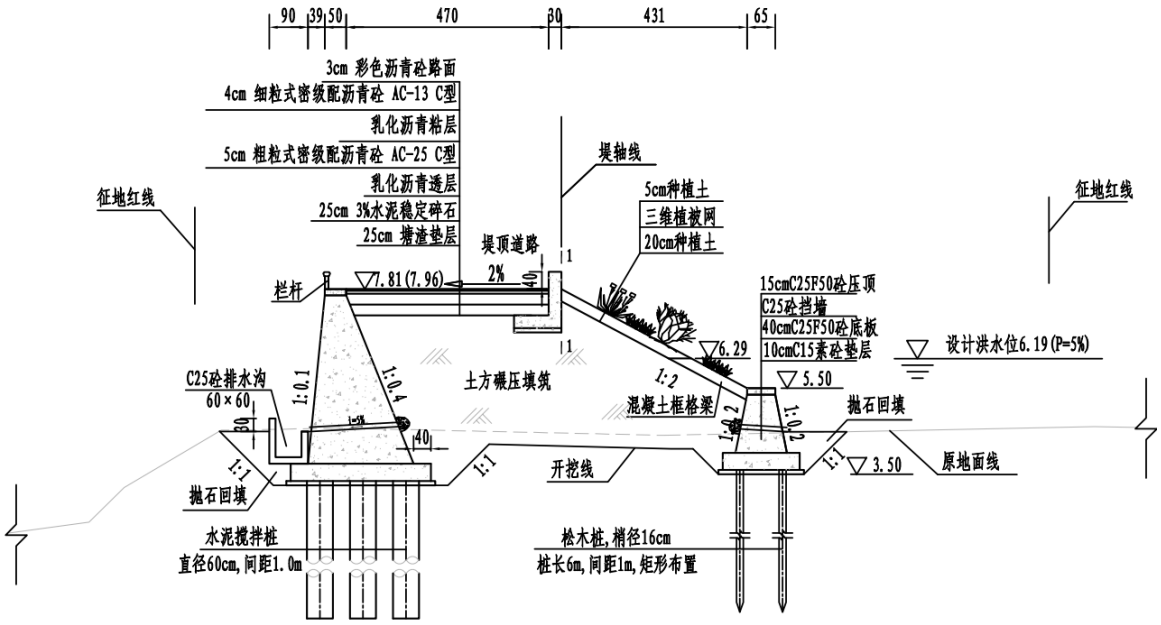


图 1.5-2　　A 型(斜坡式土堤)堤防断面-（荆谷段部分断面）

2)B 型堤防断面(斜坡式土堤+桩式混合护岸)

防洪堤堤顶宽 6m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，路面宽 5m，厚 11cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的宕渣垫层，堤身采用土方碾压填筑。

堤防迎水坡坡比 1:2，采用三维植被网草皮灌木护坡+混凝土框格梁护坡，坡脚设置 2m 高 C25 砼矮挡墙，挡墙采用松木桩基础，桩长 6m。

堤防背水坡坡比 1:2，三维植被网草皮灌木护坡，坡脚设 C25 砼排水沟。

该类型防洪堤沿河岸布置，需设置护岸防冲，采用桩式(灌注桩)+坡式(软体排+砼四面六边体框架)混合护岸，灌注桩深入土层一定深度以维护堤防的整体稳定，灌注桩以外采用软体排+砼四面六边体框架进行防冲促淤。

在岸坡 2.0m 高程左右处设密排砼灌注桩作为防冲抗滑桩，灌注桩直径 80cm，间距 1.0m，桩长 30.5m；顶部设置冠梁，梁顶高程 2.5m。梁以上至堤脚边采用块石理砌护坡，块石理砌护坡面层为 50cm 的理砌块石，下设一层经编土工布(10t/m^2)。

桩前坡式护岸底层为充砂袋软体排，软体排上抛 30cm 厚袋装宕渣，再抛 60cm 厚块石垫层，抛石量考虑 30%沉损系数。表面抛砼四面六边体框架压重促淤，河底水平段铺设软体排长 25m，砼四面六边体框架抛一层；桩后至 3.0 高程采用块石理砌护岸，下设袋装宕渣 30cm，并设砼地梁封端。

四面六边体框架采用 C30 混凝土预制，框杆横断面尺寸为 0.12m×0.12m，框杆长

1.2m，中间预埋 φ12 钢筋，单块重量约 260kg。

B 型主要适用于八甲村凹岸段，堤线距离河岸有一定距离，且为非房屋密集区段。

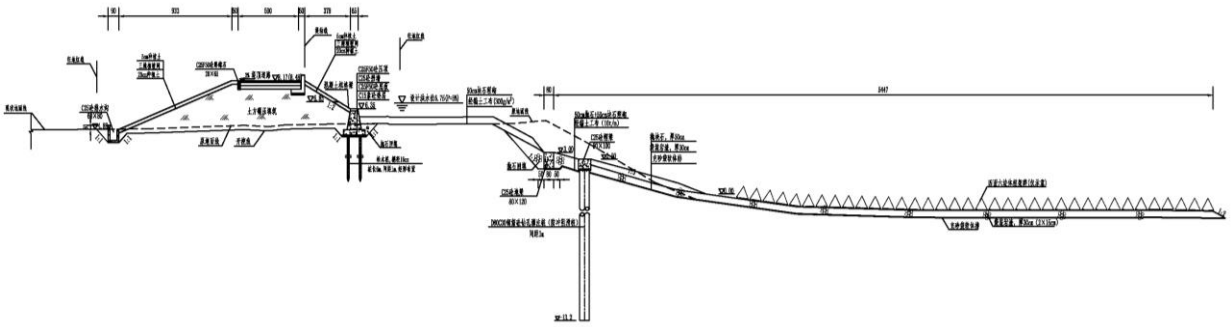


图 1.5-3　　B 型(斜坡式土堤+桩式混合护岸)堤防断面

3)C 型堤防断面(复合式土石混合堤结构)

防洪堤堤顶宽 7m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，路面宽 5.7m，厚 11cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的宕渣垫层。

堤防迎水侧上部设 C25 砼挡墙，墙底设厚 130cm 的宕渣垫层，墙前设 3.0m 宽一级平台，下部迎水坡坡比 1:3，采用 35cm 厚干砌块石护坡，干砌块石护坡下设 30cm 厚碎石垫层和 15kN/m^2 无纺土工布，坡脚设置 C25 砼大方脚；墙后堤身为宕渣填筑和土方填筑，宕渣填筑体与土方填筑体交接面边坡为 1:1，中间设 15kN/m^2 无纺土工布。

堤防背水坡坡比 1:2，采用草皮+低灌木绿化，坡脚设 C25 砼排水沟。

C 型主要适用于陶山镇碧山段及潘岱白莲段部分堤线距离河岸较远，且非房屋密集段。

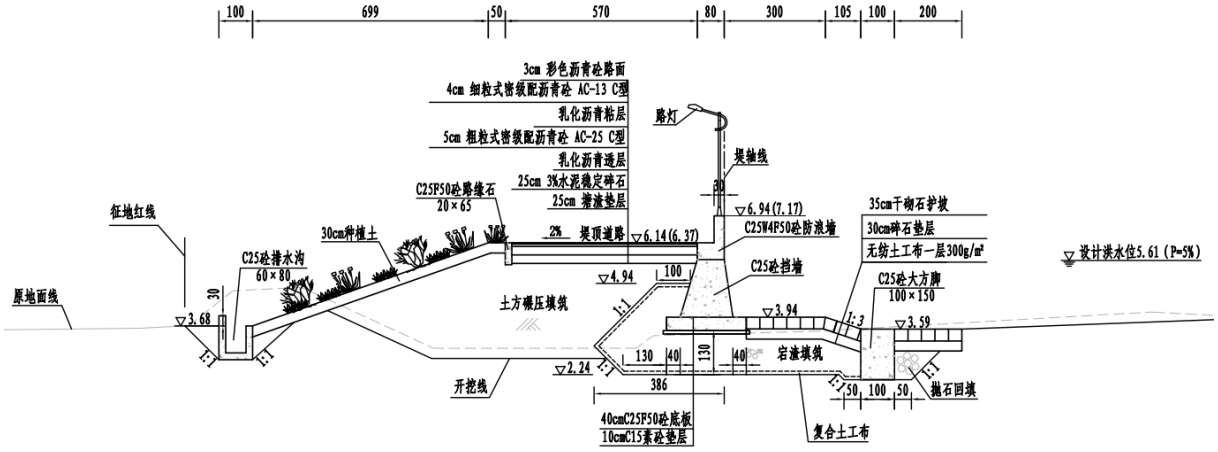


图 1.5-4　　C 型(复合式土石混合堤结构)堤防断面

4)D 型堤防断面(复合式土石混合堤+桩式混合护岸)

防洪堤堤顶宽 7m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥

青砼路面，路面宽 5.7m，厚 11cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的宕渣垫层。

堤防迎水侧上部设 C25 砼挡墙，墙底设厚 130cm 的宕渣垫层，墙前设

3.0m 宽一级平台，下部迎水坡坡比 1:3，采用 35cm 厚干砌块石护坡，干砌块石护坡下设 30cm 厚碎石垫层和 15kN/m 无纺土工布，坡脚设置 C25 砼大方脚；墙后堤身为宕渣填筑和土方填筑，宕渣填筑体与土方填筑体交接面边坡为 1:1，中间设 15kN/m^2 无纺土工布。

堤防背水坡坡比 1:2，采用草皮+低灌木绿化，坡脚设 C25 砼排水沟。该类型防洪堤处于凹岸顶冲段，需设置护岸防冲，采用桩式(灌注桩)+坡式(软体排+砼四面六边体框架)混合护岸，灌注桩深入土层一定深度以维护堤防的整体稳定，灌注桩以外采用软体排+砼四面六边体框架进行防冲促淤。

在岸坡 2.0m 高程左右处设密排砼灌注桩作为防冲抗滑桩，灌注桩直径 80cm，间距 1.0m，桩长约 14m；顶部设置冠梁，梁顶高程 2.5m。梁以上至堤脚边采用块石理砌护坡，块石理砌护坡面层为 50cm 的理砌块石，下设一层经编土工布(10t/m^2)。

桩前坡式护岸底层为块石+充砂袋软体排，软体排上抛 30cm 厚袋装宕渣，再抛 60cm 厚块石垫层，抛石量考虑 30%沉损系数。表面抛砼四面六边体框架防冲促淤，软体排河底水平段长 25m，砼四面六边体框架抛一层；桩后至 3.0 高程采用块石理砌护岸，下设袋装宕渣 30cm，并设砼地梁封端。

四面六边体框架采用 C30 混凝土预制，框杆横断面尺寸为 0.12m×0.12m，框杆长 1.2m，中间预埋 φ12 钢筋，单块重量约 260kg。

D 型主要适用于陶山镇碧山段澄头村凹岸，为非房屋密集区段。

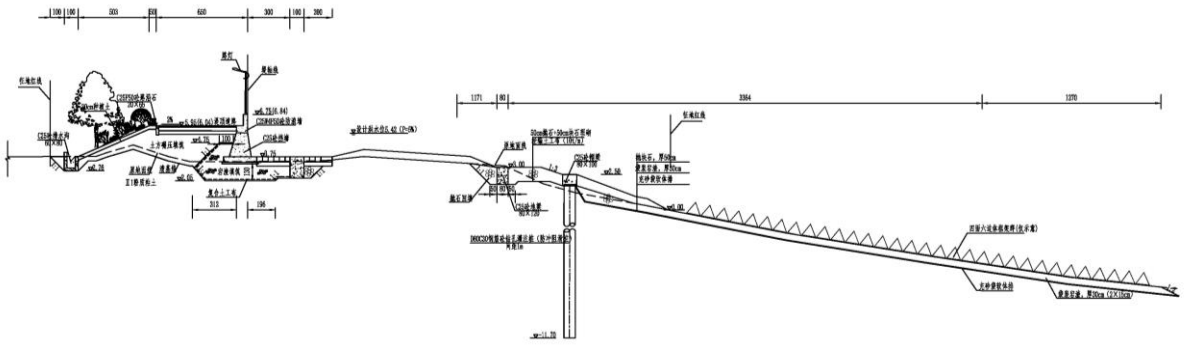


图 1.5-5　　D 型(复合式土石混合堤+桩式混合护岸)堤防断面

5)E 型堤防断面(直立式轻型框架)

直立式轻型框架式堤防，堤顶宽 4m，采用 C30 砼框架梁板结构。堤身底部基础为

65cm 厚钢筋混凝土底板，底板以下基础处理采用 φ80cmC30 砼灌注桩，横向间距 2.4m，纵向间距 2.0m，矩形布置，桩端深入持力层 1.6m。

框架结构底板以上通过框架柱或者挡水板与顶板(梁)连接，框架结构堤背为 C30 砼墙，墙后为 2m 宽绿化带，采用草皮+低灌木绿化，绿化带外设防汛道路。防汛道路宽度 3m，道路采用厚 11cm 的沥青砼路面，下设厚 20cm 的水泥稳定碎石层和厚 50cm 的塘碴垫层，道路内侧设 C25 砼排水沟。

E 型主要适用于陶山镇碧山段桐田沙凹岸和潘岱白莲首末段部分房屋密集的堤段。

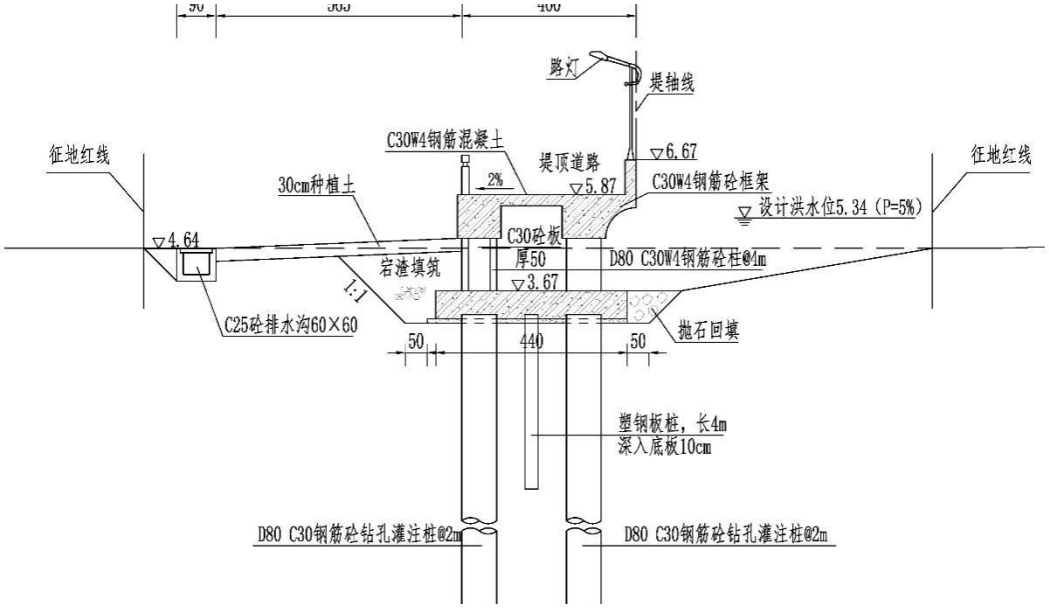


图 1.5-6　　E 型(直立式轻型框架)堤防断面

6)F 型堤防断面(直立式轻型框架+表面防冲护岸)

直立式轻型框架式堤防，堤顶宽 4m，采用 C30 砼框架梁板结构。堤身

底部基础为 70cm 厚钢筋混凝土底板，底板以下基础处理采用 φ80cmC30

砼灌注桩，横向间距 2.4m，纵向间距 2.0m，矩形布置，桩端深入持力层 1.6m。

框架结构底板以上通过框架柱或者挡水板与顶板(梁)连接，框架结构堤背为 C30 砼墙，墙后为 2m 宽绿化带，采用草皮+低灌木绿化。

该类型防洪堤处于河流凹岸顶冲段，需设置护岸防冲，采用坡式(软体排+砼四面六边体框架)护岸。

岸坡 1.0m 高程处设置 C25 砼地梁，梁顶高程 1.0m；地梁以上至轻型结构底板边采用块石理砌护坡，块石理砌护坡面层为 50cm 的理砌块石，下设厚 50cm 的抛石和一层经编土工布(10t/m^2)。

地梁以下坡式护岸底层为块石+充砂袋软体排，软体排上抛 30cm 厚袋装宕渣，再抛 60cm 厚块石垫层，抛石量考虑 30%沉损系数。表面抛砼四面六边体框架防冲促淤，下设袋装宕渣 30cm，软体排水平段长 25m，砼四面六边体框架抛一层。

四面六边体框架采用 C30 混凝土预制，框杆横断面尺寸为 0.12m×0.12m，框杆长 1.2m，中间预埋 φ12 钢筋，单块重量约 260kg。

F 型主要适用于陶山镇碧山段龟岩村凹岸堤线靠近河岸布置堤段。

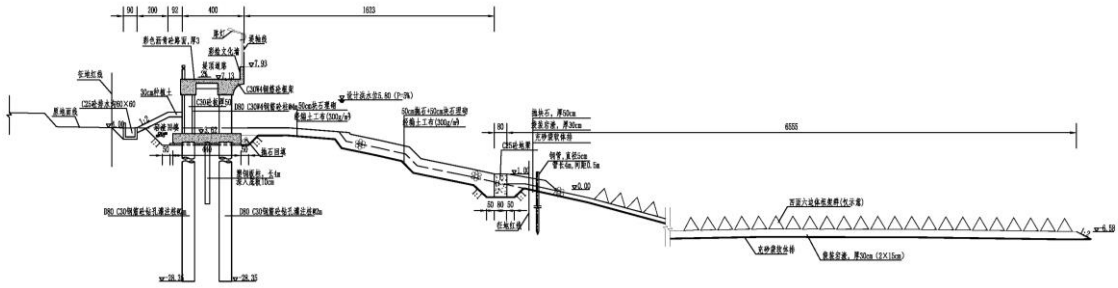


图 1.5-7　　F 型直立式轻型框架+表面防冲护岸堤防断面

8) G 型堤防断面(利用现状道路+桩式防冲护岸)

本方案堤防内侧水泥路面拓宽约 11m，堤顶采用 C25 砼挡墙，内侧设人行步道，宽 3.0m。堤防迎水侧坡面清表后采用 C25F50 砼框格梁植草，厚 30cm，坡面绿化，坡比 1:2，下设合金钢网垫垫层兼顾防冲。坡脚设 C25 砼大方脚，截面尺寸 80cm×60cm，外侧设双排 D100C30 砼灌注桩垂直防冲密排布置。C25 挡墙下设 Φ60@100 水泥搅拌桩。

G 型主要适用于平阳坑镇区集镇拆迁段。

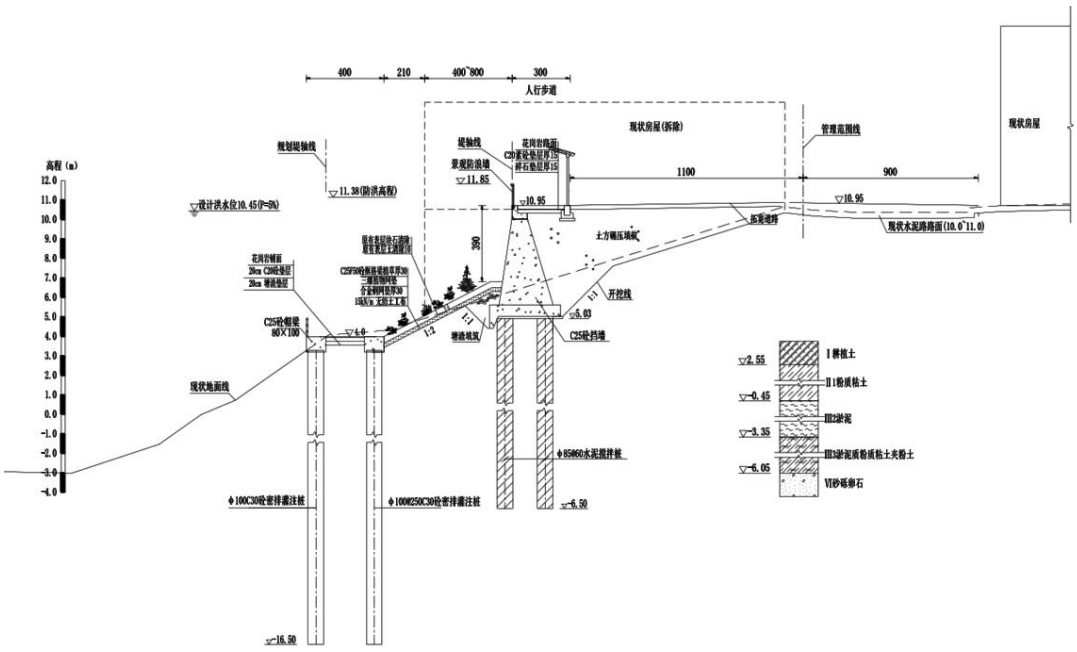


图 1.5-8　　G 型(利用现状道路加宽)堤防断面

7)H 型堤防断面(直立式防洪墙堤防断面)

防洪堤堤顶宽 5.5m，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，厚 11cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的塘碴垫层。道路内侧设 C25 砼排水沟。

堤防迎水侧设 C25 砼悬臂式挡墙，墙后堤身为土方填筑。

道路背水侧与现状地形衔接采用坡比 1:1。

H 型主要适用于平阳坑段瑞安市平阳坑制革厂位置局部堤段。

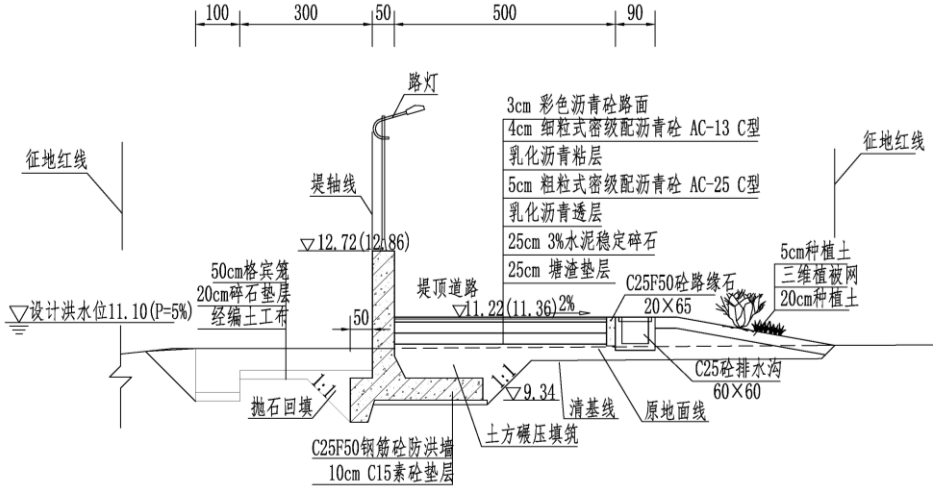


图 1.5-9　　H 型堤防断面(直立式防洪墙堤防断面)

1.5.4　交叉建筑物

根据瑞安市飞云江治理二期工程堤防堤线总体布置，各堤段为了形成封闭的防洪排涝体系，堤防沿线河道叉口处需设水闸建筑物，水闸规模根据该区块的排涝分析后确定，渡头水闸规模根据《浙江省飞云江流域(温州段)综合规划报告(2015－2030 年)》确定。瑞安市飞云江治理二期工程规划新建/改建水闸如下表 1.5-3。

表 1.5-3　　飞云江治理二期沿线规划新建/改建水闸汇总表

片区	水闸编号	水闸名称	闸宽 (m)	闸底高程 (m)	备注
平阳坑片	1	篁坑水闸	1孔×4m	2.0	新建
	2	涵闸1	1孔×3m	3.5	新建
	3	沙垟水闸	1孔×4m	2.0	新建
	4	平阳坑闸	2孔×4m	0.5	新建
马屿镇梅屿片	5	柴下水闸	1孔×3m	2.0	新建
	6	杨家水闸	1孔×3m	2.0	新建
	7	霞岙水闸	1孔×3m	2.0	改建

片区	水闸编号	水闸名称	闸宽(m)	闸底高程(m)	备注
马屿镇梅屿片	8	冯渡水闸	1孔×3m	2.0	改建
	9	马上水闸	3孔×4m	0.5	新建
	10	马中水闸	1孔×3m	1.0	改建
	11	河溪水闸	3孔×5m	-1.0	新建
陶山镇荆谷片	12	七甲水闸	1孔×3m	1.0	改建
	13	沙垟2#水闸	1孔×3m	1.5	改建
	14	农渠涵闸	1孔×3m	2.0	改建
	15	沙垟下河闸	1孔×3m	1.5	改建
	16	涵闸2	1孔×3m	2.5	新建
	17	涵闸3	1孔×3m	1.0	新建
	18	涂头前河闸	1孔×3m	2.2	新建
	19	涵闸4	2孔×3m	0.5	新建
	20	涵闸5	2孔×3m	0.5	新建
	21	石埠水闸	2孔×3m	1	改建
陶山镇碧山片	22	龟岩水闸	1孔×3m	1.5	改建
	23	碧山水闸	2孔×3m	1	新建
	24	涂厂水闸	2孔×3m	0	改建
	25	渡头水闸	3孔×5m	0	新建
	26	洲渎水闸	2孔×3m	0.5	新建
	27	塔山水闸	3孔×4m	0.5	改建
	28	浦底水闸	3孔×5m	-1.7	改建
白莲堤	29	下湾水闸	1孔×5m	0	改建
	30	七国垟水闸	1孔×4m	-1.5	改建

说明：涵闸 4、5 为穿温州绕城高速公路西南线的防洪封闭配套水闸(一孔排水、一孔通行),各配套一孔 3m 作为交通用闸门，过水闸门宽度为 3m。高速公路管理范围为路脚外 30m。表格不包含陶山镇荆谷片 3 座旱闸，旱闸均为 1 孔×5m，底高程 3.30m，均为新建。

水闸闸址选择的合理与否对工程的运行安全、施工难易、工程造价至关重要。闸址的布置需充分考虑水闸内河侧河道走向布局、周边地形地质情况、政策处理难易以及外江侧洪潮流等因素，其确定原则如下：

（1）尽可能靠近外江堤防，且闸址泓滩冲淤变化较小、上游河道有足够蓄水容积的

地点。

（2）闸址宜选择在靠近主涝区和容泄区的堤防线上，排涝出水口应有良好的出水条件，排水条件顺畅，避免建在岸崩或淤积严重的河段。

（3）闸址的征迁方案的选择应遵循征用土地及拆迁房屋较少且有利于安置及社会稳定的原则，并与整体规划相适应。

（4）闸址的选择应有利于生态环境保护和美化。

（5）闸址的选择应综合考虑地形、地质、电源、堤防布置、对外交通、材料来源、场地布置、基坑排水、施工水电供应及建成后工程管理维修和防汛抢险等条件。

闸址选择根据以上拟定原则，并结合现场详细踏勘及航拍图，对每座水闸闸址进行布置。

水闸闸室布置应根据水闸挡水,泄水条件和运行要求，结合考虑地形,地质等因素,做到结构安全可靠,布置紧凑合理,施工方便,运用灵活,经济美观。

本工程堤防沿线水闸承担蓄水、防洪、排涝的作用。为降低闸门高度，减少闸门的启闭力，节省投资，宜采用胸墙式结构。结合温州瑞安市本地经验，本次设计沿线 30 座水闸（涵闸）均采用带胸墙的水闸结构型式。

水闸主要建筑物包括：由内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽闸室段、外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段组成。

根据工程沿线各闸处地质条件，综合比较温州当地水闸软土闸基处理的常用措施，并吸取飞云江治理工程一期的经验，综合考虑当地成熟的施工技术及施工工期的要求，以及飞云江治理工程二期可研的推荐，本次初设选用钻孔灌注桩方案。

1.5.5 专项提升工程

1.5.5.1 概述

近年来，随着经济快速发展，城镇发展开始注重对滨水区域进行开发建设，同时人们对于城镇滨水公共开放空间的需求也日益提升，对其系统性的研究，将能够有效缓解滨水区的交通压力，并有助于形成有当地城镇文化特色的滨水空间，构建乡村生态网格，整合周边开放空间，建立稳定生态系统。同时对提升滨水区域的整体形象，提高城镇的整体竞争力有重要意义。

1.5.5.2 设计依据

《园林基本术语标准》（CJJ/T91-2002）

《城市绿地分类标准》（CJJ/T85-2010）

《风景园林图例图示标准》（CJJ/T171-2012）

《城市道路绿化规划与设计规范》（CJJ75-97）

《城市园林绿化评价标准》（GB/T50563-2010）

《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB50137-2011）

《城市绿地设计规范》（GB50420-2007（2016 版）

《城市公共设施规划规范》（GB50442-2018）

《城市园林绿化工程施工及验收规范》(DB11/T212-2013)

《公园设计规范》（CJJ 48-92）

《城市绿化工程施工及验收规范》（CJJ／T 82—99）

《浙江省生态绿道网规划》(2012-202 年)；

《浙江省生态绿道规划设计技术导则》；

《防洪标准》 GB50201-2014；

《城市道路绿化规范与设计规范》 CJJ75-97；

《城市绿地分类标准》 CJJT85-2002；

《城市防洪工程设计规范》 GB/T50805-2012；

1.5.5.3 项目概况

该项目位于温州瑞安市境内，整治范围自平阳坑至铁路桥，按照分片设防的原则，共布置 6 段堤防，分别为平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段及潘岱白莲段。在堤防的安全基础上对现状进行景观改造提升。利用乡土植物进行植物景观的营造能够保证景观的稳定性，打造与当地自然及人文环境相协调的植物景观，同时也有利于对本土生态环境的修复与保护。江岸沿途有多样的自然景观，包括支流、沟渠、水塘、农田，有多样的生物栖息地，有丰富的植被资源。将场地的道路、植物、动物、水系、地形综合考虑，将道路与周边景观结合，划分景观互动区域与重要节点。

1.6 机电及金属结构

1.6.1 电气

本工程新建30座水闸、1处管理房、4处便民服务点、5处防汛仓库，用电负荷均为0.4kV低压负荷。且由于各水闸的工作闸门具备防洪排涝的功能，确定各工作闸门为二

级负荷，水闸其他用电负荷为三级负荷。管理房为本工程的集中控制中心，要求较高的供电可靠性，负荷等级为二级。仓库、驿站用电负荷主要为照明，按三级负荷考虑。

依据负荷分级、负荷容量以及负荷分布位置，确定供电方案。由于本工程覆盖范围广，用电负荷位置分散，考虑供电的经济性及可靠性，拟将低压供电范围（500m）内的水闸、建筑物划分为1个供电区域。每个供电区域需自附近10kV配电网“T接”1回10kV线路作为主供电源，并设置1台柴油发电机组作为备用电源。其中，仓库、驿站用电负荷较小，直接由附近引接1回0.4kV低压线路供电。

本工程各供电区域10kV侧均采用线路—变压器组接线形式，0.4kV侧采用单母线接线形式，馈出回路采用辐射式供电方式。柴油发电机与0.4kV主供电源间设置双电源切换开关，电网中断供电时，可手动切换至柴油发电机供工作闸门用电。

为便于水闸的运行管理，每座水闸均配置PLC现地控制单元（LCU），负责工作闸门的集中控制和监视，各闸门LCU接入本工程信息化系统。且在各水闸处均设置视频监视摄像机，以便于获取现场图像信息，同时为监控系统运行维护、突发事件取证等应用提供视频监视手段。

1.6.2 金属结构

本工程金属结构主要布置 30 座水闸、3 座旱闸处。水闸分布在不同片区，其中平阳坑片 4 座、马屿镇梅屿片 7 座、陶山镇荆谷片 10 座(及旱闸 3 座)、 陶山镇碧山片 7 座、白莲堤片 2 座。水闸均为典型布置，工作闸门前后各设置一道检修闸门。工作闸门主要承担挡潮及排涝功能，检修闸门用于工作闸门、埋件及闸室的检修。本工程金属结构设备共包括：平面钢闸门 107 扇、旱地一字门 3 扇、固定电动葫芦 40 台，固定卷扬机 47 台，单轨移动启闭机 20 台，总工程量为 1902t。各水闸、旱闸汇总见表 6.3-1，金属结构工程量及特性表见 6.3-6~6.3-11。

1.7 消防设计

本工程消防设计坚持“预防为主、防消结合”和“确保重点，兼顾一般，便于管理，经济实用”的工作方针，在重点部位设置必要的消防设备，安装防雷、防静电装置等，布置必要的防排烟系统及疏散通道，以自防自救为主，外援为辅，采取积极可靠的措施预防火灾的发生，一旦发生火灾则尽量限制其范围，并尽快扑灭，减少人员伤亡和财产损失。

消防设施的配置以消防自救为主，外援为辅。在工程总体布置中消防车道、防火间距、安全出口均满足规范要求。对可能发生火灾的场所，在建筑物和设备布置、安装等

方面采取有效的预防措施，以减少火灾的发生，并设置灭火器等设备，以保证万一火灾发生时，可以迅速灭火或限制火灾范围，将人员伤亡和财产损失减少到最低程度。

选用的消防设备均须安全可靠、使用方便、技术先进、经济合理，并满足本工程中的特殊要求。所选用的产品均应为经国家有关产品质量监督检测部门检验合格的产品。

设计方案

根据《水利水电工程设计防火规范》对每个闸室进行消防总体设计，以达到有效预防和减少火灾危害的要求。

沿线闸站均为地面建筑物，闸站内房间任何一点，均可以通过疏散楼梯或者安全出口撤离，均满足安全疏散的要求。因各闸站面积均不大，因此采用一些移动消防设施即可。

在各闸站适当布置一定数量 MF/ABC4 磷酸铵盐干粉灭火器，柴油发电机房位置布置一处消防砂箱。

电缆防火除了采取封、堵、涂、隔、包等阻燃措施外，动力电缆、控制电缆都要分层排列敷设，并采用耐火极限不低于 0.5h 的隔板分隔。电缆穿越低压配电屏等的孔洞，在施工完成后均要采用防火堵料严密封堵。

各房间对外的管沟、孔洞、应采用非燃烧材料堵塞。

水闸启闭机房消防室内配置 2 具 MF/ABC4 型手提式磷酸铵盐干粉灭火器。

房间对外的管沟、孔洞、应采用非燃烧材料堵塞。

电缆及电缆沟消防

（a）高低压电力电缆、控制电缆及通信电缆均分开敷设。

（b）电缆桥架及电缆沟内各层间和电力电缆与控制电缆、通信电缆间均加设耐火隔板；

（c）为有效阻止电缆火灾延燃，电力电缆皆选用阻燃电缆；

（d）所有电气柜、盘（屏）的底部在楼板上预留电缆孔洞，在电缆敷设完成后，均采用防火材料封堵。电缆孔洞的封堵、要根据孔洞的大小选择不同的防火材料，比较大的孔洞选用耐火隔板、阻火包和有机防火堵料封堵，小孔洞选用有机防火堵料封堵。

（e）电缆穿入有防火要求房间的墙壁、楼板的孔洞，均用防火材料封堵。

（f）电缆数量较多的地点设置移动式灭火器。

（g）电缆沟主要采用阻火墙的防火方式，将沟分成若干阻火段，按照规范要求，结合泵站实际情况设置若干阻火墙，用来缩小事故范围、减少损失。电缆沟内阻火墙采用了成型的电缆沟阻火墙和有机堵料相结合的方式封堵。

1.8 施工组织设计

1.8.1 施工条件

瑞安市飞云江治理二期工程位于浙江省瑞安市境内，距离温州市区约 40km，沈海高速、104 国道、330 国道、56 省道及甬台温铁路、东南沿海客运专线经过温州。

该工程具有水路、公路及铁路联运条件，对外交通便利。

1.8.2 施工导流

本工程涉及导流建筑物包括堤防工程和水闸工程。堤防工程整治范围自平阳坑至铁路桥，整治堤防长度 21.77km。水闸工程为堤防沿线共布置交叉建筑物闸站 33 座，其中有 3 座闸为旱闸，常年无水，不需要设计导流。

1.8.2.1 堤防工程导流

堤防工程整治范围自平阳坑至铁路桥，整治堤防长度 21.77km。本工程考虑到本地区平原河网水位相差不大的特性，为节省投资，堤防围堰挡水标准按平均高潮位设计，本堤防平均高潮位 2.50m 以下均以抛石填筑和软体排，本地落潮历时远远大于涨潮历时，工程施工采用候潮施工，无需布置围堰。

1.8.2.2 水闸工程导流

水闸工程为堤防沿线共布置交叉建筑物闸站 33 座，其中有 3 座闸为旱闸，常年无水，不需要设计导流。

水闸工程利用非汛期 10 月 16 日至次年 4 月 15 日施工。马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸过闸流量大于 100m^3/s，综合考虑此 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸建筑物级别为 4 级。根据《水利水电工程施工组织设计规范》（SL303-2017）第 2.2.1 条，导流建筑物级别为 5 级。围堰采用当地材料，即均质土围堰，选择导流标准为 5 年一遇洪水重现期。导流建筑物级别为 5 级，相应土石类导流建筑物设计洪水重现期为 10～5 年，结合本工程的水文特性、工程规模、施工条件和失事后果，确定施工期洪水重现期为 5 年一遇。

导流采用分期围堰和一次拦截导流方式，分期围堰方式，沿现状河道修筑横向、纵向围堰，待一侧河道主体工程修筑完成后，再施工另一侧主体工程，待河道内主体工程施工完毕后，进行围堰拆除。一次拦截导流方式，垂直于沿河岸走向布置围堰，在围堰的保护下进行施工，施工完毕后拆除围堰。

1.8.3 主体工程施工

飞云江防洪堤主要有以下项目。

1)土方开挖

土方开挖采用 1~2m³反铲挖掘机挖，由 8~12t 自卸汽车运至本身堤防填筑或运至临时堆场堆放后用于堤身填筑。

2)清表土方开挖

土方开挖采用 1~2m³反铲挖掘机挖，部分由 12~15t 自卸汽车运至临时堆场用于种植土回填，部分由 15t 自卸汽车运至弃渣场弃渣。

3)碎石及石渣垫层

碎石及石渣料在市场购买，由 8~12t 汽车运至施工点，采用人工铺设、平整。

4)堤身填筑

堤防填筑料部分利用开挖土方，由 1~2m³挖掘机在临时堆场挖，8~12t 自卸汽车运输上堤填筑，白莲及碧山段不足部分利用飞云街道垟西村料场购买剥离层中合格料；其他堤段不足部分在堤前滩地开挖后运输上堤填筑，履带式拖拉机或压路机压实，边角处采用蛙式打夯机夯实。

5)种植土回填

种植土料在临时堆场开挖，由 1~2m³挖掘机挖，8~12t 自卸汽车运至堤身用于填筑，人工整平。

6)底板等砼浇筑

砼采用商品砼，搅拌车运送至现场，泵送入仓，振捣器振捣密实。

7)砼灌注桩

砼灌注桩施工工艺：施工准备→定孔位→埋设护筒→钻机就位→泥浆固壁→造孔清孔→终孔验收→吊放钢筋笼→下导管→砼浇筑→钻机移位。采用 XJ-100 型回旋钻机造孔，遇孤石，采用冲击钻造孔。5t 卷扬机配合扒杆吊装钢筋骨架，直升导管法灌注砼，砼由 0.4m³拌和机拌制，1t 机动翻斗车运送至槽孔边，直接向导管输送，砼浇筑需保持连续性。砼面应均匀上升，上升速度应不小于 2m/h，导管埋深不小于 1.0m。

8)高压旋喷桩

施工程序及方法：施工准备，场地平整→孔位定位并埋设孔口管→钻机就位→钻孔至设计深度→旋喷高压浆液或高压水气流浆体→同时提升旋喷管直至桩顶高程→向桩中空穴进行低压注浆，起拔孔口管→转入下一孔位施工。

9)浆砌块石挡墙

块石自飞云街道垟西村石料场购买后，由 8~12t 自卸汽车运至工地附近后，人工抬运到施工点，人工砌筑。砂浆采用 0.4m³拌和机拌制砂浆，人工推双胶轮车运送。砂浆应随拌随用，使用中如发现泌水现象，则应在砌筑前再次拌和。砌筑要求平整、稳定、密实、错缝。块石要求新鲜、完整无风化。

10)砼四面六边体

砼四面六边体在预制场预制，由 8~12t 自卸汽车运至临时码头，通过驳运至工程区抛填。

11)抛石

石料在市场购买，水下部分采用船运至施工点后进行抛投，挖机理砌；水上采用自卸汽车运至施工点抛填。

12)软体排铺设

软体排在市场购买后，通过船运至施工点。施工时采用铺排船进行铺排施工。

1.8.4 施工总布置

本工程施工总布置采取分散分片与相对集中相结合的原则进行规划布置，遵循因地制宜，有利生产、方便生活、安全可靠、易于管理，注重环境保护、减少水土流失，充分体现人与自然和谐相处、经济合理的原则。

1)根据工程分布情况，河道施工临时设施拟沿线布置；水闸施工临

时设施拟集中布置于附近交通便利地区。

2)水、电系统

施工用水：施工生产用水取用内河水，生活用水可接用当地自来水。

施工供电：采用电网电。沿线基本有高压线架设经过。工程的施工用电主要为回旋钻用电，拟在堤防沿线布置 15 台 50kVA 变压器，并在堤防灌注桩施工段及水闸位置共布置 10 台 200kVA 变压器，堤防施工用电接用电网电或者布置柴油发电机发电。并在堤防配备 80kW~120kW 柴油发电机组 7 台。

3)土方平衡

本工程的土方工程量较大，本着对开挖料和弃料能充分利用的部分尽可能利用，尽量不征或少征土地的原则，进行了就近土石方平衡和弃渣规划。

根据本工程特点各建筑物特点，运输便利，从就近区域调配或就近取土。其他建筑

物沿线就近取土，总弃方量 34.91 万 m^3。

本工程总弃方量 34.91 万 m^3，本阶段采用与飞云江一期及二期可研阶段一致的方案，将工程弃渣放置在料场内回填。1#土料场位于七甲村东南七甲水闸以西河滩，2#土料场位于沙垟 2#水闸和沙垟下河闸之间的滩地，3#土料场位于石埠村东江边，4#土料场位于下大屋村南。

4)施工占地

施工占地主要包括临时堆场、辅助企业加工厂、临时办公及生活福利设施、仓库等其他零星临时设施，共需占地约 55.51 万 m^2。辅助企业、临时办公及生活福利等施工临时设施占地约 6.83 万 m^2，施工道路占地 13.76 万 m^2，弃渣场占地 34.91 万 m^2。

1.8.5 施工总进度

施工进度主要分为四期，即工程筹建期、工程准备期、主体工程施工期及工程完建期。工程筹建期不包括在总工期内，主要完成拆迁等政策处理、施工招投标等工作。为保证本工程的顺利实施，需提前完成有关工程筹建期工程，需提前完成有关工程筹建期工程，筹建期约 6 个月。

本工程分为以下是各段具体的工程进度计划：

平阳坑段，工程准备期 1 个月，主体工程施工期 18 个月，完建期 1 个月，工程总工期 20 个月。工程施工从第二年的 9 月初到第四年 4 月底结束。

马屿镇梅屿段，工程准备期 1 个月，主体工程施工期 18 个月，完建期 1 个月，工程总工期 20 个月。工程施工从第二年的 9 月初到第四年 4 月底结束。

陶山镇荆谷段，工程准备期 1 个月，主体工程施工期 30 个月，完建期 1 个月，工程总工期 32 个月。工程施工从第一年的 10 月初到第四年 5 月底结束。

陶山镇碧山段，工程准备期 1 个月，主体工程施工期 23 个月，完建期 1 个月，工程总工期 25 个月。工程施工从第一年的 10 月初到第三年 10 月底结束。

桐浦镇塔山至澄头段，工程准备期 1 个月，主体工程施工期 13 个月，完建期 1 个月，工程总工期 15 个月。工程施工从第二年的 10 月初到第三年 12 月底结束。

白莲堤段，工程准备期 1 个月，主体工程施工期 11 个月，完建期 1 个月，工程总工期 13 个月。工程施工从第三年的 9 月初到第四年 9 月底结束。

信息化建设，工程准备期 1 个月，主体工程施工期 34 个月，完建期 1 个月，工程总工期 36 个月。工程施工从第一年的 10 月初到第四年 9 月底结束。

1.8.6 工程施工期的安全生产与保护

安全生产目标：保证施工期间，不发生重大人身伤亡事故；不发生重大施工机械 设备损坏事故；不发生重大火灾事故；不发生有关工程安全事故；不发生汽车行车责 任事故；不发生重大环境污染事故和重大垮（坍）事故。

1.9 征地搬迁安置

1.9.1 建设征地范围

工程建设区用地范围包括永久征地范围和临时用地范围。根据本阶段工程总布置、施工组织和工程管理设计成果确定工程用地范围。

1.9.2 实物复核成果

工程建设征地涉及瑞安市平阳坑镇、马屿镇、陶山镇、桐浦镇、潘岱街道等 6 个乡镇（街道）31 个行政村（其中 7 个村土地存在争议，正协商确土地面积）。工程建设征地面积共计 1372.35 亩，其中永久征收土地 1048.62 亩，临时征用土地 323.73 亩。

（1）建设征地面积

永久征收土地 1048.63 亩中使用国有土地 286.01 亩，均为水域及水利设施用地，其中水利设施用地 45.31 亩，河流水面、内陆滩涂、沿海滩涂等未利用地 240.70 亩；征收集体土地 762.61 亩，其中农用地 695.64 亩（耕地 399.14 亩、园地 22.56 亩、林地 110.41 亩、其他类型农用地 163.53 亩），农村宅基地、城镇村道路用地、水工建筑用地等建设用地 49.00 亩，其他草地、裸土地、裸岩石砾地等未利用地 17.98 亩。

（2）征地影响地上附着物

工程涉及搬迁人口 106 户 347 人，拆迁农村个人和集体各类房屋面积 30710.16 ㎡；涉及企事业单位 7 家，工程征迁占压影响房屋面积 11752.25 ㎡。

工程涉及交通道路、输变电线路、通信线路及广电线路等专业项目，不涉及文物及重要矿产压覆。

1.9.3 征地搬迁安置规划

1.9.3.1 生产安置

根据《瑞安市人民政府关于印发<瑞安市征收农民集体所有土地管理办法（修订）>的通知》（瑞政发〔2014〕67 号），被征收集体所有土地的集体和农民实行货币补偿、

留地安置、基本生活保障等多种补偿、安置。

1.9.3.2 搬迁安置

本工程搬迁安置规划采用“本镇集中、就近分散”的安置方式，居民安置点人均建设用地标准按 80m² 计列。至规划水平年，本工程搬迁安置人口共计 348 人，安置区位于平阳坑镇，规划用地 41.76 亩。

1.9.3.3 企（事）业处理

本工程建设征地范围内涉及企事业单位 7 家，均为租用村集体土地经营，征地红线影响各类房屋 1.18 万㎡。

根据地方政府意见，企事业单位规划采用一次性货币补偿方案处理。

1.9.4 征地搬迁补偿概算

根据补偿标准和实物规划成果计算，本阶段工程建设征地补偿概算静态总投资为 60316.78 万元。

1.10 环境保护设计

瑞安市飞云江治理二期工程的建设符合国家产业政策，符合当地城市发展规划以及生态建设规划，工程建设对改善水质、水环境可起到积极作用，符合环境功能区划 以及生态功能区划。

瑞安市飞云江治理二期工程的实施，可减轻河道内源污染，提高自身水污染的承 载力，确保飞云江的水质良好。通过堤岸生态加固治理措施，减少由于堤岸崩塌、田 土流失和河道沟渠淤积等造成的水土流失现象，同时起到涵养水源的作用。工程建成后可提高飞云江流域防洪排涝能力，提高区域防洪减灾能力，对保障工农业可持续发 展和人民生活的稳定、提高生活质量均具有深远意义。工程施工过程中将对施工区及其附近区域产生一定影响，主要是施工“三废”排放引起，这种影响是局部的，不会对区域环境产生长期影响，并且随着施工结束和治理措施实施，环境质量基本可以得到 恢复。拆迁人口经妥善安置后，不会对环境造成长期大的不利影响，生产生活水平可 以得到保障。

工程的建设具有较大的社会、经济效益，对环境的影响既有有利的促进作用，也存在一定的负面影响。工程在建设期存在一定的污染因素，会对水、气、声环境及生态环境造成一定的不利影响，但这些不利影响是局部和暂时的，运行期对周边环境影响较小，在加强环境管理和采取适当的措施后，可以基本控制污染和减少影响。

总之，从长远的角度来看，工程的有利影响是主要的，不利影响是次要的、局部的，并可通过采取相应措施予以减少，不存在制约工程建设的重大环境问题。且符合瑞安市“三线一单”相关管控要求，从环保角度来说，本工程的建设是可行的。

经计算本工程环保总投资共计 126.36 万元

1.11 水土保持

本工程水土流失防治责任范围应包括项目永久征地、临时占地以及其他使用与管辖区域，面积共计 147.40hm²(取土场与弃渣场重复计列面积已扣除)。

1)项目永久征(占)地主要包括堤岸及水闸等水工建筑的占地范围和征地红线范围，征地红线范围为背水坡堤脚以外 1m 的区域，累计占地约 69.67hm²；

2)项目临时占地包括住房及办公设施、综合加工厂、施工仓库、施工临时道路、临时堆场、弃渣场等其他零星设施，共需占地约 43.25hm²；其中综合加工厂 2.40 hm²；钢模板加工厂 1.55 hm²；施工仓库 1.60 hm²；施工营地 1.28hm²；施工道路占地 1.51hm²；弃渣场占地 34.91hm²；均需新征；

3)根据施工组织设计，本项目所需块石料、砂石料、碎石及石渣料等均计划通过市场采购方式解决，不涉及砂石料的开采与加工。砼灌注桩所需粘土料与堤身土方填筑料需要在滩地料场(1#料场、2#料场、3#料场、4#料场)就近取土，取土料场面积累计 60.25hm²(含弃渣场占地 34.91hm²)。

根据水土流失防治责任范围，依据工程布局、施工扰动特点、建设时序等工程资料，结合方案编制总则、工程建设特点、自然条件、项目功能分区以及对区域水土流失的影响等，确定本方案水土流失防治区共划分 4 个防治区：

I区为主体工程防治区，包括防洪堤、水闸等工程占地及其管理范围占地，面积共计 69.67hm²。

II区为取土场防治区，主要为滩地料场(1#料场、2#料场、3#料场、4#料场)占地，面积共计 60.25hm²。

III区为弃渣场防治区，主要为工程弃渣场占地，面积共计 34.91hm²。本项目弃渣场选址于料场取料后的开挖坑内，即弃渣场防治区与取土场防治区存在重叠。

IV区为施工临时设施防治区，包括施工工区、临时道路、临时堆场、办公生活福利设施、辅助企业、仓库等，面积共计 8.34hm²。

本工程建设过程中，一方面扰动了工程区的地形地貌，损坏了原有的地表、植被，

使其原有的蓄水保土功能丧失或降低；另一方面在施工中开挖、填筑等的土石方量较大，容易造成水土流失。因此，对本工程建设而引发水土流失的区域，必须采取行之有效的水土保持措施。根据工程区实际及建设特点，采取相应的水土流失防治措施后，能够有效地控制项目建设可能产生的水土流失，恢复项目区的生态环境。建设单位需严格落实水土保持工程项目的设计和实施，积极配合当地水行政主管部门加强监督检查。从水土保持角度分析，不存在重大的水土保持制约因素，本工程建设是可行的。

本工程水土保持投资共 870.08 万元。

1.12 劳动安全与工业卫生

工程总体布置、各单项建筑物的设计以及机电和金属结构设备的选

型均已充分考虑到工程的实际情况，严格按照相关的规程规范要求进行。

因此工程本身的安全和设备的质量问题，均已得以安全保证。

在劳动安全措施方面，应关注防火、防爆、防雷电及防电气伤害、防机械伤害、防坠落伤害、防洪、防淹等方面问题，严格按安全操作规程进行操作。在工业卫生方面，应注重防噪声、防振动、室内温度与湿度控制、采光与照明、防尘、防污、防腐蚀、防毒和防电磁辐射等有关措施，应设置必要的安全卫生管理机构以及制定规章制度由专人负责安全卫生方面宣传教育和管理工作。

本工程设计中已考虑职业安全卫生设施，水工建筑物、机电设备、防火安全设施等费用已包含在各项目的投资费用当中，采用设计提出的劳动安全与工业卫生措施后，安全卫生可以满足规范要求。

1.13 节能评价

根据本工程的建设任务和条件，在工程布置和设计中充分体现了节能理念，设计从技术、经济、社会、环境等方面进行了多方案技术经济比较。本阶段的工程布置和结构型式为下阶段进一步推广节能技术，实现技术节能打下了良好基础。

在机电设备选择设计中，按照节能优先、技术和工艺先进并符合国家行业政策规定的原则选用设备。设计中合理选择了型号，配置电动机，减少了电能损耗，选用的机电设备均符合国家节能产业政策推荐设备。

在施工组织设计中，施工导流采用河床导流，尽量不做围堰，水下部分非汛期施工，在节省投资的同时，起到了节能目的；施工总布置本着有利于生产、方便生活、快速安

全、经济可靠、易于管理的原则进行，选择技术先进合理可行的施工方案，施工机械设备选择能耗低、符合国家节能要求的产品。在施工总进度编排上，能合理安排施工工期。

本工程不存在能耗过大的建筑物和设备，项目的建设和运行期亦不会消耗大量能源，能源消耗总量相对合理，因此本工程的建设不会对当地能源消耗结构及能源利用产生不利影响。

1.14 工程管理

瑞安市飞云江治理二期工程治理范围以《浙江省飞云江流域水利规划》和《飞云江流域防洪规划》为依据，工程内容主要包括堤防治理工程及水闸等交叉建筑物所组成。工程建设任务以防洪为主，结合排涝，改善水生态环境。

工程管理主要是进行堤防及交叉建筑物的工程管理，日常巡查、维修及养护，工程的调度运用等管理，保证工程正常安全运行。

瑞安市飞云江治理二期工程涉瑞安行政区域，为充分发挥工程的效益，从工程管理调度、防洪除涝调度运用以及现有水利工程的管理体系等方面考虑，工程建成投入运行后，由瑞安市水利投资有限公司进行管理，实现“建管一体化”运营模式。

瑞安市水利投资有限公司为飞云江及其支流、温瑞塘河、瑞平塘河等流域综合治理、开发建设与经营管理，为准公益性水管单位，定性为企业单位，公司管理人员属企业编制。本工程为社会公益性效益为主，资产归国家所有，运行管理经费来源于瑞安市财政。

（1）建设期

按照水利部《水利工程设计概（估）算编制规定》（水总[2002]116 号）有关建设单位定员标准，并参考《水利工程管理单位定岗标准》（水办[2004]307 号文）及类似工程建设管理情况，编制配制建设期管理人员。配备 12 人。

（2）运行期

本工程主要由新建堤防 21.77km，水闸 30 座组成，堤防工程定员级别为 4 级，马上、河溪、渡头、浦底水闸排洪最大过闸流量大于 100m³/s，定员级别为 4 级，其余水闸均为小型水闸，定员级别参照 4 级。

水闸工程运行类人员结合各工程距离的远近，中小型水闸分区片考虑运行岗人员。

平阳坑片区有 4 座水闸，相邻两座水闸的运行人员兼岗设置，共设 2 人。

马屿镇梅屿片区有 7 座交叉建筑物，共设 3 人。陶山镇荆谷片区有 10 座交叉建筑物，共设 5 人。陶山镇碧山片有 7 座交叉建筑物，共设 3 人。白莲堤片区有 2 座交叉建

筑物，共设 1 人。堤防工程定员级别为 4 级，配备涉河管理岗人员 2 名。

本工程需要单位负责类、行政管理类、财务与资产类、档案管理类、安全生产类、技术管理类、水政监察类、物业化监管类共计 12 人，瑞安市水利投资有限公司现有在编员工 20 名，已满足要求，不再新增人员编制。

本工程运行类、观测类、检查维护类等岗位人员共计 24 人，通过招投标由物业化人员承担管护任务。

1.15 工程信息化

本工程信息化设计建设内容主要包括：

（1）物联感知体系建设：包括堤防的视频监控、堤防与水闸的工程安全监测、水雨情测站以及配套采集、水闸远程自动控制系统、可视化系统的建设。

（2）硬件体系建设：包括用于部署系统、存储数据（包括安全监测、工控、视频）的服务器建设；安全监测、视频、工程控制等系统的网络通信建设；满足有关信息安全保护等级要求的网络防护设备建设。

（3）一体化平台建设：本项目需要配套建设飞云江一体化平台相关基础能力与系统，主要建设内容包括数据资源、基础应用支撑、AI 识别能力建设、标准化运管系统、建设管理系统、智能监测分析、预报调度系统、专题数字大屏、移动业务应用。

（4）实体环境建设：主要包括管理区的机房、会商中心、调度中心与会议室所需的基本设施配备等。

1.16 设计概算

本工程按照水利工程初步设计报告的设计深度和编制办法及费用标准，根据工程设计情况，合理选用定额、标准和价格，编制工程投资估算。

按照浙水建〔2021〕4 号文颁发的《浙江省水利工程造价计价依据（2021 年）》进行编制。

（1）《浙江省水利工程造价计价依据（2021 年）》（浙水建〔2021〕4 号）， 包含以下编制依据：

①《浙江省水利水电工程概（预）算编制规定（2021 年）》（以下简称“2021 编规”）；

②《浙江省水利水电建筑工程预算定额（2021 年）》；

③《浙江省水利水电安装工程预算定额（2021 年）》；

④《浙江省水利水电工程施工机械台班费定额（2021 年）》

（2）渣土消纳费按[2022]1 号《瑞安市人民政府市长办公室会议纪要》中相关规定（35.3 元/m^3）计列。

瑞安市飞云江治理二期工程位于温州瑞安境内，整治范围自平阳坑至铁路桥，根据以防洪为主，结合排涝的工程任务要求，按照分片设防的原则，共布置 6 段堤防， 分别为平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段及潘岱白莲段，堤防总长 21.77m，共布置水闸 33 座。

本次初步设计中，施工总工期 3 年，工程静态总概算投资 193131 万元，其中工程部分投资 126918 万元，专项部分投资 5896 万元，征地移民补偿部分投资 60317 万元。

1.17 经济评价

根据国民经济效益和费用的分析，本工程经济内部收益率为 10.53%，大于 8%的社会折现率；经济净现值为 46171.96 万元，大于 0；效益费用比为 1.28，大于 1。因此，本工程在经济上是可行的。考虑本工程具有较好的防洪效益，建议尽早实施，促进当地经济社会的发展。

1.18 结论与建议

1.18.1 主要结论

瑞安市飞云江治理工程位于浙江省瑞安市境内。工程范围自赵山渡水利枢纽下游平阳坑至铁路桥。工程内容主要包括堤防工程和水闸等交叉建筑物。

为了保障飞云江沿江两岸人民生命财产安全，维护社会稳定，促进区域经济可持续向前发展，建设飞云江两岸堤防和排涝挡潮闸，使沿线防洪标准提高到规划水平已十分迫切。

兴建本工程可提高飞云江流域防洪能力，对于缓解并减轻该地区的洪涝灾害具有较大作用，可促进城市综合发展，提高城市综合竞争力，确保行洪安全。因此，飞云江治理二期工程对于提高区域防洪能力，促进社会经济发展具有重要意义，建议尽快立项实施。

本工程主要任务为防洪为主，结合排涝，改善水生态环境。按照建制镇的标准进行设防，均为 20 年一遇防洪标准排涝标准采用 10 年一遇，村镇 24h 降雨 24h 排出不受淹，

农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深。

本工程主要建设内容包括：

1）新建堤防 21.77 公里；堤防总长 21.77km，分为 6 段，分别为平阳坑段(长 2.54km，20 年一遇)；左岸堤防有马屿镇梅屿段防洪堤(长 2.28km，20 年一遇)、陶山镇荆谷段防洪堤(长 5.12km，20 年一遇)、陶山镇碧山段防洪堤(长 6.58km，20 年一遇)、桐浦塔山至澄头段(长 2.55km，20 年一遇)、潘岱白莲段防洪堤(长 2.70km，20 年一遇)。

2）新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166 米，其中马上水闸总净宽 12 米、最大排涝流量 112.5 立方米每秒，河溪水闸总净宽 15 米、最大排涝流量 208.8 立方米每秒，渡头水闸总净宽 15 米、最大排涝流量 202.1 立方米每秒，浦底水闸总净宽 15 米、最大排涝流量 151.6 立方米每秒；

3）新建管理房 1 处、面积 1100 平方米，防汛仓库 5 处、总面积 400 平方米；

4）新建便民服务点 4 处，景观节点 7 处。

马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇，校核洪水标准 50 年一遇。

1.18.2 建议

1) 由于征地移民补偿涉及部门多，且直接关系到拆迁移民和拆迁单位的切身利益，如果处理不当，将直接影响工程的实施和社会稳定，地方政府应成立专门的征地拆迁管理机构，切实做好征地拆迁和移民补偿安置工作。

2）堤防内外的专项提升工程，可营造优美的环境，带动周围土地升值，减少水土流失，全面提升水利工程，建议尽快实施。

3）堤防沿线局部地段分布有自来水管、污水管、通讯线路、高压线、电线电缆等，施工时，应及时与相关部门协调。

4）堤防与多处公路、桥梁、铁路交叉，施工时，应及时与相关部门协调，办理相关手续。

2 水文

2.1 流域概况

飞云江位于浙江省南部，东经 119°36′~120°40′，北纬 27°28′~28°00′。飞云江发源于景宁畲族自治县景南乡的白云尖西北坡，自西向东流经泰顺、文成两县，在瑞安市上望街道新村入东海。飞云江流域面积 3719km²，河长 193km，河道比降 5.7‰。

飞云江主流发源于景泰边白云尖西北坡，流经景宁、泰顺、文成、瑞安四县市，至瑞安市的上望入海。祭坑为流程起点，向北下行至东塘称为东塘溪，至泰顺县黄桥称三插溪，下行至百丈口以下始称飞云江。泰顺县百丈口以上为上游，百丈口至瑞安市滩脚为中游，滩脚以下为下游。下游两岸为滨海平原水网区，平原区河网水面率为 6%左右，河网主干河为温瑞塘河、瑞平塘河。飞云江干流以百丈口(文成县境内)和滩脚(高楼溪入江口附近)为界，分为上、中、下游三河段。百丈口以上为上游段；百丈口至滩脚为中游段；滩脚至入海口为下游段，也是感潮的河口段，长 60.8km。上、中游为山溪性河道，坡陡流急，落差较大；下游属感潮河道，坡降平缓，河湾发育。

高楼溪、金潮港是飞云江在瑞安境内两条主要支流。

高楼溪也发源于瑞安与青田县交界处的巾子山南麓乌石坪南侧山谷(桂峰乡境内)，自桂峰乡的底土羊(河上详)南流，经枫岭乡的大乍、大梅，宁益乡的南山、墩头，高楼乡的上洋、大荆、上村、上泽、下泽、高楼，在溪口村下社岭脚注入飞云江干流。高楼溪长 29.4km，流域面积 125.3km^2。

金潮港位于瑞安市境内，为飞云江下游左岸最大支流，发源于瑞安、青田交界的巾子山南麓的乌石洋背面山谷，河长 42.6km，流域面积 349km^2，其中潮基以上为山溪性河流，以下为感潮河段。

飞云江水系图见图 2.1-1。

飞云江流域已建水利工程较多，主要防洪水库有干流的珊溪水库(大(1)型)、百丈漈水库(中型)、林溪水库(中型)；飞云江干流治理工程范围从赵山渡水利枢纽工程下游至铁路桥，分两期实施，右岸马屿天井垟段防洪堤和仙降飞云段防洪堤作为一期工程，已施工完成。瑞安市滩脚堰坝工程已施工完成，文成县飞云江治理二期工程已施工完成，飞云江二期桐田段工程正在施工。

其中珊溪水利枢纽工程位于浙江省温州市飞云江干流中游河段，主体工程 1997 年

9 月 23 日正式开工，同年 11 月 1 日实现大江截流。2000 年 6 月 28 日首台机组发电，2001 年 12 月 31 日全部工程完工。枢纽工程由珊溪水库工程和赵山渡引水工程组成，具有防洪、抗旱、供水、灌溉、发电等综合效益。珊溪水库工程坝址位于温州市文成县珊溪镇上游 1km 的峡谷河段，坝址控制集水面积 1529km^2，由钢筋混凝土面板堆石坝、开敞式溢洪道、泄洪洞以及引水发电等工程组成。最大坝高 132.5m，总库容 18.24 亿 m^3，电站装机 200MW。赵山渡引水工程闸坝址在珊溪水库工程下游 35km 处，控制集水面积 2302km^2，由泄洪闸、河床式电站、两岸接头重力坝和输水渠系组成。泄洪闸共有 16 孔，闸顶全长 257.9m，最大泄流量 15120m^3/s，电站装设 2 台 10MW 灯泡贯流式水轮发电机组，输水渠系总长 62.85km，设计流量 36m^3/s。

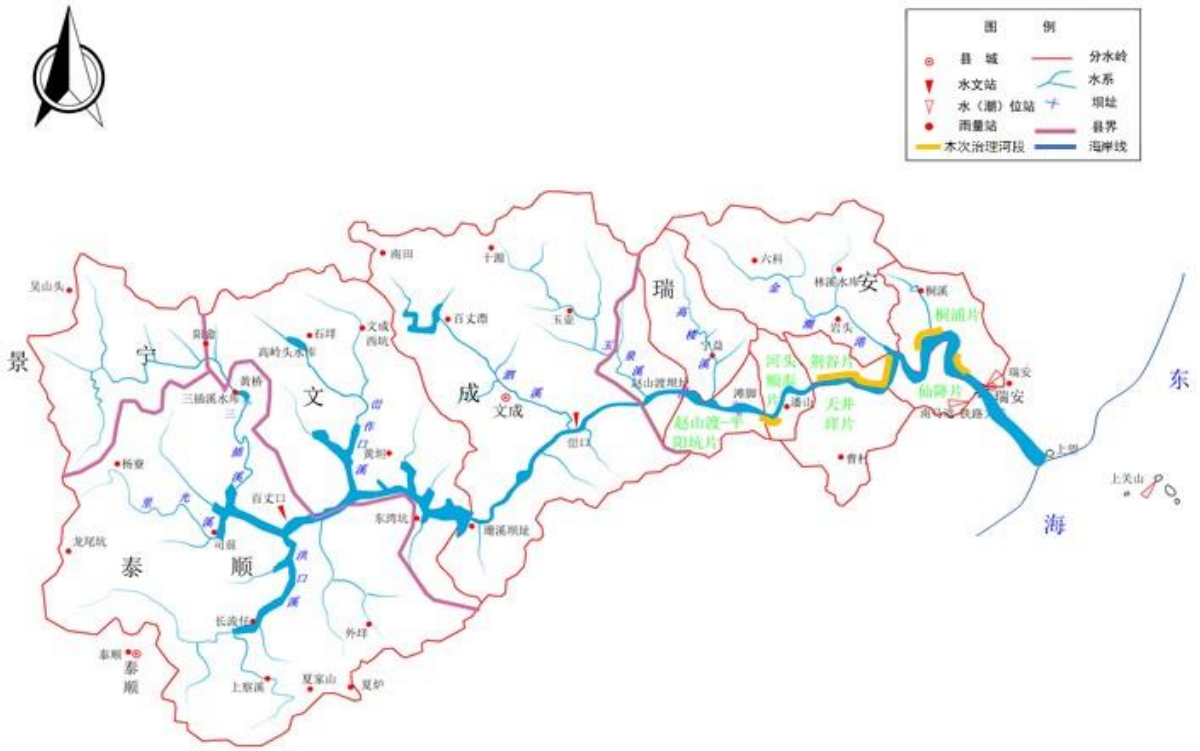
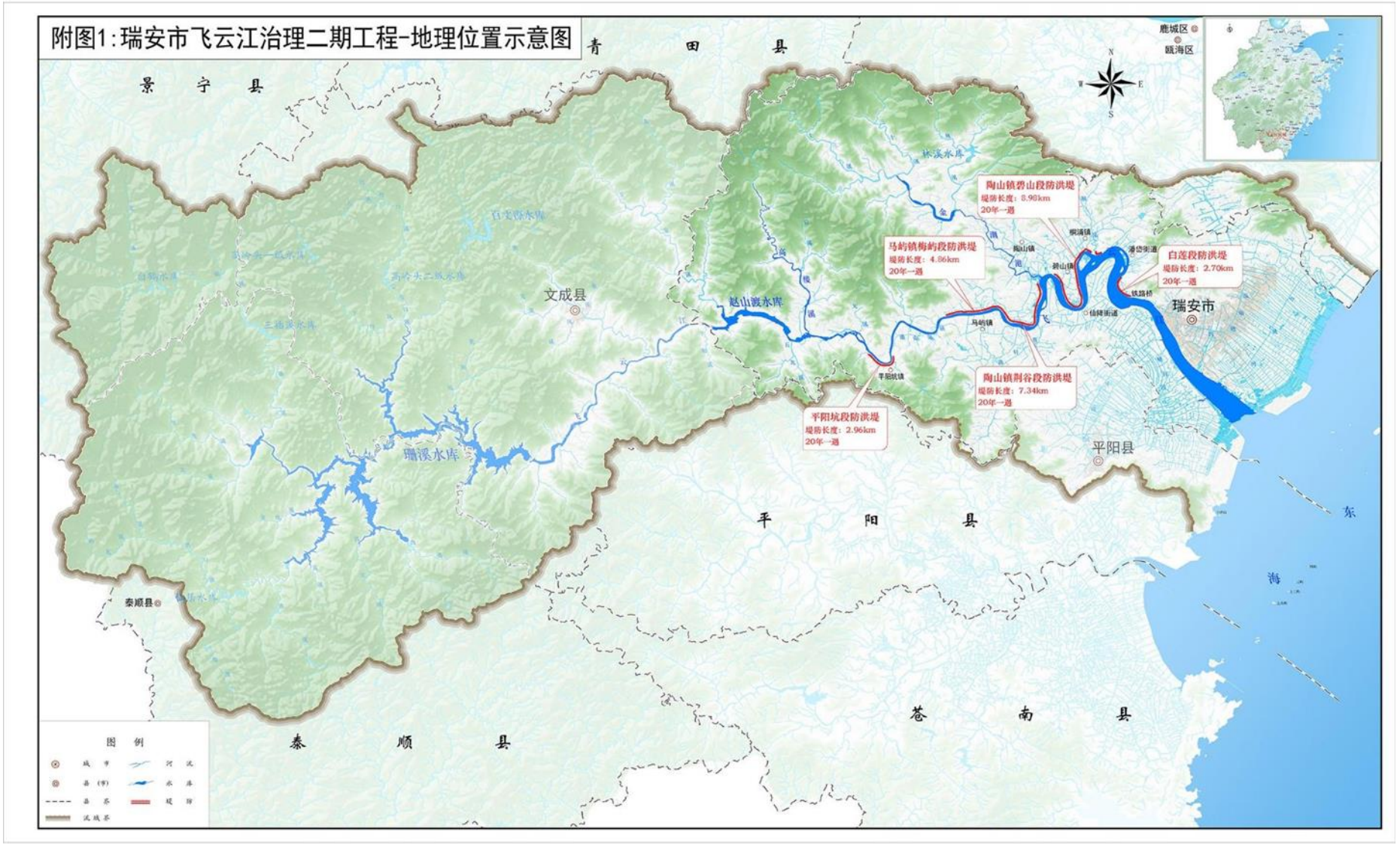


图 2.1-1　　飞云江水系图


附图1:瑞安市飞云江治理二期工程-地理位置示意图
青田县
景宁县
文成县
泰顺县
平阳县
苍南县
瑞安市
鹿城区
瓯海区
陶山镇碧山段防洪堤
堤防长度：8.90km
20年一遇
马屿镇梅屿段防洪堤
堤防长度：4.86km
20年一遇
白莲段防洪堤
堤防长度：2.70km
20年一遇
陶山镇荆谷段防洪堤
堤防长度：7.34km
20年一遇
平阳坑段防洪堤
堤防长度：2.96km
20年一遇
赵山渡水库
珊溪水库
林溪水库
白龙湾水库
三插溪水库
铁路桥
铁路街道
潘岱街道
桐浦镇
陶山镇
碧山镇
马屿镇
平阳坑镇
图 例
东海

2.2 气象

飞云江流域位于浙江东南沿海，属典型的亚热带季风气候，受东南季风气候影响，四季分明，温和湿润，冬暖夏凉，雨量充沛。初春季节地面盛行东北风，大陆冷高压衰退，副热带高压北进，锋面气旋活跃，多绵绵细雨。春末夏初，暖湿太平洋高压渐向大陆推进，极锋常在其间摆动，多连续降水，俗称梅雨。7~9 月间，在副热带高压脊控制下，盛行偏南风，天气炎热，台风活动频繁，多热雷雨和台风暴雨，造成较大洪水。秋季副热带高压东移，大陆高压发展，地面盛行西北风，降水减少。冬季，本流域位于蒙古高压的东南部，受变性大陆气团的控制，天气以晴冷为主。当大陆冷空气南下时，地面盛行偏北风；同时海上冷高压常伸入流域内，冷锋较为活跃，唯因交绥气团性质多属寒冷，雨雪量微小。

瑞安气象站站址位于瑞安市红旗乡西门村，东经 120°37′，北纬 27°47′，观测场地面海拔 5.7m。瑞安站观测项目较多，自 1961 年以来已有正式刊布资料，资料均据中央气象局制定的《全国地面基本气候资料统计方法》及其补充规定进行整编，成果可靠，为本规划气象要素统计的主要依据。

根据瑞安气象站实测资料统计，瑞安市多年平均气温为 17.9℃，多年平均水汽压 18.7hPa，多年平均相对湿度 82%，多年平均蒸发量 1210mm(20cm 直径蒸发皿观测值)；多年平均风速 2.2m/s，多年汛期最大平均风速 15m/s。瑞安气象站地面气候特征值见表 2.2-1。

表 2.2-1 **瑞安气象站气候特征值表**

项目	平均气温(℃)	平均水汽压(hPa)	平均相对湿度(%)	月蒸发量(mm)	平均风速(m/s)
1月	7.9	8.4	77	57.8	2.1
2月	8	9	81	47.7	2
3月	11	11.2	84	64.7	2
4月	16	15.8	85	84.4	1.9
5月	20.6	21.1	86	100.5	1.9
6月	24.3	27	88	107.5	1.8
7月	28	31.9	85	176.7	2.4
8月	27.9	31.2	83	174.4	2.6
9月	24.8	26.2	83	131.8	2.3
10月	20.3	19	79	109.9	2.2
11月	15.6	13.8	76	85.2	2.3
12月	10.2	9.6	74	69.5	2.2
全年	17.9	18.7	82	1210	2.2

2.3 水文基本资料

飞云江流域内主要有百丈口、岱口水文站，还有瑞安、上关山站观测潮位，上关山设站年份较少，设立于 1977 年，于 1992 年停止观测。各水文站情况见表 2.3-1。

（1）岱口水文站

岱口站位于文成县岱口镇岱口村，流域面积 1930km^2，地点在浙江省文成县岱口镇岱口村，位于东经 120°09′，北纬 27°45′。本站于 950 年 1 月由钱塘江水力发电勘测处设立，观测水位、水面比降、降水量、气温。1951 年 4 月加测流量至 1952 年 1 月后停测。1955 年 1 月起加测蒸发量、水温、风向、风力、云量。1956 年 1 月转移给浙江省水利厅水文总站领导。同时停测水温、气温、风向、风力、云量。同年 6 月 3 日基本水尺断面向上游迁移 150m，并于 7 月份恢复流量观测，1957 年 1 月停测蒸发量，同年降水量改用自记仪器记录，5 月 11 日恢复水温、岸上气温观测，6 月 1 日加测悬移质输沙率，单位水样含沙量。1958 年 7 月加测水化学。1959 年 6 月加测悬移质泥沙颗粒分析。1961 年 1 月停测水温、岸上气温，悬移质泥沙颗粒分析。1962 年 1 月停测水化学，同年 5 月恢复泥沙颗粒分析，讯后停测，1964 年由浙江省水电厅转移给水电部浙江省水文总站领导。1969 年 10 月转移给文成县农水局领导，1980 年 10 月上收由浙江省水利厅水文总站领导，1981 年 1 月加测蒸发量。

（2）百丈口水文站

百丈口水文站在浙江省泰顺县百丈口三级滩，位于东经 119°51′，北纬 27°39′。本站于 1956 年 5 月由浙江省水利水文总站设立为三等水文站，主要观测水位、降水量，同年 6 月开始观测流量。1957 年 1 月加测蒸发量，3 年月加测单位水样含沙量，7 月加测水温、岸上气温。1958 年 1 月停测水温、岸上气温。1964 年转移给浙江省水文总站领导。1969 年 10 月转移给泰顺县农水局领导，1980 年 10 月收由浙江省水利厅水文总站领导。1998 年流量资料停测。

表 2.3-1 **水文站一览表**

站名	水系	位置	坐标		集水面积	设站年份	观测项目
			东经	北纬			
百丈口	飞云江	泰顺县百丈镇三级滩	119°51′	27°39′	866	1956	水位、流量、泥沙
岱口	飞云江	文成县岱口镇岱口村	120°09′	27°45′	1930	1950	水位、流量、泥沙
瑞安	飞云江	瑞安市县城仙岩头	120°38′	27°47′	2400	1944	潮位
上关山	海岛	瑞安市北龙乡上关山岛	120°49′	27°42′		1977	潮位

整个飞云江流域内雨量站众多，设立年份及资料系列长短不一，主要有长流仔、阳畲、杨寮、司前、百丈口、夏炉、石垟、文成黄坦、东湾坑、泰顺、大际、文成南田、百丈漈、岔口、十源、玉壶、宁益、瑞安潘山、六科、岩头、曹村、瑞安、篁庄、朱寮、文成、飞云江、夏家山、林溪等站。本次设计所采用的雨量、水位等资料均经浙江省水文局(原名“浙江省水文总站”)逐年整编、审核，较为可靠。各水文站、雨量站基本资料情况见表 2.3-2。

表 2.3-2　　**雨量站一览表**

站名	设立年份	站名	设立年份	站名	设立年份	站名	设立年份
长流仔	1963	十源	1962	文成黄坦	1971	瑞安	1944
阳畲	1957	玉壶	1951	东湾坑	1957	篁庄	1955
杨寮	1957	宁益	1971	泰顺	1955	朱寮	1957
司前	1966	瑞安潘山	1963	大际	1965	文成	1955
百丈口	1956	六科	1963	文成南田	1961	飞云江	1956
夏炉	1964	岩头	1957	百丈漈	1951	夏家山	1959
石垟	1962	曹村	1957	岔口	1950	林溪水库	1977

2.4　暴雨

2.4.1　暴雨特性

飞云江流域洪水主要由台风引起，在温州~福州一带登录的台风往往会对飞云江流域带来暴雨，历时短，但是降雨强度大，降雨分布不均。建国后发生较大洪水的年份有 1956 年、1958 年、1965 年、1969 年、1982 年、1990 年、1994 年、2005 年、2007 年、2009 年、2013 年、2015 年、2016 年等。据多场流域大暴雨分析，流域的暴雨中心多发生在“下游金潮港与高楼溪交界”、“马屿平原曹村”以及中游南部与泗溪流域、鳌江流域交界的“外垟、吴垟”一带。

2.4.2　设计暴雨

瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究阶段(下称“二期可研”)涉及的飞云江流域面雨量取用长流仔、阳畲、杨寮、司前、百丈口、夏炉、石垟、文成黄坦、东湾坑、泰顺、大际、文成南田、百丈漈、岔口、十源、玉壶、宁益、瑞安潘山、六科、岩头、曹村、瑞安、篁庄、朱寮、文成、飞云江、夏家山站等 27 个站雨量算术平均计算所得；涉及的金潮港流域设计暴雨采用《金潮港流域综合规划》成果，即取用六科、岩头、林溪水库三站，采用泰森多边形法求流域面雨量，具体计算见表 2.4-1。根据分析的权重计入流域

面雨量，采用 P-III曲线适线得设计暴雨成果。

表 2.4-1　　金潮港流域面雨量站计算权重分析表

系列	六科	岩头	林溪水库
1977~1995、1977~2018	0.426	0.297	0.277
1963~1976、1996	0.476	0.524	/
1958~1962	采用岩头站跟流域面雨量相关关系插补延长所得		

二期可研阶段将资料系列延长至 2019 年，分片暴雨统计方法与一期初设阶段一致，统计飞云江及支流流域内排名前十位的大暴雨见表 2.4-2。飞云江、金潮港片区设计暴雨成果见表 2.4-3~表 2.4-4，频率曲线图见图 2.4-1~图 2.4-2，并与瑞安市飞云江治理一期工程初步设计阶段成果进行比较。二期可研阶段飞云江、金潮港的设计暴雨与一期初设相近，变幅小于 4%；特别是对洪峰影响较大的一日暴雨的变幅在 2%以内。考虑到资料系列延长对设计暴雨影响较小，为了工程的延续性，二期可研设计暴雨最终推荐与飞云江一期初设一致，成果详见表 2.4-5。

本次设计将资料系列延长至 2022 年，分片暴雨统计方法与二期可研阶段一致。由于 2020 年~2022 年未发生较大暴雨，延长系列后的暴雨系列均值比可研成果偏小，从防洪安全角度考虑，本次仍采用可研阶段成果。飞云江、金潮港及高楼溪流域设计暴雨成果见表 2.4-5。

表 2.4-2　　流域实测较大暴雨统计表

流域	排序	一日暴雨(mm)	发生年份	三日暴雨(mm)	发生年份
飞云江	1	279	1965	367	2005
	2	272	2015	362	1960
	3	252	2005	361	2016
	4	238	1992	352	2015
	5	233	2016	345	1990
	6	229	1962	339	1992
	7	208	1969	338	2009
	8	208	2013	321	1965
	9	206	1989	283	1973
	10	203	1994	282	2007
金潮港	1	370.7	2005	527.2	2005
	2	340.3	2013	447.7	2013
	3	269.8	1965	406.5	1960
	4	259.7	1987	400.4	2009
	5	258.1	1999	372.5	1992
	6	257.1	1994	358.9	2007
	7	256.2	2015	348	1973
	8	253.3	2016	348	1987
	9	251.1	1992	337.4	1990
	10	239.9	1973	335.4	2015

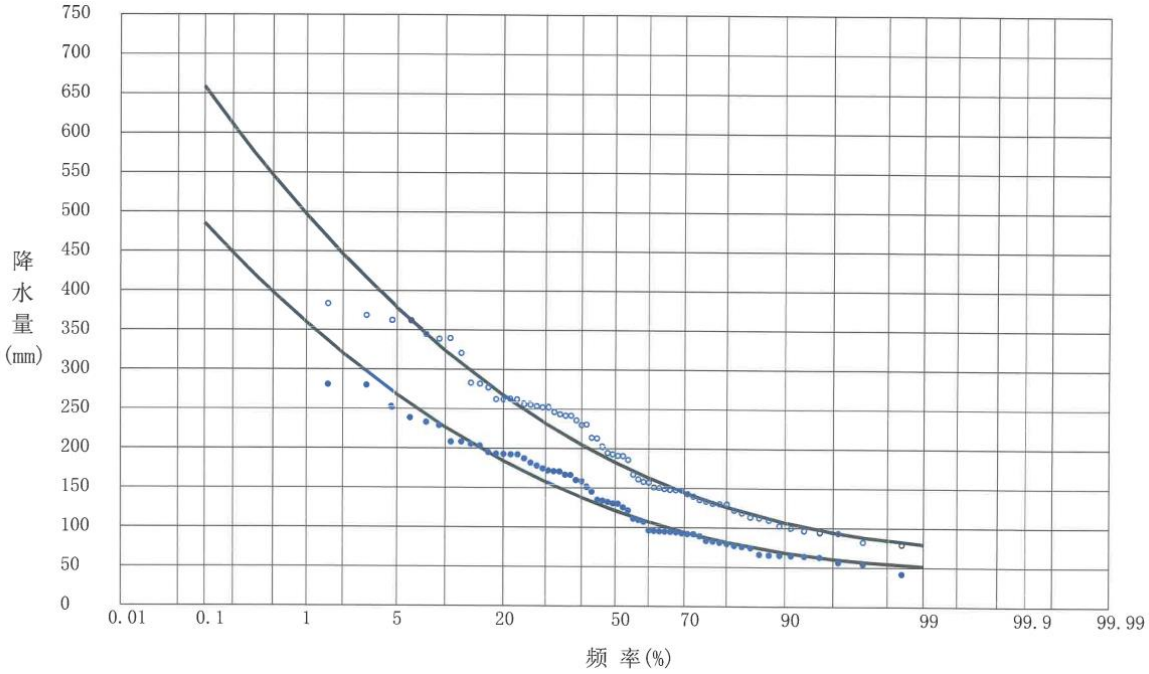


图 2.4-2　飞云江流域最大一日、三日暴雨频率曲线

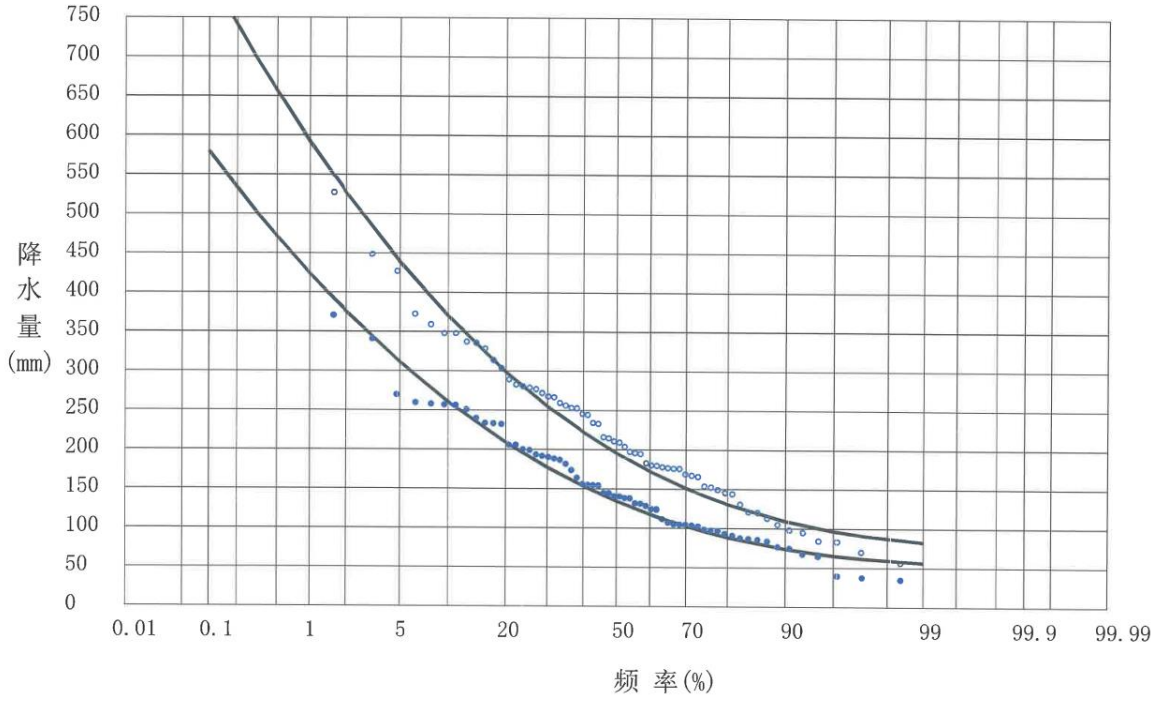


图 2.4-2　金潮港流域最大一日、三日暴雨频率曲线

表 2.4-3　　二期可研飞云江流域设计暴雨表

阶段	历时	均值	Cv	Cs/Cv	各频率P(%)设计暴雨(mm)					备注
		(mm)			1	2	5	10	20	
一期初设	H一日	135	0.49	3	354	316	264	223	181	1957~2009
	H24	H24=H一日×1.13			400	357	298	252	205	
	H三日	195	0.45	3	479	431	365	312	257	

阶段	历时	均值	Cv	Cs/Cv	各频率P(%)设计暴雨(mm)					备注
		(mm)			1	2	5	10	20	
二期可研	H一日	137	0.49	3	359	320	268	227	184	1957~2019
	H24	H24=H一日×1.13			406	362	303	257	208	
	H三日	202	0.45	3	497	446	378	324	267	
变化(%)	H一日				1.4	1.3	1.5	1.8	1.7	
	H24				1.4	1.3	1.6	1.8	1.4	
	H三日				3.8	3.5	3.6	3.8	3.9	

表 2.4-4　　二期可研金潮港流域设计暴雨表

阶段	历时	均值	Cv	Cs/Cv	各频率P(%)设计暴雨(mm)					备注
		(mm)			1	2	5	10	20	
一期初设	H一日	152	0.52	3	419	371	307	258	206	1957~2009
	H24	H24=H一日×1.13			473	419	347	291	233	
	H三日	217	0.5	3	578	515	429	362	292	
二期可研	H一日	154	0.52	3	423	375	311	261	209	1957~2019
	H24	H24=H一日×1.13			478	424	351	295	236	
	H三日	222	0.5	3	592	527	439	370	299	
变化(%)	H一日				1.0	1.1	1.3	1.2	1.5	
	H24				1.1	1.1	1.3	1.4	1.4	
	H三日				2.4	2.3	2.3	2.2	2.4	

表 2.4-5　　飞云江及支流流域设计暴雨成果表(推荐)

方法	历时	均值 (mm)	Cv	Cs/Cv	各频率P(%)设计暴雨(mm)				
					1	2	5	10	20
飞云江流域	H一日	135	0.49	3	354	316	264	223	181
	H24	H24=H一日×1.13			400	357	298	252	205
	H三日	195	0.45	3	479	431	365	312	257
金潮港流域	H一日	152	0.52	3	419	371	307	258	206
	H24	H24=H一日×1.13			473	419	347	291	233
	H三日	217	0.5	3	578	515	429	362	292
高楼溪流域	H一日				414	370	309	261	212
	H24				468	418	349	295	240
	H三日				560	504	427	365	301

注：高楼溪设计暴雨综合本支流、金潮港综合分析采用飞云江设计暴雨的 1.17 倍计入。

瑞安市飞云江干流的主要控制断面为赵山渡坝址、马屿两断面，赵山渡坝址以上集水面积为马屿断面的 89.2%，在洪水地区组成中应采用马屿断面、赵山渡断面同频率、马屿~赵山渡区间为相应频率的地区组成。高楼溪作为赵山渡~马屿断面区间最大支流汇

入，高楼溪雨量代表站为宁益、玉壶、六科三站（权重分别为 0.45、0.25、0.3），在飞云江面雨量计算中，高楼溪同期面暴雨均值与飞云江的比值为 1.24~1.27，考虑设计、相应频率之间的差别并参考《浙江省飞云江（温州段）综合规划报告（2015~2030 年）》的比例，本次将高楼溪设计暴雨按照飞云江设计暴雨的 1.17 倍计入，表 2.4-4 中作为相应频率的高楼溪的设计暴雨与作为设计频率的金潮港相近也说明了高楼溪相应频率的设计暴雨较为合理。

2.5 洪水

2.5.1 洪水计算单元

按流域内水系分布，水库和防洪控制断面位置及水利计算需求等方面因素，将设计流域分为珊溪水库以上、珊溪水库至赵山渡区间、高楼溪、金潮港等四个洪水计算分区，其余区域按照水利计算要求计算净雨过程，各分区情况见表 2.5-1。

表 2.5-1　　设计洪水分区表

类别	分区	集水面积(km^2)
洪水分区	珊溪水库以上	1529
	珊溪水库至赵山渡区间	773
	高楼溪	125.3
	金潮港	349
平原净雨分区	赵山渡-平阳坑	78.6
	河头、顺泰片	55.8
	荆谷片	42.1
	天井垟片	111
	桐浦片(至瑞安)	111.7
	仙降片(至瑞安)	43.3

2.5.2 验证洪水计算

据流域防洪水利计算的要求，需分析近期较大的典型洪水，用于河网水利计算有关参数的分析验证。通过流域暴雨洪水比较分析和现有资料情况，选取 2009 年 8 月 8 日~10 日“莫拉克”台风洪水为典型，下图为“莫拉克”最大三日雨量等值线图。

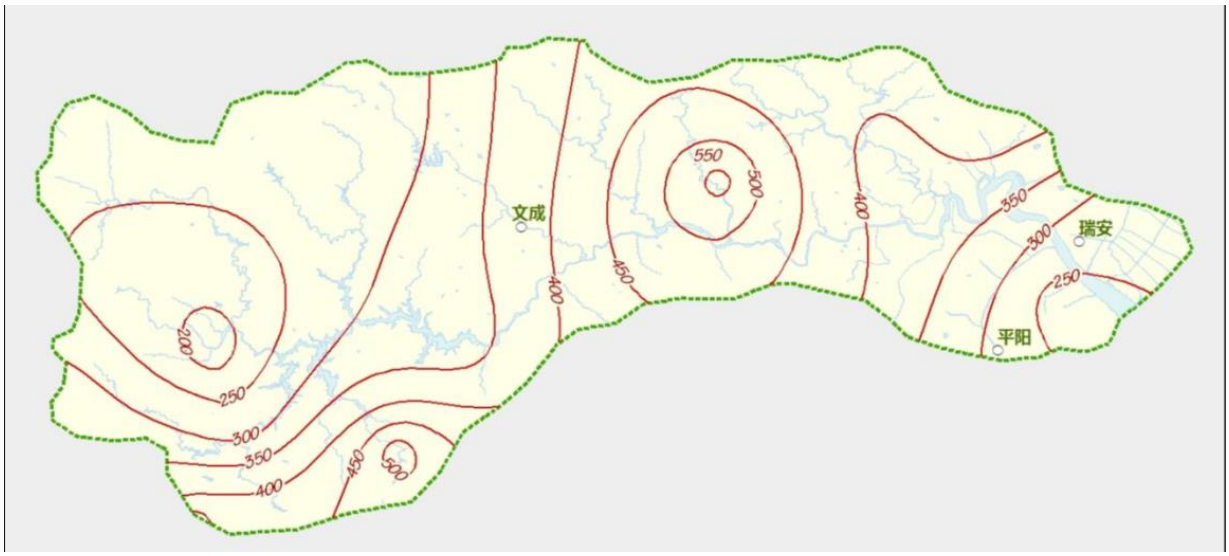


图 2.5-1　　飞云江“莫拉克”期间最大三日暴雨等值线图

根据水利计算要求，本次计算搜集赵山渡水库实测 2009 年 8 月 8 日~10 日三天下泄流量过程，高楼溪、金潮港流域无实测流量资料，采用实测暴雨推求。各分区“莫拉克”台风洪峰见表 2.5-2。

表 2.5-2　　“莫拉克”台风各分区洪峰流量表

断面	单位	洪峰流量	备注
赵山渡坝址	m³/s	3217	实测下泄过程
金潮港	m³/s	1834	
高楼溪	m³/s	1064	

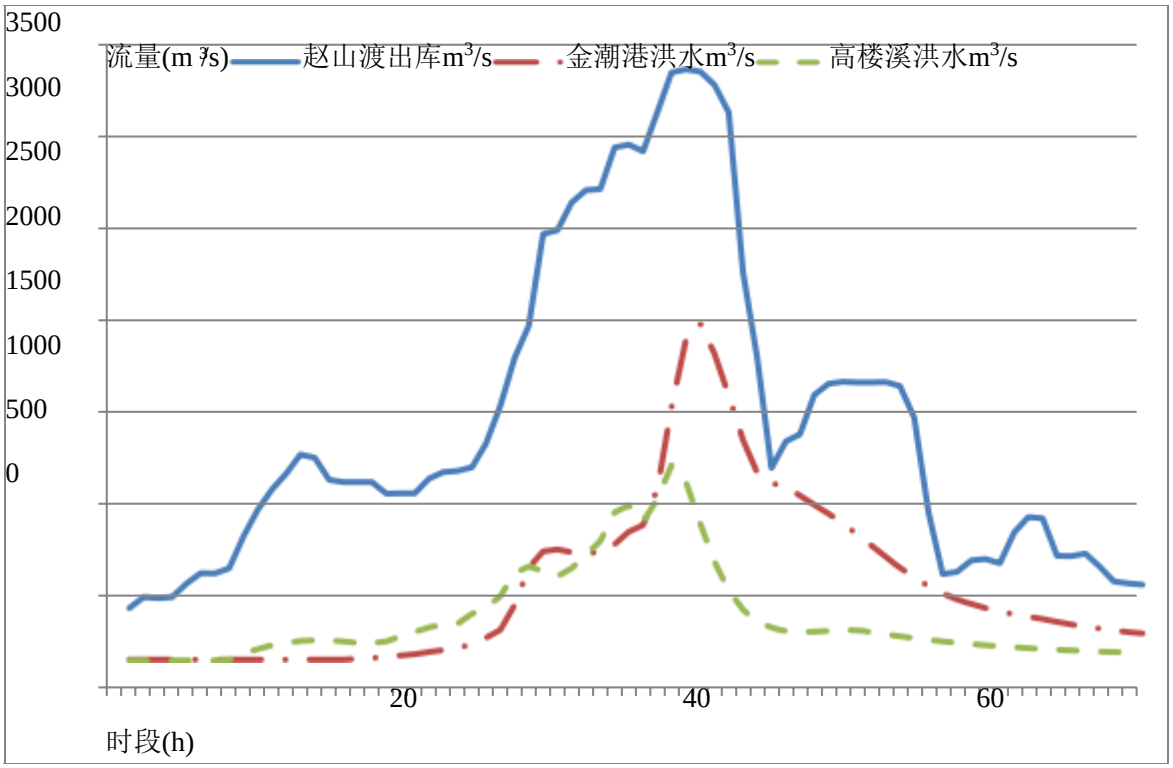


图 2.5-2　　2009 年 8 月 8 日~8 月 10 日各分区洪水过程线

设计净雨过程采用简易扣损法，假定土壤最大含水量 Imax 为 100mm，土壤前期含水量为 80mm，则初损为 20mm，后损值为 0.5mm/h。各分区“莫拉克”台风三日净雨成果见表 2.5-3。

表 2.5-3　　“莫拉克”台风各分区三日净雨成果表

分区	集水面积 (km^2)	净雨总量 (mm)
赵山渡-平阳坑	78.6	442.5
河头、顺泰片	55.8	380.5
荆谷片	42.1	340.3
天井垟片	111	338.0
桐浦片(至瑞安)	111.7	270.8
仙降片(至瑞安)	43.3	243.0

上望潮位过程采用瑞安站实测潮位经修正后求得，见图 2.5-3。

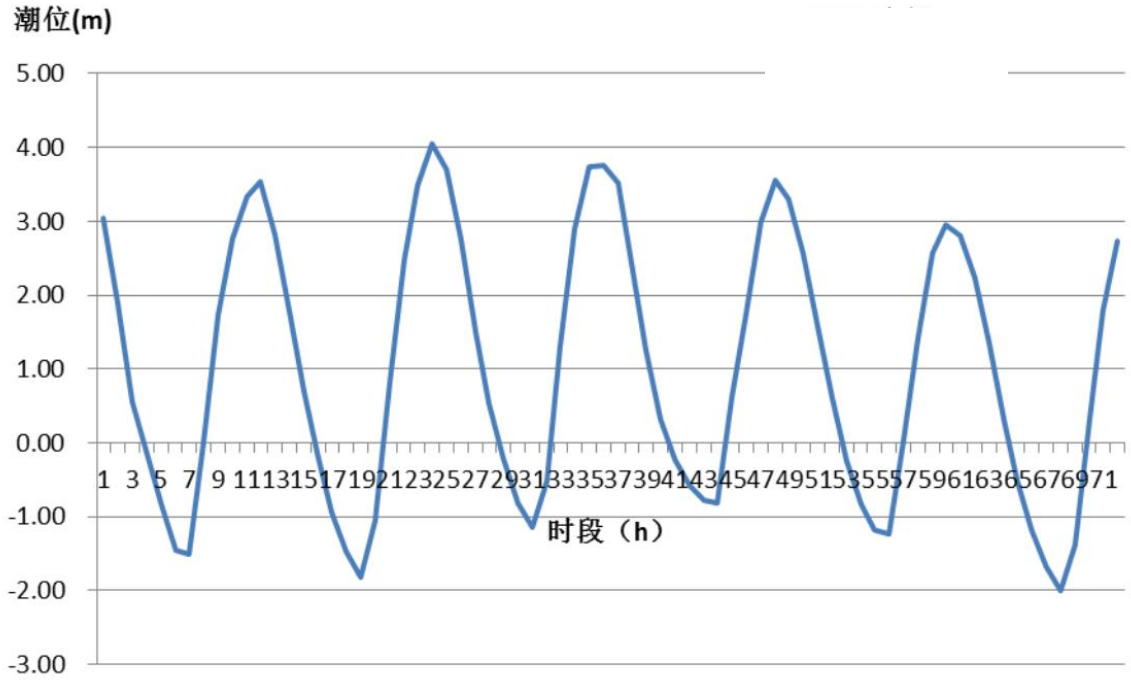


图 2.5-3　　2009 年 8 月 8 日~8 月 10 日上望潮位过程

2.5.3　设计净雨

本流域属南方湿润地区，产流方式用蓄满产流(或称超蓄产流)，即在土壤含水量达到田间持水量以前不产流，所有的降水都被土壤吸收；而在土壤含水量达到田间持水量后，所有的降水(减去同期的蒸散发)都产流。在设计条件下，设计净雨采用简易扣损法，假定土壤最大含水量 Imax 为 100mm，土壤前期含水量为 80mm，则初损为 20mm，后损值为 0.5mm/h。

各分区分别选取不同代表站折算暴雨分布系数对飞云江设计暴雨进行缩放得到各自设计暴雨，再按照以上简易扣损法计算求得不同分区各频率设计净雨成果见表 2.5-5。

表 2.5-4　　各分区设计暴雨成果表

分区	集水面积(km^2)	历时	各频率P(%)设计暴雨(mm)					备注	
			1	2	5	10	20	代表站/流域	折算系数
赵山渡-平阳坑	78.6	H24	518	462	386	326	265	宁益、潘山	1.27
		H三日	611	550	465	398	328		1.23
河头、顺泰片	55.8	H24	496	443	370	312	254	潘山	1.22
		H三日	560	504	427	365	301		1.13
荆谷片	42.1	H24	452	403	337	285	232	岩头、潘山	1.11
		H三日	522	470	398	340	280		1.05
天井垟片	111	H24	496	443	370	312	254	曹村	1.22
		H三日	560	504	427	365	301		1.13
桐浦片(至瑞安)	111.7	H24	368	328	274	232	189	岩头、瑞安	0.91
		H三日	431	388	329	281	231		0.87
仙降片(至瑞安)	43.3	H24	332	296	247	209	170	瑞安	0.82
		H三日	388	349	296	253	208		0.78

表 2.5-5　　各分区设计净雨成果表

分区	各频率P(%)净雨(mm)				
	1	2	5	10	20
赵山渡-平阳坑	543	484	403	338	271
河头、顺泰片	514	458	381	319	256
荆谷片	475	423	352	294	235
天井垟片	514	458	381	319	256
桐浦片(至瑞安)	385	342	283	235	186
仙降片(至瑞安)	342	303	250	208	164

2.5.4　设计洪水

2.5.4.1　干流洪水

《浙江省飞云江珊溪水利枢纽工程初步设计报告》(下称“珊溪初设”)采用资料系列截止到 1992 年，主要采用流量法计算珊溪、赵山渡、马屿等断面的设计洪水。其中，赵山渡水库洪水组成采用坝址洪水与赵山渡~珊溪区间同频率洪水、珊溪坝址相应洪水。其设计洪水过程按照设计典型洪水“60.8 型”内插成逐时段典型洪水过程。

二期可研阶段将岔口站资料延长至 2019 年，其中 2000 年后数据还原至珊溪水库未建时的天然工况；根据岔口站 2000 年后实测洪水与珊溪水库运行调度资料收集到的入库洪水，建立地区综合关系，岔口站 2000 年后较大洪水成果见表 2.5-6。将岔口站 1955~2019 年的洪峰流量系列采用频率分析法得到岔口站不同设计频率洪峰流量成果，并采用水文比拟法得到珊溪坝址天然洪水。延长前后岔口、珊溪坝址设计洪水成果相差较小，变幅不到 1%。珊溪水库原初步设计洪水代表性较好，为了工程的延续性，二期可研珊溪坝址、岔口的设计洪水与珊溪初设一致。

本次通过复核，认为二期可研成果方法较为合理，采用系列满足规范要求，本阶段仍采用可研阶段成果。

表 2.5-6　　2000 年后飞云江较大洪水调查成果

年份	洪峰流量(m^3/s)	
	珊溪入库	岔口天然
2005	8276	9540
2015	6074	7130
2016	8350	9616
历史调查洪水(1912年)	11100	13400

表 2.5-7　　飞云江珊溪、岔口断面设计洪水

断面	阶段	资料系列	项目	均值	Cv	CS/CV	各频率P(%)洪水(m^3/s)			
							1	2	5	10
岔口	珊溪初设	1955~1992	Qm(m^3/s)	3850	0.76	2.5	14200	12300	9670	7680
	二期可研	1955~2019	Qm(m^3/s)	3870	0.75	2.5	14100	12200	9640	7680
珊溪坝址	珊溪初设	1955~1992	Qm(m^3/s)	/	/	/	11500	9920	7790	6200
	二期可研	1955~2019	Qm(m^3/s)	3150	0.75	2.5	11500	9940	7840	6250

赵山渡水库以上设计洪水地区组成有两种，其一是珊溪水库坝址以上与赵山渡水库坝址以上同频率设计，珊溪水库至赵山渡坝址区间为相应洪水；其二为珊溪水库至赵山渡坝址区间与赵山渡水库坝址以上同频率设计，珊溪水库坝址以上相应洪水。经分析计算确定第二者作为本工程地区洪水组合，各断面洪水成果与珊溪初设一致，具体见表 2.5-8。

表 2.5-8　　各断面设计洪水成果表

流域位置	集水面积(km^2)	项目		各频率P(%)洪水(m^3/s)				
				1	2	5	10	20
珊溪水库(相应)	1529	洪峰	(m^3/s)	10800	9400	7600	5880	4350
		三日洪量	(亿m^3)	6.3	5.73	4.84	3.86	3.12
珊溪至赵山渡区间(设计)	773	洪峰	(m^3/s)	6800	5960	4640	3660	2650
		三日洪量	(亿m^3)	3.5	3.11	2.56	2.24	1.75
珊溪水库(设计)	1529	洪峰	(m^3/s)	11500	9920	7790	6200	4580
		三日洪量	(亿m^3)	6.52	5.82	4.86	4.07	3.27
珊溪至赵山渡区间(相应)	773	洪峰	(m^3/s)	6310	5800	4600	3400	2480
		三日洪量	(亿m^3)	3.28	3.02	2.54	2.03	1.6
赵山渡以上	2302	洪峰	(m^3/s)	16400	14100	11100	8860	6570
		三日洪量	(亿m^3)	9.8	8.84	7.4	6.1	4.87
岔口	1930	洪峰	(m^3/s)	14200	12300	9660	7690	5680
		三日洪量	(亿m^3)	8.38	7.48	6.24	5.22	4.18
马屿	2580	洪峰	(m^3/s)	17900	15500	12200	9730	7230
		三日洪量	(亿m^3)	11.0	9.87	8.28	6.95	5.60

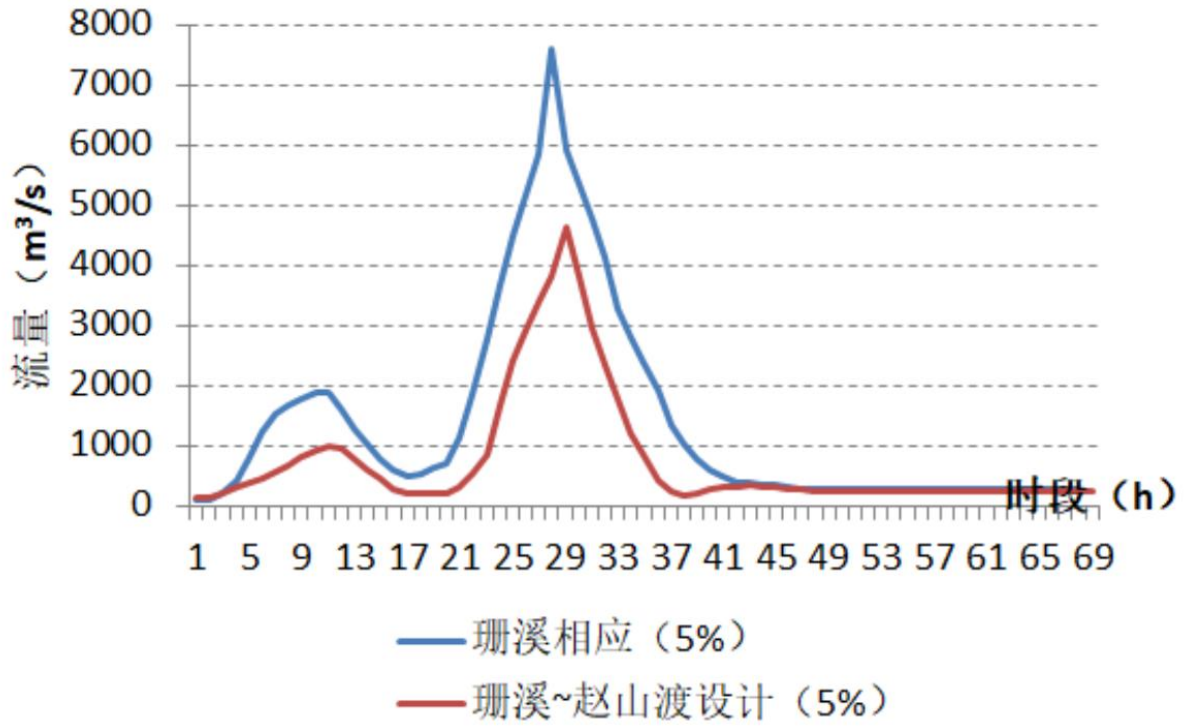


图 2.5-4　珊溪~赵山渡区间设计、珊溪相应的洪水过程线

2.5.4.2　支流洪水

高楼溪、金潮港流域内无水文测站，支流洪水采用设计暴雨推求，高楼溪、金潮港设计洪水采用瞬时单位线计算，详见表 2.5-9。其他各分区采用净雨计入模型，其成果见表 2.5-5。

表 2.5-9　　高楼溪、金潮港设计洪水成果表

支流	集水面积(km²)	项目		各频率P(%)设计洪水成果				
				1	2	5	10	20
高楼溪	125.3	洪峰流量	(m³/s)	1327	1185	972	798	610
		三日洪量	(万m³)	6211	5514	4555	3784	2987
金潮港	349	洪峰流量	(m³/s)	3740	3330	2700	2190	1650
		三日洪量	(万m³)	17900	15700	12700	10400	8010

将本次计算涉及的高楼溪、金潮港、珊溪水库、岔口等断面，建立集水面积~洪峰流量关系曲线，见下图。以重现期 20 年为例，区域的面积指数约 0.816、相关系数大于 0.99，因此本次涉及的各断面的设计洪峰流量成果具有较好的地区综合性，故本次计算的洪水成果较为合理。

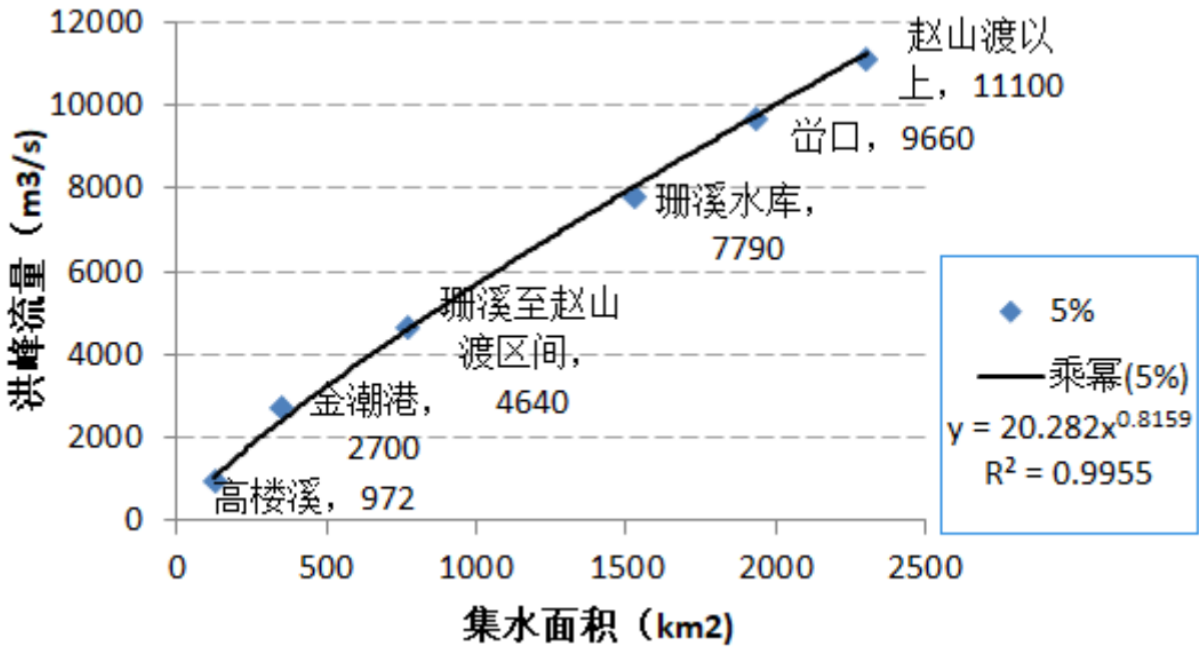


图 2.5-5　　区域集水面积 F~洪峰流量(Qm5%)关系曲线

2.5.5　非汛期洪水

统计分析岔口水文站历年实测非汛期流量，非汛期按照 10 月~次年 4 月统计，资料系列为 1963~2014 年共计 52 年。岔口站非汛期设计洪水成果见表 2.5-10，珊溪水库~滩脚枢纽区间非汛期设计洪峰成果采用面积比拟法计算求得，面积比例系数按照分析采用 0.805。

表 2.5-10　　非汛期(10 月~次年 4 月)设计洪水成果表

位置	集水面积(km^2)	各频率P(%)设计洪水(m^3/s)		
		10	20	33.3
岀口	1930	2420	1450	840
珊溪水库~滩脚枢纽区间	860.4	1263	757	438

2.5.6　排涝洪水

2.5.6.1　设计暴雨

涉及区域及附近有宁益、潘山、岩头、桐溪四雨量站，实际观测资料在 50 年以上，收集四雨量站年最大一日、三日暴雨资料，经 P-III频率曲线适线，得各站设计暴雨见下表。

表 2.5-11　　各雨量站设计暴雨成果表

站点	时段	均值(mm)	Cv	Cs/Cv	各频率P(%)设计暴雨(mm)		
					5	10	20
宁益	一日	197	0.48	3	381	323	263
	24h	H24=H一日×1.13			430	365	297
	三日	285	0.46	3	539	460	378
潘山	一日	182	0.47	3	348	296	242
	24h	H24=H一日×1.13			393	335	274
	三日	253	0.46	3	478	409	335
桐溪	一日	154	0.53	3	314	263	209
	24h	H24=H一日×1.13			355	297	236
	三日	219	0.48	3	423	359	293
岩头	一日	153	0.53	3	312	261	208
	24h	H24=H一日×1.13			353	295	235
	三日	215	0.47	3	411	350	286

宁益站为飞云江的暴雨中心，其设计暴雨比其他站点高；宁益、潘山、桐溪、岩头四站的测站高程分别为 45m、10m、20m、10m，宁益、桐溪两站位于山区，潘山、岩头两站位于河谷平原。桐溪、岩头两站设计暴雨相差较小，最大差幅 2.8%；根据本区域暴雨分布特性，选取各排涝区域设计暴雨情况见下表。

表 2.5-12　　各排涝片区推荐设计暴雨成果表

排涝片区	总集雨面积 (km^2)	平原面积 (km^2)	10年一遇设计暴雨(mm)		所选站点
			24h	三日	
平阳坑	14.22	2.2	335	409	潘山
马屿梅屿1	4.66	1.3	335	409	潘山
马屿梅屿2	29.44	6.58	335	409	桐溪
荆谷片	14.44	8.12	297	359	桐溪
陶山碧山桐浦片	66.43	18.72	297	359	桐溪
白莲片	2.59	0.98	297	359	桐溪

2.5.6.2　日程分配

各排涝区暴雨日程分配采用为：将最大 24 小时雨量置于三日中的第二日，第一日雨量与第三日各为(H 三日-H24h)/2。

2.5.6.3　时程分配

设计暴雨的时程分配及峰现时间与前面干流洪水计算一致，各排涝分区的 Np 取值 0.55。

2.5.6.4　设计净雨

设计净雨采用简易扣损法，假定土壤最大含水量 I_{max} 为 100mm，土壤前期含水量为 80mm，则初损为 20mm，后损值为 0.5mm/h，各片区三日净雨成果见下表。

表 2.5-13　　各排涝片区设计净雨成果表

排涝片区	总集雨面积 (km^2)	10年一遇设计净雨 (mm)	备注
平阳坑	14.22	362.5	
马屿梅屿1	4.66	362.5	
马屿梅屿2	29.44	362.4	
荆谷片	14.44	318.3	
陶山碧山桐浦片	66.43	318.6	
白莲片	2.59	318.3	

2.6　潮位

2.6.1　潮汐特征

本工程附近海区的潮汐，属正规半日潮。潮汐比值 $\frac{H_k + H_{01}}{H_{M2}} < 0.5$（瓯江口外洞头为

0.3，河口口门附近的黄华为 0.25）。工程区域附近海区为强潮区，潮汐属正规半日潮，存在明显的高潮不等和低潮不等现象，春分至秋分间夜潮高于日潮，秋分至翌年春分间反之。

海潮落潮历时大于涨潮历时，潮差大。飞云江口内高低潮位随上游洪水流量增加而抬高，潮差减小，其中低潮位抬高尤为明显，落潮历时远远大于涨潮历时。口外海区高潮位几乎不受上游洪水的影响，落潮历时略大于涨潮历时。

工程区域附近海区为强潮区，潮汐属正规半日潮，存在明显的高潮不等和低潮不等现象，春分至秋分间夜潮高于日潮，秋分至翌年春分间反之。

海潮落潮历时大于涨潮历时，潮差大。飞云江口内高低潮位随上游洪水流量增加而抬高，潮差减小，其中低潮位抬高尤为明显，落潮历时远远大于涨潮历时。飞云江口外海区高潮位几乎不受上游洪水的影响，落潮历时略大于涨潮历时。

区域内没有潮位站，附近有瑞安站和上关山站，其潮汐特征值见表 2.6-1。

表 2.6-1 **潮汐特征统计表**

站名	瑞安站	上关山站
最高潮位(m)	5.02(1994.8.21)	4.88(1994.8.21)
年最高高潮位均值(m)	4.10	3.92
最低潮位(m)	-2.82(1979.8.24)	-3.81(1978.1.11)
平均高潮位(m)	2.5	2.44
平均低潮位(m)	-1.83	-1.9
最大潮差(m)	6.81	7.24
最小潮差(m)	1.14	1.75
平均潮差(m)	4.37	4.29
平均涨潮历时(h)	4:57	6:07
平均落潮历时(h)	7:28	6:18

2.6.2 设计高潮位

工程所在位置附近有瑞安站和上关山站。瑞安站是长期站，1958 年开始有系统观测潮位，二期可研阶段收集到 1958~2019 年实测潮位资料；上关山站是海洋水文站，现已停止观测，收集到 1978~1994 年实测潮位资料。

二期可研阶段采用瑞安站 1958~2019 年每年最高潮位进行 P-III频率曲线分析，得到瑞安站各重现期设计潮位成果。采用上关山站 1978~1994 年每年最高潮位与瑞安站同期年最高潮位进行相关计算。求得二站的相关关系为：

Z 上=1.0031 Z 瑞-0.2415

由相关关系插补延长上关山站历年最高潮位，并进行频率适线。

上望断面位于瑞安站与上关山站之间，上望设计高潮位采用海塘技术规定值进行相关内插来推求得到。

二期可研阶段非汛期设计高潮位主要采用瑞安潮位站进行分析，采用资料系列为1958~2019 年。

本次通过复核，认为二期可研成果方法较为合理，采用系列满足规范要求，本阶段仍采用可研阶段成果。全年计非汛期最高潮位频率分析成果见表 2.6-2~表 2.6-3。

表 2.6-2　　设计高潮位成果表(全年期)

站点	各频率(%)设计潮位(m)					
	1	2	5	10	20	50
瑞安	5.48	5.22	4.88	4.61	4.34	3.99
上望	5.41	5.14	4.79	4.52	4.25	3.90
上关山	5.33	5.06	4.7	4.43	4.16	3.80

表 2.6-3　　非汛期设计潮位成果表

站点	特征值		各频率(%)设计潮位(m)			
	均值(m)	Cv	5	10	20	33.3
瑞安	3.86	0.05	4.23	4.12	4.00	3.91

2.6.3　设计潮型

1)多年平均高潮潮型

排涝设计潮型按平均偏不利选用。排涝设计暴雨为 20 年一遇，外海潮型通过选择反映多年平均最高潮位或多年平均最高低潮位的实测潮位过程进行比较，取用其较不利的前者,即反映多年平均最高潮位的实测潮位过程。

本项目与飞云江治理一期工程一致，选用瑞安站、上关山站 1989 年 10 月 15 日~18 日四天实测潮位过程，作为排涝设计的典型潮型。其中，上望断面设计潮型过程采用瑞安站实测潮位过程修正得到，见图 2.6-1、表 2.6-4。

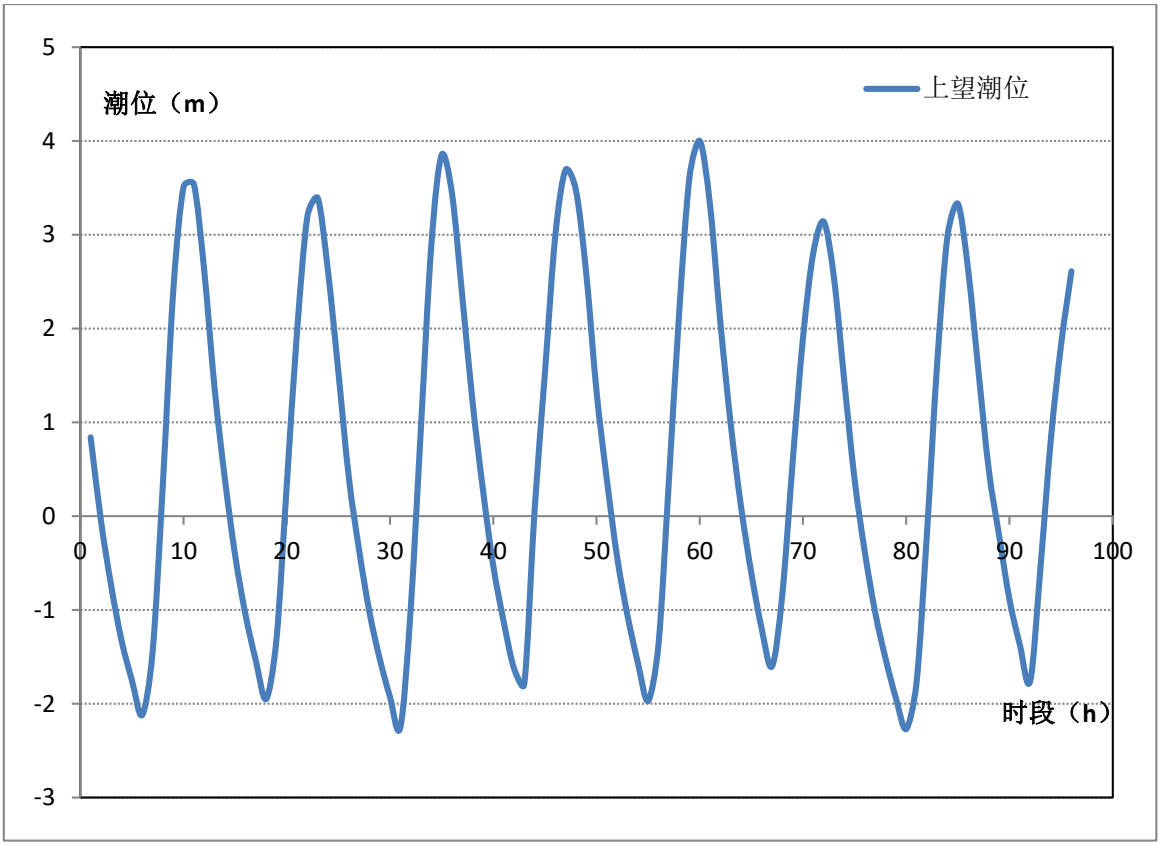


图 2.6-1　　上望断面 1989 年 10 月 15 日~18 日四天潮位过程线

表 2.6-4　　上望断面设计潮型表　　潮位：m

时段	第一日	第二日	第三日	第四日
1	0.84	1.53	2.59	2.54
2	-0.05	0.42	1.33	1.44
3	-0.75	-0.36	0.39	0.39
4	-1.33	-1.02	-0.44	-0.39
5	-1.75	-1.52	-1.06	-1.03
6	-2.12	-1.93	-1.56	-1.52
7	-1.45	-2.25	-1.97	-1.94
8	0.35	-0.99	-1.37	-2.27
9	2.40	0.96	0.36	-1.77
10	3.51	2.89	2.16	-0.19
11	3.54	3.85	3.61	1.64
12	2.62	3.44	4.00	2.99
13	1.37	2.34	3.31	3.33
14	0.40	1.21	2.06	2.62
15	-0.42	0.28	0.98	1.54
16	-1.05	-0.53	0.10	0.49
17	-1.54	-1.12	-0.61	-0.21
18	-1.95	-1.62	-1.20	-0.89

时段	第一日	第二日	第三日	第四日
19	-1.31	-1.79	-1.60	-1.37
20	0.34	0.06	-0.83	-1.76
21	1.98	1.52	0.58	-0.55
22	3.20	2.98	1.90	0.81
23	3.39	3.69	2.81	1.83
24	2.60	3.48	3.14	2.61

表 2.6-5　　上关山设计潮型表　　潮位：m

时段	第一日	第二日	第三日	第四日
1	0.05	0.81	2.05	2.20
2	-1.36	-0.66	0.82	1.12
3	-2.59	-2.10	-0.67	-0.24
4	-3.20	-3.21	-1.95	-1.54
5	-2.72	-3.36	-2.72	-2.62
6	-1.48	-2.41	-2.59	-3.22
7	0.06	-0.94	-1.55	-2.91
8	1.60	0.62	-0.13	-1.86
9	2.92	2.15	1.43	-0.41
10	3.47	3.33	2.83	1.08
11	3.06	3.62	3.71	2.39
12	2.04	3.01	3.72	3.10
13	0.71	1.99	2.92	2.99
14	-0.69	0.64	1.74	2.18
15	-1.98	-0.72	0.38	1.08
16	-2.76	-1.79	-0.84	-0.07
17	-2.59	-2.21	-1.66	-1.11
18	-1.55	-1.69	-1.90	-1.74
19	-0.11	-0.65	-1.33	-1.70
20	1.36	0.73	-0.23	-1.03
21	2.57	2.18	0.99	0.06
22	3.17	3.19	2.09	1.11
23	2.99	3.56	2.80	2.03
24	2.11	3.00	2.86	2.53

2)设计频率高潮位潮型

上关山重现期为 10 年、20 年的设计潮型采用上关山多年平均偏不利潮汐过程进行放大，主要采用设计高潮位控制、低潮位不变的方法，放大后 10 年、20 年一遇的设计高潮位分别为 4.43m、4.70m，其潮位过程见图 2.6-2。

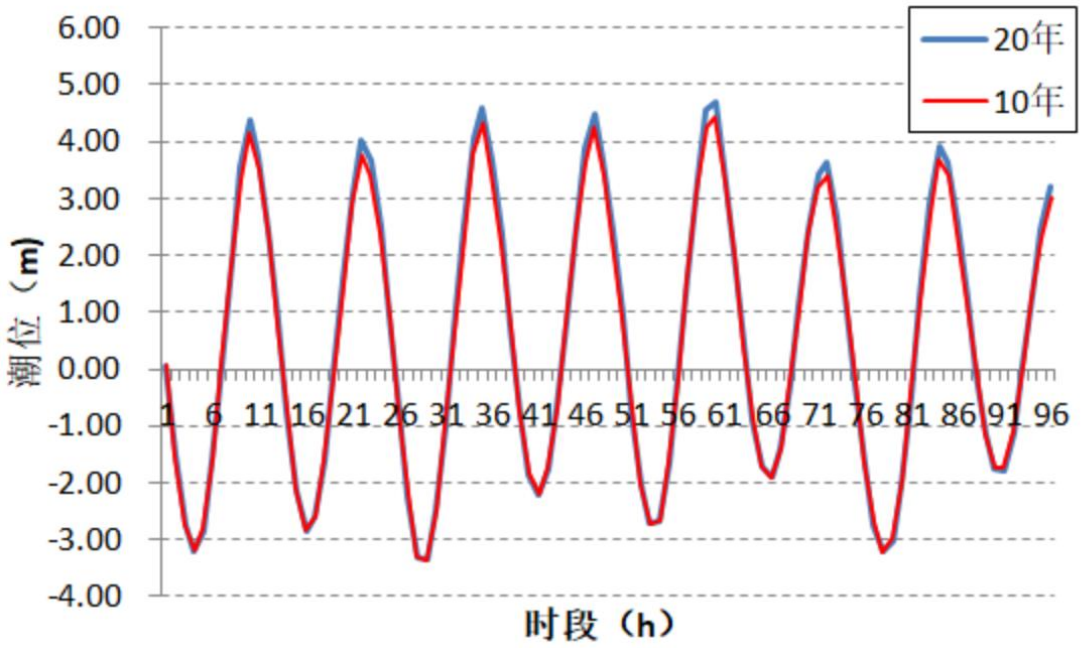


图 2.6-2　上关山重现期 10 年、20 年的设计潮位过程线

2.7　干支流洪水遭遇分析

2.7.1　干支流洪水频率分析

采用金潮港作为代表支流，对支流与飞云江干流洪水遭遇进行分析。

金潮港河口附近无流量站，比较金潮港流域年最大一日面雨量跟飞云江面雨量情况，分析金潮港与飞云江洪水的遭遇问题。

统计金潮港最大一日面雨量与飞云江最大一日面雨量的遭遇情况，见表 2.7-1。

表 2.7-1　　金潮港流域遭遇飞云江洪水统计成果表

序号	日期	一日雨量 (mm)	雨量重现期 (年)	飞云江一日雨量 (mm)	飞云江雨量重现期　(年)
1	2005-7-19	370.7	25~50	252.0	10~20
2	2013-10-6	340.3	20~25	208	5
3	1965-8-19	269.8	7~11	279.1	12~30
4	1987-9-10	259.7	7~10	193.2	5~6
5	1999-9-2	258.1	7~10	96.0	<2
6	1994-8-21	257.1	7~10	203.1	7~10
7	2015-8-8	256.2	7~10	272	11~25
8	2016-10-7	253.3	7~10	233	7~12
9	1992-8-30	251.1	7~10	237.8	10~20
10	1973-10-11	239.9	6	192.2	6
11	1962-9-5	233.8	6	229.0	10~20
12	1991-10-3	233.3	6	65.1	<2

由上表可知，金潮港流域230mm以上雨量洪水共12场，遭遇飞云江5年一遇及以上洪水10场，遭遇概率较大；既有金潮港大洪水遭遇飞云江同等重现期的洪水，也有不同等级重现期的洪水。

最终推荐金潮港等支流与干流洪水的遭遇同飞云江一期初设、《浙江省飞云江流域(温州段)综合规划报告(2015~2030)》一致：金潮港等支流发生5年一遇以上洪水，遭遇飞云江同频率洪水。

2.7.2 干支流洪水错峰分析

干支流洪水错峰主要分析金潮港、高楼溪等支流与干流洪水洪峰的遭遇。

岱口站作为飞云江中游主要水文站，集水面积约占飞云江铁路桥以上区域的60%，是飞云江干流洪水分析的代表站。飞云江赵山渡至荆谷区间无长系列流量、水位观测，雨量有宁益、潘山、曹村站，选取位于高楼溪中游位置的宁益站作为赵山渡至荆谷区间的雨量代表站。同样的，选取金潮港中游的岩头站作为金潮港雨量代表站。

鉴于八十年代以前的雨量观测资料精度影响，分析80年以后岱口洪峰与宁益、岩头两站雨峰遭遇情况，具体见下表。

表 2.7-2 **飞云江干、支流洪水错峰时间统计成果表**

序号	年份	岱口站洪水			宁益站(相对于岱口)		岩头站(相对于岱口)		备注
		洪峰(m^3/s)	重现期(年)	洪峰出现时刻	宁益站雨峰时刻	雨峰后出现时间(h)	岩头雨峰时刻	雨峰后出现时间 (h)	
1	1990	12500	50	8月20日17:30~18:30	20日10:00~11：00	-7	20日12:00~13:00	-5	珊溪水库竣工前
2	1992	6840	5~10	8月31日6:00	30日21:00~22:00	-8.5	30日8:00~9:00	-22	
3	1996	5540	5	8月1日19:42	1日19:00~20:00	0	1日21:00~22:00	2	
4	1985	5500	5	8月24日6:18	23日20:00~21:00	-9	24日4:00~5:00	-2	
5	1983	4650	<5	8月26日6:30	26日4:00~5:00	-2	26日3:00~4:00	-3	
6	1987	4500	<5	9月11日6:00	10日20:00~21:00	9.5	11日7:00~8:00	-1.5	
7	1989	4000	<5	7月22日4：48	21日12:00~13:00	-16	21日13:00~14:00	-15	
8	1994	2780	<5	8月22日8：00	21日23:00~24:00	-8.5	21日22:00~23:00	-9.5	
9	2005	3650	<5	9月1日23:00	1日17:00~18:00	-5.5	1日12:00~13:00	-10.5	珊溪水库竣工后
10	2016	3710	<5	9月28日18:35	28日18:00~19:00	0	28日2:00~3:00	-16	
11	2016	3450	<5	9月15日15:20	16日3:00~4:00	12	15日23:00~24:00	8	
12	2015	2420	<5	8月9日1:10	9日3:00~4:00	2.5	8日23:00~24:00	-1.7	

注：雨峰后出现为“+”，先出现为“-”。

由表 2.7-2，岔口站洪峰与宁益雨峰遭遇情况较为离散，既有同时出现，又有早、晚差异，这跟飞云江流域自身地形地貌、台风气流运动关系较大。1990 年岔口站发生实测最大洪峰流量 12500m³/s(发生时间 8 月 20 日下午 18:30)，宁益站最大雨峰出现时间 8 月 20 日 10:00~11:00，提前约 7 小时；1987 年，岔口站年最大洪峰 4500m³/s(发生时间 9 月 11 日 6:00)，宁益站最大雨峰出现时间 9 月 10 日 20:00~21:00，提前约 9.5 小时，1992 年岔口站最大洪峰流量 6840m³/s(发生时间 8 月 31 日 6：00)，宁益站最大雨峰出现时间 8 月 30 日 21:00~22:00，提前约 8 小时；1996 年 8 月台风、2016 年鲇鱼期间岔口洪峰与宁益站雨峰同时出现。经综合考虑干支流洪水分析，错峰时间支流净雨雨峰提前岔口洪峰约 7 小时计算，与飞云江一期初设一致。

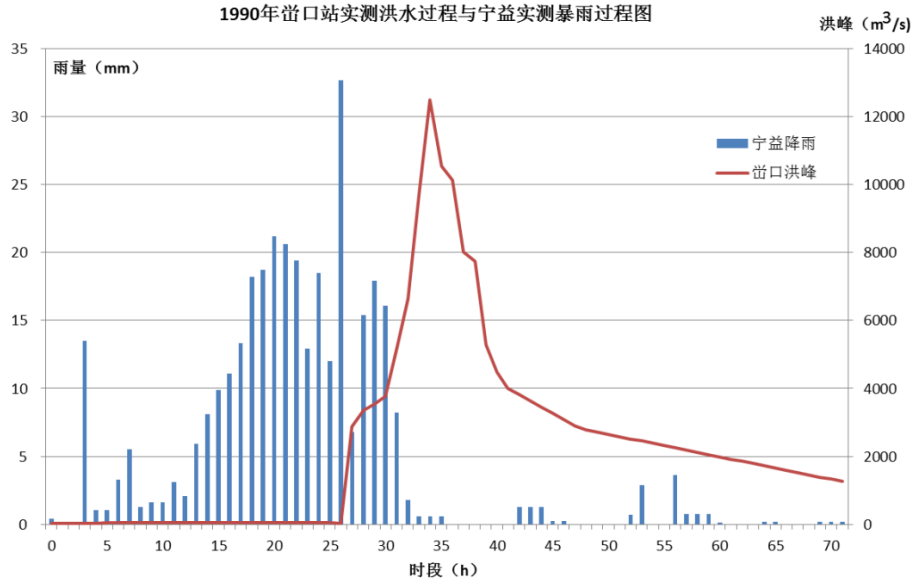


图 2.7-1　1990 年岔口站实测洪水过程与宁益站实测暴雨过程图

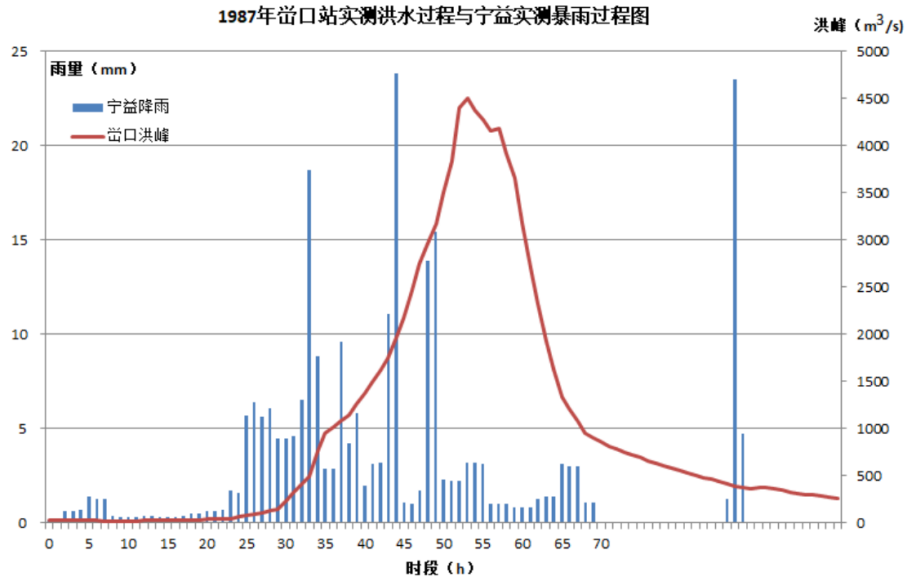


图 2.7-2　1987 年岔口站实测洪水过程与宁益站实测暴雨过程图

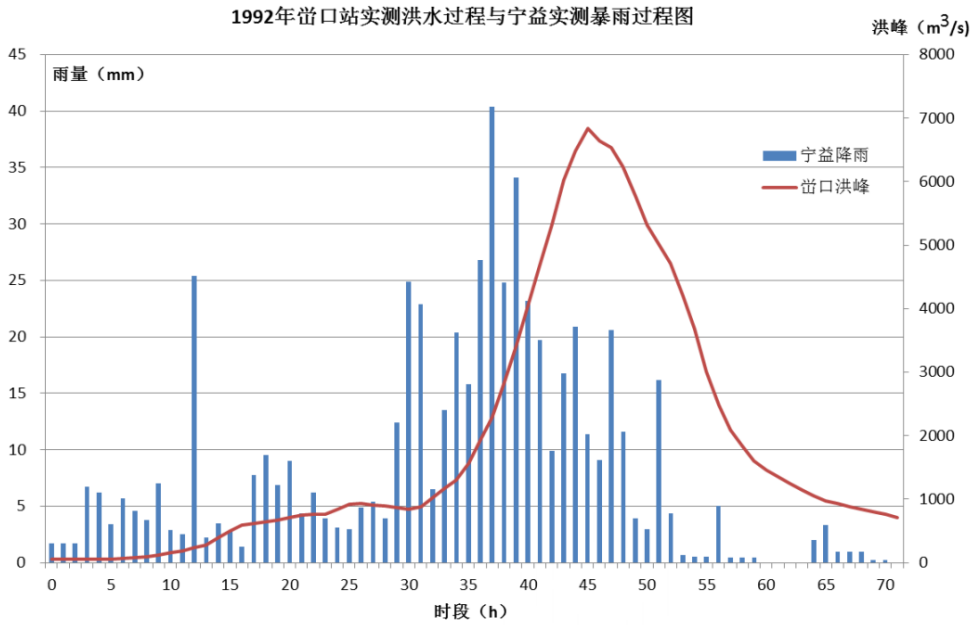


图 2.7-3　1992 年岔口站实测洪水过程与宁益站实测暴雨过程图

由表 2.7-2，岔口站洪峰与岩头雨峰遭遇情况较为离散，一般来说，岩头雨峰早出现的概率较大。1990 年岔口站出现实测最大洪峰流量 12500m ³/s(发生时间 8 月 20 日下午 18:30)，岩头站最大雨峰出现时间 8 月 20 日 12:00~13:00，提前约 5 小时；1989 年岔口站最大洪峰流量 4000m ³/s(发生时间 7 月 22 日 4：48)，岩头站最大雨峰出现时间 7 月 21 日 13:00~14:00，提前约 15 小时；1994 年岔口站最大洪峰流量 2780m ³/s(发生时间 8 月 22 日 8：00)，岩头站最大雨峰出现时间 8 月 21 日 22:00~23:00，提前约 9.5 小时。经综合考虑干支流洪水分析，考虑岔口站洪水传播到金潮港汇流时间，错峰时间支流净雨雨峰提前外江洪峰约 15 小时计算，与飞云江一期初设一致。

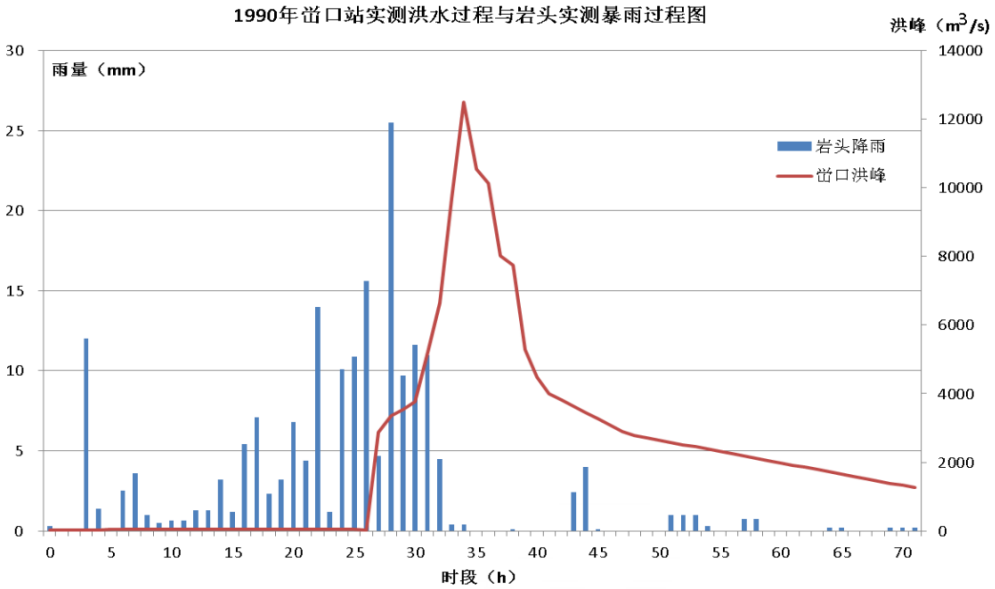


图 2.7-4　1990 年岔口站实测洪水过程与岩头站实测暴雨过程图

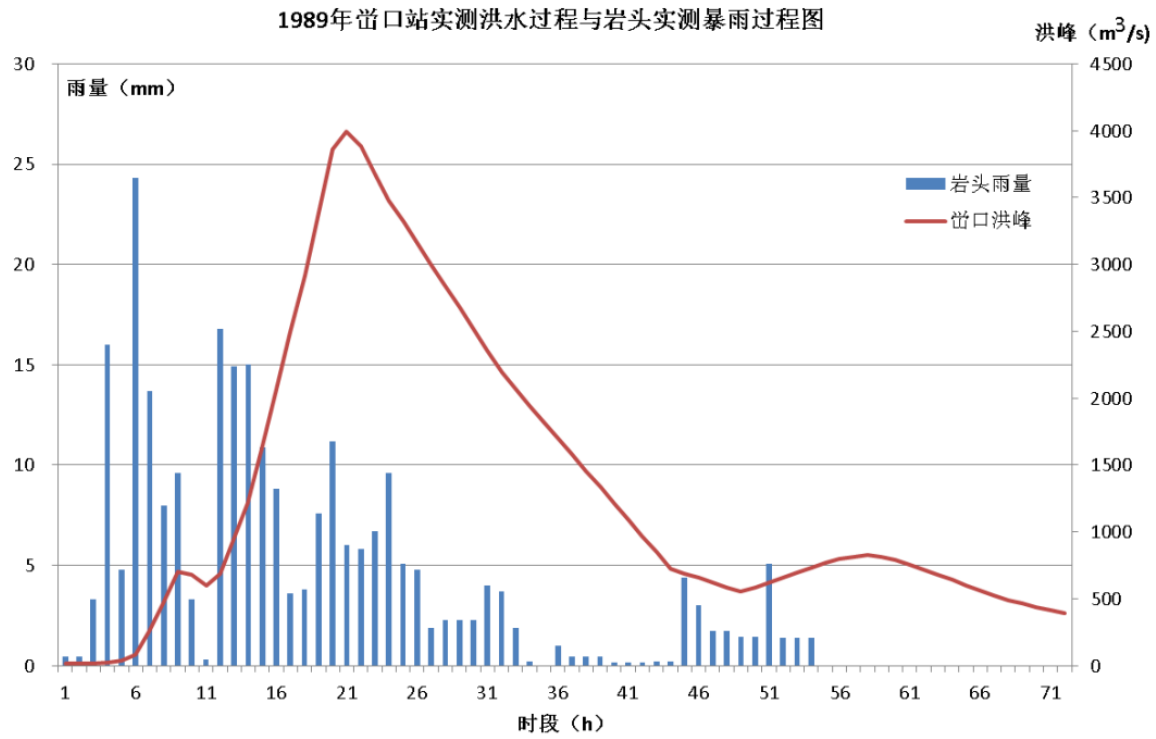


图 2.7-5　　1989 年岔口站实测洪水过程与岩头站实测暴雨过程图

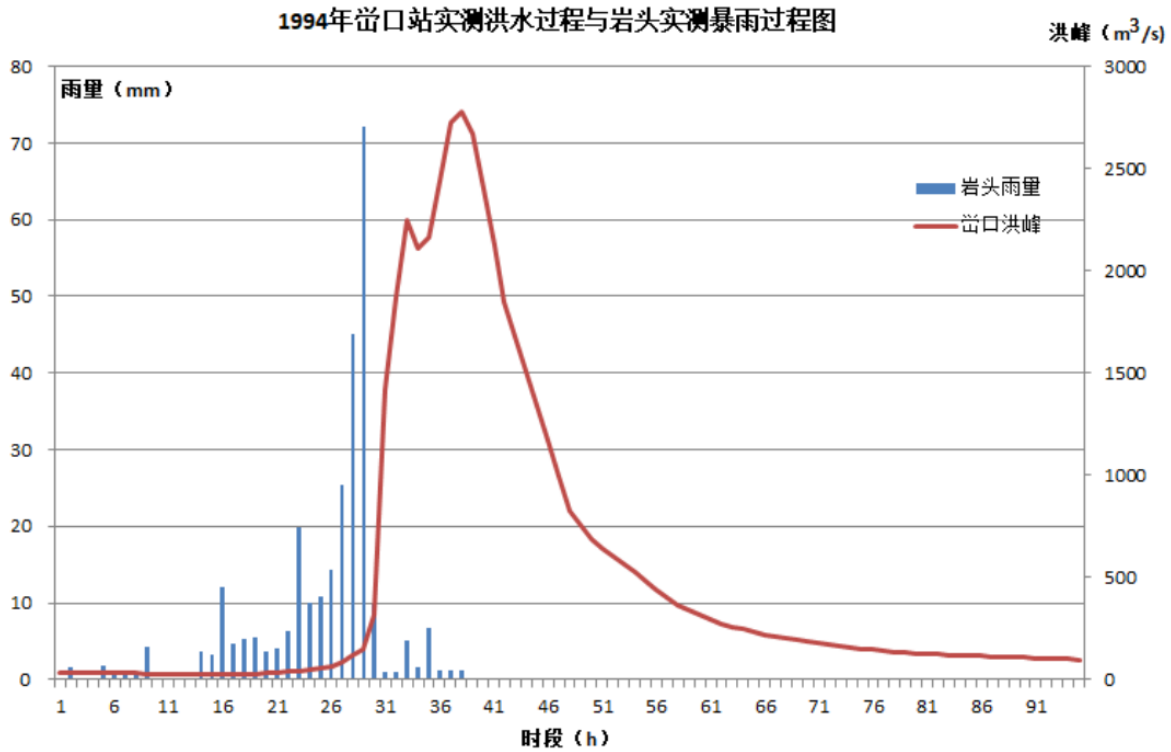


图 2.7-6　　1994 年岔口站实测洪水过程与岩头站实测暴雨过程图

2.7.3 洪潮错峰时间分析

统计岔口站较大洪峰，遭遇瑞安潮位潮峰情况见表 2.7-3。

表 2.7-3　　飞云江洪、潮峰错峰时间统计成果表

序号	年份	岀口站洪水			洪峰之后瑞安站				备注
		洪峰(m^3/s)	重现期(年)	洪峰出现时刻	高潮位(m)	重现期(年)	潮峰时刻	洪峰后出现时间(h)	
1	1990	12500	50	8月20日 17:30~18:30	3.84	<2	20日21:19	3.5	珊溪水库竣工前
2	1973	8710	10~20	10月11日19:00	3.47	<2	11日20:30	1.5	
3	1962	8450	10~20	9月6日4:00	2.85	<2	6日13:30	9.5	
4	1969	7680	10	9月27日 22:00~22:30	4.10	2~3	27日22:30	0	
5	1965	7650	10	8月20日6:00	2.17	<2	20日14:45	8.5	
6	1960	7460	10	8月10日5：30	3.36	<2	10日11:00	5.5	
7	1959	7370	10	9月4日21:45	4.12	2~3	4日22:20	0.5	
8	1992	6840	5~10	8月31日6:00	3.97	<2	31日11:10	5	
9	1958	6140	5~10	9月5日 6:30~7:00	1.67	<2	5日13:45	7	
10	1971	5820	5~10	9月23日18:00	3.35	<2	23日23:30	5.5	
11	1996	5540	5	8月1日19:42	4.34	5	1日23:05	3.5	
12	1985	5500	5	8月24日6:18	2.34	<2	24日16:00	9.5	
…	2005	3650	<5	9月1日23:00	2.64	<2	2日8:15	9	珊溪水库竣工后
…	2016	3710	<5	9月28日18:35	3.89	<2	28日20:10	2	
…	2016	3450	<5	9月15日15:20	3.69	<2	15日20:40	5	
…	2015	2420	<5	8月9日1:10	2.9	<2	9日4:35	3	

由上表可见，飞云江岀口站洪峰与下游瑞安站潮峰遭遇时间比较离散，一般岀口洪峰早出现 2~6h。本工程推荐珊溪~赵山渡区间洪峰早于瑞安潮峰 4h 出现，与飞云江一期初设一致。另外，上关山潮峰一般比瑞安站潮峰提前半小时左右，本次设计洪潮错峰上关山与瑞安站取相同时间。

2.8　河势分析

根据《飞云江二期工程河势分析及设计工况堤前河道冲刷分析专题报告》、《2018 年度飞云江动态监测及研究分析专题》、《2019 年度飞云江河口江道观测报告》、《仙降湖工程对于干流高水位及河床冲淤影响影响分析》(2020 年 9 月)、《2019-2023 年度飞云江动态监测及研究分析专题之 2019 年度水文测验技术报告》、《2022 年飞云江河口简报》等对飞云江河道河势分析，摘录相关结论如下。

2.8.1 河床总体态势

飞云江河口段总体河势分布如图 2.8-1 所示，根据不同河段河势特征，河口段又分为河口上游段(滩脚至七甲)、河口中游段(七甲至宝香)、河口下游段(宝香至河口)，不同河段水文泥沙环境不同，河势变化特征亦不尽相同。本次工程主要关注宝香以上河段。

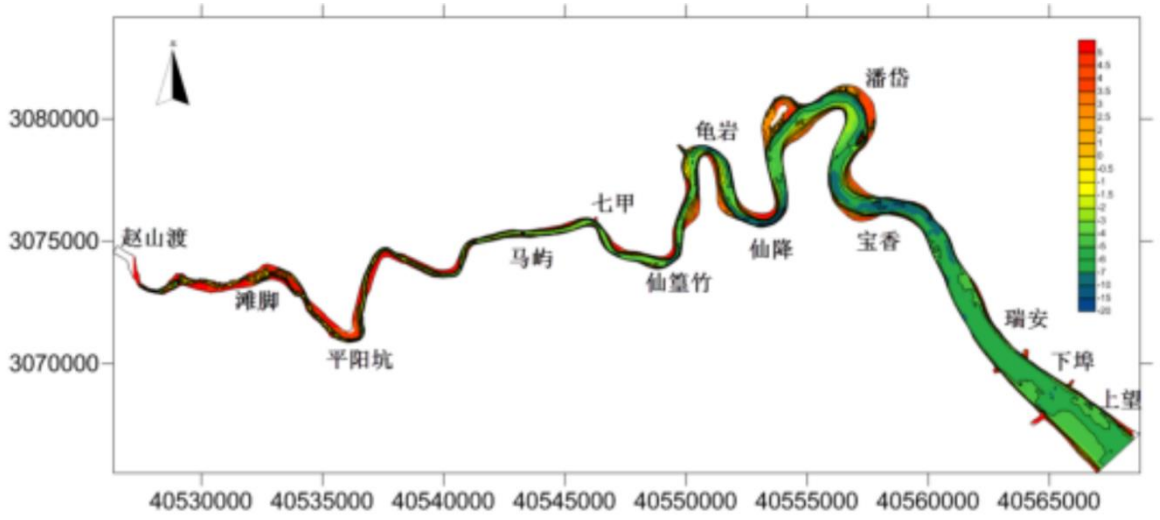


图 2.8-1　飞云江河口河势分布图

（1）年际变化

将 1978 年至今的江道观测资料整理分析后得到飞云江江道容积历年变化。珊溪水利枢纽工程于 2000 年 3 月正式蓄水，上述江道观测资料中包括枢纽工程建设前 22 年中的 7 个测次和枢纽工程建设后到 2021 年的观测资料，分析飞云江江道容积的历年变化规律如下：

建库前自 1978 年~2000 年约 22 年的实测资料统计显示全河段河槽平均容积为 157.5×10^6m^3；建库后自 2000 年~2018 年约 18 年实测资料统计显示全河段河槽平均容积为 175×10^6m^3，增大 17.5×10^6m^3，增幅为 11%。其中上游、中游和下游河段平均容积增幅分比为 18.5%、13.8%和 8.8%，上游河段变化幅度大于下游河段；但下游河段绝对冲淤量是上游河段 2~4 倍。再从 2000 年以来的容积变化来看，2000-2009 年河槽总体呈扩大趋势，2010-2019 年河槽总体呈减小趋势。2019 年 11 月至 2021 年 11 月，飞云江河口总容积减少 3.93×10^6m^3。2020 年年内，飞云江河口全河段淤积，总容积减少 4.8×10^6m^3；上游段淤积最为显著，2021 年较 2020 年河口全河段略有冲刷，总容积增大 0.9×10^6m^3；主要集中于中上游河段。

1)上游段(滩脚~七甲)

飞云江河口上游滩脚~七甲河段河道全长约 20km，河段整体河势见图 2.8-2。上游

自赵山渡坝址至滩脚河段在历史上受到潮波的影响，处于沙砾推移质的堆积环境，发育成具有典型砾质洲滩的分汊型河道，各股汊道虽有一定消长变化，但较稳定。2019 年，滩脚堰坝工程实施后，该河段不再受河口潮汐影响，故飞云江河口起始段调整为滩脚堰坝坝址。

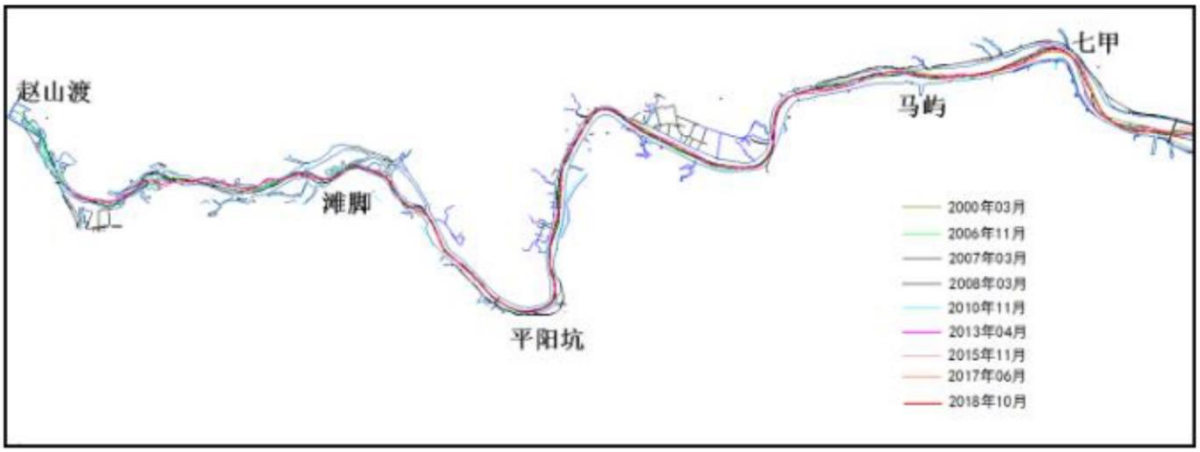


图 2.8-2　　飞云江河势图(赵山渡~七甲河段)

滩脚~七甲河段，河道由滩脚－村头河湾、村头－孙宅河湾、孙宅－七甲顺直河段组成，其平面形态格局明显受构造或山体基岩的约束，断面比较窄深，河宽在 150m~300m 之间，河势形态较稳定。枢纽工程实施前后河段内河势并无明显的变化。

结合历史实测资料分析成果，自 1978 年以来，飞云江上游河段(平阳坑至七甲)中潮位下容积整体呈上升趋势，2000 年上游建库后，河床容积略有增大。2019 年 11 月至 2021 年 11 月，上游段中潮位下容积减少 $1\times10^6 m^3$。2020 年年内，上游河段淤积较大，总容积减少 $1.3\times10^6 m^3$；滩脚堰坝下游河道主槽淤高显著，2021 年较 2020 年河段冲刷明显，总容积增大 $0.3\times10^6 m^3$；滩脚堰坝下游冲刷较大。

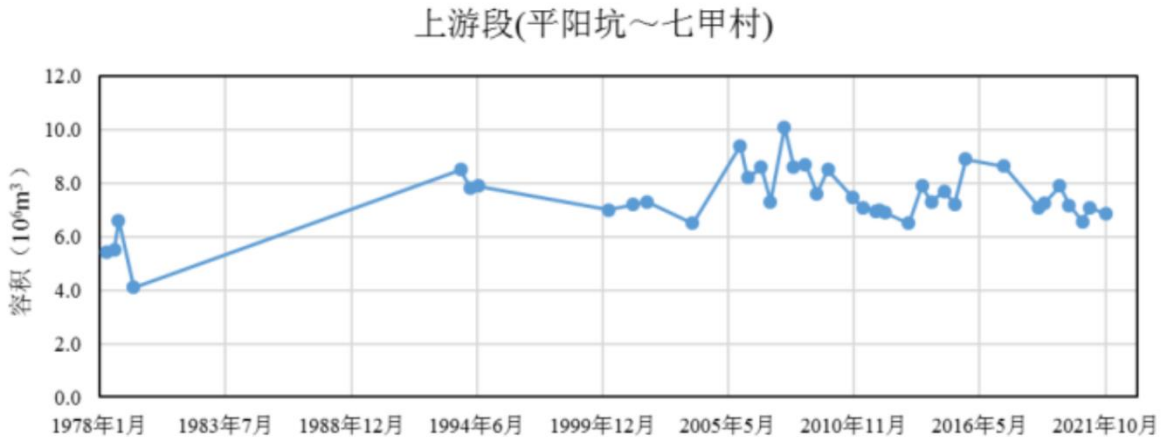


图 2.8-3　　平阳坑~七甲河段中潮位以下容积变化

2)中游段(七甲~宝香)

七甲到宝香河道全长 24km，有两个大小不等的“Ω”弯道。其中上弯仙篁竹~仙降弯道长度约 7.5km；下弯仙降~宝香弯道长度约 15km。该段弯道河岸由海积土和冲积土组成，在弯道水流的作用下，凸岸淤长，凹岸冲刷崩退，边滩、心滩发育，浅滩、深槽相间，此外还存在桐田沙、鲤鱼沙等沙洲，为蜿蜒性河道。结合历史实测资料分析成果，自 1978 年以来，该河段内中潮位下容积整体呈上升趋势，2000 年建库后河段容积先升后降，总体变化较小。2019 年 11 月至 2021 年 11 月，中游段中潮位下容积减少 $0.9\times10^6m^3$。2020 年年内，河段有所淤积，总容积减少 $2.2\times10^6m^3$；2021 年较 2020 年河段略有冲刷，总容积增大 $1.3\times10^6m^3$。

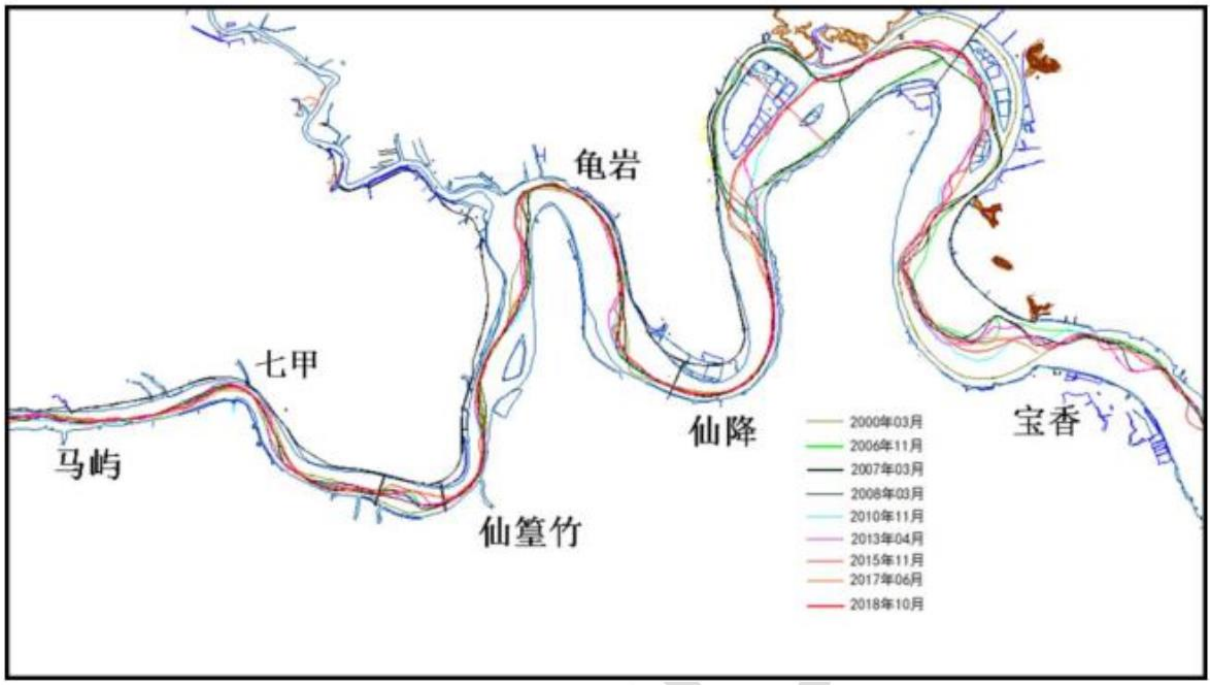


图 2.8-4　　飞云江河势图(七甲~宝香河段)

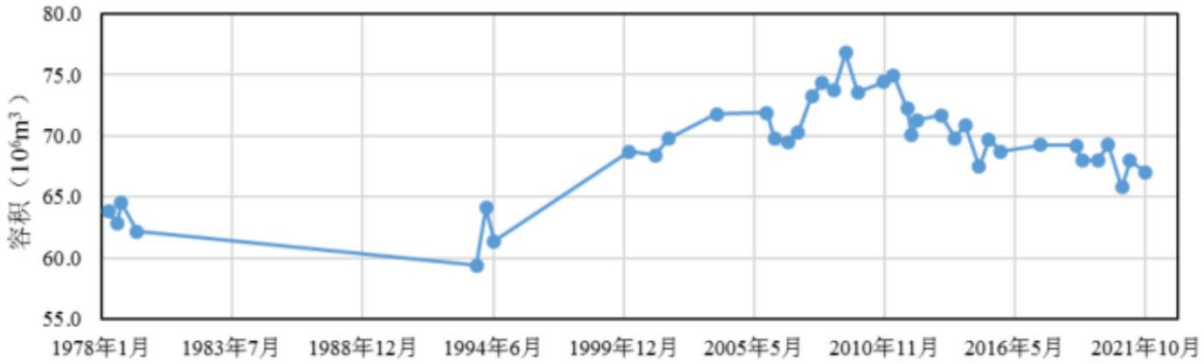


图 2.8-5　　七甲~宝香河段中潮位以下容积变化

（2）年内变化

结合统计数据，上游河段受径流影响最为敏感，一般 11 月到次年的 4 月河槽淤积

缩小，4 月到 11 月冲刷扩大，呈现丰冲枯淤的特点，河槽容积呈现出汛后容积扩大，非汛期后容积减小不断交替的变化形势。中游和下游由于受到潮水和洪水共同作用，与上游段容积变化规律不同，一般 11 月到次年的 4 月河槽容积受潮水冲刷影响呈现扩大，4 月到 11 月受上游径流影响容积缩小，呈现丰淤枯冲的特点。

工程河段内总体年内冲淤呈现丰淤枯冲的特征，但由于弯道段内河势特征存在一定差异。

2.8.2 重要险段演变特征

飞云江干流自平阳坑以下河段，沿程分布有多处较大河弯，弯道段由于曲率半径较小，河道较窄，而洪水期水流流速较大，由于弯道环流效应，易在弯道下游形成顶冲，并掏刷河道凹岸，对沿线堤防稳定存在较大安全隐患，是飞云江河口重要防汛险段。以下从几个典型断面进行分析：

（1）平阳坑

平阳坑弯道位于滩脚下游约 4.5km，弯道左岸为滩地，种植有丰富植被，弯道右岸为平阳坑镇，部分民房距河道较近。平阳坑弯道布设有 F9、F10、F10-1 等三个固定监测断面，断面布置如图 2.8-6 所示。平阳坑弯道深泓线年际间较为稳定，深泓线位于河道中部，年际间摆动幅度小于 40m。2018-2020 年，由于上游来水减少，下游外海泥沙随潮向上游搬运，使得平阳坑各监测断面主要以淤积为主，断面淤积对堤防稳定有利，但洪水位将有所抬升，不利于区域防洪。

图 2.8-6　平阳坑固定监测断面示意图

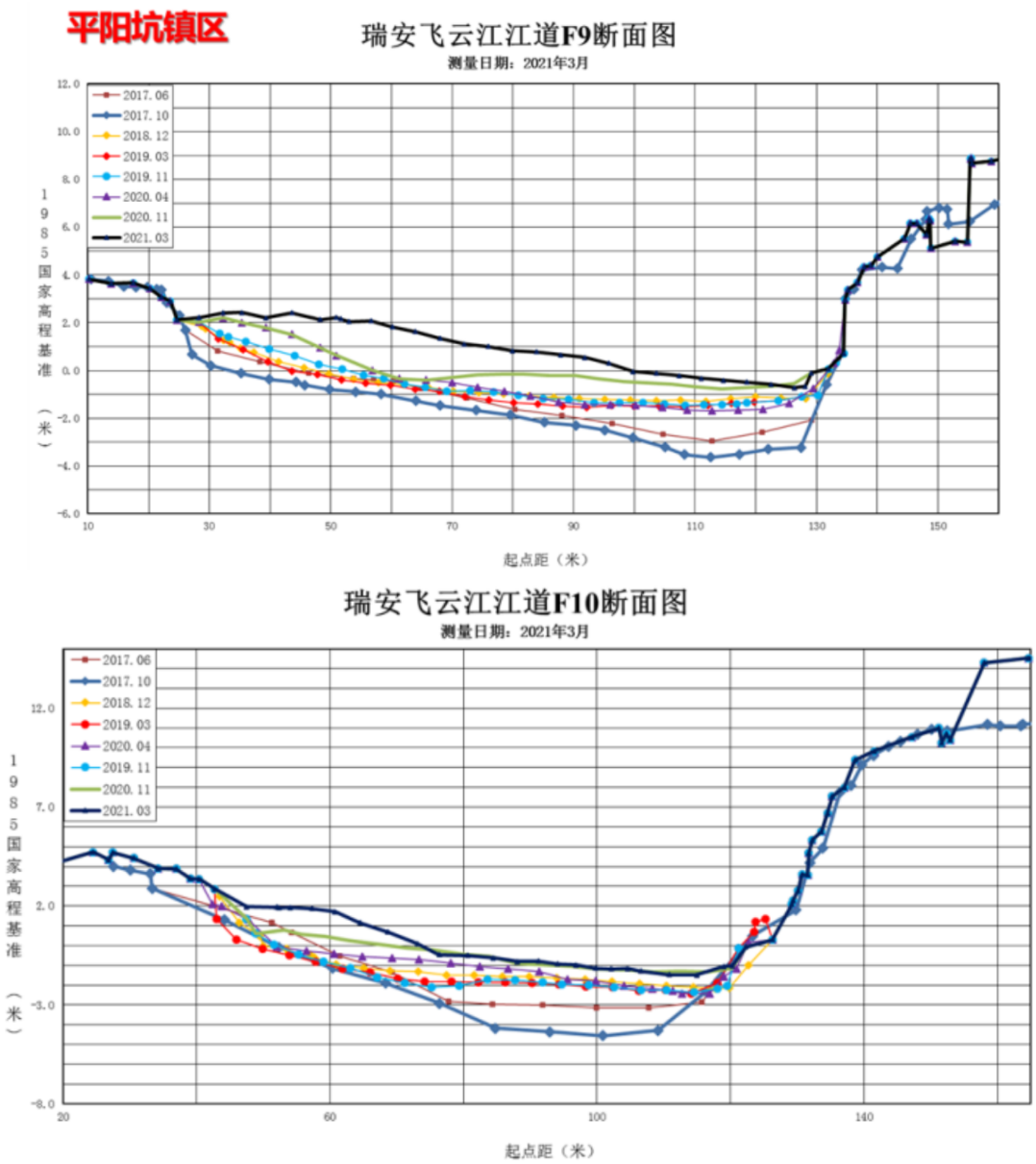


图 2.8-7　　平阳坑段特征断面变化图

（2）七甲

七甲弯道位于滩脚下游约 19km，七甲段附近弯道左、右岸堤外为少量农田滩地，树排头段左岸为滩地，右岸贴近树排头村。七甲弯道布设有 F19、F19-1、F19-3 等三个固定监测断面，断面布置如图 2.8-8 所示。七甲弯道主要分布有两处-5m 等深线深槽，分别位于七甲村以及树排头村凹岸前沿，根据图 5-4 可以看出，2008 年前七甲村弯道-5m 等深线包围面积大于树排头村-5m 等深线包围面积，2008 年以后树排头村-5m 等深线包围面积大于七甲村弯道，目前树排头村前沿-5m 深槽发育较显著，是七甲弯道较危险凹岸险段。

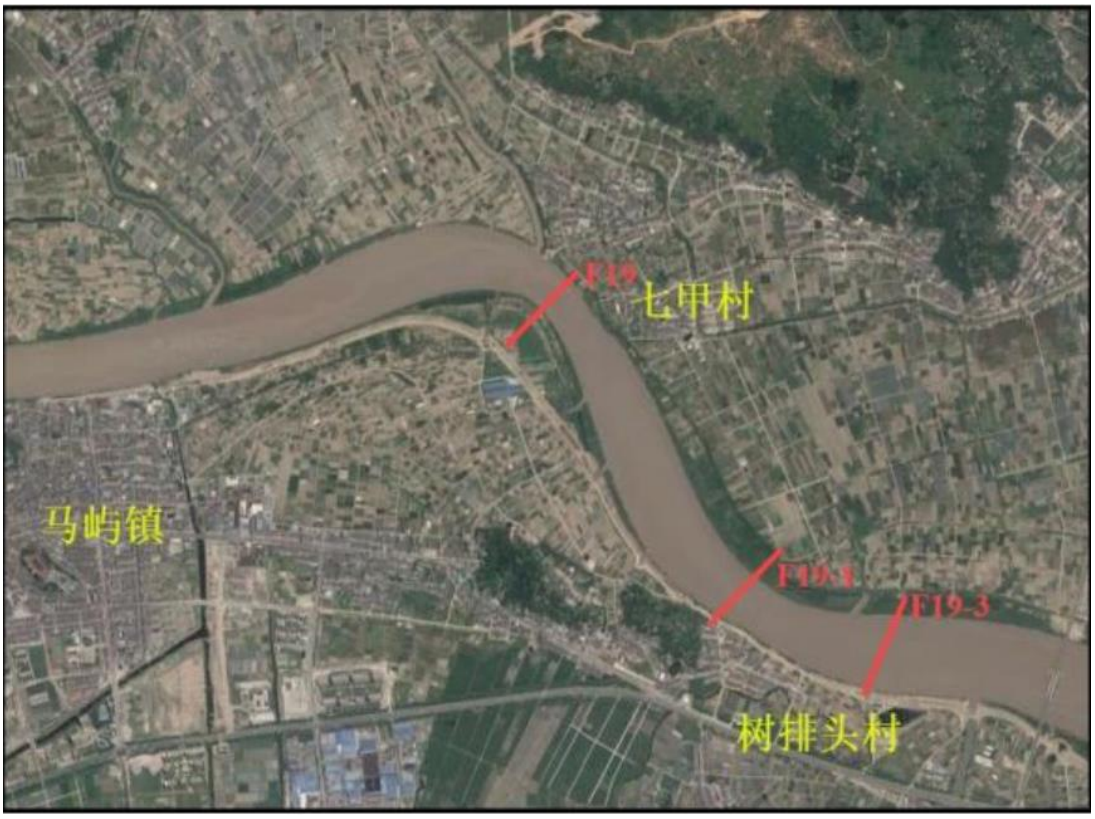


图 2.8-8　　七甲弯道断面示意图

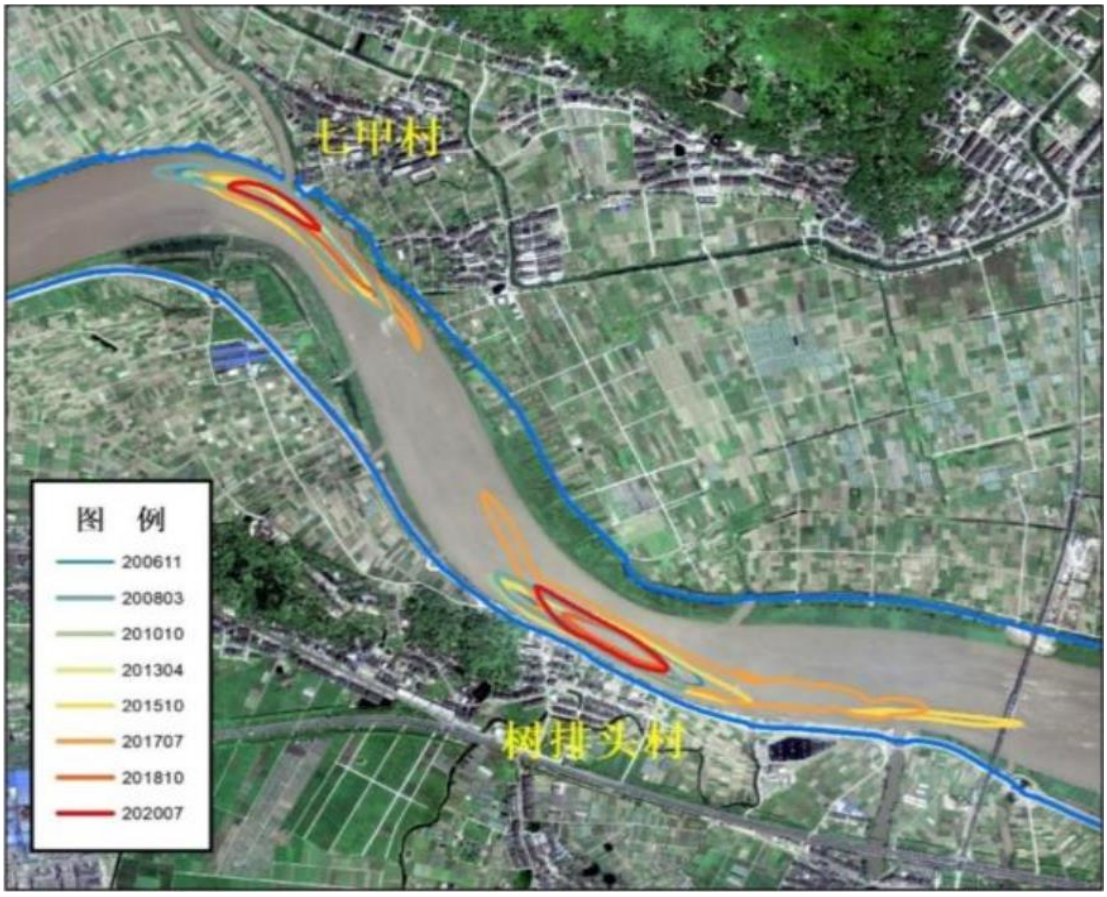


图 2.8-9　　七甲弯道-5m 深槽分布示意图

荆谷段 0+000~0+440 段凹岸段监测断面为 F19。根据实测资料绘制 F19、F19-1、F19-3 断面变化如图 2.8-10~图 2.8-12。由 2.8-10 可知，F19 断面较为稳定，深泓贴近河道左岸，摆动幅度较小，主槽冲淤较明显，左岸边滩冲淤幅度较小，右岸边滩冲淤幅度较大。2012 年 10 月主槽最深点高程-5.4m，2007 年 11 月主槽最深点高程-8.5m，冲淤变幅 3.1m，左岸边滩最大冲淤幅度约 1.3m，右岸边滩最大冲淤幅度约 2.5m。

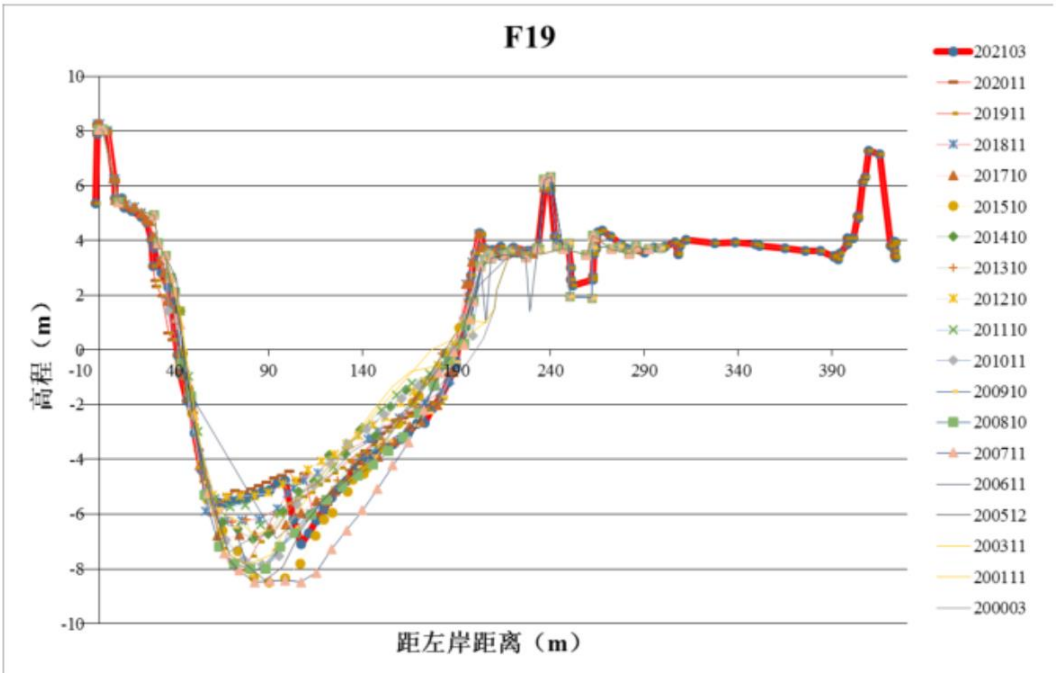


图 2.8-10　　F19 断面变化图

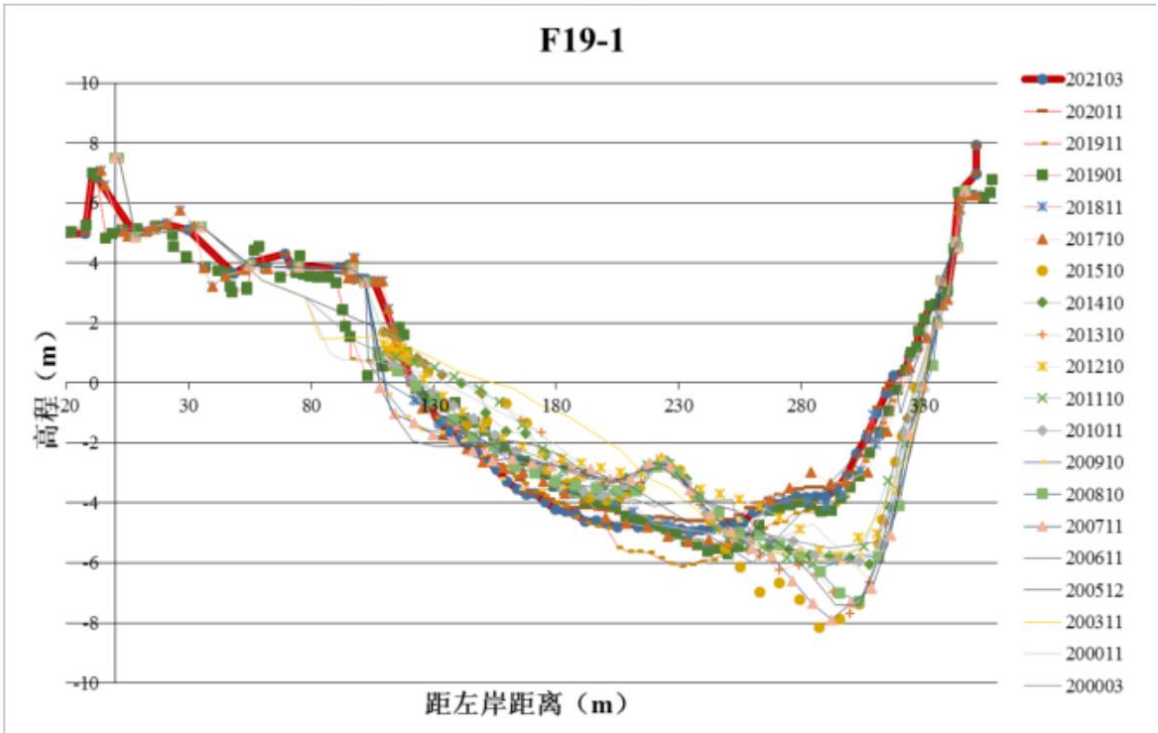


图 2.8-11　　F19-1 断面变化图

由图 2.8-11 可知，F19-1 断面形态相对稳定，但滩槽冲淤幅度较大，深泓贴近右岸，个别年份主槽深泓存在一定幅度的摆动。2000 年以来深槽变化幅度可达 4.5m，2000 年~2015 年断面最深点位置受微弯河势控制位置较为稳定，摆动幅度约为 50m，飞云江治理一期工程在树排头弯道布置有数个潜坝群护岸工程，潜坝于 2015 年底开始实施，部分已建设的潜坝导致 2017 年 F19-1 断面形态发生较大变化，右岸深槽位置明显向江心移动，移动距离约为 40m，原右岸深槽位置大幅淤涨，最大位置淤积幅度可达 3m，主槽向江心调整同时导致左岸滩地的冲刷，左岸平均冲刷幅度约 2m。根据 2000 年至 2017 年地形数据统计可知，最深点年际上 2014 年最低，为-8.18m。

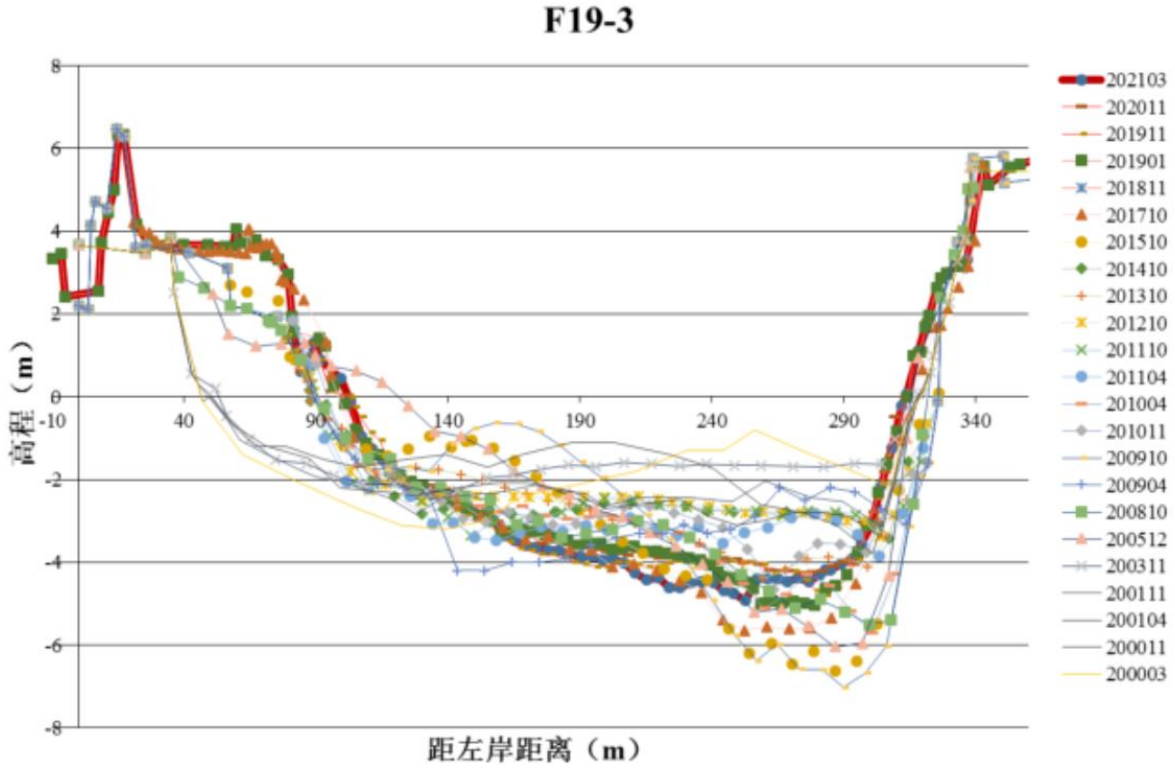


图 2.8-12　　F19-3 断面变化图

由图 2.8-12 可知，F19-3 断面与 F19-1 断面类似，河床冲淤幅度整体较大，深泓摆动幅度亦较大。2003 年 11 月主槽最深点高程仅-2m，2009 年 10 月主槽最深点高程达-7m，冲淤变幅近 5m，2007~2008 年深泓贴近河道右岸，2017 年护岸工程实施后深泓逐渐向江心移动；左岸滩地自 2003 年后淤积较为显著，抬升幅度约 3m，右岸滩地冲淤相对较小。

（3）仙篁竹

仙篁竹弯道位于七甲弯道下游，该弯道布设有 F20、F20-2、F21 等三个固定监测断面，断面位置如图 2.8-13 所示。

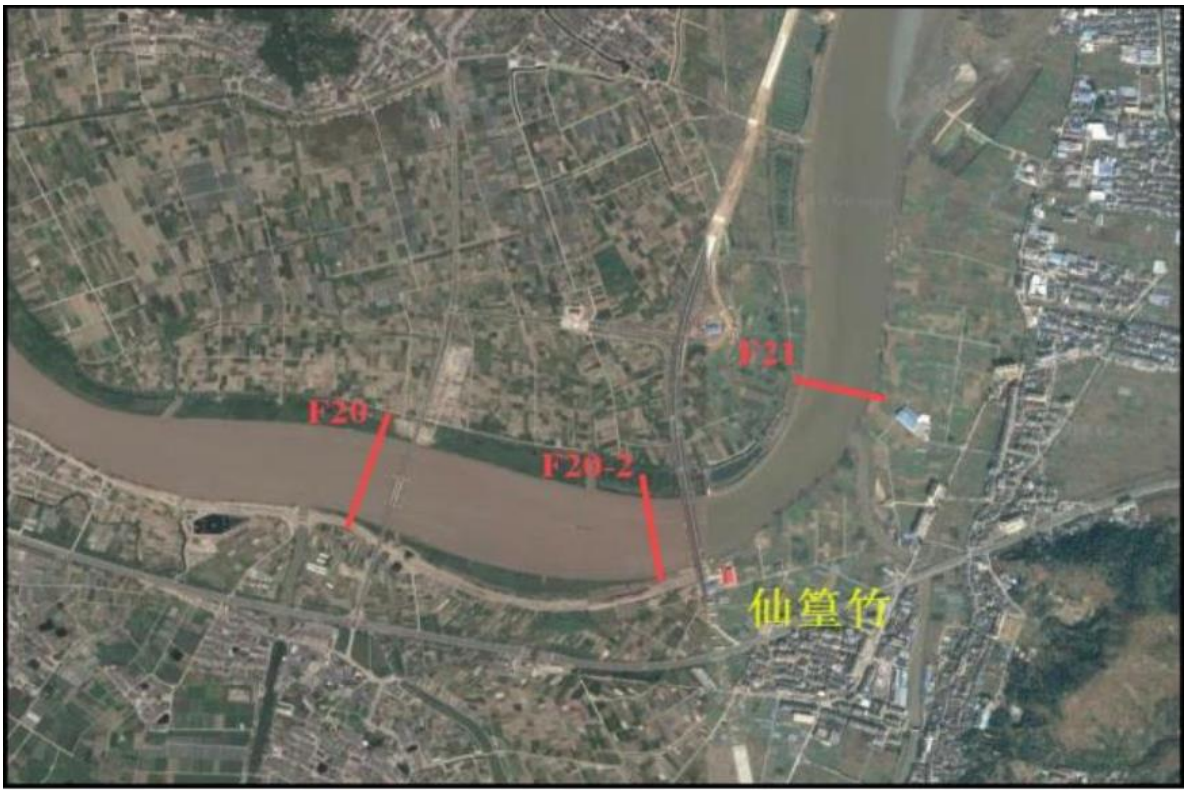


图 2.8-13　仙篁竹弯道断面示意图

弯道深泓线变化过程如图 2.8-14 所示，由图可知树排头至仙篁竹过渡段内由于河宽较上游有所增加，洪水流路复杂，年际间深泓摆动较为显著，2000 年深泓靠近右岸，2017 年深泓摆向河道左岸，2018 年又向右岸摆动；而在仙篁竹弯道凹岸深泓线位置较为稳定，贴近河道右岸；弯道下游深泓线摆动幅度增加，但较上游过渡段偏小。

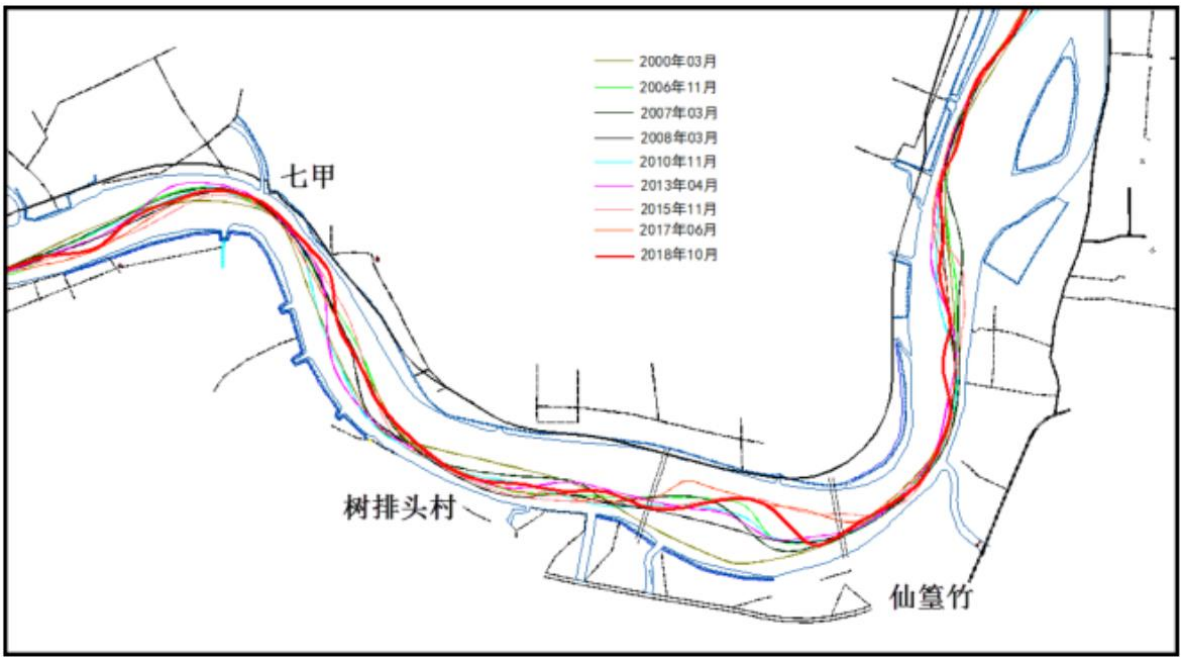


图 2.8-14　仙篁竹弯道深泓线变化

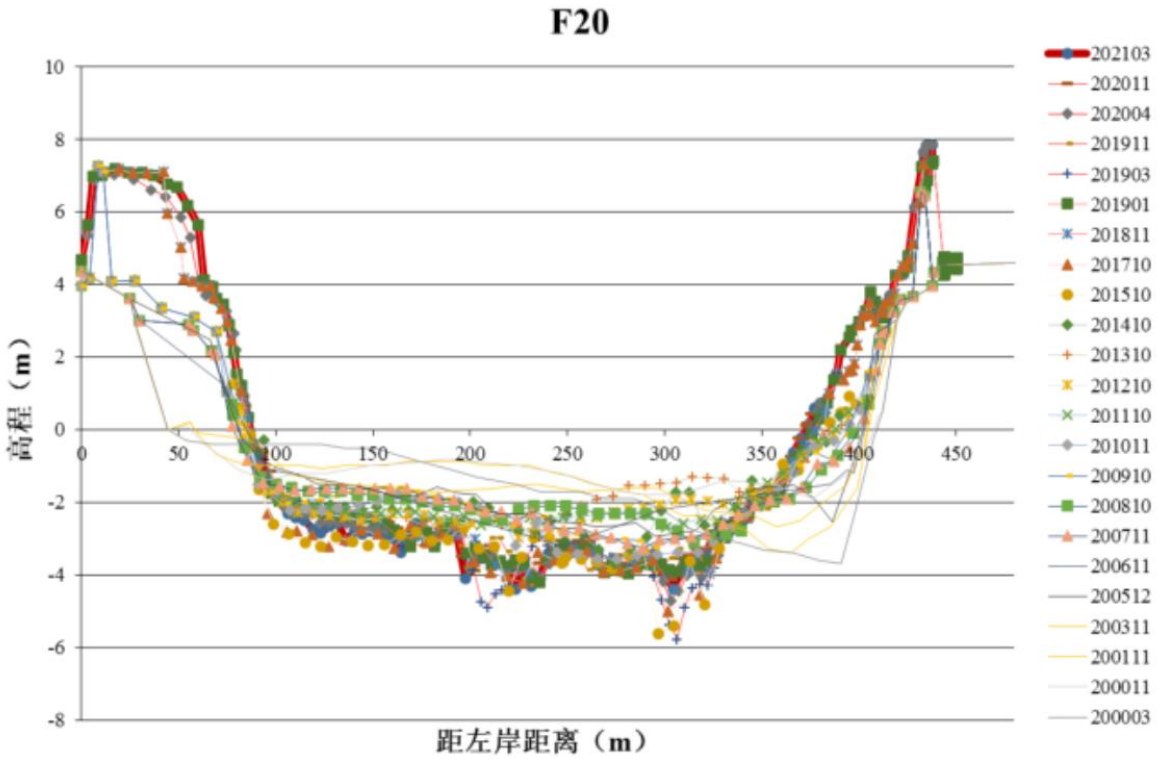


图 2.8-15　　F20 断面变化图

由图 2.8-15 可以看出 F20 断面形态总体较为稳定，主槽冲淤幅度较大。2001 年至 2003 年间，河道深泓贴近右岸，2008 年以后主槽深泓向江心移动。河床平均高程较 2001 年有明显下降，平均降幅约 2m，局部河床存在明显下切，如 2015 年 10 月主槽局部较周边河床下降近 2m，考虑主要由于挖沙等人类活动所致。

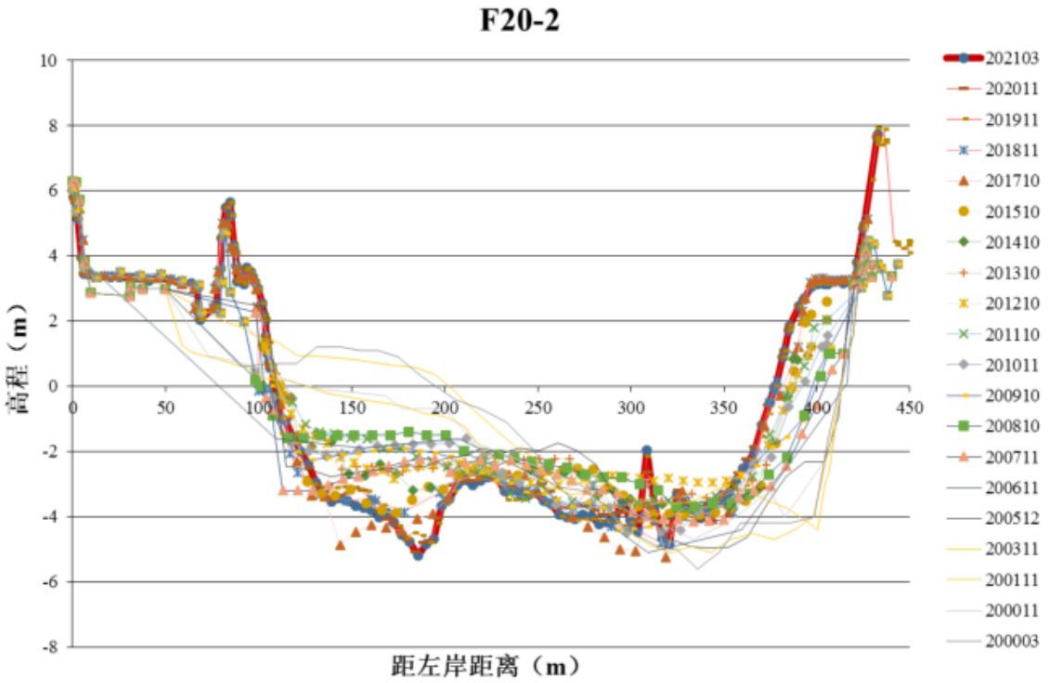


图 2.8-16　　F20 断面变化图

由图 2.8-16 可知，F20-2 断面形态变化较为剧烈，滩槽冲淤幅度变化较大。2001 年断面主槽贴近河道右岸，2003 年后左侧滩地受洪水及人类活动共同作用逐渐下切，断面整体形态从“V”型向“W”型变化，2017 年 6 月主槽已摆向河道左岸，当前断面主槽仍位于河道右岸，但随着左岸深槽冲淤加剧，主槽仍存在继续摆动的风险，而深泓摆动加剧不利于局部河势的稳定及堤防安全，宜进一步加强观测。

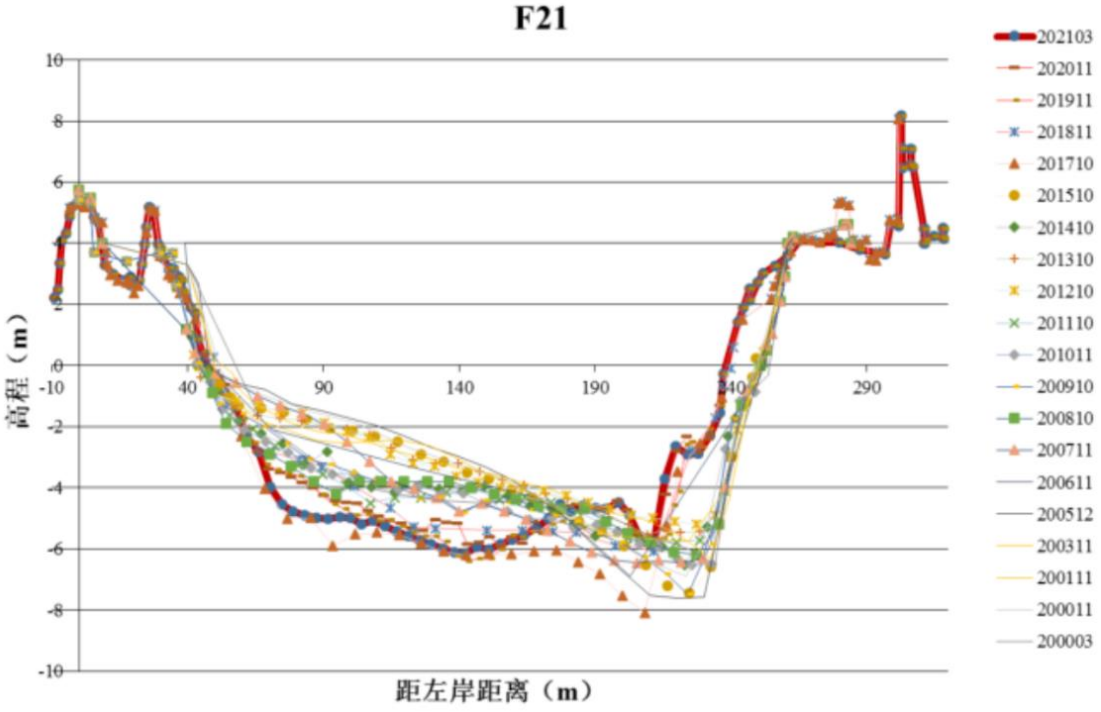


图 2.8-17　　F21 断面变化图

由图 2.8-17 可知，F21 断面形态总体较为稳定，但主槽冲淤幅度较大。2001 年主槽最深点高程-5m，2017 年 10 月最深点高程为-8.1m，最深点高程下降 3.1m，河床平均下降约 2m，2017 年以前断面深泓线贴近河道右岸，2017 年后深泓逐渐向江心移动，摆动幅度约 30m。断面左岸边滩较为稳定，右岸边滩近年来呈淤高态势，平均淤积约 2m。

