

报批稿

2022 年杭州市临平区 G104 京岚线京杭运河特大桥 增设动态安全监测系统

施工图设计

（全一册）



杭州市交通规划设计研究院有限公司

二〇二二年三月

2022 年杭州市临平区 G104 京岚线京杭运河特大桥 增设动态安全监测系统

施工图设计

单位主管：朱勇骏(副)

总工程师：唐丽(副)

项目负责人：(张) 濮辉铭



杭州市交通规划设计研究院有限公司

二〇二二年三月

目 录

[illegible]

第一篇

总体设计

桥梁结构动态安全监测系统施工图设计说明

1 项目概况

1.1 项目背景

公路桥梁在自然环境（大气腐蚀、温度及湿度变化等）、使用环境（荷载作用与频率增加、材料与结构疲劳加剧等）和外界各种因素作用下，会逐渐产生缺陷和损伤现象，这些缺陷和损伤随时间不断发展，且具有不可逆性和时变性，从而导致桥梁结构产生病害、出现损坏，严重影响桥梁的运营安全。近年来我国桥梁安全事故屡见不鲜，时有发生，如 2004 年盘锦田庄台大桥垮塌、2005 年抚顺南杂木大桥三孔坍塌和 2014 年江苏丹阳天河桥倒塌。2017 年 4 月 1 日一艘载有近一千吨货物的货船在通过珠海市斗门区莲溪大桥时不慎撞到桥墩，导致该桥桥面垮塌。2015 年 12 月 26 日黑龙江省位于嫩双公路塔哈河大桥发生桥梁坍塌事故。2019 年 10 月 1 日台湾宜兰县南方澳跨海大桥倒塌事故。2019 年 10 月 10 日江苏无锡 312 国道锡港路上跨桥发生桥面侧翻事故。下图为这几次事故的现场图片。



珠海市莲溪大桥船撞局部坍塌



塔哈河大桥坍塌事故

这些重大安全事故给人民群众的生命、国家财产造成了严重损失，也造成了极其恶劣的社会影响。为保障桥梁运营安全，桥梁管理单位通常采用的技术手段是人工检查，这种方式获取的数据缺乏连续性和实时性，不易及时发现隐蔽病害，难以有效保障桥梁安全。美国联邦公路委员会的调查表明：“由人工目测检查做出的评估结果有 56%是不恰当的”。如美国密西西比河大桥虽然于 2005 年和 2006 年分别进行过检查，当时并没有发现任何结构性的安全隐患，但还是在 2007 年发生了垮塌。一系列严重的桥梁安全事故使人们认识到了人工检测技术存在的不足，同时也认识到了桥梁安全监测的必要性和重要性。桥梁结构运营状态监测技术自上个世纪 90 年代以来在我国得到了逐步推广，目前已得到学术界、工程界及政府部门的广泛认同，对于保障桥梁安全发挥了积极的作用。

恶劣的环境和重载车辆直接影响大桥的运营安全和使用寿命。如果不能对桥梁结构的性能退化和病害情况及其发展趋势进行长期的实时监测，则难以及时查明发生病害的原因，难以及时发现桥梁结构存在的安全隐患，一旦桥梁出现严重损伤或结构性能退化甚至失效，势必会造成灾难性的重大事故，其后果不堪设想。

为进一步提升公路桥梁安全耐久水平，交通运输部在 2020 年 12 月印发了《关于进一步提升公路桥梁安全耐久水平的意见》（交公路发[2020]127 号）。《意见》提出，要“加强桥梁结构健康监测。统一数据标准和接口标准，推进数字化、信息化、智能化，2025 年底前实现跨江跨海跨峡谷等特殊桥梁结构健康监测系统全面覆盖。依托监测系统开展日常管理，健全完善长期运行机制，不断拓展系统功能，持续建设覆盖重要公路桥梁的技术先进、经济适用、精准预警的监测体系，进一步提升监测系统的实效性、可靠性和耐久性。”2021 年 2 月，交通运输部部长李小鹏主持召开部务会，研究加快建设交通强国有关工作，审议《公路长大桥梁结构健康监测系统建设实施方案》。会议要求，“推进公路长大桥梁结构健康监测系统建设，增强长大桥梁结构健康监测能力，是落实部《关于进一步提升公路桥梁安全耐久水平的意见》的重要举措。”

2021 年 3 月，交通运输部办公厅发布了关于印发《公路长大桥梁结构健康监测系统建设实施方案》的通知（交办公路[2021]21 号）。《方案》要求，“按照安全第一、预防为主，明确责任、分级管理，突出重点、分步实施，单桥监测、联网运行’的原则，对跨江跨海路峡谷等长大桥梁结构健康开展实时监测，动态掌握长大桥梁结构运行状况，着力防范化解公路长大桥梁运行重大安全风险，进一步提升公路桥梁结构监测和安全保障能力。公路在役和在建单孔跨径 500 米以上的悬索桥、单孔跨径 300 米以上的斜拉桥、单孔跨径 160 米以上的梁桥和单孔跨径 200 米以上的拱桥，原则上均纳入实施范围，新建公路桥梁符合以上条件的，要做到系统建设同时设计、同时施工、同时验收。”

2021 年 7 月，交通运输部发布了关于印发《公路长大桥梁结构健康监测系统试点建设技术指南》等文件的通知（交公便字[2021]256 号）。《通知》要求，“请各试点桥梁管养单位根据《指南》，组织完善单桥系统设计，抓紧推进系统构建实施、交付验收、总结评估等工作，确保系统试点建设按期保质完成。请各省厅组织开展设计文件审查，并按照《公路长大桥梁结构健康监测系统试点建设设计咨询评估要求》于 8 月 2 日前向我局报送审查修改后的施工图设计文件（含预算、审查意见、处理情况），并根据部工作部署推进省内长大桥梁结构健康监测平台建设。”

为了全面了解京杭运河特大桥的健康状况，查明可能存在病害的原因及其对大桥运营安

全的危害，并通过科学的养护维修及时消除隐患，从而保证大桥在运营过程中的安全性和可靠性，迫切需要根据大桥的结构特点和运营情况，建立一套结构安全监测、评价及养修决策系统，实现对该桥梁结构承载能力、运营状况和病害损伤的长期监测和评估，提出科学的养修方法和建议，为保障桥梁的运营安全，及时发现并消除桥梁结构的安全隐患，为提高科学养护和维修大桥的技术水平提供有力的技术支持。同时，可为同类大型桥梁结构的健康监测与安全评估积累宝贵的数据和经验，对推动我国桥梁结构健康监测技术的进步和发展具有重要的工程意义和理论价值。

1.2 施工图评审专家组意见及执行情况

1、完善编制依据、项目背景及监测目标等的说明。补充方案编制过程以及资料收集、调查、各接口平台现有资源调查及功能兼容情况说明。

执行情况：根据专家组意见补充完善了编制依据、项目背景及监测目标；根据专家组意见补充了测设过程；根据专家组意见补充了各接口平台现状。

2、完善主桥上、下部结构典型病害调查及平面展开图编制，分析对结构受力影响等内容。

执行情况：根据专家组意见，补充了桥梁典型病害调查及平面展开图，并根据病害情况优化了点位布置。

3、左、右幅主桥结构、周边环境相同，应根据桥梁病害特征以及受力分析，按照实用性、可靠性、耐久性、可维护、可扩展原则，进一步优化测点布设以及监测内容，建议重点应关注裂缝、结构刚度、墩柱位移等，调整对环境湿度、温度、地震等监测内容。

执行情况：根据专家组意见，进一步优化测点布设以及监测内容，具体包括优化了梁端位移检测；优化了环境温湿度测点和结构温度测点，取消了地震测点；根据专家组意见，京杭运河特大桥受力裂缝均作了封闭处理，本次取消了裂缝监测。

4、细化预警阈值设置方法及取值情况的说明，完善桥梁预警等级设定方法、取值及响应措施，合理制定桥梁结构定期安全评估推荐频率。

执行情况：根据专家组意见完善了预警系统的设计，优化了安全评估推荐频率。

5、测点布设位置应避免易破损部位，尽量防止道路养护造成破坏。外置的监测设备应采取保护措施，避免被偷盗或者人为破坏；细化施工期间交通组织管理要求。

执行情况：根据专家组意见优化测点及设备布置位置，将机柜布置在箱梁内，防止人为破坏；根据专家组意见，进一步细化了施工期间交通组织。

6、优化桥梁挠度监测方法，完善传感器精度、健康监测系统验收标准以及误报筛查、平台数据维护及服务管理等的要求。

执行情况：根据专家组意见完善了传感器精度要求，进一步完善了系统验收标准以及误报筛查、平台数据维护及服务管理的要求。

7、加强与大桥运营及管理部门等的沟通，根据安全管控及养护需求调整监测内容、监测目标、管理平台架构及功能，核查工程数量并修改完善预算。

执行情况：根据专家组意见，与京杭运河特大桥运营及管理部门沟通后，完善了监测内容、监测目标、管理平台架构及功能；根据专家组意见，完善了工程数量并修改完善了预算。

1.3 测设过程

2022 年 12 月下旬，我单位受业主委托完成 2022 年杭州市临平区 G104 京岚线京杭运河特大桥增设动态安全监测系统的设计工作。

2022 年 1 月上旬，我方赴临平现场调查，与业主沟通京杭运河特大桥动态安全监测系统需求，收集大桥相关设计资料。

2022 年 2 月 14 日，我方完成京杭运河特大桥动态安全监测系统施工图初稿。

2022 年 3 月 6 日，根据业主意见，完成京杭运河特大桥动态安全监测系统施工图送审稿。

2022 年 3 月 8 日，在杭州市交通管理中心进行京杭运河特大桥动态安全监测系统施工图评审。

2022 年 3 月 15 日，根据专家组意见优化布设方案，赴现场核查施工安装条件。

2022 年 3 月 29 日，根据专家组意见及现场调查复核情况，完成京杭运河特大桥动态安全监测系统施工图报批稿。

2022 年 4 月 7 日，在杭州市交通管理中心进行京杭运河特大桥动态安全监测系统施工图报批稿审查。

1.4 工程概况

京杭运河特大桥位于杭州市余杭区 G104 京岚线，桥梁中心桩号为 K1445+241。桥梁全长 1525.4m，桥面总宽 33m。主桥上部结构为跨径 60+105+60 米预应力混凝土连续箱梁，引桥上部结构采用 10×25m+1×22m+2×28m+1×22m+2×35m+5×25.2m+3×35m+4×21.75m+4×25m+5×25m+14×25m 预应力钢筋混凝土小箱梁。桥型布置见下图。

主要材料如下：

1、沥青混凝土：表层为 4cm 细粒式沥青混凝土，底层为 5cm 中粒式沥青混凝土，规格及配比同路段面层沥青混凝土。

2、水泥混凝土：

主桥上部结构：C55；

主墩墩身：C40；

主墩承台：C35；

边墩墩身、盖梁：C40；

边墩承台：C30；

钻孔灌注桩：C25。

3、钢材：

1) 预应力钢筋：

纵向预应力钢筋和主桥横桥向预应力钢筋：Φ_s15.2（GB/T 5224-2003 标准），标准强度： $f_{pk}=1860\text{Mpa}$ ；竖向预应力采用屈服强度 $\sigma_s = 750\text{Mpa}$ 级直径 32mm 精轧高强螺纹粗钢筋，张拉控制应力为 $0.9\sigma_s = 675\text{Mpa}$ ；

2) 钢筋：Φ-R235、Φ-HRB335；

3) 钢材：Q235

4) 锚具：变截面连续梁纵向、横向预应力钢束采用真空压浆工艺，管道采用与其配套的塑料波纹管，其技术性能符合交通行业标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》（JT/T 529-2004）的规定。竖向预应力钢筋管道采用铁皮套管。

预制小箱梁正弯矩钢束采用圆形锚具及其配套的配件，采用真空压浆工艺，预应力管道采用圆形塑料波纹管；预制小箱梁墩顶连续段处负弯矩钢束采用扁形锚具及其配套的配件，预应力管道采用扁形塑料波纹管。

4、交通量

根据附近的文明曙光 104 交调数据，2022 年 4 月平均交通量见下表：

车型	中小客 流量	大客车 流量	小货车 流量	中货车 流量	大货车 流量	特大货 流量	集装箱 流量	摩托车 流量	拖拉机 流量
2022 年 4 月	23064	263	2087	520	209	1037	0	0	12

1.5 结构构造特点

一、主桥上部结构桥型布置与箱梁一般构造

桥面宽 36 米，分两幅，每幅桥箱梁断面采用单箱单室直腹板断面，箱梁顶板宽 17.05 米，底板宽 8.45 米，悬臂长度 4.3 米，箱梁顶板设 2%单向横坡，底板为平坡。箱梁根部梁高为 6.3 米，跨中及边跨合拢段、边跨现浇段梁高为 2.5 米，其余梁底下缘按 1.8 次抛物线变化。0 号块底板厚度为 170 厘米，各梁段底板厚从悬臂根部至悬浇最大悬臂由 80~32 厘米按 1.8 次抛物线变化，跨中及边跨合拢段底板厚为 32 厘米，边跨现浇段底板厚由 32~77 厘米线性变化。箱梁顶板厚度 0 号块为 75 厘米，其余为 30 厘米，箱梁顶面设 2%横坡。箱梁腹板厚度 0 号块为 135 厘米，1~5 号梁段腹板厚度为 95 厘米，7~10 号梁段腹板厚度为 80 厘米，12 号梁段及合拢段腹板厚度为 55 厘米，6 号梁段腹板厚度由 95~80 厘米按线性变化，11 号梁段腹板厚度由 80~55 厘米按线性变化，现浇段腹板厚度为 55~100 厘米。在中跨跨中各设一道横隔板，横隔板上设有人洞。箱梁根部底板处设有排水孔排水，腹板设通气孔。主桥平面位于直线上。

二、主桥预应力钢束及布置

1、纵向预应力钢束：纵向预应力钢束设置了顶板束（T）、墩顶下弯束（F）、边中跨底板连续束（BC、BS）、边中跨顶板束（TS、ZC）等。锚具必须采用经交通部门鉴定的合格产品，保证可靠的锚固。

2、竖向预应力：竖向预应力钢筋采用屈服强度 750MPa 级直径 32mm 精轧高强螺纹粗钢筋，采用梁顶一端张拉方式。

三、主桥下部构造

主墩采用薄壁墩，单幅桥横桥向墩宽为 9.75 米，墩厚为 3.5 米；承台厚 3.5 米，承台顶标高按保证最低通航水位设计。另外在墩身左右侧设置防撞墩。主墩采用单幅 9 根直径 1.8 米的钻孔灌注群桩基础，桩基按摩擦桩设计。

边墩采用双柱式墩，横桥向双柱中心距 6.45 米，单根柱截面横桥向宽为 2.5 米，纵桥向厚为 2.0 米；承台厚 2.5 米。边墩采用单幅 6 根直径 1.5 米的钻孔灌注群桩基础，桩基按摩擦桩设计。每根桩基均在桩身内沿圆周设超声波检测管，供成桩质量检测用。

四、附属结构

①护栏：外侧均采用混凝土防撞护栏，内侧采用钢质护栏

②桥梁伸缩缝：80 型及 80 型以下采用型钢伸缩装置，其橡胶类别为氯丁橡胶；80 型以上的采用模数式伸缩装置。其技术性能符合中华人民共和国交通行业标准《公路桥梁伸缩装

置》JT/327—2004 的规定。

③ 支座：

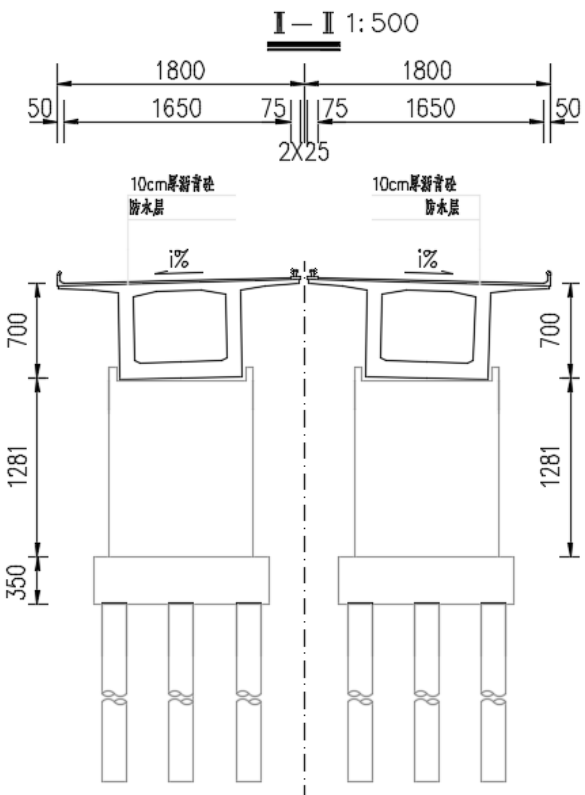
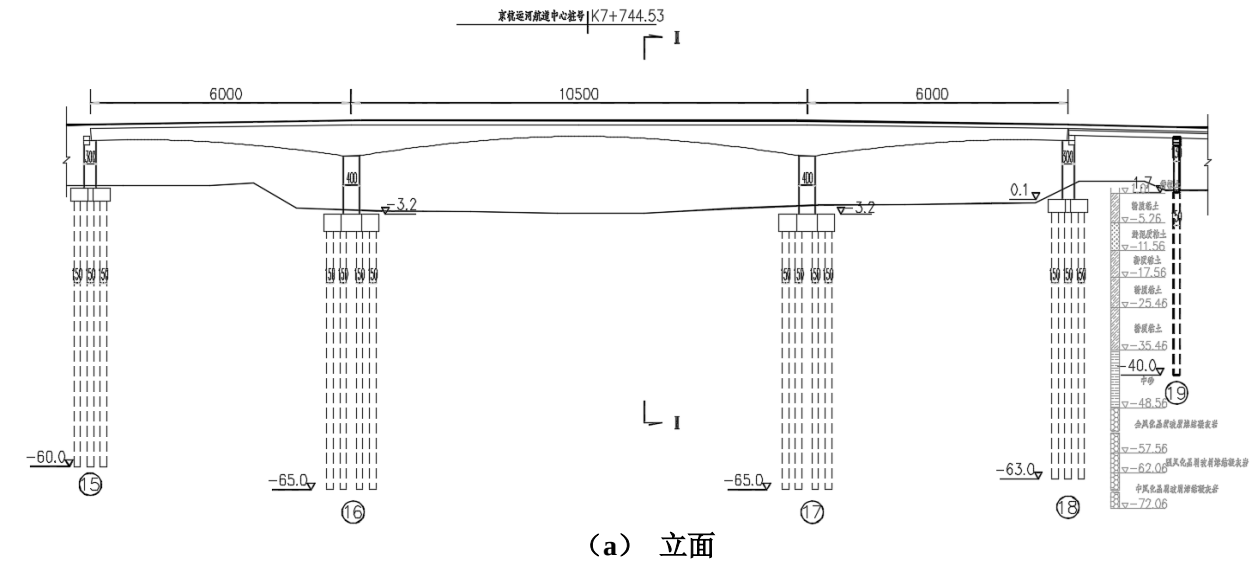
简支变连续小箱梁及空心板均采用板式橡胶支座。在伸缩缝处，支座均采用四氟板式橡胶支座。京杭运河特大桥主桥支座采用盆式橡胶支座，其产品标准符合《公路桥梁板式橡胶支座》（JT/T4-2004）要求。