（4）龟岩

龟岩弯道位于滩脚下游约 26.5km，左岸有飞云江支流金潮港汇入，弯道下游左岸为龟岩村，右岸多为农田。龟岩弯道深泓线变化过程如图 2.8-18 所示，龟岩弯道处水流在上游弯道的控制作用下贴左侧凹岸，深泓线在该段从左岸向右岸调整，历年深泓线摆动幅度随着离上游弯道距离增加而开始增大，在 F26 断面位置深泓线摆动幅度约 30m，但年际间无明显变化规律。

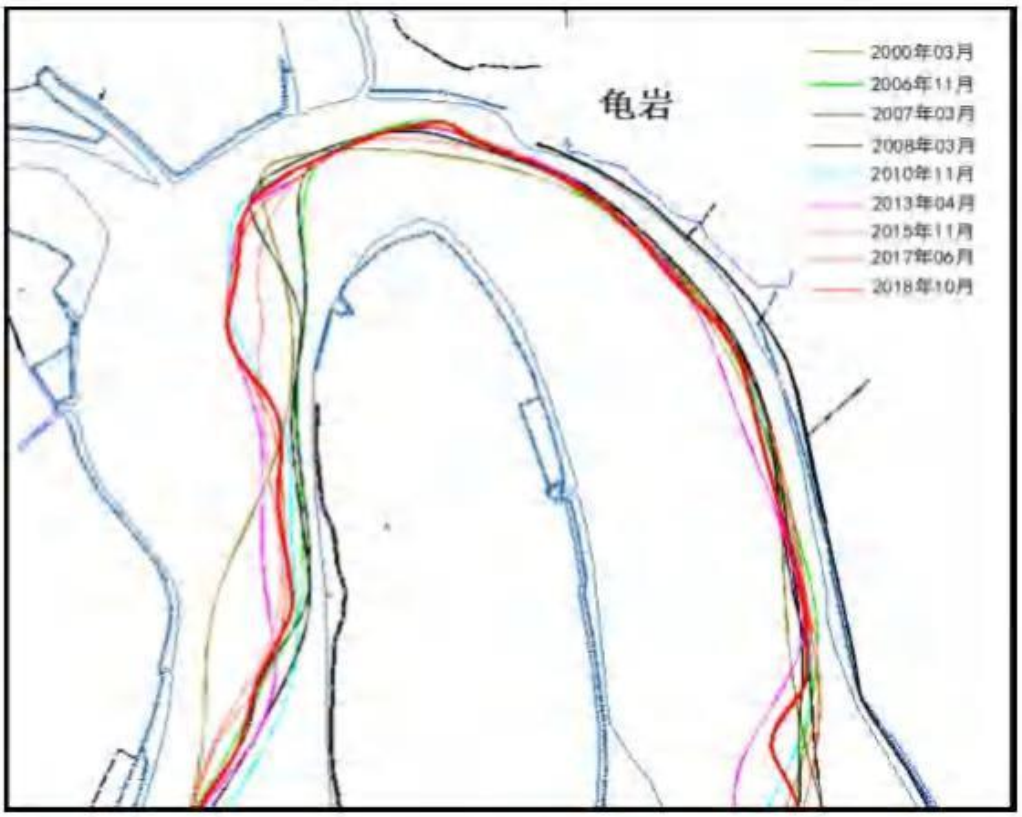


图 2.8-18　　龟岩弯道深泓线变化图

龟岩弯道布设有 F24、F25、F25-1 等三个固定监测断面，断面布置如图 2.8-19 所示。

图 2.8-19　　龟岩弯道断面示意图

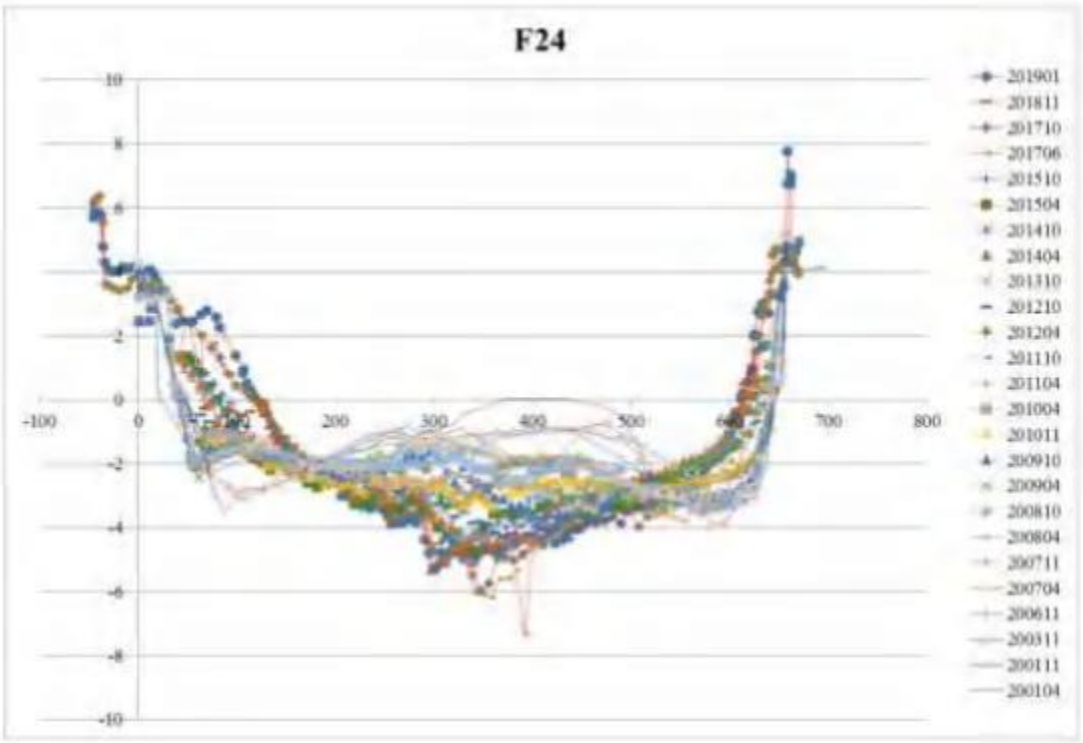


图 2.8-20　　F24 断面变化图

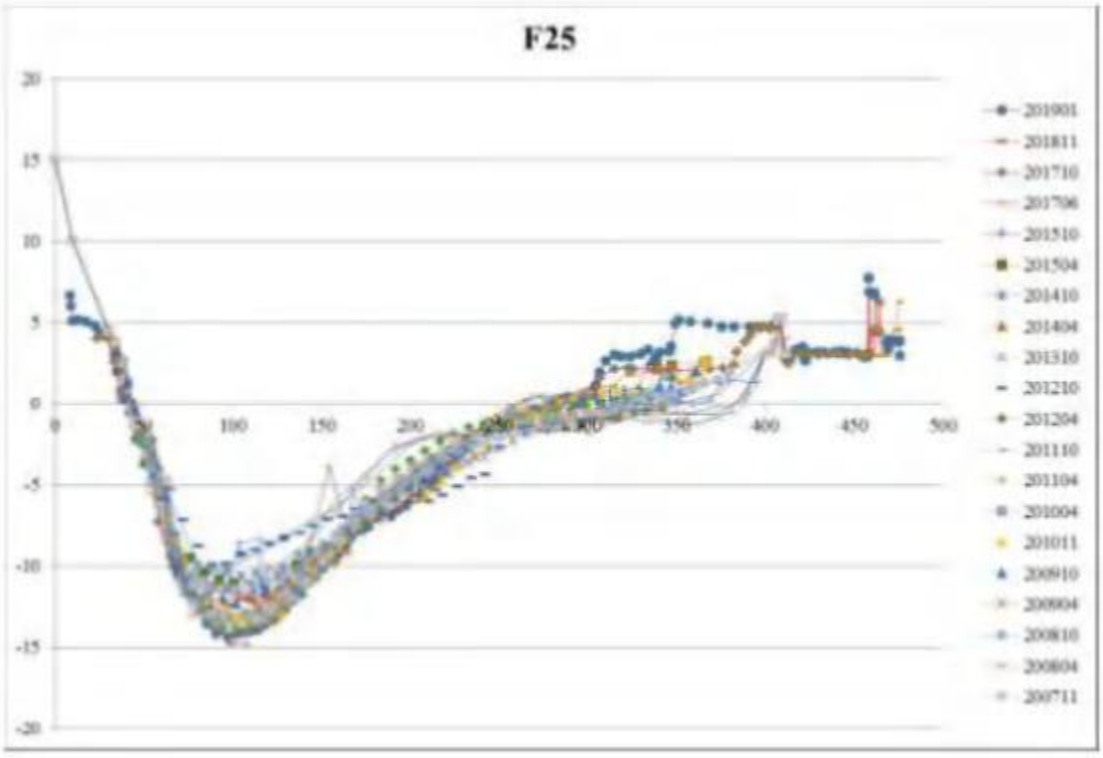


图 2.8-21　　F25 断面变化图

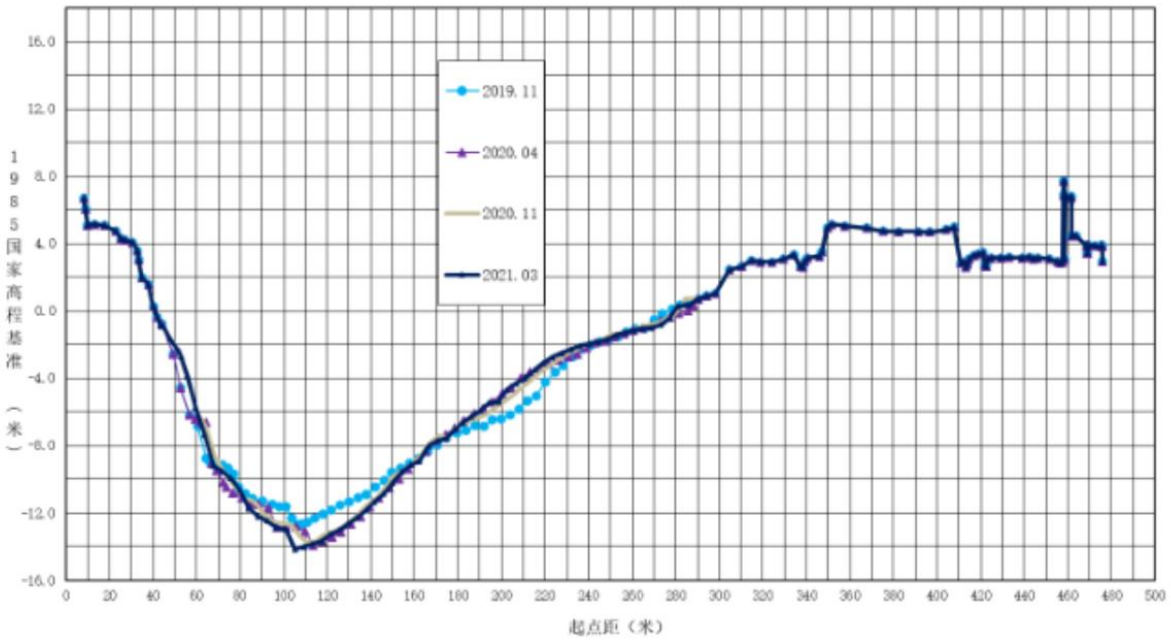


图 2.8-22　　F25 断面图

由图 2.8-22 可知，F25 断面总体较为稳定，断面呈“V”型，深泓线贴近河道左岸，主槽内年际冲淤幅度较大。2012 年 10 月河道主槽最深点-9.9m，2017 年 10 月主槽最深点为-14.5m，最大冲淤变幅为 4.6m。左岸边滩冲淤幅度较小，右岸年际间冲淤变幅约 2m，从断面形态上判断，右岸边滩淤高主要受人类活动影响。

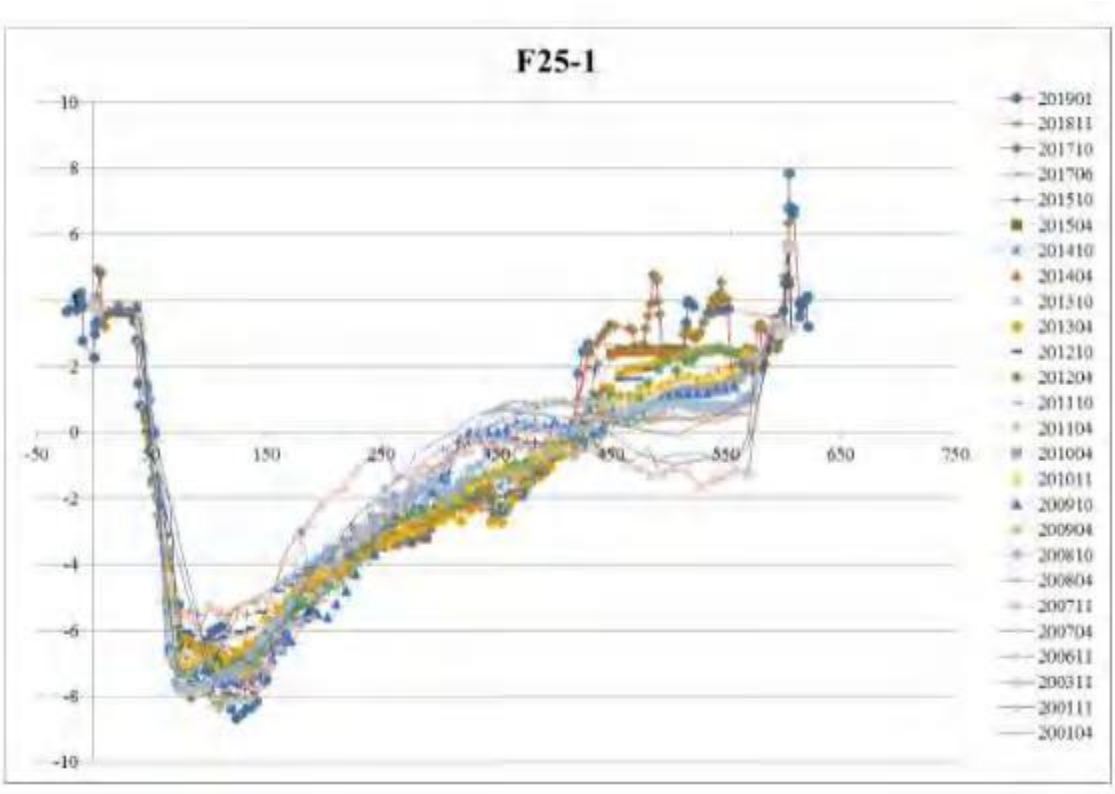


图 2.8-23　　F25-1 断面变化图

由图 2.8-23 可知，F25-1 断面总体较为稳定，断面呈“V”型，深泓线贴近河道左岸，主槽及右岸边滩年际冲淤幅度较大。2011 年 4 月主槽最深点高程-5.5m，2019 年 1 月主槽最深点高程-8.68m，年际最大冲淤变幅为 3.2m；左岸边滩年际间变化较小，右岸边滩冲淤变幅较大，2001 至 2003 年间右岸滩地平均高程约-1m，滩面较宽，2006 年后右岸近岸侧滩地逐渐淤高，较 2003 年抬升近 2m，受滩地水流归槽影响，0m 至-2m 高程内边滩下切，平均降低约 1.5m。

（5）仙降

仙降弯道位于滩脚以下约 33km，该弯道布设有 F27、F27-1、F28、F28-1 等四个固定监测断面，断面布置如图 2.8-24 所示。弯道凹岸侧为仙降镇，人口较为稠密，社会经济水平较高，凹岸堤防前沿分布有少量边滩，滩上有少量芦苇等植被覆盖，弯道左岸现状为滩地、农田，滩面高程较高

有植被覆盖。该段深泓线变化过程图 2.8-25 所示。

图 2.8-24　　仙降弯道断面示意图

仙降弯道上游侧河段较宽，深泓存在一定程度的摆动，仙降弯道凹岸的弯顶 2000 年以来深泓线较稳定，呈紧贴凹岸的形势，弯道下游侧深泓贴近河道右岸，总体较为稳定。

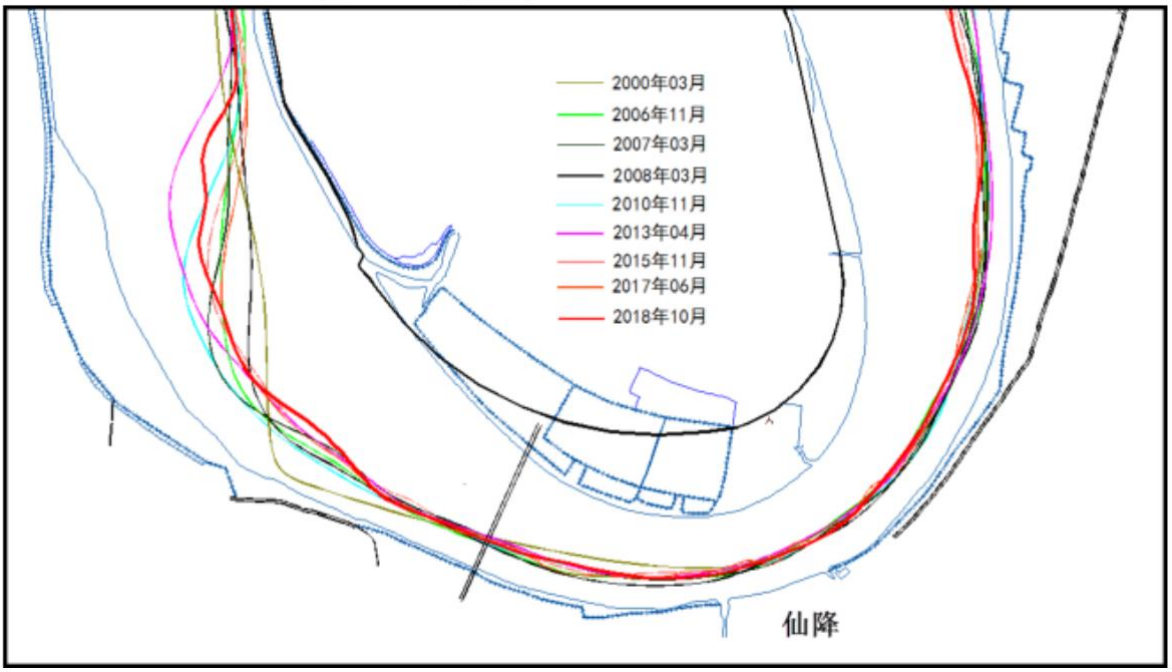


图 2.8-25　　仙降弯道深泓线变化图

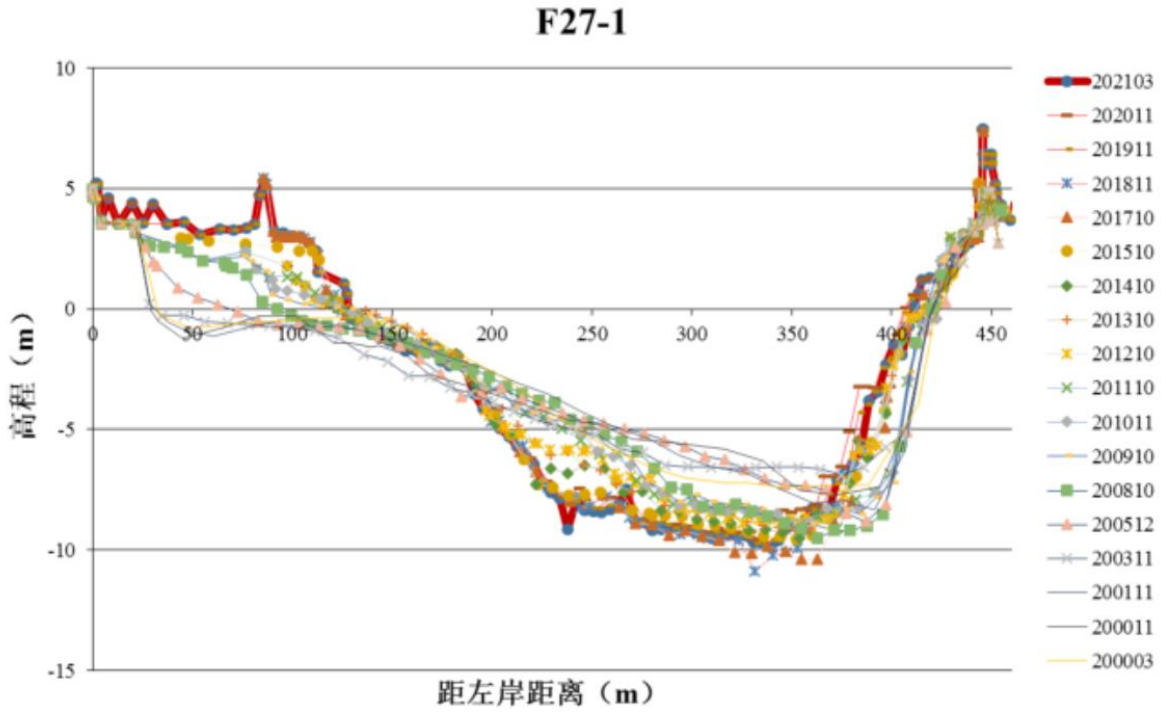


图 2.8-26　　F27-1 断面变化图

由图 2.8-26 可知，F27-1 断面整体形态较为稳定，2009 年前主槽贴近右岸，2009 年后左右岸滩地均向河道内移动，左岸滩地自 2001 年以来外推近 100m，右岸外推约 20m，受河宽束窄影响，主槽深泓向江心移动，槽内河床平均下切约 2m。

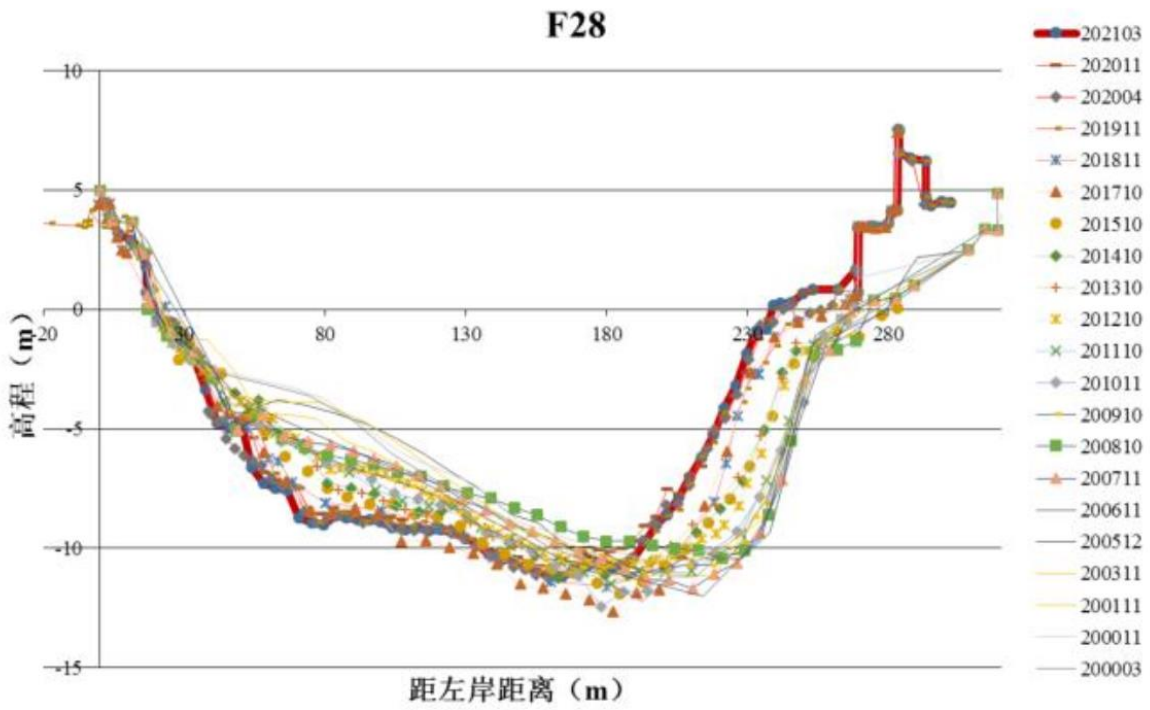


图 2.8-27　　F28 断面变化图

由图 2.8-27 可知，F28 断面整体形态较为稳定，2001 年至 2013 年河道主槽贴近右岸，2013 年至 2015 年右岸边滩外推约 20m，2017 年后右岸边滩受堤防施工影响再次外推 15m，左岸边滩较为稳定，受右岸边滩外推影响主槽逐渐向江心移动，主槽内河床高程平均下降约 2m。

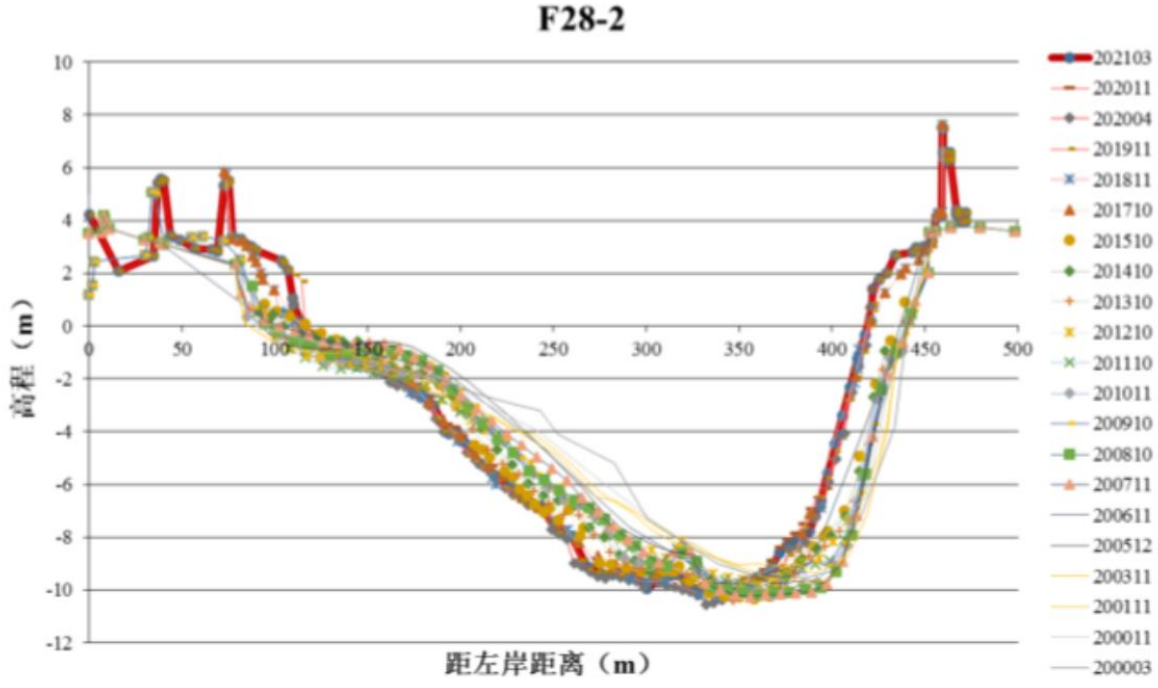


图 2.8-28　　F28-2 断面变化图

由图 2.8-28 可知，F28-2 断面整体形态较为稳定，主槽靠近河道右岸，右岸边滩受堤防施工影响外推 20m，左岸滩地向岸移动约 30m，平均下降约 0.9m，河道主槽向江心移动 20m，河床高程平均下降约 2m。

（6）桐浦塔山澄头段

该河段河道蜿蜒曲折、沙洲众多、深泓线摆动不定。该河段在枢纽工程启用后河势存在如下变化特征：枢纽工程启用前（如 1993 年 10 月、2000 年 3 月）深泓线基本贴近凹岸，枢纽工程运行后（如 2006 年 11 月、2010 年 11 月），各弯道处深泓线远离凹岸，深槽由原来紧贴凹岸，偏向走中趋势，特别是桐田沙（F31）和鲤鱼沙（F33）河段，近 20 年来整体表现为北汊不断淤积、南汊不断冲刷的态势，幅度 5-7m，主槽位置由北汊调整至沙洲前沿水域，从河床变化幅度看，滩槽格局的转换应与人类活动存在密切的关系。同时，近几年主流线较为稳定可能与枢纽工程启用后下游河道遭遇大洪水的几率大大降低有关，这对控制河势的护岸工程十分有利。

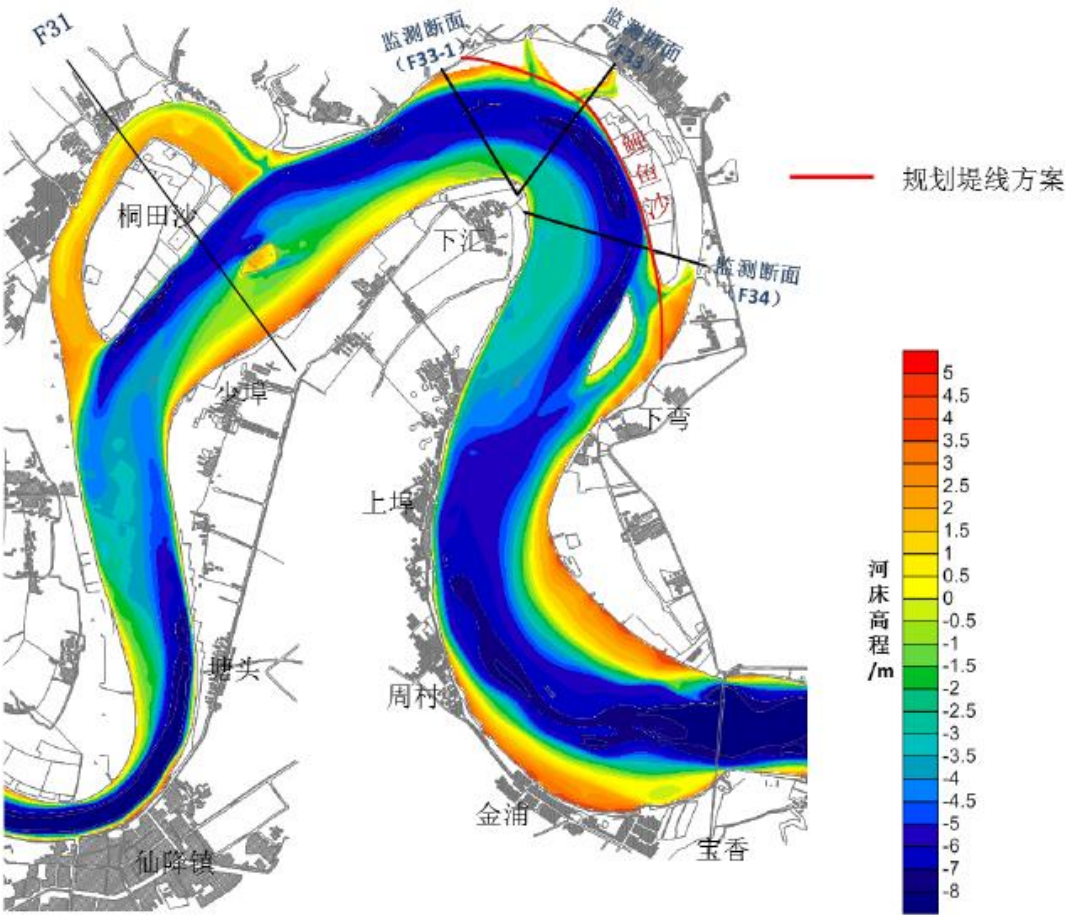


图 2.8-29　桐浦塔山澄头段弯道形势图

桐田沙弯道 F31 断面如图 2.8-30 所示。该断面横跨两个心滩，河床历史上分为三汊，主槽摆动较为剧烈，2010 年后深泓线逐步稳定在桐田沙西侧，至今摆动幅度较小。左汊河道进一步萎缩，2021 年 3 月相较 2019 年 11 月淤高约 2.5m，桐田沙右汊主槽内有所冲刷，局部最大冲刷约 1m，右岸边滩变化相对较小，对右岸堤防影响较小。

鲤鱼沙断面（F33）左汊窄深，在 2000 年 3 月可达-7.3m，2000 年以来左汊开始淤积抬升，尤以 2003 年 11 月~2005 年 12 月抬升最剧，两年间最深点高程抬升 6.3m，至 2007 年 11 月左汊已完全淤积为滩地，滩面高程达 2.0m 以上，超过多年平均中潮位 1.5m 以上。左汊淤积的同时，右汊逐年刷深，鲤鱼沙右汊侧刷深发育成深槽，目前最深点已至-6.8m。

工程河段河床的调整较剧烈，一方面枢纽工程启用后，下游河道遭遇大洪水的几率大大降低有关，左汊洪水顶冲发生概率相对较低，可能导致河势呈现走中河势。另一方面与江中采砂引起深泓线摆动有关，中部江道挖沙，可能引起主槽偏离左岸改走河道中部。

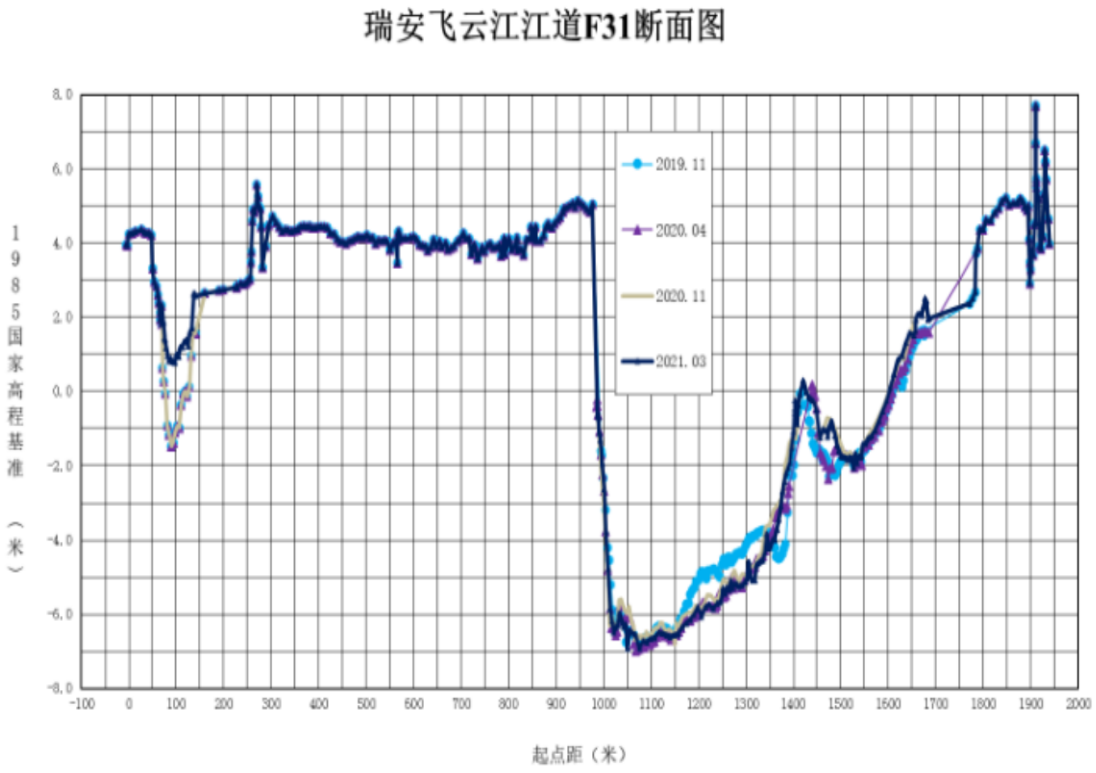


图 2.8-30　桐田沙弯道 F31 断面变化图

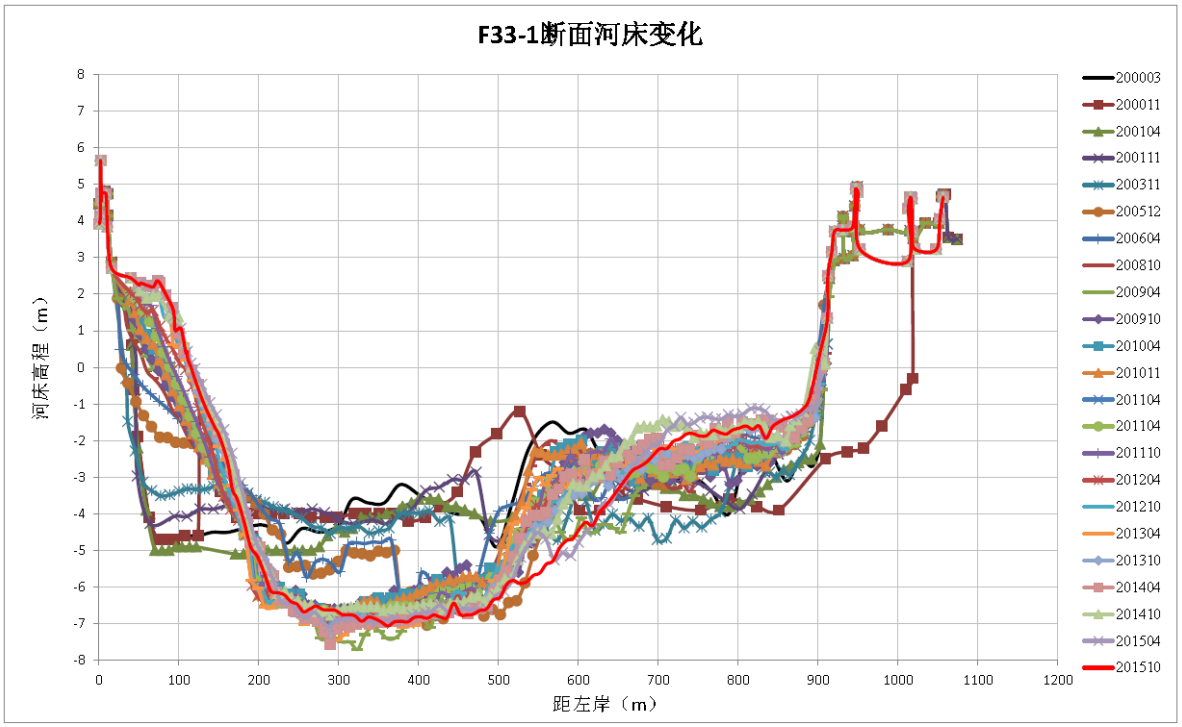


图 2.8-31　　鲤鱼沙弯道 F33-1 断面变化图

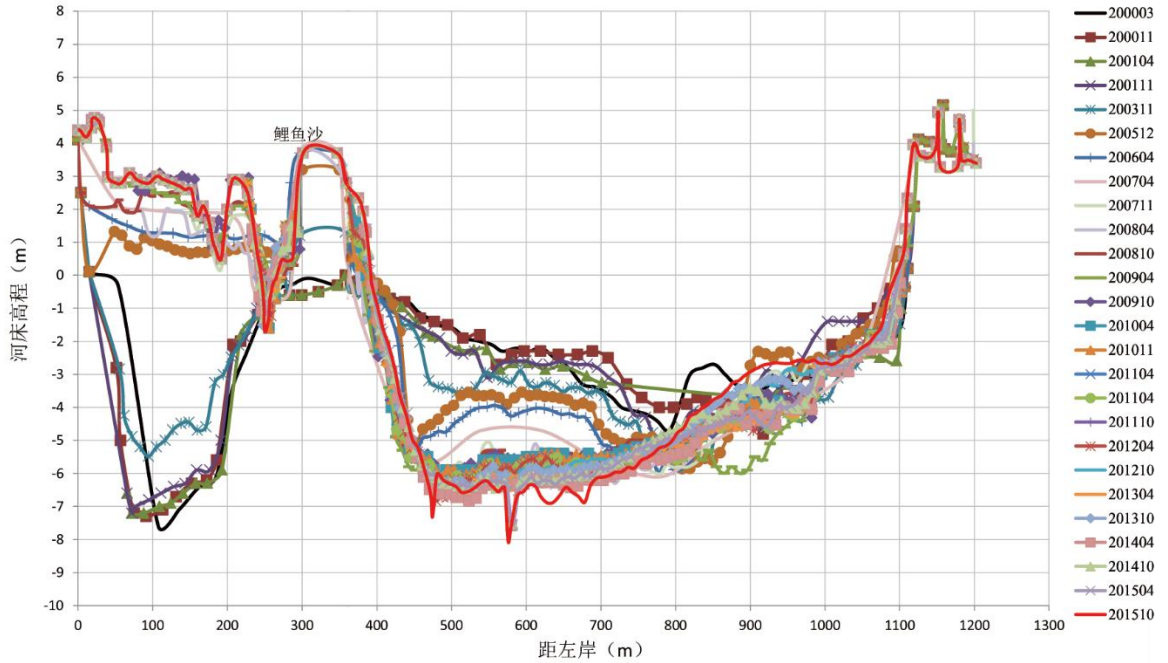


图 2.8-32　　鲤鱼沙弯道 F33 断面变化图

（7）宝香

江道到周村位置已明显展宽，两侧岸线对水流约束性减弱，深泓线摆动幅度较大。周村至宝香弯道深泓线变化过程如图 2.8-30 所示，F35 断面变化见图 2.8-31。

F35 断面为弯道过渡段，受上游分汊段分流比变化影响，历年深泓摆动幅度约 400m，

最深点位置基本位于江道左侧。2009~2015 年江道右侧河床高程较为稳定，堤前 150m 范围最深点维持在-3.6m 左右，右岸滩坡较陡，可达 1:3.3。一期工程六标段开工后在沿线堤前范围进行了大量抛石，从 2019 年 1 月断面地形来看 F35 断面滩坡明显淤高，滩坡范围平均淤高约 1m，滩坡坡度有所减小。

F36 断面深泓相对较稳定，最深点位置基本位于河道右岸，自 2003 年以来左岸滩地不断淤涨，边滩向江道内移动近 400m，2019 年边滩高程约 3.5m，主槽下切约 2m，2017 年至 2018 年断面形态较为稳定。

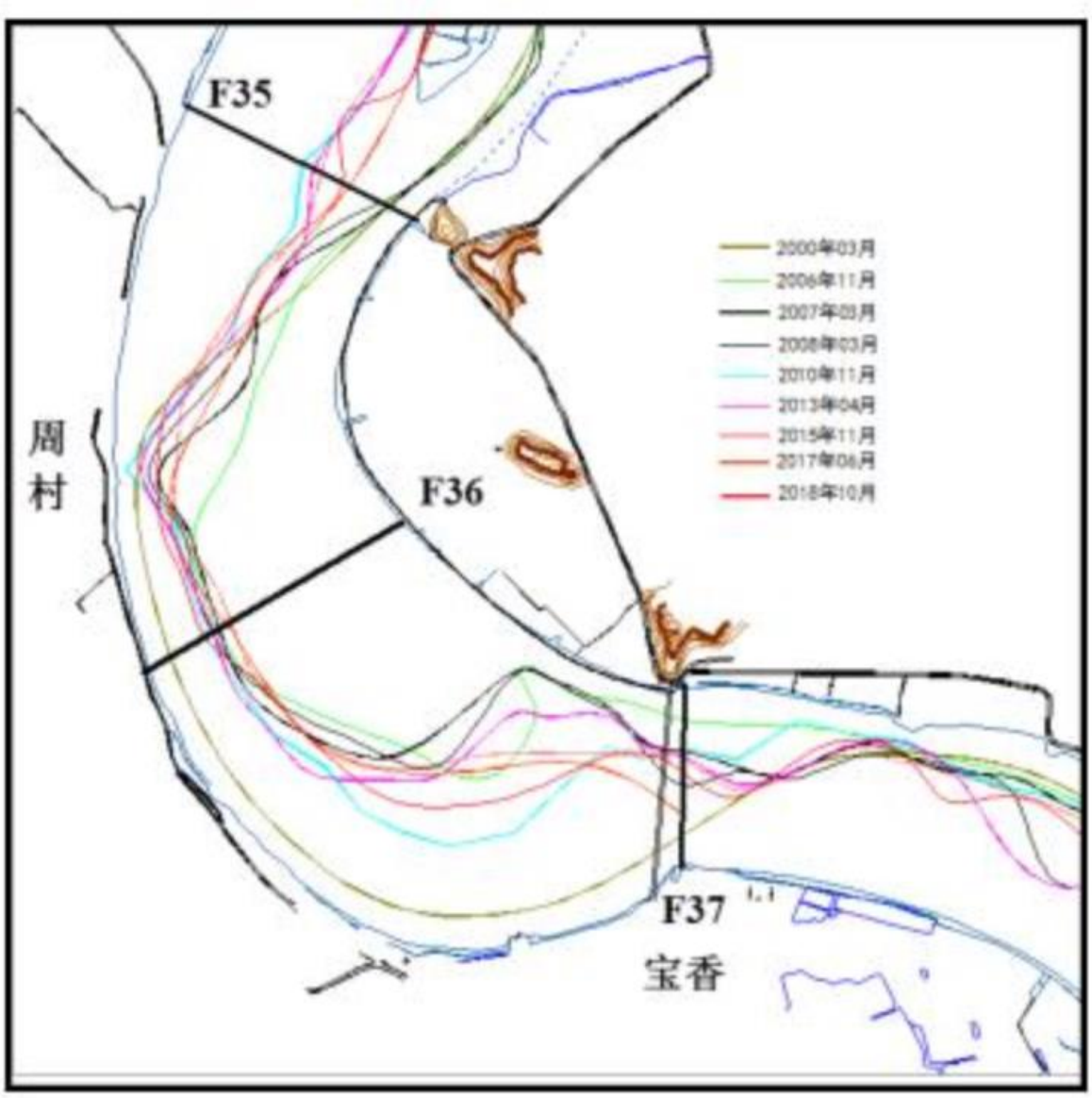


图 2.8-33　　周村弯道深泓线变化

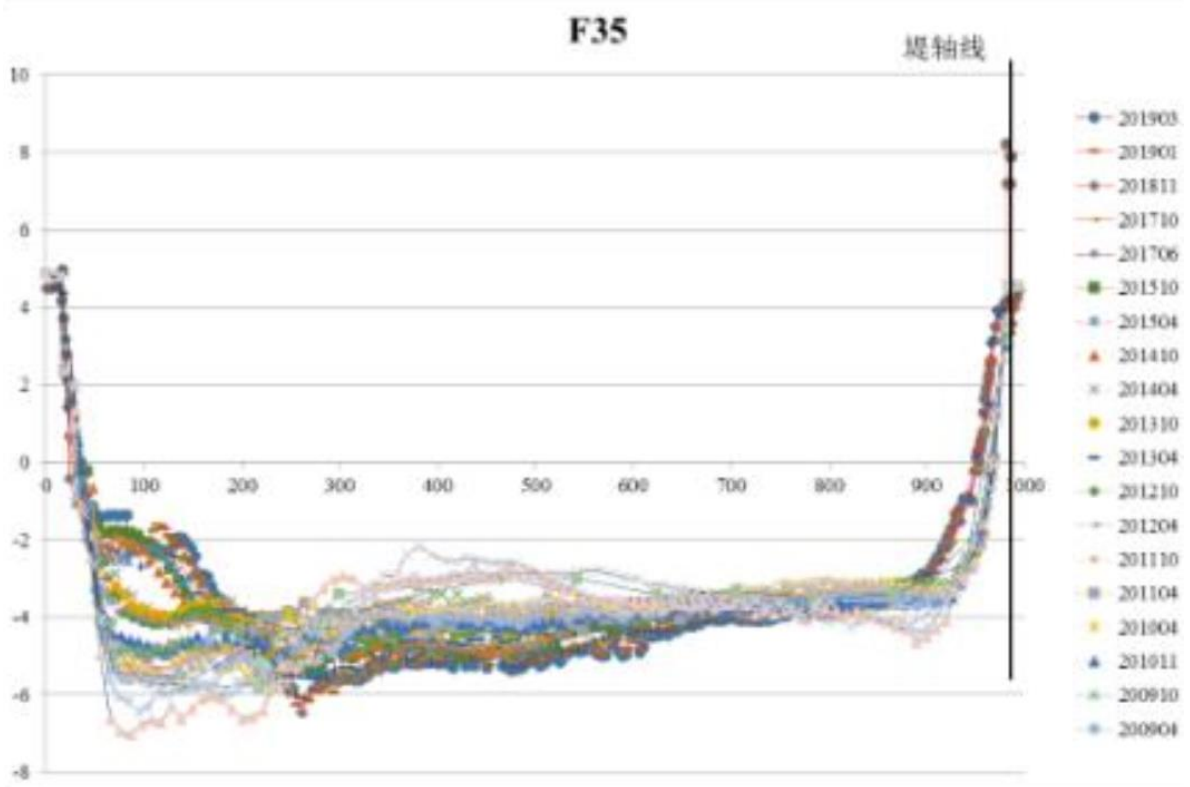


图 2.8-34　　周村断面河床变化图

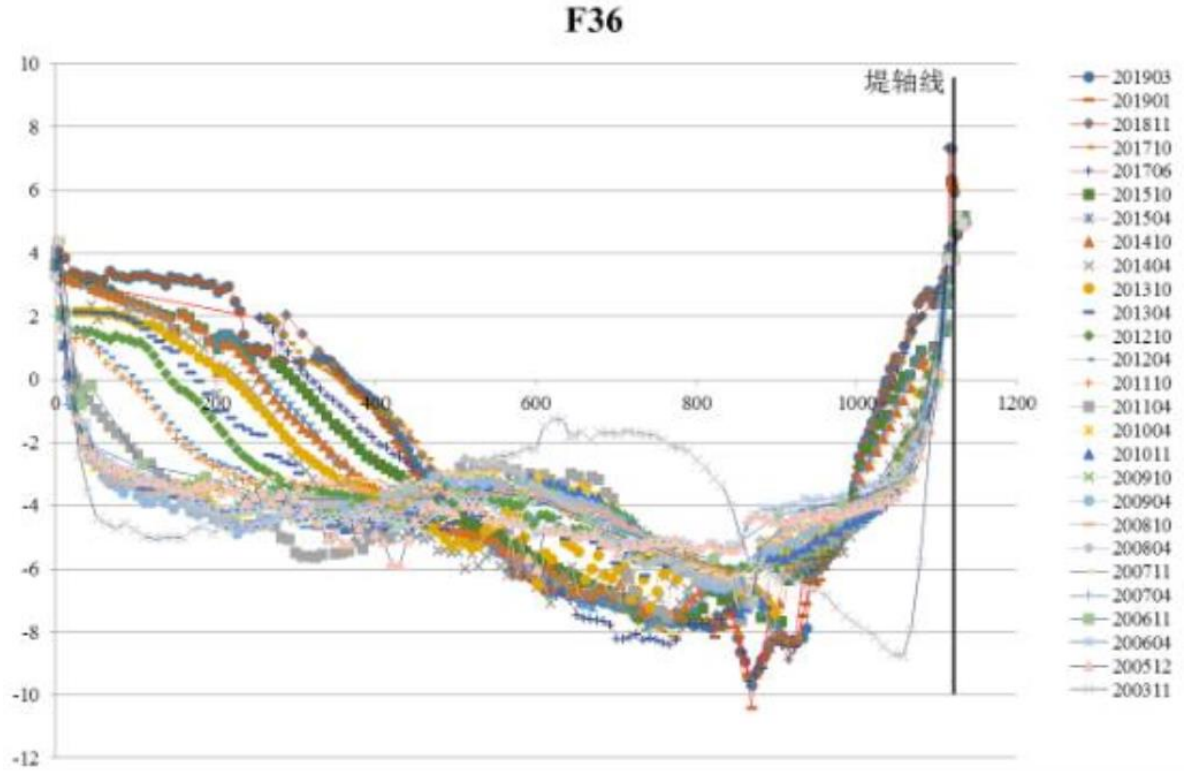


图 2.8-35　　F36 断面河床变化图

宝香弯道 F37 断面位于飞云江铁路桥，该断面形态宽浅，主槽冲淤幅度较大，局部最大冲淤近 7m，深泓年际间摆动幅度较大，近年来深泓位于江道中部。该断面河床两侧高程较低，中部较高，断面形态年内较为稳定，2019 年至 2020 年整体冲淤变化较小，其中近左岸侧深槽和边滩略有淤积，淤积幅度 0.5~1.5m，近右岸侧深槽及滩面变幅较小。

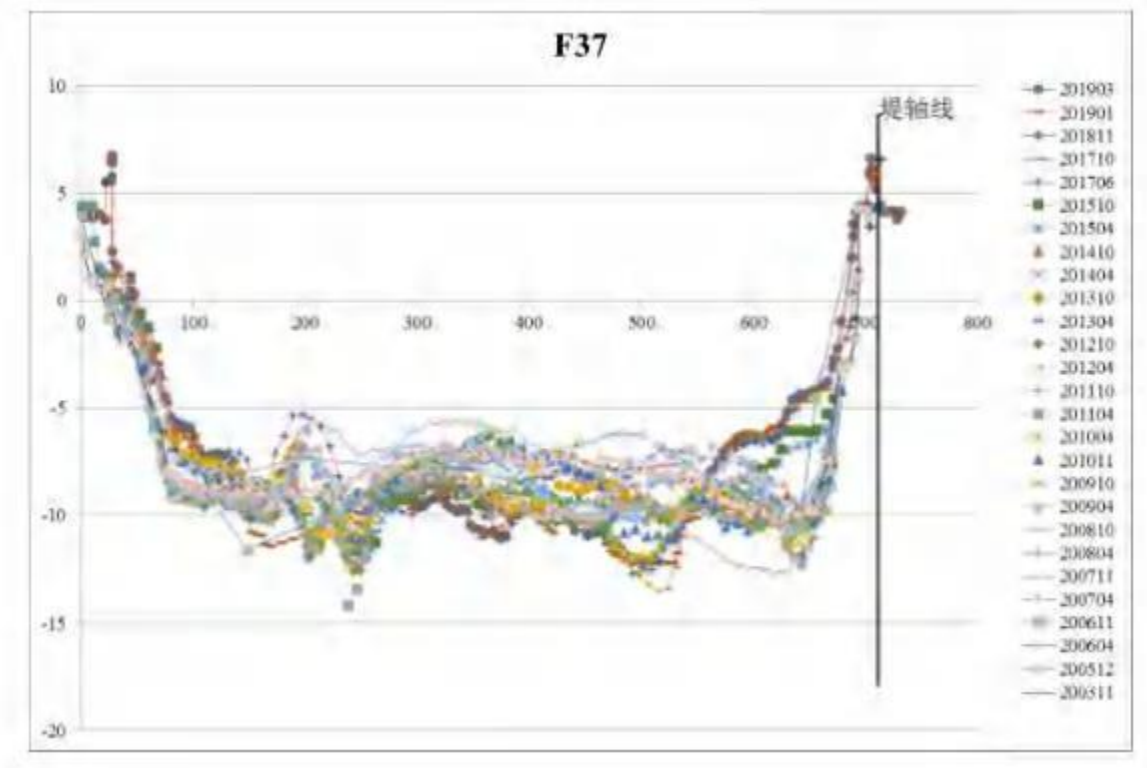


图 2.8-36　　F37 断面河床变化图

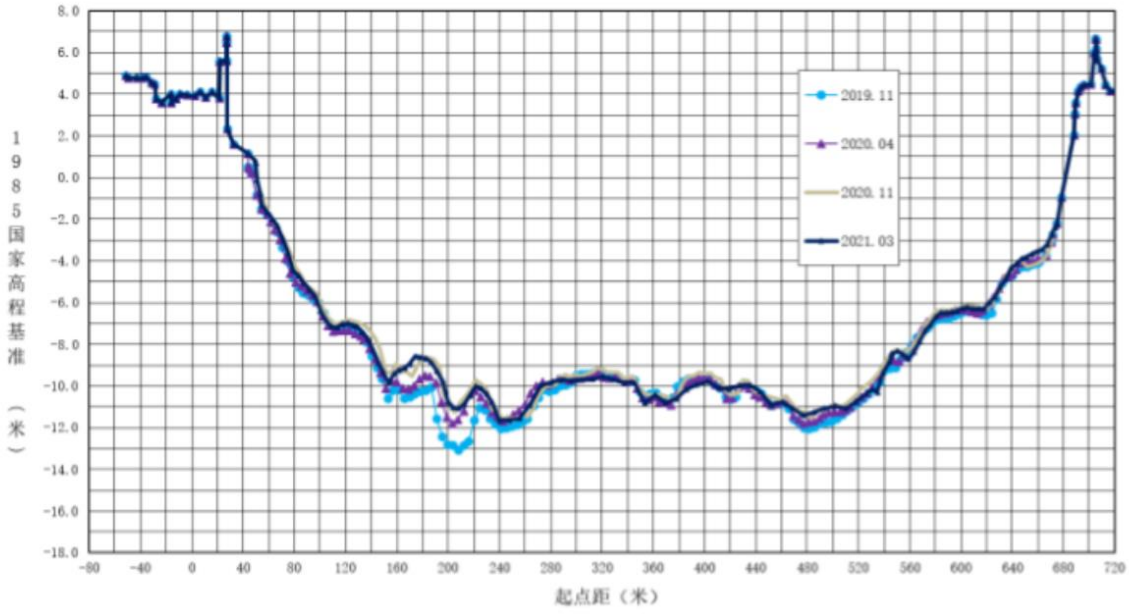


图 2.8-37　　宝香弯道 F31 断面变化图

2.8.3 堤前河道冲刷分析

按照《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》评估咨询会专家组意见“下阶段进一步完善设计工况堤前河道冲刷成果及设计流速”及《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》技术审查意见提出“建议下阶段根据河势研究专题情况，明确各河段的冲刷值”的要求，分析飞云江河口冲淤能力，明确河段冲刷值，为河口河势演变预测和飞云江二期工程新建堤防防冲设计提供技术支撑。

2023 年 9 月 7 日，《飞云江二期工程河势分析及设计工况堤前河道冲刷分析专题报告》通过技术审查。

2.8.3.1 堤前冲刷计算分析

构建飞云江河口平面二维水流数学模型开展设计条件下流速计算，模型验证范围为：上边界在飞云江赵山渡水库坝下，下边界在飞云江河口。计算域内的网格布设考虑了水流、地形梯度的差异，水流和地形复杂河段的计算网格作了进一步加密，以便更好地反映该地区的水流、地形的变化特征，保证流场模拟精度。整个计算域内最小空间步长为 10m，水流计算的时间步长为 0.5s。

2.8.3.2 二维模型及流场分布

下图为计算得到的工程河段流速分布图。总体上看，凹岸弯道段流速较大，顺直段流速相对较小。

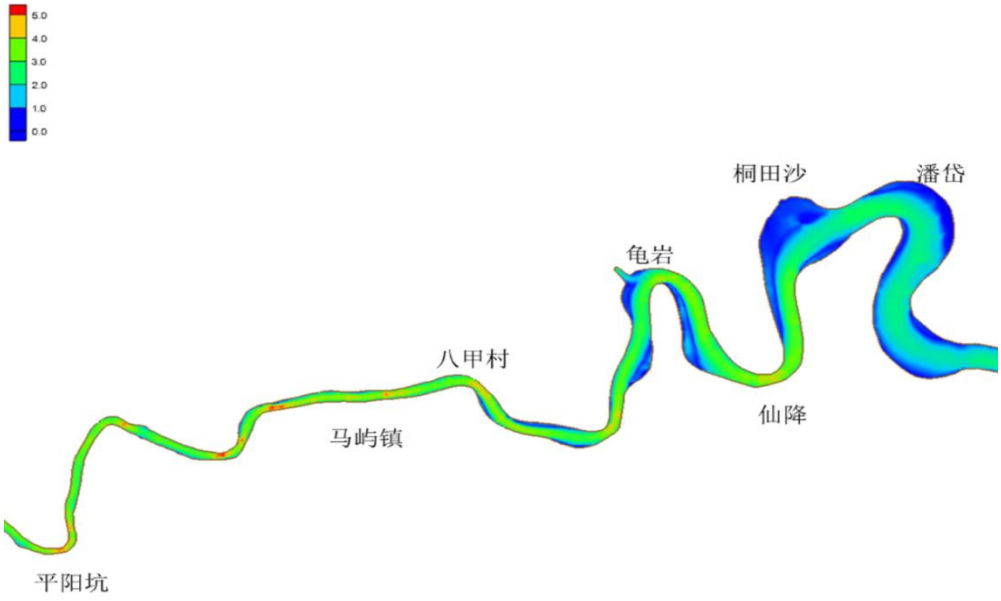


图 2.8-38　　计算流速分布图

2.8.3.3 冲刷计算方法

（1）规则河段

对于相对规则河段，堤前冲刷计算对采用堤防工程设计规范（GB 50286-2013）中附录 D.2 推荐的顺坝及平顺护岸冲刷计算公式进行计算。

$$h_s = H_0\left[\left(\frac{U_{cp}}{U_c}\right)^n - 1\right]$$

$$U_{cp} = U\frac{2\eta}{1+\eta}$$

$$U_c = \left(\frac{H_0}{d_{50}}\right)^{0.14}\left[17.6\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}d_{50} + 6.05\times10^{-7}\left(\frac{10+H_0}{d_{50}^{0.72}}\right)\right]^{0.5}$$

式中：

hs——局部冲刷深度（m）；

H_0——冲刷处的水深（m），本次从偏安全角度考虑，选取水深为设计洪水位与断面深泓点高程之间的差值；

U_{CP}——近岸垂线平均流速（m/s）；

U_c——泥沙起动流速（m/s）；

U——行近流速（m/s）；

n——与防护岸坡在平面上得形状有关，取 n=1/4~1/6，从偏安全角度考虑，本次计算均取 1/4；

η——水流流速不均匀系数，与水流流向与岸坡交角有关，本次从偏安全角度考虑，选取较为不利的水流流向与岸坡交角对应的 η 值；

γ_s、γ—泥沙与水的容重（KN/m^3）；

g—重力加速度（m/s^2）。

（2）高滩深槽河段

对于存在深槽和高滩的河道断面采用《JTG C30--2015 公路工程水文勘测设计规范》中 8.3 条公式进行计算。

1.对于非黏性土河床

（1）河槽部分：

$$h_p = \left[\frac{A_d \dfrac{Q_2}{\mu B_{cj}} \left(\dfrac{h_{cm}}{h_{cq}}\right)^{\frac{5}{3}}}{E \overline{d}^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{3}{5}}$$

h_p——冲刷后的最大水深（m）；

h_{cm}——河槽最大水深（m）；

h_{cq}——河槽平均水深（m）；

A_d——单宽流量集中系数，取 1.0~1.2；

B_{cj}——河槽过水净宽（m）；

Q_2——河槽部分通过的设计流量（m^3/s）；

μ——水流侧向压缩系数，此处取 1；

E——与汛期含沙量有关的系数，含沙量 $\rho>10kg/m^3$ 取 0.86，$\rho<1.0kg/m^3$ 取 0.46，其他情况取 0.66；

$\overline{d}$ ——河槽泥沙平均粒径（mm）

（2）河滩部分：

$$h_p = \left[\frac{\dfrac{Q_1}{\mu B_{tj}} \left(\dfrac{h_{tm}}{h_{tq}}\right)^{\frac{5}{3}}}{v_{H1}} \right]^{\frac{5}{6}}$$

$$Q_1 = \frac{Q_{t1}}{Q_c + Q_{t1}} Q_p$$

式中：

Q_1——河滩部分通过的设计流量（m^3/s）；

Q_p——设计流量（m^3/s）；

Q_c——天然状态下河槽部分设计流量（m^3/s）；

Q_{t1}——天然状态下河滩部分设计流量（m^3/s）；

h_{tm}——河滩最大水深（m）；

h_{tq}——河滩平均水深（m）；

V_{H1}——河滩水深 1m 时非黏性土不冲流速（m/s）；

Btj——河滩宽度（m）。

2.对于黏性土河床

（1）河槽部分：

$$h_p=\left[\frac{A_d\frac{Q_2}{\mu B_{cj}}(\frac{h_{cm}}{h_{cq}})^{\frac{5}{3}}}{0.33(\frac{1}{I_L})}\right]^{\frac{5}{8}}$$

式中：

Ad——单宽流量集中系数，取 1.0~1.2；

IL——冲刷坑范围内粘性土液性指数，适用范围 0.16~0.19

（2）河滩部分：

$$h_p=\left[\frac{A_d\frac{Q_2}{\mu B_{cj}}(\frac{h_{tm}}{h_{tq}})^{\frac{5}{3}}}{0.33(\frac{1}{I_L})}\right]^{\frac{6}{7}}$$

式中参数意义同前。

2.8.3.4 计算结果

通过水动力数学模型计算得到飞云江治理二期工程范围内的设计频率洪水条件下的流速分布，在计算过程中，在二期工程重要险段范围内布设了 9 个代表点（图 2.8-37），平阳坑弯道代表断面最大流速 3.9m/s；马屿镇梅屿段八甲村弯道断面最大流速 4.5m/s；陶山镇荆谷段断面最大流速 3.6 m/s；陶山镇碧山段龟岩弯道断面最大流速 3.5m/s；桐浦段断面最大流速 3.47m/s；白莲村段断面最大流速 2.1m/s。

利用《堤防工程设计规范（GB50286-2013）》及《公路工程水文勘测设计规范（JTG C30--2015）》冲刷深度经验公式，估算工程范围内的冲刷深度分布。总体上在洪水作用下弯道凹岸处冲刷较为剧烈，凸岸浅滩冲刷较弱。二十年一遇洪水条件下，岸线前沿 50m 最大冲刷深度，平阳坑处为 3.09m；马屿段八甲村为 4.08m；荆谷段 2.44m；碧山段龟岩弯道 2.21m；澄头段弯道 3.67m；白莲段现状高滩堤前冲刷相对较小，为 0.55m。总体上在洪水作用下弯道主流贴近凹岸，因此弯道凹岸处冲刷程度较为剧烈，凸岸浅滩冲刷程度较弱，二期工程范围代表点冲刷计算结果见表 2.8-1。

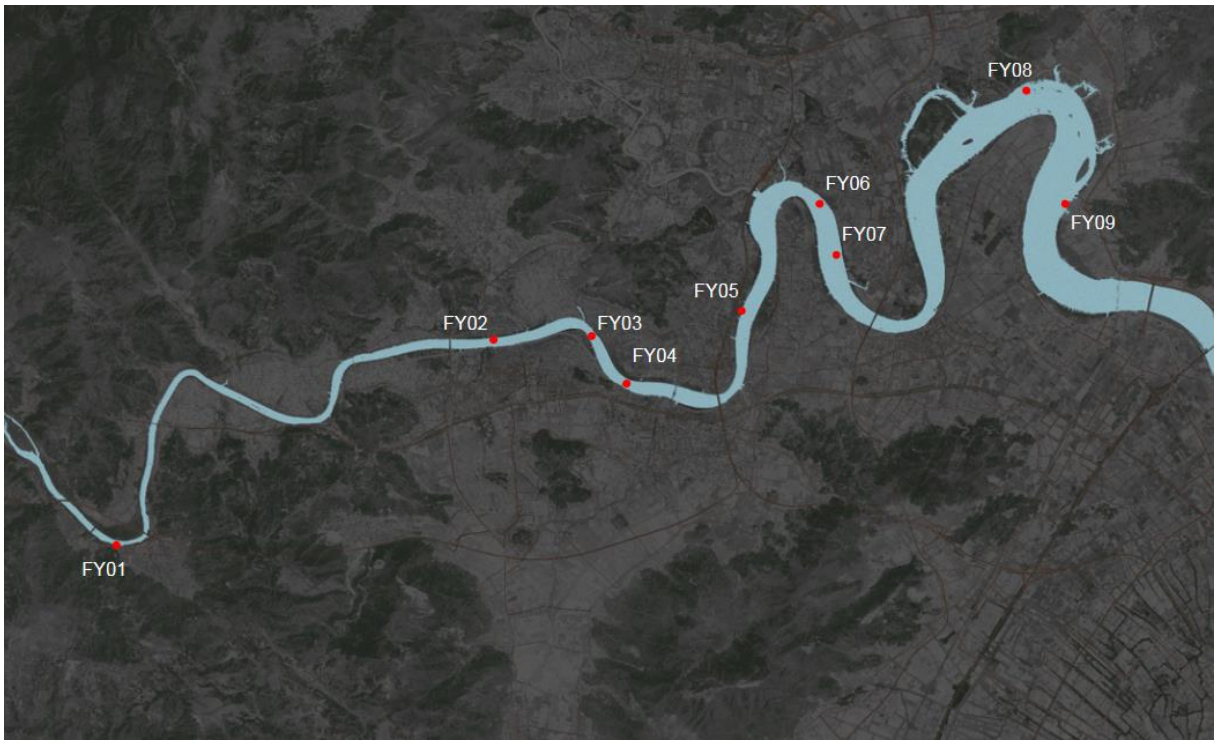


图 2.8-39　段冲刷计算代表点位置图

表 2.8-1　　飞云江治理二期工程典型河段冲刷计算结果

河段	点位	桩号	5%洪水工况			
			流速（m/s）		冲刷深度（m）	
			岸线前沿 25m 处	岸线前沿 50m 处	岸线前沿 25m 处	岸线前沿 50m 处
平阳坑	FY01	PYK1+736.9	2.90	3.09	2.80	3.01
马屿段	FY02	MY3+531	3.31	3.85	1.81	2.51
	FY03	MY4+913	4.12	4.21	3.79	4.08
荆谷段	FY04	JG1+439	2.36	3.15	1.63	2.44
	FY05	JG4+781.5	1.61	2.20	0.69	1.76
碧山段	FY06	BS0+554.9	2.84	3.07	1.96	2.21
	FY07	BS1+759.2	3.02	3.09	1.12	1.73
澄头段	FY08	B0+800	2.32	3.41	2.53	3.67
白莲段	FY09	BL0+067	0.52	0.67	0.48	0.55

2.8.4　主要结论及建议

（1）飞云江河口属于典型的强潮河口，七甲至宝香河段河弯较长，曲率半径过小，行洪能力差，洪潮作用复杂，局部河段凹岸存在洪水顶冲风险。

（2）根据 2018~2021 年河势分析，飞云江河口堤防冲刷险段仙篁竹弯道及仙降弯道由于堤脚防护工程影响主槽向江道中部移动，河床冲淤主要发生于河道主槽内，堤防

前沿边滩冲刷幅度较小，但考虑到 2018 年以来无明显洪水过程，若后期遭遇较大洪水作用，仍存在塘前滩地冲刷风险。

（3）下游仙降湖工程实施后，大潮期仙降以上河段高低潮位均有所下降，宝香以下河段高潮位抬升，低潮位下降，潮差有所增大。仙降湖上游河段涨落潮流速有增有减，工程下游河段涨落潮流速均呈下降趋势。河口段涨落潮潮量自上而下均有所下降。干流建闸对整体江道整体河势影响较大，而江道冲淤预测影响因素较多，建议水工设计按照专题报告结合堤前地形监测进行设计，注重周边涉水工程对堤防的累积性影响。

（4）在江道凹岸迎流顶冲的险段，堤线布置尽量考虑堤脚不靠近江岸，并结合护岸工程措施布置统筹考虑。

（5）设计中，应综合考虑局部冲刷深度计算成果，顺直段由于距离河岸越近，流速越小，冲刷越浅，在满足冲刷后堤岸稳定的前提下，由于受冲淤动态的平衡，平顺段可不考虑设置护岸防冲；凹岸段受冲刷严重的部位需要设置防冲措施。

（6）本工程涉及河段弯道多，流态复杂，凹岸冲刷相对严重，建议设计中考虑采用垂直防冲或水平防冲作为护岸护底措施进行整治，也可两种措施相结合保证冲刷后堤岸稳定。

2.9 水文自动测报系统

飞云江赵山渡枢纽~瑞安县城河段长接近 50km，现状除瑞安县城设有瑞安站(国家站)，有长系列的潮位观测外，还有近几年设立的平阳坑、马屿、仙降三遥测水位站。瑞安、平阳坑、马屿、仙降四站的建设基本能满足飞云江防汛调度的要求。

根据调查，仙降站现状存在难以测到低水位，且资料没有审核、整编入库。经咨询当地水文部门，拟将马屿进行升级改造，改造后观测水位、流量和雨量。不包含土建工程，水情自动测报系统改造升级的投资测算为 120 万元，包括新建水位尺及购置设备，配备 4G、北斗通信安全网关模块，安装固态存储器及避雷接地等。

表 2.9-1　　流域水情自动测报系统测站一览表

序号	分区	站名	位置	遥测站类别	备注
1	飞云江	平阳坑	平阳坑大桥	水位	已建
2	飞云江	马屿	马屿大桥	水位、流量、雨量	升级改造
3	飞云江	仙降	仙降中心桥	水位	已建

另外在每个水闸上、下游分别新建遥测水位站，为水闸运行、科学调度提供精准数据支撑，这部分投资见标准化设计章节。

遥测水位观测井的井口的高度应高于设计最高水位 0.5m~1.0m、井底应低于设计最低水位 0.5m~1.0m，井壁要光滑垂直，井底及进水管应设防淤、清淤设施。测井设计除要进行结构、稳定计算外，还要考虑抗冲、消浪等因素。

3 工程地质

3.1 勘察工作情况概况

瑞安市飞云江治理二期工程位于温州瑞安境内，整治范围自平阳坑至铁路桥（潘岱），主要建筑物包括堤防、水闸和涵闸。本工程共分 6 段，飞云江干流右岸堤防有平阳坑段(长 2.54km，20 年一遇)；左岸堤防有马屿镇梅屿段防洪堤(长 2.28km，20 年一遇)、陶山镇荆谷段防洪堤(长 5.12km，20 年一遇)、陶山镇碧山段防洪堤(长 6.58km，20 年一遇)、桐浦塔山至澄头段(长 2.55km，20 年一遇)、潘岱白莲段防洪堤(长 2.70km，20 年一遇)。

本项目主要建设内容和规模：

（1）水利部分：新建堤防 21.77km；新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166m，其中马上水闸（3 孔×4 米）、河溪水闸（3 孔×5 米）、渡头水闸（3 孔×5 米）、浦底水闸（3 孔×5 米）；新建管理房 1 处、面积 1100m2，防汛仓库 5 处、总面积 400m^2。

（2）融合提升部分：新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。

堤防建筑物级别为 4 级，设计洪水标准 20 年一遇；马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇，校核洪水标准 50 年一遇。施工总工期 3 年。

3.1.1 勘察目的和任务

3.1.1.1 勘察工作内容

本工程新建堤防 21.77 公里，新建改建水闸 30 座，涉及飞云江沿岸平阳坑段防洪堤、马屿镇梅屿段防洪堤、陶山镇荆谷段防洪堤、陶山镇碧山段防洪堤、桐浦塔山至澄头段防洪堤、白莲段防洪堤，共计 6 段堤防。勘察的主要工作内容为堤防和水闸，本次勘察在可行性研究阶段勘察成果的基础上，对本工程进行初步设计阶段的勘察工作。

本工程可行性研究阶段勘察报告由两部分内容组成：第一部分由浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司，2020 年 4 月编制本项目可行性研究阶段设计报告，报告内容主要为防洪堤；第二部分由浙江山川有色勘察设计有限公司，2017 然后 8 月编制完成本项目可行性研究阶段补充勘察报告，报告内容主要为水闸。

3.1.1.2 目的

本次勘察为初步设计阶段勘察。本阶段勘察的主要目的是：在整合可行性研究阶段勘察成果的基础上，查明区域地质构造和地震活动情况，进行区域构造稳定性评价；详细查明工程沿线各工程建筑物所处的地形地貌、水文地质及工程地质条件，提供工程地质资料和设计所需的岩土参数，并对其进行评价。按相关规程完成地质勘察工作，提供满足初步设计及施工图设计所需要的地质勘察报告.

3.1.1.3 任务

本阶段具体勘察任务如下：

1）查明工程区的区域地质构造，区域地质稳定性，确定场地地震动参数，并对工程场地的构造稳定性作出评价。

2）查明堤线区地貌单元与微地貌类型、特征。

3）查明工程区地基土层的的地质年代、成因类型和分布规律；查明各岩土层的主要物理力学性质，特别是工程地质性质不良的特殊土层（如软土、粉砂土）、夹层或透镜体的分布、性质和特点，分析与评价岩土层工程地质性质。

4）查明工程沿线各工程地质单元（段）及邻近区的工程地质条件，并对海堤岸坡抗滑稳定等主要工程地质问题作出评价和提出相应的处理措施、建议。

5）查明拟建闸站等建筑物地基工程地质与水文地质条件，对存在的主要工程地质问题进行评价，提出地基加固处理建议。

6）查明场地地下水类型、埋藏条件、岩土层渗透特性，评价环境水和土对建筑材料和金属的腐蚀性。基本查明建设场地环境地质问题，预测工程建设后环境地质变化；

7）针对场地工程地质和水文地质条件，提出可能存在的问题，以及处理方案建议。

8）结合本工程特点，评价工程建设期间和工程建设后可能诱发的工程地质问题，以及处理方案建议。

9）进行天然建筑材料勘察与调查简述料场的产地位置、地质条件、开采运输条件，评价各料场的储量和质量。

3.1.2 勘察所依据的技术标准

本次勘察按现行规范、规程和标准进行，主要有：

（1）国家标准

1）《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）

2）《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）

3）《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）

4）《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）(2016 年版)

5）《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)

7）《工程测量标准》（GB50026-2020）

8）《工程岩体分级标准》（GB/T50218-2014）

9）《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019)

10）《岩土工程勘察安全标准》（GB/T50585-2019）

11）《中华人民共和国工程建设标准强制性条文》（2020 版）。

（2）行业标准

1）《中小型水利水电工程地质勘察规范》（SL55-2005）

2）《堤防工程地质勘察规程》（SL188-2005）

3）《水闸与泵站工程地质勘察规范》（SL/T704-2015）

4）《水电水利工程钻孔土工试验规程》（DL/T5354-2006）

5）《水工建筑物抗震设计规范》(DL5073-2020)

6）《水利水电工程注水试验规程》(SL345-2007)

7）《水利水电工程钻孔压水试验规程》（SL31-2003）

8）《软土地区岩土工程勘察规范》（JGJ83-2011）

9）《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）

10）《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）

11）《建筑工程地质勘探与取样技术规程》（JGJ/T87-2012）

12）《水利水电工程制图标准勘测图》（SL73.3-2013）

13）《水利水电工程钻探规程》（SL/T291-2020）

14)《水利水电工程地质测绘规程》（SL/T299-2020）

15)《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》（SL/T251-2015）

16）《静力触探技术标准》（CECS04:88）

17）《电测十字板剪切试验规程》(YS/T5220-2000)。

（3）浙江省标准

1）《工程建设岩土工程勘察规范》（DB33/T1065-2019）

2）《建筑地基基础设计规范》（DB33/T1136-2017）

3）《建筑基坑工程技术规程》（DB33/T1096-2014）。

（4）其他相关文件、资料等

1）《工程地质手册》（第五版）

2）《浙江省区域地质志》

3）《温州市区域地质图》（1：5 万）。

4）《浙江省飞云江治理工程瑞安市飞云江治理二期工程初步设计报告》，浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司，2022 年 11 月编制

5）《瑞安市飞云江治理二期工程可研阶段补充勘察报告》，浙江山川有色勘察设计有限公司，2017 年 8 月。

6）已搜集到工程沿线各单位工程地质勘察报告。

3.1.3 勘察工作方法及工作量情况

3.1.3.1 勘察方法

本次勘察采用地质钻探、静力触探、十字板剪切试验及野外地质调查等方法进行。地质钻探进行孔内钻探取芯、标准贯入试验、重型动力触探试验与取样室内试验相结合的方法进行。各勘探孔外业施工按相关施工规程执行。

3.1.3.2 勘探点布置

本次勘察，勘探点布置及数量由业主提供，我公司技术人员依据招标文件和业主要求，在满足相关规范的情况下，结合可行性研究阶段勘察成果，以及现场条件，勘探孔布置原则如下：

（1）堤防勘探孔结合场地特征沿堤防布置勘探孔，勘探孔间距 100～500m 布置，地形突变地带、或可行性研究报告中地层变化大的地段进行加密布设。险情多发、地质条件复杂地段适当加密钻孔。

（2）横剖面垂直纵剖面布置，每一横剖面布置 3 个钻孔，堤身、堤内、外各一个，孔距 50~80m。

（3）水闸勘探孔结合建筑物，并综合考虑可行性研究阶段勘察成果布置，以满足闸站工程的建筑物设计要求。

（4）业主提供勘探点平面布置图，结合工程，适当布置静力触探试验孔和十字板剪切试验孔。钻探施工期间，受场地条件限制等因素，个别钻孔在不影响勘察精度的情况下作了适当调整

3.1.3.3 勘探孔编号确定

本工程涉及 6 条堤防，30 座水闸。本工程进行初步设计阶段勘察，勘探孔均按规范及设计要求进行布置，为便于区别钻孔阶段、位置及类型，本次勘察勘探孔编号按以下原则确定：

1）本次为初步设计阶段勘察，故勘探孔编号均以“C”开头，即初步设计中“初”字的大写拼音字母。

2）为便于区分勘探孔位置，本阶段勘探孔编号按堤防所在位置的第一个大写拼音字母确定；水闸按水闸名称的第一个大写拼音字母确定。

3）钻探孔以“Z”表示，静力触探孔以“J”表示，十字板剪切试验孔以“S”表示。

4）钻孔编号顺序为：阶段+位置+勘探孔类型+序号。

如“CJG—Z1”表示初步设计阶段荆谷段堤防 1#钻孔；“CQJ—J1”表示初步设计阶段七甲水闸 1#静力触探孔。

3.1.3.4 勘探孔与孔深确定

根据工程特性，结合场地工程地质条件、招标文件要求、以及相关规范的要求，综合确定勘探孔孔深：堤防段钻孔深度为堤身高度的 2.0 倍（不包括已建堤防堤顶孔的堤身段），钻探深度内遇到透水层或软土层较厚时，孔深应加深，并能满足渗流与稳定分析的要求。

水闸钻孔进入建基面以下的深度不小于闸底板宽度的 1.5 倍。在此深度内遇有淤泥质土、粉细砂及强透水层等工程不良岩土层时，钻孔应进入下卧的承载力高的地层或相对隔水层。

静力触探孔钻至达到报警值；十字板剪切试验孔孔深 25m。

3.1.3.5 工作经过及完成实物工作量

初步设计阶段的工程地质勘察工作在可行性研究阶段的工作内容的基础上进一步进行详细地勘察。我公司安排地质勘察人员于 4 月 26 日至 28 日进行现场踏勘。初步设计阶野外钻探于 2023 年 5 月 3 日进场，野外共开动钻机设备 10 台，静力触探及十字板剪切试验仪各一套。2023 年 6 月 1 日完成外业钻探。

本阶段完成工作量见表 3.1.3.5-1~3.1.3.5-2《勘察完成实物工作量表》。

3.1.3.6 测量工作

本次勘察，测量采用采用 2000 国家大地坐标系，中央子午线 120 度 40 分，1985 国

家高程基准。勘探点由我公司勘测人员先根据勘探点位置图解坐标后，进行实地测放，勘探工作结束后，再进行统一复测（水上钻探孔在钻探施工前实地放样）。钻探测量工作依据相关工作进行，符合工程勘察精度要求。勘探点坐标详见附表一《勘探点主要数据一览表》。

表 3.1-1　　勘察完成实物工作量表

项　　目		可行性研究阶段		初步设计阶段		
		单 位	数 量	单 位	数 量	备　　注
平阳坑段	工程地质测绘	km^2	\	km^2	0.576	复核
	钻探孔个数/进尺	个/m	7/138.9	个/m	24/510.8	其中引用可研 6/119.6m
	十字板剪切试验孔	个/m	0	个/m	3/42.0	
	静力触探	个/m	1/14.6	个/m	3/33.8	其中引用可研 1/13.5m
	取原状土样	件	\	件	107	常规+特殊
	取扰动土样	件	\	件	67	颗粒分析
	水样	件	\	件	4	水质简分析
	重型动力触探试验	m	\	m	149	自动落锤
	标准贯入试验	段次	\	段次	8	自动落锤
	勘探点测放	个	8	个	28	含复测
马屿镇梅屿段	工程地质测绘	km^2	\	km^2	0.451	复核
	钻探孔个数/进尺	个/m	12/516.1	个/m	40/1661.6	其中引用可研 12/516.1m
	十字板剪切试验孔	个/m	0	个/m	3/59.5	
	静力触探	个/m	0	个/m	3/102	
	取原状土样	件	\	件	361	常规+特殊
	取扰动土样	件	\	件	98	颗粒分析
	水样	件	\	件	4	水质简分析
	重型动力触探试验	m	\	m	105	自动落锤
	标准贯入试验	段次	\	段次	43	自动落锤
	勘探点测放	个	12	个	43	含复测
陶山镇荆谷段	工程地质测绘	km^2	\	km^2	1.02	复核
	钻探孔个数/进尺	个/m	18/725.3	个/m	66/2255	其中引用可研 16/658.1m
	十字板剪切试验孔	个/m	0	个/m	8/200	
	静力触探	个/m	0	个/m	8/255.3	其中引用可研 1/27.6m
	取原状土样	件	\	件	518	常规+特殊
	取扰动土样	件	\	件	100	颗粒分析
	水样	件	\	件	4	水质简分析
	重型动力触探试验	m	\	m	169	自动落锤
	标准贯入试验	段次	\	段次	63	自动落锤
	勘探点测放	个	18	个	74	含复测

表 3.1-2　　勘察完成实物工作量表

项　　目		可行性研究阶段		初步设计阶段		
		单 位	数 量	单 位	数 量	备　　注
陶山镇碧山段	工程地质测绘	km^2	\	km^2	0.130	复核
	钻探孔个数/进尺	个/m	5/223.6	个/m	47/1652.7	其中引用可研 6/263.6m
	十字板剪切试验孔	个/m	0	个/m	5/125	
	静力触探	个/m	2/54.8	个/m	6/208.45	其中引用可研 2/54.8m
	取原状土样	件	\	件	438	常规+特殊
	取扰动土样	件	\	件	96	颗粒分析
	水样	件	\	件	4	水质简分析
	重型动力触探试验	m	\	m	89	自动落锤
	标准贯入试验	段次	\	段次	47	自动落锤
	勘探点测放	个	7	个	52	含复测
桐浦塔山至澄头段	工程地质测绘	km^2	\	km^2	0.506	复核
	钻探孔个数/进尺	个/m	4/134.6	个/m	21/669.5	其中引用可研 4/134.6m
	十字板剪切试验孔	个/m	0	个/m	3/56	
	静力触探	个/m	2/50.85	个/m	6/179.9	其中引用可研 2/50.85m
	取原状土样	件	\	件	140	常规+特殊
	取扰动土样	件	\	件	25	颗粒分析
	水样	件	\	件	4	水质简分析
	重型动力触探试验	m	\	m	29	自动落锤
	标准贯入试验	段次	\	段次	53	自动落锤
	勘探点测放	个	6	个	27	含复测
白莲段	工程地质测绘	km^2	\	km^2	0.540	复核
	钻探孔个数/进尺	个/m	4/158.8	个/m	21/796.8	其中引用可研 4/158.8m
	十字板剪切试验孔	个/m	0	个/m	4/100	
	静力触探	个/m	0	个/m	5/214.5	
	取原状土样	件	\	件	189	常规+特殊
	取扰动土样	件	\	件	38	颗粒分析
	水样	件	\	件	4	水质简分析
	重型动力触探试验	m	\	m	35	自动落锤
	标准贯入试验	段次	\	段次	81	自动落锤
	勘探点测放	个		个	26	含复测

3.1.3.7 勘测完成工作量评述

本阶段勘探孔在可行性研究阶段基础上进行。本次勘察共布置勘探孔 276 个，其中钻探孔 220 个，总进尺 7592.7m；静力触探 30 个，总进尺 968.95m，十字板 24 个，总进尺 582.5m。

勘察报告引用可行性研究阶段钻孔 48 个，静力触探孔 6 个。

初步设计阶段，我单位实际完成勘探孔 222 个，其中钻探孔 171 个，总进尺 5696.5m；静力触探 25 个，总进尺 822.2m，十字板 26 个，总进尺 582.5m。

勘探孔布置、数量，测放、野外勘探成果均符合相关规范要求；勘察结果与可行性研究阶段勘察成果吻合；勘察质量优良。

3.2 区域地质

3.2.1 自然地理条件

3.2.1.1 地理位置

瑞安市地处浙江东南沿海，地理坐标为东经 120°10′至 121°15′分之间，北纬 27°40′至 28°0′之间。本区东临东海，西连文成县，南接平阳县，北邻瓯海区、龙湾区，西北界青田县。海岸线长 20.36 公里。瑞安市区北距温州市区 34 公里，距离省会杭州 385 公里，104 国道自北而南穿越市区。地理位置和交通条件十分优越。工程区地理位置详见下图（图 3.2-1）。

图 3.2-1　工程地理位置图

3.2.1.2 地形地貌

瑞安属东南沿海丘陵地区，七山二水一分田。地势西高东低，西北部为山区丘陵，海拔一般在 600 米以上，南部低山丘陵为主，为南雁山余脉，逶迤东行至大岙山，然后伏地入海，形成东海大陆架上的北龙列岛。东部沿海为冲积平原和海涂，地势平坦。根据据浙江省地貌分区图，工程区位于浙东南沿海丘陵及岛屿区，详见下图。

工程区地貌单元属低山丘陵区～冲海积平原区，一般海拔高程在 5m～150m。工程区平阳坑上游段为低山区，飞云江曲折东流，坡平水缓，江道二侧多发育冲洪积的滩地、心滩；马屿镇以下为冲海积平原，区内地 势平坦，河网密布，地面高程 3.50m～6.5m (1985 国家高程基准，下同)。堤防工程沿线分布居民区、道路、公路、码头、养殖场、农田等。

图 3.2-2 浙江省地貌分区图

3.2.1.3 气象

瑞安市气候条件是亚热带海洋型季风气候，气候温暖湿润，全年无严寒酷暑，冬短夏长，四季分明，雨水充沛。全境所处纬度较低，又受海洋影响，温度条件为全省最佳。境内常年平均气温 17.9℃，北麂等海岛略低，为 17.5℃，海拔 400-800 米的山区稍低，在 14℃-16℃之间。境内年平均降水量 1110-2200 毫米，历史年平均降水量 1527.2 毫米。年内各月降水分布很不均匀，全年降水高峰期 3 次，分别为 3-4 月春雨期、5-6 月梅雨期及 8-9 月热带风暴暴雨期，各占全年降水量的 18.3%、26%、26.2%。瑞安季风气候明显，夏季多东南偏东风，冬季多西北偏西风，年均风速 1.9 米/秒，瞬时最大风速 16 米/秒。

影响勘察区的灾害性天气主要为台风。每年 7-9 月份为台风季节，2005 年先后“海棠”、“麦莎”、“泰利”3 次台风影响本区，2006 年有“碧利斯”、“桑美”影响本区，2007 年有“罗莎”影响本区。以上台风均有强度大、范围广的特点，由此带来的强降雨气候，使山洪爆发，河水暴涨，城镇受淹，局部山体滑坡、崩塌等，威胁人民生命财产安全。

3.2.2 水文

3.2.2.1 地表水

工程区内主要河流属于飞云江水系，飞云江水系属于浙江省八大水系之一。

飞云江自西向东横贯市境，主要支流有玉泉溪（滫门溪）、高楼溪、曹村港、金潮港，为瑞安市段的四大主要支流，另外还有龙湖镇的石龙溪、顺泰乡的大日溪、平阳坑镇的戈溪、梅屿乡的河溪、陶山镇的沙门溪、桐浦乡的桐溪、安阳镇的愚溪等，均为一级支流。其中绝大多数为山溪性河流，流域面积小，比降大，源短流急。这些支流汇入飞云江后，东流人海。

工程区为感潮河段，感潮河段的潮汐，一天内 2 涨 2 落，周期约为 12 小时 30 分，为不正规的半日潮。河口段由于径流作用，水流总的趋势是落潮平均流速大于涨潮流速，落潮流量大于涨潮流量，落潮历时大于涨潮历时。大潮期间，流速可超过 1-2 米/秒以上。涨潮时间为 5-6 小时，落潮时间为 6-7 小时，平均潮差 4.5 米，最大 6.2 米。

飞云江河口和整个感潮河段的泥沙来源有二：一是上游流域来沙，二是海域来沙。二者对河口和下游感潮河段的发育变化有较大影响。

3.2.2.2 地下水

工程区为沿海低山丘陵区～冲海积平原区，根据地下水的赋存条件，分布特征，可

将地下水划分为松散岩类孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水三类。

地下水以大气降水补给为主，向溪流或地势低洼处排泄。地下水一般径流途径短，循环交替迅速，受气候、季节影响地下水动态变化大。区域水文地质条件简单。

本场地孔隙潜水主要赋存于浅部的粉质粘土、淤泥质粉质粘土层中，各土层均为微～弱透水层，水迳流条件较差，水量较小，主要补给来源为大气降水与地表径流，地下水与地表水水力联系较密切，以向低洼处径流或地表蒸发为主要排泄途径

孔隙承压水主要赋存于本场地深部卵（碎）石、圆（角）砾，地层渗透性较好，水径流条件较好，水量较丰富，主要受侧向渗流补给及越流补给，排泄方式主要由人工开采和水平渗透排泄。

基岩裂隙水赋存于岩石的节理、裂隙中，多呈线状或脉状分布，无统一的地下水位，连通性差，水量较小，富水性不均一，受构造、地貌、气候及岩性等因素控制。

3.2.3 地层

工程区位于瑞安市境内，据 1：20 万《区域地质图（平阳幅）》，结合工程地质测绘及野外地质调查成果分析，工程区及附近出露地层有前第四纪地层和第四纪地层，现就工程区及附近的出露主要地层分述如下。

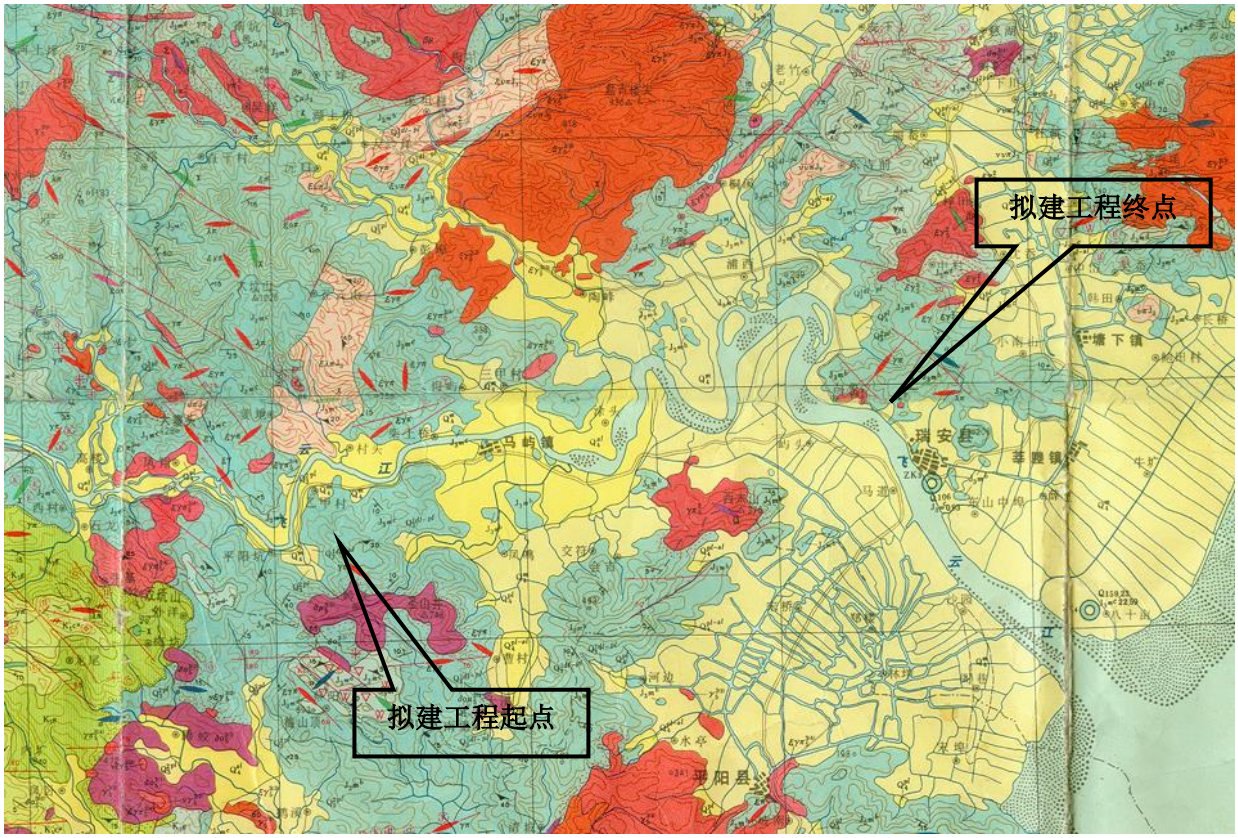


图 3.3-3 工程区区域地质图

3.2.3.1 前第四纪地层

工程区附近出露前第四纪地层主要为侏罗系上统、白垩系下统次火山岩和侵入岩也广有分布。现由老到新简述如下：

1）侏罗系上统磨石山群(J3m)区内分布广泛，分三个岩性段：

(1)磨石山群 b 段(J3mb)

青灰、灰紫色块状流纹质晶屑凝灰岩、或晶屑熔凝灰岩，常含角砾； 可相变为流纹质玻屑晶屑凝灰岩，局部夹薄层流纹质玻屑凝灰岩、晶屑玻屑凝灰岩、集块岩和流纹岩；偶见紫红色凝灰质粉砂岩及泥岩。

（2）磨石山群 c 段(J3mc)：

灰白、浅灰紫色流纹质玻屑凝灰岩夹泥岩、粉砂岩、层凝灰岩(常含 火山泥球)；偶夹流纹质玻屑晶屑熔凝灰岩，流纹岩及安山岩。

（3）磨石山群 d 段(J3md)：

肉红、紫灰色流纹岩、流纹斑岩、石泡流纹岩，偶夹紫红色粉砂岩、层凝灰岩和流纹质玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩； 局部相变为流纹质晶屑熔凝灰岩、玻屑晶屑凝灰岩；底部偶见集块岩。与下伏地层呈不整合接触。

2）白垩系下统(K1) ，主要分布于高楼南及西南地区。

（1）馆头组(K1g)：

紫红色凝灰质粉砂岩、泥质粉砂岩、钙质粉砂岩夹砾岩、含砾砂岩及英安质玻屑凝灰岩、玻屑熔凝灰岩，熔结凝灰岩、安山岩、安山集块岩、安山质玻屑凝灰岩；局部夹流纹质玻屑凝灰岩、安山玄武岩、玄武岩等；偶见泥灰岩透镜体。与下伏地层呈不整合接触。

（2）朝川组(K1c) ：

区内出露主要为朝川组 a 段(K1ca)地层，紫红色凝灰质粉砂岩、泥质粉砂岩、钙质粉砂岩夹砾岩、含砾砂岩及英安质玻屑凝灰岩、玻屑熔凝灰岩， 熔结凝灰岩、安山岩、安山集块岩、安山质玻屑凝灰岩；局部夹流纹质玻屑凝灰岩、安山玄武岩、玄武岩等；偶见泥灰岩透镜体。与下伏地层呈整合接触或火山喷发不整合接触。

3.2.3.2 第四系地层

根据收集资料及本次勘察钻探成果分析，工程区及附近第四系地层主要分布于平原、山麓地带。根据其结构、沉积物特征、成因类型和地貌特征，可分为上更新统与全新统

地层。

（1）上更新统(Q3)，厚度较大，山区 2m～29m，平原区 6m～55m。山区为坡洪积或洪积碎砾石、亚粘土、粉细砂、砾石，底部偶夹炭质亚粘土；冲积层为含粘性土砾石。平原区除上述类型外，尚有海积粘土。

（2）全新统(Q4)，厚度较大，山区 2m～10m，平原区 40m～59m。山区为洪积、洪冲积、冲积成因的疏松亚砂土、砂、砂砾石。平原区为粘土、亚粘土夹中砂、粉细砂，局部夹泥炭层，含海相贝壳等。平阳坑滩脚以下河道为感潮河道，覆盖层以冲洪积与海积堆积物互层，向下游逐渐以海积的淤泥质土、含有机质粘土、粉土等为主。

工程区内上部海积（mQ4）层为灰色淤泥及淤泥质土、冲海积（al-mQ4）层为粉土和粉细砂，下部为冲洪积（al-lQ4）粉质粘土。厚度大。

3.2.2.3 侵入岩

工程区附近侵入岩主要为早白垩世、晚侏罗世次火山岩及燕山晚期侵入岩。

1）早白垩世、晚侏罗世次火山岩

区内次火山岩主要分布于西村～上安村之间的沿飞云江两岸，共有 10 余个岩体。岩性为流纹岩、流纹斑岩、霏细岩、霏细斑岩、斜长流纹岩等，岩类较为齐全，中性、中酸性和酸性均有产出，但以酸性岩类为主，侵入于上侏罗统和下白垩统地层中，主要呈岩株产出，其次为小岩株产出，为坚硬岩，岩体完整性较好。岩体地表出露的面积一般为 1km²～2km²。

2）燕山晚期侵入岩

区内侵入岩较为发育，呈岩株、小岩株，岩枝状产出，均属燕山晚期侵入活动的产物。岩性以酸性花岗斑岩、霏细斑岩为主。块状构造，为坚硬岩，岩体完整性较好，岩脉走向以北东、北西向为主，东西向次之。

3.2.4 区域地质构造与地震

3.2.4.1 区域地质构造

工程区位于测区地质构造属华南褶皱系（I2）浙东南褶皱带（II3）温州-临海拗陷（III8）泰顺-温州断拗（IV12）。区内地质构造表现为主要有北北东向、北东向、南北向和北西向等不同方向断裂，其中以北北东向最为发育。其余各组断裂分布比较零星，规模较小。

区内地质构造主要受松阳～平阳大断裂、温州-镇海大断裂、淳安～温州大断裂和

泰顺～黄岩大断裂控制，构造形迹影响。

工程区内无大规模断裂构造通过，且区域内断裂构造不发育，偶有地区性小规模断层通过。受地区性断层构造影响，区内构造以小规模陡倾角断层为主，节理、裂隙较发育。

3.2.4.2 地震

工程区位于华南沿海地震带东北部，区域的地震大多数都发生在工程区域北部和南部，地震活动主要受大断裂控制。第四纪以来，工程区地壳以缓慢上升为主，断裂活动微弱。从区域地震历史资料来看，本区近代地震活动少；据历史地震记载，最大的有感地震为 4 级，其余均为微震，区域地质构造稳定性良好。

据现代地震监测资料表明，工程区区内现代地震活动微弱，一般仅限于 3.0 级以下地震。查询《中国地震台网》纬度 26～28°，经度 119～121°区域，自 1900 年至今，本区域震级在 3.0 以上的共发生地震 23 次，震级 3.0～4.2，地震多发生在温州市文成县境内，泰顺县境内，其中，2014 年 10 月 25 是，文成县发生 4.2 级地震，但对工程区影响较小。此外，台湾、福建、长江口等地发生的地震偶有波及本区。

根据全国地震区划图，本区为基本稳定区。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)的划分，场区城镇II类场地基本地震动峰值加速度值 a_{max} 为 0.05g，相应地震烈度为VI度，基本地震动加速度反应谱特征周期值 TgII为 0.40s；III类场地震动峰值加速度值 a_{max} 为 0.065g，地震动加速度反应谱特征周期值 Tg 为 0.55s。设计地震分组为第二组，区域地壳为稳定区。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版），本场地抗震设防烈度为 6 度，基本地震加速度为 0.05g，设计地震分组为第二组。

3.3 场地工程地质条件

3.3.1 地形地貌

根据据浙江省地貌分区图，瑞安市属浙东南沿海丘陵及岛屿区。工程区线路长，沿线地貌单元属低山丘陵区～冲海积平原区，一般海拔高程在 5m～150m。工程区平阳坑上游段为低山区，飞云江曲折东流，坡平水缓，江道两侧多发育冲洪积的滩地、心滩；马屿镇以下为冲海积平原、海积平原，区内地势平坦，河网密布，地面高程 3.50m～6.5m(1985 国家高程基准，下同)。堤防工程沿线分布居民区、道路、公路、码头、养殖场、农田等。

3.3.2 近场地地质构造

工程区位于测区地质构造属华南褶皱系（I_2）浙东南褶皱带（II_3）温州-临海拗陷（III_8）泰顺-温州断拗（IV_{12}）。区内地质构造表现为主要有北北东向、北东向、南北向和北西向等不同方向断裂，其中以北北东向最为发育。其余各组断裂分布比较零星，规模较小。

工程区内无大规模断裂构造通过，且区域内断裂构造不发育，偶有地区性小规模断层通过，受地区性断层构造影响，区内构造以小规模陡倾角断层为主，节理、裂隙较发育。

3.3.3 地层

瑞安市飞云江治理二期工程位于温州瑞安境内，整治范围自平阳坑大桥上游至铁路桥（潘岱），沿线长 30 余公里。本项目新建堤防长度 21.77 公里，新建改建水闸 30 座。项目在可行性研究阶段分别由浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司和浙江山川有色勘察设计有限公司对区内进行地质勘探，本阶段应业主要求，在整合可行性研究阶段勘察成果的基础上，对本工程进行勘察。

本工程堤防沿线场区表层为填土，上部以海相淤泥质土为主，局部为冲洪积砂砾石，中部以冲洪积砂砾层为主，底部为基岩。本工程勘察揭露所有地层根据其成因、特性等，按浙江省标准《工程建设岩土工程勘察规范》（DB33/T1065-2019）附录 F：表 F.0.3 温州平原地区典型综合地质层表划分原则进行统一命名、编号。

根据钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 8 个大层,22 个工程地质亚层和 6 个夹层，工程区内总体地层自上而下分述如下：

①$_0$ 塘泥、淤泥（alQ_4^3）

灰黄色为主，流塑，该层为淤积形成，以淤泥为主，局部杂质含量较多，含碎块石、砾石等，有机质含量较高，土质均匀性差，分布不均匀。主要分布于飞云江及支流的滩涂，渔塘、池塘塘底表层，或是河道淤积处。少量钻孔中揭示。

①$_1$ 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，碎块石含量约占 10～70%，一般粒径 2～10cm，块石最大粒径大于 20cm，粘性含量约占 10~50%，局部以建筑垃圾为主。成份杂乱，结构松散，分布规律性较差，土质均匀性差。钻进较易，孔壁易坍塌。分布不均匀。

⓪$_2$素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由砾石、黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，局部为村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。素填土岩性以粉质粘土为主，粉质粘土可塑状，中等压缩性。砾石含量约占 10～20%。该层主要分布于机耕路、老防洪堤、乡村道路、鱼塘四周等部位，呈条带状分布。老防洪堤填筑的坝填土，土质均匀性较好。

⓪$_3$耕土(rQ)

灰色、灰黄色，松散，饱和，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$粉质粘土（al-lQ$_4^3$）

灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，局部含较多粉砂粉土；下部土质略差，下部逐渐过渡为淤泥质土，为粉质粘土与淤泥过渡层；切面稍有泽，韧性一般，干强度一般，摇振反应无，中等～高压缩性。局部缺失。

①$_2$淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土（mQ$_4^3$）

灰黄色～灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂；摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度中等~高，韧性中等~高，高压缩性。场地内局部分布。

①$_{夹}$砂砾石（alQ$_4^3$）

灰黄色、灰色，稍密～中密状，主要由卵石、圆砾、砂粒及粉粘粒组成，一般砾径 0.2~4cm，个别可达 8cm。卵石含量占 15~25%，圆砾含量占 20~35%，砂含量占 10~20%，粘粉粒含量占 15~25%，颗粒级配不良。质地坚硬，磨圆度较好，分选性一般，母岩成份为中微风化凝灰岩，胶结度一般，土层均匀性较差，低压缩性。场地内局部分布。

②$_1$淤泥（mQ$_4^2$）

灰色、灰黄色，流塑，饱和，厚层状、鳞片状、含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，夹少量贝壳碎片及腐植物，局部相变为淤泥质粘土，土层均匀性较好；切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度高，韧性高，高灵敏度，高压缩性。场地内大部分地段分布。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂(al-mQ$_4^2$)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂，局部地段呈互层状，含有机质，土质不均,局部为粘质粉土、砂质粉土；切

面较光滑，摇振反应无，光泽反应稍有光泽，干强度中等，韧性中等，高灵敏度，高压缩性。场地内大部分地段分布。

②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥($al\text{-}mQ_4^2$)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性，场地内大部分地段分布。

②$_3$淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度高，韧性高，高灵敏度，高压缩性。场区分布广泛。

②$_{夹}$圆砾

灰色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，土质不均，呈透镜体分布。

③$_1$淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度高，韧性高，高灵敏度，高压缩性。场区分布广泛。

③$_2$粘土（mQ_4^1）：

灰色，软塑，细鳞片状、厚层状，含少量有机质、腐植物，夹少量粉砂，局部粉砂含量较高。土层均匀性较好。切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度高，韧性高，高压缩性。场区分布广泛。

③$_3$粉细砂（$al\text{-}mQ_4^1$）

灰色，稍密，饱和，含少量贝壳碎屑，中压缩性，土质不均，局部分布。

③$_{夹}$圆砾、卵石(alQ_4^1)

灰色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，土质不均，零星分布。

④$_1$粉质粘土（$mQ_3^{2\text{-}2}$）

灰黄色、黄褐色、黄绿色，为第二硬土层，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质均匀，局部相变为粘土。切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度中等，韧性中等，中压缩性。局部分布。

④$_2$粘土（$mQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色，软塑～可塑状，以软塑状为主，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部含砂量稍高，相变为粉质粘土。切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，

干强度高，韧性高，高压缩性。局部分布。

④$_3$ 圆砾、局部卵石（al-plQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

④$_{3g}$ 粉砂（al-lQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍~中密，饱和，主要由中砂、粉细砂及粘粉粒组成，砂含量占 60~80%，粘粉粒含量占 20~30%，中压缩性，砂粒成份中以白色石英为主，土层均匀性较差。呈透镜体状分布于④$_3$ 圆砾卵石层中。

④$_{3f}$ 粘土、淤泥质粘土（al-mQ_3^{2-2}）

灰色、灰褐色，流塑、软可塑状，含少量贝壳碎屑、粉砂及半碳化物，分布规律性差，部分含砂量稍高，土质不均，中等～高压缩性。呈透镜体状分布于④$_3$ 圆砾卵石层中。

⑤$_1$ 粉质粘土（al-lQ_3^{2-1}）：

灰绿色、灰黄色、灰兰色，厚层状，可塑为主，局部软可塑，切面较光滑，摇振反应无，光泽反应稍有光泽，干强度中等，韧性中等，中压缩性，局部地段为粘土。场地内局部揭示。

⑤$_2$ 粘土（mQ_3^{2-1}）：灰色，软塑～软可塑状，厚层状，夹少量贝壳碎屑、粉砂及少量腐殖质，局部含砂量稍高。切面光滑，摇振反应无，光泽反应稍有光泽，干强度中等~高，韧性中等~高，中～高压缩性，分布不均匀，场地内局部揭示。

⑤$_3$ 圆砾、卵石（al-mQ_3^{2-1}）

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 20～50%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 20～40%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 10~30%，土质不均，局部为含粘性土砾砂或含粘性土卵石。砾石母岩以硬质凝灰岩、砂岩为主，亚圆状、次棱角状，磨圆度一般，分选性一般，胶结差，场地内局部揭示。

⑤$_{3J}$ 含砾粉质粘土（al-mQ_3^{2-1}）：

灰黄、灰色，属混合类土，主要为粉质粘土、碎石、砾砂组成，粗细颗粒含量不稳

定，一般粉质粘土含量约 60%～70%，碎砾含量约 30%，其余为砂。粉质粘土呈可塑～硬可塑状，中等压缩性。土质不均匀，局部碎、块石含量较高，碎砾石磨圆度较差，分选性差。

⑨含碎石粉质粘土（el-dl-plQ）

黄褐色，残坡洪积成因，主要为粉质粘土、碎石组成，粗细颗粒含量不稳定，一般粉质粘土含量约 60%～75%，碎、砾含量约 30%，其余为砂。粉质粘土呈可塑状，中等压缩性。土质不均匀，局部碎、块石含量较高，碎砾石磨圆度较差，分选性差。

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J_3m）

浅灰色、灰黄色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，锤击声哑，易碎，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J_3m）

青灰色、灰白色、灰紫色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为硬质岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

地层的具体分布情况与主要物理力学指标详各段堤防工程地质条件。

3.3.4 不良地质作用、特殊岩土及地下埋藏物

3.3.4.1 不良地质作用

工程区域内不存在岩溶、泥石流、采空区、地面塌陷等不良地质现象，工程区不良地质现象主要为小规模滑坡。

滑坡主要发生在飞云江沿线无堤岸地段。工程区域内分布厚度巨大软土地，工程区沿线支流分布，支流入江处无护岸，无堤岸地段由于受潮汐反复冲刷淘蚀作用，往往形成土质陡坡，易发生滑坡，但规模一般较小。

3.3.4.2 特殊性岩土

场地上部普遍分布巨厚的淤泥质软土。淤泥质软土具高灵敏度、高触变性、大孔隙比、高压缩性、高蠕变等特点，工程性能差。根据收集的地质资料，场地存在的特殊性岩土主要为软土、填土、混合土和残积土。

（1）软土

场地上部普遍分布巨厚的淤泥质软土。淤泥质软土具高灵敏度、高触变性、大孔隙比、高压缩性、高蠕变等特点，工程性能差，宜发生地基不均匀沉降，应力状态发生改变时，产生流变，易发生岸坡失稳等不利现象，对工程的建设和安全运营影响很大。

（2）填土

人工填土成分复杂，工程沿线不同程度存在杂填土分布，多呈点状、片状、带状分布，以工程弃土为主，部分为生活垃圾，岩性较为杂乱，以粘性土、碎块石类土为主，一般厚度较薄，结构松散，土质不均，工程性质差，对堤防护岸工程、基坑工程和桩基施工有一定的影响。

根据走访调查，平阳坑城区段靠飞云江右岸部分房屋采用块石抛石作为基础，抛石厚度约 3～4m；根据钻探成果 CBL-Z6、CBL-Z7、CBL-Z8 号孔揭示杂填土厚度可达 6.0～12.0m，填土以建筑垃圾（碎块石、砼、粘性土）为主。

（3）混合土

场地下部分布含粉质粘土碎石，含碎石粉质粘土等，土质不均，力学性质不均，局部差异较大。工程区沿线分布较少。

（4）风化岩和残积土

工程区山坡及平原区底部的风化岩和残坡积土，土质不均，性质不均。

3.3.4.3 地下埋藏物

（1）管线

本工程为线性工程，新建堤防 21.77 公里，新建改建水闸 30 座，本次调查发现沿线局部地段分布有自来水管、污水管、通讯线路、电线电缆等，各种线路埋置深度不一，管线表示不明或缺失。特别需要注意的：平阳坑镇区段，沿线管线多；霞岙水闸附近分布有自来水管、污水管；马屿镇梅屿段沿线有污水管分布，据村民介绍该管采用顶管，管径约 1m 左右，埋深较深，该污水管从冯渡水闸、马上水闸、马上 3#水闸、河溪水闸下部或附近穿越；荆谷段涵闸 2、涵闸 5、石埠水闸附近有移动通讯线路；碧山段下游段靠京岚线附近有落地的高压线；桐浦塔山至澄头段塔山水闸附近埋地的水管及线路较多。设计和施工时，应及时与相关部门协调。

白莲段七国垟水闸现状为码头，走访码头业主单位及附近居民，左岸码头和右岸挡墙采用灌注桩基础。水闸设计施工时应注意。

平阳坑镇区段靠飞云江右岸部分房屋采用桩基础，堤防设计施工时应注意。

根据走访调查，平原区老闸一般采用为松木桩加抛石作为闸基础，本次原址改建的水闸设计和施工时应注意。

（2）浅层沼气

场地中在桐浦塔山至澄头段钻孔 CPD-Z3 号内发现有沼气，钻孔完成 10 天后仍有

气体冒出，但气体喷出量较少。根据钻孔资料分析，沼气主要分布在淤泥质土层中夹的薄层粉土、粉砂层中，当形成通道，浅层沼气会冒出地表。本场地贮气条件较差，气量小，对本工程影响较小。

（3）采砂区

本区位于飞云江感潮河段，因上游流域来沙和海域来沙在此堆积，沙储量丰富。飞云江多年以来存在河道采砂泛滥，采砂造成沙“丘”林立，沙“坑”密布。沙坑被淤泥覆盖，浅部地层不均匀。拟建防洪堤如采用天然地基，采砂坑对基础型式影响较大。施工时应引起注意。

3.3.5 水文地质条件

3.3.5.1 地下水类型

根据地下水的赋存条件，分布特征，可将地下水划分为松散岩类孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水三类。地下水以大气降水补给为主，向河谷或溪流排泄。地下水一般径流途径短，循环交替迅速，受气候、季节影响地下水动态变化大。区域水文地质条件简单。

（1）孔隙潜水

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部，地下水赋存于冲海积粘性土和淤泥类土层中，潜水主要受大气降水和地表泾流的补给，以蒸发排方式排泄或向附近水域排泄。地下水位随季节变化，水位变化幅度为 0.50～1.0m。含水层透水性差，水量贫乏。

勘察期间，测得钻孔内地下水稳定水位在地表以下 0.10~4.80m，水位受季节性影响，枯水期水位略有下降，丰水期水位略有抬高，水位年变化幅度一般小于 2.0m，地下水受潮汐水位影响较大。

（2）孔隙承压水

承压水分布于工程区的中下部，含水层由冲洪积成因的中细砂和砂砾石组成，埋深较深、且上部有较厚的粘性土隔水层。场区内含水层主要为①$_{夹}$砂砾石、②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥、②$_{夹}$圆砾、③$_{夹}$圆砾、卵石、③$_{3}$粉细砂、④$_{3}$圆砾、⑤$_{3}$圆砾卵石。其中：②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥含水层中的地下水为微承压水，该层厚度较小，含水量有限，渗透性较好；①$_{夹}$砂砾石、②$_{夹}$圆砾、③$_{夹}$圆砾、卵石、③$_{3}$粉细砂含水层分布范围有限，厚度较小，含水量有限，渗透性较好。

场地孔隙承压水主要赋存于本场地深部④$_{3}$圆砾、⑤$_{3}$圆砾卵石层中，含水层厚度较大，水量较丰富，地层渗透性强，隔水层为上部的淤泥质土、粘土和粉质粘土。承压含

水层主要接受上游含水层的侧向补给及越流补给，通过人工抽汲等方式排泄。根据《2021年温州市地质环境公报》发布，本区孔隙承压水水位高程-9.11~-11.74m，处于弱上升区内。结合本场地水文地质资料，该场地承压水水头远低于地表潜水位，承压水动态较稳定，水位年变幅在 0.5m 左右。

（3）基岩裂隙水

场地基岩裂隙水以构造裂隙水为主，主要分布于风化的裂隙中，裂隙水以覆盖层的下渗补给和裂隙间的竖向补给为主，水力联系差，水量少，无统一的地下水位，富水性不均一，受构造、地貌、气候及岩性等因素控制。

3.3.5.2 环境水、土对建筑材料的腐蚀性评价

为判定场地环境水对建筑材料的腐蚀型，本次勘察共取 24 组水样进行水质简分析，其中地表水 5 组（分别在涨潮、退潮中采取），环境水 19 组，其中地下水共 12 组（每段堤防各取 2 组），平阳坑段地表水取 2 组水样外，其余段各取 1 组）。依据本次试验成果，判定供环境水、土对建筑材料的腐蚀性评价。

拟建场地为湿润地区弱透水环境，场地环境类型为II类。区内场地地表水主要为堤内河水与飞云江水，地下水主要为孔隙潜水，环境水对天然建筑材料的腐蚀性评价详见表 3.3-1～3.3-4。

根据以上判定成果，依据国家标准《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）按最不利因素判定如下：

一、对混凝土结构的腐蚀性评价

场地堤防沿线内河水对混凝土结构无腐蚀性；自平阳坑至桐浦段地下水对混凝土结构无腐蚀性；白莲段地下水对混凝土结构弱腐蚀性，腐蚀类型为硫酸盐型。

涨潮时，内河水受飞云江水倒灌的影响，对混凝土结构弱腐蚀性，腐蚀类型为硫酸盐型；退潮时，内河水对混凝土结构无腐蚀性；

二、对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价

场地堤防沿线内河水对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性；平阳坑段、荆谷段、碧山段和桐浦段地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，梅屿段与白莲段地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，白莲段地下水对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。

涨潮和退潮时，内河水受飞云江水的影响，对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。

三、对钢结构的腐蚀性评价

场地堤防沿线内河水对钢结构具有弱腐蚀性；平阳坑段、荆谷段、碧山段地下水对

混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，梅屿段、桐浦段和白莲段地下水对混凝土结构中的钢筋有中腐蚀性；涨潮和退潮时，内河水受飞云江水的影响，对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。

综合判定本工程地下水对本工程设计及施工有一定影响，应按《工业建筑防腐蚀设计标准》（GB/T50046-2018）采取相应级别的防腐措施。

表 3.3-1　　环境水混凝土结构的腐蚀腐蚀评价

腐蚀类型		对混凝土结构的腐蚀性评价					对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价	对钢结构的腐蚀性评价
腐蚀类型		硫酸盐型	镁离子型	重碳酸型	碳酸型	一般酸性型	CL-（CL-+SO42-*0.25）	pH 值、（CL-+ SO42-）
腐蚀介质		SO42-	Mg2+	HCO3-	侵蚀性 CO2	pH 值		
		(mg/L)	(mg/L)	(mmol/L)	(mg/L)	——	(mg/ L)	(mg/ L)
腐蚀标准	无	＜250	＜1000	＞1.07	＜15	>6.5	——	——
	弱	250～400	1000～1500	1.07～0.70	15～30	6.5～6.0	100～500	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）＜500
	中	400～500	1500～2000	≤0.70	30～60	6.0～5.5	500～5000	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）≥500
	强	≥500	2000≤	——	≥60	≤5.5	＞5000	pH 值＜3、（CL^-+ SO_4^{2-}）任何浓度
平阳坑段地表水 1	试验值	51.10	18.86	2.26	12.32	7.00	140.40	7.00、178.72
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
平阳坑段地表水 2	试验值	29.59	9.33	1.20	2.64	7.02	42.85	7.02、65.04
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
平阳坑段地下水 1 CPYK-Z1	试验值	209.41	54.43	5.82	13.96	7.02	839.34	7.02、996.40
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中
平阳坑段地下水 2 CPY-Z5	试验值	184.44	49.57	5.44	4.84	7.08	755.11	7.08、893.44
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中
马屿镇	试验值	15.75	9.14	1.78	2.64	7.14	19.97	7.14、38.44

腐蚀类型		对混凝土结构的腐蚀性评价					对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价	对钢结构的腐蚀性评价
腐蚀类型		硫酸盐型	镁离子型	重碳酸型	碳酸型	一般酸性型	CL-（CL-+SO42-*0.25）	pH 值、（CL-+ SO42-）
腐蚀介质		SO42-	Mg2+	HCO3-	侵蚀性 CO2	pH 值		
		(mg/L)	(mg/L)	(mmol/L)	(mg/L)	——	(mg/ L)	(mg/ L)
梅屿段地表水	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
马屿镇梅屿段地下水 1 CMY-Z1	试验值	138.33	38.69	3.92	4.4	7.38	519.18	7.38、653.28
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中
马屿镇梅屿段地下水 2 CMS-Z5	试验值	129.11	35.96	3.68	3.52	7.32	500.21	7.32 、597.04
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中

表 3.3-2　　环境水对建筑材料腐蚀评价

腐蚀类型		对混凝土结构的腐蚀性评价					对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价	对钢结构的腐蚀性评价
腐蚀类型		硫酸盐型	镁离子型	重碳酸型	碳酸型	一般酸性型	CL-（CL-+SO42-*0.25）	pH 值、（CL-+ SO42-）
腐蚀介质		SO42-	Mg2+	HCO3-	侵蚀性 CO2	pH 值		
		(mg/L)	(mg/L)	(mmol/L)	(mg/L)	——	(mg/ L)	(mg/ L)
腐蚀标准	无	＜250	＜1000	＞1.07	＜15	>6.5	——	——
	弱	250～400	1000～1500	1.07～0.70	15～30	6.5～6.0	100～500	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）＜500
	中	400～500	1500～2000	≤0.70	30～60	6.0～5.5	500～5000	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）≥500
	强	≥500	2000≤	——	≥60	≤5.5	＞5000	pH 值＜3、（CL^-+ SO_4^{2-}）任何浓度
陶山镇荆谷段地表水	试验值	17.29	9.72	1.68	2.64	7.12	24.17	7.12、37.14
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
陶山镇荆谷段地下水 1 CJG-Z1	试验值	55.72	19.05	4.90	4.40	7.32	140.13	7.32、181.92
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
陶山镇荆谷段地下水 2 CJG-Z9	试验值	49.57	17.30	4.50	3.96	7.36	126.13	7.08、162.90
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
陶山镇碧山段地表水	试验值	18.06	9.53	1.60	2.20	7.36	28.62	7.36、42.17
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱

腐蚀类型		对混凝土结构的腐蚀性评价					对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价	对钢结构的腐蚀性评价
腐蚀类型		硫酸盐型	镁离子型	重碳酸型	碳酸型	一般酸性型	CL-（CL-+SO42-*0.25）	pH 值、（CL-+ SO42-）
腐蚀介质		SO42-	Mg2+	HCO3-	侵蚀性 CO2	pH 值		
		(mg/L)	(mg/L)	(mmol/L)	(mg/L)	——	(mg/ L)	(mg/ L)
陶山镇碧山段地下水 1 井水	试验值	23.82	10.69	2.50	3.96	7.45	38.57	7.45、56.44
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
陶山镇碧山段地下水 2 井水	试验值	25.36	11.66	2.82	4.40	7.50	47.46	7.50 、66.28
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	中

表 3.3-3　　环境水对建筑材料腐蚀评价

腐蚀类型		对混凝土结构的腐蚀性评价					对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价	对钢结构的腐蚀性评价
腐蚀类型		硫酸盐型	镁离子型	重碳酸型	碳酸型	一般酸性型	CL-（CL-+SO42-*0.25）	pH 值、（CL-+ SO42-）
腐蚀介质		SO42-	Mg2+	HCO3-	侵蚀性 CO2	pH 值		
		(mg/L)	(mg/L)	(mmol/L)	(mg/L)	——	(mg/ L)	(mg/ L)
腐蚀标准	无	＜250	＜1000	＞1.07	＜15	>6.5	——	——
	弱	250～400	1000～1500	1.07～0.70	15～30	6.5～6.0	100～500	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）＜500
	中	400～500	1500～2000	≤0.70	30～60	6.0～5.5	500～5000	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）≥500
	强	≥500	2000≤	——	≥60	≤5.5	＞5000	pH 值＜3、（CL^-+ SO_4^{2-}）任何浓度
桐浦塔山至澄头段地表水	试验值	21.52	10.89	1.50	3.52	7.52	40.83	7.52、56.97
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
桐浦塔山至澄头段地下水 1 井水	试验值	76.08	22.55	7.00	5.72	7.62	304.04	7.62、361.10
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱
桐浦塔山至澄头段地下水 2 井水	试验值	64.94	18.27	6.40	4.84	7.56	278.56	7.56、327.27
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	中
白莲段地表水	试验值	68.01	26.83	2.2	2.64	7.22	194.25	7.22、245.26
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	弱	弱

腐蚀类型		对混凝土结构的腐蚀性评价					对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价	对钢结构的腐蚀性评价
腐蚀类型		硫酸盐型	镁离子型	重碳酸型	碳酸型	一般酸性型	CL-（CL-+SO42-*0.25）	pH 值、（CL-+ SO42-）
腐蚀介质		SO42-	Mg2+	HCO3-	侵蚀性 CO2	pH 值		
		(mg/L)	(mg/L)	(mmol/L)	(mg/L)	——	(mg/ L)	(mg/ L)
白莲段地下水 1 CBL-Z1	试验值	280.50	117.61	7.0	5.72	7.16	2090.78	7.16、2301.15
	腐蚀等级	弱	无	无	无	无	中	中
白莲段地下水 2 CBL-Z9	试验值	267.05	110.81	6.50	4.40	7.20	2051.96	7.20 、2252.25
	腐蚀等级	弱	无	无	无	无	中	中

表 3.3-4　　环境水对混凝土腐蚀评价

腐蚀类型		对混凝土结构的腐蚀性评价					对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价	对钢结构的腐蚀性评价
腐蚀类型		硫酸盐型	镁离子型	重碳酸型	碳酸型	一般酸性型	CL-（CL-+SO42-*0.25）	pH 值、（CL-+ SO42-）
腐蚀介质		SO_4^{2-}	Mg^{2+}	HCO_3^-	侵蚀性 CO_2	pH 值		
		(mg/L)	(mg/L)	(mmol/L)	(mg/L)	——	(mg/ L)	(mg/ L)
腐蚀标准	无	＜250	＜1000	＞1.07	＜15	>6.5	——	——
	弱	250～400	1000～1500	1.07～0.70	15～30	6.5～6.0	100～500	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）＜500
	中	400～500	1500～2000	≤0.70	30～60	6.0～5.5	500～5000	pH 值 3～11、（CL^-+ SO_4^{2-}）≥500
	强	≥500	2000≤	——	≥60	≤5.5	＞5000	pH 值＜3、（CL^-+ SO_4^{2-}）任何浓度
河水 1 退潮	试验值	142.17	43.74	1.38	3.08	7.60	673.64	7.60、780.27
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中
河水 2 退潮	试验值	149.85	47.63	1.74	3.96	7.50	746.46	7.50、858.85
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中
河水 3 退潮	试验值	147.93	45.68	1.54	2.64	7.52	731.80	7.52、842.75
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中
河水 4 涨潮	试验值	384.24	226.48	1.98	4.40	7.84	4917.26	7.84、5205.44
	腐蚀等级	弱	无	无	无	无	中	中
河水 5 涨潮	试验值	236.31	71.93	1.74	3.52	7.66	1647.24	7.66、1824.47
	腐蚀等级	无	无	无	无	无	中	中

3.3.5.3 土层的渗透性

本次勘察对海堤沿线各建（构）筑物开挖可能涉及到的土层进行了室内渗透试验，详见土工试验统计表。

根据试验结果，结合工程经验，基础开挖涉及到表层填土、粉质粘土、冲积的粉细砂、残坡积碎石层以及海积的淤泥质土层。

其中 0_1 层杂填土成分杂，松散，强透水性；0_2 层素填土，粉质粘土为主，微透水性为主，局部地段弱透水性；0_1 层耕土，粉质粘土为主，局部为砂性土，弱~中等透水性，①$_1$ 层粉质粘土，微~弱透水性；②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥，中等透水性；海积的淤泥和淤泥质土层为极微～微透水性，②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，局部弱~中等透水性；砂砾石层、碎石土层呈强透水性。

3.3.6 场地与地基的地震效应

3.3.6.1 抗震设防烈度

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)附录 C:瑞安市II类场地基本地震动峰值加速度 a_{max}II=0.05g，，基本地震动加速度反应谱特征周期 TgII=0.40s。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）附录 A：工程区抗震设防烈度为 6 度，设计基本地震加速度值为 0.05g，所属的设计地震分组为第二组。

3.3.6.2 场地土类型和建筑场地类别

根据钻探成果及搜集的资料，区内场地土类型和建筑场地类别按沿线不同地段确定如下。

（1）平阳坑段

根据钻探成果及搜集的资料，平阳坑段以山间冲海积平原为主。冲海积平原区 20 米以浅以海积的淤泥质土和冲洪洪积砂砾卵石层为主，依据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)表 4.1.3 判定场地土的类型属中软土；覆盖层厚度一般大于 15 米小于 50 米，场地类别属II类；II类场地条件下，地震动加速度反应谱特征周期值的调整系数 Fn 为 1.0，对应的地震动峰值加速度 a_{max} 为 0.05g，对应的建筑场区地震列度为VI度。确定地震动加速度反应谱特征周期 Tg≤0.40s。

（2）陶山镇梅屿段、荆谷段

根据钻探成果及搜集的资料，陶山镇梅屿段、荆谷段以冲海积平原为主。工程区 20 米以浅以海积的淤泥质土为主，局部地段为冲海积的粉细砂层，依据《建筑抗震设计规

范》(GB50011-2010)表 4.1.3 判定场地土的类型属软弱土；覆盖层厚度一般大于 15 米小于 80 米，场地类别属III类；III类场地条件下，地震动加速度反应谱特征周期值的调整系数 Fn 为 1.3，对应的地震动峰值加速度 a_{max} 为 0.065g，对应的建筑场区地震列度为VI度。确定地震动加速度反应谱特征周期 Tg=0.55s。

（3）陶山镇碧山段

根据钻探成果及搜集的资料，陶山镇碧山段以海积平原为主。工程区 20 米以浅以海积的淤泥质土为主，局部地段为冲海积的粉细砂层，依据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)表 4.1.3 判定场地土的类型属软弱土；覆盖层厚度一般大于 80 米，场地类别属IV类；IV类场地条件下，地震动加速度反应谱特征周期值的调整系数 Fn 为 1.25，对应的地震动峰值加速度 a_{max} 为 0.065g，对应的建筑场区地震列度为VI度。确定地震动加速度反应谱特征周期 Tg=0.75s。

（4）桐浦塔山至塔山段、白莲段

根据钻探成果及搜集的资料，桐浦塔山至澄头段以海积平原为主，局部地段为低山丘陵区。海积平原区 20 米以浅以海积的淤泥质土为主，局部地段为冲海积的粉细砂层，依据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)表 4.1.3 判定场地土的类型属软弱土，覆盖层厚度一般大于 15 米小于 80 米，场地类别属III类，III类场地条件下，地震动加速度反应谱特征周期值的调整系数 Fn 为 1.3，对应的地震动峰值加速度 a_{max} 为 0.065g，对应的建筑场区地震列度为VI度。确定地震动加速度反应谱特征周期 Tg=0.55s。

距离低山丘陵区较近的低山丘陵区和海积地貌过度地段，覆盖层以海积淤泥质土为主，场地土的类型属软弱土,覆盖层厚度小于 15m,场地类别属II类。塔山水闸基岩埋深浅，覆盖层厚度一般小于 3~5 米，覆盖层主要为碎石类填土，场地类别属II类。II类场地条件下，地震动加速度反应谱特征周期值的调整系数 Fn 为 1.0，对应的地震动峰值加速度 a_{max} 为 0.05g，对应的建筑场区地震列度为VI度。确定地震动加速度反应谱特征周期 Tg≤0.40s。

3.3.6.3 地基土液化判别

工程区 20 米以浅局部存在饱和砂土和粉土，工程区抗震设防烈度为 6 度，依据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 版）第 4.3.1 条，“饱和砂土和饱和粉土（不含黄土）的液化判别和地基处理，6 度时，一般情况下可不进行判别和处理”，因此，本工程不进行液化判定。

3.3.6.4 软土震陷判别

工程区的抗震设防烈度为 6 度，II类场地设计基本地震加速度为 0.05g，可不考虑软土震陷影响。

3.3.6.5 抗震地段划分

经勘察，工程区大部分场地上部存在厚度较大的淤泥及淤泥质软弱土层，且拟建场地位于河岸边缘，按《建筑抗震设计规范（GB50011-2010）》4.1.1 条判定，工程沿线地段属于对建筑抗震不利地段。

3.3.7 场地稳定性分析评价

工程区位于测区地质构造属华南褶皱系（I_2）浙东南褶皱带（II_3）温州-临海拗陷（III_8）泰顺-温州断拗（IV_{12}）。工程区域新构造运动不明显，工程区及周边地区近代地震皆为微震。近场区构造活动微弱，地震震级小，强度弱，频度低，区域构造稳定。场地地势开阔、平坦，不存在较大规模的滑波、泥石流、地裂缝等地质灾害，属地质灾害危险性小的区域。

根据工程区地质构造背景和拟建场地工程地质条件，场地不良地质作用不发育，测区内无活动的区域性断层通过，场地区域稳定，第四系土层土质总体较均匀，地基较稳定，地下水对工程建设影响不大，但场地存在巨厚的软弱土层，场地稳定性、适宜性差。工程建设应采取适当的工程处理措施进行安全保护。

3.4 防洪堤工程地质条件及评价

根据招标文件要求，本项目整治范围自平阳坑至铁路桥（潘岱），新建堤防 21.77 公里，共 6 段，分别平阳坑段、梅屿段、荆谷段、碧山段、桐浦塔山至澄头段和白莲段，堤防建筑物级别为 4 级，设计洪水标准 20 年一遇。

由于工程线路长，各段防洪堤场地工程地质条件存在差异，本章对各段防洪堤分别进行工程地质条分析与评价。

3.4.1 平阳坑段防洪堤工程地质条件及评价

平阳坑段防洪堤主要位于平阳坑镇飞云江右岸，全长 2.54km，20 年一遇。

初步设计阶段，共布置 1 条勘探纵剖面，7 条勘探横剖面，钻 18 只，静探,2 只,十字,2 个(其中利用可研阶段钱塘江管理局设计院的勘探资料钻孔 4 只、静探 1 个，浙江山川有色勘察设计有限公司的勘探资料钻孔 2 个)。

3.4.1.1 平阳坑段现状

本段位于飞云江右岸，起点位于簧坑村西北，S34 高速公路下游,终点位于外垟村委会北约 160m 处。起点至拟建沙垟水闸（桩号 PYK0+000~PYK1+490），长 1490km，地面高程为 7m~11m，主要为农田和林地；拟建沙垟水闸至 S34 高速公路入口处（桩号 PYK1+490~PYK2+117.40），长 627.4m 段，为平阳坑镇区段，沿江房屋密集，地面高程 8~11m 左右；平阳坑水闸至终点(桩号 PYK2+575.00~PYK2+880.80)，长 305.8m 左右，地形起伏，地面高程 8~12m 该段为农田。拟建防洪堤沿线地势总体较平坦。

拟建飞云江防洪堤段现状大部分地段为自然岸坡，无防护，平阳坑镇区码头段有 50m 左右块石挡墙，墙身无明显鼓出变形。

平阳坑段防洪堤原地面高程在 3.3m~6.4m，地形平坦，山间冲洪积平原地貌，镇区段位于飞云江河道凹岸，河流侧向侵蚀为主，江底最深处达-2.8m，该堤段有三条支流汇入飞云江主流，同时又是感潮河段，高潮位时，潮水溯江而上。洪水时江水冲刷河岸，常出现险情。

图 3.4-1　　平阳坑防洪堤上游现状

图 3.4-2　　平阳坑防洪堤下游现状

3.4.1.2　地层岩性

本工程堤防沿线场区表层为填土，上部以海相淤泥质土为主，局部为冲洪积砂砾石，中部以冲洪积砂砾层为主，底部为基岩。根据钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 5 个大层,12 个工程地质亚层，工程区内总体地层自上而下分述如下：

0_0 塘泥

灰黄色为主，流塑，杂质含量较多，含碎、块石、砾石等，有机质含量较高，土质均匀性差，主要分布于飞云江及支流的滩涂，或是河道淤积处，淤积形成，分布不均匀。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，碎块石含量约占 10～70%，一般粒径 2～10cm，块石最大粒径大于 20cm，局部含少量生活垃圾。成份杂乱，结构松散，分布规律性较差，土质均匀性差。钻进较易，孔壁易坍塌。分布不均匀。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，岩性以粉质粘土位置，局部夹碎石、块石等，土质不均，为后期人工回填土，表层局部为混凝土地坪，分布不均匀。

静力触探试验 qc=0.1MPa ，fs=2.9kPa。

w =25.7%～35.8%；γ=17.5N/cm^3～18.7kN/cm^3；

e = 0.799～1.075； a_v =0.29MPa^{-1}～0.45MPa^{-1}；

E_S=4.6Pa～6.4MPa；

K_V=3.2×10^{-6}cm/s；

C $_{快}$=8.0kPa～15.5kPa， $\varphi_{快}$=7.1°～7.5°；

C $_{固}$=13.0kPa～14.0.0kPa， $\varphi_{固}$=18.4°～20.9°。

0_3耕土(rQ)

灰黄色， 松散，饱和，岩性以粉质粘土为主，含腐殖质、植物根系。

①$_1$粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，局部含较多粉砂粉土；下部土质略差，下部逐渐过渡为淤泥质土，为粉质粘土与淤泥过渡层；切面稍有泽，韧性一般，干强度一般，摇振反应无，中等～高压缩性。局部缺失。

静力触探试验 qc=1.1MPa ，fs=35.9kPa。

w =23.6%～31.7%；γ=17.1N/cm^3～19.3kN/cm^3；

e = 0.746～1.074； a_v =0.25MPa^{-1}～0.49MPa^{-1}；

E_S=3.5MPa～7.1MPa；

K_h=3.5×10^{-7}cm/s～5.2×10^{-6}cm/s；K_V=2.4×10^{-6}cm/s～4.8×10^{-6}cm/s；

C $_{快}$=9.5kPa～12.5kPa， $\varphi_{快}$=13.8°～17.5°；

C $_{固}$=13.5kPa～15.50kPa， $\varphi_{固}$=20.0°～22.8°。

①$_2$淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰黄色～灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，夹粉土或粉砂；摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度中等~高，韧性中等~高，高压缩性。场地内局部分布。

静力触探试验 qc=0.8MPa，fs=15.6kPa。

十字板试验成果：Cu=17.063+1.356Z。

w =35.0%～49.9%；γ=17.0N/cm^3～18.4kN/cm^3；

e = 1.003～1.383； a_v =0.40MPa^{-1}～0.91MPa^{-1}；

E_S=2.6MPa～5.2MPa；

K_h=3.5×10^{-7}cm/s～5.0×10^{-6}cm/s；K_V=2.2×10^{-7}cm/s～1.5×10^{-6}cm/s；

C $_{快}$=6.0kPa～12.0kPa， $\varphi_{快}$=4.2°～14.4°；

C $_{固}$=7.5kPa～11.0kPa， $\varphi_{固}$=15.5°～20.5°。

①夹砂、砾石（alQ_4^2）

灰黄色、灰色，稍密～中密状，主要由卵石、圆砾、砂粒及粉粘粒组成，一般砾径0.2~4cm，个别可达8cm。卵石含量占10~60%，圆砾含量占10~35%，砂含量占10~20%，粘粉粒含量占15~25%，颗粒级配不良。质地坚硬，磨圆度较好，分选性一般，母岩成份为中微风化凝灰岩，胶结度一般，土层均匀性较差，低压缩性。场地内局部分布。

②$_1$淤泥（mQ_4^2）

灰色、灰黄色，流塑，饱和，厚层状、鳞片状、含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，夹少量贝壳碎片及腐植物，局部相变为淤泥质粘土，土层均匀性较好；切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度高，韧性高，高灵敏度，高压缩性。场地内局部分布。

w=54.2%～65.6%；γ=15.4N/cm^3～16.8kN/cm^3；

e= 1.505～1.894；a_v=0.85MPa^{-1}～1.54MPa^{-1}；

E_S=1.9MPa～3.1MPa；

K_h=5.5×10^{-7}cm/s～4.9×10^{-6}cm/s；K_V=4.2×10^{-6}cm/s；

$C_{快}$=7.0kPa～9.0kPa，$\varphi_{快}$=2.8°～5.9°；

$C_{固}$=11.0kPa～12.5kPa，$\varphi_{固}$=8.6°～9.5°

C_{uu}=10.3Pa～10.4kPa，φ_{uu}=0.3°～0.8°

qu＝20.8 kPa～24.6kPa。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色， 流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂，局部地段呈互层状，含有机质，土质不均,局部为粘质粉土、砂质粉土；切面较光滑，摇振反应无，光泽反应稍有光泽，干强度中等，韧性中等，高灵敏度，高压缩性。局部分布。

w=31.8%；γ=18.1N/cm^3；

e= 0.945；a_v=0.36MPa^{-1}；

E_S=5.4MPa；

$C_{快}$=17.0kPa，$\varphi_{快}$=19.3°。

④$_1$粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色，为第二硬土层，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质均匀，局部相

变为粘土。切面光滑，摇振反应无，光泽反应有光泽，干强度中等，韧性中等，中压缩性。局部分布。

w =24.1%～27.5%；γ=19.0N/cm^3～19.0kN/cm^3；

e = 0.740～0.794；a_v =0.25MPa^{-1}～0.35MPa^{-1}；

E_S=5.1MPa～7.0MPa；

K_h=4.6×10^{-6}cm/s；K_V=2.8×10^{-6}cm/s。

④$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

灰色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主， 2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土

灰色、灰褐色，流塑，含少量贝壳碎屑、粉砂，部分含砂量稍高，土质不均，高压缩性，为④3 圆砾层中夹层。

w =27.0%～60.0%；γ=15.7N/cm^3～18.1kN/cm^3；

e = 0.881～1.760；a_v =0.25MPa^{-1}～1.18MPa^{-1}；

E_S=2.2MPa～7.5MPa；

K_h=1.5×10^{-7}cm/s；K_V=4.8×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=4.5kPa～13.0kPa，$\varphi_{快}$=4.1°～17.7°；

C $_{固}$=11.5kPa，$\varphi_{固}$=9.2°

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J$_3$m）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，锤击声哑，易碎，遇水易软化，镐难以挖进，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J$_3$m）

灰色、青灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为坚硬岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

各岩土层层顶埋深、层顶高程、层底埋深、层底高程和层厚详见表 3.4-1“平阳坑地层分布统计表”，各岩土层分布情况详见“平阳坑段工程地质剖面图”。

表 3.4 -1　　平阳坑地层分布统计表

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m)　最大～最小
01	杂填土	0.00～0.00	9.47～4.16	7.30～1.40	6.83～-3.14	7.30～1.40
0_2	素填土	0.00～0.00	11.95～3.62	6.10～0.50	9.40～-0.82	6.10～0.50
0_3	耕土	0.00～0.00	10.63～4.02	1.70～0.50	8.93～2.72	1.70～0.50
①$_1$	粉质粘土	4.40～0.00	10.20～0.62	8.60～2.10	6.20～-0.98	5.60～1.60
①$_2$	淤泥质粉质粘土	10.90～1.00	6.08～-3.48	12.70～6.40	-0.30～-8.68	10.60～0.90
1 夹	砂、砾石	9.90～2.50	3.10～-4.38	10.90～3.30	2.30～-5.48	3.60～0.80
②$_1$	淤泥	11.50～2.60	5.75～-5.48	18.80～8.40	1.60～-15.18	14.80～1.50
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	18.60～2.10	1.90～-9.59	19.80～7.40	-3.40～-10.79	5.30～1.20
④$_1$	粉质粘土	16.90～16.90	-8.81～-8.81	21.30～21.30	-13.21～-13.21	4.40～4.40
④$_3$	圆砾	21.30～3.40	6.20～-15.18	19.50～7.60	2.00～-13.70	12.10～0.30
④$_{3f}$	淤泥质粘土	16.50～12.00	-5.71～-10.92	19.60～12.60	-6.21～-13.40	3.10～0.50
⑩$_2$	强风化凝灰岩	19.50～19.50	-13.70～-13.70	20.80～20.80	-15.00～-15.00	1.30～1.30
⑩$_3$	弱风化凝灰岩	20.80～7.60	2.00～-15.00	～	～	10.90～3.20

3.4.1.3 水文地质

拟建防洪堤沿线地下水位受河水和潮水的变化而变动。场地地下水主要类型为孔隙水，靠近山边为基岩裂隙水。地表水与地下水相互补充。

孔隙潜水赋存于上部填土、含砂的粘性土中，水量较贫乏，渗流条件差，主要接受大气降水和地表水的补给，以蒸发和向地势低洼处排泄。靠近山边分布基岩裂隙水，其赋存于岩石风化与构造裂隙中，一般呈网状、树叉状分布，其总体水量不大，赋水性较差，主要接受大气降水及上覆残坡积层孔隙潜水的入渗补给，水位受松散层厚度及地貌形态影响较大，无稳定的地下水位。

勘察期间观测得稳定水位埋深为 0.30～5.90m，水位高程为 2.56～8.37m。地下水位埋深较浅，具明显的季节相关性且受潮水位影响，地下水位变幅较大。

3.4.1.4　工程地质评价

3.4.1.4.1　地基土工程地质特性评价

勘察深度范围内根据野外钻探、原位测试结合室内土工试验成果，拟建防洪堤沿线地基土为 0_0 塘泥、0_1 杂填土、0_2 层素填土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘

土、①夹砂砾石、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、④$_1$粉质粘土、④$_3$圆砾、④$_3$夹淤泥质粘土、⑩$_2$强风化凝灰岩、⑩$_3$弱风化凝灰岩。

根据《堤防工程地质勘察规程》附录 C 综合判定：堤基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$塘泥，0$_3$耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_1$杂填土，松散～稍密状，含大量建筑垃圾，特别是在篁坑水闸左岸，分布厚度较大，应挖除或进行地基处理。

0$_2$素填土，分布不均匀，厚度变化大，土层均匀性差，不宜利用。

①$_1$粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①夹砂砾石，稍密～中密，低压缩性，场地内呈透镜体状分布，厚度薄，工程性质较好。但该层透水性强，对基槽（坑）开挖形成不利影响，设计与施工时应引起注意。

①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉细砂，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

④$_1$粉质粘土，软可塑状，中压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。

④$_3$圆砾，中密状，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粉质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④3f 淤泥质粘土，流塑，高压缩性，工程性质差，呈夹层状分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

⑩$_2$层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩$_3$层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

3.4.1.4.2 基础方案分析与建议

一、抗滑稳定性评价

①大层填土，土质不均匀，性质变化较大，高压缩性，工程性质差；①1 层粉质黏土，软塑～可塑，中压缩性，物理力学性质一般，工程性质一般；①2 淤泥质粉质粘土

和②1 淤泥、②2a 淤泥夹粉砂，高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、排水固结条件差、变形量大的软弱土层，厚度一般，为场区内的主要压缩土层，也是影响河道岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行抗滑稳定验算，堤基开挖时应采取相应的工程措施予以处理。

二、渗透性评价

场地内地下水与地表水水力联系紧密，地下水位受潮水位变化较大，场地内①夹砂砾石，局部分布，埋藏较浅，中等~强透水性；堤基开挖揭示该层时，应采取措施做好基槽排水工作。

②2a 淤泥夹粉砂，分布范围、厚度较大，松散~稍密，弱透水性，该层存在渗透变形问题，堤基开挖揭示该层时，建议堤基开挖后及时进行处理。

三、抗冲刷性评价

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对堤身及地基的冲蚀。防洪堤沿线地段地基土为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层和淤泥夹粉砂，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀。建议采取镇压防冲措施。

四、基础方案建议：

1）拟建堤防分布厚度大的②大层淤泥，淤泥属高压缩性土层，该层承载力低，不能直接做天然地基，结合本段防洪堤地层特点，建议采用桩基础，以④3 圆砾或⑩3 层弱风化凝灰岩做为桩基持力层。④3 圆砾层局部夹淤泥质粘土淤泥质粉质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

在防洪堤与水闸等交叉建筑地段，应采取适当的衔接措施，以控制不均匀变形。

2）由于该段地处海陆交互相有深厚的海相软土地区过渡地带，沉积环境较为复杂，软土分布厚度变化大，对堤防稳定、沉降影响不一。

3）建议开挖边坡：①1 层粉质粘土 1:3.0~1:3.5；$①_2$ 层淤泥质粉质粘土和$②_1$ 层淤泥 1:5.0~6.0；$②_{2a}$ 层淤泥夹粉细砂 1:3.5~1:4.0。

4）建议①1 层粉质黏土允许不冲流速［v0］＝0.6m～0.7m/s；①2 层淤泥质粉质粘土和②1 层淤泥允许不冲流速［v0］＝0.35m/s～0.4m/s；②2a 层淤泥夹粉、细砂允许不冲流速［v0］＝0.26m/s～0.30m/s。

5）建议土层允许渗流坡降：$①_1$ 层粉质黏土：水平段 0.35，出口段 0.65；$①_2$ 层淤泥质粉质粘土和$②_1$ 层淤泥：水平段 0.30，出口段 0.60；$②_{2a}$ 层淤泥夹粉砂：水平段 0.1，出口段 0.30。

3.4.1.5 各岩土层物理力学参数

根据野外钻探、原位测试和室内土工试验成果，经综合分析，统计计算出各土层物理力学性质指标，结合地区经验，查阅相关规范提出各岩土层物理力学指标建议值。各土层物理力学指标统计详见表 3.4-2~3.4-4“平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表”，各土层物理力学指标建议值详见表 3.4-5“平阳坑段地基土物理力学指标设计参数表”。

表 3.4-2　　平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-1　　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（平阳坑）　　第1页/共3页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析									固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试				
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2- 0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv										α 1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
0-2	素填土	统计频数	6	6	6	6	6	6	6	6	6		2										6	6	4	4	2	2							
		最大值	35.8	18.7	2.75	1.075	91.6	42.0	22.6	0.68	19.4		3.20E-06										0.45	6.4	7.5	15.5	20.9	14.0							
		最小值	25.7	17.5	2.72	0.799	81.3	30.5	18.2	0.54	12.3		3.20E-06										0.29	4.6	7.1	15.0	18.4	13.0							
		平均值	30.3	18.1	2.74	0.937	88.5	36.6	20.2	0.61	16.5		3.20E-06										0.37	5.4	7.4	15.3	19.7	13.5							
		标准差	4.7	0.5	0.01	0.126	3.9	5.1	2.2	0.05	3.0												0.07	0.8											
		变异系数	0.154	0.027	0.005	0.134	0.044	0.138	0.107	0.086	0.180												0.180	0.149											
		修正系数	1.127	0.978	0.996	1.111	1.036	0.886	0.912	1.071	1.149												1.149	0.877											
		标准值	34.2	17.7	2.73	1.041	91.7	32.4	18.4	0.66	18.9												0.42	4.8											
①$_1$	粉质粘土	统计频数	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2	2										26	26	15	15	11	11				1	1	7	
		最大值	31.7	19.3	2.74	1.074	97.0	39.2	22.5	0.75	16.8	5.20E-06	4.80E-06										0.49	7.1	17.5	12.5	22.8	15.5				1.1	35.9	11.0	
		最小值	23.6	17.1	2.72	0.746	80.9	28.9	16.0	0.45	12.8	3.50E-06	2.40E-06										0.25	3.5	13.8	9.5	20.0	13.5				1.1	35.9	7.0	
		平均值	27.8	18.5	2.73	0.858	88.8	34.5	19.0	0.57	15.5	4.35E-06	3.60E-06										0.34	5.4	16.2	11.4	21.3	14.7				1.1	35.9	9.1	
		标准差	2.1	0.5	0.01	0.079	4.3	2.1	1.2	0.08	1.2												0.07	0.9	1.1	0.8	0.9	0.8						1.5	
		变异系数	0.074	0.028	0.003	0.092	0.049	0.061	0.065	0.138	0.075												0.198	0.169	0.067	0.073	0.044	0.054						0.160	
		修正系数	1.025	0.990	0.999	1.031	1.017	0.979	0.978	1.047	1.026												1.071	0.940	0.968	0.965	0.972	0.966						0.882	
		标准值	28.5	18.3	2.73	0.885	90.3	33.8	18.6	0.60	15.9												0.37	5.1	15.7	11.0	20.7	14.2						8.1	
①$_2$	淤泥质粉质粘土	统计频数	15	15	15	15	15	15	15	15	15	3	2										15	15	9	9	6	6				1	1		
		最大值	49.9	18.4	2.75	1.383	100.0	45.1	24.2	1.45	16.9	5.00E-06	1.50E-06										0.91	5.1	14.4	11.0	20.5	11.0				0.8	15.6		
		最小值	36.8	17.0	2.73	1.058	92.1	32.2	18.1	1.13	14.1	3.50E-07	2.20E-07										0.41	2.6	4.2	6.0	15.5	7.5				0.8	15.6		
		平均值	41.3	17.4	2.74	1.176	95.6	36.3	19.7	1.30	15.9	2.85E-06	8.60E-07										0.61	3.7	10.2	7.5	18.5	9.2				0.8	15.6		
		标准差	3.6	0.4	0.01	0.094	2.6	4.1	2.1	0.09	0.9												0.15	0.7	4.2	1.6	1.9	1.5							
		变异系数	0.088	0.021	0.003	0.080	0.027	0.114	0.107	0.068	0.054												0.241	0.185	0.410	0.213	0.102	0.164							
		修正系数	1.040	0.990	0.999	1.037	1.013	0.947	0.951	1.031	1.025												1.111	0.915	0.744	0.866	0.916	0.864							
		标准值	42.9	17.3	2.73	1.220	96.8	34.4	18.7	1.34	16.3												0.68	3.4	7.6	6.5	17.0	7.9							
1夹	砂、砾石	统计频数												9	9	9	9	9	9	9	9	9													24
		最大值												43.8	57.7	56.7	20.9	21.5	9.5	5.7	2.6	33.3													13.0
		最小值												0.0	0.0	7.8	5.4	5.7	2.3	0.9	0.5	5.8													4.0
		平均值												4.9	20.8	25.8	11.8	11.9	5.4	3.3	1.6	14.6													6.3
		标准差																																	2.6
		变异系数																																	0.415
		修正系数																																	0.852
		标准值																																	5.4

表 3.4-3　　平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-1　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（平阳坑）　　第2页/共3页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析									固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv										α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(MPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
②1	淤泥	统计频数	28	28	28	28	28	28	28	28	28	2	1										28	28	18	18	10	10	4	4	4				
		最大值	65.6	16.8	2.76	1.894	100.0	55.0	29.4	1.45	25.6	4.90E-06	4.20E-06										1.54	3.1	5.9	9.0	9.5	12.5	20.0	1.7	24.6				
		最小值	54.2	15.4	2.76	1.505	91.7	49.2	26.4	1.18	22.8	5.50E-07	4.20E-06										0.85	1.9	2.8	7.0	8.6	11.0	10.3	0.3	20.8				
		平均值	59.6	16.0	2.76	1.696	96.8	52.6	28.2	1.28	24.5	2.73E-06	4.20E-06										1.25	2.2	4.0	8.0	9.1	11.6	14.8	1.1	22.9				
		标准差	3.1	0.3	0.00	0.096	2.4	1.6	0.9	0.07	0.8												0.17	0.3	0.6	0.5	0.3	0.5							
		变异系数	0.053	0.021	0.000	0.057	0.025	0.031	0.030	0.052	0.032												0.139	0.134	0.156	0.066	0.032	0.046							
		修正系数	1.017	0.993	1.000	1.019	1.008	0.990	0.990	1.017	1.011												1.045	0.956	0.935	0.972	0.976	0.966							
		标准值	60.6	15.9	2.76	1.728	97.6	52.1	27.9	1.31	24.7												1.31	2.1	3.7	7.8	8.9	11.2							
②2a	淤泥夹粉、细砂	统计频数	1	1	1	1	1	1	1	1	1												1	1	1	1									
		最大值	31.8	18.1	2.73	0.945	91.9	36.5	21.1	0.70	15.4												0.36	5.4	19.3	17.0									
		最小值	31.8	18.1	2.73	0.945	91.9	36.5	21.1	0.70	15.4												0.36	5.4	19.3	17.0									
		平均值	31.8	18.1	2.73	0.945	91.9	36.5	21.1	0.70	15.4												0.36	5.4	19.3	17.0									
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
④1	粉质粘土	统计频数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1										2	2											
		最大值	27.5	19.0	2.73	0.794	94.5	34.1	18.4	0.58	15.7	4.60E-06	2.80E-06										0.35	7.0											
		最小值	24.1	19.0	2.72	0.740	88.6	31.3	18.1	0.46	13.2	4.60E-06	2.80E-06										0.25	5.1											
		平均值	25.8	19.0	2.73	0.767	91.6	32.7	18.3	0.52	14.5	4.60E-06	2.80E-06										0.30	6.0											
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
④3	圆砾	统计频数												55	55	55	55	55	55	55	55	55										1	1		122
		最大值												54.4	69.4	40.7	25.6	26.0	23.4	13.8	4.3	37.4										13.4	13.2		28.0
		最小值												0.0	0.0	1.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0										13.4	13.2		6.0
		平均值												11.2	19.1	19.7	10.7	10.8	7.2	5.2	1.4	14.7										13.4	13.2		15.0
		标准差																																	5.6
		变异系数																																	0.377
		修正系数																																	0.942
		标准值																																	14.1

表 3.4-4　　平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-1　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（平阳坑）　　第3页/共3页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析									固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试				
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv										α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
④3r	淤泥质粘土	统计频数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1										4	4	3	3	1	1							
		最大值	59.2	17.9	2.76	1.647	99.4	52.3	28.0	1.36	24.3	1.50E-07	4.80E-07										1.18	5.8	16.2	10.5	9.2	11.5							
		最小值	36.8	16.3	2.73	1.077	89.5	33.5	18.2	1.16	15.3	1.50E-07	4.80E-07										0.36	2.2	5.3	4.5	9.2	11.5							
		平均值	46.1	17.0	2.74	1.315	96.0	41.4	22.3	1.25	19.1	1.50E-07	4.80E-07										0.88	3.2	10.5	7.8	9.2	11.5							
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
⑮2	强风化凝灰岩	统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
⑮3	弱风化凝灰岩	统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
		统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	

表 3.4-5　　平阳坑段地基土物理力学指标设计参数表

工程编号：FYJ-1　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（平阳坑）　　第1页/共1页

地层编号	地层名称	含水量	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		粒径范围										固快法		快剪法		无侧限抗压强度	原位测试				地基参数				
												水平	垂直	>60 (mm)	60～40 (mm)	40～20 (mm)	20～10 (mm)	10～2 (mm)	2～0.5 (mm)	0.5～0.25 (mm)	0.25～0.075 (mm)	0.075～0.005 (mm)	<0.005 (mm)	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角		锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入击数	重型动探击数	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
																																	桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_θ	γ	e_θ	G_S	ω_L	ω_P	I_P	I_L	a_{1-2}	E_{s1-2}	Kh	Kv											c	ϕ	c	ϕ	q_u	qc	f_s	N	$N_{63.5}$	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(N/cm^3)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/10cm)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																																			
0-1	杂填土																												0.0	0.1						
0-2	素填土	30.3	18.1	0.937	2.74	36.60	20.20	16.50	0.61	0.37	5.4	(2.0E-6)	3.20E-06																0.1	2.9						
0-3	耕土											(1.0E-5)	(1.0E-5)																		7.0					
①$_1$	粉质粘土	27.8	18.5	0.858	2.73	34.50	19.00	15.50	0.57	0.34	5.4	4.35E-06	3.60E-06											14.2	14.5	11.0	12.5		1.1	35.9	9.1		100	10		12
①$_2$	淤泥质粉质粘土	41.3	17.4	1.176	2.74	36.30	19.70	15.90	1.30	0.61	3.7	2.85E-06	8.60E-07											7.9	17.0	6.5	7.6		0.8	15.6			60	6.5		6
1夹	砂、砾石											(1.0)	(1.0)	4.9	20.8	25.8	11.8	11.9	5.3	3.3	1.6	14.6			(26)		(26)					6.3	150	26		
②$_1$	淤泥	59.6	16.0	1.696	2.76	52.60	28.20	24.50	1.28	1.25	2.2	2.73E-06	4.20E-06											9.2	7.9	6.0	3.3	22.9					45	5		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	31.8	18.1	0.945	2.73	36.50	21.10	15.40	0.70	0.36	5.4	(5.0E-4)	(5.0E-4)											10.0	12.0	8.5	10.0						65	6.5		6
④$_1$	粉质粘土	25.8	19.0	0.767	2.73	32.70	18.30	14.50	0.52	0.30	6.0	4.60E-06	2.80E-06											18.0	20.0	15.0	13.5						120	14		
④$_3$	圆砾													11.2	19.1	19.7	10.7	10.8	7.2	5.2	1.4	14.7			(30)		(30)		13.4	13.2		15.0	320	30	1300	
④$_{3f}$	淤泥质粘土	46.1	17.0	1.315	2.74	41.40	22.30	19.10	1.25	0.88	3.2	1.50E-07	4.80E-07																				65	6		
⑩$_2$	强风化凝灰岩																																600	70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																																2000	100	3000	
				注：（＊）为经验值，供设计参考。																																	

3.4.2 梅屿段防洪堤工程地质条件及评价

梅屿段防洪堤主要位于马屿镇飞云江左岸，全长约 2.28km，20 年一遇。初步设计阶段，共布置 1 条勘探纵剖面，4 条勘探横剖面，技术钻孔 19 只（其中利用可研阶段浙江山川有色勘察设计有限公司勘探资料钻孔 5 只），静探孔 3 只，十字板孔 3 个。

3.4.2.1 梅屿段防洪堤现状

本段位于飞云江左岸，起点位于马屿镇霞岙村，终点位于八甲村河溪水闸。本段防洪堤除起点向下游约 50m 左右民房林立，其余为大片的农田、菜地。梅屿段防洪堤沿线为山间冲海积平原地貌，场区内地势总体为西高东低，地势平坦，总体地面高程 3.80~6.50m。

图 3.4-3　梅屿段防洪堤马渡水闸上游段现状

图 3.4-4　梅屿段防洪堤马中水闸上游现状

飞云江河道由西向东流向，河流侧向侵蚀为主，江底最深处达-5.5m，该堤段有 5 条小支流汇入飞云江主流，同时又是感潮河段，高潮位时，潮水溯江而上。洪水时江水冲刷河岸。地下水位受河水和潮水的变化而变动很大。

3.4.2.2 地层岩性

本段工程堤防沿线场区表层为填土，上部以海相淤泥质土为主，局部为冲海积的粉细砂和冲洪积砂砾石，中部以冲洪积砂砾层为主，底部为基岩。根据钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 5 个大层，16 个工程地质亚层，3 个夹层。工程区内总体地层自上而下分述如下：

0_0 塘泥（alQ_4^3）

灰黄色为主，流塑，主要分布于飞云江滩涂、渔塘、池塘顶部，或是河道淤积处，淤积形成，杂质含量较多，含碎、块石、砾石等，有机质含量较高。土质均匀性差，分布不均匀。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，主要由碎石、块石、建筑垃圾及粘性土，土质不均，有机质含量 Wu=2.5%。本段堤防分布于防洪堤起点附近。

0_2 素填土(rQ)

灰黄色、黄色，为人工填筑形成，主要由砾石、黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，局部为机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm，有机质含量 Wu=2.0%。该层主要分布于机耕路、乡村道路等部位，呈带状分布。

w=23.0%～39.0%；γ=16.8N/cm^3～18.5kN/cm^3；

e=0.811～1.235；a_v=0.30MPa^{-1}～0.68MPa^{-1}；E_S=3.3MPa～6.2MPa；

K_h=3.5×10^{-6}cm/s；K_V=1.6×10^{-7}cm/s；

$C_{快}$=10.0kPa～15.5kPa，$\varphi_{快}$=6.3°～17.0°；

$C_{固}$=14.0kPa～19.0kPa，$\varphi_{固}$=11.4°～21.0°

0_3 耕土(rQ)

灰色、灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粉土、粉细砂，含大量腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（$al\text{-}lQ_4^3$）

灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，局部含较多粉砂、粉土；下部土质略差，逐渐过渡为淤泥质土，中等～高压缩性，有机质含量 Wu=2.2%～2.9%。场地内局部缺失。

静力触探试验 qc=0.5MPa～0.9MPa ，fs=15.6kPa～23.0kPa。

十字板试验成果：Cu=19.435+1.701Z。

w=24.2%～33.2%；γ=17.7N/cm^3～19.5kN/cm^3；

e=0.719～0.963；a_v=0.23MPa-1～0.49MPa-1；

E_S=3.9MPa～8.0MPa；

Kh=3.0×10^{-6}cm/s；KV=2.1×10^{-6}cm/s～4.1×10^{-6}cm/s；

$C_{快}$=8.5kPa～14.0kPa，$\varphi_{快}$=13.2°～18.3°；

$C_{固}$=13.5kPa～17.0kPa，$\varphi_{固}$=19.2°～23.3°。

②$_2$ 淤泥质粘土（mQ$_4^3$）

灰黄色～灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，夹粉土或粉砂，高压缩性。该层为粉质粘土与淤泥过渡层，场地内局部分布。

w=34.1%～52.8%；γ=16.8N/cm^3～17.8kN/cm^3；

e=1.004～1.463；a_v=0.54MPa-1～1.21MPa^{-1}；

E_S=2.0MPa～3.7MPa；

$C_{快}$=5.0kPa～13.5kPa，$\varphi_{快}$=5.3°～12.4°。

②$_1$ 淤泥（mQ$_4^2$）

灰色、灰黄色，流塑，饱和，厚层状、鳞片状、含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，夹少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性差，高压缩性。场地内大部分地段分布。

w=56.3%～66.7%；γ=15.5N/cm^3～15.9kN/cm^3；

e=1.730～1.912；a_v=1.68Pa^{-1}～1.90MPa^{-1}；

E_S=1.5MPa～1.6MPa；

$C_{快}$=7.0kPa～7.5kPa，$\varphi_{快}$=3.0°～3.5°。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ$_4^2$)：

灰色， 流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5～2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂，呈互层状，含有机质，土质不均,局部为粘质粉土、砂质粉土；高压缩性，有机质含量 Wu=1.7%～3.1%。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=0.4MPa～0.6MPa ，fs=8.9kPa～16.4kPa。

十字板试验成果：Cu=10.778+1.027Z。

w=28.5%～47.8%；γ=16.3N/cm^3～19.2kN/cm^3；

e=0.832～1.471；a_v=0.28Pa^{-1}～1.19MPa^{-1}；

E_S=1.9MPa～6.8MPa；

K_h=4.5×10^{-5}cm/s～3.2×10^{-4}cm/s；K_V=5.0×10^{-5}cm/s～2.8×10^{-4}cm/s；

C 快=4.0kPa～13.0kPa，$\varphi_{快}$=3.6°～24.4°；

C 固=8.0Pa～20.0kPa，$\varphi_{固}$=9.5°～22.8°。

②$_{2b}$粉细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色～灰褐色， 稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性，场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=1.9MPa～4.1MPa ，fs=23.5kPa～32.8kPa。

w=16.6%～34.0%；γ=17.2N/cm^3～20.2kN/cm^3；

e=0.517～1.009；a_v=0.17MPa^{-1}～0.43MPa^{-1}；

E_S=3.5MPa～9.8MPa；

K_h=2.1×10^{-4}cm/s～6.2×10^{-3}cm/s；

C 快=7.0kPa～10.0kPa，$\varphi_{快}$=13.6°～46.2°；

C 固=20.0kPa～32.0kPa，$\varphi_{固}$=12.2°～13.5°。

②$_{2}$夹圆砾

杂色，以灰色为主，稍密为主，局部松散，中压缩性，主要由卵石、圆砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～40mm 为主，其中＞20mm 颗粒含量般 20～40%，2～20mm 颗粒含量一般 10～20%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 10%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高，呈透镜体状。场地内少量分布。

②$_{3}$淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性相对较好，高灵敏度，高压缩性。场区分布广泛。

静力触探试验 qc=0.6MPa ，fs=2.26kPa。

十字板试验成果：Cu=22.561+0.180Z。

w=41.9%～68.6%；γ=15.5N/cm3～17.8kN/cm3；

e=1.160～1.945；a_v=0.56MPa^{-1}～1.73MPa^{-1}；E_S=1.7MPa～3.0MPa；

K_h=3.5×10^{-7}cm/s；

C 快=4.5kPa～10.0kPa，$\varphi_{快}$=3.5°～10.0°；

C 固=10.0kPa～14.5kPa，$\varphi_{固}$=8.7°～11.0°。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。高灵敏度，高压缩性。有机质含量 wu=2.1%～3.0%。

静力触探试验 qc=0.8MPa～1.2MPa ，fs=13.6kPa～29.4kPa。

十字板试验成果：Cu=6.604+1.108Z。

w=41.4%～52.1%；γ=116.4N/cm^3～17.9kN/cm^3；

e=1.117～1.499；a_v=0.66MPa^{-1}～0.1.22MPa^{-1}；E_S=1.9MPa～3.3MPa；

K_h=3.9×10^{-7}cm/s；K_V=2.2×10^{-6}cm/s；

C $_{快}$=6.0kPa～14.0kPa，$\varphi_{快}$=4.0°～7.3°；

C $_{固}$=13.5kPa～17.0kPa，$\varphi_{固}$=10.0°～12.0°。

④$_1$ 粉质粘土（$mQ_3^{2\text{-}2}$）

灰黄色，为第二硬土层，可塑状，含铁锰结核和氧化斑点，土质均匀，局部为粘土，中压缩性，有机质含量 wu=1.6%。场地内局部分布。

静力触探试验 qc=1.4MPa ，fs=42.6kPa～54.6kPa。

十字板试验成果：Cu=10.663+1.458Z。

w=22.8%～31.6%；γ=18.8N/cm^3～20.0kN/cm^3；

e=0.631～0.846；a_v=0.24MPa^{-1}～0.51MPa^{-1}；

E_S=3.4MPa～7.4MPa；

C $_{快}$=12.0kPa～22.0kPa，$\varphi_{快}$=16.2°～24.6°；

C $_{固}$=16.0kPa～28.0kPa，$\varphi_{固}$=20°～30°。

④$_2$ 粘土（$mQ_3^{2\text{-}2}$）：

灰色，软塑～软可塑状，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部含砂量稍高，高压缩性。

静力触探试验 qc=0.9MPa～1.6MPa ，fs=21.6kPa～48.6kPa。

w=28.2%～41.8%；γ=17.4N/cm^3～19.0kN/cm^3；

e=0.811～1.255；a_v=0.34MPa^{-1}～0.77MPa^{-1}；E_S=2.9MPa～5.2MPa；

K_V=2.2×10^{-6}cm/s；

C $_{快}$=16.0kPa～27.0kPa，$\varphi_{快}$=5.5°～9.4°；

C $_{固}$=15.0kPa～26.5kPa，$\varphi_{固}$=11.0°～22.8°。

④$_3$ 卵石（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰黄色，中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 30～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

静力触探试验 qc=9.1MPa～10.9MPa ，fs=65.4kPa～128.3kPa。

④$_{3f}$ 粉质粘土（al-mQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰褐色，软塑，局部为淤泥质粉质粘土，含少量贝壳碎屑、粉砂及半碳化物，分布规律性差，部分含砂量稍高，土质不均，中等～高压缩性，为④$_3$ 圆砾层中夹层。

w=30.0%～33.7%；γ=17.6N/cm^3～18.6kN/cm^3；

e=0.875～1.020；a_v=0.36MPa^{-1}～0.38MPa^{-1}；E_S=4.9MPa～5.6MPa；

C $_{快}$=18.5kPa，$\varphi_{快}$=21.1°；

C $_{固}$=11.0kPa，$\varphi_{固}$=21.5°。

⑤$_1$ 粉质粘土（al-lQ$_3^{2-1}$）

灰绿色、灰黄色、灰兰色，厚层状，可塑为主，局部软可塑，中压缩性，局部地段近粘土。

静力触探试验 qc=2.1MPa ，fs=46.2kPa。

w=21.8%～29.8%；γ=17.8N/cm^3～20.9kN/cm^3；

e=0.653～0.917；a_v=0.18MPa^{-1}～43MPa^{-1}；E_S=4.1MPa～7.7MPa；

Kh=3.7×10^{-6}cm/s～4.3×10^{-6}cm/s；KV=3.0×10^{-6}cm/s；

C $_{快}$=10.0kPa～21.0kPa，$\varphi_{快}$=14.0°～23.4°

C $_{固}$=22.0kPa～25.0kPa，$\varphi_{固}$=27.1°～32.2°。

⑤$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-1}$）

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 20～40%，粒径以 20～60mm 为主， 2～20mm 颗粒含量一般 20～40%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 10～30%，土质不均，局部为卵石。砾石母岩以硬质凝灰岩、砂岩为主，亚圆状、次棱角状，磨圆度一般，分选性一般，胶结差。场地内较深钻孔中揭示。

⑤$_{3J}$ 含砾粉质粘土（al-plQ$_3^{2-1}$）：

灰黄、灰色，冲洪积成因，属混合类土，主要为粉质粘土、碎石、砾砂组成，粗细

颗粒含量不稳定，一般粉质粘土含量约 60%～70%，碎砾石含量约 30%，其余为砂。粉质粘土呈可塑～硬可塑状，中等压缩性。土质不均匀，局部碎、砾石含量较高，磨圆度较差，分选性差。该层为⑤$_1$ 粉质粘土与⑤$_3$ 圆砾间的过渡段。场地内较深钻孔中揭示。

静力触探试验 qc=12.6MPa ，fs=42.4kPa。

w=20.3%～27.0%；γ=18.0/cm^3～19.9kN/cm^3；

e=0.636～0.839；a_v=0.21MPa^{-1}～0.54MPa^{-1}；E_S=3.3MPa～7.8MPa；

$C_{快}$=13.5kPa～21.0kPa，$\varphi_{快}$=18.9°～24.5°

$C_{固}$=22.5kPa～23.0kPa，$\varphi_{固}$=27.4°～28.0°。

各岩土层层顶埋深、层顶高程、层底埋深、层底高程和层厚详见表 3.4-5“马屿镇梅屿段地层分布统计表”，各岩土层分布情况详见“马屿镇梅屿段工程地质剖面图”。

表 3.4-5　　马屿镇梅屿段地层分布统计表

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m)　最大～最小
0_0	淤泥	0.00～0.00	-1.40～-1.40	0.80～0.80	-2.20～-2.20	0.80～0.80
0_1	杂填土	0.00～0.00	7.40～3.70	3.60～0.50	6.31～2.80	3.60～0.50
0_2	素填土	0.00～0.00	6.50～3.38	3.10～0.50	5.46～2.40	3.10～0.50
0_3	耕土	0.00～0.00	7.25～4.26	1.20～0.60	6.15～3.06	1.20～0.60
①$_1$	粉质粘土	3.10～0.00	7.50～2.40	6.40～2.20	4.06～-0.90	5.70～0.90
①$_2$	淤泥质粘土	4.70～4.20	2.51～0.86	12.40～7.40	-1.29～-5.90	7.70～2.80
②$_1$	淤泥	4.70～4.70	-0.44～-0.44	10.20～10.20	-5.94～-5.94	5.50～5.50
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	10.20～0.80	4.51～-5.94	19.00～3.20	-0.04～-13.60	13.80～1.80
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	17.30～3.40	1.50～-10.05	21.40～10.20	-4.57～-17.35	9.00～2.30
②$_3$	淤泥	21.40～3.20	-1.29～-17.35	28.70～13.20	-8.90～-24.45	17.50～3.80
2夹	卵石	8.30～8.30	-4.25～-4.25	12.40～12.40	-8.35～-8.35	4.10～4.10
③$_1$	淤泥质粘土	26.40～0.00	2.90～-20.05	30.60～13.60	-8.09～-24.80	13.60～1.80
④$_1$	粉质粘土	24.20～13.60	-8.09～-19.29	33.60～19.30	-15.00～-27.69	13.40～2.00
④$_2$	粘土	33.60～19.30	-15.00～-27.69	38.00～21.80	-17.50～-32.70	13.20～1.50
④$_3$	卵石	38.00～21.70	-17.30～-32.09	46.50～26.20	-22.68～-40.59	8.60～0.20
④$_{3f}$	粉质粘土	32.70～26.10	-20.95～-26.49	34.80～28.60	-23.95～-28.59	3.10～1.70
⑤$_1$	粉质粘土	37.80～21.80	-17.50～-32.70	44.60～28.70	-28.70～-40.30	17.60～1.10
⑤$_3$	圆砾	54.30～28.70	-28.70～-48.04	～	～	10.20～5.30
⑤$_{3J}$	混碎石粉质粘土	46.50～36.30	-30.60～-40.59	54.30～44.40	-39.71～-48.04	12.50～0.15

3.4.2.3 水文地质

拟建防洪堤沿线地下水位受河水和潮水的变化而变动。场地地下水主要为孔隙潜水和承压水，地表水与地下水相互补充。

孔隙潜水赋存于上部填土、冲海积粘性土地层中，水量较贫乏，渗流条件差，主要接受大气降水和江水的补给，以蒸发和向地势低洼处排泄。

承压水分布于冲洪积成因的中、细砂和砂砾石组成，埋深较深、且上部有的粘性土隔水层。场区内含水层主要有②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉细砂夹淤泥、②$_{2夹}$圆砾、④$_3$卵石及⑤$_3$圆砾。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉细砂夹淤泥、②$_{2夹}$圆砾埋藏较浅，为微承压水，含水层分分布范围有限，厚度较小，水量有限，渗透性较好，与地表水体联通性较好。隔水层为上部粘性土和淤泥，厚度小。

④$_3$卵石及⑤$_3$圆砾埋藏深，分布范围及厚度较大，富水性较大，渗透性较好。隔水层为厚度很大的淤泥质土、粘土和粉质粘土。承压含水层主要接受上游含水层的侧向补给及越流补给，通过人工抽汲等方式排泄。根据《2021 年温州市地质环境公报》发布，本区孔隙承压水水位高程-9.11～-11.74m，处于弱上升区内。结合本场地水文地质资料，该场地承压水水头远低于地表潜水位，承压水动态较稳定，水位年变幅在 0.5m 左右。

根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

勘察期间观测得稳定水位埋深为 0.50～4.10m，水位高程为 1.81～5.61m。地下水位埋深较浅，具明显的季节相关性且受潮水位影响，地下水位变幅较大。

3.4.2.4 地基土工程地质特性评价

勘察深度范围内根据野外钻探、原位测试结合室内土工试验成果，拟建防洪堤沿线地基土为 0$_0$塘泥、0$_1$层杂填土、0$_2$层素填土、0$_3$层耕土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉细砂夹淤泥、②$_{2夹}$卵石、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土、④$_1$粉质粘土、④$_2$粘土、④$_3$卵石、④$_{3f}$淤泥质粉质粘土、⑤$_1$粉质粘土、⑤$_3$圆砾和⑤$_{3J}$含砾粉质粘土。

根据《堤防工程地质勘察规程》附录 C 综合判定：堤基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$塘泥，0$_3$耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_1$杂填土，土质不均，主要分布于防洪堤起点附近，应挖除。

0_2 素填土，主要分布于机耕路、水闸两侧及支流两侧的堤岸上，中～高压缩性，土质较均匀。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉细砂夹淤泥、②$_{2\text{夹}}$卵石，稍密～中密，中压缩性，工程性质一般，局部分布。

④$_1$ 粉质粘土，可塑，中等压缩性，力学强度尚可，局部分布，厚度不均，埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$ 粘土，软塑～软可塑，高压缩性，局部分布。

④$_3$ 卵石，中密，低压缩性，局部地段缺失，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$ 粉质粘土，流塑～软塑，高压缩性，工程性质差，呈透镜体状分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

⑤$_1$ 粉质粘土，⑤$_{3J}$ 含砾粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，埋藏深度大。⑤$_3$ 圆砾，中密状～密实，低压缩性，工程埋藏深度大。

⑤$_3$ 圆砾，中密，低压缩性，局部揭示，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层。

3.4.2.5　基础方案分析与建议

一、抗滑稳定性评价：

0_0 塘泥，0_3 耕土，高压缩性，工程性质差；①$_1$ 层粉质黏土，中偏高压缩性，物理力学性质一般，工程性质一般；①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，均为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、排水固结条件差、变形量大的软弱土层，厚度大，为场区内的主要压缩土层，也是影响河道岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行抗滑稳定验算，堤基开挖时应采取相应的工程措施予以保护。

二、渗透性评价：

场地内地下水与地表水水力联系紧密，地下水位受潮水位变化较大，场地内②$_{2a}$淤泥夹粉砂，分布范围、厚度较大，弱透水性。②2a 淤泥夹粉砂不均匀系数 Cu＜5，土的渗透变形为流土，允许水利坡降 0.35。堤基开挖揭示该层时，建议堤基开挖后及时进行处理。

三、抗冲刷性评价：

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对堤身及地基的冲蚀。防洪堤沿线地段地基土为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷性能差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

四、基础方案建议：

1）拟建堤防沿线勘察深度范围内存在①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉细砂、②$_3$ 淤泥，这些地层厚度大，高压缩性，该层承载力低，不能直接做天然地基持力层，如防洪堤置于该层时，建议采取适当的处理措施。

2）由于该段地处海陆交互相有深厚的海相软土地区过渡地带，沉积环境较为复杂，软土分布厚度变化大，对堤防稳定、沉降影响不一。在水闸等交叉建筑地段，应采取适当的衔接措施，以控制不均匀变形。

3）建议开挖边坡：①$_1$层粉质粘土 1:3.0～1:3.5；①$_2$层淤泥质粘土和②$_1$层淤泥 1:5.0～1:6.0；②$_{2a}$层淤泥夹粉砂 1:3.5～1:4.0。

4）建议①$_1$层粉质黏土允许不冲流速［v_0］＝0.06m～0.70m/s；①$_2$层淤泥质粘土和②$_1$层淤泥允许不冲流速［v_0］＝0.35m/s～0.40m/s；②$_{2a}$层淤泥夹粉砂允许不冲流速［v_0］＝0.26m/s～0.30m/s。

5）建议土层允许渗流坡降：①$_1$层粉质黏土：水平段 0.35，出口段 0.65；①$_2$层淤泥质粉质粘土和②$_1$层淤泥：水平段 0.30，出口段 0.60；②$_{2a}$层淤泥夹粉砂：水平段 0.1，出口段 0.30；②$_{2b}$粉砂夹淤泥：水平段 0.05，出口段 0.25。

3.4.2.6　各岩土层物理力学参数

根据野外钻探、原位测试和室内土工试验成果，经综合分析，统计计算出各土层物理力学性质指标，结合地区经验，查阅相关规范提出各岩土层物理力学指标建议值。各土层物理力学指标统计详见表 3.4-1～表 3.4-10“马屿镇梅屿段地基土地物理力学指标数理统计表”，各土层物理力学指标建议值详见表 3.4-11 “马屿镇梅屿段基地土物理力学指标设计参数表”。

表 3.4-6　　梅屿段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-2　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（梅屿段）　　第1页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		无侧限抗压强度	原位测试					
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.07	0.075-0.00	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	原状	比贯入阻力	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	qu	Ps	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)			cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
0-2	素填土	统计频数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1	1											10	10	7	7	3	3						
		最大值	39.0	18.5	2.75	1.235	96.0	45.8	24.6	0.71	21.2	3.50E-06	1.60E-07											0.68	6.2	17.0	15.5	21.0	19.0						
		最小值	23.0	16.8	2.72	0.811	73.7	28.0	16.1	0.51	11.9	3.50E-06	1.60E-07											0.30	3.3	6.3	10.0	11.4	14.0						
		平均值	31.1	17.9	2.74	0.966	87.8	37.3	20.7	0.62	16.7	3.50E-06	1.60E-07											0.44	4.6	13.0	12.3	15.1	17.0						
		标准差	5.8	0.6	0.01	0.145	6.7	6.3	3.0	0.07	3.4													0.12	0.9	4.5	2.1								
		变异系数	0.187	0.032	0.005	0.151	0.076	0.169	0.146	0.110	0.203													0.261	0.196	0.344	0.172								
		修正系数	1.109	0.981	0.997	1.088	1.045	0.901	0.915	1.064	1.119													1.153	0.885	0.745	0.872								
		标准值	34.5	17.6	2.73	1.051	91.8	33.6	18.9	0.66	18.7													0.51	4.1	9.7	10.7								
0-3	耕土	统计频数	4	4	4	4	4	4	4	4	4		1											4	4	3	3	1	1		3	3	3		
		最大值	40.0	19.0	2.76	1.100	100.0	46.5	24.9	0.70	21.6		2.60E-06											0.60	6.6	17.0	12.0	11.7	18.0		0.9	0.8	21.6		
		最小值	25.2	18.0	2.73	0.783	85.1	32.8	18.2	0.48	14.6		2.60E-06											0.27	3.5	16.5	11.5	11.7	18.0		0.4	0.3	4.1		
		平均值	30.1	18.6	2.74	0.884	92.7	37.0	20.1	0.58	16.9		2.60E-06											0.37	5.5	16.8	11.8	11.7	18.0		0.7	0.6	12.9		
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
①1	粉质粘土	统计频数	26	26	26	26	26	26	26	26	26	1	2											26	26	20	20	6	6		3	3	3	6	
		最大值	33.2	19.5	2.74	0.963	96.1	39.2	22.5	0.71	16.7	3.00E-06	4.10E-06											0.49	8.0	18.3	14.0	23.3	17.0		1.0	0.9	23.0	11.0	
		最小值	24.2	17.7	2.72	0.719	79.6	30.0	18.1	0.41	11.9	3.00E-06	2.10E-06											0.23	3.9	13.2	8.5	19.2	13.5		0.6	0.5	15.6	3.0	
		平均值	28.0	18.5	2.73	0.857	89.4	34.7	19.3	0.56	15.4	3.00E-06	3.10E-06											0.34	5.8	16.0	11.4	21.7	15.3		0.8	0.7	18.1	8.7	
		标准差	2.5	0.5	0.01	0.077	4.4	2.4	1.4	0.07	1.3													0.08	1.3	1.5	1.6	1.6	1.3					2.9	
		变异系数	0.088	0.026	0.003	0.089	0.049	0.069	0.074	0.128	0.084													0.244	0.216	0.094	0.138	0.072	0.087					0.340	
		修正系数	1.030	0.991	0.999	1.030	1.017	0.977	0.975	1.044	1.029													1.085	0.925	0.963	0.946	0.941	0.928					0.720	
		标准值	28.8	18.3	2.73	0.883	90.9	33.8	18.8	0.59	15.8													0.37	5.3	15.5	10.8	20.4	14.2					6.2	
①2	淤泥质粘土	统计频数	8	8	8	8	8	8	8	8	8													8	8	8	8								
		最大值	52.8	17.8	2.76	1.463	100.0	47.9	25.7	1.36	22.2													1.21	3.7	12.4	13.5								
		最小值	34.1	16.8	2.72	1.004	90.4	31.4	18.1	1.15	13.3													0.54	2.0	5.3	5.0								
		平均值	43.5	17.3	2.74	1.233	95.6	39.2	21.5	1.25	17.8													0.81	2.9	8.9	8.6								
		标准差	8.3	0.4	0.02	0.185	4.1	7.7	3.7	0.06	4.0													0.24	0.6	3.0	3.7								
		变异系数	0.191	0.021	0.007	0.150	0.042	0.196	0.172	0.051	0.226													0.297	0.207	0.336	0.423								
		修正系数	1.129	0.986	0.996	1.101	1.029	0.868	0.884	1.035	1.153													1.200	0.860	0.773	0.714								
		标准值	49.1	17.1	2.73	1.358	98.3	34.0	19.0	1.29	20.5													0.97	2.5	6.9	6.2								

表 3.4-7　　梅屿段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-2　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（梅屿段）　　第2页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		无侧限抗压强度	原位测试				
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.07	0.075-0.00	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	原状	比贯入阻力	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	qu	Ps	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)			cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
②1	淤泥	统计频数	3	3	3	3	3	3	3	3	3													3	3	3	3			3					
		最大值	66.7	15.9	2.76	1.912	96.6	54.3	29.0	1.49	25.3													1.90	1.6	3.5	7.5			46.2					
		最小值	56.3	15.5	2.76	1.730	89.8	50.2	26.9	1.26	23.3													1.68	1.5	3.0	7.0			39.2					
		平均值	61.3	15.6	2.76	1.795	94.2	52.6	28.2	1.35	24.5													1.80	1.6	3.2	7.2			42.8					
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
②2a	淤泥夹粉砂	统计频数	59	59	59	59	59	59	59	59	59	2	2				9	9	9	9	9	9		59	59	38	38	21	21		3	3	3	4	
		最大值	47.8	19.2	2.76	1.471	100.0	49.3	26.4	1.38	24.8	3.20E-04	2.80E-04				2.1	2.4	12.2	24.9	41.3	47.8		1.19	6.8	24.4	13.0	22.8	20.0		0.8	0.7	16.4	11.0	
		最小值	28.5	16.3	2.68	0.832	79.7	30.2	18.0	0.44	12.2	4.50E-05	5.00E-05				0.0	0.0	0.0	16.2	16.4	0.0		0.28	1.9	3.6	4.0	9.5	8.0		0.5	0.5	8.9	2.0	
		平均值	35.8	17.6	2.74	1.083	91.6	37.7	20.8	0.96	17.0	1.83E-04	1.65E-04				0.2	0.7	3.6	21.2	34.7	39.6		0.54	4.4	12.1	9.0	16.0	14.1		0.6	0.5	11.8	7.3	
		标准差	4.6	0.6	0.02	0.142	4.8	4.6	2.3	0.29	2.7													0.24	1.4	5.2	2.6	5.0	3.2						
		变异系数	0.128	0.032	0.006	0.131	0.053	0.122	0.111	0.304	0.158													0.434	0.313	0.427	0.287	0.313	0.223						
		修正系数	1.029	0.993	0.999	1.029	1.012	0.972	0.975	1.068	1.036													1.099	0.928	0.882	0.917	0.873	0.915						
		标准值	36.8	17.5	2.73	1.114	92.7	36.6	20.3	1.03	17.6													0.60	4.0	10.7	8.2	14.0	12.9						
②2a	粉细砂夹淤泥	统计频数	21	21	21	21	21	6	7	7	7	3						45	45	45	45	45	45	21	21	19	19	2	2		2	2	2	26	
		最大值	34.0	20.2	2.75	1.009	98.6	42.0	22.4	0.76	19.6	6.20E-03						2.1	75.6	57.8	36.1	48.9	31.8	0.43	9.8	46.2	10.0	13.5	32.0		4.3	4.1	32.8	20.0	
		最小值	16.6	17.2	2.68	0.517	76.6	28.4	16.8	0.29	11.6	2.10E-04						0.0	0.0	9.6	1.1	8.3	0.0	0.17	3.5	13.6	7.0	12.2	20.0		2.0	1.9	23.5	12.0	
		平均值	25.0	18.8	2.70	0.762	88.9	33.9	19.2	0.52	15.5	6.67E-04						0.6	20.3	27.2	16.2	30.0	5.7	0.25	7.3	35.6	8.5	12.9	26.0		3.2	3.0	28.2	14.3	
		标准差	4.2	0.8	0.03	0.145	5.9	5.1	2.1	0.16	3.2													0.07	1.7	9.2	0.8						2.2	
		变异系数	0.169	0.044	0.010	0.190	0.066	0.151	0.110	0.307	0.204													0.286	0.236	0.257	0.094						0.155	
		修正系数	1.065	0.983	0.996	1.073	1.025	0.875	0.919	1.227	1.151													1.112	0.910	0.896	0.960						0.947	
		标准值	26.6	18.5	2.69	0.817	91.2	29.6	17.7	0.64	17.9													0.27	6.7	31.9	8.2						13.6	
②夹	卵石	统计频数												1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
		最大值												12.2	15.4	38.3	13.5	3.3	2.0	3.4	1.1	10.8	0.0												
		最小值												12.2	15.4	38.3	13.5	3.3	2.0	3.4	1.1	10.8	0.0												
		平均值												12.2	15.4	38.3	13.5	3.3	2.0	3.4	1.1	10.8	0.0												
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	

表 3.4-8　　梅屿段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-2　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（梅屿段）　　第3页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		无侧限抗压强度	原位测试				
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.07	075-0.00	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	原状	比贯入阻力	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	qu	Ps	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)			cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
②$_3$	淤泥	统计频数	47	47	47	47	47	47	47	47	47		1											47	47	42	42	5	5	6	1	1	1		
		最大值	68.6	17.8	2.76	1.945	100.0	55.0	29.4	1.46	25.6		3.50E-07											1.73	3.0	10.0	10.0	11.0	14.5	26.6	0.7	0.6	14.5		
		最小值	41.9	15.5	2.74	1.160	91.4	35.8	19.3	1.15	16.5		3.50E-07											0.56	1.7	3.5	4.5	8.7	10.0	20.8	0.7	0.6	14.5		
		平均值	56.4	16.3	2.76	1.609	96.6	49.9	26.7	1.27	23.2		3.50E-07											1.21	2.2	4.1	8.1	9.7	11.5	24.1	0.7	0.6	14.5		
		标准差	6.0	0.6	0.00	0.168	2.5	4.2	2.2	0.07	2.0													0.25	0.3	1.1	0.9			2.2					
		变异系数	0.106	0.034	0.002	0.105	0.026	0.083	0.082	0.057	0.085													0.205	0.156	0.254	0.108			0.092					
		修正系数	1.027	0.992	1.000	1.026	1.006	0.979	0.979	1.014	1.021													1.051	0.960	0.928	0.970			0.924					
		标准值	57.9	16.1	2.76	1.652	97.3	48.8	26.2	1.29	23.7													1.27	2.1	3.8	7.8			22.2					
③$_1$	淤泥质粘土	统计频数	32	32	32	32	32	32	32	32	32	1	1											32	32	25	25	7	7		2	2	2	1	
		最大值	52.1	17.9	2.78	1.499	100.0	47.4	25.4	1.24	22.0	3.90E-07	2.20E-06											1.22	3.3	7.3	14.0	12.0	17.0		1.4	1.2	29.4	3.0	
		最小值	41.4	16.4	2.74	1.117	90.4	38.5	20.7	1.09	17.8	3.90E-07	2.20E-06											0.66	1.9	4.0	6.0	10.0	13.5		0.8	0.8	13.6	3.0	
		平均值	46.6	17.0	2.75	1.333	96.2	43.0	23.1	1.17	19.9	3.90E-07	2.20E-06											0.92	2.6	6.0	11.1	11.0	15.1		1.1	1.0	21.5	3.0	
		标准差	3.5	0.4	0.01	0.103	2.3	2.7	1.4	0.04	1.3													0.15	0.4	0.8	1.9	0.9	1.6						
		变异系数	0.075	0.022	0.003	0.077	0.024	0.063	0.062	0.037	0.064													0.163	0.136	0.132	0.166	0.079	0.106						
		修正系数	1.023	0.993	0.999	1.024	1.007	0.980	0.981	1.011	1.020													1.050	0.958	0.954	0.943	0.942	0.922						
		标准值	47.7	16.8	2.75	1.364	96.9	42.2	22.7	1.19	20.3													0.96	2.5	5.7	10.5	10.3	14.0						
④$_1$	粉质粘土	统计频数	21	21	21	21	21	21	21	21	21													21	21	15	16	6	6		2	2	2	2	
		最大值	31.6	20.0	2.74	0.846	100.0	36.0	20.2	0.74	16.7													0.51	7.4	24.6	22.0	30.0	28.0		1.8	1.4	54.6	10.0	
		最小值	22.8	18.8	2.71	0.631	90.3	27.0	16.1	0.42	10.9													0.24	3.4	16.2	12.0	20.0	16.0		1.6	1.4	42.6	7.0	
		平均值	26.7	19.3	2.73	0.753	96.3	33.3	18.5	0.55	14.8													0.34	5.3	20.3	17.2	25.4	21.9		1.7	1.4	48.6	8.5	
		标准差	2.2	0.3	0.01	0.056	3.4	2.4	0.8	0.09	1.7													0.07	1.0	2.7	2.8	3.5	3.9						
		变异系数	0.082	0.018	0.003	0.075	0.035	0.071	0.044	0.160	0.115													0.192	0.184	0.135	0.164	0.138	0.176						
		修正系数	1.032	0.993	0.999	1.029	1.013	0.973	0.983	1.061	1.043													1.073	0.930	0.938	0.927	0.886	0.855						
		标准值	27.5	19.2	2.73	0.774	97.6	32.4	18.2	0.59	15.5													0.37	4.9	19.0	15.9	22.5	18.7						
④$_2$	粘土	统计频数	19	19	19	19	19	19	19	19	19		1											19	19	11	11	8	8		3	3	3		
		最大值	41.8	19.0	2.76	1.255	100.0	47.8	25.6	0.89	22.2		2.20E-06											0.77	5.2	9.4	27.0	22.8	26.5		1.9	1.6	48.6		
		最小值	28.2	17.4	2.73	0.811	92.7	34.1	18.5	0.61	15.6		2.20E-06											0.34	2.9	5.5	16.0	11.0	15.0		1.0	0.9	21.6		
		平均值	35.8	18.2	2.75	1.017	97.1	42.1	22.6	0.71	19.5		2.20E-06											0.55	3.7	6.9	21.3	19.1	20.9		1.6	1.3	39.3		
		标准差	4.2	0.5	0.01	0.119	2.3	3.8	2.0	0.10	1.8													0.13	0.7	1.2	3.6	5.1	5.3						
		变异系数	0.116	0.026	0.002	0.117	0.024	0.090	0.088	0.136	0.093													0.234	0.191	0.172	0.170	0.264	0.254						
		修正系数	1.047	0.990	0.999	1.047	1.010	0.964	0.965	1.055	1.038													1.094	0.923	0.905	0.906	0.821	0.828						
		标准值	37.4	18.0	2.75	1.065	98.0	40.6	21.8	0.75	20.2													0.60	3.4	6.3	19.3	15.7	17.3						

表 3.4-9　　梅屿段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-2　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（梅屿段）　　第4页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		无侧限抗压强度	原位测试				
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	.25-0.07	075-0.00	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	原状	比贯入阻力	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	qu	Ps	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)			cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
④$_3$	卵石	统计频数												31	31	31	31	31	31	31	31	31									2	2	2		59
		最大值												52.7	50.2	39.2	17.7	14.1	12.2	8.6	2.4	36.4									11.8	10.9	128.3		39.0
		最小值												0.0	0.0	3.6	0.2	0.4	0.7	0.7	0.2	4.0									9.5	9.1	65.4		11.0
		平均值												14.6	22.3	22.6	8.2	6.9	5.3	5.6	1.0	13.5									10.6	10.0	96.9		25.0
		标准差																																	6.0
		变异系数																																	0.240
		修正系数																																	0.946
		标准值																																	23.6
④$_{3f}$	粉质粘土	统计频数	2	2	2	2	2	2	2	2	2													2	2	1	1	1	1						
		最大值	33.7	18.6	2.74	1.020	94.0	35.8	19.3	1.23	16.5													0.38	5.6	21.1	18.5	21.5	11.0						
		最小值	30.0	17.6	2.72	0.875	89.8	30.8	18.0	0.65	12.8													0.36	4.9	21.1	18.5	21.5	11.0						
		平均值	31.9	18.1	2.73	0.948	91.9	33.3	18.7	0.94	14.7													0.37	5.3	21.1	18.5	21.5	11.0						
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
⑤$_1$	粉质粘土	统计频数	23	23	23	23	23	23	23	23	23	2	1											23	23	16	16	7	7		1	1	1	3	
		最大值	29.8	20.9	2.74	0.917	100.0	36.0	19.7	0.71	16.6	4.30E-06	3.00E-06											0.43	7.7	23.4	21.0	32.2	25.0		2.4	2.1	46.2	10.0	
		最小值	21.8	17.8	2.71	0.653	83.9	27.3	16.1	0.40	10.3	3.70E-06	3.00E-06											0.18	4.1	14.0	10.0	27.1	22.0		2.4	2.1	46.2	4.0	
		平均值	25.7	19.4	2.73	0.743	95.1	32.1	18.2	0.55	13.9	4.00E-06	3.00E-06											0.31	5.7	19.1	16.3	29.1	23.2		2.4	2.1	46.2	6.7	
		标准差	2.2	0.6	0.01	0.069	4.2	2.6	0.9	0.09	1.8													0.06	1.1	2.9	3.5	1.8	1.1						
		变异系数	0.088	0.030	0.004	0.093	0.045	0.081	0.049	0.164	0.133													0.208	0.186	0.149	0.217	0.063	0.050						
		修正系数	1.032	0.989	0.999	1.035	1.016	0.970	0.982	1.060	1.048													1.078	0.931	0.934	0.904	0.954	0.963						
		标准值	26.5	19.2	2.72	0.769	96.6	31.1	17.9	0.58	14.5													0.33	5.3	17.9	14.8	27.7	22.4						
⑤$_3$	圆砾	统计频数												17	17	17	17	17	17	17	17	17													36
		最大值												24.2	70.6	36.6	18.0	21.3	11.9	10.1	5.6	24.4													40.0
		最小值												0.0	4.9	5.4	1.5	3.8	3.2	2.2	0.3	7.5													16.0
		平均值												3.2	22.7	23.9	11.3	10.4	7.3	4.9	1.7	14.5													30.8
		标准差																																	5.6
		变异系数																																	0.183
		修正系数																																	0.947
		标准值																																	29.2

表 3.4-10　　梅屿段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-2　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（梅屿段）　　第5页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		无侧限抗压强度	原位测试				
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.07	075-0.00	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	原状	比贯入阻力	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	qu	Ps	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)			cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
⑤$_{3J}$	混碎石粉质粘土	统计频数	7	7	7	7	7	7	7	7	7			10	10	10	10	10	10	10	10	10		7	7	5	5	2	2		1	1	1		8
		最大值	27.0	19.9	2.74	0.839	100.0	34.9	18.8	0.70	16.1			53.3	29.5	36.7	16.6	36.5	29.8	10.9	3.1	27.0		0.54	7.8	24.5	21.0	28.0	23.0		12.9	12.6	42.4		18.0
		最小值	20.3	18.0	2.71	0.636	79.1	27.4	16.1	0.29	11.3			0.0	0.0	1.2	1.6	3.0	2.1	1.1	0.6	1.4		0.21	3.3	18.9	13.5	27.4	22.5		12.9	12.6	42.4		8.0
		平均值	24.1	19.1	2.72	0.737	89.1	30.4	17.5	0.51	12.8			11.5	11.9	19.5	7.6	14.7	13.1	5.7	1.7	14.3		0.31	6.1	22.1	18.5	27.7	22.8		12.9	12.6	42.4		14.0
		标准差	2.5	0.7	0.01	0.082	6.9	2.4	1.1	0.15	1.6													0.11	1.5										2.8
		变异系数	0.102	0.035	0.004	0.112	0.077	0.079	0.061	0.291	0.125													0.358	0.249										0.202
		修正系数	1.075	0.974	0.997	1.083	1.057	0.941	0.955	1.215	1.092													1.265	0.816										0.864
		标准值	25.9	18.6	2.71	0.798	94.2	28.6	16.7	0.62	14.0													0.39	5.0										12.1
		统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
		统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
		统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	

表 3.4-11　　梅屿段地基土物理力学指标设计参数表

工程编号：FYJ-2　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（梅屿段）　　第1页/共1页

地层编号	地层名称	含水量	土的密度	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		粒径范围										固快法		快剪法		无侧限抗压强度	原位测试					地基参数			
													水平	垂直	>60 (mm)	60～40 (mm)	40～20 (mm)	20～10 (mm)	10～2 (mm)	2～0.5 (mm)	0.5～0.25 (mm)	0.25～0.075 (mm)	0.075～0.005 (mm)	<0.005 (mm)	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角		锥头阻力	侧壁摩阻力	摩阻比	标准贯入击数	重型动探击数	地基承载力特征值	灌注桩特征值 桩周土侧阻力	灌注桩特征值 桩端土端阻力	水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
		ω_0	ρ_0	γ	e_0	G_S	ω_L	ω_P	I_P	I_L	a_{1-2}	E_{s1-2}	Kh	Kv											c	ϕ	c	ϕ	q_u	q_c	f_s	R_f	N	$N_{63.5}$	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(g/cm³)	(N/cm³)			(%)	(%)			(MPa⁻¹)	(MPa)	cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(%)	(击/30cm)	(击/10cm)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																																				
0-1	杂填土																																				
0-2	素填土	31.1	1.83	17.9	0.966	2.74	37.30	20.70	16.70	0.62	0.44	4.6	3.50E-06	1.60E-07													10.7	9.7										
0-3	耕土	30.1	1.90	18.6	0.884	2.74	37.00	20.10	16.90	0.58	0.37	5.5	(1.0E-5)	2.60E-06																0.6	12.9	1.96						
①$_1$	粉质粘土	28.0	1.89	18.5	0.857	2.73	34.70	19.30	15.40	0.56	0.34	5.8	3.00E-06	3.10E-06											14.2	20.4	10.8	15.5		0.7	18.1	2.95	8.7		100	10		12
①$_2$	淤泥质粘土	43.5	1.77	17.3	1.233	2.74	39.20	21.50	17.80	1.25	0.80	2.9	(5.0E-6)	(5.0E-6)											10.0	11,5	6.2	6.9	42.8						60	6.5		6
②$_1$	淤泥	61.3	1.59	15.6	1.795	2.76	52.60	28.20	24.50	1.35	1.80	1.6	(2.0E-6)	(4.0E-6)											8.1	8.5	6.0	3.3							45	4.5		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	35.8	1.79	17.6	1.083	2.74	37.70	20.80	17.00	0.96	0.54	4.4	1.83E-04	1.65E-04				0.2	0.7	3.6	21.2	34.7	39.6		12.9	14.0	8.0	8.6		0.5	11.8	2.19	7.3		65	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	25.0	1.92	18.8	0.762	2.70	33.90	19.20	15.50	0.52	0.25	7.3	6.67E-04	(4.0E-6)					0.6	20.3	27.2	16.2	30.0	5.7	7.0	22.0	5.0	17.6		3.0	28.2	1.04	14.3		140	14		
②夹	卵石												(0.1)	(0.1)	12.2	15.4	38.3	13.5	3.3	2.0	3.4	1.1	10.8			(32)		(32)							200	25		
②$_3$	淤泥	56.4	1.66	16.3	1.609	2.76	49.90	26.70	23.20	1.27	1.21	2.2	(1.0E-7)	3.50E-07													6.2	3.4	24.1	0.6	14.5	2.26			50	5		4.5
③$_1$	淤泥质粘土	46.6	1.73	17.0	1.333	2.75	43.00	23.10	19.90	1.17	0.92	2.6	3.90E-07	2.20E-06											9.5	9.3	8.2	5.7		1.0	21.5	2.12	3.0		60	6		
④$_1$	粉质粘土	26.7	1.97	19.3	0.753	2.73	33.30	18.50	14.80	0.55	0.34	5.3													16.5	19.6	13.5	11.4		1.4	48.6	3.50	8.5		130	22		
④$_2$	粘土	35.8	1.86	18.2	1.017	2.75	42.10	22.60	19.50	0.71	0.55	3.7		2.20E-06											13.5	11.0	11.1	9.0		1.3	39.3	2.86			110	20		
④$_3$	卵石														14.6	22.3	22.6	8.2	6.9	5.3	5.6	1.0	13.5			(36.0)		(36.0)		10.0	96.9	0.95		25.0	340	35	1500	
④$_{3r}$	粉质粘土	31.9	1.85	18.1	0.948	2.73	33.30	18.70	14.70	0.94	0.37	5.3																							75	11		
⑤$_1$	粉质粘土	25.7	1.98	19.4	0.743	2.73	32.10	18.20	13.90	0.55	0.31	5.7	4.00E-06	3.00E-06											20.0	23.5	14.8	15.2		2.1	46.2	2.20	6.7		110	19		
⑤$_3$	圆砾														3.2	22.7	23.9	11.3	10.4	7.3	4.9	1.7	14.5											30.8	300	38	1700	
⑤$_{3J}$	含砾粉质粘土	24.1	1.95	19.1	0.737	2.72	30.40	17.50	12.80	0.51	0.31	6.1			11.5	11.9	19.5	7.6	14.7	13.1	5.7	1.7	14.3							12.6	42.4	0.34		14.0	180	25	800	

注：（＊）为经验值，供设计参考。

3.4.3 荆谷段防洪堤工程地质条件及评价

荆谷段防洪堤主要位于陶山镇飞云江左岸，全长约 5.12km，20 年一遇。

初步设计阶段，共布置 1 条勘探纵剖面，10 条勘探横剖面，技术钻孔 50 只，静探孔 6 只，十字板孔 7 个；(其中利用可研阶段钱塘江管理局设计院的勘探资料钻孔 2 只、静探 1 个，浙江山川有色勘察设计有限公司的勘探资料钻孔 10 个)。

3.4.3.1 荆谷段防洪堤现状

本段位于飞云江左岸，起点位于马屿镇八甲村，终点位于沙垟东侧。本段防洪堤沿线为大片的农田及养殖塘。荆谷段防洪堤沿线为冲海积平原地貌，场区内地势平坦，总体地面高程 3.00~5.50m。

图 3.4-5　荆谷段上游现状（七甲水闸上游）

图 3.4-6　荆谷段堤中游现状

飞云江河道总体由西向东流向，为凸岸，河流以堆积为主，江底最深处达-6.5m，同时又是感潮河段，高潮位时，潮水溯江而上。地下水位受河水和潮水的变化而变动很大。地下水的主要类型为孔隙水。地表水与地下水相互补充。

3.4.3.2 地层岩性

本工程堤防沿线场区表层为填土，上部以海相淤泥质土为主，中部以冲洪积砂砾层为主，底部为基岩。根据钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 6 个大层,15 个工程地质亚层，3 个夹层。工程区内总体地层自上而下分述如下：

0_0 塘泥（alQ_4^3）

灰黄色为主，流塑，主要分布于飞云江滩涂、渔塘、池塘顶部，或是河道淤积处，淤积形成，杂质含量较多。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，碎块石含量约占 10～70%，一般粒径 2～10cm，块石最大粒径大于 20cm，粘性土含量约占 10%。成份杂乱，结构松散，分布规律性较差，土质均匀性差。零星分布。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由砾石、黏性土、砂性土组成，机耕路表层的水泥路面厚度约 20cm。该层主要沿老堤防或是道路呈线状分布。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，饱和，土体为粉质粘土或粘土， 含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（$al\text{-}lQ_3^4$）

灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，中等～高压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，局含少量粉砂，有机质含量 Wu=2.9%～3.2%。下部土质略差，逐渐过渡为淤泥质土。

十字板试验成果：Cu=22.084+0.181Z。

w=27.1%～35.7%；γ=17.0N/cm^3～18.8kN/cm^3；

e=0.835～1.092；a_V=0.21MPa^{-1}～.069MPa^{-1}；E_S=2.9MPa～9.0MPa；

K_V=8.9×10^{-6}cm/s；

$C_{快}$=8.0kPa～15.0kPa，$\varphi_{快}$=7.1°～18.5°；

$C_{固}$=13.0kPa～20.0kPa，$\varphi_{固}$=11.7°～26.3°；

C_{uu}=14.0kPa～18.7kPa，φ_{uu}=1.9°～6.9°。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰黄色～灰色，流塑状，为上部粉质粘土与下部淤泥过渡层，高压缩性，土质不均匀，部分地段为淤泥质粘土，夹粉土。场地内局部分布。

静力触探试验 qc=0.5MPa ，fs=10.2kPa。

十字板试验成果：Cu=15.979+0.146Z。

w=35.6%～48.7%；γ=16.5N/cm^3～18.1kN/cm^3；

e=1.045～1.162；a_v=0.41MPa^{-1}～0.85MPa^{-1}；E_S=2.6MPa～5.4MPa；

$C_{快}$=5.5kPa～14.0kPa，$\varphi_{快}$=5.9°～14.7°；

$C_{固}$=7.5kPa～16.0kPa，$\varphi_{固}$=11.3°～22.5°；

C_{uu}=13.6kPa～18.6kPa，φ_{uu}=2.5°～3.5°。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色～灰褐色， 流塑， 饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含少量有机质，厚度不均，有机质含量 Wu=1.7%～2.5%。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=0.6MPa～1.1MPa ，fs=8.5kPa～14.7Pa。

十字板试验成果：Cu=13.588+0.872Z。

w=30.8%～43.0%；γ=16.7N/cm^3～18.8kN/cm^3；

e=0.869～1.313；a_v=0.28MPa^{-1}～0.90MPa^{-1}；E_S=2.6MPa～6.7MPa；

K_h=1.8×10^{-4}cm/s～5.0×10^{-3}cm/s；K_V=2.6×10^{-4}cm/s～3.2×10^{-4}cm/s；

$C_{快}$=8.0kPa～15.5kPa，$\varphi_{快}$=6.5°～11.4°；

$C_{固}$=9.0kPa～19.0kPa，$\varphi_{固}$=11.2°～21.8°；

C_{uu}=16.6kPa～19.4kPa，φ_{uu}=2.4°～3.1°。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色～灰褐色， 稍密～中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及少量贝壳碎屑，土质不均匀，夹少量淤泥及腐殖质。局部为中砂。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=2.5MPa～5.2MPa ，fs=18.9kPa～28.6kPa。

w=25.6%～34.7%；γ=17.0N/cm^3～18.4kN/cm^3；

e=0.813～1.073；a_v=0.20MPa^{-1}～0.91MPa^{-1}；E_S=2.3MPa～9.8MPa；

$C_{快}$=4.5kPa～16.0kPa，$\varphi_{快}$=6.6°～43.0°；

$C_{固}$=12.0kPa～16.0kPa，$\varphi_{固}$=18.5°～22.2°。

②$_3$淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑状，高灵敏度，高压缩性，鳞片状、厚层状结构，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好，有机质含量 Wu=1.9%～2.6%。场区分布广泛。

静力触探试验 qc=0.8MPa～1.0MPa ，fs=10.9kPa～17.8kPa。

十字板试验成果：Cu=10.194+0.504Z。

w=54.1%～67.7%；γ=15.3N/cm^3～16.9kN/cm^3；

e=1.503～1.893；a_v=0.84MPa^{-1}～1.88MPa^{-1}；E_S=1.5MPa～2.8MPa；

K_V=4.9×10^{-7}cm/s；

$C_{快}$=7.0kPa～9.5kPa，$\varphi_{快}$=2.9°～4.6°;

$C_{固}$=10.0kPa～12.5kPa，$\varphi_{固}$=7.6°～9.7°;

C_{uu}=10.3kPa～12.6kPa，φ_{uu}=0.5°～0.8°。

③$_1$淤泥质粘土（mQ_4^1）

灰色，流塑状，高压缩性，细鳞片状构造，厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质，场地内均有分布。

静力触探试验 qc=0.8MPa～1.2MPa ，fs=17.0kPa～20.3kPa。

十字板试验成果：Cu=6.551+0.623Z。

w=40.2%～52.6%；γ=16.3N/cm^3～17.5kN/cm^3；

e=1.174～1.162；a_v=0.70MPa^{-1}～1.28MPa^{-1}；E_S=1.8MPa～3.1MPa；

K_h=3.4×10^{-7}cm/s～6.0×10^{-6}cm/s；K_V=4.6×10^{-7}cm/s；

$C_{快}$=10.5kPa～14..5kPa，$\varphi_{快}$=5.2°～7.0°;

$C_{固}$=10.5kPa～17.0kPa， $\varphi_{固}$=7.9°～13.2°。

③$_2$粘土（mQ_4^1）

灰色，软塑状，高压缩性，主要由粘、粉粒组成，含少量有机质、腐植物，夹少量粉砂，局部粉砂含量较高，具细鳞片状，土层均匀性较好。

w=20.1%～41.8%；γ=17.1N/cm^3～19.4kN/cm^3；

e=0.644～1.241；a_v=0.26MPa^{-1}～0.97MPa^{-1}；

E_S=2.3MPa～6.3MPa；

$C_{快}$=22.0kPa～35.0kPa，$\varphi_{快}$=8.7°～24.2°;

$C_{固}$=21.5kPa～26.0kPa，$\varphi_{固}$=10.4°～11.4°。

③夹圆砾（al-mQ$_4^1$）

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，低压缩性。砾石母岩以硬质凝灰岩、砂岩为主，亚圆状、次棱角状，磨圆度一般，分选性一般，胶结差，其余为砂和粘性土充填，土质不均，局部为含粘性土砾砂或含粘性土卵石。场地内局部揭示。

④$_1$ 粉质粘土（mQ$_3^{2-2}$）

灰黄色、黄褐色，为第二硬土层，可塑状，中等压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质不均匀，含粉砂，偶见腐植物，土质不均匀，局部相变为粘土，局部分布。

静力触探试验 qc=1.4MPa～1.5MPa ，fs=28.8kPa～49.5kPa。

w=26.0%～38.7%；γ=17.1N/cm^3～19.2kN/cm^3；

e=0.768～1.162；a_v=0.31MPa^{-1}～0.50MPa^{-1}；

E_S=3.94MPa～5.75MPa；

$C_{快}$=16.0kPa～45.0kPa，$\varphi_{快}$=4.9°～15.3°；

$C_{固}$=23.0kPa～38.0kPa，$\varphi_{固}$=13.8°～19.8°；

C_{uu}=21.4，φ_{uu}=1.7°

④$_2$ 粘土（mQ$_3^{2-2}$）：灰色，软塑～可塑状，以软塑状为主，高压缩性，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部含砂量稍高，相变为粉质粘土。

静力触探试验 qc=1.4MPa ，fs=26.7kPa。

w=32.4%～41.0%；γ=17.7N/cm^3～18.5kN/cm^3；

e=0.919～1.119；a_v=0.21MPa^{-1}～0.75MPa^{-1}；E_S=2.8MPa～9.6MPa；

$C_{快}$=21.0kPa～26.0kPa，$\varphi_{快}$=5.7°～8.2°；

$C_{固}$=27.0kPa～42.0kPa，$\varphi_{固}$=11.4°～14.8°；

C_{uu}=23.0kPa～26.0kPa，φ_{uu}=1.8°～2.4°。

④$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主， 2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

静力触探试验 qc=10.6MPa～23.6MPa ，fs=18.7kPa～59.4kPa。

④$_{3f}$ 粘土（al-mQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰褐色，软可塑状，中等～高压缩性，含少量贝壳碎屑、粉砂及半碳化物，分布规律性差，部分含砂量稍高，为④3 圆砾层中夹层。

静力触探试验 qc=4.6MPa～18.9MPa ，fs=25.6kPa～26.1kPa。

w=22.1%～44.6%；γ=17.2N/cm^3～19.2kN/cm^3；

e=0.694～1.268；a_v=0.85MPa^{-1}；

E_S=2.7MPa；

C $_{固}$=23.0kPa～28.0kPa，$\varphi_{固}$=10.5°～31.1°。

④$_{3g}$ 中砂

灰色，中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及贝壳碎屑，粒径不均匀，局部为砾砂，该层为④3 圆砾层中夹层。

⑤$_2$ 粘土（mQ$_3^{2-1}$）

灰色，软塑～软可塑状，中～高压缩性，夹少量贝壳碎屑、粉砂及少量腐殖质，局部含砂量稍高。分布不均匀，场地内局部揭示。

w=28.9%～38.2%；γ=17.0N/cm^3～18.7kN/cm^3；

e=0.855～1.112；a_v=0.61MPa^{-1}～0.71MPa^{-1}；

E_S=2.9MPa～3.2MPa；

C $_{固}$=7.5kPa～17.0kPa，$\varphi_{固}$=15.1°～23.9°。

⑤$_3$ 卵石

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，低压缩性。砾石母岩以硬质凝灰岩、砂岩为主，亚圆状、次棱角状，磨圆度一般，分选性一般，胶结差，其余为砂和粘性土充填，土质不均，局部为土卵石。场地内较深钻孔中揭示。

各岩土层层顶埋深、层顶高程、层底埋深、层底高程和层厚详见表 3.4-12 “陶山镇荆谷段地层分布统计表”，各岩土层分布情况详见“陶山镇荆谷段工程地质剖面图”。

表 3.4-12　　陶山镇荆谷段地层分布统计表

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m) 最大～最小
0$_0$	淤泥	0.00～0.00	1.60～1.20	0.80～0.50	0.80～0.70	0.80～0.50
0$_1$	杂填土	0.00～0.00	6.65～3.10	6.30～0.20	4.20～-1.60	6.30～0.20
0$_2$	素填土	0.00～0.00	6.92～2.91	3.50～0.40	5.02～2.30	3.50～0.40
0$_3$	耕土	0.00～0.00	5.00～3.30	0.70～0.40	4.41～2.90	0.70～0.40
①$_1$	粉质粘土	3.50～0.00	6.20～1.68	5.40～1.50	4.02～-0.74	4.80～0.70

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m) 最大～最小
①$_2$	淤泥质粉质粘土	3.70～0.00	3.53～0.55	12.00～3.10	0.65～-7.30	10.10～1.30
②$_1$	淤泥	3.50～2.10	2.30～0.00	18.70～5.55	-0.75～-15.20	16.30～3.05
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	7.10～0.50	4.02～-3.30	19.30～3.80	-0.30～-15.50	15.80～1.60
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	10.60～1.90	2.36～-6.39	16.20～9.00	-5.42～-12.35	13.00～1.40
②$_3$	淤泥	32.80～6.50	-0.30～-27.04	37.20～14.80	-10.48～-33.70	24.90～2.00
③$_1$	淤泥质粘土	35.90～14.80	-10.48～-31.50	38.80～18.80	-13.89～-34.60	14.70～2.30
③$_2$	粘土	33.80～23.60	-17.40～-29.49	35.90～29.30	-23.10～-32.60	6.00～1.30
3夹	圆砾	32.90～32.50	-27.89～-27.99	33.60～33.10	-28.59～-28.59	0.70～0.60
④$_1$	粉质粘土	34.60～18.50	-13.79～-30.72	36.40～22.50	-18.19～-32.52	7.40～1.80
④$_2$	粘土	28.20～22.50	-18.19～-21.78	33.30～31.90	-26.88～-28.09	9.90～5.10
④$_3$	圆砾	38.80～28.70	-23.10～-34.78	37.40～35.30	-29.58～-34.28	8.80～0.15
④$_{3f}$	粘土	37.40～35.20	-29.58～-34.28	37.90～35.80	-32.27～-34.78	1.90～0.50
④$_{3g}$	中砂	32.75～32.00	-28.39～-29.65	35.20～33.30	-29.69～-32.09	2.90～0.10
⑤$_2$	粉质粘土	36.60～36.40	-32.24～-32.45	42.30～42.20	-38.04～-38.15	5.80～5.70
⑤$_3$	卵石	42.30～42.20	-38.04～-38.15	～	～	5.80～5.70

3.4.3.3 水文地质

拟建防洪堤沿线地下水位受河水和潮水的变化而变动。场地地下水主要有孔隙潜水和承压水，地表水与地下水相互补充。

孔隙潜水赋存于上部填土、冲海积粘性土地层中，水量较贫乏，渗流条件差，主要接受大气降水和江水的补给，以蒸发方式和向地势低洼处排泄。

承压水分布于冲洪积成因的中、细砂和砂砾石组成，埋深较深、且上部有的粘性土隔水层。场区内含水层主要有②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂、③$_{夹}$圆砾、④$_3$圆砾、④$_{3g}$中砂及⑤$_3$卵石。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂、埋藏较浅，为微承压水，含水层分分布范围有限，厚度较小，水量有限，渗透性较好，与地表水体联通性较好。隔水层为上部粘性土和淤泥质土。

③$_{夹}$圆砾、④$_3$圆砾、④$_{3g}$中砂及⑤$_3$卵石埋藏深，其中③$_{夹}$圆砾、④$_{3g}$中砂为夹层，分布范围小，厚工小，富水性较小，渗透性较好；④$_3$圆砾及⑤$_3$卵石分布范围及厚度较大，富水性较大，渗透性较好。隔水层为厚度很大的淤泥质土、粘土和粉质粘土。承压含水层主要接受上游含水层的侧向补给及越流补给，通过人工抽汲等方式排泄。根据

《2021 年温州市地质环境公报》发布，本区孔隙承压水水位高程-9.11～-11.74m，处于弱上升区内。结合本场地水文地质资料，该场地承压水水头远低于地表潜水位，承压水动态较稳定，水位年变幅在 0.5m 左右。

根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

勘察期间观测得稳定水位埋深为 0.50～1.80m，水位高程为 2.11～3.90m。地下水位埋深较浅，具明显的季节相关性且受潮水位影响，地下水位变幅较大。

3.4.3.4 地基土工程地质特性评价

勘察深度范围内根据野外钻探、原位测试结合室内土工试验成果，拟建防洪堤沿线地基土为 0_0 塘泥、0_1 杂填土、0_2 层素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、③$_{夹}$圆砾、④$_1$ 粉质粘土、④$_2$ 粘土、④$_3$ 圆砾、④$_{3f}$ 粘土、④$_{3g}$ 中砂、⑤$_2$ 粉质粘土和⑤$_3$ 圆砾。

根据《堤防工程地质勘察规程》附录 C 综合判定：堤基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_3 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 人工填土，沿老堤防或是道路呈线状分布，以可塑～硬可塑状粉质粘土为主，中压缩性为主，土质均匀性较好。

堤防沿线特别是经过村庄聚集地段，局部地段存在松散～稍密状建筑垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉砂、③$_{夹}$圆砾、稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，层位不稳定。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_1$ 粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘

土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，层位稳定，厚度大，该层可联合④$_1$粉质粘土共同做为建筑物桩端土层。

④$_3$圆砾，中密状～密实，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$粘土，软塑，高压缩性，工程性质差，呈夹层状分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。④$_{3g}$中砂，中密，局部地段分布，层位不稳定，厚度不大，工程性质较差。

⑤$_2$粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，埋藏深度大。

⑤$_3$卵石，中密状～密实，低压缩性，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

3.3.4.2　基础方案分析与建议

一、抗滑稳定性评价：

0$_0$塘泥，0$_2$耕土，高压缩性，工程性质差；①$_1$层粉质黏土，软塑～可塑，中偏高压缩性，物理力学性质一般，工程性质一般；①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥和③$_1$淤泥质粘土，均为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、排水固结条件差、变形量大的软弱土层，厚度大，为场区内的主要压缩土层，也是影响河道岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行抗滑稳定验算，堤基开挖时应采取相应的工程措施予以保护。

二、渗透性评价：

场地内地下水与地表水水力联系紧密，地下水位受潮水位变化较大，场地内②$_{2a}$淤泥夹粉砂，分布范围、厚度较大，松散～稍密，弱透水性。②$_{2a}$淤泥夹粉砂不均匀系数Cu＜5，土的渗透变形为流土，允许水利坡降 0.35。堤基开挖揭示该层时，建议堤基开挖后及时进行处理。

三、抗冲刷性评价：

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对堤身及地基的冲蚀。防洪堤沿线地段地基土为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷性能差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀。建议采取镇压防冲措施。

四、基础方案建议：

1）拟建堤防沿线勘察深度范围内存在①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥，这些地层高压缩性，该层承载力低，不能直接做天然地基持力层，如防洪堤置于该层时，建议采取适当的处理措施。

2）由于该段地处海陆交互相有深厚的海相软土地区过渡地带，沉积环境较为复杂，软土分布厚度变化大，对堤防稳定、沉降影响不一。在水闸等交叉建筑地段，应采取适当的衔接措施，以控制不均匀变形。

3）建议开挖边坡：①$_1$ 层粉质粘土 1:3.0～1:3.5；①$_2$ 层淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥 1:5.0～1:6.0；②$_{2a}$ 层淤泥夹粉砂 1:3.5～1:4.0。

4）建议①$_1$ 层粉质黏土允许不冲流速［v_0］＝0.60m～0.70m/s；①$_2$ 层淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥允许不冲流速［v_0］＝0.35m/s～0.40m/s；②$_{2a}$ 层淤泥夹粉砂允许不冲流速［v_0］＝0.26m/s～0.30m/s。

5）建议土层允许渗流坡降：①$_1$ 层粉质黏土：水平段 0.35，出口段 0.65；①$_2$ 层淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥：水平段 0.30，出口段 0.60；②$_{2a}$ 层淤泥夹粉砂：水平段 0.1，出口段 0.30；②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥：水平段 0.05，出口段 0.25。

3.4.3.5　各岩土层物理力学参数

根据野外钻探、原位测试和室内土工试验成果，经综合分析，统计计算出各土层物理力学性质指标，结合地区经验，查阅相关规范提出各岩土层物理力学指标建议值。各土层物理力学指标统计详见表 3.4-13～表 3.4-17“荆谷段地基土地物理力学指标数理统计表”，各土层物理力学指标建议值详见表 3.4-18“荆谷段基地土物理力学指标设计参数表”。

表 3.4-13　　荆谷段地基土物理力学指标数理统计

工程编号：FYJ-3　工程名称：[瑞安飞云江二期治理工程勘察（荆谷段）　　第1页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试		
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
0-2	素填土	统计频数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	2												6	6	5	5	1	1				2		
		最大值	40.2	18.4	2.75	1.153	99.9	44.0	23.6	0.81	20.4	4.20E-06												0.61	6.8	17.0	14.5	21.2	14.0				30.7		
		最小值	22.4	17.2	2.71	0.771	79.0	29.1	17.4	0.33	11.7	2.10E-07												0.26	3.5	5.1	10.5	21.2	14.0				0.4		
		平均值	30.4	18.0	2.73	0.947	87.0	36.2	20.0	0.63	16.2	2.21E-06												0.45	4.8	11.4	12.6	21.2	14.0				15.5		
		标准差	7.1	0.4	0.02	0.151	7.7	6.4	2.8	0.17	3.7													0.15	1.5										
		变异系数	0.233	0.023	0.006	0.159	0.089	0.178	0.142	0.270	0.227													0.334	0.318										
		修正系数	1.193	0.981	0.995	1.131	1.073	0.853	0.883	1.223	1.187													1.276	0.738										
		标准值	36.3	17.6	2.72	1.072	93.4	30.9	17.7	0.77	19.2													0.57	3.5										
0-3	耕土	统计频数																														4		
		最大值																														36.4		
		最小值																														14.0		
		平均值																														25.3		
		标准差																																
		变异系数																																
		修正系数																																
		标准值																																
①1	粉质粘土	统计频数	31	31	31	31	31	31	31	31	31		1											31	31	16	16	15	15	3	3	1	5	3	
		最大值	35.7	18.8	2.75	1.092	96.1	41.5	22.3	0.85	19.2		8.90E-06											0.69	9.0	18.5	15.0	26.3	20.0	18.7	6.9	49.5	24.3	9.0	
		最小值	27.1	17.0	2.73	0.835	78.1	32.4	18.2	0.53	14.2		8.90E-06											0.21	2.9	7.1	8.0	11.7	13.0	14.0	1.9	49.5	9.2	8.0	
		平均值	30.8	18.1	2.74	0.943	89.8	36.5	19.7	0.66	16.7		8.90E-06											0.44	4.8	14.6	11.3	19.7	15.3	16.5	3.9	49.5	17.2	8.3	
		标准差	2.3	0.5	0.00	0.072	5.3	2.0	1.1	0.09	1.0													0.11	1.4	3.1	2.1	3.8	2.3						
		变异系数	0.075	0.027	0.001	0.076	0.059	0.055	0.055	0.129	0.058													0.262	0.298	0.212	0.185	0.192	0.149						
		修正系数	1.023	0.991	1.000	1.024	1.018	0.983	0.983	1.040	1.018													1.082	0.907	0.902	0.915	0.908	0.929						
		标准值	31.6	17.9	2.74	0.965	91.4	35.8	19.4	0.69	17.0													0.47	4.3	13.1	10.3	17.9	14.2						
①2	淤泥质粉质粘土	统计频数	31	31	31	31	31	31	31	31	31													31	31	14	17	17	14	2	2		1		
		最大值	48.7	18.1	2.75	1.411	100.0	44.2	23.7	1.37	20.5													0.85	5.4	14.7	14.0	22.5	16.0	18.6	3.5		10.2		
		最小值	35.6	16.5	2.73	1.045	88.1	32.0	18.1	1.10	13.9													0.41	2.6	5.9	5.5	11.3	7.5	13.6	2.5		10.2		
		平均值	40.0	17.4	2.74	1.162	93.8	36.2	19.7	1.23	16.6													0.61	3.7	10.1	8.4	16.7	10.6	16.1	3.0		10.2		
		标准差	3.4	0.4	0.01	0.081	3.4	3.7	1.8	0.07	1.9													0.12	0.7	3.1	2.8	4.0	2.0						
		变异系数	0.084	0.021	0.003	0.070	0.036	0.103	0.094	0.061	0.115													0.195	0.203	0.309	0.329	0.241	0.191						
		修正系数	1.026	0.994	0.999	1.022	1.011	0.968	0.971	1.019	1.036													1.061	0.937	0.852	0.842	0.885	0.908						
		标准值	41.0	17.3	2.73	1.187	94.8	35.1	19.1	1.26	17.2													0.65	3.4	8.6	7.1	14.7	9.6						

表 3.4-14　　荆谷段地基土物理力学指标数理统计

工程编号：FYJ-3　　工程名称：[瑞安飞云江二期治理工程勘察（荆谷段）

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试		
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
②2a	淤泥与粉、细砂互层	统计频数	24	24	24	24	24	24	24	24	24	4	2				16	16	16	16	16	16	13	24	24	11	11	13	13	2	2	1	5	7	
		最大值	43.0	18.8	2.76	1.313	100.0	49.5	26.4	1.39	23.1	5.00E-03	3.20E-04				1.9	4.2	24.2	49.3	42.9	45.0	31.7	0.90	6.7	11.4	15.5	21.8	19.0	19.4	3.1	38.8	14.7	13.0	
		最小值	30.8	16.7	2.68	0.869	84.8	32.2	18.1	0.53	14.1	1.80E-04	2.60E-04				0.0	0.0	1.4	13.9	1.6	15.8	0.0	0.28	2.6	6.5	8.0	11.2	9.0	16.6	2.4	38.8	8.5	4.0	
		平均值	37.4	17.7	2.74	1.087	93.6	39.3	21.3	0.91	18.0	8.90E-04	2.90E-04				0.3	1.1	8.5	27.5	18.0	36.3	8.3	0.51	4.4	7.7	12.2	15.9	13.9	18.0	2.8	38.8	12.3	7.4	
		标准差	4.1	0.5	0.02	0.102	4.6	5.1	2.6	0.28	2.5													0.14	1.1	1.9	2.7	4.3	3.7					2.9	
		变异系数	0.111	0.029	0.006	0.094	0.049	0.130	0.123	0.306	0.141													0.280	0.252	0.252	0.219	0.268	0.268					0.395	
		修正系数	1.039	0.990	0.998	1.033	1.017	0.953	0.955	1.111	1.051													1.100	0.910	0.843	0.863	0.852	0.852					0.708	
		标准值	38.9	17.5	2.73	1.124	95.3	37.4	20.3	1.01	19.0													0.56	4.0	6.5	10.5	13.6	11.8					5.3	
②2b	粉砂夹淤泥	统计频数	16	16	16	16	16	5	5	5	5							66	66	66	66	66	66	16	16	14	14	2	2				6	9	
		最大值	34.7	18.4	2.75	1.073	97.8	40.2	21.6	0.73	18.6							2.6	68.6	51.2	33.0	47.3	35.5	0.91	9.8	43.0	16.0	22.2	16.0				28.6	19.0	
		最小值	25.6	17.0	2.67	0.813	77.8	32.7	18.2	0.51	14.5							0.0	0.7	4.8	0.5	6.6	0.0	0.20	2.3	6.6	4.5	18.5	12.0				18.9	10.0	
		平均值	29.7	17.9	2.70	0.919	87.2	36.1	19.6	0.64	16.5							0.8	20.6	29.0	12.5	30.2	4.2	0.39	5.9	26.9	8.5	20.4	14.0				24.7	14.7	
		标准差	3.0	0.5	0.03	0.088	4.7																	0.19	2.3	10.7	3.2					4.0	2.6	
		变异系数	0.100	0.025	0.011	0.095	0.054																	0.488	0.389	0.400	0.373					0.160	0.180	
		修正系数	1.045	0.989	0.995	1.042	1.024																	1.217	0.827	0.790	0.804					0.868	0.887	
		标准值	31.0	17.7	2.69	0.958	89.3																	0.47	4.9	21.2	6.8					21.5	13.0	
②3	淤泥	统计频数	120	120	120	120	120	120	120	120	120		1											120	120	62	62	58	58	4	4	7	6	12	
		最大值	67.7	16.9	2.76	1.893	100.0	55.1	29.5	1.47	25.6		4.90E-07											1.88	2.8	4.6	9.5	9.7	12.5	12.6	0.8	26.6	17.8	3.0	
		最小值	54.1	15.3	2.76	1.503	89.9	49.0	26.3	1.20	22.7		4.90E-07											0.84	1.5	2.9	7.0	7.6	10.0	10.3	0.5	16.2	10.9	2.0	
		平均值	60.1	15.9	2.76	1.723	96.2	52.7	28.2	1.30	24.5		4.90E-07											1.34	2.1	3.8	8.2	8.6	10.9	11.4	0.7	20.8	15.3	2.7	
		标准差	2.9	0.3	0.00	0.083	2.4	1.6	0.8	0.06	0.7													0.19	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5			3.7	2.6	0.5	
		变异系数	0.049	0.018	0.000	0.048	0.025	0.030	0.030	0.045	0.030													0.141	0.126	0.090	0.064	0.048	0.045			0.176	0.168	0.185	
		修正系数	1.008	0.997	1.000	1.008	1.004	0.995	0.995	1.007	1.005													1.022	0.980	0.980	0.986	0.989	0.990			0.870	0.861	0.903	
		标准值	60.6	15.9	2.76	1.736	96.6	52.4	28.1	1.31	24.6													1.37	2.0	3.7	8.1	8.5	10.8			18.1	13.1	2.4	
③1	淤泥质粘土	统计频数	100	100	100	100	100	100	100	100	100	2	1											100	100	50	50	50	50			6	5	4	
		最大值	52.6	17.5	2.76	1.537	100.0	48.4	25.9	1.27	22.5	6.00E-06	4.60E-07											1.28	3.1	7.0	14.5	13.2	17.0			40.4	20.3	5.0	
		最小值	40.2	16.3	2.74	1.174	89.7	37.9	18.0	1.07	17.5	3.40E-07	4.60E-07											0.70	1.8	5.2	10.5	7.9	10.5			28.4	17.0	3.0	
		平均值	46.9	16.9	2.75	1.345	95.8	43.5	23.3	1.17	20.1	4.70E-07	4.60E-07											0.95	2.5	6.0	12.2	10.6	14.4			32.8	19.4	3.8	
		标准差	2.9	0.3	0.00	0.077	2.6	2.4	1.4	0.04	1.1													0.11	0.3	0.5	0.8	1.0	1.4			5.8			
		变异系数	0.061	0.017	0.002	0.057	0.027	0.055	0.059	0.030	0.056													0.119	0.102	0.075	0.068	0.090	0.098			0.178			
		修正系数	1.010	0.997	1.000	1.010	1.005	0.991	0.990	1.005	1.010													1.020	0.983	0.981	0.983	0.978	0.976			0.853			
		标准值	47.4	16.8	2.75	1.358	96.2	43.1	23.1	1.18	20.3													0.97	2.4	5.9	12.0	10.4	14.0			28.0			

表 3.4-15　　荆谷段地基土物理力学指标数理统计

工程编号：FYJ-3　　工程名称：[瑞安飞云江二期治理工程勘察（荆谷段）　　第3页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试		
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
③₂	粘土	统计频数	5	5	5	5	5	5	5	5	5													5	5	2	2	2	2	1	1	1		2	
		最大值	41.8	19.4	2.75	1.241	92.6	46.0	24.6	0.87	21.4													0.97	6.3	24.2	35.0	11.4	26.0	21.4	1.7	45.0		9.0	
		最小值	20.1	17.1	2.71	0.644	79.1	27.4	16.1	0.35	11.3													0.26	2.3	8.7	22.0	10.4	21.5	21.4	1.7	45.0		8.0	
		平均值	33.5	17.6	2.74	1.043	87.4	39.5	21.5	0.64	18.0													0.56	4.3	16.5	28.5	10.9	23.8	21.4	1.7	45.0		8.5	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
3夹	圆砾	统计频数													1	1	1	1	1	1	1	1	1												
		最大值													16.9	34.3	10.1	5.8	4.0	3.2	0.3	25.4	0.0												
		最小值													16.9	34.3	10.1	5.8	4.0	3.2	0.3	25.4	0.0												
		平均值													16.9	34.3	10.1	5.8	4.0	3.2	0.3	25.4	0.0												
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
④₁	粉质粘土	统计频数	10	10	10	10	10	10	10	10	10													10	10	2	2	8	8			2	2	3	
		最大值	37.0	19.2	2.75	1.004	100.0	44.6	23.9	0.74	20.7													0.62	6.4	22.4	31.0	29.5	31.5			55.4	49.5	19.0	
		最小值	26.0	18.2	2.73	0.762	90.7	32.5	18.2	0.54	14.3													0.28	3.1	10.0	16.0	12.0	18.0			53.0	28.8	17.0	
		平均值	30.8	18.8	2.74	0.874	96.1	37.0	20.0	0.64	16.9													0.42	4.7	16.2	23.5	22.9	23.7			54.2	39.2	18.3	
		标准差	3.5	0.3	0.01	0.079	3.2	3.6	1.8	0.07	1.8													0.10	0.9			6.9	5.4						
		变异系数	0.113	0.017	0.002	0.091	0.033	0.099	0.091	0.115	0.109													0.233	0.200			0.300	0.230						
		修正系数	1.066	0.990	0.999	1.053	1.020	0.942	0.947	1.067	1.064													1.137	0.883			0.797	0.845						
		标准值	32.9	18.6	2.74	0.921	97.9	34.8	18.9	0.68	18.1													0.48	4.1			18.3	20.0						
④₂	粘土	统计频数	6	6	6	6	6	6	6	6	6													6	6	4	4	2	2	3	3	1	1	1	
		最大值	41.0	18.5	2.75	1.119	100.0	45.3	24.3	0.82	21.0													0.75	9.6	8.2	26.0	14.8	42.0	26.0	2.4	49.4	26.7	8.0	
		最小值	32.4	17.7	2.74	0.919	88.1	39.5	21.2	0.51	18.3													0.21	2.8	5.7	21.0	11.4	27.0	23.0	1.8	49.4	26.7	8.0	
		平均值	37.1	18.2	2.75	1.030	97.4	43.5	23.4	0.68	20.2													0.50	4.9	6.9	23.4	13.1	34.5	24.5	2.0	49.4	26.7	8.0	
		标准差	3.7	0.3	0.00	0.066	4.8	2.3	1.2	0.11	1.1													0.21	2.7										
		变异系数	0.100	0.017	0.001	0.064	0.049	0.053	0.053	0.159	0.053													0.423	0.541										
		修正系数	1.083	0.986	0.999	1.053	1.041	0.956	0.956	1.131	1.044													1.349	0.554										
		标准值	40.2	17.9	2.74	1.084	101.4	41.6	22.3	0.77	21.0													0.68	2.7										

表 3.4-16　　荆谷段地基土物理力学指标数理统计

工程编号：FYJ-3　工程名称：[瑞安飞云江二期治理工程勘察（荆谷段）　　第4页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试		
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
④$_3$	圆砾	统计频数												41	41	41	41	41	41	41	41	41											5		63
		最大值												30.9	61.5	41.9	23.5	20.0	10.2	9.5	3.8	31.1											59.4		40.0
		最小值												0.0	0.0	3.0	1.7	3.3	1.8	1.6	0.3	2.6											18.7		15.0
		平均值												3.3	24.2	20.4	12.3	10.5	6.5	5.2	1.4	16.2											37.8		26.1
		标准差																																	6.0
		变异系数																																	0.231
		修正系数																																	0.950
		标准值																																	24.8
④$_{3d}$	粉质粘土	统计频数	2	2	2	2	2	2	2	2	2												1	1	1			2	2				2		2
		最大值	44.6	19.2	2.76	1.268	97.1	47.5	25.5	0.87	22.0												0.0	0.85	2.7			31.1	28.0				26.1		29.0
		最小值	22.1	17.2	2.72	0.694	86.6	31.0	18.1	0.31	12.9												0.0	0.85	2.7			10.5	23.0				25.6		23.0
		平均值	33.4	18.2	2.74	0.981	91.8	39.3	21.8	0.59	17.5												0.0	0.85	2.7			20.8	25.5				25.8		26.0
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
④$_{2d}$	中砂	统计频数															2	2	2	2	2	2													
		最大值															0.6	1.0	33.4	49.5	11.1	35.3													
		最小值															0.0	0.8	3.1	30.5	2.4	32.3													
		平均值															0.3	0.9	18.3	40.0	6.8	33.8													
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
⑤$_2$	粉质粘土	统计频数	4	4	4	4	4	4	4	4	4													4	4			4	4						
		最大值	38.2	18.7	2.74	1.112	100.0	35.8	19.3	1.26	16.5													0.71	3.2			23.9	17.0						
		最小值	28.9	17.0	2.72	0.855	83.9	31.0	18.1	0.69	12.9													0.61	2.9			15.1	7.5						
		平均值	33.0	18.1	2.73	0.969	93.0	33.3	18.6	0.99	14.7													0.65	3.0			19.4	12.1						
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	

表 3.4-17　　荆谷段地基土物理力学指标数理统计

工程编号：FYJ-3　　工程名称：[瑞安飞云江二期治理工程勘察（荆谷段）　　第5页/共5页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试		
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
⑤3	卵石	统计频数												4	4	4	4	4	4	4	4	4													6
		最大值												73.8	26.1	30.1	11.0	9.1	5.4	3.1	2.4	17.2													40.0
		最小值												3.4	1.9	0.7	1.7	0.7	1.2	1.0	0.6	9.5													26.0
		平均值												39.5	13.4	16.1	6.8	5.2	3.1	1.7	1.4	12.8													31.7
		标准差																																	5.1
		变异系数																																	0.161
		修正系数																																	0.867
		标准值																																	27.5
		统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
		统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
		统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	

表 3.4-18　　荆谷段地基土物理力学指标设计参数表

工程编号：FYJ-3　　工程名称：[瑞安飞云江二期治理工程勘察（荆谷段）

地层编号	地层名称	含水量	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		粒径范围									固快法		快剪法		原位测试					地基参数			
																																灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
																															地基承载力特征值	桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_θ	γ	e_θ	G_S	ω_L	ω_P	I_P	I_L	a_{1-2}	E_{s1-2}	水平	垂直	60>(mm)	60～40(mm)	40～20(mm)	20～10(mm)	10～2(mm)	2～0.5(mm)	0.5～0.25(mm)	0.25～0.075(mm)	0.075～0.005(mm)	<0.005(mm)	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角	锥头阻力	侧壁摩阻力	摩阻比	标准贯入击数	重型动探击数				
												Kh	Kv											c	ϕ	c	ϕ	q_C	f_s	R_f	N	$N_{63.5}$	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(N/cm³)			(%)	(%)			(MPa⁻¹)	(MPa)	cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(MPa)	(KPa)	(%)	(击/30cm)	(击/10cm)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																																		
0-1	杂填土																																		
0-2	素填土	30.4	18.0	0.947	2.73	36.20	20.00	16.20	0.63	0.45	4.8	2.21E-06												15.9	11.2	11.0	9.4	0.5	15.5	3.72			80	9		
0-3	耕土											(1.0E-5)	(1.0E-5)															1.2	25.3	2.38						
①$_1$	粉质粘土	30.8	18.1	0.943	2.74	36.50	19.70	16.70	0.66	0.44	4.8	(1.0E-6)	8.90E-06											13.6	13.4	10.3	12.1	0.7	17.2	2.62	8.3		100	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	40.0	17.4	1.162	2.74	36.20	19.70	16.60	1.23	0.61	3.7	(1.0E-6)	(1.0E-6)											9.6	8.9	7.1	6.0	0.5	10.2	2.26	5.0		60	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	37.4	17.7	1.087	2.74	39.30	21.30	18.00	0.91	0.51	4.4	8.90E-04	2.90E-04				0.3	1.1	8.5	27.5	18.0	36.3	8.3	11.8	13.6	8.4	9.0	0.8	12.3	1.68	7.4		65	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	29.7	17.9	0.919	2.70	36.10	19.60	16.50	0.64	0.39	5.9	(6.0E-4)	(5.0E-4)					0.8	20.6	29.0	12.5	30.2	4.2	(6.5)	(20.0)	4.5	17.0	3.7	24.7	0.69	14.7		140	13		14
②$_3$	淤泥	60.1	15.9	1.723	2.76	52.70	28.20	24.50	1.30	1.34	2.1	(1.0E-7)	4.90E-07											10.8	8.5	6.9	3.3	0.9	15.3	1.80	2.7		455	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	46.9	16.9	1.345	2.75	43.50	23.30	20.10	1.17	0.95	2.5	4.70E-07	4.60E-07											11.5	9.6	8.4	5.9	1.0	19.4	2.03	3.8		60	6		6
③$_2$	粘土	33.5	17.6	1.043	2.74	39.50	21.50	18.00	0.64	0.56	4.3	(1.0E-7)	(1.0E-7)											13.0	10.5	10.8	8.9						80	19		
3夹	圆砾														16.9	34.3	10.1	5.8	4.0	3.2	0.3	25.4			(28)		(28)						180	28		
④$_1$	粉质粘土	30.8	18.8	0.874	2.74	37.00	20.00	17.00	0.64	0.42	4.7													17.0	18.3	13.5	11.4	1.5	39.2	2.74	18.3		120	22		
④$_2$	粘土	37.1	18.2	1.030	2.75	43.50	23.40	20.20	0.68	0.50	4.9													13.0	11.0	10.8	9.0	1.4	26.7	1.90	8.0		105	19		
④$_3$	圆砾													3.3	24.2	20.4	12.3	10.5	6.5	5.2	1.4	16.2			(32)		(32)	16.8	37.8	0.26		26.1	300	35	1500	
④$_{3r}$	粘土	33.4	18.2	0.981	2.74	39.30	21.80	17.50	0.59	0.85	2.7																						100	22		
④$_{3g}$	中砂																0.3	0.9	18.3	40.0	6.8	33.8						11.7	25.8	0.36			160	25		
⑤$_2$	粉质粘土	33.0	18.1	0.969	2.73	33.30	18.60	14.70	0.99	0.65	3.0																						70	15		
⑤$_3$	卵石													39.5	13.4	16.1	6.8	5.2	3.1	1.7	1.4	12.8										31.7	320	40	1800	
							注：（＊）为经验值，供设计参考。																														

3.4.4　碧山段防洪堤工程地质条件及评价

陶山镇碧山段防洪堤主要位于陶山镇飞云江左岸，全长约 6.58km，20 年一遇。

初步设计阶段，共布置 1 条勘探纵剖面，8 条勘探横剖面，技术钻孔 38 只， 静探孔 5 只，十字板孔 5 只(其中利用可研阶段浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司的勘探资料钻孔静探 2 只，浙江山川有色勘察设计有限公司勘探资料钻孔 5 只) 。

3.4.4.1　碧山段防洪堤现状

本段位于飞云江左岸，起点位于马屿镇龟岩村以南，终点位碧山镇于渡头村以东。本段防洪堤沿线为大片的农田及养殖塘，民房零星分布。荆谷段防洪堤沿线为冲海积~冲洪积平原地貌，飞云江在此呈“U”型转弯，防洪堤沿线场区内地势平坦，总体地面高程 2.00~5.00m。场区内大部分地段无防洪堤，已建老堤防不明显。

图 3.4-7　碧山段防洪堤上游现状

图 3.4-8　碧山段防洪堤上游现状

图 3.4-9　碧山段防洪堤中游现状

图 3.4-10　碧山段防洪堤中游现状

图 3.4-11　碧山段防洪堤下游现状

图 3.4-12　碧山段防洪堤下游现状

陶山镇碧山段防洪堤原地面高程在 3.8m~5.2m，地形平坦，冲洪积平原地貌，为 U 型河道，徐宅村南河岸以堆积为主，其它河段以冲刷为主，河底最深处达-4.5m 左右，为感潮河段，高潮位时，潮水溯江而上。地下水位受河水和潮水的变化而变动很大。

3.4.4.2　地层岩性

本工程堤防沿线场区表层为填土，上部以海相淤泥质土为主，中部以冲洪积砂砾层为主，底部为基岩。

根据钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 6 个大层,13 个工程地质亚层，工程区内总体地层自上而下分述如下：

0_0 塘泥（alQ_4^3）

灰黄色为主，流塑，主要分布于飞云江滩涂、渔塘、池塘顶部，或是河道淤积处，淤积形成，杂质含量较多，含碎、块石、砾石等，有机质含量较高。土质均匀性差，分布不均匀。少量钻孔中揭示。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，土质不均。下游段分布。

0_2 素填土(rQ)

黄色、黄褐色，主要由砾石、黏性土组成，局部为村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。沿老堤防或是道路呈条带状分布，工程性质一般。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，饱和，土体为粉质粘土或粘土，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（$al\text{-}lQ_3^4$）：灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，中等～高压缩

性，切面稍有泽，韧性一般，干强度一般，摇振反应无，含少量铁锰结核和氧化斑点，局含少量粉砂，下部土质略差，下部逐渐过渡为淤泥质土，为粉质粘土与淤泥过渡层。

静力触探试验 qc=0.3MPa~0.9MPa，fs=12.5kPa~45.4kPa。

十字板试验成果：Cu=14.256+0.225Z。

w=27.8%～37.4%；γ=16.9N/cm^3～19.4kN/cm^3；

e = 0.785～1.178；a_v=0.35MPa^{-1}～0.72MPa^{-1}；

E_S=2.6MPa～5.4MPa；

K_h=2.6×10^{-6}cm/s；K_V=4.5×10^{-7}cm/s～3.8×10^{-6}cm/s；

C $_{快}$=5.5kPa～16.0kPa，$\varphi_{快}$=6.5°～15.5°；

C $_{固}$=12.5kPa～18.0kPa，$\varphi_{固}$=11.0°～21.1°。

C_{uu}=20.9kPa，φ_{uu}=2.7°

①$_2$ 淤泥质粘土（mQ$_4^3$）

灰黄色～灰色，流塑状，高压缩性，高韧性，干强度高，土质不均匀，夹粉土或粉砂。场地内局部分布。

静力触探试验 qc=0.3MPa，fs=6.2kPa~7.1kPa。

w=37.2%～46.4%；γ=16.1N/cm^3～18.2kN/cm^3；

e = 1.047～1.405；a_v=0.46MPa^{-1}～1.30MPa^{-1}；

E_S=1.8MPa～4.6MPa；

K_h=1.9×10^{-7}cm/s；K_V=7.8×10^{-8}cm/s；

C $_{快}$=6.0kPa～14.0kPa，$\varphi_{快}$=4.1°～11.0°；

C $_{固}$=9.0kPa～16.5kPa，$\varphi_{固}$=8.7°～19.5°；

C_{uu}=12.1kPa～16.7kPa，φ_{uu}=1.0°～3.9°。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ$_4^2$)：

淤泥夹粉砂(al-mQ4)：灰色~灰褐色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。局部为粘质粉土、砂质粉土。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=0.6MPa~2.0MPa，fs=10.6kPa~23.7kPa。

十字板试验成果：Cu=9.408+1.531Z。

w=34.8%～50.9%；γ=16.3N/cm^3～18.6kN/cm^3；

e = 1.004～1.441；a_v=0.36MPa^{-1}～1.09MPa^{-1}；

E_S=2.2MPa～5.9MPa；

K_h=4.8×10^{-4}cm/s～5.5×10^{-4}cm/s；K_V=3.1×10^{-5}cm/s～8.6×10^{-4}cm/s；

C $_{快}$=4.5kPa～14.5kPa，$\varphi_{快}$=4.5°～15.4°；

C $_{固}$=11.0kPa～17.5kPa，$\varphi_{固}$=12.1°～17.5°。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥(al-mQ$_4^2$)

灰色~灰褐色，稍密～中密，很湿，中压缩性，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质。局部为中砂。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=2.4MPa~5.4MPa，fs=24.6kPa~37.8kPa。

w=20.2%～30.2%；γ=18.3N/cm^3～19.5kN/cm^3；

e = 0.638～0.846；a_v=0.20MPa^{-1}～0.43MPa^{-1}；

E_S=4.0MPa～8.6MPa；

C $_{快}$=5.5kPa～20.0kPa，$\varphi_{快}$=20.2°～13.0°；

C $_{固}$=7.0kPa～9.0kPa，$\varphi_{固}$=28.4°～34.8°。

②$_3$ 淤泥（mQ$_4^2$）

灰色，流塑状，高灵敏度，高压缩性，鳞片状、厚层状结构，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物。切面光滑，干强度高，土层均匀性较好。场区分布广泛。

静力触探试验 qc=0.7MPa~0.9MPa，fs=12.0kPa~15.1kPa。

十字板试验成果：Cu=3.685+0.927Z。

w=54.4%～69.0%；γ=15.3N/cm^3～16.9kN/cm^3；

e = 1.513～1.952；a_v=0.81MPa^{-1}～2.38MPa^{-1}；

E_S=1.2MPa～3.3MPa；

K_h=4.5×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=5.5kPa～11.0kPa，$\varphi_{快}$=2.3°～6.2°；

C $_{固}$=9.0kPa～12.5kPa，$\varphi_{固}$=7.5°～11.5°；

C_{uu}=9.1kPa～11.1kPa，φ_{uu}=0.3°～1.0°。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ$_4^1$）：

灰色，流塑状，高压缩性，高韧性，干强度高，切面光滑，细鳞片状构造，厚层状，

含少量贝壳碎屑及有机质，场地内均有分布。

静力触探试验 qc=1.0MPa~1.2MPa，fs=15.6kPa~16.8kPa。

w=40.8%～52.8%；γ=16.5N/cm^3～17.6kN/cm^3；

e = 0.1.155～1.478；a_v=0.58MPa^{-1}～1.16MPa^{-1}；

E_S=2.0MPa～3.8MPa；

C $_{快}$=7.5kPa～14.0kPa，$\varphi_{快}$=4.3°～7.1°；

C $_{固}$=14.0kPa～17.0kPa，$\varphi_{固}$=9.2°～12.0°；

C_{uu}=14.7kPa～18.8kPa，φ_{uu}=1.0°～1.7°。

③$_2$ 粘土（mQ_4^1）：

灰色，软塑状，高压缩性，主要由粘、粉粒组成，含少量有机质、腐植物，夹少量粉砂，局部粉砂含量较高，具细鳞片状，切面光滑，干强度高，土层均匀性较好。

静力触探试验 qc=1.4MPa~2.2MPa，fs=24.0kPa~34.5kPa。

w=34.2%～47.6%；γ=16.6N/cm^3～18.0kN/cm^3；

e = 0.998～1.407；a_v=0.69MPa^{-1}～0.97MPa^{-1}；

E_S=2.3MPa～3.2MPa；

C $_{快}$=20.0kPa～23.0kPa，$\varphi_{快}$=5.6°～6.2°；

C $_{固}$=22.0kPa～24.0kPa，$\varphi_{固}$=10.3°～14.0°。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

静力触探试验 qc=29.9MPa~166.6MPa，fs=0.12kPa~1.16kPa。

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J_3m）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，锤击声哑，易碎，遇水易软化，镐难以挖进，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J_3m）

灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为坚硬岩。

岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

各岩土层分布情况详见“陶山镇碧山段工程地质剖面图”。

表 3.4-19　　陶山镇碧山段地层分布统计表

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m)　最大～最小
0_0	塘泥	0.00～0.00	0.05～0.01	0.80～0.80	-0.75～-0.79	0.80～0.80
0_1	杂填土	0.00～0.00	5.20～2.56	3.70～0.50	4.29～0.75	3.70～0.50
0_2	素填土	0.00～0.00	5.70～2.80	3.40～0.50	4.60～1.90	3.40～0.50
①$_1$	粉质粘土	3.40～0.00	5.50～1.90	6.30～0.90	3.80～-0.60	3.50～0.80
①$_2$	淤泥质粘土	6.30～0.80	3.80～-0.60	13.70～3.10	1.53～-9.10	11.80～1.20
②$_1$	淤泥	2.80～1.30	2.40～2.25	13.70～4.05	-0.15～-9.50	11.90～2.40
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	11.20～0.80	2.50～-7.15	17.30～1.30	-1.25～-13.09	12.90～0.50
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	11.05～1.30	0.30～-6.43	16.60～7.40	-7.35～-11.49	11.10～1.45
②$_3$	淤泥	17.30～7.40	-5.45～-13.09	40.20～17.20	-13.60～-35.84	25.70～8.10
③$_1$	淤泥质粘土	34.50～17.20	-13.60～-30.37	41.30～27.00	-24.40～-36.71	13.90～2.80
③$_2$	粘土	39.30～25.60	-20.75～-35.69	42.80～28.80	-27.35～-38.15	11.60～1.20
④$_3$	圆砾	42.80～28.80	-27.35～-38.15	～	～	9.10～0.05
⑩$_3$	弱风化凝灰岩	7.80～7.80	-3.17～-3.17	～	～	4.20～4.20

3.4.4.3　水文地质

拟建防洪堤沿线地下水位受河水和潮水的变化而变动。勘察场地地下水主要有孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水，地表水与地下水相互补充。

孔隙潜水赋存于上部填土、冲海积粘性土地层中，水量较贫乏，渗流条件差，主要接受大气降水和江水的补给，以蒸发和向地势低洼处排泄。孔隙水对本工程影响不大。

承压水分布于冲洪积成因的中、细砂和砂砾石组成，埋深较深、且上部有的粘性土隔水层。场区内含水层主要有②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、④$_3$ 圆砾。②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥，埋藏较浅，为微承压水，含水层分分布范围有限，厚度较小，水量有限，渗透性较好，与地表水体联通性较好。隔水层为上部淤泥质土和粘土。④$_3$ 圆砾埋藏深，分布范围及厚度较大，富水性较大，渗透性较好。隔水层为厚度很大的淤泥质土、粘土和粉质粘土。

承压含水层主要接受上游含水层的侧向补给及越流补给，通过人工抽汲等方式排泄。

根据《2021 年温州市地质环境公报》发布，本区孔隙承压水水位高程-9.11～-11.74m，处于弱上升区内。结合本场地水文地质资料，该场地承压水水头远低于地表潜水位，承压水动态较稳定，水位年变幅在 0.5m 左右。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

基岩裂隙水赋存于岩石风化与构造裂隙中，一般呈网状、树叉状分布，其总体水量不大，赋水性较差，主要接受大气降水及上覆残坡积层孔隙潜水的入渗补给，水位受松散层厚度及地貌形态影响较大，无稳定的地下水位。

勘察期间观测得稳定水位埋深为 0.60～2.40m，水位高程为 2.09～3.82m。地下水位埋深较浅，具明显的季节相关性且受潮水位影响，地下水位变幅较大。

3.4.4.4 地基土工程地质特性评价

勘察深度范围内根据野外钻探、原位测试结合室内土工试验成果，拟建防洪堤沿线地基土为 0_0 塘泥、0_1 填土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂，②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、④$_3$ 圆砾、⑩$_2$ 强风化凝灰岩、⑩$_3$ 弱风化凝灰岩。

根据《堤防工程地质勘察规程》附录 C 综合判定：堤基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_3 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 人工填土，沿老堤防或是道路呈线状分布，以可塑～硬可塑状粉质粘土为主，中压缩性为主，土质较均匀。堤防沿线特别是经过村庄聚集地段，局部地段存在松散～稍密状建筑垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，局部地段缺失，工程性质一般，该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土，②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、稍密～中密，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，层位稳定。工程性质一般。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_3$ 圆砾，中密状，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

3.4.4.5 基础方案分析与建议

一、抗滑稳定性评价：

0$_0$ 塘泥，0$_3$ 耕土，高压缩性，工程性质差；①$_1$ 层粉质黏土，软塑～可塑，中偏高压缩性，物理力学性质一般，工程性质一般；①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，均为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、排水固结条件差、变形量大的软弱土层，厚度大，为场区内的主要压缩土层，也是影响河道岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行抗滑稳定验算，堤基开挖时应采取相应的工程措施予以保护。

二、渗透性评价：

场地内地下水与地表水水力联系紧密，地下水位受潮水位变化较大，场地内②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，分布范围、厚度较大，松散～稍密，弱透水性。②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂不均匀系数 Cu＜5，土的渗透变形为流土，允许水利坡降 0.35。堤基开挖揭示该层时，建议堤基开挖后及时进行处理。

三、抗冲刷性评价：

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对堤身及地基的冲蚀。防洪堤沿线地段地基土为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷性能差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

四、基础方案建议：

1）拟建堤防沿线勘察深度范围内存在①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥，这些地层厚度大，高压缩性，该层承载力低，不能直接做天然地基持力层，如防洪堤置于该层时，建议采取适当的处理措施。

2）由于该段地处海陆交互相有深厚的海相软土地区过渡地带，沉积环境较为复杂，软土分布厚度变化大，对堤防稳定、沉降影响不一。在水闸等交叉建筑地段，应采取适当的衔接措施，以控制不均匀变形。

3）建议开挖边坡：①$_1$ 层粉质粘土 1:3.0～1:3.5；①$_2$ 层淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥 1:5.0～1:6.0；②$_{2a}$ 层淤泥夹粉砂 1:3.5～1:4.0。

4）建议①$_1$层粉质黏土允许不冲流速［v_0］＝0.60m～0.70m/s；①$_2$层淤泥质粉质粘土和②$_1$层淤泥允许不冲流速［v_0］＝0.35m/s～0.40m/s；②$_{2a}$层淤泥夹粉砂允许不冲流速［v_0］＝0.26m/s～0.30m/s。

5）建议土层允许渗流坡降：①$_1$层粉质黏土：水平段 0.35，出口段 0.65；①$_2$层淤泥质粉质粘土和②$_1$层淤泥：水平段 0.30，出口段 0.60；②$_{2a}$层淤泥夹粉砂：水平段 0.1，出口段 0.30；②$_{2b}$粉砂夹淤泥：水平段 0.05，出口段 0.25。

3.4.4.6　各岩土层物理力学参数

根据野外钻探、原位测试和室内土工试验成果，经综合分析，统计计算出各土层物理力学性质指标，结合地区经验，查阅相关规范提出各岩土层物理力学指标建议值。各土层物理力学指标统计详见表 3.4-20～表 3.4-22 “碧山段地基土地物理力学指标数理统计表”，各土层物理力学指标建议值详见表 3.4-23 “碧山段基地土物理力学指标设计参数表”。

表 3.4-20　　碧山段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-4　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（碧山段）　　第1页/共3页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
0-2	素填土	统计频数	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1												7	7	4	4	3	3							
		最大值	36.4	19.4	2.75	1.084	100.0	43.4	23.3	0.80	20.1	8.60E-07												0.78	3.7	13.9	15.0	19.4	12.5							
		最小值	27.6	17.3	2.72	0.756	78.1	30.4	18.1	0.65	12.2	8.60E-07												0.55	2.6	6.3	9.0	19.1	12.0							
		平均值	31.2	18.2	2.73	0.939	91.3	35.5	19.9	0.74	15.7	8.60E-07												0.65	3.0	9.9	12.0	19.2	12.2							
		标准差	3.8	0.8	0.01	0.114	8.1	5.7	2.3	0.06	3.4													0.08	0.4											
		变异系数	0.121	0.042	0.005	0.122	0.089	0.159	0.117	0.083	0.219													0.124	0.122											
		修正系数	1.090	0.969	0.996	1.090	1.066	0.882	0.913	1.062	1.162													1.092	0.909											
		标准值	34.0	17.6	2.72	1.023	97.3	31.3	18.1	0.78	18.2													0.71	2.8											
0-3	耕土	统计频数	2	2	2	2	2	2	2	2	2													2	2	1	1	1	1				3	3		
		最大值	54.1	18.4	2.76	1.551	100.0	49.0	26.3	1.23	22.7													1.09	3.1	4.3	8.5	72.0	17.0				0.2	11.5		
		最小值	41.0	16.4	2.74	1.055	96.4	37.9	20.4	1.18	17.5													0.67	2.3	4.3	8.5	72.0	17.0				0.0	0.3		
		平均值	47.6	17.4	2.75	1.303	98.2	43.5	23.4	1.20	20.1													0.88	2.7	4.3	8.5	72.0	17.0				0.1	4.5		
		标准差																																		
		变异系数																																		
		修正系数																																		
		标准值																																		
①1	粉质粘土	统计频数	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1	2											30	30	17	17	13	13	1	1	2	4	4	3	
		最大值	37.4	19.4	2.75	1.178	100.0	44.2	23.7	1.25	20.5	2.60E-06	3.80E-06											0.83	5.4	15.5	16.0	21.1	18.0	20.9	2.7	52.2	0.9	45.4	8.0	
		最小值	27.8	16.9	2.72	0.785	80.0	30.5	18.1	0.58	12.4	2.60E-06	4.50E-07											0.35	2.5	6.5	5.5	11.0	12.5	20.9	2.7	48.6	0.3	12.5	7.0	
		平均值	32.6	18.1	2.74	0.963	92.5	36.9	20.1	0.75	16.8	2.60E-06	2.13E-06											0.56	3.7	12.7	11.1	16.2	14.7	20.9	2.7	50.4	0.5	26.4	7.3	
		标准差	3.1	0.6	0.01	0.089	5.6	3.4	1.8	0.16	1.8													0.12	0.7	3.1	2.8	4.3	2.3							
		变异系数	0.096	0.031	0.003	0.092	0.060	0.093	0.088	0.215	0.108													0.217	0.188	0.243	0.249	0.263	0.154							
		修正系数	1.030	0.990	0.999	1.029	1.019	0.971	0.972	1.068	1.034													1.069	0.941	0.895	0.893	0.823	0.896							
		标准值	33.6	18.0	2.74	0.991	94.3	35.8	19.5	0.80	17.4													0.59	3.5	11.4	9.9	13.4	13.2							
①2	淤泥质粘土	统计频数	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1	1											30	30	20	20	10	10	4	3	2	3	3	2	
		最大值	46.4	18.2	2.75	1.405	100.0	42.9	23.0	1.35	19.9	1.90E-07	7.80E-08											1.30	4.6	11.0	14.0	19.5	16.5	16.7	3.9	38.8	0.3	7.1	5.0	
		最小值	37.2	16.1	2.73	1.047	80.8	33.1	18.2	1.10	14.9	1.90E-07	7.80E-08											0.46	1.8	4.1	6.0	8.7	9.0	12.1	1.1	35.4	0.3	6.2	3.0	
		平均值	41.4	17.4	2.74	1.192	95.0	38.1	20.5	1.19	17.6	1.90E-07	7.80E-08											0.72	3.2	6.4	10.6	14.6	13.3	14.5	2.1	37.1	0.3	6.7	4.0	
		标准差	2.9	0.5	0.01	0.087	4.6	3.1	1.6	0.06	1.5													0.18	0.7	1.5	3.1	4.0	3.3							
		变异系数	0.071	0.028	0.003	0.073	0.048	0.082	0.079	0.049	0.086													0.255	0.220	0.240	0.294	0.276	0.250							
		修正系数	1.022	0.991	0.999	1.023	1.015	0.974	0.975	1.016	1.027													1.081	0.930	0.893	0.874	0.838	0.843							
		标准值	42.3	17.2	2.74	1.220	96.5	37.1	20.0	1.21	18.1													0.77	3.0	5.7	9.3	12.2	11.2							

表 3.4-21　　碧山段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-4　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（碧山段）　　第2页/共3页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
②2a	淤泥夹粉、细砂	统计频数	43	43	43	43	43	43	43	43	43	3	4				9	9	9	9	9	9	9	43	43	32	32	11	11				3	3	2	
		最大值	50.9	18.6	2.75	1.441	100.0	46.2	24.8	1.32	21.4	5.50E-04	8.60E-04				0.5	12.0	12.2	42.1	53.5	46.5	24.6	1.09	5.9	15.4	14.5	22.2	17.5				2.0	23.7	6.0	
		最小值	34.8	16.3	2.72	1.004	78.5	31.7	18.1	1.10	13.6	4.80E-04	3.10E-05				0.0	0.0	0.0	11.8	10.3	7.3	0.0	0.36	2.2	5.5	4.5	12.1	11.0				0.6	10.6	5.0	
		平均值	40.5	17.4	2.74	1.172	94.4	37.0	20.1	1.22	16.9	5.03E-03	5.58E-04				0.1	2.0	3.8	26.6	27.9	34.6	5.0	0.63	3.7	9.7	8.7	18.0	12.4				1.2	15.7	5.5	
		标准差	3.9	0.5	0.01	0.107	5.2	4.1	2.0	0.06	2.1													0.19	1.0	3.4	3.0	4.7	2.3							
		变异系数	0.097	0.032	0.003	0.091	0.055	0.111	0.100	0.052	0.126													0.303	0.271	0.347	0.343	0.260	0.186							
		修正系数	1.025	0.992	0.999	1.024	1.015	0.971	0.974	1.014	1.033													1.080	0.929	0.894	0.895	0.808	0.862							
		标准值	41.6	17.2	2.74	1.200	95.7	35.9	19.5	1.23	17.5													0.68	3.5	8.7	7.8	14.5	10.7							
②2b	粉、细砂夹淤泥	统计频数	8	8	8	8	8	3	3	3	3						59	59	59	59	59	59	59	8	8	5	5	2	2				4	4	4	
		最大值	30.2	19.5	2.72	0.846	100.0	30.3	18.0	0.41	12.3						2.9	15.3	60.8	66.7	45.0	47.5	28.6	0.43	8.6	43.0	20.0	34.8	9.0				5.4	37.8	13.0	
		最小值	20.2	18.3	2.68	0.638	75.1	27.0	15.8	0.32	11.2						0.0	0.0	0.8	7.6	1.5	11.5	0.0	0.20	4.0	20.2	5.5	28.4	7.0				2.4	24.6	11.0	
		平均值	23.2	18.9	2.69	0.724	85.8	28.3	16.7	0.37	11.6						0.2	0.9	10.0	37.9	12.9	37.6	0.5	0.29	6.3	30.6	10.5	31.6	8.0				4.2	30.9	11.8	
		标准差	3.6	0.4	0.02	0.059	8.6																	0.09	1.5											
		变异系数	0.154	0.022	0.007	0.081	0.100																	0.305	0.243											
		修正系数	1.104	0.985	0.996	1.055	1.068																	1.206	0.836											
		标准值	25.6	18.6	2.68	0.763	91.7																	0.35	5.3											
②3	淤泥	统计频数	135	135	135	135	135	135	135	135	135	1												135	135	89	89	46	46	6	6	10	4	4	1	
		最大值	69.0	16.9	2.76	1.952	100.0	55.3	29.6	1.60	25.7	4.50E-07												2.38	3.3	6.2	11.0	11.5	12.5	11.1	1.0	32.4	0.9	15.1	3.0	
		最小值	54.4	15.3	2.72	1.513	87.5	49.3	26.4	1.18	22.9	4.50E-07												0.81	1.2	2.3	5.5	7.5	9.0	9.1	0.3	18.8	0.7	12.0	3.0	
		平均值	60.3	16.0	2.76	1.714	96.8	52.7	28.2	1.31	24.5	4.50E-07												1.41	2.0	3.7	7.8	8.9	10.6	10.3	0.8	24.3	0.8	13.6	3.0	
		标准差	3.7	0.3	0.00	0.089	2.7	1.7	0.9	0.09	0.8													0.31	0.4	0.6	0.7	1.1	0.8	0.7	0.3	4.5				
		变异系数	0.061	0.018	0.002	0.052	0.028	0.032	0.031	0.067	0.032													0.221	0.208	0.151	0.091	0.120	0.074	0.064	0.393	0.184				
		修正系数	1.009	0.997	1.000	1.008	1.004	0.995	0.995	1.010	1.005													1.032	0.969	0.973	0.983	0.964	0.978	0.947	0.676	0.892				
		标准值	60.8	15.9	2.76	1.727	97.2	52.4	28.0	1.32	24.6													1.46	1.9	3.6	7.6	8.5	10.4	9.7	0.5	21.7				
③1	淤泥质粘土	统计频数	35	35	35	35	35	35	35	35	35													35	35	25	25	10	10	6	6	1	3	3		
		最大值	52.8	17.6	2.76	1.478	100.0	48.0	25.7	1.25	22.3													1.16	3.8	7.1	14.0	12.0	17.0	18.8	1.7	43.0	1.2	16.8		
		最小值	40.8	16.5	2.74	1.155	88.1	37.9	20.4	1.02	17.5													0.58	2.0	4.3	7.5	9.2	14.0	14.7	1.0	43.0	1.0	15.6		
		平均值	46.3	17.0	2.75	1.323	96.2	42.9	23.0	1.17	19.9													0.93	2.5	5.8	11.6	10.4	15.4	17.0	1.4	43.0	1.1	16.0		
		标准差	3.3	0.3	0.01	0.082	3.3	2.7	1.4	0.04	1.3													0.13	0.4	0.7	1.4	0.9	1.1	1.8	0.3					
		变异系数	0.072	0.019	0.002	0.062	0.034	0.064	0.063	0.037	0.065													0.143	0.147	0.126	0.121	0.090	0.071	0.105	0.212					
		修正系数	1.021	0.995	0.999	1.018	1.010	0.981	0.982	1.011	1.019													1.042	0.957	0.956	0.958	0.947	0.958	0.913	0.825					
		标准值	47.3	16.9	2.75	1.347	97.1	42.1	22.6	1.18	20.2													0.97	2.4	5.5	11.1	9.8	14.8	15.5	1.1					

表 3.4-22　　碧山段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-4　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（碧山段）　　第3页/共3页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析										固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
③₂	粘土	统计频数	16	16	16	16	16	16	16	16	16													16	16	8	8	4	4			4	3	3		
		最大值	47.6	18.0	2.76	1.407	99.2	51.0	27.3	0.89	23.7													0.97	3.2	6.2	23.0	14.0	24.0			38.4	2.2	34.5		
		最小值	34.2	16.6	2.74	0.998	85.0	39.7	21.4	0.70	18.3													0.69	2.3	5.6	20.0	10.3	22.0			32.8	1.4	24.0		
		平均值	44.0	17.2	2.76	1.265	95.9	47.7	25.6	0.83	22.2													0.84	2.7	5.9	20.9	11.4	22.9			36.1	1.7	28.4		
		标准差	3.8	0.3	0.01	0.091	4.0	3.2	1.7	0.06	1.5													0.08	0.3	0.2	1.1									
		变异系数	0.087	0.020	0.002	0.072	0.042	0.067	0.065	0.067	0.070													0.099	0.093	0.034	0.052									
		修正系数	1.039	0.991	0.999	1.032	1.018	0.970	0.971	1.030	1.031													1.044	0.959	0.977	0.965									
		标准值	45.7	17.0	2.75	1.306	97.7	46.3	24.8	0.86	22.8													0.88	2.6	5.7	20.2									
④₃	圆砾	统计频数												36	36	36	36	36	36	36	36	36										4	4	4		20
		最大值												39.3	48.6	54.7	27.6	31.3	11.7	11.5	2.4	37.6										24.5	166.6	1.16		39.0
		最小值												0.0	0.0	3.4	3.4	2.6	1.8	1.1	0.2	5.5										15.1	29.9	0.12		15.0
		平均值												7.2	19.1	23.3	12.7	10.8	5.0	4.8	1.2	16.0										18.2	70.0	0.45		25.6
		标准差																																		7.8
		变异系数																																		0.306
		修正系数																																		0.880
		标准值																																		22.5
⑱₂	强风化凝灰岩	统计频数																																		
		最大值																																		
		最小值																																		
		平均值																																		
		标准差																																		
		变异系数																																		
		修正系数																																		
		标准值																																		
⑱₃	弱风化凝灰岩	统计频数																																		
		最大值																																		
		最小值																																		
		平均值																																		
		标准差																																		
		变异系数																																		
		修正系数																																		
		标准值																																		

表 3.4-23　　碧山段地基土物理力学指标设计参数表

工程编号：FYJ-4　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（碧山段）　　第1页/共1页

地层编号	地层名称	含水量	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		粒径范围									固快法		快剪法		无侧限抗压强度	原位测试					地基参数				
												水平	垂直	60>(mm)	60～40(mm)	40～20(mm)	20～10(mm)	10～2(mm)	2～0.5(mm)	0.5～0.25(mm)	0.25～0.075(mm)	0.075～0.005(mm)	<0.005(mm)	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角		锥头阻力	侧壁摩阻力	摩阻比	标准贯入击数	重型动探击数	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
																																			桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_θ	γ	e_θ	Gs	ω_L	ω_P	I_P	I_L	α_{1-2}	E_{s1-2}	Kh	Kv											c	ϕ	c	ϕ	q_u	qc	f_s	R_f	N	$N_{63.5}$	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(N/cm³)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(%)	(击/30cm)	(击/10cm)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																												0.1	0.0	0.00						
0-1	杂填土																																				
0-2	填土	31.2	18.2	0.939	2.73	35.50	19.90	15.70	0.74	0.65	3.0	8.60E-07											15.3	11.0	10.8	9.0		0.1	4.5	3.47						
0-3	耕土	47.6	17.4	1.303	2.75	43.50	23.40	20.10	1.20	0.88	2.7	(1.0E-5)	(1.0E-5)										9.6	11.8	7.1	6.0										
①$_1$	粉质粘土	32.6	18.1	0.963	2.74	36.90	20.10	16.80	0.75	0.56	3.7	2.60E-06	2.13E-06										13.2	13.4	9.9	11.4	50.4	0.5	26.4	4.66	7.3		100.0	10.0		12
①$_2$	淤泥质粘土	41.4	17.4	1.192	2.74	38.10	20.50	17.60	1.19	0.72	3.2	1.90E-07	7.80E-08										10.2	8.5	7.9	5.7	37.1	0.3	6.7	2.28	4.0		60.0	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	40.5	17.4	1.172	2.74	37.00	20.10	16.90	1.22	0.63	3.7	5.03E-03	5.58E-04				0.1	2.0	3.8	26.6	27.9	34.6	5.0	10.7	14.5	7.8	8.7		1.2	15.7	1.37	5.5		60.0	6.0		5.5
②$_{2b}$	粉、细砂夹淤泥	23.2	18.9	0.724	2.69	28.30	16.70	11.60	0.37	0.29	6.3	(2.0E-4)	(5.0E-4)				0.2	1.0	10.1	37.9	13.0	37.3	0.5	7.0	22.0	4.5	17.5		4.2	30.9	0.80	11.8		140.0	14.0		
②$_3$	淤泥	60.3	16.0	1.714	2.76	52.70	28.20	24.50	1.31	1.41	2.0	4.50E-07	(5.0E-7)										10.4	8.5	7.6	3.6	24.3	0.8	13.6	1.73	3.0		40.0	40.0		4
③$_1$	淤泥质粘土	46.3	17.0	1.323	2.75	42.90	23.00	19.90	1.17	0.93	2.5	(4.0E-7)	(4.0E-7)										12.1	9.8	8.4	5.5	43.0	1.1	16.0	1.45			60.0	6.0		6
③$_2$	粘土	44.0	17.2	1.265	2.76	47.70	25.60	22.20	0.83	0.84	2.7	(1.0E-7)	(1.0E-7)											10.2	10,7	6.5	36.1	1.7	28.4	1.67			70.0	16.0		
④$_3$	圆砾													7.2	19.1	23.3	12.7	10.8	5.0	4.8	1.2	16.0			(32)		(32)		17.7	70.0	0.45		25.6	300.0	35	1500	
⑩$_2$	强风化凝灰岩																																	600	70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																																	2000	100	3000	
							注：（＊）为经验值，供设计参考。																																

3.4.5 桐浦塔山至澄头段防洪堤工程地质条件及评价

桐浦塔山至澄头段防洪堤主要位于桐浦镇飞云江左岸，全长 2.55km，20 年一遇。

初步设计阶段，共布置 2 条勘探纵剖面，5 条勘探横剖面，钻孔 21 只， 静探孔 6 只，十字板孔 3 只(其中利用可研阶段浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司的勘探资料钻孔 2 只、静探孔 2 只，浙江山川有色勘察设计有限公司勘探资料钻孔 2 只)。

本工程堤防沿线场区表层为填土、耕土，上部以海相淤泥质土为主，中部以冲洪积砂砾层为主，底部为基岩。根据钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 8 个大层,20 个工程地质亚层，工程区内总体地层自上而下分述如下：

0_0 塘泥（alQ_4^3）

灰黄色为主，流塑，主要分布于飞云江滩涂、渔塘、池塘顶部，或是河道淤积处，淤积形成，含碎、块石、砾石等，有机质含量较高。土质均匀性差，分布不均匀。少量钻孔中揭示。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，一般粒径 2～10cm，碎块石含量约占 10～60%，块石最大粒径大于 20cm，粘性含量约占 10%，局部含少量人工垃圾。成份杂乱，结构松散，土质均匀性差。钻进较易，孔壁易坍塌。局部零星分布。

0_2 素填土(rQ)

黄色、黄褐色，以粉质粘土为主，粉质粘土可塑～硬可塑状，中等压缩性。含少量块石、碎石，砾石含量约占 10～20%，素填土沿老堤防填筑，土质均匀性较好。局部为村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，饱和，土体为粉质粘土或粘土，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（$al\text{-}lQ_3^4$）

灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，中等～高压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，局含少量粉砂，下部土质略差，下部逐渐过渡为淤泥质土，为粉质粘土与淤泥过渡层。

静力触探试验 qc=0.4MPa～0.5MPa ，fs=27. 1kPa～27.8kPa。

w=40.7%～47.9%；γ=17.1N/cm^3～17.8kN/cm^3；

e = 1.138～1.335；a_v=0.60MPa^{-1}～1.05MPa^{-1}；

E_S=2.2MPa～3.6MPa；

K_V=1.4×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=13.0kPa～16.0kPa，$\varphi_{快}$=5.2°～7.0°；

C $_{固}$=17.0kkPa，$\varphi_{固}$=11.0°。

②$_2$淤泥质粘土（mQ$_4^3$）

灰黄色～灰色，流塑状，高压缩性，土质不均匀，夹粉土或粉砂。场地内局部分布。

静力触探试验 qc=0.2MPa～0.4MPa ，fs=5.6kPa～14.5kPa。

十字板试验成果：Cu=6.630+2.313Z。

w =36.0%～49.2%；γ=16.9N/cm^3～18.0kN/cm^3；

e=1.039～1.385；a_v=0.43MPa^{-1}～1.06MPa^{-1}；

E_S=2.3MPa～4.8MPa；

C $_{快}$=5.5kPa～13.0kPa，$\varphi_{快}$=5.3°～12.5°；

C $_{固}$=18.0kPa，$\varphi_{固}$=11.4°；

C_{uu}=18.8kPa， φ_{uu}=0.6°。

②$_1$淤泥（mQ$_4^2$）

灰色、灰黄色，流塑状，高灵敏度，高压缩性，絮状、厚层状结构，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，夹少量贝壳碎片及腐植物，局部为淤泥质粘土，土层均匀差。有机质含量 Wu=3.4%。场地内大部分地段存在。

静力触探试验 qc=0.4MPa～0.5MPa ，fs=8.8kPa～9.8kPa。

十字板试验成果：Cu=3.038+0.880Z。

w =55.8%～73.1%；γ=15.1N/cm^3～16.1kN/cm^3；

e=1.671～1.162；a_v=1.46MPa^{-1}～2.28MPa^{-1}；E_S=1.3MPa～2.0MPa；

K_h=5.2×10^{-7}cm/s～6.0×10^{-7}cm/s；K_V=4.8×10^{-7}cm/s～5.3×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=6.5kPa～7.5kPa，$\varphi_{快}$=2.7°～3.7°；

C $_{固}$=10.0kPa～12.0kPa，$\varphi_{固}$=8.0°～9.5°；

C_{uu}=7.9kPa～12.4kPa，φ_{uu}=0.3°～0.9°。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂(al-mQ$_4^2$)

灰色～灰褐色， 流塑， 饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。局部为粘质粉土、砂质粉土，有机质含量 Wu=2.4%～

3.2%。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=0.9MPa～1.3MPa ，fs=17.8kPa～22.5kPa。

十字板试验成果：Cu=2.320+2.359Z。

w=32.6%～61.2%；γ=15.8N/cm^3～17.7kN/cm^3；

e=1.000～1.763；a_v=0.63MPa^{-1}～1.36MPa^{-1}；E_S=2.0MPa～3.5MPa；

$C_{快}$=9.5kPa～14.0kPa，$\varphi_{快}$=6.9°～14.2°；

$C_{固}$=11.0kPa～17.0kPa，$\varphi_{固}$=8.6°～12.0°。

②$_{2b}$粉砂夹淤泥(al-mQ$_4^2$)

灰色～灰褐色， 稍密～中密，很湿，中压缩性， 夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质。局部为中砂。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=5.1MPa～6.1MPa ，fs=32.5kPa～36.4kPa。

②$_3$淤泥（mQ$_4^2$）

灰色，流塑状，高灵敏度，高压缩性，鳞片状、厚层状结构，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物。土层均匀性较好。场区分布广泛。

静力触探试验 qc=0.7MPa～0.8MPa ，fs=12.5kPa～13.6kPa。

十字板试验成果：Cu=4.752+0.878Z。

w=51.4%～67.7%；γ=15.3N/cm^3～16.6kN/cm^3；

e=1.502～1.967；a_v=1.06MPa^{-1}～2.44MPa^{-1}；E_S=1.2MPa～2.4MPa；

K_h=6.8×10^{-7}cm/s；K_V=4.8×10^{-7}cm/s；

$C_{快}$=7.0kPa～8.5kPa，$\varphi_{快}$=3.2°～4.9°；

$C_{固}$=9.0kPa～9.5kPa，$\varphi_{固}$=7.6°～8.5°。

C_{uu}=10.8kPa～12.9kPa，φ_{uu}=0.6°～1.1°。

③$_1$淤泥质粘土（mQ$_4^1$）

灰色，流塑，高压缩性，细鳞片状构造，厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质，场地内均有分布。

静力触探试验 qc=1.0MPa～1.1MPa ，fs=17.9kPa～18.0kPa。

w=39.6%～51.6%；γ=16.3N/cm^3～17.7kN/cm^3；

e=1.106～1.161；a_v=0.79MPa^{-1}～1.20MPa^{-1}；E_S=2.0MPa～2.7MPa；

K_h=2.9×10^{-7}cm/s～3.5×10^{-7}cm/s；K_V=2.0×10^{-7}cm/s～4.5×10^{-7}cm/s；

$C_{快}$=4.5kPa～13.0kPa，$\varphi_{快}$=5.5°～11.8°；

$C_{固}$=13.0kPa～15.0kPa，$\varphi_{固}$=10.0°～11.1°。

C_{uu}=16.3kPa～17.2kPa，φ_{uu}=0.8°。

③$_2$ 粘土（mQ_4^1）

灰色，软塑状，高压缩性，主要由粘、粉粒组成，含少量有机质、腐植物，夹少量粉砂，局部粉砂含量较高，鳞片状，土层均匀性较好。

静力触探试验 q_c=0.7MPa～1.1MPa ，fs=15.4kPa～20.2kPa。

w=25.0%～41.0%；γ=17.4N/cm^3～19.5kN/cm^3；

e=0.702～1.159；a_v=0.41MPa^{-1}～0.67MPa^{-1}；E_S=3.1MPa～4.2MPa；

K_h=1.1×10^{-7}cm/s；K_V=1.4×10^{-7}cm/s；

$C_{快}$=24kPa，$\varphi_{快}$=6.4°；

$C_{固}$=19.0kPa～27.5kPa，$\varphi_{固}$=11.1°～25.1°。

③$_3$ 粉、细砂

灰色，稍密～中密，饱和，中压缩性，主要由中砂、粉细砂及粘粉粒组成，砂含量占 60～70%，粘粉粒含量占 30～40%，砂粒成份中以白色石英为主，土层均匀性较差。

静力触探试验 qc=5.4MPa ，fs=22.7kPa。

④$_1$ 粘土（$mQ_3^{2\text{-}2}$）

灰黄色、黄褐色，为第二硬土层，可塑状，中等压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质不均匀，含粉砂，偶见腐植物，局部相变为粘土，局部分布。

w=20.0%～44.5%；γ=17.5N/cm^3～19.9kN/cm^3；

e=0.602～1.228；a_v=0.23MPa^{-1}～0.95MPa^{-1}；E_S=2.3MPa～7.0MPa；

$C_{快}$=20.0kPa～31.0kPa，$\varphi_{快}$=7.7°～24.0°；

$C_{固}$=22.0kPa～27.5kPa，$\varphi_{固}$=10.4°～11.5°。

④$_2$ 粉质粘土（$mQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色，软塑～可塑状，以软塑状为主，高压缩性，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部地段底部夹中、粗砂。

静力触探试验 qc=2.2MPa ，fs=51.2kPa。

w=24.0%～37.4%；γ=16.7N/cm^3～19.4kN/cm^3；

e=0.706～1.223；a_v=0.26MPa^{-1}～0.52MPa^{-1}；E_S=0.5MPa～7.0MPa；

K_h=1.7×10^{-6}cm/s；K_V=2.2×10^{-6}cm/s；

$C_{快}$=15.0kPa～30.0kPa，$\varphi_{快}$=7.3°～25.0°；

$C_{固}$=22.0kPa～34.0kPa，$\varphi_{固}$=12.8°～27.8°。

④$_3$ 圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm 为主，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

静力触探试验 qc=26.4MPa ，fs=21.0kPa。

⑤$_2$ 粉质粘土（mQ_3^{2-1}）

灰色，软塑～软可塑状，中～高压缩性，夹少量贝壳碎屑、粉砂及少量腐殖质，局部含砂量稍高。分布不均匀，场地少量深孔中揭示。

w=20.5%；γ=16.6kN/cm^3；

e=0.601；a_v=0.18MPa^{-1}；E_S=8.9MPa；

⑨$_1$ 含碎石粉质粘土（el-dl-plQ）

灰黄、灰色、黄褐色，残坡洪积成因，属混合类土，主要为粉质粘土、碎石、砾砂组成，粗细颗粒含量不稳定，一般粉质粘土含量约 60%～75%，碎、砾含量约 30%，其余为砂。粉质粘土呈可塑～硬可塑状，中等压缩性。土质不均匀，局部碎、块石含量较高，碎砾石磨圆度较差，分选性差。

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J_3g）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，锤击声哑，易碎，遇水易软化，镐难以挖进，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J_3g）

灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为坚硬岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。天然抗压强度=34.1MPa～70.6MPa；饱和抗压强度=25.1MPa～66.6MPa。

各岩土层层顶埋深、层顶高程、层底埋深、层底高程和层厚详见表 3.4-24 “桐浦塔山至澄头段地层分布统计表”，各岩土层分布情况详见“桐浦塔山至澄头段工程地质剖面图”。

表 3.4-24　　桐浦塔山至澄头段地层分布统计表

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m)　最大～最小
0_0	淤泥	0.00～0.00	1.70～-0.45	0.80～0.80	0.90～-1.25	0.80～0.80
0_1	杂填土	0.00～0.00	4.90～3.28	5.60～0.60	3.74～-1.61	5.60～0.60
0_3	耕土	0.00～0.00	3.69～1.30	0.60～0.20	3.17～1.10	0.60～0.20
①$_1$	粉质粘土	2.30～0.00	4.50～2.43	5.00～1.90	2.20～-0.27	3.50～1.30
①$_2$	淤泥质粘土	4.10～0.80	2.67～-1.25	7.90～2.30	-0.52～-3.54	5.50～1.50
②$_1$	淤泥	7.90～0.50	2.45～-3.54	23.00～3.80	0.50～-18.86	19.20～1.70
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	7.50～3.00	1.00～-2.93	11.50～6.60	-2.60～-7.50	6.40～0.90
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	9.90～4.00	-2.71～-5.55	21.50～12.90	-9.23～-18.55	13.00～5.10
②$_3$	淤泥	23.00～7.80	-3.30～-18.86	34.90～13.50	-9.00～-30.76	13.60～4.30
③$_1$	淤泥质粘土	27.70～15.00	-10.53～-26.00	34.90～25.70	-21.23～-30.80	29.10～3.10
③$_2$	粘土	33.00～12.90	-9.23～-29.81	36.70～17.55	-13.88～-33.51	11.70～3.70
③$_3$	粉、细砂	36.70～32.50	-30.54～-33.51	41.40～36.30	-33.94～-38.21	4.70～3.40
④$_1$	粘土	31.00～25.70	-21.23～-28.85	33.00～29.20	-25.03～-30.05	4.60～1.20
④$_2$	粉质粘土	41.40～29.20	-25.03～-38.21	49.50～32.20	-27.73～-45.90	11.50～2.70
④$_3$	圆砾	49.50～36.40	-36.85～-45.90	39.20～39.20	-39.65～-39.65	7.90～0.10
④$_{3g}$	粗砂夹粉质粘土	35.50～35.50	-32.22～-32.22	～	～	3.25～3.25
⑤$_2$	粉质粘土	39.20～39.20	-39.65～-39.65	47.40～47.40	-47.85～-47.85	8.20～8.20
⑨$_1$	含碎石粉质粘土	20.95～13.50	-9.00～-17.33	17.20～17.20	-12.70～-12.70	3.70～0.05
⑩$_2$	强风化凝灰岩	39.60～0.20	1.10～-36.65	40.90～0.90	0.40～-37.95	2.10～0.50
⑩$_3$	弱风化凝灰岩	47.40～0.80	3.74～-47.85	～	～	8.20～2.80

3.4.5.3　水文地质

拟建防洪堤沿线地下水位受河水和潮水的变化而变动。勘察场地地下水主要有孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水，地表水与地下水相互补充。

孔隙潜水赋存于上部填土、冲海积粘性土地层中，水量较贫乏，渗流条件差，主要接受大气降水和江水的补给，以蒸发方式和向地势低洼处排泄。

承压水分布于冲洪积成因的中、细砂和砂砾石组成，埋深较深、且上部有的粘性土隔水层。场区内含水层主要有②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂夹淤泥、③$_3$粉细砂和④$_3$圆砾。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂夹淤泥，埋藏较浅，为微承压水，含水层分分布范围有限，厚度较小，水量有限，渗透性较好，与地表水体联通性较好。隔水层为上部淤泥质土和粘土。③$_3$粉、细砂和④$_3$圆砾、卵石埋藏深，分布范围及厚度较大，富水性较大，

渗透性较好。隔水层为厚度很大的淤泥质土、粘土和粉质粘土。

承压含水层主要接受上游含水层的侧向补给及越流补给，通过人工抽汲等方式排泄。根据《2021 年温州市地质环境公报》发布，本区孔隙承压水水位高程-9.11～-11.74m，处于弱上升区内。结合本场地水文地质资料，该场地承压水水头远低于地表潜水位，承压水动态较稳定，水位年变幅在 0.5m 左右。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

基岩裂隙水赋存于岩石风化与构造裂隙中，一般呈网状、树叉状分布，其总体水量不大，赋水性较差，主要接受大气降水及上覆残坡积层孔隙潜水的入渗补给，水位受松散层厚度及地貌形态影响较大，无稳定的地下水位。

勘察期间观测得稳定水位埋深为 0.30～3.50m，水位高程为 0.64～3.63m。地下水位埋深较浅，具明显的季节相关性且受潮水位影响，地下水位变幅较大。

3.4.5.4　地基土工程地质特性评价

勘察深度范围内根据野外钻探、原位测试结合室内土工试验成果，拟建防洪堤沿线地基土为 0_0 塘泥、0_1 杂填土、0_2 层素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、③$_3$ 粉、细砂、④$_1$ 粘土、④$_2$ 粉质粘土、④$_3$ 圆砾、⑤$_2$ 粉质粘土和⑨$_1$ 含碎石粉质粘土和⑩凝灰岩。

根据《堤防工程地质勘察规程》附录 C 综合判定：堤基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_3 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 杂填土，松散～稍密状，含大量生活垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

0_2 素填土，沿老堤防或是道路呈线状分布，以可塑～硬可塑状粉质粘土为主，中压缩性为主，土质均匀性较好。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$粉砂夹淤泥、③$_3$粉、细砂、稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，工程性质一般。

③$_2$粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_1$粘土，硬可塑～软可塑状，中压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层，但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，层位稳定，厚度大，该层可联合④$_1$粉质粘土共同做为建筑物桩端土层。

④$_3$圆砾，中密状～密实，低压缩性，层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层。

⑤$_2$粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，埋藏深度大。

⑨$_1$含碎石粉质粘土：可塑～硬可塑，中压缩性，土质不均匀，厚度变化大，工程性质一般。

⑩$_2$层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩$_3$层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

3.4.5.5 基础方案分析与建议

一、抗滑稳定性评价

0$_0$塘泥，0$_1$杂填土，0$_3$耕土，高压缩性，工程性质差；①$_1$层粉质黏土，软塑～可塑，中偏高压缩性，物理力学性质一般，工程性质一般；①$_2$淤泥质粘土、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥和③$_1$淤泥质粘土，均为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、排水固结条件差、变形量大的软弱土层，厚度大，为场区内的主要压缩土层，也是影响河道岸坡稳定的主要控制层，建议设计进行抗滑稳定验算，堤基开挖时应采取相应的工程措施予以保护。

二、渗透性评价

场地内地下水与地表水水力联系紧密，地下水位受潮水位变化较大，场地内②$_{2a}$淤泥夹粉砂，分布范围、厚度较大，松散～稍密，弱透水性。②$_{2a}$淤泥夹粉砂不均匀系数Cu＜5，土的渗透变形为流土，允许水利坡降 0.35。堤基开挖揭示该层时，建议堤基开挖后及时进行处理。

三、抗冲刷性评价

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对堤身及地基的冲蚀。防洪堤沿线地段地基土为软

可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷性能差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀。建议采取镇压防冲措施。

四、基础方案建议

1）拟建堤防沿线勘察深度范围内存在①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥，这些地层厚度大，高压缩性，该层承载力低，不能直接做天然地基持力层，如防洪堤置于该层时，建议采取适当的处理措施。

2）由于该段地处海陆交互相有深厚的海相软土地区过渡地带，沉积环境较为复杂，软土分布厚度变化大，对堤防稳定、沉降影响不一。在水闸等交叉建筑地段，应采取适当的衔接措施，以控制不均匀变形。

3）建议开挖边坡：①$_1$ 层粉质粘土 1:3.0～1:3.5；①$_2$ 层淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥 1:5.0～6.0；②$_{2a}$ 层淤泥夹粉砂 1:3.5～1:4.0。

4）建议①$_1$ 层粉质黏土允许不冲流速［v_0］＝0.60m～0.70m/s；①$_2$ 层淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥允许不冲流速［v_0］＝0.35m/s～0.40m/s；②$_{2a}$ 层淤泥夹粉砂允许不冲流速［v_0］＝0.26m/s～0.30m/s。

5）建议土层允许渗流坡降：①$_1$ 层粉质黏土：水平段 0.35，出口段 0.65；①$_2$ 层淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥：水平段 0.30，出口段 0.60；②$_{2a}$ 层淤泥夹粉砂：水平段 0.1，出口段 0.30；②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥：水平段 0.05，出口段 0.25。

3.4.5.5 各岩土层物理力学参数

根据野外钻探、原位测试和室内土工试验成果，经综合分析，统计计算出各土层物理力学性质指标，结合地区经验，查阅相关规范提出各岩土层物理力学指标建议值。各土层物理力学指标统计详见表 3.4-25～表 3.4-28 “桐浦段地基土地物理力学指标数理统计表”，各土层物理力学指标建议值详见表 3.4-29 “桐浦段基地土物理力学指标设计参数表”。

表 3.4-25　　桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-5　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（塔山~澄头段）　　第1页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析		颗粒分析								固结试验		快剪		固快		UU		原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60~40	40~20	20~10.0	10~2.0	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	0.075~0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
0-1	杂填土	统计频数	1	1										3	3	3	3	3	3	3	3	3										2	2		
		最大值	40.9	17.5										14.5	17.4	15.3	11.5	12.6	8.3	11.7	17.3	44.2										0.1	0.5		
		最小值	40.9	17.5										0.0	0.0	1.4	6.6	6.4	2.1	3.5	1.2	29.8										0.1	0.3		
		平均值	40.9	17.5										4.8	7.2	8.5	8.3	8.8	5.3	8.7	9.0	39.3										0.1	0.4		
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
0-3	耕土	统计频数																													2	2		
		最大值																													0.5	17.4		
		最小值																													0.5	16.7		
		平均值																													0.5	17.1		
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
①1	粉质粘土	统计频数	4	4	4	4	4	4	4	4	4		1											4	4	3	3	1	1			3	3	3	
		最大值	47.9	17.8	2.76	1.335	100.0	50.6	27.1	0.90	23.5		1.40E-07											1.05	3.6	7.0	16.0	11.0	17.0			0.5	27.8	4.0	
		最小值	40.7	17.1	2.75	1.138	97.6	44.4	23.9	0.82	20.5		1.40E-07											0.60	2.2	5.2	13.0	11.0	17.0			0.4	27.1	3.0	
		平均值	44.9	17.6	2.76	1.223	99.0	47.8	25.6	0.87	22.2		1.40E-07											0.79	2.9	6.1	14.3	11.0	17.0			0.5	27.5	3.3	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
①2	淤泥质粘土	统计频数	8	8	8	8	8	8	8	8	8													8	8	7	7	1	1	1	1	4	4	5	
		最大值	49.2	18.0	2.75	1.385	100.0	45.1	24.2	1.36	20.9													1.06	4.8	12.5	13.0	11.4	18.0	18.8	0.6	0.4	14.5	6.0	
		最小值	36.0	16.9	2.73	1.039	94.5	32.0	18.1	1.13	13.9													0.43	2.3	5.3	5.5	11.4	18.0	18.8	0.6	0.2	5.6	2.0	
		平均值	42.2	17.6	2.74	1.178	97.6	38.4	20.8	1.22	17.6													0.75	3.1	6.9	11.2	11.4	18.0	18.8	0.6	0.3	9.2	3.0	
		标准差	4.8	0.4	0.01	0.129	2.1	5.0	2.5	0.07	2.5													0.19	0.8	2.5	2.6								
		变异系数	0.114	0.025	0.004	0.110	0.022	0.130	0.119	0.061	0.144													0.256	0.256	0.283	0.231								
		修正系数	1.077	0.983	0.998	1.074	1.015	0.912	0.920	1.041	1.098													1.173	0.827	0.732	0.829								
		标准值	45.4	17.3	2.73	1.266	99.1	35.0	19.1	1.27	19.3													0.88	2.5	5.0	9.3								

表 3.4-26　　桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-5　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（塔山~澄头段）　　第2页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析		颗粒分析								固结试验		快剪		固快		UU		原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
②1	淤泥	统计频数	24	24	24	24	24	24	24	24	24	2	2											24	24	18	18	6	6	5	5	2	2	8	
		最大值	73.1	16.1	2.76	2.093	100.0	56.8	31.4	1.69	25.7	6.00E-07	5.30E-07											2.28	2.0	3.7	7.5	9.5	12.0	12.4	0.9	0.5	9.8	5.0	
		最小值	55.8	15.1	2.76	1.671	92.2	50.4	27.0	1.23	23.4	5.20E-07	4.80E-07											1.46	1.3	2.7	6.5	8.0	10.0	7.9	0.3	0.4	8.8	1.0	
		平均值	68.0	15.5	2.76	1.927	97.4	54.5	29.3	1.54	25.2	5.60E-07	5.05E-07											1.81	1.6	3.3	7.3	8.5	10.7	10.0	0.5	0.5	9.3	2.6	
		标准差	3.9	0.3	0.00	0.103	2.2	1.3	1.0	0.11	0.5													0.21	0.2	0.3	0.3	0.5	0.8					1.2	
		变异系数	0.058	0.016	0.000	0.054	0.022	0.024	0.033	0.073	0.018													0.117	0.098	0.093	0.043	0.061	0.071					0.452	
		修正系数	1.022	0.994	1.000	1.020	1.008	0.991	0.988	1.027	1.007													1.044	0.963	0.961	0.982	0.950	0.942					0.694	
		标准值	69.5	15.4	2.76	1.966	98.2	54.0	28.9	1.58	25.4													1.89	1.6	3.1	7.1	8.1	10.0					1.8	
②2a	淤泥夹粉砂	统计频数	5	5	5	5	5	5	5	5	5													5	5	2	2	3	3			2	2	2	
		最大值	61.2	17.7	2.76	1.763	100.0	53.0	28.4	1.35	24.6													1.36	3.5	14.2	14.0	12.0	17.0			1.3	22.5	8.0	
		最小值	32.6	15.8	2.73	1.000	89.0	35.7	20.0	0.80	15.7													0.63	2.0	6.9	9.5	8.6	11.0			0.9	17.8	5.0	
		平均值	49.5	16.8	2.75	1.416	95.3	45.1	24.4	1.18	20.8													0.95	2.7	10.6	11.8	9.8	13.2			1.1	20.1	6.5	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
②2b	粉、细砂夹淤泥	统计频数																19	19	19	19	19										2	2	9	
		最大值																2.0	31.8	62.1	33.4	45.3										6.1	36.4	13.0	
		最小值																0.0	1.5	18.4	0.9	25.4										5.1	32.5	2.0	
		平均值																0.9	12.7	38.1	12.9	35.4										5.6	34.4	9.0	
		标准差																																3.9	
		变异系数																																0.434	
		修正系数																																0.728	
		标准值																																6.6	
②3	淤泥	统计频数	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	1											11	11	9	9	2	2	2	2	2	2	2	
		最大值	67.7	16.6	2.76	1.967	100.0	54.9	29.4	1.53	25.5	6.80E-07	4.80E-07											2.44	2.4	4.9	8.5	8.5	9.5	12.9	1.1	0.8	13.6	2.0	
		最小值	51.4	15.3	2.76	1.502	94.1	46.6	25.0	1.20	21.6	6.80E-07	4.80E-07											1.06	1.2	3.2	7.0	7.6	9.0	10.8	0.6	0.7	12.5	2.0	
		平均值	57.4	16.1	2.76	1.639	96.5	51.2	27.4	1.26	23.8	6.80E-07	4.80E-07											1.39	2.0	4.1	7.8	8.1	9.3	11.9	0.9	0.8	13.1	2.0	
		标准差	4.6	0.3	0.00	0.127	1.9	2.6	1.4	0.09	1.2													0.38	0.3	0.4	0.6								
		变异系数	0.080	0.020	0.000	0.077	0.020	0.051	0.050	0.074	0.052													0.271	0.157	0.108	0.073								
		修正系数	1.044	0.989	1.000	1.043	1.011	0.972	0.972	1.041	1.029													1.150	0.913	0.932	0.955								
		标准值	59.9	16.0	2.76	1.709	97.6	49.8	26.6	1.31	24.5													1.59	1.8	3.8	7.4								

表 3.4-27　　桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-5　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（塔山~澄头段）　　第3页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析		颗粒分析								固结试验		快剪		固快		UU		原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
③1	淤泥质粘土	统计频数	12	12	12	12	12	12	12	12	12	2	2											12	12	8	8	4	4	2	2	2	2	4	
		最大值	51.6	17.7	2.76	1.461	100.0	46.4	24.9	1.37	21.5	3.50E-07	4.50E-07											1.20	2.7	11.8	13.0	11.1	15.0	17.2	0.8	1.1	18.0	5.0	
		最小值	39.6	16.3	2.73	1.106	90.3	33.8	18.2	1.13	15.6	2.90E-07	2.00E-07											0.79	2.0	5.5	4.5	10.0	13.0	16.3	0.8	1.0	17.9	3.0	
		平均值	47.2	17.0	2.75	1.331	97.4	43.3	23.2	1.20	20.1	3.20E-07	3.25E-07											0.99	2.4	6.9	10.8	10.6	14.3	16.8	0.8	1.0	18.0	3.5	
		标准差	3.4	0.4	0.01	0.109	3.0	3.5	1.8	0.06	1.6													0.13	0.2	2.1	2.7								
		变异系数	0.072	0.026	0.002	0.082	0.030	0.080	0.079	0.053	0.082													0.127	0.082	0.299	0.251								
		修正系数	1.038	0.986	0.999	1.043	1.016	0.958	0.958	1.028	1.043													1.066	0.957	0.798	0.831								
		标准值	49.0	16.8	2.75	1.388	98.9	41.5	22.3	1.23	20.9													1.05	2.3	5.5	9.0								
③2	粘土	统计频数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1	1											6	6	1	1	5	5			3	3	2	
		最大值	41.0	19.5	2.76	1.159	100.0	46.6	25.0	0.83	21.6	1.10E-06	1.40E-07											0.67	4.2	6.4	24.0	25.1	27.5			1.1	20.2	3.0	
		最小值	25.0	17.4	2.71	0.702	86.7	28.6	17.2	0.62	11.4	1.10E-07	1.40E-07											0.41	3.1	6.4	24.0	11.1	19.0			0.7	15.4	2.0	
		平均值	34.9	18.0	2.75	1.022	93.4	40.7	22.2	0.68	18.5	1.10E-07	1.40E-07											0.60	3.4	6.4	24.0	14.1	24.7			0.9	17.4	2.5	
		标准差	5.8	0.8	0.02	0.162	4.8	6.4	2.8	0.08	3.7													0.10	0.4										
		变异系数	0.165	0.043	0.006	0.159	0.051	0.158	0.124	0.111	0.199													0.161	0.112										
		修正系数	1.136	0.965	0.995	1.131	1.042	0.870	0.897	1.091	1.164													1.133	0.908										
		标准值	39.6	17.4	2.73	1.155	97.4	35.4	19.9	0.75	21.6													0.68	3.1										
③3	粉、细砂	统计频数														6	6	6	7	7	7	7										1	1	2	
		最大值														2.1	4.2	17.1	33.2	38.1	34.7	45.2										5.4	22.7	19.0	
		最小值														0.0	0.0	0.0	4.8	8.3	1.4	33.7										5.4	22.7	18.0	
		平均值														0.4	1.4	6.0	14.2	21.0	19.4	37.6										5.4	22.7	18.5	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
④1	粘土	统计频数	6	6	6	6	6	6	6	6	6													6	6	3	3	3	3					2	
		最大值	44.5	19.9	2.76	1.228	100.0	48.8	26.2	0.81	22.6													0.95	7.0	24.0	31.0	11.5	27.5					12.0	
		最小值	20.0	17.5	2.71	0.602	85.9	27.3	16.0	0.35	11.3													0.23	2.3	7.7	20.0	10.4	22.0					10.0	
		平均值	33.4	18.7	2.74	0.926	96.0	39.8	22.0	0.60	17.7													0.52	4.4	18.0	24.3	11.1	25.2					11.0	
		标准差	10.2	0.9	0.02	0.245	6.3	9.6	4.6	0.17	5.1													0.27	1.7										
		变异系数	0.306	0.047	0.008	0.265	0.066	0.241	0.208	0.284	0.285													0.518	0.386										
		修正系数	1.252	0.961	0.993	1.218	1.054	0.801	0.828	1.234	1.235													1.428	0.681										
		标准值	41.9	18.0	2.72	1.129	101.2	31.9	18.3	0.75	21.9													0.74	3.0										

表 3.4-28　　桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-5　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（塔山~澄头段）　　第4页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标											颗粒分析		颗粒分析								固结试验		快剪		固快		UU		原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10.0	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
④2	粉质粘土	统计频数	13	13	13	13	13	13	13	13	13	1	1			2	2	2	2	2	2	2		12	13	11	11	2	2			1	1	6	
		最大值	37.4	19.4	2.75	1.223	100.0	44.8	24.0	0.73	20.8	1.70E-06	2.20E-06			20.2	13.5	12.9	10.7	9.4	5.6	39.0		0.52	7.0	25.0	30.0	27.8	34.0			2.2	51.2	17.0	
		最小值	24.0	16.7	2.72	0.706	84.1	30.8	18.1	0.45	12.7	1.70E-06	2.20E-06			15.4	8.4	11.8	8.7	9.2	1.4	33.8		0.26	0.5	7.3	15.0	12.8	22.0			2.2	51.2	3.0	
		平均值	30.5	18.7	2.74	0.880	94.7	37.0	20.2	0.61	16.8	1.70E-06	2.20E-06			17.8	11.0	12.4	9.7	9.3	3.5	36.4		0.38	4.7	18.4	22.1	20.3	28.0			2.2	51.2	7.8	
		标准差	4.4	0.8	0.01	0.144	5.4	4.5	2.1	0.10	2.5													0.08	1.5	7.2	5.2							5.8	
		变异系数	0.145	0.043	0.004	0.164	0.057	0.121	0.104	0.163	0.146													0.202	0.320	0.389	0.234							0.742	
		修正系数	1.072	0.979	0.998	1.082	1.028	0.939	0.948	1.081	1.073													1.106	0.840	0.785	0.871							0.388	
		标准值	32.7	18.3	2.73	0.952	97.3	34.8	19.2	0.66	18.0													0.42	4.0	14.5	19.2							3.0	
④3	圆砾	统计频数												5	5	5	5	5	5	5	5	5										1	1		27
		最大值												8.2	15.8	27.4	14.5	47.1	24.7	13.8	1.9	30.6										26.4	21.0		38.0
		最小值												0.0	0.0	0.9	5.3	13.5	6.8	2.5	1.1	20.5										26.4	21.0		8.0
		平均值												1.6	8.2	12.5	9.8	20.7	13.2	6.1	1.5	26.3										26.4	21.0		20.8
		标准差																																	6.9
		变异系数																																	0.333
		修正系数																																	0.889
		标准值																																	18.5
⑤2	粉质粘土	统计频数	1	1	1	1	1	1	1	1	1													1	1										
		最大值	20.5	20.0	2.71	0.601	92.5	27.4	16.1	0.39	11.3													0.18	8.9										
		最小值	20.5	20.0	2.71	0.601	92.5	27.4	16.1	0.39	11.3													0.18	8.9										
		平均值	20.5	20.0	2.71	0.601	92.5	27.4	16.1	0.39	11.3													0.18	8.9										
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
⑨1	含碎石粉质粘土	统计频数																																	
		最大值																																	
		最小值																																	
		平均值																																	
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	

表 3.4-29　　桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标设计参数表

工程编号：FYJ-5　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（塔山~澄头段）　　第1页/共1页

地层编号	地层名称	含水量	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		粒径范围									固快法		快剪法		原位测试				地基参数			
												水平	垂直	>60 (mm)	60~40 (mm)	40~20 (mm)	20~10 (mm)	10~2 (mm)	2~0.5 (mm)	0.5~0.25 (mm)	0.25~0.075 (mm)	0.075~0.005 (mm)	<0.005 (mm)	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入击数	重型动探击数	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
																																桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_θ	γ	e_θ	G_S	ω_L	ω_p	I_p	I_L	a_{1-2}	E_{s1-2}	Kh	Kv											c	ϕ	c	ϕ	q_c	f_s	N	$N_{63.5}$	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(kN/m³)			(%)	(%)			(MPa⁻¹)	(MPa)	cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/10cm)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	淤泥																																		
0-1	杂填土	40.9	17.5																							0.1	0.4								
0-2	素填土																							10.7	14.5	7.8	8.7								
0-3	耕土											(1.0E-5)	(1.0E-5)															0.5	17.1						
①$_1$	粘土	44.9	17.6	1.223	2.76	47.80	25.60	22.20	0.87	0.78	2.9	(1.0E-7)	1.40E-07											13.6	8.7	10.0	6.0	0.5	27.5	3.3		80	8		10
①$_2$	淤泥质粘土	42.2	17.6	1.178	2.74	38.40	20.80	17.60	1.22	0.75	3.1	(5.0E-6)	(5.0E-6)											10.0	8.0	7.4	5.0	0.3	9.2	4.2		60	6.5		6
②$_1$	淤泥	68.0	15.5	1.927	2.76	54.50	29.30	25.20	1.54	1.81	1.6	5.60E-07	5.05E-07											9.2	6.1	7.1	3.1	0.5	9.3	2.6		45	4		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	49.5	16.8	1.416	2.75	45.10	24.40	20.80	1.18	0.95	2.7	(6.0E-4)	(5.0E-4)											10.2	7.8	8.2	7.4	1.1	20.1	6.5		55	5.5		5.5
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥											(2.0E-4)	(5.0E-4)					0.9	12.7	38.1	12.9	35.4		7.0	20.0	4.5	16.5	5.6	34.4	9.0		120	12		
②$_3$	淤泥	57.4	16.1	1.639	2.76	51.20	27.40	23.80	1.26	1.39	2.0	6.80E-07	4.80E-07											9.3	6.5	7.4	3.8	0.8	13.1	2.0		40	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	47.2	17.0	1.331	2.75	43.30	23.20	20.10	1.20	0.99	2.4	3.20E-07	3.25E-07											12.1	8.6	9.0	5.5	1.0	18.0	3.5		60	6		6
③$_2$	粘土	34.9	18.0	1.022	2.75	40.70	22.20	18.50	0.68	0.60	3.4	1.10E-07	1.40E-07											16.1	11.2	13.4	6.4	0.9	17.4	2.5		80	17		
③$_3$	粉、细砂											(1.0E-3)	(1.0E-3)			0.4	1.4	6.0	14.2	21.0	19.4	37.6			(24.0)		(24.0)	5.4	22.7	18.5		170	20		
④$_1$	粘土	33.4	18.7	0.926	2.74	39.80	22.00	17.70	0.60	0.51	4.4	(1.0E-7)	(1.0E-7)											17.6	11.1	12.8	9.0			11.0		120	21		
④$_2$	粉质粘土	30.5	18.7	0.880	2.74	37.00	20.20	16.80	0.61	0.38	4.7	1.70E-06	2.20E-06			17.8	11.0	12.4	9.7	9.3	3.5	36.4				19.2	14.5	2.2	51.2	7.8		120	22		
④$_3$	圆砾													1.6	8.2	12.5	9.8	20.7	13.2	6.1	1.5	26.3						26.4	21.0		20.8	280	35	1400	
⑤$_2$	粉质粘土	20.5	20.0	0.601	2.71	27.40	16.10	11.30	0.39	0.18	8.9																					130	25		
⑨$_1$	含碎石粉质粘土																															110	16		
⑩$_2$	强风化凝灰岩																															600	60		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																															2000	90	2800	
						注：（*）为经验值，供设计参考。																														

3.4.6 白莲段防洪堤工程地质条件及评价

白莲段防洪堤主要位于潘岱街道飞云江左岸，全长约 2.70km，20 年一遇。

初步设计阶段，共布置 1 条勘探纵剖面，7 条勘探横剖面，钻孔 23 只，静探孔 5 只，十字板孔 4 只，(其中利用可研阶段钱塘江管理局设计院的勘探资料钻孔 2 只、浙江山川有色勘察设计有限公司的勘探资料钻孔 2 个)。

3.4.6.1 白莲段防洪堤现状

本段位于飞云江左岸，本段防洪堤起点位于瑞安检测站西侧，终点至铁路桥（潘岱）止。本段防洪堤起点和终点附近处，少量厂房分布，其余地段为荒地（种有桔树）和滩涂，局部为农田。该段防洪堤位于飞云江的凸岸，堤线总体自南向北设置。场地沿线为海积平原地貌，地势总体西北高南东低，地面高程 3.00~5.00m。场区沿线为自然岸坡。

图 3.4-15　白莲段七国垟水闸下游现状

河岸以堆积为主，河底最深处达-4.3m 左右，为感潮河段，高潮位时，潮水溯江而上。地下水位受河水和潮水的变化而变动很大。地下水的主要类型为孔隙水，靠山地区存在基岩裂隙水。地表水与地下水相互补充。

3.4.6.2 地层岩性

本工程堤防沿线场区表层为填土，上部以海相淤泥质土为主，局部为冲海积粉细砂，中部以冲洪积砂砾层为主，底部为基岩。

根据钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 10 个大层,12 个工程地质亚层，工程区内总体地层自上而下分述如下：

0_0 塘泥（alQ_4^3）

灰黄色为主，流塑，主要分布于飞云江滩涂、渔塘、池塘顶部，或是河道淤积处，

淤积形成，杂质含量较多，含碎、块石、砾石等，有机质含量较高。土质均匀性差，分布不均匀。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，碎块石含量约占 10～70%，一般粒径 2～10cm，块石最大粒径大于 20cm，粘性含量约占 10%，局部含少量人工垃圾。成份杂乱，结构松散，分布规律性较差，土质均匀性差。钻进较易，孔壁易坍塌。沿线大部分地段分布。

0_2 素填土(rQ)

黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由砾石、黏性土组成，含少量块石、碎石，局部为村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。素填土岩性以粉质粘土为主，粉质粘土可塑～硬可塑状，中等压缩性。砾石含量约占 10～20%，土质均匀性较好。呈条带状分布，工程性质较差。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，饱和，土体为粉质粘土或粘土，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_3^4）

灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，中等～高压缩性，切面稍有泽，韧性一般，干强度一般，摇振反应无，含少量铁锰结核和氧化斑点，下部土质略差，下部逐渐过渡为淤泥质土，为粉质粘土与淤泥过渡层。

静力触探试验 qc=0.4MPa~0.5MPa，fs=19.2kPa~27.2kPa。

w =26.1%～34.0%；γ=17.6N/cm^3～19.0kN/cm^3；

e = 0.781～1.014；a_v =0.31MPa^{-1}～0.55MPa^{-1}；

E_S=3.6MPa～5.7MPa；

K_h=2.2×10^{-6}cm/s～5.1×10^{-6}cm/s；K_V=3.3×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=10.0kPa～15.5kPa，$\varphi_{快}$=6.2°～15.8°；

C $_{固}$=13.5kPa～15.5kPa，$\varphi_{固}$=19.0°～22.0；

C_{uu}=11.2kPa，φ_{uu}=3.8°。

①$_2$ 淤泥质粘土（mQ_4^3）

灰黄色～灰色，流塑状，高压缩性，高韧性，干强度高，土质均匀，。场地内局部分布。

静力触探试验 qc=0.4MPa，fs=9.1kPa。

w=43.0%～47.5%；γ=16.9N/cm^3～17.9kN/cm^3；

e = 1.155～1.318；a_v=0.57MPa^{-1}～1.13MPa^{-1}；

E_S=2.0MPa～3.9MPa；

C $_{快}$=7.5kPa～12.0kPa，$\varphi_{快}$=4.0°～6.2°；

C $_{固}$=10.5kPa～11.0kPa，$\varphi_{固}$=11.7～12.0°；

C_{uu}=15.7kPa～18.2kPa，φ_{uu}=0.6°～1.1°。

②$_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色、灰黄色，流塑状，絮状、厚层状结构，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，夹少量贝壳碎片及腐植物，切面光滑，干强度高，土层均匀性好，高灵敏度，高压缩性。局部分布。

静力触探试验 qc=0.4MPa~0.8MPa，fs=6.8kPa~17.8kPa。

w=57.4%～69.2%；γ=15.7N/cm^3～16.5kN/cm^3；

e = 1.592～1.919；a_v=1.15MPa^{-1}～2.05MPa^{-1}；

E_S=1.4MPa～2.3MPa；

K_V=5.6×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=6.5kPa～8.5kPa，$\varphi_{快}$=2.4°～4.0°；

C $_{固}$=10.0kPa，$\varphi_{固}$=7.7°。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。局部为粘质粉土、砂质粉土。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=0.2MPa~0.8MPa，fs=6.8kPa~17.9kPa。

十字板试验成果：Cu=14.913+0.497Z。

w=31.2%～43.9%；γ=17.2N/cm^3～18.1kN/cm^3；

e = 0.975～1.261；a_v=0.32MPa^{-1}～0.91MPa^{-1}；

E_S=2.4MPa～6.2MPa；

Kh=2.4×10^{-5}cm/s～6.1×10^{-4}cm/s；KV=1.8×10^{-5}cm/s～3.2×10^{-5}cm/s；

C $_{快}$=11.5kPa～15.5kPa，$\varphi_{快}$=6.1°～12.2°；

C $_{固}$=8.5kPa～20.0kPa，$\varphi_{固}$=10.7°～21.2°；

C_{uu}=14.9kPa～16.2kPa，φ_{uu}=8.5°～20.0°。

②$_{2b}$粉细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，很湿，中压缩性，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质。局部为中砂。场地内大部分地段分布。

静力触探试验 qc=1.3MPa~4.9MPa，fs=21.9kPa~37.2kPa。

w=25.0.4%～28.8%；γ=17.8N/cm^3～19.6kN/cm^3；

e = 0.694～0.897；a_v=0.23MPa^{-1}～0.42MPa^{-1}；

E_S=4.2MPa～7.5MPa；

C $_{快}$=7.8kPa～10.2kPa，$\varphi_{快}$=26.5°～34.6°；

C $_{固}$=20.0kPa，$\varphi_{固}$=25.9°。

②$_3$淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑状，高灵敏度，含少量贝壳碎片及腐植物。切面光滑，干强度高，土层均匀性较好，高压缩性，鳞片状、厚层状结构。场区分布广泛。

静力触探试验 qc=0.7MPa~0.8/MPa，fs=12.9kPa~16.4kPa。

十字板试验成果：Cu=5.893+0.825Z。

w=55.0%～69.6%；γ=15.3N/cm^3～16.5kN/cm^3；

e = 1.607～1.997；a_v=1.04MPa^{-1}～1.89MPa^{-1}；

E_S=1.5MPa～2.1MPa；

K_h=4.0×10^{-7}cm/s～5.5×10^{-7}cm/s；K_V=4.2×10^{-7}cm/s～6.4×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=7.0kPa～8.0kPa，$\varphi_{快}$=1.9°～2.9°；

C $_{固}$=10.0kPa～12.0kPa，$\varphi_{固}$=7.6°～9.4°。

C_{uu}=9.4kPa～11.9kPa，φ_{uu}=0.6°～1.1°。

③$_1$淤泥质粘土（mQ_4^1）

灰色，流塑状，细鳞片状构造，厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质，高压缩性，高韧性，干强度高，切面光滑，场地内均有分布。

静力触探试验 qc=1.0MPa~1.1MPa，fs=24.1kPa~26.6kPa。

w=39.6%～51.3%；γ=16.3N/cm^3～18.5kN/cm^3；

e = 1.149～1.486；a_v=0.76MPa^{-1}～1.23MPa^{-1}；

E_S=1.9MPa～2.8MPa；

K_h=6.0×10^{-7}cm/s；

C $_{快}$=9.5kPa～13.0kPa，$\varphi_{快}$=3.5°～6.4°；

C $_{固}$=13.5kPa～15.0kPa，$\varphi_{固}$=9.9°～11.0°；

C_{uu}=14.3kPa～17.8kPa，φ_{uu}=0.3°～2.7°。

③$_2$ 粘土（mQ_4^1）

灰色，软塑状，主要由粘、粉粒组成，含少量有机质、腐植物，具细鳞片状，切面光滑，干强度高，土层均匀性较好，高压缩性。

静力触探试验 qc=1.1MPa~1.3MPa，fs=17.4kPa~30.5kPa。

w=36.0%～42.0%；γ=17.2N/cm^3～18.1kN/cm^3；

e = 1.045～1.208；a_v=0.57MPa^{-1}～0.96MPa^{-1}；

E_S=2.3MPa～3.6MPa；

C $_{快}$=18.0kPa～23.5kPa，$\varphi_{快}$=10.1°～11.6°；

C $_{固}$=22.0kPa～28.0kPa，$\varphi_{固}$=10.1°～11.6°；

C_{uu}=15.1kPa～16.8kPa，φ_{uu}=0.6°～1.4°。

④$_1$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色，为第二硬土层，可塑状，中等压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质较均匀，偶见腐植物，土质不均匀，局部相变为粘土，局部分布。

静力触探试验 qc=1.9MPa~3.7MPa，fs=18.9kPa~49.6kPa。

w=23.1%～36.4%；γ=17.4N/cm^3～19.6kN/cm^3；

e = 0.691～1.107；a_v=0.24MPa^{-1}～0.61MPa^{-1}；

E_S=3.5MPa～7.3MPa；

C $_{快}$=17.0kPa～28.5kPa，$\varphi_{快}$=5.4°～24.3°；

C $_{固}$=20.0kPa～28.0kPa，$\varphi_{固}$=25.6°～31.0°；

C $_{快}$=15.5kPa，$\varphi_{快}$=3.5°。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2-2}$）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 25～50%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 20～40%，0.075～2mm 颗粒含量约占 15%；小于 0.075mm 约占 20%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。丘陵

附近缺失。

静力触探试验 qc=18.0MPa~23.9MPa，fs=50.6kPa~131.7kPa。

④$_{3g}$ 粉质粘土混中粗砂（al-lQ$_3^{2-2}$）

灰色，稍~中密，饱和，中压缩性，主要由细砂和粉质粘土组成，砂含量 60~70%，粘粒含量占 35~40%，部分地段为中砂，砂粒成份中以白色石英为主，土层均匀性较差，呈透镜体分布。

静力触探试验 qc=5.5MPa~9.5MPa，fs=53.5kPa~63.8kPa。

w=24.0%～27.6%；γ=18.0N/cm^3～19.7kN/cm^3；

e = 0.653～0.850；a_v=0.24MPa^{-1}～0.45MPa^{-1}；

E_S=3.9MPa～6.9MPa；

C $_{快}$=6.4kPa～9.0.0kPa，$\varphi_{快}$=22.0 °～40.2 °。

⑨含碎石粉质粘土（el-dl-plQ）

灰黄、灰色、黄褐色，残坡洪积成因，属混合类土，主要为粉质粘土、碎石、砾砂组成，粗细颗粒含量不稳定，一般粉质粘土含量约 60%～75%，碎、砾含量约 30%，其余为砂。粉质粘土呈可塑～硬可塑状，中等压缩性。土质不均匀，局部碎、块石含量较高，碎砾石磨圆度较差，分选性差。

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J$_3$m）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，锤击声哑，易碎，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J$_3$m）

灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为坚硬岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

各岩土层分布情况详见“白莲段工程地质剖面图”。

表 3.4-30　　白莲段地层分布统计表

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m) 最大～最小
0_0	塘泥	0.00～0.00	4.25～-1.62	3.00～0.70	1.25～-2.42	3.00～0.70
0_1	杂填土	3.00～0.00	6.05～1.25	11.00～0.90	5.15～-5.02	11.00～0.90
0_2	素填土	0.00～0.00	3.69～0.42	1.00～0.30	2.69～0.12	1.00～0.30
①$_1$	粉质粘土	7.10～0.00	3.54～-1.60	9.50～2.10	1.68～-4.00	3.60～0.80

地层编号	地 层 名 称	层顶埋深(m) 最大～最小	层顶高程(m) 最大～最小	层底埋深(m) 最大～最小	层底高程(m) 最大～最小	层厚(m) 最大～最小
①$_2$	淤泥质粘土	6.30～1.00	2.69～-0.60	11.10～7.20	-2.49～-5.40	7.90～4.60
②$_1$	淤泥	9.50～0.70	1.94～-4.00	14.10～2.30	-0.09～-8.60	5.60～1.60
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	11.00～2.30	1.13～-5.02	14.40～5.70	-1.79～-9.20	9.10～1.70
②$_{2b}$	粉、细砂夹淤泥	12.40～5.20	-1.79～-8.15	14.00～8.70	-5.95～-10.92	5.30～0.70
②$_3$	淤泥	14.40～8.20	-2.80～-10.92	32.10～12.60	-10.40～-27.28	21.10～3.30
③$_1$	淤泥质粘土	30.20～5.70	-5.29～-26.56	41.00～13.80	-13.39～-35.30	15.90～2.20
③$_2$	粘土	34.90～30.00	-25.69～-30.06	44.80～34.70	-29.49～-41.00	20.80～3.80
④$_1$	粉质粘土	41.50～34.70	-29.49～-35.60	45.00～35.80	-30.59～-39.50	4.15～1.00
④$_3$	圆砾	47.40～35.80	-30.59～-42.65	～	～	7.60～0.15
④$_{3g}$	粉质粘土混中粗砂	45.00～33.30	-29.07～-39.50	47.40～42.50	-38.27～-42.65	10.70～2.40
⑨	含碎石粉质粘土	12.60～12.60	-14.22～-14.22	13.20～13.20	-14.82～-14.82	0.60～0.60
⑩$_2$	强风化凝灰岩	24.60～7.50	-3.10～-26.10	26.30～8.30	-3.90～-27.80	6.50～0.80
⑩$_3$	弱风化凝灰岩	26.30～0.30	5.15～-27.80	～	～	7.70～6.20

3.4.6.3 水文地质

拟建防洪堤沿线地下水位受河水和潮水的变化而变动。勘察场地地下水主要有孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水，地表水与地下水相互补充。

孔隙潜水赋存于上部填土、冲海积粘性土地层中，水量较贫乏，渗流条件差，主要接受大气降水和江水的补给，以蒸发和向地势低洼处排泄。

承压水分布于冲洪积成因的中、细砂和砂砾石组成，埋深较深、且上部有的粘性土隔水层。场区内含水层主要有②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂夹淤泥和④$_3$圆砾。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂，埋藏较浅，为微承压水，含水层分分布范围有限，厚度较小，水量有限，渗透性较好，与地表水体联通性较好。隔水层为上部淤泥质土和粘土。

④$_3$圆砾，埋藏深，分布范围及厚度较大，富水性较大，渗透性较好。隔水层为厚度很大的淤泥质土、粘土和粉质粘土。承压含水层主要接受上游含水层的侧向补给及越流补给，通过人工抽汲等方式排泄。根据《2021 年温州市地质环境公报》发布，本区孔隙承压水水位高程-9.11～-11.74m，处于弱上升区内。结合本场地水文地质资料，该场地承压水水头远低于地表潜水位，承压水动态较稳定，水位年变幅在 0.5m 左右。

根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

基岩裂隙水赋存于岩石风化与构造裂隙中，一般呈网状、树叉状分布，其总体水量不大，赋水性较差，主要接受大气降水及上覆残坡积层孔隙潜水的入渗补给，水位受松散层厚度及地貌形态影响较大，无稳定的地下水位。

勘察期间观测得稳定水位埋深为 0.00～3.20m，水位高程为 1.03～3.98m。地下水位埋深较浅，具明显的季节相关性且受潮水位影响，地下水位变幅较大。

3.4.6.3 工程地质评价

3.4.6.3.1 地基土工程地质特性评价

勘察深度范围内根据野外钻探、原位测试结合室内土工试验成果，拟建防洪堤沿线地基土为 0_0 塘泥、0_1 杂填土、0_2 层素填土、0_3 层耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、④$_1$ 粉质粘土、④$_3$ 圆砾、④$_{3g}$ 粉质粘土混中粗砂、⑨$_1$ 含碎石粉质粘土和⑩凝灰岩。

根据《堤防工程地质勘察规程》附录 C 综合判定：堤基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_3 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 杂填土，松散～稍密状，含大量生活垃圾，呈点状分布，厚度不大，施工时宜挖除。

0_2 素填土，沿道路呈线状分布，以粉质粘土为主，中压缩性为主，土质均匀性一般。

①$_1$ 粉质粘土，可塑状，中等～高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，拟建工防洪堤沿线广泛分布，厚度大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算，必要时应采取有效的措施进行处理。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥，稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深，厚度变化大，工程性质一般。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层位较稳定，厚工大，工程性质差。

④$_1$ 粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可做为拟建防洪堤的桩基持力层。

④$_{3g}$ 粉质粘土混中粗砂呈透镜体分布。

⑨$_1$ 含碎石粉质粘土：可塑，中压缩性，土质不均匀，厚度变化大，工程性质一般。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

3.4.6.3.2 基础方案分析与建议

一、抗滑稳定性评价：

0$_0$ 塘泥，0$_1$ 杂填土，0$_3$ 耕土，高压缩性，工程性质差；①$_1$ 层粉质黏土，软塑～可塑，中偏高压缩性，物理力学性质一般，工程性质一般；①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥和③$_1$ 淤泥质粘土，均为高含水量、高压缩性、高灵敏度、低抗剪强度、排水固结条件差、变形量大的软弱土层，厚度大，为场区内的主要压缩土层，也是影响河道岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行抗滑稳定验算，堤基开挖时应采取相应的工程措施予以处理。

二、渗透性评价：

场地内②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，分布范围、厚度较大，松散~稍密，弱透水性，堤基开挖后，该层存在渗透变形问题，建议堤基开挖后及时进行处理。

场地内地下水与地表水水力联系紧密，地下水位受潮水位变化较大，场地内②$_{2a}$ 淤泥夹粉、细砂，分布范围、厚度较大，松散~稍密，弱透水性，该层存在渗透变形问题，堤基开挖揭示该层时，建议堤基开挖后及时进行处理。

三、抗冲刷性评价：

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对堤身及地基的冲蚀。防洪堤沿线地段地基土为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀。建议采取镇压防冲措施。

四、基础方案建议：

1）拟建堤防沿线勘察深度范围内存在①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥，这些地层厚度大，高压缩性，该层承载力低，不能直接做天然地基持力层，如防洪堤置于该层时，建议采取适当的处理措施。

2）由于该段地处海陆交互相有深厚的海相软土地区过渡地带，沉积环境较为复杂，软土分布厚度变化大，对堤防稳定、沉降影响不一。在水闸等交叉建筑地段，应采取适

当的衔接措施，以控制不均匀变形。

3）建议开挖边坡：①$_1$层粉质粘土 1:3.0~1:3.5；①$_2$层淤泥质粉质粘土和②$_1$层淤泥 1:5.0~6.0；②$_{2a}$层淤泥夹粉、细砂 1:3.5~1:4.0。

4）建议①$_1$层粉质黏土允许不冲流速［v_0］＝0.6m～0.7m/s；①$_2$层淤泥质粉质粘土和②1 层淤泥允许不冲流速［v_0］＝0.35m/s～0.4m/s；②$_{2a}$层淤泥夹粉、细砂允许不冲流速［v_0］＝0.26m/s～0.30m/s。

5）建议土层允许渗流坡降：①$_1$层粉质黏土：水平段 0.35，出口段 0.65；①$_2$层淤泥质粉质粘土和②$_1$层淤泥：水平段 0.30，出口段 0.60；②$_{2a}$层淤泥夹粉砂：水平段 0.1，出口段 0.30；②$_{2b}$粉砂夹淤泥：水平段 0.05，出口段 0.25。

3.4.6.4　各岩土层物理力学参数

根据野外钻探、原位测试和室内土工试验成果，经综合分析，统计计算出各土层物理力学性质指标，结合地区经验，查阅相关规范提出各岩土层物理力学指标建议值。各土层物理力学指标统计详见表 3.4-31~表 3.4-34“白莲段地基土地物理力学指标数理统计表”，各土层物理力学指标建议值详见表 3.4-35 “白莲段基地土物理力学指标设计参数表”。

表 3.4-31　　白莲段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-6　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（白莲段）　　第1页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标												颗粒分析								固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
0-0	塘泥	统计频数																														1	1		
		最大值																														0.1	0.8		
		最小值																														0.1	0.8		
		平均值																														0.1	0.8		
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
0-1	杂填土	统计频数																														4	4		
		最大值																														2.3	40.2		
		最小值																														0.2	8.8		
		平均值																														1.3	19.7		
		标准差																																	
		变异系数																																	
		修正系数																																	
		标准值																																	
①1	粉质粘土	统计频数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	1											6	6	5	5	2	2	1	1		2	2	3	
		最大值	34.0	19.0	2.75	1.014	96.6	41.1	22.1	0.87	19.0	5.10E-06	3.30E-07											0.55	5.7	15.8	15.5	22.0	15.5	11.2	3.8		0.5	27.2	4.0	
		最小值	26.1	17.6	2.72	0.781	80.6	31.7	18.2	0.47	13.5	2.20E-06	3.30E-07											0.31	3.6	6.2	10.0	19.0	13.5	11.2	3.8		0.4	19.2	3.0	
		平均值	30.5	18.2	2.74	0.928	90.0	35.8	19.5	0.68	16.4	3.33E-06	3.30E-07											0.48	4.1	12.6	12.0	20.5	14.5	11.2	3.8		0.4	23.2	3.7	
		标准差	3.3	0.5	0.01	0.080	5.3	3.1	1.4	0.13	1.8													0.09	0.8											
		变异系数	0.108	0.026	0.004	0.086	0.059	0.085	0.070	0.193	0.108													0.186	0.202											
		修正系数	1.089	0.978	0.997	1.071	1.049	0.929	0.942	1.160	1.089													1.153	0.833											
		标准值	33.2	17.8	2.73	0.994	94.4	33.3	18.3	0.78	17.8													0.56	3.4											
①2	淤泥质粘土	统计频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9													9	9	6	6	3	3	3	3	1	1	1	2	
		最大值	47.5	17.9	2.75	1.318	100.0	44.1	23.7	1.19	20.4													1.13	3.9	6.2	12.0	12.0	11.0	18.2	1.1	42.0	0.4	9.1	11.0	
		最小值	43.0	16.9	2.75	1.155	91.9	40.0	21.4	1.13	18.5													0.57	2.0	4.0	7.5	11.7	10.5	15.7	0.6	42.0	0.4	9.1	8.0	
		平均值	44.7	17.4	2.75	1.246	97.9	41.5	22.3	1.17	19.2													0.77	3.1	5.3	9.4	11.8	10.8	16.9	0.8	42.0	0.4	9.1	9.5	
		标准差	1.8	0.3	0.00	0.055	2.9	1.6	0.9	0.02	0.7													0.18	0.6	0.9	1.9									
		变异系数	0.040	0.020	0.000	0.044	0.030	0.038	0.039	0.014	0.037													0.239	0.204	0.174	0.197									
		修正系数	1.025	0.988	1.000	1.028	1.019	0.976	0.975	1.009	1.023													1.150	0.872	0.856	0.837									
		标准值	45.8	17.2	2.75	1.280	99.7	40.5	21.7	1.18	19.7													0.88	2.7	4.5	7.9									

表 3.4-32　　白莲段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-6　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（白莲段）　　第2页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标													颗粒分析								固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
②1	淤泥	统计频数	6	6	6	6	6	6	6	6	6		1											6	6	5	5	1	1			2	3	3	3	
		最大值	69.2	16.5	2.76	1.919	100.0	54.8	29.3	1.61	25.5		5.60E-07											2.05	2.3	4.0	8.5	7.7	10.0			20.8	0.8	17.8	2.0	
		最小值	57.4	15.7	2.76	1.592	98.0	51.0	27.3	1.27	23.7		5.60E-07											1.15	1.4	2.4	6.5	7.7	10.0			19.2	0.4	6.8	1.0	
		平均值	64.2	16.0	2.76	1.782	99.1	53.3	28.5	1.44	24.8		5.60E-07											1.69	1.7	3.0	7.4	7.7	10.0			20.0	0.5	11.6	1.7	
		标准差	5.4	0.3	0.00	0.141	0.9	1.6	0.9	0.15	0.8													0.34	0.3											
		变异系数	0.083	0.020	0.000	0.079	0.009	0.031	0.030	0.106	0.031													0.203	0.184											
		修正系数	1.069	0.984	1.000	1.065	1.008	0.975	0.975	1.087	1.025													1.168	0.848											
		标准值	68.6	15.7	2.76	1.898	99.9	51.9	27.8	1.56	25.4													1.97	1.4											
②2a	淤泥夹粉砂	统计频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	2				8	8	8	8	8	8		9	9	3	3	6	6	3	3		3	3	10	
		最大值	43.9	18.1	2.76	1.261	97.5	48.3	25.8	1.33	22.5	6.10E-04	3.20E-05				3.0	7.3	6.6	52.4	33.0	43.7		0.91	6.2	12.2	15.5	21.2	20.0	16.2	3.8		0.8	17.9	12.0	
		最小值	31.2	17.2	2.73	0.975	87.7	32.2	18.1	0.50	14.1	2.40E-05	1.80E-05				0.0	0.0	3.8	21.9	7.7	24.2		0.32	2.4	6.1	11.5	10.7	8.5	14.9	0.8		0.2	6.8	5.0	
		平均值	38.3	17.5	2.75	1.126	93.3	41.0	22.4	0.89	18.6	1.33E-04	2.50E-05				0.8	3.4	5.6	37.5	15.7	37.0		0.57	4.1	8.4	13.8	14.2	14.1	15.5	2.4		0.5	11.9	9.8	
		标准差	4.2	0.3	0.01	0.101	3.3	6.1	3.0	0.30	3.3													0.18	1.2			4.0	4.6						2.4	
		变异系数	0.110	0.019	0.004	0.090	0.035	0.149	0.133	0.333	0.175													0.315	0.291			0.278	0.324						0.244	
		修正系数	1.069	0.988	0.998	1.056	1.022	0.907	0.916	1.208	1.110													1.197	0.818			0.771	0.732						0.857	
		标准值	41.0	17.3	2.74	1.189	95.4	37.2	20.5	1.08	20.7													0.68	3.3			11.0	10.3						8.4	
②2a	粉细砂夹淤泥	统计频数	3	3	3	3	3										11	11	11	11	11	11		4	4	3	3	1	1				5	5	9	
		最大值	28.8	19.6	2.71	0.897	97.7										2.1	8.8	54.3	61.1	28.0	42.9		0.42	7.5	34.6	10.2	25.9	20.0				4.9	37.2	13.0	
		最小值	25.0	17.8	2.68	0.694	86.1										0.0	0.0	0.5	10.6	3.0	12.5		0.23	4.2	26.5	7.8	25.9	20.0				1.3	21.9	10.0	
		平均值	26.7	18.9	2.69	0.773	93.6										0.3	3.2	24.0	27.2	13.1	32.2		0.32	5.2	31.4	9.1	25.9	20.0				2.7	28.7	11.7	
		标准差																																1.2	
		变异系数																																0.105	
		修正系数																																0.934	
		标准值																																10.9	
②3	淤泥	统计频数	59	59	59	59	59	59	59	59	59	5	4											59	59	32	32	27	27	14	14	5	5	5	20	
		最大值	69.6	16.5	2.76	1.997	100.0	54.9	29.4	1.62	25.5	5.50E-07	6.40E-07											1.89	2.1	2.9	8.0	9.4	12.0	11.9	1.1	40.2	0.8	16.4	3.0	
		最小值	55.0	15.3	2.76	1.607	90.9	50.0	26.8	1.20	23.2	4.00E-07	4.20E-07											1.04	1.5	1.9	7.0	7.6	10.0	9.4	0.6	20.2	0.7	12.9	2.0	
		平均值	62.1	15.7	2.76	1.789	95.8	53.2	28.5	1.36	24.7	4.80E-07	4.85E-07											1.56	1.8	2.5	7.5	8.4	10.5	10.6	0.7	26.2	0.8	15.1	2.6	
		标准差	3.5	0.2	0.00	0.088	2.3	1.5	0.8	0.09	0.7													0.16	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.8	0.2				0.5	
		变异系数	0.057	0.016	0.000	0.049	0.024	0.029	0.028	0.069	0.029													0.104	0.079	0.110	0.048	0.051	0.048	0.078	0.257				0.200	
		修正系数	1.013	0.996	1.000	1.011	1.005	0.994	0.994	1.015	1.006													1.023	0.982	0.966	0.985	0.983	0.984	0.963	0.877				0.921	
		标准值	62.9	15.7	2.76	1.808	96.3	52.8	28.3	1.38	24.9													1.60	1.8	2.4	7.4	8.2	10.3	10.2	0.6				2.3	

表 3.4-33　　白莲段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-6　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（白莲段）　　第3页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标												颗粒分析									固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Esl-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
③1	淤泥质粘土	统计频数	25	25	25	25	25	25	25	25	25	1												25	25	15	15	10	10	6	6		3	3	10	
		最大值	51.3	17.5	2.76	1.486	100.0	46.9	25.2	1.26	21.7	6.00E-07												1.23	2.8	6.4	13.0	11.0	15.0	17.8	2.7		1.1	26.6	4.0	
		最小值	39.6	16.3	2.74	1.149	91.8	35.3	19.0	1.07	16.3	6.00E-07												0.76	1.9	3.5	9.5	9.9	13.5	14.3	0.3		1.0	24.1	2.0	
		平均值	46.6	17.0	2.75	1.331	96.6	43.1	23.1	1.18	19.9	6.00E-07												1.00	2.3	4.7	11.2	10.5	14.5	16.4	1.4		1.0	25.1	2.9	
		标准差	3.3	0.3	0.01	0.089	2.2	3.0	1.6	0.04	1.4													0.11	0.2	0.8	0.9	0.4	0.5	1.3	1.1				0.7	
		变异系数	0.071	0.019	0.002	0.067	0.023	0.069	0.068	0.030	0.070													0.105	0.088	0.167	0.080	0.037	0.037	0.081	0.746				0.254	
		修正系数	1.025	0.993	0.999	1.023	1.008	0.976	0.976	1.011	1.024													1.037	0.969	0.920	0.962	0.975	0.975	0.933	0.384				0.851	
		标准值	47.7	16.8	2.75	1.362	97.4	42.0	22.6	1.19	20.4													1.04	2.3	4.4	10.8	10.3	14.1	15.3	0.5				2.5	
③2	粘土	统计频数	20	20	20	20	20	20	20	20	20													18	18	10	10	10	10	2	2		4	4	6	
		最大值	42.0	18.1	2.75	1.208	100.0	45.9	24.6	0.87	21.3													0.96	3.6	5.2	23.5	11.6	28.0	16.8	1.4		1.3	30.5	4.0	
		最小值	36.0	17.2	2.75	1.045	92.2	40.1	21.7	0.68	18.4													0.57	2.3	4.0	18.0	10.1	22.0	15.1	0.6		1.1	17.4	3.0	
		平均值	39.3	17.7	2.75	1.126	96.0	43.4	23.3	0.80	20.1													0.78	2.8	4.7	20.2	10.8	24.1	16.0	1.0		1.2	26.4	3.3	
		标准差	1.9	0.2	0.00	0.053	1.9	1.6	0.8	0.06	0.8													0.11	0.4	0.4	1.8	0.5	2.2						0.5	
		变异系数	0.049	0.014	0.000	0.047	0.020	0.038	0.036	0.070	0.040													0.147	0.133	0.076	0.091	0.047	0.090						0.155	
		修正系数	1.020	0.994	1.000	1.020	1.008	0.984	0.985	1.029	1.017													1.061	0.945	0.956	0.947	0.972	0.948						0.872	
		标准值	40.1	17.6	2.75	1.148	96.8	42.7	23.0	0.82	20.4													0.83	2.6	4.5	19.1	10.5	22.8							
④1	粉质粘土	统计频数	10	10	10	10	10	10	10	10	10													10	10	7	7	3	3	1	1		4	4	9	
		最大值	36.4	19.6	2.75	1.107	100.0	43.0	23.1	0.67	19.9													0.61	7.3	24.3	28.5	31.0	28.0	15.5	3.5		3.7	49.6	11.0	
		最小值	23.1	17.4	2.71	0.691	88.4	28.2	17.2	0.34	11.0													0.24	3.5	5.4	17.0	25.6	20.0	15.5	3.5		1.9	18.9	7.0	
		平均值	28.0	18.9	2.73	0.820	93.3	34.5	19.4	0.56	15.0													0.37	5.2	17.5	21.9	27.5	22.7	15.5	3.5		2.6	37.8	9.7	
		标准差	4.6	0.7	0.02	0.146	4.1	4.9	1.8	0.12	3.1													0.11	1.1	8.0	3.7								1.3	
		变异系数	0.166	0.039	0.006	0.178	0.044	0.141	0.094	0.215	0.207													0.298	0.220	0.458	0.172								0.137	
		修正系数	1.097	0.977	0.997	1.104	1.026	0.918	0.945	1.126	1.121													1.174	0.871	0.662	0.873								0.914	
		标准值	30.7	18.4	2.72	0.905	95.7	31.6	18.4	0.63	16.9													0.44	4.5	11.6	19.1								8.8	
④3	圆砾	统计频数												10	10	10	10	10	10	10	10	10											5	5		18
		最大值												17.8	19.2	31.2	23.8	21.9	12.3	8.4	2.3	33.6											23.9	131.7		49.0
		最小值												0.0	0.0	8.5	9.2	11.0	3.8	2.6	0.6	14.2											18.0	50.6		13.0
		平均值												1.8	9.3	19.3	14.5	15.8	9.4	6.7	1.5	21.8											21.0	70.4		29.6
		标准差																																	9.7
		变异系数																																	0.327
		修正系数																																	0.864
		标准值																																	25.6

表 3.4-34　　白莲段地基土物理力学指标数理统计表

工程编号：FYJ-6　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（白莲段）　　第4页/共4页

地层编号	地层名称	统计指标	物理性质指标												颗粒分析									固结试验		快剪		固快		UU		无侧限抗压强度	原位测试			
			含水量	重度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	液性指数	塑性指数	水平渗透系数	垂直渗透系数	>60	60-40	40-20	20-10	10-2.0	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.075	0.075-0.005	<0.005	压缩系数	压缩模量	摩擦角	凝聚力	摩擦角	凝聚力	凝聚力	摩擦角	原状	锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入	重型动力触探
			ω0	γ0	Gs	e0	Sr	WL	WP	IL	IP	Kh	Kv											α1-2	Es1-2	φ	c	φ	c	c	φ	qu	Qc	fs	N	N635
			(%)	(N/cm³)				(%)	(%)					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MPa-1)	(MPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/30cm)
④$_{3d}$	粉质粘土混中粗砂	统计频数	4	4	4	4	4										13	13	13	13	13	13	13	4	4	4	4									
		最大值	27.6	19.7	2.68	0.850	98.4										0.8	10.1	36.6	48.3	31.4	48.2	24.1	0.45	6.9	40.2	9.0						2	2	6	3
		最小值	24.0	18.0	2.68	0.653	85.2										0.0	0.0	1.8	14.8	4.1	17.7	0.0	0.24	3.9	22.0	6.4						9.5	63.8	26.0	15.0
		平均值	25.8	18.8	2.68	0.756	91.9										0.1	2.1	10.0	29.8	17.0	37.3	3.6	0.33	5.6	33.7	7.8						5.5	53.5	16.0	5.0
		标准差																															7.5	58.6	22.7	9.3
		变异系数																																	3.8	
		修正系数																																	0.167	
		标准值																																	0.862	
⑨	含碎石粉质粘土	统计频数	1	1	1	1	1	1	1	1	1													1	1	1	1								19.5	
		最大值	20.0	18.9	2.71	0.685	79.1	27.0	15.8	0.38	11.2													0.20	8.4	16.1	14.5									
		最小值	20.0	18.9	2.71	0.685	79.1	27.0	15.8	0.38	11.2													0.20	8.4	16.1	14.5									
		平均值	20.0	18.9	2.71	0.685	79.1	27.0	15.8	0.38	11.2													0.20	8.4	16.1	14.5									
		标准差																																		
		变异系数																																		
		修正系数																																		
		标准值																																		
⑩$_2$	强风化凝灰岩	统计频数																																		
		最大值																																		
		最小值																																		
		平均值																																		
		标准差																																		
		变异系数																																		
		修正系数																																		
		标准值																																		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩	统计频数																																		
		最大值																																		
		最小值																																		
		平均值																																		
		标准差																																		
		变异系数																																		
		修正系数																																		
		标准值																																		

表 3.4-35　　白莲段地基土物理力学指标设计参数表

工程编号：FYJ-6　工程名称：瑞安飞云江二期治理工程勘察（白莲段）　　第1页/共1页

地层编号	地层名称	含水量	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		粒径范围									固快法		快剪法		无侧限抗压强度	原位测试				地基参数			
												水平	垂直	>60 (mm)	60~40 (mm)	40~20 (mm)	20~10 (mm)	10~2 (mm)	2~0.5 (mm)	0.5~0.25 (mm)	0.25~0.075 (mm)	0.075~0.005 (mm)	<0.005 (mm)	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角		锥头阻力	侧壁摩阻力	标准贯入击数	重型动探击数	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
																																桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_θ	γ	e_θ	G_S	ω_L	ω_P	I_P	I_L	$a_{1\text{-}2}$	$E_{s1\text{-}2}$	Kh	Kv											c	ϕ	c	ϕ	q_u	q_c	f_s	N	$N_{63.5}$	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(N/cm³)			(%)	(%)			(MPa⁻¹)	(MPa)	cm/s	cm/s	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(MPa)	(KPa)	(击/30cm)	(击/10cm)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																												0.1	0.8						
0-1	杂填土																							10.8	8.5	6.9	3.3		1.3	19.7						
0-2	素填土																							15.0	11.0	10.5	9.0						80	9		
0-3	耕土											(1.0E-5)	(1.0E-5)																							
①$_1$	粉质粘土	30.5	18.2	0.928	2.74	35.80	19.50	16.40	0.68	0.48	4.1	3.33E-06	3.30E-07											13.7	13.1	10.7	10.0		0.4	23.2	3.7		100	10.5		12
①$_2$	淤泥质粘土	44.7	17.4	1.246	2.75	41.50	22.30	19.20	1.17	0.77	3.1	(5.0E-6)	(5.0E-6)											11.3	8.2	7.9	5.3	42.0	0.4	9.1	9.5		55	6		6
②$_1$	淤泥	64.2	16.0	1.782	2.76	53.30	28.50	24.80	1.44	1.69	1.7	(1.0E-7)	5.60E-07											9.0	7.5	7.4	3.0	20.0	0.5	11.6	1.7		40	4		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	38.3	17.5	1.126	2.75	41.00	22.40	18.60	0.89	0.57	4.1	1.33E-04	2.50E-05				0.8	3.4	5.6	37.5	15.7	37.0		10.3	11.0	8.0	8.6		0.5	11.9	9.8		65	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	26.7	18.9	0.773	2.69					0.32	5.2	(2.0E-4)	(5.0E-4)				0.3	3.2	24.0	27.2	13.1	32.2		6.5	21.0	4.5	17.2		2.7	28.7	11.7		140	13		14
②$_3$	淤泥	62.1	15.7	1.789	2.76	53.20	28.50	24.70	1.36	1.56	1.8	4.80E-07	4.85E-07											10.3	8.2	7.4	3.0	26.2	0.8	15.1	2.6		45	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	46.6	17.0	1.331	2.75	43.10	23.10	19.90	1.18	1.00	2.3	6.00E-07	(1.0E-7)											13.1	10.3	10.8	4.4		1.0	25.1	2.9		60	6		
③$_2$	粘土	39.3	17.7	1.126	2.75	43.40	23.30	20.10	0.80	0.78	2.8	(1.0E-7)	(1.0E-7)											13.6	10.5	12.4	4.7		1.2	26.4	3.3		80	17		
④$_1$	粉质粘土	28.0	18.9	0.819	2.73	34.50	19.40	15.00	0.56	0.37	5.2	(5.0E-6)	(5.0E-6)											17.8	18.5	14.2	11.6		2.6	37.8	9.7		120	24		
④$_3$	圆砾											(3.0)	(3.0)	1.8	9.3	19.3	14.5	15.8	9.4	6.7	1.5	21.8			(32)		(32)		21.0	70.4		29.6	280	35	1500	
④$_{3g}$	粉质粘土混中粗砂	25.8	18.8	0.756	2.68					0.33	5.6						0.1	2.1	10.0	29.8	17.0	37.3	3.6	17.0	18.3	13.5	11.4		7.5	58.6	22.7	9.3	130	25		
⑨	含碎石粉质粘土	20.0	18.9	0.685	2.71	27.00	15.80	11.20	0.38	0.20	8.4																						150	25		
⑩$_2$	强风化凝灰岩																																600	70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																																2000	100	3000	
								注：（＊）为经验值，供设计参考。																															

3.5 水闸工程地质条件及评价

依据招标文件要求可知：本项目新建改建水闸 30 座水闸总净宽 166 米，其中马上水闸总净宽 12 米、最大排涝流量 112.5 立方米每秒，河溪水闸总净宽 15 米、最大排涝流量 208.8 立方米每秒，渡头水闸总净宽 15 米、最大排涝流量 202.1 立方米每秒，浦底水闸总净宽 15 米、最大排涝流量 151.6 立方米每秒；马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇，校核洪水标准 50 年一遇。水闸按最大过闸流量标准划分均为小型水闸。各水闸设计规模、闸底高程详见表 3.5.1-1。

本章节部分内容主要引用浙江山川有色勘察设计有限公司于 2017 年 8 月完成的《瑞安市飞云江治理二期工程可研阶段补充勘察岩土工程勘察报告》。

可行性研究阶段，浙江山川有色勘察设计有限公司在水闸勘察中，钻孔均布置在水闸两岸，即：垂直于水流流向(闸轴线)各布置 1 条勘探断面，每座水闸布置 2 个钻探孔，左右岸各 1 个，钻孔类型均为综合孔及控制性钻孔。根据拟建水闸的设计要求及招标文件要求，结合场地的地质资料，本次勘察设计钻孔孔深要求控制稳定持力层一定深度，且满足初步设计阶段勘察要求。

本章对各水闸分别进行工程地质条分析与评价。

表 3.5.1-1　　水闸设计规模、闸底高程汇总表

序号	堤防分段	水闸名称	规模特征	闸底高程(m)	新建或改建
1	平阳坑段	篁坑水闸	1孔×4m	2.50	
2		涵闸1(新增)	1孔×3m	3.00	
3		沙垟水闸	1孔×4m	2.00	
4		平阳坑水闸	2孔×4m	0.50	
5	马屿镇梅屿段	柴下水闸	1孔×3m	2.00	
6		杨家水闸	1孔×3m	2.00	
7		霞岙水闸	1孔×3m	1.00	
8		冯渡水闸(原名马上1#水闸)	1孔×3m	0.50	
9		马上水闸	3孔×4m	0.50	
10		马中水闸	1孔×3m	1.00	
11		河溪水闸(原名金山水闸)	3孔×5m	0.00	
12	陶山镇荆谷段	七甲水闸	1孔×3m	1.00	
13		沙垟2#水闸	1孔×3m	1.50	

序号	堤防分段	水闸名称	规模特征	闸底高程(m)	新建或改建
14新	陶山镇荆谷段	农渠涵闸(新增)	1孔×3m	1.50	新
15		沙垟下河闸	1孔×3m	1.50	
16		涵闸2	1孔×3m	1.00	
17		涵闸3(	1孔×3m	0.50	
18		涂头前河闸(原名涂头水闸)	1孔×3m	0.50	
19新		涵闸4	2孔×3m	0.50	新
20新		涵闸5	2孔×3m	0.50	新
21		石埠水闸	2孔×3m	1.00	
22	陶山镇碧山段	龟岩水闸	1孔×3m	1.50	
23新		碧山闸站	2孔×3m	1.00	
24		涂厂水闸	2孔×3m	0.00	
25		渡头水闸	3孔×5m	-2.00	
26新	桐浦镇塔山~澄头段	洲渎水闸	2孔×3m	0.50	新
27		塔山水闸	3孔×4m	0.50	
28		浦底水闸	3孔×5m	-0.50	
29新	白莲段	下湾水闸	1孔×5m	0.00	新
30		七国垟水闸(原名白莲水闸)	1孔×4m	0.00	

3.5.1 篁坑水闸工程地质条件及评价

3.5.1.1 篁坑水闸概况

篁坑水闸为新建水闸，位于平阳坑镇篁坑村，拟建平阳坑防洪堤中段，飞云江右岸的支流上，拟建篁坑水闸规模为 1 孔×4m，设计底板闸底高程为 2.00m。

本阶段勘察，篁坑水闸共布置 3 个钻孔，另引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 1 个，最大孔深 21.5m。

3.5.1.2 地形地貌

篁坑水闸位于飞云江右岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，水闸左岸以空地和竹林为主，右岸为竹林。左岸地面高程 9.0～11.5m 左右，右岸地面高程 5.0~9.5m 左右，支流河底高程 1.0~2.5m 左右，两岸现状岸坡较陡，为自然岸坡。地形地貌照片见图 3.5-1。

图 3.5-1　簋坑水闸

3.5.1.3　地层岩性

簋坑水闸地基土共分为 4 个大层，7 个亚层，2 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，填土成分不均匀，表层少量人工种植植被，碎块石一般粒径 2～10cm，块石最大粒径大于 20cm，局部含少量生活垃圾。成份杂乱，结构松散。主要分布于水闸左岸。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，岩性以粉质粘土位置，局部夹碎石、块石等，土质不均，为后期人工回填土，右岸局部分布。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，饱和，粘性土为主，含大量植物根系。水闸两岸均有分布。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

上部灰黄色，下部灰色，流塑状，饱和，厚层状、鳞片状，局部夹粉土或粉砂，土质较均匀，高压缩性。场地内局部分布。

①$_{夹}$砂砾石（alQ_4^2）

灰色，稍密，主要由卵石、圆砾、砂粒及粉粘粒组成，土层均匀性差，低压缩性。水闸右岸钻孔揭示。

②$_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。高灵敏度，高压缩性。局部缺失。

④$_3$ 圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～60%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 15～40%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10~20%；小于 0.075mm 约占 10~35%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土

灰色，流塑，饱和，厚层状，高压缩性，为④3 圆砾层中夹层。场地内在 CHK-Z1 号钻孔中揭示，厚度 0.50m。

各孔地层分布情况详见工程地质剖面 PY2-PY2’、PY7-PY7’、PY8-PY8’、PY9-PY9’。

3.5.1.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少；承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

勘察期间实测地下水位 5.2~8.9m，高程 0.57~4.37。

3.5.1.5 地基土工程地质特性分析与评价

篁坑水闸勘察深度范围内地层为 0_0 淤泥、0_1 杂填土、0_2 素耕土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、①$_{夹}$砂砾石、②$_1$ 淤泥、④$_3$ 圆砾、④$_{3f}$ 淤泥质粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_2 耕土，0_2 素耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 杂填土，松散～稍密状，透水性强，特别是在水闸左岸，分布厚度较大；水闸基坑开挖后，对基坑边坡稳定影响较大，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_{夹}$砂砾石，稍密，低压缩性，场地内呈透镜体状分布，厚度薄。但该层透水性强，对基槽（坑）开挖形成不利影响，设计与施工时应引起注意。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土，②$_1$ 淤泥，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$ 圆砾，中密，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可作为拟建水闸的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土，软塑，高压缩性，工程性质差，呈透镜体分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

地基土统计参数见“平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见 “平阳坑段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.1.6 基础方案分析及建议

拟建篁坑水闸设计闸底高程为 2.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①1 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②1 淤泥，由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②1 层淤泥力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用抛石挤淤进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/②$_1$淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.25。

3.5.1.7 基坑支护

拟建篁坑水闸设计闸底高程为 2.00m，开挖涉及地层主要为θ$_0$淤泥、θ$_1$杂填土、θ$_2$素耕土、θ$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_1$淤泥。

闸室开挖后，基坑边坡地层为θ$_1$杂填土、θ$_2$素耕土、θ$_3$耕土①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土和②$_1$淤泥组成，①$_2$淤泥质粉质粘土和②$_1$淤泥，具有高含水量、高孔隙比、高灵敏度、高压缩性、低抗剪强度等特性，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，水闸附近无建筑物，可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载。

地下水与地表水之间水力联系密切，θ$_1$杂填土透水性强，以大气降水作为主要补给源，水量较少，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

水闸左岸为空地，右岸为竹林，无重要建筑物，闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0；

3.5.2 涵闸 1 工程地质条件及评价

3.5.2.1 涵闸 1 概况

涵闸 1 为新建水闸，位于平阳坑镇平阳坑村，拟建平阳坑防洪堤中段，飞云江右岸的支流上，拟建涵闸 1 规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 3.00m。

本阶段勘察，涵闸 1 共布置 3 个钻孔，最大孔深 26.10m。

3.5.2.2 地形地貌

涵闸 1 位于飞云江右岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，水闸左岸以空地为主，右岸为竹林。左岸地面高程 5.0～7.7m 左右，右岸地面高程 6.5~7.8m 左右，

支流河底高程 3.4~4.0m 左右，支流两岸现状岸坡较缓，为自然岸坡，场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-2。

图 3.5-2　　涵闸 1

3.5.2.3　地层岩性

涵闸 1 地基土共分为 4 个大层，7 个亚层，1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，填土成分不均匀，表层少量人工种植植被，碎块石一般粒径 2～10cm，块石最大粒径大于 20cm，局部含少量生活垃圾。成份杂乱，结构松散。主要分布于水闸左岸。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，饱和，粘性土为主，含大量植物根系。水闸右岸分布。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

上部灰黄色，下部灰色，流塑状，饱和，厚层状、鳞片状，局部夹粉土或粉砂，土质较均匀，高压缩性。场地内局部分布。

②$_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。高灵敏度，高压缩性。局部缺失。

④$_3$ 圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 20～70%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 10～30%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10~20%；小于 0.075mm 约占 10~35%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土

灰色，流塑，饱和，厚层状，高压缩性，为④3 圆砾层中夹层。场地内在 CHZ1-Z3、CHZ1-Z1 号钻孔中揭示，厚度 0.50~2.10m。

3.5.2.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少；

承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

勘察期间实测地下水位 2.15~2.50m，高程 2.88~4.41m。

3.5.2.5 地基土工程地质特性分析与评价

涵闸 1 勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_1$ 淤泥、④$_3$ 圆砾、④$_{3f}$ 淤泥质粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_2 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 杂填土，松散～稍密状，透水性强，特别是在水闸左岸，分布厚度较大，水闸基坑开挖后，对基坑边坡稳定影响较大，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土，②$_1$ 淤泥，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$ 圆砾，中密，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可作为拟建水闸的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土，软塑，高压缩性，工程性质差，呈透镜体分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

地基土统计参数见“平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见 “平阳坑段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.2.6 基础方案分析及建议

拟建涵闸 1 设计闸底高程为 3.0m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为Q_0 淤泥和①$_1$ 粉质粘土，①$_1$ 粉质粘土厚度不大，且下卧①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_1$ 淤泥，由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用抛石挤淤进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.25。

3.5.2.7 基坑支护

拟建涵闸 1 设计闸底高程为 3.00m，开挖涉及地层主要为 0_0 淤泥、0_1 杂填土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0_1 杂填土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土和①$_2$ 淤泥质粉质粘土工程性质较差；基坑侧壁稳定性较差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，水闸附近无重要建筑物，可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载。

地下水与地表水之间水力联系密切，0_1 杂填土透水性强，以大气降水作和河道水作为主要补给源，水量较少，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

水闸左岸为空地，右岸为竹林，无重要建筑物，闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.3 沙垟水闸工程地质条件及评价

3.5.3.1 沙垟水闸概况

沙垟水闸为新建水闸，位于平阳坑镇平阳坑村，拟建平阳坑防洪堤中段，飞云江右岸的支流上，拟建沙垟水闸规模为 1 孔×4m，设计底板闸底高程为 2.00m。

本阶段勘察，沙垟水闸共布置 3 个钻孔，另引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 1 个，最大孔深 30.10m。

3.5.3.2 地形地貌

沙垟水闸位于飞云江右岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，水闸左岸以空地为主，右岸为竹林。左岸地面高程 6.3～6.9m 左右，右岸地面高程 3.8~4.5m 左右，支流河底高程 0.5~1.5m 左右，支流两岸现状岸坡较陡，为自然岸坡，场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-3。

图 3.5-3　沙坪水闸

3.5.3.3　地层岩性

沙坪水闸地基土共分为 4 个大层，7 个亚层，2 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色，为人工填筑形成，岩性以粉质粘土为主，含少量块石、碎石，含植被根系，土质不均。水闸两岸分布。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，饱和，粘性土为主，含大量植物根系。水闸两岸分布。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

上部灰黄色，下部灰色，流塑状，饱和，厚层状、鳞片状，局部夹粉土或粉砂，土质较均匀，高压缩性。场地内局部分布。

①夹砂、砾石（alQ$_4^2$）

灰色，稍密，主要由卵石、圆砾、砂粒及粉粘粒组成，土层均匀性差，低压缩性。本水闸钻孔均有揭示。

②$_1$ 淤泥（mQ$_4^2$）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。高灵敏度，高压缩性。局部缺失。

④$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，局部为卵石；其中＞20mm 颗粒含量一般 30～70%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 10%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 10~20%，。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土

灰色，流塑，饱和，厚层状，高压缩性，为④$_3$ 圆砾层中夹层。本次勘察未揭示，可研阶段 Z03 号孔揭示，揭示厚度 0.40~2.00m。

3.5.3.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少；承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

勘察期间实测地下水位 0.30~0.70m，高程 2.96~5.98m。

3.5.3.5 地基土工程地质特性分析与评价

沙垟水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、①夹砂砾石、②$_1$ 淤泥、④$_3$ 圆砾、④$_{3f}$ 淤泥质粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥，0_2 素填土、0_3 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土，②$_1$ 淤泥，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

①$_{夹}$砂砾石，稍密，低压缩性，场地内呈透镜体状分布，厚度薄。但该层透水性强，对基槽（坑）开挖形成不利影响，设计与施工时应引起注意。

④$_3$ 圆砾，中密，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可作为拟建水闸的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土，软塑，高压缩性，工程性质差，呈透镜体分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

地基土统计参数见“平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“平阳坑段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.3.6 基础方案分析及建议

拟建沙垟水闸设计闸底高程为 2.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后，基坑边坡地基土主要为Q_0 淤泥、①$_1$ 粉质粘土和①$_{夹}$砂砾石，西侧揭示少量②$_1$ 淤泥，①$_1$ 粉质粘土和①$_{夹}$砂砾石厚度不大，且下卧①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②1 淤泥，由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_1$ 层淤泥力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用抛石挤淤进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

水闸底板处地层为①$_1$粉质粘土、①$_{夹}$砂砾石和②$_1$淤泥，建议：

闸基砼/①$_1$粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/①$_{夹}$砂砾石摩擦系数 f=0.42~0.45；闸基砼/②$_1$淤泥摩擦系数 f=0.22。

3.5.3.7 基坑支护

拟建沙垟水闸设计闸底高程为 2.00m，开挖涉及地层主要为Q$_0$淤泥、Q$_2$素填土、Q$_3$耕土、①$_1$粉质粘土，①$_{夹}$砂砾石。

闸室开挖后，基坑边坡地层为Q$_2$素填土、Q$_3$耕土和①$_1$粉质粘土，工程性质较差；基坑侧壁稳定性较差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，可采用放坡开挖，必要时进行支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载。

地下水与地表水之间水力联系密切，①$_{夹}$砂砾石，以河道水作为主要补给源，水量较少，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

水闸左岸为空地，右岸为竹林，无重要建筑物，闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②$_1$淤泥 1:4.0~1:5.0。

3.5.4 平阳坑水闸工程地质条件及评价

3.5.4.1 平阳坑水闸概况

平阳坑水闸为新建水闸，位于马屿镇清源村，拟建平阳坑防洪堤下游段，飞云江右岸的支流上，拟建平阳坑水闸规模为 2 孔×4m，设计底板闸底高程为 0.5m。

本阶段勘察，平阳坑水闸共布置 3 个钻孔，最大孔深 27.30m。

3.5.4.2 地形地貌

平阳坑水闸位于飞云江右岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，水闸左岸为 S34 龙丽温高速平阳出口匝道路基；右岸以空地为主，距 S34 龙丽温高速飞云江大桥约 20m 左右。左岸地面高程 4.0～13.5m 左右，右岸地面高程 4.0~8.0m 左右，支流河底高程 0.5~1.0m 左右，支流左岸靠近高速公路匝道采用浆砌块石护坡，右岸为自然岸坡，场地不平整。地形地貌照片见图 3.5-4。

图 3.5-4　　平阳坑水闸

3.5.4.3　地层岩性

平阳坑水闸地基土共分为 4 个大层，7 个亚层，1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

⓪$_0$ 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

⓪$_1$ 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，局部以建筑垃圾为主。钻孔 CPYK-Z2 揭示。

⓪$_2$ 素填土(rQ)

灰色、黄色，为人工填筑形成，岩性以粉质粘土为主，含少量块石、碎石，含植被根系，土质不均。水闸两岸分布。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ$_4^3$）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江

外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状、鳞片状，局部夹粉土或粉砂，土质较均匀，高压缩性。场地内局部分布。

①$_{夹}$砂砾石（alQ_4^2）

灰色，稍密，主要由卵石、圆砾、砂粒及粉粘粒组成，土层均匀性差，低压缩性。钻孔 CPYK-Z2、CPYK-Z3 揭示。

②$_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。高灵敏度，高压缩性。本水闸钻孔均有揭示。

④$_1$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色、黄绿色，为第二硬土层，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质均匀。钻孔 CPYK-Z1 揭示。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2-2}$）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，局部为卵石，低压缩性。场地内均有分布。

3.5.4.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少；

承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.4.5 地基土工程地质特性分析与评价

平阳坑水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土、0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、①$_{夹}$砂砾石、②$_1$ 淤泥、④$_1$ 粉质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥，0$_2$ 素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0_1 杂填土，厚度较大，不规则分布，对水闸桩基影响较大，设计和施工时应引起注意。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土，②$_1$ 淤泥，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

①$_{夹}$砂砾石，稍密，低压缩性，场地内呈透镜体状分布，厚度薄。但该层透水性强，对基槽（坑）开挖形成不利影响，设计与施工时应引起注意。

④$_3$ 圆砾，中密，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“平阳坑段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“平阳坑段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.4.6 基础方案分析及建议

拟建平阳坑水闸设计闸底高程为 0.5m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为Q_0 淤泥、Q_1 杂填土①1 粉质粘土和①$_2$ 淤泥质粉质粘土，由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②1 层淤泥力学强度差，高压缩变形，且厚度巨大，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室和翼墙采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。桩基设计和施工时应注意Q_1 杂填土的影响，特别是高速公路施工时各种支护结构。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为软可塑粉质粘土、流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①1 粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/①$_2$ 淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.4.7 基坑支护

拟建平阳坑水闸设计闸底高程为 0.5m，开挖涉及地层主要为 0_0 淤泥、0_1 杂填土、0_2 素填土、$①_1$ 粉质粘土和$①_2$ 淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0_2 素填土和$①_1$ 粉质粘土，工程性质较差；基坑侧壁稳定性较差，建议进行抗滑稳定验算。由于场地临近高速公路，虽开挖深度较浅，但应对高速公路路基采取必要的保护措施；建议采用水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载。

地下水与地表水之间水力联系密切，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①1 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②1 淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0。因该水闸位于高速公路边，闸基开挖时应加强沉降及位移监测。

3.5.5 柴下水闸工程地质条件及评价

3.5.5.1 柴下水闸概况

柴下水闸为新建水闸，位于马屿镇柴桥头村，飞云江左岸的支流上，拟建柴下水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.0m。

本阶段勘察，柴下水闸共布置 3 个钻孔，另引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 37.00m。

3.5.5.2 地形地貌

柴下水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为桥梁，水闸两岸为村道和民居。两岸地面高程 4.0～7.7m 左右，支流河底高程 0.0~2.0m 左右，桥梁两段处为浆砌块石桥墩，桥梁上下游岸坡为自然边坡，场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-5。

图 3.5-5　柴下水闸

3.5.5.3　地层岩性

柴下水闸地基土共分为 4 个大层，8 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成。工程区大部分地段分布。通过走访当地居民了解，现状桥梁采用松木桩和抛石作为基础，抛石填土层厚度较大，局部可达 10m 左右；因桥梁附近有两栋老旧砖、木结构危房，钻探施工时产生的振动对危房影响很大，钻探施工时造成靠近桥梁的房屋墙体坍塌，故桥梁附近钻至 4m 左右后终孔。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状、鳞片状，局部夹粉土或粉砂，土质较均匀，高压缩性。场地内局部缺失。

②$_1$淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。高灵敏度，高压缩性。个别钻孔揭示。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂($al\text{-}mQ_4^2$)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内局部分布。

②$_3$淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场区均有分布。

④$_3$圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，局部为卵石，低压缩性。场地内均有分布。

3.5.5.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。

承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.5.5 地基土工程地质特性分析与评价

柴下水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$淤泥、0$_1$杂填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥、④$_3$圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$塘泥，松散，高压缩性，厚度不大，应挖除处理。

0$_1$杂填土，厚度大，对水闸桩基影响较大，设计和施工时应引起注意。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基

持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$淤泥质粉质粘土，②$_1$淤泥，②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$圆砾，中密，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标数理统计表”设计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.5.6 基础方案分析及建议

拟建柴下水闸设计闸底高程为 2.0m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为0$_0$淤泥、0$_1$杂填土、①1 粉质粘土和①$_2$淤泥质粉质粘土，由于①$_2$淤泥质粉质粘土力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室和翼墙采用钻孔灌注桩，以④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。桩基设计和施工时应注意0$_1$杂填土的影响，特别是现状桥梁处的松木桩和抛石基础层。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①1 粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/①$_2$淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.5.7 基坑支护

拟建柴下水闸设计闸底高程为 2.0m，开挖涉及地层主要为0$_0$淤泥、0$_1$杂填土、①$_1$粉质粘土和①$_2$淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_1$杂填土、①$_1$粉质粘土和①$_2$淤泥质粉质粘土，工程性质较差；工程性质极差；淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，水闸附近建筑物较多，不宜采用放坡开挖，可采用放坡+钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，但放坡+钢板桩支护型式位

移较大，拟建建筑物距民房较近，建议设计谨慎采用，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。

具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定。施工时须严格控制基坑边废土的堆载。地下水与地表水之间水力联系密切，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0；

3.5.6 杨家水闸工程地质条件及评价

3.5.6.1 杨家水闸概况

杨家水闸为新建水闸，位于马屿镇江北村，飞云江左岸的支流上，拟建杨家水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.0m。

本阶段勘察，杨家水闸共布置 3 个钻孔，另引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 1 个，最大孔深 37.20m。

3.5.6.2 地形地貌

杨家水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址位于现状河道上，水闸左岸为耕地、林地和村道，水闸右岸现状为菜地和林地，水闸上游为民居。两岸地面高程 6.5～7.5m 左右，支流河底高程 1.0~1.7m 左右，场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-6。

图 3.5-6　杨家水闸

3.5.6.3 地层岩性

杨家水闸地基土共分为 5 个大层，9 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成。主要分布于场地北侧。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。该层局部夹 0.5m 的圆砾。中压缩性，场地内局部缺失。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场区均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内局部缺失。

④$_3$ 卵石（al-plQ_3^{2-2}）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，低压缩性。场地内均有分布。

3.5.6.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落

朝时水位较低。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。

承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.6.5 地基土工程地质特性分析与评价

杨家水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥，0$_3$ 耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_1$ 杂填土，厚度大，对水闸桩基影响较大，设计和施工时应引起注意。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$ 卵石，中密，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标数理统计表”设计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.6.6 基础方案分析及建议

拟建杨家水闸设计闸底高程为 2.0m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，由于②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室和翼墙采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体

桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。桩基设计和施工时应注意 0_1 杂填土的影响。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①1 粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/$②_{2a}$ 淤泥夹粉砂摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.6.7 基坑支护

拟建杨家水闸设计闸底高程为 2.0m，开挖涉及地层主要为 0_0 淤泥、0_1 杂填土、$①_1$ 粉质粘土和$②_{2a}$ 淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0_1 杂填土、$①_1$ 粉质粘土、$①_2$ 淤泥质粉质粘土和$②_{2a}$ 淤泥夹粉砂，这几层土工程性质较差；工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较深，闸室开挖不宜采用放坡开挖，可采用水泥土搅拌桩或放坡+钢板桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载。施工时须严格控制基坑边废土的堆载。

地下水与地表水之间水力联系密切，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：$①_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，$②_{2a}$ 淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0；

闸室位于$②_{2a}$ 淤泥夹粉砂中，该层呈透水性，本区地下水与地表水水力联系较紧密，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。

3.5.7 霞岙水闸工程地质条件及评价

3.5.7.1 霞岙水闸概况

霞岙水闸为拆除重建，为原址改建，位于马屿镇江北村，飞云江左岸的支流上，拟建霞岙水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.0m。

根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m。

本阶段勘察，霞岙水闸共布置 3 个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 1 个，最大孔深 43.0m。

3.5.7.2 地形地貌

霞岙水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为老水闸和桥梁，两侧为道路；水闸上游两侧为村道及空地，地面高程 6.0m 左右，河底高程 3.0 左右 m

左右，河道两岸采用浆砌块石护坡；水闸下游两侧为空地及道路，地面高程 3.0~6.7m 左右，河底高程 1.0~2.0m 左右，两侧岸坡为自然坡；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-7。

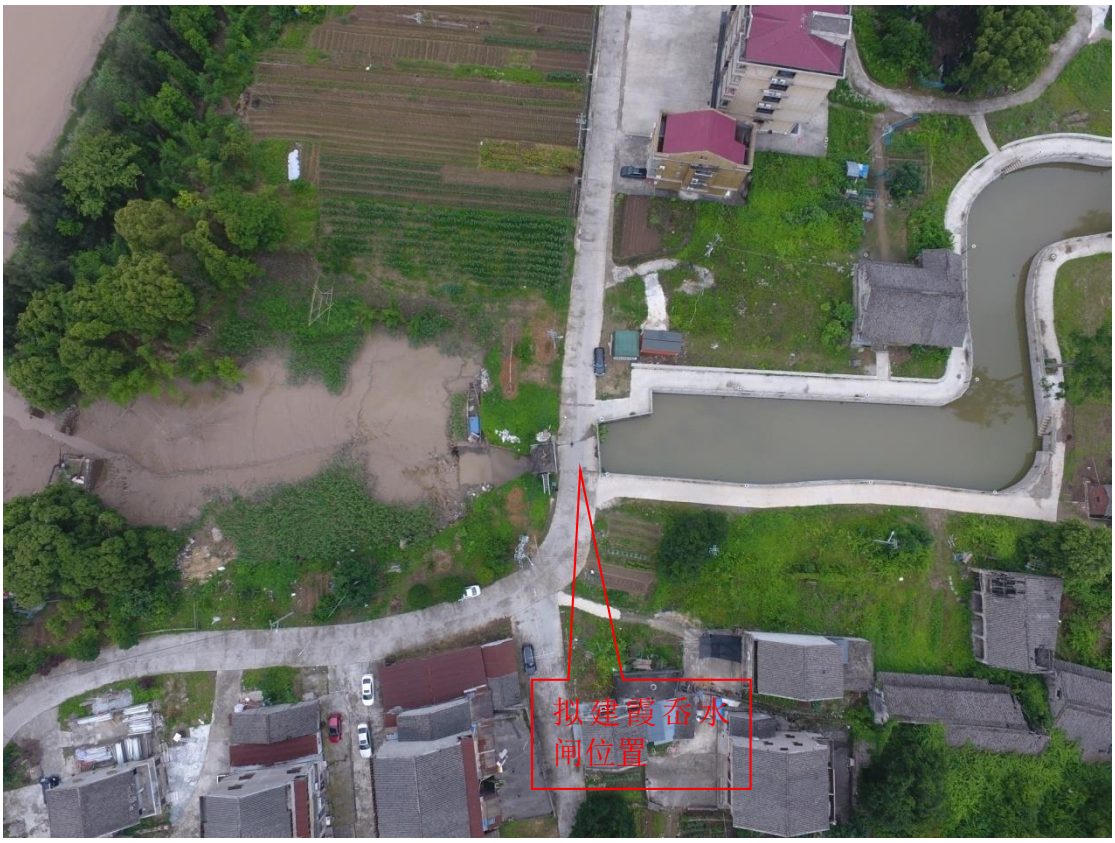


图 3.5-7　霞岙水闸

3.5.7.3　地层岩性

霞岙水闸地基土共分为 5 个大层，10 个亚层，2 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成。该层主要分布于场地北侧及水闸下游左岸岸坡。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰黄色～灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂。场地内局部分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂($al\text{-}mQ_4^2$)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥($al\text{-}mQ_4^2$)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。该层局部夹 0.5m 的圆砾。中压缩性，场地内局部缺失。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场区均有分布。

②$_{夹}$卵石

灰色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，土质不均。钻孔 CXA-Z3 揭示。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地下游缺失。

④$_3$ 卵石（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

杂色，以灰色为主，中密状，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成；其中＞20mm 颗粒含量一般 5～7%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 10~15%，0.075～2mm 颗粒含量约占 15%；小于 0.075mm 约占 10%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

④$_{3f}$ 淤泥质粘土（$al\text{-}mQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰褐色，流塑、软塑，含少量贝壳碎屑、粉砂及半碳化物，为④3 圆砾层中夹层，局部分布，对桩基设计影响较大。本次勘察仅钻孔 CXA-Z2 揭示。

3.5.7.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落

朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.7.5 地基土工程地质特性分析与评价

霞岙水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、②夹卵石、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_3$ 圆砾、④$_{3f}$ 淤泥质粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥，0$_3$ 耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

0$_1$ 杂填土，厚度大，对水闸桩基影响较大，经现场调查与走访，水闸左岸至道路处，杂填土厚度较大，且分布面积大，设计和施工时应引起注意。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②夹卵石，局部分布，对桩基础影响较大。

④$_3$ 卵石，中密，低压缩性，该层层位较稳定，厚度大，工程性质较好，可作为拟建水闸的桩基持力层，但是该层内夹有厚度不大的淤泥质粉质粘土，桩基设计时与施工时应引起注意。

④$_{3f}$ 淤泥质粉质粘土，软塑，高压缩性，工程性质差，呈透镜体分布，该层对桩基沉降影响较大，设计与施工时应引起注意。

地基土统计参数见 “马屿镇梅屿段地基土物理力学指标数理统计表”设计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.7.6 基础方案分析及建议

拟建霞岙水闸设计闸底高程为 2.0m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地

基土主要为②$_{2a}$淤泥夹粉砂，由于②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用高压旋喷桩进行处理，也可选用桩基础进行处理。

桩基设计和施工时应注意：

0$_1$杂填土的影响分布范围大，对桩基施工有一定不利影响；原闸址为松木桩及抛石基础，设计和施工时应注意旧闸基的不利影响。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_1$粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/①$_2$淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2a}$淤泥夹粉砂摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.7.7 基坑支护

拟建霞岙水闸设计闸底高程为 2.0m，开挖涉及地层主要为 0$_0$淤泥、0$_1$杂填土、①$_1$粉质粘土和②$_{2a}$淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_1$杂填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土和②$_{2a}$淤泥夹粉砂，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，水闸附近无建筑物，可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

地下水与地表水之间水力联系密切，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②$_{2a}$淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0；

闸室中部位于②$_{2a}$淤泥夹粉砂中，该层呈透水性，本区地下水与地表水水力联系较紧密，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。

3.5.7.8 不利埋藏物

霞岙水闸为原址改建，根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m，设计与施工时应引起重视。

3.5.8 冯渡水闸工程地质条件及评价

3.5.8.1 冯渡水闸概况

冯渡水闸为拆除重建，位于马屿镇马上村，飞云江左岸的支流上，拟建冯渡水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.0m。

根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m。

本阶段勘察，冯渡水闸共布置 3 个钻孔，另引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 54.80m。

3.5.8.2 地形地貌

冯渡水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为老水闸，两侧为机耕路及农田；地面高程 3.6~4.6m 左右，河底高程 1.5~2.0m 左右，河道两岸为自然岸坡；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-8。

图 3.5-8　冯渡水闸

3.5.8.3 地层岩性

冯渡水闸地基土共分为 6 个大层，13 个亚层，1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成。该层主要分布于场地北侧及水闸下游左岸岸坡。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰黄色～灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂。场地内局部分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。该层局部夹 0.5m 的圆砾。中压缩性，场地内局部缺失。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。

④$_1$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色、黄绿色，为第二硬土层，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质均匀，局部相变为粘土。

④$_2$ 粘土（mQ_3^{2-2}）：灰色，软塑～可塑状，以软塑状为主，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部相变为粉质粘土。高压缩性。局部分布。

⑤$_1$粉质粘土（al-lQ_3^{2-1}）：

灰绿色、灰黄色、灰兰色，厚层状，可塑为主，局部软可塑，局部地段近粘土。

⑤$_3$圆砾

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，中压缩性，场地内均有分布。

⑤$_{3J}$含砾粉质粘土（al-plQ）：

灰黄、灰色色，冲洪积成因，属混合类土，主要为粉质粘土、碎石、砾砂组成，粗细颗粒含量不稳定，粉质粘土呈可塑～硬可塑状，中等压缩性。场地内均有分布。

3.5.8.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。

承压水主要分布于工程区的中下部⑤$_3$圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.8.5 地基土工程地质特性分析与评价

冯渡水闸勘察深度范围内地层为0$_0$淤泥、0$_2$素填土、0$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥、③$_1$淤泥质粘土、④$_1$粉质粘土、④$_2$粘土、⑤$_1$粉质粘、⑤$_3$圆砾、⑤$_{3J}$含砾粉质粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$塘泥、0$_2$素填土、0$_3$耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂，③$_1$淤泥质粘土流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥，稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质相对较好，但场地

内局部地段缺失。

④$_1$ 粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，厚度大。该层可与④$_1$ 粉质粘土联合做为端承摩擦桩的桩端土层。

⑤$_1$ 粉质粘土，⑤$_{3J}$ 含砾粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，埋藏深度大。

⑤$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，埋藏较深，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见 “马屿镇梅屿段地基土物理力学指标数理统计表”设计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.8.6 基础方案分析及建议

拟建冯渡水闸设计闸底高程为 2.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差；②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂土质，工程性质相对较好，可做为拟建建筑物的基础持力层，但是该层土质不均，局部缺失。综合考虑：场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_1$ 粉质粘土联合④$_2$ 粘土做为桩端土层，或以⑤$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。如以⑤$_3$ 圆砾作为桩端持力层，桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用高压旋喷桩进行处理，也可选用桩基础进行处理。

桩基设计和施工时应注意：

原闸址为松木桩及抛石基础，设计和施工时应注意旧闸基的不利影响。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基主要为②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_1$ 粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/①$_2$ 淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥摩擦系数 f=0.32~0.35。

3.5.8.7 基坑支护

拟建冯渡水闸设计闸底高程为 2.0m，开挖涉及地层主要为 0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0_2 素填土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，水闸附近无建筑物，闸基可采用放坡开挖，也可采用放坡+钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_1$ 粉质粘土中，局部位于②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂中，该层呈透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0；②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥 1:2.0~1:3.0。

3.5.8.8 不利埋藏物

冯渡水闸为原址改建，根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m，设计与施工时应引起重视。

此外，经调查发现，老闸上游约 4m 左右，有顶管通过，设计与施工时应引起重视。

3.5.9 马上水闸工程地质条件及评价

3.5.9.1 马上水闸概况

马上水闸为新建，位于马屿镇马上村，飞云江左岸的支流上，拟建马上水闸规模为 3 孔×4m，设计底板闸底高程为 0.5m。

本阶段勘察，马上水闸共布置 6 个钻孔，另引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 62.0m。

3.5.9.2 地形地貌

马上水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，两侧为河堤及农田；地面高程 3.6~6.3m 左右，河底高程 0.5m 左右，河道两岸为自然岸坡；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-9。

图 3.5-9　马上水闸

3.5.9.3　地层岩性

马上水闸地基土共分为 5 个大层，12 个亚层，1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。该层局部夹 0.5m 的圆砾。中压缩性，场地内局部缺失。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场区均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。

④$_1$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色、黄绿色，为第二硬土层，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质均匀，局部相变为粘土。

④$_2$ 粘土（mQ_3^{2-2}）：灰色，软塑～可塑状，以软塑状为主，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部含砂量稍高，相变为粉质粘土。

④$_3$ 圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，土质不均匀，中压缩性，场地内少量地段分布。

⑤$_1$ 粉质粘土（al-lQ_3^{2-1}）：

灰绿色、灰黄色、灰兰色，厚层状，可塑为主，局部软可塑，局部地段近粘土。

⑤$_3$ 圆砾

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，低压缩性，场地内大部分钻孔中揭示。

⑤$_{3J}$ 含砾粉质粘土（al-plQ）：

灰黄、灰色，冲洪积成因，属混合类土，主要为粉质粘土、碎石、砾砂组成，粗细颗粒含量不稳定，一般粉质粘土含量约 60%～70%，碎砾含量约 30%，其余为砂。粉质粘土呈可塑～硬可塑状，中等压缩性。场地内局部地段分布。

3.5.9.4　水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。

承压水主要分布于工程区的中下部⑤$_3$圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.9.5 地基土工程地质特性分析与评价

马上水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$淤泥、0$_2$素填土、0$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土、④$_1$粉质粘土、④$_2$粘土、④$_3$圆砾、⑤$_1$粉质粘、⑤$_3$圆砾、⑤$_{3J}$含砾粉质粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$塘泥、0$_2$素填土、0$_3$耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度小，工程性质一般，且该层具有上硬下软的特点，且下部为淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，弱透水性为主，工程性质差，水闸场地内厚度相对较大，开挖后易发生流土及渗透流失等破坏，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与稳定性验算。

④$_1$粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较不稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$粘土，软塑，高压缩性，厚度大，该层可与④$_1$粉质粘土联合做为荷载较小建筑物的端承摩擦桩的桩端土层。

④$_3$圆砾，中密~密实为主，低压缩性，场地内少量地段分布；⑤$_1$粉质粘土，⑤$_{3J}$含砾粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，埋藏深度大。以上 3 个层可联合做为灌注桩的桩端土。

⑤$_3$圆砾，中密状~密实，低压缩性，埋藏较深，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标数理统计表”设计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.9.6 基础方案分析及建议

拟建马上水闸设计闸底高程为 0.5m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件复杂，各岩土层分布不均，岩性变化较大，持力层顶板起伏较大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 层以下土层联合作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用抛石挤淤进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂流塑状，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_1$ 粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、①$_2$ 淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.9.7 基坑支护

拟建马上水闸设计闸底高程为 0.5m，开挖涉及地层主要为 0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，水闸附近无建筑物，可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂中，局部位于①$_1$ 粉质粘土中。②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂呈透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0。

3.5.9.8 不利埋藏物

经调查发现，马上水闸上游范围内有顶管通过，设计与施工时应引起重视。

3.5.10　马中水闸工程地质条件及评价

3.5.10.1　马中水闸概况

马中水闸为改建，位于马屿镇马上村，飞云江左岸的支流上，拟建马中水闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为1.0m。

本阶段勘察，马中水闸共布置3个钻孔，最大孔深31.5m。

3.5.10.2　地形地貌

马中水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，老闸位于拟建新闸上游约35m,两侧为河堤及农田；地面高程3.8~5.7m左右，河底高程1.0~1.5m左右，河道两岸为自然岸坡；场地较平整。地形地貌照片见图3.5-10。

图3.5-10　　马中水闸

3.5.10.3　地层岩性

马中水闸地基土共分为5个大层，9个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粘土（mQ_4^3）

灰黄色～灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂；高压缩性。场地内局部分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场区均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。

④$_3$ 圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀。

3.5.10.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，水闸位于老闸下游约 35m 处，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.10.5　地基土工程地质特性分析与评价

马中水闸勘察深度范围内地层为 0_0 淤泥、0_2 素填土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥、0_2 素填土、0_3 耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度相对较大，开挖后易发生流土及渗透流失等破坏，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与稳定性验算。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，埋藏较深，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标数理统计表”设计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.10.6　基础方案分析及建议

拟建马中水闸设计闸底高程为 1.0m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。由于②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件复杂，各岩土层分布不均，岩性变化较大，持力层顶板起伏较大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 层圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂流塑状，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、①$_2$ 淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.10.7 基坑支护

拟建马中水闸设计闸底高程为 1.0m，开挖涉及地层主要为 0_0 淤泥、0_2 素填土、0_3 耕土、$①_1$ 粉质粘土、$①_2$ 淤泥质粉质粘土、$②_{2a}$ 淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0_2 素填土、0_3 耕土、$①_1$ 粉质粘土、$①_2$ 淤泥质粉质粘土、$②_{2a}$ 淤泥夹粉砂，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。由于开挖深度较浅，水闸附近无建筑物，可采用放坡开挖，也可采用放坡+钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑周围废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于$②_{2a}$淤泥夹粉砂中，局部位于$①_2$淤泥质粉质粘土中。$②_{2a}$淤泥夹粉砂呈透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：$①_2$淤泥质粉质粘土、$②_{2a}$淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0。

3.5.10.8 不利埋藏物

经调查发现，马中水闸上游范围内有顶管通过，设计与施工时应引起重视。

3.5.11 河溪水闸工程地质条件及评价

3.5.11.1 河溪水闸概况

河溪水闸为新建，位于马屿镇马下村和陶山镇八甲村，飞云江左岸的支流上，拟建河溪水闸规模为 3 孔×5m，设计底板闸底高程为-1.00m。

本阶段勘察，河溪水闸共布置 4 个钻孔和 1 个静探，另引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 45.80m。

3.5.11.2 地形地貌

河溪水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，左岸为道路和房屋，地面高程 6.5~7.5m；右岸为农田，地面高程 4.5~5.5m 左右，河底高程-1.7~-1.0m 左右，河道两岸为自然岸坡；场地较平整。地形地貌照片见图 5.11-1。

图 3.5-11　河溪水闸

3.5.11.3　地层岩性

河溪水闸地基土共分为 6 个大层，14 个亚层，1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，碎块石含量约占 10～70%，一般粒径 2～10cm，块石最大粒径大于 20cm，粘性含量约占 10~50%。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性。场地内局部分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内大部分地段均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。

④$_1$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色、黄绿色，可塑状，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质不均匀。场地内局部地段分布。

④$_2$ 粘土（mQ_3^{2-2}）：

灰色，软塑～可塑状，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部含砂量稍高，场地内局部地段分布。

④$_3$ 卵石（al-plQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～50mm 为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。低压缩性，场地内局部缺失。

④$_{3f}$ 粉质粘土（al-mQ_3^{2-2}）

灰色、灰褐色，软塑状，含少量贝壳碎屑、粉砂及半碳化物，分布规律性差，部分含砂量稍高，土质不均，中等～高压缩性，为④$_3$ 圆砾层中夹层。

⑤$_1$ 粉质粘土（al-lQ_3^{2-1}）：

灰绿色、灰黄色、灰兰色，厚层状，可塑为主，局部软可塑，切面较光滑，土质较均一。中偏高压缩性。

⑤$_3$ 圆砾

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 40～50%，粒径以 20～60mm 为主。低压缩性。

3.5.11.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾、⑤$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.11.5 地基土工程地质特性分析与评价

河溪水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_1$ 粉质粘土、④$_2$ 粘土、④$_3$ 卵石、④$_{3f}$ 粉质粘土、⑤$_1$ 粉质粘土、⑤$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_1$ 杂填土、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度小，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度相对较大，开挖后易发生流土及渗透流失等破坏，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与稳定性验算。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥，稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质相对较好，但场地内局部地段分布。

④$_1$ 粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，厚度一般，局部缺失；④$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，厚度分布不均，局部地段缺失；④$_3$ 圆砾，中密~密实为主，低压缩性，场地内少量地段分布，且该层中存在厚度 1.0~2.0m 左右的软塑状粉质粘土夹层，工程性质相对较差；⑤$_1$ 粉质粘土，可塑为主，局部软可塑，中偏高压缩性，

局部缺失。这几层是场地内的桩周摩擦土层，不宜作为持力层。

⑤$_3$圆砾，中密状~密实，层位稳定，低压缩性，埋藏较深，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标数理统计表”设计参数见“马屿镇梅屿段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.11.6 基础方案分析及建议

拟建河溪水闸设计闸底高程为-1.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为②$_{2a}$淤泥夹粉砂。由于②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件复杂，各岩土层分布不均，岩性变化较大，持力层顶板起伏较大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用⑤$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为②$_{2a}$淤泥夹粉砂流塑状，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/②$_{2a}$淤泥夹粉砂摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.11.7 基坑支护

拟建河溪水闸设计闸底高程为-1.00m，开挖涉及地层主要为 0$_0$淤泥、0$_1$杂填土、0$_2$素填土、0$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_1$杂填土、0$_2$素填土、0$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 4.40~7.40m，拟建闸底板高程 0.00m，闸基开挖深度较大。水闸左岸分布建筑物，岸坡距离建筑物 7~10m，右岸有一座高压线塔，高压线塔至右岸坡直线距离 25~30m，结合场地条件，建议采用钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于②$_{2a}$淤泥夹粉砂中。②$_{2a}$淤泥夹粉砂呈透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②$_{2a}$淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0。

3.5.11.8 不利埋藏物

经调查发现，河溪水闸上游范围内有顶管通过，设计与施工时应引起重视。

3.5.12 七甲水闸工程地质条件及评价

3.5.12.1 七甲水闸概况

七甲水闸位于陶山镇七甲村，飞云江左岸的支流上，拟建七甲水闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为1.00m。本项目拆除原七甲水闸，在上游35m左右重建新闸址位于老水闸上游35m左右。

本阶段勘察，七甲水闸共布置2个钻孔和1个静探，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔2个，最大孔深45.80m。

3.5.12.2 地形地貌

七甲水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，老闸位于拟建新闸现有约37m，两岸为机耕路和农田，地面高程3.6~4.0m，河道两岸为自然岸坡；场地较平整。

3.5.12.3 地层岩性

七甲水闸地基土共分为4个大层，8个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约20cm。

0_3耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江

外侧缺失。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性。

②$_3$淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。

③$_1$淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内局部地段分布。

④$_3$圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主，局部粘土含量较高。

④$_{3g}$中砂

灰色，中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及贝壳碎屑，粒径不均匀，局部为砾砂，该层在④$_3$圆砾上部分布，厚度不大。

3.5.12.4 水文地质

水闸位于老闸内侧，内河水位受老闸控制。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.12.5 地基土工程地质特性分析与评价

七甲水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$淤泥、0$_2$素填土、0$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土、④$_3$圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

⓪$_0$塘泥、⓪$_2$素填土、⓪$_3$耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$粉砂夹淤泥、稍密～中密，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深。

④$_{3g}$中砂，中密，局部地段分布，层位不稳定，厚度不大，工程性质较差。

④$_3$圆砾，中密状~密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.12.6　基础方案分析及建议

拟建七甲水闸设计闸底高程为1.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为②$_{2a}$淤泥夹粉砂。由于②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为②$_{2a}$淤泥夹粉砂流塑状，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/②$_{2a}$淤泥夹粉砂摩擦系数f=0.22~0.25。

3.5.12.7　基坑支护

拟建七甲水闸设计闸底高程为1.00m，开挖涉及地层主要为⓪$_0$淤泥、⓪$_2$素填土、⓪

$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为θ$_2$素填土、θ$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程3.60~4.30m，拟建闸底板高程1.00m，闸基开挖深度不大。水闸两岸为大面积耕地，附近无建筑物，结合场地条件，闸基开挖可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于②$_{2a}$淤泥夹粉砂中。②$_{2a}$淤泥夹粉砂呈透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土1:2.0~1:3.0，②$_{2a}$淤泥夹粉砂1:4.0~1:5.0。

3.5.13 沙垟2#水闸工程地质条件及评价

3.5.13.1 沙垟2#水闸概况

沙垟2#水闸为原址拆除重建，位于陶山镇沙垟村，飞云江左岸的支流上，拟建沙垟2#水闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为1.50m。

根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于4m。

本阶段勘察，沙垟2#水闸共布置3个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔2个，最大孔深42.0m。

3.5.13.2 地形地貌

沙垟2#水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为水闸，两岸为老防洪堤、农田、鱼塘，地面高程3.6~4.0m，河道两岸为自然岸坡；场地较平整。地形地貌照片见图3.5-13。

图 3.5-13　　沙垟 2#水闸

3.5.13.3　地层岩性

沙垟 2#水闸地基土共分为 4 个大层，9 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处部及飞云江滩涂，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、

粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥(al-mQ$_4^2$)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性。

②$_3$ 淤泥（mQ$_4^2$）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ$_4^1$）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。

④$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，土质不均匀，局部粘土含量较高。

3.5.13.4 水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，老闸内侧水位受老闸控制，外侧水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.13.5 地基土工程地质特性分析与评价

沙垟 2#水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度不大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$粉砂夹淤泥，稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质相对较好。

④$_3$圆砾，中密状~密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.13.6 基础方案分析及建议

拟建沙垟 2#水闸设计闸底高程为 1.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为②$_{2a}$淤泥夹粉砂和②$_{2b}$粉砂夹淤泥。由于②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。②$_{2b}$粉砂夹淤泥，工程特性质相对较大，但土质不均，局部夹淤泥，拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

桩基设计和施工时应注意：

拟建沙垟 2#水闸在原水闸位置重建，经调查现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m，设计和施工时应注意旧闸基的不利影响。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为②$_{2a}$淤泥夹粉砂和②$_{2b}$粉砂夹淤泥，②$_{2a}$淤泥夹粉砂流塑状，抗冲刷能性差；②$_{2b}$粉砂夹淤泥，稍密～中密，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/②$_{2a}$淤泥夹粉砂摩擦系数 f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥摩擦系数 f=0.32~0.35。

3.5.13.7 基坑支护

拟建沙垟 2#水闸设计闸底高程为 1.50m，开挖涉及地层主要为 0$_0$淤泥、0$_2$素填土、

0_3耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂和②$_{2b}$粉砂夹淤泥。

闸室开挖后，基坑边坡地层为0_2素填土、0_3耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂和②$_{2b}$粉砂夹淤泥。工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程3.50~6.50m，拟建闸底板高程1.50m，水闸两岸以养殖塘为主，附近无建筑物，结合场地条件，闸基开挖可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于②$_{2a}$淤泥夹粉砂和②$_{2b}$粉砂夹淤泥中。②$_{2a}$淤泥夹粉砂弱透水性，②$_{2b}$粉砂夹淤泥弱~中等透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施，必要时宜采取降水措施，

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②$_{2a}$淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0，②$_{2b}$粉砂夹淤泥 1:3.0~1:3.5。

3.5.13.8 不利埋藏物

沙垟2#水闸为原址改建，根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于4m，设计与施工时应引起重视。

3.5.14 农渠涵闸工程地质条件及评价

3.5.14.1 农渠涵闸概况

农渠涵闸为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建农渠涵闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为2.00m。拟建涵闸位于老闸上游约95m左右。

本阶段勘察，农渠涵闸共布置2个钻孔和1个静探孔，最大孔深44.0m。

3.5.14.2 地形地貌

农渠涵闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为水渠，两岸为菜地，地面高程3.5~5.4m，河道两岸为自然岸坡，渠底高程为1.5~2.5m；场地较平整。地形地貌照片见图3.5-14。

图 3.5-14　　农渠涵闸

3.5.14.3　地层岩性

农渠涵闸地基土共分为 5 个大层，9 个亚层和 1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥(al-mQ$_4^2$)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性。

②$_3$ 淤泥（mQ$_4^2$）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土质较均匀。场区均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ$_4^1$）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。

③$_{夹}$圆砾

灰色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，土质不均。农渠下游局部地段分布。

④$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm 为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。低压缩性，场地内均有分布。

3.5.14.4　水文地质

水闸位于冲海积平原水渠上，河内水位受老闸控制，不受潮汐影响。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.14.5　地基土工程地质特性分析与评价

农渠涵闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③夹圆砾、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度不大，工程性质一般，但该层具

有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{3}$淤泥、③$_{1}$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$粉砂夹淤泥，稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质相对较好。

④$_{3}$圆砾，中密状~密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.14.6 基础方案分析及建议

拟建农渠涵闸设计闸底高程为2.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_{1}$粉质粘土和②$_{2a}$淤泥夹粉砂。

由于①$_{1}$粉质粘土工程性质一般，厚度不大，②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_{3}$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_{1}$粉质粘土和②$_{2a}$淤泥夹粉砂，①$_{1}$粉质粘土，软可塑，抗冲刷性能一般；②$_{2a}$淤泥夹粉砂和②$_{2b}$粉砂夹淤泥，②$_{2a}$淤泥夹粉砂流塑状，抗冲刷性能差；在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①1粉质粘土摩擦系数f=0.30；闸基砼/②$_{2a}$淤泥夹粉砂摩擦系数f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥摩擦系数f=0.32~0.35。

3.5.14.7 基坑支护

拟建农渠涵闸设计闸底高程为2.00m，开挖涉及地层主要为θ$_{0}$淤泥、θ$_{2}$素填土、θ

$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为θ$_2$素填土、θ$_3$耕土、①$_1$粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂和②$_{2b}$粉、细砂夹淤泥，工程性质极差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.50~5.00m，拟建闸底板高程 1.50m，水闸两岸以耕地为主，农渠右岸距离 30m 左右为高速公路，结合场地条件，闸基开挖可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_1$粉质粘土和②$_{2a}$淤泥夹粉砂中，局部可能揭示②$_{2b}$粉砂夹淤泥中。②$_{2a}$淤泥夹粉砂弱透水性，②$_{2b}$粉砂夹淤泥弱~中等透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施，必要时宜采取降水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②$_{2a}$淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0，②$_{2b}$粉砂夹淤泥 1:3.0~1:3.5。

3.5.15 沙垟下河闸工程地质条件及评价

3.5.15.1 沙垟下河闸概况

沙垟下河闸为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建沙垟下河闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为1.50m。拟建新闸位于老闸上游约20m左右。

根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于4m。

本阶段勘察，沙垟下河闸共布置3个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔2个，最大孔深44.0m。

3.5.15.2 地形地貌

沙垟下河闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为水渠，两岸为菜地和农田，地面高程3.0~4.3m，河道两岸为自然岸坡，渠底高程为1.5~2.0m；场地较平整。地形地貌照片见图3.5-15。

图 3.5-15　沙垟下河闸

3.5.15.3　地层岩性

沙垟下河闸地基土共分为 5 个大层，10 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

θ0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

θ1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，土质均匀性差。

θ2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

θ3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①1 粉质粘土（al-lQ$_4^3$）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江

外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂。场区分布广泛。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。闸址区均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。闸址区均有分布。

③$_2$ 粘土（mQ_4^1）：

灰色，软塑，细鳞片状、厚层状，含少量有机质、腐植物，夹少量粉砂，局部粉砂含量较高。土层均匀性较好。场区分布广泛。

④$_3$ 圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm 为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。闸址内均有分布。

3.5.15.4 水文地质

水闸位于冲海积平原水渠上，河内水位受老闸控制，不受潮汐影响。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.15.5 地基土工程地质特性分析与评价

沙垟下河闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土 $_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_1$ 杂填土、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度不大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，层厚薄，工程性质差。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见 “陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.15.6 基础方案分析及建议

拟建沙垟下河闸设计闸底高程为 1.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。由于①$_2$ 淤泥质粉质粘②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

水闸冲刷主要表现为河水对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，地基土呈流塑状，抗冲刷能性差建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_1$ 粉质粘土摩擦系数 f=0.30；闸基砼/①$_2$ 淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂摩擦系数 f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥摩擦系数 f=0.32~0.35。

3.5.15.7 基坑支护

拟建沙垟下河闸设计闸底高程为 1.50m，开挖涉及地层主要为θ$_0$ 淤泥、θ$_2$ 素填土、

①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土。闸室开挖后，基坑边坡地层为θ$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.30~4.70m，拟建闸底板高程 1.50m，水闸两岸以耕地为主，结合场地条件，闸基开挖可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂中，②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂弱透水性，闸室开挖时，存在流土现象，施工时应注意，必要时宜对坑底进行加固。基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0；②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0。

3.5.16 涵闸 2 工程地质条件及评价

3.5.16.1 涵闸 2 概况

涵闸 2 为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建涵闸 2 规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.50m。为原址拆除重建。

根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m。

本阶段勘察，涵闸 2 共布置 2 个钻孔和 1 个静探，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 44.0m。

3.5.16.2 地形地貌

涵闸 2 位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为老闸，两岸为农田和空地，地面高程 2.7~4.5m，河道两岸为自然岸坡，河底高程为 2.0~2.5m；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-16。

图 3.5-16　涵闸 2

3.5.16.3　地层岩性

涵闸 2 地基土共分为 5 个大层，10 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

θ_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

θ_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

θ_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂，场地内均有分布。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性。场地内大部分地段分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。场地内均有分布。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm 为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

3.5.16.4　水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。闸内侧水位受老闸控制，不受潮汐影响。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.16.5　地基土工程地质特性分析与评价

涵闸 2 勘察深度范围内地层为 0_0 淤泥、0_2 素填土、0_3 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 淤泥、0_2 素填土、0_3 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度不大，局部缺失，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质

差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见 “陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.16.6 基础方案分析及建议

拟建涵闸 2 设计闸底高程为 2.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粉质粘土。由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粉质粘土，流塑，抗冲刷性能差；在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.16.7 基坑支护

拟建涵闸 2 设计闸底高程为 2.50m，开挖涉及地层主要为θ$_0$ 淤泥、θ$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为θ$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.90~5.10m，拟建闸底板高程 2.50m，水闸左岸以耕地为主，右岸现状为空地，结合现场条件，闸基开挖可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粉质粘土，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.16.8 不利埋藏物

拟建涵闸 2 为原址改建，根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m，设计与施工时应引起重视。

3.5.17 涵闸 3 工程地质条件及评价

3.5.17.1 涵闸 3 概况

涵闸 3 为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建涵闸 3 规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.00m。为原址拆除重建。

根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m。

本阶段勘察，涵闸 3 共布置 3 个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 45.0m。

3.5.17.2 地形地貌

涵闸 3 位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为老闸，两岸为农田和空地，地面高程 3.8~4.6m，河道两岸为自然岸坡，闸内侧河底高程为 1.2~1.7m，闸外侧河底高层为-1.2~1.3m；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-17。

图 3.5-17　涵闸 3

3.5.17.3 地层岩性

涵闸 3 地基土共分为 4 个大层，9 个亚层和 1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

θ_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

θ_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂，场地内均分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内大部分地段分布。

②$_{2b}$ 粉砂(al-mQ_4^2)

灰色，稍密～中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及少量贝壳碎屑，土质不均匀。场地内大部分地段分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内均分布。

④$_1$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色，可塑状，中等压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质均匀。局部地段分布。

④$_3$ 圆砾（al-plQ_3^{2-2}）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm

为主，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均分布。

3.5.17.4　水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。闸内侧水位受老闸控制，不受潮汐影响。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。

承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.17.5　地基土工程地质特性分析与评价

涵闸 3 勘察深度范围内地层为0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_1$ 粉质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_2$ 素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度不大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥，稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质相对较好。局部地段缺失。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.17.6　基础方案分析及建议

拟建涵闸 3 设计闸底高程为 1.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基

土主要为①$_2$淤泥质粉质粘土。由于①$_2$淤泥质粉质粘土力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$淤泥质粉质粘土，流塑，抗冲刷性能差；在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$淤泥质粉质粘土摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.17.7 基坑支护

拟建涵闸 3 设计闸底高程为 1.00m，开挖涉及地层主要为 0$_0$淤泥、0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.80~4.80m，拟建闸底板高程 1.00m，水闸左岸为机耕路和空地，右岸为一条水渠，水渠内侧为耕地，结合现场条件，闸基开挖可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$淤泥质粉质粘土，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0.