④ 桥面铺装层：

沥青混凝土： 4cm 细粒式沥青混凝土+5cm 中粒式沥青混凝土，由路面标实施；

桥面混凝土：60+105+60 变截面预应力混凝土连续箱梁设 5cm 改性沥青混凝土调平层，其余均设 10cm C50 混凝土调平层，其中 60+105+60 变截面预应力混凝土连续箱梁顶 5cm 改性沥青混凝土调平层由路面标实施，本合同段施工单位需严格控制箱梁标高，确保顺利交接路面标。

⑤ 搭板：桥台后设 6m 长搭板，搭板以上均按道路路面结构铺设。



(b) 横断面
桥型布置图

五、主要技术标准如下：

- 1、设计荷载：公路-I级；
- 2、地震动峰值加速度系数 0.05g；
- 3、桥面横坡：2.0%；
- 4、桥下净空：机动车道 5.0m，非机动车道 2.5m；
- 5、河道通航情况：京杭运河现状为IV级航道，规划航道等级为III级，净空尺度要求达到 B≥60m，H≥7m，最高通航水位 2.52m。
- 6、设计洪水频率：特大桥 1/300，大、中、小桥及涵洞均按 1/100 设计；
- 7、桥梁断面布置：桥宽组合为 0.5m（护栏）+3m（非机动车道）+1m（分隔带）+12m（机动车行道）+0.5m（护栏）+0.75m（护栏）+12m（机动车行道）+1m（分隔带）+3m（非机动车道）+0.5m（护栏）=33m。

1.6 桥梁定期检查和维修加固情况

1.6.1 历年定期检查情况

京杭运河特大桥 2018 年、2020 年、2021 年进行过定期检查，详细检查结果如下：

一、2018 年定期检查

中交公路规划设计院有限公司检测中心对该桥进行了定期检查，根据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）的规定对京杭运河特大桥（K29+635）进行检查，该桥评定技术状况评定如下：

左幅：上部结构评定为 1 类；下部结构评定为 2 类；桥面系评定为 1 类；总体技术状况评定为 2 类。右幅：上部结构评定为 1 类；下部结构评定为 2 类；桥面系评定为 2 类；总体技术状况评定为 2 类。综合本桥技术状况评分、按主要部件最差缺陷状况评级及单项控制指标，全桥技术状况最终评定为 2 类，检查结果如下：

1) 左幅主桥

箱室外部有 14 处纵向裂缝总长 17.7m，25 处露筋总面积 0.37m²；8 处混凝土破损总面积 0.49m²；1 处横向裂缝总长 2m，1 处蜂窝麻面。箱室内部有 115 处纵向裂缝总长 349.8m，10 处水平裂缝总长 25.6m，27 处斜裂缝总长 41.9m，20 处竖向裂缝总长 28.5m，19 处网状裂缝总长 15.1m，2 处混凝土破损。横隔板有 8 处水平裂缝总长 9.46m，2 处斜裂缝总长 2.04m，21 处竖向裂缝总长 15.3m。3 处网状裂缝。墩身：6 处竖向裂缝，L=11.2m，6 处网状裂缝。

2) 右幅主桥

箱室外部有 1 处竖向裂缝总长 0.5m，22 处纵向裂缝总长 22.7m，7 处露筋总面积 0.0017m²；1 处修补后开裂，L=2m，3 处横向裂缝总长 2.35m，3 处表面脱落。箱室内部有 11 处竖向裂缝总长 35.25m，110 处纵向裂缝总长 638.5m，5 处横向裂缝总长 3.98m，27 处网状裂缝，L=11.3m，5 处斜裂缝，L=4.67m，41 处水平裂缝，L=52.65m，2 处露筋，4 处混凝土破损。横隔板有 10 处水平裂缝总长 25.6m，15 处斜裂缝总长 12.1m，4 处竖向裂缝总长 17.6m。墩身有 6 处竖向裂缝，L=11.2m，6 处网状裂缝。

二、2020 年定期检查

宁波市交通建设工程试验检测中心有限公司对该桥进行了定期检查，根据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）的规定对京杭运河特大桥（K29+635）进行检查，左幅主桥技术状况评分为 81.1 分，技术状况等级评为 2 类；右幅主桥技术状况评分为 81.2 分，技术状况等级评为 2 类。综合本桥技术状况评分、按主要部件最差缺陷状况评级及单项控制指标，全桥技术状况最终评定为 2 类。检查结果如下：

1) 左幅主桥：

(1) 上部结构

箱梁外部有 1 条竖向裂缝， $L_{总}=0.5m$ ， $W_{max}=0.06mm$ ；22 条纵向裂缝 $L_{总}=22.7m$ ，

$W_{max}=0.25mm$ ，7 处剥落露筋， $S_{总}=0.0017m^2$ ，3 条横向裂缝， $L_{总}=2.35m$ ， $W_{max}=0.16mm$ 。箱梁外部有 11 条竖向裂缝， $L_{总}=35.25m$ ， $W_{max}=0.2mm$ ；110 条纵向裂缝， $L_{总}=638.9m$ ， $W_{max}=0.16mm$ ；5 条横向裂缝， $L_{总}=3.98m$ ， $W_{max}=0.15mm$ ；2 处网状裂缝， $S_{总}=0.05m^2$ ；5 条斜裂缝， $L_{总}=4.67m$ ， $W_{max}=0.16mm$ ；41 条水平裂缝， $L_{总}=52.65m$ ， $W_{max}=0.12mm$ ；2 处剥落露筋， $S_{总}=0.016m^2$ ；4 处混凝土破损， $S_{总}=0.054m^2$ 。

横隔板有 8 条水平裂缝， $L_{总}=9.49m$ ， $W_{max}=0.16mm$ ；2 处斜裂缝， $L_{总}=2.3m$ ， $W_{max}=0.18mm$ ；21 处竖向裂缝， $L_{总}=15.7m$ ， $W_{max}=0.2mm$ 。

(2) 下部结构

桥墩身有 6 条竖向裂缝， $L_{总}=11.2m$ ， $W_{max}=0.25mm$ ；3 处网状裂缝， $S_{总}=13.9m^2$ 。

(3) 桥面系

2 个桥面铺装层有局部磨损露骨；1 个桥面铺装有 1 处坑槽， $S=0.03m^2$ ；1 个桥面铺装有 1 处混凝土附着。

伸缩缝锚固区 12 条纵向裂缝， $L_{总}=3.6m$ ；2 条伸缩缝均泥沙堵塞，伸缩缝锚固区均有磨损露骨。

护栏有 1 条竖向裂缝， $L=1.2m$ 。

部分排水孔堵塞。

2) 右幅主桥：

(1) 上部结构

箱梁外部有 14 条纵向裂缝， $L_{总}=17.7m$ ， $W_{max}=0.25mm$ ，25 处剥落露筋 $S_{总}=0.412m^2$ ，8 处混凝土破损， $S_{总}=0.535m^2$ ，1 条横向裂缝， $L_{总}=2m$ 。箱梁内部有 115 条纵向裂缝， $L_{总}=350.7m$ ，10 条水平裂缝， $L_{总}=27.1m$ ，27 条斜向裂缝， $L_{总}=42.4m$ ， $W_{max}=0.15mm$ ，20 条竖向裂缝， $L_{总}=29.2m$ ， $W_{max}=0.18mm$ ，2 处网状裂缝， $S_{总}=1.6m^2$ ；2 处混凝土破损， $S_{总}=1.16m^2$ 。

横隔板有 10 条水平裂缝， $L_{总}=25.9m$ ， $W_{max}=0.12mm$ ；15 处斜裂缝， $L_{总}=12.4m$ ， $W_{max}=0.15mm$ ；4 处竖向裂缝， $L_{总}=17.8m$ ， $W_{max}=0.12mm$ 。



(a) 腹板斜裂缝



(b) 顶板纵向裂缝

主桥主要承重构件典型裂缝

(2) 下部结构

桥墩身有 6 条竖向裂缝， $L_{总}=6.3\text{m}$ ， $W_{max}=0.25\text{mm}$ 。3 处网状裂缝， $S_{总}=4.2\text{m}^2$ 。

(3) 桥面系

1、3 个桥面铺装层有局部磨损露骨，1 个桥面铺装有 1 处坑槽， $S=0.002\text{m}^2$ 。

2、2 条伸缩缝锚固区有 16 条纵向裂缝， $L_{总}=4.8\text{m}$ ；2 条伸缩缝均泥沙堵塞，伸缩缝锚固区均有磨损露骨。

3、护栏有 17 处剥落露筋， $S_{总}=0.204\text{m}^2$ 。

4、部分排水孔堵塞。

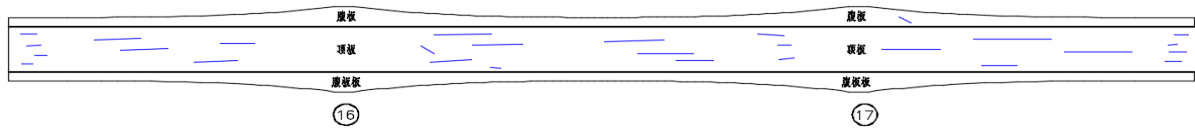
5、标线磨损不清。

三、2021 年定期检查

浙江省交通运输科学研究院联合温州信达交通工程试验检测有限公司对该桥进行了定期检查，按照《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/TH21-2011），京杭运河特大桥引桥左幅引桥状况评分为 80.16 分，技术状况等级评为 2 类。左幅主桥状况评分为 81.56 分，技术状况等级评为 2 类。右幅引桥状况评分为 80.19 分，技术状况等级评为 2 类。右幅主桥状况评分为 82.68 分，技术状况等级评为 2 类。京杭运河特大桥状况整体评分为 80.16 分，技术状况等级评为 2 类。检查结果如下：

左幅主桥上部：箱梁 1 处网状裂缝，面积共计 0.03m^2 ；104 条纵向裂缝，缝长共计 288.45m，最大缝宽 0.25mm；36 条水平裂缝，缝长共计 42.50m，最大缝宽 0.14mm；6 条横向裂缝，缝长共计 5.20m，最大缝宽 0.16mm；3 条斜向裂缝，缝长共计 2.6m，最大缝宽 0.14mm；1 条竖向裂缝，缝长共计 0.5m，最大缝宽 0.2mm；12 处剥落、露筋，面积共计 0.29m^2 ；12 处破损，面积共计 2.18m^2 ；2 处蜂窝、麻面，面积共计 1.40mm^2 。横隔板 29 条水平裂缝，缝长计

21.1m，最大缝宽 0.2mm；2 条斜向裂缝，缝长共计 2.1m，最大缝宽 0.18mm。1 处钢垫板锈蚀。



主桥左幅主要承重构件典型裂缝

右幅主桥上部：左幅箱梁 22 处剥落、露筋，面积共计 0.46m^2 ；80 条纵向裂缝，缝长共计 191.6m，最大缝宽 0.25mm；3 条斜向裂缝，缝长共计 6.0m，最大缝宽 0.1mm；1 条横向裂缝，缝长共计 2.0m，最大缝宽 0.15mm；1 处网状裂缝，面积共计 0.80m^2 ；10 条竖向裂缝，缝长共计 25.5m，最大缝宽 0.15mm；3 条水平裂缝，缝长共计 2.3m，最大缝宽 0.15mm；5 处破损，面积共计 0.54m^2 ；5 处渗水钙化，面积共计 0.50m^2 。现浇箱梁 19 条纵向裂缝，缝长共计 52.1m，最大缝宽 0.15mm；12 条斜向裂缝，缝长共计 16.4m，最大缝宽 0.15mm；4 条横向裂缝，缝长共计 3.2m，最大缝宽 0.1mm；1 条竖向裂缝，缝长共计 1m，最大缝宽 0.1mm；4 处破损，面积共计 0.45m^2 ；7 处剥落、露筋，面积共计 0.34m^2 ；1 处锈胀露筋，面积共计 0.10m^2 ；右幅 1 处锈胀、露筋，面积共计 0.1m^2 。横隔板 14 条水平裂缝，缝长共计 8.9m，最大缝宽 0.12mm；5 条斜向裂缝，缝长计 3.3m，最大缝宽 0.15mm；2 条竖向裂缝，缝长计 0.8m，最大缝宽 0.12mm。

左幅主桥下部结构：桥墩盖梁 6 条竖向裂缝，缝长共计 11.2m，最大缝宽 0.25mm；盖梁 2 处网状裂缝，面积共计 11.6m^2 。

右幅主桥下部结构：桥墩 1 处水侵苦；5 条竖向裂缝，缝长共计 6.3m，最大缝宽 0.3mm；3 处网状裂缝，面积计 4.52m^2 。

左幅主桥桥面系：桥面铺装 1 处混凝土堆积；1 处破损，面积共计 0.25m^2 。伸缩缝锚固区 27 条纵向裂缝，长度共计 10.8m；2 条伸缩缝堵塞。

右幅主桥桥面系：桥面铺装 1 处坑槽，面积共计 0.09m^2 。2 条伸缩缝堵塞；锚固区 23 处纵向开裂，缝长共计 6.9m；2 处止水带破损，长度共计 11m。护栏共有 39 处锈胀、露筋，面积共计 0.47m^2 。排水管 1 处脱落缺失，长度共计 2m，2 处防眩板损坏。

引桥病害如下：

左幅引桥上部：（1）小箱梁有 6 处蜂窝、麻面，面积共计 2.80m^2 ；45 处锈胀露筋，面积共计 0.68m^2 ；42 处破损，面积共计 1.37m^2 ；1 条横向析白裂缝，缝长共计 0.5m；2 条纵向析白裂缝，缝长共计 1.3m；1 条纵向裂缝，缝长共计 1.6m，最大缝宽 0.15mm；2 条横向裂缝，缝长共计 1.2m，最大缝宽 0.15mm；2 处渗水盐析痕迹；2 处火烧烟熏痕迹。（2）横向联系

46 处破损，面积共计 2.48m²；14 条横向裂缝，缝长共计 6.3m，最大缝宽 0.1mm；153 条竖向裂缝，缝长共计 137.30m，最大缝宽 0.35mm；2 条纵向析白裂缝，缝长共计 2.8m；1 条斜向裂缝，缝长共计 0.4m，最大缝宽 0.2mm；1 处锈胀露筋，面积共计 0.03m²；1 处渗水盐析痕迹；1 处烟熏痕迹。（3）支座 31 处剪切变形；7 处支座脱空；1 处支座位置串动；1 处支座外鼓；2 处支座缺失；1 个支座破损。

右幅引桥上部：（1）小箱梁 39 处剥落、掉角，面积共计 1.29m²；5 条纵向裂缝，缝长共计 11.25m，最大缝宽 0.2mm；2 条横向渗水析白裂缝，缝长共计 0.5m；3 条斜向裂缝，缝长共计 1.7m，最大缝宽 0.2mm；31 处破损，面积共计 1.02m²；2 处锈胀露筋，面积共计 0.06m²；6 处蜂窝、麻面，面积共计 1.19m²；1 处空洞，面积共计 0.01m²；1 处火烧熏黑痕迹；9 片梁有钢筋锈蚀痕迹。（2）横向联系 7 处剥落、露筋，面积共计 0.23m²；3 处渗水；209 条竖向裂缝，缝长共计 184.95m，最大缝宽 0.6mm；1 条纵向裂缝，缝长共计 10m，最大缝宽 0.15mm；8 处破损，面积共计 0.21m²。（3）29 个支座钢垫板锈蚀；51 个支座剪切变形；21 个支座脱空。

左幅引桥下部：（1）盖梁 32 处锈胀露筋，面积共计 0.79m²；6 处水侵害；12 处破损，面积共计 0.22m²；19 条竖向裂缝，缝长共计 7.45m，最大缝宽 0.2mm；4 条横向裂缝，缝长共计 6.6m，最大缝宽 0.2mm；1 条斜向裂缝，缝长共计 0.35m，最大缝宽 1.3mm。立柱 3 条环向裂缝，缝长共计 2.0m，最大缝宽 0.2mm；6 条竖向裂缝，缝长共计 7.1m，最大缝宽 0.2mm；1 处网状裂缝，面积计 0.10m²；5 处破损，面积共计 0.28m²。（2）0#台水侵害。54#台桥头接线 2 条横向裂缝，缝长共计 24m。