3.5.17.8 不利埋藏物

拟建涵闸 2 为原址改建，根据走访调查，现状水闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m，设计与施工时应引起重视。

3.5.18 涂头前河闸工程地质条件及评价

3.5.18.1 涂头前河闸概况

涂头前河闸为拆除重建水闸，位于陶山镇涂头村，拟建涂头前河闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为2.00m。老闸位于拟建新闸下游约50m。

本阶段勘察，涂头前河闸共布置3个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔2个，最大孔深39.0m。

3.5.18.2 地形地貌

涂头前河闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为渠道，两岸为农田和空地，上游侧为温州绕城公路，地面高程3.6~4.0m，河道两岸为自然岸坡，河底高层为0.5~1.0m；场地较平整。

3.5.18.3 地层岩性

涂头前河闸地基土共分为5个大层，10个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰黄色，流塑，主要分布于河道底淤积处，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约20cm。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂；

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般0.5~2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂,局部为粘质粉土、砂质粉土，土质不均。场地内均分布。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色，稍密～中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及少量贝壳碎屑，土质不均匀。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层较均匀。场地内均有分布。

③$_1$淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内局部地段缺失。

④$_1$粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色，可塑状，中等压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，土质均匀。场地内局部地段缺失。

④$_3$圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2-2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以20～60mm为主，其中＞20mm颗粒含量一般30～40%。场地内均有分布。

3.5.18.4　水文地质

水闸位于水渠与飞云江交叉口，内河侧水位受老闸控制，不受潮汐影响。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。

承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.18.5　地基土工程地质特性分析与评价

涂头前河闸勘察深度范围内地层为0_0淤泥、0_2素填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂夹淤泥、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土、④$_1$粉质粘土、④$_3$圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0塘泥、0_2素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进

行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$粉砂，稍密～中密，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深。

④$_{1}$粉质粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，局部分布。

④$_{3}$圆砾，中密状～密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.18.6 基础方案分析及建议

拟建涂头前河闸设计闸底高程为 2.20m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_{2}$淤泥质粉质粘土，局部为②$_{2a}$淤泥夹粉砂。由于①$_{2}$淤泥质粉质粘土和②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_{3}$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_{2}$淤泥质粉质粘土，流塑，抗冲刷性能差；在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_{2}$淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.18.7 基坑支护

拟建涂头前河闸设计闸底高程为 2.20m，开挖涉及地层主要为 0$_{0}$淤泥、0$_{2}$素填土、①$_{1}$粉质粘土、①$_{2}$淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_{2}$素填土、①$_{1}$粉质粘土、①$_{2}$淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.60~4.50m，拟建闸底板高程 2.20m，基坑开挖深度较浅，水闸两岸为耕地，且离温州绕城高速较近，结合现场条件，基坑开挖时靠近高速公路侧基坑开挖时应进行必要的支护，支护方式可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩；离高速公路较

远处基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粉质粘土，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0；

3.5.19 涵闸 4 工程地质条件及评价

3.5.19.1 涵闸 4 概况

涵闸 4 为新建水闸，位于陶山镇涂头村，拟建涵闸 4 规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.50m。

本阶段勘察，涵闸 4 共布置 3 个钻孔，最大孔深 42.0m。

3.5.19.2 地形地貌

涵闸 4 位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为渠道，两岸为农田和空地，上游侧为温州绕城公路，地面高程 3.4~4.5m，河道两岸为自然岸坡，河底高程为 0.5~1.0m；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-19。

图 3.5-19　涵闸 4

3.5.19.3 地层岩性

涵闸 4 地基土共分为 4 个大层，10 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土或粘土，含腐殖质、植物根系。

$①_1$ 粉质粘土（$al\text{-}lQ_4^3$）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

$①_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，场地内均有分布。

$②_{2b}$ 粉砂夹淤泥($al\text{-}mQ_4^2$)

灰色，稍密～中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及少量贝壳碎屑，土质不均匀，场地内均有分布。

$②_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

$③_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内均有分布。

$③_2$ 粘土（mQ_4^1）

灰色，软塑状，高压缩性，主要由粘、粉粒组成，含少量有机质、腐植物，土层均匀性较好。场地内局部缺失。

$④_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm 为主，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%。土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

各孔地层分布情况详见工程地质剖面 JG18-JG18’。

3.5.19.4 水文地质

水闸位于水渠与飞云江交叉口，内河侧水位受老闸控制，不受潮汐影响。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.19.5 地基土工程地质特性分析与评价

涵闸 4 勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2b}$ 粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_2$ 素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$ 粉砂，稍密～中密，中压缩性，工程性质较好，但埋藏相对较深。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，工程性质差。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见 “陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.19.6 基础方案分析及建议

拟建涵闸 4 设计闸底高程为 0.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粉质粘土。由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉

降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粉质粘土，流塑，抗冲刷性能差；在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粉质粘土 f=0.22~0.25。

3.5.19.7 基坑支护

拟建涵闸 4 设计闸底高程为 0.50m，开挖涉及地层主要为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.60~4.70m，拟建闸底板高程 0.50m，基坑开挖深度较浅，水闸两岸为耕地，且离温州绕城高速较近，结合现场条件，基坑开挖时靠近高速公路侧基坑开挖时应进行必要的支护，支护方式可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩；离高速公路较远处基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粉质粘土，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.20 涵闸 5 工程地质条件及评价

3.5.20.1 涵闸 5 概况

涵闸 5 为新建水闸，位于陶山镇涂头村，拟建涵闸 5 规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.50m。

本阶段勘察，涵闸 5 共布置 3 个钻孔，最大孔深 48.0m。

3.5.20.2　地形地貌

涵闸 5 位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为渠道，两岸为农田和空地，上游侧为温州绕城公路，地面高程 3.8~4.2m，河道两岸为自然岸坡；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-20。

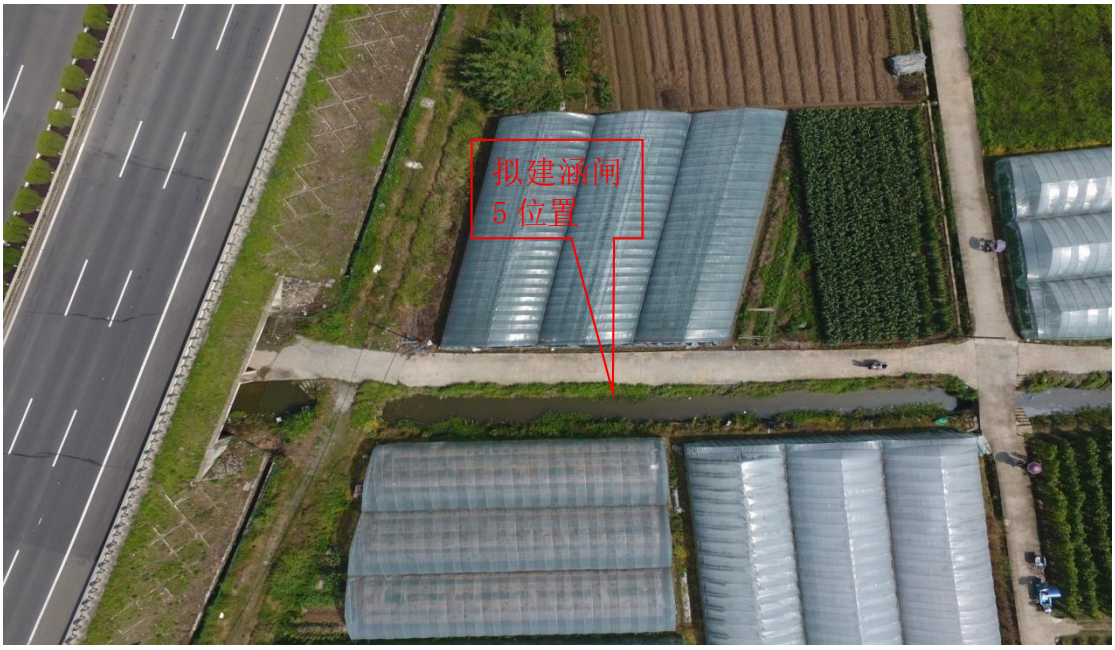


图 3.5-20　涵闸 5

3.5.20.3　地层岩性

涵闸 5 地基土共分为 6 个大层，9 个亚层和 1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，岩性为粉质粘土或粘土，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，场地内均有分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂($al\text{-}mQ_4^2$)：

灰色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。场地内均有分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内均有分布。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm 为主，＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

⑤$_2$ 粉质粘土（$mQ_3^{2\text{-}1}$）：

灰色，软塑～软可塑状，中～高压缩性，夹少量贝壳碎屑、粉砂及少量腐殖质，局部含砂量稍高。分布不均匀，场地内局部揭示。

⑤$_3$ 卵石

灰色、黄灰色，中密~密实，粒径以 20～60mm 为主，＞20mm 颗粒含量一般 55～70%，低压缩性。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好。场地内局部揭示。

3.5.20.4　水文地质

水闸位于水渠与飞云江交叉口，内河侧水位受老闸控制，不受潮汐影响。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾、⑤$_3$ 卵石层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.20.5　地基土工程地质特性分析与评价

涵闸 5 勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、④$_3$ 圆砾、⑤$_2$ 粉

质粘土、⑤$_3$卵石。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$塘泥、0$_2$素填土，0$_3$耕土松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_3$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、③$_1$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$圆砾，中密状~密实，低压缩性，厚度不大。

⑤$_2$粉质粘土，软塑为主，高压缩性。

⑤$_3$卵石，中密，低压缩性，工程性质好，可作为水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.20.6 基础方案分析及建议

拟建涵闸 5 设计闸底高程为 0.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$淤泥质粉质粘土，局部为②$_{2a}$淤泥夹粉砂。由于①$_2$淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

如以④$_3$圆砾作为桩端持力层，其下卧层⑤$_2$粉质粘土，软塑状，应保证桩端以下持力层厚度不小于 5 倍桩径。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$淤泥质粉质粘土，局部为②$_{2a}$淤泥夹粉砂，流塑，抗冲刷性能差；在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，

建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$淤泥质粉质粘土 f=0.22~0.25。闸基砼/②$_{2a}$淤泥夹粉砂 f=0.22~0.25。

3.5.20.7 基坑支护

拟建涵闸 5 设计闸底高程为 0.50m，开挖涉及地层主要为 0$_0$淤泥、0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 4.00~4.40m，拟建闸底板高程 0.50m，基坑开挖深度较浅，水闸两岸为耕地，且离温州绕城高速较近，结合现场条件，基坑开挖时靠近高速公路侧基坑开挖时应进行必要的支护，支护方式可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩；离高速公路较远处基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$淤泥质粉质粘土，局部为②$_{2a}$淤泥夹粉砂，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.21 石埠水闸工程地质条件及评价

3.5.21.1 石埠水闸概况

石埠水闸为新建水闸，位于陶山镇石埠村，拟建石埠水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.00m。

本阶段勘察，石埠水闸共布置 3 个钻孔，最大孔深 41.0m。

3.5.21.2 地形地貌

石埠水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为渠道，两岸为农田和空地，上游侧为温州绕城公路，地面高程 3.7~4.9m，老闸外侧河底高程约 0.2~1.7m，老闸内侧河底高程约 2.5m,河道两岸为自然岸坡；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-21。

图 3.5-21　　石埠水闸

3.5.21.3　地层岩性

石埠水闸地基土共分为 5 个大层，9 个亚层和 1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂；

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥(al-mQ$_4^2$)

灰色色，稍密～中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及少量贝壳碎屑，土质不均匀，夹少量淤泥及腐殖质。

②$_3$ 淤泥（mQ$_4^2$）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ$_4^1$）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。

④$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，粒径以 20～60mm 为主，2～20mm 颗粒含量一般 15～25%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。

④$_{3f}$ 粘土（al-mQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰褐色，软可塑状，高压缩性，含少量贝壳碎屑、粉砂及半碳化物，为④3 圆砾层中夹层。

3.5.21.4　水文地质

水闸位于飞云江支流与飞云江交叉口，河内水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。内河侧水位受老闸控制，不受潮汐影响。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.21.5　地基土工程地质特性分析与评价

石埠水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_3$ 圆砾、④$_{3f}$ 粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_0 塘泥、0_2 素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_3$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、稍密～中密，中压缩性，工程性质较好，局部分布。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，厚度不大，可作为拟建水闸的桩基持力层。

④$_{3f}$ 粘土，软可塑，局部分布，不宜利用。

地基土统计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇荆谷段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.21.6 基础方案分析及建议

拟建石埠水闸设计闸底高程为 1.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。由于①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粉质粘土，局部为②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，流塑，抗冲刷性能差；在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粉质粘土 f=0.22~0.25。闸基砼/②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂 f=0.22~0.25。

3.5.21.7 基坑支护

拟建石埠水闸设计闸底高程为 1.00m，开挖涉及地层主要为 0_0 淤泥、0_2 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0_2 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 2.40~4.00m，拟建闸底板高程 1.00m，基坑开挖深度较浅，水闸两岸为耕地，且离温州绕城高速较近，结合现场条件，基坑开挖时靠近高速公路侧基坑开挖时应进行必要的支护，支护方式可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩；离高速公路较远处基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粉质粘土，局部为②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粉质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.22 龟岩水闸工程地质条件及评价

3.5.22.1 龟岩水闸概况

龟岩水闸为新建水闸，位于陶山镇西坞村，拟建龟岩水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.50m。

本阶段勘察，龟岩水闸共布置 2 个钻孔和 1 个静探孔，最大孔深 42.0m。

3.5.22.2 地形地貌

龟岩水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为鱼塘，两岸为鱼塘，地面高程 4.1~5.2m，水塘及河道低高程为 1.5~2.0m，飞云江侧河东底高程-6.0~-6.5m；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-22。

图 3.5-22　　龟岩水闸

3.5.22.3　地层岩性

龟岩水闸地基土共分为 4 个大层，9 个亚层和 1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

②$_1$ 淤泥

灰色，流塑，饱和，厚层状，粘塑性好。场地内局部缺失。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有

机质，厚度不均。场地内均有分布。

②$_{2b}$粉砂夹淤泥(al-mQ$_4^2$)

灰色色，稍密～中密，很湿，中压缩性，含大量云母碎屑及少量贝壳碎屑，土质不均匀，夹少量淤泥及腐殖质。场地内局部缺失。

②$_3$淤泥（mQ$_4^2$）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$淤泥质粘土（mQ$_4^1$）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内均有分布。

③$_2$粘土（mQ$_4^1$）：

灰色，软塑状，细鳞片状。含少量有机质、腐植物，土层均匀。场地内均有分布。

④$_3$圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以20～60mm为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

3.5.22.4　水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。内河水位受老闸控制，不受潮汐影响。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.22.5　地基土工程地质特性分析与评价

龟岩水闸勘察深度范围内地层为0$_0$淤泥、0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_{2b}$粉砂夹淤泥、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土、③$_2$粘土、④$_3$圆砾、④$_{3f}$粘土。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$塘泥、0$_2$素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基

持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

②$_1$淤泥、②$_3$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、③$_1$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$粉砂夹淤泥、稍密～中密，中压缩性，工程性质较好，厚度薄。

③$_2$粘土，软塑，高压缩性，工程性质差。

④$_3$圆砾，中密状~密实，低压缩性，厚度不大，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇碧山段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇碧山段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.22.6 基础方案分析及建议

拟建龟岩水闸设计闸底高程为1.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂。由于②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

水闸闸基为②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂，流塑，抗冲刷性能差；在水流冲刷作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/②$_1$淤泥 f=0.20，闸基砼/②$_{2a}$淤泥夹粉砂 f=0.22~0.25。

3.5.22.7 基坑支护

拟建龟岩水闸设计闸底高程为1.50m，开挖涉及地层主要为0$_0$淤泥、0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、②$_1$淤泥和②$_{2a}$淤泥夹粉砂。

闸室开挖后，基坑边坡地层为0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、②$_1$淤泥，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程4.60~5.10m，拟建闸底板高程1.50m，基坑开挖深度较浅，水

闸两岸为养殖塘，附近无建筑物，结合现场条件，基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂中，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，②$_1$淤泥 1:4.0~1:5.0，②$_{2a}$淤泥夹粉砂 1:4.0~1:5.0。

3.5.23 碧山水闸工程地质条件及评价

3.5.23.1 碧山水闸概况

碧山水闸为新建水闸，位于陶山镇西坞村，拟建碧山水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.00m。

本阶段勘察，碧山水闸共布置 3 个钻孔，最大孔深 46.0m。

3.5.23.2 地形地貌

碧山水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为农田和水渠，两侧为农田，地面高程 3.6~5.4m，内河低高程为 2.2m，飞云江侧河东底高程-6.0m；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-23。

图 3.5-23　碧山水闸

3.5.23.3 地层岩性

碧山水闸地基土共分为 5 个大层，9 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，以粉质粘土或粘土为主，含腐殖质、植物根系。场地内均有分布。

①$_1$ 粉质粘土（$al\text{-}lQ_4^3$）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂；场地内均有分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂$(al\text{-}mQ_4^2)$：

灰色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。场地内均有分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。场地内均有分布。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～60mm 为主，＞20mm 颗粒含量一般 30～40%，颗粒级配不良，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

3.5.23.4 水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。内河水位受老闸控制，不受潮汐影响。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.23.5 地基土工程地质特性分析与评价

碧山水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_2$ 素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$ 圆砾，中密~密实，低压缩性，厚度不大，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见 “陶山镇碧山段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇碧山段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.23.6 基础方案分析及建议

拟建碧山水闸设计闸底高程为 1.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粘土。由于①$_2$ 淤泥质粘土力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起

伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粘土，流塑，抗冲刷性能差；在水流冲刷作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粉质粘土 f=0.22~0.25。

3.5.23.7 基坑支护

拟建碧山水闸设计闸底高程为 1.00m，开挖涉及地层主要为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.60~5.40m，拟建闸底板高程 1.00m，基坑开挖深度较浅，水闸两岸以水田为主，附近无建筑物，结合现场条件，基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粘土中，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.24 涂厂水闸工程地质条件及评价

3.5.24.1 涂厂水闸概况

涂厂水闸为新建水闸，位于陶山镇涂厂村，拟建涂厂水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.00m。

本阶段勘察，涂厂水闸共布置 3 个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 45.5m。

3.5.24.2 地形地貌

涂厂水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，左岸为鱼

塘，地面高程 2.6~5.0m，右岸为空地和鱼塘，地面高程 2.2~5.0m，河低高程为 0.0~-0.5m；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-24。

图 3.5-24　涂厂水闸

3.5.24.3　地层岩性

涂厂水闸地基土共分为 5 个大层，10 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差。

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

0_3 耕土(rQ)

灰黄色，松散，以粉质粘土或粘土为主，含腐殖质、植物根系。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粉质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂；局部缺失。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥($al\text{-}mQ_4^2$)

灰色，稍密～中密，中压缩性，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质。局部地段分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。场地内均有分布。

③$_2$ 粘土（mQ_4^1）：

灰色，软塑状，高压缩性，含少量有机质、腐植物，土层均匀性较好。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以 20～50mm 为主，含量一般 30～40%，颗粒级配不良，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

3.5.24.4　水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.24.5　地基土工程地质特性分析与评价

涂厂水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 塘泥、0$_2$ 素填土、0$_3$ 耕土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$ 粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$ 粉砂、稍密～中密，很湿，中压缩性，工程性质一般，分布不均。

③$_2$ 粘土，软塑，高压缩性，工程性质差。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，厚度不大，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇碧山段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇碧山段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.24.6 基础方案分析及建议

拟建涂厂水闸设计闸底高程为 0.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粘土，局部地段为②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥。①$_2$ 淤泥质粘土、力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，工程性质较好，局部地段分布，拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粘土，流塑，②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，稍密～中密，抗冲刷性能差；在水流冲刷作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粘土 f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥摩擦系数 f=0.32~0.35。

3.5.24.7 基坑支护

拟建涂厂水闸设计闸底高程为 0.00m，开挖涉及地层主要为 0$_0$ 淤泥、0$_2$ 素填土、①

$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 2.6~5.0m，拟建闸底板高程 0.00m，基坑开挖深度相对较深。拟建水闸两岸左岸为鱼塘，右岸为空地和鱼塘，，附近无建筑物，结合现场条件，基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$淤泥质粘土中，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$淤泥质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.25 渡头水闸工程地质条件及评价

3.5.25.1 渡头水闸概况

渡头水闸为新建水闸，位于陶山镇涂厂村，拟建渡头水闸规模为 3 孔×5m，设计底板闸底高程为 0.00m。

本阶段勘察，渡头水闸共布置 3 个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 47.0m。

3.5.25.2 地形地貌

渡头水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为空地和鱼塘，地面高程 3.7~5.7m；场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-25。

图 3.5-25　渡头水闸

3.5.25.3　地层岩性

渡头水闸地基土共分为 5 个大层，7 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_2 素填土(rQ)

灰色、灰黄色，为人工填筑形成，主要由黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，机耕路表层的水泥路面，厚度约 20cm。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_4^3）

灰黄色，软可塑为主，含铁锰质氧化班，俗称“硬壳层”，中偏高压缩性，河道及江外侧缺失。

①$_2$ 淤泥质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土。场地内均有分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)：

灰色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。场地内局部地段缺失。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，含

少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。场地内局部地段分布。

④$_3$圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2\text{-}2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，粒径以20～50mm为主，含量一般30～40%，颗粒级配不良，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

3.5.25.4 水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部④$_3$圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.25.5 地基土工程地质特性分析与评价

渡头水闸勘察深度范围内地层为0$_2$素填土、①$_1$粉质粘土、①$_2$淤泥质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土、④$_3$圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_2$素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_1$粉质粘土，软可塑为主，中偏高压缩性，厚度相对变化较大，工程性质一般，但该层具有上硬下软的特点，且下部为厚度较大的淤泥质土，如利用该层做为天然地基持力层，应对软弱下卧层进行变形和抗滑稳定验算。

①$_2$淤泥质粘土、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥、③$_1$淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

④$_3$圆砾，中密~密实，低压缩性，厚度不大，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“陶山镇碧山段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“陶山镇碧山段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.25.6 基础方案分析及建议

拟建渡头水闸设计闸底高程为 0.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。由于①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粘土，流塑，②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，稍密～中密，抗冲刷性能差；在水流冲刷作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粘土 f=0.22~0.25；闸基砼/②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂摩擦系数 f=0.22~0.25。

3.5.25.7 基坑支护

拟建渡头水闸设计闸底高程为 0.00m，开挖涉及地层主要为 0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为 0$_2$ 素填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 3.7~5.7m，拟建闸底板高程-2.00m，基坑开挖深度较深。拟建闸址处现状为空地和鱼塘，附近无建筑物，结合现场条件，基坑开挖时可采用放坡开挖，也可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粘土中，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_1$ 粉质粘土 1:2.0~1:3.0，①$_2$ 淤泥质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.26　洲渎水闸工程地质条件及评价

3.5.26.1　洲渎水闸概况

洲渎水闸为新建水闸，位于桐浦镇洲渎村，拟建洲渎水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.5m。

本阶段勘察，洲渎水闸共布置 3 个钻孔，最大孔深 57.0m。

3.5.26.2　地形地貌

洲渎水闸位于飞云江左岸，场地为海积堆积地貌。闸址处现状为空地和房屋，两侧为房屋，地面高程 4.4m 左右；飞云江河底高程 1.26m，内河河底高程 1.2m 左右，场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-26。

图 3.5-26　　洲渎水闸

3.5.26.3　地层岩性

洲渎水闸地基土共分为 5 个大层，9 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，土质均匀性差。

①$_2$ 淤泥质粘土（mQ_4^3）

灰色，流塑状，饱和，厚层状，土质较均匀，局部夹粉土或粉砂。场地内均有分布。

②$_1$ 淤泥

灰色，流塑，饱和，厚层状，粘塑性好。场地内均有分布。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场地内局部地段缺失。

③$_3$ 粉、细砂

灰色，稍~中密，饱和，中压缩性，主要由中砂、粉细砂及粘粉粒组成，砂含量占60~70%，粘粉粒含量占30~40%，砂粒成份中以白色石英为主，土层均匀性较差。场地内均有分布。

④$_2$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰色，软塑～可塑状，以软塑状为主，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部地段底部夹中、粗砂。场地内均有分布。

④$_3$ 圆砾（$al\text{-}plQ_3^{2-2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由砾石、砂及黏性土组成，以2～40mm粒径为主，颗粒含量一般40～60%，局部以砾砂为主。场地内均有分布。

3.5.26.4　水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部③$_3$ 粉、细砂、④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。

3.5.26.5　地基土工程地质特性分析与评价

洲渎水闸勘察深度范围内地层为 0_2 素填土、①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_3$ 粉、细砂、④$_2$ 粉质粘土、④$_3$ 圆砾。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_2 素填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

③$_3$ 粉、细砂、稍密～中密，很湿，中压缩性，厚度不大，工程性质一般。

④$_2$ 粉质粘土，软塑为主，高压缩性。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，厚度不大，可作为拟建水闸的桩基持力层。

地基土统计参数见“桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见 “桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.26.6　基础方案分析及建议

拟建洲渎水闸设计闸底高程为 0.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粘土。由于①$_2$ 淤泥质粘土、力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用④$_3$ 圆砾作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1.0m。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粘土，流塑，抗冲刷性能差；在水流冲刷作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粘土 f=0.22~0.25。

3.5.26.7　基坑支护

拟建洲渎水闸设计闸底高程为 0.50m，开挖涉及地层主要为 0_0 淤泥、0_1 杂填土、①

$_2$淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为①$_2$淤泥质粘土，工程性质差；淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址区现状地面高程 4.40m，拟建闸底板高程 0.50m，基坑开挖深度较深。水闸两侧为房屋，基坑开挖时应进行支护，基坑开挖时可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护。具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$淤泥质粘土中，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_2$淤泥质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.27 塔山水闸工程地质条件及评价

3.5.27.1 塔山水闸概况

塔山水闸为拆除重建水闸，位于桐浦镇五联村，拟建塔山水闸规模为 3 孔×4m，设计底板闸底高程为 0.5m。

现状水闸置于基岩上，闸底高程 1.3m 左右。

本阶段勘察，塔山水闸共布置 5 个钻孔，最大孔深 20.0m。

3.5.27.2 地形地貌

塔山水闸位于飞云江左岸，场地为丘陵地貌向海积地貌过度带。闸址处现状为水闸，水闸左岸为道路和房屋，地面高程为 4.0~4.5m，右岸为房屋和空地，两侧为房屋，地面高程 4.3m 左右；内河河底高程 1.2~1.8m 左右，外侧河道河底高程-1.0~-1.6m，场地较平整。地形地貌照片见图图 3.5-27。

图 3.5-27　塔山水闸

3.5.27.3　地层岩性

塔山水闸地基土共分为 3 个大层，5 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，土质均匀性差。

$②_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内局部地段分布。

$⑩_2$ 强风化凝灰岩（J_3m）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，岩芯呈碎块、砾状。

$⑩_3$ 弱风化凝灰岩（J_3m）

灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为坚硬岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

3.5.27.4 水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。

场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、基岩裂隙水。孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。场地基岩裂隙水以构造裂隙水为主，主要分布于风化的裂隙中，水量少。

3.5.27.5 地基土工程地质特性分析与评价

塔山水闸勘察深度范围内地层为 0_1 杂填土、②$_1$ 淤泥、⑩$_2$ 强风化凝灰岩、⑩$_3$ 弱风化凝灰岩。闸基地质结构分类为双层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_1 杂填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

②$_1$ 淤泥、流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；

⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的基础持力层。

地基土统计参数见 “桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.27.6 基础方案分析及建议

拟建塔山水闸设计闸底高程为 0.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，可采用浅基础，以⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩作为浅基础持力层。

翼墙处局部地段淤泥分布，翼墙荷载相对较小，建议采用抛石挤淤进行处理，也可选用桩基础进行处理。

闸基砼/⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩抗剪断 f’=0.90。

3.5.28 浦底水闸工程地质条件及评价

3.5.28.1 浦底水闸概况

浦底水闸为新建水闸，位于桐浦镇五联村，拟建浦底水闸规模为 3 孔×5m，设计底

板闸底高程为-1.70m。

本阶段勘察，浦底水闸共布置 4 个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段 1 个钻孔和 2 个静探，最大孔深 46.0m。

3.5.28.2 地形地貌

浦底水闸位于飞云江左岸，场地为冲海积堆积地貌。闸址处现状为河道，左岸为农田和鱼塘，地面高程 3.4~4.5m 左右；右岸为空地，地面高程 3.0~5.0m；河底高程-1.5~-2.0m 左右，场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-28。

图 3.5-28 浦底水闸

3.5.28.3 地层岩性

浦底水闸地基土共分为 7 个大层，16 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，土质均匀性差。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_3^4）：

灰黄色、黄褐色，可塑状，中等～高压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，局含少量粉砂，下部土质略差，下部逐渐过渡为淤泥质土，为粉质粘土与淤泥过渡层。场地内局部地段缺失。

①$_2$ 淤泥质粘土（mQ_4^3）

灰黄色～灰色，流塑状，高压缩性，高韧性，干强度高，土质不均匀，夹粉土或粉砂。场地内局部地段缺失。

②$_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内局部地段分布。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，流塑，饱和，高压缩性，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。局部为粘质粉土、砂质粉土。场地内均有分布。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，很湿，中压缩性，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质。局部为中砂。场地内局部地段缺失。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。场地内均有分布。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。场区分布广泛。场地内均有分布。

③$_2$ 粘土（mQ_4^1）

灰色，软塑状，具细鳞片状，高压缩性，主要由粘、粉粒组成，含少量有机质、腐植物，夹少量粉砂，局部粉砂含量较高，切面光滑，干强度高，土层均匀性较好。

④$_1$ 粘土（mQ_3^{2-2}）

灰黄色、黄褐色，为第二硬土层，可塑状，中等压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点，局部含少量碎石，土质不均匀，局部相变为粘土，

④$_2$ 粉质粘土（mQ_3^{2-2}）

灰色，软塑～可塑状，以软塑状为主，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不

均匀，局部含少量碎石。

④$_3$ 圆砾（al-plQ$_3^{2-2}$）

灰色、灰黄色，稍密~中密，主要由砾石、砂及黏性土组成，其中＞20mm 颗粒含量一般 10～20%，2～20mm 颗粒含量一般 20～50%，0.075～2mm 颗粒含量约占 10%；小于 0.075mm 约占 25%。颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高，局部以砾砂为主。

⑤$_2$ 粉质粘土（mQ$_3^{2-1}$）

灰色，软塑～软可塑状，中～高压缩性，夹少量贝壳碎屑、粉砂及少量腐殖质，局部含砂量稍高。分布不均匀，场地少量深孔中揭示。

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J$_3$m）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J$_3$m）

灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为坚硬岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

3.5.28.4　水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。承压水主要分布于工程区的中下部③$_3$ 粉、细砂、④$_3$ 圆砾层中，水量一般。承压水地下水位动态随季节变化较小。根据周边类似施工经验，承压水对本工程影响不大。场地基岩裂隙水以构造裂隙水为主，主要分布于风化的裂隙中，水量少，对本工程影响不大。

3.5.28.5　地基土工程地质特性分析与评价

浦底水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土、①$_1$ 粉质粘土、①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、③$_2$ 粘土、④$_1$ 粘土、④$_2$ 粉质粘土、④$_3$ 圆砾、⑤$_2$ 粉质粘土、⑩$_2$ 强风化凝灰岩、⑩$_3$ 弱风化凝灰岩。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_1$ 杂填土，松散，土质不均，应挖除或进行地基处理。

①$_2$ 淤泥质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土，流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

②$_{2b}$ 粉、细砂夹淤泥，稍密～中密，中压缩性，厚度较大，工程性质较好。

④$_1$ 粘土，硬可塑～软可塑状，中等压缩性，力学强度尚可，分布较稳定，厚度一般，但埋藏较深，仅可作为荷载较小建筑物的桩基础持力层。但其下部为软塑的粘土，如以该层做桩基持力层，应对软弱下卧层进行变形验算。

④$_2$ 粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，层位稳定，厚度大，该层可联合④$_1$ 粉质粘土共同做为建筑物桩端土层。

④$_3$ 圆砾，中密状~密实，低压缩性，该层局部分布，厚度薄。

⑤$_2$ 粉质粘土，软塑为主，局部软可塑，高压缩性，埋藏深度大。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的桩基持力层。

地基土统计参数见“桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“桐浦塔山至澄头段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.28.6　基础方案分析及建议

拟建浦底水闸设计闸底高程为-1.70m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为①$_2$ 淤泥质粘土和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂。由于①$_2$ 淤泥质粘土、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

场地工程地质条件简单，各岩土层分布相对较均匀，岩性变化不大，持力层顶板起伏不大，建议闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1Dm。翼墙荷载相对较小，建议采用搅拌桩基高压旋喷桩复合地基进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为①$_2$ 淤泥质粘土和②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂，流塑，抗冲刷性能差；在水流冲刷作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/①$_2$ 淤泥质粘土 f=0.22~0.25，闸基砼/②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂 f=0.22~0.25。

3.5.28.7 基坑支护

拟建浦底水闸设计闸底高程为-1.70m，开挖涉及地层主要为 0_0 淤泥、0_1 杂填土、①$_2$ 淤泥质粉质粘土。

闸室开挖后，基坑边坡地层为0_1 杂填土和①$_2$ 淤泥质粉质粘土，工程性质差；淤泥及淤泥质土易向坑内流动、蠕动、滑坍，基坑侧壁稳定性极差，建议进行抗滑稳定验算。

闸址处现状为河道，左岸为农田和鱼塘，地面高程 3.4~4.5m 左右；右岸为空地，地面高程 3.0~5.0m；拟建闸底板高程-1.70m，基坑开挖深度较深。水闸两侧为房屋，基坑开挖时应进行支护，可采用放坡结合钢板桩或水泥土搅拌桩对基坑进行支护，具体支护措施、桩长、置换率等应由设计单位通过稳定计算确定，必要时也可结合水闸桩基础采用灌注桩进行基坑支护。施工时须严格控制基坑边废土的堆载厚度。

本区地下水与地表水水力联系较紧密，基坑开挖后，闸室主要位于①$_2$ 淤泥质粘土中，基坑开挖时应做好截渗排水措施。

闸基开挖临时开挖边坡：①$_2$ 淤泥质粘土 1:4.0~1:5.0。

3.5.29 下湾水闸工程地质条件及评价

3.5.29.1 下湾水闸概况

下湾水闸为拆除重建水闸，位于潘岱街道北首社区，拟建下湾水闸规模为1孔×5m，设计底板闸底高程为 0.0m。

现状水闸置于基岩上，闸底高程 1.3m 左右。

本阶段勘察，下湾水闸共布置,3 个钻孔，最大孔深 20.0m。

3.5.29.2 地形地貌

下湾水闸位于飞云江左岸，场地为丘陵地貌向海积地貌过度带。闸址处现状为河道，水闸两岸为空地，地面高程为 4.3~4.6m，上游侧为民居；内河河底高程 2.5m 左右，外侧河道河底高程-0.5~0.2m，场地较平整。地形地貌照片见图 3.5-29。

图 3.5-29　　下湾水闸

3.5.29.3　地层岩性

下湾水闸地基土共分为 4 个大层，9 个亚层和 1 个夹层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，土质均匀性差。

②$_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰黄色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，土层均匀。

②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂(al-mQ_4^2)

灰色，流塑，饱和，夹大量薄层粉砂、细砂，砂与淤泥呈互层状，含有机质，厚度不均。局部为粘质粉土、砂质粉土。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）

灰色，流塑状，细鳞片状构造，厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J_3m）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J_3m）

灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，为坚硬岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

3.5.29.4 水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、基岩裂隙水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。场地基岩裂隙水以构造裂隙水为主，主要分布于风化的裂隙中，水量少。

3.5.29.5 地基土工程地质特性分析与评价

下湾水闸勘察深度范围内地层为 0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、③$_1$ 淤泥质粘土、⑩$_2$ 强风化凝灰岩、⑩$_3$ 弱风化凝灰岩。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0$_0$ 淤泥、0$_1$ 杂填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、③$_1$ 淤泥质粘土、流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄。

⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的基础持力层。

地基土统计参数见“白莲段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见表“白莲段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.29.6 基础方案分析及建议

拟建下湾水闸设计闸底高程为 0.00m，根据勘察揭示，水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，局部为淤泥质土，可采用浅基础，以⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩作为浅基础持力层。

翼墙处局部地段淤泥分布，翼墙荷载相对较小，建议采用抛石挤淤进行处理，也可选用墩基础进行处理。

闸基砼/⑩$_3$层弱风化凝灰岩抗剪断 f’=0.90。

3.5.30 七国垟水闸工程地质条件及评价

3.5.30.1 七国垟水闸概况

七国垟水闸为拆除重建水闸，位于潘岱街道北首社区，拟建七国垟水闸规模为 1 孔×4m，设计底板闸底高程为-1.50m。

本阶段勘察，七国垟水闸共布置 3 个钻孔，并引用可行性研究阶段勘察阶段钻孔 2 个，最大孔深 34m。

3.5.30.2 地形地貌

七国垟水闸位于飞云江左岸，场地为丘陵地貌向海积地貌过度带。闸址处现状为码头，水闸左岸为码头和厂房，地面高程为 4.5m；水闸右岸为工地，地面高程约 4.8m 左右；场地较平整。河底高程-1.5m 左右。地形地貌照片见图 3.5-30。

图 3.5-30 七国垟水闸

3.5.30.3 地层岩性

七国垟水闸地基土共分为 5 个大层，10 个亚层，闸址区地层自上而下分述如下：

0_0 淤泥

灰色，流塑，主要分布于河底，淤积形成，杂质含量较多，有机质含量较高。土质均匀性差

0_1 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，土质均匀性差。

①$_1$ 粉质粘土（al-lQ_3^4）

灰黄色、黄褐色，可塑状，中等～高压缩性，含少量铁锰结核和氧化斑点。

②$_1$ 淤泥（mQ_4^2）

灰黄色，流塑，饱和，鳞片状、厚层状，含少量粉砂极薄层，土层均匀。

②$_{2b}$ 粉砂夹淤泥(al-mQ_4^2)

灰色~灰褐色，稍密～中密，很湿，中压缩性，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质。

②$_3$ 淤泥（mQ_4^2）

灰色，流塑状，高灵敏度，高压缩性，鳞片状、厚层状结构，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物。

③$_1$ 淤泥质粘土（mQ_4^1）

灰色，流塑状，细鳞片状构造，厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。

⑨$_1$ 含碎石粉质粘土（el-dl-plQ）

灰黄、灰色、黄褐色，可塑～硬可塑状，碎、砾含量约 30%，其余为砂。土质不均匀，局部碎、块石含量较高。

⑩$_2$ 强风化凝灰岩（J_3m）

浅灰色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，岩芯呈碎块、砾状。

⑩$_3$ 弱风化凝灰岩（J_3m）

灰色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，为坚硬岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

3.5.30.4 水文地质

水闸位于飞云江左岸，飞云江水位受潮汐影响，长潮时水位较高，落朝时水位较低。场地勘探深度内地下水主要为松散岩类孔隙潜水、基岩裂隙水。

孔隙潜水广泛分布于工程区的表浅部填土及粘性土层中，水量较少。场地基岩裂隙水以构造裂隙水为主，主要分布于风化的裂隙中，水量少。

3.5.30.5 地基土工程地质特性分析与评价

七国垾水闸勘察深度范围内地层为 0_0 淤泥、0_1 杂填土、①$_1$ 粉质粘土、②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、⑨$_1$ 含碎石粉质粘土、⑩$_2$ 强风化凝灰岩、⑩$_3$ 弱风化凝灰岩。闸基地质结构分类为多层结构。

各层地基土地工程地质特性评价如下：

0_1 杂填土，松散，高压缩性，应挖除或进行地基处理。

②$_1$ 淤泥、②$_{2a}$ 淤泥夹粉砂、②$_3$ 淤泥、③$_1$ 淤泥质粘土、流塑状，为高含水量、低强度、高压缩性、低抗剪强度、固结条件差、变形量大的软弱土层，工程性质差，水闸场地内厚度不大，该层是防洪堤沉降和岸坡稳定的主要控制层，建议设计时进行变形与抗滑稳定性验算。

⑨$_1$ 含碎石粉质粘土，可塑～硬可塑，中压缩性，土质不均匀，局部揭示

⑩$_2$ 层强风化凝灰岩，工程性质一般，厚度薄；

⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩，工程性质好，可作为大荷载建筑物的基础持力层。

地基土统计参数见 “白莲段地基土物理力学指标数理统计表”，设计参数见“白莲段地基土物理力学指标设计参数表。

3.5.30.6 基础方案分析及建议

拟建七国垾水闸设计闸底高程为-1.50m，根据勘察揭示，水闸闸室底板高于现在地面，下卧土层②$_1$ 淤泥，由于②$_1$ 层淤泥力学强度差，高压缩变形，工程特性极差。拟建建筑物的荷载较大，浅部地基土承载力无法满足拟建建筑物的荷载及沉降变形要求，场地浅基础条件差，不具备浅基础条件。

建议：闸室处采用建议采用钻孔灌注桩，采用⑩$_3$ 层弱风化凝灰岩作为桩端持力层，具体桩径、桩长、桩间距可根据荷载大小及建筑物特征通过计算确定。桩长进入持力层不少于 1D。翼墙荷载相对较小，建议采用抛石挤淤进行处理，也可选用桩基础进行处理。

飞云江堤的冲刷主要表现为潮汐对闸基的冲蚀。水闸闸基为流塑状淤泥层，抗冲刷能性差，在往复水流作用下，地基土直接被冲蚀，建议采取镇压防冲措施。

闸基砼/②$_1$ 淤泥摩擦系数 f=0.20。

3.6 天然建筑材料

本工程所需建筑材料为石料、土料和砂料，其中石料包括块石料（砌筑）和抛石料，工程所需石方量大。天然建筑场地的选择本着由近及远、利于开采、方便运输的原则，勘察期间，我公司勘察技术人员对工程区周边的场地进行踏勘，在确定的料场位置并对天然建筑材料场地建材储量及质量进行评价。

3.6.1 石料

注意：本项目工期长，周边料场受开采期限、开采储量等条件的限制，施工期存在料场停采的风险。

本工程所需石料包括抛石料、块石料、碎石、宕渣和石渣，共计 114461m^3，其中抛石料 30287m^3，块石料 19458m^3，碎石 21536m^3，宕渣 39798m^3，石渣 3382m^3。

本次天然建筑材料调查，场地附近 30km 范围内共调查到 3 处石料场，分别为高楼镇“双坑消防道路工程”石料场、光山矿区石料场、赖岙矿区石料场，3 个料场位置见图 3.6-1，料场情况叙述如下：

一、高楼镇“双坑消防道路工程”石料场

高楼镇“双坑消防道路工程”石料场位于瑞安市县高楼镇镇双坑村白泥田，为双坑消防道路工程开挖所产生。双坑消防道路工程工期 2～3 年，开挖产生的土石料总共约 600 万吨左右，其中块石料约 200 万吨（约 70 多万方），三七料约 400 万吨。石料岩性为弱风化凝灰岩，岩石容重 r_d=26kN/m^3，岩石单轴饱和抗压强度 R_b=50MPa～70MPa，软化系数≥0.75。该料场到最近的平阳坑段约 21km，到最远的白莲段约 46km。交通便利。

二、光山矿区石料场

光山矿区石料场位于平阳县昆阳镇光山村，该矿区采矿许可证有效期至 2029 年 7 月 16 日，开采规模为 38 万立方米/年，截止 2022 年 10 月矿山界内尚保有 28819 万方（76029 万吨），其中石料 286.37 万方（756.02 万吨）。石料岩性为弱风化凝灰岩，岩石容重 r_d=26kN/m^3，岩石单轴饱和抗压强度 R_b=50MPa～70MPa，软化系数≥0.75。该料场到白莲段、碧山段、荆谷段约 20km，到桐浦段、梅屿段约 27km,到平阳坑段约 35km。交通便利。

三、赖岙矿区石料场

赖岙矿区石料场位于平阳县万全镇赖岙村，采矿权有效期至 2026 年 3 月，尚可开采块石料约 200 万吨（约 70 多万方）。石料岩性为弱风化凝灰岩，岩石容重 r_d=26kN/m^3，

岩石单轴饱和抗压强度 R_b=50MPa～70MPa，软化系数≥0.75。该料场到梅屿段、荆谷段、碧山段、桐浦段、白莲段约 12～17km，到平阳坑段约 25km。交通便利。

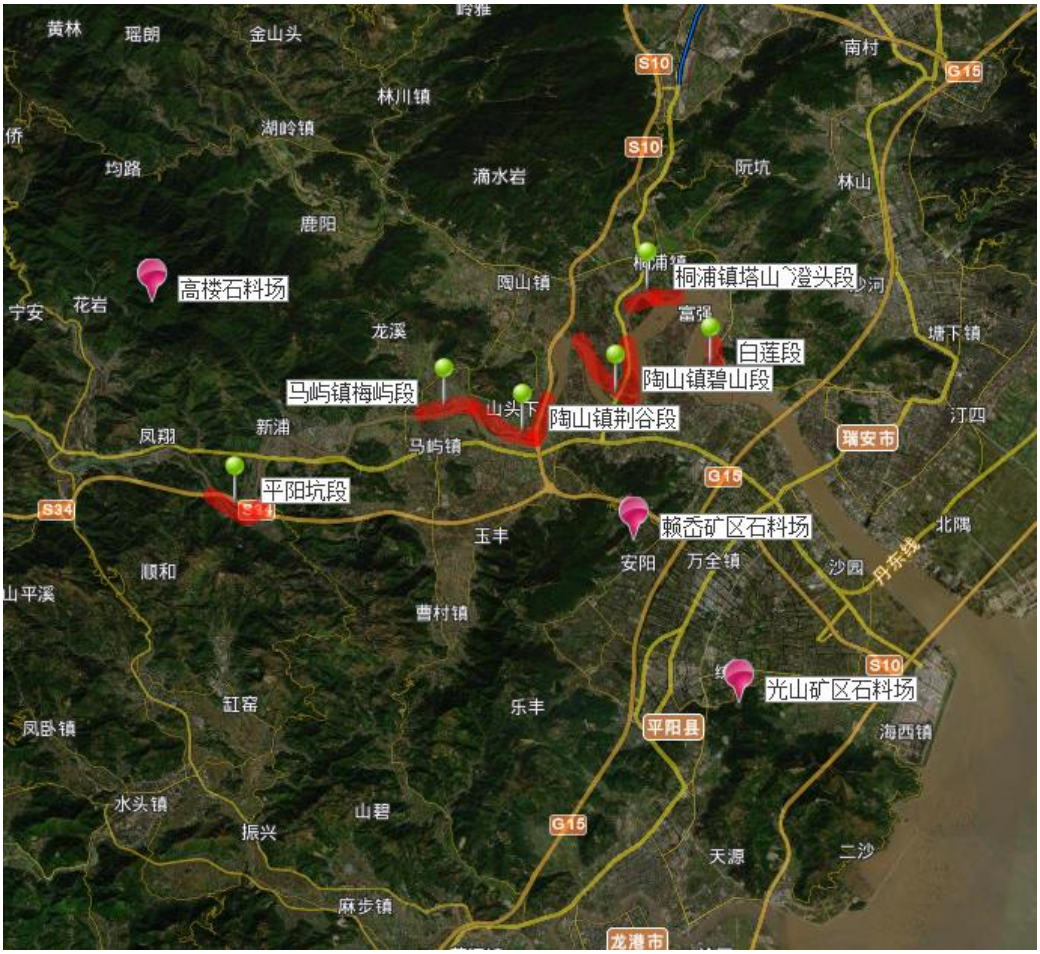


图 3.6-1　　工程区附近料场位置

四、其它石料场

若场地附近石料场供应量不能满足要求，本次还调查了工程较远的两个石料场，分别为三澳村石料场和其头山矿山石料场，2 个料场位置见图 3.6-1，料场情况叙述如下：

三澳村石料场位于苍南县马站镇三澳村，为三澳核电项目建设开挖所产生。料场位于三澳村东侧，石料储量大于 200 余万方，石料岩性为弱风化凝灰岩，岩石容重 r_d=26kN/m^3，岩石单轴饱和抗压强度 R_b≥80MPa，软化系数≥0.75，经筛选后，有用方量按 40%～50%考虑，石料储量、质量能满足设计需要。三澳核电项目开采后，石料由核电码头运至玉环县坎门港后，由陆运运至项目所在地。交通便利。

其头山矿山石料场位于三门县健跳镇西度村，采矿权至 2030 年以后，石料储量 7911.27 万方（20168.47 万吨），石料岩性为弱风化凝灰岩，岩石容重 r_d=26kN/m^3，岩石单轴饱和抗压强度 R_b>100MPa，软化系数 0.86，石料储量、质量能满足设计需要。石

料可通过水运至工程区附近码头，由陆运运至项目所在地。交通便利。

图 3.6-2　其它料场位置

3.6.2　砂砾料

工程区附近无合适的砂砾料场可供开采，所需砂料和粗骨料均需外购，建议到当地建材市场购买。

3.6.3　土料

本工程土方开挖量 57.74 万 m^3，表土开挖量 16.41 万 m^3，土方回填量自然方 147.47 万 m^3，种植土自然方回填量 8.63 万 m^3，利用开挖量回填 57.74 万 m^3，利用表土回填种植土 8.51 万 m^3，本工程料场取土量 59.83 万 m^3，外购土 29.92 万 m^3，规划料场 4 个。

各防洪堤岸所需填筑土料可在附近就地取材，堤外侧场地浅部主要分布 0_3 层耕土、$①_1$ 粉质粘土、粘土和淤泥质土，0_3 层耕土和 $①_1$ 粉质粘土、粘土为沿线表层土，又称“硬壳层”，土料储量较为丰富。根据可研报告初步规划 4 个取土区块，其中 1#土料场、2#土料场位于陶山镇荆谷段，3#土料场位于陶山镇荆谷段北侧，4#土料场位于碧山段，本次对 4 块料场进行钻探、取土、室内试验等。

本次勘察，在可研阶段选定的料场中进行勘察，共布置钻探孔 22 个，孔深 5~10m。此外，布置 24 个探坑，每个探抗取一组土料进行击实试验。

一、1#土料场

1#土料场：位于七甲村东南七甲水闸以西河滩，面积约 109156m²，场地现状为农田和河漫滩。本次勘察，在 1#料场布置 4 个钻探孔，6 个探抗。勘察结果表明：场地内表层为耕植土，以下为①$_1$层粉质粘土和②$_{2a}$层淤泥夹粉砂，其中①$_1$层粉质粘土厚 1.7m～3.0m，该土料场性质评价如下：

天然含水率 28%～31.6%，粘粒含量 20.5～23.8%，塑性指数 12.6～16.7，有机质含量 1.9～3.2%；本地区无水溶岩；击实后，最优含水率 17%～21%，渗透系数 K_v=3.8×10^{-6}cm/s～6.7×10^{-6}cm/s，K_h=4.5×10^{-6}cm/s～8.4×10^{-6}cm/s。

综合评价：1#料场土料粘粒含量、塑性指数、有机质含量，击实后渗透系数、水溶岩含量均满足规范要求，但本区含水量偏大，需要晾晒后才可以用。

二、2#土料场

2#土料场：位于沙垟 2#水闸和沙垟下河闸之间的滩地，面积 180900m²，场地现状为农田、鱼塘和河漫滩。本次勘察，在 2#料场布置 5 个钻探孔，6 个探抗。勘察结果表明：地表为耕地为主，下为①$_1$层粉质粘土和②$_{2a}$层淤泥夹粉砂。①$_1$层粉质粘土厚约 0.0～2.0m，土料储量约为 36 万 m³。该土料场性质评价如下：

天然含水率 27.8%～31.2%，粘粒含量 19.2～22.5%，塑性指数 14.1～16.7，有机质含量 2.1～2.9%，本地区无水溶岩；击实后，最优含水率 17%～19%渗透系数 K_v=5.1×10^{-6}cm/s～8.4×10^{-6}cm/s，K_h=4.3×10^{-6}cm/s～6.8×10^{-6}cm/s。

综合评价：1#料场土料粘粒含量、塑性指数、有机质含量，击实后渗透系数、水溶岩含量均满足规范要求，但本区含水量偏大，需要晾晒后才可以用。

三、3#土料场

3#土料场：位于石埠村东江边，面积 40200m²。本次勘察，在 3#料场布置 3 个钻探孔，6 个探抗。勘察结果表明：表层为耕植土，下为①$_1$层粉质粘土和 2-2a 层淤泥夹粉砂，①$_1$层粉质粘土厚 1.4m～3.4m，该土料场性质评价如下：

天然含水率 27.6%～38.7%，粘粒含量 21.0～22.5%，塑性指数 12.3～19.8，有机质含量 2.4～3.1%；本地区无水溶岩；击实后，最优含水率 17%～21%，渗透系数 K_v=3.8×10^{-6}cm/s～6.7×10^{-6}cm/s，K_h=4.5×10^{-6}cm/s～8.4×10^{-6}cm/s。

综合评价：3#料场土料粘粒含量、有机质含量，击实后渗透系数、水溶岩含量均满

足规范要求，但本区含水量偏大，塑性指数偏高，需要经过处理后方可以用。

四、4#土料场

4#土料场：位于下大屋村南，滩地面积 272280m²。本次勘察，在 4#料场布置 10 个钻探孔，6 个探抗。勘察结果表明：场地现状主要为鱼塘和滩涂，表层为素填土，下为①$_1$层粉质粘土和②$_{2a}$层淤泥夹粉砂，①$_1$层粉质粘土厚约 0.9～3.0m，土料约为 54 万 m³；该土料场性质评价如下：

天然含水率 25.6%～39.0%，粘粒含量 21.0～22.5%，塑性指数 12.3～19.8，有机质含量 2.7～3.4%；本地区无水溶岩；击实后，最优含水率 19.8%～23.6%，渗透系数 K_v=5.4×10^{-6}cm/s～2.09×10^{-5}cm/s，K_h=4.1×10^{-6}cm/s～5.0×10^{-6}cm/s。

综合评价：4#料场土料粘粒含量、有机质含量，击实后渗透系数、水溶岩含量均满足规范要求，但本区含水量偏大，塑性指数偏高，需要经过处理后方可以用。击实试验成果统计见表 3.6-1。

表 3.6-1　　土料场建议值表

料场	颗粒分析					最优含水率	最大干密度	击实后渗透系数		击实后快剪		击实后固快	
	砂粒			粉粒	粘粒					内摩擦角	内聚力	内摩擦角	内聚力
	2～0.5 mm	0.5～0.25 mm	0.25～0.075 mm	0.075～0.005 mm	<0.005 mm	w	ρ	垂直	水平	φ	C	φ	C
	%	%	%	%	%	%	g/cm^3	cm/s	cm/s	度	kPa	度	kPa
1#料场	0.4	0.5	0.9	76.1	22.1	18.10	1.64	6.3E-06	7.5E-06	13.1	25	20.0	31
2#料场	0.8	1.0	0.9	76.3	21.0	17.75	1.64	6.6E-06	8.1E-06	13.0	25	20.7	32
3#料场	0.6	0.6	0.9	76.0	21.9	19.10	1.62	6.1E-06	8.0E-06	13.5	24	21.0	31
4#料场	0.7	0.6	1.3	76.0	21.4	20.80	1.59	6.1E-06	7.9E-05	14.1	24	21.3	33
	建议堤身填筑土层允许渗流坡降：水平段 0.32，出口段 0.62。												

综上所述：区内土料储量较为丰富，土料储量满足规范要求。各料场土料天然含水量高，需晾晒后使用；各料场总体塑性指数偏高，需掺料处理降低指数后方可使用。

粘土料、种植土料建议尽量留用堤防原沿线表层土①1 粉质粘土，不足部分在 1#～4#土料场剥取表层土使用。储量与质量能够满足工程需要。

此外，瑞安市工程建设项目较多，施工中产生大量弃土，如城市建设弃土的质量能达到本工程需要，建议回填土料可考虑利用部分城市建设弃土。但城市建设弃土有时间

与地区的局限性，且质量较难控制，部分弃土含水量高需场持晾晒，施工时需慎重考虑。

土料场开挖时应注意：

1）土料场取土时，应保证堤坝两侧一定的安全距离内不得取土，开挖速度不宜过快，应避免地基扰动，以利保护边坡稳定及防洪堤的安全。

2）3#土料场距高速公路较近，土料场取土应注意避开高速公路管理范围，并保持一定的安全距离。

3.7 结论与建议

1）工程区域新构造运动不明显，工程区及周边地区近代地震皆为微震。近场区构造活动微弱，地震震级小，强度弱，频度低，区域构造稳定。

2）本次勘察，查明场地内工程地质条件，场地内勘察深度范围内涉及的地层可分为 8 个大层,22 个工程地质亚层和 6 个夹层，勘察成果满足勘察招标要求。

3）拟建场地稳定性差、适宜性差。当采用有效的地基处理措施或桩基础后，能够满足拟建（构）筑物的荷载及变形要求，可进行本工程建设。

4）工程区主要位于冲海积平原和海积平原区。经调查，工程区域内不存在岩溶、泥石流、采空区、地面塌陷等物理地质现象，工程区不良地质现象主要为小规模滑塌、地面沉降和软土变形。场地存在的特殊性岩土主要为软土、填土、混合土和残积土。

5）场地堤防沿线内河水对混凝土结构无腐蚀性；自平阳坑至桐浦段地下水对混凝土结构无腐蚀性；白莲段地下水对混凝土结构弱腐蚀性，腐蚀类型为硫酸盐型。涨潮时，内河水受飞云江水倒灌的影响，对混凝土结构弱腐蚀性，腐蚀类型为硫酸盐型；退潮时，内河水对混凝土结构无腐蚀性。

场地堤防沿线内河水对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性；平阳坑段、荆谷段、碧山段和桐浦段地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，梅屿段与白莲段地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，白莲段地下水对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。涨潮和退潮时，内河水受飞云江水的影响，对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。

场地堤防沿线内河水对钢结构具有弱腐蚀性；平阳坑段、荆谷段、碧山段地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，梅屿段、桐浦段和白莲段地下水对混凝土结构中的钢筋有中腐蚀性；涨潮和退潮时，内河水受飞云江水的影响，对钢筋混凝土中钢筋有中腐蚀性。

6）场地内地基土体为多元结构，影响河道岸坡稳定的主要控制层为①$_2$淤泥质粘土、

②$_1$淤泥、②$_{2a}$淤泥夹粉砂、②$_3$淤泥和③$_1$淤泥质粘土，建议设计时进行抗滑稳定验算。

7）飞云江河道河曲发育，部分河段凹岸临江侧冲刷较严重，对堤防稳定极为不利，设计应予以充分重视，加强抗滑、抗冲刷工程措施。

8）由于防洪堤地基和河岸坡主要为淤泥质软土，建议设计在堤身填筑和河岸抛石的时候考虑施工速度，避免因为施工速度过快产生淤泥质软土滑移破坏。

9）沿线水闸浅部地层为高压缩性土，建议采用桩基础，桩端持力层应选择下部的砂砾卵石层。

10）工程区内无可供开采的石料场和砂砾料场，建议本工程石料和砂砾料外购。粘土料、种植土料建议尽量留用堤防原沿线表层土①1 粉质粘土。不足部分在 1#～4#土料场剥取表层土使用。

11）以圆砾、卵石、基岩层作为桩基持力层，可采用回旋钻成孔工艺或冲击成孔工艺。

12）施工前应做试桩和基桩静载荷试验，进一步核定单桩承载力，为设计提供确切依据，工程桩施工完成后应按有关规范对桩基进行质量检测。

13）施工期应分段、分期控制加荷速率，严禁大型机械近防洪堤过往，严格控制防洪堤内侧堆填土高度，确保防洪堤稳定。

14)设计与施工注意事项：

a.部分防洪堤存在跨越池塘、河道、涂面等，表部存在新近淤积的流泥分布，其工程特性极差，工程设计时应予重视。

b.经现场调查，堤防滑中线存在建筑垃圾填埋场或堆场（本次钻探在平阳坑段揭露），施工阶段必须引起重视，应加强施工验槽工作。

c.经调查走访，老水闸建造时，闸基础采用松木桩+抛石基础，松木桩长度大于 4m，设计与施工时应引起重视。

d.少数水闸工程区范围内有顶管通过，设计与施工时应引起重视。

e.飞云江多年以来存在河道采砂，沙“坑”密布，浅部地基土地不均匀，如采用天然地基，应加强施工验槽工作，施工中如遇此情况，应及时与设计联系。

f.堤前迎水坡，特别是凹岸处，可能存在厚度较大的抛石层和碎块石层，施工时应引起重视。

g.沿线地下管线、电缆等埋藏物较多，设计和施工前应应及时与相关部门协调。

4　工程任务和规模

4.1　飞云江流域概况

4.1.1　河流水系

飞云江是浙江省八大水系之一，位于浙江省南部，瓯江以南，鳌江以北。发源于景宁畲族自治县景南乡的白云尖西北坡，自西向东流经泰顺、文成两县，在瑞安上望街道新村入东海。飞云江干流总长 193km，平均比降 5.7‰，流域面积 3719km²。飞云江干流以百丈口和滩脚为界，分成上、中、下游，上、中游为山溪性河道，坡陡流急，下游为感潮河道，河口潮差大，潮流强，属强潮河口。飞云江流域水系如 4.1-1 所示。

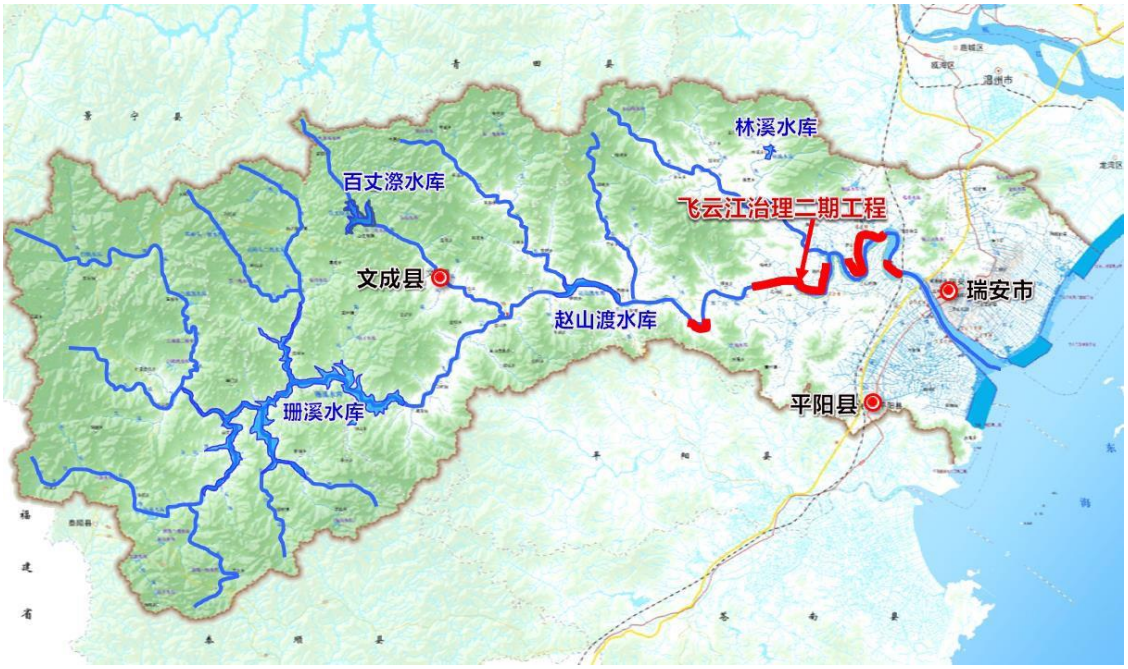


图 4.1-1　　飞云江流域水系图

飞云江干流自河源东南流至白鹤，与敕木山南下的北溪汇合，转东流后折南流，至里塘口村出景宁县境。河源至白鹤称大白坑；白鹤至景宁县境称章坑；入泰顺县后称三插溪，续南流至溪口右纳里光溪，转东南流至百丈口。干流在百丈口右纳洪口溪后称飞云江；续东南流，右纳苕江溪，从汇溪乡上金村流入文成县境，左纳岱作口溪，东流经珊溪镇转东北流，左纳泗溪，续东北流，从文成县平和乡黄岙流入瑞安市境内，左纳玉泉溪，东流至龙湖镇，左纳高楼溪后流经滩脚进入平原，并开始受潮汐影响，续东流，经平阳坑、马屿后，河道呈大“M”型，其间左纳金潮港，经宝香山转东南流，经瑞安市城关镇，东南流至上望新村入东海。

飞云江水系流域面积 100km²以上的山区性支流有 8 条，其中，本次治理工程涉及到高楼溪和金潮港两条支流。高楼溪和金潮港均为飞云江左岸支流，均发源于瑞安、青田两县（市）边界的乌石坪。高楼溪河长 29.4km，平均比降 28.7‰，流域面积 125.3km²，于高楼镇汇入飞云江。金潮港河长 42.6km，平均比降 18.1‰，流域面积 349km²，于陶山镇沙洲汇入飞云江。金潮港潮基以上为山溪性河道，坡陡流急，潮基以下为感潮河段。

表 4.1-1　　飞云江主要支流基本特性表

支流	河长(km)	平均比降(‰)	流域面积(km²)
高楼溪	29.4	28.7	125
金潮港	42.6	18.1	349

4.1.2　地形地貌

飞云江流域东濒东海，西和西北面由洞宫山支脉与瓯江相隔，南面主要以南雁荡山与鳌江为界，地势西高东低，呈阶梯形递降。流域西部属中、低山区，山峰高度 600～1000m；东部由低山丘陵、河谷平原与滨海平原组成，山峰高程 200～600m 左右，马屿、陶山等河谷冲积平原高程在 3.5～5m，滨海平原地面高程为 3～5m。流域呈扁长型，东西长约 110km，南北平均宽约 30km，其中山区面积约占 80%。

4.1.3　气象水文

云江流域属亚热带季风气候区，主要特点是：温暖湿润，降水充沛，四季分明，光照充足。流域多年平均降水量 1500～2100mm，受地形条件影响，降水量在空间分布上呈现为西多东少。根据瑞安气象站实测资料统计，多年平均气温为 17.9℃；多年平均水汽压 18.7hPa，多年平均相对湿度 82%，多年平均降水量 1519mm，多年平均蒸发量 1210mm（20cm 直径蒸发皿观测值）；多年平均风速 2.2m/s，多年汛期最大平均风速 15m/s。

4.1.4　经济社会

瑞安市地处浙江省东南沿海，属浙江省辖县级市，温州市代管。瑞安市地处浙江东南沿海，是浙江重要的现代工贸城市、历史文化名城和温州大都市区南翼中心城市。全市陆域面积 1349.93km²，海域面积 3037km²，共辖 15 个乡镇（街道），行政村 910 个，总人口 123.11 万人。瑞安市区位如图 4.1-2 所示。

瑞安市是一座充满生机活力的经济强市。瑞安人敢为人先、敢闯敢拼、特别能创业，有 30 万营销大军活跃在国内外。瑞安市场经济起步早、发展快，曾以“小商品、大市场”闻名全国，是民营经济的先发地区和温州模式的主要发祥地，改革开放以来，瑞安产业

结构不断优化，区域特色鲜明，形成了汽摩配、机械电子、高分子合成材料及其制品等三大主导行业和眼镜、箱包、针织、工艺品、制鞋、服装等六大块状产业集群，先后获得“中国汽摩配之都”、“中国工艺礼品生产基地”、“中国包装机械城”等 11 张国字号工业金名片，拥有中国名牌产品 3 个、中国驰名商标 29 个，区域竞争力和综合实力不断提升。

瑞安市是一座发展稳健协调的和谐城市。瑞安市经济社会发展比较协调，不仅是经济大市，还是浙江的科技强市、教育强市、体育强市、卫生城市和文明城市。2021 年全市生产总值 1148.98 亿元，按可比价计算（下同），比上年增长 7.6%，低于温州市 0.1 个百分点。分产业来看，第一产业增加值 27.23 亿元，比上年增长 2.5%；第二产业增加值 533.34 亿元，比上年增长 9.7%；第三产业增加值 588.41 亿元，比上年增长 6.1%。国民经济三次产业结构为 2.4：46.4：51.2。按常住人口计算，全市人均生产总值 75442 元，折合 11694 美元（按 2021 年人民币对美元的平均汇率 6.4515 折算），比上年增长 7.1%。

据公安部门统计，2021 年末全市户籍人口为 125.63 万人，人口出生率 6.40‰，死亡率 5.86‰，人口自然增长率为 0.54‰。

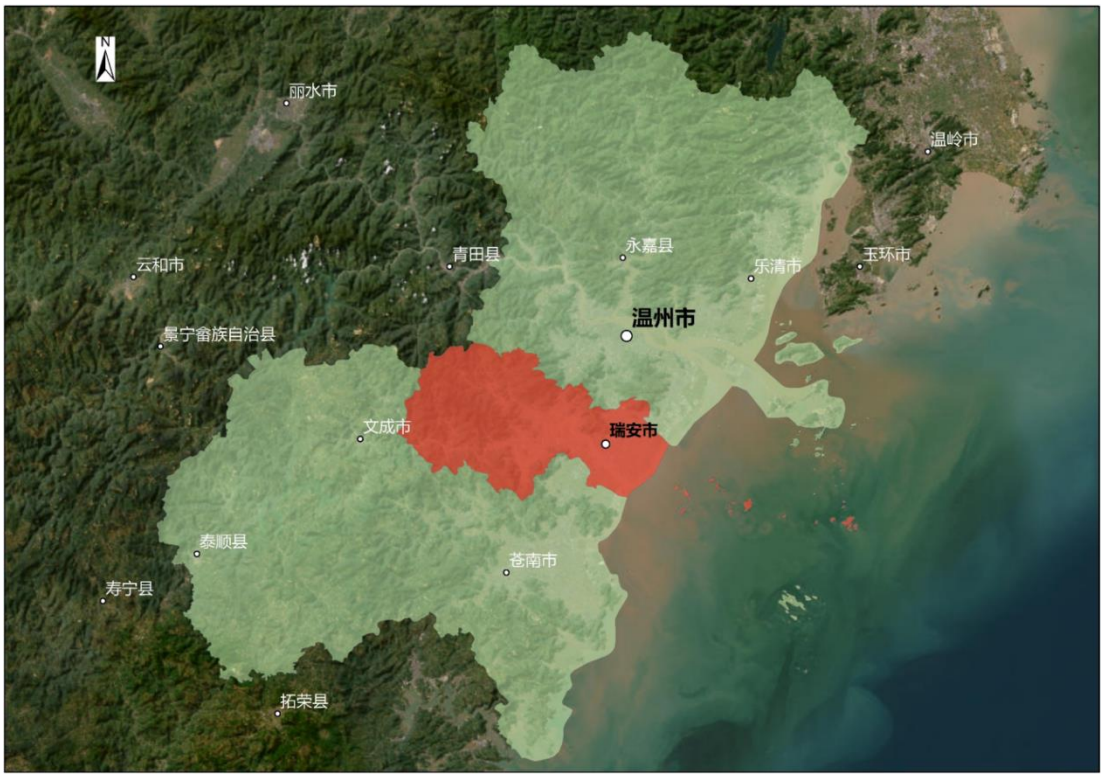


图 4.1-2　瑞安市区域位置示意图

4.2　历史洪涝灾害

飞云江流域是台风频繁活动区域，台风风暴潮与天文大潮经常碰头，极易对沿海地

区造成巨大灾难。根据历史不完全记载，自南宋以来至民国时期，飞云江流域洪涝灾害有九十余次。建国后从 1949 年至 2000 年共 52 年间发生大小洪水共计 39 次，其中流域性水灾 12 次，平均 4 年一次，其中发生较大洪水的年份有 1956 年、1958 年、1965 年、1969 年、1982 年、1990 年、1994 年等。21 世纪初，流域上游的防洪控制性工程珊溪水库建成后，下游河道防洪能力得以大幅度提升，为应对台风暴雨灾害发挥了重要作用。尽管如此，由于区间水量大，加上两岸堤防尚未建成，2000 年以后仍发生了数次较大的洪水，如 2005 年的“海棠”台风、2007 年的“罗莎”和“韦帕”台风、2009 年的“莫拉克”台风、2013 年的“菲特”、2015 年的“苏迪罗”等，均发生了较为严重的洪涝灾害。历史上，飞云江流域历史上较为典型和严重的洪涝灾害如下：

（1）1969 年洪水

1969 年 9 月 27 日，文成的玉壶、岙口雨量均达到 361mm，瑞安的高楼、马屿、陶山一带遭受上游洪水和下游高潮的顶托而泛滥成灾，淹没稻田 8 万余亩，平均淹没水深 3m，淹没历时达 3～4 天，马屿平原受淹时间长达 7～8 天，据当地农民反映，该场洪水仅比民国元年（1912 年）低 0.5m。

（2）1994 年洪水

1994 年 8 月 21 日，9417 号台风雨 22 时 30 分在市境梅头镇登陆，全市遭受惨重损失。台风袭卷全市平原、山区，瑞安过程雨量 324.4mm，飞云江潮位高达 6.88m（吴淞），全市海堤、江堤全线失守，土堤几乎夷为平地，海水涌进陆地 5km；受灾乡镇 46 个，行政村 958 个，受灾人口 114.7 万人，进水建制镇 21 个，被洪水围困有 28.5 万人，倒塌房屋 83460 间，死 360 人；粮食作物成灾 30.7 万亩，绝收 10.7 万亩。经济作物成灾 10.7 万亩，绝收 6.5 万亩，死亡牲畜 8.5 万头；水利工程遭受严重损坏，丁山一期围垦工程土石混合堤坝 7km 决塌，各乡镇泥质海堤、江堤全线被冲垮，受损坏的还有护岸工程 10 处，水闸 20 处，机埠泵站 210 处。全市直接经济损失 45.89 亿元。

（3）2005 年“海棠”台风

2005 年 5 号台风“海棠”于 19 日下午 18 时在福建连江黄岐镇登陆。受其影响，瑞安普降特大暴雨，据统计，全市有 11 个雨量站过程雨量超过 350mm，其中宁益、曹村、六科、潘山、林溪均在 550mm 以上，最大达 612mm，特大暴雨范围之广为该市 1959 年建站以来之最。日降雨量（7 月 19 日 8 时-20 日 8 时）宁益 426mm，六科 401mm，曹村 470mm，潘山 411mm，林溪 429mm，为 1959 年有观测记录以来的最大值。受强降雨影响，37 个乡镇 40 万人受灾，倒塌房屋 213 间，农田受灾面积 20930 公顷，减收粮食

14 万吨，死亡大牲畜 1.5 万头，水产养殖面积损失 930 公顷，造成 2546 个工矿企业停产，公路中断 53 条次，损坏路基 125.3km，损坏输电线路 148.1km，损坏通讯线路 34km。水利设施损毁严重，其中堤防决口 94 处 7.0km，损坏堤防 305 处 43.5km、护岸 120 处、小水电站 6 座、灌溉设施 571 处、水闸 27 座。

（4）2007 年“韦帕”台风

2007 年 13 号台风“韦帕”于 9 月 19 日凌晨 2 时 30 分在苍南霞光登陆，登陆时中心气压 950 百帕，中心风力达 14 级。受其影响，瑞安各地普降大雨，从 18 日 0 时至 20 日 0 时，48 个小时内平均过程雨量 287mm，其中超过 300mm 的站点有 8 个，最大降水量达 390.5mm（金河水库站），最小降雨量 215mm。强降水使水库水位急剧上涨，蓄水量大大提高，全市 26 座小（二）型以上水库平均蓄水率 111.5%，比台前提高了 50%,其中有 21 座水库溢洪出水；瑞平塘河超出警戒水位 0.27m，天井垟片马屿、曹村等地农田受淹严重；赵山渡水库水位高涨，9 月 18 日 15 时许开始泄洪，最大下泄流量达到 3660m³/s，给瑞安市增加了一定的防洪压力。台风“韦帕”造成全市 37 个乡镇受灾，人口达 33.6 万，倒塌或损坏房屋 592 间，直接经济损失 4.56 亿元。水利设施直接经济损失 0.1132 亿，其中损坏小型水库 3 座，堤防 78 处 12.89km，堤防决口 19 处 2.56km，损坏护岸 118 处、水闸 15 座，灌溉设施 182 处、水文测站 2 座、水电站 1 座，冲毁塘（堰）坝 7 座。

（5）2009 年“莫拉克”台风

2009 年 8 号台风“莫拉克”于 8 月 9 日 16 时 20 分在福建霞浦登录，受其影响，瑞安市过程平均降水量为 400mm，最大降水量为宁益站 598mm，最小降水量为林垟站 216mm，降水历时长达 98 个小时，空间分布上表现为由东部沿海向西部山区递增。受该台风影响，瑞安境内 56 省道部分路段、金潮港流域、塘下、马屿增光垟淹没严重，致使西部山区 16 个乡镇交通中断。同时台风还造成了塘下新居、金川等地的山体塌方、滑坡和泥石流等地质灾害，暴雨洪水造成 6 个乡镇 16 个村 1.2 万人受围困，75 条 10kV 主线路跳闸停电，损坏主线路 26.6km，房屋倒塌 302 间，致 212 个村受停电影响。水利设施也遭受严重冲击，损坏堤防 86 处计 9.395km，堤防决口 19 处计 0.675km，损坏护岸 54 处、水闸 4 座、灌溉设施 167 处，机电泵站 13 座、水文测站 2 座、饮用水设施 13 处，冲毁塘（堰）坝 7 座。据统计，8 号台风共造成全市 37 个乡镇（街道）29.48 万人受灾，1 人因非防治点的地质灾害而意外死亡，全市直接经济损失达 3.3821 亿元，其中水利设施直接经济损失 2203 万元。

（6）2013 年“菲特”台风

2013 年第 23 号台风“菲特”10 月 7 日在福建省福鼎市沙埕镇沿海登陆。瑞安市平均过程雨量达到 361mm，比温州全市平均降雨量 251mm 高出 44%，过程雨量位列温州全市 11 个县（市、区）之首，创瑞安水文实测记录以来新高。其中，瑞安市区连续 24h 最大降水量 460.5mm，频率达到 200 年一遇。台风登陆时恰逢农历九月初天文大潮期，飞云江最高潮位 4.64m，超警戒水位 0.89m，全市江河水库水位全面超过警戒线，瑞安城市中心区大部分受淹，老城区主干道和外滩一片汪洋，淹没水深基本在 0.5～1.0m，受淹时间约 21h。市区大量汽车被淹，大批行道树被刮倒，大面积停水停电，交通陷入瘫痪。金潮港流域 24h 最大降水量 483.5mm，频率达 150 年一遇，引发流域性洪水，致使陶山、潮基、鹿木等地严重受淹，瑞枫公路岩头村路口最大淹没水深 2.75m，水位直达二楼楼平，淹没时间 13 个小时；陶山镇逾八成村落被淹，最大水深达 1.5m，淹没时间 20 个小时。温瑞塘河水位暴涨，塘下镇最大淹没水深 0.8m，受淹时间长达 42 小时。另外，莘塘片其他街道，飞云江沿岸的锦湖（潘岱片）、飞云（云周片）、仙降、马屿、高楼等镇街都不同程度受淹，给该市带来巨大损失。这次台风导致瑞安全市 15 个镇街倒损房屋 2783 间，受灾人口 95.9 万人，紧急转移安置人员 4 万人，因灾死亡 1 人，直接经济损失 24.81 亿元。其中工业损失 9.01 亿元，基础设施损失 2.14 亿元，公益设施损失 1.7 亿元，农业损失 7 亿元，群众家庭财产损失 4.94 亿元。

（7）2015 年“苏迪罗”台风

2015 年第 13 号台风“苏迪罗”8 月 7 日在福建省莆田市秀屿村登陆对瑞平平原影响甚大。受其影响，7 日 8 时至 9 日 12 时，全县面雨量 290.6 毫 m，24 小时最大降水平阳吴垟站 602mm；昆阳镇、万全镇、飞云街道等满水，造成直接经济损失 1.8 亿元。

（8）2016 年“鲇鱼”台风

2016 年第 17 号超强台风“鲇鱼”于 28 日 04 时 40 分在福建惠安沿海登陆，受“鲇鱼”外围云系影响，自 9 月 28 日 14 时起，瑞安市普降大雨、暴雨，受超强降雨影响，飞云江发生流域性洪水，大中型水库及平原河网水位上涨，瑞安市均面雨量 240.7mm，较大降雨量站点为瑞安市-枫岭 629.5mm，其中瑞安-顺溪站 1 小时雨量超过 101mm，达 100 年一遇；飞云江流域平均面雨量 362.2mm，其中高楼溪平均面雨量 519.5mm，最大单站为光明村站 794.5mm。飞云江中游岔口水文站水位自 28 日 14 时 25 分超过警戒水位，16 时 30 分超过保证水位，18 时 40 分出现洪峰水位 29.96m，相应洪峰流量 3790m^3/s，截止到 30 日 8 时水位 26.42m。由于潮位高，加上降雨较大，平阳坑镇、高楼镇、陶山镇、桐浦镇等片区均有不同程度的受淹，造成经济损失。

4.3 现状及存在问题

4.3.1 防洪工程现状

新中国成立以来，瑞安市持之以恒地开展了群众性的治水活动，造水库、建陡闸、筑海堤，建成了一大批水利工程，为促进国民经济可持续发展、推动社会进步和提高人民生活质量，作出了巨大贡献，尤其是本世纪初珊溪水利枢纽的建成，使流域内 1529km^2 集水面积产生的洪水得到有效调控，大幅度提高了中下游地区的防洪能力。

（1）水库工程

飞云江流域内现有大型水库 1 座，为珊溪水利枢纽，防洪库容 2.1 亿 m³；集水面积 1529km²；赵山渡引水枢纽是珊溪水利枢纽工程的组成部分，也是珊溪水利枢纽的反调节水库，总库容 3414 万 m³；另有百丈漈、林溪、高岭头一级和高岭头二级等 4 座中型水库。

（2）海塘工程

堤防、海塘是飞云江流域的重要防洪防潮工程措施之一。新中国成立后，为了提高沿海地区抗御台风、海潮的能力，瑞安市曾数次开展大规模的海塘工程建设，尤其是上世纪 90 年代，温州市水利水电局和瑞安市水电局对瑞安市堤塘进行了统一规划，并在规划基础上，北岸安阳镇～上望、南岸飞云镇～阁巷基本建成了 20 年一遇堤塘。1997 年冬开始，按照省水利厅的意见，对已建成的 20 年一遇标准的堤塘再按 50 年一遇标准进行加高加固。至目前为止，飞云江干流铁路桥以下河段，除个别河段 50 年一遇标准江堤即将完工以外，其他江段两岸已建成 50 年一遇标准海塘，大大提高了飞云江宝香以下江段两岸温瑞平原和瑞平平原的防洪御潮能力。

（3）堤防工程

近年来，根据《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015-2030 年）》、《浙江省飞云江流域水利规划报告》和《浙江省飞云江流域防洪规划报告》实施的飞云江一期工程和飞云江二期桐田先行实施段工程，实施完成后。飞云江瑞安段堤防工程总长 32.85km。

表 4.3-1　　飞云江瑞安段现状堤防工程统计表

分期	堤段	主要保护对象	岸别	现状防洪能力（年）	规划防洪标准（年）	规划堤长（km）	本工程长度（km）
一期	天井垟段	马屿镇、原曹村镇等	右	<10	20	9.65	9.68
	仙降段	仙降街道	右	<10	50	21.32	21.37
	一期小计		/	/	/	30.97	31.05
二期先行段	桐田段	桐浦镇桐田	左	<5	20	1.80	1.80
合计							32.85

4.3.2 存在的问题

总结历次的台风暴雨灾害，飞云江干流瑞安段主要存在的问题是规划堤防工程尚未建成，未形成防洪闭合圈，闸门老旧存在较大安全隐患，飞云江洪水倒灌加剧两岸平原排涝难题，河岸现有风貌与乡村振兴、建设共同富裕等要求不匹配问题。

4.3.2.1 现状堤防防洪能力低，堤防工程体系尚不完善

目前飞云江平阳坑以下河段并未形成有效的防洪封闭体系，大部分河段未建设防洪堤，或局部有多为当地农民或企业自发兴建的低标准土堤，堤顶高程不达标，不能形成防洪闭合圈等，防洪能力低，两岸经济社会仍面临较大的防洪威胁。

根据飞云江综合规划，赵山渡以下至河口段两岸主要乡镇和平原均需兴建防洪堤，目前飞云江干流铁路桥下游基本已建成50年一遇标准海塘，飞云江一期工程基本完工，飞云江二期桐田先行段已施工，右岸马屿至仙降段已建成 20～50 年一遇堤防，剩余河段基本未建堤防，两岸多为天然岸坡，仅马屿镇下游、荆谷乡八甲村、七甲村等部分河段建有局部的防洪堤，且未形成防洪闭合，防洪标准不足 20 年一遇，不能对两岸平原乡镇形成有效的防洪保护作用。

图 4.3-1　平阳坑段天然河段（未建设堤防）

图 4.3-2　现状局部老堤段

4.3.2.2　现状部分闸门建设年代久远，无法正常启闭

飞云江干流沿岸现状建设有大量老旧闸门，部分闸门由于建设年代久远，建设标准较低，已无法正常启闭，使得飞云江洪水倒灌进入两岸平原，加剧平原洪涝灾害。部门闸门基础发生沉降，墙体开裂，存在较大安全隐患，需进行拆除重建。

图 4.3-3　马屿镇梅屿段老堤闸门实拍图

图 4.3-4　闸门不均匀沉降开裂段实拍图

4.3.2.3　干流两岸平原地区洪水倒灌严重，排涝难度大

由于飞云江干流洪水时常翻越现状土堤或道路，倒灌进入两岸平原内部，造成平原既要排内部涝水，又要排飞云江干流倒灌进入的洪水，且由于飞云江干流流域面积较大，倒灌洪水量十分巨大，平原自身的排涝体系难以短时间排出。

以 2013 年菲特台风为例，飞云江江水倒灌进入陶山平原的桐浦镇和陶山镇，陶山镇逾 8 成村落被淹，陶山平原农田基本受淹，整个陶山镇在一片汪洋之中，多数房屋被淹没，陶山镇区最大淹没水深达 1.5m 左右，淹没时间从 10 月 7 日 6 时至 8 日 2 时（7 日 8 时至 10 时达最高值），洪涝不分，导致平原排涝难度加剧。

2015 年第 13 号台风“苏迪罗”造成瑞安市普降暴雨及大暴雨，尤其西部高楼、湖岭、陶山和马屿 4 镇降水较大，造成多处道路受阻、供电中断、农田受淹等灾情。陶山平原淹没较严重的是潮基社区下街村岩头村，地势最低的下街村全村被水淹，深度普遍达到一楼位置；瑞枫公路岩头村路口处最大淹没水深达 1.0m 左右，淹没时间从 8 月 9 日 2

时至 9 日 12 时左右，严重影响沿岸居民生产生活安全。

图 4.3-5　陶山镇莫拉克台风受灾现场照片

图 4.3-6　陶山镇菲特台风受灾现场照片

4.3.2.4　干流部分河段堤防年久失修，未经治理

河岸杂草丛生，老堤年久失修，块石裸露，废弃物较多，未经整治的河岸与乡村振兴，高质量发展建设共同富裕示范区的要求不匹配，与浙江省全域推进美丽河湖建设，构建高品质幸福河湖网的理念不符合，需结合堤防建设提升两岸风貌。

图 4.3-7　　现状河岸混乱未经整治实拍图

图 4.3-8　　现状河岸房屋违建江道滩地实拍图

4.4 工程建设必要性

4.4.1 是进一步完善流域防洪体系的需要

根据《浙江省飞云江流域水利规划报告》和《浙江省飞云江流域防洪规划报告》，飞云江干流沿岸城镇防洪由珊溪水库控制洪水与下游堤防相结合，从而使下游沿岸达到规划的防洪标准。目前珊溪水库已经建成，对下游防洪发挥了重要作用，但由于下游规划的防洪堤尚未建设完成，飞云江干流沿岸主要防洪对象的防洪能力仍然较低，其中平阳坑仅 2 年一遇，马屿镇（梅屿段）仅 10 年一遇，马屿平原大部分区域仅 2 年一遇，局部甚至低于 2 年一遇。为完善流域防洪格局，提高下游沿岸防洪能力至规划标准，同时进一步提高珊溪水库的防洪效益和综合效益，建设赵山渡～宝香河段两岸堤防是必要的。

4.4.2 是社会经济发展及城乡建设的需要

改革开放以来，瑞安市经济飞速发展，社会财富不断积累，人民物质文化生活水平不断提高，但飞云江干流宝香以上河段仍然处于自然防洪状态，乡镇、村庄农防防洪形势严峻，与社会经济发展形势不相适应。尽管 21 世纪初上游建成了流域防洪控制性工程——珊溪水库，但流域防洪格局仍未形成，下游防洪堤仍未建设，在 2005 年的“海棠”台风、2007 年的“罗莎”、“韦帕”、2009 年的“莫拉克”、2013 年的“菲特”等台风灾害中损失惨重，陶山平原、马屿部分乡镇村道路、通信和电力中断，一些民房倒塌、溪流堤防受损、农田被淹。

为保障瑞安市经济可持续发展，建设飞云江干流堤防，使沿线防洪标准提高到规划水平已十分迫切。过去的防洪堤建设过程中，对保护区内排涝能力建设相对投入不足，普遍存在外洪已挡、内涝难除的问题，为了保护区内经济发展迅速，人民生活水平提高后，沿岸平原普遍要求加强配套排涝工程建设。

在本次飞云江治理二期堤防建设的基础上，配套两岸排涝口门（闸门）的建设，使得片区在挡外洪的基础上，有条件将片区涝水排出。然而片区内涝的影响因素较多，仅在口门处建设排涝闸门不一定能使得片区达到排涝标准，往往需要片区配套建设一系列排涝工程，例如内河河道疏浚、卡口拓浚、上游水库配套建设、口门增设排涝泵站等，建议在建设堤防的基础上，片区尽快配套建设排涝工程，使得片区达到排涝标准。

4.4.3 是保障民生、稳定社会的需要

《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告》、《浙江省飞云江流域水利规划报告》和《浙江省飞云江流域防洪规划报告》对流域的防洪工程作了全面规划和统筹安排。其中防洪堤是流域防洪体系中的重要环节，是面向被保护对象的前沿防护工程，直接关系到各防洪保护区的安危。在规划基础上加快实施防洪堤加固建设，为人民生活、经济发展提供可靠的防洪保障已是当务之急。

瑞安市主要乡镇均分布在飞云江两岸，且大多是经济重镇或经济强镇，人口集中，耕地数量多，工商企业分布广泛，是防洪保护的重点区域。堤防保护范围内有甬台温高速铁路、甬台温铁路、330 省道以及大量的通讯干线、电力线路等重要的基础设施。沿江两岸是洪涝灾害频发的地区，由于历史的原因和经济上的制约因素，防洪堤建设落后于经济发展。进入上世纪 90 年代后，流域内发生的多次大洪水给经济发展和人民生命财产带来重大损失。

随着经济发展的不断深入，尤其是乡镇企业经济的迅速发展，社会财富日益增多，飞云江干流两岸人民的生活水平有了很大变化，发生同样频率的洪水所造成的灾情越来越严重，经济损失越来越大。

近些年，瑞安市经济高速发展，为各项防洪工程建设提供了雄厚的物质基础。飞云江干流堤防工程建设，对堤后保护区内的乡镇、工矿企业、农田和广大人民群众的安全至关重要，有利于促进区域经济社会又好又快地向前发展，有利于维护社会稳定。

4.4.4 是乡村振兴、建设共同富裕示范区的需要

习近平总书记指出：“共同富裕本身就是社会主义现代化的一个重要目标。要始终把满足人民对美好生活的新期待作为发展的出发点和落脚点，在实现现代化过程中不断地、逐步地解决好这个问题。”国家“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要提出，支持浙江高质量发展建设共同富裕示范区。浙江高质量发展建设共同富裕示范区是浙江建设的一个示范区。党的十九届五中全会向着更远的目标谋划共同富裕，提出了“全体人民共同富裕取得更为明显的实质性进展”的目标。

乡村振兴战略是习近平同志 2017 年 10 月 18 日在党的十九大报告中提出的战略。十九大报告指出，农业农村农民问题是关系国计民生的根本性问题，必须始终把解决好“三农”问题作为全党工作的重中之重，实施乡村振兴战略。2021 年 4 月 29 日，十三届全国人大常委会第二十八次会议表决通过《中华人民共和国乡村振兴促进法》。2021 年

5 月 18 日，司法部印发了《“乡村振兴法治同行”活动方案》。

浙江高质量发展建设更加注重向农村、基层、相对欠发达地区倾斜，向困难群众倾斜，支持浙江创造性贯彻“八八战略”，在高质量发展中扎实推动共同富裕，着力在完善收入分配制度、统筹城乡区域发展、发展社会主义先进文化、促进人与自然和谐共生、创新社会治理等方面先行示范，构建推动共同富裕的体制机制，着力激发人民群众积极性、主动性、创造性，促进社会公平，增进民生福祉，不断增强人民群众的获得感、幸福感、安全感和认同感，为实现共同富裕提供浙江示范。

本次飞云江治理二期工程助力飞云江上游沿岸乡镇提升防洪能力，在保障人民生命财产安全的同时，堤防建设结合景观绿道、道路建设、沿岸景观节点建设等内容，坚持人与自然和谐共生，走乡村绿色发展之路；保护飞云江沿岸耕地不受洪水侵袭，传承发展提升农耕文明，走乡村文化兴盛之路；通过堤防建设，提升两岸环境面貌，带动周边旅游发展，农业发展，乡村城镇综合发展，打好精准脱贫攻坚战，走中国特色减贫之路，为飞云江两岸乡村振兴，高质量发展建设共同富裕示范区提供坚实基础。

4.4.5 是构建浙江省美丽河湖新要求

对标“基本建成安全美丽的“浙江水网”框架，水利治理体系和治理能力现代化走

在全国前列，水利数字化改革全面推进，形成一批“重要窗口”水利标志性成果”的十四五期间浙江水利发展目标，奋力打造江河流域治理现代化的浙江经验、浙江样板、全国标杆。为全面建成人与自然和谐的全域幸福河湖，美丽河湖风景线、滨水产业发展带、安居乐业幸福网纵横交织、绵延，美丽浙江大花园的耀眼明珠人文水脉精彩纷呈，美誉度、影响力持续提升，主要江河流域幸福指数领先全国，幸福河湖成色十足。

“十四五”时期主要目标：一是全域推进美丽河湖建设。以“百江千河万溪”水美工程建设为主要抓手，辐射覆盖全省 92 个县（市、区）城市重点发展区块，夯实基础畅想幸福，全面织就一张具有浙江独特韵味底色的全域美丽河湖新格局。二是构建高品质幸福河湖网。根据浙江省地形地貌条件、水系特点和河湖资源禀赋情况，对标“重要窗口”及高水平建设新时代美丽浙江的要求，以八大流域干流及重要支流为主要脉络，以中小河流为次级网络，以湖泊水库为重要节点，重点培育一批能体现浙江河湖风情、彰显历史人文特色的河湖品质示范工程，河湖资产资源价值转换和路径不断完善，重要河湖生态流量监测实现全面覆盖，全域高品质幸福河湖网蓝图“骨架”基本绘就。最终实现八大流域干流、主要支流、重要湖泊及县域母亲河幸福河湖率先设建成幸福河湖，30 个以上县

（市、区）完成幸福河湖试点县创建，覆盖辐射 60%以上美丽城镇，城乡居民 15 分钟亲水活动圈覆盖率达到 85%以上。

飞云江作为浙江省八大流域之一，是浙江省百江幸福河建设清单中的重要一项，规划于 2025 年之前完成 76km 幸福河创建，2035 年完成 62km，治理河道完成达标堤防建设，生态化堤防改造，水环境安全整治，防汛通道贯通工程，滩林地修复，水源地涵养，水土流失防治，滨水绿道建设，滨水公园建设，新建水景观节点，亲水平台，打造水上交通旅游线，打造绿色内河航道线，新建水文化节点，打造水旅融合项目等美丽河湖建设内容。

建设飞云江“云江秀水”幸福生态廊道，首要任务是健全飞云江流域防洪体系，实施推进中下游堤防及河道治理工程，进一步减轻飞云江流域中下游马屿、陶山平原的防洪压力，使沿江高楼镇等主要城镇防洪标准达到 20 年一遇，补齐平阳坑段、陶山段、马屿段等薄弱环节堤段。

综上，瑞安市飞云江二期治理工程是补齐飞云江中下游防洪薄弱短板、提高流域防洪能力的重要措施；同时，堤防工程结合绿道建设，能够整合提升两岸风景名胜、乡村景点，共建生态休闲带、文旅景观带，充分利用飞云江的景观价值，发展水经济，推进飞云江流域综合开发、融合发展，打造温州东南“云江秀水片”。

4.5 前期工作情况

4.5.1 规划安排情况

（1）《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015-2030 年）》

2016 年，温州市水利电力勘测设计院编制了《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告》。报告提出：根据流域存在问题，赵山渡至铁路桥段堤防未闭合需要明确堤线，解决马屿平原及陶山平原内涝问题，金潮港防洪排涝形势严峻需要明确规划工程，并解决流域内供水区存在的供水隐患问题。

报告指出赵山渡至铁路桥段堤防的情况，由于赵山渡～铁路桥段的堤线工程已经由浙江省水利水电勘测设计院进行论证，同时该段堤线工程列入飞云江独流入海工程，因此对于该段堤线原则上不予改变，报告对潘岱段堤线进行单独分析研究。赵山渡～铁路桥段共规划堤防 95.26km，其中 50 年一遇堤防为 21.33km，主要位于瑞平平原的仙降防洪堤，20 年一遇堤防 61.43km，10 年一遇堤防 12.50km；铁路桥以下段堤防已建成。

本次飞云治理二期工程在《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告》堤线基础

上，进行优化布置。

图 4.5-1　　飞云江流域综合规划总体布置图

（2）《浙江省瑞安市金潮港流域综合规划报告（2018-2035 年）》

该规划由华东勘测设计研究院编制，金潮港流域防洪工程近期主要包括新建六科水库，金潮港岩头～河口段堤防工程 23.06km，河道整治 11.48km，三十三溪和三十四溪堤防工程 10.15km；卡口整治工程，金潮港渡槽卡口扩宽，棠梨埭金潮港大桥卡口治理、岩头桥重建，前途大桥重建，马陶公路桥改建。三十一溪堤防建设 6.48km，林溪水库二期工程溢洪道加高设闸，增设防空洞，总库容 2135 万 m^3。

远期包含金潮港河口大闸、新增 482.5kw 增效扩容及达标绿色小水电 20 座。

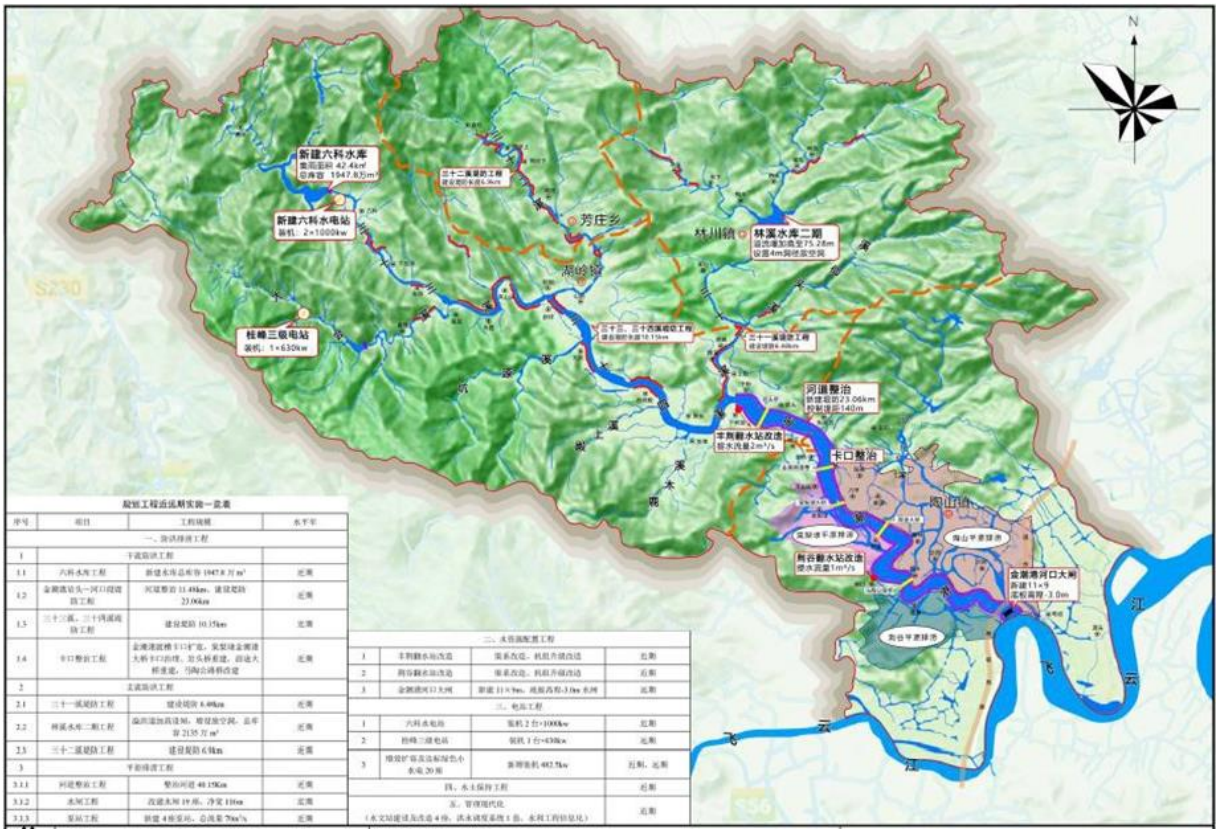


图 4.5-2　　金潮港流域综合规划总体布局图

（3）《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址～铁路桥段堤线调整专题研究报告》

随着经济社会迅速发展，原防洪规划成果已不能完全满足经济社会快速发展对水利提出的新需求和新任务，两岸城镇建设及河势改变较大，堤线布置亟需调整。

为进一步提高飞云江下游河道的防洪能力，加快水利工程建设步伐，浙江省水利水电勘测设计院于 2013 年编制《飞云江（赵山渡坝址～铁路桥段）防洪规划修编》（下称《防洪规划修编》）。2013 年 1 月 10 日，温州市水利局组织相关单位和专家对《防洪规划修编》进行了审查。根据审查会意见，建议先行开展堤线调整专题研究工作，进一步明确与优化飞云江赵山渡坝址～铁路桥段堤线布置，同时将《防洪规划修编》经必要补充与修改完善后更名为《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址～铁路桥段堤线调整专题研究报告》。之后在《防洪规划修编》基础上，根据审查会意见进行了修改，于 2013 年 4 月完成了《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址～铁路桥段堤线调整专题研究报告》（下称《堤线调整专题》），并于 2013 年 7 月温州市人民政府[2013]143 号文件批复。本次飞云江治理二期工程堤线布置在《堤线调整专题》批复的飞云江堤线布置基础上进行优化比选确定。

（4）《瑞安市综合交通体系规划》

该规划由瑞安市住房和城乡规划建设局与城乡规划设计研究院于 2018 年共同编制完成，规划明确瑞安市今后一段时期内的交通线路，打造以温州-瑞安为大都市核心区、乐清平苍副中心的沿海城镇发展带，构建以瓯江为纽带的沿瓯江城市发展带。

与本次堤防工程有关的道路主要有龙丽温高速、温州绕城高速和 104 国道西线，本着节约利用和综合利用的原则，尽可能减少对区域影响角度考虑，本次堤防工程部分段采用现有高速和国道实体路基，既减少了投资也充分利用道路高程达到防洪目标。平阳坑段经龙丽温高速下口转盘段，涉及到堤防、平阳坑水闸与高速的交叉问题处理，在后续堤线布置章节详细论述，在减少对高速下口影响的前提下进行工程布置。

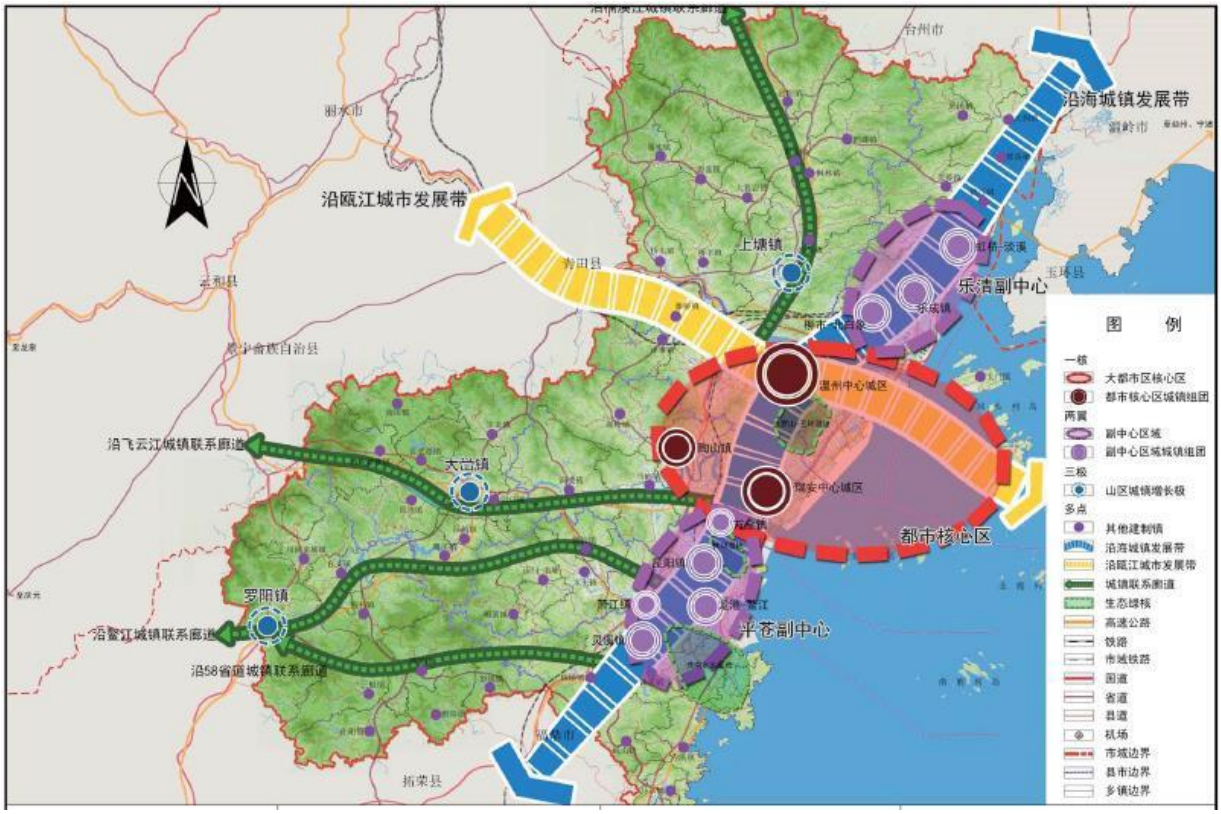


图 4.5-3　　瑞安市高快速路及主干路规划方案图

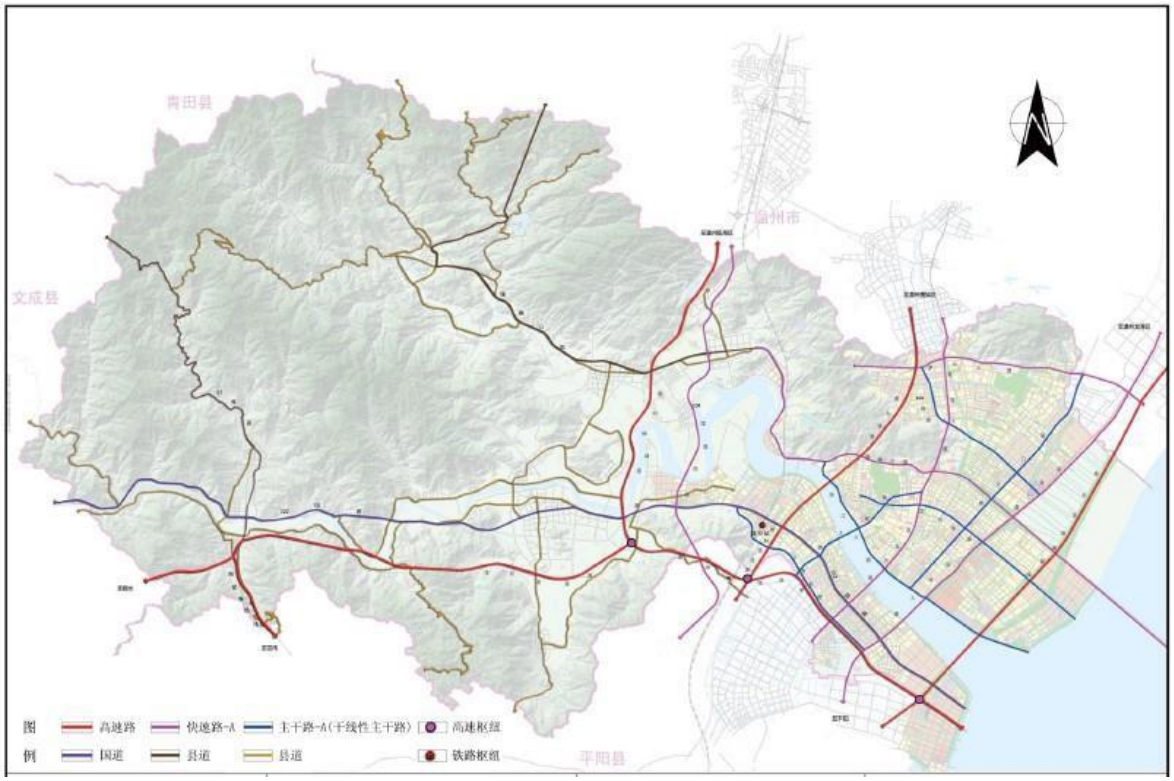


图 4.5-4　　瑞安市交通基础设施规划布局图

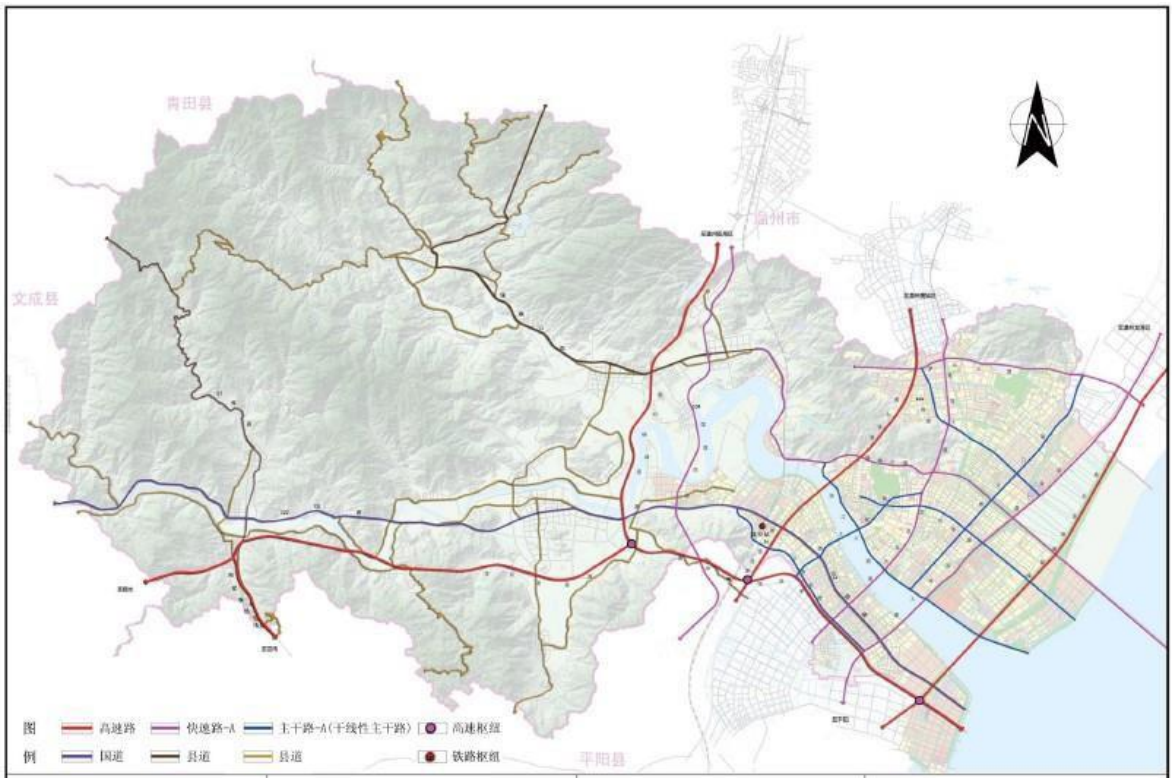


图 4.5-5　　瑞安市高快速路及主干路规划方案图

（5）《瑞安市土地利用总体规划》

本次飞云江治理工程二期作为省级重大水利工程已经列入《浙江省水安全保障“十

四五”规划》，与国土三调的三区三线划定进行对接，省级重大水利工程红线范围内无永农，涉及耕地数量 421.70 亩。

根据耕地保护相关法律法规，国家实行占用耕地补偿制度。本工程涉及征收耕地 421.70 亩（其中工程建设占地 390.26 亩、安置用地 31.44 亩），采取项目业主缴纳耕地占补平衡指标费的方式进行处理，不再计列耕地开垦费。

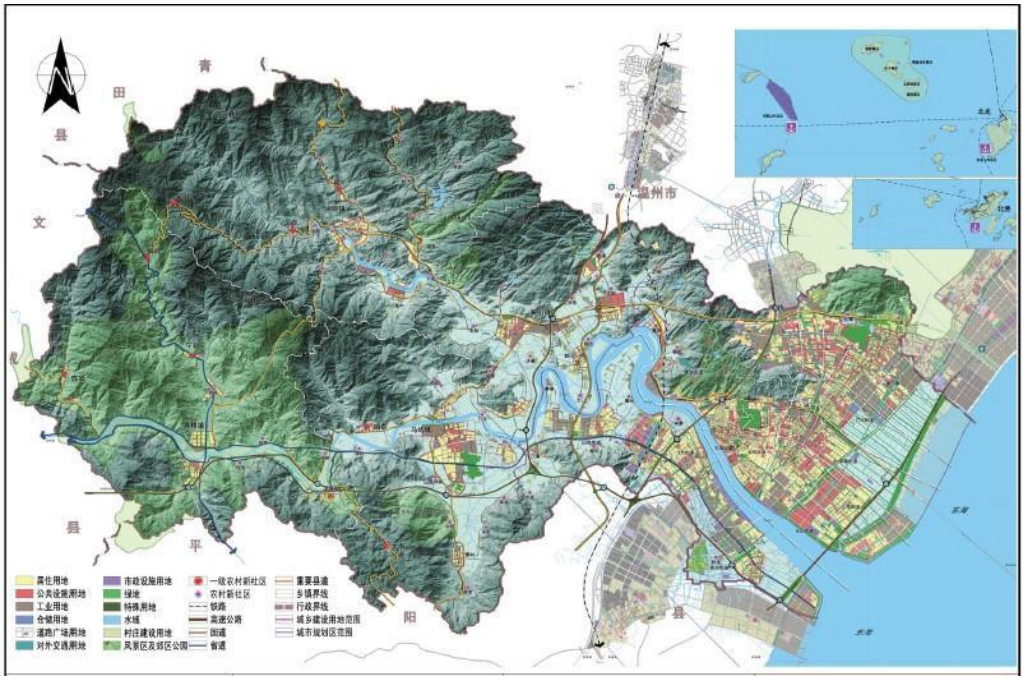


图 4.5-6　　瑞安市土地利用规划图

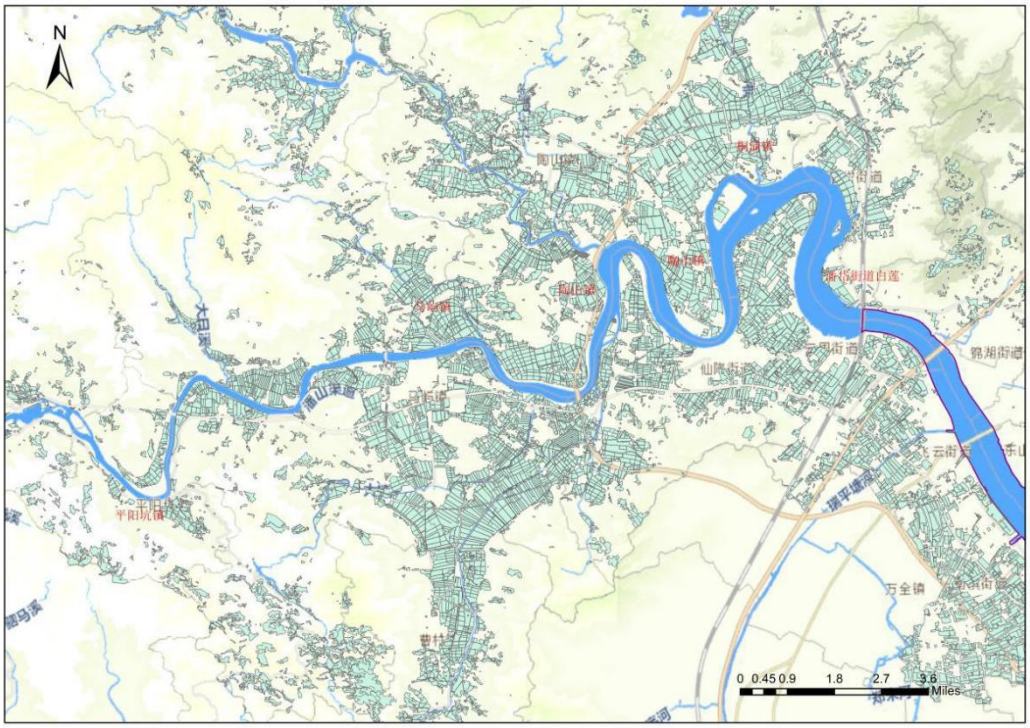


图 4.5-7　　本次工程涉及段耕地示意图

（6）《瑞安市桐浦镇镇规划》（2017-2035 年）

《瑞安市桐浦镇镇规划》由瑞安市城乡规划设计研究院编制，将桐浦镇的综合发展定位确定为：温州大都市近郊运动休闲旅游度假胜地；绿色农产品供应基地；瑞安西郊富裕、和谐的生态型休闲小镇。

以科学发展观和建立和谐社会为指导，立足桐浦实际，以统筹城乡发展为主线以产业为支撑，以基础设施为载体，以社会保障为后盾，全面提高城市化、工业化和现代化水平。大力推进新农村、新体制、新农民、新产业建设，实现农民市民化、农村环境生态化，缩小城乡差距，形成城乡互动共进、融合发展的新格局，逐步实现城乡经济、社会、文化、生态的全面协调和可持续发展，走出一条具有桐浦特色的城乡统筹发展新路子，使全镇人民共享现代文明。至 2035 年，规划人口规模合计为 3.4 万人（包含旅游人口 0.3 万人），城镇化水平预测为 32.3%。

规划城镇空间发展策略为“北育、中优、南拓”。北育：生态保育、适度开发；中优：优化结构、发展特色；南拓：适度拓展、完善配套。

规划确定的空间结构为“四廊五区”，即“四条生态走廊+五大功能区”：

1）四条生态走廊

指沿 104 国道西过境线和瑞枫公路形成的两条交通生态廊道；沿飞云江和桐溪河形成的两条滨水生态廊道。四条廊道的主要功能是功能区间的分隔带，即区域交通的通道及不同生态区的生态联系通道。

2）五大功能区

城镇中心区——由以桐浦镇区为中心，为全镇域提供生活及生产服务功能。

旅游休闲区——以桐溪风景名胜区为核心，发展都市型旅游休闲业，由风景旅游区、休闲度假基地与桐溪社区居住组团等功能单元组成。

三个生态社区——分别位于云屿、沙岙和汇桐社区，以居住功能为主，兼顾生态农业、农业观光等功能，其中云屿和沙岙社区依托 104 国道西国境线和瑞枫公路，为远期发展农产品物流业留有余地。

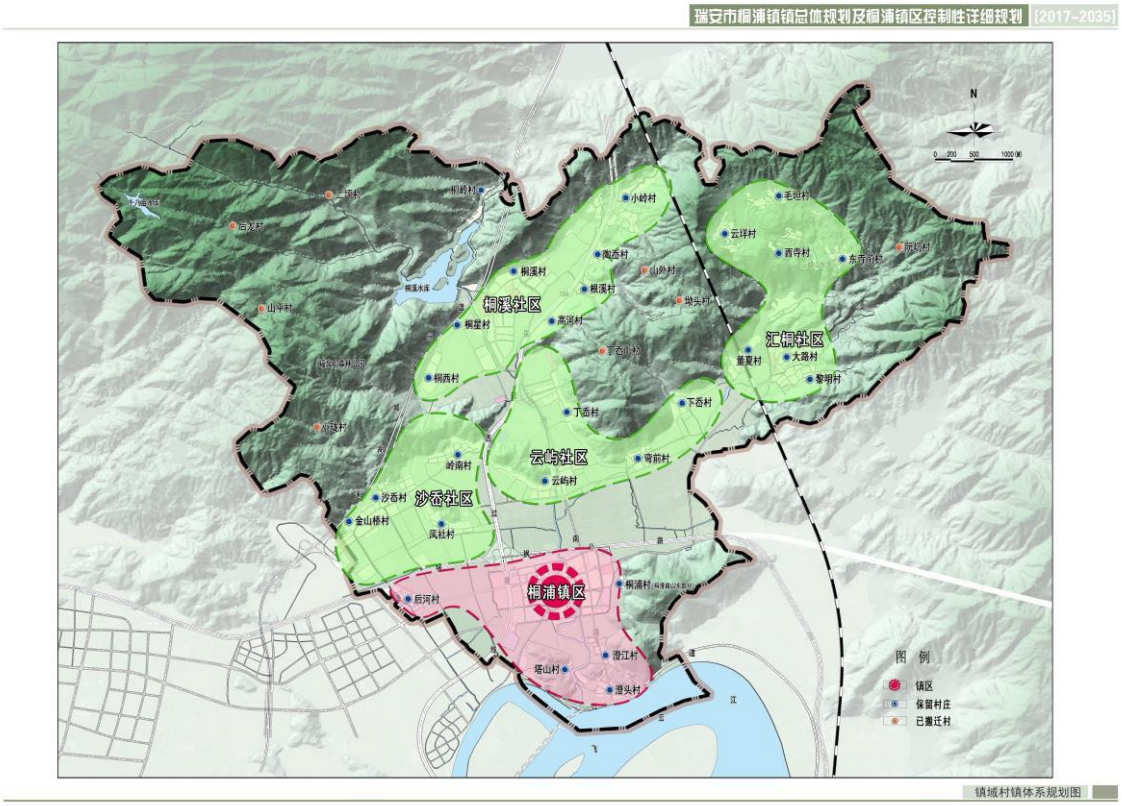


图 4.5-8　　桐浦镇空间布局示意图

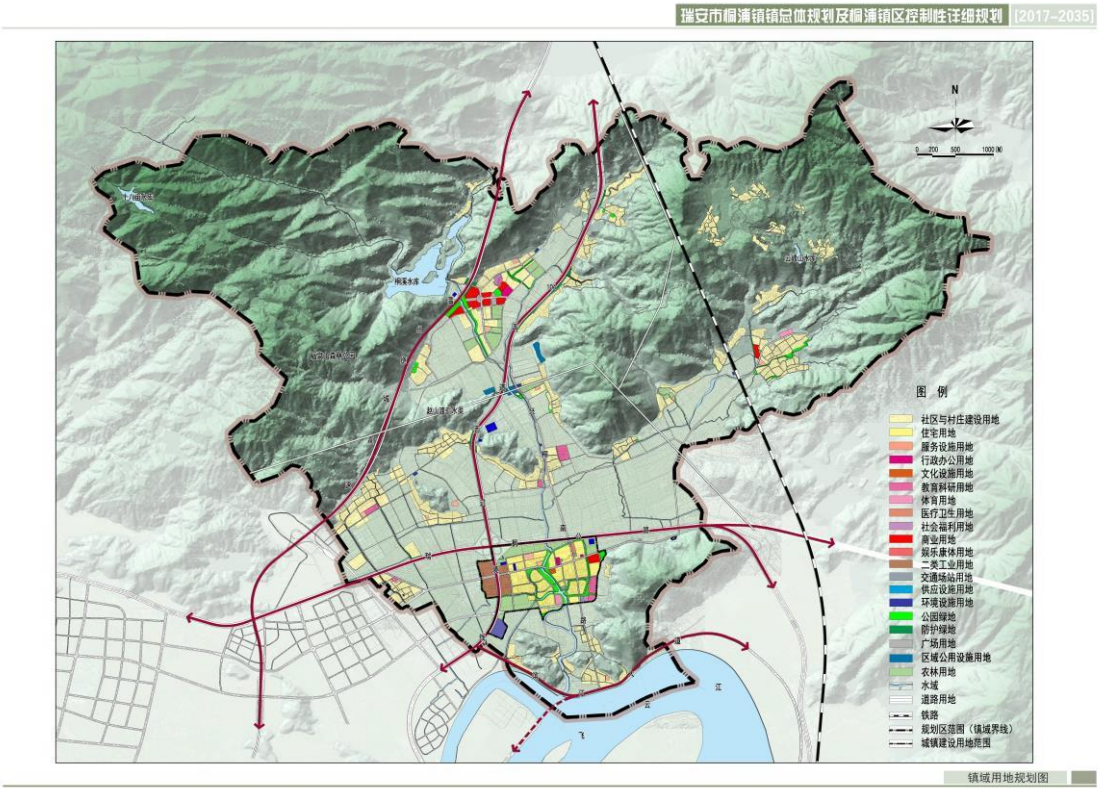


图 4.5-9　　桐浦镇规划用地示意图

（7）《陶山平原相关控制性规划》

本次工程涉及陶山平原荆谷组团、碧山组团控制性规划布置的堤段为陶山镇荆谷片和陶山镇碧山片，该片区结合乡镇控制性规划、城市道路规划等相关规划要求，进行堤线布置，两个片区规划用地布置如下图所示。

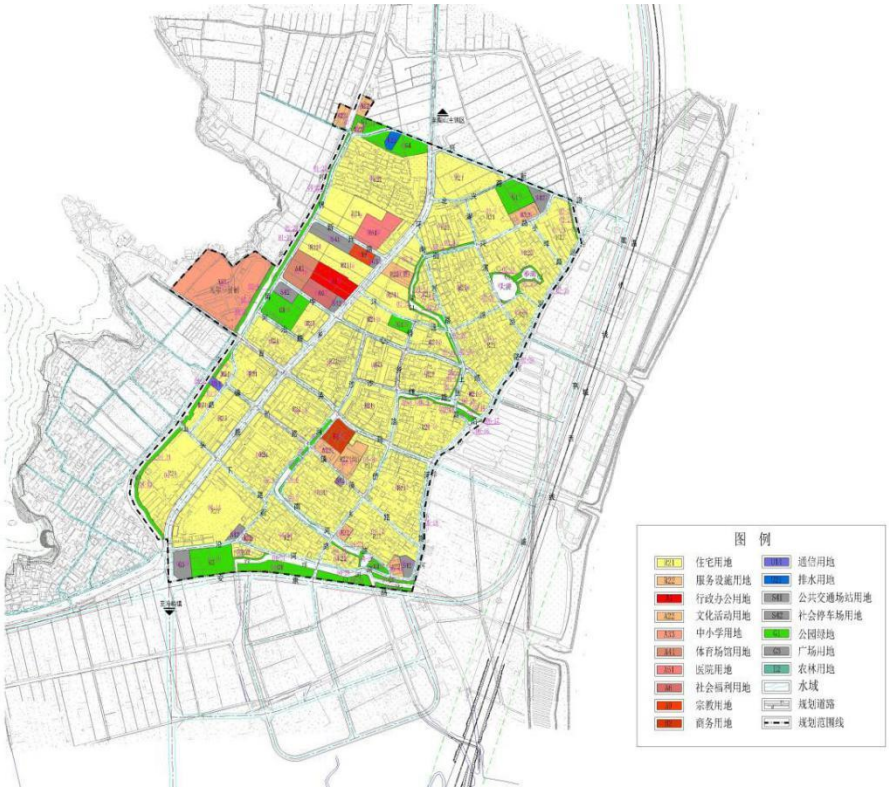


图 4.4-10　　陶山镇荆谷组团规划用地示意图

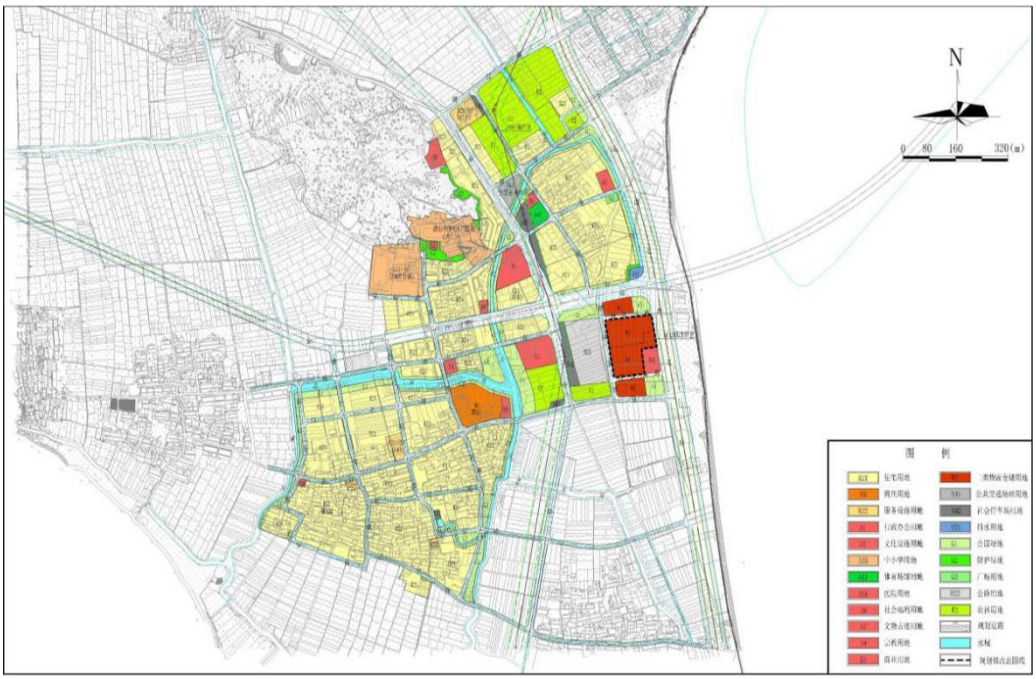


图 4.5-11　　陶山镇碧山组团规划用地示意图

（8）《浙江省水安全保障“十四五”规划》

“十四五”规划是开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个五年规划，是浙江省第二个“高水平”的开篇之作。“重要窗口”的新目标新定位，赋予浙江水利向全国、向世界展示科学治水理论生命力的重大使命，首要任务是以新时代治水思路为行动指南，坚持人民至上、生命至上，探索人与自然和谐相处的水利高质量发展之路，努力打造具有中国气派、浙江辨识度、水利特色的标志性成果。浙江省已进入高水平全面小康社会，人民对美好生活的向往呈现多样化多层次多方面特点，既要江河安澜、洪旱无虞，又要山清水秀、记取乡愁，水安全保障面临更加多元的需求。长三角区域一体化发展、乡村振兴、美丽中国等国家战略和“大湾区大花园大通道大都市区”战略部署，要求水利突破常规思维，以一体化思路重构水安全战略布局，集聚水利支撑国家战略和省域高质量发展的新动能。治理体系治理能力现代化和“整体智治”政府建设，要求水利充分利用大数据、人工智能等手段，以人的现代化为核心，创新治理模式，提升行业监管能力，为决策科学化、社会治理精准化、公共服务高效化提供保障。

“十四五”期间，建浙江水网、保河海安澜、促城乡泽润、现幸福河湖、亮水利窗口，推动水利高质量发展，争创水利现代化建设先行省。具体发展目标：

——更高标准的水安全屏障。主要江河干流防洪能力、五大平原排涝能力全面达标，县级以上城市具备抵御新中国成立以来最大洪水的能力，沿海周边形成稳固连续的防潮生命线，洪涝灾害预报预警与应急协同处置能力全面提升，大中型水利工程实现产权化、物业化、数字化管理。

——更优配置的水资源保障。农业“两区”供水保证率达到90%以上，县级以上城市人口优质水供水覆盖率达到95%以上，大湾区及主要城市群等生活、生产用水全面保障，农村供水水源稳定，河流生态基流得以优先满足，全省用水总量控制在196亿m^3以内。

——更加健康的水生态环境。全省基本达到幸福河湖建设目标，河湖空间得到有效保护，基本水面率达到5.66%以上，城乡居民亲水便捷覆盖率达到85%，水土流失率下降到6.5%。

——更高效能的水治理体系。水法规体系进一步完善，涉水事务监管能力全面强化，水安全风险防控能力明显提升，水资源水生态价格形成机制取得突破，社会化市场化程度显著提高，一批水利科技创新成果转化为生产力，水利队伍结构进一步优化，水文化理念更深入人心，水利智慧化管理初步实现。

到2035年，建成洪旱无虞、饮水放心、用水便捷、亲水宜居的“浙江水网”，水安

全保障体系与经济社会发展和生态文明建设要求相适应，基本实现高水平水利现代化。

本次飞云江治理二期工程作为省级重大项目列入十四五实施类中，目标在十四五期间实施，在本轮“三区三线”划定中作为省级重大水利项目与自然资源厅进行土地要素协调，已基本解决工程涉及永农问题。

图 4.5-12　浙江省高标准防洪保安网示意图

图 4.5-13　浙江省高品质幸福河湖网

（9）《浙江省“十四五”期间解决防洪排涝突出薄弱环节实施方案》

省人民政府办公厅印发《浙江省“十四五”期间解决防洪排涝突出薄弱环节实施方案》（以下简称《实施方案》），提出“十四五”解决防洪排涝突出薄弱环节的总体要求、主要任务和保障措施等，对解决防洪排涝突出薄弱环节作出具体部署。

《实施方案》指出，要认真落实习近平总书记重要指示批示精神，积极践行“十六字”治水思路，明确目标任务，压实主体责任，狠抓项目落实，提升流域区域防洪排涝能力，努力建成与社会主义现代化先行省相适应的防洪减灾体系，为高质量发展建设共同富裕示范区提供坚实可靠的水安全保障。

《实施方案》明确，至 2025 年，在全面消除海塘病险隐患、系统治理小型水库山塘、有效防范小流域山洪灾害风险的基础上，实现大中型病险水库水闸及时清零，八大流域干流堤防基本达标，五大平原排涝能力基本达到 20 年一遇，县级以上城市防洪能力普遍达到50年一遇，流域面积200平方公里以上中小河流防洪达标率达到85%以上，水情测站覆盖率和预报能力进一步提升，全省防洪排涝突出薄弱环节基本得到解决。

《实施方案》同时提出了“十四五”解决防洪排涝突出薄弱环节的八项重点任务，包括消除大中型水库水闸病险隐患、保障江河干流堤防安全、提升江河流域洪水调控能力、提升城市及区域防洪排涝能力、实施中小河流系统治理、加固杭嘉湖平原圩区圩堤、提高水文监测预警能力、加快推进一批流域重大工程等，并安排 314 项解决防洪排涝薄弱环节的工程措施。《实施方案》要求，要强化责任落实、服务保障、监督考核等保障措施，本着“能早则早、能快则快”的原则，有力有序推进水利基础设施建设，提高浙江省防范化解重大风险能力，保障人民群众生命财产安全。

本次飞云江治理二期工程作为省级重大项目列入《实施方案》中，解决飞云江流域中下游防洪薄弱环节问题，具有重大意义。

4.5.2 规划实施情况

根据《浙江省飞云江流域水利规划》和《浙江省飞云江流域防洪规划》，飞云江治理工程堤防总长度 60.31km，若一次性实施，工程投资较大，工程实施较为困难。根据水利部和水利厅的相关意见，瑞安市飞云江治理工程拟分两期实施，在满足一、二期投资基本平衡条件下，一期实施建设条件好，保护对象重要性和实施紧迫性强，并且一期内堤线能形成防洪闭合圈堤段，根据飞云江治理工程沿线实际情况，经综合分析，选定马屿天井垟段防洪堤和仙降飞云段防洪堤作为一期工程，其它堤段作为二期、三期工程。

（1）飞云江治理一期治理工程

飞云江干流治理工程考虑到资金安排及建设时序分为一期和二期，其中天井垟防洪堤（20 年一遇，9.68km）和仙降防洪堤（50 年一遇，21.37km）列为一期工程，一期工程已经进入竣工验收阶段。

（2）飞云江二期桐田先行实施段

飞云江二期桐田先行实施段已实施，新建桐田堤防长度 1.80km（防洪标准 20 年一遇）。

根据《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015-2030 年）》，飞云江流域规划堤防总长 90.54km。截止目前，高楼至滩脚段堤防工程 2.01km 已建设完成；飞云江一期治理工程建设完成堤防工程 32.85km，等待验收中；二期桐田先行段已实施堤防工程 1.80km。

规划安排的剩余堤防，其中部分防洪紧迫的堤段本次二期工程拟安排实施，其余段由于征地拆迁难度大、其他配套工程尚未建成或建设时机不成熟等原因，建议后期继续实施。特别是潘岱段由于新规划堤线方案与原飞云江防洪规划等差距较大，《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015-2030 年）》建议留待方案充分论证后再实施。

表 4.5-1　　综合规划堤防工程安排情况

序号	防洪堤段	规划防洪标准	规划长度（km）	达标长度（km）	未达标长度（km）	备注
1	高楼防洪堤	20	2.01	0	2.01	高楼段防洪堤已建
2	龙湖防洪堤	20	2.22	0.72	1.5	
3	凤翔防洪堤	20	3.49	0	3.49	
4	九珠潭防洪堤	10	2.08	0	2.08	
5	南岙防洪堤	10	0.93	0	0.93	
6	滩脚防洪堤	10	1.86	0	1.86	
7	平阳坑防洪堤	20	3.02	0	3.02	未建
8	塔石防洪堤	10	3.75	0	3.75	未建，留待后期再建
9	河头防洪堤	10	3.88	0	3.88	
10	顺泰防洪堤	20	4.27	0	4.27	
11	天井垟防洪堤	20	9.75	9.75	0	一期干堤已建
12	梅屿防洪堤	20	4.82	0	4.82	未建
13	沙垟防洪堤	20	7.72	3.71	4.01	
14	仙降防洪堤	50	10.27	10.27	0	一期干堤已建
15	沙州防洪堤	20	1.27	0	1.27	二期工程拟建（桐田先行段已实施）
16	三甲防洪堤	20	8.15	0	8.15	

序号	防洪堤段	规划防洪标准	规划长度（km）	达标长度（km）	未达标长度（km）	备注
17	州渎防洪堤	20	1.34	0	1.34	
18	塔山防洪堤	20	0.58	0	0.58	
19	浦澄防洪堤	20	1.03	0	1.03	
20	潘岱防洪堤	20	4.44	0	4.06	未建，留待后期再建
21	白莲防洪堤	20	2.6	0	2.6	未建
22	上埠防洪堤	50	11.06	11.06	0	一期干堤已建
/	合计	/	90.54	35.51	54.65	/

4.5.3 前期工作情况

2011 年 10 月，编制完成《浙江省飞云江治理工程瑞安市飞云江治理工程项目建议书》，2012 年 2 月份，浙江省发展和改革委员会以浙发改农经函〔2012〕46 号文下发“关于瑞安市飞云江治理项目的复函”。

2012 年 8 月份，编制完成了《浙江省飞云江治理工程瑞安市飞云江治理一期工程可行性研究报告》（报批稿），并完成一期工程初步设计，飞云江治理一期工程现处于工程实施阶段。

2017 年 10 月，编制完成了《浙江省飞云江治理工程瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》（报批稿），但因二期工程涉及永久基本农田较多，未获批复。

2020 年 6 月，浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司提出了“借地还地”的梯状堤型（梯田）结构方案，并于 12 月编制完成了《瑞安市飞云江治理二期生态大堤工程项目建议书》。但因永农借用难度大，未通过立项。

2022 年 5 月，结合国土“三区三线”政策窗口期，拟将范围内永农调出，浙江省水利水电勘测设计院有限责任在 2017 年版可研报告基础上重新编制完成了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》（送审稿）。

2022 年 8 月 9 日，温州市水利局组织召开了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》技术审查会。

2022 年 9 月 19 日，浙江省水利厅以“浙水函〔2022〕756 号文”下发浙江省水利厅关于瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告审查意见的函。

2022 年 12 月，浙江省水利水电勘测设计院有限责任根据审查意见进行了修改，编制完成了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》（审定稿）。

2023 年 1 月，受浙江省发改委委托省发展规划研究院组织召开了《瑞安市飞云江

治理二期工程可行性研究报告》评估咨询会。

2023 年 2 月，浙江省水利水电勘测设计院有限责任根据审查意见进行了修改，编制完成了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》（报批稿）。

2023 年 2 月，浙江省发改委以浙发改农经〔2012〕46 号文批复了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》。

4.5.4 可研主要设计成果

根据浙江省发改委批复的《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》，本工程主要建设内容和规模为：

（1）水利部分：新建堤防 21.77km；新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166m，其中马上水闸（3 孔×4 米）、河溪水闸（3 孔×5 米）、渡头水闸（3 孔×5 米）、浦底水闸（3 孔×5 米）；新建管理房 1 处、面积 1100m^2，防汛仓库 5 处、总面积 400m^2。

（2）融合提升部分：新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。

本工程等别为IV等。堤防建筑物级别为 4 级，防洪标准 20 年一遇。排涝标准 10 年一遇村镇 24 小时降雨 24 小时排除不受淹，农田 3 日降雨 4 日排除至作物耐淹水深。马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸建筑物级别为 4 级。

4.6 防洪工程总体布局

飞云江流域治理以水库工程、海塘工程、堤防工程为主体，构建完善的防洪减灾体系。加强赵山渡水利枢纽下游平阳坑至铁路桥河段治理，以平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段、白莲段为重点，开展堤防工程建设、水闸新建和改建，形成防洪闭合圈，防洪标准为 20 年一遇，排涝标准采用 10 年一遇，村镇 24h 降雨 24h 排出不受淹，农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深，大幅度提高中下游地区的防洪能力。

本次工程建设是按照上述总体布局，主要对堤防工程、水闸工程进行建设。

4.7 工程建设任务和范围

4.7.1 工程任务

本工程任务为防洪为主，结合排涝，兼顾改善水生态环境等综合利用。

为了保障飞云江干流沿江两岸人民生命财产和工农业生产等各项事业的安全，促进地区经济更快更稳的向前发展，维护社会稳定，按规划实施飞云江干流治理工程。

4.7.2 工程治理范围

本次飞云江二期工程位于浙江省瑞安市境内，以《浙江省飞云江流域水利规划》和《浙江省飞云江流域防洪规划》为依据，本次治理范围自赵山渡水利枢纽下游平阳坑至铁路桥河段，主要为飞云江干流一期治理工程的剩余堤段，包含平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段、白莲段。

4.7.3 工程建设内容

在可研阶段成果的基础上，根据收集的资料进行复核，确定本次的工程内容包括：

（1）水利部分：新建堤防 21.77km；新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166m，其中马上水闸（3 孔×4m）、河溪水闸（3 孔×5m）、渡头水闸（3 孔×5m）、浦底水闸（3 孔×5m）；新建管理房 1 处、面积 1100m^2，防汛仓库 5 处、总面积 400m^2。

（2）融合提升部分：新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。

4.8 治理标准和设计水位

4.8.1 治理标准

（1）防洪标准

本次飞云江二期工程主要保护范围为平阳坑镇、马屿镇梅屿、陶山镇和桐浦镇。防洪保护人口 9.65 万人，保护耕地 6.91 万亩。根据《防洪标准》（GB50201-2014），保护建制镇防洪标准为 20 年一遇，与规划防洪标准相一致。

（2）治涝标准

根据《治涝标准》（SL723-2016），本次保护范围属于一般重要性区域，采用 10 年一遇，村镇 24h 降雨 24h 排出不受淹，农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深。

4.8.2 设计水位

4.8.2.1 水库调度运行原则

（1）现状调洪原则

根据《浙江省飞云江干流（珊溪水利枢纽）洪水调度方案》（中国水电顾问集团华东勘测设计研究院，2010 年 8 月），珊溪水库主汛期（7～10 月）洪水调度原则如下：

（1）在下游规划防洪堤未建的现状下，珊溪水库主汛期（7～10 月）起调水位为 140.4m（对应库容 12.30 亿 m^3），根据实际洪水情况合理调度。在珊溪水库的实际调度中，如要求珊溪水库 20 年一遇洪水位不超过 145.78m（投入运行至目前的最高洪水位），则可采取适当的预降方式，使水库水位在主汛期洪水到来之前降至 138.2m。

（2）水库水位在 147.67m（P=5%防洪高水位，对应库容 14.97 亿 m^3）以下时，运用水文自动测报系统预报珊溪～赵山渡区间洪水流量过程，按照下游防洪现状，以赵山渡为防洪控制断面，控制赵山渡断面 P=20%洪水流量不超过 3000m^3/s，按赵山渡控制流量进行补偿凑泄调节，即：

珊溪下泄流量 $q \leq Q_{赵控}-Q_{珊溪～赵山渡区间}$，如 q 小于机组发电流量，则 q=发电流量

式中：$Q_{赵控}$为赵山渡控制流量（考虑洪水演进后），$Q_{赵控}$=3000m^3/s；

$Q_{珊溪～赵山渡区间}$为预报的 3h 后的珊溪～赵山渡区间流量。

（3）水库水位超过防洪高水位（P=5%）147.67m(对应库容 14.97 亿 m^3)时且小于 148.0m（对应库容 15.10 亿 m^3）时，水库按 5400m^3/s 流量下泄。

（4）水库水位超过 148.0m（对应库容 15.10 亿 m^3）时，溢洪道闸门全部打开参与泄洪。

（5）水库水位超过 150.14m（对应库容 15.96 亿 m^3）时，泄洪洞也参与泄洪，机组发电停止。

根据《飞云江流域综合规划》赵山渡引水工程作为珊溪水库下游的调节枢纽，主要功能为引水供水，总库容 3414 万 m^3，由泄洪闸、河床式电站、两岸接头重力坝和输水渠系组成。泄洪闸共有 16 孔，闸顶全长 257.9m，最大泄流量 15120m^3/s，电站装设 2 台 10MW 灯泡贯流式水轮发电机组，输水渠系总长 62.85km，设计流量 36m^3/s。工程完成后，按照省厅批准的年供水量为 7.3 亿 m^3，供水区内受益人口达到 500 多万人，可新增和改善灌溉面积 100 万亩，可为电网提供调峰电力 22 万 kW。

（2）规划调洪原则

现状调洪原则为下游堤防未建时的临时调度措施，待飞云江下游堤防建成后，珊溪水利枢纽调洪原则将进行调整。根据珊溪水利枢纽工程的初步设计报告，珊溪水利枢纽调洪原则如下：

（1）起调水位为汛限水位 142.0m，相应库容 12.91 亿 m^3。

（2）按照下游沿岸村镇农田防洪标准，当水库水位低于 146.33m(P=10%)时，控制珊溪水库下泄流量，并考虑下泄流量传播至马屿的时间，使珊溪水库下泄流量与珊溪～马屿区间洪水流量之和不超过 4700m^3/s。

（3）按照下游马屿平原及沿岸集镇的防洪标准，当水库水位高于 146.33m（P=10%），且低于防洪高水位 147.67m(P=5%)时，控制珊溪水库下泄流量，并考虑下泄流量传播至马屿的时间，使珊溪水库下泄流量与珊溪～马屿区间洪水流量之和不超过 5400m^3/s。

（4）当水库水位高于防洪高水位 147.67m(P=5%)，且低于 148.0m 时，水库按 5400m^3/s 流量下泄。

（5）当水库水位高于 148.0m 时，溢洪道 5 孔闸门全开泄洪。

（6）当水库水位高于 149.94(P=0.5%)，溢洪道 5 孔闸门全开，泄洪洞参与泄洪，机组停止发电。

根据水文分析成果，珊溪水库下泄流量传播至马屿的时间取用 4h。赵山渡水库调度原则采用珊溪水利枢纽运行设计阶段拟定的洪水调度原则，成果如下：

（1）汛期起调水位为 22.0m。

（2）当支流发生洪水、预计水库水位超过正常蓄水位 22.0m 时，控制闸门按入库流量下泄，维持水库水位不超过 22.0m。

（3）当玉泉溪洪水流量不超过 120m^3/s、且岔口水文站断面入库洪水流量小于 2500m^3/s 时，控制闸门按入库流量下泄，维持水库水位不超过 22.0m。

（4）当岔口水文站位置入库洪水流量大于 2500m^3/s 时（相当于区间 5 年一遇洪水洪峰流量），水库水位降至 21.5m。

（5）当入库洪水流量大于洪水位 21.5m 相应的水闸泄量 12468m^3/s，闸门全开泄洪。

（6）当下游水位大于 16.5m（相当于 20 年一遇时的洪水时），电站水头小于 5m，电站停止运行。

（3）调洪计算成果

按照上述调度原则进行调洪计算，珊溪水库和赵山渡联合调度成果见表 4.8-1。

表 4.8-1　　溪水利枢纽调洪成果表　　流量：m³/s

调洪原则	频率（%）	珊溪水库相应洪水		珊溪～赵山渡区间设计洪峰	赵山渡最大下泄流量	珊溪～马屿区间设计洪峰	马屿设计洪峰
		入库洪峰流量	最大出库流量				
现状调洪原则	20	4350	2870	2650	3000		
	10	5880	2823	3660	3660		
	5	7600	2804	4640	4640		
	2	9400	5400	5960	6718		
规划调洪原则	20	4350	4389	2650	4571	3430	4700
	10	5880	4457	3660	4634	4700	4700
	5	7600	5112	4640	5311	5940	5940
	2	9400	5400	5960	7252	7610	8550

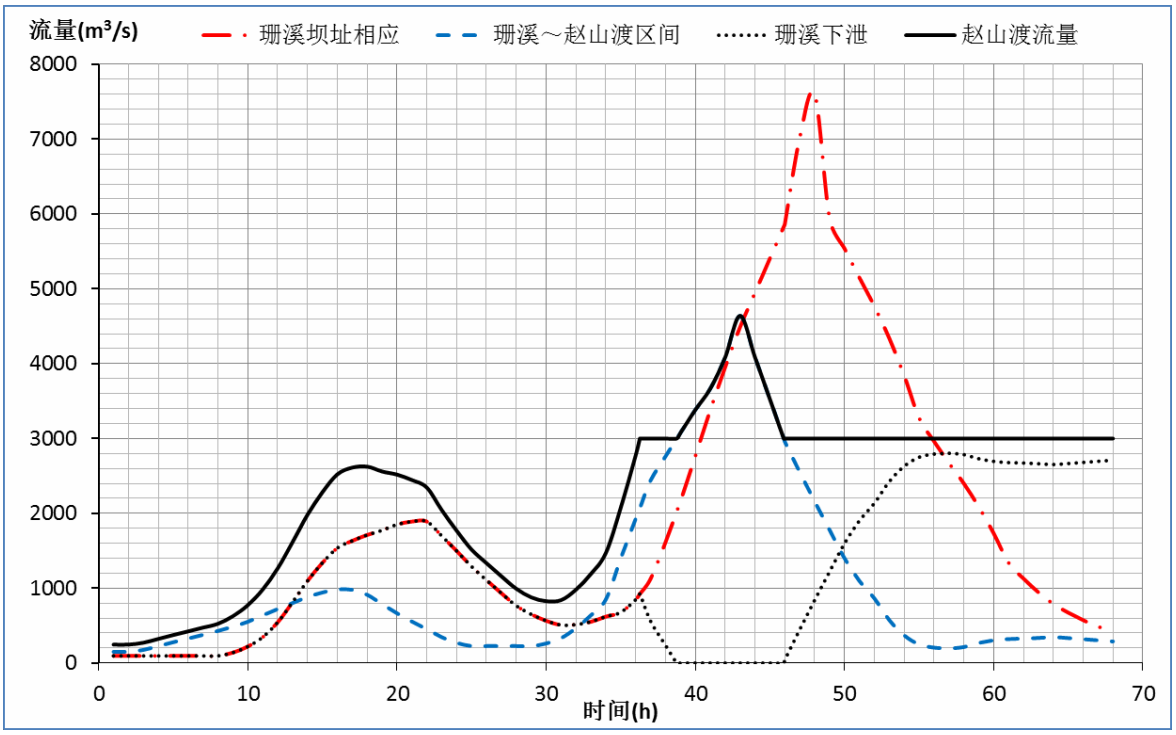


图 4.8-1　珊溪水库调洪成果（P=5%，现状调洪原则）

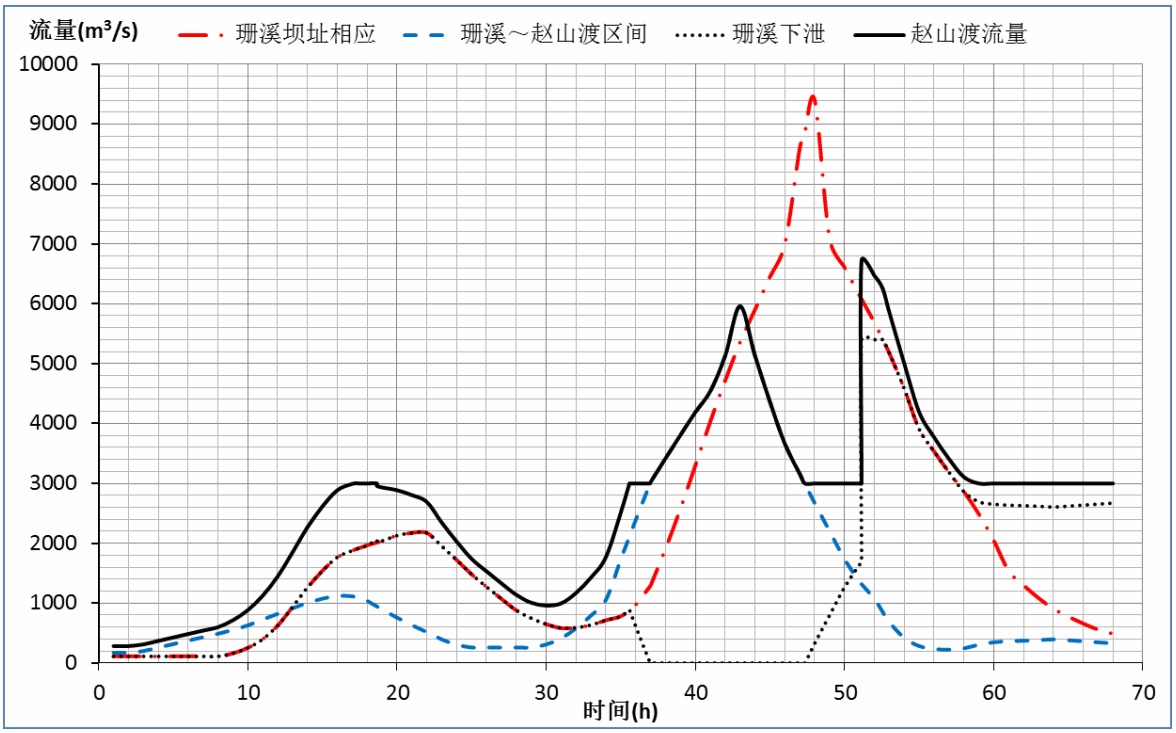


图 4.8-2　珊溪水库调洪成果（P=2%，现状调洪原则）

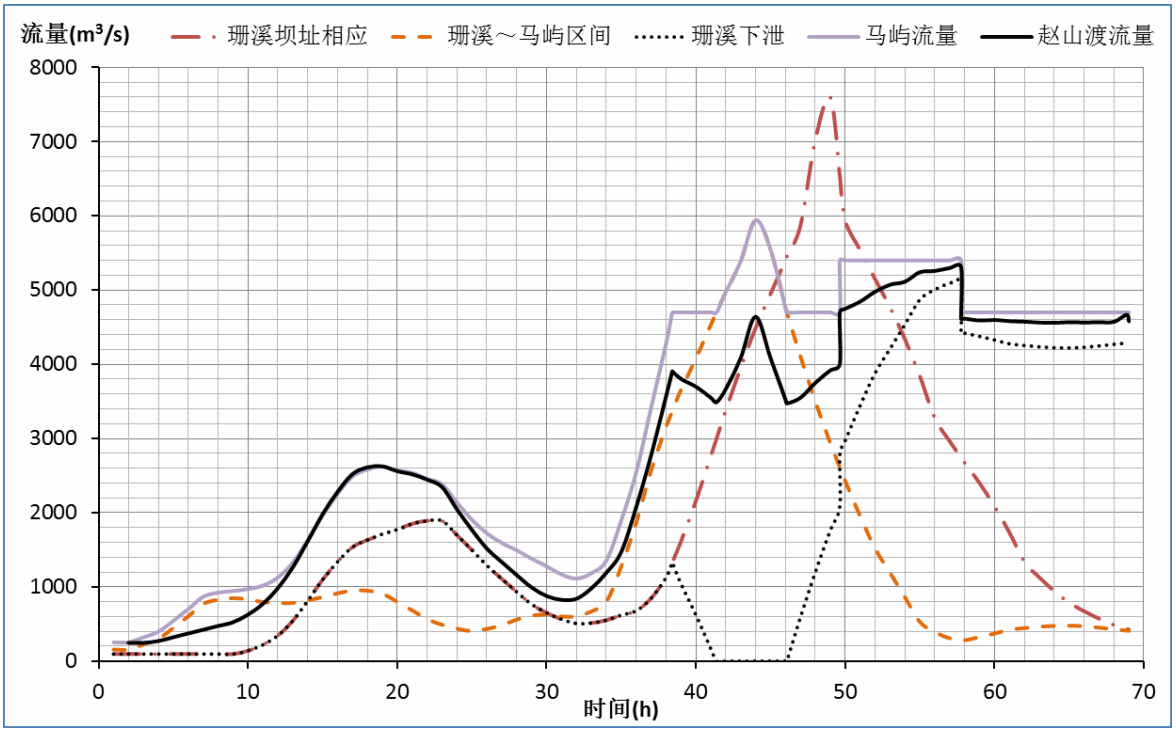


图 4.8-3　珊溪水库调洪成果（P=5%，规划调洪原则）

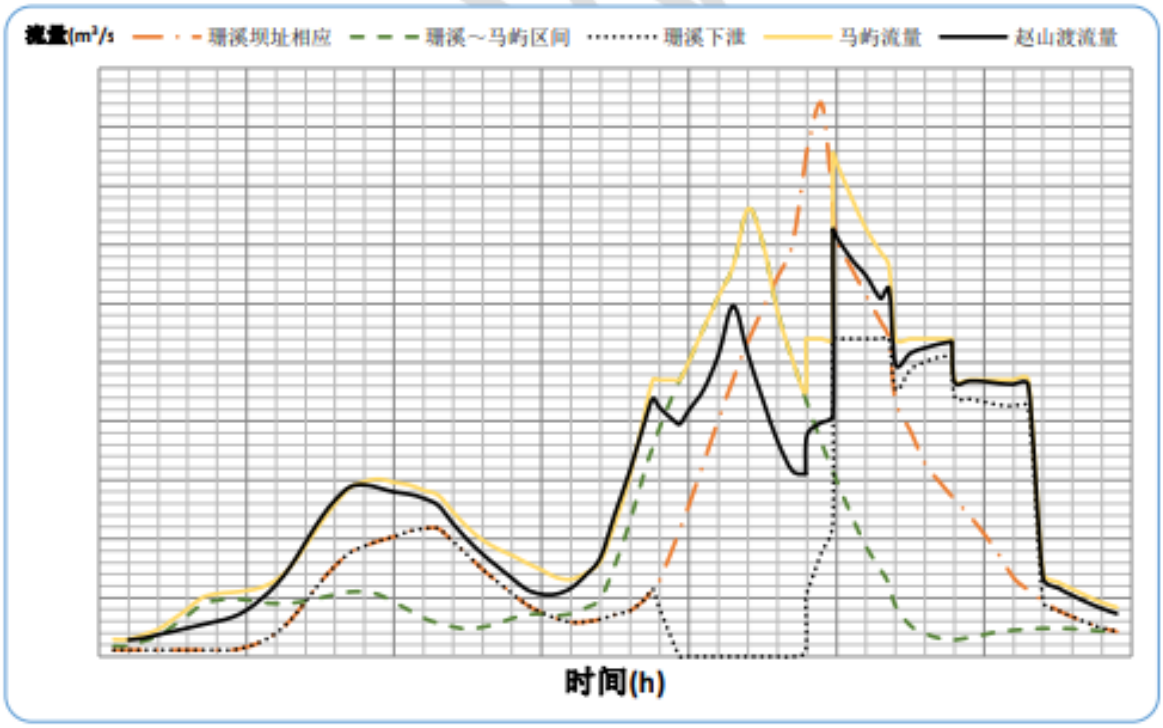


图 4.8-4　珊溪水库调洪成果（P=2%，规划调洪原则）

(4)现状防洪水位

根据华东院 2010 年编制的《浙江省飞云江干流（珊溪水利枢纽）洪水调度方案》采用的珊溪水利枢纽调洪原则（不同于珊溪水库初步设计时确定的水库调洪原则），分别进行了流域现状工况下遭遇 10 年、20 年、50 年一遇洪水的洪水演进计算。计算成果详见表 4.8-2。

表 4.8-2　　飞云江干流现状洪水位计算成果表　　水位：m

位置	距赵山渡坝址距离（km）	10年一遇		20年一遇		50年一遇		地面高程	
		10年洪水平均偏不利潮位	，5年洪水，10年潮位	20年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，20年潮位	50年洪水平均偏不利潮位	5年洪水，50年潮位	左岸	右岸
赵山渡坝下	0	14.2	13.52	14.98	13.52	16.23	13.52	山体	山体
龙湖	2.50	12.69	11.94	13.65	11.94	15.06	11.95	12.2	13.5
上马前村	6.34	12.33	11.57	13.29	11.58	14.73	11.59	9.4	11.0
滩脚	7.74	12.19	11.43	13.14	11.44	14.56	11.44	山体	10.4
平阳坑	11.87	9.38	8.82	10.04	8.84	11.03	8.85	8.8	9.3
焦坑村	21.65	6.67	6.29	7.07	6.32	7.87	6.36	山脚	6.5
马屿镇	24.27	6.17	5.82	6.53	5.92	7.29	6.03	6.2	7.2
树排头村	28.31	5.34	5.35	5.72	5.49	6.35	5.66	3.6	5.2
金潮港汇合口	35.15	4.85	5.03	5.11	5.21	5.6	5.42	4.11	3.7
仙降街道	40.47	4.43	4.75	4.52	4.98	4.73	5.26	3.5	4.21
桐田垟	44.44	4.33	4.69	4.42	4.93	4.58	5.21	4.14	3.6

位置	距赵山渡坝址距离（km）	10年一遇		20年一遇		50年一遇		地面高程	
		10年洪水平均偏不利潮位	，5年洪水，10年潮位	20年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，20年潮位	50年洪水平均偏不利潮位	5年洪水，50年潮位	左岸	右岸
潘岱	47.64	4.24	4.65	4.32	4.89	4.46	5.15	4.46	4.2
白莲村	50.17	4.19	4.62	4.28	4.85	4.43	5.11	4.1	4.4
铁路桥	53.58	4.17	4.59	4.25	4.82	4.39	5.09	3.8	4.6
甬台温公路桥	56.40	4.15	4.54	4.15	4.79	4.12	5.13		
飞云江大桥	59.40	4.07	4.54	4.09	4.79	4.06	5.11		
瑞安大桥	65.22	3.98	4.54	4	4.86	3.99	5.17		
上望	67.96	3.94	4.5	3.95	4.81	3.95	5.1		

华东院 2010 年编制的《浙江省飞云江干流（珊溪水利枢纽）洪水调度方案》采用的调洪原则为下游堤防未建时的临时调度措施，待飞云江下游堤防建成后，珊溪水利枢纽调洪原则将按珊溪水利枢纽工程的初步设计报告推荐调度原则执行。

本阶段设计以珊溪水利枢纽工程初步设计推荐的洪水调度原则进行水库调洪演算，与区间叠加作为本工程建设前后的边界入流，现状洪水位成果见表 4.8-3。

表 4.8-3　　现状洪水位表（珊溪初设推荐防洪调度原则）　　水位：m

位置	距赵山渡坝址距离（km）	10年一遇		20年一遇		50年一遇		地面高程	
		10年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，10年潮位	20年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，20年潮位	50年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，50年潮位	左岸	右岸
赵山渡坝下	0	14.85	14.81	15.42	14.81	16.71	14.81	山体	山体
龙湖	2.50	13.23	13.18	13.97	13.19	15.34	13.19	12.2	13.5
上马前村	6.34	12.84	12.76	13.57	12.77	14.95	12.77	9.4	11.0
滩脚	7.74	12.69	12.61	13.4	12.61	14.78	12.62	山体	10.4
平阳坑	11.87	9.78	9.6	10.21	9.61	11.1	9.62	8.8	9.3
焦坑村	21.65	6.97	6.85	7.29	6.91	7.95	6.98	山脚	6.5
马屿镇	24.27	6.43	6.4	6.71	6.47	7.36	6.56	6.2	7.2
树排头村	28.31	5.57	5.73	5.82	5.85	6.4	5.98	3.6	5.2
金潮港汇合口	35.15	5.02	5.27	5.17	5.43	5.65	5.62	4.11	3.7
仙降街道	40.47	4.48	4.84	4.54	5.07	4.75	5.36	3.5	4.21
桐田垟	44.44	4.37	4.78	4.43	5.01	4.6	5.31	4.14	3.6
潘岱	47.64	4.28	4.73	4.34	4.98	4.48	5.25	4.46	4.2
白莲村	50.17	4.23	4.72	4.3	4.95	4.44	5.22	4.1	4.4
铁路桥	53.58	4.2	4.69	4.26	4.91	4.4	5.19	3.8	4.6

位置	距赵山渡坝址距离（km）	10年一遇		20年一遇		50年一遇		地面高程	
		10年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，10年潮位	20年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，20年潮位	50年洪水，平均偏不利潮位	5年洪水，50年潮位	左岸	右岸
甬台温公路桥	56.40	4.15	4.56	4.15	4.85	4.11	5.18		
飞云江大桥	59.40	4.09	4.55	4.09	4.83	4.06	5.15		
瑞安大桥	65.22	3.99	4.55	4.01	4.86	3.99	5.19		
上望	67.96	3.95	4.51	3.95	4.82	3.95	5.1		

4.8.2.2 水利计算方法

本次设计水利计算模型采用一维非恒定流模型。其基本方程圣维南偏微分方程组为：

$$B\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial s}=q$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial s}(z+\frac{v^2}{2g})+\frac{Q|Q|}{F^2K^2}=0$$

式中 Z、Q、F、V 和 K 分别表示某一时刻 t 及在某空间位置 S 断面的水位、流量、相应过水断面积、断面平均流速和流量模数；q 为单位河长旁侧入流量。

模型考虑了堰、闸、阻水桥梁，以及区间水量交换等，能适用于本段河道洪流演进的定量分析计算，得出河道各特征断面水位和流量的过程。

（1）计算模型

（1）河网概化

本阶段以珊溪水库的规划调度原则作为设计依据，即珊溪水利枢纽工程初步设计推荐的洪水调度原则进行水库调洪演算，与区间叠加作为本工程建设前后的边界入流，珊溪水库和赵山渡联合调度成果见表 4.8-1。模型上边界为赵山渡下泄流量过程，珊溪水库相应洪水调洪后与珊溪～赵山渡区间设计洪水相叠加，作为赵山渡的下泄过程。下边界为上关山潮位过程，计算河长 77km，共计 160 个断面，其中现状河口上望以上断面采用浙江院 2010～2011 年的实测断面，上望～上关山采用规划断面。模型考虑了 8 个集中入流，自上往下分别为高楼溪、高楼溪～平阳坑区间、平阳坑-天井垟区间、顺泰溪、梅屿（顺泰-金潮港区间）、曹村港、金潮港、金潮港～潘岱区间（桐浦溪）。模型设置了 12 个跨河建筑物，主要包括桥梁、堰坝、渡槽等。各河道计算断面和排涝区相对位置见图 4.8-5。

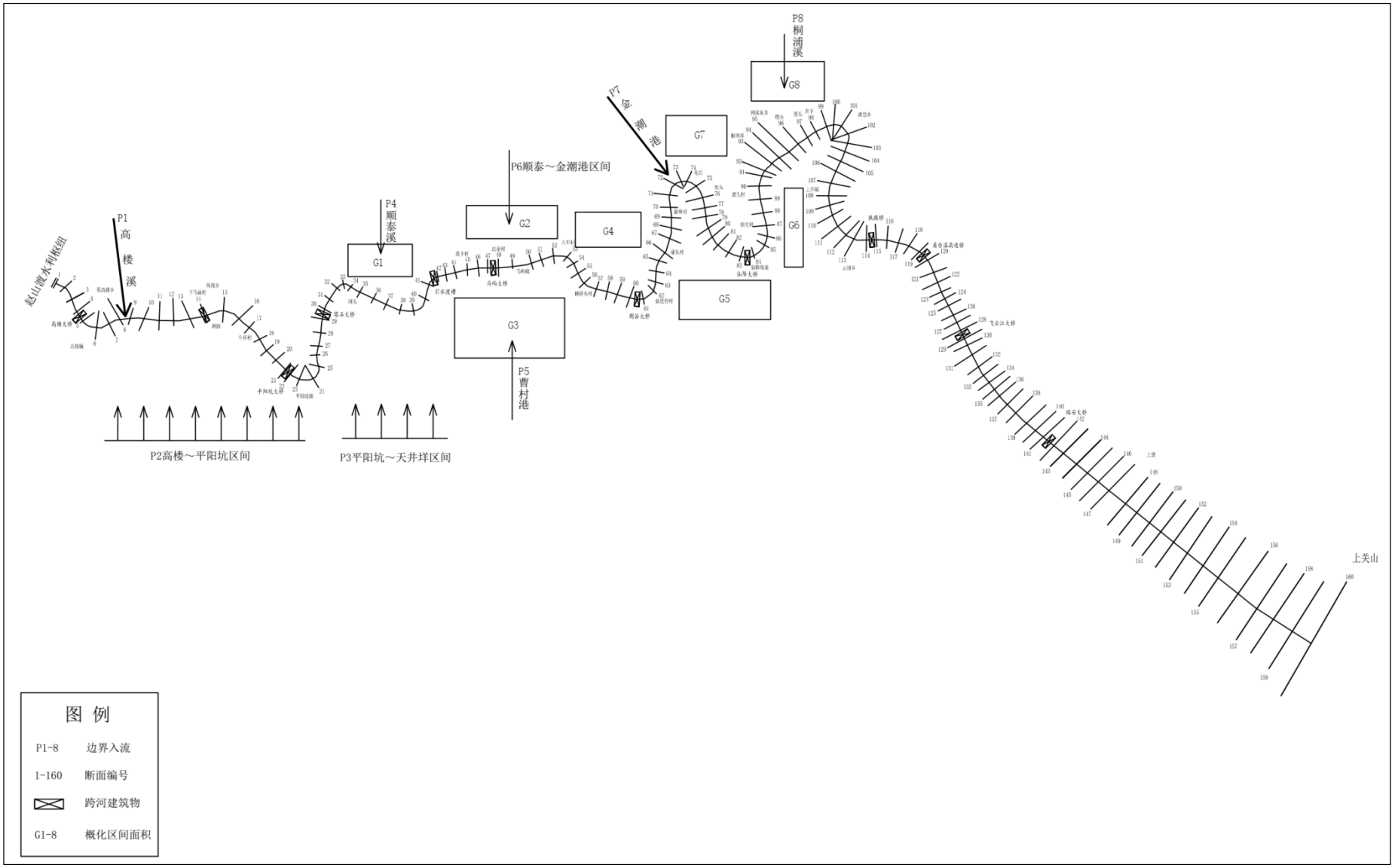


图 4.8-5　　计算河道断面和排涝区相对位置示意图

（2）设计洪潮组合

本次整治的河段防洪标准为20年一遇，分别计算两种工况：飞云江干流20年一遇设计洪水遭遇上关山平均偏不利潮位（1989年潮型，2年一遇左右），以及飞云江5年一遇设计洪水遭遇上关山20年一遇潮位，选取两种工况的外包水位作为20年一遇设计水位。

50年一遇防洪标准，分别计算两种工况：飞云江干流50年一遇设计洪水遭遇上关山平均偏不利潮位（1989年潮型，2年一遇左右），以及飞云江5年一遇设计洪水遭遇上关山50年一遇潮位，选取两种工况的外包水位作为50年一遇设计水位。

10年一遇防洪标准，分别计算两种工况：飞云江干流10年一遇设计洪水遭遇上关山平均偏不利潮位（1989年潮型，2年一遇左右），以及飞云江5年一遇设计洪水遭遇上关山10年一遇潮位，选取两种工况的外包水位作为10年一遇设计水位。

（3）糙率

平阳坑上游河道地形复杂，流态紊乱，滩地上植被茂盛，现状糙率取0.04～0.045，与《浙江省飞云江流域防洪规划报告》采用的糙率基本接近；平阳坑以下为感潮河段，糙率取0.03～0.022。

（2）模型验证计算

为检验所建水利计算模型和率定参数的合理性和适用性，选用洪涝发生时间较近，降雨情况较为典型，洪水位调查成果较为翔实，实测资料较完整的2009年8月6日至8月13日的“090806”号台风（莫拉克）进行验证计算。经洪痕调查，并征询当地居民，各代表点调查最高洪水位与计算最高洪水位成果见下表。

表4.8-4　　水验证计算成果表　　单位：m

地点	“莫拉克”洪水（单位：m）			
	调查最高洪水位	计算最高洪水位	差值	调查水位说明
赵山渡坝下	13.96	13.96	0	珊溪水库管理局提供，精确
上马前村	12.34	12.27	-0.07	瑞安防办洪水淹没调查成果，较精确
吴界山村	12.11	12.12	0.01	瑞安防办洪水淹没调查成果，较精确
河边路村	9.76	9.63	-0.13	当地老人提供的淹没位置，精度一般
顺泰建新村	7.12	7.07	-0.05	当地多位年轻人提供，较精确
潘岱	4.17	4.29	0.12	小店老板提供的门前淹没水深，较精确

从上可以看出，“莫拉克”洪水计算水位与调查水位相差幅度在0.10m左右，计算值

与实测值吻合较好，综合反映了本次建立的水利计算模型及率定的参数是合理的，可用于规划方案的计算分析。

4.8.2.3 河道设计工况

本次水利计算干流采用如下设计工况：

（1）兴建堤防工程

赵山渡以下至宝香修建堤防，防洪标准 20～50 年一遇，宝香以下按照现状堤防规模。

（2）兴建围垦工程

目前瓯飞滩围垦工程已编制了可行性研究报告，飞鳌滩也根据珊溪水利枢纽初步设计阶段的调洪原则对珊溪水库进行调洪，并将其出库过程与珊溪～赵山渡区间洪水进行错峰叠加，作为模型上边界设计洪水过程。

（3）洪水和潮水组合情况

每个频率计算两个工况：相应频率洪水遭遇平均偏不利的潮水过程、5 年一遇洪水遭遇相应频率潮水过程，取两个工况沿程外包水位作为推荐水位。

4.8.2.4 设计洪水位

本次飞云江治理工程二期建设范围与飞云江一期工程、下游瑞安段海塘存在衔接问题，考虑飞云江一期工程有 20 年一遇、50 年一遇工况，下游海塘安澜工程为 50 年一遇及以上设计工况，本次工程 20 年一遇设计工况水位与飞云江一期工程 20 年一遇段为隔江相望关系，两岸 20 年一遇的水位基本一致；与飞云江一期 50 年一遇工程段为隔江相望关系，无衔接问题；与下游已经建设 50 年一遇及以上海塘段标高存在差距，拟通过工程措施进行堤防衔接。飞云江干流沿程洪水位成果见表 4.8-5。

表 4.8-5　　飞云江干流沿程洪水位成果

堤段	起点	终点	岸别	本次治理长度（km）	规划标准（年）	设计洪水位(m)
平阳坑段0~2540	徐山村	外垟村	右	2.54	20	11.38~10.16
马屿镇梅屿段0~2280	柴下村	金梅水闸	左	2.28	20	7.68~6.61
陶山镇荆谷段0~5120	八甲村	金潮港汇合口	左	5.12	20	6.61～5.99
陶山镇碧山段0~6580	龟岩	桐田村	左	6.58	20	5.81～5.52
桐浦镇塔山至澄头0~2550	洲渎村	澄头村	左	2.55	20	5.52～5.41
白莲堤0~2700	白莲村	白象村	左	2.70	20	5.34～5.30
合计				21.77		

建堤防工程后，龙湖至滩脚段设计水位较现状高，主要因为原本两岸平原为洪水淹没区，经堤防建设保护后，可淹没区域减少，仅河道过流，故设计水位有一定程度雍高。从下表可以看出，本次堤防建设段水位较之现状洪水位有所抬升，流速在 1.2～3.22m/s 之间，断面平均流速较大，建议堤防注意防冲设计。

表 4.8-6　　飞云江干流设计成果表

位置	距赵山渡坝址距离（km）	10 年一遇			20 年一遇（m）			50 年一遇			所在堤防标段（m）	断面平均流速（m^3/s）
		10 年洪水碰平均偏不利潮位	5 年洪水碰 10 年潮位	外包水位	20 年洪水碰平均偏不利潮位	5 年洪水碰 20 年潮位	外包水位	50 年洪水碰平均偏不利潮位	5 年洪水碰 50 年潮 位	外包水位		
赵山渡坝下	0	14.93	14.84	14.93	15.58	14.84	15.58	16.8	14.84	16.8	/	1.58
龙湖镇	2.5	13.08	12.87	13.08	13.81	12.88	13.81	15.08	12.89	15.08	/	2.63
上马前村	6.34	12.56	12.33	12.56	13.33	12.33	13.33	14.53	12.35	14.53	/	1.5
滩脚	7.74	12.35	12.11	12.35	13.04	12.12	13.04	14.29	12.13	14.29	/	1.31
平阳坑	11.87	10.15	9.9	10.15	10.58	9.91	10.58	11.65	9.95	11.65	平阳坑段 1+630	2.32
焦坑村	21.65	7.36	7.35	7.36	7.77	7.45	7.77	8.64	7.59	8.64	现有道路作为堤防，无桩号	2.34
马屿镇	24.27	6.84	6.96	6.96	7.16	7.09	7.16	8.1	7.26	8.1	马屿镇梅屿段 0+565	3.22
树排头村	28.31	5.91	6.29	6.29	6.18	6.47	6.47	7.02	6.7	7.02	陶山镇荆谷段 1+450	2.43
金潮港汇合口	35.15	5.31	5.77	5.77	5.44	5.98	5.98	6.02	6.26	6.26	/	1.33
仙降镇	40.47	4.75	5.3	5.3	4.86	5.57	5.57	5.26	5.9	5.9	陶山镇碧山段 3+855	2.93
桐田垟	44.44	4.56	5.15	5.15	4.66	5.44	5.44	5.01	5.79	5.79	桐田先行实施段 0+1600（已实施）	1.26

位置	距赵山渡坝址距离（km）	10 年一遇			20 年一遇（m）			50 年一遇			所在堤防标段（m）	断面平均流速（m^3/s）
		10 年洪水碰平均偏不利潮位	5 年洪水碰 10 年潮位	外包水位	20 年洪水碰平均偏不利潮位	5 年洪水碰 20 年潮位	外包水位	50 年洪水碰平均偏不利潮位	5 年洪水碰 50 年潮 位	外包水位		
潘岱	47.64	4.45	5.07	5.07	4.54	5.36	5.36	4.86	5.72	5.72	/	1.18
白莲村	50.17	4.42	5.04	5.04	4.51	5.34	5.34	4.83	5.69	5.69	白莲段 0+300	1.21
铁路桥	53.58	4.39	5.01	5.01	4.48	5.3	5.3	4.79	5.65	5.65	/	0.95
甬台温公路桥	56.4	4.15	4.71	4.71	4.16	5.04	5.04	4.21	5.41	5.41	/	1.35
飞云江大桥	59.4	4.09	4.66	4.66	4.08	4.98	4.98	4.13	5.38	5.38	/	1.2
瑞安大桥	65.22	3.96	4.57	4.57	3.94	4.93	4.93	3.93	5.3	5.3	/	1.48
上望	67.96	3.93	4.52	4.52	3.91	4.84	4.84	3.91	5.23	5.23	/	2.08

4.9 堤防工程规模

4.9.1 现状防洪能力复核

从上表分析，飞云江干流赵山渡坝下至铁路桥河段防洪能力均较低，除马屿镇区等个别人口聚集区地面较高以外，其余大部分河段两岸地面高程均较低，其中原高楼乡、滩脚、平阳坑、天井垟、原顺泰乡、原梅屿镇、原荆谷乡、仙降、碧山平原、潘岱、白莲村的河段防洪能力均低于 10 年一遇；原龙湖镇防洪标准基本达到 10 年一遇，但未达到 20 年一遇规划防洪标准。本次瑞安市飞云江治理二期工程涉及堤段现状防洪能力分述如下：

（1）平阳坑段

平阳坑镇区段房屋沿河而建，现状无堤防，防洪标准 5-20 年一遇。

（2）马屿镇梅屿片

梅屿片沿江现状地面高程 8.3～5.2m，现状 10 年一遇洪水位 6.4～6.43m，大部分堤段防洪能力为 10 年一遇。柴下村以上河段防洪能力相对较高，超过 20 年一遇，该段主要作防冲处理；柴下村～霞岙村沿江房屋密集，地面高程基本达到 10 年一遇防洪标准；霞岙村以下地面高程较低，不足 10 年一遇防洪标准。该河段现状无堤防，需新建护岸和防洪堤。

（3）陶山镇荆谷片该片

除八甲村地面高程超过 6.0m 以外，其余河段地面高程均低于 5.0m，普遍在 3.2～4.5m，该河段现状 10 年一遇洪水位为 5.65～5.04m，因此该河段防洪能力现状地面高程不足 10 年一遇。现状八甲村～仙篁竹村河对岸建有防洪堤，堤顶高程 6.2～8.8m，基本在现状 20 年一遇洪水位（5.22～5.99m）以上。该堤防为当地农民自发建设的土堤，堤身单薄，抗冲能力差，堤线不顺畅，个别堤段堤线与规划不符。因此本次对该堤防部分堤段进行退堤，最大退堤宽度约 140m，其余堤段作加固处理；现状无堤防的河段需新建防洪堤。