右幅引桥下部：盖梁 24 处破损，面积共计 0.36m²；9 处剥落露筋，面积共计 0.18m²；8 处水侵害；14 条竖向裂缝，缝长共计 7.1m，最大缝宽 0.25mm；1 条斜向裂缝，缝长共计 0.35m，最大缝宽 0.2mm；4 条横向裂缝，缝长共计 4.2m，最大缝宽 0.2mm；1 处空洞，面积共计 0.01m²。立柱 1 处网状裂缝，面积共计 0.04m²；1 条环向裂缝，缝长共计 0.6m，最大缝宽 0.2mm；1 条斜向裂缝，缝长共计 0.3m，最大缝宽 0.4mm；6 条竖向裂缝，缝长共计 3.6m，最大缝宽 0.2mm；2 处破损，面积共计 0.08m²。（2）0#、54#台均有水侵害现象。桥头接线 1 处车辙，面积共计 4.20m²；2 处横向开裂，缝长共计 12m。台帽 1 处锈蚀痕迹。

由以上检测报告知，主桥箱梁主要病害为顶板纵向裂缝、以及腹板竖向裂缝等大跨径连续梁桥常见病害，根据国内外预应力混凝土连续箱梁桥使用经验，预应力箱梁的开裂和下挠具有一定的伴生性和互为促进性，箱梁下挠导致混凝土开裂，混凝土开裂进一步促进箱梁的下挠。

1.6.2 历年维修加固情况

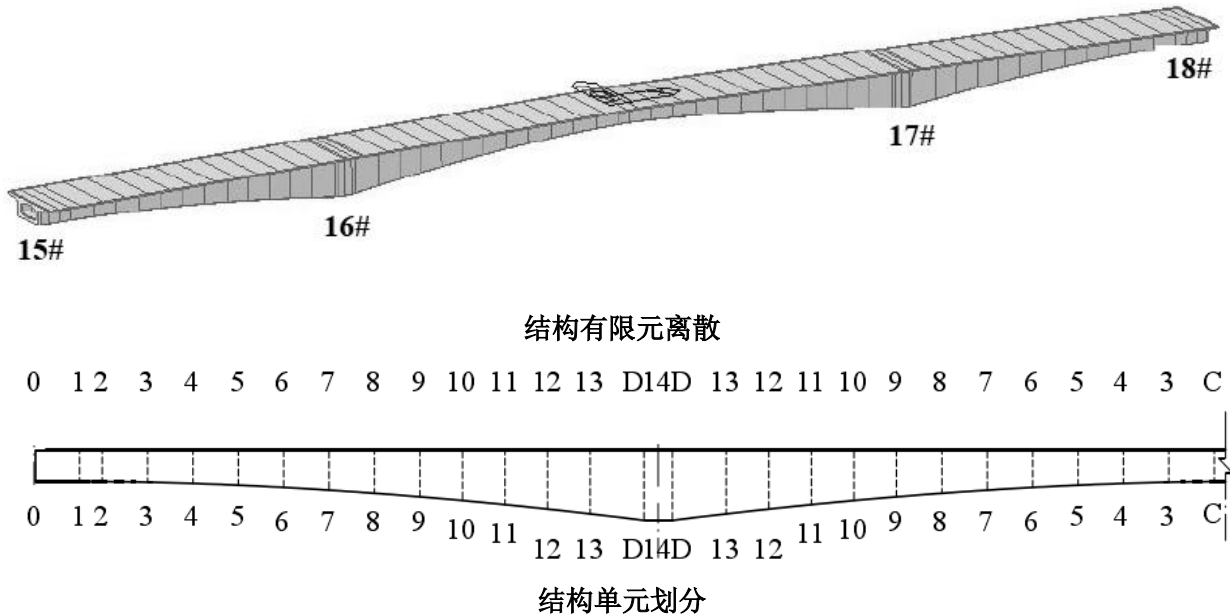
经查阅资料，该桥建成至今未进行过大中修。

1.7 桥梁结构数值模拟

采用 Midas Civil 2011 桥梁空间分析软件对桥梁，对该桥在短暂状况及持久状况下承载能力极限状态、正常使用极限状态进行分析，计算中考虑了恒载、活载、支座沉降、温度荷载（整体升降温、梯度温度）及混凝土的收缩徐变等作用。采用单梁模型模拟实桥，共分为 82 个节点、65 个梁单元，整体模型离散图和结构单元划分图如下图所示。

主桥箱梁采用 C55 混凝土：轴心抗拉强度标准值 $f_{tk}=2.74\text{MPa}$ ，轴心抗压强度标准值 $f_{ck}=35.5\text{MPa}$ ，弹性模量 $E_p=3.55\times10^4\text{MPa}$ ，热膨胀系数 $(1/[C]) 1.0\times10^{-5}$ ，泊松比 $\mu=0.2$ ，容重 $\rho=26\text{kN/m}^3$ ，主桥纵向预应力均采用预应力钢绞线，其抗拉强度标准值 $f_{pk}=1860\text{MPa}$ ，张拉控制应力为 $0.75f_{pk}=1395\text{MPa}$ ，弹性模量为 $E_p=1.95\times10^5\text{MPa}$ ，公称直径 $\Phi_s15.2\text{mm}$ ，热膨胀系数 $(1/[C]) 1.2\times10^{-5}$ ，泊松比 $\mu=0.3$ ，容重 $\rho=78.5\text{kN/m}$ 。主桥纵向预应力均采用预应力钢绞线，其抗拉强度标准值 $f_{pk}=1860\text{MPa}$ ，张拉控制应力为 $0.75f_{pk}=1395\text{MPa}$ ，弹性模量为 $E_p=1.95\times10^5\text{MPa}$ ，公称直径 $\Phi_s15.2\text{mm}$ ，热膨胀系数 $(1/[C]) 1.2\times10^{-5}$ ，泊松比 $\mu=0.3$ ，容重 $\rho=78.5\text{kN/m}$ 。

模型采用一般支承模拟成桥支座，15#、17#、18#墩顶处设置相同形式的支座，左侧支座均使用双向活动支座，释放节点处 DX、DY 和 RY 方向的自由度；右侧支座均使用单向活动支座，释放节点处 DX 和 RY 方向的自由度；51#墩顶处左侧使用单向活动支座，释放节点处 DY 和 RY 方向的自由度，右侧使用固定支座，仅释放节点处 RY 方向的自由度。



1.7.1 静力特性

一、计算荷载

1) 恒载

恒载主桥箱梁混凝土的容重按 26kN/m+计；二期恒载的线荷载集度为-51.74kN/m。

2) 混凝土收缩及徐变作用

混凝土徐变采用《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTGD62-2004)取值；环境相对湿度 0.8；混凝土加载终极龄期取为 3000 天。

3) 温度作用

考虑整体升降温和梯度温度的影响。计算桥梁结构因均匀温度作用引起的外加变形或约束变形时，体系整体均匀升温 19° C、整体均匀降温 25° C 考虑。计算温度梯度时考虑 10cm 沥青铺装、10cm 混凝土桥面铺装;梯度温度按《公路桥涵通用设计规范》（JTG D60-2004）第 4.3.10 条执行。

4) 基础强迫变位作用

基础沉降 10mm，并采用了支座强制位移和支座沉降组进行模拟。

5) 预应力损失计算参数

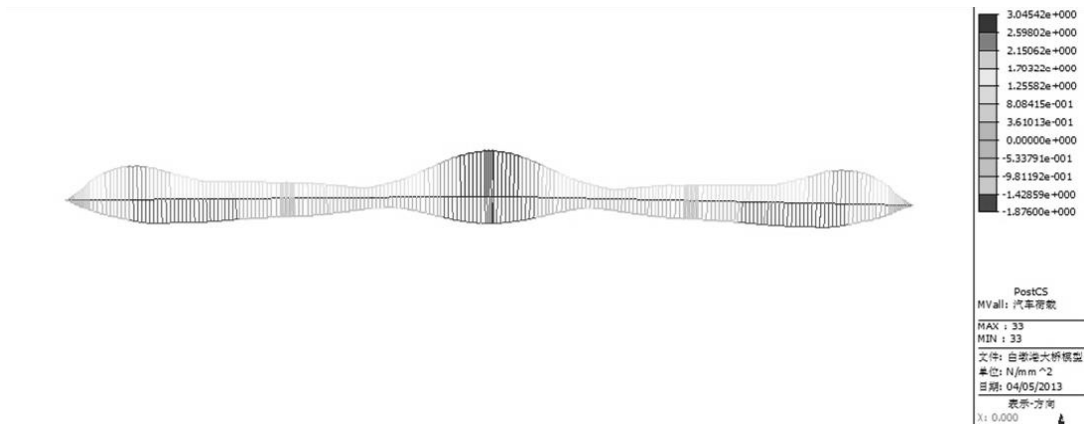
张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.75f_{pk}$ ；金属波纹管成孔时预应力筋与孔道壁的摩擦系数 $u=0.15$ ，孔道（每米）局部偏差的摩擦系数 $k=0.0015$ ；锚具及钢绞线回缩变形按 6mm 计；松弛损失按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTGD62-2004）第 6.2.6 条计算。

6) 活载

公路-I 级，冲击系数按《公路桥涵设计通用规范》（JTGD60-2004）第 4.3.2 条规定。

二、运营阶段计算结果

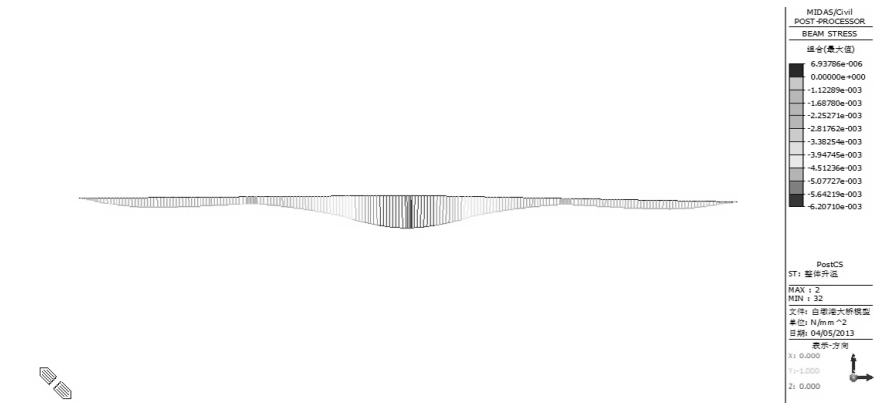
1) 汽车荷载作用



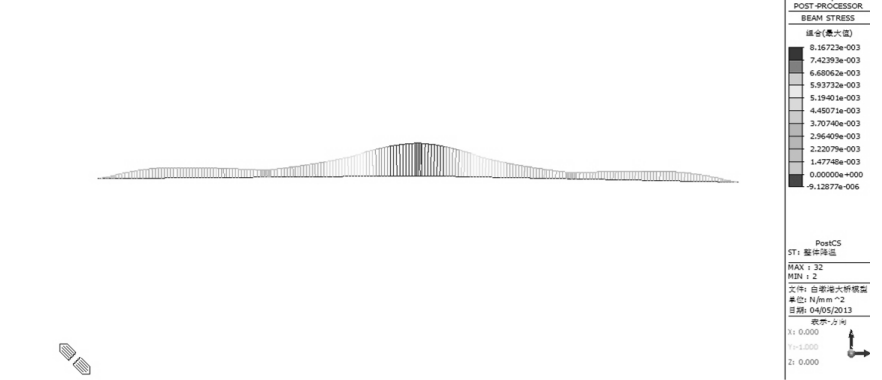
汽车荷载作用下主梁应力

由上图可以看出，在汽车荷载作用下预应力混凝土连续梁桥主梁上缘最大拉应力 1.14MPa，出现在边跨跨中靠近中墩截面，最大压应力 1.87MPa(53με)，出现在中跨跨中截面；主梁下缘最大拉应力 3.04MPa(86με)，，出现在中跨跨中截面，最大压应力 1.68MPa(47με)，出现在边跨跨中靠近边墩截面。

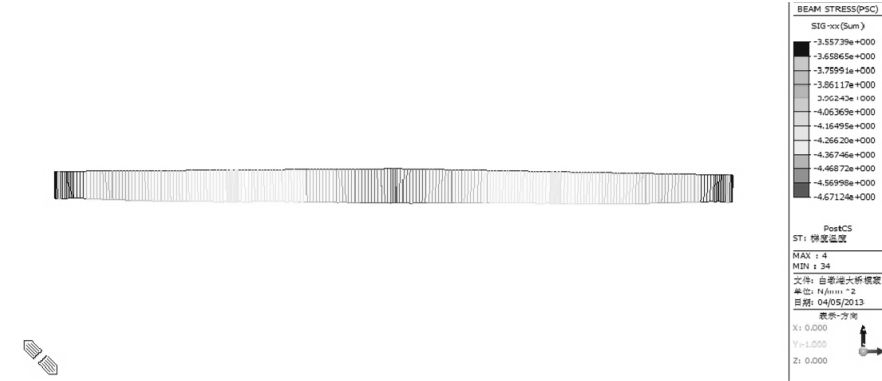
2) 温度作用



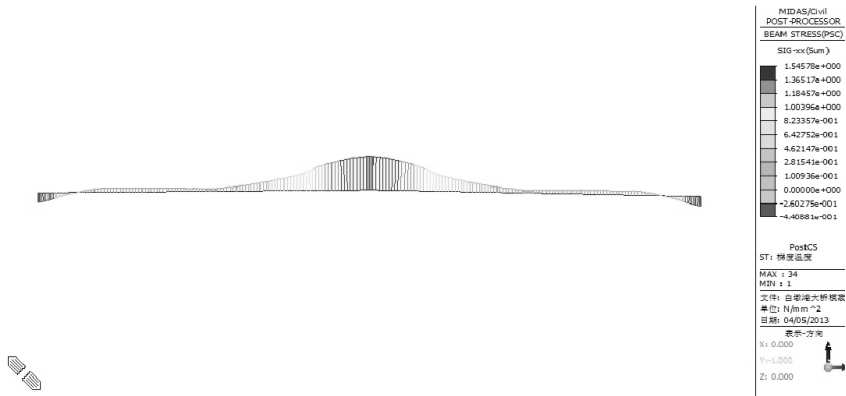
整体升温作用下主梁应力



整体降温作用下主梁应力



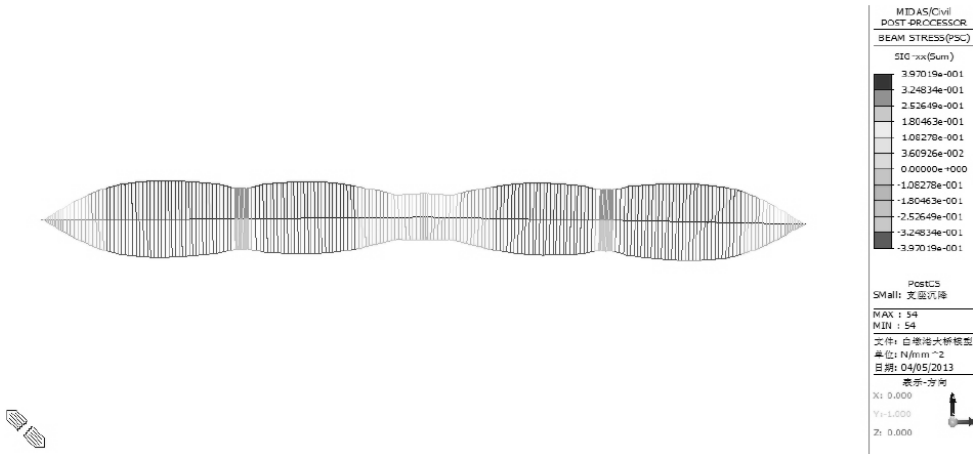
梯度温度作用下主梁上缘应力



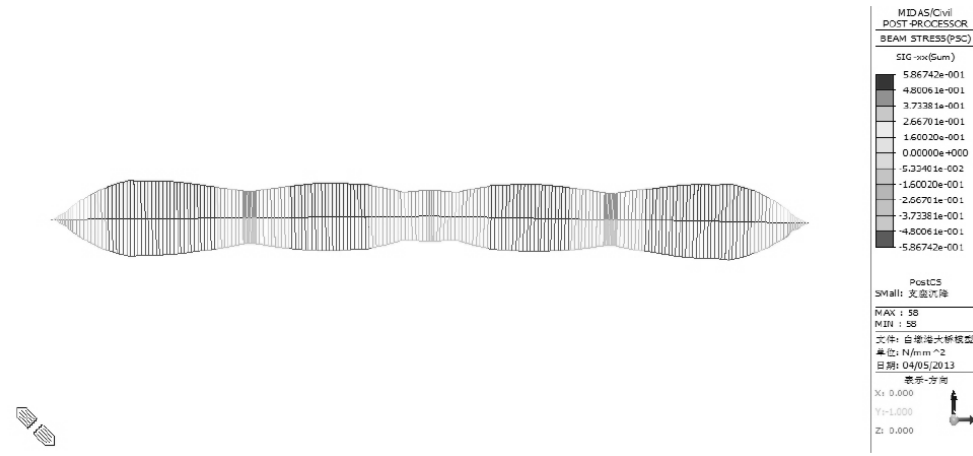
整体降温作用下主梁下缘应力

整体降温作用下预应力混凝土连续梁产生的应力很小，可以忽略不计。梯度温度作用下主梁上缘产生压应力，最大压应力 4.65MPa(131μ ϵ)，出现在主跨跨中截面;主梁下缘主要为拉应力，最大拉应力 1.55MPa(47μ ϵ)，出现在主跨跨中截面，边跨靠近边墩的截面由于横向双支座的约束，产生压应力，最大压应力 0.44MPa(12.4μ ϵ)，出现在靠近边墩支座截面。