（4）陶山镇碧山片

该片沿江地面高程 4.4～4.0m，低于该河段 10 年一遇现状洪水位 4.95～4.67m，防洪标准不足 10 年一遇。该片现状无堤防，需全线新建防洪堤工程。

（5）桐浦镇塔山至澄头片

该片沿江地面高程 4.0～3.6m，低于该河段 10 年一遇现状洪水位 4.95～4.67m，防洪标准不足 10 年一遇。该片现状无堤防，需全线新建防洪堤工程。

（6）白莲段

该片沿江地面高程 4.2～3.3m，低于该河段 10 年一遇现状洪水位 4.63～4.60m，防洪标准不足 10 年一遇。该片现状无堤防，需全线新建防洪堤工程。

表 4.9-1　　瑞安市飞云江治理二期工程堤防达标情况表

堤段	主要保护对象	起点	终点	岸别	现有防洪能力（年）	规划防洪标准（年）	规划堤长（km）	已达标长度（km）	本工程治理长度（km）
平阳坑段	平阳坑镇	徐山村左侧山脚	外垟村	右	5～20	20	2.51	0	2.54
马屿镇梅屿段	原梅屿镇	顺丰塑料助剂有限公司	八甲村	左	10～20	20	4.86	0	2.28
陶山镇荆谷段	陶山镇荆谷	八甲村	金潮港汇合口	左	<10	20	10.8	0	5.12
陶山镇碧山段	陶山镇碧山	龟岩	渡头	左	<10	20	6.61	0	6.58
桐浦镇塔山至澄头段	桐浦镇塔山、澄头	洲渎村	澄头村	左	<10	20	2.6	0	2.55
白莲段	白莲村、白象村	白莲村	白象村	左	<10	20	2.29	0	2.70
合计	/	/	/	/	/	/	29.67	0	21.77

注：本次二期新建堤防不含现状道路结合段。

4.9.2　堤线论证

4.9.2.1　堤线拟定原则

（1）堤线布置以《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015－2030 年）》、《浙江省飞云江流域水利规划报告》、《浙江省飞云江流域防洪规划报告》和《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址～铁路桥段堤线调整专题研究报告》为依据，在现有规划堤线基础上，能宽则宽。

（2）规划堤线的选择应符合安全、经济、综合、生态效益大的原则。

（3）规划堤线应充分考虑与河势、流向相适应，与大洪水主流线大致平行，宜平顺少曲折。堤距必要时应退堤及清障，保证河道有足够的行洪断面，以利洪水渲泄。

（4）防洪堤身的规划位置应相对比较稳定，不迎流顶冲，并保留适当宽度的堤外岸带或滩地，堤脚尽量不逼近江岸。

（5）堤线应避免堤距突然放宽或缩窄，在河道两岸有较宽滩地处，应尽可能将堤距加大，以充分利用滩地的蓄滞洪作用。

（6）根据各保护区的河流特性和保护对象，采取分级设防。

（7）堤线应符合各地实际，考虑路堤结合，以利堤防管理养护及运送防汛抢险物

资等。

（8）兼顾上下游、左右岸，均衡各地各部门利益和要求。

（9）本次堤线较之飞云江综合规划堤线有所后退，主要考虑土地节约集约利用，部分堤线位于高速公路、等级公路管理范围内，这些公路高程较高，基本满足防洪要求，仅仅需要建设闸门闭合保护圈，若进行堤线建设有重复建设的问题，故本次部分堤线与公路并行段，堤线与已有公路合并。

4.9.2.2 最小控制堤距

飞云江干流规划堤距 400m 为《水利规划》所提出，该规划以及后来的《防洪规划》均未对 400m 堤距作详细论证。根据《防洪规划》的配套堤线图集，规划堤线基本能满足 400m 堤距要求，但个别河段考虑到拆迁量大，实施困难，规划堤距最小不足 400m，如马屿镇断面规划堤距约 280m。为兼顾江道行洪的需要以及经济社会发展对防洪保护的需求，浙江省院编制完成了《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址～铁路桥段堤线调整专题研究报告》（以下简称《堤线调整专题研究报告》），经过技术分析，结合堤线建设的可操作性，确定了飞云江干流赵山渡~铁路桥段两岸堤轴线，并明确了控制点坐标，该报告目前已通过审批，飞云江治理一期工程采取该报告成果，并要求飞云江治理二期工程堤线布置也遵循该报告成果，以保证飞云江合理的过流断面。

本次仍以《堤线调整专题研究报告》中确定的控制堤距作为飞云江二期治理工程最小控制堤距，并与一期工程相协调，见下表。

表 4.9-4　　瑞安市飞云江治理二期工程最小堤距统计表

堤防名称		堤防桩号（m）	控制最小堤距（m）	备注
平阳坑段防洪堤		平阳坑0+1210	410	堤防所在河段已经建设高速公路，结合高速公路和匝道进行布置调整
马屿镇梅屿段防洪堤		梅屿段0+565	280	对岸天井垟防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
陶山镇荆谷段防洪堤	飞云江干流	荆谷段0+1700	400	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
陶山镇碧山段防洪堤	碧山镇段	碧山段0+500	440	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
桐浦镇塔山至澄头段	洲渎段、塔山段和浦澄段	桐浦镇塔山至澄头段0+2546	675	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施
白莲堤		白莲段0+2700	830	对岸为仙降段防洪堤已经列入飞云江治理一期工程，已实施

4.9.2.3 各河段堤线分析

4.9.2.3.1 平阳坑段堤线

平阳坑段堤防位于飞云江右岸，规划堤线自起点 S56 省道与徐山村山脚交接处，堤线沿东南向沿现状岸线布置，出平阳坑镇区后折向东北方向，终点与 S56 省道相连，总长度为 2.54km。规划堤线基本沿现状岸线布置。平阳坑段堤线布置本次共分三段进行分析设计：

（1）沙垟水闸上游堤线基本按规划堤线布置；

（2）平阳坑水闸下游堤线考虑在规划堤线的基础上后退至 56 省道外侧（最大后退幅度约 100m），紧贴 56 省道布置，因 56 省道路面高程略低于 20 年一遇设计洪水位，道路外侧农田田面高程均在 8m 以上，该方案可尽量利用 56 省道作为防汛道路，具有征地面积小、工程部分投资省和工程实施简单等特点，本方案与规划堤线相比，优势较为明显，可研阶段在规划堤线基础上后退调整；

（3）沙垟与平阳坑水闸之间的平阳坑镇区段堤线布置拟定以下两种方案进行比选。

方案一（规划堤线布置方案）：根据《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址～铁路桥段堤线调整专题研究报告》（2013 年）中规划堤线布置，该段堤线从沙垟水闸开始，向下游朝东偏南向沿现状岸线布置，从镇区北侧过平阳坑镇区，出平阳坑镇区后折向东北方向，终点与平阳坑水闸相连。该方案堤线基本沿现状岸线布置。堤防断面结构采用砼轻型框架结构。

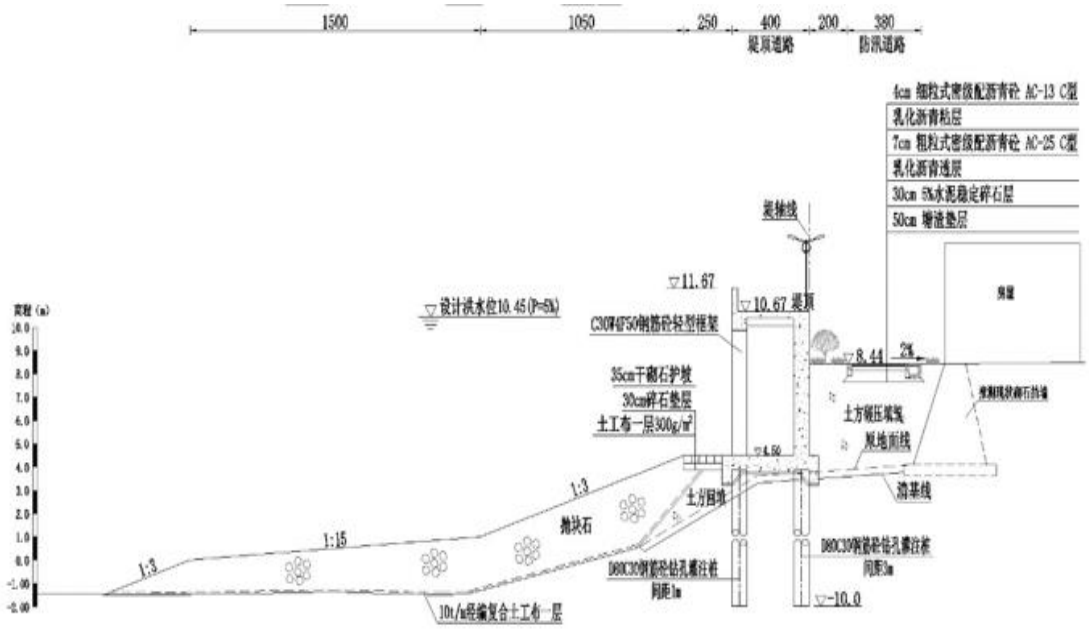


图 4.9-1　规划堤线方案堤防典型断面图

方案二（可研新增方案）：堤线布置考虑利用龙丽温高速实体路基作为堤防，实现防洪封闭，该段现状变化较大，沿江新建了平阳坑收费站，为龙丽温高速平阳坑出入口。平阳坑收费站临水面采用直立式挡墙及斜坡式框格梁挡墙，现状高程满足防洪要求，可利用该段作为堤防。终点与平阳坑水闸相连。

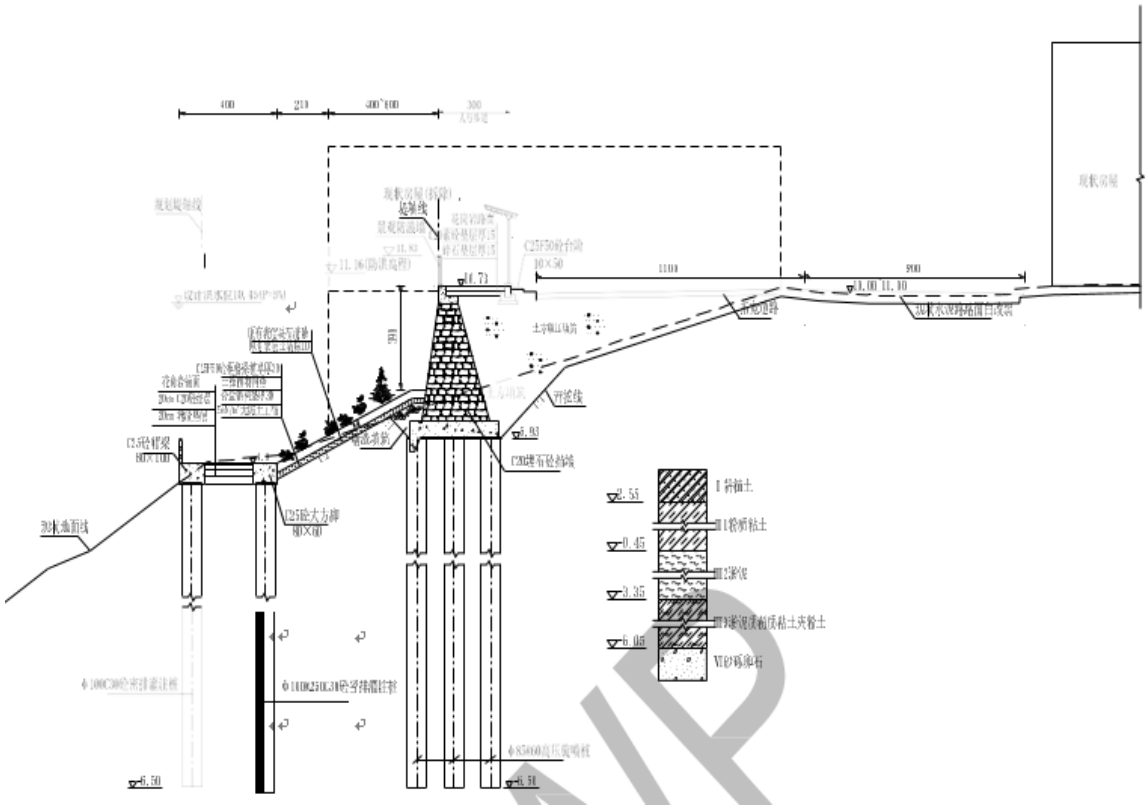


图 4.9-2　　可研推荐方案堤防典型断面图

沙垟水闸至平阳坑收费站之间的镇区范围段现状省道长约 980m，其中约 270m 路面高程低于 20 年一遇设计洪水位外（最大高差 1m），其他均高于设计洪水位。该方案尽量利用现状公路，防洪高程不够部分进行路面加高，减少工程部分投资和实施难度。为了有利于工程的实施，结合镇区的控制性规划，对镇区公路靠河道侧房屋进行拆迁。

该方案堤防断面结构为对不满足防洪高程段采用路面抬高的工程措施。

图 4.9-3　　平阳坑公园段现状图片

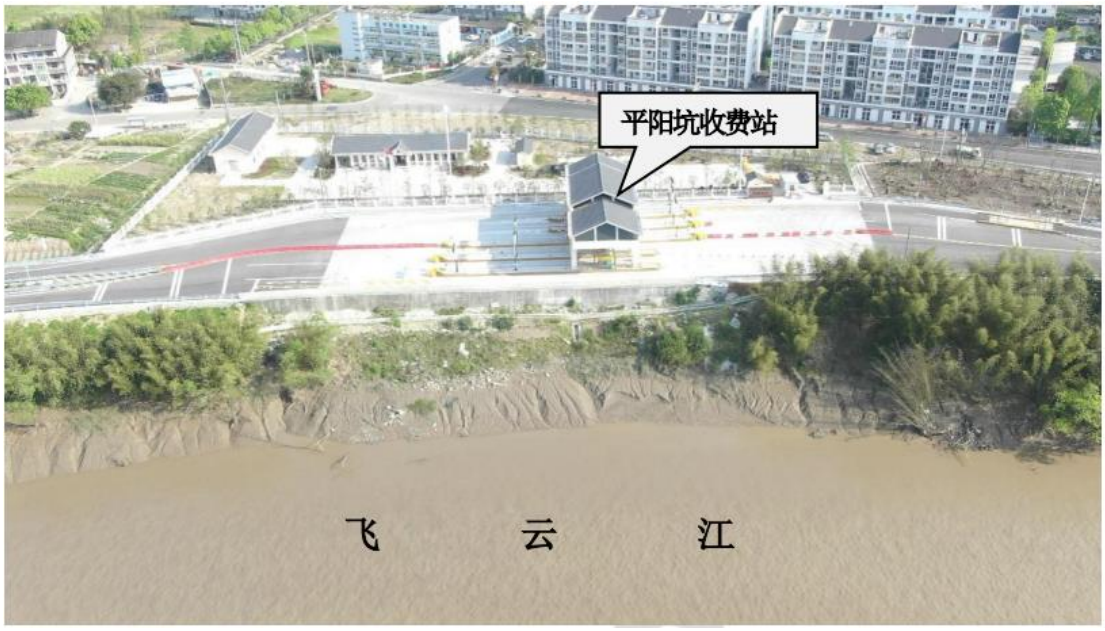


图 4.9-4　　平阳坑收费站现状

图 4.9-5　拟建平阳坑水闸区域现状图片

平阳坑镇区段两方案的综合比较见下表。

表 4.9-5　　平阳坑镇区段两堤线方案综合比较表

比选项目		方案一（规划堤线布置方案）	方案二（可研新增方案）
防洪堤长度/km		0.922	0.941
拆迁房屋/m²		/	/
拆迁人口/人		/	/
征地面积/亩		55	28
工程部分投资/万元		8877	581
征地拆迁投资/万元		379	3031
可比性投资/万元		9256	3612
优缺点比较	优点	1、不涉及房屋拆迁，且比方案二多86亩保护面积。	1、堤线布置可与平阳坑镇区的控制性规划有机结合，有利于镇区的规划布局。 2、工程部分投资和总投资省，工程实施简单。 3、不占用河道，有利于河道行洪的需要。
	缺点	1、不能与平阳坑镇区的控制性规划有机结合，不利于镇区的规划布局。 2、工程部分投资和总投资均较大工程施工难度大。 3、占用了部分行洪河道断面，不利于河道行洪的需要。	1、工程实施过程中需与交通部门进一步对接。 2、保护面积较方案一少86亩。
结论		比较方案	推荐方案

根据上表可知：

1）从保护对象分析。方案一较方案二保护面积大 86 亩，但其中近一半为高速公路管理用地，高速公路会解决其自身的防洪问题，其他均为农田，现状高程较高，在 8m 高程以上，受淹频率较少。

2）从河道行洪能力分析。方案二（可研新增方案）较方案一（规划堤线布置方案）行洪断面加大，更有利于河道行洪能力的提高，方案二明显优于方案一。

3）与镇区控制性规划的衔接分析。在建的龙丽温高速公路在平阳坑水闸附近有一高速出口，出口后穿镇区规划为 24m 宽的道路，在现有 56 省道基础上往河道侧拆迁后拼宽，方案二可与规划道路进行有机结合，方案二优于方案一。

4）从地方的需求分析。平阳坑镇区 56 省道靠河道侧沿线房屋基础简陋，地势高程相对较低，每年台汛期是地方政府防汛最为关注的区域，从地方政府和百姓的需求来看，实施方案二更利于地方百姓的利益。

5）从工程实施的难度分析。方案一轻型框架堤防结构位于房屋外的河道狭窄的滩地上，地势底，部分直接位于河道内，轻型框架结构高度达近 8m 以上，施工场地狭窄，施工设备进场条件差，施工难度大，且存在较大的施工安全隐患。而方案二直接在现有 56 省道基础上进行路面抬高，从工程实施的难度分析，方案二明显优于方案一。

6）从工程投资分析。方案一可以不拆迁，方案二需拆迁 17945m^2，政策处理投资方案一较方案二省，但方案一工程部分投资远远大于方案二，从工程总可比性投资比较来分析，方案二较方案一节省。

综合以上分析，方案二（可研新增方案）虽然较方案一（规划堤线布置方案）保护对象有所减少（减少均为农田），房屋拆迁量有所增加，但从飞云江的行洪影响、与镇区控制性规划的衔接、地方的需求、工程实施的难度、工程投资造价等方面综合分析，方案二优于方案一，故本阶段推荐方案二（可研新增方案）。

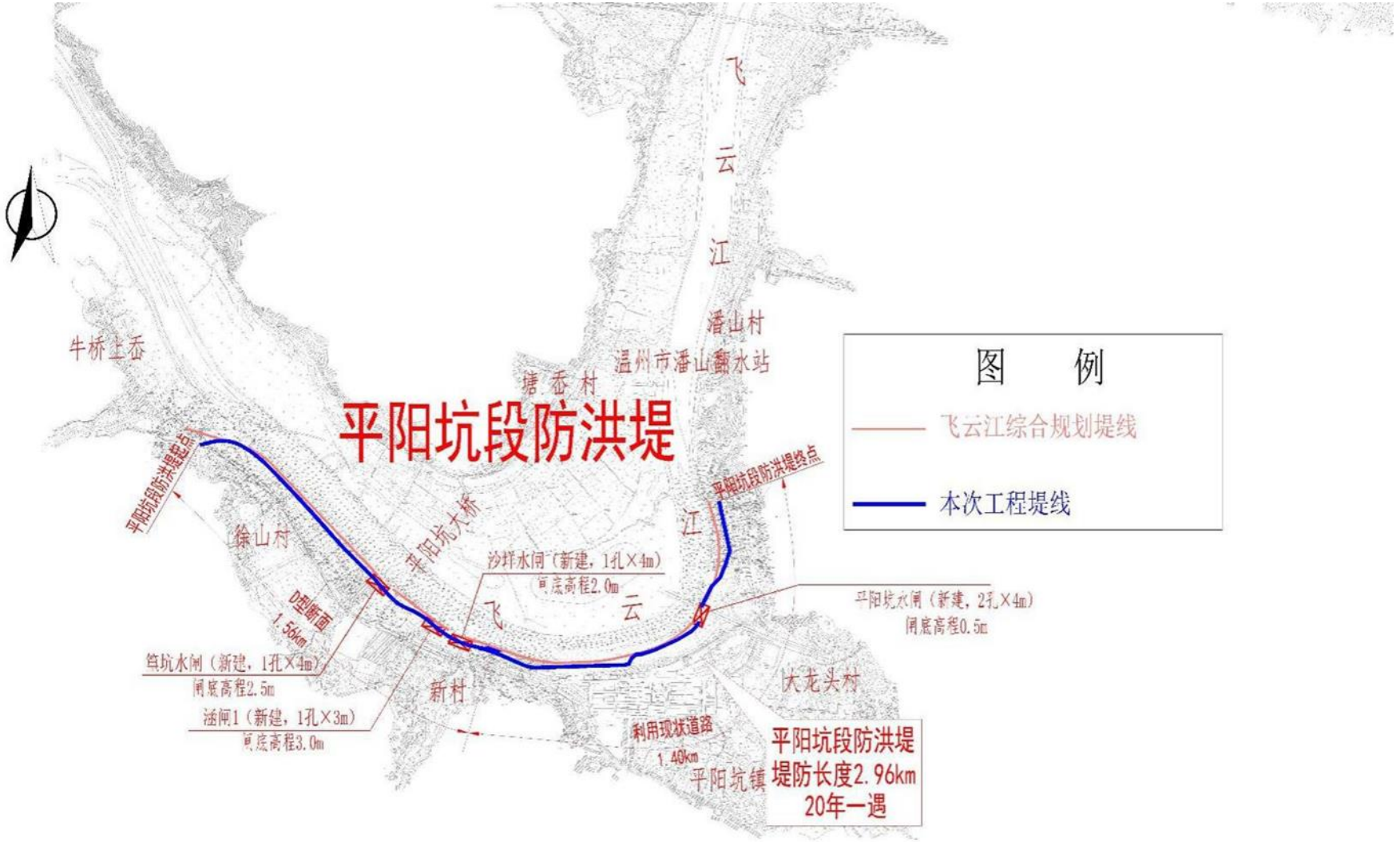


图 4.9-6　　平阳坑段堤防与规划布置对比图

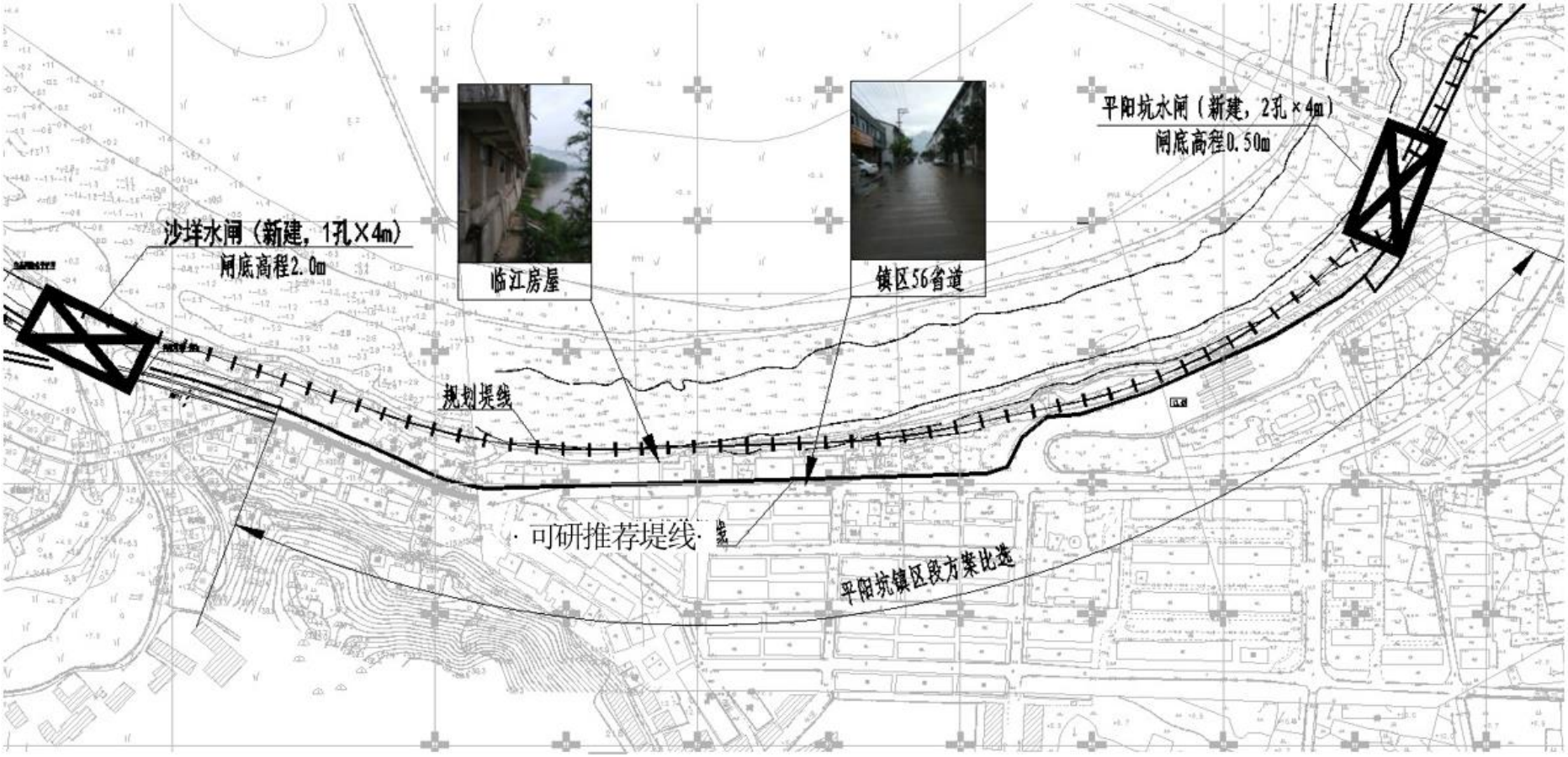


图 4.9-7　两方案堤线比选平面布置图

4.9.2.3.2 马屿镇梅屿段堤线

根据可研前期成果，该段工程分成两段，上半段由柴上村至江北村，利用现状道路，长度约 2km；下半段由江北村八甲村，新建防洪堤，工程长度 2.28km。经复核，上游段现状道路总长 2.64km，路基高程偏低，尤其是三处水闸的支流入汇处，形成天然豁口，仅通过修建水闸，难以形成封闭区。虑到波浪爬高等因素影响，未来背后的防洪保护区仍面临外江洪潮水倒灌的风险。建议上半段采取路基加高或防洪堤建设，并纳入三期治理工程中。马屿镇梅屿段现状地面及 20 年一遇设计水位相对关系，见图 4.9-8。

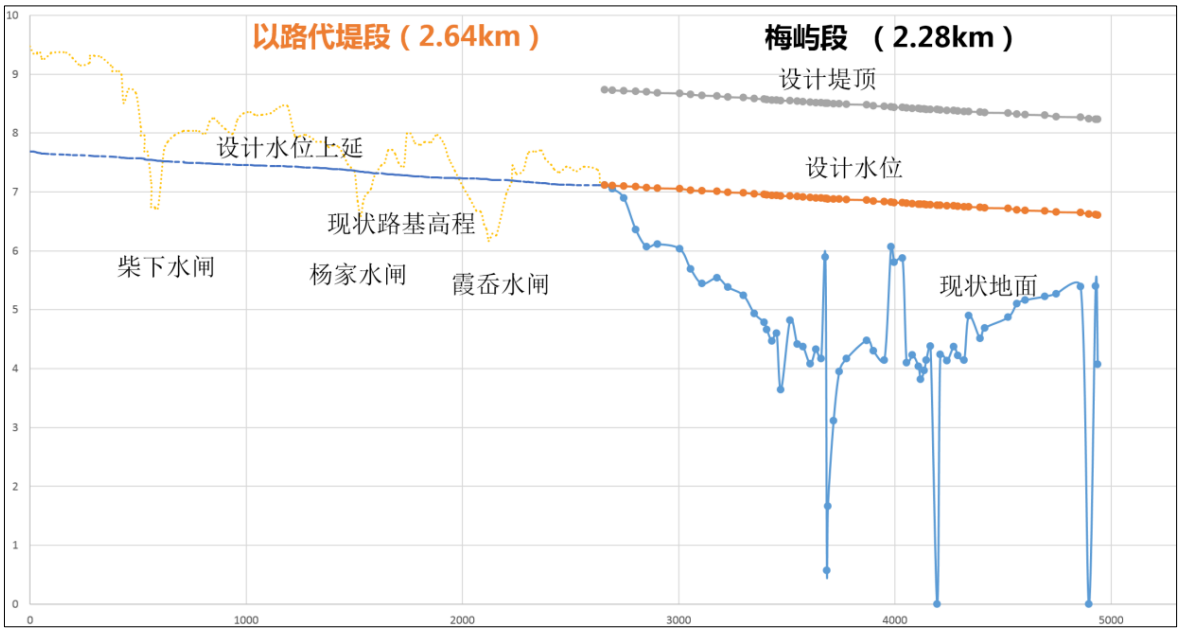


图 4.9-8 马屿镇梅屿段现状地面及设计水位相对关系示意图

本次堤线方案布置与《飞云江流域（温州段）综合规划》（该段堤线控制堤距也为 280m）相比较霞岙村段堤线向村庄侧退堤，退堤 10～90m，与飞云江治理工程一期已实施的马屿镇堤防（飞云江右岸）布置相协调，控制该段最小堤距略大于综合规划控制堤距 280m。

退堤后该段设计水位成果差距如表 4.9-6 所示。从表中可以看出，由于飞云江整体江道较宽，该段最小堤距有 280m，局部段后退，预留更多行洪空间，对干流洪水位影响较小，几乎无影响。由于该段利用了现状农田内部道路，在高程、堤防稳定度等达标的前提下，节约了用地、建设费用，对于堤防建设有利，且水位影响较小，更有利于河道行洪，推荐采用退堤方案建设。该段堤线布置见图 4.9-9。

表 4.9-6　　马屿镇梅屿段堤线后退水位成果比较表

位置	距赵山渡坝址距离（km）	20年一遇水位（m）		地面高程（m）	
		规划堤线	本次调整	左岸	右岸
赵山渡坝下	0	15.48	15.48	山体	山体
龙湖	2.50	13.81	13.81	12.2	13.5
上马前村	6.34	13.33	13.33	9.4	11.0
滩脚	7.74	13.04	13.04	山体	10.4
平阳坑	11.87	10.58	10.58	8.8	9.3
焦坑村	21.65	7.77	7.77	山脚	6.5
马屿镇	24.27	7.16	7.16	6.2	7.2
树排头村	28.31	6.47	6.47	3.6	5.2
金潮港汇合口	35.15	5.99	5.99	4.11	3.7

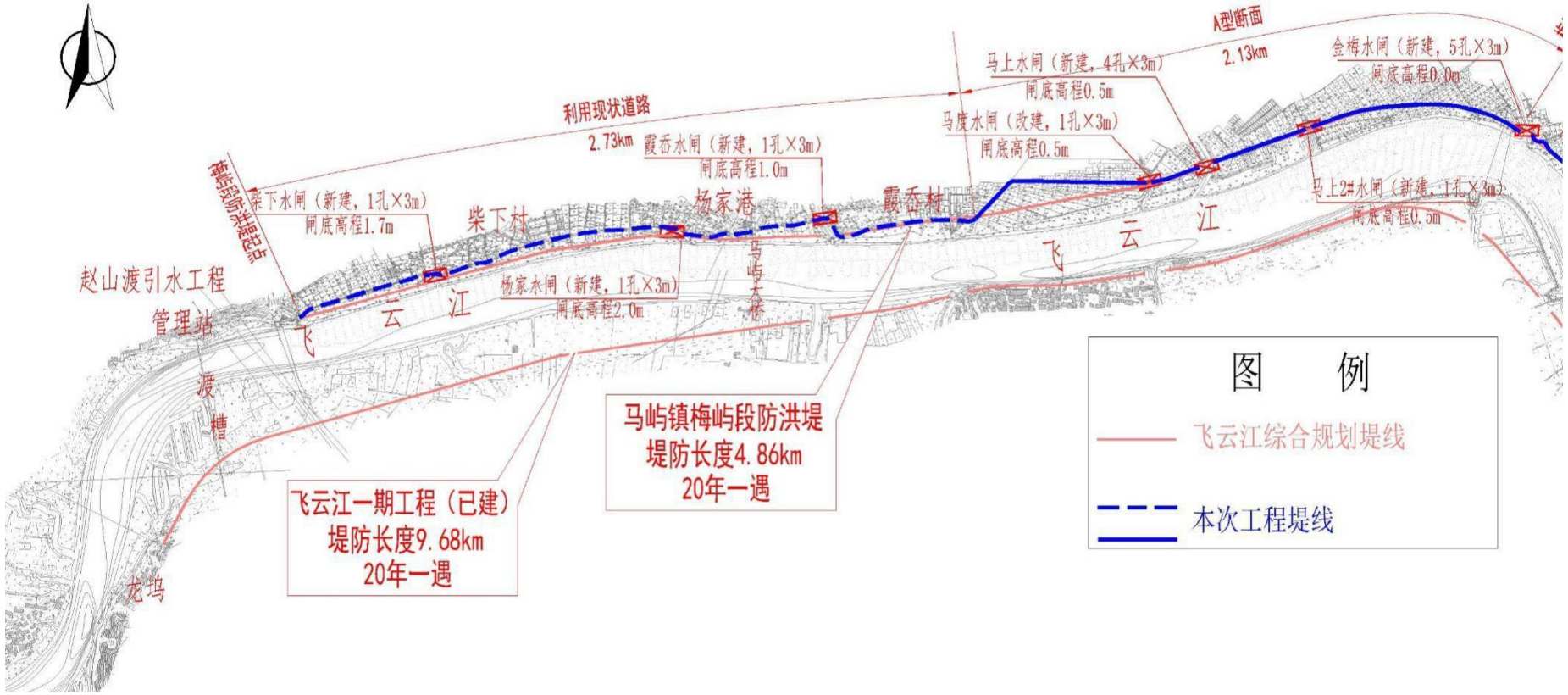


图 4.9-9　　马屿镇梅屿段堤线布置图

4.9.2.3.3　陶山镇荆谷段堤线

陶山镇荆谷段防洪堤长度 5.12km。金潮港支流回水堤长 3.42km 因部分规划堤线穿村庄，房屋拆迁实施难度大，暂不列入本次二期工程中，待下期金潮港段堤防工程实施。

干流段具体堤线如下：该段防洪堤长度 5.12km，起点为八甲村粮站（荆谷 A0+000），向东南经八甲村、七甲村、仙篁竹村对岸、再向北至金潮港出口（荆谷 5+120），该段部分飞云江河道较窄，在树排头村、仙篁竹村和前林村对岸共三段采用退堤方案，防洪堤堤线布置在农田内，其余堤段布置于飞云江北岸现状岸线。

该段堤线方案布置八甲村至荆谷乡政府段与《飞云江流域（温州段）综合规划》和《堤线调整专题》的堤线基本一致。堤线布置见图 4.9-10。

荆谷乡政府至金潮港河口段，现有温州绕城公路已建设完成，实体路基，考虑减少征地移民和利用公路封闭性，本次堤线布置方案在规划堤线基础上进行退堤，利用高速公路实体路基作为防洪堤防，较之《飞云江流域（温州段）综合规划》内退 50~200m，堤线外侧为农田，洪水期可过流，更有利于飞云江干流行洪。该段利用高速公路约 2km 不纳入本次堤防建设长度。

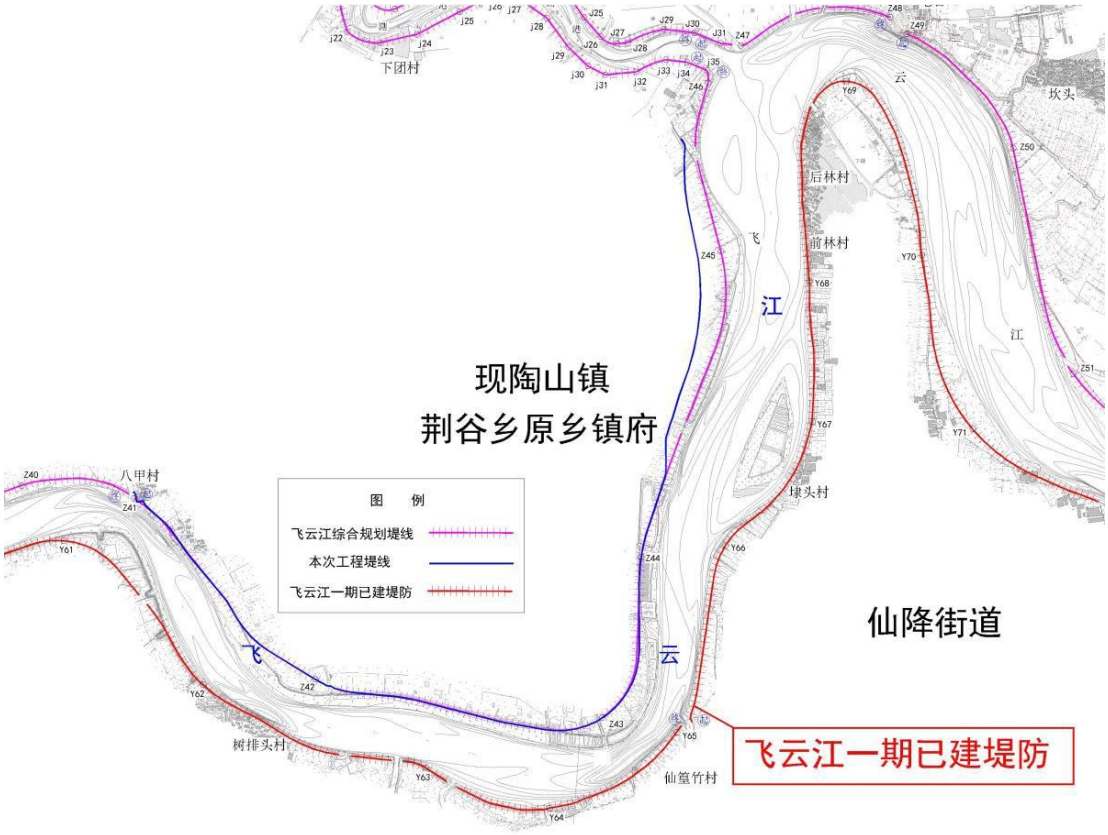


图 4.9-10　　陶山镇荆谷段堤线布置图

4.9.2.3.4　陶山镇碧山段堤线

陶山镇碧山段防洪堤段长度 6.58km，位于飞云江干流左岸，具体堤线布局如下：该段防洪堤长度 6.58km，起点为山樟村排水闸（碧山 A0+000），向东南经仙降镇对岸、再向北至桐田村（碧山 A6+580）。因仙降镇河道较窄，仙降镇对岸段堤线往内退，防洪堤堤线布置在农田内，其余堤段沿现状岸线布置。

该段碧山至涂厂段堤线较之《飞云江流域（温州段）综合规划》和《堤线调整专题》退堤约 40m，其余段堤线布置基本一致。

涂厂至桐田村段，本次为尽量避开房屋，对堤线进行微调，两岸堤距 440m～650m，局部段退堤 30m，本次可研堤线布置与《飞云江流域（温州段）综合规划》和《堤线调整专题》基本一致。

桐田段为飞云江二期先行实施工程段，目前已实施。

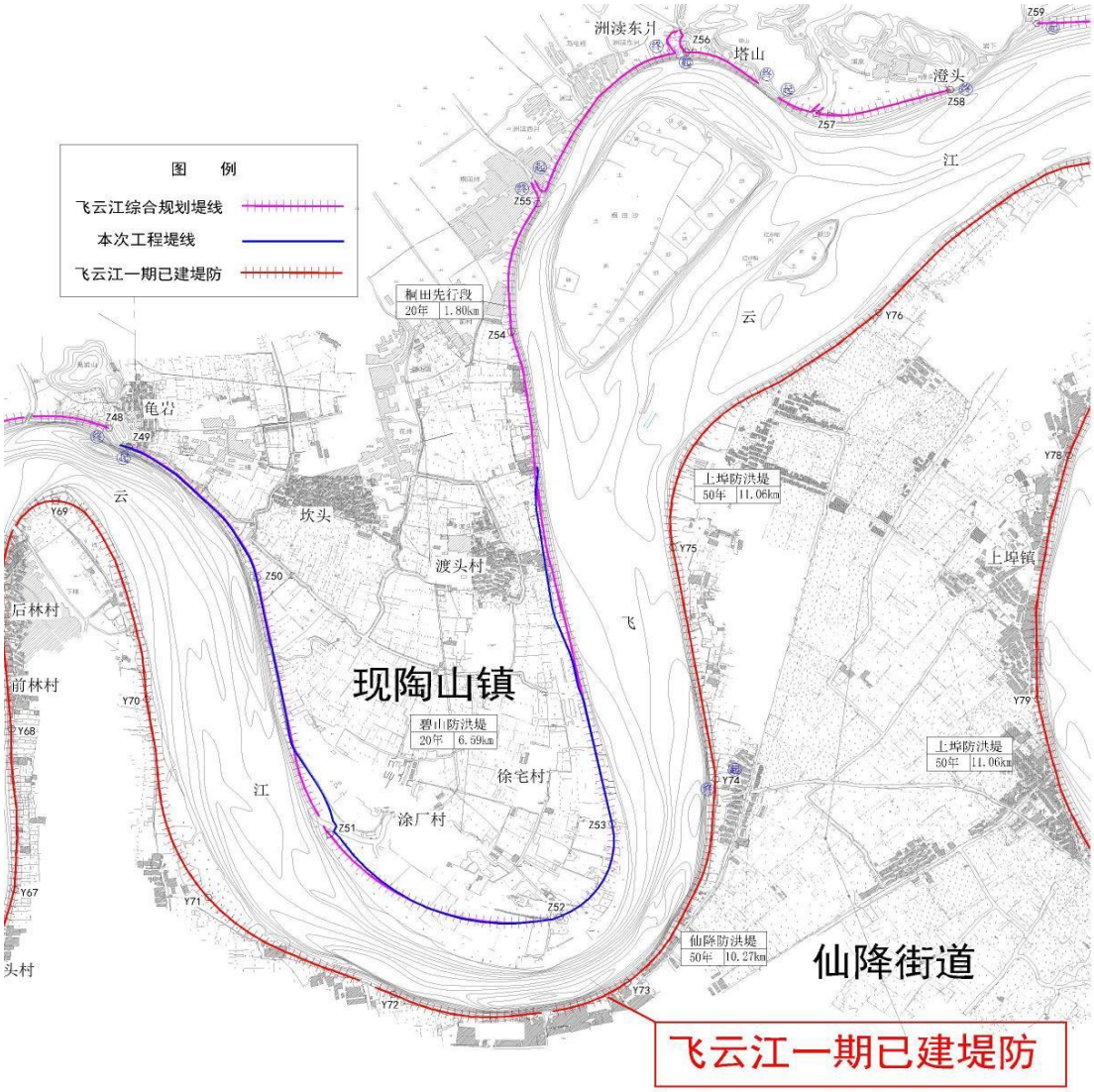


图 4.9-11　　陶山镇碧山段堤线布置图

4.9.2.3.5　桐浦镇塔山至澄头段

该河段防洪堤总长度 2.55km，由于房屋、工厂等建筑物较多，考虑现在岸线宽度约在 1600~1700m 左右，满足防洪规划 400m 的要求，防洪堤沿飞云江现状岸线布置。该段工程堤线与《飞云江流域（温州段）综合规划》和《堤线调整专题》相比较，布置基本一致，局部略有调整，上段为了隆真寺、群众活动中心堤线向临水侧偏移，最大偏移距离分别为 6m 和 8m，调整堤线长度分别为 260m 和 210m，调整后的堤线与对岸已建堤防的距离大于 675m，满足规划堤线最小控制堤距要求；下段为了保护当地古树，堤线向临水侧最大偏移 8m，调整堤线长度为 40m，调整后堤线与对岸已建堤防工程的堤距为 667m，较规划堤线最小控制堤距 675m 减少 8m。经复核，堤线调整对 20 年一遇防洪水位影响较小，满足过流能力要求。

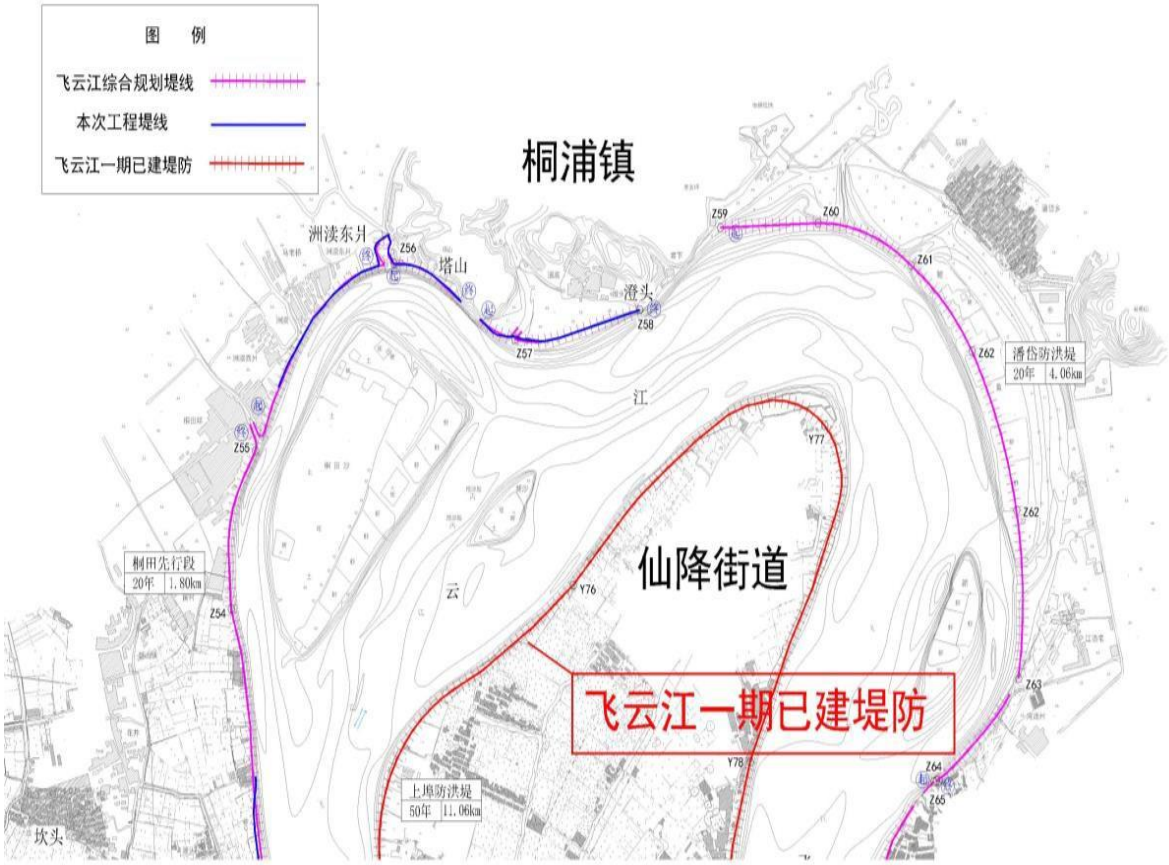


图 4.9-12　　桐浦镇塔山至澄头段堤线布置图

4.9.2.3.6　白莲段堤线

该段防洪堤长度 2.70km，起点白莲村北侧山脚（白莲 A0+000），经白莲村、至飞云江铁路大桥（白莲 A2+700）。堤线走向基本为东南向，基本沿飞云江北岸现状岸线。规划堤线穿村而过，拆迁量大，且有一部分房屋处于规划堤线以外，因此本次根据拆迁

情况对堤线进行适当调整，调整后两岸堤距最窄处为 830m。该段堤线与《飞云江流域（温州段）综合规划》和《堤线调整专题》的堤线布置一致。

图 4.9-13　　白莲段堤线布置比较图

4.9.3　堤防工程规模

综上，本次堤防工程建设主要包含平阳坑段、马屿梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦镇塔山至澄头段、白莲段，20 年一遇堤防长度共计 21.77km，50 年一遇。

本次飞云江治理二期工程堤线布置与《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015-2030 年）》和《堤线调整专题》批复的飞云江堤线相比较，除平阳坑段堤防外基本保持一致，平阳坑段由于高速公路建设情况，与原堤线相比较后退，保留行洪空间，有利于行洪，且减少工程造价和征地移民。

表 4.9-7　　堤防工程规模表

堤段	起点	终点	岸别	堤防长度（km）	防洪标准（年）
平阳坑段	徐山村	外垟村	右	2.54	20
马屿镇梅屿段	柴下村	河溪水闸	左	2.28	20
陶山镇荆谷段	八甲村	金潮港汇合口	左	5.12	20
陶山镇碧山段	龟岩	桐田村	左	6.58	20
桐浦镇塔山至澄头	洲渎村	澄头村	左	2.55	20
白莲堤	白莲村	白象村	左	2.70	20
合计				21.77	

4.10 配套水闸规模

为形成封闭的保护区，排涝建筑物形式可采用水闸或回水堤。本工程所涉及平原区地势低洼，内部水系复杂，若采用回水堤方案，回水堤往往要延伸到山脚才能封闭，面临回水堤长度长、布局复杂、占地多、实施难度大等缺点，因此本次配套交叉建筑物基本选用水闸。

4.10.1 错峰时间

根据水文分析成果，小流域雨峰一般在岔口洪峰之前出现，雨峰平均在岔口洪峰之前 5～6h。考虑岔口站洪水传播到金潮港汇流时间，错峰时间支流净雨雨峰提前外江洪峰约 15h 计算，马屿梅屿段、陶山镇荆谷、碧山段、白莲段雨峰提前外江洪峰时间均为 15h。考虑岔口站洪水传播至平阳坑段时间，平阳坑段雨峰提前外江洪峰时间为 9h。根据水位潮位分析，马屿梅屿段、陶山镇荆谷、碧山段、白莲段雨峰提前外江潮位时间均为 2h。

4.10.2 干流洪水位过程

当发生全流域洪水时，珊溪～赵山渡区间 10 年一遇天然洪峰流量 3660m³/s。由于珊溪水库的补偿调度作用，珊溪～赵山渡区间洪峰到来之前 26h 赵山渡断面流量即可达到 2208m³/s，前 4h 达到流量 4041m³/s，且赵山渡大流量持续时间增长，连续超过 1000m³/s 流量历时 31h，连续超过 2000m³/s 流量历时 24h，连续超过 3000m³/s 流量历时 23h，连续超过 4000m³/s 流量历时 13h。若以全流域设计 10 年一遇洪水位过程推算排涝规模，将造成涝区大面积、长时间受淹，该工况对排涝较为不利。

实际发生洪水时，珊溪水库并非完全从汛限水位 142.0m 起调，洪水前期水库不泄洪，库水位逐步上涨至汛限水位，然后再进行补偿调度，同时考虑到珊溪水库下泄洪水演进至赵山渡的时间约三小时，这些因素将为排涝争取时间，因此本次可研考虑珊溪水库不泄洪的工况作为排涝分析的基本工况。

堤防工程实施后，保护区内土地开发前将会对区域地面进行抬高，建议将重要地块地面高程抬高至飞云江 10 年一遇洪水位左右，并留有一定面积的低洼农田地块，以调蓄内部涝水。

综合考虑上述因素后，排涝设计外江水位标准适当降低，采用 10 年一遇洪水遭遇平均偏不利潮水、5 年一遇洪水遭遇 10 年一遇潮水两种工况的外包线。其中 10 年一遇

洪水和 5 年一遇洪水采用珊溪水库不泄洪、珊溪～赵山渡区间设计洪水。

4.10.3 配套水闸规模分析

10 年一遇洪水遭遇平均偏不利潮水工况下，雨峰出现在干流洪峰之前 9~15h，该时刻干流水位仍处于上涨阶段，外江水位亦低于平原地面高程，雨峰可按接近自由泄流方式排出；5 年一遇洪水遭遇 10 年一遇潮水时，外江水位有明显的潮起潮落，由于高潮位出现时间与小流域雨峰出现时间不存在相关关系，各种遭遇组合均有可能，经水文分析历年遭遇成果，本次设计采用偏不利设计，小流域雨峰提前外江高潮位 2 小时，作为水闸设计的依据。

4.10.3.1 拟定原则

本次拟定水闸规模时，主要遵循以下原则：

（1）有排涝规划的区域，水闸规模对规划推荐成果进行复核，本次工程陶山镇碧山片渡头水闸涉及《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告》（2015－2030 年），若满足排涝需求保留推荐成果规模，若无法满足排涝需求，按照复核计算确定水闸规模；

（2）无规划依据的现有水闸，根据片区排涝分析复核水闸规模，若满足排涝需求保留现有水闸规模，若无法满足排涝需求，按照复核计算确定水闸规模；

（3）现状无水闸，也无规划依据的，根据片区排涝分析复核，若规划闸门规模大于现状口门规模，按照规划闸门布置水闸；若现状口门规模大于规划闸门规模，维持现状口门规模。

（4）考虑马屿、陶山片区种植农作物主要为水稻、玉米、甘薯、大豆等经济作物，根据《灌溉与排水设计规范》（GB50288-2018），这类作物的耐淹时间为 1~6 天，耐淹水深为 0.12~0.35m，本次排涝设计标准为 10 年一遇农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深，故方案比较以房屋道路不受淹，农田淹没时间少于一天为原则。

4.10.3.2 各片区排涝情况

本次瑞安市飞云江治理二期工程涉及堤段主要保护的区域内可根据水系独立情况大致分为平阳坑段、马屿镇梅屿段 1、马屿镇梅屿段 2、陶山镇荆谷片、陶山镇碧山片和桐浦镇塔山澄头片、白莲片六个片区，分片区分析各排涝区情况。

马屿镇梅屿段分为两个相对独立的排涝体系，以马屿大桥为界分为两个片区。对各片区排涝口门排涝情况进行具体分析，工况为 3 天（72 小时）雨量过程，平原可调蓄面积为现状农田面积，以万分之一图量取。山区及平原雨量汇聚进入平原可调蓄面积区，

抬升平原水位直至淹没房屋、道路等较高高程地区。

表 4.10-1　　各片区基本情况统计表

片区	总集雨面积 (km^2)	平原面积 (km^2)	可调蓄面积 (km^2)	房屋道路高程 (m)	农田高程 (m)
平阳坑	14.22	2.2	0.485	11.5~12.1	7.1~8.2
马屿梅屿1	4.66	1.3	0.78	8.9~9.3	6.5~7
马屿梅屿2	29.44	6.58	4.56	4.9~8.5	2.4~5
荆谷片	14.44	8.12	7.01	4.5~5.2	3.8~4.5
陶山碧山桐浦片	66.43	18.72	17.15	4.1~5.1	3.2~4
白莲片	2.59	0.98	0.55	4.1~5.1	3.2~4

各片区由于河道情况不同，分片区进行分析计算，本次设计水利计算模型采用一维非恒定流模型。其基本方程圣维南偏微分方程组为：

$$B\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial s}=q$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial s}(z+\frac{v^2}{2g})+\frac{Q|Q|}{F^2K^2}=0$$

式中，Z、Q、F、V 和 K 分别表示某一时刻 t 及在某空间位置 S 断面的水位、流量、相应过水断面积、断面平均流速和流量模数；q 为单位河长旁侧入流量。

适用于本段河道洪流演进的定量分析计算，得出河道各特征断面水位和流量的过程。各片区上边界采用山区降雨和片区降雨成果，下边界采用飞云江干流对应错峰后的洪水位过程。

（1）平阳坑片

平阳坑段自成封闭防洪体系，排涝面积 14.22km^2；其中平原面积约 2.2km^2；可调蓄面积约 0.485km^2。主要保护对象为平阳坑镇，根据瑞安市 2019 年统计年鉴，平阳坑镇户籍人口约 1.7 万人，主要产业为农业，堤防建设后形成可与两侧山脉共同形成平阳坑镇防洪闭合圈。考虑平阳坑段以洪峰控制为主，分析排涝工况为平阳坑段 10 年一遇雨峰提前外江洪峰时间为 9 小时。

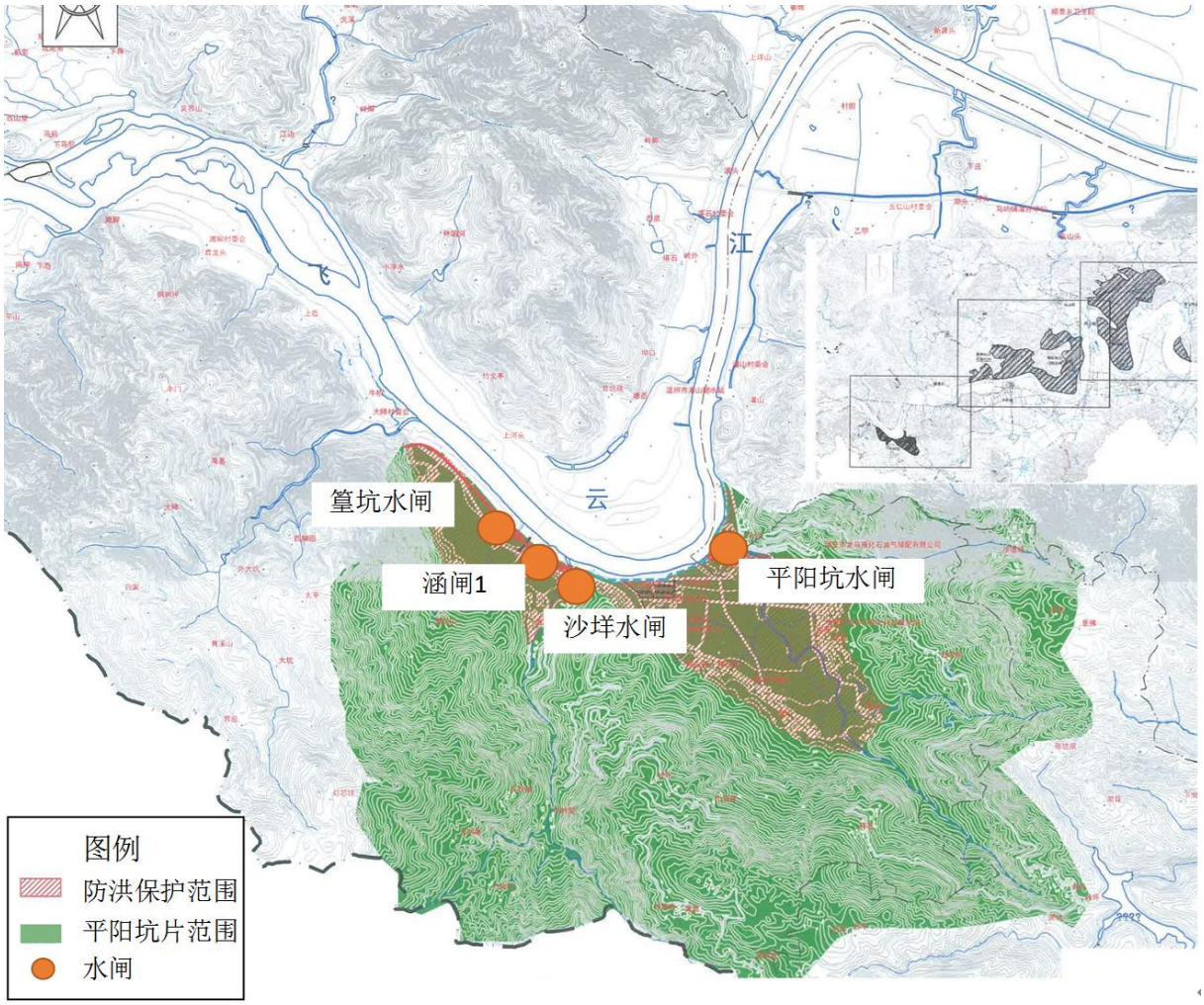


图 4.10-1　　平阳坑片现状水系及排涝区概化图

根据现状口门宽和现状闸门宽，对平阳坑段水闸规模进行比较，各方案排涝情况统计如下表 4.10-2。其中方案 1 为现状口门对应的方案。

表 4.10-2　　平阳坑片各方案排涝情况统计表

方案名称	闸门总规模(m)	10年一遇洪峰流量(m^3/s)	最大过闸流量(m^3/s)	洪水位(h)	房屋淹没时间(h)	农田淹没时间(h)
方案1	19	160	116.5	7.46	0	13
方案2	23	160	98	7.45	0	13
方案3	27	160	99	7.44	0	12

上述表格中，由于方案 1 闸前雍水水位较之方案 2、3 高，故在外江水位同时刻下，过闸流量反而较之方案 2、3 大，而方案 2、3 闸前雍水差距较小，与闸门规模相抵消，过闸流量差距较小。三个方案，从排涝效果看，均满足房屋道路不受淹，农田受淹时长小于一天的原则，故三个方案均满足片区排涝需求，从适用性考虑，方案 1 与现状口门

规模匹配对应，推荐方案 1 作为平阳坑片区闸门总规模。成果见表 4.10-3。以平阳坑水闸，其排涝过程如图 4.10-2。

表 4.10-3　　平阳坑片水闸排涝统计表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量（m³/s）	闸上最高水位(m)	闸下最高水位(m)
1	平阳坑片	篁坑水闸	4	2.0	5.34	5.30	16.0	6.94	9.85
2		涵闸1	3	3.5	5.34	5.30	14.9	6.94	9.85
3		沙垟水闸	4	2	5.34	5.30	19.0	6.94	9.85
4		平阳坑水闸	8	0.5	5.39	5.30	66.6	7.46	9.35

平阳坑段 3 日总水量 515.48 万 m³，闸门总规模 19m，10 年一遇洪峰流量 160m³/s，闸门最大排涝流量 116.5m³/s，其中平阳坑水闸闸门共泄水 247 万 m³，关闸期间（11 小时）累计水量为雨峰中后期，雨量较小，总水量仅为 4.5 万 m³，，最高水位 7.46m（平阳坑闸前农田高程不足 6m，房屋道路高程较高可达 9m 以上），道路及房屋基本不受淹，而低洼农田片区（5.8~6.5m）受淹时长约 13 小时，满足《灌溉与排水设计规范》（GB50288-2018）要求，且满足区域排涝要求。

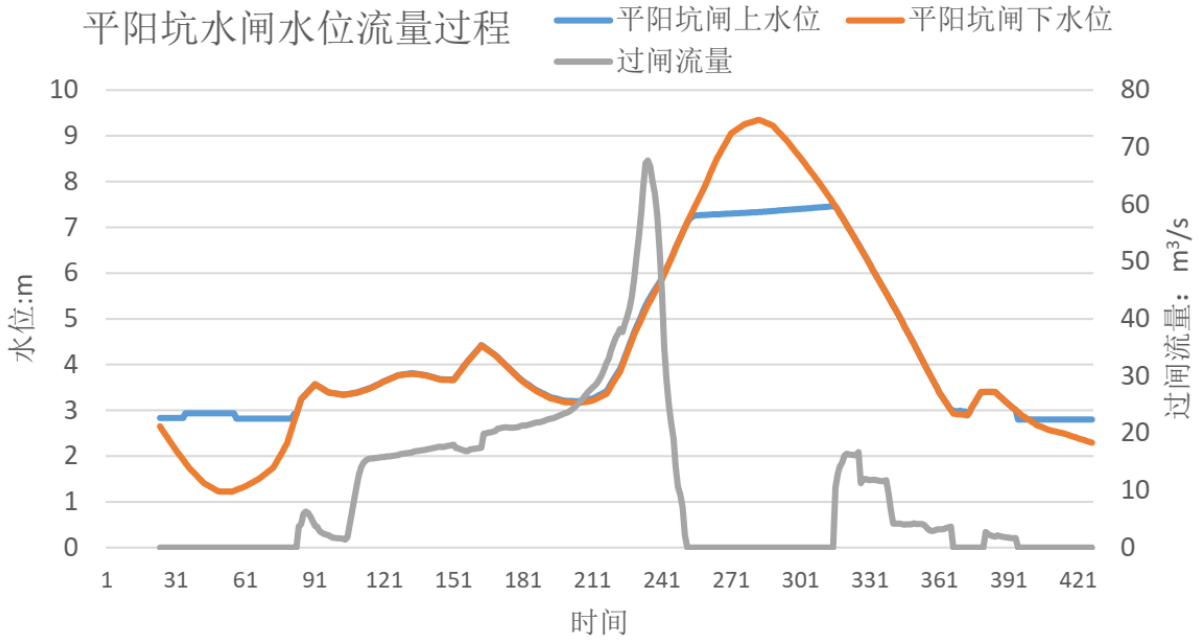


图 4.10-2　　平阳坑段平阳坑闸排涝过程图

（2）马屿镇梅屿段 1

马屿镇梅屿段分为两个相对独立的排涝体系，其中马屿大桥以上段马屿镇梅屿段 1

排涝面积 4.66km²，其中平原面积 1.3km²，可调蓄面积 0.78km²。考虑马屿梅屿段 1 以潮流控制为主，分析排涝工况为马屿梅屿段 10 年一遇雨峰提前外江潮位时间为 2 小时。

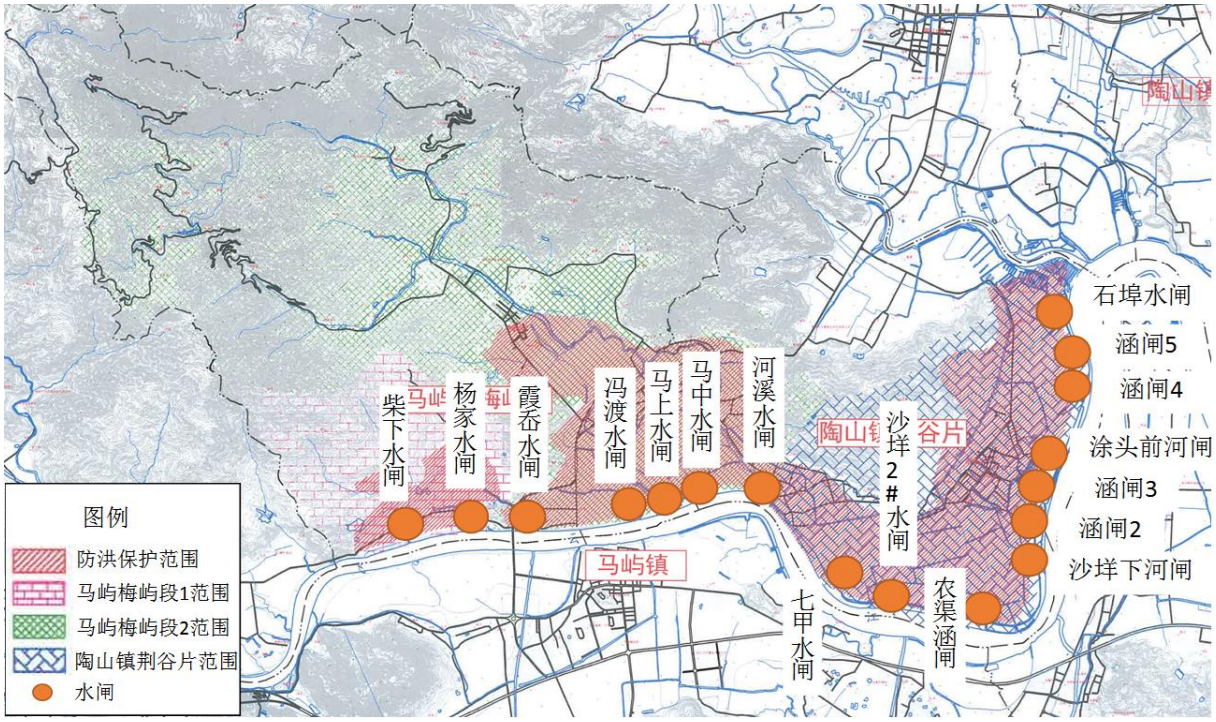


图 4.10-3　马屿梅屿 1 片现状水系及排涝区计算概化图

根据现状口门宽和现状闸门宽，对马屿镇梅屿段 1 水闸规模进行比较，各方案排涝情况统计如下表。其中方案 1 为现状口门对应的方案。

表 4.10-4　　马屿镇梅屿段 1 各方案排涝情况统计表

方案名称	闸门总规模(m)	10年一遇洪峰流量(m³/s)	最大过闸流量(m³/s)	洪水位(m)	房屋淹没时间(h)	农田淹没时间(h)
方案1	6	54	27	5.96	0	0
方案2	9	54	24	5.94	0	0

上述表格中，由于方案 1 闸前雍水水位较之方案 2 略高，故在外江水位同时刻下，过闸流量反而较之方案 2 大，两个方案从排涝效果看，均满足房屋道路不受淹，农田受淹时长小于一天的原则，且两个方案差距较小，水位和过闸流量变化小，淹没时长均无，从适用性考虑，方案 1 与现状口门规模匹配对应，推荐方案 1 作为马屿镇梅屿段 1 闸门总规模，如下表所示。

表 4.10-5　　马屿梅屿段 1 水闸排涝统计表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量（m³/s）	闸上最高水位(m)	闸下最高水位(m)
5	梅屿1	柴下水闸	3	2	5.53	5.49	13.7	5.96	6.00
6		杨家水闸	3	2	5.53	5.49	13.7	5.96	6.00

马屿梅屿段 1 的 3 日总水量 168.93 万 m³，闸门总规模 6m，10 年一遇洪峰流量 54m³/s，闸门最大排涝流量 27m³/s，关闸时间小于 3 小时，最高水位 5.96m（房屋道路高程 8.9~9.3m），由于田面及房屋道路高程较高，道路及房屋基本不受淹，而农田（6.5~7m）也不受淹，基本满足区域排涝要求。

建议编制小片区域排涝规划，对内部排水通道及排水路径进行规划沟通，使得涝水能够及时汇聚闸前排出。

（3）**马屿镇梅屿段 2**

马屿大桥以下至金梅水闸片马屿镇梅屿段 2 汇水面积 29.44km²，平原面积约 6.58km²，可调蓄面积 4.56km²。考虑马屿梅屿段 2 以潮流控制为主，分析排涝工况为马屿梅屿段 10 年一遇雨峰提前外江潮位时间为 2 小时。

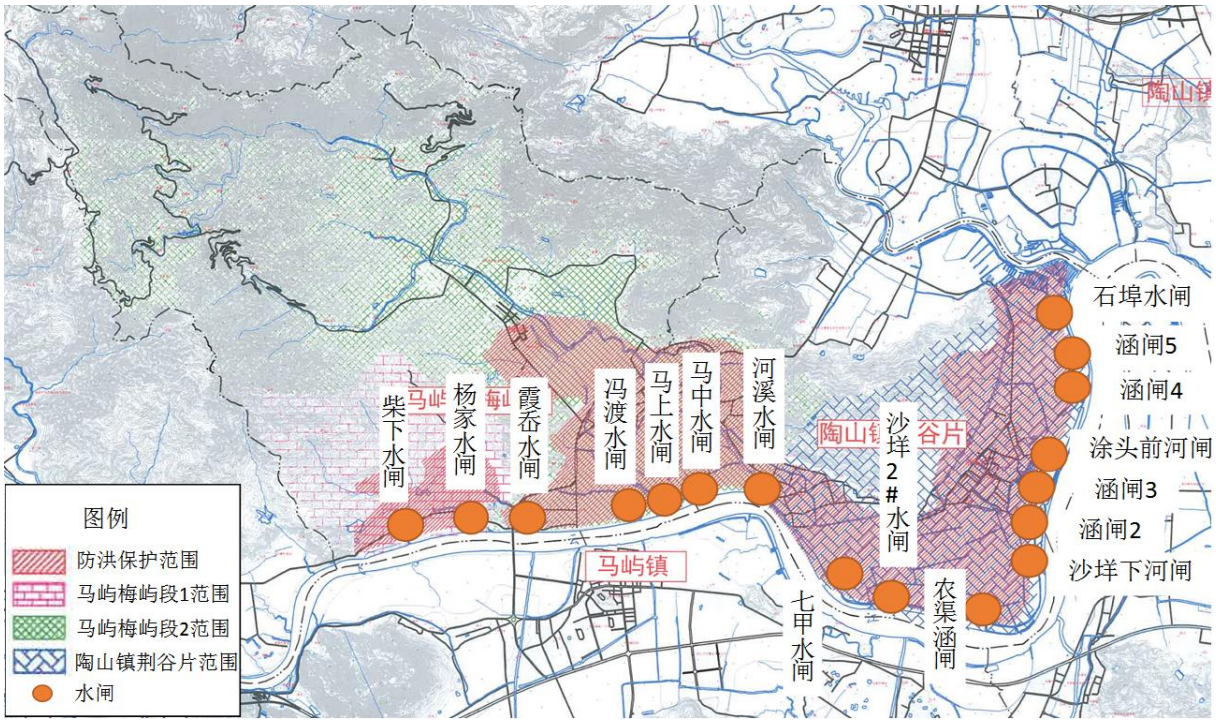


图 4.10-4　　马屿梅屿段 2 现状水系及排涝计算概化图

根据现状口门宽和现状闸门宽，对马屿镇梅屿段 2 水闸规模进行比较，各方案排涝情况统计如下表 4.10-6。其中方案 1 为现状口门对应的方案。

表 4.10-6　　马屿镇梅屿段 2 各方案排涝情况统计表

方案名称	闸门总规模(m)	10年一遇洪峰流量(m³/s)	最大过闸流量(m³/s)	洪水位(m)	房屋淹没时间(h)	农田淹没时间(h)
方案1	36	341	389	4.97	0	11
方案2	40	341	384	4.95	0	11
方案3	48	341	380	4.95	0	11

上述表格中，三个方案从排涝效果看，均满足房屋道路不受淹，农田受淹时长小于

一天的原则，且三个方案差距较小，水位和过闸流量变化小，房屋淹没时间均无，农田淹没时间一致为 11 小时，均满足区域排涝要求，从适用性考虑，方案 1 与现状口门规模匹配对应，推荐方案 1 作为马屿镇梅屿段 2 闸门总规模，如下表所。

根据涝水汇流和外江水位情况，采取一维非恒定水流模型，拟定推荐方案一下各个水闸的排涝过程，计算得到最大排涝流量对应闸上水位和闸下水位作为设计过流水位，以及闸上最高水位和闸下最高水位作为水闸挡水、稳定和渗流验算等工况的水位。以马上水闸及河溪为例，其排涝过程如图 4.10-5~图 4.10-6。各个水闸的排涝设计水位成果见表 4.10-7。

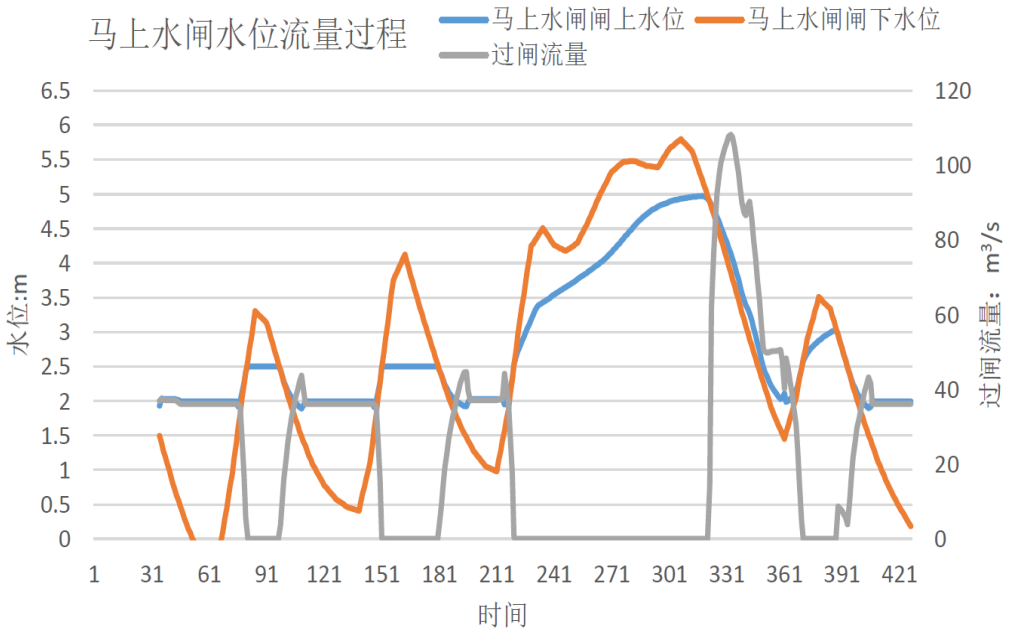
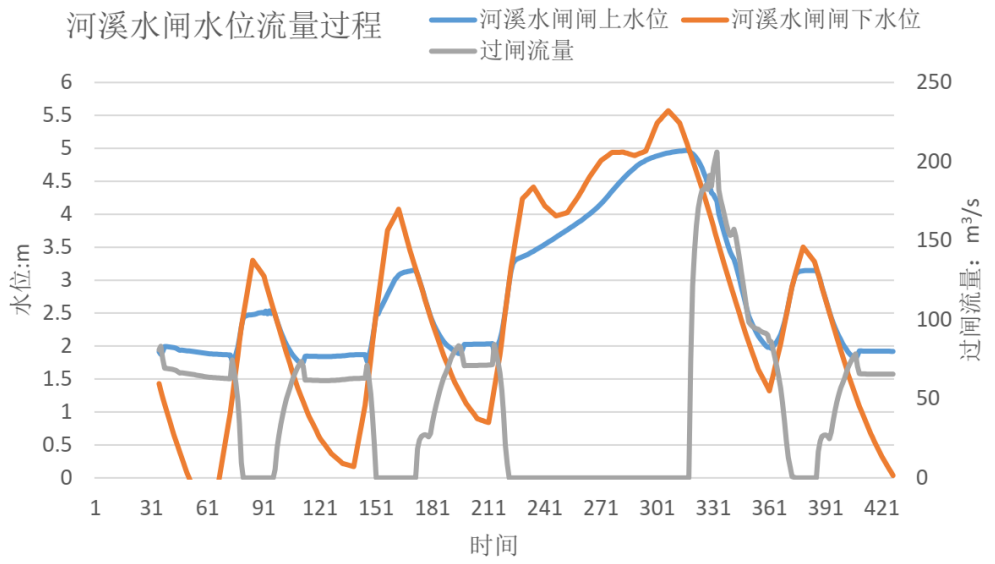


图 4.10-5　　马上水闸排涝过程图



4.10-6　　河溪水闸排涝过程图

表 4.10-7　　马屿梅屿段 2 水闸排涝统计表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量（m³/s）	闸上最高水位(m)	闸下最高水位(m)
7	梅屿2	霞岙水闸	3	2.0	4.14	3.87	17.4	4.97	5.80
8		冯渡水闸	3	2.5	4.14	3.87	28.1	4.97	5.80
9		马上水闸	12	0.5	4.14	3.87	112.5	4.97	5.80
10		马中水闸	3	1.0	3.74	2.71	22.5	4.97	5.80
11		河溪水闸	15	-1.0	4.20	3.62	208.8	4.97	5.57

梅屿段段 2 的 3 日总水量 1066.91 万 m³，总闸门规模 36m，10 年一遇洪峰流量 341m³/s，闸门最大排涝流量 389m³/s，其中马上水闸闸门共泄水 583 万 m³；河溪水闸闸门共泄水 1100 万 m³；关闸期间（20 小时）累计总水量为 636.7 万 m³；下游闸门前最高水位 4.97m（房屋道路高程 5.0m），道路及房屋基本不受淹，而农田（2.4~5m）受淹时长约 11 小时，满足《灌溉与排水设计规范》（GB50288-2018）要求，且满足区域排涝要求。

该片区域内河道存在暗河（河道表面被房屋、道路覆盖的情况）、内河节制闸前河道作为养殖场等情况，不利于排洪排涝，建议编制小片区域排涝规划对内部排水通道及排水路径进行规划沟通，使得涝水能够及时汇聚闸前排出。

（4）陶山镇荆谷片

陶山镇荆谷片汇流面积 14.44km²；平原面积约 8.12km²；可调蓄面积 7.01km²；主要保护对象为陶山镇荆谷片。考虑陶山镇荆谷片以潮流控制为主，分析排涝工况为陶山镇荆谷段 10 年一遇雨峰提前外江潮位时间为 2 小时。

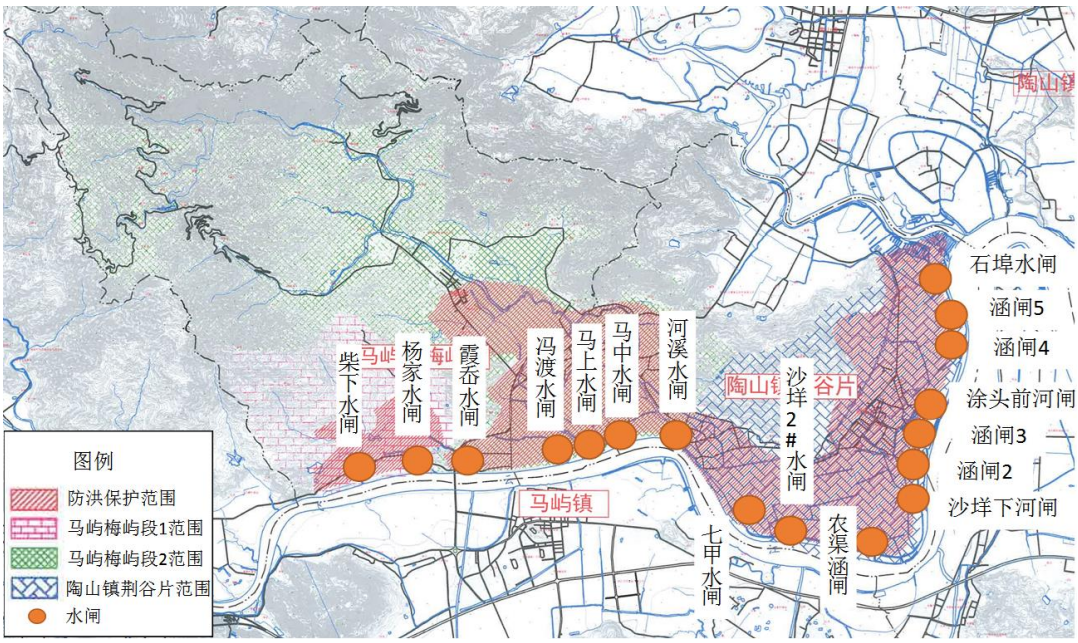


图 4.10-7　　陶山镇荆谷片现状水系及排涝计算概化图

根据现状口门宽和现状闸门宽，对陶山镇荆谷片水闸规模进行比较，各方案排涝情况统计如下表。其中方案 1 为现状口门对应的方案。

表 4.10-8　　陶山镇荆谷片各方案排涝情况统计表

片区名	方案名称	闸门总规模(m)	10年一遇洪峰流量(m^3/s)	最大过闸流量(m^3/s)	洪水位(m)	房屋淹没时间(h)	农田淹没时间(h)
荆谷片	方案1	33	106	153	4.11	0	11
	方案2	39	106	147	4.09	0	11
	方案3	45	106	140	4.08	0	11

上述表格中，三个方案从排涝效果看，所有方案均满足房屋道路不受淹，农田受淹时长小于一天的原则，且三个方案差距较小，水位几乎无变化，仅过闸流量发生小幅变化，房屋淹没时间均无，农田淹没时间片区基本无变化。从适用性考虑，方案 1 与现状口门规模匹配对应，推荐各片区方案 1 作为陶山镇荆谷片闸门总规模，如下表所示。以七甲水闸及石埠水闸为例，其排涝过程如图 4.10-8~图 4.10-9。

表 4.10-9　　陶山镇荆谷片水闸排涝统计表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量（m^3/s）	闸上最高水位(m)	闸下最高水位(m)
12	陶山镇荆谷片	七甲水闸	3	1	3.45	2.88	8.5	4.11	5.48
13		沙垟2#水闸	3	1.5	3.49	3.08	13.8	4.09	5.46
14		农渠涵闸	3	2.0	3.43	2.65	13.2	3.94	5.42
15		沙垟下河闸	3	1.5	3.54	2.74	15.0	3.89	5.29
16		涵闸2	3	2.5	2.87	1.66	14.4	3.82	5.28
17		涵闸3	3	1.0	2.10	1.65	12.0	3.74	5.29
18		涂头前河闸	3	2.0	3.19	3.09	14.0	3.69	5.28
19		闸门4	3	0.5	3.25	3.23	14.5	3.72	5.25
20		闸门5	3	0.5	2.65	2.23	15.0	3.72	5.25
21		石埠水闸	6	1	3.05	2.12	28.6	3.72	5.25

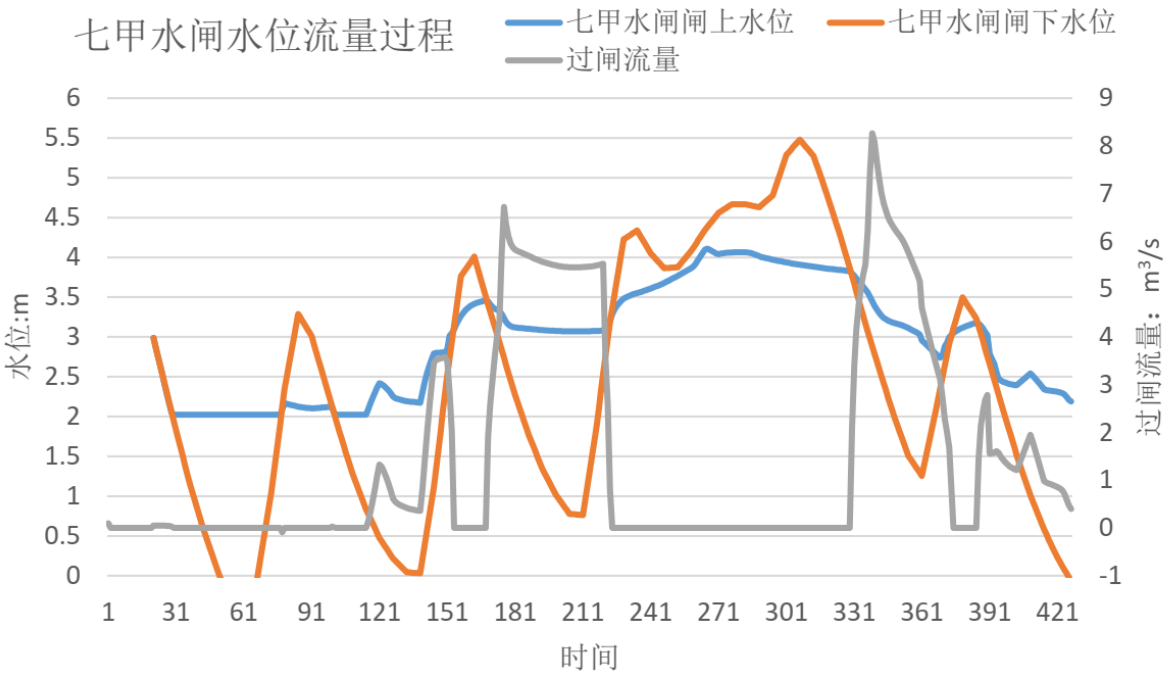
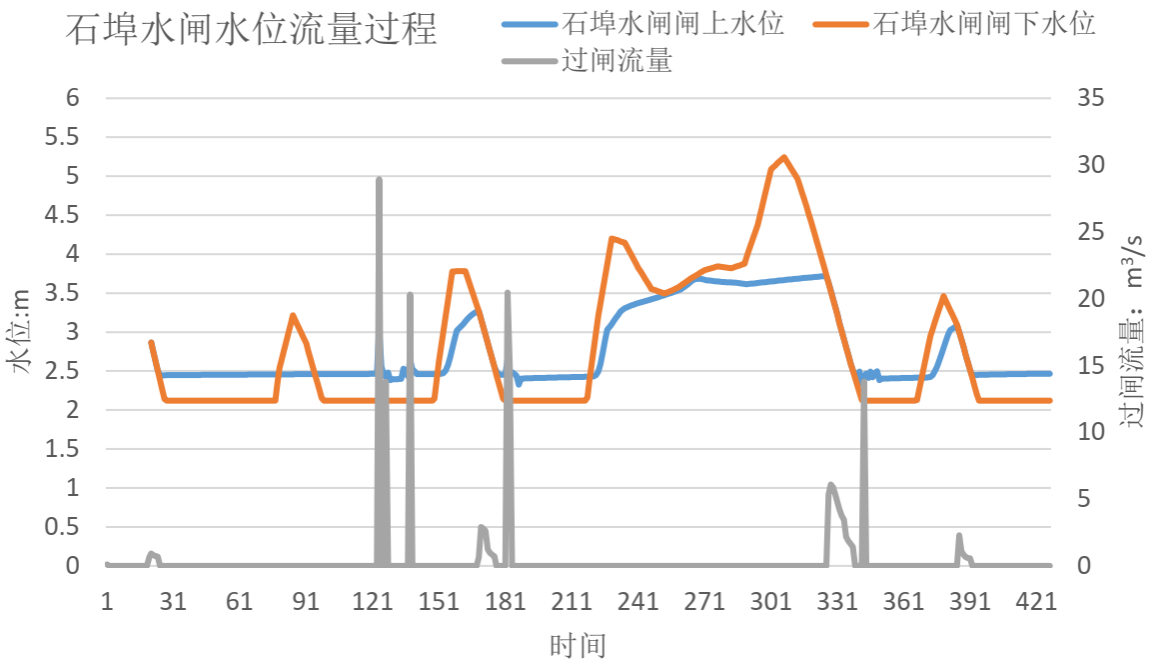


图 4.10-6　七甲水闸排涝过程图



4.10-9　石埠水闸排涝过程图

陶山镇荆谷片 3 日总水量 459.63 万 m³，总规模 33m，区域 10 年一遇洪峰流量 106m³/s，总闸门最大排涝流量共计 153m³/s，其中七甲水闸闸门共泄水 599 万 m³，石埠水闸闸门共泄水 10 万 m³，关闸期间（18 小时）累计水量 228.4 万 m³，最高水位达 4.11m（房屋道路高程 4.9~5.5m），道路及房屋基本不受淹，而农田（3.8~4.5m）受淹时长约 11 小时，满足《灌溉与排水设计规范》（GB50288-2018）要求，且满足区域排涝要求。

（5）陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片

该片区为陶山平原整体片区，虽分属两个不同的乡镇，但内部河网相连，且片区排涝规划已编制完成，作为一个排涝整体区域进行考虑。

（1）已有规划情况

2011 年，浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司编制完成的《金潮港流域综合规划》（已批复）提出新开河道联通陶山镇主镇区与陶山平原，控制新开河道规模 28m，在渡头村入飞云江口新建渡头水闸，闸门 15m，闸底高程 0m，报告对其余河道及闸门未作要求。

温州市水利电力勘测设计院编制的《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015－2030 年）》（已批复），该报告对陶山镇（金潮港左岸）及陶山、桐浦片区排涝情况进行分析，提出新开河道联通陶山镇与陶山碧山片，河道规模 18~28m（烟花分厂至航浦段控制河宽 18m，航浦至渡头段控制河宽 28m），在渡头村入飞云江口新建渡头水闸，闸门 3 孔 5m，闸底高程-2m，河道末端新建泵站流量 30m³/s，该报告对其余河道及闸门未作要求。

考虑上述规划编制的时限及批复单位，《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015-2030 年）》由省水利厅批复且时间较新，初步采用该报告成果拟定渡头水闸，闸门 3 孔 5m，闸底高程-2m，河道末端新建泵站流量 30m³/s。本次工程对该闸门和泵站规模进行复核，确定是否满足排涝需求。

浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司编制《瑞安市陶山平原排涝规划》对陶山镇片和桐浦镇片的河道规模和闸门改造提出规划方案，且对上游六科、林溪水库方案进行规划和布置，还布置金潮港沿岸堤防建设和河道整治。

《浙江省瑞安市金潮港流域综合规划报告》，该规划由华东勘测设计研究院于 2020 年编制，金潮港流域防洪工程近期主要包括新建六科水库，金潮港岩头~河口段堤防工程 23.06km，河道整治 11.48km，三十三溪和三十四溪堤防工程 10.15km；卡口整治工程，金潮港渡槽卡口扩宽，棠梨埭金潮港大桥卡口治理、岩头桥重建，前途大桥重建，马陶公路桥改建。三十一溪堤防建设 6.48km，林溪水库二期工程溢洪道加高设闸，增设防空洞，总库容 2135 万 m³。远期包含金潮港河口大闸、新增 482.5kW 增效扩容及达标绿色小水电 20 座。

本次配套闸门拟定针对该片区闸门排涝情况进行复核，具体河道排涝规模和河道排水是否顺畅排至闸门由片区排涝规划进行明确。

本次瑞安市飞云江治理二期涉及保护片区为陶山平原碧山和桐浦镇塔山澄头片，由上述示意图可以看出，陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片位于陶山平原的东侧，由于该片区与陶山镇通过内部河道相连，故考虑陶山平原规划水闸成果，经复核排涝工况最大过闸流量情况，若满足区域排涝要求，则采用该成果；若不满足要求，则增大闸门规模以后进行再次计算。

对整个陶山平原片排涝口门排涝情况进行具体分析，工况为 3 天（72 小时）雨量过程。

图 4.10-5　　陶山平原位置关系示意图

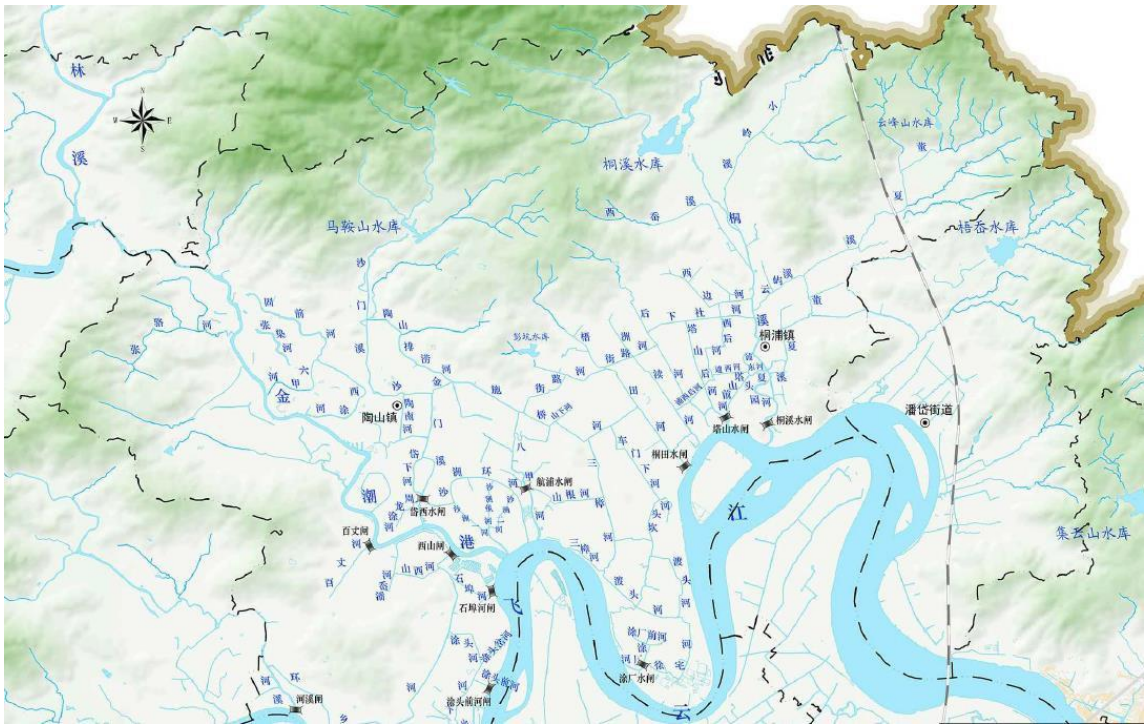


图 4.10-6　　陶山平原现状河道示意图

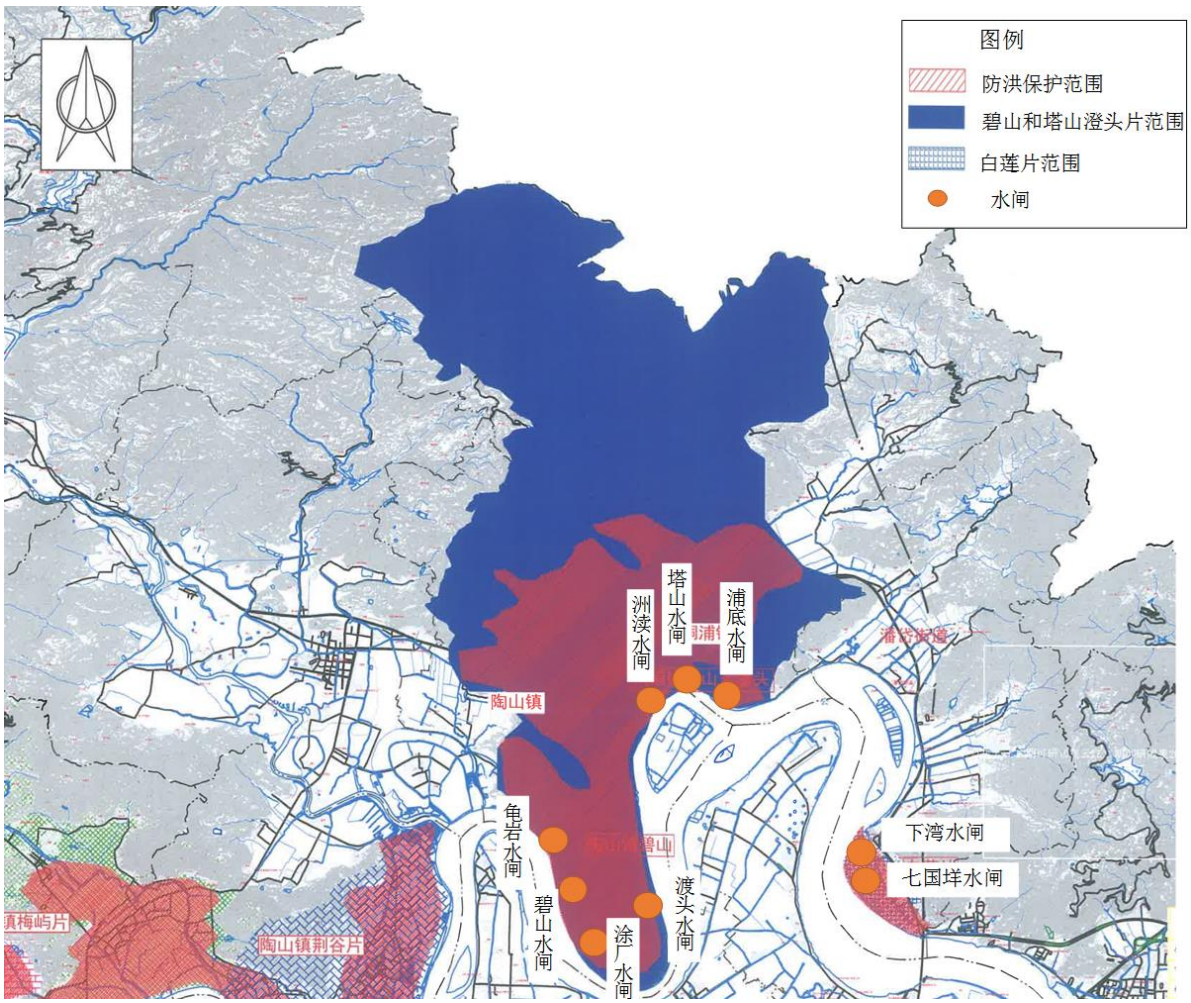


图 4.10-7　　陶山平原排涝水系计算概化图

根据《瑞安市陶山平原排涝规划》和《瑞安市金潮港流域综合规划修编》规划排涝工程方案，对沙门溪、八甲河、桐溪河、三樟河、桐田河、固前河、西涂河、金施桥河、下社河、街路河等 10 条骨干河道进行拓浚，形成“六纵两横”的骨干排涝格局，配套对六甲河、后河、沙洲环河、董夏溪、渡头河等次干河道进行整治提升河网整体排涝能力，具体河道规模见下表所示。

表 4.10-10　　陶山平原骨干、次干河道整治规模表　　单位：m

河道名称	现状		规划	
	现状河宽	现状河底高程	规划最小控制河宽	河底高程
沙门溪上游段（电站-蛇排河）	5.2~23.5	5.0~4.2	30	3.2~2.5
沙门溪镇区段（蛇排河-岱下河）	4.5~27.5	4.2~2.5	20	2.5~1.5
沙门溪下游段（岱下河-河口）	5.5~33	2.5~0.8	30	1.5~1
八甲河	13.6~52.1	1.4~1.0	20	2~0
桐溪河	22.6~77	3.5~-1.5	30	4.5~-1.7
三樟河	6~17.4	1.8~1.7	20	2~1
桐田河	10.6~23.3	1.8~1.4	20	1.5~1
固前河~西涂河	2~12	5.6~1.7	30	2.66~1
蛇排河~金施桥河	10~23	2.8~1.2	33	2~1.5
下社河~街路河	11.9~24.4	2.0~1.3	20	1.5
六甲河	1~11.5	3.1~2.5	10	2~1
后河	7.1~38.1	2.1~0.8	15	2~1
沙洲环河	3.5~19.1	2.2~1.5	15	1
董夏溪	11~22	2.0~1.1	20	2.5~1
渡头河	11.2~22.1	2.3~1.0	15	2~1.5

结合飞云江、金潮港干流堤防建设以及平原河道整治对西涂闸、岱西闸、航渡闸、桐田闸、沙洲闸、楼渡闸以及沙洲二闸进行改建，进一步扩大口门排水能力，新建碧山闸、洲渎闸，增加平原排水口门，如下表所示。

表 4.10-11　　陶山平原水闸改、扩建规模表　　单位：m

闸站规模	现状		调整措施	规划	
	闸门尺寸	闸底高程		闸门尺寸	闸底高程
西涂水闸	1孔×3.3m	0.31	改建	3孔×4m	0.3
岱西水闸	2孔×3m	0.837	改建	3孔×4m	0

闸站规模	现状		调整措施	规划	
	闸门尺寸	闸底高程		闸门尺寸	闸底高程
航渡水闸	1孔×3.2m	0.895	改建	3孔×4m	0
桐田水闸	2孔×3m	1.5	改建	2孔×4m	0.6
沙洲一闸	1孔×3m	1	改建	1孔×5m	1
碧山水闸	/	/	新建	2孔×3m	1
渡头节制闸（内河）	/	/	新建	1孔×5m	1
洲渎水闸	/	/	新建	2孔×3m	1
楼渡水闸	1孔×3.3m	0.312	改建	2孔×3m	0.3
沙洲节制闸	1孔×2.9m	0.5	改建	2孔×5m	1
沙洲二闸	1孔×2.9m	1.2	改建	1孔×5m	1

该方案下各排水口门改、扩建后洪水位成果表 4.7-12 和 4.7-13（其中受淹时间统计为农田低洼区受淹时间统计，控制目标农田片区受淹时间小于 24 小时，下同）：

表 4.10-12　　陶山平原规划 10 年一遇涝水位成果表　　单位：m

方案列表位置点	控制目标	规划河道+闸门扩建方案
陶山规划镇区	5	4.39
		4.20
陶山老镇区	5	5.05
		5.20
		5.02
碧山	/	4.11
楼渡	/	5.28
桐田	/	4.10
桐浦镇	4.1	4.40
沙洲	/	3.55

表 4.10-13　　陶山平原规划 10 年一遇受淹时间统计成果表　　单位：小时

淹没类型	片区	控制目标	规划河道+闸门扩建方案
平均淹没时间	片区1	受淹时间<24	19
最大淹没时间			30
平均淹没时间	片区2		41
最大淹没时间			41
平均淹没时间	片区3		30
最大淹没时间			44

淹没类型	片区	控制目标	规划河道+闸门扩建方案
平均淹没时间	片区4		30
最大淹没时间			37
平均淹没时间	片区5		26
最大淹没时间			39
平均淹没时间	片区6		25
最大淹没时间			33

从上述表格可以看出，规划河道整治和闸门扩建的方案使得陶山平原洪涝水整体降低，降幅为 0.01～0.26m，效果显著，但陶山老镇区及桐浦镇区仍高于目标水位；同时农田受淹时间无明显变化，受淹时间仍达 19～44 小时，无法满足规划要求。

规划提出平原新建泵站方案，据平原骨干河网布局、骨干河道规模及上游河网的汇水条件，规划拟设置强排泵站 9 座，规划排涝总流量 180m³/s，平原整体排涝模数 1.64。规划泵站规模如下表。

表 4.10-14　　陶山平原闸站改、扩建规模表

泵站名称	所在河道	泵站流量（m³/s）	装机容量（kW）
西涂泵站	西涂河	20	840
岱西泵站	沙门溪	20	840
航渡泵站	八甲河	20	840
桐田泵站	桐田河	20	840
沙洲泵站	沙洲环河	10	420
塔山泵站	后河	30	1260
浦底泵站	桐溪河	30	1260
碧山泵站	三樟河	10	420
洲渎泵站	洲渎河	20	840
合计		180	7560

增加泵站方案后洪水位成果表 4.10-15 和 4.10-16（其中受淹时间统计为农田低洼区受淹时间统计，控制目标农田片区受淹时间小于 24 小时，下同）：

表 4.10-15　　陶山平原规划 10 年一遇涝水位成果表　　单位：m

方案列表、位置点	控制目标	规划河道+闸门扩建方案	规划河道+闸门扩建+泵站方案	差值
陶山规划镇区	5	4.39	4.30	-0.09
		4.20	4.11	-0.09

方案列表、位置点	控制目标	规划河道+闸门扩建方案	规划河道+闸门扩建+泵站方案	差值
陶山老镇区	5	5.05	4.66	-0.39
		5.20	4.90	-0.30
		5.02	4.58	-0.44
碧山	/	4.11	3.94	-0.17
楼渡	/	5.28	4.89	-0.39
桐田	/	4.10	3.66	-0.44
桐浦镇	4.1	4.40	4.25	-0.15
沙洲	/	3.55	3.11	-0.44

表 4.10-16　　陶山平原规划 10 年一遇受淹时间统计成果表　　单位：小时

淹没类型	片区	控制目标	规划河道+闸门扩建方案	规划河道+闸门扩建+泵站方案	差值
平均淹没时间	片区1	受淹时间<24	19	9	-10
最大淹没时间			30	21	-9
平均淹没时间	片区2		41	30	-11
最大淹没时间			41	33	-8
平均淹没时间	片区3		30	14	-16
最大淹没时间			44	33	-11
平均淹没时间	片区4		30	23	-8
最大淹没时间			37	26	-11
平均淹没时间	片区5		26	19	-7
最大淹没时间			39	36	-3
平均淹没时间	片区6		25	23	-2
最大淹没时间			33	31	-2

由上表可见，增加强排泵站后，陶山平原洪涝水整体降幅明显，达 0.09~0.44m，平原受淹时间降低 2~16 小时，工程效果显著，但桐浦镇区仍高于目标水位，其他区域基本满足规划要求。

为进一步降低桐浦镇区洪涝水位，规划提出对桐溪上游水库进行扩容，增设防洪库容，洪峰期拦蓄洪水以降低桐浦镇区洪水位。

桐溪水库现状控制集雨面积 16.9km²，坝顶高程 18.70m，校核洪水位 17.40m，总库容 379.29 万 m³，正常水位 13.5m，正常库容 216 万 m³。

《飞云江流域综合规划》中提出对桐溪水库进行加高扩容，规划坝顶高程 22m，同时对现有溢洪道进行改造，降低溢洪道顶高程，并增设设置闸门作为控制措施，以增加防洪库容 167 万方用于汛期滞蓄上游洪水。经多次与瑞安市水利局及水库管理部分沟通调研后，由于水库近期实施加高存在一定难度，但下游城镇防洪排涝确需上游提升滞蓄能力，因此规划提出汛期通过预泄来腾空防洪库容，经分析在汛期收到台风或强降雨预警后，12h 内预泄至 9m，腾空库容 130 万 m^3；可在一定程度缓解下游防洪排涝压力。

桐溪水库预泄腾空库容后实施效果见下表（其中受淹时间统计为农田低洼区受淹时间统计，控制目标农田片区受淹时间小于 24 小时，下同）：

表 4.10-17　　陶山平原规划 10 年一遇涝水位成果表　　单位：m

方案列表 位置点	控制目标	规划河道+闸门扩建+泵站方案	再增加桐溪水库扩容	差值
陶山规划镇区	5	4.30	4.30	0.00
		4.11	4.11	0.00
陶山老镇区	5	4.66	4.67	0.01
		4.90	4.89	-0.01
		4.58	4.59	0.01
碧山	/	3.94	3.94	0.00
楼渡	/	4.89	4.89	0.00
桐田	/	3.66	3.58	-0.08
桐浦镇	4.1	4.25	4.10	-0.15
沙洲	/	3.11	3.11	0.00

表 4.10-18　　陶山平原规划 10 年一遇受淹时间统计成果表　　单位：小时

淹没类型	片区	控制目标	规划河道+闸门扩建+泵站方案	再增加桐溪水库扩容	差值
平均淹没时间	片区1	受淹时间<24	9	9	0
最大淹没时间			21	21	0
平均淹没时间	片区2		30	31	0
最大淹没时间			33	33	0
平均淹没时间	片区3		14	14	0
最大淹没时间			33	33	0
平均淹没时间	片区4		23	24	1
最大淹没时间			26	27	1
平均淹没时间	片区5		19	17	-2
最大淹没时间			36	31	-5
平均淹没时间	片区6		23	21	-2
最大淹没时间			31	29	-2

由上述成果可见，规划河道拓宽、闸门扩建、增设排涝泵站和桐溪水库预泄腾空库

容实施后，陶山、桐浦两镇区水位基本达到规划目标控制水位，平原各区片平均淹没时间未超过 24 小时，即陶山平原排涝能力基本满足规划要求。

（2）本次工程复核闸门及泵站

考虑规划对片区排涝情况的分析，采取的工程措施，陶山片区防洪排涝规划需实施河道打卡、闸门拓建、泵站配套建设、上游水库兴建等工程措施，本次工程为飞云江干流堤防，建议实施闸门工程，避免堤防实施后片区涝水无法排出，而河道打卡、泵站配套建设、上游水库兴建等工程建议留待陶山片区防洪排涝实施时一并建设，已达到规划的排涝效果。

对本次堤段涉及陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片 7 个水闸（桐田水闸已在飞云江桐田先期实施段建设，不纳入本次建设内容）进行排涝能力复核，可得下表所示。

陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片 3 日总水量 2116.46 万 m^3；下表可以看出，片区水闸排涝工况下最大过闸流量 652m^3/s 略小于片区 10 年一遇排涝洪峰流量 688m^3/s，且满足桐浦片区满足桐浦镇 10 年一遇排涝目标水位 4.10m（对应下游洲渎水闸、塔山水闸、浦底水闸闸前位置），符合片区排涝需求。

表 4.10-19　　陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片水闸排涝统计表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量（m^3/s）	闸上最高水位(m)	闸下最高水位(m)
22	陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片	龟岩水闸	3	1.5	3.94	3.62	5.9	4.11	/
23		碧山水闸	6	1	2.51	2.13	31.1	4.11	/
24		涂厂水闸	6	0	3.35	2.42	59.9	4.11	/
25		渡头水闸	15	0	3.25	2.56	202.1	4.11	/
26		洲渎水闸	6	0.5	3.38	2.71	48.4	4.1	/
27		塔山水闸	12	0.5	3.34	2.67	95.7	4.1	/
28		浦底水闸	15	-1.70	2.84	1.83	151.6	4.1	/

考虑排涝泵站建设需配套排涝规划中的河道拓宽工程同步实施，否则将出现泵站前河道水抽干而平原河网内部涝水无法汇聚泵前的情况。陶山平原排涝规划尚未正式批复，规划实施方案未定，配套河道疏浚拓宽工程实施时间未定，若先行建设泵站，则出现泵站建设后多年无法开启使用，而泵站维护需每年定期开启养护，在堤防建设后，若配套建设泵站在多年内都无法投入使用。建议留待后期陶山平原排涝规划实施方案时再配建泵站，本次飞云江二期工程建设片区水闸，预留排涝泵站位置。

渡头泵站在《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告（2015－2030 年）》中的

作用考虑为缓解陶山镇排涝压力，需要在陶山镇与与碧山片间新开河道规模 18~28m（烟花分厂至航浦段控制河宽 18m，航浦至渡头段控制河宽 28m），配套河道建设排涝闸门及泵站，闸门 3 孔 5m，河道末端新建泵站流量 30m³/s。原渡头闸泵站位置随着高速公路实体路基的新建而废弃，经实地考察新口门可选在渡头下游 200m 处，该处高速实体路基预留 15m 宽过水涵洞，可继续实施河道开挖和闸门泵站建设，建议留待后期陶山平原排涝规划实施方案时再配建泵站，本次飞云江二期工程建设片区渡头水闸，预留排涝泵站位置，建议政府尽快实施陶山镇与与碧山片间新开河道，尽快缓解陶山镇排涝压力。

（6）白莲片

白莲片属于潘岱街道，经《瑞安市潘岱片水系综合治理规划》分析成果，初步确定白莲片区闸门两个，闸门规模如下表所示。

表 4.10-20　　白莲片水闸排涝统计表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量（m³/s）	闸上最高水位(m)	闸下最高水位(m)
29	白莲片	下湾水闸	5	0	3.39	3.26	40.8	3.55	4.85
30		七国垟水闸	4	-1.5	3.39	3.26	24.1	3.55	4.85

白莲片 3 日总水量 82.44 万 m³，总闸门规模 9m，10 年一遇洪峰流量 22m³/s，关闸期间（37 小时）累计水量 7.2 万 m³，最大过闸流量 65m³/s，最高水位 3.55m（地面高程 4.1m），道路及房屋基本不受淹，而农田（3.2~4.0m）受淹时长约 8 小时，推荐方案满足《灌溉与排水设计规范》（GB50288-2018）要求，且满足区域排涝要求。

由上述分析可以看出，平阳坑段、马屿镇梅屿段 1、马屿镇梅屿段 2、陶山镇荆谷片、陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片、白莲片六个片区平原高水位均低于道路房屋高程，10 年一遇涝水不上道路房屋，而田面有一定淹没深度和淹没时长，但满足区域排涝要求。

4.10.3.3　配套水闸规模

根据上述排涝分析，本次飞云江二期工程配套新建和改建闸门共计 30 座，各水闸规模如下表所示。

表 4.10-21　　飞云江二期工程配套闸门规模统计表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量（m³/s）	现状河道宽度(m)	改建情况
1	平阳坑片	篁坑水闸	4	2.0	16.0	7m	新建
2		涵闸1	3	3.5	14.9	6m	新建

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量（m³/s）	现状河道宽度(m)	改建情况
3		沙垟水闸	4	2	19.0	8m	新建
4		平阳坑水闸	8	0.5	66.6	15m	新建
5	马屿镇梅屿1	柴下水闸	3	2	13.7	6m	新建
6		杨家水闸	3	2	13.7	现状老闸2m	改建
7	马屿镇梅屿2	霞岙水闸	3	2.0	17.4	现状老闸2m	改建
8		冯渡水闸	3	2.5	28.1	现状老闸2m	改建
9		马上水闸	12	0.5	112.5	20m	新建
10		马中水闸	3	1	22.5	现状老闸2m	改建
11		河溪水闸	15	0	208.8	24m	新建
12	陶山镇荆谷片	七甲水闸	3	1	8.5	现状老闸2m	改建
13		沙垟2#水闸	3	1.5	13.8	现状老闸2m	改建
14		农渠涵闸	3	2.0	13.2	4m	新建
15		沙垟下河闸	3	1.5	15.0	4m	新建
16		涵闸2	3	2.5	14.4	4m	新建
17		涵闸3	3	1.0	12.0	4m	新建
18		涂头前河闸	3	2.0	14.0	6m	新建
19		涵闸4	3	0.5	14.5	6m	新建
20		涵闸5	3	0.5	15.0	6m	新建
21		石埠水闸	6	1	28.6	10m	改建
22	陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片	龟岩水闸	3	1.5	5.9	现状老闸2.5m	改建
23		碧山水闸	6	1	31.1	规划水闸宽度6m，本次复核	新建
24		涂厂水闸	6	0	59.9	规划水闸宽度6m，本次复核	改建
25		渡头水闸	15	0	202.1	规划水闸宽度15m，本次复核	新建
26		洲渎水闸	6	0.5	48.4	规划水闸宽度6m，本次复核	新建
27		塔山水闸	12	0.5	95.7	规划水闸宽度12m，本次复核	改建
28		浦底水闸	15	-1.7	151.6	规划水闸宽度15m，本次复核	改建
29	白莲片	下湾水闸	5	0	40.8	规划水闸宽度5m，本次复核	改建
30		七国垟水闸	4	-1.5	24.1	规划水闸宽度4m，本次复核	改建

4.10.4 配套水闸调度行原则

根据《瑞安市金潮港流域综合规划修编》、《瑞安市陶山平原防洪排涝规划》和《瑞安市潘岱片水系综合治理规划》，陶山镇碧山片和桐浦镇片河道常水位 3.0m，潘岱街道白莲片河道常水位 3.6m，其余片区未编制相关规划，无特征水位。本次工程水闸调度运行原则如下：

（1）平阳坑片

汛期接降雨预报，当闸前水位高于 3.5m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪；洪水过后，当水位回落至 3.3m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量进行提前预泄，根据飞云江涨落潮水位情况，可预泄至 2.5~3.0m。

（2）马屿镇梅屿片

汛期接降雨预报，当柴下水闸、杨家水闸、霞岙水闸前水位高于 4.0m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.8m 时，水闸关闸蓄淡；冯渡水闸、马上水闸、马中水闸、河溪水闸前水位高于 3.5m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.3m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量可提前进行预泄至 3.0~3.5m。

（3）陶山镇荆谷片

汛期接降雨预报，当闸前水位高于 3.0m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 2.8m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量可提前进行预泄至 2.5m。

（4）陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片

汛期接降雨预报，当片区水闸前水位高于 3.0m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.0m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量可提前进行预泄至 2.5m。

（5）潘岱街道白莲片

汛期接降雨预报，当片区水闸前水位高于 3.6m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.6m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量可提前进行预泄至 2.0m，调度时当潘岱片水位高于起调水位且高于外海潮位 0.2m 时开闸放水，当潮位高于内河水位或内河水位低于起调水位 0.2m 时关闸。

由于本次工程涉及闸门较多，建议后期管理运行机构另行编制运行调度方案进行细化，结合瑞安市防汛要求，指导实际闸门调度需求。

建议平阳坑片、马屿梅屿片尽快编制片区排涝规划，对内部排水通道及排水路径进行规划沟通，使得涝水能够及时汇聚闸前排出；陶山平原排涝规划尽快实施，确定规划实施方案，确定排涝泵站规模，对片区内部排水通道及排水路径进行规划沟通，使得涝水能够及时汇聚闸前排出。由于排涝泵站建设关系到上游河道规模，和配套平原河网开挖拓宽等工程，泵站配套新开河道尚未施工，现状河道规模与泵站无法匹配，泵站建设时机尚未成熟，规划中配套渡头、碧山等片区泵站建议在本次工程中预留位置，留待片区排涝规划实施时，配套上游河网整治拓宽再行施工。

4.11 其他建筑物规模

（1）旱闸

本次工程部分堤线段采用路堤结合形式，利用现状道路作为堤防进行封闭，由于道路外侧有部分农田需实施耕种，需建设 3 座旱闸，保障通行。在陶山镇荆谷片建设 3 座旱闸，旱闸均为 1 孔×5m，底高程 3.30m，均为新建闸门。

（2）管理房及防汛仓库

考虑本工程建设后需进行管理。拟由瑞安市水利投资有限公司进行管理，该公司现有在编员工 20 名，办公用房位于东山街道滨江大道 368 号气象防汛大楼，实际面积 166.7m²。本次定员 36 名，其中 14 名在气象防汛大楼办公，其余 22 名考虑设置办公用房，按 11.36m²/人计算，合计办公用房 250m²。本工程需要设必要的资料档案室 80m²、调度中心 200m²，其它生产和生活用房建筑面积根据生产要求确定，设置建筑面积 570m²，共计 850m²，满足建筑面积按定编人数人均不大于 35m²的要求。综上，新建管理用房的建筑面积 1100m^2，位于平阳坑段堤防的征地红线范围内，相应平阳坑堤防桩号 1+332。

此外，本工程需要设必要的防汛仓库及防汛物资堆料场，主要用于存放砂石料、块石、土工布、电缆、发电机组等防汛抢险物资，设置防汛仓库 400m²。根据工程要求，设置防汛仓库 5 处，每处 80 m^2。平阳坑段防汛仓库位于桩号 PYK1+332，管理房旁边；马屿镇梅屿段防汛仓库位于桩号 MY2+631 处；陶山镇荆谷段防汛仓库位于桩号 JG1+770 处，七甲水闸旁边；璧山段防汛仓库位于桩号 BS5+342 处，渡头水闸旁边；白莲段防汛仓库位于桩号 BL0+047 处，下弯水闸旁边。5 处防汛仓库均位于征地红线范围内。

管理用房和防汛仓库规模和位置详细论证见报告第 14.6 节。

（3）其他设施

考虑堤防建设配套便民服务设施，新建便民服务点 4 处，景观节点 7 处。

平阳坑段便民服务点（二级驿站）位于桩号 PYK2+035 处，平阳坑公园旁；璧山段便民服务点（二级驿站）位于桩号 BS5+372 处，渡头水闸旁边，该处征地红线范围较大，也设置了防汛仓库；桐浦镇塔山至澄头段便民服务点（二级驿站）位于桩号 A0+460 处，洲渎村老协活动中心对面。白莲段便民服务点（二级驿站）位于桩号 BL1+664 处。4 处便民服务点（二级驿站）均位于征地红线范围内。

景观节点数量论证和节点设计详见第 5.9 节。

4.12 工程实施影响分析及处理

4.12.1 工程建设对上下游河道影响分析

飞云江干流赵山渡~铁路桥段现状仅建设有飞云江一期工程、高楼段堤防工程和桐田先行段工程（正在施工中），其余段未形成防洪闭合圈，当飞云江发生流域洪水时，往往淹没现状岸线涌入农田等低洼地区，尤其是金潮港下游陶山平原等地势较为低洼的小平原片区，堤防建设后，保护了这些城镇和乡村不受飞云江干流洪水侵袭，同时也使得飞云江干流洪水归槽，在工程建设后，飞云江干流河道洪水位均有不同程度的抬高，以 20 年一遇设计堤防频率为例，沿程各断面抬高水位 0～0.75m 不等，这是堤防建设产生的不利影响，可通过新建上下游堤防进行全面防护来消除这种不利影响，使得各个片区均达到规划防洪标准。同时上下游其余段堤防设计时已经考虑干流全线进行堤防建设的情况，根据流域防洪计算的成果，充分考虑各片区均建设防护堤防的情况，各片区的设计水位计算均满足全线堤防建设以后的规划防洪标准。

表 4.12-1　　工程建设前后飞云江干流洪水位对比表

位置	距赵山渡坝址距离（km）	工程建设前（m）			工程建设后（m）			外包水位差值（m
		20年洪水碰平均偏不利潮位	5年洪水碰20年潮位	20年一遇外包水位	20年洪水碰平均偏不利潮位	5年洪水碰20年潮位	20年一遇外包水位	
赵山渡坝下	0	14.98	13.52	14.98	15.58	14.84	15.58	0.6
龙湖镇	2.5	13.65	11.94	13.65	13.81	12.88	13.81	0.16
上马前村	6.34	13.29	11.58	13.29	13.33	12.33	13.33	0.04
滩脚	7.74	13.14	11.44	13.14	13.14	12.12	13.14	0
平阳坑	11.87	10.04	8.84	10.04	10.58	9.91	10.58	0.54
焦坑村	21.65	7.07	6.32	7.07	7.77	7.45	7.77	0.7
马屿镇	24.27	6.53	5.92	6.53	7.16	7.09	7.16	0.63
树排头村	28.31	5.72	5.49	5.72	6.18	6.47	6.47	0.75

位置	距赵山渡坝址距离（km）	工程建设前（m）			工程建设后（m）			外包水位差值（m
		20年洪水碰平均偏不利潮位	5年洪水碰20年潮位	20年一遇外包水位	20年洪水碰平均偏不利潮位	5年洪水碰20年潮位	20年一遇外包水位	
金潮港汇合	35.15	5.11	5.21	5.21	5.44	5.98	5.98	0.77
仙降镇	40.47	4.52	4.98	4.98	4.86	5.57	5.57	0.59
桐田垟	44.44	4.42	4.93	4.93	4.66	5.44	5.44	0.51
潘岱	47.64	4.32	4.89	4.89	4.54	5.36	5.36	0.47
白莲村	50.17	4.28	4.85	4.85	4.51	5.34	5.34	0.49
铁路桥	53.58	4.25	4.82	4.82	4.48	5.3	5.3	0.48
甬台温公路桥	56.4	4.15	4.79	4.79	4.16	5.04	5.04	0.25
飞云江大桥	59.4	4.09	4.79	4.79	4.08	4.98	4.98	0.19
瑞安大桥	65.22	4	4.86	4.86	3.94	4.93	4.93	0.07
上望	67.96	3.95	4.81	4.81	3.91	4.84	4.84	0.03

4.12.2 工程建设其他影响分析

本次堤防工程建设依照飞云江流域综合规划堤线进行布置，在局部段如平阳坑段由于结合现状高速、道路等情况进行退堤处理，相比较与规划堤线退堤 10~50m 不等；陶山镇荆谷段结合现状高速公路路基进行退堤处理，相比较规划堤线退堤 50~100m 不等，其余段均按照规划堤轴线进行布置，未占用水域。经与《浙江省飞云江流域（温州段）综合规划报告》规划堤线对比，平阳坑段增加水域面积 4.87 万 m^2；马屿梅屿段增加水域面积 5.86 万 m^2；荆谷段增加水域面积 25.05 万 m^2，碧山段增加水域面积 4.92 万 m^2，白莲段堤线优化顺直布置减少水域面积 0.95 万 m^2，本次工程合计增加水域面积 39.75 万 m^2。

工程实施后区域由现状的 5～10 年一遇飞云江洪水漫灌转变为堤防防护，区域涝水由现状排涝口门配套堤防建设闸门后排出，区域排涝可根据相关规范、规划要求达到 10 年一遇，村镇 24h 降雨 24h 排出不受淹，农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深。

4.13《可研》与《初设》工程调整情况

(1) 初设工程规模

根据上述内容分析，确定本次工程内容及规模为：·

（1）水利部分：新建堤防 21.77km；新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166m，其中马上水闸（3 孔×4 米）、河溪水闸（3 孔×5 米）、渡头水闸（3 孔×5

米）、浦底水闸（3 孔×5 米）；新建管理房 1 处、面积 1100m2，防汛仓库 5 处、总面积 400m^2。

（2）融合提升部分：新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。

本次初设工程内容及规模与可研一致。

表 4.13-1　　飞云江二期治理工程规模表

工程名称	单位	工程规模	备注
一、堤防工程		21.77	
1.平阳坑段	km	2.54	右岸，起点:徐山村,终点：外垟村
2.马屿镇梅屿段	km	2.28	左岸，起点:柴下村,终点：河溪水闸
3.陶山镇荆谷段	km	5.12	左岸，起点:八甲村,终点：金潮港汇合口
4.陶山镇碧山段	km	6.58	左岸：起点:龟岩,终点：桐田村
5.桐浦镇塔山至澄头	km	2.55	左岸，起点:洲渎村,终点：澄头村
6.白莲堤	km	2.70	左岸， 起点:白莲村,终点：白象村
二、水闸工程			
1.篁坑水闸	（m³/s）	16	新建
2.闸门 1	（m³/s）	14.9	新建
3.沙垟水闸	（m³/s）	19	新建
4.平阳坑水闸	（m³/s）	66.6	新建
5.柴下水闸	（m³/s）	13.7	新建
6.杨家水闸	（m³/s）	13.7	改建
7.霞岙水闸	（m³/s）	17.4	改建
8.冯渡水闸	（m³/s）	28.1	改建
9.马上水闸	（m³/s）	112.5	新建
10.马中水闸	（m³/s）	22.5	改建
11.河溪水闸	（m³/s）	208.8	新建
12.七甲水闸	（m³/s）	8.5	改建
13.沙垟 2#水闸	（m³/s）	13.8	改建
14.农渠涵闸	（m³/s）	13.2	新建
15.沙垟下河闸	（m³/s）	15	新建
16.涵闸 2	（m³/s）	14.4	新建
17.涵闸 3	（m³/s）	12	新建
18.涂头前河闸	（m³/s）	14	新建
19.闸门 4	（m³/s）	14.5	新建
20.闸门 5	（m³/s）	15	新建

工程名称	单位	工程规模	备注
21.石埠水闸	（m³/s）	28.6	改建
22.龟岩水闸	（m³/s）	5.9	改建
23.碧山水闸	（m³/s）	31.1	新建
24.涂厂水闸	（m³/s）	59.9	改建
25.渡头水闸	（m³/s）	202.1	新建
26.洲渎水闸	（m³/s）	48.4	新建
27.塔山水闸	（m³/s）	95.7	改建
28.浦底水闸	（m³/s）	151.6	改建
29.下湾水闸	（m³/s）	40.8	改建
30.七国垟水闸	（m³/s）	24.1	改建
三、旱闸	座	3	由于道路外侧有部分农田需实施耕种，需建设 3 座旱闸，保障通行。在陶山镇荆谷片
四、管理用房	m^2	1100	与可研相同
五、防汛仓库	m^2	400	与可研相同
六、其他设施			与可研相同
便民服务点	个	4	与可研相同
景观节点	个	7	与可研相同

（2）治理标准及设计水位

本次对《可研》阶段的防洪和治涝标准进行复核；通过多种方法对设计水位进行复核，认为方法合适，成果合理，满足规范要求。经分析，治理标准和设计水位均沿用可研阶段成果。

（3）堤线布置

经复核，《可研》阶段的堤线满足相关规划的要求，本次结合新测地形资料，对各段堤防工程的堤线进行了复核。除桐浦塔山至澄头段调整堤防轴线避让隆真寺、州渎村老协活动中心以及古树外，其余堤轴线与可研一致。变化原因为：为避让寺庙及古树，对 3 处堤轴线进行微调（外移 3~8m），经复核不影响行洪。

5　工程布置及建筑物

5.1　设计依据

5.1.1　依据的主要文件

1)《浙江省飞云江流域水利规划报告》(1994 年)，浙江省水利水电勘测设计院编制；

2)《浙江省飞云江流域防洪规划报告》(2002 年)，温州市水利水电勘测设计院编制；

3)《浙江省瑞安市金潮港流域综合规划报告》(2011 年 3 月)，浙江省水利水电勘测设计院编制；

4)《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址~铁路桥段堤线调整专题研究报告》(2013 年)，浙江省水利水电勘测设计院编制。

5)《浙江省飞云江流域(温州段)综合规划报告(2015－2030 年)》，温州市水利水电勘测设计院编制。

6）《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》（2023.2）(浙江省水利水电勘测设计院有限公司)。

5.1.2　依据的相关规范、规程、标准

（1）《水利水电工程初步设计报告编制规程》（SL/T619-2021）；

（2）《河道整治设计规范》（GB50707-2011）；

（3）《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）；

（4）《防洪标准》（GB50201-2014）；

（5）《城市防洪工程设计规范》（GB/T50805-2012）；

（6）《水利水电工程等级划分及洪水标准》（SL252-2017）；

（7）《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL44-2006)；

（8）《水工混凝土结构设计规范》（SL191—2008）；

（9）《水工建筑物荷载设计规范》（SL744－2016）；

（10）《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60－2015)；

（11）《城市桥梁设计规范》（CJJ11-2011）；

（12）《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)；

（13）《建筑基坑工程监测技术规范》（GB50497-2019）；

（14）《水工混凝土施工规范》（SL677-2014）；

（15）《水利工程建设标准强制性条文（2020 年版）》；

（17）《水利水电工程边坡设计规范》（SL386－2007）；

（18）《水闸设计规范》（SL265－2016）；

（19）《水工建筑物抗震设计规范》（SL203－97）；

（20）《建筑地基基础设计规范》（GB50007－2011）；

（21）《建筑地基处理技术规范》（JGJ79－2012）；

（22）《水工挡土墙设计规范》（SL379－2007）；

（23）《混凝土结构通用规范》（GB55008-2021）；

（24）《公路加筋土工程设计规范》（JTJ015－91）；

（25）《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTGD62－2012）；

（26）《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTGD63－2007）；

（27）《城市桥梁设计规范》（CJJ11－2011）；

（28）《水利水电工程量计算规定》（SL328-2005）；

（29）《公园设计规范》（GB51192-2016）；

（30）《城市工程管线综合规划规范》（GB50289-2016）；

（31）《水利工程建设标准强制性条文》（2020 年版）；

（32）《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》（SL654-2014）；

（33）《水工建筑物抗震设计标准》（GB51247-2018）；

（34）《浙江省海塘工程技术规定》（上、下册），浙江省水利厅；

（35）《浙江省建筑基坑工程技术规程》（DB33T1096-2014）；

（36）《堤防工程管理设计规范》（SL171-2020）；

（37）《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建（试行）》（2014 年）；

（38）《低影响开发雨水综合利用技术规范》（SZDB/Z145-2015）；

其它现行的有关国家及行业标准、规范及规程。

5.1.3 工程基本资料

5.1.3.1 工程规模

1)堤防规模

本工程堤防治理长度 21.77km，各段堤防的设计水位详见表 5.1-1。

表 5.1-1　　各段堤防规模及设计水位成果

堤段	起点	终点	岸别	本次治理长度（km）	规划标准（年）	设计洪水位(m)
平阳坑段0~2540	徐山村	外垟村	右	2.54	20	11.38~10.16
马屿镇梅屿段0~2280	柴下村	金梅水闸	左	2.28	20	7.68~6.61
陶山镇荆谷段0~5120	八甲村	金潮港汇合口	左	5.12	20	6.61～5.99
陶山镇碧山段0~6580	龟岩	桐田村	左	6.58	20	5.81～5.52
桐浦镇塔山至澄头0~2550	洲渎村	澄头村	左	2.55	20	5.52～5.41
白莲堤0~2700	白莲村	白象村	左	2.70	20	5.34～5.30
合计				21.77		

2)沿线水闸规模

本工程共布置水闸(站)共 30 座，各水闸(站)规模见表 5.1-2。

表 5.1-2　　飞云江治理二期工程沿线新建/改建水闸汇总表

片区	水闸编号	水闸名称	闸宽(m)	闸底高程(m)	内河侧常水位	内河侧设计水位 P=10%	外河侧设计水位	外河侧校核水位	建设性质
平阳坑片	1	篁坑水闸	1孔×4m	2.00	5.50	6.94	10.96	12.10	新建
	2	涵闸1	1孔×3m	3.50	5.50	6.94	10.71	11.85	新建
	3	沙垟水闸	1孔×4m	2.00	5.50	6.94	10.71	11.85	新建
	4	平阳坑闸	2孔×4m	0.50	5.50	7.46	10.17	11.31	新建
马屿镇梅屿片	5	柴下水闸	1孔×3m	2.00	3.00	5.96	7.69	8.71	新建
	6	杨家水闸	1孔×3m	2.00	3.00	5.96	7.52	8.36	新建
	7	霞岙水闸	1孔×3m	2.00	3.00	4.97	7.43	8.45	改建
	8	冯渡水闸	1孔×3m	2.50	3.00	4.97	7.15	8.25	改建
	9	马上水闸	3孔×4m	0.50	3.00	4.97	7.10	8.11	新建
	10	马中水闸	1孔×3m	1.00	3.00	4.97	6.93	7.88	改建
	11	河溪水闸	3孔×5m	-1.00	3.00	4.97	7.42	7.42	新建
陶山镇荆谷片	12	七甲水闸	1孔×3m	1.00	3.00	4.11	6.43	7.11	改建
	13	沙垟2#水闸	1孔×3m	1.50	3.00	4.09	6.20	6.87	改建
	14	农渠涵闸	1孔×3m	2.00	3.00	3.94	6.13	6.81	改建
	15	沙垟下河闸	1孔×3m	1.50	3.00	3.89	6.09	6.69	改建
	16	涵闸2	1孔×3m	2.50	3.00	3.82	6.09	6.89	新建
	17	涵闸3	1孔×3m	1.00	3.00	3.74	6.08	6.54	新建

片区	水闸编号	水闸名称	闸宽(m)	闸底高程(m)	内河侧常水位	内河侧设计水位P=10%	外河侧设计水位	外河侧校核水位	建设性质
	18	涂头前河闸	1孔×3m	2.00	3.00	3.69	6.07	6.47	新建
	19	涵闸4	2孔×3m	0.50	3.00	3.72	6.02	6.35	新建
	20	涵闸5	2孔×3m	0.50	3.00	3.72	6.02	6.29	新建
	21	石埠水闸	2孔×3m	1.00	3.00	3.72	6.03	6.24	改建
陶山镇碧山片	22	龟岩水闸	1孔×3m	1.50	3.00	4.11	5.81	6.13	改建
	23	碧山水闸	2孔×3m	1.00	3.00	4.11	5.78	6.09	新建
	24	涂厂水闸	2孔×3m	0.00	3.00	4.11	5.73	5.71	改建
	25	渡头水闸	3孔×5m	0.00	3.00	4.11	5.48	5.82	新建
	26	洲渎水闸	2孔×3m	0.50	3.00	4.1	5.43	5.82	新建
	27	塔山水闸	3孔×4m	0.50	3.00	4.1	5.42	5.74	改建
	28	浦底水闸	3孔×5m	-1.70	3.00	4.1	5.39	5.79	改建
白莲堤	29	下湾水闸	1孔×5m	0.00	3.00	3.55	5.34	5.68	改建
	30	七国垟水闸	1孔×4m	-1.50	3.00	3.55	5.33	5.65	改建

注：本工程堤防沿线共布置交叉建筑物闸站 30 座。马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸过闸流量大于 100m^3/s，建筑物级别为 3 级，其余水闸建筑物级别为 4 级。

5.1.3.2 地质资料

5.1.3.2.1 堤防工程

本工程共设计 6 段堤防，以下对各堤段的地质概况进行分别叙述。

(1)平阳坑段防洪堤地质概况

本段I_0杂填土、I_1层耕植土，不宜直接作为堤基及护坡持力层；II_1层粉质粘土，强度中等，土质尚可，性质变化较大，分布不均，该层虽可考虑作为拟加固堤防工程天然地基基础持力层，但应对下部软弱层进行强度及变形验算；III_1淤泥夹粉砂、III_2层淤泥和III_3层淤泥质粘土，强度较低，性质较差，高压缩性，为加载后最易产生沉降和失稳的地层，设计应进行沉降和稳定验算；IV层含粘土角砾，为残坡积土，强度中等，性质尚可；VI层卵石、VII层全风化~强风化凝灰岩、弱风化凝灰岩，强度均高，性质均好，可考虑作为桩基持力层

(2)马屿镇梅屿段防洪堤地质概况

本段防洪堤土层为多元结构，上部II_1层粉质粘土性质较好，但厚度不稳定；II2 淤

泥、III1 淤泥、粉土互层、III2 层淤泥和III3 层淤泥质粘土、IIIsil 层淤泥，含水量高，孔隙比较高，主要呈流塑状，为高压缩性、低强度软土，性质很差，为本工程地基压缩变形与失稳控制的主要土层，设计应验算其沉降和抗滑稳定性，加强对堤基及护坡的保护，防止冲刷掏空从而发生侧向滑移。

IIIsis 层含泥质砂松散，局部分布，厚度不均；IV层粘土，饱和，软塑状，局部可塑状，高压缩性，强度一般，性质一般。

VI层砂砾卵石，强度较高，性质较好，可作为桩基持力层。

建议开挖边坡：II1 粉质粘土、III1 淤泥夹粉土、IIIsis 层含泥中砂 1:3.5~1:4.0，III2 淤泥 1:4.0~1:6.0。

(3)陶山镇荆谷段飞云江干流防洪堤地质概况

本段河道为感潮河段，沉积环境为陆海相交替，土层呈现为多元结构，

上部II1 层粉质粘土性质较好，但厚度不稳定，部分地段缺失，而下伏的II2 层淤泥、III1 淤泥、粉土互层、III2 层淤泥、IIIsil 层淤泥和III3 层淤泥质粘土，含水量高，孔隙比较高，主要呈流塑状，为高压缩性、低强度软土，性质很差，为本工程地基压缩变形与失稳控制的主要土层，设计应验算其沉降和抗滑稳定性，加强对堤基及护坡的保护，防止冲刷掏空从而发生侧向滑移。

IIIsis 层含泥粉砂松散，局部分布，厚度不均；IV层含砂粉质粘土，可塑状，中等压缩性，强度一般，性质一般，分布不稳定。

VI层砂砾卵石，强度较高，性质较好，可作为桩基持力层。

建议开挖边坡：II1 粉质粘土、III1 淤泥、粉土互层、IIIsis 层含泥粉砂 1:3.5~1:4.0，II2 淤泥、IIIsil 淤泥 1:4.0~1:6.0。

(4)陶山镇碧山段及桐浦塔山至澄头段防洪堤地质概况

本段河道为感潮河段，为陆海相交替沉积环境，土层呈现为多层结构，上部II1 层粉质粘土性质较好，但厚度较小，而下伏的II2 层淤泥、III1 淤泥、粉土、IIIsil 层、III2 层淤泥和III3 层淤泥质粉质粘土，含水量高，孔隙比较高，主要呈流塑状，为高压缩性、低强度软土，性质很差，为本工程地基压缩变形与失稳控制的主要土层，设计应验算其沉降和抗滑稳定性，加强对堤基及护坡的保护，防止冲刷掏空从而发生侧向滑移。

IV粘土仅局部分布，厚度较小。VI层砂砾卵石，强度较高，性质较好，可作为桩基持力层。

建议开挖边坡：II1 粉质粘土、III1 淤泥夹粉土 1:3.5~1:4.0，II2 淤泥、III2 淤泥

1:4.0~1:6.0。

(5)白莲段防洪堤地质概况

I0 层碎块石、素填土(老堤基及堤内I层素填土相对较好)、II1 层粉质粘土，抗剪性能较差，且II1 层粉质粘土厚度较小，不建议作为上部建筑物的地基持力层。

III1 淤泥夹粉土、III2 层、IIIsil 层淤泥和III3 层淤泥质粘土，含水量高，孔隙比较高，主要呈流塑状，为高压缩性、低强度软土，性质较差，在荷载作用下，其压缩变形显著，并易产生不均匀沉降，为本工程地基压缩变形与失稳控制的主要土层。设计时应注意地基的整体性，并进行抗滑移处理，可采用增设镇压层或在堤脚布一定长度的抗滑桩等方法，增强其抗滑稳定性，加强对堤基及护坡的保护，防止冲刷掏空引起侧向滑移发生。IV粘土，饱和，软塑状，局部可塑状，高压缩性，强度一般，性质一般。

VI层砂砾卵石，强度较高，性质较好，可作为桩基持力层。

各段堤防土层物理力学指标建议值表如下：

表 5.1-3　　平阳坑段堤防土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	含水量	土的密度	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		固 快法		快剪法		地基参数			
													水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩
																				桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_0	ρ_0	γ	e_0	Gs	ω_L	ω_P	I_P	I_L	α_{1-2}	E_{s1-2}	Kh	Kv	c	φ	c	φ	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(g/cm^3)	(N/cm^3)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																					
0-1	杂填土																					
0-2	素填土	30.3	1.85	18.1	0.937	2.74	36.60	20.20	16.50	0.61	0.37	5.4		3.20E-06								
0-3	耕土																					
①$_1$	粉质粘土	27.8	1.88	18.5	0.858	2.73	34.50	19.00	15.50	0.57	0.34	5.4	4.35E-06	3.60E-06	14.2	14.5	11.0	12.5	100	10		12
①$_2$	淤泥质粉质粘土	41.3	1.78	17.4	1.176	2.74	36.30	19.70	15.90	1.30	0.61	3.7	2.85E-06	8.60E-07	7.9	17.0	6.5	7.6	60	6.5		6
1 夹	砂、砾石															（26）		（26）	150	26		
②$_1$	淤泥	59.6	1.64	16.0	1.696	2.76	52.60	28.20	24.50	1.28	1.25	2.2	2.73E-06	4.20E-06	9.2	7.9	6.0	3.3	45	5		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	31.8	1.85	18.1	0.945	2.73	36.50	21.10	15.40	0.70	0.36	5.4			10.0	12.0	8.5	10.0	65	6.5		6
④$_1$	粉质粘土	25.8	1.94	19.0	0.767	2.73	32.70	18.30	14.50	0.52	0.30	6.0	4.60E-06	2.80E-06	18.0	20.0	15.0	13.5	120	14		
④$_3$	圆砾															（30）		（30）	320	30	1300	
④$_{3f}$	淤泥质粘土	46.1	1.74	17.0	1.315	2.74	41.40	22.30	19.10	1.25	0.88	3.2	1.50E-07	4.80E-07					65	6		
⑩$_2$	强风化凝灰岩																		600	70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																		2000	100	3000	

表 5.1-4　　梅屿段堤防土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	含水量	土的密度	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		固 快法		快剪法		地基参数			
													水平	垂直	粘 聚力	内摩擦 角	粘 聚力	内摩擦角	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩
																				桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_0	ρ_0	γ	e_0	Gs	ω_L	ω_P	I_P	I_L	$\alpha_{1\text{-}2}$	$E_{s1\text{-}2}$	Kh	Kv	c	φ	c	φ	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(g/cm^3)	(N/cm^3)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																					
0-1	杂填土																					
0-2	素填土	31.1	1.83	17.9	0.966	2.74	37.30	20.70	16.70	0.62	0.44	4.6	3.50E-06	1.60E-07			10.7	9.7				
0-3	耕土	30.1	1.90	18.6	0.884	2.74	37.00	20.10	16.90	0.58	0.37	5.5		2.60E-06								
①$_1$	粉质粘土	28.0	1.89	18.5	0.857	2.73	34.70	19.30	15.40	0.56	0.34	5.8	3.00E-06	3.10E-06	14.2	20.4	10.8	15.5	100	10		12
①$_2$	淤泥质粘土	43.5	1.77	17.3	1.233	2.74	39.20	21.50	17.80	1.25	0.80	2.9			10.0	11,5	6.2	6.9	60	6.5		6
②$_1$	淤泥	61.3	1.59	15.6	1.795	2.76	52.60	28.20	24.50	1.35	1.80	1.6			8.1	8.5	6.0	3.3	45	4.5		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	35.8	1.79	17.6	1.083	2.74	37.70	20.80	17.00	0.96	0.54	4.4	1.83E-06	1.65E-06	12.9	14.0	8.0	8.6	65	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	25.0	1.92	18.8	0.762	2.70	33.90	19.20	15.50	0.52	0.25	7.3	6.67E-06		7.0	22.0	5.0	17.6	140	14		
②夹	卵石															(32)		(32)	200	25		
②$_3$	淤泥	56.4	1.66	16.3	1.609	2.76	49.90	26.70	23.20	1.27	1.21	2.2		3.50E-07			6.2	3.4	50	5		4.5
③$_1$	淤泥质粘土	46.6	1.73	17.0	1.333	2.75	43.00	23.10	19.90	1.17	0.92	2.6	3.90E-07	2.20E-06	9.5	9.3	8.2	5.7	60	6		
④$_1$	粉质粘土	26.7	1.97	19.3	0.753	2.73	33.30	18.50	14.80	0.55	0.34	5.3			16.5	19.6	13.5	11.4	130	22		
④$_2$	粘土	35.8	1.86	18.2	1.017	2.75	42.10	22.60	19.50	0.71	0.55	3.7		2.20E-06	13.5	11.0	11.1	9.0	110	20		
⑤$_3$	圆砾																		300	38	1700	
⑤$_{3J}$	含砾粉质粘土	24.1	1.95	19.1	0.737	2.72	30.40	17.50	12.80	0.51	0.31	6.1							180	25	800	

表 5.1-5　　荆谷段堤防土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	含水量	土的密度	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		固 快法		快剪法		地基参数			
													水平	垂直	粘 聚力	内摩擦 角	粘 聚力	内摩擦角	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩
																				桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_0	ρ_0	γ	e_0	Gs	ω_L	ω_P	I_P	I_L	α_{1-2}	E_{s1-2}	Kh	Kv	c	φ	c	φ	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(g/cm^3)	(N/cm^3)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-3	耕土																					
①$_1$	粉质粘土	30.8	1.85	18.1	0.943	2.74	36.50	19.70	16.70	0.66	0.44	4.8		8.90E-08	13.6	13.4	10.3	12.1	100	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	40.0	1.77	17.4	1.162	2.74	36.20	19.70	16.60	1.23	0.61	3.7			9.6	8.9	7.1	6.0	60	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	37.4	1.81	17.7	1.087	2.74	39.30	21.30	18.00	0.91	0.51	4.4	8.90E-08	8.90E-08	11.8	13.6	8.4	9.0	65	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	29.7	1.83	17.9	0.919	2.70	36.10	19.60	16.50	0.64	0.39	5.9			(6.5)	(20.0)	4.5	17.0	140	13		14
②$_3$	淤泥	60.1	1.62	15.9	1.723	2.76	52.70	28.20	24.50	1.30	1.34	2.1		4.90E-07	10.8	8.5	6.9	3.3	455	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	46.9	1.72	16.9	1.345	2.75	43.50	23.30	20.10	1.17	0.95	2.5	4.70E-07	4.60E-07	11.5	9.6	8.4	5.9	60	6		6
③$_2$	粘土	33.5	1.80	17.6	1.043	2.74	39.50	21.50	18.00	0.64	0.56	4.3			13.0	10.5	10.8	8.9	80	19		
3 夹	圆砾															（28）		（28）	180	28		
④$_1$	粉质粘土	30.8	1.91	18.8	0.874	2.74	37.00	20.00	17.00	0.64	0.42	4.7			17.0	18.3	13.5	11.4	120	22		
④$_2$	粘土	37.1	1.86	18.2	1.030	2.75	43.50	23.40	20.20	0.68	0.50	4.9			13.0	11.0	10.8	9.0	105	19		
④$_3$	圆砾															（32）		（32）	300	35	1500	
④$_{3f}$	粘土	33.4	1.86	18.2	0.981	2.74	39.30	21.80	17.50	0.59	0.85	2.7							100	22		
④$_{3g}$	中砂																		160	25		
⑤$_2$	粉质粘土	33.0	1.85	18.1	0.969	2.73	33.30	18.60	14.70	0.99	0.65	3.0							70	15		
⑤$_3$	卵石																		320	40	1800	
0-3	耕土																					
①$_1$	粉质粘土	30.8	1.85	18.1	0.943	2.74	36.50	19.70	16.70	0.66	0.44	4.8		8.90E-08	13.6	13.4	10.3	12.1	100	11		11
⑤$_3$	卵石																		320	40	1800	

表 5.1-6　　碧山段堤防土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	含水量	土的密度	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		固 快法		快剪法		地基参数			
													水平	垂直	粘 聚力	内摩擦角	粘 聚力	内摩擦角	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩
																				桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_0	ρ_0	γ	e_0	Gs	ω_L	ω_P	I_P	I_L	$\alpha_{1\text{-}2}$	$E_{s1\text{-}2}$	Kh	Kv	c	φ	c	φ	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(g/cm^3)	(N/cm^3)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																					
0-1	杂填土																					
0-2	填土	31.2	1.85	18.2	0.939	2.73	35.50	19.90	15.70	0.74	0.65	3.0	8.60E-07		15.3	11.0	10.8	9.0				
0-3	耕土	47.6	1.78	17.4	1.303	2.75	43.50	23.40	20.10	1.20	0.88	2.7			9.6	11.8	7.1	6.0				
①$_1$	粉质粘土	32.6	1.85	18.1	0.963	2.74	36.90	20.10	16.80	0.75	0.56	3.7	2.60E-06	2.13E-06	13.2	13.4	9.9	11.4	100.0	10.0		12
①$_2$	淤泥质粘土	41.4	1.77	17.4	1.192	2.74	38.10	20.50	17.60	1.19	0.72	3.2	1.90E-07	7.80E-08	10.2	8.5	7.9	5.7	60.0	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	40.5	1.77	17.4	1.172	2.74	37.00	20.10	16.90	1.22	0.63	3.7	3.33E-06	5.58E-06	10.7	14.5	7.8	8.7	60.0	6.0		5.5
②$_{2b}$	粉、细砂夹淤泥	23.2	1.93	18.9	0.724	2.69	28.30	16.70	11.60	0.37	0.29	6.3			7.0	22.0	4.5	17.5	140.0	14.0		
②$_3$	淤泥	60.3	1.63	16.0	1.714	2.76	52.70	28.20	24.50	1.31	1.41	2.0	4.50E-07		10.4	8.5	7.6	3.6	40.0	40.0		4
③$_1$	淤泥质粘土	46.3	1.73	17.0	1.323	2.75	42.90	23.00	19.90	1.17	0.93	2.5			12.1	9.8	8.4	5.5	60.0	6.0		6
③$_2$	粘土	44.0	1.75	17.2	1.265	2.76	47.70	25.60	22.20	0.83	0.84	2.7				10.2	10,7	6.5	70.0	16.0		
④$_3$	圆砾															(32)		(32)	300.0	35	1500	
⑩$_2$	强风化凝灰岩																		600	70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																		2000	100	3000	

表 5.1-7　　桐浦段堤防土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	含水量	土的密度	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		固 快法		快剪法		地基参数			
													水平	垂直	粘 聚力	内摩擦角	粘 聚力	内摩擦角	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩
																				桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_0	ρ_0	γ	e_0	Gs	ω_L	ω_P	I_P	I_L	$\alpha_{1\text{-}2}$	$E_{s1\text{-}2}$	Kh	Kv	c	φ	c	φ	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(g/cm^3)	(N/cm^3)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	淤泥																					0-0
0-1	杂填土	40.9	1.79	17.5																		0-1
0-2	素填土														10.7	14.5	7.8	8.7				0-2
0-3	耕土																					0-3
①$_1$	粘土	44.9	1.80	17.6	1.223	2.76	47.80	25.60	22.20	0.87	0.78	2.9		1.40E-07	13.6	8.7	10.0	6.0	8		10	①$_1$
①$_2$	淤泥质粘土	42.2	1.79	17.6	1.178	2.74	38.40	20.80	17.60	1.22	0.75	3.1			10.0	8.0	7.4	5.0	6.5		6	①$_2$
②$_1$	淤泥	68.0	1.59	15.5	1.927	2.76	54.50	29.30	25.20	1.54	1.81	1.6	5.60E-07	5.05E-07	9.2	6.1	7.1	3.1	4		4	②$_1$
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	49.5	1.71	16.8	1.416	2.75	45.10	24.40	20.80	1.18	0.95	2.7			10.2	7.8	8.2	7.4	5.5		5.5	②$_{2a}$
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥														7.0	20.0	4.5	16.5	12			②$_{2b}$
②$_3$	淤泥	57.4	1.65	16.1	1.639	2.76	51.20	27.40	23.80	1.26	1.39	2.0	6.80E-07	4.80E-07	9.3	6.5	7.4	3.8	4.5		4	②$_3$
③$_1$	淤泥质粘土	47.2	1.74	17.0	1.331	2.75	43.30	23.20	20.10	1.20	0.99	2.4	3.20E-07	3.25E-07	12.1	8.6	9.0	5.5	6		6	③$_1$
③$_2$	粘土	34.9	1.84	18.0	1.022	2.75	40.70	22.20	18.50	0.68	0.60	3.4	1.10E-07	1.40E-07	16.1	11.2	13.4	6.4	17			③$_2$
③$_3$	粉、细砂															(24.0)		(24.0)	20			③$_3$
④$_1$	粘土	33.4	1.91	18.7	0.926	2.74	39.80	22.00	17.70	0.60	0.51	4.4			17.6	11.1	12.8	9.0	21			④$_1$
④$_2$	粉质粘土	30.5	1.91	18.7	0.880	2.74	37.00	20.20	16.80	0.61	0.38	4.7	1.70E-06	2.20E-06			19.2	14.5	22			④$_2$
④$_3$	圆砾																		35	1400		④$_3$
⑤$_2$	粉质粘土	20.5	2.04	20.0	0.601	2.71	27.40	16.10	11.30	0.39	0.18	8.9							25			⑤$_2$
⑨$_1$	含碎石粉质粘土																		16			⑨$_1$
⑩$_2$	强风化凝灰岩																		60			⑩$_2$
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																		90	2800		⑩$_3$

表 5.1-8　　白莲段堤防土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	含水量	土的密度	土的重度	孔隙比	土的比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	渗透系数		固 快法		快剪法		地基参数			
													水平	垂直	粘 聚力	内摩擦 角	粘 聚力	内摩擦角	地基承载力特征值	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩
																				桩周土侧阻力	桩端土端阻力	
		ω_0	ρ_0	γ	e_0	Gs	ω_L	ω_P	I_P	I_L	α_{1-2}	E_{s1-2}	Kh	Kv	c	φ	c	φ	f_{ak}	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(%)	(g/cm^3)	(N/cm^3)			(%)	(%)			(MPa^{-1})	(MPa)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥																					
0-1	杂填土														10.8	8.5	6.9	3.3				
0-2	素填土														15.0	11.0	10.5	9.0	80	9		
0-3	耕土																					
①$_1$	粉质粘土	30.5	1.86	18.2	0.928	2.74	35.80	19.50	16.40	0.68	0.48	4.1	3.33E-06	3.30E-07	13.7	13.1	10.7	10.0	100	10.5		12
①$_2$	淤泥质粘土	44.7	1.77	17.4	1.246	2.75	41.50	22.30	19.20	1.17	0.77	3.1			11.3	8.2	7.9	5.3	55	6		6
②$_1$	淤泥	64.2	1.63	16.0	1.782	2.76	53.30	28.50	24.80	1.44	1.69	1.7		5.60E-07	9.0	7.5	7.4	3.0	40	4		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	38.3	1.79	17.5	1.126	2.75	41.00	22.40	18.60	0.89	0.57	4.1	1.33E-06	2.50E-06	10.3	11.0	8.0	8.6	65	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	26.7	1.93	18.9	0.773	2.69					0.32	5.2			6.5	21.0	4.5	17.2	140	13		14
②$_3$	淤泥	62.1	1.61	15.7	1.789	2.76	53.20	28.50	24.70	1.36	1.56	1.8	4.80E-07	4.85E-07	10.3	8.2	7.4	3.0	45	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	46.6	1.73	17.0	1.331	2.75	43.10	23.10	19.90	1.18	1.00	2.3	6.00E-07		13.1	10.3	10.8	4.4	60	6		
③$_2$	粘土	39.3	1.80	17.7	1.126	2.75	43.40	23.30	20.10	0.80	0.78	2.8			13.6	10.5	12.4	4.7	80	17		
④$_1$	粉质粘土	28.0	1.93	18.9	0.819	2.73	34.50	19.40	15.00	0.56	0.37	5.2			17.8	18.5	14.2	11.6	120	24		
④$_3$	圆砾															（32）		（32）	280	35	1500	
④$_{3g}$	粉质粘土混中粗砂	25.8	1.92	18.8	0.756	2.68					0.33	5.6			17.0	18.3	13.5	11.4	130	25		
⑨	含碎石粉质粘土	20.0	1.93	18.9	0.685	2.71	27.00	15.80	11.20	0.38	0.20	8.4							150	25		
⑩$_2$	强风化凝灰岩																		600	70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩																		2000	100	3000	

5.1.3.2.2 水闸工程

(1) 篁坑水闸

篁坑水闸为新建水闸，位于平阳坑镇篁坑村，拟建平阳坑防洪堤中段，飞云江右岸的支流上，拟建篁坑水闸规模为 1 孔×4m，设计底板闸底高程为 2.00m。

表 5.1-9　　篁坑水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
0-2	素填土	18.1		3.20E-06					
①$_1$	粉质粘土	18.5	4.35E-06	3.60E-06	11.0	12.5	10		12
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4	2.85E-06	8.60E-07	6.5	7.6	6.5		6
1 夹	砂、砾石					（26）	26		
②$_1$	淤泥	16.0	2.73E-06	4.20E-06	6.0	3.3	5		4
④$_3$	圆砾					（30）	30	1300	
④$_{3f}$	淤泥质粘土	17.0	1.50E-07	4.80E-07			6		

(2) 涵闸 1

涵闸 1 为新建水闸，位于平阳坑镇平阳坑村，拟建平阳坑防洪堤中段，飞云江右岸的支流上，拟建涵闸 1 规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 3.50m。

表 5.1-10　　涵闸 1 土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.5	4.35E-06	3.60E-06	11.0	12.5	10		12
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4	2.85E-06	8.60E-07	6.5	7.6	6.5		6
②$_1$	淤泥	16.0	2.73E-06	4.20E-06	6.0	3.3	5		4
④$_3$	圆砾					（30）	30	1300	
④$_{3f}$	淤泥质粘土	17.0	1.50E-07	4.80E-07			6		

(3) 沙垟水闸

沙垟水闸为新建水闸，位于平阳坑镇平阳坑村，拟建平阳坑防洪堤中段，飞云江右岸的支流上，拟建沙垟水闸规模为 1 孔×4m，设计底板闸底高程为 2.00m。

表 5.1-11　　沙垟水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
0-2	素填土	18.1		3.20E-06					
①$_1$	粉质粘土	18.5	4.35E-06	3.60E-06	11.0	12.5	10		12
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4	2.85E-06	8.60E-07	6.5	7.6	6.5		6
1 夹	砂、砾石					（26）	26		
②$_1$	淤泥	16.0	2.73E-06	4.20E-06	6.0	3.3	5		4
④$_3$	圆砾					（30）	30	1300	
④$_{3f}$	淤泥质粘土	17.0	1.50E-07	4.80E-07			6		

(4) 平阳坑水闸

平阳坑水闸为新建水闸，位于马屿镇清源村，拟建平阳坑防洪堤下游段，飞云江右岸的支流上，拟建平阳坑水闸规模为 2 孔×4m，设计底板闸底高程为 0.5m。

表 5.1-12　　平阳坑水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
0-2	素填土	18.1		3.20E-06					
①$_1$	粉质粘土	18.5	4.35E-06	3.60E-06	11.0	12.5	10		12
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4	2.85E-06	8.60E-06	6.5	7.6	6.5		6
1 夹	砂、砾石					（26）	26		
②$_1$	淤泥	16.0	2.73E-06	4.20E-06	6.0	3.3	5		4
④$_1$	粉质粘土	19.0	4.60E-06	2.80E-06	15.0	13.5	14		
④$_3$	圆砾					（30）	30	1300	

(5) 柴下水闸

柴下水闸为新建水闸，位于马屿镇柴桥头村，飞云江左岸的支流上，拟建柴下水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.0m。

表 5.1-13　　柴下水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
①$_1$	粉质粘土	18.5	3.00E-06	3.10E-06	10.8	15.5	10		12
①$_2$	淤泥质粘土	17.3			6.2	6.9	6.5		6
②$_1$	淤泥	15.6			6.0	3.3	4.5		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.6	1.83E-05	1.65E-05	8.0	8.6	6.5		6
②$_3$	淤泥	16.3		3.50E-07	6.2	3.4	5		4.5
④$_3$	卵石					(36.0)	35	1500	

(6) 杨家水闸

杨家水闸为新建水闸，位于马屿镇江北村，飞云江左岸的支流上，拟建杨家水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.0m。

表 5.1-14　　杨家水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
0-3	耕土	18.6		2.60E-06					
①$_1$	粉质粘土	18.5	3.00E-06	3.10E-06	10.8	15.5	10		12
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.6	1.83E-06	1.65E-06	8.0	8.6	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	18.8	6.67E-05		5.0	17.6	14		
②$_3$	淤泥	16.3		3.50E-07	6.2	3.4	5		4.5
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	3.90E-07	2.20E-06	8.2	5.7	6		
④$_3$	卵石					(36.0)	35	1500	

(7) 霞岙水闸

霞岙水闸为拆除重建，为原址改建，位于马屿镇江北村，飞云江左岸的支流上，拟建霞岙水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.0m。

表 5.1-15　　霞岙水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
①$_1$	粉质粘土	18.5	3.00E-06	3.10E-06	10.8	15.5	10		12
①$_2$	淤泥质粘土	17.3			6.2	6.9	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.6	1.83E-06	1.65E-06	8.0	8.6	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	18.8	6.67E-05		5.0	17.6	14		
②夹	卵石					(32)	25		
②$_3$	淤泥	16.3		3.50E-07	6.2	3.4	5		4.5
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	3.90E-07	2.20E-06	8.2	5.7	6		
④$_3$	卵石					(36.0)	35	1500	
④$_{3f}$	粉质粘土	18.1					11		

(9) 冯渡水闸

冯渡水闸为新建，位于马屿镇马上村，飞云江左岸的支流上，拟建马上水闸规模为 3 孔×4m，设计底板闸底高程为 2.5m。

表 5.1-16　　冯渡水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-2	素填土	17.9	3.50E-06	1.60E-07	10.7	9.7			
0-3	耕土	18.6		2.60E-06					
①$_1$	粉质粘土	18.5	3.00E-06	3.10E-06	10.8	15.5	10		12
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.6	1.83E-06	1.65E-06	8.0	8.6	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	18.8	6.67E-05		5.0	17.6	14		
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	3.90E-07	2.20E-06	8.2	5.7	6		
④$_1$	粉质粘土	19.3			13.5	11.4	22		
④$_2$	粘土	18.2		2.20E-06	11.1	9.0	20		

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
⑤$_1$	粉质粘土	19.4	4.00E-06	3.00E-06	14.8	15.2	19		
⑤$_3$	圆砾						38	1700	
⑤$_{3J}$	含砾粉质粘土	19.1					25	800	

(10) 马中

马中水闸为改建，位于马屿镇马上村，飞云江左岸的支流上，拟建马中水闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为1.0m。

表 5.1-17　　马中土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	17.9	3.50E-06	1.60E-07	10.7	9.7			
0-3	耕土	18.6		2.60E-06					
①$_1$	粉质粘土	18.5	3.00E-06	3.10E-06	10.8	15.5	10		12
①$_2$	淤泥质粘土	17.3			6.2	6.9	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.6	1.83E-05	1.65E-05	8.0	8.6	6.5		6
②$_3$	淤泥	16.3		3.50E-07	6.2	3.4	5		4.5
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	3.90E-07	2.20E-06	8.2	5.7	6		
④$_3$	卵石					(36.0)	35	1500	

(11) 河溪水闸

河溪水闸为新建，位于马屿镇马下村和陶山镇八甲村，飞云江左岸的支流上，拟建河溪水闸规模为3孔×5m，设计底板闸底高程为-1.00m。

表 5.1-18　　河溪水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
①$_1$	粉质粘土	18.5	3.00E-06	3.10E-06	10.8	15.5	10		12
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.6	1.83E-06	1.65E-06	8.0	8.6	6.5		6
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	18.8	6.67E-05		5.0	17.6	14		
②$_3$	淤泥	16.3		3.50E-07	6.2	3.4	5		4.5
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	3.90E-07	2.20E-06	8.2	5.7	6		
④$_1$	粉质粘土	19.3			13.5	11.4	22		
④$_2$	粘土	18.2		2.20E-06	11.1	9.0	20		
④$_3$	卵石					(36.0)	35	1500	
④$_{3f}$	粉质粘土	18.1					11		
⑤$_1$	粉质粘土	19.4	4.00E-06	3.00E-06	14.8	15.2	19		
⑤$_3$	圆砾						38	1700	

(12) 七甲水闸七甲水闸位于陶山镇七甲村，飞云江左岸的支流上，拟建七甲水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.00m。本项目拆除原七甲水闸，在上游 35m 左右重建新闸址位于老水闸上游 35m 左右。

表 5.1-19　　七甲水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	17.9			4.5	17.0	13		14
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
③$_2$	粘土	17.6			10.8	8.9	19		
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	

(13) 沙垟 2#水闸

沙垟 2#水闸为原址拆除重建，位于陶山镇沙垟村，飞云江左岸的支流上，拟建沙垟 2#水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.50m。

表 5.1-20　　沙垟 2#水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	17.9			4.5	17.0	13		14
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	

(14) 农渠涵闸

农渠涵闸为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建农渠涵闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.00m。拟建涵闸位于老闸上游约 95m 左右。

表 5.1-21　　农渠涵闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	17.9			4.5	17.0	13		14
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
3 夹	圆砾					（28）	28		
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	

(15) 沙垟下河闸

沙垟下河闸为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建沙垟下河闸规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为1.50m。拟建新闸位于老闸上游约20m左右。

表5.1-22 沙垟下河闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4			7.1	6.0	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
③$_2$	粘土	17.6			10.8	8.9	19		
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	

(16) 涵闸2

涵闸2为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建涵闸2规模为1孔×3m，设计底板闸底高程为1.50m。为原址拆除重建。

表5.1-23 涵闸2土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4			7.1	6.0	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	17.9			4.5	17.0	13		14

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		

(17) 涵闸 3

涵闸 3 为拆除重建水闸，位于陶山镇沙垟村，拟建涵闸 3 规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.50m。为原址拆除重建。

表 5.1-24　　涵闸 3 土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4			7.1	6.0	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	17.9			4.5	17.0	13		14
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
④$_1$	粉质粘土	18.8			13.5	11.4	22		
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	

(18) 涂头前河闸

涂头前河闸为拆除重建水闸，位于陶山镇涂头村，拟建涂头前河闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 2.00m。老闸位于拟建新闸下游约 50m。

表 5.1-25　　涂头前河闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4			7.1	6.0	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	17.9			4.5	17.0	13		14
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
④$_1$	粉质粘土	18.8			13.5	11.4	22		
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	

(19) 涵闸 4

涵闸 4 为新建水闸，位于陶山镇涂头村，拟建涵闸 4 规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.50m。

表 5.1-26　　涵闸 4 土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4			7.1	6.0	6.5		6
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥	17.9			4.5	17.0	13		14
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
③$_2$	粘土	17.6			10.8	8.9	19		
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	

(20) 涵闸 5

涵闸 5 为新建水闸，位于陶山镇涂头村，拟建涵闸 5 规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.50m。

表 5.1-27　　涵闸 5 土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
0-3	耕土								
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4			7.1	6.0	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	
⑤$_2$	粉质粘土	18.1					15		
⑤$_3$	卵石						40	1800	

(21) 石埠水闸

石埠水闸为新建水闸，位于陶山镇石埠村，拟建石埠水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.00m。

表 5.1-28　　石埠水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	素填土	18.0	2.21E-06		11.0	9.4	9		
①$_1$	粉质粘土	18.1		8.90E-07	10.3	12.1	11		11
①$_2$	淤泥质粉质粘土	17.4			7.1	6.0	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.7	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	6.5		6
②$_3$	淤泥	15.9		4.90E-07	6.9	3.3	4.5		4

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
③$_1$	淤泥质粘土	16.9	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	6		6
④$_3$	圆砾					（32）	35	1500	
④$_{3f}$	粘土	18.2					22		

(22) 龟岩水闸

龟岩水闸为新建水闸，位于陶山镇西坞村，拟建龟岩水闸规模为 1 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.50m。

表 5.1-29　　龟岩水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	填土	18.2	8.60E-07		10.8	9.0			
①$_1$	粉质粘土	18.1	2.60E-06	2.13E-06	9.9	11.4	10.0		12
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.4	3.33E-06	5.58E-06	7.8	8.7	6.0		5.5
②$_{2b}$	粉、细砂夹淤泥	18.9			4.5	17.5	14.0		
②$_3$	淤泥	16.0	4.50E-07		7.6	3.6	40.0		4
③$_1$	淤泥质粘土	17.0			8.4	5.5	6.0		6
③$_2$	粘土	17.2			10,7	6.5	16.0		
④$_3$	圆砾					(32)	35	1500	

(23) 碧山水闸

碧山水闸为新建水闸，位于陶山镇西坞村，拟建碧山水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 1.00m。

表 5.1-30　　碧山水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	填土	18.2	8.60E-07		10.8	9.0			
0-3	耕土	17.4			7.1	6.0			
①$_1$	粉质粘土	18.1	2.60E-06	2.13E-06	9.9	11.4	10.0		12
①$_2$	淤泥质粘土	17.4	1.90E-07	7.80E-08	7.9	5.7	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.4	3.33E-05	5.58E-05	7.8	8.7	6.0		5.5
②$_3$	淤泥	16.0	4.50E-07		7.6	3.6	40.0		4
③$_1$	淤泥质粘土	17.0			8.4	5.5	6.0		6
④$_3$	圆砾					(32)	35	1500	

(24) 涂厂水闸

涂厂水闸为新建水闸，位于陶山镇涂厂村，拟建涂厂水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.00m。

表 5.1-31　　涂厂水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-2	填土	18.2	8.60E-07		10.8	9.0			
0-3	耕土	17.4			7.1	6.0			
①$_1$	粉质粘土	18.1	2.60E-06	2.13E-06	9.9	11.4	10.0		12
①$_2$	淤泥质粘土	17.4	1.90E-07	7.80E-07	7.9	5.7	6.5		6
②$_{2b}$	粉、细砂夹淤泥	18.9			4.5	17.5	14.0		
②$_3$	淤泥	16.0	4.50E-07		7.6	3.6	40.0		4
③$_1$	淤泥质粘土	17.0			8.4	5.5	6.0		6
③$_2$	粘土	17.2			10,7	6.5	16.0		
④$_3$	圆砾					(32)	35	1500	

(25) 渡头水闸

渡头水闸为新建水闸，位于陶山镇涂厂村，拟建渡头水闸规模为 3 孔×5m，设计底板闸底高程为 0.00m。

表 5.1-32　　渡头水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土								
①$_1$	粉质粘土	18.1	2.60E-06	2.13E-06	9.9	11.4	10.0		12
①$_2$	淤泥质粘土	17.4	1.90E-07	7.80E-08	7.9	5.7	6.5		6
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.4	3.33E-05	5.58E-05	7.8	8.7	6.0		5.5
②$_3$	淤泥	16.0	4.50E-07		7.6	3.6	40.0		4
③$_1$	淤泥质粘土	17.0			8.4	5.5	6.0		6
④$_3$	圆砾					(32)	35	1500	

(26) 洲渎水闸

洲渎水闸为新建水闸，位于桐浦镇洲渎村，拟建洲渎水闸规模为 2 孔×3m，设计底板闸底高程为 0.5m。

表 5.1-33　　洲渎水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	淤泥								
0-1	杂填土	17.5							
①$_2$	淤泥质粘土	17.6			7.4	5.0	6.5		6
②$_1$	淤泥	15.5	5.60E-07	5.05E-07	7.1	3.1	4		4
②$_3$	淤泥	16.1	6.80E-07	4.80E-07	7.4	3.8	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	3.20E-07	3.25E-07	9.0	5.5	6		6
③$_3$	粉、细砂					(24.0)	20		
④$_2$	粉质粘土	18.7	1.70E-06	2.20E-06	19.2	14.5	22		
④$_3$	圆砾						35	1400	
0-0	淤泥								

(27) 塔山水闸

塔山水闸为拆除重建水闸，位于桐浦镇五联村，拟建塔山水闸规模为 3 孔×4m，设计底板闸底高程为 0.5m。

表 5.1-34 塔山水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	淤泥								
0-1	杂填土	17.5							
②$_1$	淤泥	15.5	5.60E-07	5.05E-07	7.1	3.1	4		4
⑩$_2$	强风化凝灰岩						60		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩						90	2800	

(28) 浦底水闸

浦底水闸为新建水闸，位于桐浦镇五联村，拟建浦底水闸规模为 3 孔×5m，设计底板闸底高程为-1.70m。

表 5.1-35 浦底水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	淤泥								
0-1	杂填土	17.5							
①$_1$	粘土	17.6		1.40E-07	10.0	6.0	8		10
①$_2$	淤泥质粘土	17.6			7.4	5.0	6.5		6
②$_1$	淤泥	15.5	5.60E-07	5.05E-07	7.1	3.1	4		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	16.8			8.2	7.4	5.5		5.5
②$_{2b}$	粉砂夹淤泥				4.5	16.5	12		
②$_3$	淤泥	16.1	6.80E-07	4.80E-07	7.4	3.8	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	3.20E-07	3.25E-07	9.0	5.5	6		6
③$_2$	粘土	18.0	1.10E-07	1.40E-07	13.4	6.4	17		
④$_1$	粘土	18.7			12.8	9.0	21		
④$_2$	粉质粘土	18.7	1.70E-06	2.20E-06	19.2	14.5	22		
④$_3$	圆砾						35	1400	
⑤$_2$	粉质粘土	20.0					25		
⑩$_2$	强风化凝灰岩						60		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩						90	2800	

(29) 下湾水闸

下湾水闸为拆除重建水闸，位于潘岱街道北首社区，拟建下湾水闸规模为1孔×5m，设计底板闸底高程为0.0m。

表 5.1-36　　下湾水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土				6.9	3.3			
②$_1$	淤泥	16.0		5.60E-07	7.4	3.0	4		4
②$_{2a}$	淤泥夹粉砂	17.5	1.33E-05	2.50E-05	8.0	8.6	6.5		6
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	6.00E-07		10.8	4.4	6		
⑩$_2$	强风化凝灰岩						70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩						100	3000	

(30) 七国垟水闸

七国垟水闸为拆除重建水闸，位于潘岱街道北首社区，拟建七国垟水闸规模为1孔×4m，设计底板闸底高程为-1.50m。

表 5.1-37　　七国垟水闸土层物理力学指标建议值表

地层编号	地层名称	土的重度	渗透系数		快剪法		地基参数		
			水平	垂直	粘聚力	内摩擦角	灌注桩特征值		水泥搅拌桩桩周土摩阻力特征值
							桩周土 侧阻力	桩端土端阻力	
		γ	Kh	Kv	c	φ	q_{sa}	q_{pa}	q_s
		(N/cm^3)	cm/s	cm/s	(KPa)	(°)	(KPa)	(KPa)	(KPa)
0-0	塘泥								
0-1	杂填土				6.9	3.3			
①$_1$	粉质粘土	18.2	3.33E-06	3.30E-07	10.7	10.0	10.5		12
②$_1$	淤泥	16.0		5.60E-07	7.4	3.0	4		4
②$_{2b}$	粉细砂夹淤泥	18.9			4.5	17.2	13		14
②$_3$	淤泥	15.7	4.80E-07	4.85E-07	7.4	3.0	4.5		4
③$_1$	淤泥质粘土	17.0	6.00E-07		10.8	4.4	6		
⑨	含碎石粉质粘土	18.9					25		
⑩$_2$	强风化凝灰岩						70		
⑩$_3$	弱风化凝灰岩						100	3000	

5.1.4 可行性研究报告的主要成果及审查、审批意见

5.1.4.1 可行性研究报告的主要成果

2022 年 8 月，浙江省水利水电勘测设计院有限公司编制完成了《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》。主要成果如下表：

工程特性表

项　　目		单 位	数　量	备　　注
一、水文				
流域面积		km²	3719	
赵山渡以上洪峰流量	P=2/5%	m³/s	14100/11100	
高楼溪洪峰流量	P=2/5%	m³/s	1185/972	
金潮港洪峰流量	P=2/5%	m³/s	3300/2700	
设计潮位（上望站）	P=2%	m	5.14	
	P=5%	m	4.79	
二、水位		m	11.38~5.30m	
三、工程效益指标				
保护耕地面积		万亩	6.91	
保护人口		万人	9.65	
防洪标准（重现期）		年	20	
四、主要建筑物				
1．防洪堤				
堤型			斜坡式、直立式（砼轻型框架结构）、复合式（土石混合堤）	
堤线布置			不小于防洪规划确定的河道宽度	
堤顶高程		m	13.00~6.63m	
防洪堤总长		km	21.77	
堤防长度及标准	平阳坑段防洪堤	km	2.54	20年一遇
	马屿镇梅屿段防洪堤	km	2.28	20年一遇
	陶山镇荆谷段防洪堤	km	5.12	20年一遇
	陶山镇碧山段防洪堤	km	6.58	20年一遇
	桐浦塔山至澄头段防洪堤	km	2.55	20年一遇
	白莲段防洪堤	km	2.70	20年一遇
2．新建/改建水闸（交叉建筑物）		座	30	排涝、挡潮闸
五、施工				
1．主要工程量				
土方开挖		万m³	30.75	
表土开挖		万m³	19.57	
堤身填筑		万m³	84.93	
种植土回填		万m³	6.46	

项　　目	单 位	数　量	备　　注
碎石/石渣	万m³	22.18	
浆砌块石	万m³	0.11	
干/理砌块石	万m³	7.42	
抛石	万m³	36.06	
砼浇筑	万m³	16.63	
砼灌注桩	万m³	11.15	
沥青砼路面	万m²	1.04	
钢筋制安	t	21144	
2．劳动力及施工强度			
总工日	万工日	70	
施工高峰人数	人/日	1010	
平均出工人数	人/日	780	
3．施工临时占地	亩	318	
4．总工期	月	36	
六、工程占地和拆迁处理			
1.　工程永久征地	亩	1048.63	
其中水域及水工设施用地	亩	243.87	
2.　房屋拆迁	万m²	2.74	
3．搬迁人口及户数	人/户	347/106	
七、经济指标			
1.　静态总投资	万元	235753	
工程部分投资	万元	135235	
专项部分	万元	8622	
征地和移民补偿部分投资	万元	91896	
3.　经济内部收益率	%	10.13	
4.　经济净现值	万元	55893	

5.1.4.2 可行性研究报告的审查、审批意见

2022 年 9 月 19 日，浙江省水利厅以浙水函〔2022〕756 号文下发《浙江省水利厅关于瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告审查意见的函》。

省发展改革委：瑞安市水利局向我厅报送了《关于要求出具瑞安市飞云江治理二期

工程可行性研究报告行业审查意见的请示》（瑞水〔2022〕154 号），经审查，提出如下主要意见。

一、工程建设的必要性

该工程位于浙江省瑞安市境内，西起赵山渡水利枢纽下游平阳坑，东至铁路桥，堤防总长 21.77 公里，由平阳坑、马屿镇梅屿、陶山镇荆谷、陶山镇碧山、桐浦镇塔山至澄头、白莲等 6 段组成，现状沿线尚未形成有效防洪闭合圈，马屿等乡镇防洪能力均不足 10 年一遇，局部低于 2 年一遇，属全省防洪突出薄弱环节。

工程实施后，可提高平阳坑镇、马屿镇等保护区防洪能力至 20 年一遇、排涝能力 10 年一遇，结合一期、三期工程建设，可使得飞云江瑞安段两岸形成完整的防洪封闭圈，同时改善生态环境，对促进区域经济社会发展意义重大。工程已列入《长江三角洲区域一体化发展水安全保障规划》《浙江省水安全保障“十四 五”规划》《浙江省“十四五”期间解决防洪排涝突出薄弱环节实施方案》，规划依据充分。

因此，兴建该工程是必要的。

二、工程任务、建设内容、规模及设计标准

工程任务以防洪为主，结合排涝，兼顾改善水生态环境等综合利用。堤防防洪标准 20 年一遇。排涝标准 10 年一遇，村镇 24 小时降雨 24 小时排出不受淹，农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深。

工程主要建设内容和规模为：（1）新建堤防 21.77 公里；（2）新建改建水闸 30 座、旱闸 3 座，水闸总净宽 166 米，其中马上水闸 总净宽 12 米，河溪水闸 15 米、渡头水闸 15 米、浦底水闸 15 米；（3）新建管理房 1 处、面积 1100 平方米，防汛仓库 5 处、总面积 400 平方米；（4）新建便民服务点 4 处，景观节点 7 个。

堤防级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇；马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇，校核洪水标准为 50 年一遇。

工程所在区域地质构造稳定，根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），工程区地震基本烈度为 VI 度。

三、工程征地、搬迁及环境影响

工程永久占地面积 1027 亩，其中征收集体土地 857 亩（含耕地 390 亩），使用国有土地 170 亩。至规划水平年 2024 年，生产安置人口 2272 人，采用被征地农民基本养老保险的方式安置；搬迁人口 106 户 348 人，采用自建房安置等方式。建议根据环境影

响评价专题加强管理并落实相应的环保措施，减少工程建设对环境的影响。要依法批准水土保持方案并落 实水土流失防治措施，最大程度降低工程建设对水土资源的扰动 与破坏。

四、工程工期、投资估算及资金筹措

工程施工总工期为 36 个月。按照 2022 年 6 月份价格水平，工程估算总投资 20.15 亿元。其中工程部分投资 12.58 亿元；专项部分投资 0.73 亿元；征地移民补偿部分投资 5.94 亿元，建设期融资利息 0.90 亿元。工程建设资金除申请省级及以上补助外，其余由地方自筹解决。

五、工程建设及运行管理

工程项目法人及运行管理单位均为瑞安市水利投资有限公司，负责项目前期、资金筹措、工程建设、运行和管理等有关工作。

六、其他建议

瑞安市水利局应加强与铁路、高速公路、航运等交通部门的衔接，抓紧落实白莲段堤防穿甬台温铁路桥实施方案，尽快开展工程涉龙丽温高速安全评估和通航影响评价工作。下阶段，要进一步深化地质勘察等基础性工作，优化堤防防冲方案及结构设计，完善施工总布置及优化施工工期，完善运行管理设计。

具体技术审查意见详见本报告附件。

5.1.4.3 可行性研究报告的批复

2023 年 7 月 31 日，浙江省发展和改革委员会以浙发改项字〔2023〕188 号文下发《省发展改革委关于瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告的批复》。

瑞安市发展和改革局：

《关于要求审批瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告的请示》（瑞发改投资〔2023〕5 号）收悉。省发展规划研究院受我委委托对项目进行评估并提交了评估报告（浙规划院咨[2023]61 号）。经研究，原则同意所报批的可行性研究报告，批复如下：

一、项目建设必要性

本项目西起赵山渡水利枢纽下游平阳坑，东至铁路桥，堤防总长 21.77 公里，由平阳坑、马屿镇梅屿、陶山镇荆谷、陶山镇碧山、桐浦镇塔山至澄头、潘岱街道白莲等 6 段组成，现状沿线尚未形成有效防洪闭合圈，马屿等乡镇防洪能力不足 10 年一遇，局部低于 2 年一遇，属全省防洪突出薄弱环节。

项目实施后，可提升沿线乡镇的防洪排涝能力，进一步完善飞云江瑞安段两岸的防

洪封闭圈，对改善工程沿线生态环境、人民群众生命财产安全、促进当地经济社会高质量发展等具有重要意义。项目已列入《浙江省水安全保障“十四五”规划》《浙江省“十四五”期间解决防洪排涝突出薄弱环节实施方案》。因此，项目建设是必要的。

二、项目名称

瑞安市飞云江治理二期工程

项目代码：2017-330381-76-01-008713-000

三、工程任务、地点、建设内容、规模及技术标准

工程任务以防洪为主，结合排涝，兼顾改善水生态环境等综合利用。

本工程位于瑞安市。工程主要建设内容及规模：(1）水利部分：新建堤防 21.77 公里；新建改建水闸 30 座（总净宽 166 米），其中马上水闸（3 孔×4 米）、河溪水闸（3 孔×5 米）、渡头水闸（3 孔×5 米）、浦底水闸（3 孔×5 米），旱闸 3 座；新建管理房 1 处、面积 1100 平方米，防汛仓库 5 处、总面积 400 平方米；(2）融合提升部分：新建景观节点 7 处，其中新建便民服务点 1 处，建设园路及铺装场地等；沿线新建便民服务点 3 处；堤防景观绿化提升等。

本工程等别为IV等。堤防建筑物级别为 4 级，防洪标准 20 年一遇。排涝标准 10 年一遇村镇 24 小时降雨 24 小时排除不受淹，农田 3 日降雨 4 日排除至作物耐淹水深。马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸建筑物级别为 4 级。

四、项目用地及搬迁安置

工程总用地面积为 1048.63 亩，其中农用地 688.05 亩（耕地 367.44 亩），建设用地 147.06 亩，未利用地 213.52 亩；新增永久占地 1048.63 亩。至规划设计水平年，生产安置人口 1987 人，搬迁安置人口 348 人。

五、项目投资估算及资金来源

项目估算总投资 235753 万元，工程建设资金除申请中央预算内补助外，省财政专项资金将按核定投资的 20%予以补助，其余由瑞安市财政统筹解决。

六、项目单位及建设期

项目单位为瑞安市水利投资有限公司，负责项目前期、资金筹措、工程建设等有关工作。工程建成后由瑞安市水利投资有限公司负责运行管理工作。项目总工期 36 个月。

七、项目招投标

按照《中华人民共和国招标投标法》等有关法规，本项目依法必须招标范围内的项目勘察、设计、施工、监理以及与工程建设有关的重要设备、材料等的采购全部实行公

开招标，招标组织形式采用委托招标。

八、其他

请据此编制项目初步设计报批。

5.2 工程等别和标准

5.2.1 工程等别和标准的确定

根据《防洪标准》(GB50201-2014)及《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2017)、《浙江省飞云江流域水利规划》和《浙江省飞云江流域防洪规划》等相关规定，依据防洪保护区内城镇及工矿企业的重要性、保护农田面积数和人口，综合确定本工程等别及建筑物级别。

（1）工程等别：飞云江二期防洪保护人口 9.65 万，农田耕地亩数 6.91 万亩。保护人口小于 20 万，根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2017)确定工程等别为 IV 等。

（2）防洪排涝标准：根据各段堤防保护对象的防洪标准，结合《浙江省飞云江水利综合规划》和《浙江省飞云江流域防洪规划报告》及区域社会经济地位的重要性等实际情况，确定各段堤防的防洪标准。

按照《防洪标准》(GB50201-2014)，飞云江二期工程堤防多处于乡镇，按照乡村防护标准人口小于 20 万则防洪标准为 20~10 年。则飞云江二期工程堤防防洪标准定为 20 年，与规划防洪标准相一致。排涝标准采用 10 年一遇，村镇 24h 降雨 24h 排出不受淹，农田 3 日降雨 4 日排出至耐淹水深。

（3）建筑物级别：根据《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)，由各段堤防保护对象的防洪标准确定各段堤防工程级别为 4 级。

根据《防洪标准》（GB 50201-2014），拦河水闸工程指平原区的水闸枢纽工程。过闸流量＜20m^3/s，为V等小（2）型；20m^3/s≦过闸流量＜100m^3/s，为IV等小（1）型；100m^3/s≦过闸流量＜1000m^3/s，为III等中型。拦河水闸的等别参照《水利水电工程等级划分及洪水标准》（SL252-2017），拦河闸永久性水工建筑物的级别，应根据所属工程的等别按表 4.2.1 确定，III等别建筑物主要建筑物级别为 3 级，次要建筑物为 4 级。IV等别建筑物主要建筑物级别为 4 级，次要建筑物为 5 级。

本工程堤防沿线共布置交叉建筑物闸站 30 座。堤防沿线交叉建筑物水闸级别按不低于相应堤防级别，且马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸过闸流量大于 100m^3/s，

综合考虑此 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸建筑物级别为 4 级。

根据《防洪标准》（GB 50201-2014）11.5.1 条，3 级拦河水闸防洪标准设计为 30~20 年，校核为 100~50 年。由于堤防为 4 级，设防标准均为 20 年一遇，马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸等 3 级建筑物。设计防洪标准设计取 20 年一遇，校核取 50 年一遇。位于防洪、挡潮堤上的水闸，其闸顶高程不应低于防洪挡潮堤顶高程，水闸安全加高下限值，挡水时最高挡水位加高值，三级水闸安全加高值不小于 0.30m，四级水闸安全加高值不小于 0.20m。

各段堤防内交叉建筑物水闸级别及洪水标准见表 5.2-1。

表 5.2-1　　各段堤防级别及洪水标准

序号	堤防分段	干流的左/右岸	级别	治理长度(km)	防洪标准【重现期：年】
1	平阳坑段防洪堤	右岸	4	2.54	20
2	马屿镇梅屿段防洪堤	左岸	4	2.28	20
3	陶山镇荆谷段防洪堤		4	5.12	20
4	陶山镇碧山段防洪堤		4	6.58	20
5	桐浦塔山至澄头段		4	2.55	20
6	白莲段防洪堤		4	2.70	20

备注：工程治理长度合计 21.77km，设防标准均为 20 年一遇。

表 5.2-2　　交叉建筑物水闸级别及洪水标准

序号	各堤防段水闸（站）	级别	设计洪水标准【重现期：年】	校核洪水标准【重现期：年】
1	马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸	3	20	50
2	其余水闸	4	20	50

5.2.2　坐标系和高程基准

本次设计成果中坐标均采用 2000 国家大地坐标系，120°40′；高程均采用 1985 国家高程基准。

5.2.3　地震设防烈度

根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），上游平阳坑段软弱土覆盖层厚度 3m～15m，为II类场地，该区基本地震动峰值加速度 a_{max}=0.05g，基本地震动反应谱特征周期为 0.35s；梅屿～白莲段覆盖层软弱土厚度大于 15m，为III类场地，地震动峰值加速度 a_{max}=0.065g，地震动反应谱特征周期为 0.45s。

根据《水电工程水工建筑物抗震设计规范》（NB35047-2015）的有关规定，本工程的抗震设防地震设计烈度为VI度，可不进行抗震计算。

根据《水工建筑物抗震设计标准》（GB51247-2018）的有关规定，本工程的抗震设防地震设计烈度为VI度，可不进行抗震计算。

5.2.4 工程合理使用年限

1）合理使用年限

根据《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》（SL654-2014），飞云江二期工程堤防，合理使用年限为 30 年。

根据《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》（SL654-2014）3.0.3 条，水利水电工程各类永久性水工建筑物的合理使用年限，应根据其所在工程的建筑物类别和级别按表 3.0.3 的规定确定，且不应超过工程的合理使用年限。马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸，水闸建筑物级别为 3 级。堤防合理使用年限为 30 年，因此马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸合理使用年限确定为 30 年。其余水闸建筑物级别为 4 级，合理使用年限也为 30 年。

本工程水闸为 3 级或 4 级建筑物，相应的工作闸门、内河侧检修闸门、外江侧检修闸门合理使用年限为 30 年。

2）耐久性要求本工程环境处于飞云江沿线，堤防及沿线闸站等建筑物环境类别确定为三类，钢筋混凝土最低强度等级为 C25，设计的时候可以按 C30 设计，氯离子含量不应大于 0.2%，抗冻等级为 F50，最大裂缝宽度限值为 0.33 毫米，防浪墙钢筋最小保护层厚度为 30 毫米。水闸的钢筋保护层厚度为 45 毫米。

5.2.5 计算安全系数

一、堤防边坡抗滑稳定安全系数

堤防边坡抗滑稳定安全系数按照《堤防工程设计规范》（GB50286—2013）中 3.2.3 条款的要求执行，安全系数不应小于表 5.2-3 的规定。

表 5.2-3 **堤防边坡抗滑稳定安全系数**

堤防工程级别			1	2	3	4
安全系数	瑞典圆弧法	正常运用条件	1.30	1.25	1.20	1.15
		非常运用条件I	1.20	1.15	1.10	1.05
		非常运用条件II	1.10	1.05	1.05	1.00
	简化毕肖普法	正常运用条件	1.50	1.35	1.30	1.25
		非常运用条件I	1.30	1.25	1.20	1.15
		非常运用条件II	1.20	1.15	1.15	1.10

注：非正常条件I为施工期的临水、背水侧堤坡

二、水闸抗滑稳定安全系数

表 5.2-4　　水闸闸室抗滑稳定安全系数

荷载组合	土基上水闸级别	基岩上水闸级别
	4	4
基本组合	1.20	1.05
特殊组合I	1.05	1.00

表 5.2-5　　水闸最大最小地基应力之比允许值表

地基土质	荷载组合	
	基本组合	特殊组合
松软	1.50	2.00
中等坚实	2.00	2.50
坚实	2.50	3.00

三、挡土墙抗滑抗倾覆稳定安全系数

挡土墙抗滑稳定安全系数按照《水工挡土墙设计规范》（SL379－2007）中 3.2.7 条款的要求执行，安全系数不应小于下表规定的允许值。

表 5.2-6　　挡土墙抗滑稳定安全系数的允许值

荷载组合		挡土墙级别（土质地基）				挡土墙级别（岩石地基）			
		1	2	3	4	1	2	3	4
基本组合		1.35	1.30	1.25	1.20	1.10	1.08	1.08	1.05
特殊组合	I	1.20	1.15	1.10	1.05	1.05	1.03	1.03	1
	II	1.10	1.05	1.05	1	1.00			

注：特殊组合I适用于施工情况及校核洪水位情况，特殊组合II适用于地震情况。

按照《水工挡土墙设计规范》（SL379－2007），土质地基上挡土墙的抗倾覆安全系数不应小于下表规定的允许值；岩石地基上 1～3 级水工挡土墙，在基本荷载组合条件下，抗倾覆安全系数不应小于 1.50，4 级水工挡土墙抗倾覆安全系数不应小于 1.40；在特殊荷载组合条件下，不论挡土墙的级别，抗倾覆安全系数不应小于 1.30。

表 5.2-7　　土质地基上挡土墙抗倾覆安全系数的允许值

荷载组合	挡土墙级别			
	1	2	3	4
基本组合	1.60	1.50	1.50	1.40
特殊组合	1.50	1.40	1.40	1.30

挡土墙基底应力按照《水工挡土墙设计规范》（SL379－2007），土质地基和软质岩石地基上的挡土墙基底应力计算应满足下列要求：

（1）在各种计算情况下，挡土墙平均基底应力不大于地基允许承载力，最大基底应力不大于地基允许承载力的 1.2 倍；

（2）挡土墙基底应力的最大值与最小值之比不大于下表规定的允许值。

表 5.2-8　　挡土墙基底应力最大值与最小值之比的允许值

地基土质	荷载组合	
	基本组合	特殊组合
松软	1.50	2.00
中等坚实	2.00	2.50
坚实	2.50	3.00

注：对于地震区的挡土墙，其基底应力最大值与最小值之比的允许值可按表列数值适当增大。

5.3　堤线布置

5.3.1　堤线布置原则

1)堤线布置应在满足《浙江省飞云江流域防洪规划报告》(2002 年)和《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址~铁路桥段堤线调整专题研究报告》(2013 年)中各堤段最小堤距要求的前提下，能宽则宽的原则；

2)堤线布置应符合安全、经济、综合效益大的原则，对局部影响因素复杂的堤线，应在符合规划和堤线调整专题报告的前提下，经综合分析比较确定；

3)堤线布置应体现节约土地和减少拆迁房屋的原则，充分利用现状老堤和道路，并尽量避免拆迁难度高、影响面大的建筑物；

4)堤线布置应顺应河势，尽量顺直布置，并与洪水的主流线大致平行；

5)应尽可能利用有利地形，修筑在土质较好、比较稳定的滩岸上，并留有适当宽度的滩地，尽可能避开软弱地基、深水地带、古河道、强透水地基；

6)在江道凹岸迎流顶冲的险段，堤线布置尽量考虑堤脚不靠近江岸，并结合护岸工程措施布置统筹考虑；

7)堤线布置应考虑防汛道路的通畅，以利堤防的管理养护及运送防汛抢险物资等，并充分考虑路堤结合，以节约占地及投资。

5.3.2　可研批复的堤线

可研批复的堤线布置共分为 6 段：平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山

镇碧山段、桐浦塔山至澄头段和白莲段，本阶段涉及与《浙江省飞云江流域(温州段)综合规划报告(2015－2030 年)》堤线发生较大调整共三段，包括平阳坑段、马屿镇梅屿段和陶山镇荆谷段。

瑞安市飞云江治理二期工程位于温州市瑞安境内，可研批复的整治范围自平阳坑至铁路桥，整治堤防长 21.77km，设计洪水标准为 20 年一遇。工程共分 6 段，飞云江干流右岸堤防有平阳坑段(长 2.54km，20 年一遇)；左岸堤防有马屿镇梅屿段防洪堤(长 2.28km，20 年一遇)、陶山镇荆谷段防洪堤(长 5.12km，20 年一遇)、陶山镇碧山段防洪堤(长 6.58km，20 年一遇)、桐浦塔山至澄头段(长 2.55km，20 年一遇)、白莲段防洪堤(长 2.70km，20 年一遇)。

1)平阳坑段防洪堤

平阳坑段堤线布置本次共分三段进行分析设计：

(1)沙垟水闸上游堤线基本按规划堤线布置；

(2)平阳坑水闸下游堤线考虑在规划堤线的基础上后退至 56 省道外侧(最大后退幅度约 100m)，紧贴 56 省道布置，因 56 省道路面高程略低于 20 年一遇设计洪水位，道路外侧农田田面高程均在 8m 以上，该方案可尽量利用 56 省道作为防汛道路，具有征地面积小、工程部分投资省和工程实施简单等特点；

(3)沙垟与平阳坑水闸之间的平阳坑镇区段，从沙垟水闸开始，向下游朝东南向与 S56 省道连接后，沿现状 S56 省道布置，从镇区穿过，至平阳坑公园，沿高速收费站路基边线与平阳坑水闸相连。防汛通道利用现状沿江东西路。

2)马屿镇梅屿段防洪堤

马屿镇梅屿段防洪堤位于飞云江干流左岸，起点为霞岙村(MY2+630.00)，至终点八甲村粮站(MY4+882.94)。堤线走向基本为东西向，沿飞云江左岸现状岸线布置，本次设计该段堤防堤线布置考虑在规划堤线的基础上后退，并利用现状沿岸道路进行路堤结合以减少征地及节约投资；霞岙村以东堤线因河道较窄采用堤线后退处理，堤线后退约 70~100m，并在堤后新建 3m 宽防汛通道(堤后新建长度约 1.65km)。

3)陶山镇荆谷段防洪堤

陶山镇荆谷段防洪堤位于飞云江干流左岸，具体堤线布置如下：

该段防洪堤位于飞云江干流左岸，起点为八甲村粮站，向东南经八甲村、七甲村、仙篁竹村对岸、再向北至沙垟下村，因该段河道部分河段较窄，在树排头村、仙篁竹村和前林村对岸共三段采用堤线后退方案，最大后退幅度约 140m，防洪堤堤线布置在农

田内，规划八甲村至七甲村段基本沿飞云江左岸现状堤线布置，该段堤防堤线布置考虑在规划堤线的基础上后退，并利用现状沿岸道路进行路堤结合，以减少征地及节约投资；从七甲村至金潮港出口局部利用现状道路形成防洪封闭。

4)陶山镇碧山段防洪堤

陶山镇碧山段防洪堤位于飞云江干流左岸，长度 6522m。具体堤线布置如下：

该段防洪堤位于飞云江干流左岸，起点为龟岩村后龟岩山脚(BS0+000.00)，终点为陶山镇花井村(BS6+521.76)，因该段河道中间转弯段河道较窄，而对岸为仙降街道，转弯段局部堤线根据规划要求后退布置，最大后退幅度约 200m，相应堤线布置在农田内，其余堤段均沿现状岸线布置。利用现状机耕路和现状 104 国道及部分堤后的新建 3m 宽道路堤后新建长度约 4.71km)作为防汛通道。

5)桐浦塔山至澄头段防洪堤

桐浦塔山至澄头段防洪堤主要布置在飞云江干流左岸，长度 2532m。起点为陶山镇桐利村，终点为澄头村后岩下山脚，此段由两段堤防构成。规划堤线沿干流现状岸线布置，浦底水闸进行外移。本次堤轴线与水闸位置同规划布置，原水闸拆除。防洪堤轴线从西侧开始沿飞云江向东北方向连接至塔山水闸，再向东南侧至山脚下结束。第二段堤防由山脚下开始往东连接至浦底水闸，右侧堤防从浦底水闸开始沿飞云江干支流现状岸线布置至澄头村后岩下山脚。