3) 沉降作用



整体沉降作用下主梁上缘应力



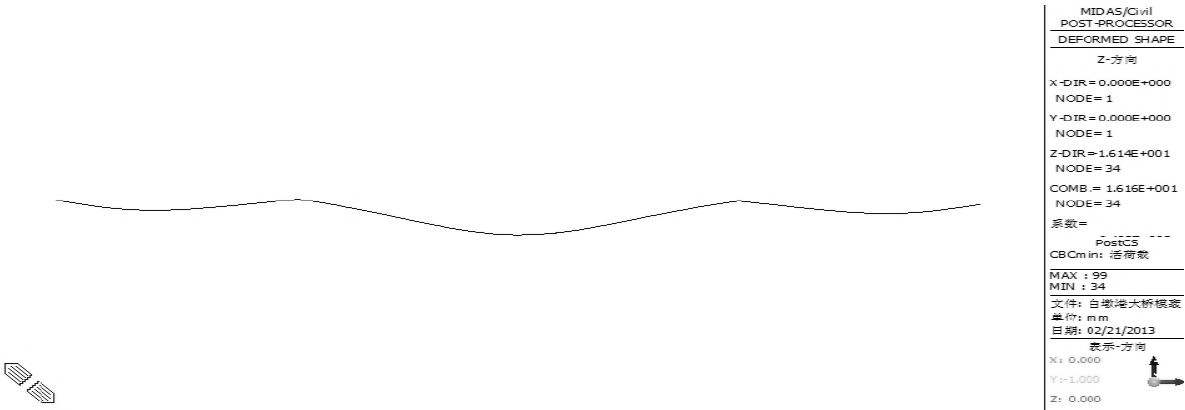
整体沉降作用下主梁下缘应力

由上图可以看出，由支座沉降引起的截面上缘最大拉应力 0.397MPa(11μ ϵ)，最大压应力 0.397MPa(11μ ϵ)，出现在边跨跨中靠近中墩截面；下缘最大拉应力 0.587MPa(16.54μ ϵ)，最大压应力 0.587MPa(16.54μ ϵ)，出现在边跨跨中靠近边墩截面。

4) 挠度

挠度计算采用荷载短期效应组合下消除结构自重的挠度值，考虑挠度长期效应的可变作用引起的的挠度值最大值发生在中跨跨中截面，最大值为 29.73mm，小于计算跨径的 L/600=166.67mm。

活载作用下主梁最小位移见下图。



活载作用下主梁最小位移（mm）

1.7.2 动力特性

通过 Midas Civil 采用子空间迭代法进行桥梁模态分析，计算模态数取 3，计算结果见下表，并给出前 3 阶竖向挠曲振型图，见下图。

京杭运河特大桥频率振型		
振型阶数	频率（Hz）	振型描述
1	1.05	竖向 1 阶正对称挠曲振动（边跨、中跨反向，边跨半波）
2	2.91	竖向 2 阶正对称挠曲振动（边跨、中跨同向，边跨半波）
3	6.47	竖向 3 阶对称挠曲振动（边跨一个整波）



(a) 竖向 1 阶正对称挠曲振动（边跨、中跨反向，边跨半波）



(b) 竖向 2 阶正对称挠曲振动（边跨、中跨同向，边跨半波）



(c) 竖向 3 阶对称挠曲振动（边跨一个整波）

京杭运河特大桥前振型

1.8 运营风险辨识分析

1.8.1 环境风险因素

长时范围内的温湿度变化对桥梁结构的整体变形、桥梁重要构件及监测仪器的耐久度影响极大，短时范围内的温湿度变化将影响桥梁结构的状态评估和传感器的测试精度。对桥位处环境温湿度的风险辨识见下表所示。

桥位处环境温湿度风险辨识

起因	环境温湿度变化
后果	影响桥梁整体变形和重要构件的耐久性影响桥梁状态评估和传感器测值的精度影响结构静力、动力分析结果
表现	1、仪器工作异常、寿命缩短 2、结构异常振动等 3、伸缩缝、护栏挤死等
监测手段	温湿度监测

1.8.2 作用风险因素

（1）超速超限活载

桥面上通行的超速超限重车是公路桥梁重要的外部荷载风险源。对超速超限重车的监测，获取其总重、轴重、轴距和车速等指标，以此作为评估桥梁运营环境的重要参数。对于超速超限车辆，可利用同路段附近治超数据以及桥址视频监控辅助专项评估决策。对超限超重活载的风险辨识见下表。

超限超载风险辨识

起因	超速超重车辆上桥
后果	结构的异常振动，主梁发生较大的内力变化和变形

表观
1、梁体挠度变化
2、主梁的异常振动

监测手段
1、车辆荷载监测（可利用同路段附近治超数据）
2、结构振动
3、桥面交通状况（可利用已有桥面监控系统）

（2）结构温度

温度分布的表现形式主要为描述结构表面或者结构上各点在某一时刻温度状态的变化，混凝土 由于其材料本身的特点，在产生温度变化的时候其内部温度的变化滞后于外部温度的快速变化，正是由于这种温度变化情况下热量差的存在，形成了温度非线性不规律分布的状态。由于混凝土本身的特点，在温度的作用下，对其内部温度的分布比较明显。对结构温度风险辨识见下表所示。

结构温度风险辨识

起因	混凝土导热性不良，不同部位温度变化存在一定延迟
后果	主梁产生较大的温度次内力
表现	1、梁体线形变化 2、主梁开裂
监测手段	结构温度监测

（3）船舶撞击

京杭运河特大桥属于 III 级航道，总体设计船舶对桥梁的撞击事故主要有两种类型：一种是撞击桥梁主梁等上部结构，另一种是船舶撞击桥墩等下部结构，两类事故都可能给桥梁造成致命破坏。为及时获取船舶或漂流物撞击事件的第一手信息，需要对其进行监测。对船舶撞击的风险辨识如下表所示。

船舶撞击风险辨识

起因	船舶失控撞击桥梁，或河流中漂流物撞击桥梁墩柱
后果	严重时下部结构失稳，导致上部结构倾覆
表现	1、墩柱倾斜 2、桥梁结构异常振动
监测手段	结构横向振动

1.8.3 结构响应风险因素

（1）梁端位移

基础持续变位带来的墩柱倾斜、活载产生的制动力等均可能使梁端发生较大相对变位。

对梁端 相对变位的风险辨识见下表。

梁端相对变位风险辨识	
起因	1、基础持续变位引起的墩柱倾斜 2、活载产生的制动力
后果	主梁发生较大纵向位移，严重时引起支座剪切破坏
表观	梁端伸缩缝处位移过大
监测手段	梁端纵桥向相对变位

(2) 主梁位移

温度效应、活载超限、汽车制动力、火灾、地震等偶然荷载、结构自身性能退化等因素可能使主梁发生较大位移。对主梁位移的风险辨识见下表。

主梁位移风险辨识	
起因	1、温度效应 2、活载作用 3、地震等偶然荷载 4、结构自身性能退化
后果	主梁开裂，严重时引起支座剪切破坏、伸缩缝破坏
表观	主梁振动位移幅度过大，结构永久性变形，结构开裂
监测手段	主梁恒载位移监测

(3) 主应变

温度效应、超限活载作用、偶然荷载、结构自身性能退化等因素均可能使主梁应变发生较大变化。对主梁应变的风险辨识见下表。

主梁应变风险辨识	
起因	1、温度效应 2、活载作用 3、地震等偶然荷载 4、结构自身性能退化
后果	主梁关键截面应变较大，严重时引起主梁开裂，刚度削弱
表观	主梁关键截面开裂
监测手段	主梁应变监测

(4) 振动

超限活载、地震、爆炸冲击等偶然荷载等因素均可能使主梁发生过大振动。对主梁振动

的风险辨识见下表。

主梁振动风险辨识	
起因	1、活载作用 2、地震荷载 3、爆炸冲击等偶发荷载
后果	主梁异常振动，严重时引起主梁开裂，支座和伸缩缝破坏，结构垮塌；易引桥桥上行人和车辆司乘恐慌
表观	主梁振动幅度过大，主梁梁体开裂，支座剪切错动，伸缩缝破坏
监测手段	主梁振动监测

1.8.4 结构变化风险因素

(1) 水毁风险

针对跨河涉水桥梁，水中墩台存在被船只（通航河道）、漂流物撞击等水毁风险；此外，当河流河床比降大，水流流速加快，季节性降雨明显，丰水期水位暴涨，存在水流冲刷引起基础冲刷掏空、墩台倾斜的风险。对水毁的风险辨识见下表。

水毁风险辨识	
起因	洪峰过境，水流长期冲刷
后果	船只（通航河道）撞击；漂流物撞击；基础冲刷；墩柱倾斜
表观	墩柱倾斜和梁端位移
监测手段	梁端位移

(2) 桥墩沉降

基础的沉降或变位引起墩柱倾斜，大的墩柱倾斜会导致支座和伸缩缝剪坏，严重时甚至引起下部结构倾覆，使得桥梁面临坍塌失效的风险。基础沉降或基础在汛期受洪水冲刷、大吨位船舶撞击等情况下发生大的变位，墩柱存在发生倾斜的可能性。对墩柱倾斜的风险辨识如下表所示。

桥墩（台）沉降风险辨识	
起因	1、河床冲刷、船舶撞击等引起的基础变位 2、偏载
后果	墩柱倾斜、支座和伸缩缝剪坏，严重时引起下部结构倾覆
表观	1、墩柱倾斜 2、支座和伸缩缝移位
监测手段	墩柱倾斜度

(3) 预应力不足

预应力是预应力混凝土结构能够在较小自重的前提下，实现跨越能力较大提升的最根本保障。设计阶段对预应力损失的估计不足、施工阶段预应力管道压浆不密实导致钢绞线锈蚀缺损以及混凝土自身性能退化等原因，均可导致结构预应力度不足。预应力度不足是一个缓慢发展的过程，会使梁体在恒载的作用下产生较大的挠度而开裂，危及行车和结构安全。对预应力度不足的风险辨识见下表。

预应力不足风险辨识	
起因	1、设计阶段对预应力损失的估计不足 2、施工时钢束张拉控制不到位 3、混凝土收缩徐变等自身性能退化
后果	梁体持续下挠，梁体开裂
表现	1、恒载变形 2、恒载应力变化，结构开裂
监测手段	1、梁体恒载变形监测 2、梁体裂缝监测

1.9 项目需求对策分析

项目需求、对策分析前期，桥梁管养单位组织设计单位人员深入桥梁现场进行调查，并对检测报告中的典型病害进行合适，同时收集了该桥竣工图、历年检测报告、加固维修图纸等基础资料。设计人员多次与大桥管理人员、养护工程师进行座谈，充分了解了养护管理单位对本项目的需求，并调查了接口平台现有资源及功能兼容情况。

1.9.1 项目需求分析

（一） 桥梁安全运营和科学养护的需求

京杭运河特大桥在今后长期服役过程中将主要面临两大类风险，给桥梁安全运营和预防性养护带来技术挑战。

1）结构自身的损伤积累和抗力衰减

京杭运河特大桥在长期服役过程中面对环境侵蚀、材料老化、荷载效应、疲劳效应等因素的共同作用，结构自身将不可避免地出现损伤累积和抗力衰减。分析其产生的原因可能有：

- （1）设计过程中对桥梁使用的建设材料、新体系、新结构的性能状态了解或创新经验不足，或者是所采用的计算分析理论方法和实际有偏差，导致的先天缺陷；
- （2）施工过程中的材料、控制质量等控制不严，导致原生缺陷；
- （3）对结构施工、运营面临的危险性分析不足，人员缺乏养护维修技术及经验；
- （4）合格的人员、机具设备、甚至养护维修资金的匮乏不足；

2）周边环境和长期荷载引发的灾害和突发事件

周边环境中复杂的地形、地质、水文、气候和运营条件，也使桥梁面临地质灾害和超负荷使用等灾害风险。同时上述风险往往相互耦合，灾害发生的概率和造成的危害尤为突出：轻则严重影响桥梁使用功能和寿命，重则导致灾难性的重大事故，带来巨大生命财产损失与恶劣的社会影响。主要风险分析如下：

- （1）桥址附近地质灾害导致的结构破坏；
- （2）地震、车辆撞击等或极端荷载突发事件。

（二） 桥梁养护技术迭代升级的需求

长期以来，对在役桥梁的养护检查以日常巡检和定期检查为主，技术手段依赖于人工目视、简易工具或便携设备，仅当发现威胁结构安全的异常现象或于台风、意外碰撞等灾害发生后，才启用专用设备进行特殊检测或专项试验。众所周知，基于简易技术手段的传统养护检查方法存在以下不足：

- 1）前期准备工作繁复，检查周期长，影响正常交通运行，效率低；
- 2）由于结构内部及某些局部构件受条件所限无法进行检测或近距离观测，客观存在诸多检测盲点；
- 3）检查和评定结果主观性强、整体性差、难以量化，取决于检查人员的专业知识水平和经验；
- 4）检查间隔时间长，对突发安全事故无提前预警和应急机制；
- 5）花费大量人力、物力，特别是后期检测和养护成本偏高。

美国联邦公路委员会的调查显示：由人工检查做出的评估结果有大约 56%是不恰当的或者针对性不强。因此，传统的桥梁检查方法和手段已不能适应规模日益庞大的大型桥梁的现代化养护管理要求，特别是对于突发安全事故的防范更加无能为力。

桥梁健康监测技术虽已提出超过 20 余年，但仍受制于以下障碍而难以广泛应用：

- 1）监测项目和测点布设大而全，系统建设的一次性投入过高；
- 2）监测设备的使用寿命与桥梁结构的设计使用寿命错配，加之系统后期运维管理缺乏长效机制，导致监测系统难以保持长期有效运行；
- 3）针对实时采集的监测数据，缺乏精准及时的分析预警技术，预警误报率奇高，难以形成高效的快速响应机制；
- 4）对长期采集的海量数据，缺乏有效且可靠的分析评估方法，难以支撑桥梁运营管决策。

1.9.2 项目对策分析

（一） 桥梁动态安全监测与人工检查机制综合互补的策略

根据上述对桥梁养护需求的分析，需制定桥梁动态安全（健康）监测与人工检查相互结合和综合互补的养管策略。

桥梁工程结构因运营时间的不断推移，结构本身的危险性将会增加，需要运营期实时监管结构的安全使用状态，根据欧美日国家几十年来的桥梁监管养护经验以及我国最早通车的钢管混凝土系杆拱桥养护遇到的实际问题，有效地将结构的巡检（检测）与监测技术结合起来，可以有效、针对性的为桥梁的养护维修服务。

针对桥梁管理、养护、维修、维护需要，通过一系列手段监测桥梁可能的内力状态改变及构件损伤，监测过程中应把握以下原则：针对结构内在受力状态的改变监测主要通过自动化监测子系统定期或实时采集相关信号数据并加以不同荷载组合计算分析，依靠设计、材料、养护规范以及设计

经验来实现；针对构件的损伤检查主要通过构件危险性分析后，制定各桥针对性的巡检机制，通过人工巡检实现，然后根据自动化传感测试系统的监测结果和基于未来人工定期巡检的结果，从内到外，由表及里来掌控大桥的安全使用状态，对大桥在运营期间的结构状态的改变及损伤进行评估，最终根据结构安全综合评估意见提出调整、维修或加固的建议。

针对京杭运河特大桥的运营环境特点以及桥梁结构特点，将结构面临的危险源划分为结构损伤和结构状态的不利性改变两大类，并根据当前科学技术水平提出针对不同危险源情况采取不同的监测和巡检管理手段策略，针对性地服务桥梁的运营管养。

1）结构状态的不利性改变主要通过自动化结构监测（核心为全桥变形和振动）与人工巡检结合，监管目标是据此推断全桥的结构安全承载能力，重在对桥梁结构整体或局部内在使用受力及状态变化的掌控；

2）运营期不可避免的将出现的表观损伤则通过人工巡检，在基于风险管理的基础上，目标性巡查桥梁主体工程及其附属设施可视的损伤或病害，按桥梁结构各构件既定的巡检程序和设定的巡检内容有计划检查并规范、标准地记录桥梁构件、非结构物（附属构造）以及附属设施的表观损伤或病害，监管目标是保障其能够得到及时、经济、合理地维护和维修。

（二） 全产业链全过程技术服务的策略

根据上述对监测系统需求，需制定全产业链全过程技术服务策略。目前，在结构健康智能监测领域正逐步形成一个相对完整的产业链。产业链从上游到下游的主要参与者包括：

1）传感器及设备厂商：研发和生产工点现场安装的各类传感器、采集设备、数据通讯设

备和终端，以及监测中心配备的各类服务器、工作站、显示屏及网络硬件设备。

2）系统集成服务提供商：负责工点现场和监测中心的设备选型，系统设计，硬件采购、运输和安装，以及软硬件联合调试。

3）应用软件开发商及商业云平台服务提供者：负责各细分行业或专业监测应用软件开发商，或提供商业级物联网接入、云计算和云存储平台硬件或软件中间件的平台服务商。

4）专业技术服务提供商：利用自身在公路交通行业领域的技术能力和专业优势，为客户提供监测系统设计、建设和运维、桥梁结构安全预警和评估、应急响应和管养决策支持、专项（特殊）试验检测、后续维修加固设计等工程结构全生命周期技术服务。

5）客户或业主：公路交通行业主管部门、路产公司或道路养管部门等责任主体单位。前期由于产业链分工尚未完善、市场发展和行业规范也并不成熟，上述产业链中的设备厂商或系统集成商为了自身利益最大化，往往越庖代俎地包揽了产业链中所有业务环节，包括其并不具备相关能力和优势的专业技术服务；或者过度夸大监测系统自身的功能和先进性，导致客户只重视系统建设，而忽视了系统后期运维和数据分析评估的重要性和难度。以上模式都会给相关责任主体单位带来巨大的风险和损失。大量成功案例的经验和失败案例的教训都表明，在桥梁结构健康监测领域长期可持续的产业链模式是：以行业内具有技术能力和专业优势的“专业技术服务提供商”为核心，通过牵头联合或外委采购等方式组织软硬件供应商，为责任主体单位提供监测系统设计、建设、运维、安全预警评估、决策技术支持等全生命周期总包服务。

2 系统总体设计

2.1 设计依据

目前，在世界范围内关于桥梁监测系统的研究均处在起步阶段，虽然已经取得了丰富的研究成果，但桥梁结构动态安全监测系统的设计和研究还处在一种不断摸索，逐渐成熟的发展过程中。在具体的设计过程中，主要是借鉴国内外相关领域成熟的技术和桥梁检测、监测的经验，设计中主要参考依据如下：

- （1）《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》（JT/T 1037-2016）；
- （2）《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21-2011）；
- （3）《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）；
- （4）《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTJ023-85）；

- (5) 《公路数据库编目编码规则》》(JT/T 132-2014)；
- (6) 《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》(JTG D80-2006)；
- (7) 《公路网运行监测与服务暂行技术要求》(交通部运输部 2012 年第 3 号公告)；
- (8) 《高速公路通信技术要求》(交通部运输部 2012 年第 3 号公告)；
- (9) 《高速公路监控技术要求》(交通部运输部 2012 年第 3 号公告)；
- (10) 《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T 1037-2016)；
- (11) 《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 5083)；
- (12) 《公路长大桥梁结构动态安全监测系统建设实施方案》(交办公路发[2021]21 号)；
- (13) 《关于进一步规范桥梁结构健康监测系统施工图设计方案编制工作的通知》(2022 浙公运函〔2022〕3 号)
- (14) 京杭运河特大桥竣工图、历年检测报告、加固维修图纸等基础资料；
- (15) 其他相关资料。

2.2 系统总体目标

根据京杭运河特大桥技术状况现状及承载能力分析结果，结合目前的交通需求情况，随着运营时间的推移，技术状况及安全储备较低的弦杆、桥面板、刚性节点以及空实腹连接部位受到各种损伤累积及内力状态改变，相应的刚度和承载能力就会出现不同程度的衰减，这些损伤和内力状态的改变如果能够预先获知，并及时进行调整、维护就能保证结构的运营安全，否则将可能导致灾难性事故。为避免灾难性事故的发生，实时掌控结构的安全使用状态，提高桥应急处置能力，构建一个经济实用、安全可靠、技术先进、易于管理、符合京杭运河特大桥结构损伤特点和受力特征的健康监测系统是十分必要的。

本桥梁动态安全监测系统设计的总体目标如下：

- 1) 在线监测，超限报警。通过桥梁健康监测数据及视频数据的实时传输，进行桥梁状态实时在线监测、集中管理及展示。参照《公路长大桥梁结构健康监测系统试点建设技术指南》建立三级报警体系（黄色报警、橙色报警、红色报警），实现对桥梁实时监测数据进行超限报警。在桥梁运营状况异常时及时触发报警信号（界面提醒、监控中心报警灯闪烁及蜂鸣声、邮件自动推送），提醒相关人员关注桥梁运营与安全状况，并采取合理的应对措施，消除桥梁监测数据超限报警状态，使桥梁处于正常服役水平。可自动化生成各类报告报表，包括监测数据数理统计分析、对比分析、相关性分析、趋势分析等报告；
- 2) 及时“感知桥梁”，依据状态评估结果指导预防性养护。基于大桥自动化监测数据等

进行状态评估，有效地监管运营期桥梁的结构使用状态并预测其发展趋势，在桥梁结构危险萌芽阶段及时“感知桥梁”，辅助大桥管养者制定预防性、高效、经济、合理的养护措施，实现桥梁预防性养护，延长桥梁的安全使用寿命；

3) 使养管规划更科学，使养护资金分配更合理。通过桥梁健康监测系统对在管桥梁结构状态实现整体把控，为养护决策和规划提供科学的数据支持，实现桥梁病害、桥梁管养分级，使养护资金的分配更加合理，养护维修措施更加有针对性，实现长期总体养护资金投入最小化，降低维养成本。

4) 系统数据接口、数据格式及传输协议按照《公路长大桥梁结构健康监测系统试点建设技术指南》（以下简称《部指南》）统一要求，实现与省市级平台的系统互联、数据共享。

最终使系统达到功能相对完善、运行性能稳定，监测数据可靠、便于维护、易于操作，硬件设备满足耐久性和野外工作的要求。

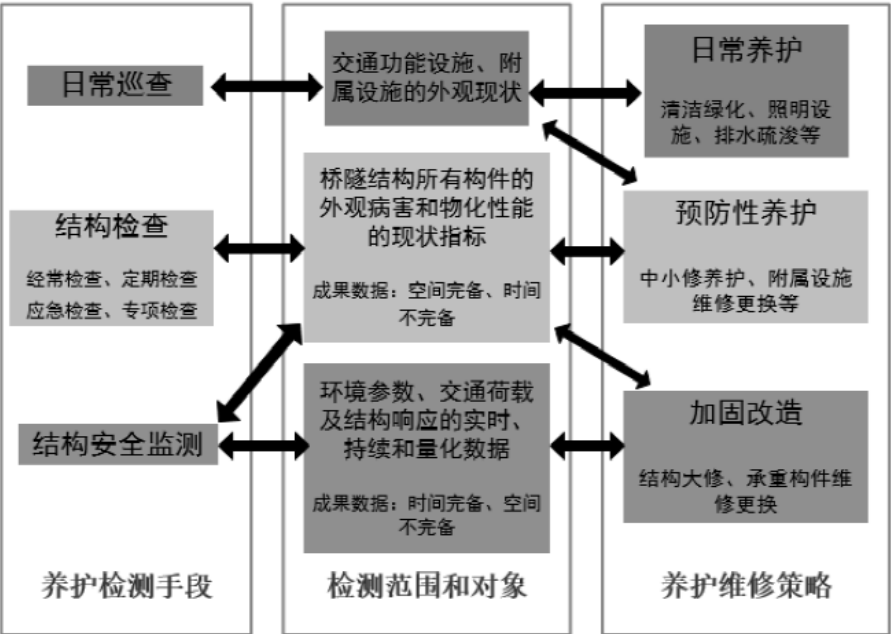
2.3 系统设计思路

根据系统设计目标，该桥结构动态安全监测系统设计思路如下：

1) 在满足《部指南》和《关于进一步规范桥梁结构动态安全监测系统施工图设计方案编制工作的通知》（浙公运函〔2022〕3 号）相关要求的基础上，结合本桥梁自身特点及桥梁所处的环境状态，荷载作用状态，采用多角度、多手段的监测来保障监测数据的完整性、可靠性以及实用性，进而保证整个健康监测及评估系统的有效工作；

2) 实现完善的软件功能、便捷的查询功能、统计及自动报表功能等，保证硬件系统的功能可扩展性和稳定性；

3) 针对结构内力和变位状态的变化监测，主要通过布设在结构上的传感元件实时采集相关数据，并辅以数值分析等手段实现；针对结构构件的外观损伤和材料性能退化，通过人工检查实现。结合结构动态安全监测系统的监测数据和人工检查的结果进行综合分析评估，从内到外，由表及里来掌控桥梁结构的技术状况和运营安全状态，对结构状态的改变及损伤进行评估，最终根据综合评估结论制定养护、维修或加固的策略。



自动化监测与人工检查相结合的养管策略

2.4 系统设计原则

2.4.1 总体原则

动态安全监测系统应立足于稳定可靠、经济实用，同时结合京杭运河特大桥结构特点、已存在损伤情况和地理环境、系统的建设规模和造价要求等因素综合考虑，满足应急处置需求，同时又具有经济效益的桥梁结构动态安全监测系统，设计遵循：“先进、适用、稳定、安全、经济、实用”的原则。具体如下：

- 1) 系统的技术先进性：力求利用当代传感测试技术、计算机科学技术、光电子信息技术、桥梁结构计算分析技术、结构安全风险管理体系等最新成果，构建该桥结构安全监测系统。
- 2) 系统的稳定性：由于结构动态安全监测系统长期、实时运行，系统的可靠性是保证系统目标实现的前提条件。根据大桥的地理位置特点及结构特征，应选择国内外有应用实例的成熟产品和技术，保证，系统预定功能和指标要求得以实现。监测设备及其附属设施安装要保证稳固可靠，监测设备及其附属设备安装简单、不易损坏，易于缆线布置，系统具有能真实可靠地反映桥梁所处自然环境、运营环境以及结构响应的各项参数信息，努力做到硬件可靠，软件稳定，系统运行常态化，系统维护轻量化。
- 3) 系统的适用性：系统软硬件设计和实施充分考虑了未来发展，方便以后对系统的设备进行更新、维护，同时系统应具备预备容量的扩充和升级。预留了一定数量的软硬件通道冗余、软件进行模块划分接口统一，便于将来进行功能扩展。

4) 系统的安全性：系统提供密码保护和多级权限控制，并通过对操作人权限的不同划分设置来对系统使用人员进行管理。同时，作为一个大数据产生和存储载体，系统对数据身亦建立了相应的安全保障措施，包括网络安全防护以及各种可能的意外情况下数据容灾的相关软硬件配置。

5) 系统的经济性：即在满足相关技术规范的基础上，在系统设计的同时进行“效能一成本分析”，力求采用具有“代表性、少而精的监测信息包含尽可能多的结构及运营环境信息，并努力把握动态安全监测系统与人工检查互补机制的平衡点，力求达到桥梁结构全生命周期内的性价比最优；

6) 系统的实用性：结合交通运输部和浙江地方信息化监管养护要求，根据结构特点及计算分析，以及桥梁用于公路交通的用途和监测需要，充分考虑养护管理的需求，合理设计监测内容和监测测点，在监测结构安全状态的同时，为实现有效的养护管理提供服务。

2.4.2 软件开发原则

1) 可用性、实用性、可靠性

可用性是本系统中设计的首要原则，在目标系统的设计上应具有良好的性能价格比、较高的应用、推广效益，采用多种实用的技术手段，并尽可能集成成熟软件产品。实用性就是保证可用性的前提下能够最大限度的满足实际工作要求。而作为桥梁健康监测信息交互平台，应用系统其可靠性也是极为重要的。除了在硬件体系上的可靠性外，在目标应用系统的设计过程中，还必须注意稳定可靠性。在结构设计上要充分考虑数据、传输的可靠性及对关键数据的备份等措施。

2) 伸缩性、扩展性

应用系统应具有完备的扩展功能，为系统今后功能扩展、升级留有借口，并有利于系统的推广应用。它有两个层面的含义：一是监测内容的可扩展性；另一方面是业务功能上的可扩展性。目标系统的设计除了可以适应目前的监测内容外，还应充分考虑以后监测内容的扩充和分析手段的完善。

3) 管理及维护的简便性

一方面庞大的信息系统需要有效的管理和维护手段，另一方面由于本系统中涉及的传感器设备种类繁多，且安装现场调试环境恶劣，因此在目标系统设计中充分考虑对这些传感器设备的远程设置、控制机制。

4) 先进性

软件平台、技术实现手段的选型应符合主流的发展方向，在技术上采用当今较为成熟的技术同时保持相对的先进性，将先进和成熟的技术与现实相结合。

5) 开发式体系、模块化设计

采用开放式体系、模块化设计保证系统具有良好的可维护性和可扩充性。

2.4.3 传感器测点布设原则

- 1) 结构受力关键位置处的裂缝；
- 2) 主要控制或能推算结构强度状态变化的地方或构件；
- 3) 结构空间变形主要控制点；
- 4) 最大应力分布的地方或构件，最大应力变化的地方或构件，应力传递明确的地方或构件；
- 5) 结构基频分析所必须的监控控制点；
- 6) 被撞概率较高、后果较严重的桥墩。

2.4.4 工作站布设原则

- 1) 信号信息损失最小原则（最短布线原则）；
- 2) 同类信息通道集中原则（最佳信息检查原则）；
- 3) 通道预留原则（考虑后期荷载试验及临时增加传感器）；
- 4) 稳定与安全的运行环境；
- 5) 易于进行检查及维修、维护。

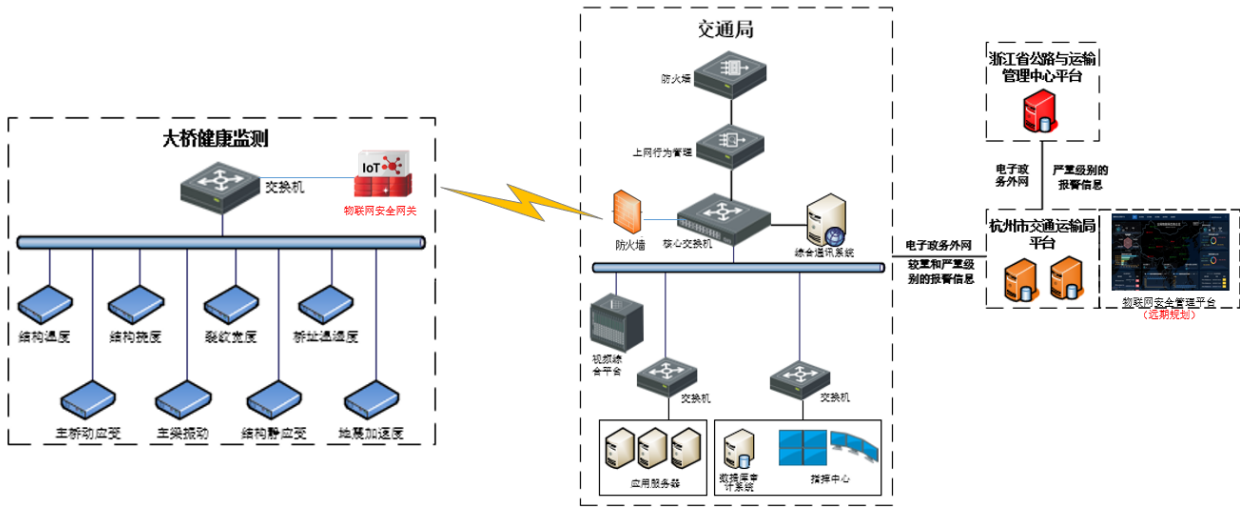
2.4.5 其他各类硬件的选型原则

- 1) 经验证明目前国际国内性能最稳定者；
- 2) 具有可更换性；
- 3) 性价比最优者；
- 4) 对于模态测试设备建议采用具有良好超低频特性的国内知名品牌和进口品牌传感器；
- 5) 对于动挠度测试建议采用具有异常辨识功能，或者其他国内知名品牌和进口品牌。

2.5 系统总体框架

桥梁监管遵循“三级（省市县（区））监管、四级（省市县（区）和公路服务中心）联动”，临平区公路服务中心第一监管责任人的监管模式。浙江省、杭州市分别已建立了桥梁健康监管平台，根据管理要求，京杭运河特大桥动态安全监测系统必须将监测数据按类别分

别传送至市级平台和省级平台。目前，桥梁报警信息分为异常、疑似危险、危险三类，市级平台接收较重和严重级别的报警信息，省级平台接收严重级别的报警信息。省市平台可随时调取各座桥梁的实时监测数据及历史数据。



系统网络拓扑图

2.6 系统主要功能

- 1) 通过人工巡检相结合的多源异构数据融合技术，实现具有自学习能力的数据字典系统和跨专业数据接口标准，全生命周期的时变数据采集、提取和融合。
- 2) 通过搭建核心预警评估算法库，打造专业数据分析与挖掘能力，辅以专家评估诊断技术手段，保障结构安全预警高准确度与状态评估高可靠性。
- 3) 建立特征阈值触发的风险事件告警+专业规则链触发的安全状态预警机制，提高安全风险预警精准度。系统通过对实时监测数据的分析得到与桥梁结构安全状态息息相关的特征值，基于状态特征值的阈值识别体系和预警规则体系的分级预警机制，提供系统自动触发和人工手动触发两种预警触发模式，有效降低虚警和误报的概率。
- 4) 借助云上数据共享平台和电子流系统，对内实现“业务数字化”：整合工程项目团队、技术支持团队、资深专家团队和资源保障团队，群策群力，各司其职；对外实现“数字业务化”：为路产养管单位和行业主管部门提供精准监测数据、可靠预警评估和科学决策支持。

3 系统设计方案

3.1 监测项目及测点布设

依据《部指南》等相关文件的技术要求，并结合该桥的运营环境结构受力特性和构造特

点、结构易损性分析、风险评估分析等，构建该桥结构动态安全监测系统。

根据检测报告，京杭运河特大桥主桥病害主要集中在上部结构，病害主要为板顶、板底的纵向裂缝以及腹板斜向裂缝等大跨径连续箱梁常见病害，主要成因有施工时序导致的混凝土收缩不均匀引发的板顶纵向裂缝，车辆荷载作用下顶板产生横向弯曲应力导致的板底纵向裂缝，车辆荷载作用下支点附近处梁体受到的剪力作用产生的腹板斜向裂缝。

根据以往调查研究，预应力箱梁的开裂和下挠具有一定的伴生性和互为促进性，箱梁下挠导致混凝土开裂，混凝土开裂进一步促进箱梁的下挠。考虑到温度效应、活载超限、汽车制动力、火灾、地震、结构自身性能退化等因素可能使主梁发生较大位移和振动，从而导致主梁变形、移位，严重时引起主梁开裂，支座和伸缩缝破坏，甚至导致结构垮塌。本次重点监测京杭运河特大桥的桥址温湿度、主桥挠度、振动、应变、梁端位移等参数。为了监测桥梁出现异常监测数据时的桥面交通状况，本次在大桥设置视频监控。

该桥动态安全监测系统传感器子系统分为环境、结构响应和视频监控化三部分监测内容：

1) 环境

包括：桥址区环境温湿度

2) 作用

包括：结构温度

3) 结构响应

包括：主梁挠度、梁端纵向位移、主梁振动、主梁应变

4) 视频监控

本项目监测指标及测点布设情况见下表。

监测类别	监测项目	传感器类型	数量	安装位置	备注
环境	温湿度	环境温湿度传感器	1	主桥跨中 1 台；	
作用	温度	温度传感器	4	主桥箱体内外各 2 台；	
结构响应	挠度	静力水准仪	14	边跨跨中、主跨跨中、L/4 处、L/2 处、主墩墩顶各 2 台；	
	位移	拉线位移器	4	主桥两端各 1 台；	
	应变	静应变传感器	24	主桥主跨、边跨跨中各 8 台；	
	振动	双向加速度传感器	2	主桥跨中 2 台；	
视频	视频监控	高清球机	2	主桥左右幅各 1 台；	

3.2 系统总体构成

本项目建成的监测系统总体架构包括：传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据预

处理与管理子系统、数据处理分析与预警评估子系统，并通过系统集成技术、用户交互界面和系统交互接口将各子系统集成为统一协调的功能整体。

1) 传感器子系统由各类传感器构成，传感器能够感知作用于桥梁结构上的荷载和环境变化、及其对应的结构响应，并基于不同的传感机制将其转变成电压、电流或光等便于记录、传输和再处理的信号。