6)潘岱白莲段防洪堤

白莲段防洪堤起点为白莲村北侧下湾水闸(BL0+000.00)，经白莲村、至飞云江铁路大桥(BL2+700.50)。现状该段河宽较宽阔，堤线沿飞云江左岸原现状岸线布置，且堤后新建 3m 宽防汛通道，现状该段淤积较为严重。

5.3.3 堤线布置复核及局部调整

依据相关规划，根据堤线布置原则，保证堤线闭合，结合交叉建筑物，对可研批复的堤线进行局部调整，各段堤防布置局部调整如下：

桐浦塔山至澄头段防洪堤

图 5.3-1　桐浦塔山至澄头段防洪堤平面布置图

堤防轴线穿过隆真寺、洲渎村东片老协活动中心以及古树等特殊建筑和遗迹，本次设计与当地村镇沟通，并与业主协商后，确定予以避让，调整堤防轴线；由于征地红线已经批复，可研设计堤型过宽，超出红线，考虑附近已有交通道路，本次设计取消堤后道路，改变可研设计堤型。堤轴线变化范围 500 余米，堤轴线向外江侧偏移，平均偏移幅度 5m，未超出红线。调整范围为初设桩号 A0+000~A0+547、B0+907~B0+957。

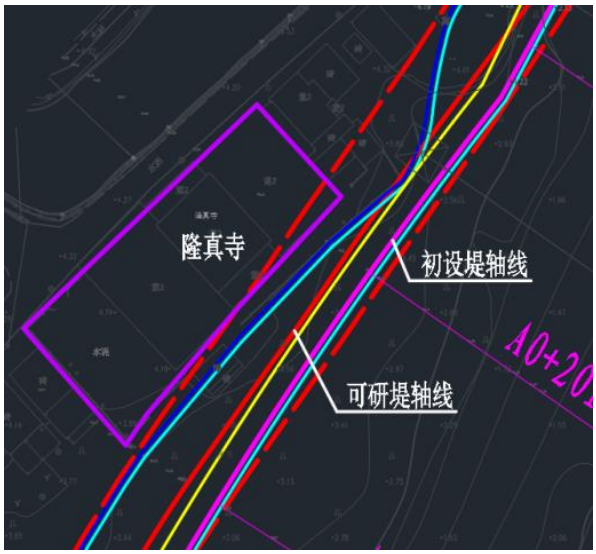


图 5.3-2　隆真寺处堤防轴线比较

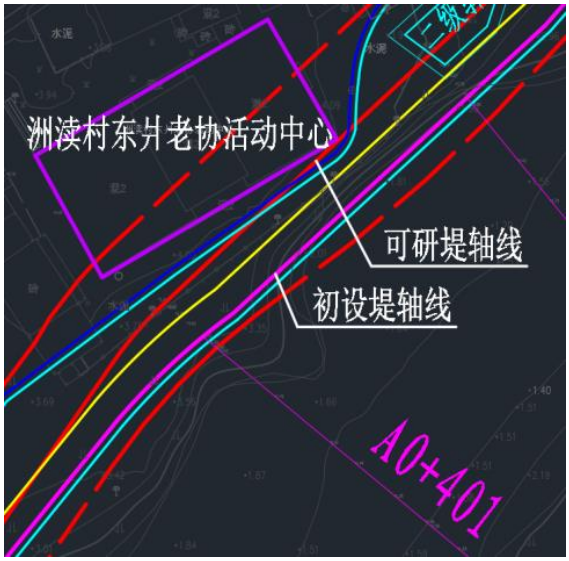


图 5.3-3　东片老协活动中心处轴线比较

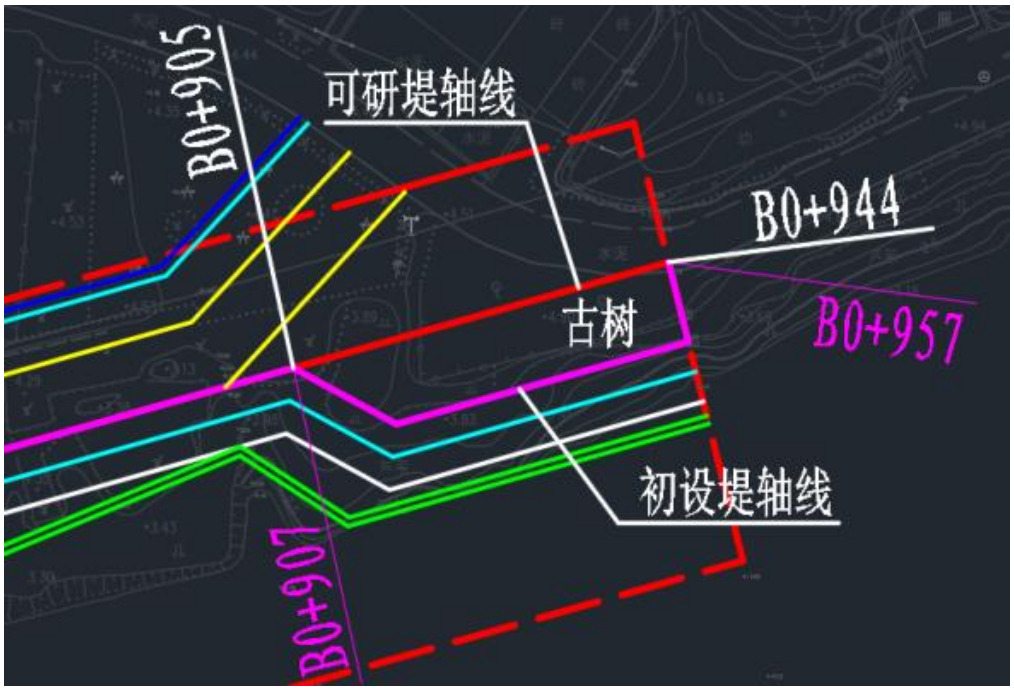


图 5.3-4　　古树处堤防轴线比较

桐浦塔山至澄头段堤线局部调整（避让隆真寺、活动中心、古树等）与规划堤距、堤线等对比情况，复核其合规性，确保行洪能力满足规划要求，具体详见 4.9.2.3.5 桐浦镇塔山至澄头段论述。

图 5.3-5　　避让隆真寺堤线局部调整

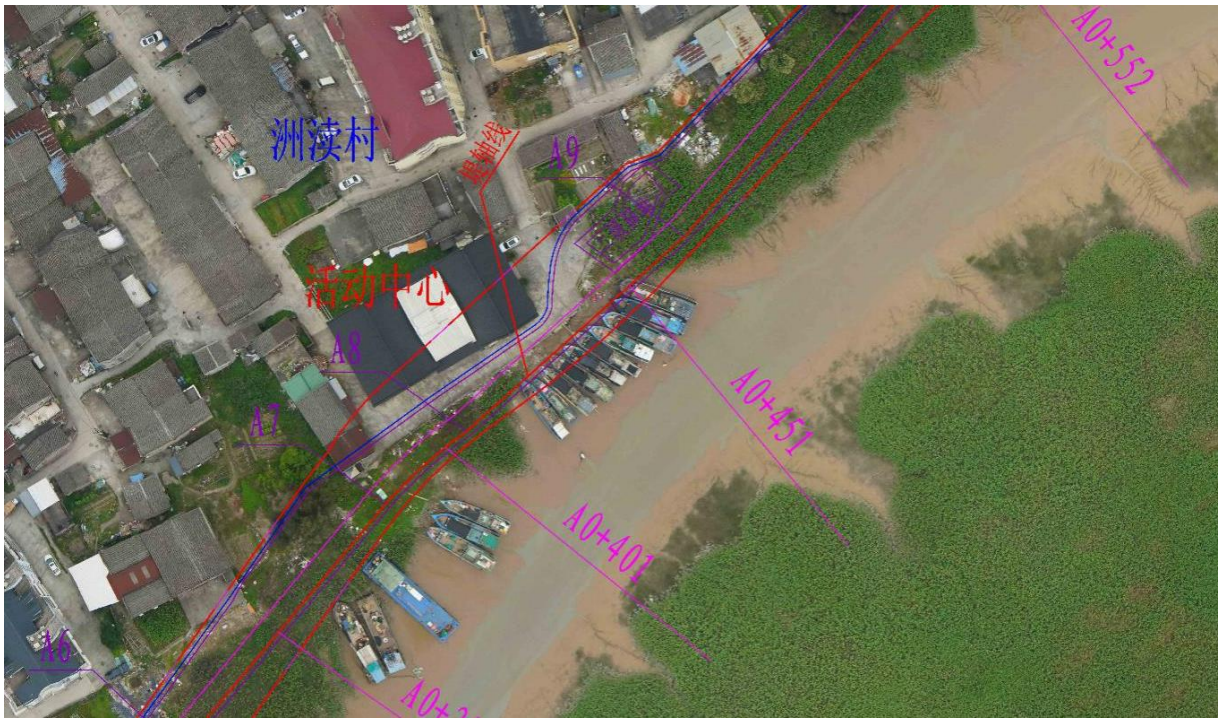


图 5.3-6　　避让活动中心堤线局部调整

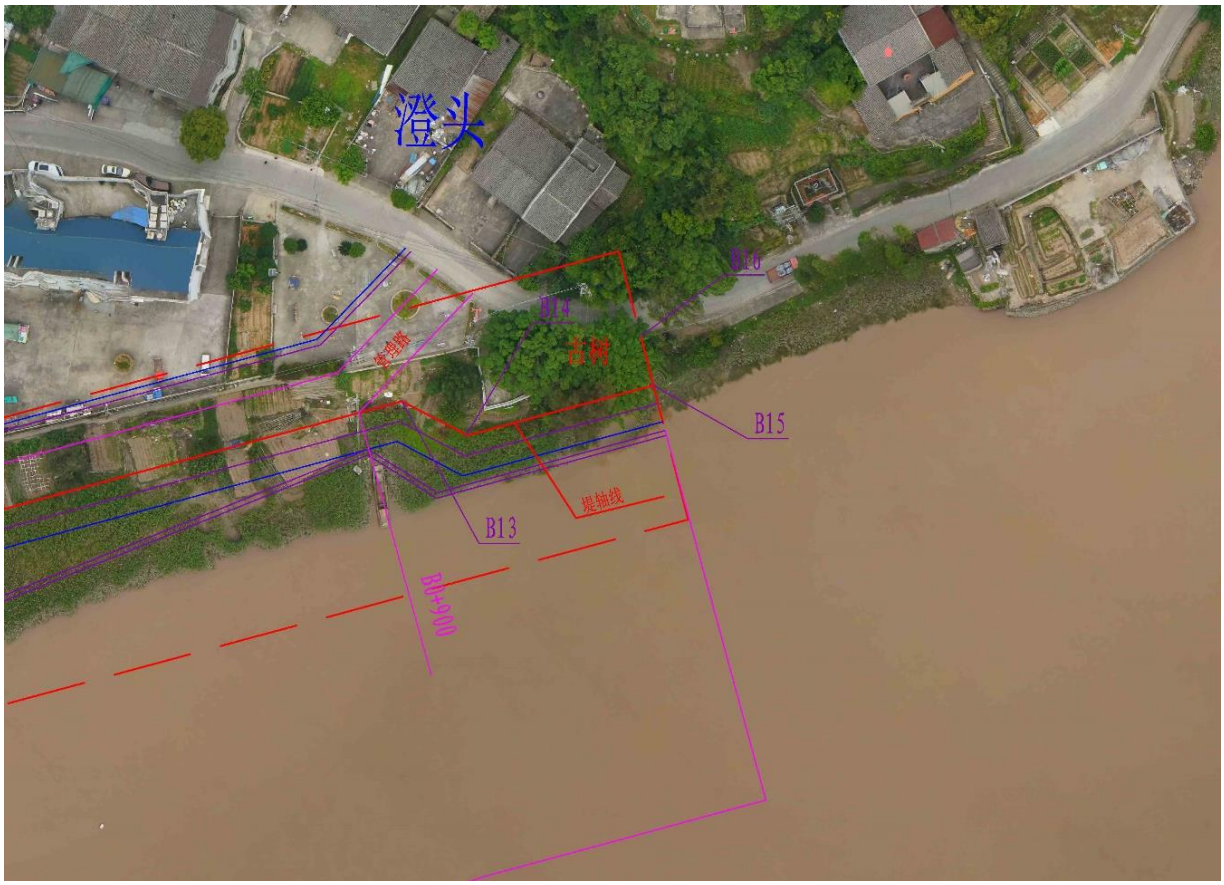


图 5.3-7　　避让古树堤线局部调整

表 5.3-1　　桐浦塔山至澄头段堤轴线调整对比表

序号	位置	调整前		调整后		调整	
		可研范围（m）	可研总长（km）	初设范围（m）	初设总长（km）	范围（m）	总长（km）
1	堤线避让	547	2.54	547	2.55	0	0.01
2	治理末端	40		50		10	

调整后整治堤防长 21.77km，设计洪水标准为 20 年一遇。工程仍分为 6 段，飞云江干流右岸堤防有平阳坑段(长 2.54km，20 年一遇)；左岸堤防有马屿镇梅屿段防洪堤(长 2.28km，20 年一遇)、陶山镇荆谷段防洪堤(长 5.12km，20 年一遇)、陶山镇碧山段防洪堤(长 6.58km，20 年一遇)、桐浦塔山至澄头段(长 2.55km，20 年一遇)、潘岱白莲段防洪堤(长 2.70km，20 年一遇)。

5.4　堤型与护岸型式选择

5.4.1　堤型选择

堤防型式的选择需充分考虑区域特点，并兼顾技术、经济、景观等方面的因素。根据不同河段所处的现状、未来发展规划等情况，采取不同的断面型式，以满足工程实际需要。

堤身断面型式针对瑞安市飞云江中下游河道的地形地质条件，应用较广的主要有斜坡式、直立式、直斜复合式三种断面形式。

下面对上述三种常见堤型进行技术经济比较：

1）斜坡式土堤结构。为了尽量减少工程永久征地，同时因本工程征地范围小，征地红线仅为堤脚线以外 1m，为了与堤防周边农田形成明显分界线，利于堤防管理，在土堤迎水侧增设矮挡墙。

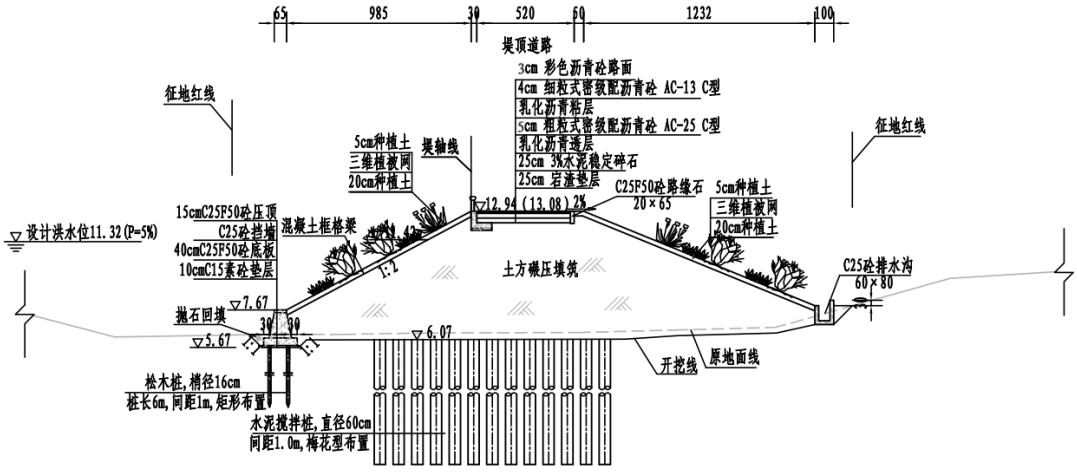


图 5.4-1　　斜坡式堤防断面

优点：结构简单，适应地基变形能力好，维护方便，造价低，生态性好，利于美化、绿化环境，堤顶可设计为路堤结合。

缺点：占地面积大；当地需储备足够的土料；因本工程沿线地质条件差，为淤泥或淤泥质土，如堤防靠近现状河岸布置，堤防边坡稳定性差。

综合以上分析，斜坡式土堤结构适合于控制投资、堤线距离现状河岸远、建设用地宽裕的滩地或农田堤段。

2)直立式(砼轻型框架结构)。该结构通过砼框架挡水，砼框架荷载通过桩基传递至深层土层，不会对现状河岸附加荷载。

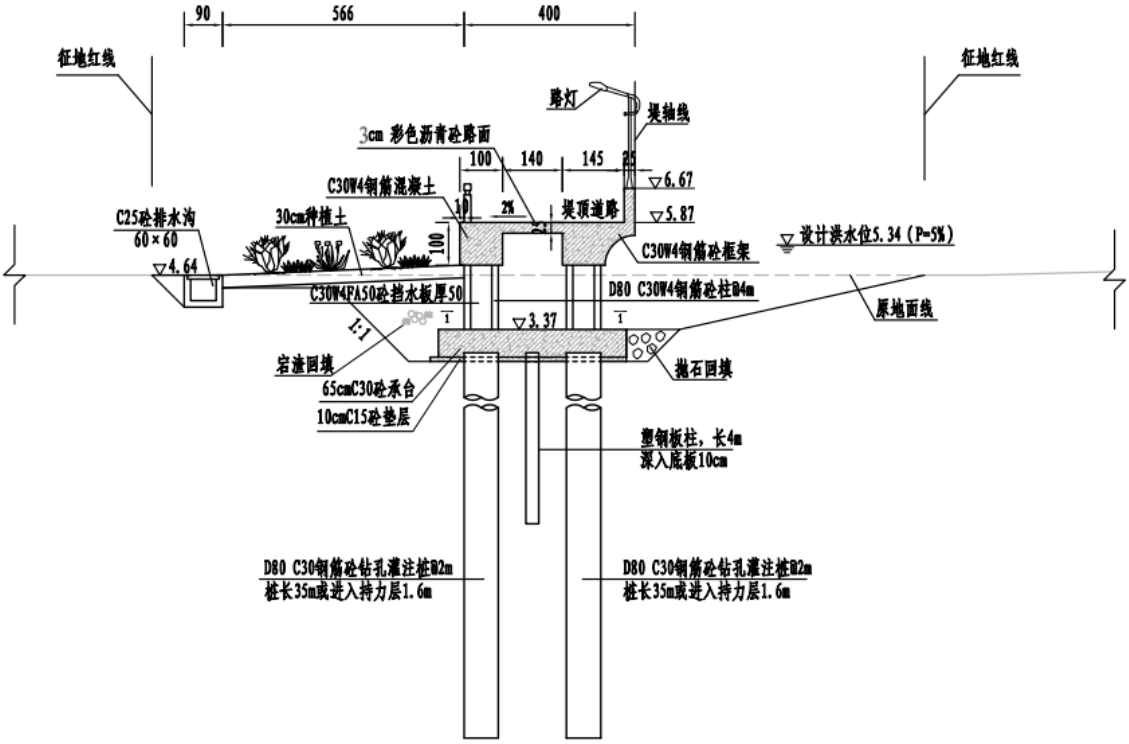


图 5.4-2　　直立式(砼轻型框架结构)断面

优点：占地省，耐水流冲刷，适应地形地质条件好，安全稳定性好，不需大量土料。

缺点：工程造价大，是斜坡式土堤和复合式土石混合堤单公里造价的 5-6 倍，生态性差，未来如需堤防改造难度大。

综合以上分析，直立式(砼轻型框架结构)适合于房屋临近河岸、建设用地受限制、堤线距离河岸较近的房屋密集地段。

3)复合式(土石混合堤结构)。该结构介于斜坡式和直立式之间。

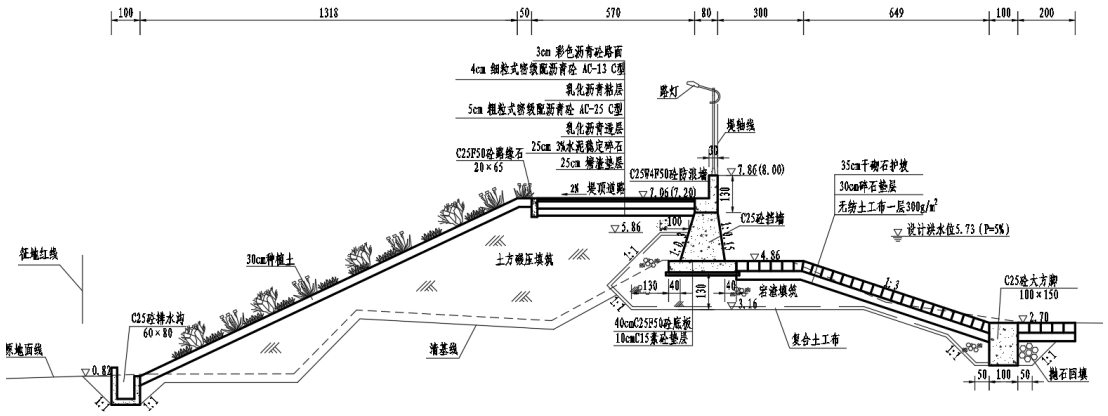


图 5.4-3　　复合式(土石混合堤)断面

优点：相比斜坡式堤防结构，可部分节省土地，耐水流冲刷；相比直立式堤防结构，投资省、生态环境好、堤顶可设计为路堤结合。

缺点：相比斜坡式堤防结构，对地基要求高、工程造价稍大，生态性稍差；相比直立式堤防结构，占地面积大，当地需储备足够的土料，因本工程沿线地质条件差，为淤泥或淤泥质土，如堤防靠近现状河岸布置，堤防边坡稳定性差。

综合以上分析，复合式(土石混合堤结构)适合于控制投资、堤线距离现状河岸远、建设用地宽裕、水流作用强的滩地或农田堤段。

各堤段具体选用哪种堤身断面型式需根据各堤段现状实际情况以及堤型适用性等特点，在分析研究各片区地形地质及水流作用特点的基础上，经综合比较后确定。

按照堤线布置，考虑规划河宽、技术经济、稳定安全等要求，本工程堤线基本沿距现状岸坡一定距离布置，除平阳坑镇区以外，基本布置在滩地或农田上，且沿线堤基除上部有 2m 左右厚的粉质粘土层外，以下均为高压缩性、低强度的软弱土。

瑞安市飞云江治理二期工程堤防共分为 6 段：平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段及潘岱白莲段。

其中平阳坑段、马屿镇梅屿段及陶山镇荆谷段位于飞云江支流金潮港河口上游，该河段河道宽度较窄，受洪水影响较大，受涌浪影响较小，沿线对生态性有一定需求；陶山镇碧山段及潘岱白莲段位于飞云江支流金潮港河口下游，该河段河道宽度较宽，受潮水影响较大，受涌浪冲击影响较大，迎水面对抗冲结构可靠性有较高要求。

表 5.4-1　　各堤型投资及占地比较表(每公里)

比选项目 / 堤型	工程部分投资(万元)	工程占地面积(亩)
斜坡式	719	37
直立式(砼轻型框架结构)	4490	20
复合式(土石混合结构)	961	38

根据上述堤型特点，复核可研成果，在满足安全的前提下，按照尽量减少工程占地的原则，考虑政策处理难度、实施条件、主要功能需求，并结合地方堤防的成熟做法，经综合分析，优化可研成果，方案如下：

1)平阳坑段(利用 56 省道段除外)，整段地基条件相对稳定，淤泥层厚度相对较小，红线范围相对较宽，且平阳坑段堤高相对较高，利于美化绿化环境，综合考虑经济及技术方面，推荐采用斜坡式土堤结构；

2)马屿镇梅屿段(利用现状村道段除外)，地质情况单一，保护对象几乎均为农田，红线范围相对较宽，综合考虑经济与技术方面，推荐采用斜坡式土堤结构；

3)陶山镇荆谷段(利用温州绕城高速西南线段除外)，治理长度相对较长，地质情况相对单一，考虑稳定情况下节约投资，大部分推荐采用斜坡式土堤结构；

4)陶山镇碧山段。上游起始段山樟村附近长约 1.92km 属水流凹岸段，且堤线距离河岸较近，红线范围较窄，推荐采用轻型框架结构；其他段属受潮水和涌浪冲击影响较大，迎水面对抗冲结构可靠性要求较高，且堤线距离现状河岸较远，推荐采用复合式(土石混合堤结构)。

5)桐浦塔山至澄头段，桐浦塔山前段长约 1.59km，因房屋和堤线紧邻现状河岸，推荐采用直立式(砼轻型框架结构)；桐浦塔山后端长约 0.96km，受潮水和涌浪冲击影响较大，迎水面对抗冲结构可靠性要求较高，且堤线距离现状河岸较远，推荐采用复合式(土石混合堤结构)。

6)潘岱白莲段。上游起始端长 0.51km，因房屋和堤线紧邻河岸，下游末端长 0.46km，因房屋和堤线紧邻河岸，且紧邻下游为已建滨江四期的轻型框架结构，推荐采用直立式(砼轻型框架结构)。白莲中间段属受潮水和涌浪冲击影响较大，迎水面对抗冲结构可靠性要求较高，且堤线距离现状河岸较远，推荐采用复合式(土石混合堤结构)。

5.4.2 凹岸顶冲段护岸防冲型式

1、基本原则

堤岸受风浪、水流、潮汐作用可能发生冲刷破坏的堤段应采取堤岸防护措施。护岸型式应用较广的主要有坡式、桩式、坝式、墙式等。

本工程所在飞云江河段为洪水与潮水相互作用的河道，河道沿线土质大部分是粉质粘土和淤泥质土等，具有一定的抗冲性能，但受洪、潮水及风浪影响，部分河岸现状冲刷较为严重，尤其是凹岸迎流顶冲段。为了防止洪、潮水对河岸的进一步冲刷以及设计

堤防自身的整体稳定，需采取以单纯防冲为目的的护岸措施，或结合堤防整体稳定进行护岸防冲。

凹岸顶冲段护岸布置应根据风浪、水流、潮汐及河势演变、堤岸崩塌趋势等分析确定，可研成果中提出主要布置原则如下：

(1)为减少本工程建设对已建工程的不利影响，护岸应选择对近岸水流影响较小，对河床边界形态改变较小的型式，以尽量维持现状河势。

(2)护岸型式应根据所在河道的水流条件，因地制宜选择合适的护岸材料，保证能满足抵御风浪、水流、潮汐的长期作用。

(3)在河道凹岸水流顶冲严重、河床冲刷厉害、主流迫岸、岸坡较陡、经常发生塌岸的险段，应重点防护，充分考虑护岸措施的抗冲性、耐久性及可靠性，以确保河岸及工程安全。

(4)在河岸为软土、粉土等抗冲性能较差的堤段，为防止水流冲刷，应考虑布置护岸，以确保河岸安全。

(5)在河岸离堤防很近、岸坡较陡的堤段，护岸措施应结合堤岸的稳定性要求考虑，以防止水流冲刷及堤防失稳，确保河岸及堤防稳定安全。

(6)护岸的型式应结合堤防的布置统筹考虑，既满足防止水流冲刷的要求，也满足堤岸整体稳定的要求。

2、凹岸顶冲段防冲护岸结构型式

为减少本工程建设对已建工程的不利影响，对近岸水流影响较大，对河床边界形态改变较大的坝式护岸，本次设计不予考虑。另外从施工实施的难度及生态景观的角度，排除实施难度大及生态景观性差的墙式护岸，本次设计沿用可研成果，选择坡式、桩式及其混合式作为主要的防冲护坡型式。下面对工程沿线各凹岸顶冲段防冲护岸型式进行分析选择：

(1)平阳坑镇区凹岸段

该段现状河床较窄，主河槽宽度 120m 左右。该段河道虽处于河流凹岸，但基于以下几方面原因，本阶段暂不进行防冲加固处理。

根据《飞云江二期工程河势分析及设计工况堤前河道冲刷分析专题报告》成果：该段工程区域深泓线较稳定，堤防工程依托 S56 省道后退布置，堤线前沿现状高滩发育明显，2000 年以来堤身 50m 范围内滩地高程均维持在 10m 以上，虽然凹岸深槽冲淤幅度较大，可达 5m，但堤前滩地相对稳定，对堤防安全是有利的；

②本段临河房屋多年来受洪水冲刷未出现滑坡问题，本次工程对 S56 省道靠河道侧房屋进行搬迁，更有利于堤岸的安全；

③本段 S56 省道规划在现有路宽基础上，需向河道侧拼宽至 24m，已到河岸边，规划拓宽道路自身结构安全的建设有利于堤岸的稳定安全。

④本段堤岸的冲刷安全，考虑今后河势变化的可能，建议通过加强运行管理及防汛应急措施及监测，来进一步保障堤岸的抗冲刷安全。

(2)梅屿段及荆谷段凹岸段（梅屿段荆谷段连接八甲村）

该段现状河床较窄，主河槽宽度 150-200m，河底高程较低，最低高程-7.5m。河道凹岸边坡较缓，坡比接近 1:5，河岸土质较差，经常发生滑坡、崩岸等现象。该段堤防断面形式为斜坡式土堤，为保证堤防和护岸工程的稳定安全性和可靠性，本段选择混合式(桩式+坡式)防冲护岸。

根据计算分析，堤防完建期或正常运行期河底未发生冲刷时，在未设垂直阻滑防冲灌注桩情况，施工完建期和水位骤降期迎水坡堤防稳定安全系数分别为 1.16 和 1.27，能满足规范规定的安全系数要求(分别为 1.15 和 1.25)。

当遭遇 20 年一遇设计洪水，河底发生冲刷(计算冲刷深度为 3.83m)，如未设垂直阻滑防冲灌注桩，施工完建期和水位骤降期迎水坡堤防稳定安全系数分别为 1.07 和 1.12，达不到规范规定的安全系数要求。如遭遇超标准洪水(如 50 年一遇)，河底和河岸冲刷将会进一步加剧。

对于凹岸顶冲段，为了确保土堤的稳定安全，经计算分析，坡面增设一排密排防冲阻滑灌注桩，能满足河道遭遇 20 年和 50 年一遇河底水流冲刷情况下的堤防稳定安全要求。

所以从堤防的整体稳定安全和防冲的角度分析，对于凹岸顶冲段堤防结构为土石堤，设计在坡面软体排水平防冲基础上，增设一排密排防冲阻滑灌注桩。

(3)陶山碧山起始端龟岩村凹岸段

该段现状河床较宽，但水流冲刷作用强，河道主槽深，河底高程最低达-10.0m。凹岸边坡较陡，局部坡比不足 1:3，易发生滑坡、崩岸等。该段堤防断面形式为砼轻型框架结构，本段选择水平坡式防冲护岸。

(4)陶山碧山末端澄头村凹岸段

该段现状河床较宽，但水流冲刷作用强，河道主槽深，河底高程最低达-8.0m。凹岸边坡较陡，局部坡比约 1:3，易发生滑坡、崩岸等。该段堤防断面形式为复合式土石混

合堤结构，为保证护岸工程的稳定安全性和可靠性，本段选择混合式(桩式+坡式)防冲护岸。

3、凹岸顶冲段防冲材料型式

本工程护岸主要布置在河段凹岸，堤外无滩或滩很窄，且河床现状冲刷较为严重，局部水流条件恶劣，为了保证护岸的抗冲稳定，护岸材料的选择应慎重考虑。护岸材料的选择应根据地质、水流、水深等条件，参考类似工程经验综合确定。

桩式护岸目前比较常见的材料主要包括木桩、预制钢筋砼桩、钢板桩及砼灌注桩等。本工程护岸所用桩考虑参与堤岸恶劣冲刷条件下的堤岸稳定作用，所需桩长均较长，考虑桩长的限制，均只能采用砼灌注桩。坡式及河底防冲保护目前比较常见的防冲材料主要包括抛石、模袋砼、网箱石笼、软体排、砼四面六边体框架和合金网兜石笼等。其中软体排通常不单独用作护岸，需与表面压重材料组成复合结构,本次设计采用可研成果，护岸型式选用软体排+砼四面六边体框架护面护岸。

混凝土四面六边体透水框架由 6 根长度相同的钢筋混凝土杆件端部三三相互连接，呈正三棱锥体，如图 5.4-4。将透水框架群布设于软体排上，一方面起到对软体排压重的作用，另一方面构件本身可削减水流的动能，减缓流速，促进水体中泥沙落淤，达到护岸护底固堤的效果。其特点有别于传统的块石等抗冲刷护岸，为减速护岸，结构自身稳定且透水，不易翻滚和被水流冲失，具有明显的减速落淤固岸效果，适应河床变形能力强，适用范围广，已在长江、黄河等工程上运用，效果较好。

图 5.4-4　混凝土四面六边体透水框架图

护岸采用桩式(灌注桩)+坡式(软体排+砼四面六边体框架)混合护岸，灌注桩深入土层一定深度以维护堤防的整体稳定，灌注桩以外采用软体排+砼四面六边体框架进行护坡护底防冲。

在岸坡 2.0m 高程左右处设密排砼灌注桩作为防冲阻滑桩，根据堤防整体稳定计算成果，灌注桩直径 80cm，间距 1.0m，桩长 15m；顶部设置冠梁，梁顶高程 2.5m，使密排桩形成整体结构，以维持抗冲护岸的稳定。

坡式护岸为复合结构，桩前护岸底层为充砂袋软体排，上抛 30cm 袋装宕渣，表面抛砼四面六边体框架压重促淤，砼四面六边体框架抛一层；桩后至 3.0 高程采用块石理砌护岸，并设砼地梁封端。

四面六边体框架采用 C30 混凝土预制，框杆横断面尺寸为 0.12m×0.12m，框杆长 1.2m，中间预埋 φ12 钢筋，单块重量约 260kg。

具体护岸护底结构详见图 5.4-6。

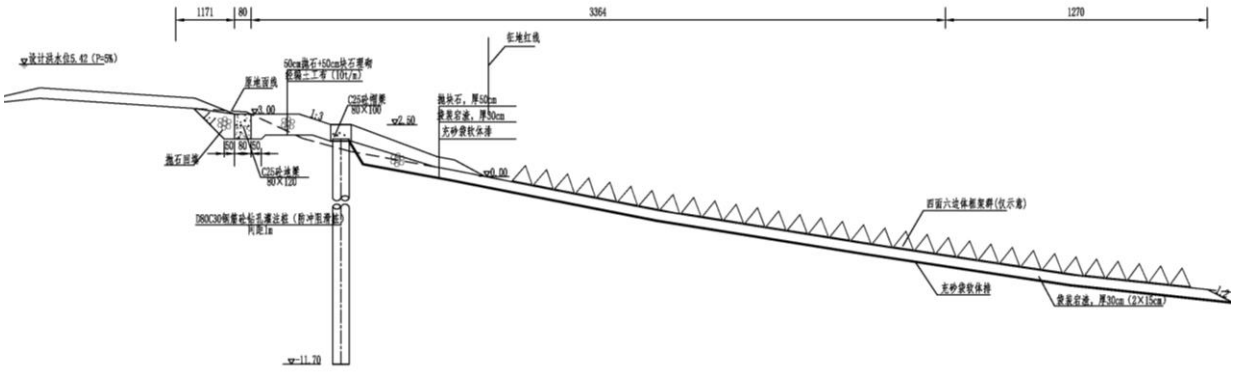


图 5.4-6　(软体排+砼四面六边体框架)护底护岸断面图

砼四面六边体框架防冲的同时能起到促淤作用，对河岸和护底的长期稳定有利，且施工质量较易控制，耐久性好。

4、镇区临江房屋堤段断面

断面比选主要针对沙埕与平阳坑水闸之间的平阳坑镇区临江房屋密集段，采用可研成果中的堤防型式。

原规划方案：根据《浙江省飞云江流域防洪规划赵山渡坝址~铁路桥段堤线调整专题研究报告》(2013 年)中规划堤线布置，该方案堤线基本沿现状岸线布置，不作拆迁。堤防断面结构采用砼轻型框架结构，工程实施难度极大。

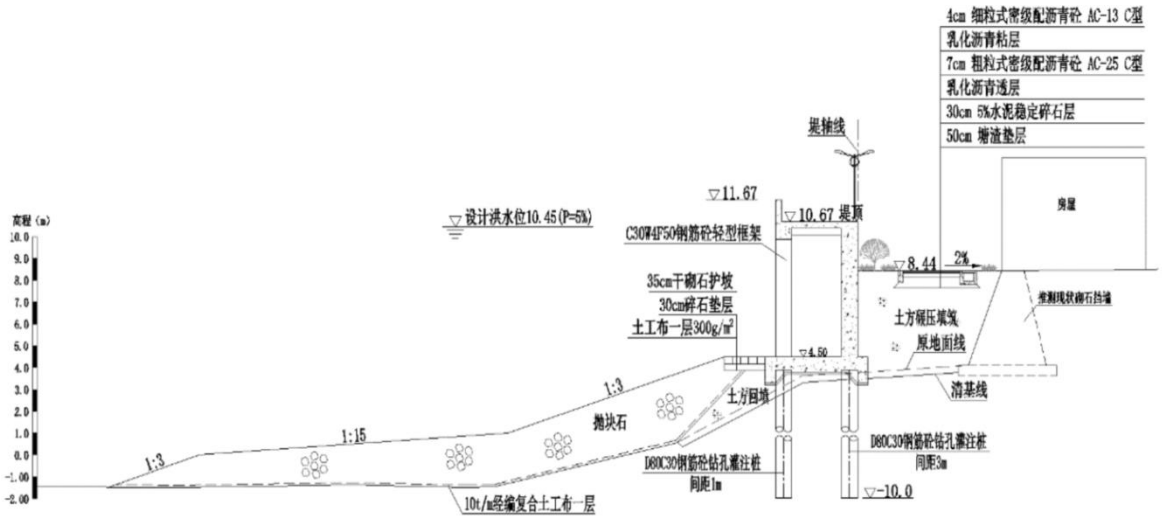


图 5.4-7　规划框架方案

方案一(现状道路+缓坡方案)：方案维持现状 9m 宽路面，不进行拓宽。对临河侧房屋进行拆迁，设置 10~20m 宽堤防绿化景观带。

本方案堤顶采用 C25 砼挡墙，内侧设人行步道，宽 3.0m。堤防迎水侧坡面清表后铺设种植土，厚 30cm，坡面绿化，坡比 1:3；下设合金钢网垫垫层兼顾防冲。坡脚设 C25 砼大方脚，截面尺寸 80cm×60cm，外侧规划堤轴线位置设 C30 砼 U 型板桩垂直防冲，桩底高程-6.50m。桩顶设 C25 砼帽梁，截面尺寸 80cm×100cm。

该方案堤线较规划堤线后移，位于现状道路边线外 4m 距离。堤防断面结构采用大缓坡+矮挡墙方式。

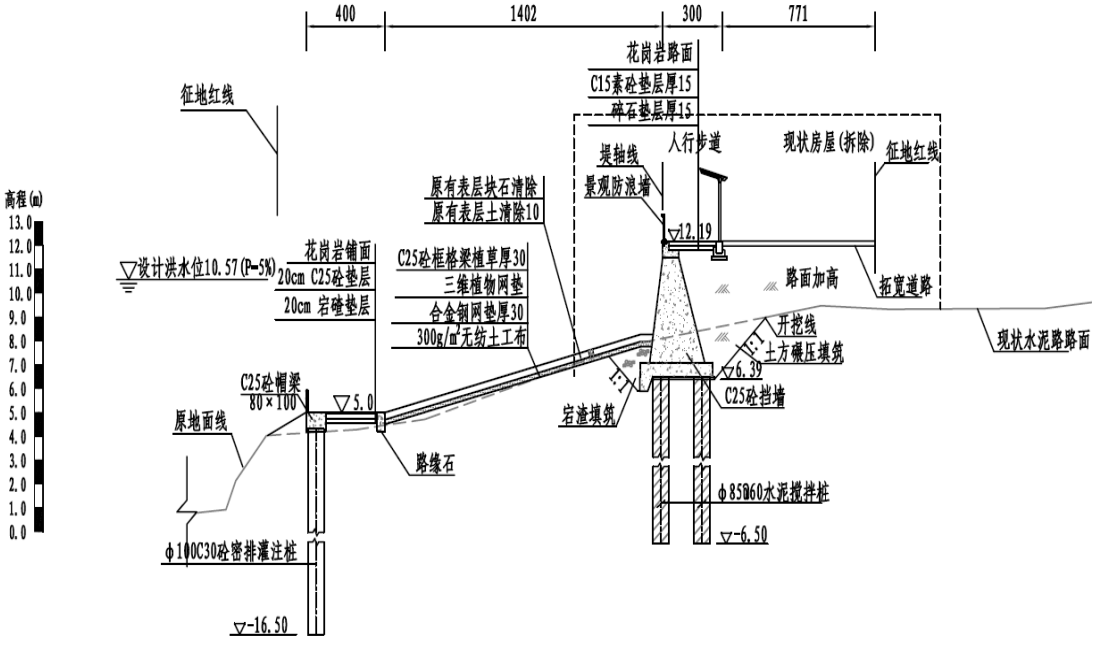


图 5.4-8　方案 1(现状道路+缓坡方案)

方案二(道路拼宽+陡坡方案)：方案对临河侧房屋进行拆迁，将现状 9m 宽路面拓宽至 20m，道路外江侧设置 5m~6m 高挡墙作为防洪堤。

本方案堤防内侧水泥路面拓宽约 11m，堤顶采用 C25 砼挡墙，内侧设人行步道，宽 3m。堤防迎水侧坡面清表后采用 C25F50 砼框格梁植草，厚 30cm，坡面绿化，坡比 1:2，下设合金钢网垫垫层兼顾防冲。坡脚设路沿石，外侧设单排 D80C30 砼灌注桩垂直防冲，桩顶设 C25 砼压顶梁，截面尺寸 80cm×100cm。

该方案堤线较规划堤线后移，位于现状道路边线外 16.5m 距离。堤防断面结构采用高挡墙+陡坡方式。

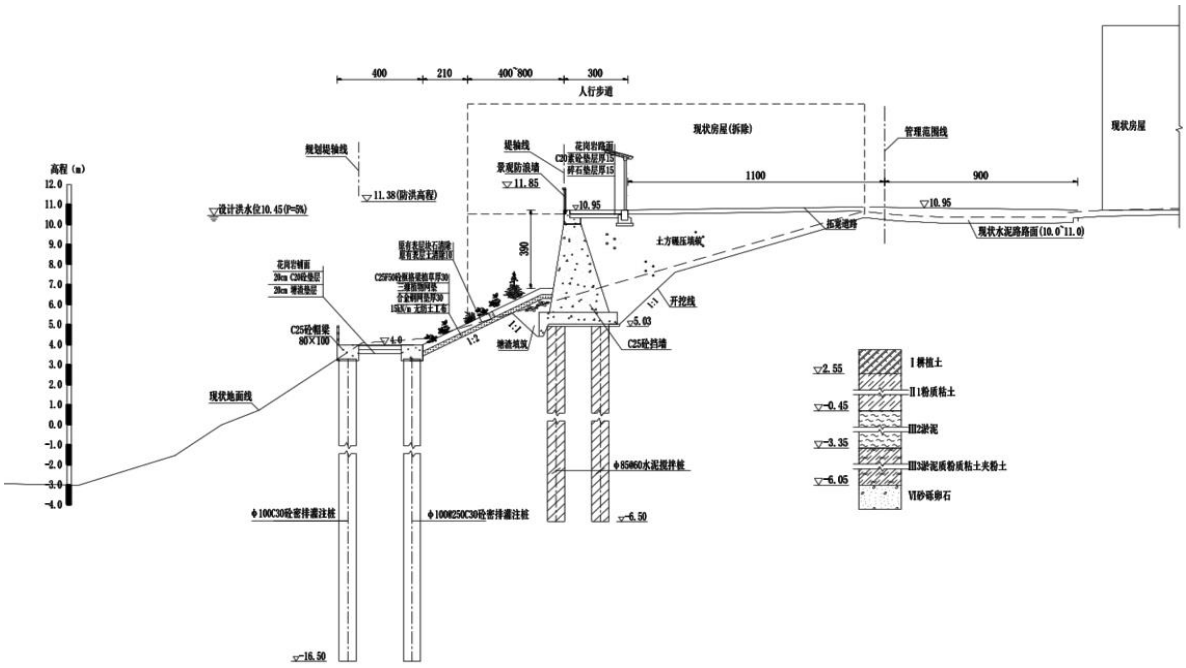


图 5.4-9　　方案 2(道路拼宽+陡坡方案)

方案三(箱型框架方案)：方案对临河侧房屋进行拆迁，将现状 9m 宽路面拓宽至 20m，道路外江侧设置宽 10m 高 5m 的箱型结构作为防洪堤。

堤防内侧水泥路面维持现状不拓宽，堤顶采用 C30F50 砼箱体作为防洪堤，兼做地下活动空间。基础采用四排 D100C30 砼灌注桩，其中第一排灌注桩密排布置，后排灌注桩间距 3.0m。

该方案堤线同规划堤线。堤防断面结构采用箱型结构方式。

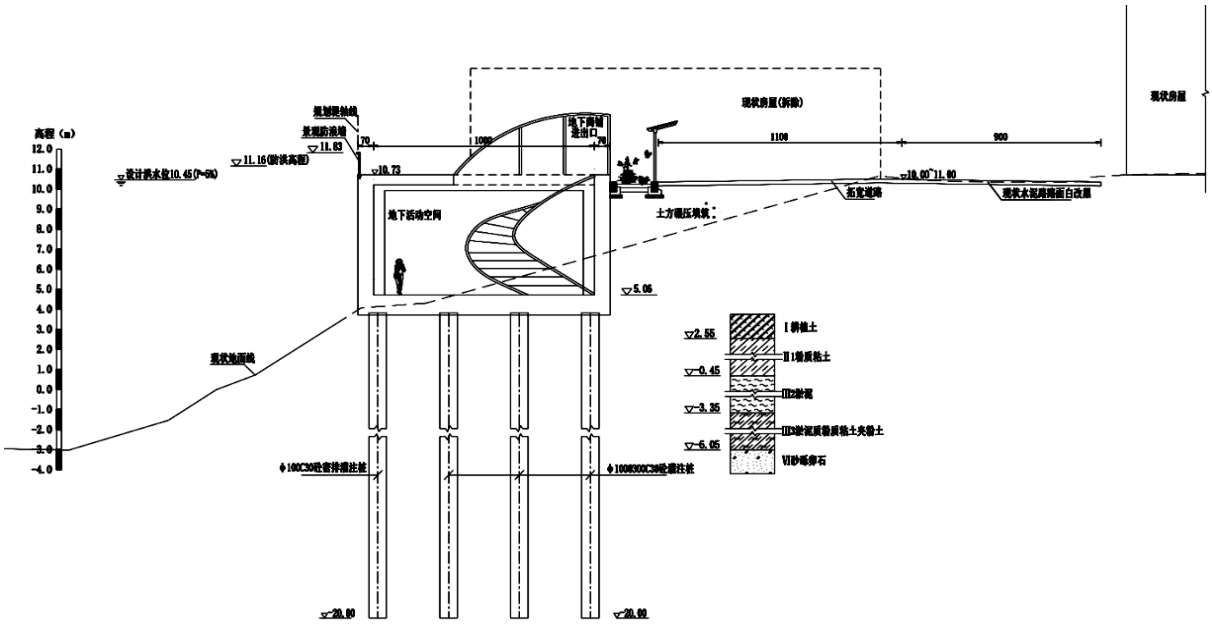


图 5.4-10　　方案 3(箱型框架方案)

平阳坑镇区临江段房屋密集区方案比选过程中，通过业主协调，与平阳坑政府沟通，确定本次设计需结合平阳坑镇区规划，包括拆迁、道路等方面。本段道路规划扩宽至 20m 以上，结合本次设计比选方案，考虑生态、景观、抗冲刷等方面，在保证安全的前提下节约投资，对三种方案做详细对比。

表 5.4-3　　各堤型投资及优缺点对比分析表

内容	项目	方案1 (道路不拓宽+缓坡方案)	方案2 (道路拓宽+陡坡方案)	方案3(箱型框架方案)
断面特征	堤防长度	600m	600m	600m
	道路宽度	9m	20m	20m
	迎水坡坡比	1:3~1:4	1:2	1:2
	迎水坡绿化宽度	16.5m	6m	0m
	挡墙型式	砼直立挡墙	砼直立挡墙	砼箱型框架
可比工程投资 (万元)		2360	4069	5670
拆迁投资(万元)		3395	3395	3395
特点	优点	1)造价较低。 2)迎水坡放坡，绿化面积最大，景观生态效果最好。 3)运行管理简单可靠。 4)施工简单。	1)堤顶道路拓宽至20m。 2)运行管理简单可靠 3)施工较简单	1)堤顶道路拓宽至20m 2)砼框架结构型式可用作地下商铺，商用性能较高。

内容	项目	方案1 (道路不拓宽+缓坡方案)	方案2 (道路拓宽+陡坡方案)	方案3(箱型框架方案)
	缺点	1)道路无法拓宽。	1)迎水坡放坡，绿化面积较小，景观生态效果一般。2)造价较高。	1)景观生态效果较差。 2)占用部分水域，影响河道淤积态势。 3)造价最高。 4)施工、运行管理较为复杂。 5)受闸站建设影响无法沿线贯通。
推荐方案/ 比选方案		比选方案	推荐方案	比选方案

5.4.3 堤防护坡型式选择

堤防护坡型式应根据流速、风浪等因素，结合堤防的级别、堤高、堤身土质等条件，同时考虑河道生态、景观的要求进行综合比较选择，在保证堤坡的安全与稳定的同时，兼顾河道的生态与景观。

常见的堤防护坡型式有混凝土、浆砌石、干砌石、砼连锁预制块、草皮、三维植被网、生态混凝土、生态网垫护坡等，各种护坡型式各有优缺点。各型护坡特点简单介绍如下：

草皮护坡利用撒播草籽形成草皮或直接铺设草皮在堤防边坡形成的植物防护系统。多用于边坡高度不高、坡度较缓且适宜草类生长的土质边坡，此护坡型式生态景观效果好，施工简单，造价低，但抗冲能力差。

图 5.4-11　草皮护坡实例照片

三维植被网护坡利用土工网与植被措施相结合，在堤防坡面构建一个具备自修复能力的功能系统，可在保护岸坡抵御侵蚀的同时，改善栖息地环境。此护坡型式简单易行、取材方便，能起到一定的防冲刷作用，是一个投资省、见效快的工程措施，其投资不足砌石护坡的 1/2。通过实践，植被覆盖后根系形成的植物纤维网能起到一定的反滤作用，其盘根错节的根系与土工网一起与坡面土层成为一体，能有效的防止洪水冲刷，使坡面水流在土体中缓慢下渗和外流，从而不带起坡面土颗粒，起到很好的防渗作用。植被护坡绿化景观效果好，但仅适用于水流流速小、淹没时间较短的河道，当流速大于 2.5m/s 时，需采用其它抗冲能力强、结构强度高的护坡型式。

图 5.4-12　　三维植被网护坡实例照片

砌石护坡采用质地坚硬、不易风化的块石砌筑，其结构型式简单，施工较为容易，具有适应不均匀变形、耐久性好、容易维修、抗冲刷性能较好的特点。干砌块石护坡水体与土体的交互性也较好，通过时间积累空隙间还能生长本土的草本植物，但从类似工程实例看，砌石护坡景观性相对较差。

图 5.4-13　　砌石护坡实例照片

砼联锁预制块(带空隙)护坡是用于干硬性细石砼经砼成型机振动加压而制成，每个预制块与周围砌块共同联锁咬合固定，利于护坡整体稳定。另外，可通过人工播种或时间积累本土草本植物自然生长形成植被。砼预制联锁砌块护坡也具有适应不均匀变形、耐久性好、容易维修、抗冲刷性能较好的特点，其整体美观略优于砌石护坡。

图 5.4-14　　砼联锁预制块护坡实例照片

生态混凝土护坡是能够适应植物生长、可进行植被作业的混凝土及其相应制品，是具有保护环境、改善生态条件、基本保持原有防护作用的混凝土及其制品。其原理是周边采用常规混凝土保护框，并兼作模具，中间填筑无砂混凝土，采用普通硅酸盐水泥及特点的碱性环境改造方法，形成生态型绿化混凝土。生态混凝土整体性好，结构稳定，抗冲刷性能较好，施工机械化程度高，能够兼顾工程及生态景观等多方面的要求。

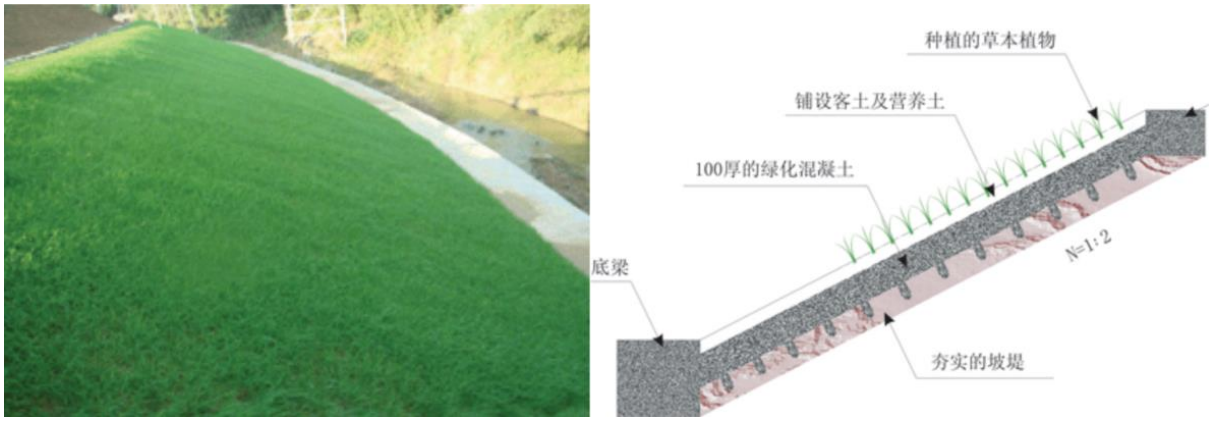


图 5.4-15　　生态混凝土护坡实例照片

生态网垫护坡是将抗腐、耐磨高强的合金钢丝(或同质包覆聚合物钢丝)由机械将双线绞合编织成多绞状、六边形网目的网片，再根据工程设计要求组装成箱笼，并装入块石等填充料后连接成一体，铺装完成后，坡面可覆土后撒播草种。由于生态网垫属于柔性结构，对于不均匀沉陷自我调整性较佳，且网垫具有多孔性，石材间隙利于动物栖息、

植物生长，在块石表面形成的生物膜有利于水质改善，常水位以上可覆土以利植物生长，符合生态的考量及安全的要求。

图 5.4-16　　生态网垫护坡实例照片

上述六种护坡方案各有其优缺点，方案比选在防冲性能、耐久性、单位造价、景观生态等方面进行比较。

(1)防冲性能：干砌石护坡、砼联锁预制块护坡、生态混凝土护坡及生态网垫均较好，三维植被网护坡+混凝土框格梁护防冲性能相对较差，草皮护坡最差。

(2)单位投资：从小到大依次为草皮护坡、三维植被网护坡+混凝土框格梁护、干砌块石护坡、生态网垫护坡、砼联锁式预制块护坡、生态混凝土护坡。

(3)景观生态：草皮护坡、三维植被网护坡的植被覆盖率最高，植物配置也最为合理，生态混凝土护坡的植被覆盖率和工程效果较生态网垫护坡、砼联锁预制块护坡要好，干砌块石护坡效果最差。但从水体与土体交互上来说，草皮护坡、生态网垫护坡及干砌块石护坡优于生态混凝土、砼联锁预制块护坡。

堤防背水坡护坡型式：背水坡对防冲的要求较低，生态、景观的要求高，常用的护坡型式为草皮护坡、三维植被网护坡，本阶段土质背水坡土堤采用三维植被网，土石混合堤采用草皮护坡。

堤防迎水坡护坡型式：

陶山镇碧山段、白莲段主要受潮水影响，考虑潮水的长期频繁的冲刷作用，护坡以解决防冲为主要目的，护坡型式选择以下部干砌块石+上部砼挡墙护岸的型式。

而平阳坑段、马屿镇梅屿段及陶山镇荆谷段主要受洪水影响，护坡不但要满足抵御洪水的短期冲刷要求，还要兼顾生态、景观、经济等要求，护坡型式需进行综合比较确定。

堤防背水坡护坡型式：

背水坡满足雨水冲刷、内涝等因素的前提下，保护堤坡，保证堤防稳定，由于受冲刷作用小，护坡还应兼顾生态、环境等方面。

下面对三维植被网护坡+混凝土框格梁护坡、砌石护坡、砼连锁预制块护坡、生态混凝土护坡、生态网垫护坡等进行比选，相关比较详见表 5.4-4。

表 5.4-4　　堤防护坡型式比较表

比较项目	三维植被网护坡+混凝土框格梁护坡	干砌石护坡	砼联锁预制块护坡	生态混凝土护坡	生态网垫护坡
单位造价	70元/平米	89元/平米	131元/平米	157元/平米	112元/平米
允许不冲流速	<2.5m/s	<4m/s	<4m/s	<4m/s	<4m/s
防护能力	防浪、防冲刷能力相对较弱	防浪、防冲刷效果较好，耐久性好	整体稳定，具备较强的抗冲刷能力，耐久性好	抗冲刷、抗剥离能力优于干砌块石	抗冲刷能力较好，耐久性相对差
施工方法	坡面整平后，依次铺设三维土工网、种植土，然后人工植草皮，并配置低灌木，形成完整的植被护坡	人工砌筑，分层卧砌，上下错缝，内外搭砌，块石间要求咬合紧密，大孔隙用碎石填塞。	联锁式砌块可人工铺设，也适合大规模机械铺设，施工简单方便	坡面修整后，先铺设无纺土工布，分格浇筑生态混凝土或铺筑生态混凝土构件，再铺设薄土层、播种及铺盖草帘	坡面修整后，依次铺设土工布、放置网箱、填石块、人工或机械整平、加盖胶合，根据需要覆土、植草
优点	植被护坡的根系互相连接，对坡面稳定起到防护作用，是一项很好的生物工程措施	适应不均匀沉降，便于修补	砌块尺寸、形状、重量一致，相互咬合紧密，施工方便，在保证护坡安全的前提下，可适当兼顾绿化美观	空隙率高(达到20%~40%)，表面能长草，具有透气、透水、防冲性能好的特点，兼顾工程和生态	施工简单，填筑材料要求低，具有透气、透水、防冲性能好的特点，生态景观效果较好
缺点	抗冲能力弱，流速不宜超过2.5m/s，防冲性能随植被成活、成长逐步提升，种植初期最差	石材来源不易，施工质量不易控制，易遭人为翻动引起局部破坏，表面无植被覆盖，景观效果差	坡面平整度要求高，且必须平整、密实，边坡形状要求规整，只能在砌块空隙种植植物，植被覆盖率较差，景观效果一般	不适宜常水位以下防护	网箱耐久性相对差

考虑平均高潮位附近护坡主要受潮水涌浪的长期频繁作用，而 5.0m 高程以上护坡主要受洪水的短期冲刷作用，经综合考虑，平阳坑段、马屿镇梅屿段及陶山镇荆谷段迎水坡下部选取耐冲性好的砼挡墙护坡型式，现状地面高程约 5.0m 以上护坡采用三维

植被网+混凝土框格梁护坡。框格梁设置高度为设计洪水位向上 10cm 处。土堤背水坡土堤采用三维植被网，土石堤及轻型结构堤防背水坡采用植草护坡。

5.5 工程总布置

5.5.1 工程布置原则

1)工程主要建设内容须依据《浙江省飞云江流域水利规划》、《浙江省飞云江流域防洪规划》和瑞安市城市总体规划等；

2)各河段治理后堤防应形成完整的防洪封闭圈，使之能够整体发挥防洪效益；

3)已列入《全国重点地区中小河流近期治理规划建设》、《浙江省中小河流近期治理建设规划》的河段不列入本治理工程范围；

4)已列入已批准建设项目的堤段不列入本治理工程范围。

5.5.2 河道和堤防现状

本工程位于浙江省瑞安市境内，位于飞云江中下游，飞云江从文成县平和乡黄岙流入瑞安市境内，左纳玉泉溪，东流至龙湖镇，左纳高楼溪后流经滩脚进入平原，并开始受潮汐影响，续东流，经平阳坑、马屿后，河道呈大“M”型，其间左纳金潮港，经宝香山转东南流，经瑞安市城关镇，东南流至上望新村入东海。

市域内飞云江区位图见下图 5.5-1。

图 5.5-1 飞云江区位图

瑞安市飞云江治理二期工程涉及飞云江平阳坑~铁路桥河段，均为感潮河段，现状该河段防洪能力大部分不足 10 年一遇，两岸除马屿和荆谷等地局部河段零星分布有低

标准土堤外，现状基本无堤防。本工程共涉及 6 段堤防，各堤段具体情况如下：

1)平阳坑段

平阳坑段位于飞云江右岸，起于徐山村西侧山脚，经平阳坑镇区，止于大龙头村北侧山脚，形成一道独立防洪封闭圈。该段河道全长约 3.01km，现状河宽 150m~200m。该堤段地质条件较差，堤基均分布有较厚的淤泥或淤泥质粉质粘土土层。该段头尾局部地势低洼，中间地面较高，56 省道从镇区穿过，路面高程较高，部分能满足防洪要求；镇中心区房屋密集，且局部房屋临江而建；镇区下游 56 省道外侧现状无房屋等重要保护对象；现状沿线无堤防，现状防洪标准 5-20 年一遇，该堤段局部位于河道凹岸。该段现状平面见图 5.5-2，现状照片见图 5.5-3~5.5-5。

图 5.5-2　　平阳坑段现状平面图

图 5.5-3　　镇区临河房屋密集 56 省道穿过镇区

图 5.5-4　　平阳坑集镇段

图 5.5-5　　岸边厂房 56 省道靠河侧现状无房屋

2)马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段

马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段位于飞云江左岸，该两段堤防前后相联，起于马屿镇柴下村西侧山脚，经陶山镇荆谷片，止于南口村后山脚，分界于八甲村西侧支流河口，形成一道防洪封闭圈。

该堤段沿线邻近村庄有柴下、杨家港、霞岙、八甲、七甲和涂头村等，除七甲村、涂头村分布有低标准土堤外，其余河段现状基本无堤防；现状柴下、杨家港、霞岙等村沿岸有道路，路面高程较高，基本可满足防洪要求；涂头水闸至石埠水闸之间沿岸有在建的温州绕城高速，路面高程较高，可满足防洪要求；沿岸现状地面高程普遍较低，在“罗莎”、“韦帕”、“莫拉克”、“菲特”、“鲇鱼”等台风中，多处区域洪涝灾害淹没损失严重。本堤段工程地质条件较差，堤基淤泥层较厚。

本段河道全长约 16km，其中干流河长约 12km，现状河道面宽 180~660m，支流河长约 4km，为金潮港，现状河道面宽 70~130m，大部分河段现状河面宽不满足规划要求，干流现状各段河道面宽统计如下：①马屿段 200m~300m；②七甲村段 180m~460m；③八甲村段 250m~350m；④树排头村段 240m~400m；⑤仙篁竹村 270m~300m；⑥埭头村段 400m~463m；⑦前林、后林村段 360m~660m。

本堤段沿线八甲村段河岸冲刷较为严重，该段河岸为凹岸，转角较大，冲刷较深，存在安全隐患。该段现状平面见图 5.5-6，现状照片见图 5.5-7~5.5-8。

图 5.5-6　　马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段现状平面图

图 5.5-7　　柴下村沿岸现状道路(满足防洪高程要求)七甲村沿岸现状道路

图 5.5-8　　在建温州绕城高速八甲村河道凹岸冲刷严重

3)陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段

该段河面较宽，河道蜿蜒多滩。本段工程地质条件较差，淤泥层较厚，易发生凹岸冲、凸岸淤的情况，目前沿岸基本无堤防工程保护，现状防洪能力不到 10 年一遇，不能满足防洪要求。

该河段现状大多河道面宽 400~900m。较宽的河段主要有洲渎村段，最大河宽达 1000m；局部河段较窄，河道面宽约 270m。自上而下各段现状河道面宽统计如下：①上西洋段 375m~570m；②仙降街道段，河面宽 270m~500m，该河段左岸为凸岸，淤积较为严重；③东垟村~浦底村段河面宽 600m~900m，河道分汊，江心洲发育，有桐田沙、新沙。

本段河道根据水下实测地形资料可知，沿线桐田村和洲渎村河岸原来以冲刷为主，根据最新的实测资料反映，目前淤积较严重，河流主行洪道改为桐田沙的右侧河道。该段现状平面见图 5.5.2-6，现状照片见图 5.5.2-7。

4)潘岱白莲段

潘岱街道白莲段河面较宽，河道全长约 2.72km。本段工程地质条件较差，淤泥层较厚，目前两岸大多无堤防工程保护，现状防洪能力不到 10 年一遇，不能满足防洪要求。

该河段现状大多河道面宽 700~900m。最大河宽达 1400m。

本段河岸为凸岸，沿岸淤积较为严重。该段现状平面见图 5.5-9，现状照片见图 5.5-10~5.5-12。

图 5.5-9　　陶山镇碧山段、白莲段现状平面图

图 5.5-10　　龟岩村凹岸冲刷严重

图 5.5-11　　陶山镇碧山段桐田沙左汊淤积厉害澄头村河岸较陡

图 5.5-12　　白莲段中部淤滩发育铁路桥处淤滩不发育

5.5.3　工程总体布置

瑞安市飞云江治理二期工程位于温州瑞安境内，整治范围自平阳坑至铁路桥，根据解决防洪和排涝问题，改善水生态环境的工程任务要求，按照分片设防的原则，共布置 6 段堤防，分别为平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段及潘岱白莲段，堤防总长 21.77m 共布置水闸 30 座，总净宽 166m。

平阳坑片上首与山体相接，下段与高速公路路基相接，自成封闭防洪体系，根据片内河道情况，布置 4 座水闸，总净宽 19m。设置 2 处 DN1000 排涝涵管。1 处省道连接，

1 处上堤道路，3 处亲水踏步。

马屿镇梅屿上游段路基在三处支流入汇处高程降低，形成“豁口”，该段已划为飞云江三期河道治理工程治理河段，与本工程相接形成封闭防洪体系。马屿镇梅屿片下游与荆谷片联合形成封闭防洪体系，根据马屿镇梅屿片片内水系情况，分为两个相对独立的排涝体系，共布置 7 座水闸，净宽 42m。其中马屿大桥以上片，按现状设置 2 座水闸，总净宽 6m；马屿大桥以下至河溪水闸片，设置 5 座排涝闸，总净宽 36m。6 上堤道路，2 处亲水踏步。

陶山镇荆谷片荆谷段工程末端与温州绕城高度的路基进行搭接，但由于路基在支流金潮港断开，形成缺口，发生设计洪水时，将会发生倒灌进入保护区，金潮港段已划为其他工程治理河段，与本工程相接后，形成封闭防洪体系。根据片内现状河道分布，并考虑一定的裕量，列入本工程内共布置 10 座水闸，总净宽 33m。设置 2 处 DN1000 排涝涵管。14 处上堤道路，4 处亲水踏步。

陶山镇碧山片上游与飞云江三期河道治理工程相接，下游与桐田段（已实施）相接，形成封闭防洪体系，根据现有水系情况，布置 4 座水闸，总净宽 63m。设置 2 处 DN1000 排涝涵管。4 处上堤道路，3 处亲水踏步。

桐浦塔山至澄头片上游段与桐田段（已实施）相接，下游与飞云江三期河道治理工程相接，形成封闭防洪体系。根据现有水系情况，布置 3 座水闸，总净宽 63m。6 处上堤道路，1 处亲水踏步。

潘岱白莲片上游与飞云江三期河道治理工程相接，下游与已建堤防相接，形成封闭防洪体系，根据片内河道情况，共布置 2 座水闸，总净宽 9m。设置 1 处 DN1000 排涝涵管；3 处 1.5X2 排涝涵闸。1 处上堤道路，2 处亲水踏步。

工程总布置情况见下图。

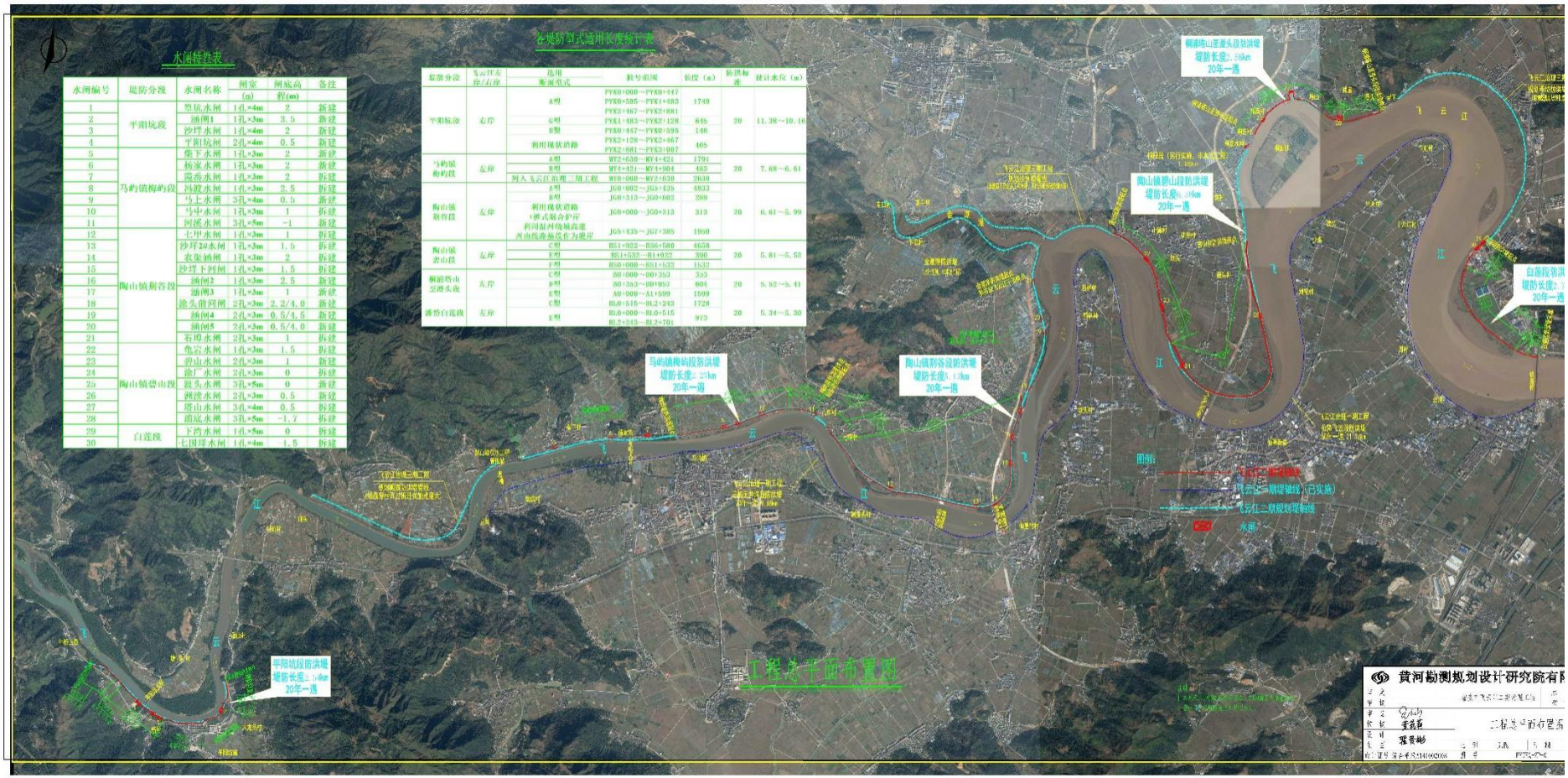


图 5.5-13　　飞云江二期工程

5.6 堤防设计

5.6.1 堤顶高程设计

根据瑞安市飞云江治理二期工程的工程任务和设计标准，堤防工程应达到 20 年一遇的防洪标准。考虑到飞云江河道平阳坑以下为感潮河段，为洪水与潮水相互作用的特殊情况，平阳坑以下飞云江河道计算堤顶高程同时采用堤防和海堤两种不同规范规定的计算方法计算。

5.6.1.1 采用《堤防工程设计规范》进行计算

(1)根据《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)，堤顶高程按设计洪水位加堤顶超高确定。

堤顶超高按下式进行计算：

$$Y=R+e+A$$

式中：Y—堤顶超高(m)；

R—设计波浪爬高(m)；

e—设计风雍水面高度(m)；

R—安全加高值(m)。

(2)波浪爬高

当斜坡坡比m=1.5~5.0、$H/L\geq0.025$时，波浪爬高按下式计算：

$$R_P=\frac{K_\Delta K_V K_P}{\sqrt{1+m^2}}\sqrt{\bar{H}L} \qquad (C.3.1\text{-}1)$$

$$m=\cot\alpha \qquad (C.3.1\text{-}2)$$

式中：R_p—累计频率为 P 的波浪爬高(m)；

K△—斜坡糙率及渗透性系数；

KV—经验系数，按 $V/\sqrt{gd}$ 值查表得到；

K_p—爬高累计频率换算系数。对不允许越浪堤防，爬高累计频率取 2%；

H—堤前波浪的平均波高(m)；

L—堤前波浪的平均波长(m)；

(3)风雍水面高度

风雍水面高度按下式计算：

$$e = \frac{KV^2F}{2gd}\cos\beta$$

式中：e——计算点的风雍水面高度(m)；

K——综合摩擦系数，取 $K=3.6\times10^{-6}$；

V——设计风速，取多年汛期最大平均风速的 1.5 倍 V=22.5m/s；

F——风区长度，100~400m；

d——水域的平均水深，取 d=6.0m；

β——风向与堤轴线的法线的夹角，(°)；

计算得最大风雍水面高度为 0.002~0.004m。

(4)堤顶安全加高

堤顶安全加高根据《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)，按允许越浪的堤防工程安全加高 4 级堤防为 0.3m。

（5）水流在弯道内运动时凹岸与凸岸间会产生水位差即弯道横向水位差，根据《水力计算手册（第二版）》，弯道段最大横向水面差可用以下公式进行计算：

$$\Delta h = \alpha_0 \frac{v^2 B}{g r_0}$$

式中：Δh——弯道凸岸与凹岸的水位差，m；

B——弯道水面宽度，m；

r_0——弯道水流轴线的曲率半径，m；

α0——流速分布系数，由下列公式计算：

$$\alpha_0 = 1 + 5.75\frac{g}{C^2}$$

式中：g——重力加速度（m/s^2）；

C——谢才系数。

各堤段设计堤顶高程计算成果见表 5.6-1。

表 5.6-1　　堤顶高程计算表　　单位：m

堤防分段	桩号	波浪爬高	风雍水面高度	20 年一遇洪水位+平均偏不利潮位	安全加高	堤顶超高取值	弯道横向水位差	设计防浪墙顶高程取值
平阳坑段	0+000	1.306	0.005	11.38	0.3	1.62		13.00
	2+210	1.306	0.005	10.32	0.3	1.62	0.3	12.24
	2+820	1.306	0.005	10.16	0.3	1.62		11.78
马屿镇梅屿段	2+630	1.311	0.005	7.31	0.3	1.62		8.93
	4+430	1.311	0.005	6.79	0.3	1.62	0.3	8.71
	4+910	1.311	0.005	6.61	0.3	1.62		8.23

堤防分段	桩号	波浪爬高	风雍水面高度	20 年一遇洪水位+平均偏不利潮位	安全加高	堤顶超高取值	弯道横向水位差	设计防浪墙顶高程取值
陶山镇荆谷段	0+330	1.314	0.006	6.58	0.3	1.62	0.3	8.50
	0+630	1.314	0.006	6.55	0.3	1.62	0.3	8.47
	5+400	1.314	0.006	6.13	0.3	1.62		7.75
陶山镇碧山段	0+000	1.017	0.007	5.81	0.3	1.33	0.1	7.24
	1+540	1.017	0.007	5.76	0.3	1.33	0.1	7.19
	6+520	1.017	0.007	5.58	0.3	1.33		6.91
桐浦塔山澄头段	A0+000	1.017	0.007	5.51	0.3	1.33		6.84
	A1+570	1.017	0.007	5.46	0.3	1.33		6.79
	B0+300	1.017	0.007	5.44	0.3	1.33		6.77
	B0+900	1.017	0.007	5.41	0.3	1.33		6.74
白莲段	0+000	1.022	0.008	5.34	0.3	1.33		6.67

5.6.2 堤顶宽度设计

根据《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)，3 级及以下堤防的堤顶宽度不宜小于 3m；根据《海堤工程设计规范》(GB/T51015-2014)，3 级及以下堤塘不包括防浪墙的堤顶宽度应不小于 3m。考虑结合沿线防洪抢险、工程管理以及堤顶防汛公路的要求，本工程堤防设计堤顶宽度分别为：4m(轻型结构)、6m(斜坡式土堤、结合防汛道路)、7m(土石混合堤、结合防汛道路)。

5.6.3 填筑土料要求及填筑标准

根据《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)的规定，堤身采用粘性土填筑，要求土料粘粒含量 10%~35%，塑性指数 7~20。粘性土的填筑标准按压实度确定。本工程的堤防级别为 4 级，堤身填筑压实度按不小于 0.91 控制。如选用淤泥质粉质粘土和淤泥质土，需要对土料进行翻晒等处理，使土料的物理指标达到上述要求。

5.6.4 堤防断面设计

本工程考虑各堤段所在的地理位置、地形地质条件、筑堤材料及政策处理等因素，根据选定的堤身、护坡及护岸型式，结合堤基处理及堤后建筑物布置组合成 8 类典型的堤防断面，并根据各堤段具体情况选用相应的堤防典型断面。

5.6.4.1 堤防典型断面设计

针对选定的 8 类典型的堤防断面，详细设计如下：

1)A 型堤防断面(斜坡式)

防洪堤堤顶宽 6m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，路面宽 5m，厚 12cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的塘渣垫层，堤身采用土方碾压填筑。

堤防迎水坡坡比 1:2，采用三维植被网草皮灌木护坡+混凝土框格梁护坡，坡脚设置 2m 高 C25 砼矮挡墙，挡墙采用松木桩基础，桩长 6m。

堤防背水坡坡比 1:2，采用三维植被网草皮灌木护坡，坡脚设 C25 砼排水沟。

主要适用于平阳坑、马屿镇梅屿段及陶山镇荆谷段部分堤线距离现状河岸较远，且非房屋密集段。

荆谷段部分堤线，由于受到可研批复的轴线和征地红线等因素影响，部分 A 型断面坡脚超出红线，尤其是背坡坡脚，将背水坡整体由重力式挡墙替代。

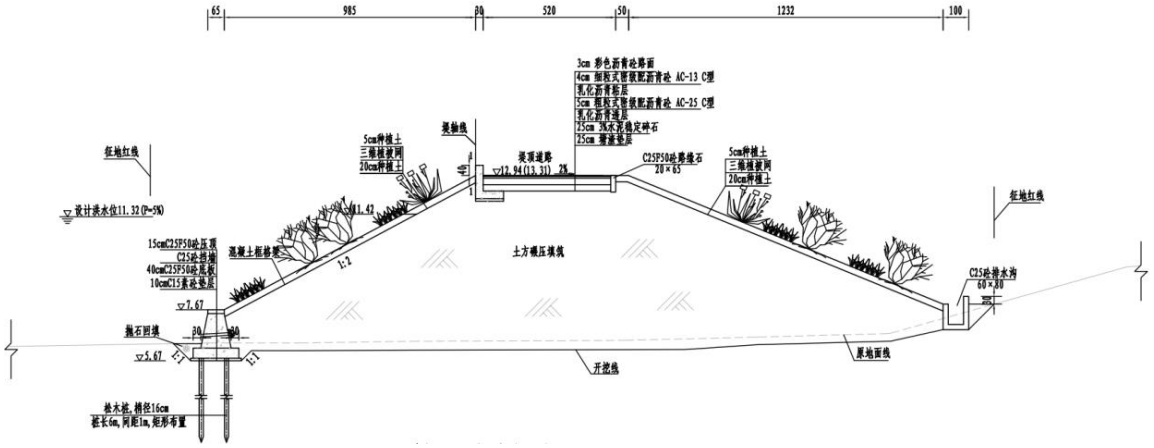


图 5.6-1　　A 型(斜坡式土堤)堤防断面

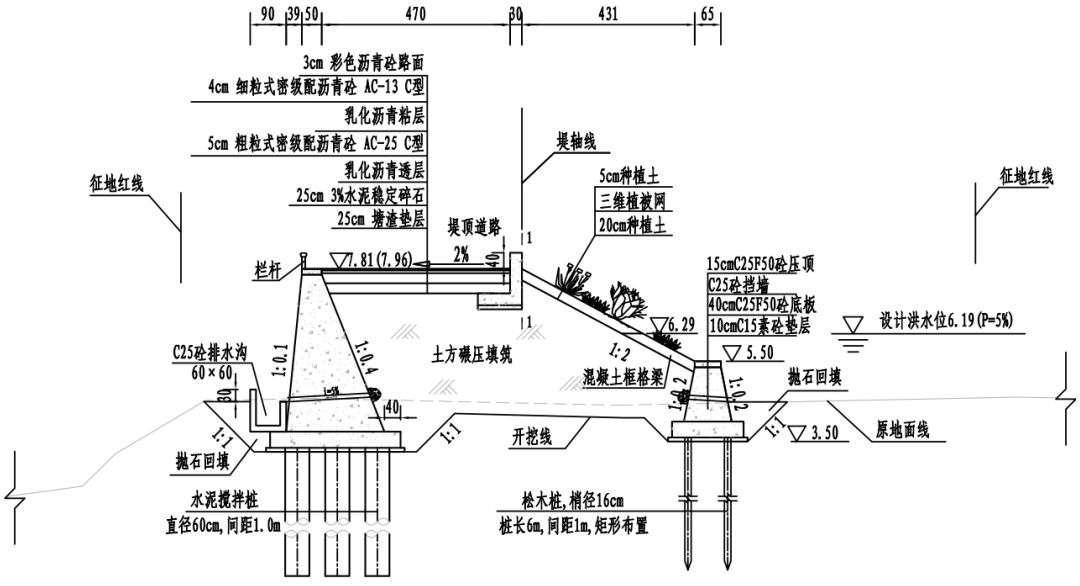


图 5.6-1　　A 型(斜坡式土堤)堤防断面-（荆谷段部分断面）

2)B 型堤防断面(斜坡式土堤+桩式混合护岸)

防洪堤堤顶宽 6m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，路面宽 5m，厚 12cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的塘渣垫层，堤身采用土方碾压填筑。

堤防迎水坡坡比 1:2，采用三维植被网草皮灌木护坡+混凝土框格梁护坡，坡脚设置 2m 高 C25 砼矮挡墙，挡墙采用松木桩基础，桩长 6m。

堤防背水坡坡比 1:2，三维植被网草皮灌木护坡，坡脚设 C25 砼排水沟。

该类型防洪堤沿河岸布置，需设置护岸防冲，采用桩式(灌注桩)+坡式(软体排+砼四面六边体框架)混合护岸，灌注桩深入土层一定深度以维护堤防的整体稳定，灌注桩以外采用软体排+砼四面六边体框架进行防冲促淤。

在岸坡 2.0m 高程左右处设密排砼灌注桩作为防冲抗滑桩，灌注桩直径 80cm，间距 1.0m，桩长 15m；顶部设置冠梁，梁顶高程 2.5m。梁以上至堤脚边采用块石理砌护坡，块石理砌护坡面层为 50cm 的理砌块石，下设一层经编土工布。

桩前坡式护岸底层为块石+充砂袋软体排，排长根据冲刷结果计算确定，充砂袋软体排上抛 30cm 厚袋装宕渣，再抛 60cm 厚块石垫层，抛石量考虑 30%沉损系数（飞云江治理一期工程实施经验）。表面抛砼四面六边体框架压重促淤，砼四面六边体框架抛一层；桩后至 3.0 高程采用块石理砌护岸，下设袋装宕渣 30cm，并设砼地梁封端。

四面六边体框架采用 C30 混凝土预制，框杆横断面尺寸为 0.12m×0.12m，框杆长 1.2m，中间预埋 φ12 钢筋，单块重量约 260kg。

B 型主要适用于八甲村凹岸段，堤线距离河岸有一定距离，且为非房屋密集区段。

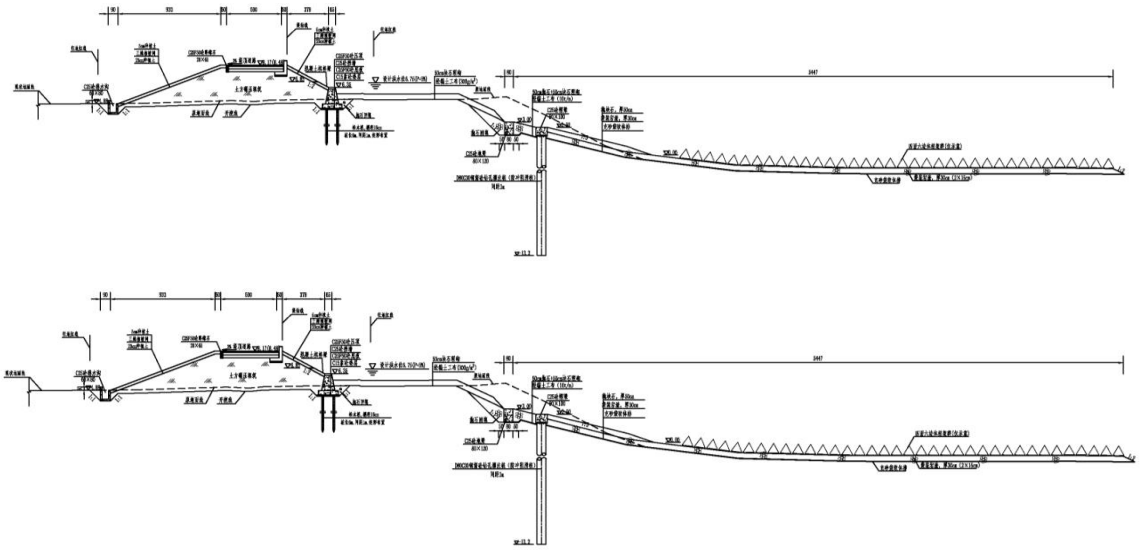


图 5.6-2　　B 型(斜坡式土堤+桩式混合护岸)堤防断面

3) C 型堤防断面(复合式土石混合堤结构)

防洪堤堤顶宽 7m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，路面宽 5.7m，厚 12cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的塘渣垫层。

堤防迎水侧上部设 C25 砼挡墙，墙底设厚 130cm 的宕渣垫层，墙前设 3.0m 宽一级平台，下部迎水坡坡比 1:3，采用 35cm 厚干砌块石护坡，干砌块石护坡下设 30cm 厚碎石垫层和 15kN/m^2 无纺土工布，坡脚设置 C25 砼大方脚；墙后堤身为宕渣填筑和土方填筑，宕渣填筑体与土方填筑体交接面边坡为 1:1，中间设 15kN/m^2 无纺土工布。

堤防背水坡坡比 1:2，采用草皮+低灌木绿化，坡脚设 C25 砼排水沟。

C 型主要适用于陶山镇碧山段及潘岱白莲段部分堤线距离河岸较远，且非房屋密集段。

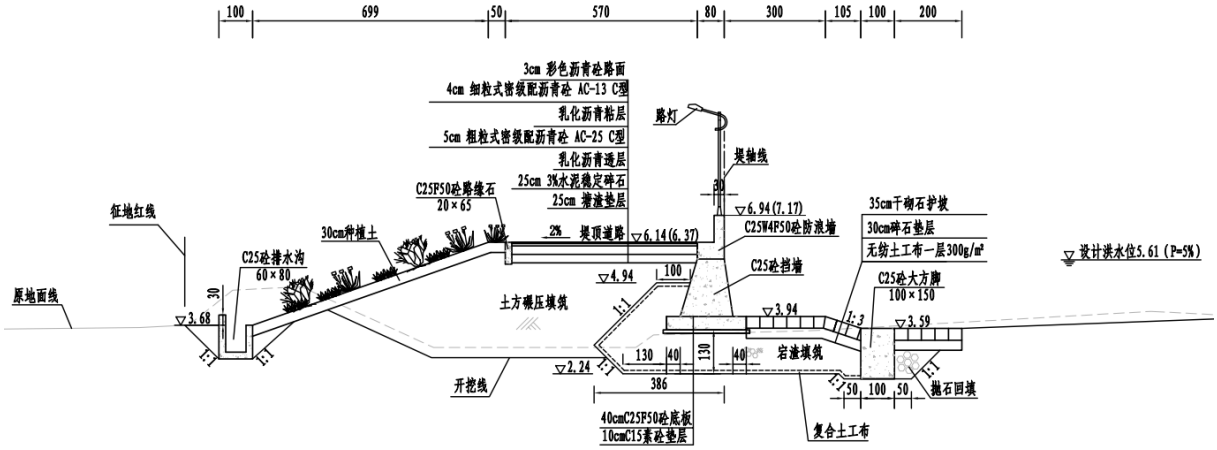


图 5.6-3　C 型(复合式土石混合堤结构)堤防断面

4)D 型堤防断面(复合式土石混合堤+桩式混合护岸)

防洪堤堤顶宽 7m(考虑堤路结合)，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，路面宽 5.7m，厚 12cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的塘渣垫层。

堤防迎水侧上部设 C25 砼挡墙，墙底设厚 130cm 的宕渣垫层，墙前设 3.0m 宽一级平台，下部迎水坡坡比 1:3，采用 35cm 厚干砌块石护坡，干砌块石护坡下设 30cm 厚碎石垫层和 15kN/m 无纺土工布，坡脚设置 C25 砼大方脚；墙后堤身为宕渣填筑和土方填筑，宕渣填筑体与土方填筑体交接面边坡为 1:1，中间设 15kN/m^2 无纺土工布。

堤防背水坡坡比 1:2，采用草皮+低灌木绿化，坡脚设 C25 砼排水沟。该类型防洪堤处于凹岸顶冲段，需设置护岸防冲，采用桩式(灌注桩)+坡式(软体排+砼四面六边体框

架)混合护岸，灌注桩深入土层一定深度以维护堤防的整体稳定，灌注桩以外采用软体排+砼四面六边体框架进行防冲促淤。

在岸坡 2.0m 高程左右处设密排砼灌注桩作为防冲抗滑桩，灌注桩直径 80cm，间距 1.0m，桩长约 14m；顶部设置冠梁，梁顶高程 2.5m。梁以上至堤脚边采用块石理砌护坡，块石理砌护坡面层为 50cm 的理砌块石，下设一层经编土工布(10t/m^2)。

桩前坡式护岸底层为块石+充砂袋软体排，软体排排长根据冲刷结果计算确定，充砂袋软体排上抛 30cm 厚袋装宕渣，再抛 60cm 厚块石垫层，抛石量考虑 30%沉损系数（飞云江治理一期工程实施经验）。表面抛砼四面六边体框架防冲促淤，砼四面六边体框架抛一层；桩后至 3.0 高程采用块石理砌护岸，，下设袋装宕渣 30cm 并设砼地梁封端。

四面六边体框架采用 C30 混凝土预制，框杆横断面尺寸为 0.12m×0.12m，框杆长 1.2m，中间预埋 φ12 钢筋，单块重量约 260kg。

D 型主要适用于陶山镇碧山段澄头村凹岸，为非房屋密集区段。

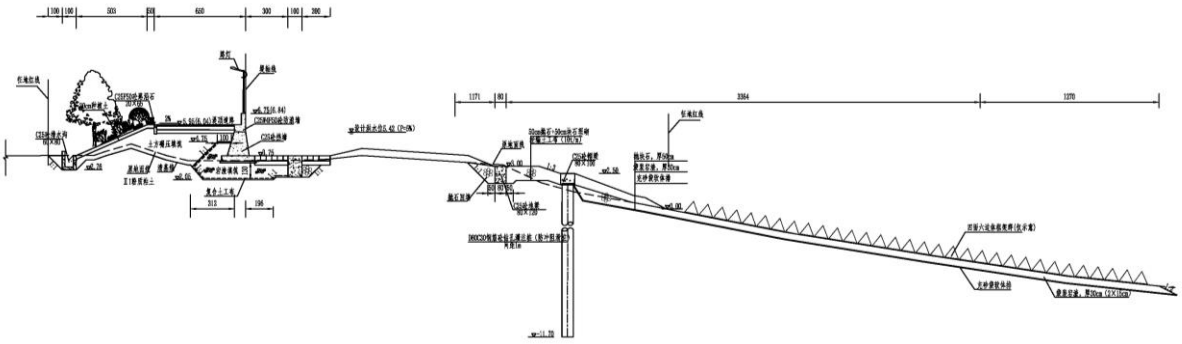


图 5.6-4　　D 型(复合式土石混合堤+桩式混合护岸)堤防断面

5) E 型堤防断面(直立式轻型框架)

直立式轻型框架式堤防，堤顶宽 4m，采用 C30 砼框架梁板结构。堤身底部基础为 65cm 厚钢筋混凝土底板，底板以下基础处理采用 φ80cmC30 砼灌注桩，横向间距 2.4m，纵向间距 2.0m，矩形布置，桩端深入持力层 1.6m。

框架结构底板以上通过框架柱或者挡水板与顶板(梁)连接，堤后为宕渣填筑，表层为绿化带，采用草皮+低灌木绿化，绿化带外设 C25 砼排水沟。

E 型主要适用于陶山镇碧山段桐田沙凹岸和潘岱白莲首末段部分房屋密集的堤段。

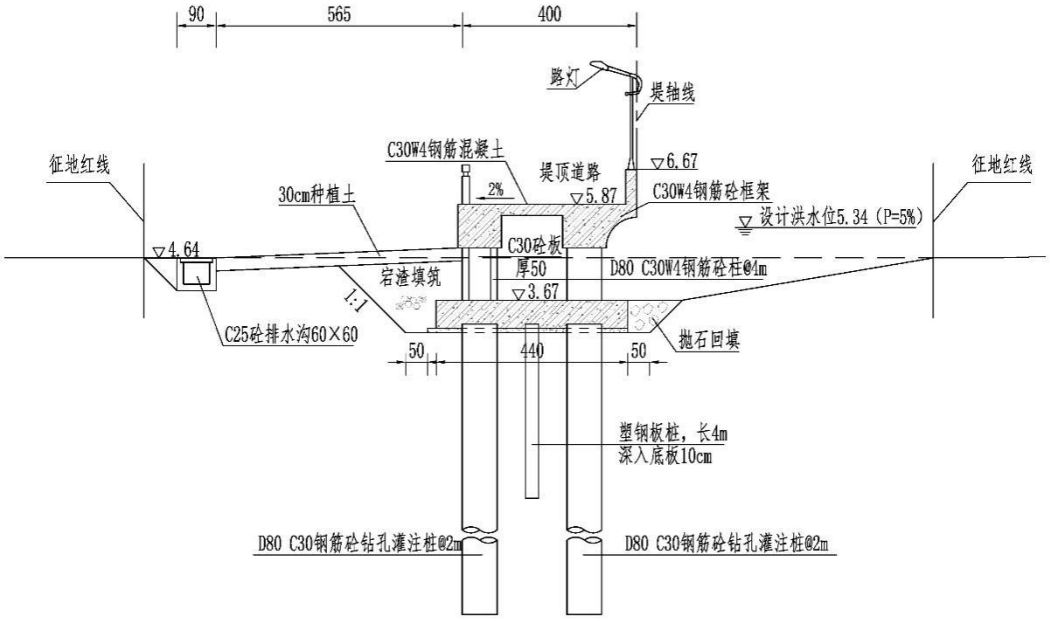


图 5.6-5　　E 型(直立式轻型框架)堤防断面

6) F 型堤防断面(直立式轻型框架+表面防冲护岸)

直立式轻型框架式堤防，堤顶宽 4m，采用 C30 砼框架梁板结构。堤身底部基础为 70cm 厚钢筋混凝土底板，底板以下基础处理采用 φ80cmC30 砼灌注桩，横向间距 2.4m，纵向间距 2.0m，矩形布置，桩端深入持力层 1.6m。

框架结构底板以上通过框架柱或者挡水板与顶板(梁)连接，框架结构堤后为宕渣填筑，表层为绿化带，采用草皮+低灌木绿化。

该类型防洪堤处于河流凹岸顶冲段，需设置护岸防冲，采用坡式(软体排+砼四面六边体框架)护岸。

岸坡 1.0m 高程处设置 C25 砼地梁，梁顶高程 1.0m；地梁以上至轻型结构底板边采用块石理砌护坡，块石理砌护坡面层为 50cm 的理砌块石，下设厚 50cm 的抛石和一层经编土工布。

地梁以下坡式护岸底层为块石+充砂袋软体排，排长根据冲刷结果计算确定，排头采用 Φ50 钢管（长 4m 间距 0.5m）固定。充砂袋软体排上抛 30cm 厚袋装宕渣，再抛 60cm 厚块石垫层，抛石量考虑 30%沉损系数（飞云江治理一期工程实施经验）。表面抛砼四面六边体框架防冲促淤，砼四面六边体框架抛一层。

四面六边体框架采用 C30 混凝土预制，框杆横断面尺寸为 0.12m×0.12m，框杆长

1.2m，中间预埋 φ12 钢筋，单块重量约 260kg。

F 型主要适用于陶山镇碧山段龟岩村凹岸堤线靠近河岸布置堤段。

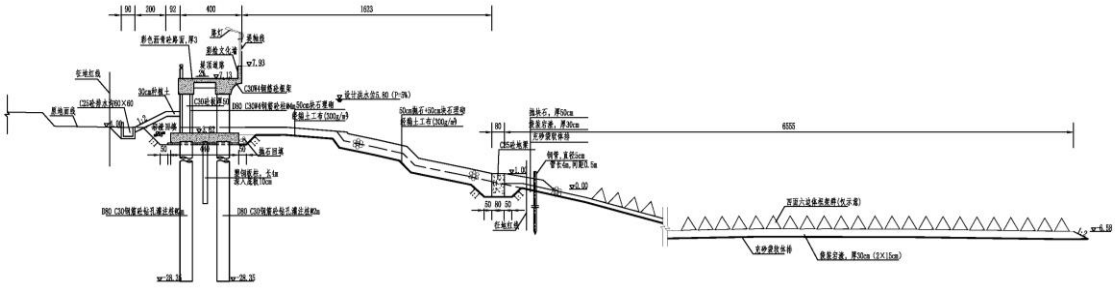


图 5.6-6　　F 型直立式轻型框架+表面防冲护岸堤防断面

7) G 型堤防断面(利用现状道路+桩式防冲护岸)

本方案堤防内侧水泥路面拓宽约 11m，堤顶采用 C25 砼挡墙，内侧设人行步道，宽 3.0m。堤防迎水侧坡面清表后采用 C25F50 砼框格梁植草，厚 30cm，坡面绿化，坡比 1:2，下设合金钢网垫垫层兼顾防冲。坡脚设 C25 砼大方脚，截面尺寸 80cm×60cm，外侧设双排 D100C30 砼灌注桩垂直防冲密排布置。C25 挡墙下设 Φ60@100 水泥搅拌桩。

G 型主要适用于平阳坑镇区集镇拆迁段。

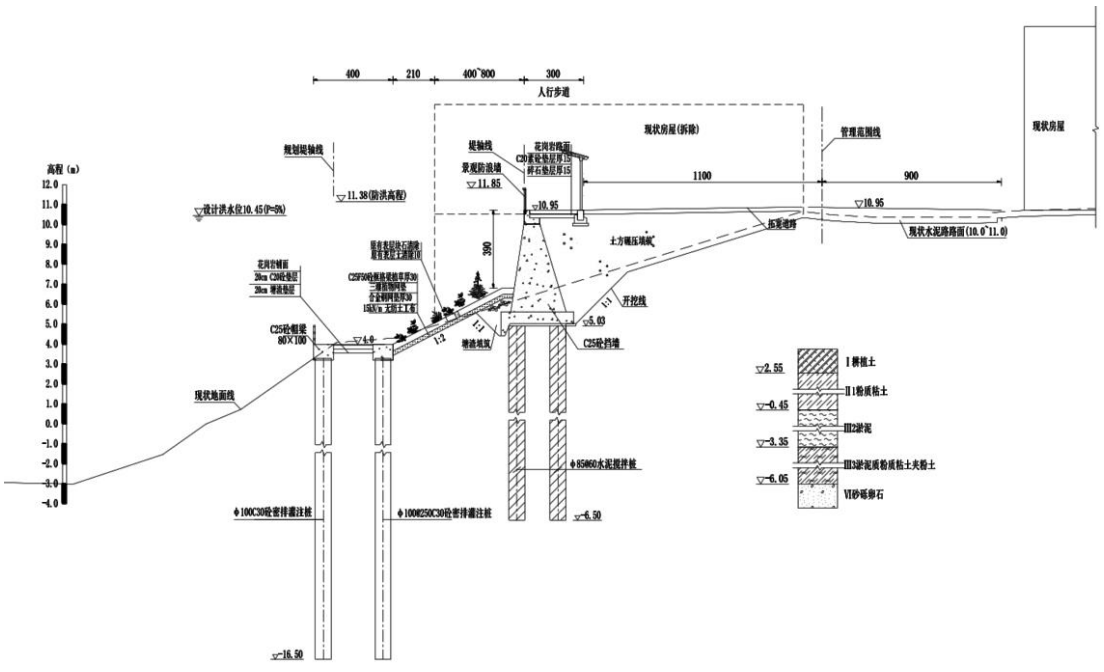


图 5.6-7　　G 型(利用现状道路加宽)堤防断面

8)H 型堤防断面(直立式防洪墙堤防断面)

防洪堤堤顶宽 5.5m，堤顶高程按设计水位加堤顶超高确定。堤顶为沥青砼路面，厚 11cm，下设厚 25cm 的水泥稳定碎石层和厚 25cm 的塘碴垫层。道路内侧设 C25 砼排水沟。

堤防迎水侧设 C25 砼悬臂式挡墙，墙后堤身为土方填筑。道路背水侧与现状地形衔接采用坡比 1:1。

H 型主要适用于平阳坑段瑞安市平阳坑制革厂位置局部堤段。

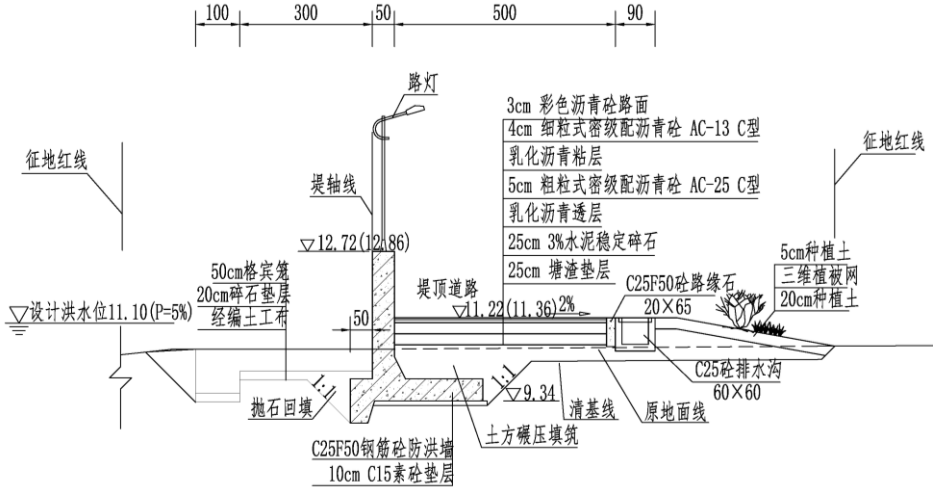


图 5.6-8　　H 型堤防断面(直立式防洪墙堤防断面)

5.6.4.2　堤防断面型式选择

根据堤防沿线水文、地形地质条件、现状河岸受冲刷情况，以及堤后区域环境和洪水与潮水的组合影响等因素，经综合考虑，对不同的堤段选用不同的堤防断面类型。以下为各段堤防断面选型表(见表 5.6-2)。

表 5.6-2　　堤防断面选型表

堤防分段	飞云江左岸/右岸	选用 断面型式	桩号范围	长度（m）
平阳坑段	右岸	A 型	PYK0+000～PYK0+447 PYK0+595～PYK1+483 PYK2+467～PYK2+881	1749
		G 型	PYK1+483～PYK2+128	645
		H 型	PYK0+447～PYK0+595	148
		利用现状道路	PYK2+128～PYK2+467 PYK2+881～PYK3+007	465
马屿镇梅屿段	左岸	A 型	MY2+630～MY4+421	1791
		B 型	MY4+421～MY4+904	483
		列入飞云江治理三期工程	MY0+000～MY2+630	2630
陶山镇荆谷段	左岸	A 型	JG0+602～JG5+435	4833
		B 型	JG0+313～JG0+602	289
		利用现状道路 +桩式混合护岸	JG0+000～JG0+313	313

堤防分段	飞云江左岸/右岸	选用	桩号范围	长度（m）
		断面型式		
陶山镇荆谷段		利用温州绕城高速西南线路基段作为堤岸	JG5+435～JG7+385	1950
陶山镇碧山段	左岸	C 型	BS1+922～BS6+580	4658
		E 型	BS1+532～B1+922	390
		F 型	BS0+000～BS1+532	1532
桐浦塔山至澄头段	左岸	C 型	B0+000～B0+353	353
		D 型	B0+353～B0+957	604
		E 型	A0+000～A1+599	1599
潘岱白莲段	左岸	C 型	BL0+515～BL2+243	1728
		E 型	BL0+000～BL0+515 BL2+243～BL2+701	973

表 5.6-3 **各堤防型式长度统计**

堤防型式	长度(km)	堤防型式	长度(km)
堤防典型断面图 A	8.37	堤防典型断面图 E	2.96
堤防典型断面图 B	0.77	堤防典型断面图 F	1.53
堤防典型断面图 C	6.74	堤防典型断面图 G	0.65
堤防典型断面图 D	0.60	堤防典型断面图 H	0.15
		合计	21.77

5.6.5 堤基处理设计

根据地质勘探结论，本工程堤防沿线沉积环境较为复杂，地基土层分布变化较大；堤基均分布软弱土层，软弱土层一般较厚，其含水量高，高压缩性，高灵敏度，低强度，工程地质条件差，是堤基稳定和抗冲稳定的控制性土层；堤岸沿线多有抛石分布，多分布于易被冲刷、淘刷地段，经长期水流作用，其分布范围和位置较为复杂。因此需要根据不同堤段的具体情况选择地基处理方案。

5.6.5.1 地基处理方法

目前常用的堤防软土地基处理方式有：置换、吹砂或碎石垫层加速排水、堤脚处压载、排水固结法、真空预压法、抛石挤淤法、桩基处理法、深层搅拌法以及振冲挤密法等。各软土地基处理方法优缺点比较见表 5.6-4。

表 5.6-4　　常见的软土地基处理方法优缺点比较表

软土地基处理方法	优点	缺点
换填法	通过挖出软弱土层、换填土的方法来加固地基，施工方法简单。	适用于浅层置换的情况，对于置换较厚软土层，存在大开挖风险。
排水固结法	加固软粘土地基效果可靠、计算理论比较成熟、施工技术条件成熟，且较经济，是常用的软粘土地基处理方法之一。	分级加载历时较长，堤身断面要求大，工后沉降仍较大。本工程堤防高度低，上部荷载相对较小，排水效果有限。
真空预压法	利用大气压差进行预压，不需要堆载，不存在地基整体失稳问题；结合堆载，可加快施工速度。	受潮汐影响区，不便于施工；粉细砂层，难以形成负压。
抛石挤淤法	用砂、石等填料将地基中的淤泥置换，可达到加固软基的目的，施工速度较快。	石方用量大，成本高，适用于滩涂、堤身高度较大的堤防工程。
桩基处理法	桩基处理法可较好避免上部结构的不均匀沉降，结构稳定性较好；施工速度快，适应水流冲刷能力较强。	桩基处理成本较高。
深层搅拌法	在施工中无噪音、无振动，对环境无污染；单桩投资稍省。	挤土效应弱；普遍存在搅拌不均匀，上部强度高，下部强度低。
振冲密实法	对砂土、粉土和碎石土具有挤密和置换作用，对粘土和填土以置换作用为主，兼有不同程度的挤密和排水作用，可加速地基固结，效果较好。	施工要求严，如振冲碎石桩施工前需要进行试桩试验；施工时对周围环境有一定影响。

综合比较上述处理方法的优缺点，根据工程范围内的地形地质条件和自然地理条件，排水固结法、真空预压法及振冲密实法等方法在本工程不宜采用。

本工程复合式堤防迎水侧小挡墙高约 2.5m，多位于滩地或农田段，从施工简易和节省投资角度考虑推荐采用换填法，对局部挡墙位于低滩的堤段，挡墙地基考虑采用抛石挤淤法处理。对堤身为直立式轻型框架结构的堤段，为了尽量减少对堤岸基础土层附加堤身荷载，提高堤岸的整体稳定性，从结构安全角度推荐堤基采用桩基处理法。

5.6.5.2　直立式轻型框架堤防桩型选择

根据当地水利工程、港口工程经验，结合本工程实际，桩基拟采用钻孔灌注桩、预应力砼管桩(PHC 桩)、钻孔灌注筒桩三种型式进行分析，桩型比较见表 5.6-5。

表 5.6-5　　桩型比较分析表

方案 / 项目	钻孔灌注桩	PHC桩	钻孔灌注筒桩
单价(元/m)	796.0	878.5	835.5
优点	1、结构安全可靠2、桩长调整灵活；3、施工工艺成熟，质量易保证；4、清障手段多，受地下障碍物影响小。	1、桩身强度高； 2、施工速度快； 3、砼方量小； 4、单桩承载力大。	1、结构安全可靠； 2、桩长调整灵活； 3、清障手段多，受地下障碍物影响小； 4、砼方量小。

方案 项目	钻孔灌注桩	PHC桩	钻孔灌注筒桩
缺点	1、需搭设工作平台、受潮汐影响； 2、混凝土方量大。	1、桩长难以控制；2、沉桩受潮汐和水深条件控制；3、施工噪音大、震动大；4、局部堤段存在老抛石体，不能施工。	1、需搭设工作平台、受潮汐影响；2、施工工艺不成熟，应用刚起步。
综合评价	推荐采用	不采用	不采用

从上表可以看出，每延米以钻孔灌注桩投资较省，薄壁筒桩次之，

PHC 桩最大。考虑本工程施工受水深和潮汐条件的限制难以用常规机械沉桩，在本工程中不宜推荐采用。筒桩在水利工程中的应用刚刚起步，工艺不成熟。因此，本设计推荐采用钻孔灌注桩。

综上，本工程直立式轻型框架式堤型采用直径 φ80cm 砼钻孔灌注桩进行处理。

5.6.5.3 地基处理布置

由于堤防靠近河岸相对较近或堤身位于低洼区，部分堤防高度超过 3.4m，为了堤防的整体稳定性或减少堤基沉降，部分堤身基础淤泥层增设水泥搅拌桩处理。水泥搅拌桩布置范围为堤身高度大于 3.4m 的堤防及高度大于 3.4m 的挡墙，布置断面宽度为堤防道路及回填高度大于 3.4m 的范围及挡墙底部，布置方式为：（1）碧山段及桐浦塔山澄头段：为双轴轴水泥土搅拌桩，直径 60cm，相互搭接 20cm，桩深 12m，横向间距 100cm，竖向间距 140m 矩形布置。（2）其余堤段：为单轴水泥土搅拌桩直径 60cm，桩深 9m，100cm 间距梅花型布置。除碧山段连片鱼塘（BS1+922~BS4+546）基础水泥搅拌桩掺量为 20%，其他各段搅拌桩水泥掺量为 15%。

表 5.6-6 **布桩范围比较表**

基础处理范围对比表					
	可研桩号(km+m)	可研长度(m)	初设桩号(km+m)	初设长度(m)	增量（m）
平阳坑段	PYK0+102-PYK0+400	1067	PYK0+126-PYK0+447	1037	-30
	PYK0+800-PYK1+569		PYK0+832-PYK1+431		
			PYK2+508-PYK2+625		
梅屿段	-	-	-	-	
荆谷段	JG2+362-JG5+435	3073	JG0+600-JG0+900	2774	-299
			JG1+450-JG1+994		
			JG3+295-JG3+460		
			JG3+547-JG4+702		
			JG4+800-JG5+410		
碧山段	-	-	BS1+922-BS6+550	4628	4628

基础处理范围对比表					
	可研桩号(km+m)	可研长度(m)	初设桩号(km+m)	初设长度(m)	增量（m）
桐浦塔山澄头段	-	-	B0+000-B0+957	957	957
潘岱白莲段	BL0+537-BL2+290	1753	BL0+515-BL2+243	1728	-25
合计		5893		11124	5231

5.6.6 堤防工程白蚁防治

堤防工程白蚁防治应遵循“以防为主、防治结合，综合治理、持续管控，科技赋能、绿色安全”的原则。

根据飞云江二期初步设计测量外业工作和地质勘测外业工作以及设计人员现场查勘，并向沿线镇街管理部门调查了解，飞云江二期堤防沿线未发现白蚁危害情况。设计人员向正在运行的飞云江一期工程管理人员和正在施工的二期桐田段管理人员咨询，也未发现白蚁危害情况。

根据《水利工程白蚁防治技术指南（试行）》（2023.08），发生水利工程白蚁危害地区（以下简称白蚁危害地区）新建水利工程建设项目，应将白蚁防治措施纳入项目建设内容，同时设计、同时施工、同时投运。项目勘察设计应包含以下白蚁防治设计内容：

1、白蚁危害情况专项调查及检查成果；

2、地基、堤坝与两侧山体接触部位及周边白蚁的灭杀措施及要求；

3、防蚁物理屏障、药土屏障等预防措施及蚁情监测措施；

4、防治及监测措施工程投资。

白蚁防治应根据工程特点、地理位置、生态环境和气候特征，结合蚁情检查情况和白蚁危害等级评定结果，因地制宜地应用多种措施进行综合防治。

水利工程管理（建设）单位应结合蚁情检查和白蚁危害等级评定结果，组织编制工程白蚁防治方案，作为防治施工方案的编制依据。

对白蚁危害等级评定为轻度和中度的水利工程，管理单位应加强工程安全及蚁情检查监测，及时提出白蚁防治方案并组织实施，防治方案可与施工方案一起编制。对白蚁危害等级评定为严重的水利工程，应进行防治方案专题设计，管理单位应立即组织开展工程白蚁防治工作。

水利堤防工程白蚁预防可分为建设期预防措施及运行期预防措施。

（一） 建设期预防措施应符合以下规定：

1　新建堤防主体工程施工前，应根据检查结果对工程地基、堤坝与两侧山体接触部位等进行清理和白蚁灭杀，对周边地区白蚁危害进行处理；

2　工程建设项目需要取土的，取土前应对土料场存在的白蚁危害进行灭治。土料场白蚁危害严重、无法满足彻底灭治要求时，应变更土料场。

（二） 可结合工程实际，研究设置物理屏障或药土屏障，并符合以下规定：

1　用煤渣或粗砂在堤防浸润线以上部分修筑防蚁层，粗砂粒径 2～4mm 且级配连续，防蚁层厚度不宜小于 20cm；

2 在可能的蚁源区与工程主体之间，按照直径 1.5～2.0cm、孔距 30～40cm、孔深 80～100cm 的标准梅花状打孔，在孔内灌药，形成药土防蚁带。

（三） 运行期白蚁预防措施应符合以下规定：

1　应及时清除蚁患区和蚁源区白蚁喜食食物，保持堤坝护坡平整清洁，护坡草不宜高于 15cm；不应在蚁患区长时间堆放木材和柴草；

2　宜在蚁源区设置生态屏障，适当种植夹竹桃、薰衣草、苦楝、臭椿、苦木等对白蚁有驱避作用的植物；

3　应保护昆虫类、蛛形纲、两栖类、鸟类、哺乳类等对工程不造成破坏的白蚁天敌，控制白蚁新建群体；

4　在白蚁分飞期间，可在蚁源区外沿布设白蚁有翅成虫诱捕装置，对可能飞进蚁患区的白蚁进行诱捕和阻断。蚁患区灯光设施不宜采用 365～420nm 波长范围的照明光源

5.7　堤防设计计算

5.7.1　堤防整体稳定计算

（1）计算方法

根据《堤防工程设计规范》GB50286-2013 进行抗滑稳定计算。计算软件采用 AUTOBANK7.0。计算方法为简化毕肖普法，计算公式如下：

$$K=\frac{\sum\{[(W\pm V)\sec\alpha-ub\sec\alpha]\tan\varphi'+c'b\sec\alpha\}/(1+\tan\alpha\tan\varphi'/K)}{\sum[(W\pm V)\sin\alpha+M_c/R]} \qquad (5.7\text{-}1)$$

式中：K——土坡稳定安全系数；

W——土条重；

V——垂直地震惯性力（V 向上为负，向下为正）；

u——作用于土条底面的孔隙压力（kN/m^2）；

α——条块重力线与通过此条块底面中点的半径之间的夹角（°）；

b——土条的宽度；

c′、Φ——土条底面的有效凝聚力（kN/m²）和有效内摩擦角（°）；

Mc——水平地震惯性力对圆心的力矩（kN.m）；

R——圆弧半径（m）；

（2）计算工况水位组合

根据《堤防工程设计规范》，并结合工程情况和水文条件，本工程按施工期、正常运行期、水位骤降期三种工况进行整体稳定分析计算。

①施工期工况：临水坡水位为平均低潮位，堤后采用地面以下 0.5m 处，路堤附加荷载 5kN/m²；

②正常运行期工况：临水侧取设计高潮水位，背水侧地面以下 0.5m 处，路堤附加荷载 10.5kN/m²；

③水位降落期工况：临水侧由设计高潮位骤降至汛期平均水位，背水侧取地面以下 0.5m 处，路堤附加荷载 10.5kN/m²；

④冲刷最不利工况：计算断面延伸到河道的深泓线。

（3）计算断面选取

根据本阶段地质提供的资料，以下对土质边坡 11 个最不利断面进行计算。其中平阳坑段计算 2 个断面，马屿镇梅屿段计算 1 个断面，陶山镇荆谷段计算 5 个断面，陶山镇碧山段计算 1 个断面，桐浦段计算 1 个断面，白莲段计算 1 个段面。堤防级别均为 4 级。

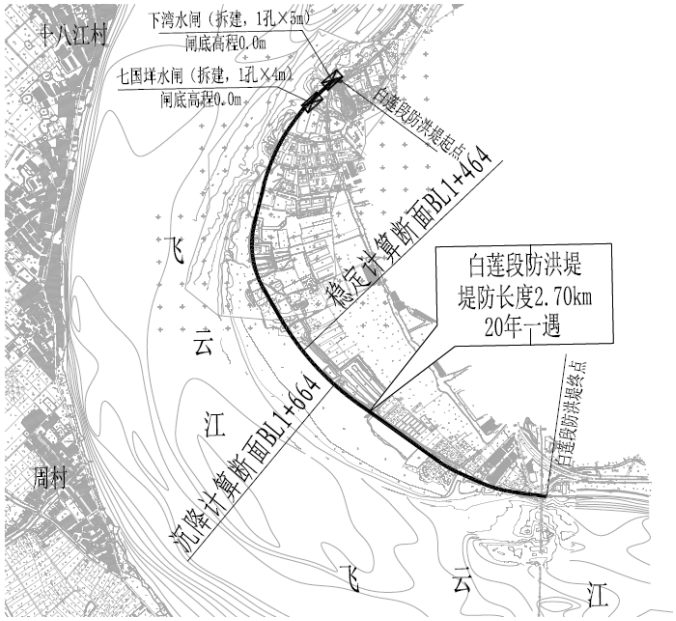


图 5.7-1　白莲段稳定计算断面平面位置图

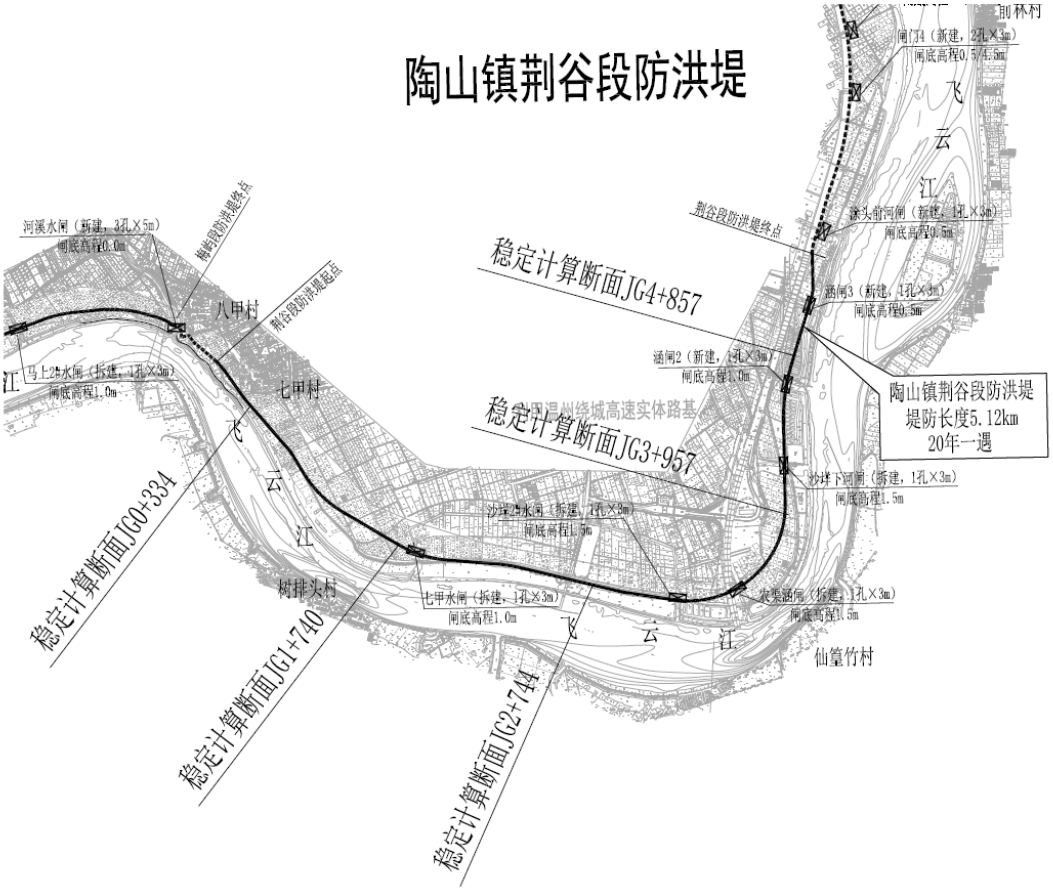


图 5.7-2　　荆谷段稳定计算断面平面位置图

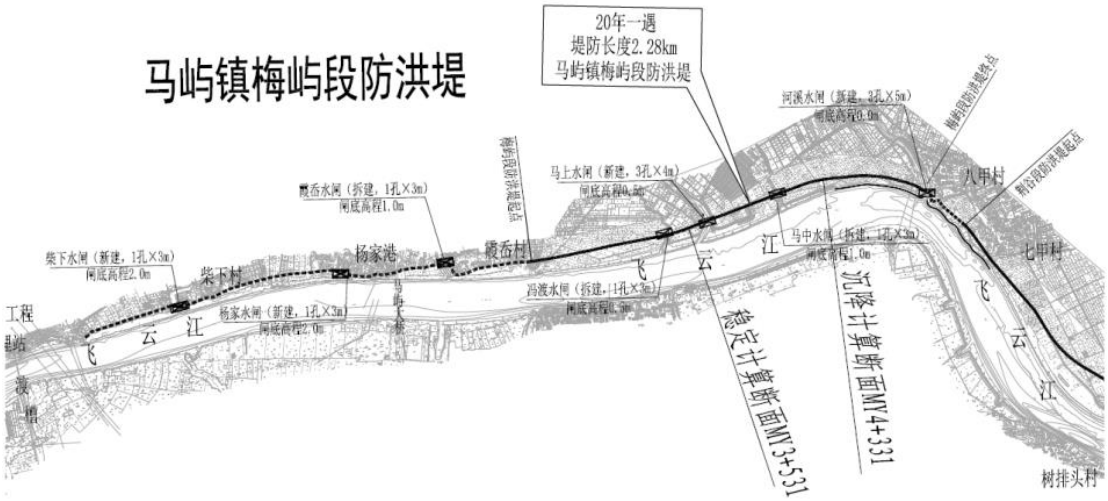


图 5.7-3　　梅屿段稳定计算断面平面位置图

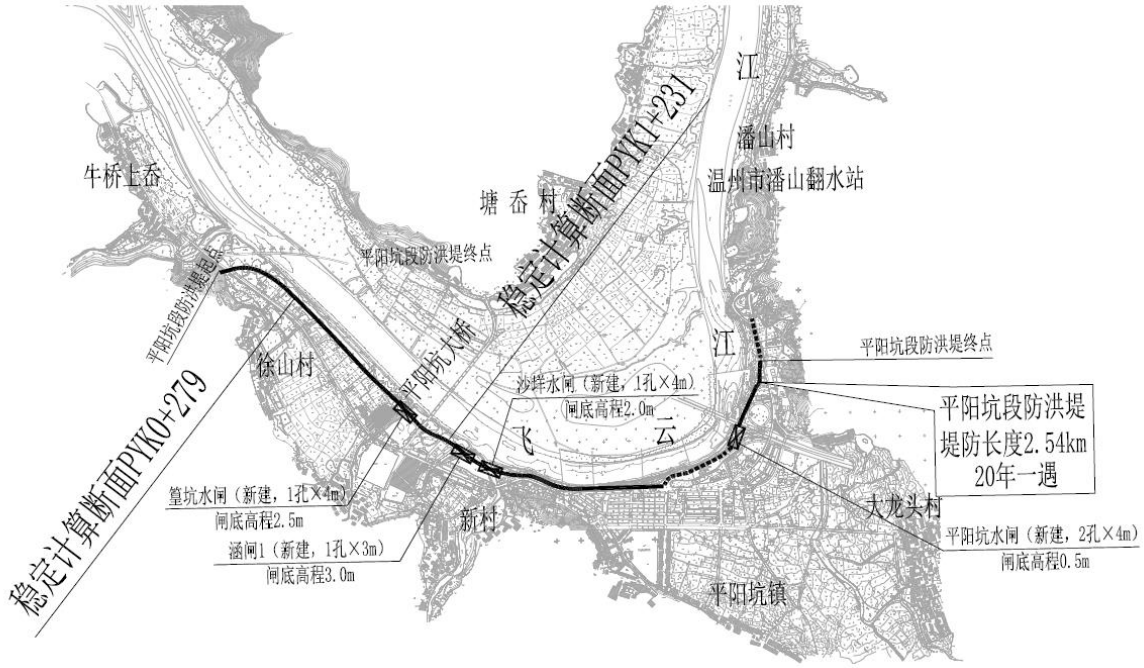


图 5.7-4　　平阳坑段稳定计算断面平面位置图

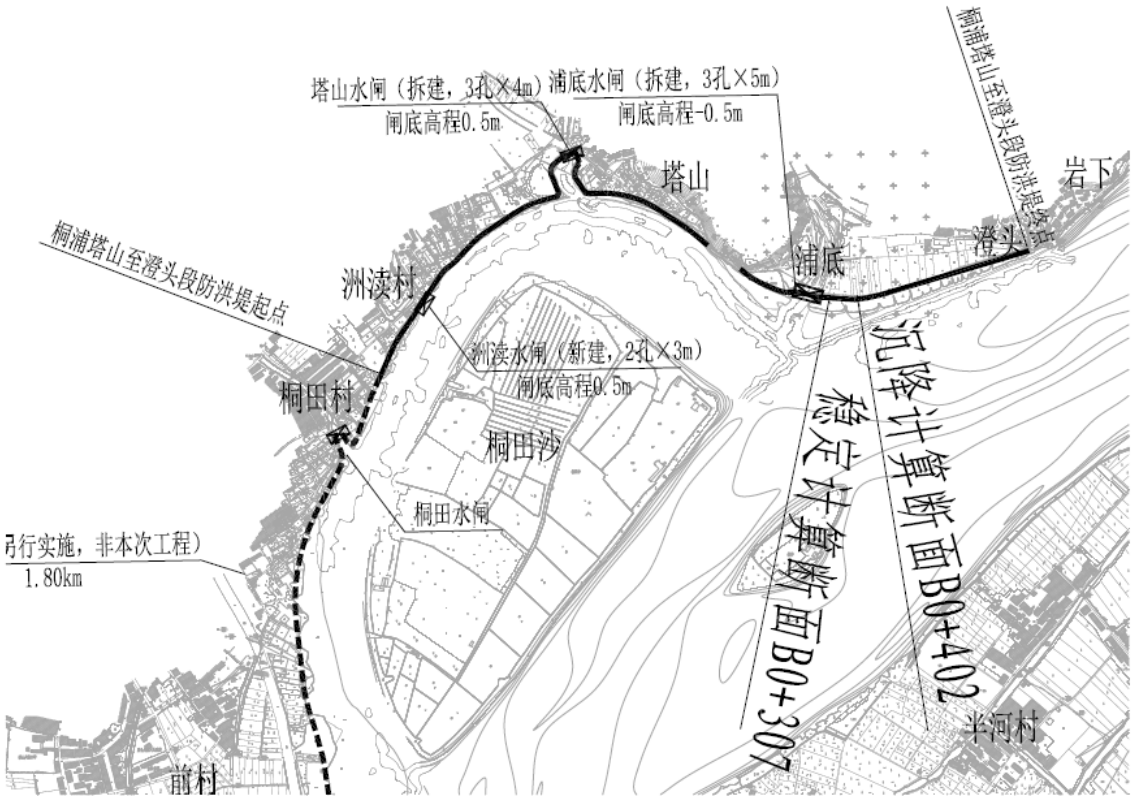


图 5.7-5　　桐浦段稳定计算断面平面位置图

（4）飞云江各土层物理力学指标

各段地质指标按照工程地质章节取用。

表 5.7-1　　平阳坑段各土层物理力学指标设计取用值

序号	土层名称	湿密度 ρ（g/cm³）	渗透系数（cm/s）		快剪		固结快剪	
			水平渗透系数	垂直渗透系数	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）
1	堤防填土	1.74	6.10E-05	4.90E-05	25	13.1	31	20.0
2	①1 粉质粘土	1.88	4.35E-06	3.60E-06	11.0	12.5	14.2	14.5
3	①2 淤泥质粉质粘土	1.78	2.85E-06	8.60E-07	6.5	7.6	7.9	17.0
4	②1 淤泥	1.64	2.73E-06	4.20E-06	6.0	3.3	9.2	7.9

表 5.7-2　　梅屿段各土层物理力学指标设计取用值

序号	土层名称	湿密度 ρ（g/cm3）	渗透系数（cm/s）		快剪		固结快剪	
			水平渗透系数	垂直渗透系数	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）
1	堤防填土	1.74	6.10E-05	4.90E-05	25	13.1	31	20.0
2	①1 粉质粘土	1.89	3.00E-06	3.10E-06	10.8	15.5	14.2	20.4
3	②2a 淤泥夹粉砂	1.77	1.83E-06	1.65E-06	8.0	8.6	12.9	14.0
4	②2b 粉细砂夹淤泥	1.92	6.67E-06	6.67E-06	5.0	17.6	7.0	22.0
5	②3 淤泥	1.66	3.50E-07	3.50E-07	6.2	3.4	/	/
6	③1 淤泥质粘土	1.73	3.90E-07	2.20E-06	8.2	5.7	9.5	9.3

表 5.7-3　　荆谷段各土层物理力学指标设计取用值

序号	土层名称	湿密度 ρ（g/cm3）	渗透系数（cm/s）		快剪		固结快剪	
			水平渗透系数	垂直渗透系数	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）
1	堤防填土	1.74	6.10E-05	4.90E-05	25	13.1	31	20.0
2	02 素填土	1.83	2.21E-06	2.21E-06	11.0	9.4	15.9	11.2
3	①1 粉质粘土	1.85	8.90E-06	8.90E-06	10.3	12.1	13.6	13.4
4	①2 淤泥质粉质粘土	1.77	4.70E-07	4.70E-07	7.1	6.0	9.6	8.9
5	②2a 淤泥夹粉砂	1.81	8.90E-05	8.90E-05	8.4	9.0	11.8	13.6
6	②2b 粉砂夹淤泥	1.83	8.90E-05	8.90E-05	4.5	17	6.5	20
7	②3 淤泥	1.62	4.90E-07	4.90E-07	6.9	3.3	10.8	8.5
8	③1 淤泥质粘土	1.72	4.70E-07	4.60E-07	8.4	5.9	11.5	9.6

表 5.7-4　　碧山段各土层物理力学指标设计取用值

序号	土层名称	湿密度 ρ（g/cm3）	渗透系数（cm/s）		快剪		固结快剪	
			水平渗透系数	垂直渗透系数	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）
1	堤防填土	1.74	6.10E-05	4.90E-05	25	13.1	31	20.0
2	①1 粉质粘土	1.85	2.60E-06	2.13E-06	9.9	11.4	13.2	13.4
3	①2 淤泥质粘土	1.77	1.90E-06	7.80E-07	7.9	5.7	10.2	8.5
4	②2a 淤泥夹粉砂	1.77	3.33E-06	5.58E-06	7.8	8.7	10.7	14.5
5	②2b 粉、细砂夹淤泥	1.93	3.33E-06	5.58E-06	4.5	17.5	7.0	22.0
6	②3 淤泥	1.63	4.50E-07	4.50E-07	7.6	3.6	10.4	8.5
7	③1 淤泥质粘土	1.73	1.90E-07	7.80E-07	8.4	5.5	12.1	9.8
8	③2 粘土	1.75	1.10E-07	1.40E-07	10,7	6.5	22.9	10.2

表 5.7-5　　桐浦段各土层物理力学指标设计取用值

序号	土层名称	湿密度 ρ（g/cm3）	渗透系数（cm/s）		快剪		固结快剪	
			水平渗透系数	垂直渗透系数	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）
1	堤防填土	1.74	6.10E-05	4.90E-05	25	13.1	31	20.0
2	①1 粘土	1.80	1.40E-07	1.40E-07	10.0	6.0	13.6	8.7
3	①2 淤泥质粘土	1.79	1.90E-07	7.80E-07	7.4	5.0	10.0	8.0
4	②1 淤泥	1.59	5.60E-07	5.05E-07	7.1	3.1	9.2	6.1
5	②2a 淤泥夹粉砂	1.71	3.33E-05	5.58E-05	8.2	7.4	10.2	7.8
6	②3 淤泥	1.65	6.80E-07	4.80E-07	7.4	3.8	9.3	6.5
7	③1 淤泥质粘土	1.74	3.20E-07	3.25E-07	9.0	5.5	12.1	8.6
8	③2 粘土	1.84	1.10E-07	1.40E-07	13.4	6.4	16.1	11.2
9	④1 粘土	1.91	1.10E-07	1.40E-07	12.8	9.0	17.6	11.1

表 5.7-6　　白莲段各土层物理力学指标设计取用值

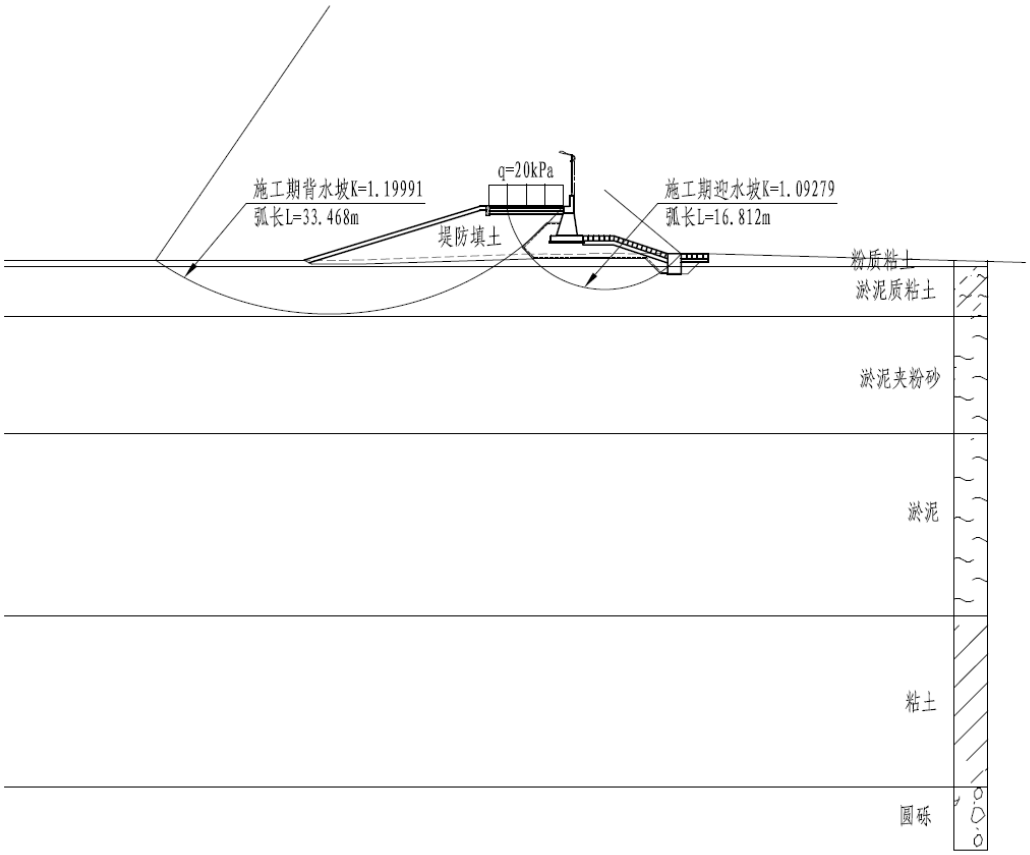
序号	土层名称	湿密度 ρ（g/cm3）	渗透系数（cm/s）		快剪		固结快剪	
			水平渗透系数	垂直渗透系数	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）	凝聚力 c(kpa)	摩擦角 φ（°）
1	堤防填土	1.74	6.10E-05	4.90E-05	25	13.1	31	20.0
2	①1 粉质粘土	1.86	3.33E-06	3.30E-07	10.7	10.0	13.7	13.1
3	①2 淤泥质粘土	1.77	1.90E-06	7.80E-07	7.9	5.3	11.3	8.2
4	②1 淤泥	1.63	5.60E-07	5.60E-07	7.4	3.0	9.0	7.5
5	②2a 淤泥夹粉砂	1.79	1.33E-06	2.50E-06	8.0	8.6	10.3	11.0
6	②2b 粉细砂夹淤泥	1.93	3.33E-06	5.58E-06	4.5	17.2	6.5	21.0
7	②3 淤泥	1.61	4.80E-07	4.85E-07	7.4	3.0	10.3	8.2
8	③1 淤泥质粘土	1.73	6.00E-07	6.00E-07	10.8	4.4	13.1	10.3

（5）堤防稳定计算成果

表 5.7-7　　堤防土质边坡整体稳定计算成果表

序号	典型断面	工况	抗滑系数	
			计算值	允许值
1	碧山段 BS4+271	施工期背水坡	1.19	1.15
		施工期临水坡	1.09	1.15
		水位骤降期临水坡	1.55	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.18	1.25
2	荆谷段 JG3+957	施工期背水坡	1.07	1.15
		施工期临水坡	1.28	1.15
		水位骤降期临水坡	1.38	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.22	1.25
3	荆谷段 JG0+334	施工期背水坡	2.18	1.15
		施工期临水坡	0.98	1.15
		水位骤降期临水坡	1.14	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.66	1.25
4	荆谷段 JG4+857	施工期背水坡	1.43	1.15
		施工期临水坡	1.35	1.15
		水位骤降期临水坡	1.59	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.11	1.25
5	荆谷段 JG1+740	施工期背水坡	1.49	1.15
		施工期临水坡	1.41	1.15
		水位骤降期临水坡	1.72	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.08	1.25
6	荆谷段 JG2+744	施工期背水坡	1.29	1.15
		施工期临水坡	1.44	1.15
		水位骤降期临水坡	1.63	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.46	1.25
7	平阳坑段 PYK0+279	施工期背水坡	4.27	1.15
		施工期临水坡	0.81	1.15
		水位骤降期临水坡	1.35	1.25
		稳定渗流期背水坡	3.71	1.25
8	平阳坑段 PYK1+231	施工期背水坡	2.16	1.15
		施工期临水坡	1.35	1.15
		水位骤降期临水坡	1.79	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.53	1.25
9	梅屿段 MY3+531	施工期背水坡	2.09	1.15
		施工期临水坡	2.07	1.15

序号	典型断面	工况	抗滑系数	
			计算值	允许值
9	梅屿段 MY3+531	水位骤降期临水坡	2.54	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.55	1.25
10	桐浦段 B0+307	施工期背水坡	2.36	1.15
		施工期临水坡	2.17	1.15
		水位骤降期临水坡	2.18	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.82	1.25
11	白莲段 BL1+464	施工期背水坡	1.95	1.15
		施工期临水坡	2.16	1.15
		水位骤降期临水坡	2.31	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.56	1.25



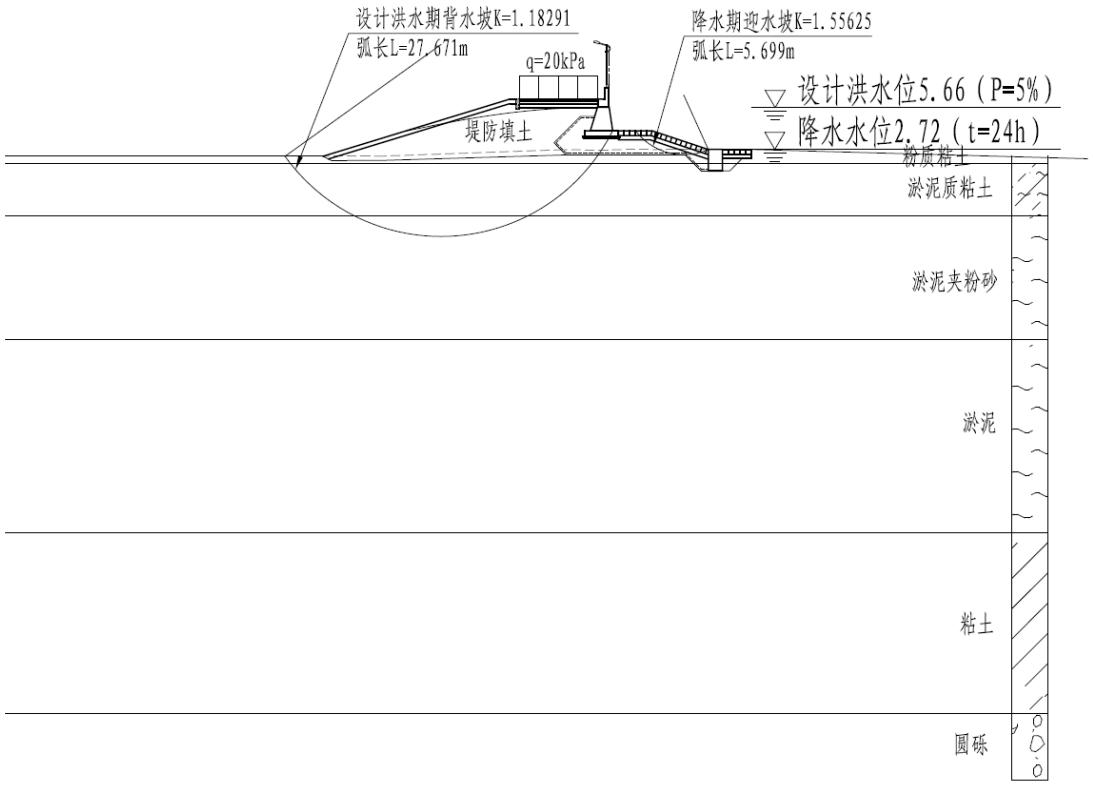
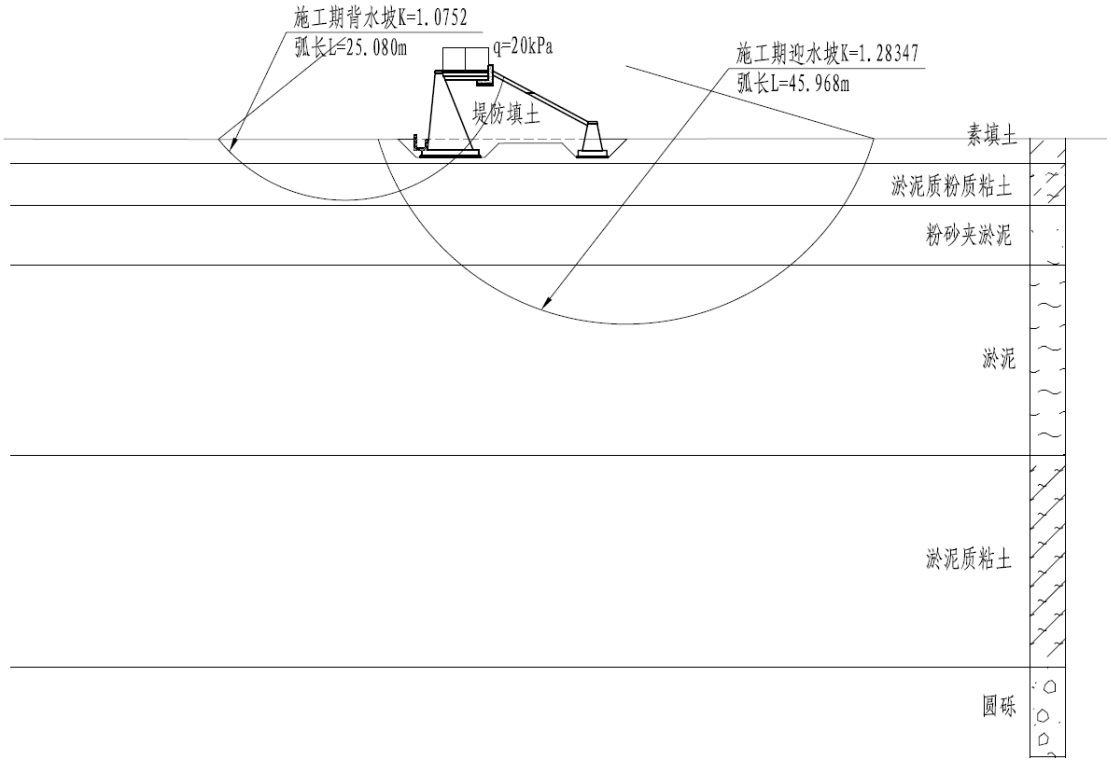


图 5.7-6　　桩号 BS4+271 稳定计算成果图



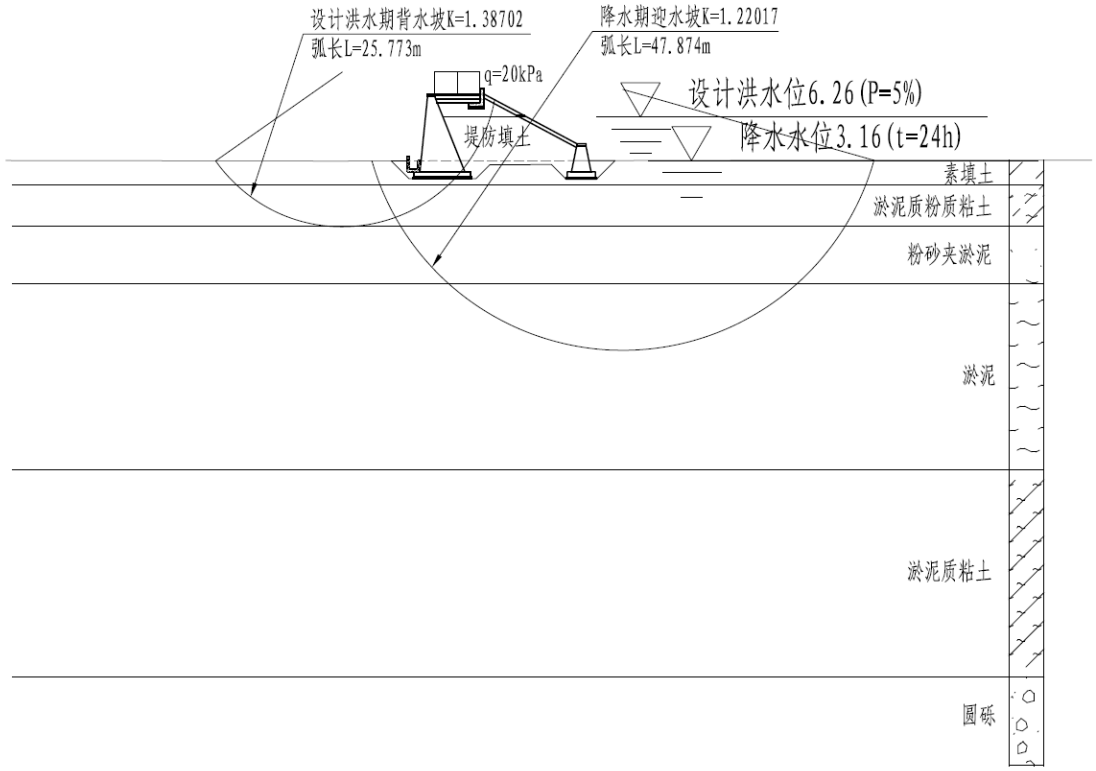
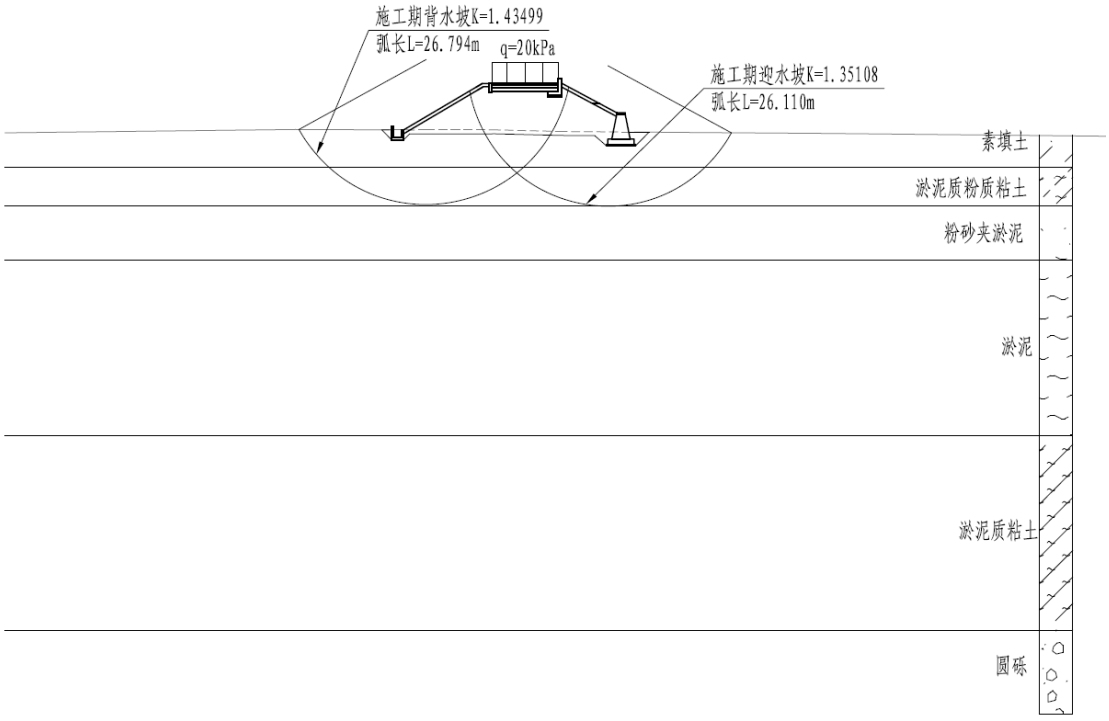


图 5.7-7　桩号 JG3+957 稳定计算成果图



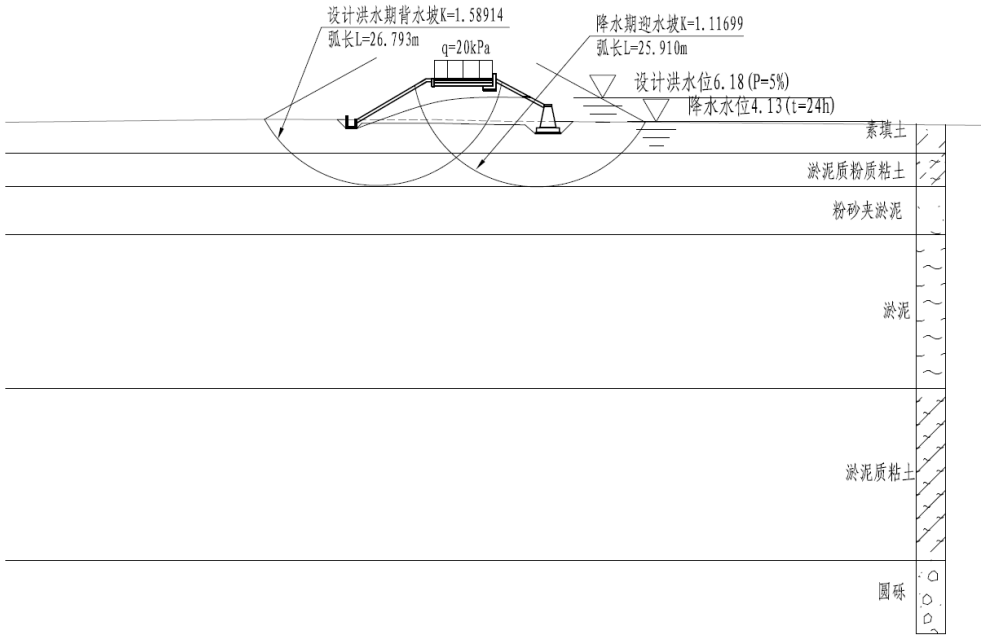


图 5.7-8　　桩号 JG4+857 稳定计算成果图

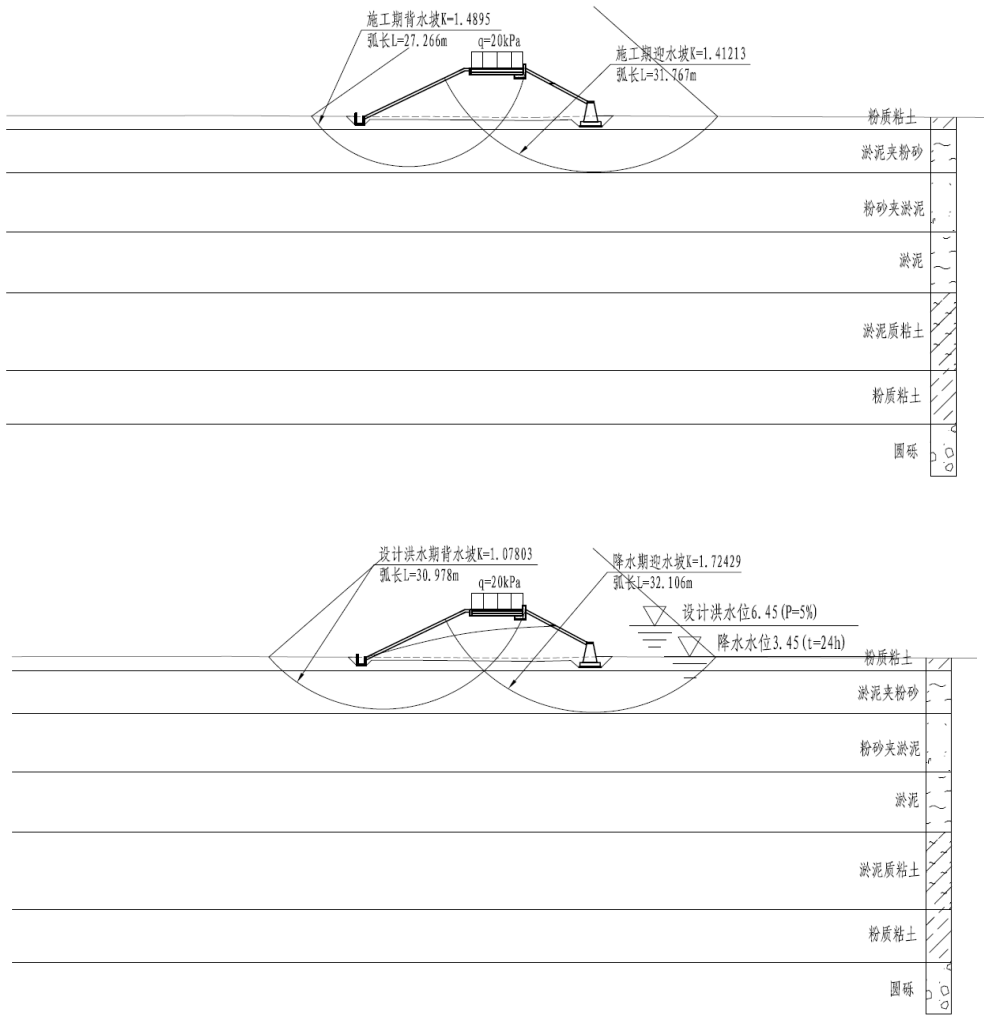


图 5.7-9　　桩号 JG1+740 稳定计算成果图

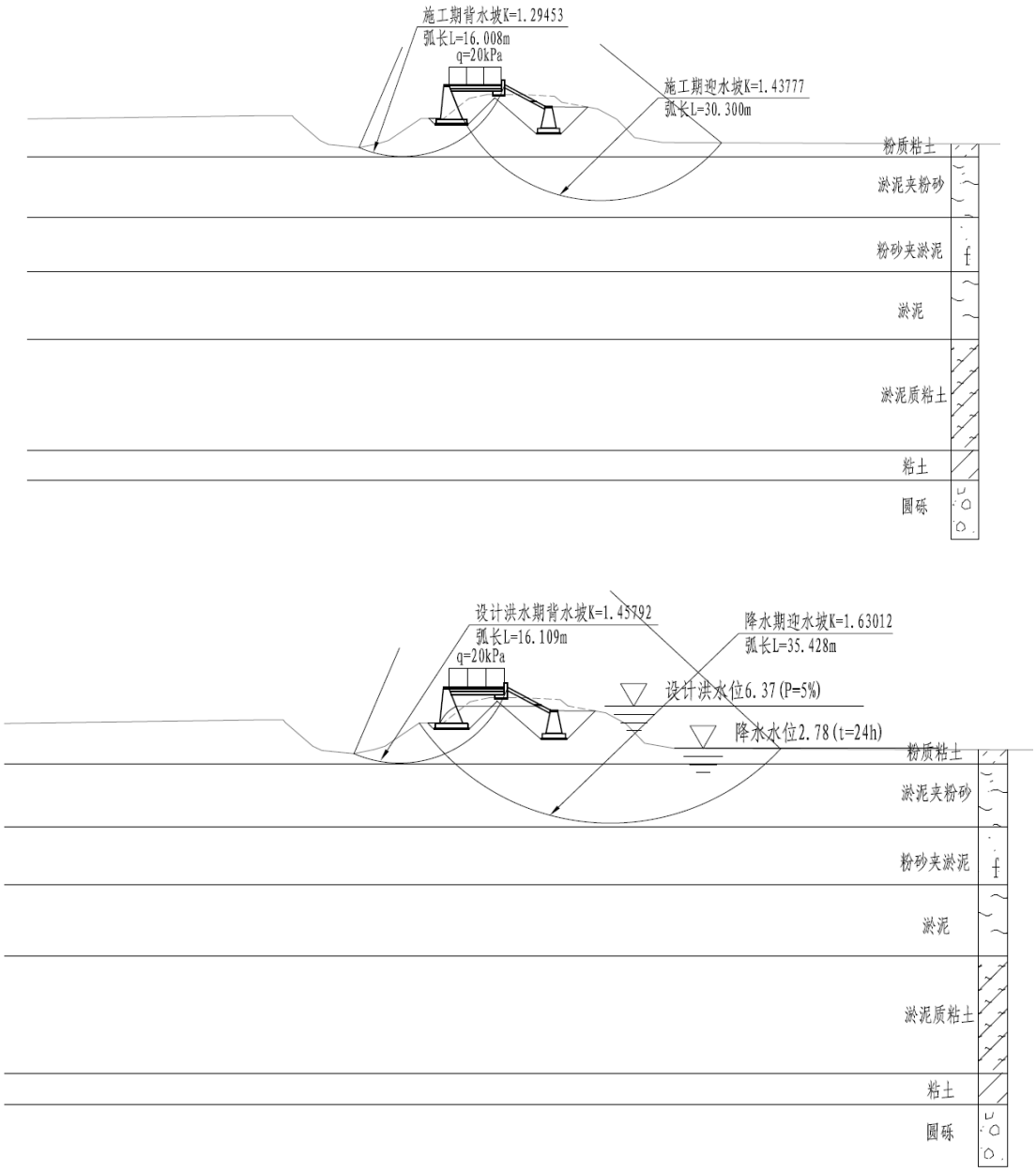
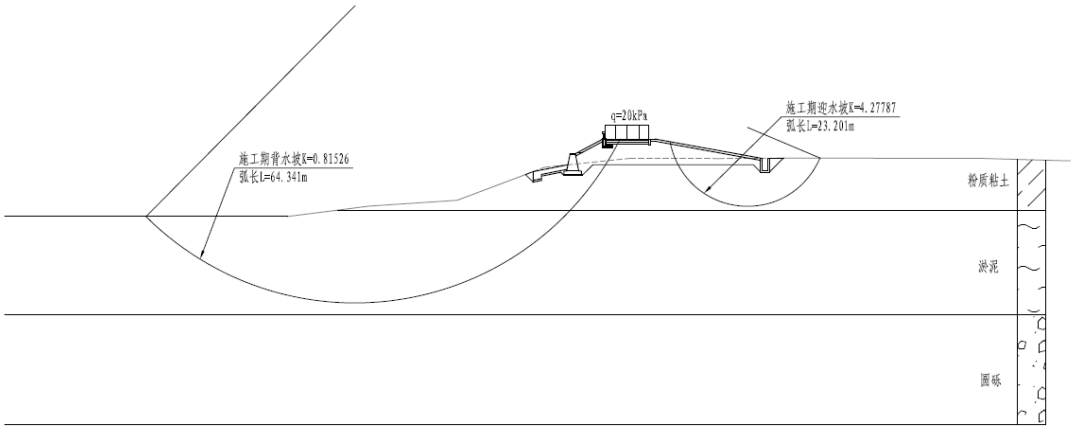


图 5.7-10　　桩号 JG2+744 稳定计算成果图



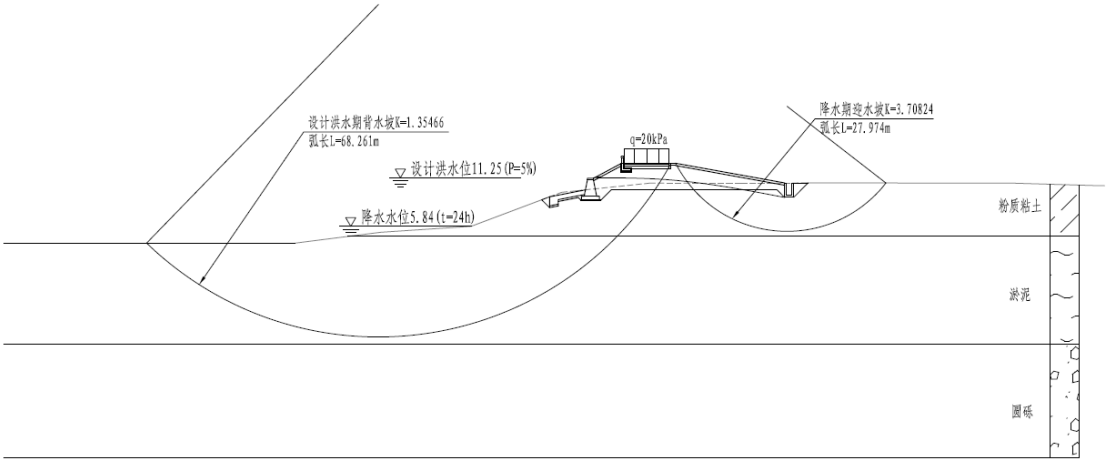


图 5.7-11　　桩号 PYK0+279 稳定计算成果图

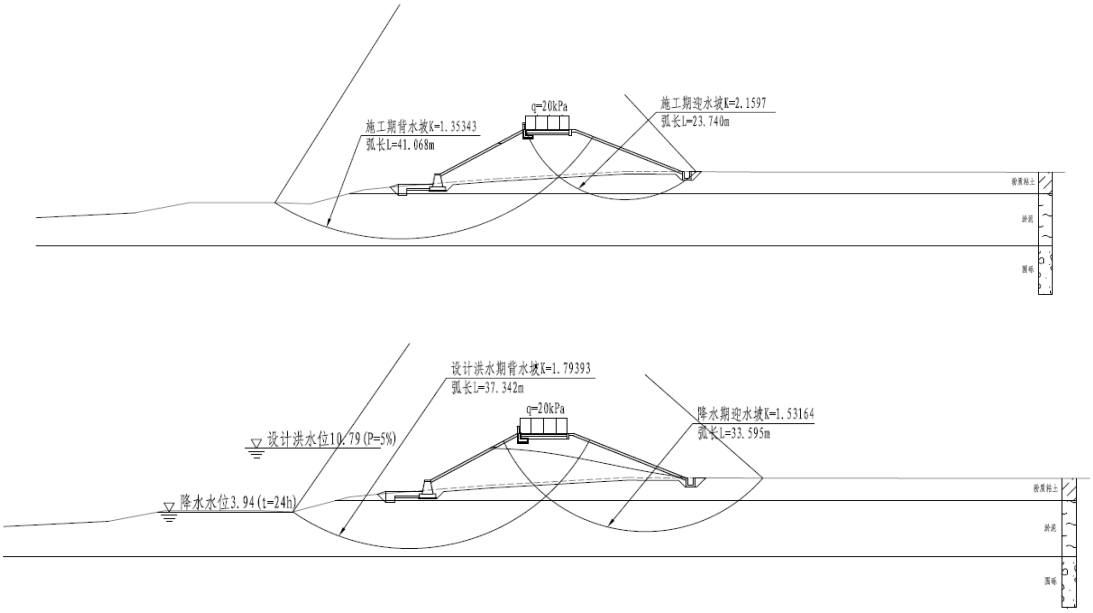
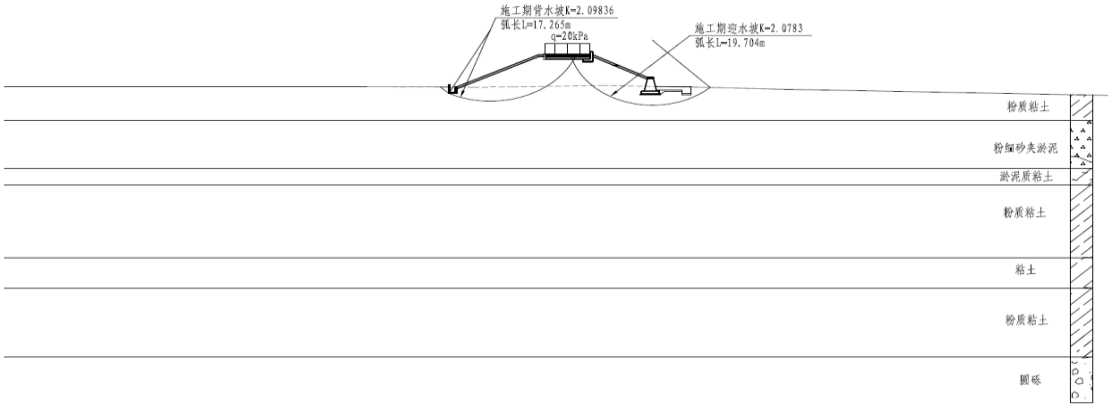


图 5.7-12　　桩号 PYK1+231 稳定计算成果图



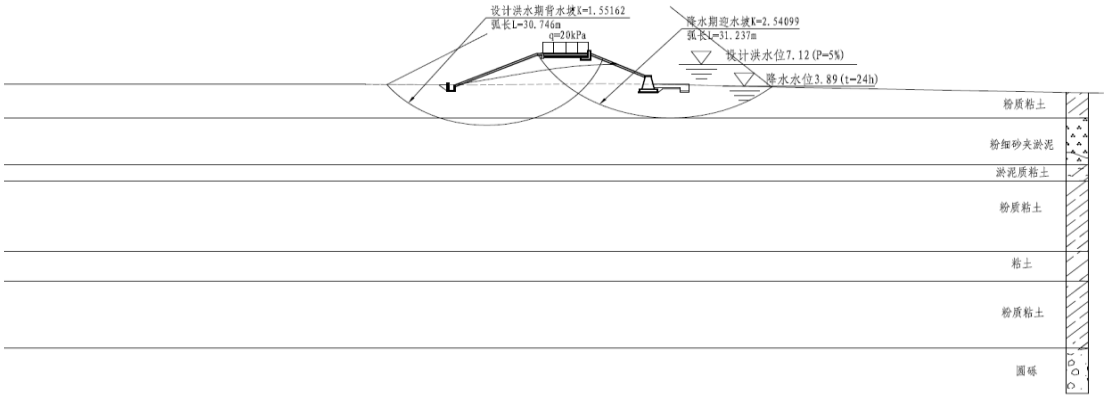


图 5.7-13　　桩号 MY3+531 稳定计算成果图

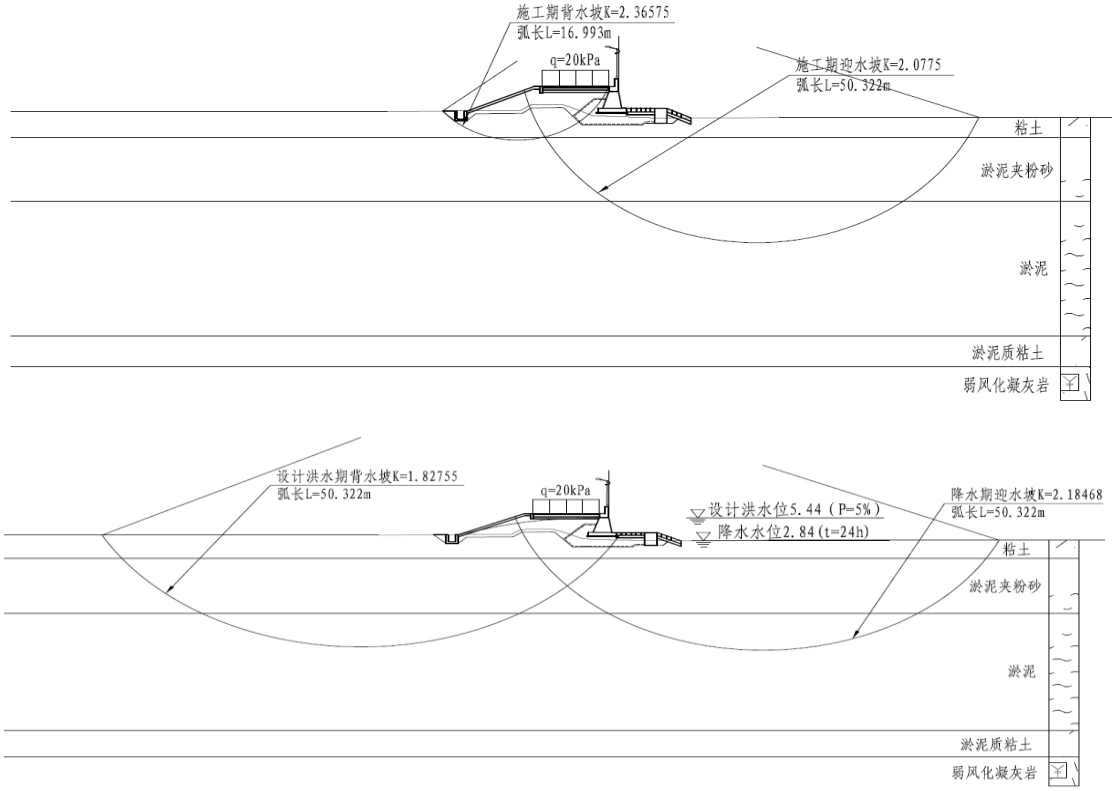


图 5.7-14　　桩号 B0+307 稳定计算成果图

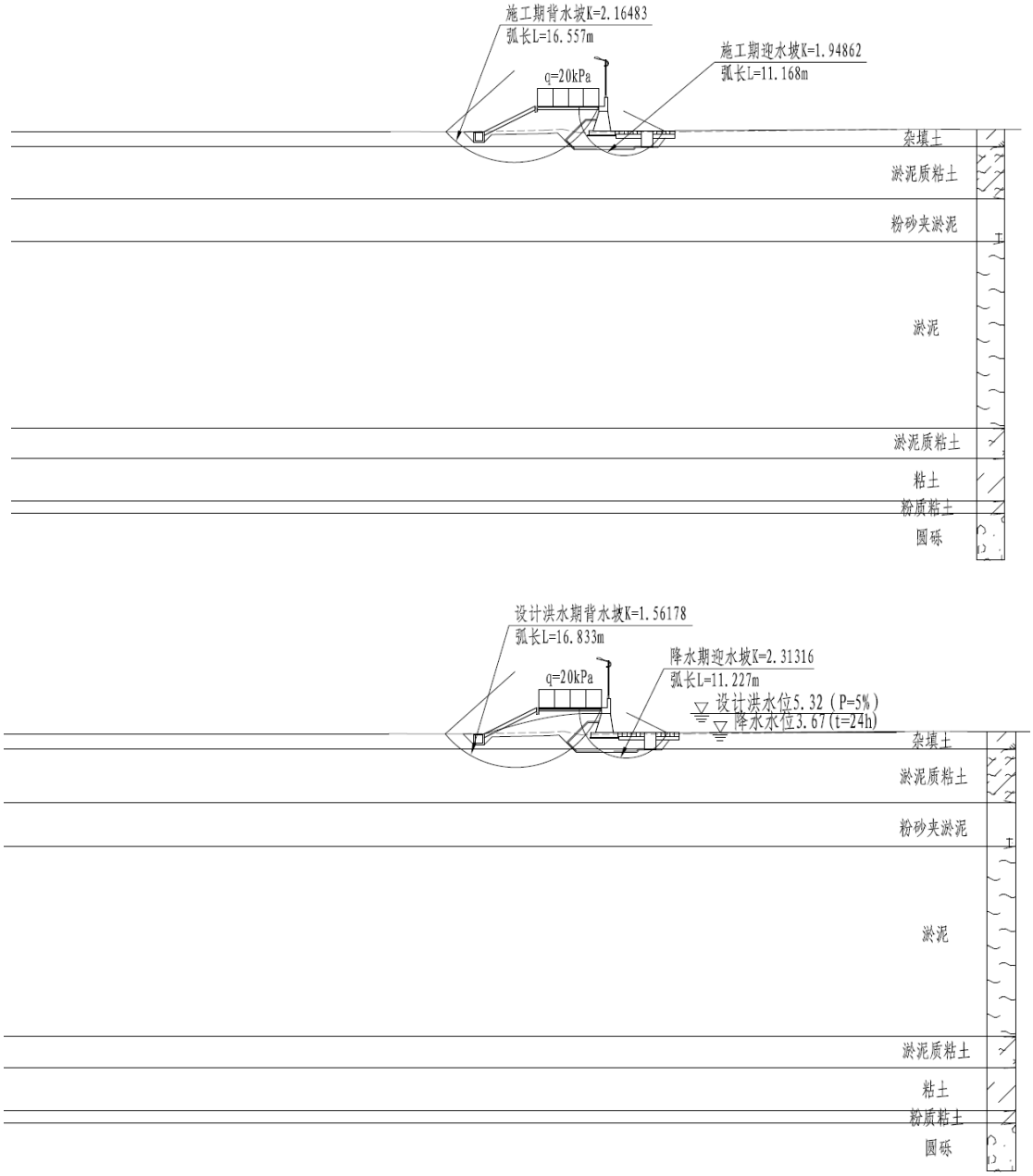


图 5.7-15　桩号 BL1+464 稳定计算成果图

经计算，部分断面不满足设计要求。部分断面安全余度较低，对于飞云江两岸情况而言，地质情况较为复杂，应取较大的安全系数以保证堤防稳定安全。因此对部分不稳定堤防地基进行处理。根据经验公式及已建成类似工程，地基处理后复合地基的等效土力学参数取值为：粘聚力 c=19.65kPa，内摩擦角 φ=15.10°。地基处理计算见 5.7.5.2 章节。处理后的堤防整体稳定见表 5.7-8。

表 5.7-8　　地基处理后堤防土质边坡整体稳定计算成果表

序号	典型断面	工况	抗滑系数	
			计算值	允许值
1	碧山段 BS4+271	施工期背水坡	1.39	1.15
		施工期临水坡	1.29	1.15
		水位骤降期临水坡	1.56	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.45	1.25
2	荆谷段 JG3+957	施工期背水坡	1.42	1.15
		施工期临水坡	1.63	1.15
		水位骤降期临水坡	1.73	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.57	1.25
3	荆谷段 JG0+334	施工期背水坡	2.40	1.15
		施工期临水坡	1.33	1.15
		水位骤降期临水坡	1.49	1.25
		稳定渗流期背水坡	2.01	1.25
4	荆谷段 JG4+857	施工期背水坡	1.78	1.15
		施工期临水坡	1.68	1.15
		水位骤降期临水坡	1.89	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.46	1.25
5	荆谷段 JG1+740	施工期背水坡	1.80	1.15
		施工期临水坡	1.76	1.15
		水位骤降期临水坡	2.03	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.43	1.25
6	平阳坑段 PYK0+279	施工期背水坡	4.27	1.15
		施工期临水坡	1.27	1.15
		水位骤降期临水坡	1.65	1.25
		稳定渗流期背水坡	3.71	1.25
7	平阳坑段 PYK1+231	施工期背水坡	2.40	1.15
		施工期临水坡	1.65	1.15
		水位骤降期临水坡	2.11	1.25
		稳定渗流期背水坡	1.88	1.25

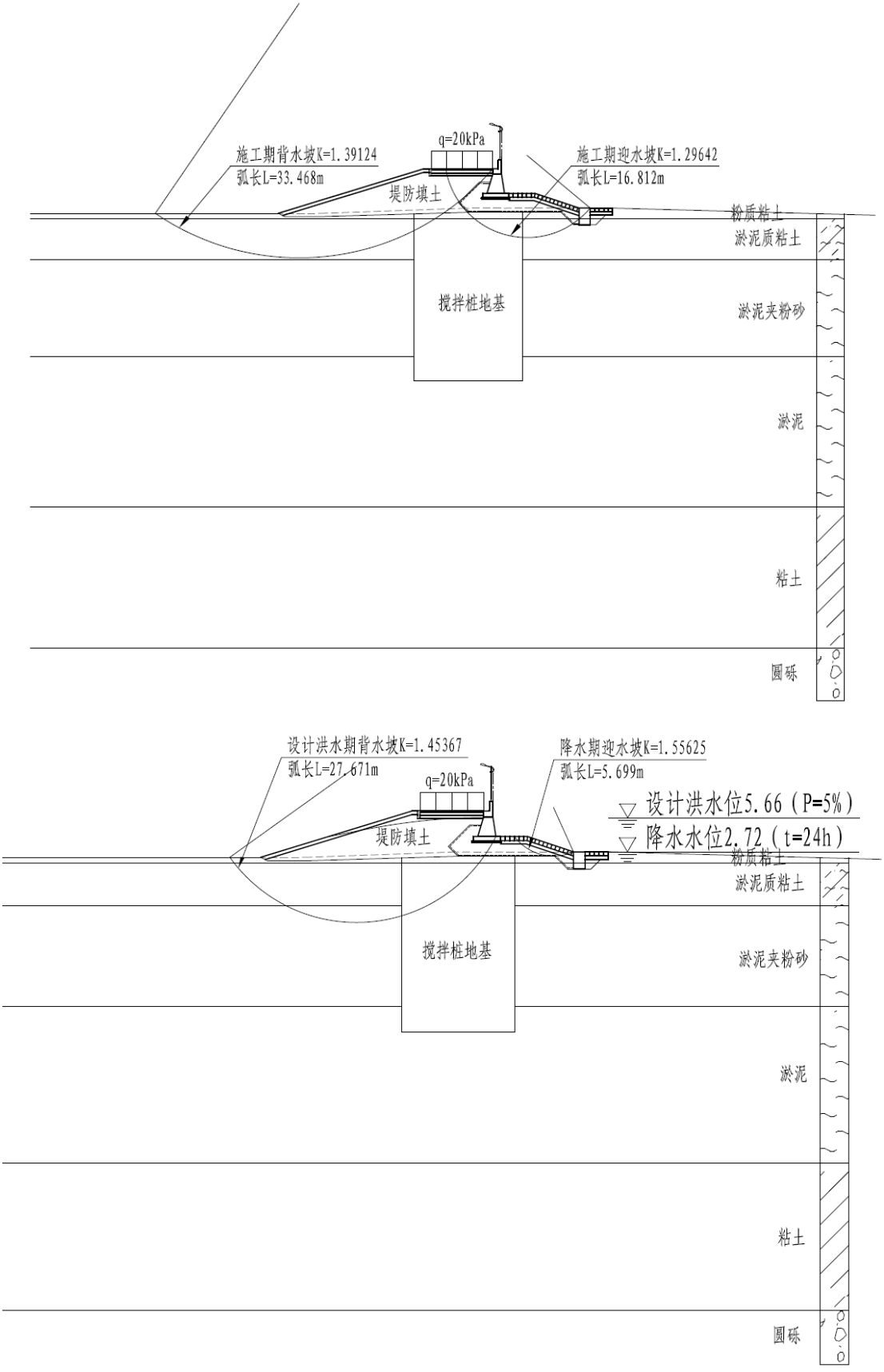


图 5.7-16　　桩号 BS4+271 稳定计算成果图

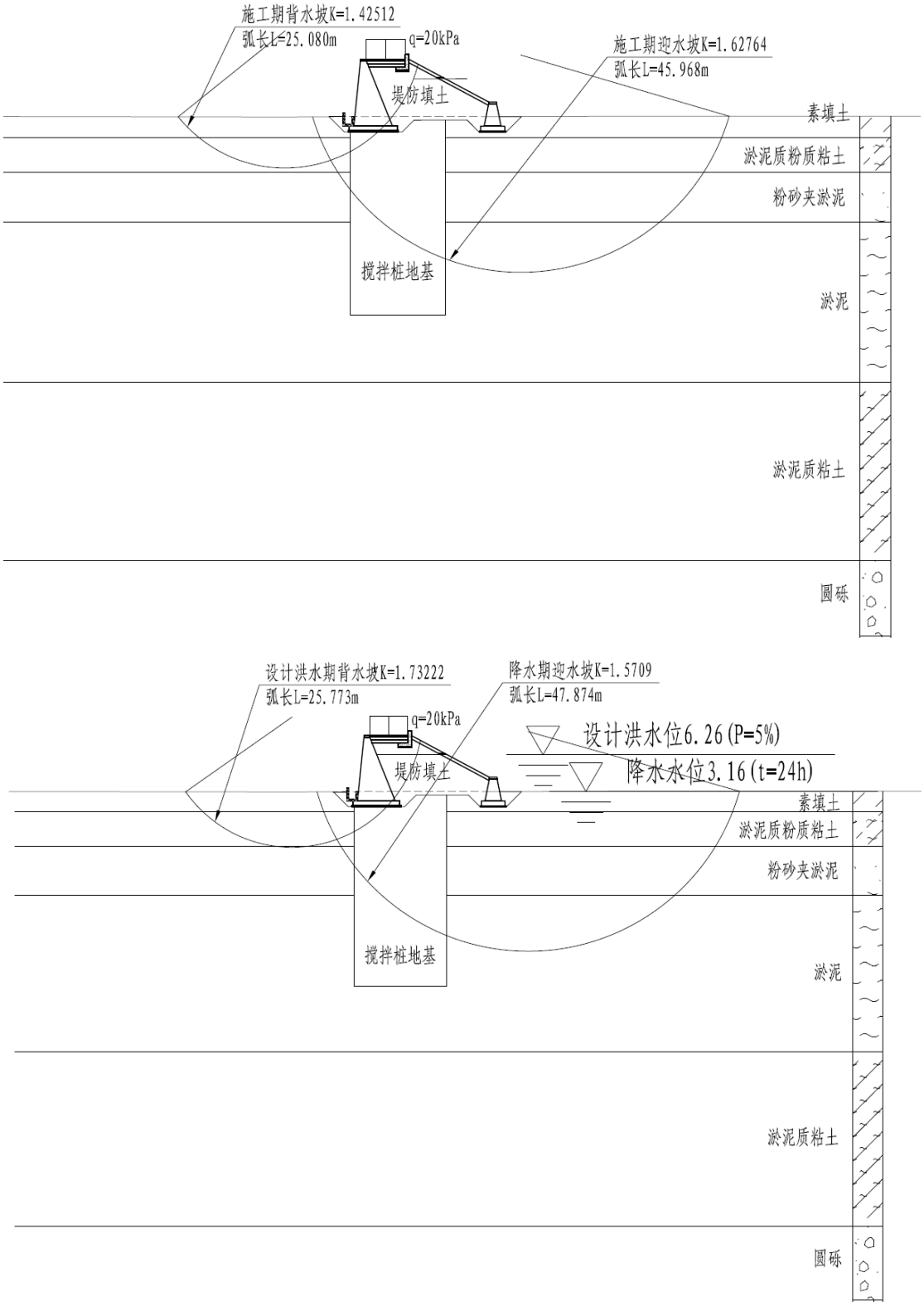
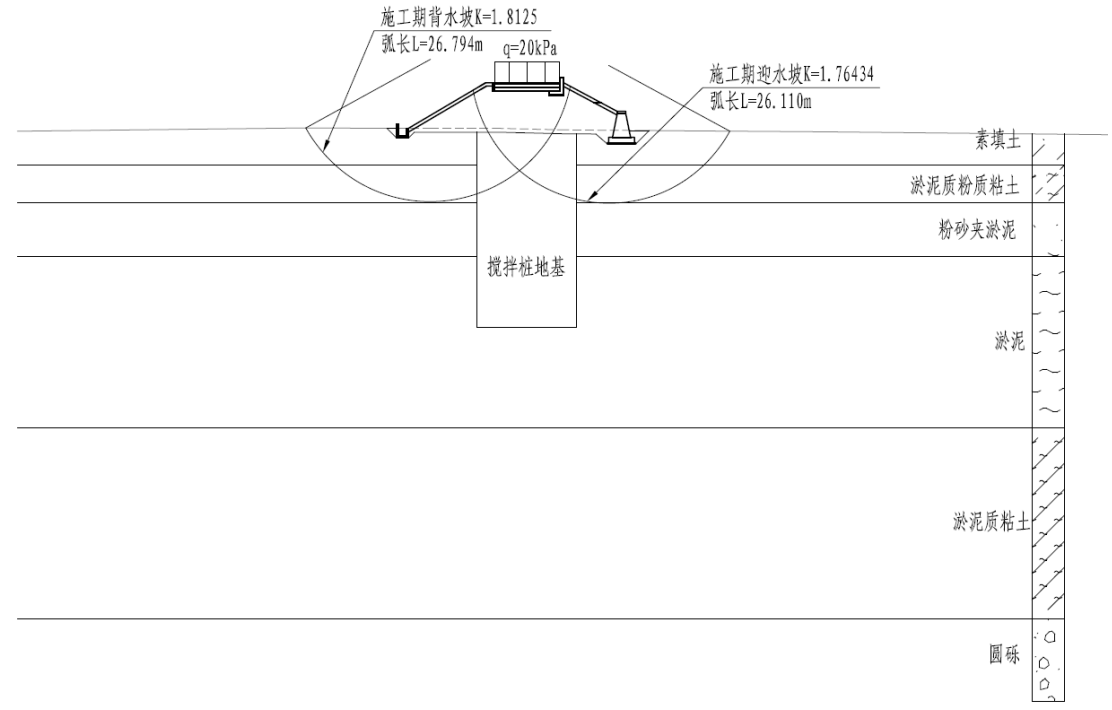


图 5.7-17　　桩号 JG3+957 稳定计算成果图



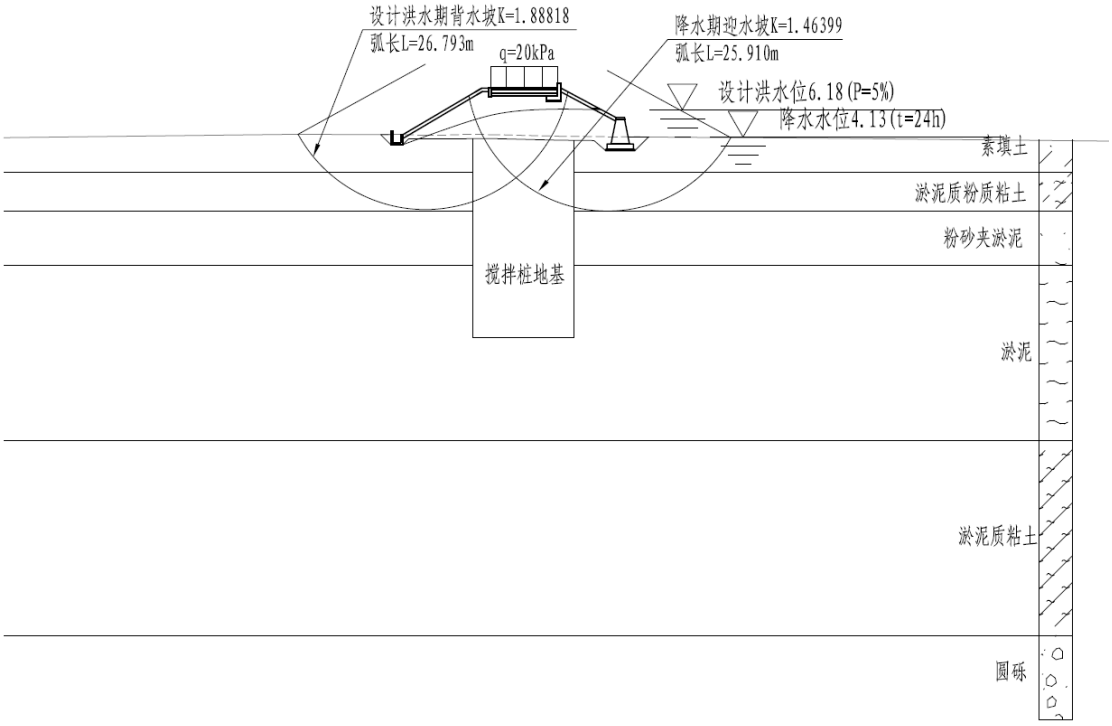


图 5.7-18　　桩号 JG34+857 稳定计算成果图

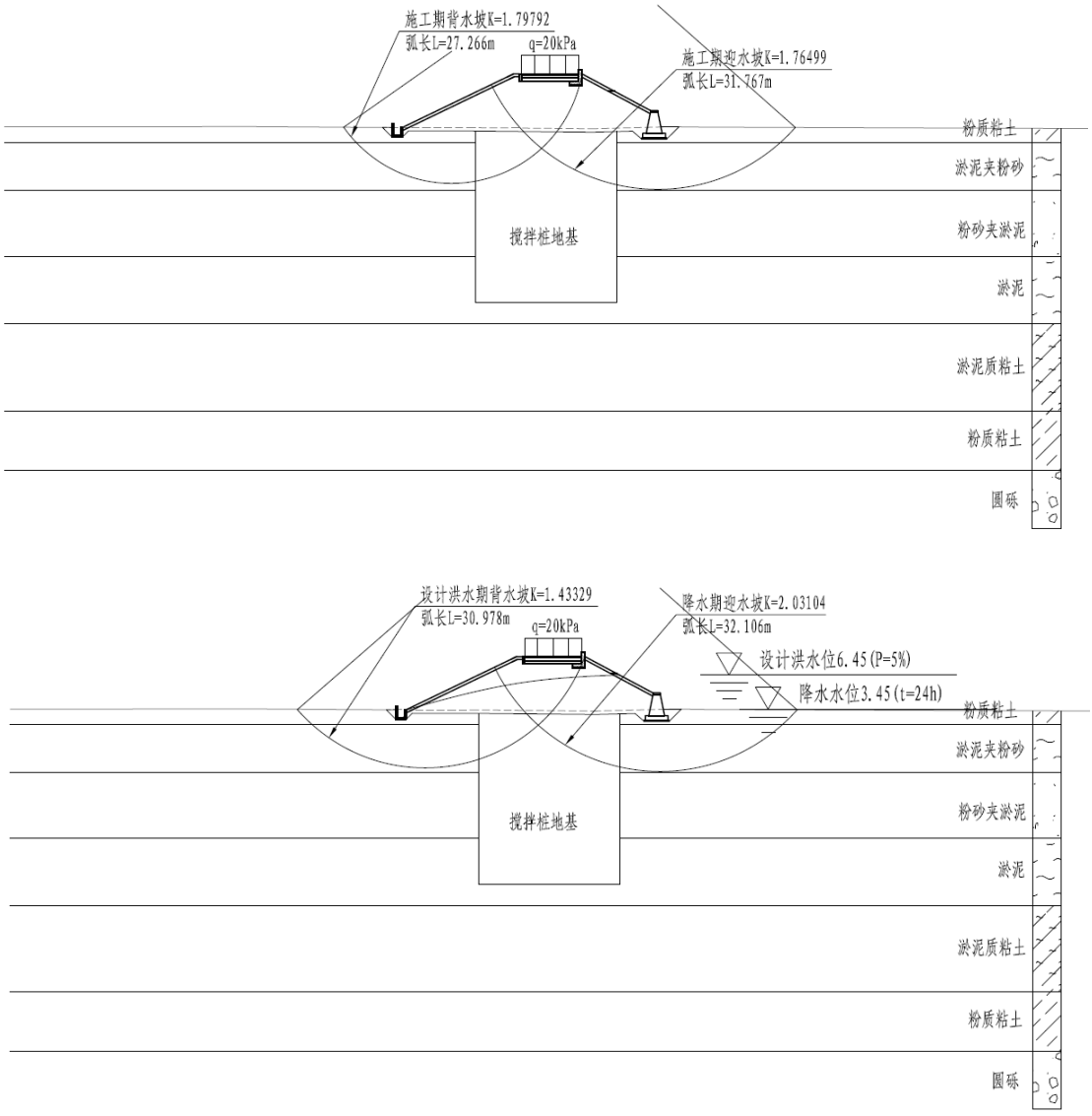
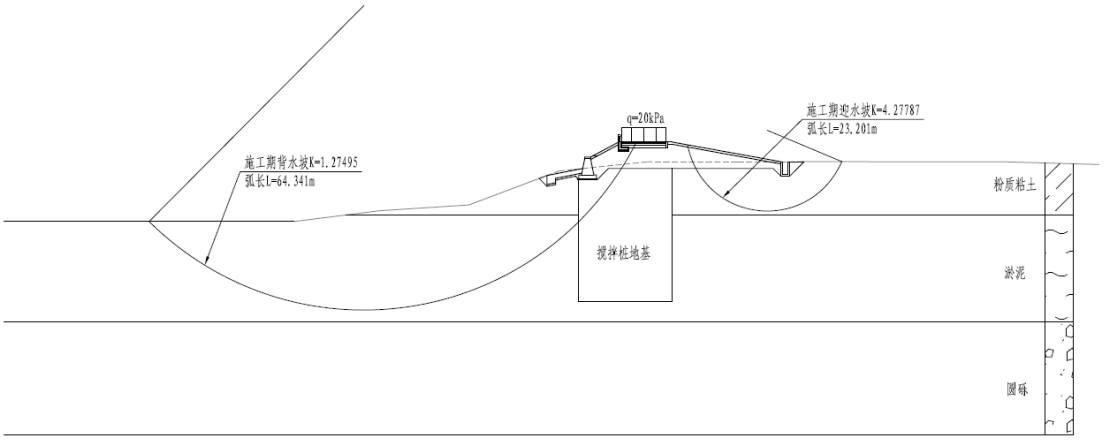


图 5.7-19　桩号 JG1+740 稳定计算成果图



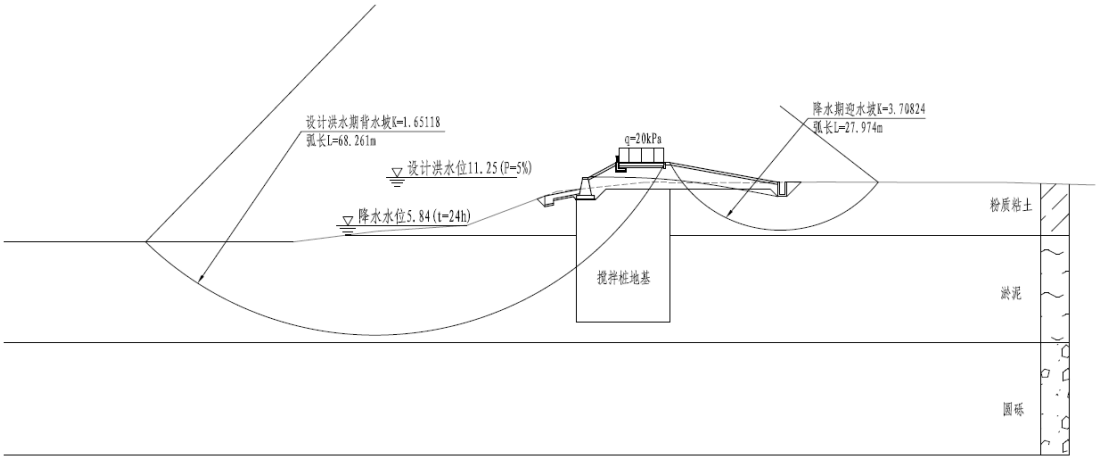


图 5.7-20　　桩号 PYK0+279 稳定计算成果图

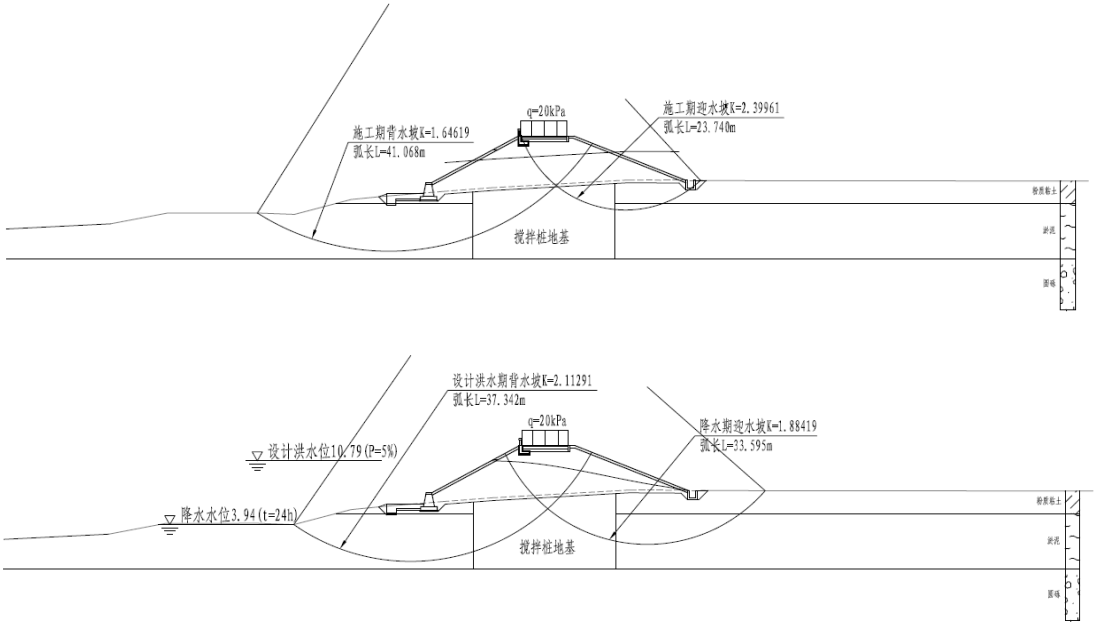


图 5.7-21　　桩号 JG1+231 稳定计算成果图

根据计算，进行地基处理后，堤防整体稳定有效提升，满足规范要求。

（6）冲刷工况下堤防稳定计算成果

表 5.7-9　　堤防土质边坡整体稳定计算成果表

序号	典型断面	抗滑系数	
		计算值	允许值
1	荆谷段 JG0+334	1.05	1.25
2	梅屿段 MY4+826	1.24	1.25
3	桐浦段 TPB0+600	1.95	1.25

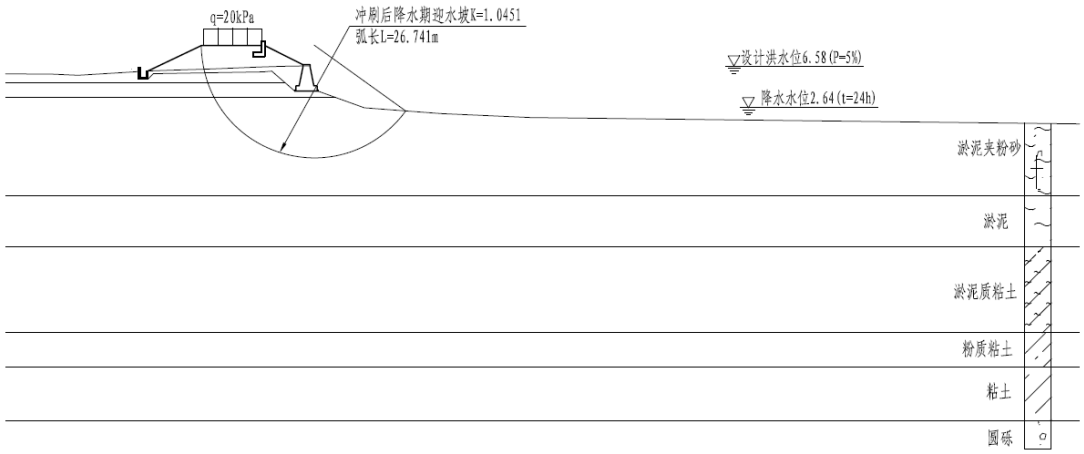


图 5.7-21　　桩号 JG0+334 稳定计算成果图

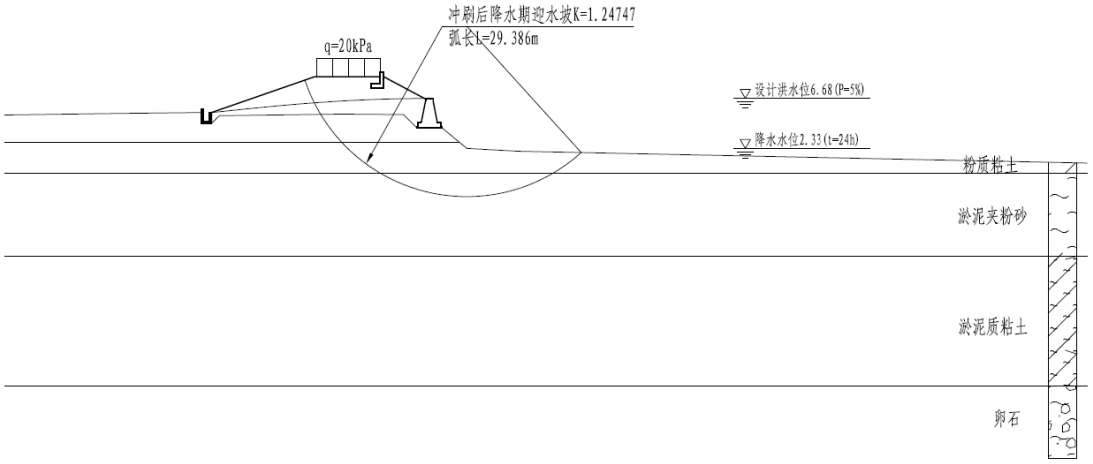


图 5.7-22　　桩号 MY4+826 稳定计算成果图

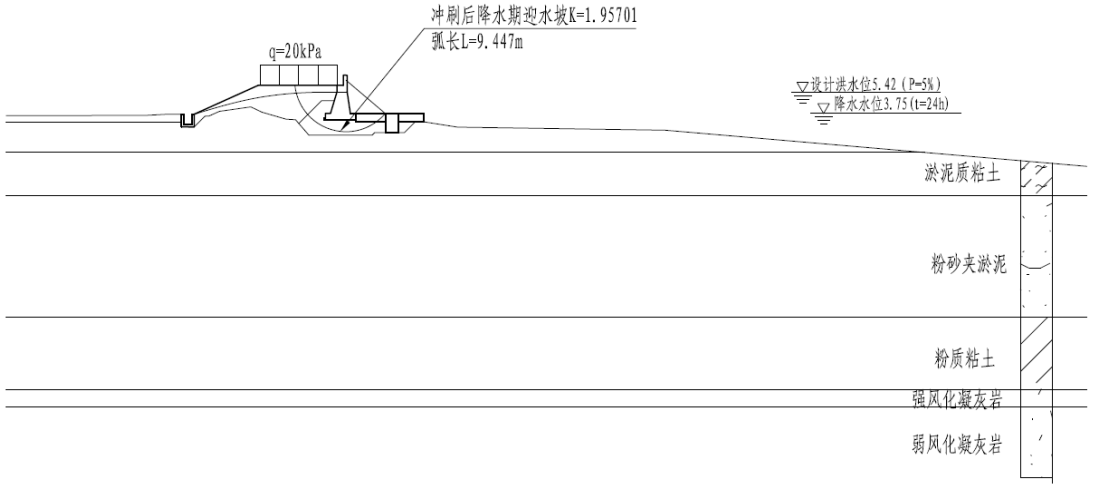


图 5.7-23　　桩号 TP0+600 稳定计算成果图

本次冲刷工况的稳定计算考虑的是冲刷发生至内堤脚的极端情况，根据《冲刷专题》

成果，如发生极端冲刷工况，会造成荆谷段及梅屿段凹岸顶冲段出现堤防整体稳定性不足的情况。其余的凹岸顶冲段虽未出现稳定性不足，但冲刷依然会破坏堤基，造成堤防局部破坏。因此本次设计考虑凹岸段防冲措施。

5.7.2 堤防渗透稳定计算

根据地质勘探资料和设计水位资料，本工程大部分堤段堤基土上覆粉质粘土、淤泥及淤泥质土天然铺盖，土层较厚，分布广泛连续，属微透水性，在低水头情况下，堤基不存在渗漏及渗透稳定问题。本次对土质边坡 8 个最不利设计典型断面进行渗流稳定计算分析。

（1）计算方法

渗流计算采用 AUTOBANK7.0 按有限元法进行计算。

渗流有限元分析基本方程：

$$[K]\{H\}+[M]\left\{\frac{\partial H}{\partial t}\right\}=\{Q\} \qquad (5.7\text{-}2)$$

式中：[K] ——透水系数矩阵；

{H}——总水头向量；

[M]——单元储水量矩阵；

{Q}——流量向量；

T ——时间。

透水系数矩阵[K]

$$[K]=\begin{bmatrix}K_{11} & K_{12}\\ K_{21} & K_{22}\end{bmatrix} \qquad (5.7\text{-}3)$$

式中

$$[K]=[\lambda]^T\begin{bmatrix}K_x & \\ & K_y\end{bmatrix}[\lambda]$$

$$[\lambda]=\begin{bmatrix}\cos\alpha & \sin\alpha\\ -\sin\alpha & \cos\alpha\end{bmatrix}$$

其中：α—— 最大透水系数的方向角，用于各项异性的材料中。

单元储水量矩阵[M]

$$[M]^T=\iint S_s[N]^T[N]dA \qquad (5.7\text{-}4)$$

堤防土坡面出逸临界比降按照自由出渗坡面公式计算：

$$J_{cr}=\frac{\gamma'}{\gamma_w}\cos\beta(tg\varphi-tg\beta)+\frac{c}{\gamma_w} \qquad (5.7\text{-}5)$$

式中：J_{cr} —临界坡面出逸比降；

β—迎水坡角度；

φ—土的内摩擦脚；

r_w —水容重；

$r,$ —土体浮容重；

C —土体粘聚力；

b、计算参数

土体渗透系数根据地质章节提供的建议性参数，见地质章节和表 5.7-10。

表 5.7-10　　渗流计算参数表

序号	位置	渗透土层分区	容重（KN/m^3）		孔隙率	渗透系数（cm/s）	
			饱和容重	浮容重		水平渗透系数	垂直渗透系数
1	平阳坑段	粉质黏土	18.5	8.5	0.46	4.35E-05	3.60E-05
2	梅屿段	粉质黏土	18.5	8.5	0.46	3.00E-05	3.10E-05
3	荆谷段	粉质黏土	18.1	8.1	0.49	8.90E-05	8.90E-05
4	碧山段	粉质黏土	18.0	8.0	0.4	2.60E-05	2.13E-05
5	桐浦段	粉质黏土	17.6	7.8	0.55	2.40E-05	2.40E-05
6	白莲段	粉质黏土	17.8	9.0	0.49	3.33E-05	3.30E-05

（3）计算工况

计算工况为：外江为 20 年一遇设计水位，内侧为地下水位。

（4）计算成果

根据堤防设计断面及地勘成果，堤防建设部位的②$_{2a}$淤泥质夹砂层和②$_{2b}$粉细砂加淤泥层有 1m 以上的埋深，其上部土层主要为透水性较差的①$_1$粉质粘土，局部为①$_2$淤泥质粉质粘土和②$_1$淤泥，所有堤段均未开挖至该层，计算所得该层渗透坡降低于允许渗透坡降。堤防断面开挖回填料及堤防填筑料均为粉质粘土。经建模计算，渗流溢出点均位于粉质粘土层，堤身溢出段渗透比降计算结果均小于土层的允许渗透比降值，满足渗透稳定要求。计算成果见表 5.7-11。

表 5.7-11　　渗流计算成果表

序号	典型断面	溢出点土层	单位渗透量（m3/d）	溢出点坡降	允许溢出坡降	计算结果
1	碧山段 BS4+271	粉质粘土	0.12	0.479	0.62	满足
2	荆谷段 JG3+957	粉质粘土	0.002	0.446	0.62	满足
3	荆谷段 JG1+740	粉质粘土	0.02	0.392	0.62	满足
4	荆谷段 JG2+744	粉质粘土	0.052	0.227	0.62	满足
5	荆谷段 JG4+158	粉质粘土	0.0006	0.0001	0.62	满足
6	平阳坑段 PYK0+279	粉质粘土	0.005	0.242	0.62	满足
7	梅屿段 MY3+531	粉质粘土	0.036	0.567	0.62	满足
8	桐浦段 B0+307	粉质粘土	0.04	0.504	0.62	满足
9	白莲段 BL1+464	粉质粘土	0.04	0.516	0.62	满足

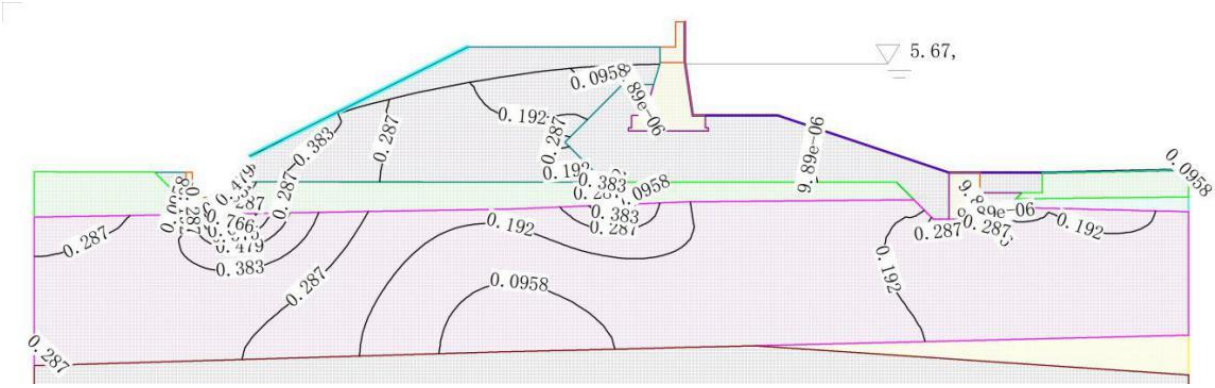


图 5.7-24　　桩号 BS4+271 渗流计算成果图

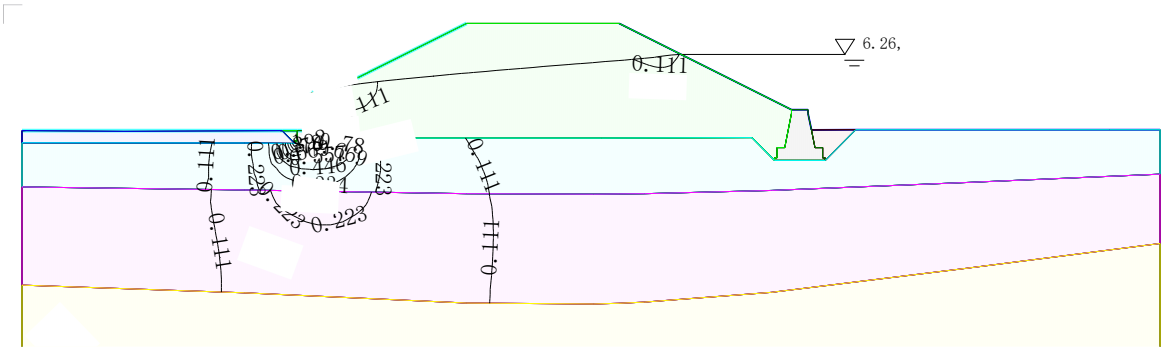


图 5.7-25　　桩号 JG3+957 渗流计算成果图

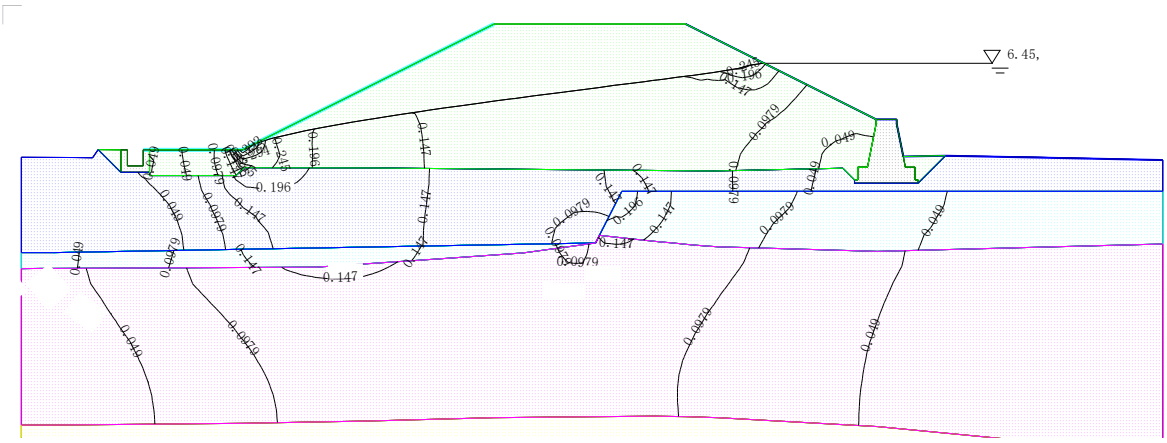


图 5.7-26　桩号 JG1+740 渗流计算成果图

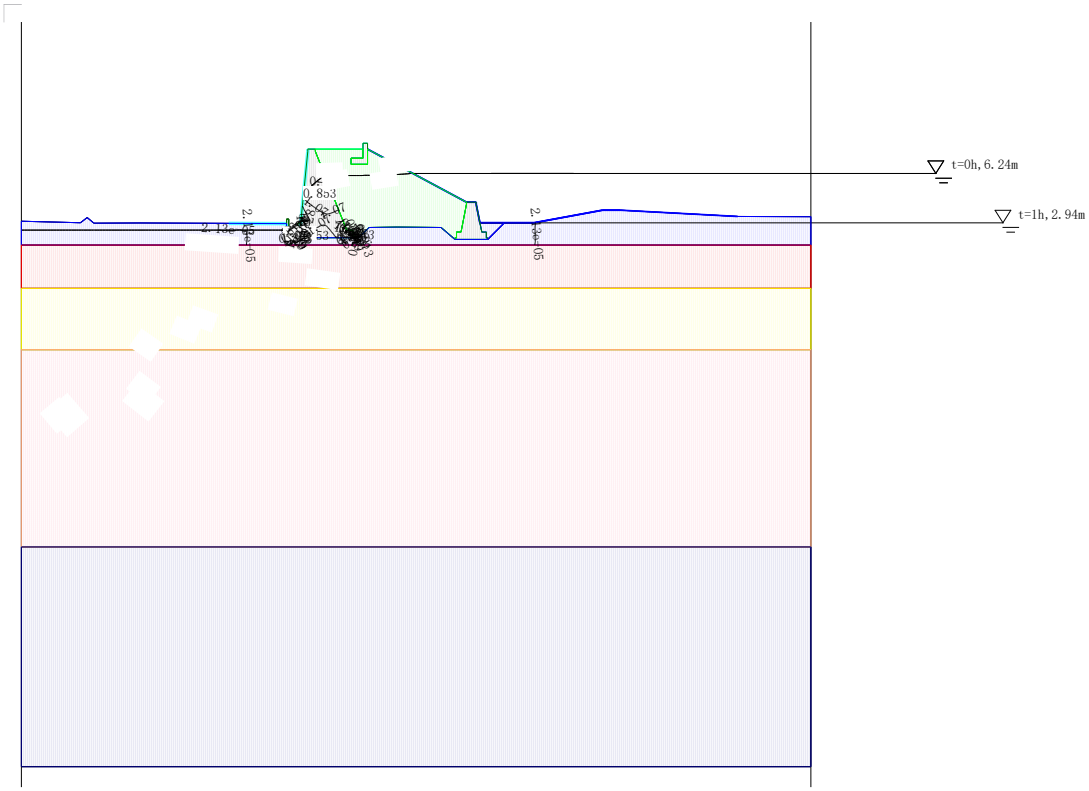


图 5.7-27　桩号 JG4+158 渗流计算成果图

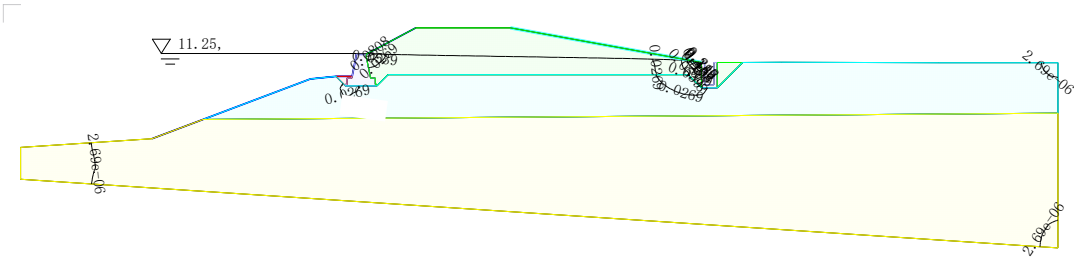


图 5.7-28　桩号 PYK0+279 渗流计算成果图

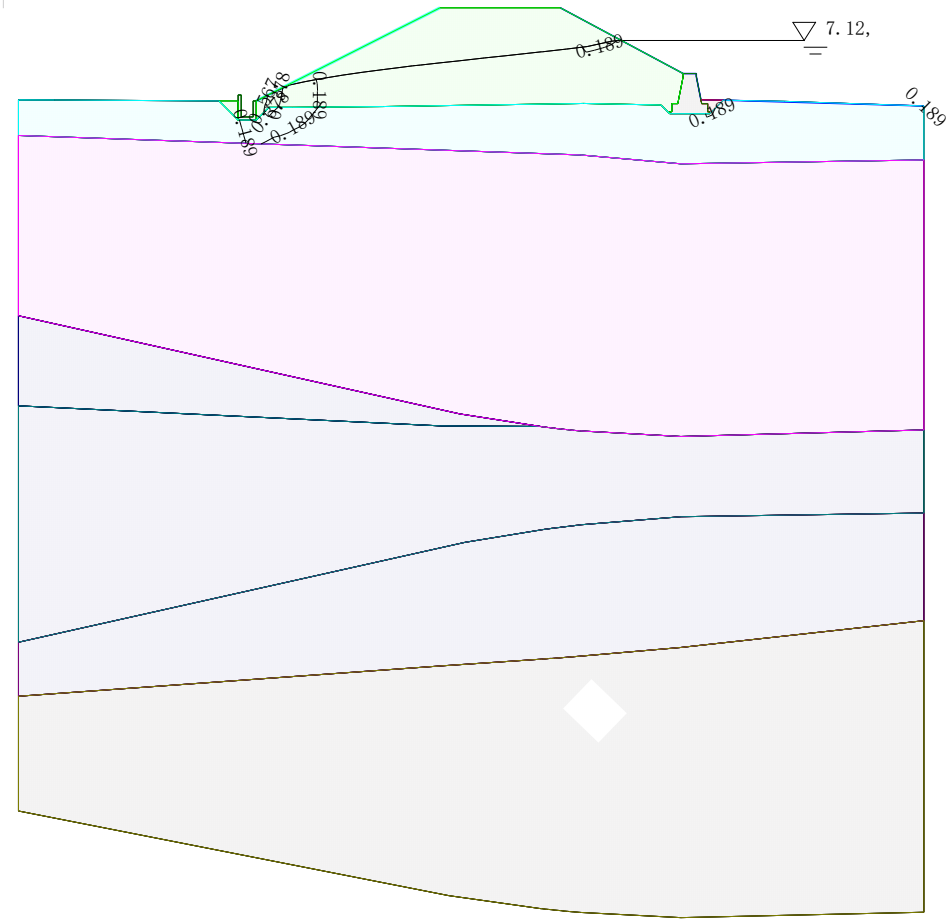


图 5.7-29　　桩号 MY3+531 渗流计算成果图

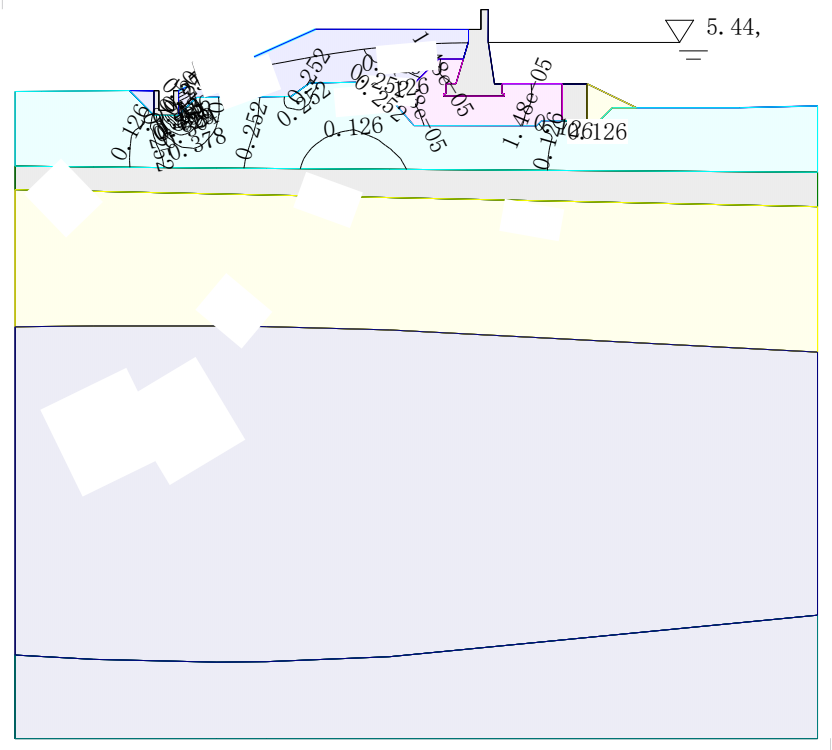


图 5.7-30　　桩号 B0+307 渗流计算成果图

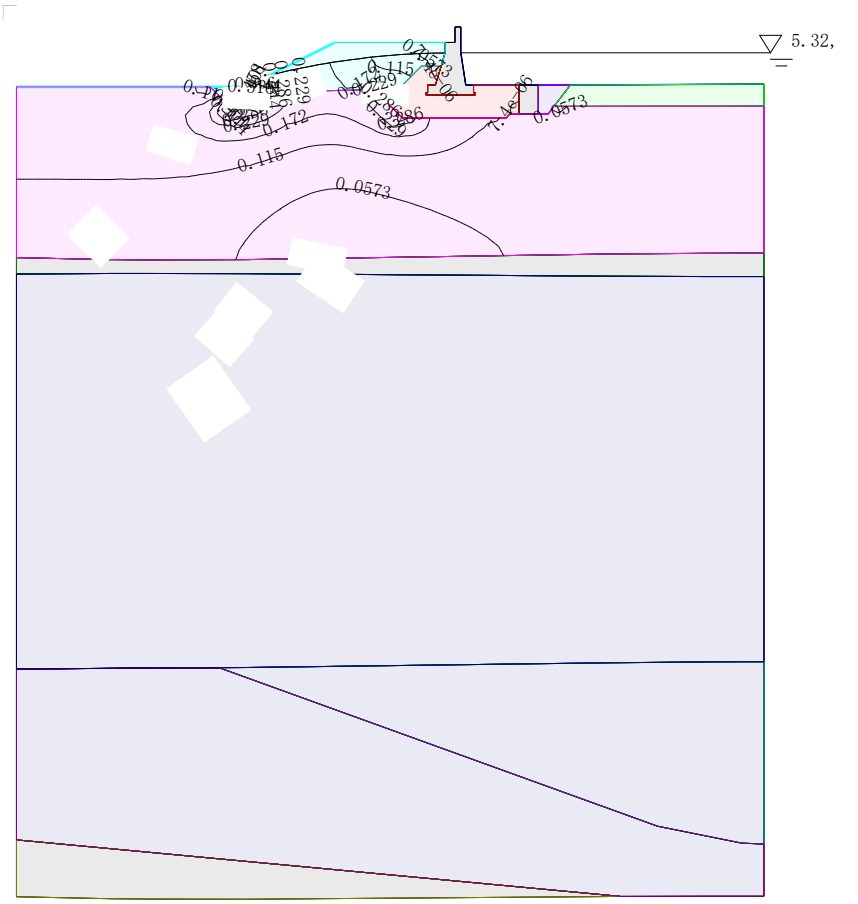


图 5.7-31　桩号 BL1+464 渗流计算成果图

5.7.3 堤防冲刷计算

1）　平顺护岸冲刷深度计算

顺坝及平顺护岸冲刷深度，按下式计算：

$$hs = H_0[（\frac{U_{CP}}{U_C}）^{n} - 1]$$

$$U^{CP} = U\frac{2n}{1+n}$$

式中：hs——局部冲刷深度（m）；

H0——冲刷处的水深（m）；

U_{CP}——近岸垂线平均流速（m/s）；

Uc——泥沙起动流速（m/s）；

n——与防护岸坡形状有关的系数，一般取 n=1/4~1/6。

η——水流流速不均匀系数。

计算成果见表 5.7-11。

表 5.7-12　　局部冲刷深度计算成果表

	堤防分段	平均行近流速 U（m/s）	泥沙启动流 速 Uc（m/s）	床沙中值粒径 d50（m）	冲刷深度 hs（m）	是否需要保 护
平顺段	平阳坑段	2.90	0.92	0.000019	2.80	否
	马屿镇梅屿段	3.31	0.84	0.000018	1.81	否
	陶山镇荆谷段	1.61	0.84	0.000018	0.69	否
	陶山镇碧山段	3.02	1.07	0.000011	1.12	否
	桐浦段	2.32	1.07	0.000011	2.53	否
	白莲段	0.52	1.07	0.000011	0.48	否
凹岸段	平阳坑段	3.09	1.19	0.000019	3.01	是
	马屿镇梅屿段	4.21	1.26	0.000018	4.08	是
	陶山镇荆谷段	3.39	1.18	0.000018	2.44	是
	陶山镇碧山段	3.07	1.61	0.000011	2.21	是
	桐浦段	3.41	1.57	0.000011	3.67	是
	白莲段	2.90	1.45	0.000011	0.55	否

以上行近流速采用的是水文章节成果。

综合考虑局部冲刷深度计算成果，顺直段由于距离河岸越近，流速越小，冲刷越浅，在满足冲刷后堤岸稳定的前提下，由于受冲淤动态的平衡，平顺段理论上不考虑设置护岸防冲；凹岸受冲刷严重的部位需要进行设置防冲措施。本次设计对河流平顺段做了部分水平防护；凹岸段进行了软体排水平防冲或灌注桩垂直防冲+软体排水平防冲的工程措施，能够满足抗冲刷要求。

2）堤前河道冲刷分析

按照《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》评估咨询会专家组意见“下阶段进一步完善设计工况堤前河道冲刷成果及设计流速”及《瑞安市飞云江治理二期工程可行性研究报告》技术审查意见提出“建议下阶段根据河势研究专题情况，明确各河段的冲刷值”的要求，分析飞云江河口冲淤能力，明确河段冲刷值，为河口河势演变预测和飞云江二期工程新建堤防防冲设计提供技术支撑。

2023 年 9 月 7 日，《飞云江二期工程河势分析及设计工况堤前河道冲刷分析专题报告》通过技术审查。

通过水动力数学模型计算得到飞云江治理二期工程范围内的设计频率洪水条件下的流速分布，二十年一遇洪水条件下，平阳坑弯道代表断面最大流速 3.9m/s；马屿镇梅

屿段八甲村弯道断面最大流速 4.5m/s；陶山镇荆谷段断面最大流速 3.6 m/s；陶山镇碧山段龟岩弯道断面最大流速 3.5m/s；桐浦段断面最大流速 3.47m/s；白莲村段断面最大流速 2.1m/s。

利用《堤防工程设计规范（GB50286-2013）》及《公路工程水文勘测设计规范（JTG C30--2015）》冲刷深度经验公式，估算工程范围内的冲刷深度分布。

具体计算成果见 2.8.3 堤前冲刷计算分析。

结论：

1）在江道凹岸迎流顶冲的险段，堤线布置尽量考虑堤脚不靠近江岸，并结合护岸工程措施布置统筹考虑。

2）设计中，应综合考虑局部冲刷深度计算成果，顺直段由于距离河岸越近，流速越小，冲刷越浅，在满足冲刷后堤岸稳定的前提下，由于受冲淤动态的平衡，平顺段可不考虑设置护岸防冲；凹岸段受冲刷严重的部位需要设置防冲措施。

3）本工程涉及河段弯道多，流态复杂，凹岸冲刷相对严重，设计中需考虑采用垂直防冲或水平防冲作为护岸护底措施进行整治，也可两种措施相结合保证冲刷后堤岸稳定。

3）护坡护脚计算

（1） 斜坡堤块石护面厚度

当采用人工块体或经过分选的块石作为斜坡堤的护坡面层时，波浪 作用下单个块体、块石的质量及护面厚度可按下式计算，对于感潮河段，护岸厚度不宜小于 40cm。

经计算， 护坡块石质量需 30kg，护面厚度 31cm，由于河道高潮位时 流速较慢，年际中洪冲潮淤， 因此设计中采用计算成果，护面厚度取 35cm。

$$Q=0.1\frac{\gamma_b H^3}{K_D(\frac{\gamma_b}{\gamma}-1)^3 m}$$

$$t=nc\left(\frac{Q}{0.1\gamma_b}\right)^{\frac{1}{3}}$$

式中： Q—主要护面层的护面块体、块石个体质量（t）。

γb—块石重度（kN/m³）；

γ—水的重度（kN/m³）；

H—计算波高（m）；

KD—系数，按《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）中表 D.3.2-1 确定；

t—块体或块石护面层厚度（m）；

n—护面块体或块石的层数；

c— 系数，按《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）中表 D.3.2-2 确定。

（2） 水流作用下，防护工程护坡、护脚块石保持稳定的抗冲粒径（折算粒径）。

$$d=\frac{v^2}{c^2\times 2g\times\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}} \qquad (5.7\text{-}11)$$

$$W=\frac{\pi}{6}\gamma_s d^3 \qquad (5.7\text{-}12)$$

式中：d—折算粒径（m），按球型折算；

W—石块重量（kN）；

V—水流流速（m/s）；

g—重力加速度（m/s^2）；

C—石块运动的稳定系数；水平底坡 C=1.2，倾斜底坡 C=0.9；

γ_s—石块的容重（kN/m^3）；

γ —水的容重（kN/m^3）；

计算成果见表 5.7-12。

表 5.7-13 护坡、护脚块石保持稳定的抗冲粒径计算成果表

堤防分段	水流流速 V （m/s）	折算粒径 d （m）	石块重量 W （kg）
平阳坑段	3.09	0.286	32
马屿镇梅屿段	4.21	0.476	141
陶山镇荆谷段	3.39	0.309	38
陶山镇碧山段	3.07	0.283	31
桐浦段	3.41	0.325	44

（注：抛石所受水流冲击流速为河床底部的流速，取各段凹岸平均行近流速的 80%）

根据局部冲刷深度、护坡护脚计算成果，本次设计凹岸段考虑迎水 坡采用 1.2~1.5m 深 C25 砼大方脚防冲，如在其坡脚外抛填块石，抛石体 采用大块石，单块重量需 40~150kg。

4）防冲灌注桩计算

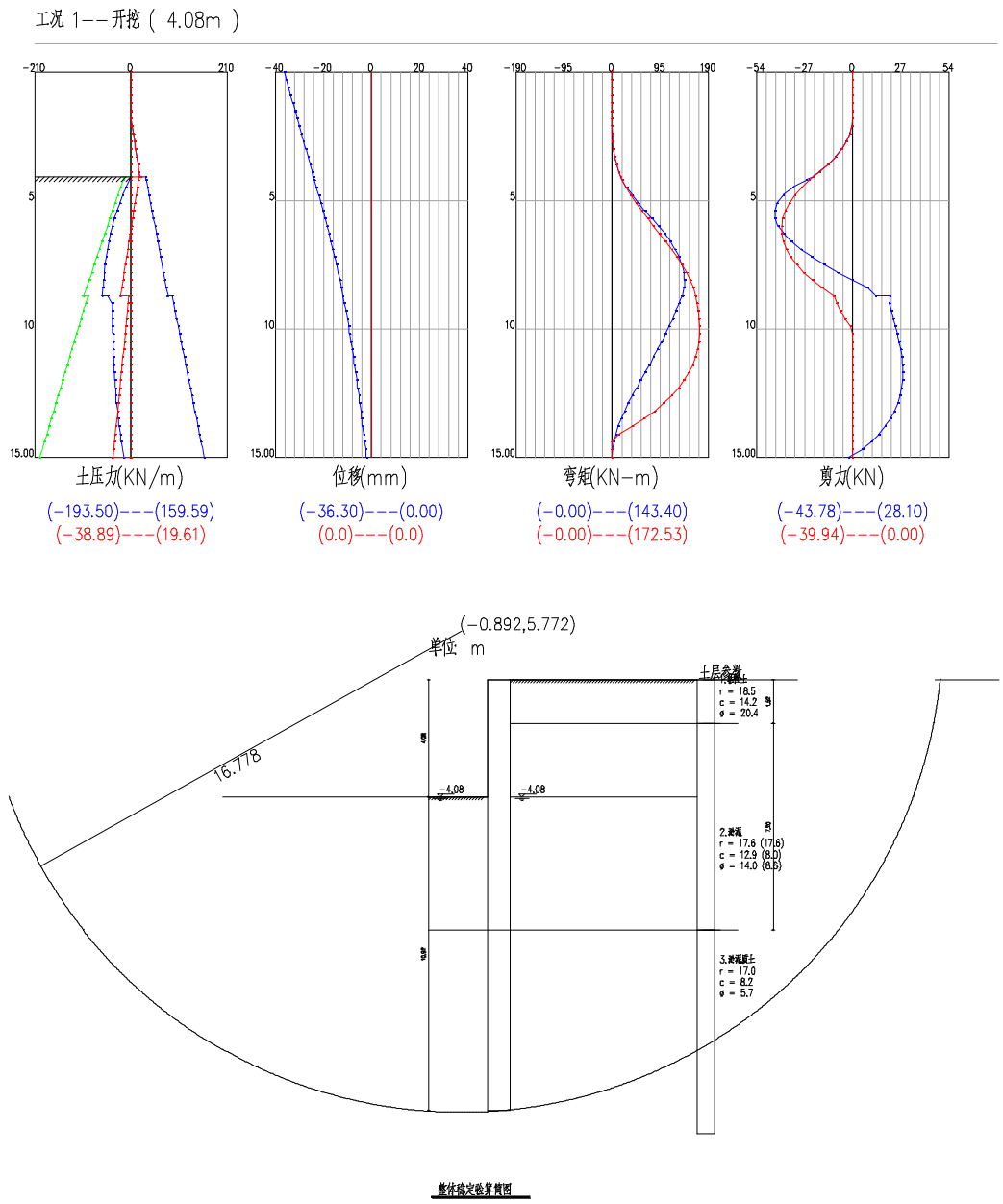


图 5.7-32　防冲桩整体稳定计算图

防冲桩整体稳定采用瑞典条分法计算，根据计算，整体稳定安全系数 K=4.512>1.25。

防冲桩抗倾覆根据下列公式计算：

$$K = \frac{M_p}{M_a}$$

式中：Mp——被动土压力对桩底的抗倾覆弯矩。

Ma——主动土压力对桩底的倾覆弯矩。

根据计算，安全系数 K=1.018<1.25，不满足规范要求。因此无法单独使用的垂直

防冲措施。本次设计考虑采用水平防冲+垂直防冲措施结合，水平防冲使用软体排，灌注桩作为垂直防冲措施的同时，也作为软体排排头，起到固定软体排的作用。

5）软体排布置计算

根据《堤防工程设计规范》（GB 50286-2013）规定，土工织物软体排垂直流向的排体长度应满足在河床发生最大冲刷时，排体随河床变形后坡度不应陡于 1:2.5。由此可以确定软体排布置最短长度。考虑实际冲刷情况较为复杂，铺设长度应大于计算最短长度，但由于铺设长度越长越靠近深泓线，对应位置软体排上流速越大，容易被水流掀起。依据《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》（SL/T 225-1998）规定，计算软体排风浪稳定性及抗掀起临界流速。

风浪稳定性计算：

$$S_N = \frac{H}{\gamma'_r \delta_m}$$

$$\gamma'_r = \frac{\gamma_a - \gamma_w}{\gamma_w}$$

H—浪高，m；

δ_m—软体排厚度，m；

γ'_r—软体排的浮相对容重；

γ'_a、γ'_w—护坡材料容重与水容重，kN/m^2；

S_N—风浪作用下的稳定系数，乱石压载应不大于 2。

抗掀起临界流速计算：

$$v_{cr} = \theta\sqrt{\gamma'_r g \delta_m}$$

θ—系数，取 2；

g—重力加速度，m/s^2。

计算成果见表 5.7-13。

表 5.7-14　　软体排计算表

堤防分段	冲刷深度 h_s（m）	计算最短铺设长度 L_{min}（m）	软体排厚度 δ_m（m）	风浪作用下的稳定系数 S_N	抗掀起临界流速 v_{cr}（m/s）
梅屿段—荆谷段	2.95	13.58	0.6	0.94	4.56
桐浦塔山段—碧山段	2.46	12.16	0.6	1.13	4.17

考虑水流情况复杂，防冲刷措施考虑保守布置。凹岸段深泓线临近河岸，深泓线设

计洪水流速小于软体排抗掀起流速，本次设计软体排垂直水流方向铺设长度至深泓线处。凹岸段起点或终点断面流速小、冲刷深度浅，且深泓线距堤防较远，因此确定在凹岸起点或终点断面软体排铺设长度 25m，中间部位铺设至深泓线处。

施工期，软体排抗掀起流速计算不考虑软体排上压载防护，抗掀起结果为 2.65m/s，若施工时现场水流流速大于计算结果，应停止施工，待流速降低后继续施工。已铺设完毕的软体排应及时施工加载防护。

6）软体排使用效果

飞云江一期仙降段护岸工程采用软体排结构进行凹岸防护设计，使用效果可为二期设计提供技术参考。2017 年飞云江一期开工，2019 年通过完工验收。

浙江广川工程咨询有限公司针对水下断面和地形变化情况，于 2017 年 11 月编制了《瑞安市飞云江仙降段护岸工程运行情况评价》报告最终稿（2017 年 10 月 20 日，瑞安市水利工程建设办公室在杭州组织召开了评审会，并形成专家组评审意见），摘录该报告的主要成果如下。

软体排及软体排外侧河床高程变化情况分析：根据不同时期的测量断面，软体排及软体排外侧范围河床高程有下列特点：

（1）根据测量断面资料分析，软体排目前仍然存在，且随着河床、岸坡的冲淤，软体排能够动态适应河床和岸坡的变形，很好地发挥了软体排柔性、整体性、连续性的特点，发挥了整体防护效应，有效地起到护底防冲作用，达到了设计的预期目的。

（2）软体排位置河床高程高，软体排外河床高程低，且软体排排尾（护坡坡脚方向）高，软体排排头（河床方向）低，说明软体排起到了很好的护底作用，软体排能够随着排外河床的冲刷变形调整，柔性护底发挥了作用。

（3）与 2010 年河床相比，本工程护岸工程建设后，软体排外河床普遍有所冲深，最大冲深 2.6m，小的冲刷在 0.5m 范围内。由于软体排对河床的保护作用，河床冲刷向软体排外侧和对岸发展，符合河流冲淤变化的规律，同时与设计的预测和护岸设计思路相符。

（4）软体排外河床高程虽然有冲刷，但都小于设计最大冲刷深度 3.5m，护岸变形控制在预想范围内，护岸工程安全性可以控制。

5.7.4 挡墙稳定计算

本工程根据各段地形地质条件，采用的直立式堤型分为两种：重力式挡墙型式、直

立式轻型框架型式。基于沿线地质情况较为复杂，地层变化大，大部分堤段表层覆盖有深厚的软弱土层，作为天然地基，需要进行地基处理。经过比选，重力式挡墙基础处理采用换填处理；直立式轻型框架堤型主要位于房屋密集段，基础处理采用钻孔灌注桩处理。

1）重力式挡墙

重力式挡墙主要分为三种：一种为作为内堤脚护脚的重力式挡墙（如 AI型堤防），一种为堤防外侧护至堤顶道路的重力式挡墙（如 AII型堤防），一种为复合式土石混堤结构内侧挡墙（如 C 型堤防）。对以下三种挡墙进行计算。

（1）计算方法

按照《水工挡土墙设计规范》（SL379-2007），挡土墙基底应力计算公式为：

$$P_{\substack{\max \\ \min}} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M}{W}$$

$\sum G$—作用在挡土墙上全部垂直于水平面的荷载（kN）；

$\sum M$— 作用在挡土墙上的全部荷载对于水平面平行前墙墙面 方向形心轴的力矩之和（kN m）；

A—挡土墙基底面的面积（m^2）；

W—挡土墙基底面对于基底面平行前墙墙面方向形心轴的截 面矩（m^3）。

土质地基上挡土墙抗滑稳定计算公式为：

$$K_c = \frac{f \sum G}{\sum H}$$

$$K_c = \frac{tg\phi_0 \sum G + c_0 A}{\sum H}$$

K_c—挡土墙沿基底面的抗滑稳定安全系数；

f — 挡土墙基底面与地基之间的摩擦系数，软粘土地基取 f 0.25；

$\sum H$—作用在挡土墙上全部平行于基底面的荷载（kN）。抗倾覆稳定计算公式为：

$$K_0 = \frac{\sum M_V}{\sum M_H}$$

K_0——挡土墙抗倾覆稳定安全系数；

$\sum M_V$——对挡土墙基底前趾的抗倾覆力矩（kN m）；

$\sum M_H$——对挡土墙基底前趾的倾覆力矩（kN m）。

（2） 计算工况和稳定计算参数

本次设计稳定分析共考虑 4 种荷载组合工况，其中：

2 种基本组合，分别为：

①完建期工况；

②设计洪水位的情况；

2 种特殊组合，分别为：

①水位由设计洪水位突降的情况；

②施工期最不利工况；

（3）稳定计算成果分析

稳定计算结果见表 5.7- 15 及 5.7- 16。

表 5.7-15 挡土墙稳定计算值成果表

挡墙类型	工况	抗滑稳定系数	抗倾覆稳定系数	允许抗滑/抗倾覆稳定系数
AI型（PYK0+880）	完建期工况	3.56	5.15	1.05/1.30
	设计洪水	4.07	6.51	1.20/1.40
	水位突降	3.13	4.69	1.20/1.40
	施工期最不利	3.41	4.98	1.05/1.30
AII型（JG3+756）	完建期工况	1.61	1.98	1.05/1.30
	设计洪水	1.75	2.11	1.20/1.40
	水位突降	1.35	1.70	1.20/1.40
	施工期最不利	1.54	1.91	1.05/1.30
C 型	完建期工况	/	/	1.05/1.30
	设计洪水	/	/	1.20/1.40
	水位突降	/	/	1.20/1.40
	施工期最不利	/	/	1.05/1.30

（注：C 型挡墙填土由于 c 值较大，填土高度小于等效计算粘聚力的等效填土高度，因此无主动土压力）

表 5.7-16 挡土墙承载力计算值成果表

挡墙类型	工况	平均地基承载力（kPa）	最大/最小地基承载力（kPa）	允许地基承载力（kPa）
AI型（PYK0+880）	完建期工况	68.43	98.88/37.98	80
	设计洪水	37.22	50.52/23.93	
	水位突降	69.06	100.56/37.56	
	施工期最不利	68.43	98.88/37.98	
AII型（JG3+756）	完建期工况	111.05	124.11/97.99	80
	设计洪水	59.19	62.87/55.60	
	水位突降	112.37	126.38/98.36	
	施工期最不利	111.05	124.11/97.99	
C 型	完建期工况	44.23	60.14/28.33	80

挡墙类型	工况	平均地基	最大/最小地基	允许地基承载力（kPa）
		承载力（kPa）	承载力（kPa）	
	设计洪水	23.97	30.38/17.55	
	水位突降	44.67	61.25/28.09	
	施工期最不利	44.23	60.14/28.33	

从表中可以看出，部分挡墙不满足地基承载力要求，需对不满足的挡墙进行地基处理。地基处理内容见地基处理计算章节。

2）直立式轻型框架结构（E 型典型断面）

稳定按以下两种工况分析计算：

工况 1：施工完建期，挡墙前后无水；

工况 2：防洪墙背侧水位取 4.5m（堤后地面高程），外江侧水位取 2.5m （枯水期平均高潮位为 2.5m）；

框架式堤防的稳定及基底应力计算成果见表 5.7-16。

表 5.7-16　　框架式结构稳定及基底应力计算成果表

工 况	墙底基底应力（KPa）		应力比		抗滑稳定安全系数		抗倾覆稳定 安全系数	
	墙址	墙踵	计算值	规范值	计算值	规范值	计算值	规范值
工况 1	140.81	109.15	1.29	1.5	1.063	1.20	7.598	1.40
工况 2	81.57	51.47	1.58	2.0	0.409	1.05	2.163	1.30

从表中可以看出，直立式轻型框架式防洪墙抗滑稳定不能满足要求，出现最大基底应力大于地基承载力，经分析框架式防洪墙基础需采用 φ80cm 钻孔灌注桩处理。

5.7.5 基础处理计算

5.7.5.1　轻型结构灌注桩计算

本工程对于轻型框架结构基础采用桩基（钻孔灌注桩）处理。轻型框架结构底板以下桩基（钻孔灌注桩）的作用有两个：一是承受上部结构传递的竖向荷载，二是承担土压力和水压力作用产生的水平滑移力。

桩基采用 φ80cm 钻孔灌注桩，布置间距根据竖向承载力和水平承载力 共同确定，以满足抗竖向力和水平力的要求。

（1）灌注桩竖向力计算

灌注桩的竖向力 Ni 按下式计算：

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_i^2}$$

式中： Nik—第 i 根桩所受的竖向力（kN）；

Fk—作用于承台顶面的竖向力（kN）；

Gk—桩基承台和承台上土重标准值（kN）；

n—桩的总根数；

Mxk— 作用于承 台底面 ，绕通过桩群形心 的 x 主轴 的力矩 （kN ·m）；

Myk—作用于承台底面，绕通过桩群形心的 y 主轴的力矩（kN ·m）；

yi—第 i 根基桩至 x 轴的距离（m）；

xi—第 i 根基桩至 y 轴的距离（m）；

灌注桩的水平向力按下式计算：

$$H_i = \frac{H}{n}$$

式中：H—作用于桩基承台底面的水平力（kN）；

H_i—作用于任一复合基桩或基桩的水平力设计值（kN）；

n—桩基中的桩数；

（2） 单桩竖向承载力

桩基竖向极限承载力标准值根据《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008） 公式计算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum_{si} q_{sik} l_i + \sum_{p} q_{pk} A_p$$

Ra =（1/ K）Q_{uk}

Q_{uk}—单桩竖向极限承载力标准值；

Q_{sk}—单桩总极限侧阻力标准值；

Q_{pk}—单桩总极限端阻力标准值；

u—桩身周长；

s_i、p—大直径桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数；

q_{sik}—桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值；

li—桩穿越第 i 层土的厚度；

q_{pk}—极限端阻力标准值；

A_p—桩端面积；

R_a—基桩竖向承载力特征值；

K—安全系数，取 K=2。

（3） 水平向承载力计算

按照《建筑桩基技术规范》（JGJ 94-2008），考虑 C30 砼灌注桩桩 身配筋率不小于 0.65%，对桩基水平向承载力进行计算。

灌注桩单桩水平承载力特征值：

$$R_{ha} = 0.75 \frac{\alpha^3 EI}{\nu_x} \chi_{0a}$$

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}}$$

式中： EI—桩身抗弯刚度， EI=0.85EcI0，其中 I0 为桩身换算截面惯性 矩， Ec 为桩体材料弹性模量，C25 砼弹性模量取为 25000MPa；

χ0a—桩顶容许水平位移，按《水闸设计规范》（SL265-2016）的有关经验数值，取为 6mm；

υx—桩顶水平位移系数；

α—桩的水平变形系数；

m—桩侧土水平抗力系数的比例系数；

b0—桩身的计算宽度（m）；

各段在最不利组合工况（背水坡水位为地面高程，外江侧水位取设 计洪水位） 作用下，砼灌注桩的竖向力、竖向承载力、水平力和水平承 载力计算结果见表 5.7-17。

表 5.7-17　　轻型框架结构桩基外力、承载力计算结果表

结构形式	断面	单桩最大竖向力 Nimax（kN）	单桩竖向承 载力 Ra （kN）	单桩最大水平力 Himax（kN）	单桩水平承 载力 Rha （kN）
轻 型 框 架 结 构	BS0+411	924	1555	65	108
	BL0+521	1233	1415	60	91

由上表可以看出，各堤段在最不利情况下，桩基竖向承载力和水平承载力能满足规范要求。

（4）轻型框架结构变形计算

轻型框架堤防结构水平荷载由群桩基础共同承担。根据《建筑桩基 技术规范》

（JGJ94-2008）， 桩顶水平位移按下式计算。

$$x_0 = R_h v_x / (\alpha EI)^3$$

式中：x0—桩顶水平位移；

Rh—作用于桩顶的水平力；

vx—桩顶水平承载力系数；

α —桩的水平变形系数；

EI—桩身抗弯刚度。

经计算，轻型框架结构最大单桩桩顶水平力为 81kN，计算桩顶水平 位移为 7.62mm ，能满足规范要求。

5.7.5.2 水泥搅拌桩承载力计算

根据《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79-2012）规定，水泥搅拌桩处理后复合地基承载力应按下式计算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m) f_{sk}$$

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^{n} q_{si} l_{pi}$$

λ—单桩承载力发挥系数，取 1；

m—面积置换率，由布置方式计算得 0.28；

R_a—单桩竖向承载力特征值，kN；

A_p—桩的截面积，m^2；

β—桩间土承载力发挥系数，取 0.4；

u_p—桩的周长，m；

q_{si}—桩周第 i 层土的侧阻力特征值，根据地勘成果确定，kPa；

l_{pi}—桩长范围内第 i 层土的厚度，m。

f_{sk}—处理后桩间土承载力特征值，根据地勘成果确定，kPa。

由于多数堤防段地基软土层较厚，大于水泥搅拌桩可施工最大桩长，出于安全考虑，计算承载力不考虑端承力。

各典型段处理后地基允许承载力见表 5.7-18.

表 5.7-18　　处理后地基允许承载力表

桩号	地层类别	土层厚度（m）	桩侧摩阻系数（kPa）	各层桩侧摩阻力（kN）	单桩承载力（kN）	原地基允许承载力（kPa）	桩间土折减系数	复合地基允许承载力（kPa）
PYK2+567	粉质黏土	0.87	12	19.67	80.94	100	0.28	109.47
	淤泥	8.13	4	61.27				
JG3+756	素填土	1.68	11	34.82	178.15	60		194.96
	淤泥质粉质黏土	2.9	6	32.78				
	粉砂夹淤泥	4.1	14	108.14				
	淤泥	0.32	4	2.41				
BS2+574	淤泥质粘土	2.75	6	31.09	126.93	60		143.87
	淤泥夹粉砂	9.25	5.5	95.85				
TP0+307	粘土	1.27	10	23.93	122.87	80		145.56
	淤泥夹粉砂	6.4	5.5	66.32				
	淤泥	4.33	4	32.63				
BL0+964	淤泥质粘土	4.45	6	50.30	156.18	55		171.61
	粉砂夹淤泥	3.8	14	100.23				
	淤泥	0.75	4	5.652				

经计算，处理后地基允许承载力有所提升，其中碧山段及桐浦段搅拌桩长度需达到12m，其余堤防段搅拌桩长度达到9m，可满足堤防地基承载力要求。且经过处理后可以降低地基沉降量，增加堤防整体抗滑稳定性。由于堤防断面近似梯形，填土高度中间高两侧低，因此对填筑高度 3.5m 以上的堤防范围及挡墙高度超过 4m 的挡墙做水泥土搅拌桩地基处理。由于梅屿段整体地质条件较好，不做相应处理。

5.7.6 堤防沉降计算

（1） 计算公式

本工程地基总沉降采用下式计算：

$$s_f = \xi \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta p_i}{E_{si}} h_i$$

s_f-----最终竖向变形量（m）；

Δp_i-----第 i 层土内的平均附加应力（MPa）；

E_{si}-----第 i 层土压缩模量（Mpa）；

h_i-----第 i 层土层厚度（m）；

ξ-----经验系数，本次计算取ξ=1.0。

（2） 计算水位

按《海堤工程设计规范》（GB/T51015-2014），沉降计算时采用平均低潮位作为计算潮位。

（3） 计算深度

计算深度算至砾石层。

（4）计算成果

本工程根据地形及地质资料，选取典型断面，堤顶附加荷载 150kN/m，采用理正软土地基堤坝设计软件计算出防洪堤的竣工时沉降及堤中心点最终沉降，进而推算堤顶预留加高值（暂按施工期 3 年进行施工期沉降计算，预留沉降是指工程完工 10 年后沉降值），其成果见表 5.7-19。

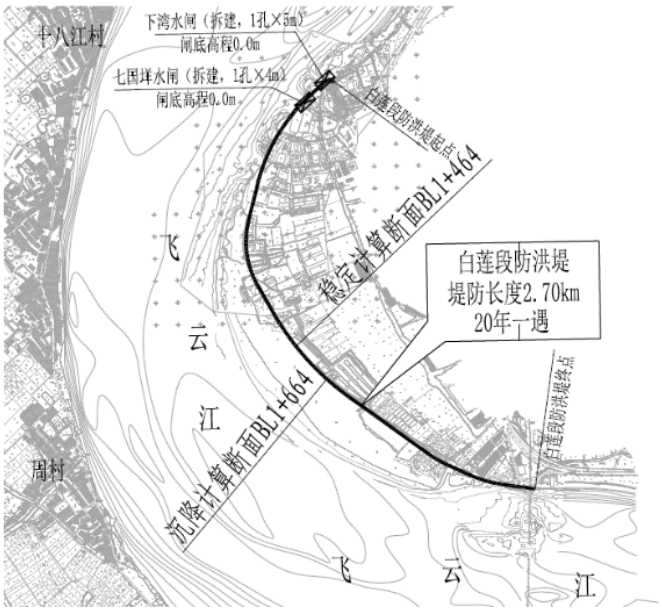


图 5.7-33　　平阳坑段沉降计算断面位置图

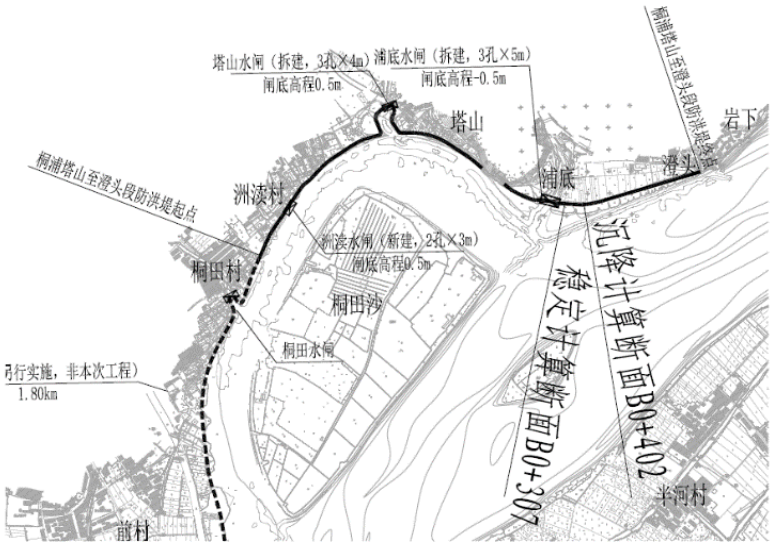


图 5.7-34　　马屿镇梅屿段沉降计算断面位置图

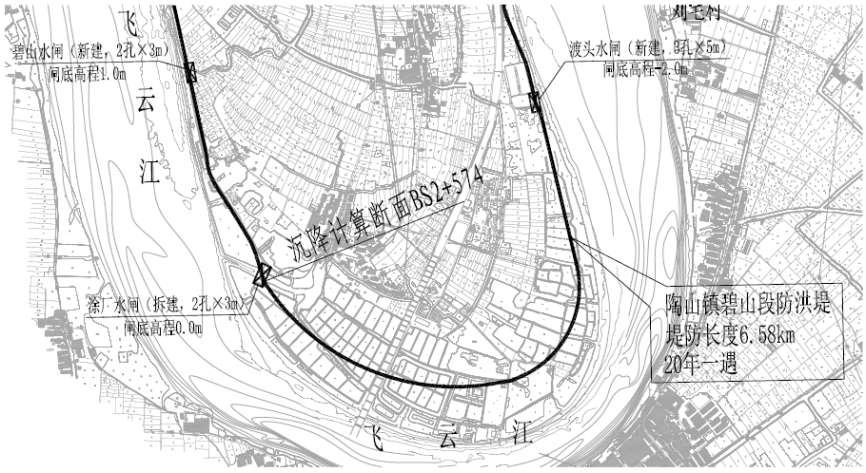


图 5.7-35　　陶山镇荆谷段沉降计算断面位置图

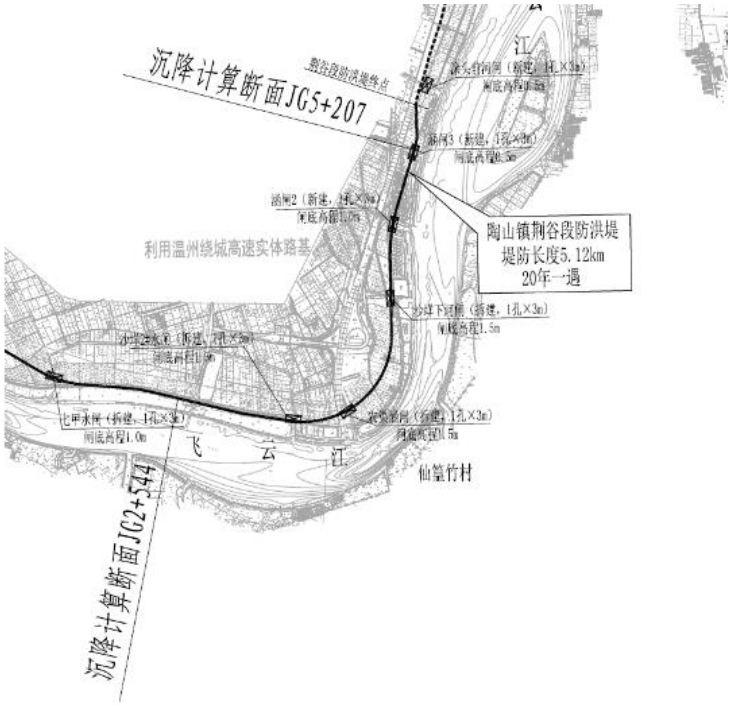


图 5.7-36　　陶山镇碧山段沉降计算断面位置图

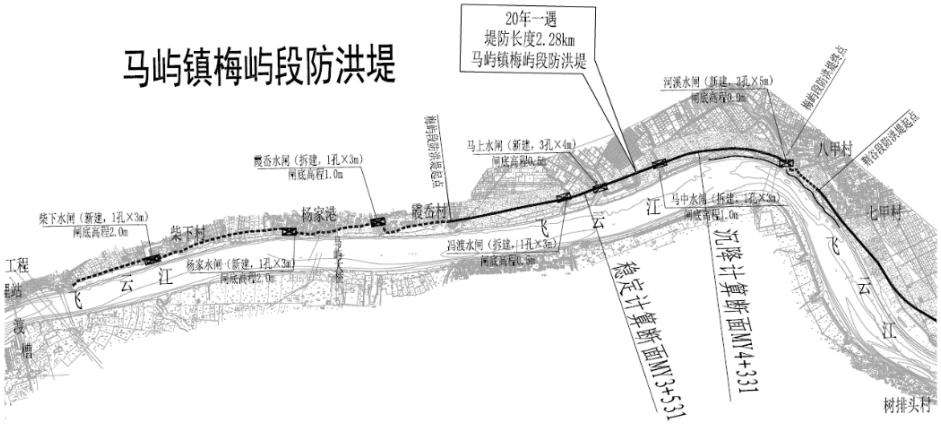


图 5.7-37　　桐浦塔山至澄头段沉降计算断面位置图

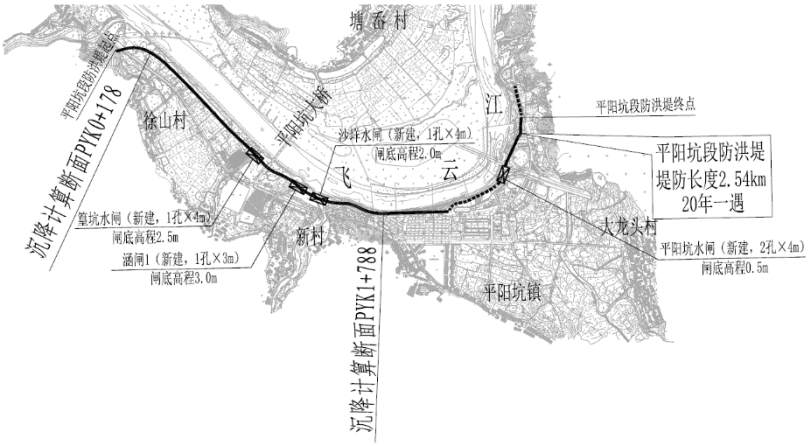


图 5.7-38　潘岱白莲段沉降计算断面位置图

表 5.7-19　　沉降量及堤顶预留加高　　单位： m

断面位置	竣工时地基沉降	堤中心点最终沉降量	堤顶预留加高
PYK0+178	0.39	0.76	0.37
PYK1+788	0.13	0.25	0.12
MY4+331	0.22	0.43	0.21
JG2+544	0.16	0.31	0.15
JG5+207	0.32	0.63	0.31
BS2+574	0.25	0.48	0.23
TPB0+402	0.21	0.41	0.20
BL1+664	0.25	0.49	0.24

上表部分断面基础进行了地基处理，处理后地基沉降量有所降低，处理后的沉降量见表 5.7-20

表 5.7-20　　地基处理后沉降量及堤顶预留加高　　单位： m

断面位置	竣工时地基沉降	堤中心点最终沉降量	堤顶预留加高
PYK0+178	0.10	0.21	0.11
JG2+544	0.10	0.21	0.11
JG5+207	0.18	0.39	0.21
BS2+574	0.12	0.25	0.13
TPB0+402	0.07	0.15	0.08
BL1+664	0.19	0.39	0.20

软土地基的沉降计算受各方面因素影响较大，如土层厚度变化，地基土不均匀性引起的力学指标的变动，地基加载过程的变化等都会引起沉降计算与实际计算沉降的较大差异，同时计算理论本身也存在一定的局限性，十分精确地计算沉降是比较困难，建议

在施工过程中加强沉降观测，根据实际观测的数据，了解沉降发展的趋势，判别地基沉降是否趋于稳定，并推求最终沉降量和确定堤顶预留加高量。

由于沿海地区地下软土层较厚且分布不均匀，在沉降量较大的堤防段易产生不均匀沉降，将对堤顶路面、防浪墙等造成破坏。若不进行基础处理，需提高堤防预留加高量，增加土方回填工程量，加大环境保护及水土保持投资。若进行基础处理，不仅能减少不均匀沉降，降低土方回填量，同时可以为地方填筑提供良好的建基面，保障堤防填筑施工质量，并且相应的地基处理可以提高地基土力学参数，对部分堤防断面能提高其整体稳定性。因此本次设计对于沉降量大于堤防高度 10%的堤防段地基采取加固处理。处理方式为水泥搅拌桩，桩径 60cm，桩间距 1m 梅花型布置。

由于堤防回填高度中间高两侧低，对应堤中心线处地基沉降量大于堤防两侧地基沉降量。因此考虑降低投资，地基处理宽度可小于堤防底宽度。以碧山段 BS2+574 断面为沉降典型断面绘制该断面的地基最终沉降量盆型图。

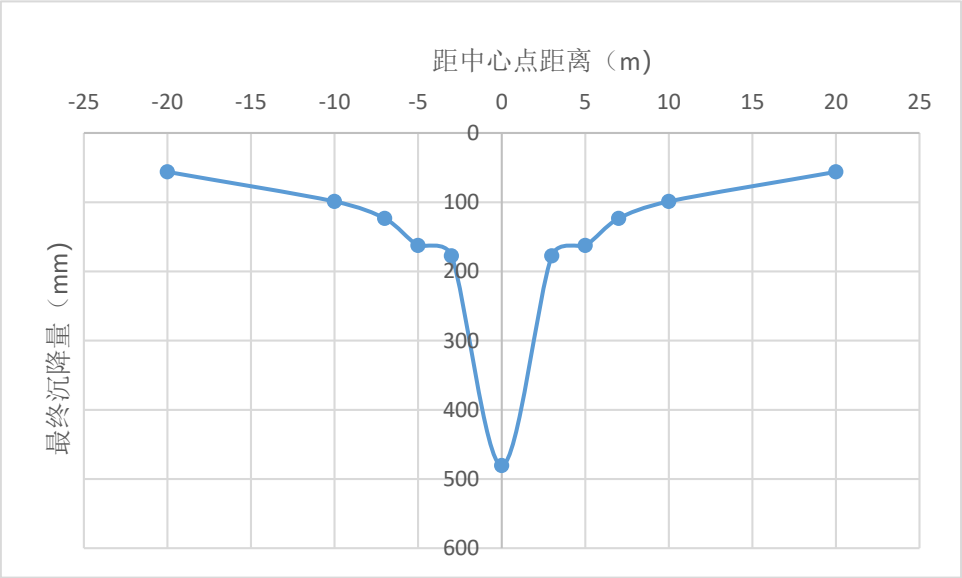


图 5.7-39　　BS2+574 断面地基最终沉降量盆型图

根据盆型图可知，地基沉降量在中心线处最大，中心线左右 3m 处地基沉降量远小于中心线处沉降量，因此确定本次地基处理宽度确定为堤顶道路以下及堤防填筑高度大于 3.4m 的范围内。

5.8　交叉建筑物设计

根据瑞安市飞云江治理二期工程堤防堤线总体布置，各堤段为了形成封闭的防洪排涝体系，堤防沿线河道叉口处需设水闸建筑物，水闸规模根据该区块的排涝流量和相关

规划确定。马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸级别为 4 级，设计洪水标准为 20 年一遇，校核洪水标准 50 年一遇。瑞安市飞云江治理二期工程规划的水闸如下表 5.8-1。

表 5.8-1　　飞云江治理二期工程沿线新建/改建水闸汇总表

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量(m^3/s)	现状河道宽度(m)
1	平阳坑片	篁坑水闸	4	2.0	16.0	7m
2		涵闸1	3	3.5	14.9	6m
3		沙垟水闸	4	2.0	19.0	8m
4		平阳坑水闸	8	0.5	66.6	15m
5	马屿镇梅屿1	柴下水闸	3	2.0	13.7	6m
6		杨家水闸	3	2.0	13.7	现状老闸2m
7	马屿镇梅屿2	霞岙水闸	3	2.0	17.4	现状老闸2m
8		冯渡水闸	3	2.5	28.1	现状老闸2m
9		马上水闸	12	0.5	112.5	20m
10		马中水闸	3	1.0	22.5	现状老闸2m
11		河溪水闸	15	-1.0	208.8	24m
12	陶山镇荆谷片	七甲水闸	3	1.0	8.5	现状老闸2m
13		沙垟2#水闸	3	1.5	13.8	现状老闸2m
14		农渠涵闸	3	2.0	13.2	4m
15		沙垟下河闸	3	1.5	15.0	4m
16		涵闸2	3	2.5	14.4	4m
17		涵闸3	3	1.0	12.0	4m
18		涂头前河闸	3	2.0	14.0	6m
19		涵闸4	3	0.5	14.5	6m
20		涵闸5	3	0.5	15.0	6m
21		石埠水闸	6	1.0	28.6	10m
22	陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片	龟岩水闸	3	1.5	5.9	现状老闸2.5m
23		碧山水闸	6	1.0	31.1	规划水闸宽度6m，本次复核
24		涂厂水闸	6	0.0	59.9	规划水闸宽度6m，本次复核
25		渡头水闸	15	0.0	202.1	规划水闸宽度15m，本次复核
26		洲渎水闸	6	0.5	48.4	规划水闸宽度6m，本次复核
27		塔山水闸	12	0.5	95.7	规划水闸宽度12m，本次复核
28		浦底水闸	15	-1.7	151.6	规划水闸宽度15m，本次复核

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量(m^3/s)	现状河道宽度(m)
29	白莲片	下湾水闸	5	0.0	40.8	规划水闸宽度5m，本次复核
30		七国垟水闸	4	-1.5	24.1	规划水闸宽度4m，本次复核

说明：涵闸 4、5 为穿温州绕城高速公路西南线的防洪封闭配套水闸(一孔排水、一孔通行),各配套一孔 3m 作为交通用闸门，过水闸门宽度为 3m。高速公路管理范围为路脚外 30m。

此表格不包含 3 座旱闸。旱闸位于陶山镇荆谷片，闸孔规模均为 1 孔×5m，底高程为 3.30m，为新建闸门。

5.8.1 闸型比选

5.8.1.1 水闸结构型式

闸室结构主要有开敞式、胸墙式、涵洞式等。开敞式闸门全开时过闸水流具有自由水面，一般闸槛高程较高、挡水高度较小的水闸采用这种型式。当闸门全开时，闸室过水断面积和泄流量随着 水位的抬高而增大，有利于泄洪、分洪，同时，也有利于大量漂浮物随着水流下泄，不致阻塞闸孔，适用于有排冰、过木要求或有通航要求的水闸。 胸墙式和涵洞式闸室亦称孔流式，其闸门全开时过闸水流只能通过固定孔洞下泄，自由水面受到闸室顶部的固定结构部件（胸墙或涵洞顶板等）所阻挡，适用于闸槛高程较低、挡水高度较大的水闸。该型式既不影响水闸的过流能力，又可减小闸门高度和启门力，降低工作桥高度。有鉴于此，浙江沿海地区的排涝闸、挡潮闸多采用这种结构。

本工程主要功能为挡洪，下游飞云江水位较高，采用开敞式需要闸门高度较大，闸门高度太大对于整个检修层，启闭机室高程要求比较大，整体投资较大，对于本工程不合适。因此主要对涵洞式和胸墙式进行比较。

1、方案一：涵洞式闸门+平板闸门+卷扬启闭机

闸室采用涵洞式。工作闸门为平板闸门，启闭设备为卷扬启闭机。闸孔下游设胸墙，工作闸门上下游各设一道检修闸门及启吊设备，闸室上部设启闭机室。

2、方案二：胸墙式+平板闸门+卷扬启闭机 闸室采用胸墙式。工作闸门为平板闸门，启闭设备为卷扬启闭机。

5.8.1.2 水闸结构方案比较

方案比较从技术和闸室结构可比性投资两方面比较，水闸结构方案比较见下表。

表 5.8-1　　水闸闸室结构方案比较表

方案项目		方案一 （涵洞式+平板闸门+卷扬启闭机）	方案二 (胸墙式+平板闸门+卷扬启闭机)
技术比较	优点	1、结构简单、施工容易；	1、结构型式常见，技术成熟；
		2、外观立面技术处理的余地较大；	2、可以与堤防更好的结合；
		3、适用于闸孔规模较小水闸，结构稳定。	3、可以减小闸门高度，节约成本。
	缺点	1、与堤防结合不充分，外江挡水需要另外修	1、结构复杂；
		筑堤防	2、建筑物尺寸高度较高。
可比性投资概算		本身相对较小，但堤防需要另外修筑，整体相	本身相对较大，但可以结合堤防布置
		对投资较大	整体相对投资较小
综合评价		比较方案	推荐方案

本工程水闸位于飞云江干流感潮河段沿岸，水闸主要作为排水闸（挡潮闸）及节制闸使用，主要任务为挡潮（洪）、排涝，兼顾蓄水，非洪水期水闸关闭，满足挡潮水蓄淡水的要求，洪水期外河水位上涨时关闸以防潮水倒灌，外河水位下降时开闸排水，排除堤内低洼地区的涝水，具有双向挡水，单向过流的特点。

根据《2023年飞云江河口简报》（浙江省水利河口研究院2023.5）分析，2021年11月至2022年11月，受上游径流偏枯影响，飞云江河口全河段呈淤积态势，总容积减少$7.1\times10^6m^3$。其中下游段（宝香至河口）河床先淤后冲，中潮位下容积减少$3.5\times10^6m^3$，为建库以来下游段最小河床容积。

本次设计水闸均位于飞云江感潮河段，闸底板高程均采用实测河道河底高程，为了多泄水，闸底高程基本与河底齐平，保证涝水迅速排走，若采用涵洞式结构，容易造成涵洞淤积，影响排涝运行。

水闸闸室结构型式应根据水闸的运行要求及泄流特点来选择，由于本工程水闸没有通航（民船）的要求，水闸挡水高度较大，水位变化幅度较大，参照可研成果及初设实测河道断面，结合实际情况，并参考已经实施的飞云江一期治理和二期桐田段的经验，采用胸墙式闸室，既不影响水闸的过水能力，又可减小闸门高度和启门力，沿江、沿海地区的排涝、挡潮闸多采用这种结构型式。

5.8.2　闸址选择与总体布置

5.8.2.1　闸址选择

水闸闸址选择的合理与否对工程的运行安全、施工难易、工程造价至关重要。闸址的布置需充分考虑水闸内河侧河道走向布局、周边地形地质情况、政策处理难易以及外江侧洪潮流等因素，其确定原则如下：

(1) 尽可能靠近外江堤防，且闸址泓滩冲淤变化较小、上游河道有足够蓄水容积的地点。

（2）闸址宜选择在靠近主涝区和容泄区的堤防线上，排涝出水口应有良好的出水条件，排水条件顺畅，避免建在岸崩或淤积严重的河段。

(3)闸址的征迁方案的选择应遵循征用土地及拆迁房屋较少且有利于安置及社会稳定的原则，并与整体规划相适应。

（4）闸址的选择应有利于生态环境保护和美化。

(5)闸址的选择应综合考虑地形、地质、电源、堤防布置、对外交通、材料来源、场地布置、基坑排水、施工水电供应及建成后工程管理维修和防汛抢险等条件。

闸址选择根据以上拟定原则，并结合现场详细踏勘及航拍图，对每座水闸闸址进行布置，详见表 5.8-2。

表 5.8-2 **闸址选择汇总表**

水闸编号	水闸名称	闸址位置	闸址选择原则
1	篁坑水闸	现状河道内（新建）	1、进出闸水流平顺； 2、施工具备内外河侧围堰封堵条件
2	涵闸1	现状河道内（新建）	1、进出闸水流平顺； 2、施工具备内外河侧围堰封堵条件
3	沙垟水闸	现状河道内（新建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
4	平阳坑水闸	现状河道内（新建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件 3、考虑距离高速的安全距离，确保桩基施工不会对高速桥墩造成较大影响。水闸基坑开挖不会对高速桥墩造成威胁。
5	柴下水闸	现状河道内（新建）	1、现状河道弯曲，新建闸址有利于排水顺畅； 2、采用钢板桩支护基坑，可避免周边房屋拆迁
6	杨家水闸	现状河道内（改建） 老闸内河侧	1、进出闸水流平顺； 2、可利用现状老闸布置围堰； 3、河势不顺，需要拆迁。
7	霞岙水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
8	冯渡水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
9	马上水闸	现状河道内（新建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
10	马中水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、可利用现状老闸可布置围堰；
11	河溪水闸	现状河道内（新建）	1、现状河道顺直，新建闸址有利于排水顺畅； 2、采用钢板桩支护基坑，可避免周边房屋拆迁
12	七甲水闸	现状河道内（改建） 老闸外江侧	1、进出闸水流平顺； 2、具备利用外河侧现状老闸封堵，内河侧布置围堰条件

水闸编号	水闸名称	闸址位置	闸址选择原则
13	沙垟2#水闸	现状河道内（改建） 老闸原位拆除重建	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
14	农渠涵闸	现状河道内（新建）	1、现状河道顺直，新建闸址有利于排水顺畅； 2、采用钢板桩支护基坑，可避免影响西侧高速公路
15	沙垟下河闸	现状河道内（改建） 老闸外江侧	1、进出闸水流平顺； 2、可利用现状老闸关闭挡水；
16	涵闸2	现状河道内（新建）	1、现状河道弯曲，新建闸址有利于排水顺畅； 2、具备内外河侧直接围堰封堵条件
17	涵闸3	现状河道内（改建） 老闸原位拆除重建	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
18	涂头前河闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、可利用现状老闸挡水； 3、具备内外河侧围堰封堵条件
19	涵闸4	现状河道内（新建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件；
20	涵闸5	现状河道内（新建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件；
21	石埠水闸	现状河道内（改建） 老闸原位拆除重建	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
22	龟岩水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、紧邻外江，采用钢板桩围堰； 3、具备内河侧围堰封堵条件
23	碧山水闸	现状河道左岸旱地（新建）	1、紧邻外江，采用钢板桩围堰； 2、现状河道弯曲，新建闸址有利于排水顺畅； 3、旱地施工较为方便； 4、投资较省
24	涂厂水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
25	渡头水闸	现状河道东侧旱地新开河道（新建）	1、紧邻外江，采用钢板桩围堰； 2、现状河道弯曲，新建闸址有利于排水顺畅； 3、旱地施工较为方便； 4、投资较省
26	洲渎水闸	现状河道东侧旱地新开河道（新建）	1、紧邻外江，采用钢板桩围堰； 2、现状河道弯曲，新建闸址有利于排水顺畅； 3、旱地施工较为方便； 4、投资较省
27	塔山水闸	现状河道内（改建） 老闸原位拆除重建	1、进出闸水流平顺； 2、具备内外河侧围堰封堵条件
28	浦底水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、紧邻外江，采用钢板桩围堰； 3、内河侧老闸可封堵
29	下湾水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、紧邻外江，采用钢板桩围堰； 3、内河侧老闸可封堵
30	七国垟水闸	现状河道内（改建）	1、进出闸水流平顺； 2、紧邻外江，采用钢板桩围堰； 3、内河侧老闸可封堵

飞云江二期水闸基本沿规划位置布置，或原址拆除重建。若为新建水闸，则位于现状河道与堤防交界处，水闸位置具有唯一性，本阶段不再进行比选，基本采用可研阶段推荐的位置，根据水闸周边情况进行微调优化布置。

5.8.2.2 闸室结构

水闸闸室布置应根据水闸挡水,泄水条件和运行要求,结合考虑地形,地质等因素,做到结构安全可靠,布置紧凑合理,施工方便,运用灵活,经济美观。

本工程堤防沿线水闸承担蓄水、防洪、排涝的作用。闸室结构可根据泄流特点和运行要求,可分为开敞式,胸墙式,涵洞式或双层式等结构型式。整个闸室结构的重心应尽可能与闸室底板中心相接近,且偏高水位一侧。

沿线 30 座水闸（涵闸）堤顶至闸底板高差较大，一般为 5.84～7.87m，根据排洪计算成果，孔口高度为 3.0～5.0m，且沿线水闸不承担通航功能。如闸室采用胸墙结构，则可降低闸门和启闭平台的高度约 3.76～8.15m。为降低闸门高度，减少闸门的启闭力，节省投资，宜采用胸墙式结构。结合温州瑞安市本地经验以及可研设计成果，本次设计沿线 30 座水闸（涵闸）均采用带胸墙的水闸结构型式。

5.8.2.3 闸室高程确定

（1）闸顶高程

根据《水闸设计规范》（SL265-2016）的相关规定：水闸闸顶高程应根据挡水和泄水两种运用情况确定。挡水时，闸顶高程不应低于水闸正常蓄水位(或最高挡水位)加波浪计算高度与相应安全超高值之和；泄水时，闸顶高程不应低于设计洪水位(或校核洪水位)与相应安全超高值之和。水闸安全超高下限值见表 5.8-3.

表 5.8-3 **水闸安全超高下限值**(m)

运用情况 \ 水闸级别		1	2	3	4、5
挡水时	正常蓄水位	0.7	0.5	0.4	0.3
	最高挡水位	0.5	0.4	0.3	0.2
泄水时	设计洪水位	1.5	1.0	0.7	0.5
	校核洪水位	1.0	0.7	0.5	0.4

位于防洪(挡潮)堤上的水闸,其闸顶高程不得低于防洪(挡潮)堤堤顶高程。

闸顶高程的确定,还应考虑下列因素：

1）软弱地基上闸基沉降的影响；

2）多泥沙河流上,下游河道变化引起水位升高或降低的影响；

3）防洪(挡潮)堤上水闸两侧堤顶可能加高的影响等.

由于沿程各水闸内河洪水位比外江洪潮位低 2.0m 以上，故本次闸室防洪顶高程设计按挡外江水位工况控制。

挡水时闸顶高程按下式计算：

Zp=Hp+hz+hp+Δh

式中：

Zp——设计频率的闸顶高程（m）；

Hp——设计频率洪水位（m）；

hz——波浪中心线超出计算水位的高度（m）；

hp——设计波浪计算的累积频率为 5%~10%的波浪爬高值（m）；

Δh——安全超高，m。

$$h_z = \frac{\pi h_p^2}{L_m} cth \frac{2\pi H}{L_m}$$

式中：

hz——波浪中心线超出计算水位的高度（m）；

Lm——平均波长（m）；

H——闸前水深（m）。

（2）计算成果

水闸闸顶高程计算成果见表 5.8-4~7。

表 5.8-4　　水闸闸顶高程计算表　　（挡水工况，单位：m）

水闸名称	水位(P=2%)	波浪中心线超出计算水位高度hz	波浪计算高度hp	安全加高值A	计算闸顶高程
篁坑水闸(1孔×4m)	12.10	0.07	0.42	0.2	12.79
涵闸1(1孔×3m)	11.85	0.06	0.42	0.2	12.53
沙垟水闸(1孔×4m)	11.85	0.06	0.43	0.2	12.54
平阳坑闸(2孔×4m)	11.31	0.08	0.44	0.2	12.03
柴下水闸(1孔×3m)	8.71	0.06	0.34	0.2	9.31
杨家水闸(1孔×3m)	8.36	0.06	0.34	0.2	8.96
霞岙水闸(1孔×3m)	8.45	0.07	0.32	0.2	9.04
冯渡水闸(1孔×3m)	8.25	0.06	0.33	0.2	8.84
马上水闸（3孔×4m）	8.11	0.08	0.31	0.3	8.80

水闸名称	水位(P=2%)	波浪中心线超出计算水位高度hz	波浪计算高度hp	安全加高值A	计算闸顶高程
马中水闸(1孔×3m)	7.88	0.06	0.33	0.2	8.47
河溪水闸（3孔×5m）	7.42	0.08	0.43	0.3	8.23
七甲水闸(1孔×3m)	7.11	0.01	0.44	0.2	7.76
沙垟2#水闸(1孔×3m)	6.87	0.06	0.39	0.2	7.52
农渠涵闸(1孔×3m)	6.81	0.06	0.39	0.2	7.46
沙垟下河闸(1孔×3m)	6.69	0.06	0.39	0.2	7.34
涵闸2(1孔×3m)	6.89	0.07	0.49	0.2	7.65
涵闸3(1孔×3m)	6.54	0.06	0.51	0.2	7.31
涂头前河闸(1孔×3m)	6.47	0.06	0.5	0.2	7.23
涵闸4(2孔×3m)	6.35	0.06	0.51	0.2	7.12
涵闸5(2孔×3m)	6.29	0.06	0.51	0.2	7.06
石埠水闸(2孔×3m)	6.24	0.06	0.5	0.2	7.00
龟岩水闸(1孔×3m)	6.13	0.06	0.41	0.2	6.80
碧山水闸(2孔×3m)	6.09	0.06	0.41	0.2	6.76
涂厂水闸(2孔×3m)	5.71	0.06	0.42	0.2	6.39
渡头水闸（3孔×5m）	5.82	0.06	0.59	0.3	6.77
洲渎水闸(2孔×3m)	5.82	0.06	0.52	0.2	6.60
塔山水闸(3孔×4m)	5.74	0.06	0.52	0.2	6.52
浦底水闸（3孔×5m）	5.79	0.06	0.62	0.3	6.77
下湾水闸(1孔×5m)	5.68	0.07	0.55	0.2	6.50
七国垟水闸(1孔×4m)	5.65	0.02	0.6	0.2	6.47

注：三级水闸安全加高值A取0.30m，四级水闸安全加高值A取0.20m。

表 5.8-5　　水闸闸顶高程计算表　　（泄水工况，单位：m）

水闸名称	水位 P=10%	波浪中心线超出计算水位高度hz	波浪计算高度hp	安全加高值A	计算闸顶高程
篁坑水闸(1孔×4m)	6.94	/	/	0.50	7.44
涵闸1(1孔×3m)	6.94	/	/	0.50	7.44
沙垟水闸(1孔×4m)	6.94	/	/	0.50	7.44
平阳坑闸(2孔×4m)	7.46	/	/	0.50	7.96
柴下水闸(1孔×3m)	5.96	/	/	0.50	6.46
杨家水闸(1孔×3m)	5.96	/	/	0.50	6.46
霞岙水闸(1孔×3m)	4.97	/	/	0.50	5.47
冯渡水闸(1孔×3m)	4.97	/	/	0.50	5.47

水闸名称	水位 P=10%	波浪中心线超出计算水位高度hz	波浪计算高度hp	安全加高值A	计算闸顶高程
马上水闸(3孔×4m)	4.97	/	/	0.70	5.67
马中水闸(1孔×3m)	4.97	/	/	0.50	5.47
河溪水闸(3孔×5m)	4.97	/	/	0.70	5.67
七甲水闸(1孔×3m)	4.11	/	/	0.50	4.61
沙垟2#水闸(1孔×3m)	4.09	/	/	0.50	4.59
农渠涵闸(1孔×3m)	3.94	/	/	0.50	4.44
沙垟下河闸(1孔×3m)	3.89	/	/	0.50	4.39
涵闸2(1孔×3m)	3.82	/	/	0.50	4.32
涵闸3(1孔×3m)	3.74	/	/	0.50	4.24
涂头前河闸(1孔×3m)	3.69	/	/	0.50	4.19
涵闸4(2孔×3m)	3.72	/	/	0.50	4.22
涵闸5(2孔×3m)	3.72	/	/	0.50	4.22
石埠水闸(2孔×3m)	3.72	/	/	0.50	4.22
龟岩水闸(1孔×3m)	4.11	/	/	0.50	4.61
碧山水闸(2孔×3m)	4.11	/	/	0.50	4.61
涂厂水闸(2孔×3m)	4.11	/	/	0.50	4.61
渡头水闸(3孔×5m)	4.11	/	/	0.70	4.81
洲渎水闸(2孔×3m)	4.1	/	/	0.50	4.6
塔山水闸(3孔×4m)	4.1	/	/	0.50	4.6
浦底水闸(3孔×5m)	4.1	/	/	0.70	4.8
下湾水闸(1孔×5m)	3.55	/	/	0.50	4.05
七国垟水闸(1孔×4m)	3.55	/	/	0.50	4.05

注：三级水闸安全加高值 A 取 0.50m，四级水闸安全加高值 A 取 0.70m。

各水闸交通桥布置在外江侧，交通桥梁底高程应高飞云江侧最高洪水位 0.50m，交通桥梁高取 0.50m。各水闸闸顶高程同交通桥顶高程，且各高程均高于两侧堤顶高程，综合考虑泄水工况、挡水工况、交通桥顶高程，并且适当保持富余，各水闸闸顶高程见表 5.8.6。

表 5.8-6　　水闸闸顶高程表　　（单位：m）

水闸名称	计算闸顶高程（挡水工况）	计算闸顶高程（泄水工况）	交通桥计算高程	设计闸顶高程	堤顶高程（防浪墙顶高程）
篁坑水闸（1孔×4m）	12.79	7.44	13.10	13.20	12.52
涵闸1（1孔×3m）	12.53	7.44	12.85	12.90	12.38
沙垟水闸（1孔×4m）	12.54	7.44	12.85	12.90	12.32
平阳坑闸（2孔×4m）	12.03	7.96	12.31	12.40	11.79
柴下水闸（1孔×3m）	9.31	6.46	9.71	9.80	7.60
杨家水闸（1孔×3m）	8.96	6.46	9.36	9.40	6.99
霞岙水闸（1孔×3m）	9.04	5.47	9.45	9.50	6.27
冯渡水闸（1孔×3m）	8.84	5.47	9.25	9.30	8.76
马上水闸（3孔×4m）	8.8	5.67	9.11	9.20	8.71
马中水闸（1孔×3m）	8.47	5.47	8.88	8.90	8.56
河溪水闸（3孔×5m）	8.23	5.67	8.42	8.70	8.53
七甲水闸（1孔×3m）	7.76	4.61	8.11	8.20	8.07
沙垟2#水闸（1孔×3m）	7.52	4.59	7.87	8.00	7.94
农渠涵闸（1孔×3m）	7.46	4.44	7.81	8.00	7.91
沙垟下河闸（1孔×3m）	7.34	4.39	7.69	7.90	7.85
涵闸2（1孔×3m）	7.65	4.32	7.62	7.90	7.81
涵闸3（1孔×3m）	7.31	4.24	7.54	7.80	7.77
涂头前河闸（1孔×3m）	7.23	4.19	7.47	7.60(考虑路涵)	7.60
涵闸4（2孔×3m）	7.12	4.22	7.35	7.70(考虑路涵)	8.72
涵闸5（2孔×3m）	7.06	4.22	7.29	7.60(考虑路涵)	7.84
石埠水闸（2孔×3m）	7	4.22	7.24	7.30	7.07
龟岩水闸（1孔×3m）	6.8	4.61	7.13	7.30	7.22
碧山水闸（2孔×3m）	6.76	4.61	7.09	7.20	7.09
涂厂水闸（2孔×3m）	6.39	4.61	7.03	7.10	7.06
渡头水闸（3孔×5m）	6.77	4.81	6.82	7.10	6.95
洲渎水闸（2孔×3m）	6.6	4.6	6.82	7.00	6.83
塔山水闸（3孔×4m）	6.52	4.6	6.74	7.00	6.80
浦底水闸（3孔×5m）	6.77	4.8	6.79	7.00	6.77
下湾水闸（1孔×5m）	6.5	4.05	6.68	6.80	6.67
七国垟水闸（1孔×4m）	6.47	4.05	6.65	6.80	6.66

注：柴下水闸、杨家水闸、霞岙水闸位于马屿镇梅屿段，该段堤防利用现状道路。涂头前河闸、涵闸4、涵闸5、石埠水闸位于陶山镇荆谷段，该段堤防利用温州绕城公路路基。

5.8.2.4 水闸总体布置

瑞安市飞云江一期工程沿线共布置 30 座水闸，3 座旱闸，数量较多，马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物级别为 3 级，其余水闸级别为 4 级。本次将平阳坑水闸及 4 座水闸建筑物单独叙述，其余的本次按照单孔净宽及结构特点将水闸分为 5 种类型进行结构叙述：

1、单孔净宽 3m；

2、单孔净宽 4m；

3、单孔净宽 5m；

4、涵闸。

5、旱闸

各水闸（涵闸）按此方式分类后，列表如下：

表 5.8-7 水闸结构分类汇总表

水闸分类	水闸名称	备注
单孔净宽3m	柴下水闸、杨家水闸、霞岙水闸、冯渡水闸、马中水闸、七甲水闸、沙垟2#水闸、沙垟下河闸、涂头前河闸、石埠水闸、龟岩水闸、碧山水闸、涂厂水闸、洲渎水闸	共14座
单孔净宽4m	篁坑水闸、沙垟水闸、塔山水闸、七国垟水闸	共4座
单孔净宽5m	下湾水闸	共1座
涵闸	涵闸1、农渠涵闸、涵闸2、涵闸3、涵闸4、涵闸5	共6座
旱闸	旱闸1、旱闸2、旱闸3	共3座

平阳坑水闸及 4 座马上、河溪、渡头、浦底 4 座水闸建筑物单独叙述。

5.8.2.4.1 平阳坑水闸

（一）方案比选

平阳坑水闸位于龙丽高速与平阳坑高速公路夹角处，距离两条高速近，施工难度较大。

平阳坑水闸项建阶段位于现状河道出口处，地处龙丽高速与平阳坑高速公路交叉处，施工场地较小。由河道全线位于龙丽高速下方，若采用回水堤方案，则堤防在高速公路下方大面积施工，对高速公路造成较大扰动，则水闸的建设必不可少。

可研阶段，设计单位进行了两个方案的详细比选：

方案一：高速交叉口(推荐方案)

方案一位置同项建阶段，水闸位于龙丽高速及平阳坑高速公路交叉口。河道与水闸

连接平顺，水流畅通，不改变原有河道布置，工程建设影响最小。但建设时需对水闸基坑采用 Φ80C30 砼密排灌注桩处理，桩长 15m，在水闸北侧距离龙丽高速 10m 处布设，南侧在平阳坑高速公路下方挡墙外侧布置。避免对周边建筑物产生影响。

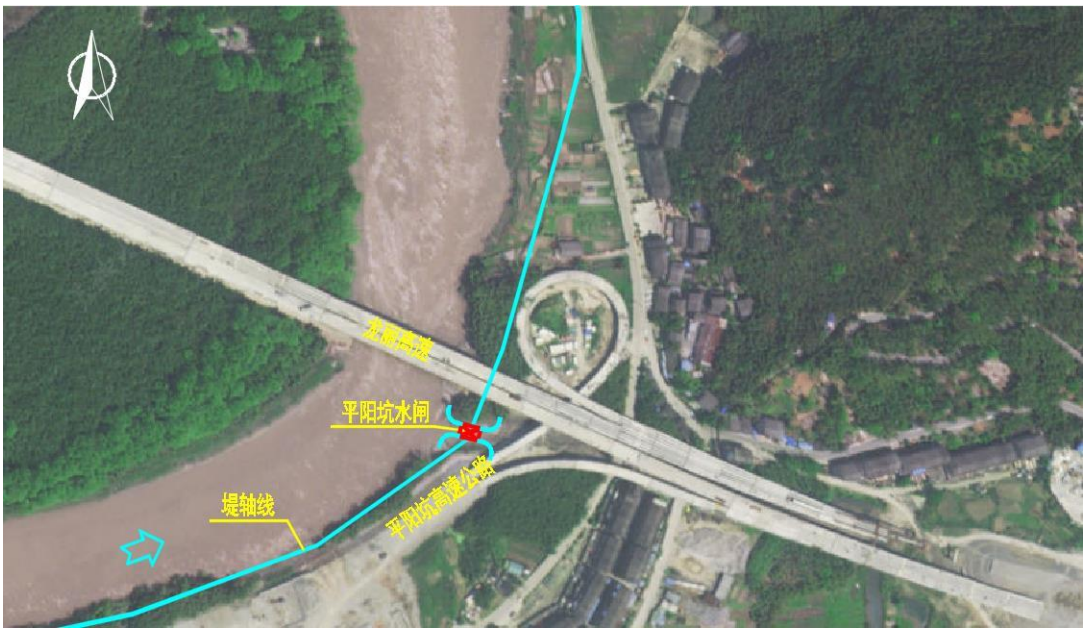


图 5.8-1　　可研方案一闸址位置平面图(推荐方案)

可研方案一：高速交叉口(推荐方案)

方案二：高速交叉口北侧(比选方案)

方案二水闸位于龙丽高速转盘北侧，河道从龙丽高速下改线至平阳坑水闸。要新开河道长 350m，河道面宽 25.20m，为保证距高速 10m 以上且对现状道路影响最小的线路，河道需穿过村庄，在北侧穿过现状道路后连接平阳坑水闸。

图 5.8-2　　可研方案二闸址位置平面图(比选方案)

比选原则：

1)闸址方案比选时需考虑距离高速的安全距离，确保桩基施工震动不会对高速桥墩造成较大影响。水闸基坑开挖不会对高速桥墩及南侧高速路基础造成位移破坏。

2)闸址方案比选需考虑增加的投资在可接受范围内，闸址变动势必引起河道改线，河道线路需避开村庄及房屋密集段，避免大面积拆迁引起的政策处理难度，避免距离山脚下太近引起的大开挖。

3)闸址方案比选需考虑对排涝的影响，不会引起水系变动，不会对内河排涝、外江防洪造成影响。

可研阶段经过综合比选，方案一虽然对公路及桥梁有一定的影响，但是可以通过围护桩及施工期间监测措施将影响较小，施工前需做桥梁安全影响评价，确保桥梁安全。施工道路需从北侧绕行至水闸附近，施工方案可行。工程投资小，不拆迁，对环境影响小，因此推荐方案一。

本次初步设计，采用可研推荐方案进行平阳坑水闸设计。

图 5.8-3　　推荐闸址方案河道现状图

（二）闸轴线比选

初步设计阶段，根据可研选定的位置，选择闸轴线与河道中心线重合，如下图

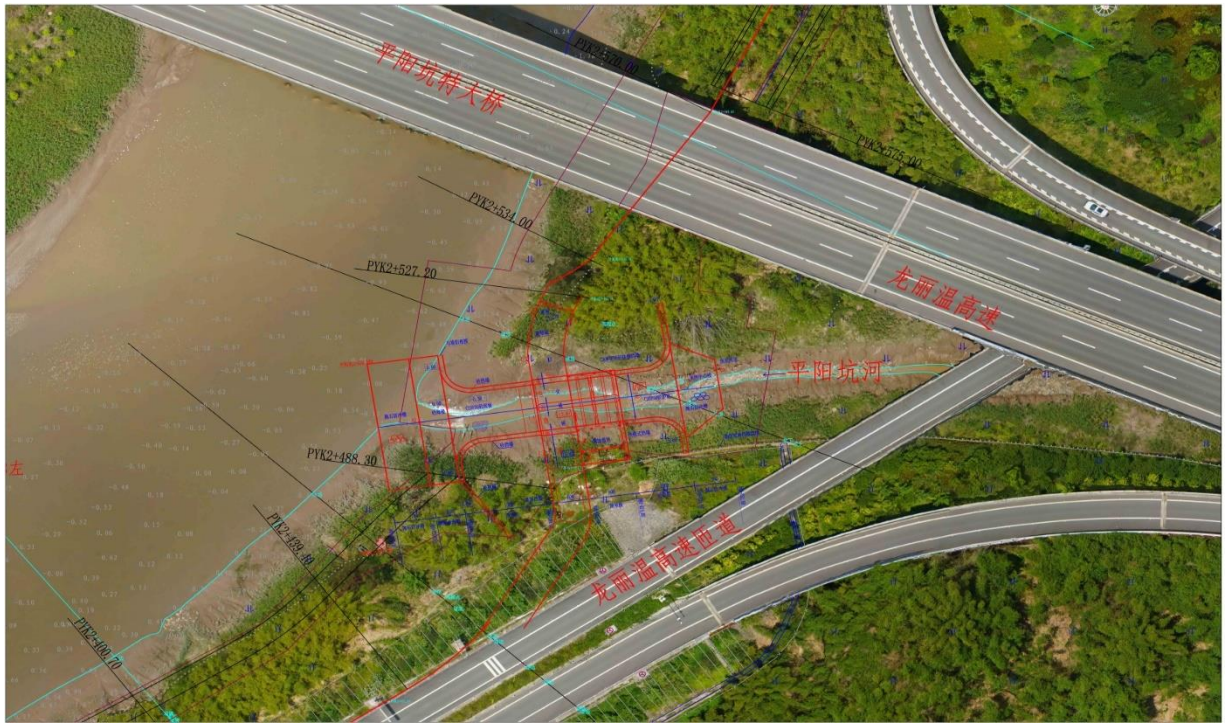


图 5.8-4　　平阳坑水闸布置方案一(推荐方案)

初设咨询阶段，专家建议：平阳坑水闸中心线与飞云江河道中心线夹角较小，而且闸址位于河流弯道凹岸，建议按顺时针旋转一定角度，这样布置既有利于水闸排水、防冲刷，同时也有利于与两侧堤防的连接。调整后，方案如下图：

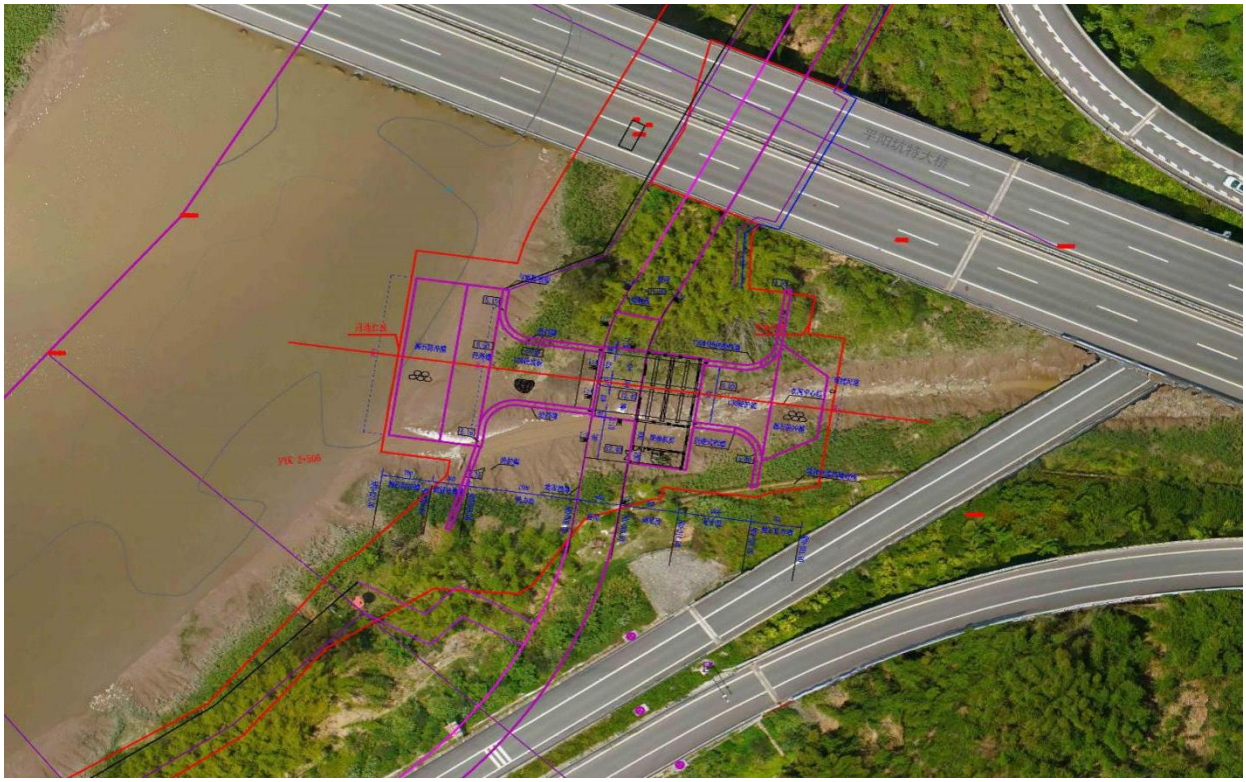


图 5.8-5　　平阳坑水闸布置方案二（对比方案）

经设计方讨论后，最终设计方案采用方案二，内河排水对飞云江的顶冲作用减小，有利于水闸排水运行。调整后方案在红线范围内。

（三）水闸布置

平阳坑水闸位于马屿镇梅屿段，根据规模论证，确定最大排涝过闸流量为 66.6m^3/s，采用 2 孔×4m，建筑物级别为 4 级。平阳坑水闸闸址处位于龙丽高速及平阳坑高速公路交叉口北侧，河道与水闸连接平顺，水流畅通，不改变原有河道。

平阳坑水闸（2 孔×4m）由外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段、闸室段、内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽组成。

外江侧海漫段长 5.0m，顶高程 0.50m，底部净宽由 17.5m 渐变至 25m，采用厚 0.5mC30W4F50 钢筋砼，下设厚 0.20m 碎石垫层及无纺布；海漫前端设置深度 1.7m 深的抛石结构防冲槽。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

外江侧消力池段长 15.0m，净宽 9.4m，消力池深度 0.8m；采用整体式结构，底板厚度 0.8m;两侧采用扶臂式挡土墙,外江侧翼墙平面为喇叭口形,墙顶高程 12.40～5.60m。

闸室段长 14.0m，堰型为宽顶堰，堰顶高程 0.50m，单孔净宽 4.0m，共 2 孔，总净宽 8.0m；闸室段设胸墙，胸墙底高程 4.5m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。检修平台顶高程 12.40m。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础，闸室基础外江侧采用一排塑钢板桩竖向止水。闸室设 6m 宽交通桥，与堤顶路连通，采用预制空心板桥结构形式，设计等级为公路-II级。

闸室上部设检修平台、启闭平台。水闸副厂房位于闸室边侧,设柴油机房及楼梯间。

内河侧设 10m 长护坦，净宽 9.4m，底板厚度 0.5m，两侧采用扶臂式挡土墙，内河侧翼墙平面为喇叭口形，墙顶高程 12.40～4.50m。内河设置深度 1.3m 的抛石防冲槽，两岸与现状河道平顺连接。

进出口翼墙较高，采用扶壁结构，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼钻孔灌注桩结构。

5.8.2.4.2 马上水闸

（一）闸轴线比选

初步设计阶段，根据可研选定的位置，选择闸轴线与内河中心线重合，如下

图 5.8-6　　马上水闸布置方案一(比较方案)

图 5.8-7　　推荐闸址方案河道现状图

初设咨询阶段，专家建议：马上水闸选址于现状河道转弯处，水闸进、出口水流条件均不顺畅，建议水闸中心线适当向西平移。调整后，方案如下图：

经设计方讨论后，最终设计方案采用方案二，水闸进、出口水流条件改善，有利于水闸排水运行。调整后方案在红线范围内。

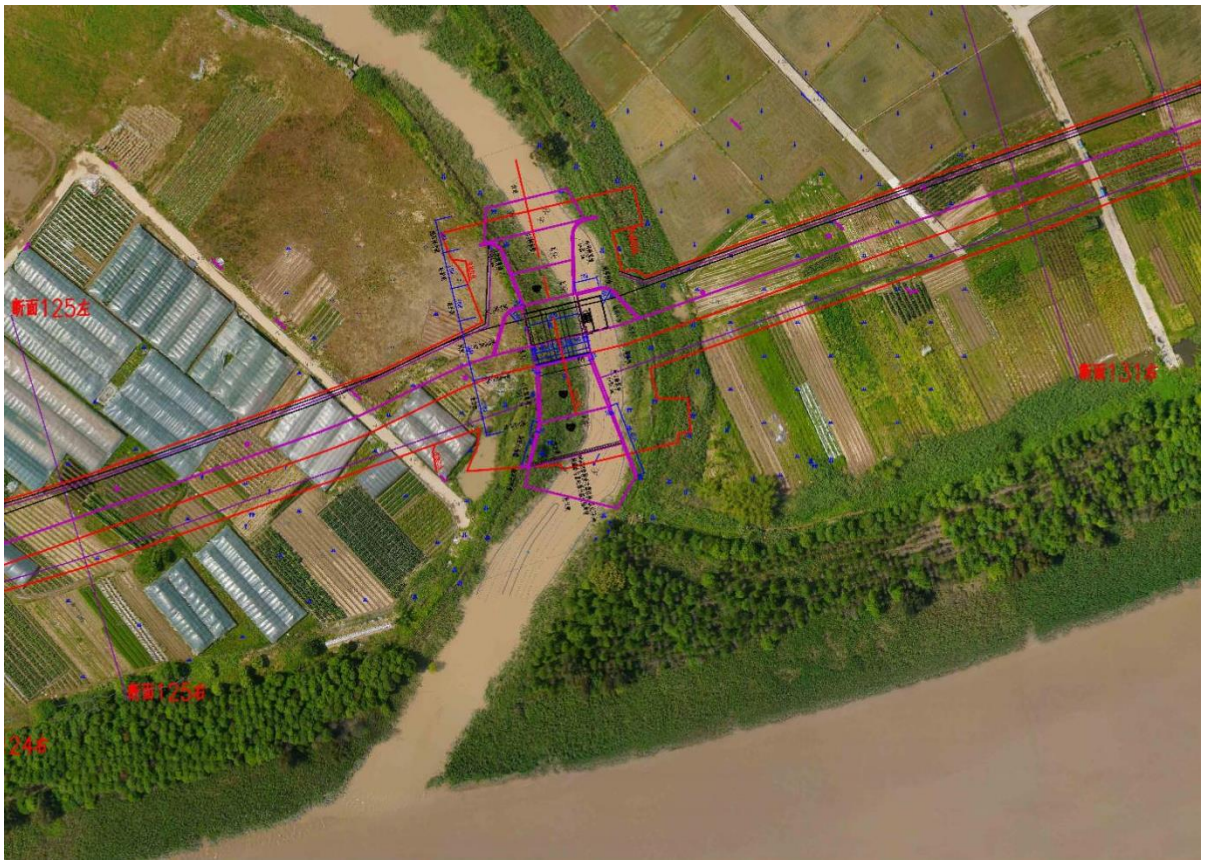


图 5.8-8　　马上水闸布置方案二（推荐方案）

（二）水闸布置

马上水闸位于马屿镇梅屿段，根据规模论证，确定最大排涝过闸流量为 112.5m^3/s，采用 3 孔×4m，建筑物级别为 3 级。马上水闸闸址处现状河道弯曲，新建闸址位于现状河道，出口折向飞云江，约 45 度，闸址距离飞云江出口约 130m；外江侧可采用围堰施工，具备内外河侧围堰封堵条件。

马上水闸（3 孔×4m）水闸由外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段、闸室段、内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽组成。

外江侧海漫段位于出口折线段，中轴长 10.0m，顶高程 0.50m，底部净宽由 18.0m 渐变至 20.8m，采用厚 0.6mC30W4 钢筋砼，下设厚 0.20m 碎石垫层及无纺布；海漫前端设置深度 2.0m 深的抛石结构防冲槽，宽度 20.8m。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

外江侧消力池段长 17.0m，底部净宽由 16.8m 渐变至 18.0m，消力池深度 1.0m；采用整体式结构，底板厚度 1.0m；两侧采用扶臂式挡土墙，外江侧翼墙平面为喇叭口形，纵向为折线型，墙顶高程 9.20～6.00m。

闸室段长 18.30m，堰型为宽顶堰，堰顶高程 0.50m，单孔净宽 4.0m，共 3 孔，总

净宽 12.0m；闸室段设胸墙，胸墙底高程 4.50m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。检修平台顶高程 9.20m。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础，闸室基础外江侧采用一排塑钢板桩竖向止水。闸室设 6m 宽交通桥，与堤顶路连通，采用预制空心板桥结构形式，设计等级为公路-II级。

闸室上部设检修平台、启闭平台。水闸副厂房位于闸室边侧，设柴油机房及楼梯间。

内河侧设 21.0m 长护坦，净宽 15.2~21.8m，底板厚度 0.5m，两侧采用扶臂式挡土墙，内河侧翼墙平面为喇叭口形，墙顶高程 6.00m。内河设置深度 1.6m 的抛石防冲槽，两岸与现状河道平顺连接。

进出口翼墙较高，采用扶壁结构，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼钻孔灌注桩结构。

5.8.2.4.3 河溪水闸

（一）闸轴线比选

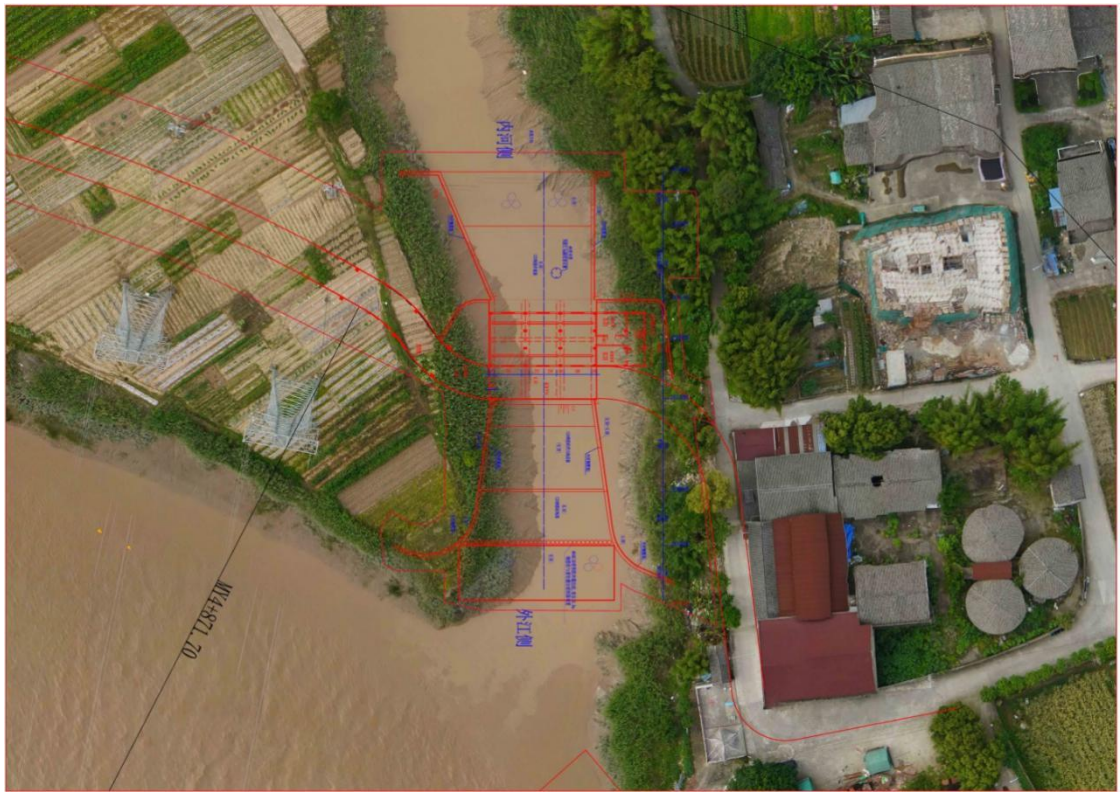


图 5.8-9　　河溪水闸布置方案一(推荐方案)

图 5.8-10　　推荐闸址方案河道现状图

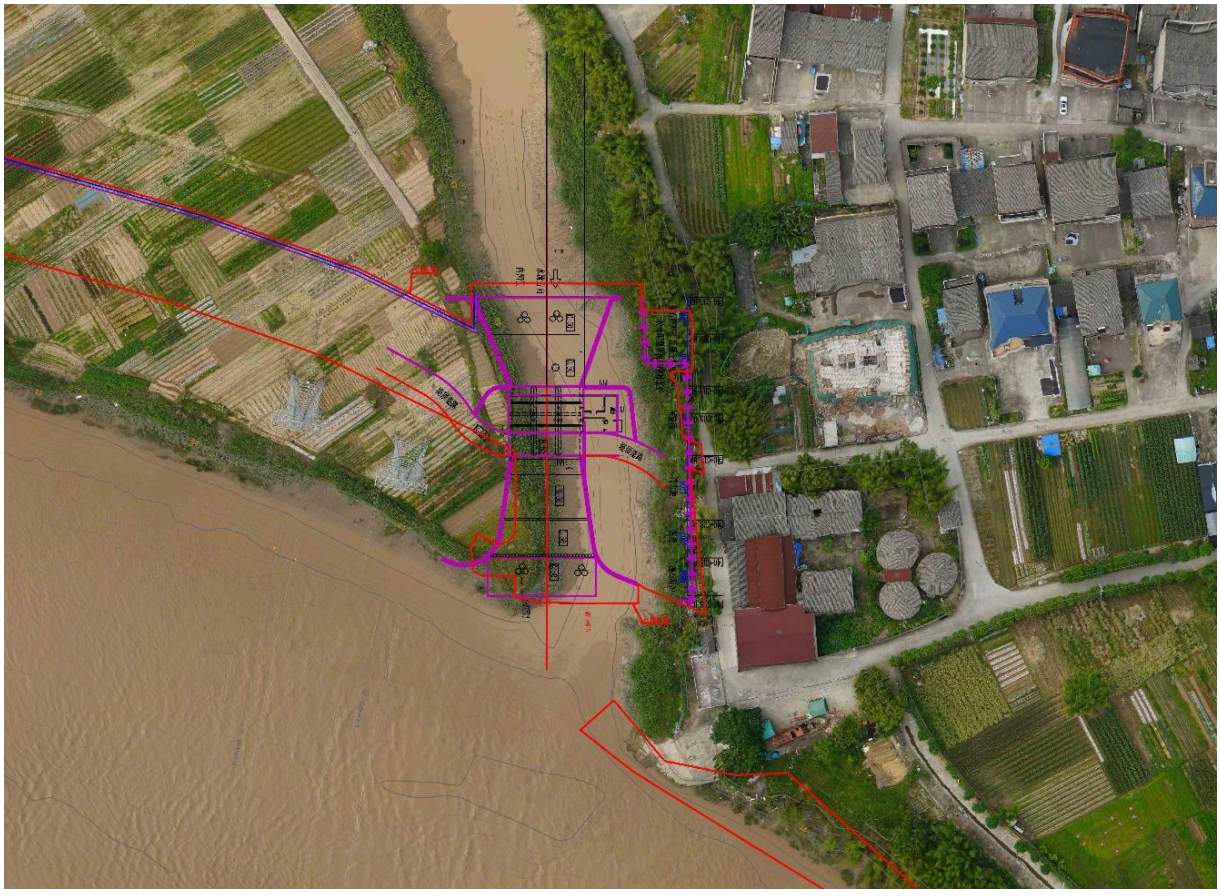


图 5.8-11　　河溪水闸布置方案二(对比方案)

初设根据可研推荐的轴线布置，形成方案一，闸轴线基本位于河道出口段轴线上，闸室西侧 36m 为阳贺 M142 线 10kv 高压线塔，闸室东侧 15m 为粮库等现有建筑，河道

出口为折线。

根据方案一，轴线向西偏移 10m，形成方案二。河溪水闸位于八甲村飞云江凹岸段，方案二出口水流较为顺畅，整体水流较为平顺，是其优势，但闸室西侧 26m 为阳贺 M142 线 10kv 高压线塔，距离较近。由于可研红线的原因，该方案局部超出红线。

根据综合比较，初设阶段仍按采用方案一，根据初设咨询意见，两侧均采用钢板桩支护，减小对周边的影响。

（二）河溪水闸布置

河溪水闸位于马屿镇梅屿段，根据规模论证，确定最大排涝过闸流量为 208.8m^3/s，采用 3 孔×5m，建筑物级别为 3 级。河溪水闸闸址处现状河道较为顺直，新建闸址位于现状河道，紧邻飞云江，闸址距离飞云江出口约 40m；具备内外河侧围堰封堵条件。闸址西侧 30m 外为 10kv 高压线塔，闸址东侧 15m 外为房屋，基坑开挖采用拉森 3 钢板桩支护，可避免周边房屋拆迁。

河溪水闸（3 孔×5m）水闸由外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段、闸室段、内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽组成。

外江侧海漫段长 10.0m，顶高 0.50m，底部净宽由 22.4m 渐变至 28.6m，采用厚 0.6mC30W4 钢筋砼，下设厚 0.20m 碎石垫层及无纺布；海漫前端设置深度 2.0m 深的抛石结构防冲槽。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

外江侧消力池段长 17.0m，底部净宽由 17.8m 渐变至 22.4m，消力池深度 1.0m；采用整体式结构，底板厚度 0.8m；两侧采用扶臂式挡土墙，外江侧翼墙平面为喇叭口形，纵向为折线型，墙顶高程 8.70～4.00m。

闸室段长 18.30m，堰型为宽顶堰，堰顶高程-1.00m，单孔净宽 5.0m，共 3 孔，总净宽 15.0m；闸室段设胸墙，胸墙底高程 4.00m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。检修平台顶高程 8.70m。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础，闸室基础外江侧采用一排塑钢板桩竖向止水。闸室设 6m 宽交通桥，与堤顶路连通，采用预制空心板桥结构形式，设计等级为公路-II级。

闸室上部设检修平台、启闭平台。水闸副厂房位于闸室边侧，设柴油机房及楼梯间。

内河侧设 13.5m 长护坦，净宽 17.8~23.2m，底板厚度 0.5m，两侧采用扶臂式挡土墙，内河侧翼墙平面依据地形布置，采用折墙型式，纵向为折线型，墙顶高程 8.70～4.00m。

内河设置深度 1.6m 的抛石防冲槽，两岸与现状河道平顺连接。

进出口翼墙较高，采用扶壁结构，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼钻孔灌注桩结构。

5.8.2.4.4 渡头水闸

（一）闸轴线比选

渡头水闸闸址处现状河道弯曲，根据排涝规划，新建闸址位于现状河道东侧，本段为新开河道，接国道 104 下边的桥涵。

初步设计阶段，根据可研选定的位置和轴线，布置渡头水闸方案一，可研阶段该段考虑布置防汛仓库和二级驿站，占地红线较大。该方案防汛仓库和二级驿站等建筑基础位于原状土，有较大优势。

受制于占地红线影响，考虑到河道排水顺畅，渡头水闸方案一向南侧平移 10m，作为方案二，如图。优势在于北侧红线占地较大，布置防汛仓库和二级驿站较为宽敞，从测绘图上看出，北侧有较大面积的鱼塘，修建建筑物需要较多的地基处理。

图 5.8-12　渡头水闸布置方案一(推荐方案)

图 5.8-13　　渡头水闸布置方案二(对比方案)

图 5.8-14　　推荐闸址方案河道现状图

经综合比较，渡头水闸布置仍采用方案一，即可研推荐的位置和轴线。

（二）水闸布置

渡头水闸位于璧山段，根据规模论证，确定最大排涝过闸流量为 202.1m^3/s，采用 3

孔×5m，建筑物级别为 3 级。渡头水闸闸址处现状河道弯曲，根据排涝规划，新建闸址位于现状河道东侧，本段为新开河道，有利于排水顺畅；紧邻外江，飞云江侧采用钢板桩围堰，水闸旱地施工较为方便。

渡头水闸（3 孔×5m）水闸由外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段、闸室段、内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽组成。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

外江侧海漫段长 10.0m，顶高 0.00m，底部净宽由 24.0m 渐变至 26.8m，采用厚 0.6mC30W4 钢筋砼，下设厚 0.20m 碎石垫层及无纺布；海漫前端设置深度 2.0m 深的抛石结构防冲槽。

外江侧消力池段长 22.0m，底部净宽由 17.8m 渐变至 24.0m，消力池深度 1.0m；采用整体式结构，底板厚度 0.8m；两侧采用扶臂式挡土墙，外江侧翼墙平面为喇叭口形，纵向为折线型，墙顶高程 7.10～4.00m。

闸室段长 18.30m，堰型为宽顶堰，堰顶高程 0.00m，单孔净宽 5.0m，共 3 孔，总净宽 15.0m；闸室段设胸墙，胸墙底高程 5.00m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。检修平台顶高程 7.10m。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础，闸室基础外江侧采用一排塑钢板桩竖向止水。闸室设 6m 宽交通桥，与堤顶路连通，采用预制空心板桥结构形式，设计等级为公路-II级。

闸室上部设检修平台、启闭平台。水闸副厂房位于闸室边侧，设柴油机房及楼梯间。

内河侧设 13.5m 长护坦，净宽 17.8m，底板厚度 0.5m，两侧采用扶臂式挡土墙，内河侧翼墙平面为喇叭口形，墙顶高程 4.30m。内河设置深度 1.6m 的抛石防冲槽，两岸与现状河道平顺连接。

进出口翼墙较高，采用扶壁结构，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼钻孔灌注桩结构。

5.8.2.4.5 塔山水闸

（一）闸轴线比选

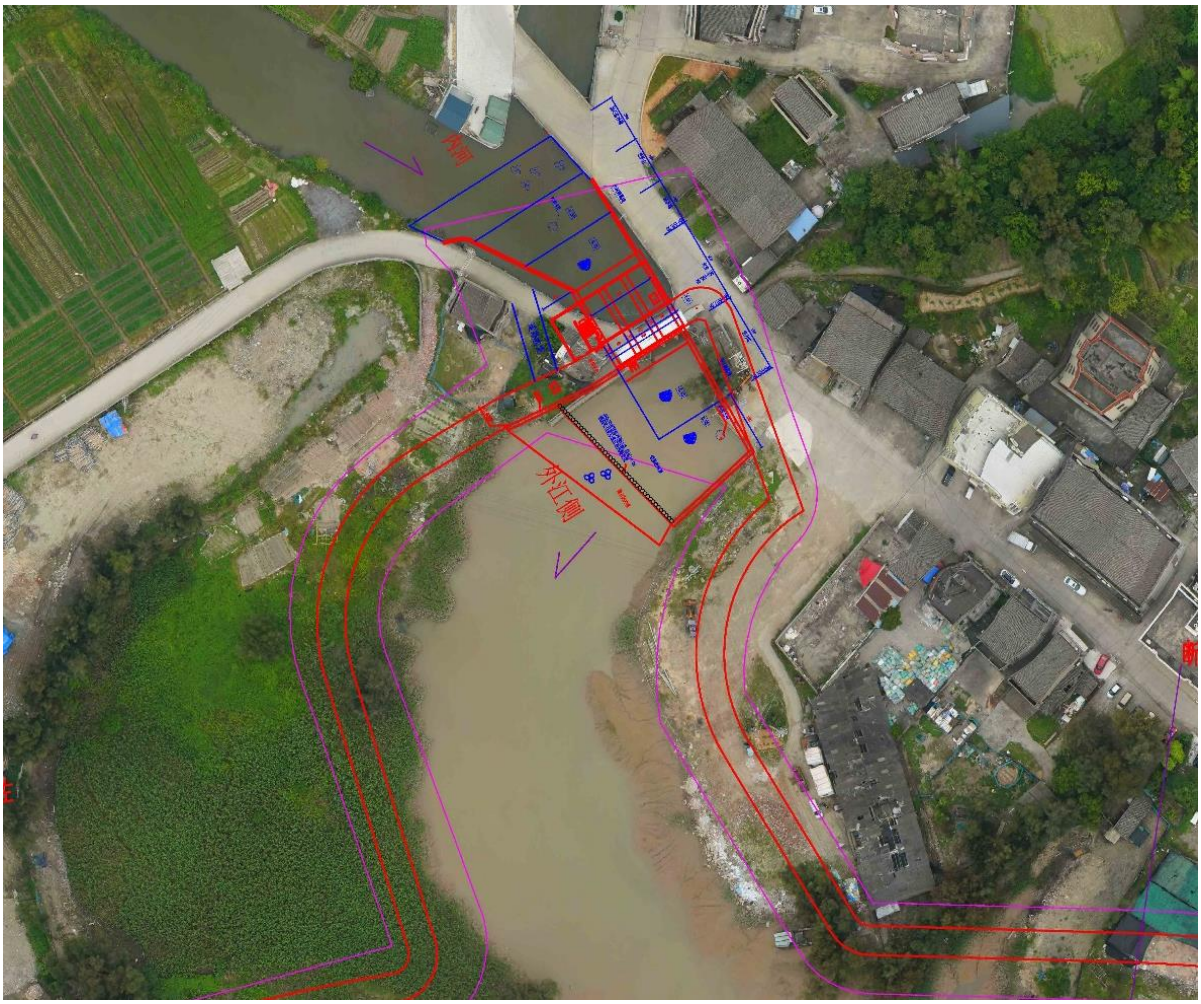


图 5.8-15　　塔山水闸布置方案一(对比方案)

图 5.8-16　　推荐闸址方案河道现状图

图 5.8-17　　推荐闸址方案下游河道现状图

初步设计阶段，根据可研选定的位置，塔山旧水闸原址拆除重建，如上图。

初设咨询阶段，专家建议：塔山水闸选址于现状河道直角转弯处，水闸下游出水不顺，建议水闸中心线向西平移并按顺时针旋转一定角度。调整后，方案如下图：

经设计方讨论后，最终设计方案采用方案二，水闸下游出口水流条件改善，有利于水闸排水运行。调整后方案基本在红线范围内。

图 5.8-18　　塔山水闸布置方案二(推荐方案)

（二）水闸布置

塔山水闸位于桐浦镇塔山澄头段，根据规模论证，确定最大排涝过闸流量为95.7m^3/s，采用3孔×4m，建筑物级别为4级。塔山水闸闸址处现状河道弯曲，经方案比较，推荐方案新建闸址位于塔山旧水闸西侧，出口正对飞云江，闸址距离飞云江出口约130m；外江侧可采用围堰施工，具备内外河侧围堰封堵条件。

塔山水闸（3孔×4m）水闸由外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段、闸室段、内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽组成。

外江侧海漫段长 11m，顶高程 0.50m，底部净宽由 20.0m 渐变至 28m，采用厚0.5mC30W4F50 钢筋砼，下设厚 0.20m 碎石垫层及无纺布；海漫前端设置深度 1.4m 深的抛石结构防冲槽。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

外江侧消力池段长 17m，底部净宽由 14.8m 渐变至 20.0m，消力池深度 1.0m；采用整体式结构，底板厚度 0.8m；两侧采用扶臂式挡土墙，外江侧翼墙平面为喇叭口形，纵向为折线型，墙顶高程 7.00～4.60m。

闸室段长 18.30m，堰型为宽顶堰，堰顶高程 0.50m，单孔净宽 4.0m，共 3 孔，总净宽 12.0m；闸室段设胸墙，胸墙底高程 4.50m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。检修平台顶高程 7.00m。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础，闸室基础外江侧采用一排塑钢板桩竖向止水。闸室设 6m 宽交通桥，与堤顶路连通，采用预制空心板桥结构形式，设计等级为公路-II级。

闸室上部设检修平台、启闭平台。水闸副厂房位于闸室边侧，设柴油机房及楼梯间。

内河侧设 20.0m 长护坦，根据具体地形，采用直线挡墙，净宽 14.8~43.9m，底板厚度 0.5m，两侧采用扶臂式挡土墙，内河侧翼墙平面为不规则喇叭口形，墙顶高程 4.60m。内河设置深度 1.6m 的抛石防冲槽，两岸与现状河道平顺连接。

进出口翼墙较高，采用扶壁结构，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼钻孔灌注桩结构。

5.8.2.4.6 浦底水闸

（一）闸轴线比选

浦底水闸闸址处现状河道出口处，河道较为顺直，紧邻飞云江，闸址距离飞云江出口约 25m，新建闸址上游 310m 为旧闸，5 孔×3m，考虑拆除。

初步设计阶段，浦底水闸闸轴线采用可研方案，作为方案一，如下图示。

水闸布置受堤线和占地红线的限制，浦底水闸方案一轴线向西平移 10m 作为方案二，由于浦底河该段较宽，约 46m，水闸闸室宽度为 17.8m，该方案闸室靠河道西岸侧，出口河道稍稍平顺一些，总体来说，优势不明显，经综合比较，推荐方案仍采用方案一。

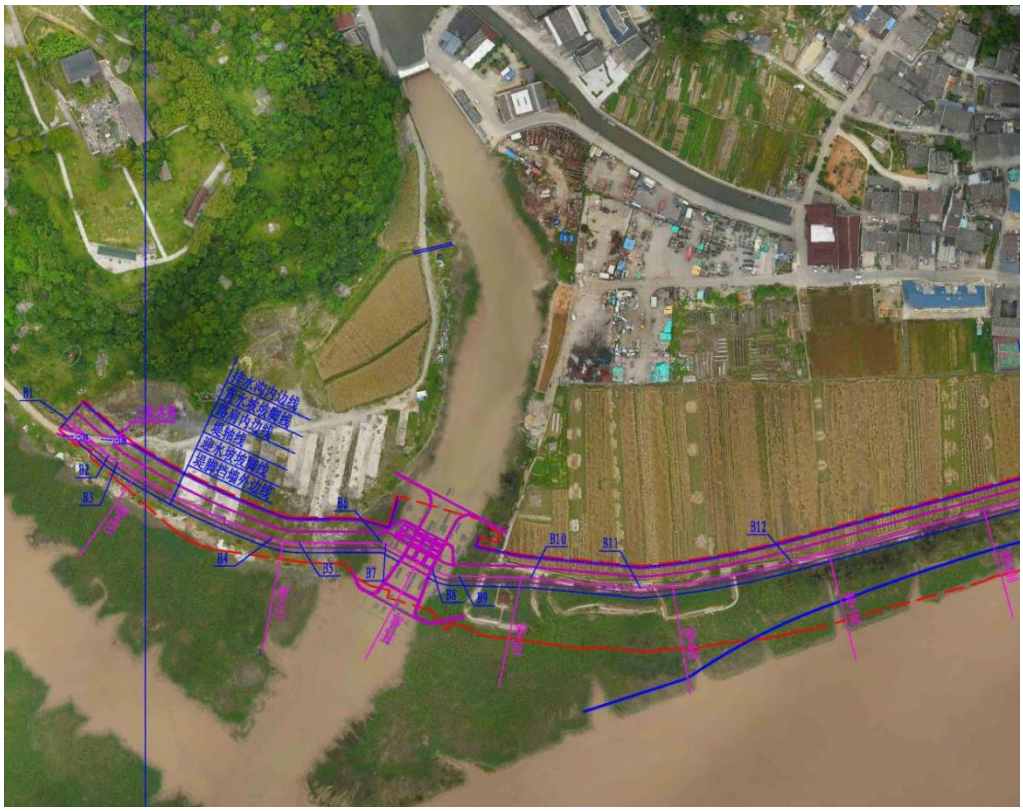


图 5.8-19　　浦底水闸布置方案一(推荐方案)

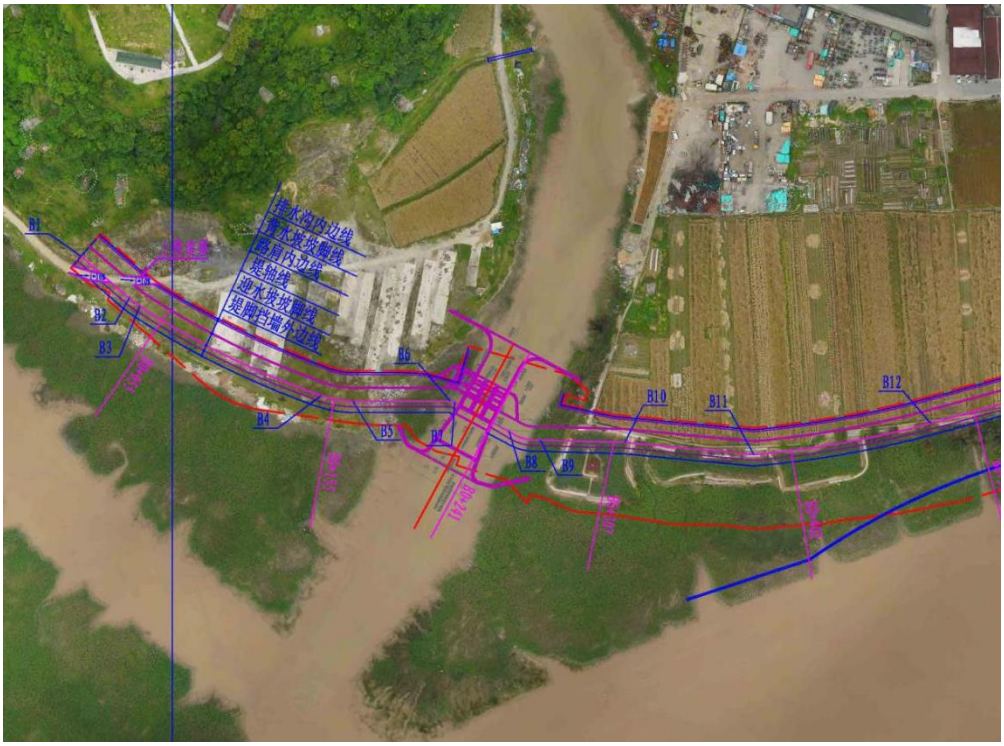


图 5.8-20　　浦底水闸布置方案二(对比方案)

（二）水闸布置

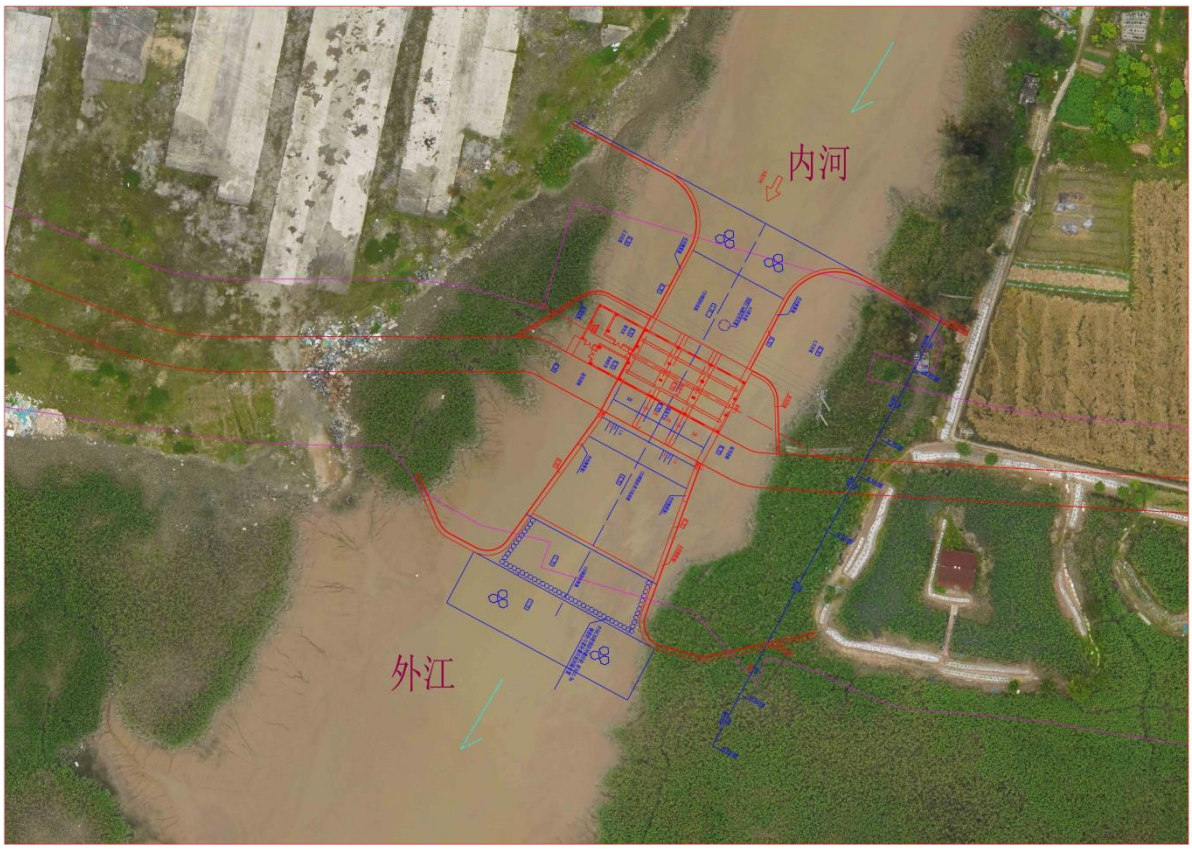


图 5.8-21　浦底水闸布置图

图 5.8-22　推荐闸址方案河道现状图

浦底水闸位于璧山段，根据规模论证，确定最大排涝过闸流量为 151.6m^3/s，采用 3 孔×5m，建筑物级别为 3 级。浦底水闸闸址处现状河道出口处，河道较为顺直，紧邻飞云江，闸址距离飞云江出口约 25m；具备内外河侧围堰封堵条件。新建闸址上游 310m

为旧闸，5 孔×3m，考虑拆除。

浦底水闸（3 孔×5m）水闸由外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段、闸室段、内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽组成。

外江侧海漫段长 10.0m，顶高 0.00m，底部净宽由 24.0m 渐变至 35.0m，采用厚 0.6mC30W4 钢筋砼，下设厚 0.20m 碎石垫层及无纺布；海漫前端设置深度 2.0m 深的抛石结构防冲槽。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

外江侧消力池段长 22.0m，底部净宽由 17.8m 渐变至 24.0m，消力池深度 1.0m；采用整体式结构，底板厚度 0.8m；两侧采用扶臂式挡土墙，外江侧翼墙平面为喇叭口形，纵向为折线型，墙顶高程 7.00～4.30m。

闸室段长 18.30m，堰型为宽顶堰，堰顶高程-1.70m，单孔净宽 5.0m，共 3 孔，总净宽 15.0m；闸室段设胸墙，胸墙底高程 3.30m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。检修平台顶高程 7.00m。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础，闸室基础外江侧采用一排塑钢板桩竖向止水。闸室设 6m 宽交通桥，与堤顶路连通，采用预制空心板桥结构形式，设计等级为公路-II级。

闸室上部设检修平台、启闭平台。水闸副厂房位于闸室边侧，设柴油机房及楼梯间。

内河侧设 13.5m 长护坦，净宽 17.8m，底板厚度 0.5m，两侧采用扶臂式挡土墙，内河侧翼墙平面为喇叭口形，墙顶高程 4.30m。内河设置深度 1.6m 的抛石防冲槽，两岸与现状河道平顺连接。

进出口翼墙较高，采用扶壁结构，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼钻孔灌注桩结构。

5.8.2.4.7 单孔净宽 3m 水闸设计

1 孔×3m 的闸有：柴下水闸、杨家水闸、霞岙水闸、冯渡水闸、马中水闸、七甲水闸、沙垟 2#水闸、沙垟下河闸、龟岩水闸共 9 座。

2 孔×3m 的闸有：石埠水闸、碧山水闸、涂厂水闸、洲渎水闸共 4 座。

可研阶段涂头前河闸为 1 孔×3m，初设阶段复核，考虑原有的穿高速公路的道路保留，改为双孔涵闸，一孔过水，一孔交通，考虑高速公路路堤结合形式，利用高速公路作为堤防进行封闭。

根据咨询中心专家意见，复核杨家水闸布置，研究不超过征地红线的方案，设计方进行了复核，调整设计方案。现状为 DN600 的混凝土管排水，初设最初方案为铺设

3x3m 箱涵，因征地红线问题无法实施，调整后仅做单孔水闸，设计方案如下图：

杨家水闸布置图

水闸主要建筑物包括：由内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽闸室段、外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段组成。

内河侧护底段：为保护闸底板免受冲刷掏坑，发挥水闸正常排水功能，在河道内设抛石防冲槽(厚 1.3m，表层合金网兜保护厚 50cm，抛大块石防冲厚 80cm)抛石防冲槽与闸室段之间，布置 10m 钢筋砼铺盖(厚 0.5m)，下设 C15 砼垫层厚 0.1m，钢筋砼铺盖与水闸底板间设止水，延长渗径。

闸室段：闸底板采用 C30W4 砼整体结构，顺水流方向长 15.8m，内河、外江侧均设齿槽。水闸边墩厚为 1.0m，底板厚 1.00m。多孔水闸采用 1.4m 厚中墩。桥边墩两侧中部设 C30W4 钢筋砼刺墙，刺墙顶高程采用 20 年一遇外江水位)，刺墙顶宽 1.0m，底部宽度 2.6m，厚度 0.5m。检修平台与堤顶高程同高，工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。闸室段设胸墙，胸墙底距离底板高度为 3.0m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础。

闸室上部均设检修平台、启闭平台、配电室及楼梯间。单孔净宽 3m 闸室设专门的

柴油机室，其余水闸使用楼梯间兼做柴油机室。

外江侧消能防冲段：C30 砼消力池紧接闸室外江侧，板厚 0.5m，顺水流方向长根据计算布置，池深 0.8m。与闸底板以 1:4 斜坡连接。消力池 C30 砼底板厚 0.80m。

消力池后设 C30 钢筋砼海漫，厚 0.5m，设排水孔及 0.2m 碎石垫层。外江侧紧接抛石防冲槽，(厚 1.3m，表层合金网兜保护厚 50cm，抛大块石防冲厚 80cm)，底部设 0.2m 碎石垫层及 400g/m^2 无纺土工布。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排(钢筋砼与素砼灌注桩间隔布置，桩长 10.0m)。

内河、外江侧翼墙平面布置采用八字墙式或圆弧形，翼墙断面采用悬臂式或扶壁式挡墙。

5.8.2.4.8 单孔净宽 4m 水闸设计

1 孔×4m 的闸有：篁坑水闸、沙垟水闸、七国垟水闸共 3 座。

2 孔×4m 的闸有：平阳坑水闸，因靠近高速公路，布置单独叙述。

3 孔×4m 的闸有：塔山水闸、马上水闸。马上水闸为三级建筑物，布置单独叙述。

单孔净宽 4m 水闸主要建筑物包括：由内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽闸室段、外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段组成。

内河侧护底段：为保护闸底板免受冲刷掏坑，发挥水闸正常排水功能，在河道内设抛石防冲槽(厚 1.3m，表层合金网兜保护厚 50cm，抛大块石防冲厚 80cm)，抛石防冲槽与闸室段之间，布置钢筋砼铺盖(厚 0.5m)，下设 C15 砼垫层厚 0.1m，砼铺盖与水闸底板间设止水，延长渗径。

闸室段：闸底板采用 C30W4 砼整体结构，单孔闸顺水流方向长 15.8m，塔山水闸顺水流方向长 18.3m。内河、外江侧均设齿槽。水闸边墩厚为 1.0m，底板厚 1.00m。多孔水闸采用 1.4m 厚中墩。桥边墩两侧中部设 C30W4 钢筋砼刺墙，刺墙顶高程采用 20 年一遇外江水位。检修平台与堤顶高程同高，工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。闸室段设胸墙，胸墙底距离底板高度为 4.0m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基土系深厚软土层，承载力低，抗冲能力小，闸底板型式选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础。

闸室上部均设检修平台、启闭平台、配电室及楼梯间。单孔净宽 4m 闸室设专门的柴油机室，其余水闸使用楼梯间兼做柴油机室。

外江侧消能防冲段：C30 砼消力池紧接闸室外江侧，板厚 0.5m，顺水流方向长根据

计算布置，池深 0.8m，（塔山水闸池深 1.0m）。与闸底板以 1:4 斜坡连接。消力池 C30 砼底板厚 0.80m。

消力池后设 C30 钢筋砼海漫，设排水孔及 0.2m 碎石垫层。外江侧紧接抛石防冲槽。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

内河、外江侧翼墙平面布置采用八字墙式或圆弧形，翼墙断面采用悬臂式或扶壁式挡墙。

5.8.2.4.9 单孔净宽 5m 水闸设计

单孔净宽 5m 水闸（下湾水闸）

1 孔×5m 的闸有：下湾水闸

3 孔×5m 的闸有：河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸，三座水闸为三级建筑物，布置单独叙述。

下湾水闸：主要建筑物包括：由内河侧内河侧护底段及抛石防冲槽闸室段、外江侧抛石防冲槽、海漫段及消力池段组成。

内河侧护底段：为保护闸底板免受冲刷掏坑，发挥水闸正常排水功能，在河道内设抛石防冲槽(厚 1.3m，表层合金网兜保护厚 50，抛大块石防冲厚 80)，抛石防冲槽与闸室段之间，布置钢筋砼铺盖(厚 0.5m)，下设 C15 砼垫层厚 0.1m。

闸室段：闸底板采用 C30W4 砼整体结构，单孔闸顺水流方向长 15.8m，塔山水闸顺水流方向长 18.3m。内河、外江侧均设齿槽。水闸边墩厚为 1.0m，底板厚 1.00m。桥边墩两侧中部设 C30W4 钢筋砼刺墙。检修平台与堤顶高程同高，工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。闸室段设胸墙，胸墙底距离底板高度为 5.0m。胸墙与工作闸门共同发挥挡水功能。工作闸门为钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构因地基为基岩，清理建基面后直接浇筑闸室。

闸室上部均设检修平台、启闭平台、配电室及楼梯间。单孔净宽 5m 闸室设专门的柴油机室，其余水闸使用楼梯间兼做柴油机室。

外江侧消能防冲段：C30 砼消力池紧接闸室外江侧，板厚 0.5m，顺水流方向长根据计算布置，池深 0.8m。与闸底板以 1:4 斜坡连接。消力池 C30 砼底板厚 0.80m。

消力池后设 C30 钢筋砼海漫，设排水孔及 0.2m 碎石垫层。外江侧紧接抛石防冲槽。海漫外江侧底部设 Φ80C30 密排防冲灌注桩 1 排。

内河、外江侧翼墙平面布置根据地形采用八字墙式，翼墙断面采用扶壁式挡墙。

5.8.2.4.10 涵闸结构

1 孔×3m 的涵闸有：涵闸 1、农渠涵闸、涵闸 2、涵闸 3 共 4 座。

2 孔×3m 的涵闸有：涵闸 4、涵闸 5、涂头前河闸共 3 座。

可研阶段涂头前河闸为 1 孔×3m，初设阶段复核，考虑原有的穿高速公路的道路保留，改为双孔涵闸，一孔过水，一孔交通，考虑高速公路路堤结合形式，利用高速公路作为堤防进行封闭。

1 孔×3m 的涵闸布置：

涵闸 1 位于平阳坑段，农渠涵闸、涵闸 2、涵闸 3 位于陶山镇荆谷段。1 孔×3m 的涵闸布置与 1 孔×3m 水闸类似，详见前节相应内容。

2 孔×3m 的涵闸布置：

涵闸 4、涵闸 5、涂头前河闸共 3 座，均位于陶山镇荆谷段。荆谷乡政府至金潮港河口段，现有温州绕城公路已建设完成，实体路基穿越该段，利用高速公路实体路基作为防洪堤防。内河侧翼墙与温州绕城西南线路基连接形成封闭。水闸两孔，一孔排水、一孔通行，洪水到来之前，两孔均关闭，保护温州绕城西南线路西侧村镇。平时两孔均开，一孔排水、一孔通行。

两孔均宽 3m。过水孔底高程 0.50m，过人孔底高程 4.00m。

排水孔段主要建筑物包括：内河侧护底段、闸室段、外江侧消能防冲段。通行段主要建筑物仅为闸室段。

排水孔内河侧护底段：为保护闸底板免受冲刷掏坑，发挥水闸正常排水功能，在河道内设 5m 抛石防冲槽。抛石防冲槽与闸室段之间，布置 5m 钢筋砼铺盖（厚 0.5m），下设 C20 砼垫层厚 0.1m。排水孔闸室段：闸底板采用 C30 砼整体结构，顺水流方向长 12.30m。水闸边墩厚为 1.0m，底板厚 1.0m。工作闸门内河、外江侧均设检修门槽，以方便检修。闸室段设胸墙，与工作闸门共同发挥挡水功能。工作闸门为 C30 钢闸门，配以卷扬式启闭机。闸室结构选用整体式，基础采用 Φ0.8mC30 钢筋砼灌注桩基础。

过人孔闸室段：闸底板采用 C30 砼整体结构，顺水流方向长 12.30m。水闸边墩厚为 1.0m，底板厚 1.0m。

闸室上部均设检修平台、启闭平台。水闸副厂房位于闸室边侧，设配电室及楼梯间。

外江侧消能防冲段：C30 砼消力池紧接闸室外江侧，消力池底板厚 0.8m，顺水流方向长 13.0m，池深 0.80m。

消力池后设 5m 长 C30 钢筋砼海漫，厚 0.6m。外江侧紧接 5m 长抛石防冲槽。

内河侧翼墙平面采用喇叭口形，与温州绕城西南线下穿桥孔连接形成封闭。外江侧翼墙采用 C30 砼扶壁式挡墙，挡墙顶高程及结构同内河侧翼墙。

根据咨询中心专家意见，涵闸 5 仍然保留，请在报告中说明理由。

可研阶段，涵闸 5 即为双孔涵闸，一孔排水、一孔通行，洪水到来之前，两孔均关闭，保护温州绕城西南线路西侧村镇，平时两孔均开，一孔排水、一孔通行。初设维持可研方案。如下图示，绕城高速下现状既有一条道路和一条排水沟，利用高速公路实体路基作为防洪堤防，内河侧翼墙与温州绕城西南线路基连接形成封闭。

涵闸 5 布置图

涵闸 5 总平面图

5.8.2.4.11 旱闸

旱闸有三座，旱闸 1、旱闸 2、旱闸 3，均位于陶山镇荆谷段。荆谷乡政府至金潮港河口段，现有温州绕城公路已建设完成，实体路基穿越该段，考虑减少征地移民和利用公路封闭性，本次堤线布置方案利用高速公路实体路基作为防洪堤防，堤线外侧为农田，洪水期可过流，更有利于飞云江干流行洪。旱闸工作闸门门型采用旱地一字钢闸门，闸门平时处于开启状态，以使交通通行，汛期来临前关闭挡洪，依靠高速公路路基下的箱涵和闸门形成封闭防洪系统，洪水过后开启闸门。工作闸门无水启闭，人工手动操作。

旱闸主要建筑物包括：高速侧箱涵段、闸室段、外江侧道路段。

箱涵段长 5m，与高速公路连接。箱涵净宽 5m，净高 3.70m。箱涵底高程 3.40m，同穿高速路面高程。顶高程 7.40m，同高速公路顶高程。箱涵采用 C30W4 砼，侧壁厚 0.6m，底板厚 60cm，下设 10cm 厚 C20 素砼垫层。箱涵四角采用 50cm×50cm 倒角。

闸室段长 6m，为 U 型结构，采用 C30W4 砼。旱闸采用一字门进行挡水，背水侧底高程 3.40m，迎水侧底高程 3.30m。闸室底板采用 C30W4 砼底板，厚 1.1m，下设 10cm 厚 C20 素砼垫层。闸墩靠近高速侧厚 1.10m，靠近外江侧厚 0.55m。外江侧道路段长 4m，连接闸室段与现状道路。采用 C30F50 砼路面，厚 20cm，下设 15cm 碎石垫层。

5.8.3 水闸水力设计

5.8.3.1 闸孔净宽度

水闸以排涝防洪为主要功能，不考虑船只通航要求。

水闸闸孔总净宽根据下游闸槛型式和布置，上下游水位衔接要求，泄流状态等因素计算确定，本次计算采用排涝调洪演算的最大排涝过闸流量以及相应的闸上及闸下水位。考虑到水闸运行条件，在泄水时水位低于胸墙高程，不满足孔流的出流条件，本次均按堰流公式计算。

平底闸的闸孔总净宽计算公式采用《水闸设计规范》（SL265-2016）附录 A 公式。

闸孔总净宽计算：

对于平底闸,当为堰流时,闸孔总净宽可按公式(A.0.1-1)(A.0.1-6)计算

$$B_0 = \frac{Q}{\sigma\varepsilon m\sqrt{2}gH_0^{\frac{3}{2}}} \qquad \text{(A.0.1-1)}$$

单孔闸

$$\varepsilon = 1 - 0.171\left\{1 - \frac{b_0}{b_s}\right\}\sqrt[4]{\frac{b_0}{b_s}} \qquad \text{(A.0.1-2)}$$

多孔闸,闸墩墩头为圆弧形时

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_z(N-1)+\varepsilon_b}{N} \qquad \text{(A.0.1-3)}$$

$$\varepsilon_x = 1 - 0.171\left\{1 - \frac{b_0}{b_0 + d_z}\right\}\sqrt[4]{\frac{b_0}{b_0 + d_z}} \qquad \text{(A.0.1-4)}$$

$$\varepsilon_b = 1 - 0.171\left\{1 - \frac{b_0}{b_0 + \frac{d_z}{2} + b_b}\right\}\sqrt[4]{\frac{b_0}{b_0 + \frac{d_z}{2} + b_b}} \qquad \text{(A.0.15-A)}$$

$$\sigma = 2.31\frac{h_s}{H_0}\left\{1 - \frac{h_s}{H_0}\right\}^{0.4} \qquad \text{(A.0.1-6)}$$

式中 B_0---闸孔总净宽(m)

Q---过闸流量(m^3/s)

H_0---计入行近流速水头的堰上水深(m)；

g---重力加速度,可采用 9.81(m/s^2)；

m---堰流流量系数,可采用 0.385；

ε---堰流侧收缩系数,对于单孔闸可按公式(A.0.1-2)计算求得或由表 A.0.1-1 查得；对于多孔闸可按公式(A.0.1-3)计算求得；

b_0---闸孔净宽(m)；

b_s---上游河道一半水深处的宽度(m)；

N---闸孔数；

ε_z---中闸孔侧收缩系数,可按公式(A.0.1-4)计算求得或由表 A.0.1-1 查得,但表中 b_s 为 b_0+d_z；

d_z---中闸墩厚度(m)

ε_b---边闸孔侧收缩系数,可按公式(A.0.1-5)计算求得或由表 A.0.1-1 查得,但表中 b_s 为 $b_0+\frac{b_0}{2}+b_b$；

b_b---边闸墩顺水流向边缘线至上游河道水边线之间的距离(m)；

σ---堰流淹没系数,可按公式(A.0.1-6)计算求得或按表 A.0.1-2 查得；

H_s---由堰顶算起的下游水深(m).

表 5.8-9 各水闸排涝能力复核

表 5.8-9　　各水闸排涝能力复核

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量(m^3/s)
1	平阳坑片	篁坑水闸	4.00	2.00	5.34	5.30	16.00
2		涵闸 1	3.00	3.50	5.34	5.30	14.90
3		沙垟水闸	4.00	2.00	5.34	5.30	19.00
4		平阳坑水闸	8.00	0.50	5.39	5.30	66.60
5	马屿镇梅屿 1	柴下水闸	3.00	2.00	5.53	5.49	13.70
6		杨家水闸	3.00	2.00	5.53	5.49	13.70
7	马屿镇梅屿 2	霞岙水闸	3.00	2.00	4.14	3.87	17.40
8		冯渡水闸	3.00	2.50	4.14	3.87	28.10
9		马上水闸	12.00	0.50	4.14	3.87	112.50
10		马中水闸	3.00	1.00	3.74	2.71	22.50
11		河溪水闸	15.00	-1.00	4.20	3.62	208.80
12	陶山镇荆谷片	七甲水闸	3.00	1.00	3.45	2.88	8.50
13		沙垟 2#水闸	3.00	1.50	3.49	3.08	13.80

水闸编号	片区名称	水闸名称	闸门宽度(m)	闸底高程(m)	最大排涝过闸流量对应闸上水位(m)	最大排涝过闸流量对应闸下水位(m)	最大排涝过闸流量(m^3/s)
14	陶山镇荆谷片	农渠涵闸	3.00	2.00	3.43	2.65	13.20
15		沙垟下河闸	3.00	1.50	3.54	2.74	15.00
16		涵闸 2	3.00	2.50	2.87	1.66	14.40
17		涵闸 3	3.00	1.00	2.10	1.65	12.00
18		涂头前河闸	3.00	2.00	3.19	3.09	14.00
19		涵闸 4	3.00	0.50	3.25	3.23	14.50
20		涵闸 5	3.00	0.50	2.65	2.23	15.00
21		石埠水闸	6.00	1.00	3.05	2.12	28.60
22	陶山镇碧山和	龟岩水闸	3.00	1.50	3.94	3.62	5.90
23		碧山水闸	6.00	1.00	2.51	2.13	31.10
24		涂厂水闸	6.00	0.00	3.35	2.42	59.90
25		渡头水闸	15.00	0.00	3.25	2.56	202.10
26		洲渎水闸	6.00	0.50	3.38	2.71	48.40
27		塔山水闸	12.00	0.50	3.34	2.67	95.70
28		浦底水闸	15.00	-1.70	2.84	1.83	151.60
29	白莲片	下湾水闸	5.00	0.00	3.39	3.26	40.80
30		七国垟水闸	4.00	-1.50	3.39	3.26	24.10

根据水文调洪计算，各水闸闸孔净宽均满足排涝要求。

5.8.3.2 消能防冲设计

水闸建在沿海地区软土地基上，河床及岸坡抗冲能力较差，宜采用底流式水跃消能。消力池结构形式及尺寸很大程度上取决于下游水位情况，合理的消能设计应在确保工程正常运行安全的前提下，使其效率最高、工程投资最省。

消能防冲采用《水闸设计规范》（SL265-2001）附录 B 中方法进行计算，消力池深度按下列公式计算：

$$d = \sigma_0 h_c'' - h_s' - \Delta Z$$

$$h_c'' = \frac{h_c}{2}\left(\sqrt{1+\frac{8\alpha q^2}{g h_c^3}}-1\right)\left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{0.25}$$

$$h_c^3 - T_0 h_c^2 + \frac{\alpha q^2}{2g\varphi^2} = 0$$

$$\Delta Z=\frac{\alpha q^2}{2g\varphi^2 h_s^{'2}}-\frac{\alpha q^2}{2gh_c^{''2}}$$

式中：d—消力池深度（m）；

σ0—水跃淹没系数，可采用 1.05～1.10；

$h_c^{''}$—跃后水深（m）；

hc—收缩水深（m）；

α—水流动能校正系数，可采用 1.0～1.05；

q—过闸单宽流量（m^2/s）；

b1—消力池首端宽度（m）；

b2—消力池末端宽度（m）；

T0—由消力池底板顶面算起的总势能（m）；

ΔZ—出池落差（m）；

$h_s^{'}$—出池河床水深（m）。

消力池长度按下列公式计算：

$$L_{sj}=L_s+\beta L_j$$

$$L_j=6.9\left(h_c^{''}-h_c\right)$$

式中：Lsj—消力池长度（m）

Ls—消力池斜坡段水平投影长度（m）；

β—水跃长度校正系数，可采用 0.7～0.8；

Lj—水跃长度（m）。

（2）底板设计

根据《水闸设计规范》（SL265-2001），消力池底板厚度需满足抗冲抗浮要求，公式如下：

抗冲 $t=k_1\sqrt{q\sqrt{\Delta H'}}$

抗浮 $t=k_2\frac{U-W\mp P_m}{\gamma_b}$

式中：

t——消力池底板厚度（m）；

ΔH’——闸孔泄流时的内河、外江侧水位差（m）；

k_1——消力池底板计算系数，可采用 0.15～0.20；

k_2——消力池底板安全系数，可采用 1.1～1.30；

U——作用在消力池底板底面的扬压力（kPa）；

W——作用在消力池底板顶面的水重（kPa）；

P_m——脉动压力，可取跃前收缩断面流速水头值的 5%。

γ_b——消力池底板的饱和重度（kN/m3）；

各水闸的消能防冲按《水闸设计规范》建议的方法进行水力计算。根据工程实际运行情况，消能计算取最不利水位组合：

内河设计洪水位+下游闸底坎高程（无水状态）；

针对水闸上述运行工况及不同开度下相应下泄流量、下游水位计算消力池深度、长度、底板厚度，以及海漫长度。表中所列为最不利开度下计算的消力池深度、长度。计算成果见表 5.8-10。

表 5.8-10　　各水闸消能防冲计算成果

水闸名称	水位组合（m）		闸门宽度(m)	过闸流量（m³/s）	计算结果（m）			设计结果（m）		
	内河侧设计洪水位	下游闸底坎高程			消力池长	消力池深	消力池板厚	消力池长	消力池深	消力池板厚
篁坑水闸	6.94	2.00	4.00	16.0	7.40	0.71	0.53	13.0	0.8	0.8
涵闸1	6.94	3.50	3.00	14.9	6.42	0.53	0.55	13.0	0.8	0.8
沙垟水闸	6.94	2.00	4.00	19.0	9.99	0.70	0.58	13.0	0.8	0.8
平阳坑闸	7.46	0.50	8.00	66.6	12.90	0.72	0.84	15.0	1.0	1.0
柴下水闸	5.96	2.00	3.00	13.7	6.98	0.62	0.54	13.0	0.8	0.8
杨家水闸	5.96	2.00	3.00	13.7	8.85	0.78	0.54	13.0	0.8	0.8
霞岙水闸	4.97	2.00	3.00	17.4	4.40	0.26	0.57	13.0	0.8	0.8
冯渡水闸	4.97	2.50	3.00	28.1	4.45	0.37	0.69	13.0	0.8	0.8
马上水闸	4.97	0.50	12.00	112.5	10.35	0.31	0.80	17.0	1.0	1.0
马中水闸	4.97	1.00	3.00	22.5	9.83	0.77	0.70	10.0	0.8	0.8
河溪水闸	4.97	-1.00	15.00	208.8	12.01	0.49	1.00	17.0	1.0	1.0
七甲水闸	4.11	1.00	3.00	8.5	7.92	0.75	0.40	13.0	0.8	0.8
沙垟2#水闸	4.09	1.50	3.00	13.8	3.73	0.33	0.46	13.0	0.8	0.8
农渠涵闸	3.94	2.00	3.00	13.2	4.14	0.39	0.47	13.0	0.8	0.8
沙垟下河闸	3.89	1.50	3.00	15.0	4.19	0.38	0.50	13.0	0.8	0.8

水闸名称	水位组合（m）		闸门宽度(m)	过闸流量（m³/s）	计算结果（m）			设计结果（m）		
	内河侧设计洪水位	下游闸底坎高程			消力池长	消力池深	消力池板厚	消力池长	消力池深	消力池板厚
涵闸2	3.82	2.50	3.00	14.4	4.24	0.36	0.42	13.0	0.8	0.8
涵闸3	3.74	1.00	3.00	12.0	4.76	0.44	0.46	13.0	0.8	0.8
涂头前河闸	3.69	2.00	3.00	14.0	4.04	0.21	0.43	13.0	0.8	0.8
涵闸4	3.72	0.50	3.00	14.5	9.26	0.67	0.53	13.0	0.8	0.8
涵闸5	3.72	0.50	3.00	15.0	8.64	0.36	0.54	13.0	0.8	0.8
石埠水闸	3.72	1.00	6.00	28.6	7.14	0.59	0.50	13.0	0.8	0.8
龟岩水闸	4.11	1.50	3.00	5.9	4.50	0.43	0.32	13.0	0.8	0.8
碧山水闸	4.11	1.00	6.00	31.1	7.92	0.74	0.54	17.0	0.8	0.8
涂厂水闸	4.11	0.00	6.00	59.9	8.64	0.69	0.81	17.0	0.8	1.0
渡头水闸	4.11	0.00	15.00	202.1	9.26	0.33	0.94	22.0	1.0	1.0
洲渎水闸	4.1	0.50	6.00	48.4	8.59	0.53	0.70	10	1.0	0.8
塔山水闸	4.1	0.50	12.00	95.7	9.42	0.51	0.70	17.0	1.0	0.8
浦底水闸	4.1	-1.70	15.00	151.6	11.74	0.68	0.84	22.0	1.0	1.0
下湾水闸	3.55	0.00	5.00	40.8	7.45	0.69	0.71	13.0	0.8	0.8
七国垟水闸	3.55	-1.50	4.00	24.1	9.94	0.48	0.66	10	1.0	0.8

根据计算结果并结合实际飞云江一期及二期桐田段已实施水闸运行经验，消力池段总长按表中设计结果取值，由闸后设 1:4 斜坡段，消力池底板高程低于堰顶高程 0.8~1.0m，消力池底板采用 C30 钢筋砼，厚度 0.8~1.0m。

（3）海漫设计

海漫长度按下式计算：

$$L=K\sqrt{q\sqrt{\Delta H'}}$$

式中：q——消力池末端单宽流量，m^2/s；

△H′——水闸内河、外江侧水位差，m；

K——海漫长度计算系数，取 11；

（4）防冲设计

1、外江侧海漫长度计算

计算海漫长度 L 分别为 7m～25m，计算长度较长，工程造价较高。参照类似工程

经验，设计海漫可采用糙率较大、抗冲刷能力较强的 C30 砼海漫，并与防冲槽连接。

2、防冲槽

根据局部冲刷深度、护坡护脚计算成果，本次设计凹岸段考虑迎水坡采用单块重量 40~150kg 块石，考虑水闸泄流冲刷与飞云江冲刷合并作用，本次设计防冲槽表面采用合金网兜防护，合金网兜下为抛石防冲。

5.8.3.3 闸门控制运用方式

本次工程水闸调度运行原则如下：

飞云江二期水闸是以排涝防洪为主的双向挡水运用的排涝闸，工作闸门主要作用是挡潮、排涝，闸门平时处于挡水状态。

（1）平阳坑片

汛期接降雨预报，当闸前水位高于 3.5m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪；洪水过后，当水位回落至 3.3m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量进行提前预泄，根据飞云江涨落潮水位情况，可预泄至 2.5~3.0m。

（2）马屿镇梅屿片

汛期接降雨预报，当柴下水闸、杨家水闸、霞岙水闸前水位高于 4.0m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.8m 时，水闸关闸蓄淡；冯渡水闸、马上水闸、马中水闸、河溪水闸前水位高于 3.5m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.3m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量可提前进行预泄至 3.0~3.5m。

（3）陶山镇荆谷片

汛期接降雨预报，当闸前水位高于 3.0m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 2.8m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量可提前进行预泄至 2.5m。

（4）陶山镇碧山和桐浦镇塔山澄头片

汛期接降雨预报，当片区水闸前水位高于 3.0m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.0m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，根据预测降雨量可提前进行预泄至 2.5m。

（5）潘岱街道白莲片

汛期接降雨预报，当片区水闸前水位高于 3.6m 时，且内江高于外江水位时，尽可能的启闸泄洪，洪水过后，当闸前水位回落至 3.6m 时，水闸关闸蓄淡。接台风预警，

根据预测降雨量可提前进行预泄至 2.0m，调度时当潘岱片水位高于起调水位且高于外海潮位 0.2m 时开闸放水，当潮位高于内河水位或内河水位低于起调水位 0.2m 时关闸。

5.8.4 防渗排水设计

根据勘察报告各分段《地基土物理力学指标数理统计表》所提供的水闸闸室基础土质的渗透系数值。结合《水闸设计规范》（SL256-2016）规定，验算水闸的抗渗稳定，进行防渗排水设计。

《水闸设计规范》（SL256-2016）第 6.0.3 条规定：当岸墙、翼墙墙后土层的渗透系数不大于地基土的渗透系数时，侧向渗透压力可近似地采用相应部位的水闸基底渗透压力计算值，同时考虑墙前水位变化情况和墙后地下水补给的影响。因此本次水闸基本位于土基之上，侧向渗透近视采用相应部位水闸基底渗透压力的计算值，并采用与基底一致的防渗设计。

按照可能存在的最大位差，采用改进阻力系数法进行防渗排水设计。防渗长度布置满足勘察报告提出的各土层允许渗流坡降值。

由于飞云江各水闸内河侧水位低于外江侧水位时关闸挡水，内河侧水位高于外江侧时开闸排涝，因此水位差主要存在于关闸挡水的情况。最大水位差产生于外江侧为 20 年一遇设计水位，内河侧常水位。计算表采用该工况进行防渗设计。

（1）地基有效深度计算

当计算的 T_e 值大于地基实际深度时，T_e 值应按地基实际深度采用。

当$\frac{L_0}{S_0} \geq 5$时，$T_e = 0.5L_0$

当$\frac{L_0}{S_0} < 5$时，$T_e = \frac{5L_0}{1.6\frac{L_0}{S_0}+2}$

式中：

L_0——地下轮廓的水平投影长度，m；

S_0——地下轮廓的垂直投影长度，m；

T_e——土基上水闸的地基有效计算深度，m。

（2）分段阻力系数计算

①进口段和出口段阻力系数

$$\varepsilon_0 = 1.5\left(\frac{S}{T}\right)^{\frac{3}{2}} + 0.441$$

式中:

S——齿墙入土深度，m；

T——地基有效深度或实际深度，m。

②内部垂直段的阻力系数

$$\varepsilon_y = \frac{\pi}{2} lncot\frac{\pi}{4}\left(1 - \frac{S}{T}\right)$$

③水平段的阻力系数

$$\varepsilon_x = \frac{L_x - 0.7(S_1 + S_2)}{T}$$

式中:

L——水平段长度，m；

S_1、S_2——进、出口段板桩或齿墙的入土深度，m。

（3）各分段水头损失计算

各分段水头损失h_i的计算公式：

$$h_i = \varepsilon_i \frac{H}{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i}$$

式中:

h_i——各流段的水头损失，m；

ε_i——各流段的阻力系数；

H——上、下游最大水头差，m。

（4）进、出口段水头损失值和渗透压力分布图形局部修正

①进、出口段修正后的水头损失值

$$h_0' = \beta' h_0$$

$$h_0 = \sum_{i=1}^{n} h_i$$

其中

$$\beta' = 1.21 - \frac{1}{\left[12\left(\frac{T'}{T}\right)^2 + 2\right]\left(\frac{S'}{T} + 0.059\right)}$$

式中

h_0'——进、出口段修正后的水头损失值，m；

h_0——进、出口段水头损失值，m；

β'——阻力修正系数；当计算的$\beta' \geq 1.0$时，采用$\beta' = 1.0$；

S'——底板埋深与板桩入土深度之和，m;

T'——板桩另一侧地基透水层深度，m。

②修正后水头损失的减小值

$$\Delta h = (1-\beta')h_0$$

式中

Δh——修正后水头损失的减小值，m。

（5）出口段渗流坡降值计算

$$j = \frac{h_0'}{S'}$$

式中

j——出口段渗流坡降值。

由下表可知，经过增加措施后水闸渗流坡降计算值小于允许渗流坡降值，防渗布置满足设计要求。

防渗排水计算成果表

序号	名称	外江水位	内河水位		闸底板顶高程	最大水位差	渗流坡降值		土层	渗流坡降值允许值		增加垂直段长度（数量×长度）	加桩后渗流坡降值	
		20 年一遇	常水位	10 年一遇			出口段	最大水平段		出口段	水平段		出口段	最大水平段
1	篁坑水闸	10.96	5.50	6.94	2.00	5.46	0.54	0.15	粉质粘土	0.60	0.30			
2	涵闸 1	10.71	5.50	6.95	3.50	5.21	0.51	0.14	淤泥质粉质粘土	0.60	0.30			
3	沙垟水闸	10.71	5.50	6.94	2.00	5.21	0.51	0.14	粉质粘土夹砂、砾石	0.60	0.30			
4	平阳坑水闸	10.17	6.00	7.46	0.50	4.17	0.39	0.11	杂填土、1 夹砂砾石、淤泥	0.60	0.30			
5	柴下水闸	7.70	3.00	5.96	2.00	6.71	0.46	0.13	淤泥质粉质粘土	0.60	0.30			
6	杨家水闸	7.70	3.00	5.93	2.00	6.36	0.49	0.18	淤泥夹粉砂	0.30	0.10	2×10	0.28	0.10
7	霞岙水闸	7.43	3.00	5.96	2.00	6.45	0.43	0.12	淤泥夹粉砂	0.30	0.10	2×10	0.28	0.08
8	冯渡水闸	7.15	3.00	5.96	2.50	5.75	0.41	0.11	粉砂夹淤泥	0.25	0.05	2×10	0.25	0.08
9	马上水闸	7.10	3.00	4.97	0.50	7.61	0.36	0.10	淤泥夹粉砂	0.30	0.10	2×6	0.29	0.08
10	马中水闸	6.93	3.00	4.79	1.00	6.88	0.41	0.11	淤泥夹粉砂	0.30	0.10	2×8	0.28	0.08
11	河溪水闸	6.67	3.00	4.97	0.00	7.42	0.33	0.10	淤泥夹粉砂	0.30	0.10	2×6	0.26	0.08
12	七甲水闸	6.31	3.00	4.11	1.00	5.87	0.32	0.09	淤泥夹粉砂	0.30	0.10	2×6	0.26	0.07
13	沙垟 2 水闸	6.20	3.00	4.09	1.50	5.37	0.35	0.15	粉砂夹淤泥	0.25	0.05	2×8	0.24	0.07
14	农渠涵闸	6.13	3.00	3.94	2.00	4.81	0.32	0.13	粉砂夹淤泥	0.25	0.05	2×8	0.23	0.09
15	沙垟下河闸	6.09	3.00	3.89	1.50	5.19	0.32	0.12	粉质粘土	0.60	0.30			
16	涵闸 2	6.09	3.00	3.82	2.50	4.12	0.32	0.10	粉砂夹淤泥	0.25	0.05	2×6	0.24	0.08
17	涵闸 3	6.08	3.00	3.74	1.00	5.54	0.32	0.10	粉砂夹淤泥	0.25	0.05	2×6	0.24	0.08
18	涂头前河闸	6.07	3.00	3.69	2.00	4.27	0.33	0.11	淤泥夹粉砂	0.30	0.10	2×6	0.25	0.08
19	涵闸 4	6.02	3.00	3.72	0.50	5.85	0.17	0.04	淤泥质粉质粘土	0.60	0.30			
20	涵闸 5	6.02	3.00	3.72	0.50	5.79	0.15	0.12	淤泥夹粉砂	0.30	0.10			
21	石埠水闸	6.03	3.00	3.72	1.00	5.24	0.30	0.10	淤泥质粉质粘土	0.60	0.30			
22	龟岩水闸	5.81	3.00	4.11	1.50	4.63	0.29	0.09	淤泥夹粉砂	0.30	0.10			
23	碧山水闸	5.78	3.00	4.11	1.00	5.09	0.26	0.09	淤泥质粘土	0.60	0.30			
24	涂厂水闸	5.73	3.00	4.11	0.00	6.03	0.25	0.09	粉砂夹淤泥	0.25	0.05	1×6	0.23	0.08
25	渡头水闸	5.48	3.00	4.11	0.00	5.82	0.21	0.06	淤泥质粘土	0.60	0.30			
26	洲渎水闸	5.48	3.00	4.10	0.50	5.32	0.26	0.08	淤泥质粘土、淤泥	0.60	0.30			
27	塔山水闸	5.42	3.00	4.10	0.50	5.24	0.23	0.06	风化凝灰岩					
28	浦底水闸	5.44	3.00	4.10	-1.70	7.49	0.20	0.06	淤泥夹粉砂	0.30	0.10			
29	下湾水闸	5.34	3.00	3.55	0.00	5.68			弱风化凝灰岩					
30	七国垟水闸	5.33	3.00	3.55	-1.50	7.15	0.26	0.13	淤泥	0.60	0.30			

5.8.5 结构设计

5.8.5.1 闸室结构设计

（一）计算荷载和计算工况

作用在闸室上的主要荷载有：闸室自重和永久设备自重、水重、静水压力、扬压力、浪压力、土压力等。

根据《水闸设计规范》（SL265-2016）有关规定及工程实际情况，本阶段拟定以下3种工况：

（基本组合）工况一：施工完建期，内外侧无水。

（基本组合：内低外高）工况二：内河侧为常水位，外江侧为设计水位（P=5%）。

（特殊组合：内低外高）工况三：内河侧为 10 年一遇水位，外江侧为校核水位（P=2%）。

荷载组合见表 5.8-12。

表 5.8-12　　闸室稳定与计算荷载组合表

工况			自重	水重	静水压力	扬压力	地震荷载	淤沙压力	土压力
工况1	完建情况	基本组合	√	—	—	—	—	—	√
工况2	设计防洪水位		√	√	√	√	—	√	√
工况3	校核防洪水位	特殊组合	√	√	√	√	—	√	√

（二）基底应力

基底应力按材料力学偏心受压公式进行计算，当结构布置及受力情况对称时，按下式计算：

$$P_{\min}^{\max} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M}{W}$$

式中：

∑G—作用在闸室上全部竖向荷载；

∑M—作用在闸室上的全部竖向和水平向荷载对基础底面垂直水流方向的形心轴的力矩；

A—闸室基底面的面积；

W—闸室基底面对于该底面垂直水流方向的形心轴的面积矩。

当结构布置及受力情况不对称时，其计算公式如下：

$$P_{\min}^{\max}=\frac{\sum G}{A}\pm\frac{\sum M_x}{W_x}\pm\frac{\sum M_y}{W_y}$$

式中：

∑Mx、∑My—作用在闸室上的全部竖向和水平向荷载对基础底面形心轴 x、y 的力矩；

Wx、Wy—闸室基底面对于该底面形心轴 x、y 的面积矩。

（三）抗滑稳定

抗滑稳定计算采用以下公式：

Kc=f∑G/∑H

式中：

Kc—闸室抗滑稳定安全系数；

f—闸室基底面与地基之间的摩擦系数；

∑G—作用在闸室上全部竖向荷载；

∑H—作用在闸室上的全部水平向荷载。

计算成果见表 5.8-13。

表 5.8-13　　闸室稳定及应力计算成果表

水闸	工况	抗滑K	σmax (kPa)	σmin (kPa)	η	［η］	[K]	基底应力允许值〔σ〕	1.2〔σ〕
篁坑水闸	工况一	/	124.36	115.12	1.08	1.50	1.20	55	66
	工况二	1.34	108.63	98.26	1.11				
	工况三	1.26	112.60	80.05	1.41	2.00	1.05		
涵闸1	工况一	/	134.77	122.27	1.10	1.50	1.20	100	120
	工况二	1.57	109.68	109.22	1.00				
	工况三	1.45	111.55	91.40	1.22	2.00	1.05		
沙垟水闸	工况一	/	124.36	115.29	1.08	1.50	1.20	100	120
	工况二	1.33	109.18	93.49	1.17				
	工况三	1.27	112.71	75.91	1.48	2.00	1.05		
平阳坑闸	工况一	/	122.56	115.11	1.06	1.50	1.20	100	120
	工况二	1.22	118.74	85.62	1.39				
	工况三	1.23	120.69	69.13	1.75	2.00	1.05		
柴下水闸	工况一	/	111.82	101.69	1.10	1.50	1.20	55	66
	工况二	2.56	103.47	83.76	1.24				
	工况三	2.85	82.64	80.15	1.03	2.00	1.05		
杨家水闸	工况一	/	107.93	97.77	1.10	1.50	1.20	65	78

水闸	工况	抗滑K	σmax (kPa)	σmin (kPa)	η	［η］	[K]	基底应力允许值〔σ〕	1.2〔σ〕
杨家水闸	工况二	2.72	99.80	79.50	1.26				
	工况三	3.37	79.92	75.04	1.06	2.00	1.05		
霞岙水闸	工况一	/	118.47	106.93	1.11	1.50	1.20	65	78
	工况二	2.20	101.83	89.82	1.13				
	工况三	2.74	84.63	82.40	1.03	2.00	1.05		
冯渡水闸	工况一	/	121.55	111.48	1.09	1.50	1.20	100	120
	工况二	2.18	100.70	93.85	1.07				
	工况三	2.81	88.04	82.09	1.07	2.00	1.05		
马上水闸	工况一	/	99.14	88.26	1.12	1.50	1.25	65	78
	工况二	2.14	89.71	66.43	1.35				
	工况三	2.15	76.82	66.83	1.15	2.00	1.10		
马中水闸	工况一	/	112.79	102.67	1.10	1.50	1.20	80	96
	工况二	2.62	96.34	83.34	1.16				
	工况三	2.65	82.44	81.46	1.01	2.00	1.05		
河溪水闸	工况一	/	85.83	76.61	1.12	1.50	1.25	65	78
	工况二	1.40	77.55	58.38	1.33				
	工况三	/	/	/	/	2.00	1.10		
七甲水闸	工况一	/	105.99	95.81	1.11	1.50	1.20	65	78
	工况二	3.19	91.10	75.94	1.20				
	工况三	2.76	85.35	75.92	1.12	2.00	1.05		
沙垟2#水闸	工况一	/	98.20	87.98	1.12	1.50	1.20	100	120
	工况二	4.02	87.25	68.09	1.28				
	工况三	3.41	81.96	67.63	1.21	2.00	1.05		
农渠水闸	工况一	/	98.20	87.98	1.12	1.50	1.20	100	120
	工况二	4.15	87.25	68.04	1.28				
	工况三	3.50	82.06	67.56	1.21	2.00	1.05		
沙垟下河闸	工况一	/	96.26	86.02	1.12	1.50	1.20	100	120
	工况二	4.22	84.83	65.74	1.29				
	工况三	3.68	79.41	64.87	1.22	2.00	1.05		
涵闸2	工况一	/	101.12	90.92	1.11	1.50	1.20	100	120
	工况二	3.69	86.60	70.63	1.23				
	工况三	3.40	81.42	69.88	1.17	2.00	1.05		
涵闸3	工况一	/	105.01	94.83	1.11	1.50	1.20	55	66
	工况二	3.29	86.68	74.28	1.17				
	工况三	3.17	81.56	73.53	1.11	2.00	1.05		

水闸	工况	抗滑K	σmax (kPa)	σmin (kPa)	η	［η］	[K]	基底应力允许值〔σ〕	1.2〔σ〕
涂头前河闸	工况一	/	104.04	93.86	1.11	1.50	1.20	100	120
	工况二	3.30	85.68	73.26	1.17				
	工况三	3.28	80.73	72.36	1.12	2.00	1.05		
石埠水闸	工况一	/	92.02	80.65	1.14	1.50	1.20	55	66
	工况二	4.64	79.54	56.53	1.41				
	工况三	4.85	74.98	55.92	1.34	2.00	1.05		
龟岩水闸	工况一	/	88.48	78.19	1.13	1.50	1.20	100	120
	工况二	4.84	77.50	58.19	1.33				
	工况三	5.55	70.23	56.25	1.35	2.00	1.05		
碧山水闸	工况一	/	93.78	82.39	1.14	1.50	1.20	55	66
	工况二	5.25	81.80	58.80	1.39				
	工况三	6.26	74.83	57.48	1.30	2.00	1.05		
涂厂水闸	工况一	/	103.22	91.98	1.12	1.50	1.20	55	66
	工况二	5.28	85.12	67.30	1.26				
	工况三	4.44	78.65	65.49	1.20	2.00	1.05		
渡头水闸	工况一	/	84.41	74.62	1.13	1.50	1.25	55	66
	工况二	3.19	73.67	53.24	1.38				
	工况三	4.02	67.11	52.38	1.28	2.00	1.10		
洲渎水闸	工况一	/	93.78	82.38	1.14	1.50	1.20	60	72
	工况二	5.48	77.06	57.49	1.34				
	工况三	6.85	70.92	56.04	1.27	2.00	1.05		
塔山水闸	工况一	/	71.75	62.25	1.15	2.50	1.05	2000（弱风化凝灰岩）	/
	工况二	8.065	82.42	57.65	1.43				
	工况三	8.877	71.77	51.97	1.38	3.00	1.00		
浦底水闸	工况一	/	91.02	81.46	1.12	1.50	1.25	60	72
	工况二	2.45	71.36	60.46	1.18				
	工况三	3.24	65.95	58.55	1.13	2.00	1.10		
下湾水闸	工况一	/	71.82	66.98	1.07	2.50	1.05	2000（弱风化凝灰岩）	/
	工况二	6.63	78.03	65.27	1.20				
	工况三	7.69	68.54	61.30	1.12	3.00	1.00		
七国垟水闸	工况一	/	78.16	68.42	1.14	1.50	1.20	40	48
	工况二	3.52	61.46	48.53	1.27				
	工况三	4.61	55.18	47.19	1.19	2.00	1.05		

计算结果表明，水闸抗滑稳定满足规范要求。塔山水闸、下湾水闸闸室底板基础开挖后地基土主要为⑩3 层弱风化凝灰岩，可采用浅基础。其余水闸地基承载力不满足要

求，需进行地基处理，设计均采用 C30 钢筋砼灌注桩进行基础处理。

平阳坑水闸、霞岙水闸、涂厂水闸、马上水闸、河溪水闸、渡头水闸基底计算最大正应力分别为 122.56Kpa、118.47kPa、103.22kPa、99.14kPa、85.83kPa、84.41kPa 高于地基土允许承载力标准值 65kPa，又因考虑到地基土为淤泥及粉质粘土，为减少地基的沉降变形对建筑物运行的影响，基础需进行加固处理，设计均采用 C30 钢筋砼灌注桩进行基础处理。

根据计算，水闸抗滑稳定满足要求，除塔山水闸、下湾水闸外的水闸，基础承载力均不满足规范要求，闸基为淤泥质粘土，承载力为 50～70kPa 左右，为流塑~软塑状态，不能作为天然地基持力层。基础土层属抗震不利段，在地震动力作用下，软土层塑性区扩大或强度降低，从而产生不同程度的压缩和变形，容易导致不均匀沉陷或地基失效。而且下卧层淤泥质砂壤土地震时存在液化问题，必须进行基础处理。

5.8.5.2 翼墙稳定及应力计算

（一）翼墙选型

根据工程总布置，水闸挡墙分别为上游防冲槽段挡墙、上游铺盖段挡墙、下游闸室出口消力池段挡墙、下游海漫段挡墙和下游防冲槽段挡墙。结合各规模水闸，挡墙结构形式分别采用 C30 钢筋混凝土悬臂式挡墙、C30 钢筋混凝土扶壁式挡墙和 C30 钢筋混凝土 U 型挡墙。各水闸挡墙形式详见下表 5.8-1。

表 5.8.5-1　　水闸翼墙形式统计表

序号	水闸名称	外江侧翼墙类型	内河侧翼墙类型
1	篁坑水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
2	涵闸 1	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
3	沙垟水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
4	平阳坑水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
5	柴下水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
6	杨家水闸	C30 钢筋混凝土悬臂式	-
7	霞岙水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
8	冯渡水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
9	马上水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
10	马中水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
11	河溪水闸	C30 钢筋混凝土悬臂式	C30 钢筋混凝土悬臂式
		C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
12	七甲水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬臂式

序号	水闸名称	外江侧翼墙类型	内河侧翼墙类型
13	沙垟 2#水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬臂式
14	农渠涵闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬臂式
15	沙垟下河闸	C30 钢筋混凝土悬臂式	C30 钢筋混凝土悬臂式
16	涵闸 2	C30 钢筋混凝土悬壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
17	涵闸 3	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
18	涂头前河闸	C30 钢筋混凝土 U 型槽	C30 钢筋混凝土 u 型槽
			C30 钢筋混凝土重力式
19	涵闸 4	C30 钢筋混凝土 U 型槽	C30 钢筋混凝土 u 型槽
			C30 钢筋混凝土重力式
20	涵闸 5	C30 钢筋混凝土 U 型槽	C30 钢筋混凝土 u 型槽
		C30 钢筋混凝土箱涵	C30 钢筋混凝土重力式
21	石埠水闸	C30 钢筋混凝土悬壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
22	龟岩水闸	C30 钢筋混凝土悬壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
23	碧山水闸	C30 钢筋混凝土悬壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
24	涂厂水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
25	渡头水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
26	洲渎水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
27	塔山水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
28	浦底水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土扶壁式
29	下湾水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式
30	七国垟水闸	C30 钢筋混凝土扶壁式	C30 钢筋混凝土悬壁式

（二）翼墙稳定及应力计算

（1）计算工况

1）上游挡墙稳定计算工况及水位组合选取如下：

工况 1（基本组合，完建情况）：挡墙迎水侧、背水侧无水；

工况 2（基本组合，低水位）：挡墙迎水侧无水、背水侧水深 0.5m；

2）下游挡墙稳定计算工况及水位组合选取如下：

工况 1（基本组合，完建情况）：挡墙迎水侧、背水侧无水；

工况 2（基本组合，低水位）：挡墙迎水侧无、背水侧水深 0.5m。

（2）抗滑稳定计算

挡土墙抗滑稳定按下式计算：

$$K_c = \frac{f\Sigma G}{\Sigma H} \geq [K_c]$$

式中：

K_C ——计算的抗滑稳定安全系数；

f ——墙底与建基面之间的滑动摩擦系数，取值详见表 5.8.5-2；

ΣG——全部竖向荷载之和，（kN）；

ΣH——全部水平向荷载之和，（kN）；

K_C ——抗滑稳定安全系数允许值。

表 5.8.5-2　　水闸翼墙墙底与建基面之间的滑动摩擦系数统计表

序号	水闸名称	基底摩擦系数
1	篁坑水闸	0.25（淤泥质粉质黏土）
2	涵闸 1	0.25（淤泥质粉质黏土）
3	沙垟水闸	0.30（粉质黏土）； 0.42~0.45（砂砾石）； 0.22（淤泥）
4	平阳坑水闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
5	柴下水闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
6	杨家水闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
7	霞岙水闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
8	冯渡水闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）； 0.32~0.35（粉、细砂夹淤泥）
9	马上水闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
10	马中水闸	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
11	河溪水闸	0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
12	七甲水闸	0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
13	沙垟 2#水闸	0.22~0.25（淤泥夹粉砂）； 0.32~0.35（粉、细砂夹淤泥）
14	农渠涵闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）； 0.32~0.35（粉、细砂夹淤泥）
15	沙垟下河闸	0.30（粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥夹粉砂）； 0.32~0.35（粉、细砂夹淤泥）

序号	水闸名称	基底摩擦系数
16	涵闸 2	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
17	涵闸 3	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
18	涂头前河闸	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土、淤泥夹粉砂）
19	涵闸 4	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
20	涵闸 5	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
21	石埠水闸	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）； 0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
22	龟岩水闸	0.20（淤泥）； 0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
23	碧山水闸	0.22~0.25（淤泥质粉质黏土）
24	涂厂水闸	0.32~0.35（粉、细砂夹淤泥）； 0.22~0.25（淤泥质黏土）
25	渡头水闸	0.22~0.25（淤泥质黏土）； 0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
26	洲渎水闸	0.22~0.25（淤泥质黏土）
27	塔山水闸	0.22~0.25（淤泥质黏土）
28	浦底水闸	0.22~0.25（淤泥质黏土）； 0.22~0.25（淤泥夹粉砂）
29	下湾水闸	0.22~0.25（淤泥质黏土）
30	七国垟水闸	0.20（淤泥）

（3）抗倾覆稳定计算

$$K_0 = \frac{\sum M_V}{\sum M_H}$$

式中：

K_0——挡土墙抗倾覆稳定安全系数；

$\sum M_V$——对挡土墙基底前趾的抗倾覆力矩，kN·m；

$\sum M_H$——对挡土墙基底前趾的倾覆力矩，kN·m。

（4）地基压应力计算

地基压应力按下式计算：

$$P_{min}^{max} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M}{W}$$

式中：

P_{min}^{max}——挡土墙基底最大和最小基底应力，（kPa）；

$\sum G$——作用在挡土墙上全部垂直于水平面的荷载，（kN）；

$\sum M$——作用在挡土墙上全部荷载对于水平面平行前墙墙面方向形心轴的截面矩，(kN ·m)；

A——挡土墙基底面积，(m^2)；

W——挡土墙基底面对于基底面平行前墙墙面方向形心轴的截面矩，(m^3)。

（5）计算结果与分析

本次初设，经计算，各水闸上、下游挡墙抗滑稳定性、基底应力、抗倾覆稳定性的计算结果见下表。

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
1	篁坑水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.296	≥1.2	1	篁坑水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	152.54	72
									最大、最小应力比	1.19	1.5
				工况二	1.286		5.734		墙底平均应力/kPa	126.17	工况二
									墙底最大应力/kPa	152.89	72
									最大、最小应力比	1.21	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.369	≥1.2	4.892	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	282.07	96
									最大、最小应力比	1.37	1.5
				工况二	1.313		4.309		墙底平均应力/kPa	200.66	工况二
									墙底最大应力/kPa	282.76	96
									最大、最小应力比	1.41	1.5
2	涵闸 1	内河侧	基本组合	工况一	1.286	≥1.2	2	涵闸 1	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	151.91	120
									最大、最小应力比	1.17	1.5
				工况二	1.205		5.879		墙底平均应力/kPa	127.69	工况二
									墙底最大应力/kPa	152.25	120
									最大、最小应力比	1.19	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.234	≥1.2	5.467	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	204.94	120
									最大、最小应力比	1.30	1.5
				工况二	1.22		5.086		墙底平均应力/kPa	156.27	工况二
									墙底最大应力/kPa	205.22	120
									最大、最小应力比	1.31	1.5
3	沙垟水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.264	≥1.2	3	沙垟水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	118.15	120
									最大、最小应力比	1.03	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
3	沙垟水闸	内河侧	基本组合	工况二	1.239		7.628		墙底平均应力/kPa	112.92	工况二
									墙底最大应力/kPa	118.54	120
									最大、最小应力比	1.05	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.92	≥1.2	4.039	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	278.36	120
									最大、最小应力比	1.5	1.5
				工况二	1.9		3.855		墙底平均应力/kPa	181.88	工况二
									墙底最大应力/kPa	278.61	120
									最大、最小应力比	1.5	1.5
4	平阳坑水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.236	≥1.2	4	平阳坑水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	125.89	78
									最大、最小应力比	1.01	1.5
				工况二	1.213		9.766		墙底平均应力/kPa	122.46	工况二
									墙底最大应力/kPa	123.15	78
									最大、最小应力比	1.01	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.221	≥1.2	6.825	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	283.46	72
									最大、最小应力比	1.26	1.5
				工况二	1.212		6.396		墙底平均应力/kPa	223.22	工况二
									墙底最大应力/kPa	283.66	72
									最大、最小应力比	1.27	1.5
5	柴下水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.32	≥1.2	5	柴下水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	148.32	72
									最大、最小应力比	1.12	1.5
				工况二	1.207		6.097		墙底平均应力/kPa	129.35	工况二
									墙底最大应力/kPa	149.18	72
									最大、最小应力比	1.15	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
5	柴下水闸	外江侧	基本组合	工况一	1.32	≥1.2	7.269	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	148.32	72
									最大、最小应力比	1.12	1.5
				工况二	1.207		6.097		墙底平均应力/kPa	129.35	工况二
									墙底最大应力/kPa	149.18	72
									最大、最小应力比	1.15	1.5
6	杨家水闸	外江侧	基本组合	工况一	1.235	≥1.2	6	杨家水闸	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	120.99	84.5
									最大、最小应力比	1.07	1.5
				工况二	1.209		10.033		墙底平均应力/kPa	110.83	工况二
									墙底最大应力/kPa	116.80	84.5
									最大、最小应力比	1.05	1.5
7	霞岙水闸	内河侧	基本组合	工况一	2.024	≥1.2	7	霞岙水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	85.12	65
									最大、最小应力比	1.17	1.5
				工况二	1.952		15.943		墙底平均应力/kPa	70.69	工况二
									墙底最大应力/kPa	85.48	65
									最大、最小应力比	1.21	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	2.024	≥1.2	34.497	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	85.12	65
									最大、最小应力比	1.17	1.5
				工况二	1.952		15.943		墙底平均应力/kPa	70.69	工况二
									墙底最大应力/kPa	85.48	65
									最大、最小应力比	1.21	1.5
8	冯渡水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.252	≥1.2	8	冯渡水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	123.24	120
									最大、最小应力比	1.06	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
8	冯渡水闸	内河侧	基本组合	工况二	1.227		7.427		墙底平均应力/kPa	114.94	工况二
									墙底最大应力/kPa	123.63	120
									最大、最小应力比	1.08	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.252	≥1.2	8.609	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	123.24	120
									最大、最小应力比	1.06	1.5
				工况二	1.227		7.427		墙底平均应力/kPa	114.94	工况二
									墙底最大应力/kPa	123.63	120
									最大、最小应力比	1.08	1.5
9	马上水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.347	≥1.2	9	马上水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	97.28	84.5
									最大、最小应力比	1.06	1.5
				工况二	1.31		8.623		墙底平均应力/kPa	89.50	工况二
									墙底最大应力/kPa	92.97	84.5
									最大、最小应力比	1.04	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.41	≥1.2	12.869	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	138.00	78
									最大、最小应力比	1.19	1.5
				工况二	1.432		10.214		墙底平均应力/kPa	113.90	工况二
									墙底最大应力/kPa	138.26	78
									最大、最小应力比	1.21	1.5
10	马中水闸	内河侧	基本组合	工况一	2.18	≥1.2	10	马中水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	88.35	120
									最大、最小应力比	1.12	1.5
				工况二	2.108		15.075		墙底平均应力/kPa	76.90	工况二
									墙底最大应力/kPa	88.69	120
									最大、最小应力比	1.15	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
10	马中水闸	外江侧	基本组合	工况一	2.18	≥1.2	27.727	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	88.35	120
									最大、最小应力比	1.12	1.5
				工况二	2.108		15.075		墙底平均应力/kPa	76.90	工况二
									墙底最大应力/kPa	88.69	120
									最大、最小应力比	1.15	1.5
11	河溪水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.294	≥1.2	11	河溪水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	190.90	78
									最大、最小应力比	1.46	1.5
				工况二	1.276		5.015		墙底平均应力/kPa	128.81	工况二
									墙底最大应力/kPa	190.84	78
									最大、最小应力比	1.48	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.294	≥1.2	5.489	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	190.90	78
									最大、最小应力比	1.46	1.5
				工况二	1.276		5.015		墙底平均应力/kPa	128.81	工况二
									墙底最大应力/kPa	190.84	78
									最大、最小应力比	1.48	1.5
12	七甲水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.275	≥1.2	12	七甲水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	141.56	120
									最大、最小应力比	1.18	1.5
				工况二	1.255		5.601		墙底平均应力/kPa	118.30	工况二
									墙底最大应力/kPa	141.93	120
									最大、最小应力比	1.20	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.275	≥1.2	6.225	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	141.56	120
									最大、最小应力比	1.18	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
12	七甲水闸	外江侧	基本组合	工况二	1.255		5.601		墙底平均应力/kPa	118.30	工况二
									墙底最大应力/kPa	141.93	120
									最大、最小应力比	1.20	1.5
13	沙垟 2#水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.974	≥1.2	13	沙垟 2#水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	66.10	182
									最大、最小应力比	1.39	1.5
				工况二	1.848		12.384		墙底平均应力/kPa	45.64	工况二
									墙底最大应力/kPa	61.39	182
									最大、最小应力比	1.35	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.541	≥1.2	9.818	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	112.94	182
									最大、最小应力比	1.01	1.5
				工况二	1.509		8.265		墙底平均应力/kPa	110.31	工况二
									墙底最大应力/kPa	111.83	168
									最大、最小应力比	1.01	1.5
14	农渠涵闸	内河侧	基本组合	工况一	1.773	≥1.2	14	农渠涵闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	72.03	84.5
									最大、最小应力比	1.38	1.5
				工况二	1.645		9.556		墙底平均应力/kPa	50.50	工况二
									墙底最大应力/kPa	67.94	84.5
									最大、最小应力比	1.35	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	3.125	≥1.2	32.668	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	86.94	84.5
									最大、最小应力比	1.06	1.5
				工况二	2.983		17.306		墙底平均应力/kPa	80.47	工况二
									墙底最大应力/kPa	83.12	84.5
									最大、最小应力比	1.03	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
15	沙垟下河闸	内河侧	基本组合	工况一	1.737	≥1.2	15	沙垟下河闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	75.02	72
									最大、最小应力比	1.16	1.5
				工况二	1.66		14.433		墙底平均应力/kPa	62.76	工况二
									墙底最大应力/kPa	75.45	72
									最大、最小应力比	1.20	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	1.737	≥1.2	31.919	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	75.02	72
									最大、最小应力比	1.16	1.5
				工况二	1.66		14.433		墙底平均应力/kPa	62.76	工况二
									墙底最大应力/kPa	75.45	72
									最大、最小应力比	1.20	1.5
16	涵闸 2	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	16	涵闸 2	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	141.40	72
									最大、最小应力比	2.69	1.5
				工况二			3.42		墙底平均应力/kPa	95.15	工况二
									墙底最大应力/kPa	141.67	72
									最大、最小应力比	2.91	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	3.98		外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	147.10	72
									最大、最小应力比	2.49	1.5
				工况二			3.68		墙底平均应力/kPa	101.19	工况二
									墙底最大应力/kPa	147.36	72
									最大、最小应力比	2.68	1.5
17	涵闸 3	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	17	涵闸 3	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	197.05	72
									最大、最小应力比	4.48	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
17	涵闸 3			工况二			3.04		墙底平均应力/kPa	118.63	工况二
									墙底最大应力/kPa	197.31	72
									最大、最小应力比	4.94	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	2.58	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	233.68	72
									最大、最小应力比	14.01	1.5
				工况二			2.47		墙底平均应力/kPa	123.32	工况二
									墙底最大应力/kPa	233.93	72
									最大、最小应力比	18.41	1.5
18	石埠水闸	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	18	石埠水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	157.69	72
									最大、最小应力比	1.79	1.5
				工况二			6.31		墙底平均应力/kPa	121.17	工况二
									墙底最大应力/kPa	154.16	72
									最大、最小应力比	1.75	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	6.95	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	138.21	72
									最大、最小应力比	1.96	1.5
				工况二			6.032		墙底平均应力/kPa	102.58	工况二
									墙底最大应力/kPa	138.30	72
									最大、最小应力比	2.07	1.5
19	龟岩水闸	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	19	龟岩水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	69.66	120
									最大、最小应力比	1.12	1.5
				工况二			7.15		墙底平均应力/kPa	64.01	工况二
									墙底最大应力/kPa	65.50	120
									最大、最小应力比	1.05	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
19	龟岩水闸	外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	5.55	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	141.17	120
									最大、最小应力比	1.70	1.5
				工况二			5.02		墙底平均应力/kPa	110.12	工况二
									墙底最大应力/kPa	141.42	120
									最大、最小应力比	1.79	1.5
20	碧山水闸	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	20	碧山水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	59.70	120
									最大、最小应力比	1.12	1.5
				工况二			6.1		墙底平均应力/kPa	54.56	工况二
									墙底最大应力/kPa	60.16	120
									最大、最小应力比	1.23	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	4.49	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	163.22	120
									最大、最小应力比	2.26	1.5
				工况二			4.15		墙底平均应力/kPa	115.87	工况二
									墙底最大应力/kPa	163.47	120
									最大、最小应力比	2.39	1.5
21	涂厂水闸	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	21	涂厂水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	80.36	72
									最大、最小应力比	1.472	1.5
				工况二			6.72		墙底平均应力/kPa	65.55	工况二
									墙底最大应力/kPa	80.69	72
									最大、最小应力比	1.60	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	6.61	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	166.59	72
									最大、最小应力比	1.59	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
21	涂厂水闸			工况二			5.98		墙底平均应力/kPa	134.00	工况二
									墙底最大应力/kPa	166.81	72
									最大、最小应力比	1.65	1.5
22	渡头水闸	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	22	渡头水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	88.58	120
									最大、最小应力比	1.55	1.5
				工况二			6.42		墙底平均应力/kPa	70.94	工况二
									墙底最大应力/kPa	88.90	120
									最大、最小应力比	1.68	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	8.40	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	157.51	120
									最大、最小应力比	1.35	1.5
				工况二			7.41		墙底平均应力/kPa	135.35	工况二
									墙底最大应力/kPa	157.70	120
									最大、最小应力比	1.40	1.5
23	洲渎水闸	内河侧	基本组合	工况一	1.45	≥1.2	23	洲渎水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	66.63	72
									最大、最小应力比	1.15	1.5
				工况二	1.38		8.22		墙底平均应力/kPa	60.37	工况二
									墙底最大应力/kPa	66.99	72
									最大、最小应力比	1.25	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	6.96	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	149.39	72
									最大、最小应力比	1.471	1.5
				工况二			6.21		墙底平均应力/kPa	123.62	工况二
									墙底最大应力/kPa	149.62	72
									最大、最小应力比	1.53	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
24	塔山水闸	内河侧	基本组合	工况一	2.34	≥1.2	24	塔山水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	60.94	720
									最大、最小应力比	1.04	1.5
				工况二	2.31		7.94		墙底平均应力/kPa	59.00	工况二
									墙底最大应力/kPa	60.99	720
									最大、最小应力比	1.07	1.5
		外江侧	基本组合	工况一	2.20	≥1.2	7.37	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	150.67	720
									最大、最小应力比	1.46	1.5
				工况二	2.16		6.54		墙底平均应力/kPa	125.12	工况二
									墙底最大应力/kPa	150.89	720
									最大、最小应力比	1.52	1.5
25	浦底水闸	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	25	浦底水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	154.71	72
									最大、最小应力比	1.77	1.5
				工况二			6.00		墙底平均应力/kPa	119.29	工况二
									墙底最大应力/kPa	154.96	72
									最大、最小应力比	1.85	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	5.83	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	238.69	72
									最大、最小应力比	2.35	1.5
				工况二			5.41		墙底平均应力/kPa	168.35	工况二
									墙底最大应力/kPa	238.88	72
									最大、最小应力比	2.44	1.5
26	下湾水闸	内河侧	基本组合	工况一	2.86	≥1.2	26	下湾水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	73.00	2400
									最大、最小应力比	1.05	1.5