2) 数据采集与传输子系统由数据采集设备、数据传输设备、及其配套的线缆和软件等构成，其功能是对电压、电流或光等模拟信号进行实时同步采集，并将其转换为数字信号以实现高保真的远程传输。通过物联感知数据采集系统将数据存入桥梁实时监测数据库。

3) 数据预处理与管理子系统由实现数据预处理、数据存储、数据查询与推送等功能的硬件和软件模块构成，具备实时监测数据和人工检查成果的处理、归档、查询、存储与管理等功能。数据存储于桥梁监管数据仓。

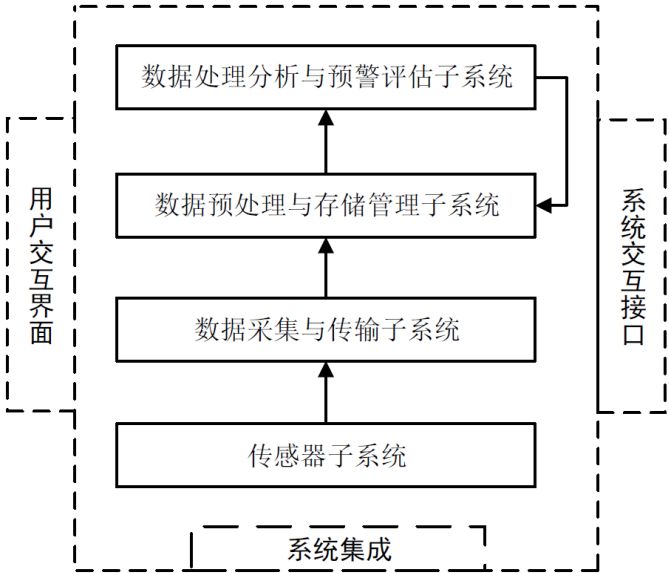
4) 数据处理分析与预警评估子系统基于应用支撑系统、应用系统软件实现：

(1) 基于监测数据的处理分析功能；

(2) 基于监测数据和人工检查成果的结构安全预警与综合评估功能；

(3) 基于安全预警和综合评估结果的应急响应和养管决策支持功能。

5) 用户界面子系统（软件应用系统部分）主要将桥梁运营期各种监（检）测静态、动态的资料、信息、数据按用户要求分类分级按授权向不同用户展示，并且按授权接受不同用户对系统的控制与输入。主要包括系统管理、基础信息、报警阈值、设备参数、设备巡检、日常监测、报警（巡检）处置、统计分析、健康评估、一屏统览、人工巡检、定检管理、三维建模、省市接口等功能。



系统总体架构框图示意

3.3 传感器子系统

传感器硬件设备的优劣从根本上决定了整个监测系统是否有效。目前国内外生产、销售可用于土木工程结构监测、检测设备的厂家有上百家，各厂家生产的传感器性能及价格千差万别；即便是同一类型的传感器，不同型号的传感器，其技术性能和价格亦不尽相同，因此在传感器的选型上应多方面比较，优化选择。该桥结构动态安全监测系统传感器选型遵循以下原则：

1) 精确性

一般而言，传感器的精度总是与价格相矛盾。因此在传感器的选择上不能一味追求高精度，应在适用的前提下选择精度合适的传感器。此外，传感器的精度选择还应照顾数据传输、数据处理系统等，以便更好地服务于系统整体。

2) 可靠性

传感器必须能够在各种干扰及外场的恶劣环境中始终真实地量测到监测项目需要反映的效应量（或原因量），传感器的时飘、温飘、抗电磁干扰能力等指标应能满足要求。

3) 简便性

传感器结构简单，牢固可靠，率定、埋设、测读、操作、维修方便，便于更换，操作人员易于掌握，有利于提高量测量速度和精度。

4) 先进性

传感器的选择应与现代测试技术的发展水平相适应，具有先进性。

5) 可更换性

大桥设计年限一般不低于 50 年，因此在桥梁整个生命周期内，几乎所有传感器都面临着更换的问题。所以在传感器选型时应尽可能考虑选择外装可更换性好的产品，并能满足更换时测试数据的连续性。

传感器之间的比较和选择还应考虑：

- ①测量相关的因素，输入信号的幅值、频带宽度、精度要求、测量所需要的时间等；
 - ②使用环境相关的因素，现场安装条件及情况、环境条件（温度、湿度等）；
 - ③维修及售后服务相关的因素，零配件的储备、保修制度及时间、交货条件等。
- 基于以上原则，并根据《部指南》对监测设备的技术要求，进行设备的选型。

3.3.1 环境温湿度传感器

自动气象站可根据需要，自动探测多个气象要素，无需人工干预，即可自动生成报文，定时向中心站传输探测数据的气象站，是弥补空间区域上气象探测数据空白的重要手段。自动气象站由气象传感器、数据采集仪、电源系统等部分构成。温湿度传感器为室外气象专用传感器，具有高精度高可靠性的特点。通过气象站获得桥址处数据，统计分析后，可为更好地、有针对性地完善大桥科学养护提供坚实的基础。根据健康监测投资规模与桥梁结构形式（该跨径小于 150m，风致振动和稳定非突出），拟采用的全自动气象设备监测要素仅包括温度、湿度，主要技术参数要求见下表。

环境温湿度传感器主要技术指标

参数	技术指标
大气温度	量程：-50~100℃；分辨率：0.1℃；准确度：±0.5℃
大气湿度	量程：0~100%RH；分辨率：1%RH；准确度：±5%RH
长期稳定性	≤0.1%FS/年
输出信号	0~5V；4~20mA；RS485；可选
工作温度	-40℃~+85℃
防护等级	IP65

3.3.2 静力水准仪

桥梁位移（挠度）常用测量设备包括光电图像式桥梁挠度、倾角类桥梁挠度测量设备、卫星高精度定位法桥梁挠度测量系统、激光法桥梁挠度仪、连通管桥梁挠度测量系统、百分表等。

传统型倾角类桥梁挠度测量设备几乎适用于所有桥梁挠度的静态检测，测量范围可达 400mm，测量精度毫米级以下，且单点费用较低。但其前期准备工作技术要求较高，需专业技术人员对倾角进行灌注、排气、试验测试工作，且由于铺设的管路较长，水的阻尼很大频响差，无法实现桥梁动挠度的测量，因而现仍未广泛使用。倾角法适用于桥梁的单点、多点静挠度同步测量，不适合进行动挠度测量。另外，倾角仪存在温漂和时漂，影响其在桥梁挠度长期监测中的应用。

高精度北斗形变监测系统作为新一代卫星导航与定位系统，不仅具有全球性、全天候、连续的精密三维导航与定位能力，而且具有良好的抗干扰性和保密性。近年来，利用高精度北斗形变监测系统的精密定位技术，在大型桥梁变形监测中已受到广泛关注，并有成功应用

到很多桥梁结构挠度检测中。高精度北斗形变监测系统接收机体积小、功耗低。可以实现远距离的三维测量，测量桥梁静态挠度值，观测结果精度可达到±5mm，虽然测量精度低，但具有超大的测量范围、空间绝对基准、基准点与测量点之间的距离不受限等特点，可与其他高精度传感器配合使用，推动国产卫星导航产业链的逐渐成熟和完善，使我国卫星导航技术的研究步入新的台阶，加快整个行业的创新能力建设具有重要的作用。

基于机器视觉的桥梁动态挠度监测方法在主拱和拱座处分别安装测量靶标和红外相机，采用红外相机对基准靶标和测量靶标同时进行观测，根据几何关系，计算像平面上测量靶标相对于基准靶标的实际位移，从而测量桥板上待测点处的实时形变。桥梁动态挠度测量系统中的基准靶标和测量靶标采用 850nm 红外 LED 灯，克服环境光的影响。基准靶固定在相对静止的参考点处，目标靶则固定在桥板下待测点处，将基准靶、目标靶成像在摄像机的长焦光学系统图像传感器上，如下图所示。相机传感器通过稳定机械装置固定在基准点上，例如盖梁等位置，即使在重型车等荷载的作用下也能保持位置不发生变化。调节相机的参数和图像采集频率，采集目标部位不同时间的图像。随着桥梁结构在温度和荷载的作用下发生变形，目标靶在相机坐标系中会呈现出不同的像素坐标。利用嵌入式处理平台，进行图像识别并定位靶标的中心，确定基准靶和目标靶的像素坐标。最后，根据单像素代表的实际距离，由物像关系确定目标靶与基准靶之间的相对空间位置，从而计算得到挠度值，实现桥梁动态挠度的实时监测。基于机器视觉的挠度测量仪适用于桥梁挠度的静、动态检测，也可用于桥梁横向位移的测量。光电式桥梁挠度仪测量量程大，测量精度及采样速率较高，测量距离较远，最远测量距离可达 500m，但易受视距、气候条件等的影响，测量精度受距离影响较大，适合应用于各类桥梁特别是大型、大跨径桥梁的挠度检测。

基于微波干涉测量技术的高精度微变形监测产品，采用非接触方式对桥梁的动挠度、静挠度进行高精度的测量，可精准追踪缓慢、微小的位移，它使用微波信号对监测目标非接触式扫描测量，不同于常规的水准仪、GPS 等单点测量，其一个个的面状扫描单元具有很高的空间分辨率和监测精度，其将步进频率连续波技术和干涉测量技术相结合而构成地面微波干涉雷达系统，获取高精度、高分辨率的变形信息，实现对地面目标的静动态高精度监测。

激光法桥梁挠度适用于中、小型刚构桥的静挠度及动挠度测量，测量精度一般为 0.1mm。

静力水准仪监测桥梁各关键断面或测点的静态竖向位移，主要用于评估桥梁结构在其恒载的竖向变形，或桥墩不均匀沉降。根据结构特点及周边环境，使用多只静力水准仪组成一个相对独立的测量系统。一只静力水准仪固定安装在桥梁墩台等稳定处作为基准点，多只静力水准仪分别安装在桥梁主梁截面或桥墩截面。

根据有限元数值模拟结果，汽车荷载和人群等可变荷载作用下桥最大挠度，结合京杭运河特大桥位地形、结构特点以及桥面铺装状况，推荐液位式静力水准仪。主要技术参数要求见下表。

表 3.3-1 液位式静力水准仪（压力变送器）主要技术参数要求	
项目	技术指标
量程	0~150mm（可定制）
分辨率	≤0.025%
误差	≤0.1%
工作温度	优于-20~60℃
长期稳定性	≤0.1%FS/年
输出信号	0~5V；4~20mA；RS485；可选
工作温度	-40℃~+85℃
防护等级	IP65

3.3.3 拉线位移计

位移计用于监测墩梁间的相对位移。位移计通过支架固定在盖梁和主梁上，测量桥墩和主梁之间的相对位移，可作为伸缩缝工作状态的判别指标，位移计的主要技术参数要求如下表所示。

拉线位移计主要技术指标	
项目	技术指标
量程	0~1000mm
精度	±0.1%FS
分辨率	0.01mm
重复性	0.02mm
长期稳定性	≤0.1%FS/年
输出信号	0~5V；4~20mA；RS485；可选
工作温度	-40℃~+85℃
防护等级	IP65

3.3.4 振动传感器

在桥梁结构动态安全监测系统中，为了能够尽可能准确的根据传感器测得的信息来判断结构是否出现损伤、损伤发生的位置及损伤发生的程度，需要尽可能多的传感器来获得尽可能多并且准确的信息。然而传感器价格昂贵、结构复杂及测试条件的限制等客观因素，只能选择一些关键的部位进行传感器的布设，而这些传感器要尽可能全面、准确的反应结构的信息。所以，传感器的优化布设方案的选取很重要，在动态安全监测系统中占着举足轻重的地位。

结构自振特性采用环境随机振动法，即将振动传感器放在桥梁指定位置，根据对随机振动信号的分析，判断结构的自振特性参数，这其中包括自振频率、阻尼比和振型。通过分析竖向振动频率的衰减，可以判断整个上部结构的刚度退化，及时提醒管理者对桥梁进行针对性全面评估或限行措施，主要技术参数要求见下表。

振动传感器主要技术指标	
项目	技术指标
测量范围	±2g
频率响应	DC-120Hz
非线性度	1% FS
分辨率	10ug
横向灵敏度	1%
长期稳定性	≤0.1%FS/年
输出信号	0~5V；4~20mA；RS485；可选
工作温度	-40℃~+85℃
防护等级	IP65

从理论上讲，传感器布置的越多，采集到的信息就越多越准确，但是从经济角度来看，传感器数量的增加会大大的增加动态安全监测系统的成本。在传感器优化布置方案选择方面主要考虑三个问题：传感器的类型、数量及传感器在结构上的布置位置。传感器的优化布置就是对结构上测点进行优化，实现尽可能用最少的测点就能得到足够的信息的目标。

一个好的振动传感器布置方案需要做到以下几点：

（1）在含噪声的环境中，能够通过布置尽可能少的传感器获取尽可能多、精确而全面的结构信息；

（2）测得的模态能够与模态分析的结果建立起对应关系；

（3）对需要的模态数据只需要合理地增设相应传感器即可进行数据重点采集；

（4）测得的时程记录将对模态参数的变化最为敏感；

（5）应使得模态实验结果具有良好的可视性和直观性。

3.3.5 高清球机

为了监测桥梁出现异常监测数据时的桥面交通状况，本次在大桥设置高清球机进行视频监控，高清球机技术指标如下：

- 图像传感器:1/1.8 " CMOS；
- 最小照度：彩色：0.0005Lux @ (F1.5，AGC ON)；黑白：0.0001Lux @(F1.5，AGC ON)
- 分辨率 400 万像素；最大支持 2560×1440@30fps
- 视频压缩：H. 265/H. 264/MJPE；
- 焦距：≥35 倍光学
- 水平及垂直范围：水平 360° ；垂直-15° -90° ；（支持 256 个预置位，8 条巡航扫描）
- 预置点 255 个；
- 支持 1 路音频输入和 1 路音频输出；支持报警输入输出及报警联动功能；
- 支持 100M/1000M 自适应网口
- 红外照射距离：≥150m；
- 防护等级 IP67；防雷、防浪涌、防突波；
- 工作温度：-30 C~70 C；
- 工作相对湿度： ≤95%RH（40±2℃）
- 支持人脸、区域入侵、停车侦测、音频异常、视频遮挡、车牌捕获等智能检测；
- 支持 120dB 宽动态、3D 数字降噪、强光抑制、电子防抖等功能；
- 支持自动巡航、循迹、线归、断电记忆；

3.4 数据采集与传送子系统

数据采集与传输子系统是整个监测系统的中枢，负责完成对传感器获得桥梁信息数据的信号调理、模数转换及网络传输，是连接大桥外场和监控中心（内场）的枢纽。数据采集与传输子系统主要由数据采集设备、数据传输设备、数据采集软件以及其它附属设备等构成。

考虑到传感器及数采设备类型不同，需针对不同传感器的特点和输出信号类型采用相匹

配的数据采集方案，所选用的数据采集设备、传输设备及附属设备均需是工业级及部分军品级产品，满足外场工程环境的监测要求。

3.4.1 总体技术要求

- 1)考虑到本项目桥梁结构的特点和传感器的布设及选型情况,选用集中式数据采集方案,以期用相对较低的成本获取到真实的大桥荷载和结构响应等信息;
- 2)针对传感器输出的不同类型的电信号,考虑到降噪、去伪等问题,采取信号屏蔽、接地技术等措施,以期降低系统模拟信道的噪声干扰,大幅提高采集信号的精度、稳定性和可靠性;
- 3)数据采集站具有信号调理功能和一定的数据缓冲容量,实现数据的实时采集和传输;
- 4)数据传输采用工业以太网技术,在大桥外场和监控云平台之间建立可靠的连接,保障网络通讯的畅通无阻;
- 5)数据采集软件应前置安装运行在桥梁现场采集端设备;
- 6)应具备原始数据本地存储功能,能够在网络故障和突发事件情况下将数据自动存储在本地,可在恢复后续传数据。

3.4.2 数据采集方案

本项目所使用的传感器数据采集模块尽量由各传感器产商供应，确保数据的可靠性。针对本项目传感器子系统的监测项目及传感器类型，根据传感器输出信号以及各类采集软件的开发需求，将其划分为 3 类，分别进行相应的数据采集方案设计。

数据采集方案

传感器类型	数采设备	备注
静力水准仪、振弦式应变计、环境温湿度计、结构温度传感器、激光裂缝计、拉线式位移计	通用信号数据采集仪	/
振动传感器、动应变传感器	动态信号数据采集仪	/

（一）通用信号数据采集仪

静力水准仪、拉线式位移计、振弦式应变计、环境温湿度计、结构温度传感器的输出信号为数字信号，可以接入通用信号调理器的串口进行数据采集。针对不同类型的设备分别建立连接，对传感器输出的数据格式解析后，将传感器数据转换后标准传输协议包传送。数据输出标准支持 Modbus、TCP/IP、UDP 等格式，信号输入接口协议支持 RS-232 和 RS485。通用

信号数据采集仪主要技术参数见下表。

通用信号数据采集仪主要技术指标

项目	技术指标
参数	速率 2400~115200bps，隔离电压 2500V，RS232 不少于 1 个，RS485 不少于 1 个，数据位：5，6，7，8 停止位：1，1.5，2 校验位：None，Even，Odd，Space，Mark 支持 Modbus/RTU 和 Modbus/ASCII
输入类型	RS232/485
防雷模块	能够有效抵御感应雷及电气浪涌的冲击
同步功能	内嵌实时时钟，测量数据带时间标签，具备设备间时钟同步功能
网络接口	步功能
工作温度	-40℃~+85℃
防护等级	IP65

（二）动态信号数据采集仪

振动传感器以及为后期系统扩展预留动态应变采集传感器等采样频率较高，采用高速同步数据采集专用智能信号调理器进行采集。数据采集卡采用抗混叠滤波器，多种放大倍数技术，动态范围达到 110dB，采样频率在 50Hz 以上。滤波器输出送给 AD，由 CPU 对信号采集并进行数字滤波来消除信号中混入的无用成分，减少随机误差。AD 采用 24 位的 $\Delta-\Sigma$ AD，最高采样达到 105KSPS，基准采用优于 10PPMM/摄氏度的 REF192，动态信号数据采集仪主要技术参数见下表。