序号	水闸名称	挡墙位置	荷载组合		抗滑稳定安全系数		抗倾覆安全系数		墙底应力		
					计算值	规范要求	计算值	规范要求	计算内容	计算值	规范要求或控制值
26	下湾水闸	内河侧	基本组合	工况二	2.75		8.78		墙底平均应力/kPa	69.36	工况二
									墙底最大应力/kPa	73.30	2400
									最大、最小应力比	1.12	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	5.5	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	167.67	78
									最大、最小应力比	1.841	1.5
				工况二			5.03		墙底平均应力/kPa	127.50	工况二
									墙底最大应力/kPa	167.92	78
									最大、最小应力比	1.928	1.5
27	七国垟水闸	内河侧	基本组合	工况一		≥1.2	27	七国垟水闸	内河侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	89.97	48
									最大、最小应力比	1.05	1.5
				工况二			10.105		墙底平均应力/kPa	86.15	工况二
									墙底最大应力/kPa	90.19	48
									最大、最小应力比	1.10	1.5
		外江侧	基本组合	工况一		≥1.2	4.04	≥1.4	外江侧	基本组合	工况一
									墙底最大应力/kPa	233.09	48
									最大、最小应力比	3.12	1.5
				工况二			3.82		墙底平均应力/kPa	152.08	工况二
									墙底最大应力/kPa	233.31	48
									最大、最小应力比	3.29	1.5

由表 5.8-14 可知，各工况下挡土墙抗滑稳定安全系数、抗倾覆安全系数均满足《水工挡土墙设计规范》SL379-2007 的要求；墙底平均基底应力及最大基底应力除以 1.2 后均大于地基承载力，需进行地基处理，地基处理设计见后面相关章节，地基处理后最大与最小应力比可按坚实地基控制，计算大小应力比满足规范要求。

5.8.6 典型结构计算

本工程共 30 座水闸，3 座旱闸。其中水闸包括单孔水闸、双孔水闸及三孔水闸，旱闸 3 座均为单孔。本节选取河溪水闸、平阳坑水闸、篁坑水闸作为典型水闸，将结构计算结果进行分析。

5.8.6.1 河溪水闸

河溪水闸闸室共 3 孔，中间不设缝，为整体结构，将其作为计算单元进行结构计算。结构计算主要包括：荷载统计、闸室稳定性验算、桩承载力验算、底板承台设计、桩身设计等。

计算工况如下：

工况 1：完建期，闸墩挡水侧挡土侧均无水；

工况 2：单孔检修，闸墩挡水侧为正常水位，挡土侧为地下水位；

工况 3：正常蓄水位，闸墩挡水侧为正常蓄水位/低潮位，挡土侧为地下水位；

工况 4：设计洪水位，闸墩挡水侧为设计水位，挡土侧为地下水位；

工况 5：校核洪水位，闸墩挡水及挡土侧均为校核洪水位；

工况 6：地震情况，闸墩挡水侧为正常水位，挡土侧为地下水位。

本次计算采用北京理正结构设计工具箱 7.0PB4 中桩基水闸模块进行计算分析，简化的闸室结构模型见图 5.8.5-1。

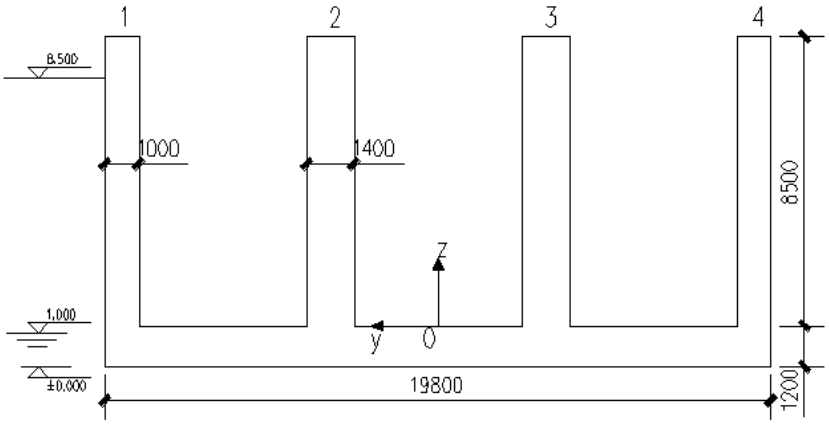


图 5.8-15　闸室结构模型

以工况 5 为例进行分析，闸墩承受上部启闭机房及设备的集中荷载；边墩受土压力，地下水压力及水压力；中墩所受两侧水压力抵消；底板受上部水压力和渗透压力。

表 5.8-15　　校核洪水位情况荷载设计值

荷载名称	竖向荷载（kN）	水平荷载（kN）	My（kN.m）
中闸墩	10964.36		-868.62
边（缝）闸墩	7932.09		-434.31
底板	11413.71		0.00
工作门	212.31		392.77
上检修门	0.00		-0.00
下检修门	0.00		0.00
上游水重	14357.70		-54200.31
下游水重	6754.23		36303.98
浮力	-22356.38		0.00
渗透力	-7761.32		19560.92
上游止水以上水压力		5748.38	20349.25
上游止水以下水压力		1768.14	867.57
下游止水以下水压力		-3805.65	-7765.94
浪压力		4.31	9.48
合计	21516.71	3715.17	14214.79

表 5.8-16　　闸底最大最小应力验算

	P_{kmax}/P_{kmin}	地基不均匀系数允许值	结论
完建情况	1.58	2.00	满足
单孔检修(孔 1)	1.33	2.00	满足
正常蓄水情况	1.39	1.50	满足
设计洪水位情况	1.23	1.50	满足
校核洪水位情况	1.69	2.00	满足
地震作用情况	1.83	2.00	满足

表 5.8-17　　闸室抗滑移稳定性验算

	∑G(kN)	∑H(kN)	K_c	$[K_c]$	结论
完建情况	22601.26	0.00	---	1.25	满足
单孔检修(孔 1)	25211.93	3034.03	1.78	1.10	满足
正常蓄水情况	23195.35	4636.88	1.25	1.25	满足
设计洪水位情况	21535.85	4270.97	1.26	1.25	满足
校核洪水位情况	17838.16	3714.46	1.45	1.10	满足
地震作用情况	18439.85	3974.67	1.36	1.05	满足

抗浮验算：依据《水闸设计规范》（SL265-2016）7.3.16：

$$K_f = \frac{\sum V + n\ T_1}{\sum U} = \frac{36027.77 + 36 \times 50.00}{10815.85} = 3.497$$

K_f=3.497≥1.050, 满足要求

表 5.8-18 各截面的弯矩设计值： （单位：kN.m）

设计值	完建情况	设计洪水位情况	校核洪水位情况	地震作用情况
截面 1	726.28	732.81	733.61	732.81
截面 2	-292.06	-358.78	-365.30	-358.47
截面 3	667.73	781.18	793.13	780.81
截面 4	-327.83	-317.78	-316.25	-317.71
截面 5	667.73	781.18	793.13	780.81
截面 6	-292.06	-358.78	-365.30	-358.47
截面 7	726.28	732.81	733.61	732.81

经计算配筋为 φ22@200 的 HRB400 钢筋，结构设计满足要求。

表 5.8-19 校核洪水位情况桩身内力配筋

桩号	桩身轴力(kN)	桩身最大弯矩(Y 向)(kN.m)	桩身最大剪力(X 向)(kN)	纵筋(mm^2)	箍筋(mm^2/m)	纵筋最小配筋长度(m)	桩身压屈计算长度(m)
1	429.105	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
2	496.538	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
3	563.970	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
4	631.403	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
5	698.835	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
6	766.267	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
7	429.105	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
8	496.538	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
9	563.970	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
10	631.403	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
11	698.835	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
12	766.267	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
13	429.105	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
14	496.538	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
15	563.970	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
16	631.403	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759

桩号	桩身轴力(kN)	桩身最大弯矩(Y 向)(kN.m)	桩身最大剪力(X 向)(kN)	纵筋(mm^2)	箍筋(mm^2/m)	纵筋最小配筋长度(m)	桩身压屈计算长度(m)
17	698.835	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
18	766.267	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
19	429.105	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
20	496.538	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
21	563.970	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
22	631.403	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
23	698.835	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
24	766.267	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
25	429.105	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
26	496.538	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
27	563.970	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
28	631.403	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
29	698.835	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
30	766.267	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
31	429.105	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
32	496.538	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
33	563.970	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
34	631.403	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
35	698.835	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759
36	766.267	-155.843	103.199	2513.274	1480.263	25.000	3.759

桩身纵筋：8D20（2513mm^2），箍筋：D16@200(2)（1608mm^2/m）

5.8.6.2 平阳坑水闸

平阳坑水闸闸室共 2 孔，中间不设缝，为整体结构，将其作为计算单元进行结构计算。结构计算主要包括：荷载统计、闸室稳定性验算、桩承载力验算、底板承台设计、桩身设计等。

计算工况如下：

工况 1：完建期，闸墩挡水侧挡土侧均无水；

工况 2：单孔检修，闸墩挡水侧为正常水位，挡土侧为地下水位；

工况 3：正常蓄水位，闸墩挡水侧为正常蓄水位/低潮位，挡土侧为地下水位；

工况 4：设计洪水位，闸墩挡水侧为设计水位，挡土侧为地下水位；

工况 5：校核洪水位，闸墩挡水及挡土侧均为校核洪水位；

工况 6：地震情况，闸墩挡水侧为正常水位，挡土侧为地下水位。

本次计算采用北京理正结构设计工具箱 7.0PB4 中桩基水闸模块进行计算分析，简化的闸室结构模型见图 5.8.16。

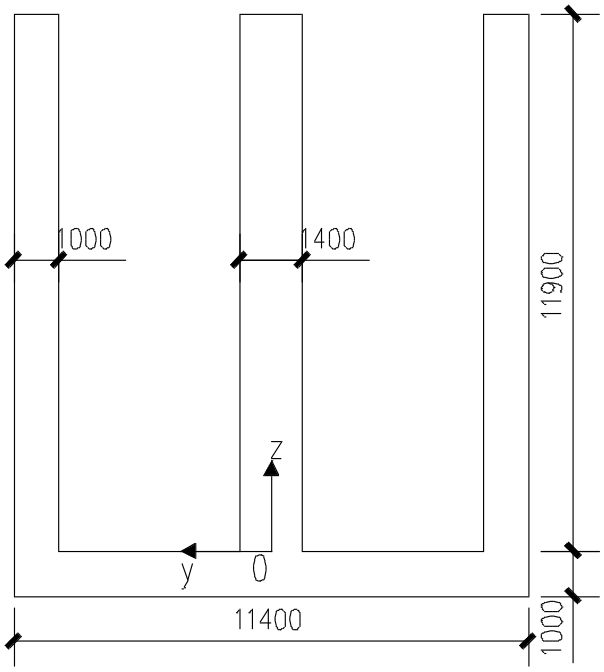


图 5.8-16　闸室结构模型

以工况 5 为例进行分析，闸墩承受上部启闭机房及设备的集中荷载；边墩受土压力，地下水压力及水压力；中墩所受两侧水压力抵消；底板受上部水压力和渗透压力。

表 5.8-20　　校核洪水位情况荷载设计值

荷载名称	竖向荷载(kN)	水平荷载(kN)	My(kN.m)
中闸墩	6127.13		-846.80
边（缝）闸墩	8817.18		-846.80
底板	4503.00		0.00
工作门	1002.60		2606.76
上检修门	140.00		-56.00
下检修门	130.00		728.00
上游水重	8842.58		-24648.69
下游水重	3104.16		15870.02
浮力	-14337.55		0.00
渗透力	-1918.28		1162.07

荷载名称	竖向荷载(kN)	水平荷载(kN)	My(kN.m)
上游止水以上水压力		6909.55	30885.67
上游止水以下水压力		808.94	318.71
下游止水以下水压力		-3658.35	-9598.39
浪压力		0.50	5.79
上部竖向荷载 1-1	171.00		-837.90
上部竖向荷载 2-1	342.00		-1675.80
上部竖向荷载 3-1	171.00		-837.90
合计	17094.82	4060.64	12228.74

表 5.8-21　　闸底最大最小应力验算

	P_{kmax}/P_{kmin}	地基不均匀系数允许值	结论
完建情况	1.06	1.50	满足
单孔检修（1 孔）	1.19	2.00	满足
正常蓄水情况	1.45	1.50	满足
设计洪水位情况	1.39	1.50	满足
校核洪水位情况	1.75	2.00	满足
地震作用情况	1.19	2.00	满足

表 5.8-22　　闸室抗滑移稳定性验算

	∑G(kN)	∑H(kN)	K_c	$[K_c]$	结论
完建情况	21403.91	0.00	---	1.20	满足
单孔检修（1 孔）	19715.42	1774.00	2.82	1.10	满足
正常蓄水情况	18769.11	3013.49	1.69	1.20	满足
设计洪水位情况	18404.21	4101.95	1.22	1.20	满足
校核洪水位情况	17094.82	4060.64	1.23	1.05	满足
地震作用情况	20273.07	2966.17	1.69	1.05	满足

抗浮验算：依据：《水闸设计规范》（SL265-2016）7.3.16。

$$K_f = \frac{\sum V + n\ T_1}{\sum U} = \frac{24731.76 + 25 \times 307.58}{5016.34} = 6.463$$

Kf=6.463≥1.050, 满足

表 5.8-23　　各截面的弯矩设计值：　　（单位：kN.m）

标准值	完建情况	设计洪水位情况	校核洪水位情况
截面 1	-10.16	4.27	5.88
截面 2	-574.59	-747.25	-770.98
截面 3	684.90	1022.87	1069.79
截面 4	-574.59	-747.25	-770.98
截面 5	-10.16	4.27	5.88

经计算配筋为 φ22@200 的 HRB400 钢筋，结构设计满足要求。

表 5.8-24　　校核洪水位情况桩身内力配筋

桩号	桩身轴力(kN)	桩身最大弯矩(Y向)(kN.m)	桩身最大剪力(X 向)(kN)	纵筋(mm^2)	箍筋(mm^2/m)	纵筋最小配筋长度(m)	桩身压屈计算长度(m)
1	600.514	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
2	703.671	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
3	806.828	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
4	909.985	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
5	1013.143	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
6	600.514	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
7	703.671	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
8	806.828	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
9	909.985	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
10	1013.143	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
11	600.514	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
12	703.671	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
13	806.828	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
14	909.985	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
15	1013.143	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
16	600.514	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
17	703.671	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
18	806.828	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
19	909.985	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
20	1013.143	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
21	600.514	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
22	703.671	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
23	806.828	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
24	909.985	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370
25	1013.143	-214.844	162.430	2513.274	1939.394	16.000	5.370

5.8.5.3 篁坑水闸

篁坑水闸闸室共 1 孔，中间不设缝，为整体结构，将其作为计算单元进行结构计算。结构计算主要包括：荷载统计、闸室稳定性验算、桩承载力验算、底板承台设计、桩身设计等。

计算工况如下：

工况 1：完建期，闸墩挡水侧挡土侧均无水；

工况 2：单孔检修，闸墩挡水侧为正常水位，挡土侧为地下水位；

工况 3：正常蓄水位，闸墩挡水侧为正常蓄水位/低潮位，挡土侧为地下水位；

工况 4：设计洪水位，闸墩挡水侧为设计水位，挡土侧为地下水位；

工况 5：校核洪水位，闸墩挡水及挡土侧均为校核洪水位；

工况 6：地震情况，闸墩挡水侧为正常水位，挡土侧为地下水位。

本次计算采用北京理正结构设计工具箱 7.0PB4 中桩基水闸模块进行计算分析，简化的闸室结构模型见图 5.8.17。

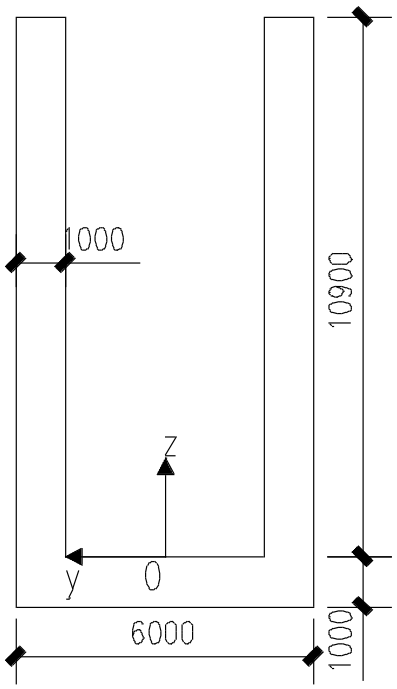


图 5.8-17　闸室结构模型

以工况 5 为例进行分析，闸墩承受上部启闭机房及设备的集中荷载；边墩受土压力，地下水压力及水压力；中墩所受两侧水压力抵消；底板受上部水压力和渗透压力。

表 5.8-25　　校核洪水位情况荷载设计值

荷载名称	竖向荷载（kN）	水平荷载（kN）	My（kN.m）
中闸墩	0.00		0.00
边（缝）闸墩	8480.06		-814.43
底板	2488.50		0.00
工作门	393.75		1023.75
上检修门	94.50		-37.80
下检修门	84.00		470.40
上游水重	4711.68		-13133.81
下游水重	1327.30		6785.80
浮力	-5650.08		0.00
渗透力	-1922.54		928.66
上游止水以上水压力		2881.20	11716.88
上游止水以下水压力		362.88	142.59
下游止水以下水压力		-1107.05	-2130.89
浪压力		0.28	2.91
上部竖向荷载 1-1	189.00		-926.10
上部竖向荷载 2-1	189.00		-926.10
合计	10385.16	2137.31	3101.87

表 5.8-26　　闸底最大最小应力验算

	P_{kmax}/P_{kmin}	地基不均匀系数允许值	结论
完建情况	1.08	1.50	满足
单孔检修(孔 1)	1.10	2.00	满足
正常蓄水情况	1.24	1.50	满足
设计洪水位情况	1.11	1.50	满足
校核洪水位情况	1.41	2.00	满足
地震作用情况	1.19	2.00	满足

表 5.8-27　　闸室抗滑移稳定性验算

	∑G(kN)	∑H(kN)	K_c	$[K_c]$	结论
完建情况	11351.24	0.00	---	1.20	满足
单孔检修(孔 1)	10096.16	981.05	2.75	1.10	满足
正常蓄水情况	9980.87	2263.26	1.21	1.20	满足
设计洪水位情况	9806.60	2008.01	1.34	1.20	满足
校核洪水位情况	9131.52	2137.26	1.26	1.05	满足
地震作用情况	10653.81	1612.78	1.67	1.05	满足

抗浮验算：依据：《水闸设计规范》（SL265-2016）7.3.16。

$$K_f = \frac{\sum V + n\ T_1}{\sum U} = \frac{12736.34 + 18 \times 207.84}{2640.18} = 6.241$$

Kf=6.241≥1.050, 满足

表 5.8-28　　各截面的弯矩设计值：　　（单位：kN.m）

设计值	完建情况	设计洪水位情况	校核洪水位情况
截面 1	-7.55	2.83	3.10
截面 2	-672.30	-823.19	-861.46
截面 3	-7.55	2.83	3.10

经计算配筋为 φ22@200 的 HRB400 钢筋，结构设计满足要求。

表 5.8-29　　校核洪水位情况桩身内力配筋

桩号	桩身轴力(kN)	桩身最大弯矩(Y向)(kN.m)	桩身最大剪力(X 向)(kN)	纵筋(mm^2)	箍筋(mm^2/m)	纵筋最小配筋长度(m)	桩身压屈计算长度(m)
1	469.138	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
2	512.264	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
3	555.390	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
4	598.516	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
5	641.642	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
6	684.769	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
7	469.138	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
8	512.264	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
9	555.390	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
10	598.516	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
11	641.642	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
12	684.769	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
13	469.138	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
14	512.264	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
15	555.390	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
16	598.516	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
17	641.642	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814
18	684.769	-179.871	118.740	3267.256	1939.394	12.100	3.814

5.8.7 地基处理设计

5.8.7.1 水闸基础处理方案

选择处理方案的原则是：经济简单、安全可靠、符合环保要求。常用的软基处理方案的特点见表 5.8-30。

表 5.8-30 **地基处理措施比选表**

加固方法	基本机理	优点	缺点	注意事项
水泥土搅拌法干法（粉喷搅拌）湿法（浆液搅拌）	利用水泥（或石灰）等材料作为固化剂通过特制的搅拌机械，就地将软土和固化剂（浆液或粉体）强制搅拌，使软土硬结成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥加固土。	1.最大限度利用原土。 2.搅拌时无振动、无噪音和无污染，对周围原有建筑物影响很小。 3.与钢筋混凝土桩基相比，可节约钢材并降低造价。	1.塑性指数Ip大于25时，容易在搅拌头叶片上形成泥团，无法完成水泥土拌合。 2.对含有氯化物的粘土，有机质含量高，PH值较低的粘土，含大量硫酸盐的粘土处理效果较差。	1.加固深度：干法不宜大于15m，湿法不宜大于20m。 2.大块物质（石块和树根等）在施工前必须清除。 3. 土的含水量在50%~85%时，含水量每降低10%，水泥土强度可提高30%
预制管桩	工厂或现场预制。利用锤击，静压或振动法施工。	1.质量可靠、制作方便、沉桩快捷。 2.桩长现场制作可达25～30m，可打穿软土层直至持力层。 3.施工工期短。	对淤泥层，打桩易产生位移偏位和倾斜	
换填垫层法	挖除浅层软弱土，填以抗剪强度高、压缩性低的天然或人工材料形成垫层。	1.施工简易、工期短、造价低。 2.若选用砂石作为垫层材料，其良好的透水性可加速垫层下软弱土层的固结	处理深度较浅，不宜超过3m。不适合处理深厚软弱土层	
真空联合堆载预压	真空预压与堆载预压联合实施。铺设水平排水和垂直排水，垫层上覆不透气密封薄膜，薄膜上堆载。通过在地面上安装的射流真空泵,抽出薄膜下土体中的空气，形成真空，使土体排水而密实	1.加速施工期沉降，工后沉降大量减少。	1.工期较长。	1.用于无透水土层和均质粘性土。 2.垫层上覆薄膜的密封性必须保证。

加固方法	基本机理	优点	缺点	注意事项
动力排水固结法	设置水平排水和垂直排水，夯击原则是先轻后重，少击多遍（传统强夯是以同一夯能重锤多击）激发土体孔压，使土体产生微裂缝排水，以不完全破坏土体结构强度为前提，根据土体强度提高情况，逐步增加能量的动力固结。	1.比预压法工期短。 2.投资省。 3.可满足低透水性土深层加固的要求（可超过20m）。	1.对施工工艺要求较高。	1.需严格控制夯击能从小到大变化，以夯坑周边土不出现明显隆起现象为控制标准。
钻孔灌注桩	通过机械钻孔在地基土中形成桩孔，并在其内放置钢筋笼、灌注混凝土成桩。	1.施工无挤土、无（少）振动、无（低）噪音，环境影响小。 2.成孔可穿过任何类型底层，桩长可达100m。	1、施工质量的好坏对桩的承载力影响很大。 2.淤泥质土易造成塌孔。	1、在钻孔过程中，应定期检查钻孔的深度、直径及孔壁的平整度，以确保钻孔的质量。 2、在灌注混凝土时，应定期检查混凝土的流动性、灌注压力及混凝土的均匀性，以确保混凝土的质量。 3、在施工完成后，应对钻孔灌注桩进行检查，以确保桩的位置、尺寸及混凝土的质量等，以确保钻孔灌注桩的质量。

由表 5.8-30 可知：换填垫层法不适于淤泥土层较厚的情况，由此进一步筛选组合出三种较优方案：水泥土搅拌法；预制管桩方案；钻孔灌注桩。

本次选取一座 2×3m 典型水闸（涂厂水闸）进行桩基处理方案技术经济比较。

方案一：水泥搅拌桩方案垂直水流方向 9.4m，顺水流方向长 18.3m。根据上部荷载情况和闸址处下部各土层的物理力学指标，经计算，水泥搅拌桩共布置 403 根，桩径 60cm，梅花型布置，间距 0.8m，桩长 15m。

方案二：预制管桩方案基础采用 C80 预应力砼管桩（PHC）处理，桩径 60cm，壁厚 100mm，桩距 2.0m，桩长 34.7m，梅花型布置，共布置 60 根。方案三：砼钻孔灌注桩方案基础采用 C30 钢筋砼灌注桩处理，桩径 80cm，桩距 2.8m，梅花型布置，桩长 34.7m，共布置桩 28 根。

地基处理方案可比性工程量和投资见表 5.8-21。

表 5.8-21　　地基处理方案可比性工程量和投资表

编号	主要比较 工程量项目	单位	水泥搅拌桩方案		预制管桩方案		灌注桩方案	
			数量	合计 (万元)	数量	合计 (万元)	数量	合计 (万元)
1	Φ60水泥搅拌桩	m^3	1703	38	/	/	/	/
2	Φ60C80PHC砼管桩	m	/	/	2082	104	/	/
3	Φ80C30钢筋砼灌注桩	m^3	/	/	/	/	489	85
	可比性投资			38		104		85

水泥搅拌桩方案的优点是投资相对省，但刚性小，整体稳定性较差，不能承受较大的荷载，而且工后沉降量大，质量相对难以控制，目前仅在小型水闸闸室基础处理中尚有应用。

预制桩的优点是砼用量较少，桩可提前预制，缩短施工期，目前在软土地基处理的应用较为广泛；缺点是造价较高，钢筋用量高，而抗冲击能力相对较差，不易穿透侧阻力和锥头阻力相对较大的硬性土层，否则锤击力过大或锤击次数过多将导致桩头破碎；另外预制桩基础的整体稳定性亦稍差，允许的水平向承载力相对较小。

钻孔灌注桩的优点是应用广泛，桩长和桩径的选择性比较灵活，施工工艺成熟且方便，可穿过各种软、硬夹层，将桩端深入闸基持力层，充分发挥桩身强度和持力层的承载力，造价一般。

由上述技术经济分析可知，水泥搅拌桩方案费用最省，灌注桩方案次之，预制管桩方案费用最贵。根据地质勘探揭露，工程沿线各闸基下卧土层层厚变化较大，水泥搅拌桩刚性小，承载力较弱，易产生工后沉降，施工质量相对难以控制；灌注桩方案适应性广，质量易保证，且温州地区已建工程中桩基处理绝大多数均采用灌注桩处理，根据飞云江治理工程一期的经验，采用灌注桩处理可靠度较大。

根据以上分析并结合工程的重要程度、地质条件，综合考虑以上方法的优缺点、当地成熟的施工技术及施工工期的要求，以及飞云江治理工程二期可研的推荐，本次初设最终选用钻孔灌注桩方案。

5.8.7.2　钻孔灌注桩设计及计算

根据水闸设计规范，桩基础设计应满足下列规定：

1、水闸桩基础通常宜采用摩擦桩。

2、桩的根数和尺寸宜按承担底板底面以上的全部荷载确定.对于摩擦桩,经论证后可适当考虑桩间土承担部分荷载.

3、钻孔灌注桩的中心距不应小于 2.5 倍桩径。

4、桩的平面布置宜使桩群形心与底板底面以上基本荷载组合的合力作用点相接近,单桩的竖向荷载最大值与最小值之比不宜大于本规范 7.3.5 条规定的允许值.

5、在同一块底板下,宜采用相同直径的桩。

6、当防渗段底板下采用端承型桩时,应采取防止底板底面接触冲刷的措施。

根据水闸基础处理比选结果，推荐采用砼钻孔灌注桩基础处理形式，桩距 2.4~3.0m。

钢筋砼灌注桩设计计算参照《水工建筑物地基处理设计规范》（SL/T792-2020）、《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）等相关内容。初拟灌注桩桩径 80cm。

（1）竖向承载力计算

轴心竖向力作用下：

$$N_k = \frac{\sum G}{n}$$

偏心竖向力作用下：

$$N_{ki} = \frac{\sum G}{n} \pm \frac{\sum M_x'' y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{\sum M_y'' x_i}{\sum x_j^2}$$

表 5.8-22　　单桩竖向承载力计算成果表

.水闸	工况	N_k	$N_{k,max}$	单桩竖向承载力允许值〔R〕	1.2〔R〕
篁坑水闸	工况一	630.62	650.23	902.06	1082.47
	工况二	544.81	566.82		
	工况三	507.31	576.39		
涵闸1	工况一	676.87	701.65	1081.92	1298.30
	工况二	576.43	577.34		
	工况三	534.44	574.37		
沙垟水闸	工况一	631.07	650.32	1081.92	1298.30
	工况二	533.69	567.01		
	工况三	496.72	574.83		
平阳坑水闸	工况一	856.16	878.95	1092.65	1311.02
	工况二	736.17	837.52		
	工况三	683.79	841.58		
柴下水闸	工况一	562.24	582.31	970.07	1164.08
	工况二	493.04	532.09		

.水闸	工况	N_k	$N_{k,max}$	单桩竖向承载力允许值〔R〕	1.2〔R〕
	工况三	428.67	433.60		
杨家水闸	工况一	541.68	561.81	946.65	1135.98
	工况二	472.17	512.39		
	工况三	408.06	417.73		
霞岙水闸	工况一	593.55	619.38	987.34	1184.81
	工况二	504.70	531.56		
	工况三	439.83	444.82		
冯渡水闸	工况一	613.63	633.58	896.92	1076.31
	工况二	512.33	525.90		
	工况三	448.01	453.89		
马上水闸	工况一	587.91	616.83	734.22	881.07
	工况二	489.85	551.72		
	工况三	450.65	477.20		
马中水闸	工况一	567.38	587.44	1099.38	1319.26
	工况二	473.16	498.93		
	工况三	431.60	433.56		
河溪水闸	工况一	661.27	692.12	1182.46	1418.95
	工况二	553.35	617.46		
	工况三	422.84	572.76		
七甲水闸	工况一	531.40	551.56	1062.73	1275.28
	工况二	439.86	469.90		
	工况三	424.66	443.36		
沙垟2#水闸	工况一	490.29	510.54	1107.67	1329.20
	工况二	409.05	447.00		
	工况三	393.91	422.30		
农渠水闸	工况一	490.29	510.54	1107.67	1329.20
	工况二	408.94	447.00		
	工况三	394.00	422.74		
沙垟下河闸	工况一	480.01	500.29	1031.21	1237.45
	工况二	396.52	434.35		
	工况三	379.95	408.76		
涵闸2	工况一	505.71	525.92	1083.61	1300.33
	工况二	414.06	445.70		

.水闸	工况	N_k	$N_{k,max}$	单桩竖向承载力允许值〔R〕	1.2〔R〕
	工况三	398.43	421.29		
涵闸3	工况一	526.26	546.43	1076.17	1291.40
	工况二	423.87	448.44		
	工况三	408.39	424.30		
涂头前河闸	工况一	521.12	541.30	1034.44	1241.33
	工况二	418.53	443.15		
	工况三	403.14	419.74		
石埠水闸	工况一	424.32	447.15	1278.48	1534.18
	工况二	334.39	380.57		
	工况三	321.67	359.93		
龟岩水闸	工况一	438.89	459.28	993.56	1192.27
	工况二	357.32	395.59		
	工况三	333.05	360.75		
碧山水闸	工况一	432.92	455.79	1326.37	1591.64
	工况二	345.51	391.70		
	工况三	325.14	359.97		
涂厂水闸	工况一	479.69	502.24	1478.25	1773.90
	工况二	374.57	410.34		
	工况三	354.20	380.61		
渡头水闸	工况一	588.01	618.67	1453.19	1743.83
	工况二	469.24	533.22		
	工况三	441.80	487.96		
洲渎水闸	工况一	432.89	455.78	954.65	1145.58
	工况二	330.65	369.92		
	工况三	311.99	341.86		
浦底水闸	工况一	637.74	667.67	1018.56	1222.27
	工况二	487.38	521.51		
	工况三	460.32	483.51		
七国垟水闸	工况一	463.20	486.34	1152.00	1382.40
	工况二	347.56	378.29		
	工况三	320.33	341.70		

经计算，均满足设计要求。

5.9 专项提升工程

5.9.1 总体构思

5.9.1.1 设计原则

瑞安市主要乡镇多分布于飞云江两岸，且大多是经济重镇或经济强镇，古镇文化底蕴深厚，沿江自然风貌基底良好。根据飞云江两岸现状，结合瑞安市社会经济发展状况，以科学发展为统领，以生态性为基准，提升飞云江沿岸景观品质。

主要设计原则如下：

协调性原则：瑞安市河道、溪流均属于飞云江水系，因此飞云江沿岸景观与城市总体规划、城市水系规划、城市雨水专项规划等上位规划紧密结合，并融入城市规划建设之中，在满足河道防洪功能的基础上，专项提升工程与水利工程应紧密结合，实现防洪排涝与景观美化双赢的目标。

文化性原则：飞云江沿岸风景不仅作为一种自然风貌，更蕴含着丰富的文化内涵，它是自然要素，又是江岸居民的文化符号。沿岸的景观建设应注重提升河流流域内的文化价值，促进水文化的继承和发展。

生态性原则：延续城乡空间发展结构，重建滨江生态景观，构建飞云江沿江绿廊通道。以维护区域生态稳定和发展为基本目标，构建健康的生态河流，营造植被自然、四时景异、水绿交融的沿江滨水空间，建立良好的自然生态循环系统，突出飞云江的生态效益和环境效益。

乡土性原则：美丽乡村建设依据地方特色，结合设计主题，采用乡土植物、文化元素等，将人们对传统田园景观和享受大自然的向往融合设计，尊重现状、保留地貌地势，利用周边自然环境条件，构建具有地域特色的滨水景观，追求乡土景观的可持续性。

5.9.1.2 设计目标

瑞安市文化和旅游发展“十四五”规划中明确指出，发展飞云江与海岛交通线的山海联动廊以及依托依托飞云江沿线两岸景观建设形成集景观廊、交通轴、产业带为一体的发展带。依据浙江省工程建设标准《绿道设计与施工技术规程》相关规范与要求，结合上位规划以及飞云江两侧的人文山水资源，提出此工程的设计愿景为“居飞云之侧、感书刻之名、拥山水之美”，以达成“重建古镇文化”、“重塑堤岸公园”、“创建活力水岸”的设计目标。

图 5.9-1　设计目标

5.9.1.3　设计依据

《公园设计规范》（GB51192-2016）；

《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB50137-2011）；

《城市绿化工程施工与验收规范》（CJJ 82－2012）；

《城市绿地设计规范》（GB 50420-2007）2016 版；

《城市给水工程规划规范》（GB 50282-98）；

《建筑与市政工程无障碍通用规范》（GB 55019-2021）自 2022 年 4 月 1 日起实施（含说明）；

《江河湖泊生态环境保护系列技术指南》；

《风景园林绿化规划设计与施工技术实用手册》；

《绿道设计与施工技术规程》（DB33_T1130-2016）；

《城市夜景照明设计规范》（GB50420-2007）；

《瑞安市国土空间总体规划（2021-2035 年）（草案公示稿）》；

《浙江省生态绿道规划设计技术导则》；

《浙江省生态绿道网规划》（2012-2020 年）；

《平阳坑镇土地利用总体规划 （2006-2020 年）》

5.9.1.4　现状分析

（1）平阳坑段

经现场踏勘，平阳坑段存在如下显著问题：

①视线遮挡严重

平阳坑沿河区域现状建筑密布，竹林丛生，沿河风景被建筑及植物遮挡严重，出现“滨江不见江”，“沿江不见景”的问题。

②竖向高差较大

平阳坑段设计范围较窄，高差较大，设计后堤顶与现状地面高差约在 7~9m，安全性低且亲水性差。

③活动空间较少

临江的平阳坑镇沿线，市民活动空间局促，仅存一处平阳坑公园可供市民休憩活动，面积约在 1900 ㎡，现状公园呈狭长带状，临江处植被茂密，高差较大，视线封闭，休息设施仅以廊架及廊架下现存的座凳为主。

④文化特色较弱

该区域沿线缺少本土特色，现状的平阳坑公园地块较为狭长，缺少当地文化特色，现存景观趋于大众化，缺失特色文化融入。

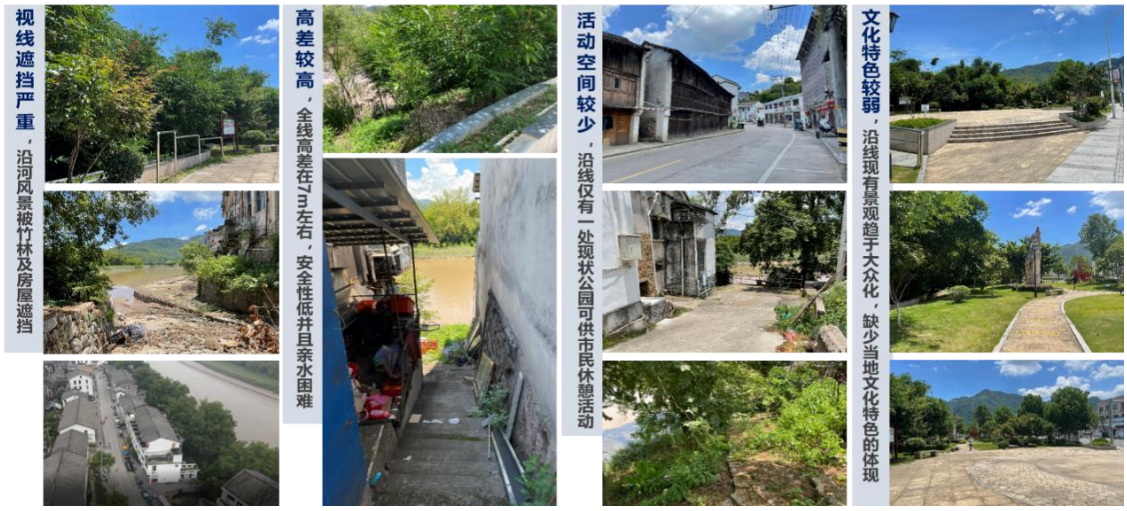


图 5.9-2　　平阳坑段现状问题分析图

（2）白莲段

白莲段紧邻瑞安城区，与现状滨江大道相接，又与规划中的滨江大道形成交叉，周边环境较为复杂。目前现状周边用地多为农田或工厂，存在以下问题：

①场地空旷，场地周边因未开发建设，与瑞安市城市整体风格形成割裂感，滨江活动场地空间缺失。

②规划高差较大，规划堤防与现状道路高差较大，大范围的活动空间不足，户外运动类型受限，场地活动安全性较差。

③红线内现状与规划不匹配，难以实现滨江景观带。现状用地以工业用地为主，有

部分公园用地和商务用地，可供休憩游乐的空间较少。

图 5.9-3　　白莲段现状分析图

5.9.1.5　设计策略

根据现状问题分析，结合现场实地状况，提出以下设计策略：打开视线通廊、重现飞云江景；解决场地与江岸较大的高差，塑造可漫步、可游憩的滨水空间；保留场地记忆，结合当地活字印刷等文化，打造特色景观。

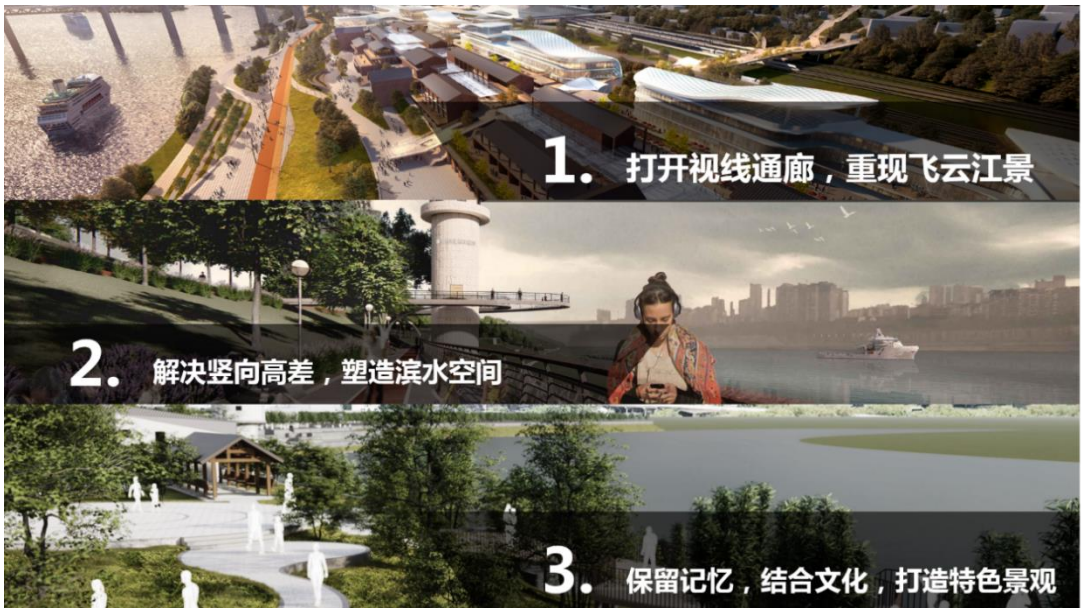


图 5.9-4　　设计策略

5.9.2 方案设计

飞云江生态廊道是城市转型的门户区，承载着城市的生态环境展示及保护的职能。景观设计定位为开放的休闲生态廊道，是集市民休闲、运动、娱乐、文化体验、集会等功能于一体。

5.9.2.1 平阳坑段

平阳坑段位于本工程的起始段，该段西起平阳坑特大桥，东至外垟公交车站附近，堤线全长 3.01km，此次景观设计主要集中于平阳坑镇，该段长度约 2.4km，宽度 15-35m 不等，设计面积约 3.5 万 m^2。其中铺装面积约 4860 m^2，架空木平台 203 m^2，绿化面积 30756 m^2。该段布置二级驿站 1 座，将位于现状公园内的公厕加以改造，使之与现状保留的景观廊架形成一体的建筑风格。

1.设计定位

平阳坑段位于龙丽温高速收费口，场地西侧平阳坑大桥连接高屿线直达寨寮西风景区，东侧依托龙丽温高速与温州瑞安相接。优越的区位条件为今后开展文旅项目、古镇规划等基础建设提供良好的交通基础。本段设计范围内，现状沿江路拓宽后与新建堤防相接，打造新型休闲活动场地，建设古色韵味广场，营造亲水滨江廊道。

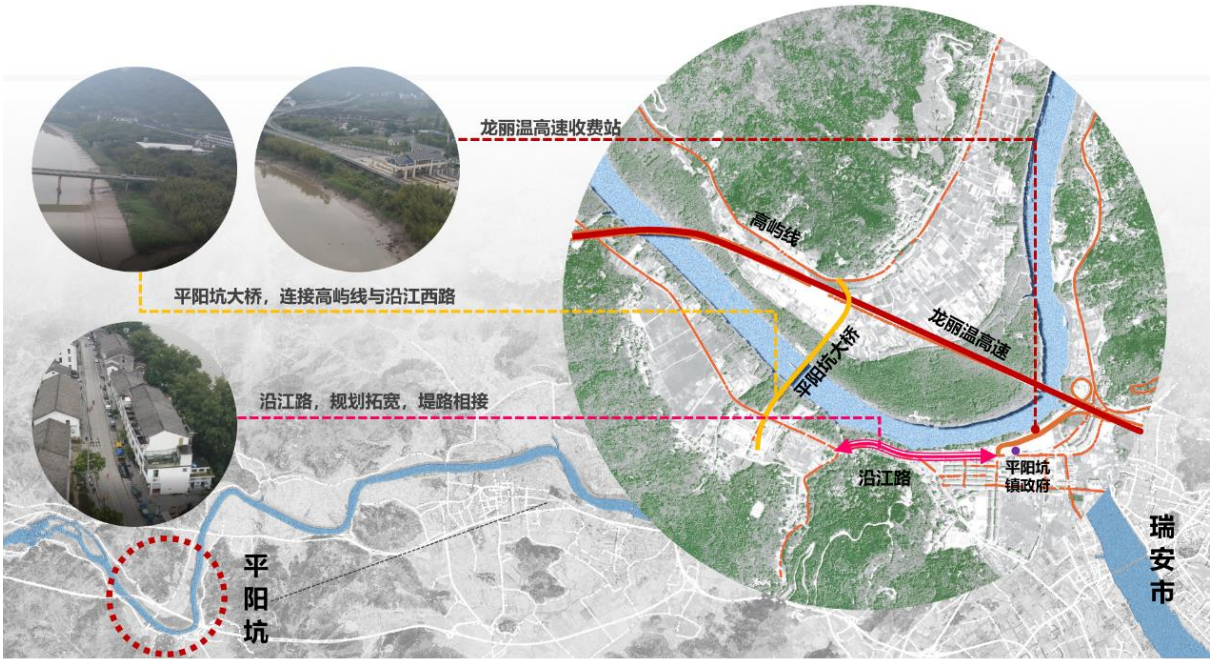


图 5.9-5　交通区位分析图

2.平阳书刻广场

位于桩号 PYK01+030 至 PYK1+888 范围内，长度近 1km，该区段内临江多为居民

自建房屋和凤尾竹竹林，视线遮挡严重。临江活动岸线与水迹线高差较大，最高的场地落差可达三至四米。为解决这些较为突出的场地问题，结合当地特色文化，提取当地非物质文化遗产木板活字印刷文化的元素，将 “方形”“矩形”等设计语言融入场地之中，在解决竖向高差较大、难以亲水问题的同时，丰富沿线空间变化。

该广场节点场地主要通过台地的形式形成逐级的平台，并清除沿江遮挡物，打开现状密闭的空间，开放临江视口，增加块状滨江活动空间。打造可漫步、可游憩、可亲水的滨江岸线。

图 5.9-6　　平阳坑段总体平面图

场地设计为 2.4m、1.5m、0.9m 等层次错落的台地，利用错层台地在场地内塑造多个层次、规模不等的活动空间。利用花岗岩、青石及马蹄石等材质的多样拼贴形式，将活字印刷文化融入场地之中，提升场地的文化气质。

平阳坑段设计节点集中在堤防迎水侧，多设置亲水空间、滨水园路、临水平台等，强化该区段内滨水活力。场地内仅对现状公园进行改造，遵循乔灌木最大化保留的原则，对临江区域进行优化设计，其他区域种植设计主要以灌木及观赏草为主，并结合场地设计保留或补种凤尾竹等适生植物。

图 5.9-7　　平阳书刻广场效果图

3.公园改造

位于平阳坑镇镇政府附近的平阳可坑公园，桩号 PYK1+888 至 PYK2+354 范围内，长度近 0.5km，属于人流量较为密集的区域，市民活动较为活跃。但此区域现状公园呈狭长带状，活动空间较为局促，临江处植被茂密，高差较大，视线封闭。

图 5.9-8　　平阳坑公园现状一

图 5.9-9　平阳坑公园现状二

因此，将现状公园、现状水塔及现状码头进行优化设计。在原场地的基础上扩大现状公园活动空间，设置滨水栈道，并在广场和廊架附近增添健身器械等活动设施，增加游人活动空间和游憩空间。将现存的水塔外立面进行改造装饰，增加场地的特有记忆。

图 5.9-10　平阳坑公园改造效果图一

图 5.9-11　　平阳坑公园改造效果图二

平阳坑镇保留的旧码头，利用现状条件，借助场地高差，改造为可游憩休闲、可停泊防汛船只的多功能型码头，为飞云江岸打造景观节点，输送活力，并链接水岸与堤防道路的交通系统。

图 5.9-12　码头改造效果图一

图 5.9-13　码头改造效果图二

5.9.2.2　白莲段

1 主题定位

白莲段与瑞安城区段接壤，结合潘岱街道用地规划，飞云江二期白莲段堤防将紧邻滨江大道，作为瑞安潘岱街道一带城防的一部分，在本次设计定位中白莲段主题为：生态江镜、活力岸线、魅力城境。

2 总体设计

本阶段设计结合上位规划与现状分析，利用现状场地高差，打造以都市休闲为主的滨河廊道，以现代感的折线型设计，对场地进行合理的划分，将现代休闲文化、儿童游乐、运动休闲、城市慢步、下沉绿地等内容融合在设计场地中，打造一条城市滨江休闲带。

该段全长约 2.67km，红线宽度 15-43m，其中景观场地设计宽度仅 5-13m 的范围。景观设计面积约为 2.5km^2，绿化设计面积 4.89km^2。考虑防洪安全要求，广场及主要设施布置在背堤侧，其中广场铺装面积 9048.33m^2，台阶 326 m^2，绿化面积 12358 m^2，乔木 434 株；临河侧以地被植物种植为主，面积 48703.75 m^2。

本次设计结合上位规划、设计主要节点 8 个，分别为入口广场、城市漫步、樱花廊道、运动场地、下沉广场、儿童游乐场等内容。

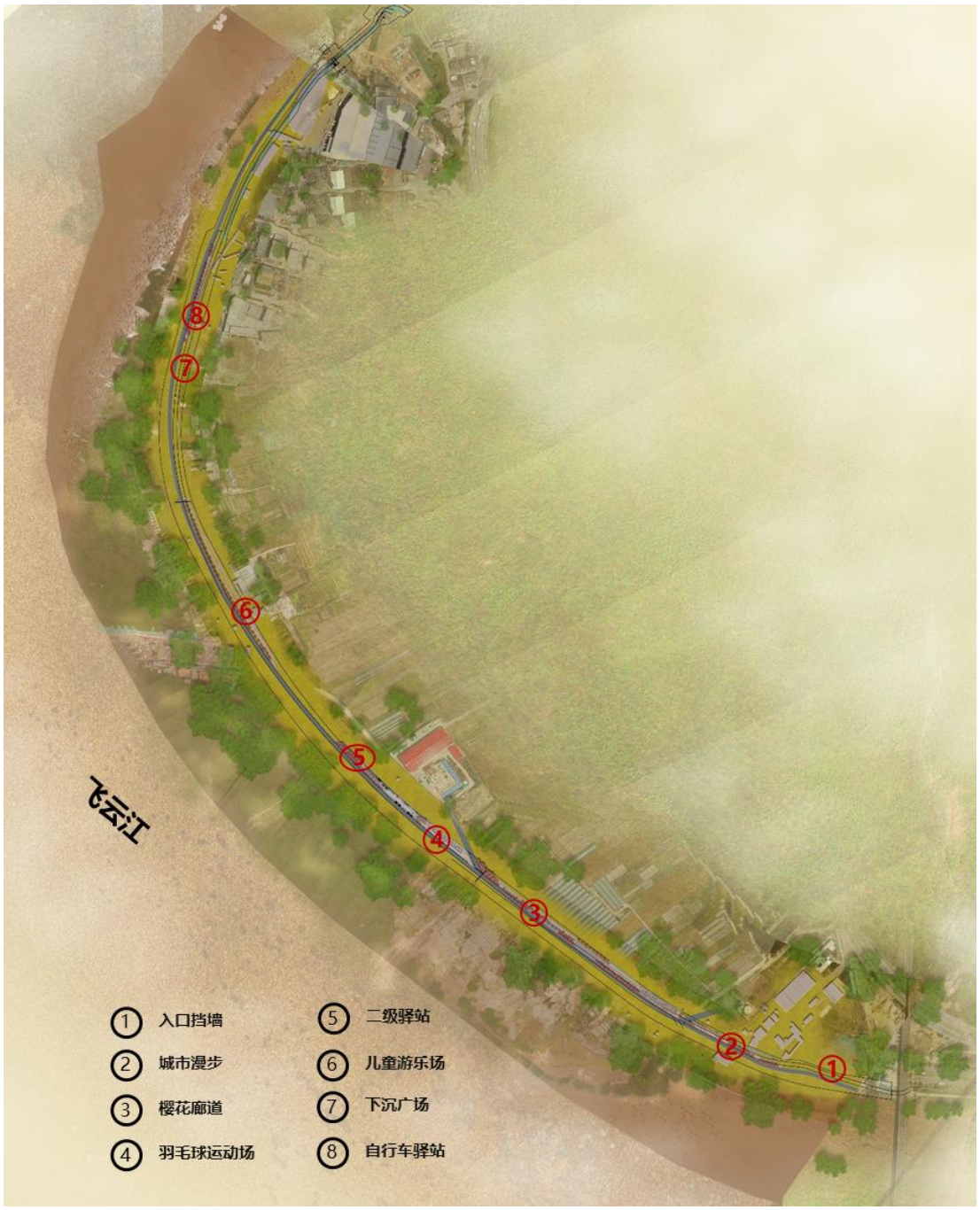


图 5.9-14　　白莲段平面图

3 节点设计

（1）城市慢步

桩号 1+996—2+476 段，长度约为 500m，宽度 8-16m 不等，设计面积为 6255m^2。该区域紧邻瑞安市西城，与现状滨河大道相接，利用错落的花池挡墙将场地进行划分，结合条带地灯、休闲座椅、健身器材等内容，营造现代化城市休闲空间，采用黄锈石荔枝面花岗岩铺装。

图 5.9-15　城市漫步节点效果图

（2）儿童游乐场

桩号 1+300—1+796，长约 400m，宽度是属于该区域内相对宽阔的，最大宽度为 16m，最窄区域为 12m，可打造一处儿童活动场地，占地面积为 3442 m^2。结合上位规划，未来周边地区将形成白莲段内重要的城市绿地，在此设置有儿童游乐设施、运动健身、攀爬体验等体验性活动，同时设置有二级服务驿站一座。场地材质采用彩色透水混凝土铺装，营造缤纷色彩的运动体验区。

图 5.9-16　运动场地效果图

图 5.9-17　儿童游乐场效果图

（3）下沉广场

位于桩号 0+402—0+801 范围内，长度约 400m，平均宽度为 6m，设计面积约为 2350 m^2。该区域相对高差较大，利用挡墙台阶形成多级台地，场地中设置廊架、坐凳、健身设施等设施，可划分多功能活动空间，可休憩、可停留、可健身休闲。

图 5.9-18　　下沉广场效果图

5.9.3 工程量

5.9.3.1 平阳坑段种植工程量

乔灌数量统计表							
序号	名称	规格			数量	单位	备注
		胸（地）径	高度	冠幅			
1	香樟（丛生）	20-25	6.0-6.5	4.0-4.5	12	株	全冠，树形丰满完整，5 杆以上，最小杆径不小于 10cm
2	乌桕（丛生）	20-25	≥8.0	≥5.0	7	株	全冠，树形丰满完整，5 杆以上，最小杆径不小于 15cm
3	墨西哥落羽杉	16-18	≥6.0	≥4.0	33	株	实生树，树杆直，全冠不偏冠，分枝层次均匀
4	加拿利海枣		自然高 4.0-5.0		25	株	株型美观
5	白皮松	D12	≥5.0	≥3.5	18	株	全冠移植，冠形饱满,枝叶密实，自然冠栽植
6	红叶石楠‘红罗宾’	D≥16	4.0-4.5	≥3.0	33	株	全冠移植，冠形饱满,枝叶密实，自然冠栽植
7	金桂	D≥15	4.0-4.5	≥3.0	37	株	全冠，树形丰满完整
8	四季桂	D≥12	≥3.0	≥2.5	5	株	全冠，树形丰满完整
9	枇杷	D≥15	≥4.5	≥3.0	7	株	全冠，树形丰满完整
10	深山含笑	15	≥3.5	≥3.0	48	株	全冠移植，冠形饱满,枝叶密实，自然冠栽植
11	复羽叶栾树	15	≥7.0	≥4.0	59	株	全冠，树形丰满完整
12	无患子	18	≥8.0	≥4.5	31	株	全冠，树形丰满完整
13	乌桕	20	≥7.0	≥3.5	49	株	全冠，树形丰满完整
14	枫杨	15	≥6.0	≥3.0	25	株	全冠，树形丰满完整
15	金叶槐	15	≥5.0	≥3.0	13	株	全冠，树形丰满完整
16	加拿大巨紫荆	12	≥5.0	≥3.0	27	株	全冠，树形丰满完整
17	粉玉兰	12-15	≥4.5	≥3.0	38	株	杆高≥1.6m,3-5 个主枝，层次分明，树冠饱满
18	樱花‘染井吉野	D15	≥4.0	≥3.0	34	株	全冠，树形丰满完整
19	樱花‘大岛樱’	D15	≥4.0	≥3.0	31	株	全冠，树形丰满完整
20	红叶碧桃	D12	≥3.5	≥3.0	28	株	全冠，树形丰满完整
21	海滨木槿	D7-8	≥2.5	≥1.5	123	株	全冠，树形丰满完整
22	红枫	D10	≥2.5	≥2.0	6	株	全冠，树形丰满完整

灌木地被面积表							
序号	名称	规格		密度	面积	单位	备注
		高度	冠幅				
1	匍枝亮绿忍冬	0.3-0.4	≥0.2	25 株/㎡	423	㎡	三年生以上苗，三个以上分枝
2	红叶石楠‘红罗宾’	0.5-0.8	≥0.3	25 株/㎡	80	㎡	
3	铺地柏	0.3-0.4	≥0.2	16 株/㎡	378	㎡	
4	彩叶杞柳	0.6-0.8	≥0.3	25 株/㎡	260	㎡	
5	毛杜鹃	0.3-0.4	≥0.2	25 株/㎡	269	m ²	
6	云锦杜鹃	0.3-0.4	≥0.2	25 株/㎡	510	㎡	
7	小叶扶芳藤	枝长 0.5m 以上		16 株/㎡	1716	㎡	三年生以上苗，三个以上分枝
8	南天竹	0.6-0.8	≥0.3	25 株/㎡	1105	m ²	
9	南天竹‘火焰’	0.3-0.4	≥0.15	36 株/㎡	18	㎡	三年生以上苗，五个以上分枝
10	金叶女贞	0.5-0.8	≥0.3	25 株/㎡	156	㎡	
11	金丝桃	0.5-0.8	≥0.3	25 株/㎡	232	m ²	
12	小叶蚊母	0.5-0.8	≥0.3	25 株/㎡	708	㎡	
13	大花六道木	0.3-0.6	≥0.3	25 株/㎡	328	㎡	
14	夹竹桃	0.6-0.8	≥0.3	16 株/㎡	63	㎡	5 个以上分枝
15	黄素馨	0.4-0.6	≥0.3	25 株/㎡	1220	㎡	5 个以上分枝
16	美女樱	0.2-0.3		分株栽植，36 株/㎡	51	㎡	密铺
17	山桃草	0.2-0.3		分株栽植，49 株/㎡	76	㎡	密铺
18	柳叶马鞭草	0.2-0.3		分株栽植，49 株/㎡	286	㎡	密铺
19	常夏石竹	0.2-0.3		分栽,49 株/㎡	42	㎡	密铺
20	宿根福禄考	0.2-0.3		分栽 49 株/㎡	160	㎡	密铺
21	玉簪	0.2-0.3	≥0.15	分栽 36 株/㎡	12	㎡	密铺
22	德国鸢尾	0.2-0.3	≥0.15	分栽 36 株/㎡	314	㎡	密铺
23	鸢尾	0.2-0.3	≥0.15	分栽 36 株/㎡	516	㎡	密铺
24	金娃娃萱草	0.2-0.3	≥0.15	分栽 49 株/㎡	1582	㎡	密铺
25	大花萱草	≥0.3	≥0.15	分栽 36 株/㎡	154	m ²	密铺
26	紫娇花	0.2-0.3		分栽 49 株/㎡	30	m ²	
27	细叶苔草	≥0.15		分栽 49 株/㎡	639	m ²	
28	金叶苔草	≥0.15		分栽 49 株/㎡	104	m ²	
29	蓍草			播种，15g/㎡	674	㎡	
30	美丽月见草			播种，15-20g/㎡	676	㎡	
31	小兔子狼尾草	0.3-0.4		分株栽植，36 株/㎡	1165	㎡	5 分蘖以上/株
32	紫穗狼尾草	0.3-0.4		分株栽植，36 株/㎡	1083	㎡	5 分蘖以上/株

灌木地被面积表							
序号	名称	规格		密度	面积	单位	备注
		高度	冠幅				
33	波斯菊			播种，15-20g/㎡	179	㎡	
34	紫松果菊			播种，15-20g/㎡	801	㎡	
35	大花金鸡菊			播种，15-20g/㎡	1245	㎡	
36	大滨菊			播种，20g/㎡	222	㎡	
37	草坪（铺草皮）				191	㎡	暖季型草坪
38	草地早熟禾			播种，15g/㎡	1568	㎡	暖季型草坪

5.9.3.2 白莲段种植工程量

乔灌数量统计表							
序号	名称	规格			数量	单位	备注
		胸（地）径	高度	冠幅			
1	黑松	16-18	≥6.0	≥4.0	47	株	全冠移植，冠形饱满,自然冠栽植
2	香樟（丛生）	20	≥7.0	≥4.0	74	株	全冠移植，冠形饱满,自然生长形态
3	墨西哥落羽杉	8-9	≥7.0	≥2.5	4	株	全冠移植，干通直，冠形饱满
4	乌桕	20	≥10.0	≥5.0	65	株	实生树，树杆直，全冠不偏冠，分枝层次均匀
5	复羽叶栾树	18	≥6.5	≥4.0	23	株	全冠移植，干通直，冠形饱满
6	无患子	15	≥6.0	≥3.5	49	株	全冠移植，干通直，冠形饱满
7	枫杨	D12	≥5.0	≥3.5	3	株	全冠移植，干通直，冠形饱满
8	金叶槐	20	≥9.0	≥4.5	15	株	树形优美，树杆笔直，一级分枝 3 以上，冠型丰满，全冠移植
9	白皮松	8-9	≥4.0	≥2.5	21	株	全冠移植，冠形饱满
10	金叶复叶槭	8-9	≥4.0	≥2.5	41	株	全冠移植，冠形饱满
11	白玉兰	14	4.5-5.0	3.5-3.8	54	株	全冠，树形美观，一级分枝 5 以上
12	粉玉兰	16-18	≥6.0	≥4.0	47	株	全冠移植，冠形饱满,自然冠栽植
13	樱花‘大岛樱’	20	≥7.0	≥4.0	74	株	全冠移植，冠形饱满,自然生长形态
14	樱花‘染井吉野	12	4.0-4.5	3.0-3.5	34	株	全冠，树形美观，一级分枝 5 以上
15	红叶石楠‘红罗宾’	D≥16	4.0-4.5	≥3.0	20	株	全冠移植，树冠饱满，自然冠栽植
16	枇杷	D≥15	≥4.5	≥3.0	10	株	全冠移植，树冠饱满，自然冠栽植
17	金桂	D≥15	4.0-4.5	≥3.0	55	株	全冠移植，树冠饱满，自然冠栽植
18	垂丝海棠	12	≥4.0	≥3.0	6	株	全冠移植，姿态优美
19	紫薇‘天鹅绒’	D7-8	≥2.5	≥1.8	11	株	冠形饱满,分枝点≤1.0 米，1 级主枝 3-5 枝，2 级分枝 6-10 枝

乔灌数量统计表							
序号	名称	规格			数量	单位	备注
		胸（地）径	高度	冠幅			
20	红枫	7-8	≥2.5	≥1.5	14	株	全冠移植，姿态优美
21	红叶碧桃	10	≥3.5	≥3.0	27	株	全冠移植，冠形饱满,分枝点高度1.2-1.5 米，单瓣淡粉色花
22	小叶女贞球		1.2-1.5	1.0-1.5	7	株	球形饱满,呈椭圆形
23	金叶女贞球		1.2-1.5	1.0-1.5	21	株	球形饱满,呈椭圆形
24	金森女贞球		1.2-1.5	1.0-1.5	14	株	球形饱满,呈椭圆形
25	红叶石楠球A		1.8-2.0	1.5-1.8	21	株	球形饱满,呈椭圆形
26	大叶黄杨球A		1.8-2.0	1.5-1.8	3	株	球形饱满,呈椭圆形
27	大叶黄杨球B		1.0-1.5	1.0-1.5	11	株	球形饱满,呈椭圆形

灌木地被面积表							
序号	名称	规格		密度	面积	单位	备注
		高度	冠幅				
1	黄素馨	0.4-0.6	≥0.3	25 株/㎡	310	㎡	5 个以上分枝
2	夹竹桃	0.6-0.8	≥0.3	16 株/㎡	4381	㎡	5 个以上分枝
3	小叶蚊母	0.5-0.8	≥0.3	25 株/㎡	5624	㎡	
4	南天竹‘火焰’	0.3-0.4	≥0.15	36 株/㎡	1325	㎡	三年生以上苗，五个以上分枝
5	山茶花	0.6-0.8	≥0.3	16 株/㎡	4592	m²	三年生以上苗，五个以上分枝
6	‘粉霜’绣线菊	0.6-0.8	≥0.3	25 株/㎡	195	㎡	
7	红叶石楠‘红罗宾’	0.5-0.8	≥0.3	25 株/㎡	986	㎡	
8	大叶黄杨	0.5-0.8	≥0.3	25 株/㎡	2892	m²	
9	凤尾竹	杆高 1.5-1.8m		16 株/㎡	901	㎡	单杆杆径≥2CM
10	紫松果菊		播 15-20g		3276	㎡	
11	大滨菊			播种，20g/㎡	1665	m²	
12	柳叶马鞭草	0.2-0.3		分株栽植，49 株/㎡	992	㎡	密铺
13	山桃草	0.2-0.3		分株栽植，49 株/㎡	5609	㎡	密铺
14	美女樱	0.2-0.3		分株栽植，36 株/㎡	313	㎡	密铺
15	婆婆纳			播种，15-20g/㎡	2631	㎡	
16	紫穗狼尾草	0.3-0.4		分株栽植，36 株/㎡	549	㎡	5 分蘖以上/株
17	粉黛乱子草	0.3-0.4		分株栽植，36 株/㎡	3360	㎡	5 分蘖以上/株
18	细叶芒	≥0.15		分株栽植，36 株/㎡	2185	㎡	5 分蘖以上/株
19	画眉草	≥0.15		分株栽植，36 株/㎡	3407	㎡	5 分蘖以上/株
20	金娃娃萱草	0.2-0.3	≥0.15	分株 49 株/㎡	589	㎡	密铺
21	鸢尾	0.2-0.3	≥0.15	分株 36 株/㎡	1180	㎡	密铺
22	德国鸢尾	0.2-0.3	≥0.15	分株 36 株/㎡	3523	㎡	密铺

灌木地被面积表							
序号	名称	规格		密度	面积	单位	备注
		高度	冠幅				
23	葱兰	0.2-0.3		分株 36 株/㎡	299	㎡	密铺
24	宿根福禄考	0.2-0.3		分株 49 株/㎡	438	㎡	密铺
25	红花酢浆草	0.2-0.3		分株 49 株/㎡	2906	m^2	
26	细叶麦冬	0.2-0.3		分株 49 株/㎡	722	m^2	
27	草坪			播种，20g/㎡	6650	m^2	暖季型草坪

5.9.3.3 平阳坑段园建工程量

序号	项目	项目特征	单位	工程量
一	**土方工程**			
1	现状拆除	现状公园内破损广场铺装	m^3	590.00
2	回填土		m^3	37900.00
3	种植土		m^3	14000.00
二	**铺装工程**	**铺装面积**	m^2	4181.00
1	900*150*50 厚荔枝面芝麻灰花岗岩工字铺	900*150*50 厚荔枝面芝麻灰花岗岩	m^3	209.05
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	125.43
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	627.15
		150 厚级配碎石垫层	m^3	627.15
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	4181.00
2	600*300*50 厚青石板	**铺装面积**	m^2	67.00
		600*300*50 厚青石板	m^3	3.35
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	2.01
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	10.05
		150 厚级配碎石垫层	m^3	10.05
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	67.00
3	80%荔枝面芝麻灰花岗岩+20%荔枝面芝麻黑花岗岩拼铺	**铺装面积**	m^2	1463.00
		80%荔枝面芝麻灰花岗岩+20%荔枝面芝麻黑花岗岩	m^3	73.15
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	43.89
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	219.45
		150 厚级配碎石垫层	m^3	219.45
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	1463.00
4	95*95*60 厚深灰色菠萝面马蹄石+600+150+50 厚荔枝面芝麻黑花岗岩拼铺	**铺装面积**	m^2	592.00
		95*95*60 厚深灰色菠萝面马蹄石+600+150+50 厚荔枝面芝麻黑花岗岩	m^3	35.52
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	17.76
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	88.80

序号	项目	项目特征	单位	工程量
		150 厚级配碎石垫层	m^3	88.80
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	592.00
5	200 宽平道牙	长度	m	131.00
		200*100*600 芝麻灰花岗岩收边	m^3	1.572
		30 厚 1：4 干硬性水泥砂浆	m^3	0.786
		50 厚 C25 混凝土	m^3	1.31
		150 厚级配碎石垫层	m^3	3.93
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	26.2
6	彩色透水混凝土	面积	m^2	334.50
		彩色热熔型标线涂料喷涂	m^2	
		透明硅氟密封剂	m^2	334.50
		40 厚彩色透水混凝土	m^3	13.38
		150 厚 C25 基准大孔透水混凝土	m^3	50.18
		300 厚天然级配砂石垫层	m^2	100.35
		素土夯实（夯实系数>93%）	m^2	334.50
7	停车位	3*6m 透水混凝土停车位	个	5.00
		双丙聚氨酯密封处理	m^2	84.10
		40 厚彩色透水混凝土	m^3	3.36
		180 厚 C25 基准大孔透水混凝土	m^3	15.14
		30 厚砂滤层	m^3	2.52
		200 厚级配碎石垫层	m^3	16.82
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	84.10
		600*100*200 高芝麻灰烧毛面花岗岩平道牙	m^3	0.54
		20 厚 1:3 水泥砂浆	m^3	1.51
		280 厚 C20 混凝土垫层	m^3	3.78
		素土夯实，夯实系数≥93%	m^2	4.50
8	450 宽花岗岩台阶	台阶面积	m^2	322.00
		150 厚 450*600 黄锈石荔枝面台阶	m3	48.30
		30 厚 1：3 水泥砂浆	m3	9.66
		150 厚 C20 混凝土垫层（最薄处）(超过 3 步需加设^18@150 双向钢筋)	m3	48.30
		200 厚天然级配碎石垫层	m3	64.40
		素土夯实，夯实系数≥93%	m^2	11.50
9	混凝土挡墙	挡墙长度	m	3306.00
		100 厚花岗岩压顶	m3	99.18
		长 130 直径 10 钢筋	个	11020.00
		20 厚 1：2.5 水泥砂浆结合层（内掺 5%建筑胶）	m3	991.80
		240 厚 C25 钢筋混凝土	m3	714.10

序号	项目	项目特征	单位	工程量
		100 厚 C20 混凝土	m3	165.30
		150 厚天然级配砂石垫层	m3	247.95
		素土夯实（夯实系数>93%）	m^2	49.59
		排水管	m	881.60
		20 厚 1：2.5 水泥砂浆掺防水剂	m3	13224.00
		300*600*20 厚花岗岩贴面	m3	132.24
10	1500*137*18 厚架空竹木平台	1500*137*18 厚竹木平台	m^2	210.00
		成品扣件	个	2520.00
		50*50*3 厚镀锌方钢龙骨	m	840.00
		50*50*3 厚镀锌角钢@300	个	5040.00
		M8 膨胀螺栓	个	5040.00
		栏杆	m	122.50
11	钢木栏杆	钢木栏杆	m	2260.00
		10 厚扁钢镀锌烤漆	m3	2.96625
		5 厚 100 宽通长钢板	m3	1.36
		200x30 厚防腐木扶手	m3	16.27
		钢立柱	m3	14.69
		螺栓	个	7533
		100X10 扁钢预埋件	m3	0.22
三	**小品工程**			
	健身器材		组	5.00
	一级区域导览标识	见详图	个	2.00
	二级方向指引标识	见详图	个	15.00
	三级资源解说标识	见详图	个	7.00
	四级警示标识	见详图	个	20.00
	垃圾桶		个	10.00
	成品座凳		个	49.00

5.9.3.4 白莲段园建工程量

序号	项目	项目特征	单位	工程量
一	**土方工程**			
1	清表		m^3	2904.31
2	挖方		m^3	1428.40
3	填方		m^3	10165.69
二	**铺装工程**	**铺装面积**	m^2	350.70
1	600*300*50 厚烧毛面芝麻灰花岗岩	600*300*50 厚烧毛面芝麻灰花岗岩	m^3	17.54
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	10.52

序号	项目	项目特征	单位	工程量
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	52.61
		150 厚级配碎石垫层	m^3	52.61
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	350.70
2	600*300*50 厚黄锈石烧毛面花岗岩	**铺装面积**	m^2	45.15
		1200*600*50 厚烧毛面芝麻灰花岗岩	m^3	2.26
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	1.35
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	6.77
		150 厚级配碎石垫层	m^3	6.77
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	45.15
3	1200*600*50 厚芝麻灰烧毛面花岗岩	**铺装面积**	m^2	2164.05
		1200*600*50 厚烧毛面芝麻灰花岗岩	m^3	108.20
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	64.92
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	324.61
		150 厚级配碎石垫层	m^3	324.61
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	2164.05
4	1200*600*50 厚芝麻黑烧毛面花岗岩	**铺装面积**	m^2	253.05
		60 厚 195*195 深灰色菠萝面马蹄石	m^3	15.18
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	7.59
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	37.96
		150 厚级配碎石垫层	m^3	37.96
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	253.05
5	60 厚 195*195 深灰色菠萝面马蹄石	长度	m	131.00
		200*100*600 芝麻灰花岗岩收边	m^3	1.572
		30 厚 1：4 干硬性水泥砂浆	m^3	0.786
		50 厚 C25 混凝土	m^3	1.31
		150 厚级配碎石垫层	m^3	3.93
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	26.2
6	1200*600*20 厚芝麻灰烧毛面 PC 砖	**铺装面积**	m^2	334.50
		1200*600*20 厚烧毛面芝麻灰 PC 砖	m^2	1331.40
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^2	26.63
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	39.94
		150 厚级配碎石垫层	m^3	199.71
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	199.71

序号	项目	项目特征	单位	工程量
7	1200*600*20 厚芝麻黑烧毛面 PC 砖	**铺装面积**	个	1249.50
		1200*600*20 厚烧毛面芝麻黑 PC 砖	m^2	24.99
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	37.49
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	187.43
		150 厚级配碎石垫层	m^3	187.43
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^3	1249.50
8	600*300*20 厚芝麻灰烧毛面 PC 砖	**铺装面积**	个	92.40
		600*300*20 厚烧毛面芝麻灰 PC 砖	m^2	1.85
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	2.77
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	13.86
		150 厚级配碎石垫层	m^3	13.86
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^3	92.40
9	600*300*20 厚芝麻黑烧毛面 PC 砖	**铺装面积**	m^2	124.00
		600*300*20 厚烧毛面芝麻黑 PC 砖	m^3	2.48
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m^3	3.72
		150 厚 C25 素混凝土	m^3	18.60
		150 厚级配碎石垫层	m^3	18.60
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	124.00
10	150 宽平道牙	长度	m	147.00
		150*250*600 花岗岩道牙	m^3	5.5125
		30 厚 1：3 干硬性水泥砂浆	m^3	0.6615
		100 厚 C25 混凝土	m^3	6.615
		150 厚级配碎石垫层	m^3	15.2145
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	22.05
11	200 宽平道牙	长度	m	2503.00
		200*100*600 芝麻灰花岗岩收边	m^3	30.036
		30 厚 1：4 干硬性水泥砂浆	m^3	15.018
		50 厚 C25 混凝土	m^3	25.03
		150 厚级配碎石垫层	m^3	75.09
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	500.6
12	彩色透水混凝土	面积	m^2	1506.00
		彩色热熔型标线涂料喷涂	m^2	139.00
		透明硅氟密封剂	m^2	1506.00

序号	项目	项目特征	单位	工程量
		40 厚彩色透水混凝土	m^3	60.24
		150 厚 C25 基准大孔透水混凝土	m^3	225.90
		300 厚天然级配砂石垫层	m^2	451.80
		素土夯实（夯实系数>93%）	m^2	1506.00
13	EPDM 橡胶颗粒	面积	m^2	455.00
		100 厚花岗岩压顶	m3	99.18
		13 厚塑胶面层	m^3	5.92
		专用胶粘剂结合层	m^2	455.00
		100 厚 C20 混凝土垫层	m^3	45.50
		200 厚级配碎石垫层	m^3	91.00
		素土夯实（夯实系数>93%）	m^2	455.00
14	停车位	3*6m 透水混凝土停车位	个	11.00
		双丙聚氨酯密封处理	m^2	185.02
		40 厚彩色透水混凝土	m^3	7.40
		180 厚 C25 基准大孔透水混凝土	m^3	33.30
		30 厚砂滤层	m^3	5.55
		200 厚级配碎石垫层	m^3	37.00
		素土夯实（夯实系数≥93%）	m^2	185.02
		600*100*200 高芝麻灰烧毛面花岗岩平道牙	m^3	1.19
		20 厚 1:3 水泥砂浆	m^3	3.33
		280 厚 C20 混凝土垫层	m^3	8.32
		素土夯实，夯实系数≥93%	m^2	9.90
15	沙坑	沙坑周长	m	76.00
		600*350*50 荔枝面芝麻黑花岗岩	m^2	1.33
		20 厚 1:3 水泥砂浆粘接层	m3	39.52
		C25 素混凝土	m3	251.71
		100 厚 C20 混凝土垫层	m3	42.56
		素土夯实≥93%	m^2	81.00
		1000 厚水洗砂	m3	81.00
		无纺布	m^2	81.00
		100 厚级配碎石垫层	m3	8.10
		100 厚细石垫层	m3	8.10
		280 厚粗砂垫层	m3	22.68

序号	项目	项目特征	单位	工程量
		DN100PVC 塑笼式排水管	m	55.00
16	450 宽花岗岩台阶	台阶面积	m^2	370.00
		150 厚 450*600 黄锈石荔枝面台阶	m3	55.50
		30 厚 1：3 水泥砂浆	m3	11.10
		150 厚 C20 混凝土垫层（最薄处）(超过 3 步需加设^18@150 双向钢筋)	m3	55.50
		200 厚天然级配碎石垫层	m3	74.00
		素土夯实，夯实系数≥93%	m^2	370.00
17	300 宽花岗岩台阶	台阶面积	m^2	20.00
		150 厚 300*600 黄锈石荔枝面台阶	m3	3.00
		30 厚 1：3 水泥砂浆	m3	0.60
		150 厚 C20 混凝土垫层（最薄处）(超过 3 步需加设^18@150 双向钢筋)	m3	3.00
		200 厚天然级配碎石垫层	m3	4.00
18	900 宽花岗岩坐阶	坐阶面积	m^2	36.00
		150 厚 900*600 黄锈石荔枝面台阶	m3	5.40
		30 厚 1：3 水泥砂浆	m3	1.08
		150 厚 C20 混凝土垫层（最薄处）(超过 3 步需加设^18@150 双向钢筋)	m3	5.40
		200 厚天然级配碎石垫层	m3	7.20
		素土夯实，夯实系数≥93%	m^2	36.00
19	台阶花池	花池长度	m	126.00
		10 厚耐候钢板	m^2	78.75
		5 厚钢肋板	m^2	9.95
		花池 C25 素混凝土	m3	25.20
		200 厚天然级配碎石垫层	m3	20.79
		素土夯实，夯实系数≥93%	m^2	138.60
20	混凝土挡墙	挡墙长度	m	880.00
		100 厚花岗岩压顶	m3	26.40
		长 130 直径 10 钢筋	个	2933.33
		20 厚 1：2.5 水泥砂浆结合层（内掺 5%建筑胶）	m3	264.00
		240 厚 C25 钢筋混凝土	m3	190.08
		100 厚 C20 混凝土	m3	44.00
		150 厚天然级配砂石垫层	m3	66.00

序号	项目	项目特征	单位	工程量
		素土夯实（夯实系数>93%）	m^2	13.20
		排水管	m	234.67
		20 厚 1：2.5 水泥砂浆掺防水剂	m3	3520.00
		300*600*20 厚花岗岩贴面	m3	35.20
21	花岗岩整石挡墙	挡墙长度	m	66.00
		500*500*500 芝麻白花岗岩	m3	8.25
		30 厚 1：6 干硬性水泥砂浆	m3	0.99
		100 厚 C20 混凝土垫层	m3	3.3
		150 厚天然级配砂石垫层	m3	4.95
		素土夯实(夯实系数>93%)	m^2	33
22	1.5 米圆形树池篦子	数量	个	6.00
		300*200*100 厚芝麻灰光面花岗岩	m3	0.57
		30 厚 1:4 干硬性水泥砂浆	m3	0.17
		130 厚 C25 混凝土基层	m3	0.73
		150 厚级配碎石垫层	m3	0.85
		素土夯实，夯实系数≥93%	m^2	0.53
		20 厚铸铁树篦子	m^2	22.80
三	**小品工程**			
1	仿木座凳	长度	m	291.00
		50*80 不锈钢格栅，木纹色烤漆饰面	m	2328
		150*450*5 厚不锈钢托板，木纹色烤漆饰面	个	145.5
		80*120*5 厚不锈钢柱，木纹色烤漆饰面	个	145.5
		220*220*5 厚不锈钢板	个	145.5
		4M8 膨胀螺栓	个	582
2	钢木栏杆	钢木栏杆	m	160.00
		10 厚扁钢镀锌烤漆	m3	0.21
		5 厚 100 宽通长钢板	m3	0.10
		200x30 厚防腐木扶手	m3	1.15
		钢立柱	m3	1.04
		螺栓	个	533
		100X10 扁钢预埋件	m3	0.02
3	健身器材		组	18.00

序号	项目	项目特征	单位	工程量
4	卡通动物摇马		组	3.00
5	儿童木桩组合设施		组	3.00
6	多功能秋千架		组	1.00
7	弧形攀爬架		组	1.00
8	钢木廊架	150*360*3 厚铝方通异形定制，木纹色烤漆饰面+100*120*8 厚不锈钢梁	个	1.00
9	羽毛球场	铸铁羽毛球柱	个	8.00
		成品羽毛球网	个	4.00
10	乒乓球台		个	3.00
11	一级区域导览标识	规格 2700*850*70 3 厚铝板外喷氟碳漆 文字及图案彩色丝印 内衬 50*50*3 厚不锈钢管支撑	个	3.00
12	二级方向指引标识	规格 2000*200*70 3 厚铝板外喷氟碳漆 文字及图案彩色丝印 内衬 50*50*3 厚不锈钢管支撑	个	11.00
13	三级资源解说标识	规格 1500*700*70 3 厚铝板外喷氟碳漆 文字及图案彩色丝印 内衬 50*50*3 厚不锈钢管支撑	个	9.00
14	垃圾桶		个	18.00

5.9.4 专项设计

5.9.4.1 标准段绿化

1．马屿镇梅屿段

结合堤防工程平面图及断面图，进行等比例建模设计，堤顶路设计成彩色透水混凝土路面，根据全线设计风格选用不同的颜色进行区分和轮换。

梅屿段设计自桩号 MY2+631 至 MY4+913，长度约为 2300m，堤顶路宽度为 5m，邻水侧草坡宽度 3-6m 不等，背水侧草坡宽度 3-9m 居多，最宽的区段为 15m。经测算临水侧草坡种植面积为 12628.8 ㎡；品种以狗牙根为主；背水侧草坡种植面积为 25002㎡；品种以草地早熟禾+园晶草为主；堤坡坡脚种植则采用分层种植的形式，形成高矮不一的草本植物护坡，绿篱带主要分为以隔离形式种植观花及色叶植物带，设计范围线较宽的区域桩号 MY3+681 至 MY4+031 段内可种植观赏草、草花地被植物，邻水侧种植水生植物、湿生植物等。

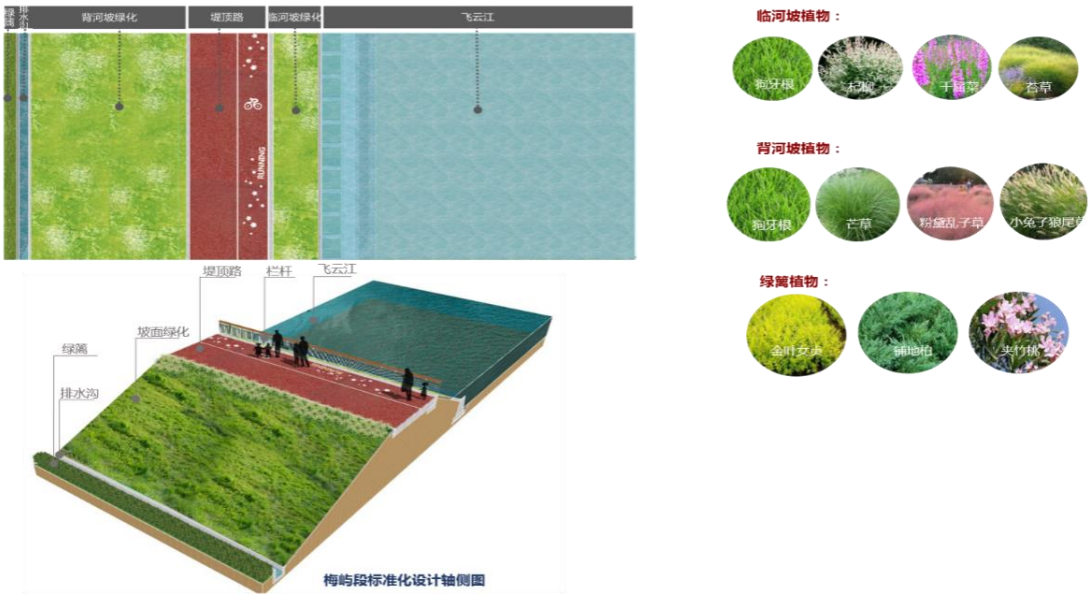


图 5.9-19　梅屿段坡面绿化图

2．陶山镇荆谷段

通过坡面绿化来软化硬质护岸、防浪墙的同时，将堤路一体结合绿廊功能进行美化。通过滨江漫步道的串联，将飞云江的绿道系统贯穿。

荆谷段设计自桩号 JG0+000 至 JG5+300，长度约为 5300m，堤顶路宽度为 5.2m，邻水侧草坡宽度 2-8m 不等，背水侧草坡宽度 3-10m。经测算临水侧草坡种植面积为 29384 m^2；品种以狗牙根为主，白三叶为补播；背水侧草坡种植面积为 50397m^2；品种以草地早熟禾+园晶草为主。

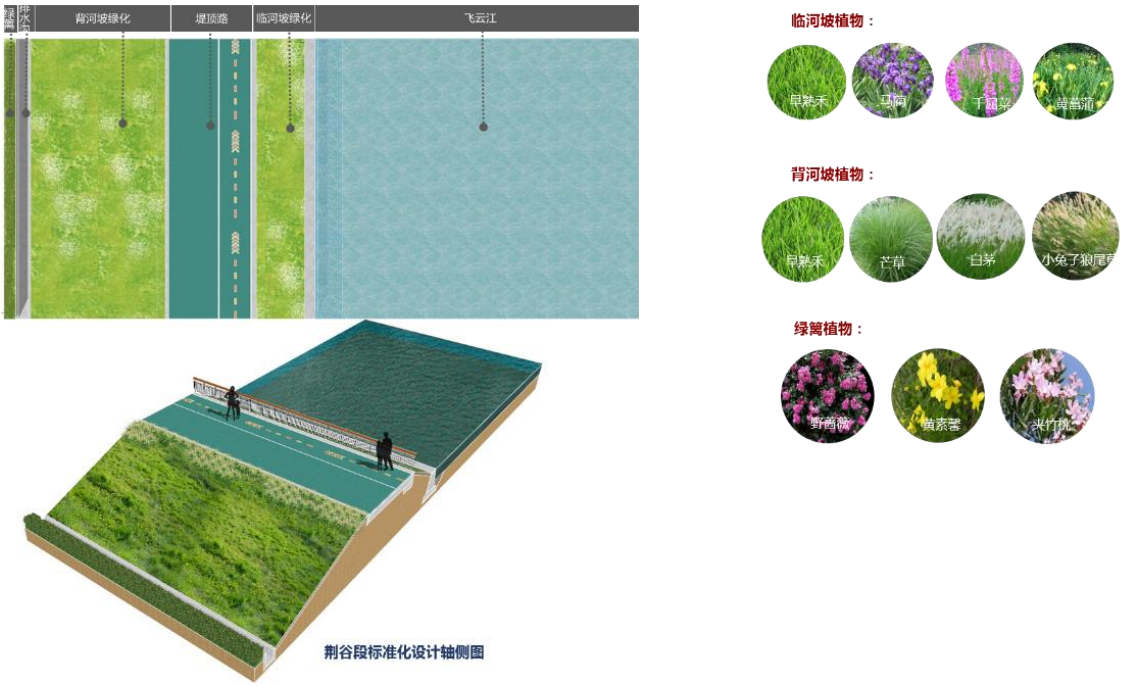


图 5.9-20　荆谷段坡面绿化图

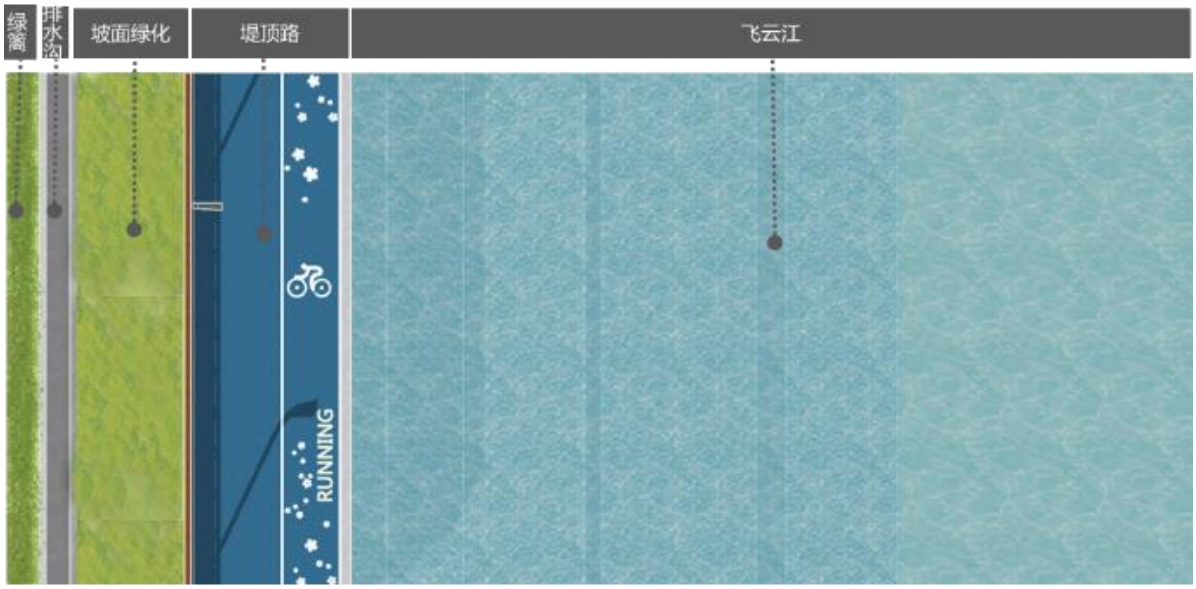
3．陶山镇碧山段

碧山段设计自桩号 BS0+000 至 BS6+500，长度约为 6500m，堤顶路宽度为 4m，邻水侧无种植空间，背水侧草坡宽度 3-7m。经测算背水侧草坡种植面积为 75060m²；品种以草地早熟禾+园晶草为主。碧山段堤路与现状地面高差较大，标准段设计多以草坡形式过渡，局部较为开阔的设计范围内，如桩号 BS2+371 至 BS2+500 段，以植物群落的模式种植观赏性较强的品种，营造植物观景点。

配置模式：

海滨木槿+迎春+鸢尾-----马尼拉草坪；

白玉兰+垂丝海棠+山茶花------玉簪/大花萱草-----红花酢浆草。



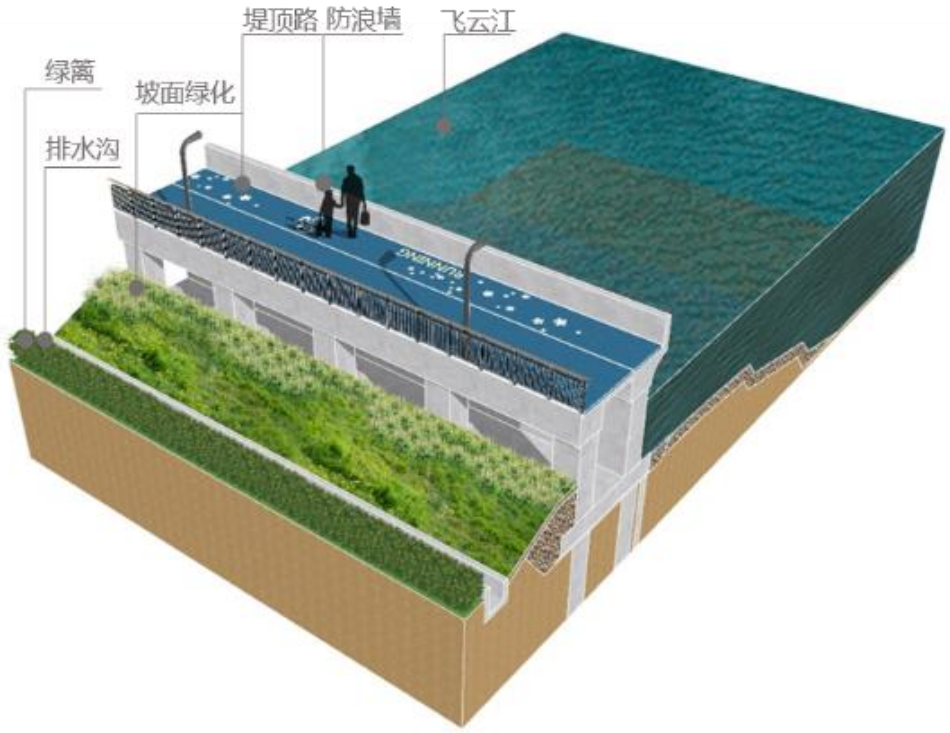


图 5.9-21　碧山段坡面绿化图

4．桐浦塔山至澄头段

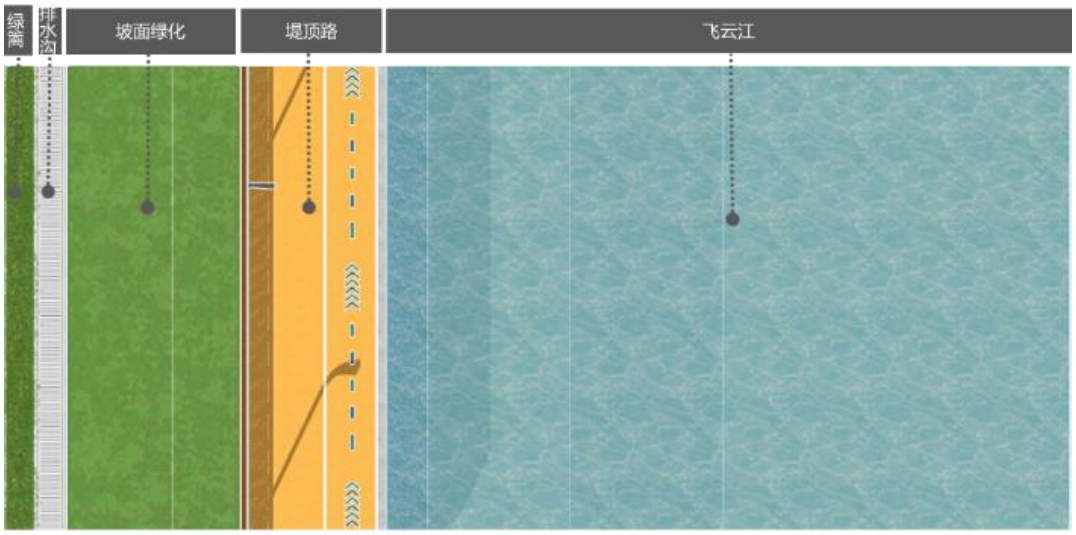
桐浦塔山至澄头段，与碧山段形式较为类似，堤路与现状地面高差大，该段自桩号 A0+000 至 A1+566，自桩号 B0+000 至 B0+900，长度约为 2400m，堤顶路宽度为 4m，邻水侧无种植空间，背水侧草坡宽度多为 5-7m。经测算背水侧草坡种植面积为 75060㎡；品种以草地早熟禾+园晶草为主。

标准段设计多以草坡形式过渡，局部较为开阔的地段，如桩号 A0+351---A0+500 范围段，最大宽度可达 11m，在此范围内可种植观花观果类植物，打造趣味性生境群落。

配置模式：

云锦杜鹃+金边瑞香-----石竹；

枇杷+北美海棠+火棘------栀子/金娃娃萱草-----草坪。



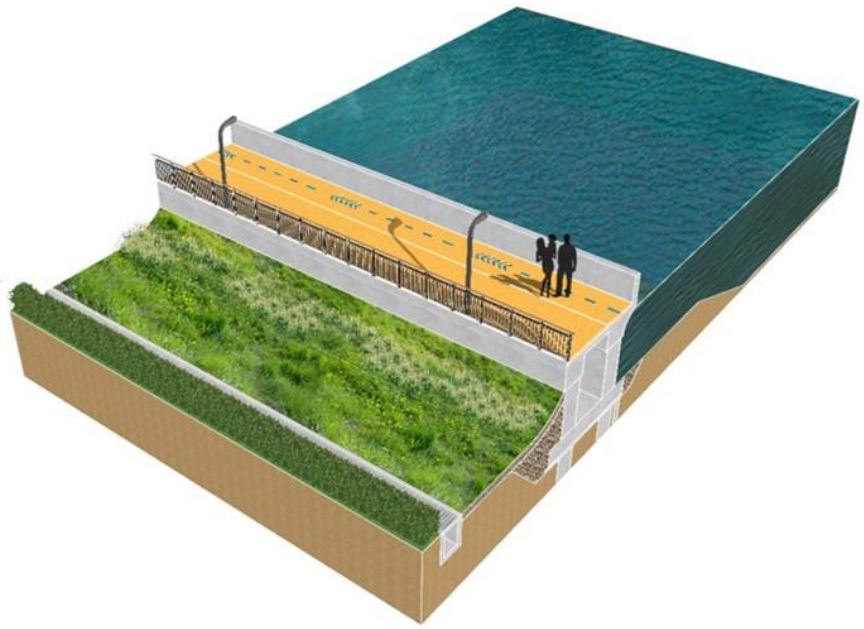


图 5.9-22　　桐浦塔山至澄头段坡面绿化图

5.9.4.2　节点绿化设计

现状植被调查中：适宜该滨水区栽植的植物品种较为丰富，筛选适生类植被为主的品种作为基调植物。

按照如下分类，并列为设计优先选择种类。

1．直立挡墙区域及立体绿化种类：常春藤、三角梅、多花蔷薇、迎春、常春油麻藤、小叶扶芳藤等；

2．湿生及水生植物：水葱、鸢尾、千屈菜、红蓼、莎草、芒草等；

3．台地及非水淹区域的种类：中华蚊母、双荚决明、夹竹桃、南天竹、火棘、金叶女贞、云锦杜鹃、金边瑞香等；

4．节点周边及活动区域植物种类：细叶萼距花、葡枝亮绿忍冬、金丝桃、五星花、细叶芒、粉黛乱子草、斑叶芒草等。

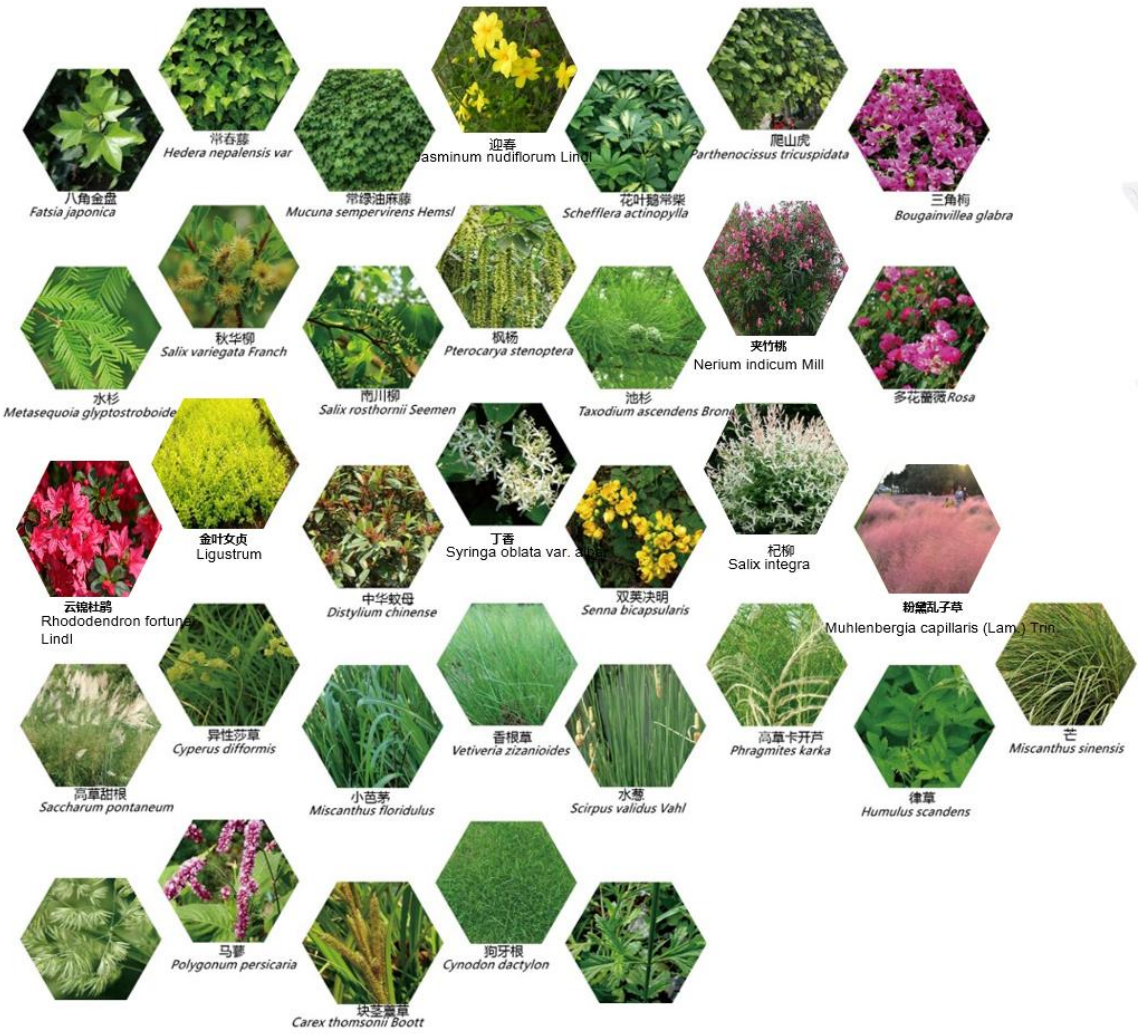


图 5.9-23　设计优先选择种类

在平阳坑、白莲段主要的景观节点处，选择观花、观叶、观果类的植物，进行合理搭配，构建稳定性强、层次丰富的植物群落。

图 5.9-24　植物配置

5.9.4.3　铺装设计

铺装景观既有适用性，又有观赏性，从视觉景观的形象和审美要求出发，形成有观赏价值的特色形式。所以，在材料、图案、色彩、平面构成形式、质感、尺度等方面进行了详细设计。

平阳坑段铺装色调：选用黑、白、灰色硬景材料，通过颜色及材料尺寸的渐变，以及材料的对比，体现出几何式、模块化构图。

白莲段铺装色调：选用彩色透水混凝土、EPDM 橡胶颗粒、灰色菠萝面马蹄石、荔枝面黄锈石等活泼、明媚的色彩搭配，并设置沙坑、彩色混凝土停车场等多样化铺装形式。

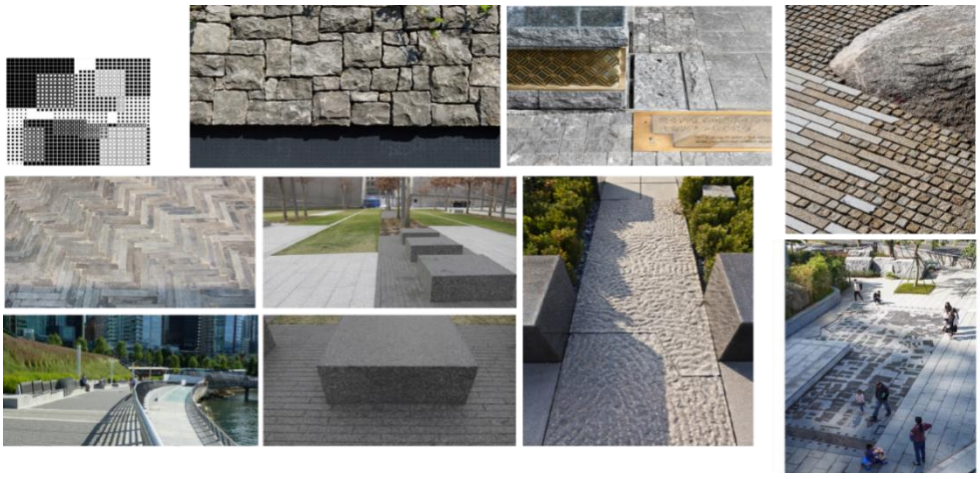


图 5.9-25　铺装样式

5.9.4.4 建筑设计

全线共设计二级驿站 4 座，分别位于平阳坑公园、白莲段的儿童活动广场、澄头段以及碧山段的节点位置。单体建筑面积为 130.87 m²；建筑高度为 6m，层数为 1 层，房间功能划分为：卫生间、饮水间、清洁间。

二级驿站的设计理念以“飞出莲花盛开，滩江碧岸荡舟”的寓意，对浙南传统建筑形式的转译，以坡屋面形态轻巧融入环境，立面形态上，将平阳坑镇活字印刷术的非物质文化植入片墙，以凹凸、尺寸的变化，赋予其雕塑的美感，结合彩色照明系统，为飞云江滨江生态廊道夜景增添一道靓丽的景色。

图 5.9-26　二级驿站效果

5.9.4.5 照明设计

飞云江沿岸设计范围内的照明系统，全线照明以基础功能性照明为主。平阳坑段突出和谐静谧的照明氛围，白莲段突出缤纷欢乐的照明氛围。平阳坑段以中低照度为主，采用暖色系的自然光和基础照明，动静结合；白莲段照明以高中照度为主，灯光颜色多彩绚丽，形式大气活泼。

图 5.9-27　照明设计

1.设计依据

《城市道路照明设计标准》CJJ45-2015；

《城市夜景照明设计规范》JGJ/163-2008；

《民用建筑电气设计规范》GB51348-2019；

《建筑照明设计标准》GB50034-2013；

《电力工程电缆设计规范》GB50217-2018；

《低压配电设计规范》GB50054-2011；

《城市道路照明工程施工及验收规程》CJJ89-2012；

国家其它相关设计规范、规程。

2 设计内容

本工程专项提升照明设计的主要内容为设计范围之内的人行步道、主要园路、广场、景观小品照明和喷灌用电的配电设计。

3 供配电系

（1）平阳坑段设置配电箱 6 个，白莲段设置配电箱 4 个。配电箱位置为靠近负荷中心就近放置，电源就近引沿岸市政电源箱变，电源到景观配电箱的电源主电缆规格型号见配电箱系统图。同时配电箱设置智能控制器设置手动/自动切换开关，启动/停止按钮，电源显示及运行状态显示。

（2）室外电力及照明配线采用 YJV22 电缆穿 PE 电缆护管敷设埋设在地面内，敷

设深度 0.7m。电缆防火满足相关国家及行业规范。

（3）尽量减少穿越各种管线、道路、水系和弱电电缆，满足电压损失。

（4）喷灌控制器的用电也就近取配电箱。

4 供配电系统

本工程专项提升照明采用庭院灯，草坪灯，LED 步道灯，LED 护栏灯等满足园路的基本照明；同时在广场节点设置庭院灯、高杆灯，铺装地面设置 LED 线型埋地灯、LED 台阶灯等装饰性照明。在保障附近居民生活、交通、夜晚活动的安全和方便的前提下，突出特定的景观元素，塑造出主次分明、重点突出的景观效果。

所有灯具均需选择 LED 光源的灯具；在保证照明效果的同时，应防止光污染的产生，将照明光线严格控制在被照区域内，超出被照区域的溢散光不应超出 15%。灯具防护等级不低于 IP65，埋地灯不低于 IP67，其中洪水位下设置的灯具防护等级应达到 IP68。

5 保护、计量

（1）保护

①室外照明各低压馈线回路均配置漏电保护器，漏电电流视线路的长度、负荷等情况整定，且每盏庭院灯、高杆灯、草坪灯、LED 步道灯、LED 线型埋地灯、LED 台阶灯、LED 护栏灯等均配置 30mA 漏电保护器，安装于检修孔。

②草坪灯、LED 步道灯、LED 线型埋地灯、LED 台阶灯、LED 护栏灯等均采用 DC24V 供电。

（2）计量

本工程专项提升照明采用高供低计，于景观照明箱变低压侧设置计量单元，具体依据当地供电公司的要求配置。

6 防雷及接地保护

（1）本工程低压配电系统接地形式为 TN-S 系统。配电箱处做重复接地（PE 线），接地电阻不大于 4 欧姆。在各配电装置处，电源引入处，灯具每隔 100m 处，远距离回路第一灯具处及末端灯具处均将 PE 线做重复接地。在配电柜外壳，骨架及非带电金属部分统一接地。灯具基础钢筋与接地极焊接，接地极埋深室外-1.0m 以下。

（2）庭院灯电缆的连接及分支应在灯座内进行，庭院灯座均安装保护熔断器，基础做法参见图集 03D702-3/65~68 接地。

（3）所有电气设备外壳及非带电体金属部分、PE 线、铠装电缆外皮均应可靠接地。

（4）本工程照明灯具、配套金属管线及水池金属构件均须做等电位联结。等电位

联结施工安装参照国家建筑标准设计图集《等电位联结安装》02D501-2 第 18 页。

（5）施工验收应遵照：《电气装置安装工程施工及验收规范》等进行。

7 节能

（1）本工程为 3 级负荷，供配电系统应简单、安全、可靠，分级要少而明确，保证供电质量，便于管理、便于维护、节约建设投资、减少运行时的电能损失。

（2）合理选择电缆和导线，配电箱位于负荷中心，计算中做到三相尽量平衡。

（3）照明系统：选择灯具时在满足灯具相关标准以及光强分布和眩光限制要求的前提下，应选择高效节能的灯具，末端补偿功率因数不小于 0.9。

平阳坑段照明工程量表

	名称	规格	单位	数量
电气工程量	土方开挖		m^3	542
	土方回填		m^3	488
	照明配电柜(箱)	非标箱，根据系统图定制	座	6
	庭院灯	AC220V 40W　LED 光源 H=3.5m	套	8
	草坪灯	AC220V 10W　节能灯 H=0.8M	套	64
	LED 步道灯	AC220V 2W　　LED 光源	套	27
	LED 线型嵌壁灯	DC24V 10W/m LED 光源	m	160.7
	LED 线型埋地灯	DC24V 6W/m LED 光源	m	109
	LED 护栏灯	DC24V 12W/M　LED 光源，结合栏杆，隐蔽安装	m	1839
	LED 线型台阶灯	DC24V 6W/M　LED 光源，结合台阶，隐蔽安装	m	85.5
	直流开关电源	输入：AC220V，输出：DC24V，400W，配保护箱体	组	87
	电缆	YJV22-3*10	m	981
		YJV22-(5X16)	m	1200
		YJV22-(5X35)	m	400
	PC 电缆套管	DN40	m	981
	PE 电缆套管	DN50	m	1200
	PE 电缆套管	DN66	m	401

白莲段照明工程量表

	名称	规格	单位	数量
电气工程量	土方开挖		m³	527
	土方回填		m³	474
	照明配电柜(箱)	非标箱，根据系统图定制	座	4
	草坪灯	AC220V 10W 节能灯 H=0.8M	套	64
	庭院灯	AC220V 40W LED 光源 H=3.5m	套	8
	高杆灯	AC220V 100W LED 光源; H=8M	套	10
	LED 线型埋地灯	DC24V 6W/m LED 光源	m	726
	LED 护栏灯	DC24V 10W/M LED 光源，结合栏杆，隐蔽安装	m	160
	LED 线型台阶灯	DC24V 6W/M LED 光源，结合台阶，隐蔽安装	m	190
	直流开关电源	输入：AC220V，输出：DC24V，400W，配保护箱体	组	35
	电缆	YJV22-3*6	m	354
		YJV22-3*10	m	1511
		YJV22-(5X16)	m	1000
	PC 电缆套管	DN25	m	354
	PC 电缆套管	DN40	m	1511
	PE 电缆套管	DN65	m	1000

5.9.4.6 喷灌设计

1 设计内容

专项提升灌溉工程是生态景观规划建设的重要组成部分，完善景观给排水工程对生态景观建设的保护、发展和旅游活动的开展具有决定性的作用。专项提升给排水工程的规划建设应满足工程的景观规划设计、植物生长、节水等方面的要求。

瑞安市飞云江二期工程喷灌设计主要为红线范围内的专项提升灌溉系统工程。

2 设计依据

《节水灌溉技术规范》GB/T 50363-2006；

《室外给水设计标准》（GB50013-2018）；

《室外排水设计标准》（GB50014-2022）；

《城镇供水长距离输水管（渠）道工程技术规程》（CECS193-2005）；

《给水排水管道工程施工及验收规范》（GB50268~2008）；

《给水排水设计手册》（第二版）；

《市政给水管道工程及附属设施》(07MS101)；

《埋地聚乙烯给水管道工程技术规程》(CJJ101-2016)；

《给水聚乙烯管材国家标准》(GBT13663-2000)；

《给水用聚乙烯（PE）管道系统第 2 部分：管材》(GB/T13633.2-2018)；

《埋地钢制管道聚乙烯防腐层技术标准》(SY/T0413-2017)；

其他有关现行使用规程、规范。

3 设计原则

（1）根据水环境治理工程统一要求，结合城市规划，考虑沿岸景观及绿化的需要，留有充分的发展余地。

（2）安全、适用、节水、节能、环境美化、人与自然和谐为目标。

（3）遵循绿地植物的耗水规律，保证各种植物正常生长；防止破坏绿地，损伤植物、损害人工造景物和附属设施的结构和外貌。

（4）做到工程设计合理、设备选择正确、施工安装简易、运行操作恰当、设备维护保养精心、灌溉用水科学、管理方便。

（5）市政管网取水的系统，不应影响市政管网对用水户的正常供水，并应保证水源不受污染。

4 灌溉系统设计

（1）灌溉形式的确定

灌溉指用水浇灌用地，主要包括喷灌、漫灌、滴灌、渗灌等方式。

喷灌是利用机械和动力设备将水通过管道送到位于地中的喷头中喷出，以雨滴状态降落田间的灌溉方法，具有节省水量、不破坏封结构、调节地面气候且不受地形限制等优点。有高压和低压的区别，也可以分为固定式和移动式。固定式喷头安装在固定的地方，主要用于需要美观的地方，如高尔夫球场、草地灌溉、公园绿地等。移动式喷灌是将喷头和水源用管子连接，使得喷头可以随着管子移动放出，也可以人工移动喷头。喷灌具有节水、省工、提高土地利用率、增产、适应性强等特点，景观绿化应用较为广泛。

瑞安市飞云江二期工程绿化灌溉系统是对场地内地被、灌木、乔木等植物进行浇灌，

本次设计对于地被植物采用地埋式喷头灌溉，同时绿地内安装一定数量的快速取水阀，以满足不同乔灌木的灌溉需求。

不同灌溉方法设计灌溉水利用系数不应小于表 5.9.4-1 规定值。

表 5.9.4-1　　灌溉水利用系数

喷灌、涌泉灌	微喷灌、小管出流灌	滴管
0.8	0.85	0.9

（2）灌溉水源的确定

根据瑞安市飞云江二期工程水系布设情况，在瑞安市飞云江二期工程的绿带每个滩区内设置一座灌溉泵站作为灌溉水源，以满足绿化灌溉的水源要求，尺寸为 L×B×H=2m×2m×2.0m（深度可以根据实际调整但不小于 1.0m），泵站为钢筋混凝土结构。

表 5.9.4-2　　各区段灌溉水源统计表

序号	河段	绿地面积（hm^2）（5 年一遇以上）	灌溉泵站（座）	备注
1	白莲段	104	2	
2	平阳坑段	30	1	

（3）灌溉水量的确定

根据《园林绿地灌溉工程技术规程》（CECS246:2008），灌溉系统设计流量可按公式(1-1)计算确定。

$$Qd=\frac{10AE_d}{c\eta} \quad (1\text{-}1)$$

式中 Qd：灌溉系统设计流量（m³/h）；

A：灌溉绿地面积（h ㎡）；

Ed：设计耗水强度（mm/d），（取 8 mm/d）；

C：灌溉系统日工作小时数；

η：灌溉水利用系数，取 0.8

由公示 1-1 得知，灌溉系统的设计流量与灌溉绿地面积、植物的设计耗水强度以及灌溉水利利用系数等有关。植物耗水强度是指单位时间消耗于植株蒸腾和课间蒸发的水量之和，又称之为植物的耗水率。不同植物的设计耗水强度参考值可参见表 5.9.4-3。

表 5.9.4-3　　喷灌系统植物设计耗水强度参考值　　（mm/d）

植物类别	乔木	灌木	冷季型草	暖季型草
耗水强度	——	4~7	5~8	3~8

注：——表示该植物不适用于喷灌浇灌

本次设计喷灌系统主要是针对瑞安市飞云江二期工程绿化范围内的地被及灌木进行浇灌，设计过程中要满足不同植被的用水需求，因此在选择植物耗水强度应按照上限选取，即 8mm/d。

根据《园林绿地灌溉工程技术规程》（CECS243:2008）的规定，喷灌系统的灌溉水利系数为 0.80。根据各区绿地面积和相关参数的选取，通过公式 1-1 可以计算出喷灌一次所需要的总水量。

喷灌系统的工作制度可分为续灌和轮灌。续灌是对系统内所有管道同时供水，其优点是灌水及时，运行时间短便于管理；缺点是干管管径大，造价高，设备利用率低。故该工作制度仅适用于绿地植物配置单一且面积较小的情况。轮灌是将各个支管系统分为若干喷灌组，每组包括一个或者多个阀门 ，喷灌时通过干管向各个支管轮流配水。

瑞安市飞云江二期工程绿化范围内喷灌面积较大，为了降低造价，采用轮灌系统，分区进行喷灌。

表 5.9.4-4 **各区段灌溉需水量统计表**

序号	滩区	灌溉面积（hm^2）（5 年一遇以上）	灌溉总需水量（m^3/h）	灌溉泵站（座）	流量（m^3/h）
1	白莲段	6.2	104	2	50
2	平阳坑段	2	30	1	30

（4）管径的确定

灌溉管道管径可由喷灌制度中最多开启喷头数量的水量来确定，管道的设计流速取 1.0~2.5m/s，本次设计取流速为 1.5m/s，灌溉主管管径为 De110，支管管径为 De63，支管上安装电磁阀控制喷头的开启，喷头所连支管采用 De50。

（5）管材及埋深

专项提升灌溉系统一般采用聚氯乙烯或聚乙烯等化学稳定性和耐腐蚀性强的管材，管道的敷设形式均随地形采用地埋式进行敷设，其中干管覆土不小于 1.1m，支管覆土不小于 0.7m；给水管穿车行道下设大 2 级的钢套管，套管两端各伸出道路 0.5m；根据现场种植、其它管线和地形情况，管道位置可做相应调整，同时在管道系统高凸和低凹处应设自动排气阀和泄水阀等管道附属设施。

（6）水泵扬程的确定

系统设计扬程应是最不利轮灌组工作时要求的水泵扬程，可按下列公式计算确

定。

$$H= Z_P-Z_b +h_0+\sum h_y+\sum h_z +h_s$$

式中 H----系统设计水头（m）；·

Z_P----最不利灌水区（或支管）出口高程（m）；

Z_b----灌溉泵站集水井口设计高程（m）；

h_0----最不利灌水小区（或支管）喷头设计水头（m）；

$\sum h_y$ ----系统进口至最不利灌水区（或支管）进口的管道沿程水头之和（m）；

$\sum h_z$----系统进口至最不利灌水区（或支管）进口的管道局部水头损失之和（m）；

h_s----系统安全水头（取 2m）

根据所选择喷头的型号，喷头的工作设计水头为 0.2MPa，即 h0=20m，最不利灌水区与灌溉泵站集水井口设计高程为 5-11.5m。

灌溉水源泵站尽量由中心向四周敷设管道，主管管径采用 De110，流量 30-50m³/h，根据海曾威廉公式

$$hy=\frac{10.67\times Q^{1.852}\times \mathrm{L}}{C^{1.852}\times D^{4.87}}$$

式中： h_y----压力流管道沿程水头损失（m）

Q----流量（m³/h）

L----管道长度（m）

C----海曾威廉系数 （塑料管取 150）

D----管道直径（m）

根据上述公式计算每段管道的沿程水头损失，管道的局部水头损失按沿程水头损失的 10%取定。

根据上述公式可计算各区各个水泵的扬程、流量及电机功率，详见下表：

表 5.9.4-5　　各灌溉系统泵站潜水泵参数表

序号	滩区	水泵流量（m³/h）	水泵扬程（m）	电机功率（kW）	备注
1	白莲段	50	50	18.5	
2	平阳坑段	30	50	15	

（7）喷头选择及布置

喷头种类很多，每种喷头都有自己特有的使用范围，选择喷头时，应考虑以下一

些因素：

- 用户对喷头形式的要求
- 灌区大小和地形
- 植物类型
- 现有水压和流量
- 当地环境条件（风、温度和降雨量）
- 土壤类型和入渗率
- 喷头的一致性

由于瑞安市飞云江二期工程喷灌区域是面积较大地带，首先考虑使用矩形喷洒范围的喷头，有利于降低造价。喷头采用旋转喷头,工作压力 0.2Mpa，射程 10.1m，全圆流量 0.7m³/h，旋转散射喷头,工作压力 0.2Mpa，射程 5m，全圆流量 1.07m³/h 多射线抗风技术，喷灌强度 8mm/h，喷头形式采用地藏式。

喷灌系统中喷头的布置包括喷头的组合形式、喷头沿支管上的间距及支管间距等，喷头布置的合理与否，直接关系到整个系统的灌水质量。喷头的组合形式主要有矩形、三形等形式，矩形组合适用于地形规则、平整的绿地，优点是设计简单，容易布置，但抗风能力差；菱形组合适用于地形不规则、起伏较大的绿地。这种形式抗风能力强，喷洒均匀度高，而且喷头数量较少，节省投资。

图 5.9-28　散射型喷头和旋转喷头

喷灌的工作制度采用轮灌制度，根据供水量及喷头的布置形式确定这些喷头所覆盖的有效喷灌范围作为一个灌区。每一个灌区采用电磁阀智能控制，电磁阀箱内安设可编

程的解码器系统，解码器通过线缆与智能控制器相连，控制器可通过有线及无线遥控器控制，可实现现场实时控制灌溉系统的运行。

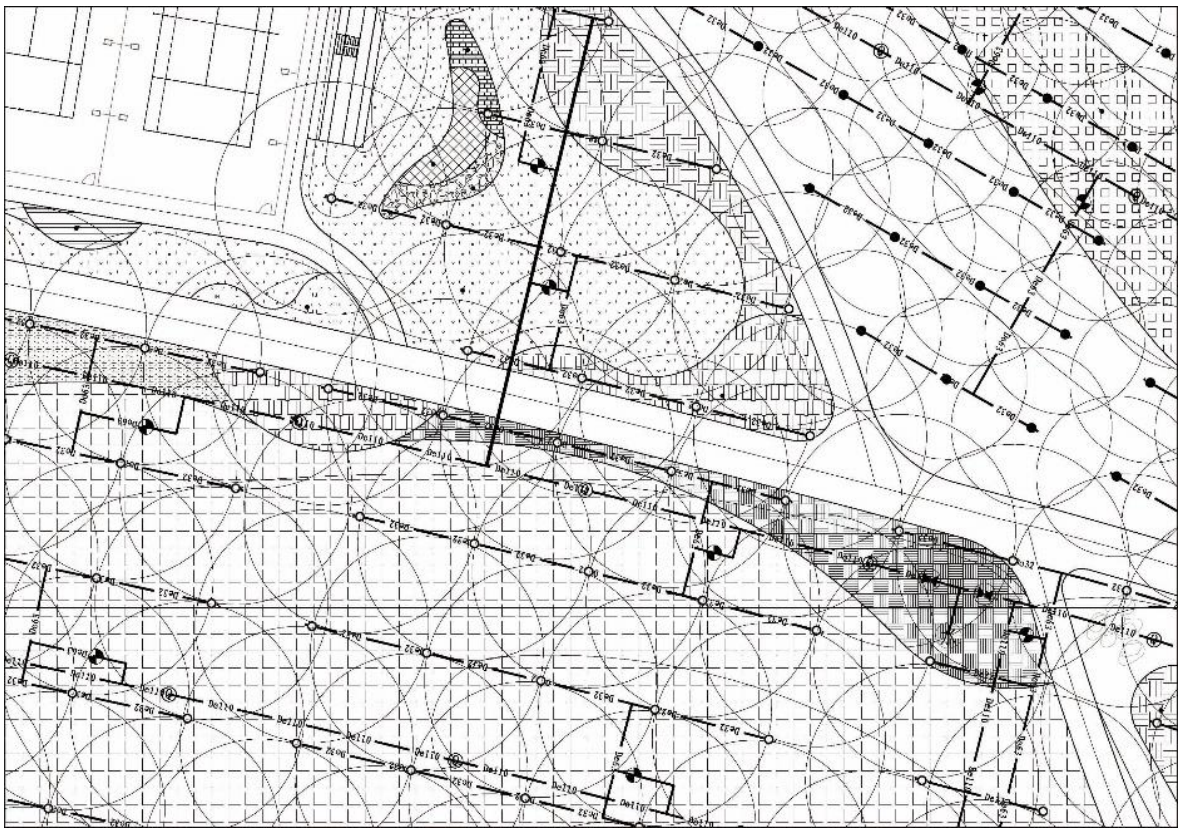


图 5.9-29　喷灌系统布置典型图

白莲段喷灌工程量表

序号	名 称	规 格	数 量	单 位	备 注
	喷灌系统				
1	土方开挖		1260	m^3	
2	土方回填		1134	m^3	
3	快速取水阀	浇灌半径 30m	111	个	配圆形阀箱
4	主管检修阀门井	φ1200 砖砌阀门井,深度 1.5m,配树脂井盖	10	个	
5	主管泄水阀	De50,PN1.0MPa	6	个	配相应阀井
6	主管进排气阀	De40,PN1.0MPa	8	个	配相应阀箱
7	电磁阀	De63	24	套	
8	解码器		24	个	
9	电磁阀阀箱		24	个	
10	解码器控制电线	2.5 平方毫米双芯带铠电缆	2500	m	
11	旋转喷头	射程:R=10.1m,喷洒流量:Q=0.35m^3/h	193	套	

序号	名 称	规 格	数 量	单 位	备 注
12	PE100 级聚乙烯管	De50，PN1.0MPa	1420	m	
13	PE100 级聚乙烯管	De63，PN1.0MPa	1240	m	
14	PE100 级聚乙烯管	De110，PN1.0MPa	3330	m	
15	潜水排污泵	流量：50m³/h，扬程：50m 功率：18.5kw	2	台	
16	泵站	2x2x2m,钢筋混凝土结构	2	座	
17	水泵电缆线	YJV22-(5X35) PE65-FC	1200	m	

平阳坑段喷灌工程量表

序号	名 称	规 格	数 量	单 位	备 注
	喷灌系统				
1	土方开挖		800	m³	
2	土方回填		720	m³	
3	快速取水阀	浇灌半径 30m	45	个	配圆形阀箱
4	主管检修阀门井	φ1200 砖砌阀门井,深度 1.5m,配树脂井盖	8	个	
5	主管泄水阀	De50,PN1.0MPa	6	个	配相应阀井
6	主管进排气阀	De40,PN1.0MPa	8	个	配相应阀箱
7	电磁阀	De63	9	套	
8	解码器		9	个	
9	电磁阀阀箱		9	个	
10	解码器控制电线	2.5 平方毫米双芯带铠电缆	800	m	
11	旋转喷头	射程:R=10.1m,喷洒流量:Q=0.35m³/h	31	套	
12	旋转散射喷头	射程:R=5m,喷洒流量:Q=1.07m³/h	53	套	
13	PE100 级聚乙烯管	De50，PN1.0MPa	475	m	
14	PE100 级聚乙烯管	De63，PN1.0MPa	158	m	
15	PE100 级聚乙烯管	De110，PN1.0MPa	1259	m	
16	潜水排污泵	流量：50m³/h，扬程：50m 功率：18.5kw	1	台	
17	泵站	2x2x2m,钢筋混凝土结构	1	座	
18	水泵电缆线	YJV22-(5X25) PE65-FC	800	m	

5.9.4.7　标识系统设计

根据不同区域的设计风格，打造独特的标识系统。以特色的造型与材质，凸显飞云江沿岸的标识形象。以分区特色与设计理念，强化地域性特色；以导向系统辅助内涵与视觉丰富的“飞云江”品牌宣传。

共设置标识牌 67 个，标识系统由“区域导览、方向指引、资源解说、公告警示”四级标识类型构成，提取飞云江水脉蓝色元素，通过各级标识特色，采用蓝灰色铝板不同样式进行组合搭配，打造飞云江特色的标识系统。

标识系统内容分为四类：

1.一级-区域导览标识：5 个。位于各分区主要开放节点出入口处，主要为各个分区主要内容进行讲解，包括整体空间布局及游客所处位置。

2.二级-方向引导标识：26 个，主要设置在场地内道路主要出入口和多个道路交叉处，最大间距不大于 150m，引导游人通达至各个位置。

3.三级-资源解说标识：16 个，位于全段重要的景点处，包括对全段主要景点及文化资源、特色植物的简介、概况。

4.四级-警示标识：20 个，位于水边、台阶、挡墙等需要公告及警示的位置，主要对具有危险性的地点通过标识予以警示。

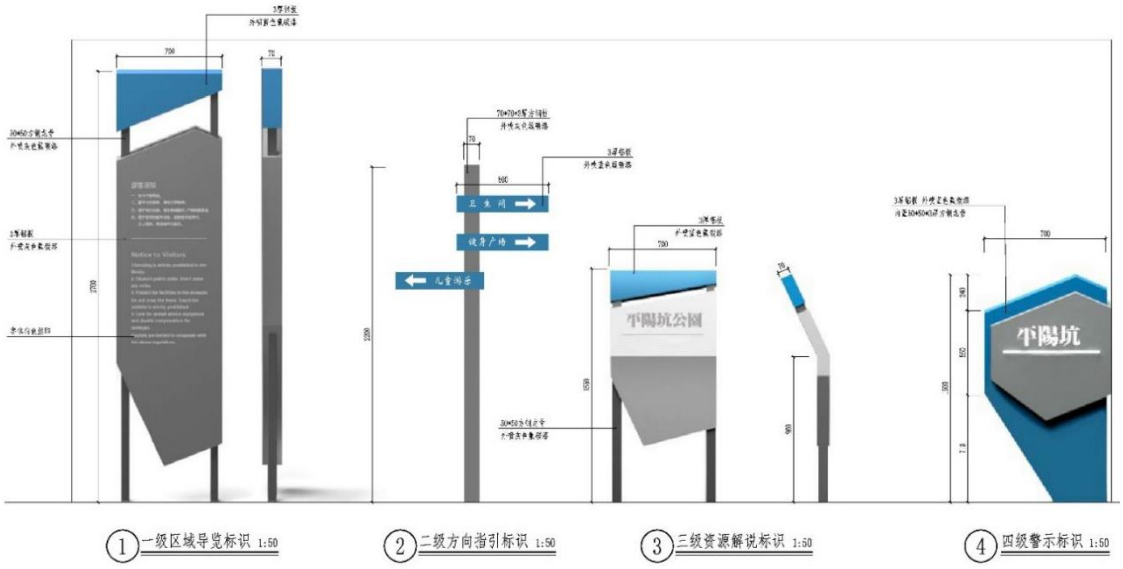


图 5.9-30　　标识系统设计

5.10 建筑设计

5.10.1 设计理念

1.人性化

本项目基于真实活动需求打造空间，在保证基本服务功能的基础上，强化建筑空间与游客活动的关联，围绕老人、儿童、残疾人、成人等不同人群的不同需求展开设计，最终满足使用者的“生理与心理”层次的需求，体现“以人为本”的设计理念。

2.在地性

基于飞云江滨河生态廊道所特有的自然和人文风光，建筑的“在地性”格外凸显。作为具备公共属性的管理房、二级驿站、闸站等建筑，应重视与环境的共生，与景观、河道共同形成大地景观。方案因地制宜，将自然意向融入建筑形式，整个建筑同周围环境相互融合，隐于风景，融于风景，创造建筑与自然环境、空间一体化的自然景观。

3.美观性

本项目的建筑设计在满足安全、实用、卫生、方便、经济的同时，注重美观性。在满足基本功能的基础上，灵活运用艺术创新使服务建筑既不拘泥于传统手法又有所突破创新，以此来适应时代和社会文化不断地进步，将历史性语境艺术化的同时，与自然景观融合，与当代审美契合。

5.10.2 总体规划设计

1.工程概况

瑞安市飞云江治理二期工程位于浙江省温州瑞安境内，整治范围自平阳坑至铁路桥，根据以防洪为主，结合排涝的工程任务要求，按照分片设防的原则，共布置 6 段堤防，分别为平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段及潘岱白莲段，新建堤防 21.77 公里。根据工程要求，新建管理房 1 处，面积 1000 ㎡，便民服务点（二级驿站）4 处，每处 130.87 ㎡，防汛物资储备仓库 5 处，每处 79.50 ㎡，新建水闸 30 座。

2.建筑设计概况

（1）管理房

新建管理用房 1 处，位置在平阳坑段堤防的征地红线范围内，桩号 1+332，建筑面积 1000 ㎡。

（2）二级驿站

本工程配套便民服务建筑设计主要内容为 4 座二级驿站，每处 130.87 ㎡，位于浙江省瑞安市境内的飞云江中下游的城市公共绿地内，主要用于公共卫生间、便利店、休憩等使用。其中，公共绿地内卫生间数量规划标准按照《城市环境卫生设施规划标准》（GB/T50337-2018）服务半径确定；卫生间等级依据《城市公共厕所设计标准》（CJJ14-2016）确定，以及《公园设计规范》(GB51192-2016)总厕位量来复核是否满足城市公共绿地的使用要求。

根据《城市环境卫生设施规划标准》（GB/T50337-2018）设置标准对卫生间服务半径的规定，同时综合考虑人口密度及城市周边环境，本工程二级驿站卫生间服务半径 250m，由于全段部分地区马屿镇梅屿段及陶山镇荆谷段人流较小，所以将局部服务半径调整为 300m~500m。

根据《城市公共厕所设计标准》(CJJ14-2016)，公园绿地内所有独立公共卫生间按照二类标准建设，布置管理间及独立无障碍卫生间等。本工程的二级驿站规模均为 130.87 ㎡。

根据《公园设计规范》（GB51192-2016），综合公园人口密度为 30-60 ㎡/人，可计算得出人口数量；按人口数的 2%来推算需要的总厕位，结合本工程的厕位量和独立卫生间厕位量来复核是否满足要求。

综上所述，本工程二级驿站卫生间个数计算过程如下：

1）计算二级驿站卫生间个数

根据服务半径 250m 在图上画出辐射圈，计算得出需要布置 7 个卫生间，由于部分用地位于郊区，人流量较少，结合现状条件进行删减，最终确定为设置 4 个卫生间。

2）计算总人数

根据《公园设计规范》（GB51192-2016），取公园人口密度为 60 ㎡/人，可计算得出各区段人口数量 P=本工程陆地总面积/60=179580/60≈2993 人。

3）计算总厕位数

根据《公园设计规范》（GB51192-2016），可计算得出总厕位数数量 M=P*2%=2993*2%≈60（包含小便器）；

4）计算每个二级驿站内卫生间厕位数

每个二级驿站内厕位数=60/4≈15，按照男女比例 1:1.5，男厕位 6 个（包含小便位），女厕 9 个。

因此每处二级驿站内卫生间不小于以上计算所得厕位数量，总建筑面积 130.87 ㎡，

含男厕位 7 个（包含小便位），女厕位 10 个。

平阳坑段便民服务点（二级驿站）位于桩号 PYK2+035 处，平阳坑公园旁；碧山段便民服务点（二级驿站）位于桩号 BS5+372 处，渡头水闸旁边，该处征地红线范围较大，也设置了防汛仓库；桐浦镇塔山至澄头段便民服务点（二级驿站）位于桩号 A0+460 处，洲渎村老协活动中心对面。白莲段便民服务点（二级驿站）位于桩号 BL1+644 处。4 处便民服务点（二级驿站）均位于征地红线范围内。

（3）闸站

新建闸站 30 处，根据堤防的不同要求及水闸孔洞及闸宽的不同，分为 7 种不同的类型。其中，1 孔×3 米宽水闸 14 座，1 孔×4 米宽水闸 3 座，1 孔×5 米宽水闸 1 座，2 孔×3 米宽水闸 6 座，2 孔×4 米宽水闸 1 座，3 孔×4 米宽水闸 2 座，3 孔×5 米宽水闸 3 座，共计 30 座新建闸站。具体位置详见表 1.5.3。

（4）仓库

新建防汛仓库 5 处，每处 79.50 ㎡。

平阳坑段防汛仓库位于桩号 PYK1+332，管理房旁边；马屿镇梅屿段防汛仓库位于桩号 MY2+631 处；陶山镇荆谷段防汛仓库位于桩号 JG1+770 处，七甲水闸旁边；璧山段防汛仓库位于桩号 BS5+342 处，渡头水闸旁边；白莲段防汛仓库位于桩号 BL0+047 处，下弯水闸旁边。5 处防汛仓库均位于征地红线范围内。

表 5.10-1　　**建筑设计要素表**

建筑名称		平面尺寸		层数	建筑总高度（m）	占地面积（㎡）	建筑面积（㎡）	备注
		长（m）	宽（m）					
闸房	一孔水闸1*5	14.90	10.00	3	14.10	151.0	391.48	1座
	一孔水闸1*4	13.90	10.00	3	14.10	140.92	370.76	3座
	一孔水闸1*3	12.90	10.00	3	14.10	130.84	350.04	14座
	二孔水闸2*3	21.80	10.00	3	14.00	220.55	577.78	6座
	二孔水闸2*4	23.80	10.00	3	14.00	238.00	619.22	1座
	三孔水闸3*4	29.20	10.00	3	14.00	295.14	713.36	2座
	三孔水闸3*5	32.20	10.00	3	14.00	322.00	793.52	3座
	管理房	36.90	21．00	2	11.75	536.50	1000	1座
	二级驿站	21.40	9.54	1	6.30	130.87	130.87	4座
	仓库	12.24	7.24	1	6.50	79.50	79.50	5座

5.10.3 建筑方案设计

5.10.3.1 管理房

（1）建筑概况

管理房建筑位于平阳坑镇，用于飞云江防洪防汛指挥及办公，主要功能：办公室、调度中心、会商中心、档案室、值班室、配电间、食堂、卫生间等。建筑整体二层，总建筑面积约为 1000 ㎡，占地面积约为 536.50 ㎡；建筑室外地坪至屋顶最高点标高11.550m。

本建筑物高度不大于 24.00 米，属于多层办公建筑，框架结构，建筑设计使用年限 50 年。建筑耐火等级为二级。屋面防水等级为I级。

（2）场地关系

本项目管理房位于平阳坑镇主街道，北邻飞云江河道，南靠平阳坑历史街区，场地地势平坦，周边建筑多为仿古式建筑，建筑形式为坡屋顶，部分房屋为木质建筑。如何将建筑与古色古香的平阳坑镇相结合，在充分融入平阳坑镇历史文化的基础上展现现代的科技与发展，是设计的关键所在。

在管理房的设计中，充分利用场地的有利地形，北邻飞云江河道，南靠平阳坑历史街区，摒弃传统设计仅有单个立面造型的方法，打造双面的建筑景观特色。屋顶采用坡屋面与平屋面相结合的方式，更好的与周边传统建筑融为一体，立面设计中采用大面积玻璃幕墙，增加建筑的通透感与现代感，在不影响建筑使用功能的同时增加了观景体验，向北远眺滚滚而去的飞云江，向南远望高山与古镇。

（3）平面布局

设计充分考虑建筑与周边建筑、景观地形的结合，由于地处城镇，用地较为紧张，平面以矩形为基本形态，采用局部凹凸的设计手法，结合建筑主要使用功能，以相对自由的状态介入环境。

功能布局简洁明确，以南向为主出入口面向平阳坑镇主街区。整体建筑分为两层，一层主要功能为中部设置门厅，为建筑的主要出入口。门厅东侧设置传达室、值班室及厨房餐厅，西侧为办公室、配电室、机房、卫生间等辅助用房。二楼东侧设置办公室、档案室及会商中心，西侧设置调度中心及办公室、卫生间等房间。整体布置紧凑和谐，不同功能分区均设置独立出入口，功能流线相对独立。

（4）竖向设计

本工程为地上 2 层，屋面为坡屋面与平屋面相结合，建筑总高 11.550m，其中坡屋面部分总高 11.550m，平屋面部分高度为 9.35m。室内外高差 0.45m。

（5）立面设计

建筑立面的设计中，充分考虑周边环境与建筑特色，屋顶采用坡屋面与平屋面相结合的方式，更好的与周边传统建筑融为一体，立面设计中采用大面积玻璃幕墙，增加建筑的通透感与现代感，在不影响建筑使用功能的同时增加了观景体验，向北远眺滚滚而去的飞云江，向南远望高山与古镇。

（6）消防设计

管理房建筑面积 1000 ㎡，耐火等级为二级，整个建筑为一个防火分区，防火分区面积小于 2500 ㎡；安全出口的数量满足规范要求；房间疏散门至最近安全出口的直线距离不大于 22m，满足消防疏散要求。

（7）无障碍设计

本建筑内的无障碍按照《无障碍设计规范》（GB50763-2012）设计。

无障碍设计内容包括：

建筑物出入口及无障碍门：建筑物无障碍出入口室内外高差为 15mm 并以抹坡过渡。

轮椅坡道：主入口均设置无障碍轮椅坡道，坡度为 1/12，坡道净宽不小于 1.2 米，两侧设置连贯的扶手，并设置无障碍标志作为引导。

无障碍标志：建筑出入口、通道等无障碍设施的位置及走向应设置符合规范要求的无障碍标志。

5.10.3.2 二级驿站

（1）建筑概况

二级驿站建筑全段共计 4 座，主要功能：女卫生间、男卫生间、无障碍卫生间、管理房、便利店等。整体一层，总建筑面积 130.87 ㎡；建筑高度 6.30m。

本建筑物高度不大于 24.00 米，属于单层公共建筑，框架结构，建筑设计使用年限 50 年。建筑耐火等级为二级。屋面防水等级为I级。

（2）场地关系

本项目二级驿站位于飞云江生态廊道范围内，如何增强城市空间-滨江绿地-沿江空间之间的过渡，提升滨江界面与城市形象，是设计面临的重要问题。二级驿站作为便民服务场所，除其固有的功能属性，承担着游客歇脚的中转站作用，还是向游客传递瑞安

记忆底蕴的重要载体。

设计对形体进行扭转处理，曲折变化的坡屋面通过片墙与大地景观融合，延展的大屋檐下，游客、活动、空间、自然的交互在这里徐徐拉开序幕，空间由室内过渡至室外，与现状的建筑、景观共同在水平方向上描绘出“飞出莲花盛开，滩江碧岸荡舟”诗意的山水画卷。

（4）平面布局

设计充分考虑建筑与周边景观地形的结合，由于用地较为紧张，平面以矩形为基本形态，并进行线形扭转，从而以相对自由的状态介入环境。

功能布局简洁明确，二级驿站建筑正立面设置卫生间主出入口，无障碍卫生间出入口、管理人员出入口及便利店出入口分设在建筑的两侧，功能流线相对独立。考虑驿站的服务属性，结合人的游玩习惯，将功能空间与休憩空间相结合，通过屋檐的出挑、形体灰空间的处理满足游客停留、休憩的同时充分感受飞云江自然景观之美。

（5）竖向设计

本工程为地上 1 层，屋面为平屋面，建筑总高 6.30m，室内外高差 0.30m。

（6）立面设计

方案基于场所，在满足游客服务功能的基础上，赋予建筑场所感，并融入专属于瑞安的记忆。整个建筑采用立体构成的手法，通过对浙南传统建筑形式进行转译，以坡屋面造型轻巧介入环境，屋面起伏的轮廓勾勒出与浙南水乡相融的天际线。立面形态上，将瑞安活字印刷术的非物质文化植入片墙，以凹凸、尺寸的变化，赋予其雕塑的美感，结合彩色照明系统，为飞云江滨江生态廊道夜景增添一道靓丽的印记。

（7）消防设计

二级驿站建筑面积 130.87 ㎡，耐火等级为二级，整个建筑为一个防火分区，防火分区面积小于 2500 ㎡；安全出口的数量满足规范要求；房间疏散门至最近安全出口的直线距离不大于 22m，满足消防疏散要求。

（8）无障碍设计

本建筑内的无障碍按照《无障碍设计规范》（GB50763-2012）设计。

无障碍设计内容包括：

建筑物出入口及无障碍门：建筑物无障碍出入口室内外高差为 15mm 并以抹坡过渡。

轮椅坡道：主入口均设置无障碍轮椅坡道，坡度为 1/12，坡道净宽不小于 1.2 米，

两侧设置连贯的扶手，并设置无障碍标志作为引导。

无障碍卫生间：用水房间低于走道地坪 15mm，以缓坡过渡，地面采用防滑地面，无障碍卫生间的门采用平开无障碍门，净宽不小于 0.8m。

无障碍标志：建筑出入口、通道、厕所等无障碍设施的位置及走向应设置符合规范要求的无障碍标志。

5.10.3.3 闸站

（1）建筑概况

新建闸站 30 处，根据堤防的不同要求及水闸孔洞及闸宽的不同，分为 7 种 不同的类型。主要功能包括：检修平台、启闭机室、配电间、柴油发电机房、工具间等。

表 5.10-1　　水闸上部结构设计要素表

建筑名称		平面尺寸		层数	建筑总高度（m）	占地面积（m^2）	建筑面积（m^2）	备注
		长（m）	宽（m）					
闸房	一孔水闸1*5	14.90	10.00	3	14.10	151.0	391.48	1座
	一孔水闸1*4	13.90	10.00	3	14.10	140.92	370.76	3座
	一孔水闸1*3	12.90	10.00	3	14.10	130.84	350.04	14座
	二孔水闸2*3	21.80	10.00	3	14.00	220.55	577.78	6座
	二孔水闸2*4	23.80	10.00	3	14.00	238.00	619.22	1座
	三孔水闸3*4	29.20	10.00	3	14.00	295.14	713.36	2座
	三孔水闸3*5	32.20	10.00	3	14.00	322.00	793.52	3座

本建筑物高度不大于 24.00 米，属于单层工业建筑，框架结构，建筑设计使用年限 50 年。建筑耐火等级为二级。屋面防水等级为I级。

（2）场地关系

闸站建筑位于水闸构筑物之上，沿飞云江布置。经实地考察，水闸位置多为乡野，乡土气息浓郁。上部建筑充分提炼周边环境及传统民居建筑风格，并与水闸本身功能要求相结合，采用传统坡屋顶的屋面形式，青砖白墙，自然的生长在田野之间。

（3）平面布局

设计充分考虑建筑与周边水闸地形的结合，坐落在水闸基础之上，由于用地较为紧张，平面以矩形为基本形态。

功能布局简洁明确，建筑整体三层。一层功能包括检修平台、配电间、柴油发电机房（一孔闸站不设柴油发电机房）楼梯间等；二层检修平台部分通高，其余工具间、楼

梯间；三层建筑主要为启闭机室，外走廊。

闸站建筑充分结合地形，一层部分出入口向内收缩，既能避开堤顶平台不影响交通，又能与周边乡土建筑融为一体。

（4）立面设计

闸站建筑共三层，立面设计中建筑采用坡屋面设计，外立面采用白色+灰色真石漆。辅以开窗及装饰构件共同构成了闸站建筑的立面。

（5）消防设计

闸站建筑最大面积为 793.52 ㎡，耐火等级为二级，位丁类工业建筑，整个建筑为一个防火分区，防火分区面积不限，安全出口的数量满足规范要求；房间疏散门至最近安全出口的直线距离不限，满足消防疏散要求；三层设置两个消防救援窗，满足消防疏散要求。

5.10.3.4 仓库

（1）建筑概况

新建防汛仓库 5 处，每处 79.50 ㎡。主要功能为仓储，储备防汛救援物资。

本建筑物高度 6.5 米，属于单层工业建筑，框架结构，建筑设计使用年限 50 年。建筑耐火等级为二级。屋面防水等级为I级。

（2）场地关系

平阳坑段防汛仓库位于桩号 PYK1+332，管理房旁边；马屿镇梅屿段防汛仓库位于桩号 MY2+631 处；陶山镇荆谷段防汛仓库位于桩号 JG1+770 处，七甲水闸旁边；璧山段防汛仓库位于桩号 BS5+342 处，渡头水闸旁边；白莲段防汛仓库位于桩号 BL0+047 处，下弯水闸旁边。5 处防汛仓库均位于征地红线范围内。

（3）平面布局

仓库建筑为矩形，主要功能为仓储，设置有 1.5m×2.1m 的大门，建筑整体长为 12.24m，宽为 7.24m。

（4）立面设计

仓库建筑采用坡屋面设计，外立面采用白色真石漆+装饰构件的形式，装饰构件为浅灰色真石漆装饰。

（5）消防设计

闸站建筑最大面积为 79.50 ㎡，耐火等级为二级，整个建筑为一个防火分区，防火分区面积小于 2500 ㎡；安全出口的数量满足规范要求；房间疏散门至最近安全出口的

直线距离不大于 22m，满足消防疏散要求。

（6）无障碍设计

仓库建筑需运送防汛救援物资，设置坡道：主入口均设置无障碍坡道，坡度为 1/10，坡道净宽不小于 1.2 米，方便运送物资。

5.10.4 建筑采暖通风与空气调节

本项目的工程地点位于浙江省瑞安市，属于夏热冬冷气候区，冬季干燥寒冷、夏季湿润多雨。本项设计将根据当地的气候特征和室内环境营造要求，为该厂区内所有需要制冷通风的场所提供局部或总体实施方案。

5.10.4.1 设计依据

（1）《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50019-2015；

（2）《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012；

（3）《工业建筑节能设计统一标准》GB51245-2017；

（4）《建筑设计防火规范》GB50016-2014（2018 版）；

（5）《建筑防烟排烟系统技术标准》GB51251-2017；

（6）《水电工程设计防火规范》GB50872-2014；

（7）《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015；

5.10.4.2 室外空气计算参数

本工程暖通按以下气象参数进行设计。

冬季室外气象参数：

供暖室外计算温度：3.4℃；

冬季通风室外计算温度：8℃；

冬季空气调节室外计算温度：1.4℃；

冬季空气调节室外计算相对湿度：76%；

冬季室外平均风速：1.8m/s；

冬季最多风向：C、NW；

冬季室外最多风向的平均风速：2.9m/s；

年最多风向：C、SW；

年最多风向的频率：31%、13%；

极端最低气温：-3.9℃；

冬季室外大气压力：1023.7hPa。

夏季室外气象参数：

夏季通风室外计算温度：31.5℃；

夏季通风室外计算相对湿度：72%；

夏季空气调节室外计算干球温度：33.8℃；

夏季空气调节室外计算湿球温度：28.3℃；

夏季室外平均风速：2.0m/s；

夏季最多风向：C、ESE；

夏季室外最多风向的平均风速：3.4m/s；

极端最高气温：39.6℃；

夏季室外大气压力：100.70hPa。

5.10.4.3 室内空气计算参数

本项目涉及的各房间冬季、夏季室内供暖设计计算温湿度见表：

表 5.10-3 各房间冬季、夏季室内采暖温湿度表

房间名称	冬季		夏季	
	室内计算干球温度	室内计算相对湿度	室内计算干球温度	室内计算相对湿度
会商中心	18~20℃	不规定	25~28℃	不规定
办公室	18~20℃	不规定	25~28℃	不规定
值班室	18~20℃	不规定	25~28℃	不规定
调度中心	18~20℃	不规定	25~28℃	不规定
机修间	≤33℃	不规定	≥5℃	不规定
闸　房	≤33℃	不规定	≥5℃	不规定
配电室	≤33℃	不规定	≥5℃	不规定

5.10.4.4 采暖通风与空气调节设计方案

（1）采暖

该工程所处地区属于夏热冬冷地区，全年日平均温度小于 8℃的时间从 1 月 10 日至 2 月 11 日，供暖时间短，近半年时间都需要制冷，因制冷系统的节能设计对工程建筑的节能降耗极为重要。根据本工程所处区域气候条件、冷源条件、房间人员数量，推荐采用节能型分体式空调实现制冷、保障室内热环境。

（2）通风

通风系统涉及的区域包括：闸站、配电室、柴油发电机房、卫生间等。

针对该地区气候特点，整个闸房采用自然进风、机械排风联合的通风方式。

闸房外墙上设置轴流式排风机，将机器运行过程中废热和废气直接排出室外。换气次数为 8 次/小时。

电气房间采用自然进风、机械排风的通风方式将室内热量排出室外，新鲜、凉爽的空气在排风机的作用下，通过侧墙上的进风口进入房间，吸收热量后，通过排风机最终排至室外。换气次数不小于 12 次/时。

（3）建筑防、排烟

1、厂区所有建筑进行合理排烟分区划分，尽量采用自然排烟措施，对于自然排烟不能满足要求的排烟分区设置机械排烟系统，排烟系统设常闭型多叶排烟口，并与排烟风机联锁。发生火灾时可现场手动开启排烟口或由消防控制中心远程开启排烟口，排烟风机联锁启动。当火灾烟气温度超过 280℃时，该防烟分区的排烟口关闭，当排烟风机服务的所有排烟分区排烟口都处于关闭状态，联锁关闭排烟风机。

2、排烟系统排烟管的耐火极限不应小于 1h，排烟管应用不燃材料防火隔热，与可燃物保持不小于 150mm 距离。

3、消防排烟风机入口的排烟管道处设 280℃关闭的排烟防火阀。风机与入口处排烟防火阀连锁，排烟防火阀均有电信号引至消防值班室。

4、用于消防的排烟风机，除室外安装外，并要求在 280℃下连续运行不小于 30min，与之相接的软连接也应能在 280℃温度下连续工作不小于 30min。

5、排烟、供暖、建筑内的其他管道，在穿越防火隔墙、楼板和防火墙处的孔隙应采用防火封堵材料封堵。

5.10.4.5 采暖通风与空气调节主要设备

表 5.10-4 一孔水闸 1*3 采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	T35-11 No.4 Q=3250m3/h P=131Pa n=1450 r/min N=0.25kW 噪音69dB(A) 重量28kg	成品	1	台
2	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	1	台

表 5.10-5 一孔水闸 1*4 采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	T35-11 No.4 Q=4300m3/h P=125Pa n=1450 r/min N=0.25kW 噪音69dB(A) 重量28kg	成品	3	台
2	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	3	台

表 5.10-6　　一孔水闸 1*5 采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	T35-11 No.4 Q=4500m3/h P=122Pa n=1450 r/min N=0.25kW 噪音69dB(A) 重量28kg	成品	14	台
2	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	14	台

表 5.10-7　　二孔水闸 2*3 采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	T35-11 No.4.5 Q=5900m3/h P=125Pa n=1450 r/min N=0.37kW 噪音70dB(A) 重量31kg	成品	6	台
2	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	12	台

表 5.10-8　　二孔水闸 2*4 采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	T35-11 No.5 Q=7800m3/h P=160Pa n=1450 r/min N=0.55kW 噪音73dB(A) 重量41kg	成品	1	台
2	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	2	台

表 5.10-9　　三孔水闸 3*4 采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	T35-11 No.4.5 Q=5900m3/h P=125Pa n=1450 r/min N=0.37kW 噪音70dB(A) 重量31kg	成品	4	台
2	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	4	台

表 5.10-10　　三孔水闸 3*5 采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	T35-11 No.4.5 Q=6260m3/h P=116Pa n=1450 r/min N=0.37kW 噪音70dB(A) 重量31kg	成品	6	台
2	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	6	台

表 5.10-11　　管理房采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	空调（柜式）	容量3HP； 电源220V，50Hz 额定制冷量7.2kW、额定制热量8.0kW； 额定制冷消耗电力2.45kW；额定制热消耗电力2.05kW； 室内机重量40kg，室外机重量37kg； 室内机尺寸1800×530×330mm、室外机尺寸595×795×300mm	成品	21	台

编号	名称	规格	材质	数量	单位
2	空调（柜式）	容量2HP； 电源220V，50Hz 额定制冷量5.0kW、额定制热量5.8kW； 额定制冷消耗电力1.51kW；额定制热消耗电力2.45kW； 室内机重量37kg，室外机重量34kg； 室内机尺寸1800×530×330mm、室外机尺寸595×795×300mm	成品	3	台
3	轴流风机	XBDZ No.3.5 Q=2208m3/h P=55Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音60dB(A) 重量27kg	成品	2	台
4	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	1	台

表 5.10-12 二级驿站采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	空调（柜式）	容量3HP； 电源220V，50Hz 额定制冷量7.2kW、额定制热量8.0kW； 额定制冷消耗电力2.45kW；额定制热消耗电力2.05kW； 室内机重量40kg，室外机重量37kg； 室内机尺寸1800×530×330mm、室外机尺寸595×795×300mm	成品	12	台
2	通风器	管道式通风器 BPT 125-56A 功率150W 风量800m3/h, 风压410Pa，噪声58dB(A)	成品	16	台

表 5.10-13 仓库采暖通风主要设备清单

编号	名称	规格	材质	数量	单位
1	轴流风机	XBDZ No.2.5 Q=1400m3/h P=45Pa n=1450 r/min N=0.06kW 噪音56dB(A) 重量15kg	成品	5	台

5.10.5 建筑结构设计

5.10.5.1 设计原则

结构设计主要遵循的原则包括以下几个方面：

（1）结构设计遵守国家现行标准、规范、规程，在满足建筑要求的前提下，遵循结构安全可靠，施工方便可行，造价经济合理的基本原则。

（2）结构设计需根据拟建场地的工程地质、水文资料，结合当地的实际情况和施工技术水平，尽量采用新材料、新技术，力求做到技术先进、安全可靠、经济合理、环境保护，优化结构设计，选择合理的结构方案。

（3）结构设计需按照现行国家设计规范和标准，使建筑在施工、使用阶段均能满足承载力极限状态要求和正常使用极限状态要求。

（4）贯彻执行国家有关建筑工程、防震减灾的法律法规，并满足规范对抗震要求。遵照有关抗震规范要求，进行抗震设计的基本抗震设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的地震影响时，主体结构不致损坏或不需修理便可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，建筑物可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，建筑物不致倒塌或发生危及生命的严重破坏或导致重大经济损失的严重损坏，并便于抢险、迅速恢复使用。

（5）满足规范对结构耐久性的要求。

5.10.5.2 技术规范及标准

《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153-2008

《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068-2018

《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223-2008

《工程结构通用规范》（GB 55001-2021）

《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）

《建筑与市政地基基础通用规范》（GB 55003-2021）

《砌体结构通用规范》（GB 55007-2021）

《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021）

《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476-2019

《建筑抗震设计规范》GB50011－2010（2016 版）

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012

《混凝土结构设计规范》GB50010-2010（2015 版）

《砌体结构设计规范》GB50003-2011

《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011

《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012

《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T50046-2018

《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119-2013

5.10.5.3 工程地质情况

根据勘探深度范围内的钻探成果，按地质时代、成因类型及工程特性，工程区涉及的地层可分为 8 个大层,22 个工程地质亚层和 6 个夹层，工程区内总体地层自上而下分

述如下：

00 塘泥、淤泥（alQ43）

灰黄色为主，流塑，该层为淤积形成，以淤泥为主，局部杂质含量较多，含碎块石、砾石等，有机质含量较高，土质均匀性差，分布不均匀。主要分布于飞云江及支流的滩涂、渔塘、池塘塘底表层，或是河道淤积处。少量钻孔中揭示。

01 杂填土(rQ)

杂色，松散～稍密状，为人工回填形成，主要由块石、碎石、砾石、建筑垃圾及粘性土组成，局部以建筑垃圾为主。成份杂乱，结构松散，分布规律性较差，土质均匀性差。钻进较易，孔壁易坍塌。分布不均匀。

02 素填土(rQ)

灰色、黄色、黄褐色，为人工填筑形成，主要由砾石、黏性土、砂性土组成，含少量块石、碎石，该层主要分布于机耕路、老防洪堤、乡村道路、鱼塘四周等部位，呈条带状分布。老防洪堤填筑的坝填土，岩性以粉质粘土为主，粉质粘土可塑状，中等压缩性。砾石含量约占 10～20%，土质均匀性较好。村道表层的水泥路面，厚度约 20cm。

03 耕土(rQ)

灰色、灰黄色，松散，饱和，岩性为粉质粘土、粘土、粉细砂，含腐殖质、植物根系。

①1 粉质粘土（al-lQ43）

灰黄色、黄褐色，俗称“硬壳层”，可塑状，含少量铁锰质结核和氧化斑点，局部含较多粉土；下部逐渐过渡为淤泥质土，切面稍有泽，韧性一般，干强度一般，摇振反应无，中等～高压缩性。局部缺失。

①2 淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土（mQ43）

灰黄色～灰色，流塑状，饱和，厚层状，为粉质粘土与淤泥过渡层；土质较均匀，局部夹粉土或粉砂；摇振反应无，有光泽，干强度中等～高，韧性中等～高，高压缩性。场地内局部分布。

①夹砂砾石（alQ43）

灰黄色、灰色，稍密～中密状，主要由卵石、圆砾、砂粒及粉粘粒组成，一般砾径 0.2～4cm，个别可达 8cm。卵石含量占 15～25%，圆砾含量占 20～35%，砂含量占 10～20%，粘粉粒含量占 15～25%，颗粒级配不良。质地坚硬，磨圆度较好，分选性一般，母岩成份为中微风化凝灰岩，胶结度一般，土层均匀性较差，低压缩性。场地内局部分

布。

②1 淤泥（mQ42）

灰色、流塑，饱和，厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，夹少量贝壳碎片及腐植物，局部相变为淤泥质粘土，土层均匀性相对较好；切面光滑，摇振反应无，有光泽，干强度高，韧性高，高灵敏度，高压缩性。场地内大部分地段分布。

②2a 淤泥夹粉砂(al-mQ42)：

灰色，流塑，饱和，薄层状、互层状，淤泥单层厚一般 0.5～2cm，夹大量薄层粉土、粉砂、细砂，局部地段呈互层状，含有机质，土质不均,局部为粘质粉土、砂质粉土；切面较光滑，摇振反应无，光泽反应稍有光泽，干强度中等，韧性中等，高灵敏度，高压缩性。场地内大部分地段分布。

②2b 粉、细砂夹淤泥(al-mQ42)

灰色～灰褐色，稍密为主，局部中密，饱和，夹少量淤泥，含少量贝壳碎屑及腐殖质，局部为中砂。中压缩性，场地内大部分地段分布。

②3 淤泥（mQ42）

灰色，流塑，饱和，鳞片状构造，厚层状，含少量粉砂极薄层，偶见粉细砂富集，粉细砂无规律分布，含少量贝壳碎片及腐植物，土层均匀性较好。切面光滑，摇振反应无，有光泽，干强度高，韧性高，高灵敏度，高压缩性。场区分布广泛。

②夹圆砾

灰色，稍密～中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，土质不均，呈透镜体分布。

③1 淤泥质粘土（mQ41）：

灰色，流塑，饱和，鳞片状构造，厚层状，含少量贝壳碎屑及有机质。切面光滑，摇振反应无，有光泽，干强度高，韧性高，高灵敏度，高压缩性。场区分布广泛。

③2 粘土（mQ41）：

灰色，软塑，细鳞片状构造，厚层状，含少量有机质、腐植物，夹少量粉砂，局部粉砂含量较高。土层均匀性较好。切面光滑，摇振反应无，有光泽，干强度高，韧性高，高压缩性。场区分布广泛。

③3 粉细砂（al-mQ41）

灰色，稍密，饱和，含少量贝壳碎屑，中压缩性，土质不均，局部分布。

③夹圆砾、卵石(alQ41)

灰色，稍密～中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，土质不均，零星分布。

④1 粉质粘土（mQ32-2）

灰黄色、黄褐色、黄绿色，为第二硬土层，可塑状，含少量铁锰质结核和氧化斑点，土质均匀，局部相变为粘土。切面光滑，摇振反应无，有光泽，干强度中等，韧性中等，中压缩性。局部分布。

④2 粘土（mQ32-2）

灰色，以软塑状为主，局部可塑，夹少量贝壳碎屑、粉砂及半腐殖质。土质不均匀，局部含砂量稍高，相变为粉质粘土。切面光滑，摇振反应无，有光泽，干强度高，韧性高，高压缩性。局部分布。

④3 圆砾、局部卵石（al-plQ32-2）

灰色、灰黄色，稍密～中密，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，颗粒级配不良，分选性差，磨圆度较好，未胶结，母岩岩性以凝灰岩为主，土质不均匀，局部粘土含量较高。场地内均有分布。

④3g 粉砂（al-lQ32-2）

灰色、灰黄色，稍～中密，饱和，主要由中砂、粉细砂及粘粉粒组成，砂含量占 60～80%，粘粉粒含量占 20～30%，中压缩性，砂粒成份中以白色石英为主，土层均匀性较差。呈透镜体状分布于④3 圆砾卵石层中。

④3f 粘土、淤泥质粘土（al-mQ32-2）

灰色、灰褐色，流塑、软可塑状，含少量贝壳碎屑、粉砂及半碳化物，分布规律性差，部分含砂量稍高，土质不均，中等～高压缩性。呈透镜体状分布于④3 圆砾卵石层中。

⑤1 粉质粘土（al-lQ32-1）：

灰绿色、灰兰色，厚层状，可塑为主，局部软可塑，切面较光滑，摇振反应无，稍有光泽，干强度中等，韧性中等，中压缩性，局部地段为粘土。场地内局部揭示。

⑤2 粘土（mQ32-1）：灰色，软塑～软可塑状，厚层状，夹少量贝壳碎屑、粉砂及少量腐殖质，局部含砂量稍高。切面光滑，摇振反应无，稍有光泽，干强度中等～高，韧性中等～高，中～高压缩性，分布不均匀，场地内局部揭示。

⑤3 圆砾、卵石（al-mQ32-1）

灰色、黄灰色，中密为主，局部密实，主要由卵石、砾石、砂及黏性土组成，土质

不均，局部为含粘性土砾砂或含粘性土卵石。砾石母岩以硬质凝灰岩、砂岩为主，亚圆状、次棱角状，磨圆度一般，分选性一般，胶结差，场地内局部揭示。

⑤3J 含砾粉质粘土（al-mQ32-1）：

灰黄、灰色，属混合类土，主要为粉质粘土、碎石、砾砂组成，粗细颗粒含量不均匀。粉质粘土呈可塑～硬可塑状，中等压缩性。土质不均匀，局部碎、块石含量较高，碎砾石磨圆度较差，分选性差。

⑨1 含碎石粉质粘土（el-dl-plQ）

黄褐色，残坡洪积成因，主要为粉质粘土、碎石组成，粗细颗粒含量不稳定，一般粉质粘土含量约 60%～75%，碎、砾含量约 30%，其余为砂。粉质粘土呈可塑状，中等压缩性。土质不均匀，局部碎、块石含量较高，碎砾石磨圆度较差，分选性差。

⑩2 强风化凝灰岩（J3m）

浅灰色、灰黄色，原岩结构大部分破坏，矿物成分显著变化，节理、风化裂隙发育，岩体破碎，锤击声哑，易碎，岩芯呈碎块、砾状。

⑩3 弱风化凝灰岩（J3m）

青灰色、灰白色、灰紫色，凝灰质结构，块状构造，结构部分破坏，沿裂隙面有次生矿物，为硬质岩。岩芯上部以短柱状、碎块状为主，下部以长柱状为主。

拟建场地位于温州瑞安境内，抗震设防烈度为6度，设计基本地震加速度值为0.05g，设计地震分组为第二组。

根据地下水的赋存条件，分布特征，可将地下水划分为松散岩类孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水三类。孔隙潜水水位变化幅度为 0.50～2.0m。勘察期间，测得钻孔内地下水稳定水位在地表以下 0.10～4.80m，地下水受潮汐水位影响较大。孔隙承压水水位高程-9.11～-11.74m，水位年变幅在 0.5m 左右。场地基岩裂隙水水量少，无统一的地下水位。

拟建场地环境类型为II类。地下水对混凝土结构无腐蚀性（涨潮时，具硫酸盐型弱腐蚀性），地下水对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性（涨潮退潮时，具中腐蚀性）。

5.10.5.4 结构设计参数

（1）主要设计要求

管理房、二级驿站及仓库设计使用年限为 50 年。结构安全等级二级。马上、河溪、渡头及浦底闸站设计使用年限为 50 年，结构安全等级二级；其余闸站设计使用年限为 30 年，结构安全等级三级。

地基基础设计等级为丙级，桩基设计等级丙级。

砌体施工质量等级为 B 级。

建筑结构构件耐火等级为二级。

（2）主要参数

土重度：天然重度 18kN/m3；地下水以下的土取有效重度 10kN/m3。

土主动侧压力系数取 1/3。

风荷载：R=50，基本风压取 1.80 kN/m^2。

雪荷载：R=50，基本雪压取 0.35 kN/m^2。

地面粗糙度类别 A 类。

不上人屋面均布活荷载：0.5kN/ m^2。

屋面活荷载不与雪荷载同时考虑。

办公室、卫生间、厨房均布活荷载：2.5kN/ m^2。

值班室、传达室、便利店均布活荷载：2.0kN/ m^2。

配电房、机房均布活荷载：7.0kN/ m^2。

仓库、工具间均布活荷载：6.0kN/ m^2。

门厅、走廊、餐厅、会商中心、调度中心、一般档案室均布活荷载：3.0kN/ m^2。

楼梯均布活荷载：3.5kN/ m^2。检修平台均布活荷载：5.0kN/ m^2。

启闭机室均布活荷载：2.0kN/ m^2。

栏杆水平荷载 1.0kN/m，栏杆竖向荷载 1.2kN/m。

5.10.5.5 结构分析计算

设计计算

结构按承载力极限状态计算强度、稳定性和正常使用极限状态下验算变形和裂缝。

结构计算

以管理房为例进行结构计算：

1）计算软件

结构设计采用 PKPM 结构设计软件 2023 版（21 规范 V1.5 系列）；

2）结构计算模型（PKPM）

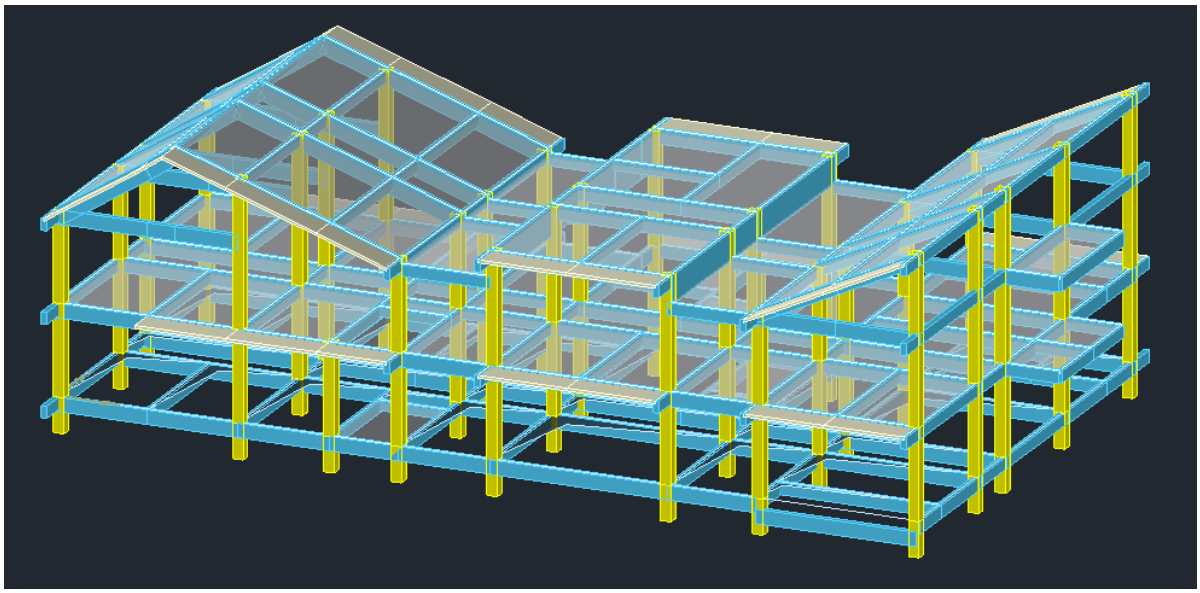


图 1.5.2-1　　管理房模型

结构形式：框架结构；

与基础连接构件的最大底标高：-2.500m；

柱嵌固端：承台顶；

地震设防烈度：6 度，0.05g；

设计地震分组：第 2 组；

框架抗震等级：四级；

计算阵型数：12；

周期折减系数：0.7；

恒荷载分项系数（不利非主控）：1.30；

活荷载分项系数：1.50；

3）结构计算结果

表 1.5.2-1　　结构计算结果指标汇总

计算结果	计算值		规范(规程)限值	判别
结构总质量(t)	2669.35			
质量比	1.49		< 1.5	满足
结构自振周期(s)	T1	0.5950(Y)		
	T2	0.5744(X)		
	T3	0.5473(T)		
有效质量系数	X	99.52%	> 90%	满足
	Y	99.52%		满足
地震底部剪重比(调整前/调整后)	X	3.68%	>= 0.80%	满足

计算结果			计算值		规范(规程)限值	判别
			Y	3.83%	>= 0.80%	满足
结构刚重比			X	49.18	> 10	满足
			Y	43.97		满足
水平力作用下的楼层层间最大位移与层高之比(Δu/h)		地震	X	1/1779	< 1/550	满足
			Y	1/1483	< 1/550	满足
		风荷载	X	1/1648	< 1/550	满足
			Y	1/1005	< 1/550	满足
地震力作用下(偶然偏心) 塔楼扭转参数		最大位移/平均位移	X	1.12	< 1.50	满足
			Y	1.24		满足
		最大层间位 移/层间 平均位移	X	1.27	< 1.50	满足
			Y	1.28		满足
楼层剪力/层 间位移刚 度比	与相邻上一层侧向刚度 0.9(非框架)、 0.7 及上三层 0.8(框架)的比值		X	1.00	>= 1.00	满足
			Y	1.00		满足
楼层抗剪承载力与相邻上一层比值的最小值			X	1.00	>= 0.80	满足
			Y	1.00		满足

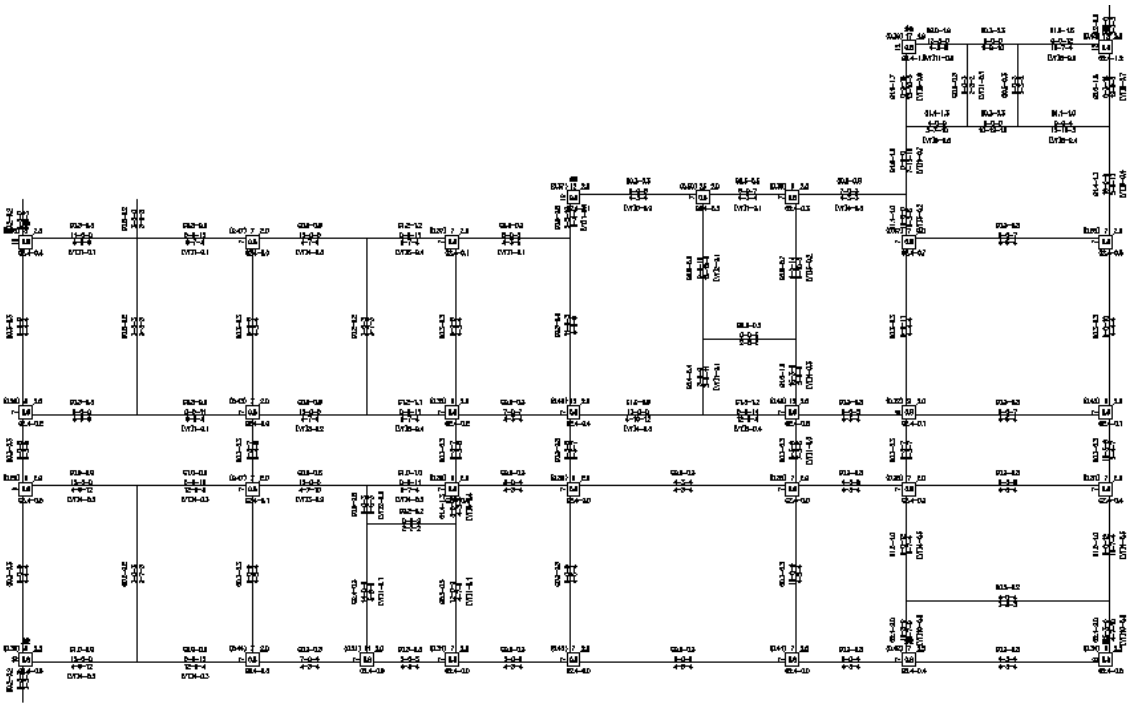


图 1.5.2-2　管理房计算结果简图（1/3）

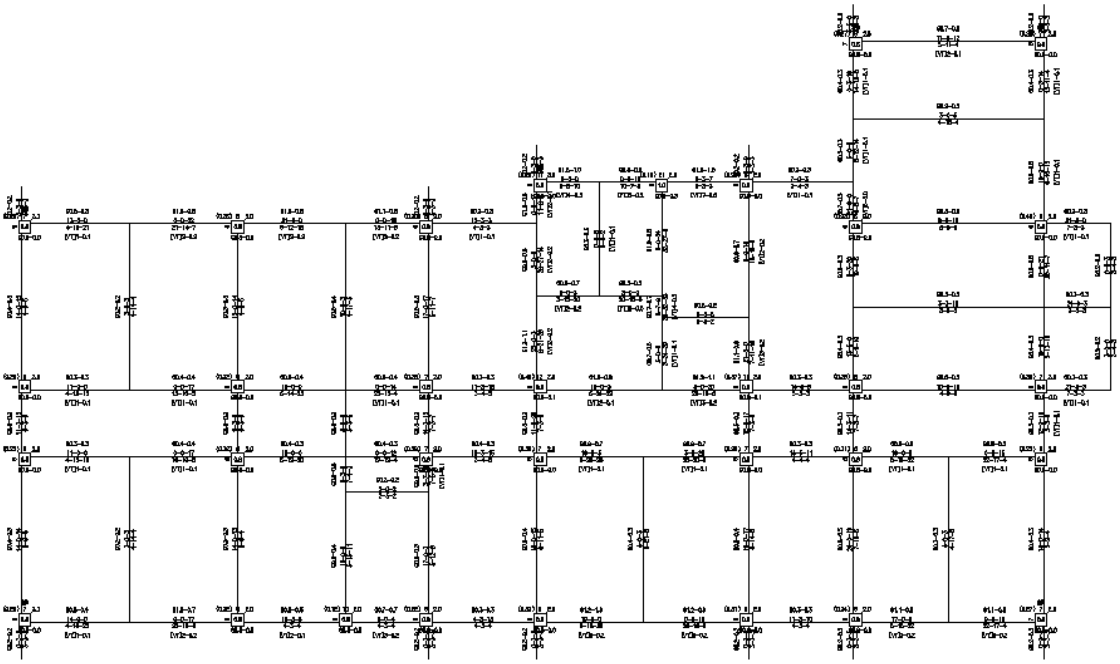


图 1.5.2-3　　管理房计算结果简图（2/3）

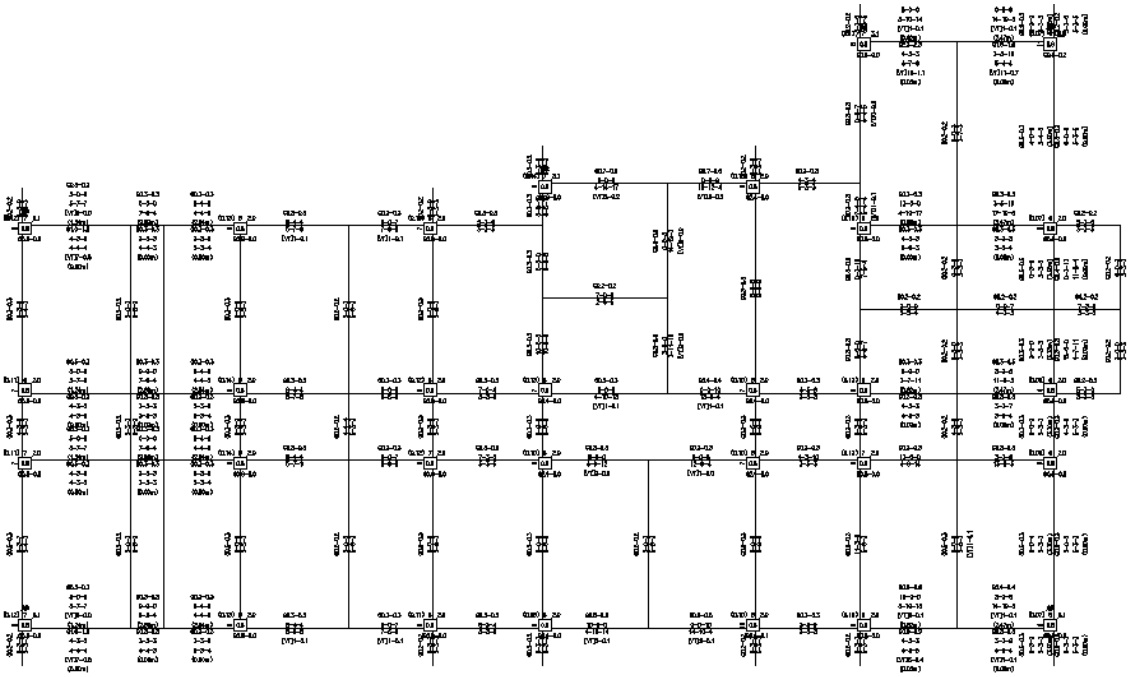


图 1.5.2-4　　管理房计算结果简图（3/3）

5.10.5.6 工程材料

（1）混凝土：

构造柱、过梁等非结构构件混凝土 C25。

不与土壤或地下水直接接触的上部建筑物混凝土强度等级均采用 C30。

建筑物钢筋混凝土中的混凝土耐久性要求满足《混凝土结构设计规范》GB50010-

2010（2015 年版）和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476 -2019 的要求。

（2）水泥：

采用强度等级不小于 42.5MPa 的普通硅酸盐大厂水泥。严禁采用火山灰质和粉煤灰硅酸盐水泥，水泥中 C3A 含量小于 8%。其物理性能、化学成份必须满足《通用硅酸盐水泥》GB175-2007 的要求。混凝土掺用外加剂时，水泥按《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119-2013 要求检验外加剂与水泥的适应性，符合要求方可使用。

（3）砂石：

配制防水混凝土的砂采用中、粗砂，必须是坚硬颗粒的天然砂平均粒径不小于 0.3，含泥量及云母含量不超过 3%。

石子采用碎石或卵石，必须级配良好、强度高、结构紧密，吸水率不超过 1.5%，含泥量不超过 1.0%，粒径不大于 25mm 且不超过最小断面厚度的 1/4。

（4）钢材：

HRB400 热轧钢筋，强度标准值 fyk=400N/mm^2。

HPB300 光圆钢筋，强度标准值 fyk=300N/mm^2；

钢板和型钢采用 Q235B。

（5）焊条：

钢筋焊接焊条的选用及焊接质量满足《钢筋焊接及验收规程》JGJ18-2012 的要求。

（6）砌体：

框架结构填充墙：±0.000 以上 M5.0 混合砂浆砌筑，MU10 烧结页岩多孔砖。

±0.000 以下 M10.0 水泥砂浆砌筑，MU20 烧结页岩实心砖。

5.10.5.7 主要结构措施

（1）抗震设防措施

根据《建筑工程抗震设防分类标准》（GB50223-2008），管理房、二级驿站、仓库均为标准设防类，简称丙类建筑。按本地区抗震设防烈度的要求设计，即按照 6 度采取抗震措施。框架抗震等级为四级。根据《水工建筑物抗震设计标准》（GB51247-2018），马上、河溪、渡头及浦底闸站为标准设防类，简称丙类建筑。其余闸站为适度设防类，简称丁类建筑。均按本地区抗震设防烈度的要求设计，即按照 6 度采取抗震措施。框架抗震等级为四级。

（2）防腐蚀措施

根据《工业建筑防腐蚀设计标准》（GB/T50046-2018）要求，中等腐蚀环境下与土

壤或地下水直接接触的桩身混凝土及基础承台、拉梁、垫层混凝土采用掺入抗硫酸盐的外加剂、钢筋阻锈剂、矿物参合料的混凝土，其性能应满足防腐蚀要求，不另做表面防护。混凝土要求应符合标准 4.2.3.、4.2.5、4.9.4 及 4.9.5 条要求，混凝土采用 C35P8，抗硫酸盐等级不小于 0.85。

（3）地基基础处理措施

拟建建筑场地分布有厚度较大的淤泥，淤泥属高压缩性土层，承载力低，不能直接作天然地基，结合本地层特点，管理房、二级驿站及仓库拟采用柱下承台+泥浆护壁钻（冲）孔灌注桩，桩基础以④3 圆砾或⑩3 弱风化凝灰岩作为桩端持力层。桩基设计桩基础按桩径 800mm，桩长 30m，桩中心距不小于 3 倍桩径，桩端进入持力层不小于 1 倍桩径。各柱下承台间设置基础拉梁，增加基础整体性，以减少不均匀沉降。闸站上部结构落于下部闸墩基础之上，在闸房与配套设备房相接第一跨内设置沉降后浇带一道，以减少不均匀沉降。

5.10.5.8 主要结构选型

（1）管理房

管理房平面尺寸 36.90×21.00m，主要结构屋面板高度 7.50~11.00m，为二层钢筋混凝土框架结构，柱下采用承台+钻孔灌注桩基础，屋顶为钢筋混凝土现浇坡屋面（局部平屋面）。

（2）二级驿站

二级驿站平面尺寸 21.40×9.54m，结构屋面板高度 3.00~6.00m，为一层钢筋混凝土框架结构，柱下采用承台+钻孔灌注桩基础，屋顶为钢筋混凝土现浇坡屋面。

（3）闸站

新建闸站 30 处，根据堤防的不同要求及水闸孔洞及闸宽的不同，分为以下 7 种不同的类型：一孔 5m 宽水闸平面尺寸 14.90×10.00m、一孔 4m 宽水闸平面尺寸 13.90×10.00m、一孔 3m 宽水闸平面尺寸 12.90×10.00m、二孔 4m 宽水闸平面尺寸 23.80×10.00m、二孔 3m 宽水闸平面尺寸 21.80×10.00m、三孔 5m 宽水闸平面尺寸 32.20×10.00m、三孔 4m 宽水闸平面尺寸 29.20×10.00m。结构屋面板高度均为 12.00~14.10m，为三层钢筋混凝土框架结构，闸站上部结构落于下部闸墩基础之上，屋顶为钢筋混凝土现浇坡屋面。

（4）仓库

仓库平面尺寸 12.24×7.24m，结构屋面板高度 4.00~6.10m，为一层钢筋混凝土框架

结构，柱下采用承台+钻孔灌注桩基础，屋顶为钢筋混凝土现浇坡屋面。

5.11 工程安全监测

5.11.1 设计依据

（1）《水位观测标准》（GB/T50138）；

（2）《国家一、二等水准测量规范》（GB/T12879）；

（3）《国家三、四等水准测量规范》（GB/T12898）；

（4）《工程测量标准》（GB50026）；

（5）《水利水电工程安全监测设计规范》（SL725）；

（6）《水闸安全监测技术规范》（SL768）；

（7）《堤防工程安全监测技术规程》（SL/T794）；

（8）《水利信息系统运行维护规范》（SL715-2015）；

5.11.2 监测设置原则

（1）监测目的：

瑞安市飞云江治理二期工程安全监测的目的是通过必要的监测手段，监测建筑物工作状态、掌握运行规律、指导施工和运行、反馈设计、确保工程安全。安全监测内容主要包括水位监测、变形监测、河道冲刷监测、渗流监测和巡视检查等项目。

（2）监测原则：

1) 监测仪器和设施布置目的明确，紧密结合工程实际，突出重点，兼顾全面，相关项目统筹安排，配合布置。

2) 保证在恶劣气候条件下仍能进行重要项目的监测。

3) 在满足精度的前提下，力求观测方便、直观，各监测值能相互对比、校核；监测方法，以自动监测为主，自动监测与人工监测相结合。

4) 仪器监测与现场检查相结合，运行期安全监测与施工期监测结合，监测仪器和设施与主体工程施工同步实施。

5) 仪器设备要耐久、可靠、实用、有效、力求先进和便于实现现代化。

6) 安全监测自动化系统满足实时性、可靠性、实用性、开放性、可扩展性、易维护性、适应性、安全性、人工智能特性等要求。

7）根据实际情况，针对沉降、变形等监测，若有合适的自动化设备，可适当进行

替换考虑。

5.11.3 监测范围及项目的确定

（1）监测范围

瑞安市飞云江治理二期工程的主要建筑物包括堤防工程和闸门工程以及与工程安全相关的建筑物，根据项目工程级别划分，马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸为 3 级工程，其他水闸为 4 级工程，所有堤防均为 4 级工程。

（2）监测项目的确定

本项目安全监测主要包括仪器监测和巡视检查，根据规范规程、本工程地质、结构设计等因素确定监测项目如下表：

表 5.11-1 **监测项目表**

序号	部位	项目	内容
1	堤防工程	水位监测	河道内水位监测
2		沉降监测	堤防段沉降情况
3		冲刷监测	河道冲刷深度
4		原位监测	地质条件差处
5	水闸工程	水位监测	水闸上、下游水位监测
6		变形监测	水平位移及沉降位移
7		渗流监测	闸基扬压力
8		绕渗监测	绕闸渗流
9		结构变形	结构接缝及裂缝的张开发展监测
10	平阳坑基坑	变形监测	桩顶水平及沉降位移
11		挠度监测	基坑的挠度变形
12	龙丽高速闸墩	变形监测	水平位移及沉降位移
13	人工巡视	人工巡视	检查是否有滑坡、坍塌、侵蚀等情况

5.11.4 堤防工程安全监测

瑞安市飞云江治理二期工程堤防共分 6 段，分别为：平阳坑段、马屿镇梅屿段、陶山镇荆谷段、陶山镇碧山段、桐浦塔山至澄头段、白莲段，工程级别均为 4 级建筑物。

5.11.4.1 水位监测

为了解工程运行期间河道内的水位变化情况，在每个堤防工程选取一个断面，安装自动水位计，用来自动记录河道内水位变化情况，共计 6 支。

在上述选定的断面，另安装一套水尺，每套水尺约 5m，用来进行人工读数，可与自动水位计数据进行对照、检校，共计 6 套。

5.11.4.2 沉降监测

为了解工程运行期间堤防的沉降变形大小及分布规律，在堤顶背河堤肩每隔 500 米布设固定沉降观测点，用来进行堤防沉降监测，共计 48 个沉降监测点。本工程共设置 6 工作基点，对沉降监测点进行观测。同时设置一组基准点，共 3 个点，用来校核工作基点。

5.11.4.3 冲刷监测

为了解泥沙淤积情况，在平阳坑段、马屿镇梅屿段、桐浦塔山至澄头段三处凹形堤防处各选取一个固定监测断面进行河道断面测量，按 1:1000 的比例进行水下地形测量。

5.11.4.4 原位监测

为了解堤防的侧向位移，接合工程地质情况，设置 4 个原位观测断面。在每个断面堤顶左右侧、背侧坡中、坡底各设 1 个沉降监测点，共计 4 个测点。在每个断面堤顶背河侧设置测斜管一套。

5.11.5 闸门工程安全监测

根据本项目建筑物工程规模划分，马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸 4 座水闸为 3 级工程，其他 26 座水闸为 4 级工程。根据《水利水电工程安全监测设计规范 SL725-2016》，对所有闸门进行水位、变形监测，对马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸 4 座中型水闸还进行渗流、绕渗监测。

5.11.5.1 水位监测

在每个水闸的上、下游侧各设置 1 套自动水位计。在进水池、出水池均设置 1 套水位尺。共计 60 套自动水位计，60 套水位尺。

5.11.5.2 变形监测

在每个小型水闸的两侧布设 4 个位移测点，在马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸 4 座中型水闸两侧布设 18 个位移测点。

5.11.5.3 渗流监测

在马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸 4 座中型水闸沿顺水流方向布置 2 套断面，断面位置为闸门长度的 1/3、2/3 处，每个断面布设 3 支渗压计。

5.11.5.4 绕渗监测

在马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸 4 座中型水闸的左右两侧翼墙填土侧其结合部位布设渗压计，每个闸设置 10 套渗压计监测绕闸渗流情况。

5.11.5.5 结构变形

在马上水闸、河溪水闸、渡头水闸、浦底水闸 4 座中型水闸闸室各块体间以及闸室块体与翼墙及护坦板间的接合缝上布置测缝计，每个闸门布设 10 支。

5.11.6 相关建筑物监测

由于本工程与龙丽高速有互相交叠部分，因此，对可能影响工程安全状态的相关建筑物进行相应的监测。

5.11.6.1 平阳坑基坑

变形监测

1）围护桩

均匀选择 6 根围护桩，在桩顶设位移观测点，对围护桩进行沉降、平面位移监测。

2）周边地表沉降

在基坑四周地面每面布设 2 个沉降测点，对基坑的周边地面进行沉降监测。

挠度监测

在基坑四周每面布设 1 套测斜管，对基坑进行挠度变形监测。

5.11.6.2 龙丽高速公路

在平阳坑闸墩布设 6 个监测点，进行沉降位移监测。

5.11.7 人工巡视

人工巡视检查是安全监测的重要环节，是对数据采集的有效补充，应定期由熟悉工程且有工程实践经验的工程技术人员负责进行，其主要内容应包括：

（1）堤防、水闸等有无新裂缝，原有裂缝的发展情况；

（2）堤防、水闸等有无坍塌、冲沟、动物洞穴、隆起及下陷；

（3）堤脚或坡脚地下水有无出露，原渗漏点，渗流量有无变化；

（4）混凝土有无溶蚀、水流侵蚀或冻融现象；

（5）安全监测设施有无损坏等。

5.11.8 自动化监测

为实现“无人值守、少人值班”提高工作和管理效率，本工程内观监测仪器全部实现安全监测自动化。根据本工程建筑物布设和各种监测仪器的布设情况，整个工程的监测设备布设比较集中，仪器种类简单且数量不大，安全监测自动化系统采用集中式布置。

安全监测自动化系统由数据自动采集系统和监测信息管理与分析系统两部分组成。数据自动采集系统主要是把分布在各个建筑物内的各类监测仪器的数据按照事先给定的时间间隔准确无误地采集到指定的位置，并按照一定的格式存储起来。监测信息管理与分析系统主要是对自动采集系统和人工采集来的监测数据实时进行管理、分析、处理，实时掌握工程的运行状况，为及时、准确判断工程的安全状况提供可靠的依据。

本工程根据监测仪器的布设及电缆集中引设情况，布设数据自动采集装置，通过工程的通讯系统将数据按照事先规定的频次传送到监测中心站，监测中心站布置在管理站房内。

5.11.9 监测仪器清单

表 5.11-2 监测仪器清单表

序号	项目名称	单位	数量	备注
一	堤防			
1.1	自动水位计	套	6	
1.2	水尺	套	6	5米/套，不锈钢
1.3	沉降测点	个	64	
1.4	工作基点	个	6	
1.5	基准点	个	3	3个/组
1.6	测斜管	套	4	ABS材质
1.7	电子水准仪	套	1	进口，配铟瓦尺
1.8	电缆	米	15000	以实际发生量为准
1.10	电缆保护管	米	5000	以实际发生量为准
二	水闸			
2.1	自动水位计	套	60	
2.2	水尺	套	60	5米/套，油漆
2.3	位移测点	个	176	
2.4	渗压计	支	64	振弦式
2.5	测缝计	支	40	振弦式
2.6	振弦式读数仪	套	1	

序号	项目名称	单位	数量	备注
2.7	电缆	米	20000	以实际发生量为准
2.8	电缆保护管	米	15000	以实际发生量为准
三	其他建筑物监测			
3.1	位移测点	个	20	
3.2	测斜管	套	4	ABS材质
四	安全监测自动化			
4.1	MCU机箱及附件	套	15	
4.2	数据采集软件	套	1	
4.3	数据分析软件	套	1	
4.4	服务器及显示终端	套	1	
4.5	防雷接地	项	1	
4.6	交换机	台	1	

5.11.10 资金概算

表 5.11-1 **安全监测工程概算**

序号	项目名称	单位	数量	单价（元）		总价（元）		备注
				设备	安装	设备	安装	
一	**堤防**							
1.1	自动水位计	套	6	7500	2500	45000	15000	
1.2	水尺	套	6	4500	3000	27000	18000	5米/套，不锈钢
1.3	沉降测点	个	64	300	700	19200	44800	
1.4	工作基点	个	6	9000	51000	54000	306000	
1.5	水准基点组	套	1	900	20100	900	20100	3个/1套
1.6	测斜管	套	4	880	3700	3520	14800	ABS材质
1.7	电子水准仪	套	1	160000	0	160000	0	进口，配铟瓦尺
1.8	电缆	m	15000	4	3	60000	45000	
1.9	电缆保护管	m	5000	32	6	160000	30000	
二	**水闸**							
2.1	自动水位计	套	60	6500	1160	390000	69600	
2.2	水尺	套	60	2000	500	120000	30000	5米/套，油漆
2.3	位移测点	个	176	100	300	17600	52800	
2.4	渗压计	支	64	6350	1600	406400	102400	振弦式
2.5	测缝计	支	40	3000	630	120000	25200	振弦式
2.6	振弦式读数仪	套	1	8500	0	8500	0	
2.7	电缆	m	20000	4	3	80000	60000	

序号	项目名称	单位	数量	单价（元）		总价（元）		备注
				设备	安装	设备	安装	
2.8	电缆保护管	m	15000	32	6	480000	90000	
三	**其他建筑物监测**							
3.1	位移测点	个	20	100	300	2000	6000	
3.2	测斜管	套	4	880	3700	3520	14800	ABS材质
四	**施工期监测**							
4.1	施工期监测设备维护、定检及观测	项	1	720000		720000		总工期暂定为36个月
4.2	监测资料整理与分析	项	1	540000		540000		
4.3	沿线建筑物巡视检查	项	1	180000		180000		
五	**临时房屋**	项	1	100000		100000		
六	**安全生产措施费**	项	1	72000		72000		
七	**暂列金**	项	1	200000		200000		
合计（元）						2157640	944500	
						4914140		