动态信号数据采集仪主要技术指标

项目	技术指标
有效分辨率	24 位
输入类型	单端电压
采样频率	50Hz 以上，可配置
零漂移	$\pm 10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
满量程漂移	$\pm 20\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
误差	$\leq \pm 0.1\%$
动态信号处理	动态范围为 100dB 以上，带通滤波等功能

防雷模块	能够有效抵御感应雷及电气浪涌的冲击
同步功能	内嵌实时时钟，测量数据带时间标签，具备强大的设备间时钟同步功能，同步精度可达到微秒级
网络接口	RJ45，标准 MODBUSTCP 协议，UDP，TCP/IP，自定义 TCP 协议
工作温度	-40℃~+85℃
防护等级	IP65

(三) 其他数据采集和传输设备

1) 光纤收发器

主要用于电口信号与光口信号转换，能够通过光纤扩展长距离局域网信号传输。

标准：兼容 IEEE 802.3u 10Base-TX、100Base-TX 和 100Base-FX 以太网标准；

接口：一个 SC 型的光纤连接器和一个 RJ-45 连接器，双绞线端口支持速率和全/半双工模式自动适应支持 Auto MDI/MDIX，无需进行电缆选择光纤端口可以进行全/半双工模式选择；

RJ45 连接器：5 类双绞线；

SC 光纤连接器：1300nm 62 5/125um，50/125um 多模光纤，1300nm 9/125um 多模光纤双绞线最大传输距离 100 米，多模光纤最大传输距离 2 千米，单模光纤最大传输距离 20/40/60 千米（视不同型号而定）；

工作温度：-40C~70℃；

存储温度：-40C~70℃；

湿度：5%~95%无凝结。

2) 工业交换机

主要用于传感器与工控机的数据交换，技术指标如下：

标准：EEE802.3 10BASE-T 以太网，IEEE802.3U 100BASE-TX 快速以太网，IEEE802.3ab 1000BASE-T 千兆以太网，ANSIIEEE 1802 3Nway 自动协商；

固定端口：5 个 0/100/1000M 自适应以太网端口；

固定端口属性：连接器类型：RJ-45，支持 10/100/1000Mbit/s 传输速率；支持半双工、全双工、自动协商工作模式，支持 MDIMDIX 自适应；

网线类型：10/100BASE-TX，3/4/5 类双绞线，支持最大传输距离 100m，1000BASE-T，支持最大传输距离 100m；

背板交换容量：48Gbps；

端口交换容量：48Gtbps；

转发能力：4Mb；

交换模式：存储转发模式；

输入电压：100~240V AC；

功耗：20W；

工作温度：-40C~70C；

工作湿度：5%~95%，无冷凝。

3) 工控机

工控机主要负责数据的接收、解析、存储及转发，其主要技术指标如下所示：

CPU：酷睿 Core i5；

内存：8GB；

硬盘：1T 机械硬盘+256 固态硬盘；

网卡：1 个 Intel I-217LMGB 千兆网卡，1 个 Intel 82583V 支持网路唤醒；

插卡扩展槽：2*PCI 接口；

串口：支持 RS232/422/485 串口（支持 5V/12V 带电功能，通过跳线设置）；

工作温度：-40C~70C；

存储温度：-20C~80C；

存储湿度：10~95%相对湿度，无冷凝。

4) 服务器（机架式）

处理器：处理器配置数量： 2 个；主频:≥2.1GHz， ≥16 核， L3 缓存≥22M；

内存： 内存类型 ECC DDR4 2666MHz 或以上；内存插槽 支持≥16 个；容量 128GB 或以上；

存储：内置硬盘类型： 热插拔 SAS/SATA/SSD 硬盘；配置 2 块 SSD 固态硬盘(容量≥960GB)用于系统及应用程序, 2 块 6TB 3.5 寸 SATA 硬盘用于数据存储；硬盘扩展能力： 可扩展≥27 个热插拔 2.5 寸硬盘或 16 个热插拔 3.5 寸硬盘；配置磁盘阵列卡：支持 RAID 0/1/10/5/6/50/60， 超级电容保护；

网口：4 个 10/100/1000M 自适应网口；

显卡：标配集成 32M 显卡

电源：冗余热插拔 550W 电源≥2， 提供铂金超高效率电源， 效率≥94%；

风扇：冗余风扇≥4, 支持单风扇失效

可管理和维护性：

- 集成系统管理处理器支持：自动服务器重启、风扇监视和控制、电源监控、温度监控、启动/关闭、按序重启、本地固件更新、错误日志，可通过可视化工具提供系统未来状况的可视显示；
- 具有图形管理界面及其他高级管理功能；
- 配置独立的远程管理控制端口，支持远程监控图形界面, 可实现与操作系统无关的远程对服务器的完全控制，包括远程的开机、关机、重启、虚拟软驱、虚拟光驱等操作，
- 服务器管理系统支持国产自研管理芯片。
- 支持最后一屏功能：在检测到宕机发生时将系统临终时刻的屏幕以指定的格式保存在 iBMC 的存储空间内，方便用户可快速定位问题。提供官网资料发布。

安 全 特性：BIOS 支持 Secure boot 启动，支持第三方证书的导入/导出。

安装服务：要求提供实际生产厂商六年硬件现场 7× 10 小时服务，供货时提供原厂质保函

操作系统：CentOS7.0 基础版及以上版本及虚拟化软件（1 年订阅）

3.4.3 数据网络传输方案

传输机制及流程如下：

- 1) 工控机（后面简称 IPC）接收到传感器发送的监测数据后，立即解析并发送至浙江省桥梁动态安全监测系统服务器（后面简称 DSC）；
- 2) IPC 向 DSC 发送数据过程中，如果出现异常，则记录异常信息日志，并将数据标记为上传失败，存储至 IPC 数据库；
- 3) DSC 对接收到的数据进行校验，并将校验结果返回给 IPC；
- 4) 如果 IPC 发送数据校验失败，则记录校验结果日志，并将数据标记为上传失败，存储至 IPC 数据库；
- 5) IPC 每隔 30 秒，按采集时间最近优先的顺序获取上传失败的数据继续上传，上传完成，则更新数据为上传成功。

3.4.4 数据采集与存储

- 1) 系统支持 TCP/UDP/MQTT/HTTP、TLS/DTLS、MODBUS、不同厂商、不同设备、不同报文、

统一接入，统一管理。

- 2) 网络组件用于管理各种网络服务 (MQTT, TCP 等), 动态配置, 启停。只负责接收, 发送报文, 不负责任何处理逻辑。
- 3) 数据网关负责平台侧统一的设备接入, 使用网络组件处理对应的请求以及报文, 使用配置的协议解析为平台统一的设备消息, 对于需要根据计算公式转换的数据进行转换。
- 4) 数据存储支持常用的 mysql、PostgreSql 等关系型数据库, 也能支持 mongoDB、Cassandra 等分布式 no-sql 数据库。

3.5 数据预处理与管理子系统

数据预处理可在数据采集单元之内完成，主要进行简单的统计运算，比如设定时段内的最大最小值、均值、方差、标准差等，处理结果可作为系统判断传感器工作状态的输入。

系统管理主要工作内容如下：

- 1) 采样管理：各项监测指标对应的数据采集频率及触发模式管理。

采样管理需在系统根据传感器和数据采集设备不同，所支持的采样频率满足本系统的数据采集要求。系统软件设计考虑灵活性和可配置性，可以支持通过配置程序修改采样制式和频率，系统的采集制式支持人工干预、环境触发采集、按定制模式采集，三种制式的可选优先级依次降低。

考虑到监测系统运行初期需进行大容量系统稳定性测试、特殊事件发生后需要对桥梁结构进行密集监测的需求，系统测试期、特殊事件发生后和正常运行期建议采用的采集频率如下表所示。

数据采集频率配置表

监测类别		采集频率
环境	温度	1/600Hz
	湿度	1/600Hz
作用	温度	1/600Hz
	位移和变形	1Hz
响应	梁端位移	1Hz
	应变	动态：20Hz；静态：1/600Hz
	振动	50Hz

- 2) 阈值管理：结构状态特征值及其初始阈值的设定及动态调整；阈值管理包括：1) 初

始阈值的设定；2)定期进行有效性检验；3)动态修正阈值或完善状态特征值体系。其中第 1)项工作应由受托专业技术机构在监测系统试运行验收前完成，第 2)和第 3)项工作应在系统试运行及运维期间遵循不断循环反馈并持续改进的机制。

①初始阈值设定

初始阈值设定的依据或参考可包括但不限于：相关技术标准或规范中规定的状态特征值上下限；桥梁结构计算分析结果；类似工程案例的历史监测数据或成功经验。

②定期有效性验证

可在系统试运行结束后，对阈值体系及其配套的预警规则体系进行一次有效性检验。

③动态修正阈值和完善状态特征值体系

在对阈值体系及其配套的预警规则体系进行有效性检验的基础上，对阈值体系进行修正和完善。

3) 预警管理：预设专业规则的管理、预警级别的调整或解除、预警快讯（快报）的发布及归档；

系统管理人员应设定预警触发的专业逻辑规则，以便系统自动判识到状态特征值超阈值时，根据此专业规则自动触发相应的预警级别。预警触发的专业规则应与阈值体系配套管理，宜根据桥梁结构安全风险辨识分析结果、结构受力分析计算结果、前期预警记录及应急响应情况，并结合系统管理人员的专业技术经验进行设定和调整。

4) 评估报告管理：定期评估及专项评估报告的编制及审核、评估报告的发布及归档；

5) 用户管理：用户角色和权限的分权分域管理；

6) 设备管理：根据监测技术需求在线管理设备注册（注销）、设备配置和控制、设备时钟同步等功能。

7) 事件和任务管理：对预警事件及其触发的任务、周期计划任务及其它任务进行分配、通知、推进、反馈及关闭管理。

系统管理模块需支持任务创建、待办任务处理、处理进度查询与跟踪、通知催办等功能，满足用户在线处理审批任务的需求。从而实现了贯穿风险事件触发、预警状态管理、实时信息推送、报告报表发布、运管应急响应、养护决策支持的建养全流程动态跟踪管理。具体流程为：当特征值超限产生告警，进而触发预警规则设施产生预警，同时系统同步自动发起一条预警处理任务，并发通知给责任人，责任人及其他干系人在线审批预警处理相应任务，整个预警产生-处理过程实现一个闭环，同时责任人可随时在线跟踪任务处理进度，可通过平台发送催办消息，所有干系人的处理意见都记录在流程日志上，相关会签文件也都挂在相应任

务上，一切都有迹可循。

3.6 数据处理与预警评估子系统

数据处理分析与预警评估子系统作为桥梁安全监测系统的核心部分之一，它通过监测结构的运营状态，通过环境、荷载输入以及结构响应、变化等监测数据对桥梁整体及关键部件的安全状况进行评估，判断结构是否处于正常使用极限状态内，是否即将达到或超越服役极限状态。对结构安全状态的重要变化及桥梁出现不安全征兆时进行预警，提供报警信号，提醒管养人员关注结构运营安全状况，及时进行维修养护，保障结构健康正常运行。具体为：对监测及识别的结果进行统计、对比分析，趋势分析和相关性分析；对结构索力、变形等监测参数建立明确的预警指标，对监测结果进行分级预警；综合各种监测数据、内力状态信息对结构进行综合评估。传感传输控制系统所采集的监测数据是为预警与评估系统服务的，依据上述两者信息进行结构的综合预警及安全评估。

3.6.1 功能需求

(一) 功能需求

1) 数据处理和控制服务器管理数据采集单元的工作，并为安全预警与评估系统提供输入数据和信息；

2) 所有数据采集和数据预处理均由数据采集单元完成，而所有数据的二次处理则由数据处理与控制服务器完成；

3) 数据处理与控制服务器管理一个用于存储原始数据及其预处理结果的动态数据库，实现保存所有历史传感数据，同时又确保系统查询响应快速；

4) 原始数据在动态数据库中至少保存 180 天，预处理结果在动态数据库中至少保存 1 年。以上数据需定期存档、备份，以保持数据的连续性；

5) 授权用户可通过软件访问动态数据库。

6) 数据处理和控制服务器与数据采集单元之间的数据通信协议采用标准开放的物联网通信协议 MQTT，并通过消息总线实现服务器云端不同业务应用模块的解耦，即 DPCS、SSWES、权限及系统管理的解耦，并与 BIM 系统易于集成。

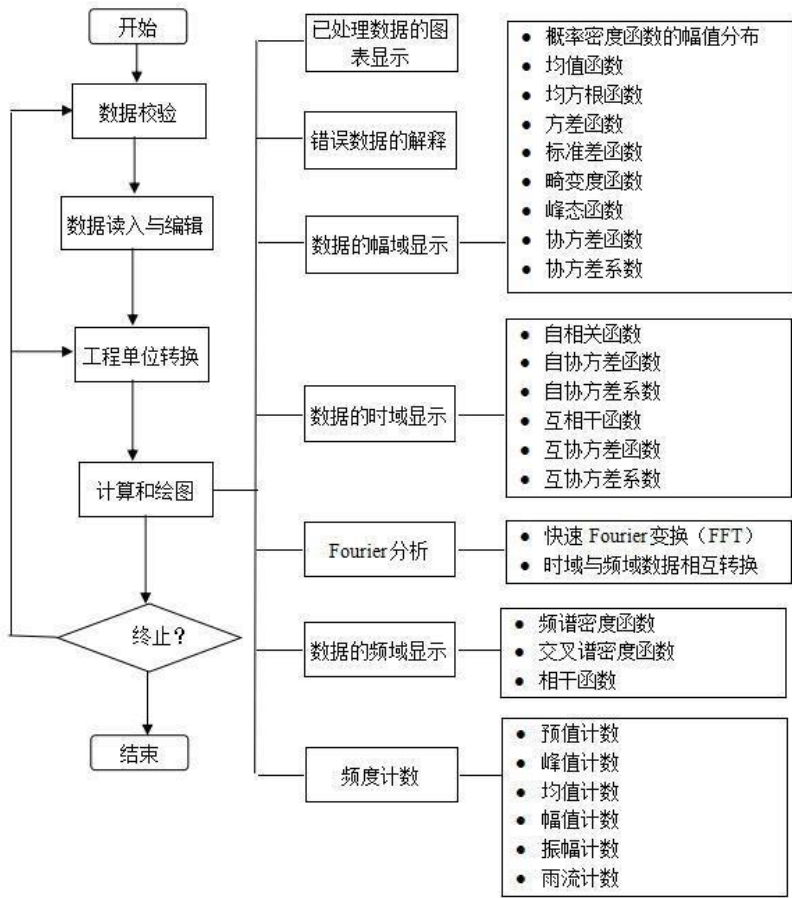
(二) 数据处理的流程与方法

监测数据的处理由下述过程组成：

1) 数据初步处理：在数据处理和控制服务器中进行，主要计算方法及流程见下图所示。

2) 数据的后处理：在结构安全预警与评估系统中完成，主要进行监测数据的高级分析，

例如：实时模态分析，桥梁特征量与环境因素之间的相关性分析，非线性回归分析等。由于这些方法常需消耗大量计算时间，这一过程往往离线进行，分析数据来源于动态数据库和已备份的原始数据库。



数据二次处理计算方法及流程图

3) 系统数据处理规则及计算引擎: 在设备采集数据（实时数据/属性数据）保存到数据库之前，支持对接收的数据或属性数据进行拦截验证和修改；支持自定义告警规则/函数，进行设备告警触发、更新、清除；根据设备生命周期事件触发操作。如设备上线、设备离线状态，创建告警事件；能够用于接收任何事件，可以是来自设备的，设备生命周期事件、REST API 事件、RPC 请求等的传入；能够处理单个传入消息并生成一个或多个传出消息，发往不同的规则链路进行消息的路由处理，同时可以过滤，丰富，转换传入消息，执行操作或与外部系统通信。

(三) 数据处理结果

经数据采集单元调理和预处理后的原始数据通过有线或无线传输到数据处理与控制服务器，经数据初步处理后的数据结果存入动态数据库，并定期备份存档。启动结构安全预警与

评估系统进行离线分析评估时，视情况需要从动态数据库中提取数据进行后处理，后处理数据和分析评估结果则视其类型存入结构信息数据库的相应部位。下表根据不同传感器类型列出各监测项数据处理功能。

各监测项数据处理功能汇总表

序号	仪器	功能
1	自动气象站	数据的预处理，剔出畸点，滤波等功能； 写入数据库数据； 空气相对湿度的时程； 每小时、每天、每月、每年的相对湿度统计值及其变化； 配置报警门限以及报警方式。
2	振动传感器	数据的预处理，剔出畸点，滤波等功能； 写入数据库数据； 各测点的加速度或速度响应时程； 适时进行模态分析； 配置报警门限以及报警方式。
3	拉线位移计	数据的预处理，剔除畸点，滤波等功能； 各测点的位移相应时程； 可实时显示主桥两端四角点位移图； 配置报警门限以及报警方式。
4	静力水准仪器	数据的预处理，剔除畸点，滤波等功能； 某时刻主桥的挠度波形，并可进行趋势变化分析； 每小时、每天、每月、每年相对变位统计值时程曲线； 配置报警门限以及报警方式。
5	应变传感器	数据的预处理，剔除畸点，滤波等功能； 完成各通道对应的温度补偿和数据耦合； 各测点的应变相应时程； 实时解算各应变的应力值（换算成主拉压应力值）； 配置报警门限以及报警方式。
6	视频传感器	适时可对指点时间图像回放，自动清除预设时间前视频。

(四) 监测数据的处理分析方案

系统需实现数据处理的可视化的图形配置界面，使工程师可以自由、高效地进行数据分析和预警规则配置。数据分析模块实现特征值的可视化配置，通过在系统上创建数策略配置框，将输入设备、输出设备以及算法拖入策略配置框，用箭头曲线将三个节点连接起来，箭头方向表示数据流去向，生成一个状态特征值策略。支持在线验证策略输出值正确性。经激活策略后，输入设备上报的原始采样数据就会在后台经过指定的数据分析算法清洗、转换，

输出具备工程意义的特征值。

3.6.2 安全预警与快速响应

预警及结构状态分析模块是结构监测系统软件的核心模块，根据计算及试验为结构监测系统各测点设置适当的多级预警阈值，可为桥梁的预防性养护提供数据支撑，提高养护人员的技术管理水平，为养护资金决策提供重要科学依据。

当判断出传感器数据存在异常时，系统进行预报警，报警可通过实时界面提示进行。桥梁安全等级分为两类，一类为各单项参数的等级状况，另一类为桥梁综合安全评估状况，主要根据各单项的安全情况，对其进行综合分析，从而得出桥梁整体结构的安全状况。桥梁各单项参数的评估主要利用梁桥监测数据，以界面提示的形式评判数据的安全等级，如果单项参数超出警报值，则发出不同等级的警报，各参数分为黄色警报、橙色警报和红色警报三个等级。

(一) 安全预警

桥梁结构安全预警是在数据处理分析结果的基础上，按照预先设定的专业规则和联动机制，由系统自动或人工触发及调整桥梁结构安全预警状态，并将相应信息及时通知桥梁养管、交通路政等 相关单位和负责人的一整套工作流程。

根据《部指南》的相关要求，桥梁结构安全预警机制宜分为黄色预警、橙色预警和红色预警三 级。加上无预警状态，总共代表桥梁结构安全风险的四种状态。

绿色安全状态：桥梁使用功能正常，结构安全； 黄色预警状态：监测数据接近或超过桥梁正常使用条件界限值，但不会对桥梁安全、正常使用和行车安全产生影响；

橙色预警状态：监测数据超过桥梁正常使用条件界限值且可能对桥梁安全、正常使用和行车安全产生显著影响时； 红色预警状态：监测数据接近桥梁结构安全界限值或者严重影响桥梁安全、正常使用和行车安全。

预警级别制定和对于关系

预警状态	技术状态	触发模式
绿色安全	桥梁使用功能正常，结构安全	/
黄色预警	监测数据接近或超过桥梁正常使用条件界限值，但不会对桥梁安全、正常使用和行车安全产生影响	自动触发
橙色预警	监测数据超过桥梁正常使用条件界限值且可能对桥梁安全、正常使用和行车安全产生显著影响时	人工触发/自动触发

预警状态	技术状态	触发模式
红色预警	监测数据接近桥梁结构安全界限值或者严重影响桥梁安全、正常使用和行车安全。	人工触发

(二) 预警指标阈值的配置

1) 阈值配置的原则预警指标阈值的确定将遵循以下原则：

- (1) 基于监测参数历史统计值、设计值和规范容许值设定报警阈值；
- (2) 桥梁管理常用的技术措施，如对超载超限车辆通行的相关规定；
- (3) 考虑监测数据动态特征、统计特性以及异常特征设定报警阈值；
- (4) 兼顾试点桥梁定期检查及技术状况评定结果设定报警阈值；
- (5) 建立在监测数据统计分析的基础上，对阈值进行的调整。
- (6) 考虑结构安全可靠度采取不同的安全系数进行阈值的分级；
- (7) 日常运营状态下及在台风、地震等突发事件中的报警阈值设定可参照《指南》相关规定执行。

2) 预警指标阈值配置的内容配置的过程是首先确需要进行预警的监测项目和逐一对应的传感器编号，然后确定每个测点信号的阈值，每级阈值可能包括上限和下限，因此每个测点信号最多的阈值为 6 级，从小到大依次为三级阈值下限（下限）、二级阈值下限（下限）、三级阈值下限（下限）、三级阈值上限（上限）、二级阈值上限（上限）、三级阈值上限（上限）。预警体系主要作用是在结构实时监测过程中对发生的可能威胁到桥梁结构运营安全的可变荷载（如超重车）以及结构对其的响应指标（墩柱倾斜及主梁变形等）进行预警，提供桥梁在特殊气候、交通条件下或桥梁营运状况异常时所触发的预警信号，提醒桥梁管理养护人员关注结构的运营与安全状况，并根据需要临时启动识别和评估机制以确定结构是否处于安全状态。

桥梁各单项数据预警阈值范围初步设计如下 3 个等级：

各关键单项参数阈值预警设计值

参数	一级预警（黄色）	二级预警（橙色）	三级预警（红色）
风力风速（m/s）	极限风速≥21. 5	极限风速≥22.0	极限风速≥23. 3
自振频率	≤1.1×基频	≤1.0×基频	≤0.9×基频
梁端位移（cm）	≥40	≥60	≥80

挠度

$1.0 d_{理论} > d_{max} \geq 0.9 d_{理论}$

$1.05 d_{理论} > d_{max} \geq 1.0 d_{理论}$

$d \geq 1.05 d_{理论}$
或 $d \geq L/100$

***承包单位应在系统建成后根据 3~6 个月的实际监测数据，在此基础上对不同水平的预警阈值进一步优化，保证系统预警状态的准确性。**

报警方式根据需要可以有两种方式：

1) 在计算机终端软件界面上以醒目的图形方式（数字颜色改变、多级报警线、状态灯）表示预警状态；

2) 通过发短信、微信、邮件等的方式通知管理人员。

（三）快速响应

本项目桥梁结构安全预警状态特征值、阈值设置、触发模式、预警级别调整、快速响应的相 关 责任单位等可按《部指南》和《省指南》的相关技术要求进行。系统触发结构安全预警后，快速响 应的相关责任单位及其应采取的主要措施如下表所示，快速响应的具体流程规定如下图所示。

快速响应责任单位计主要措施

预警状态	触发模式	接警单位	响应单位	响应措施	
				受托机构	养管单位
黄色预警	自动触发	受托机构	受托机构	①分析评估 ②现场复查 ③记录归档/预警升级	/
橙色预警	自动触发/ 人工触发	受托机构/ 养管单位	受托机构/ 养管单位	①分析评估 ②现场复查 ③提交快报 ④预警调整/解除	①专项检查 ②技术会审 ③交通管制 ④维修处治 ⑤外治效果评价
红色预警	人工触发	受托机构养 管单位地方 政府厅高管 局	受托机构/ 养管单位	①分析评估 ②现场复查 ③提交快报 ④预警调整/解除	①专项检查 ②技术会审 ③交通管制 ④维修处治 ⑤处治效果评价

具体实施时，桥梁养管单位应会同受托提供运维服务的专业机构共同制定（或修订）突发事件应急预案。当触发结构安全预警后启动应急预案，统筹协调监测系统的预警管理机制，及时采取相应的快速响应措施，预防桥梁坍塌等恶性事故发生。其中快速响应基本程序如下：

1) 根据桥梁管理体制的特点，养护工程部作为桥梁突发事件第一响应责任部门，应在橙

色、红色预警后 15 分钟内启动以养护工程部为主体的先期处置机制。30 分钟内有关人员赶赴现场开展警戒、疏散群众、控制现场、救护、抢险等基础处置工作；第一响应收集现场动态信息，并在事发 30 分钟内分别向上级领导小组报告。

2) 根据需要，适时启动相关应急处置工作组。参与应急处置的工作组应在 30 分钟内赶到现场并开展工作。

3) 参与处置桥梁突发事件的单位或部门应服从指挥、优势互补、信息共享、协同作战、高效联动。

4) 桥梁突发事件出现的交通事故，由运营管理部及时通知交警部门，协助交警部门尽快疏导交通，保证交通安全、畅顺。

5) 应急结束，处置工作完毕后，应急指挥办公室及时研判，按“谁启动，谁结束”的原则，由相应部门适时决定应急工作结束。

3.6.3 安全评估与养管决策技术支持

（一）安全评估

桥梁结构安全评估是在数据处理分析结果的基础上，采用科学合理的方法评估桥梁结构安全状态，对桥梁后期运管养护及维修加固提出技术建议，并以报告报表的形式定期或不定期提供给桥梁养管单位或行业主管部门的一整套工作流程。

根据《部指南》等文件的相关技术规定，动态安全监测系统应与桥梁定期（特殊）检查制度形成互补机制，定期将监测数据及其处理分析结果与定期或特殊检查结果进行比对和分析，综合评估桥梁安全状况，并将评估结果纳入桥梁安全运营年度报告。

根据《部指南》的相关规定结构整体健康度等级划分为 I 基本完好、II 轻微异常、III 中等异常、IV 严重异常四级。评定依据需满足《部指南》等文件的相关技术规定。桥梁整体结构健康度等级划分如下表所示。

预警级别制定和对于关系

健康度等级	总体评价
I 基本完好	基本完好
II 轻微异常	轻微异常
III 中等异常	中等异常
IV 严重异常	验证异常

上述桥梁结构安全评估的具体内容和方法还应满足《部指南》的相关技术要求。此外，

在组织实施层面，桥梁结构安全评估可分为定期评估和专项评估：

1) 定期评估：定期开展的桥梁结构安全评估工作。评估频率宜结合桥梁结构所处的安全预警状态开展评估工作。

(1) 桥梁抗风专项评估

当空气绕过桥梁主梁结构时，在其表面产生风压，进而形成风荷载。大跨度桥梁由于结构较柔尼较小，风荷载是其结构安全的控制荷载之一。风荷载包括静风荷载和动力荷载。在强台风作用下，桥梁产生显著的静力变形和动力响应。**监测数据的分析主要针对强风作用时桥梁变形和振动特征进行，为后期专家评估提供数据支撑。**

风对桥梁的作用被分为静力作用和动力作用。桥梁在风的作用下发生的振动主要是颤振、驰振、涡激振动、抖振等。动力作用引起的桥梁风致振动可以分为颤振、抖振、涡振和驰振四种。

在强风作用下对桥梁结构造成的损失主要表现为：气动弹性不稳定；强度破坏（强度）；变形过大（刚度）；疲劳破坏；结构物的振动使结构使用者产生感觉上或心理上的不舒适：由于大风的作用对行车安全的影响运营阶段强风造成的不利影响除了大桥气动弹性不稳定、强度破坏（强度）、变形过大（刚度）、疲劳破坏、结构物的振动使结构使用者产生感觉上或心理上的不舒适等因素外，桥面风环境变化和桥梁风振还将导致行车的安全性风险。行车安全性涉及到风--车--桥三者之间的耦合动力作用问题，主要考虑在强风条件下车辆通过桥梁的安全性问题，避免出现翻车、侧移等不安全问题。

大桥在运营阶段利用动态安全监测系统进行抗风专项评估的主要目标包括：①强风作用下桥梁变形和受力状态安全性评估，判断大桥是否发生过大变形、过大扭转等危险状态；②风作用下桥梁动力特性分析，判断大桥是否发生过大振幅、不稳定振动、发散振动或影响行车舒适度的振动；

桥梁抗风专项评估分析**主要为抗风静力分析**。该专项采用定期离线分析方式，评估结果以定期报告形式提供桥梁管养单位。

(2) 车辆超载专项评估

依据《公路桥涵养护规范》(JTG 5021)的相关规定，超重车辆通过桥梁时应监测桥梁的位移、变形和裂缝扩张等，并及时反馈管养单位。超重车过桥时，应对桥梁挠度、关键构件内力、关键部位应变监测数据进行分析，并与理论计算值进行比较。当监测值明显大于理论计算值时，预示桥梁可能发生了损伤，提醒桥梁养护部门进行检查。

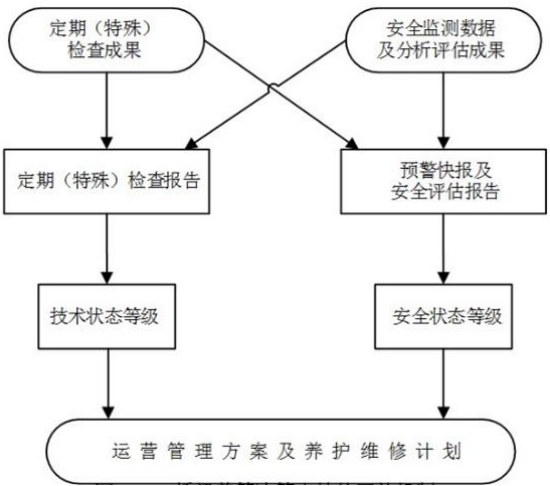
(二) 养护决策技术支持

桥梁结构各级技术状态等级与其相应的运营养护策略见下表。当依据《部指南》和《省指南》得到的桥梁结构整体健康度等级与依据《公路桥涵养护规范》（JTG5021）或《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/TH21）得到的技术状态评估等级不一致时，应依据最不利的评估结果确定运管方案和养护计划。

桥梁状态等级与运营养护策略

定期检查成果		安全风险监测成果		运营管理策略	养护维修措施
技术状况等级	描述	部指南健康度等级	桥梁安全状态		
1 类	全新状态，功能完好	I 基本完好	完好状态	正常通车	正常保养
2 类	有轻微缺陷，对桥梁使用工程无影响		较好状态	正常通车	小修，及时修复轻微病害
3 类	有轻微缺陷，尚能维持正常使用功能	II 轻微异常	中等损伤状态	酌情进行交通管制	中修，及时修复或更换较大损坏构件
4 类	主要构件有大的缺损，严重影响桥梁使用功能；或影响承载能力，不能保证正常使用。	III 中等异常	严重损伤状态	及时进行交通管制或封闭交通	大修或改建
5 类	主要构件有严重缺损，不能正常使用，危及桥梁安全，桥梁处于危险	IV 严重异常	危险状态	及时封闭交通	改建或重建

根据安全监测系统应与桥梁定期（特殊）检查制度形成互补机制的总体原则，安全监测数据及评估成果与定期（特殊）检测成果共同对桥梁运营养护决策提供技术支持，如下图。



桥梁养管决策支持的互补机制

3.6.4 安全评估与养管决策技术支持

有效的对结构的安全进行预警及评估离不开完善的流程机制，通过电子流子系统，实现了贯穿风险事件触发、预警状态管理、实时信息推送、报告报表发布、运管应急响应、养护决策支持的建养全流程动态跟踪管理。

传统的监测预警系统通常只能产生预警并发通知给相关责任人，而后续相关人员处理预警大多都是在线下完成，这就缺少了预警处理的跟踪记录。安全监测云平台增加了电子流模块，将传统线下的流程审批移植到线上完成，主要技术优势体现在以下四个方面：1）找干系人审批流程不受办公地点分离限制，极大提升流程审批效率；2）特征值超限产生告警，进而触发预警规则设施产生预警，同时系统同步自动发起一条预警处理电子流，并发通知给责任人，责任人及其他干系人在线审批预警处理电子流，整个预警产生-处理过程实现一个闭环；3）责任人可随时在线跟踪电子流处理进度，可通过平台发送催办消息；4）所有干系人的处理意见都记录在流程日志上，相关会签文件也都挂在电子流附件上，一切都有迹可循。

电子流模块支持流程创建、待办任务处理、流程实例查询与跟踪、通知催办等功能，满足用户在线处理审批任务的需求。支持任务日志，项目负责人可随时查看流程进展，根据需求发出催办提醒。

3.7 用户界面子系统

3.7.1 设计原则

- 1）采用 B/S（浏览器/服务器）架构构建主体软件界面，满足多用户访问系统的需求；
- 2）直观反映桥梁结构状态变化，界面布局清晰合理，符合用户使用习惯。
- 3）软件能够实现高频数据的实时动态展示，采用时程曲线、数据列表、大屏驾驶舱等多种方式展示数据实时变化及规律；
- 4）具备在线数据分析功能，包含：相关性分析、对比性分析、趋势性分析等；
- 5）设置灵活的查询条件并支持结果导出功能；
- 6）具备超限警示提醒功能，当数据超过报警阈值时宜通过颜色变化、界面闪烁、短信提示、声光报警等多种方式的选择提醒用户；
- 7）控制类操作界面**响应时间不高于 3s**，查询类操作响应有明确的进度提示；
- 8）具备用户角色管理、权限控制功能，能根据用户身份控制其界面访问和数据访问权限；
- 9）对于有特别移动访问需求的用户，能够附着开发运行在手机、平板上的小程序、APP 等应用软件，功能包含实时数据展示、历史数据查询、报警消息推送、视频信息监控等。

- 10)支持数据上传市级、省级及国家级健康监测平台，并能支持根据上级平台动态需求提供数据与分析结果。

3.7.2 总体设计

(一)养护决策技术支持

本项目要求软件系统考虑以下安全问题：

- 1）保证硬件设备的安全
- 2）保证服务器操作系统安全
- 3）避免用户的非授权访问
- 4）保证数据库系统的安全
- 5）保证系统数据访问与传输安全

(二)数据集成

利用数据集成平台，可以将其他系统的数据集成到本管理系统中，也可向外系统提供数据。利用数据集成平台可灵活配置外部系统等信息，可根据不同外部系统的数据格式定义转换规则。支持多种数据格式系统支持输入输出格式包括 TXT、EXCEL、WORD 等格式文件。

3.7.3 应用软件设计

桥梁等交通基础设施的安全运行关系到城市现代化水平、政府形象、人民 群众的切身利益，充分利用云计算、大数据、物联网等技术，对桥梁及相关系统的各方面数据进行全方位的信息化处理和利用，构建桥梁动态监测网络平台，对桥梁进行有效的感知、监控和管理，有助于提升交通基础设施管理的智能化、精细化和科学化水平，逐步建立起在线巡检、消除隐患、科学养护等管理新模式。临平交通目前已建立了交通信息指挥中心，已具备了桥梁健康监测系统的网络和系统运行环境，但对于桥梁结构监测的功能还未建立，桥梁健康监测系统将作为其基础设施监管的重要组成部分进行建设。软件系统建设内容如下：

（一） **物联感知数据采集系统**：根据传感器厂家提供通讯协议，接入安装在京杭运河特大桥的环境温湿度、结构温度、静力水准仪、拉线位移计、静应变传感器、双向加速度传感器的数据接入桥梁实时监测数据库，通过与视频录像机的级联，将视频信息接入指挥中心视频平台，通过视频平台读取视频信息。 **监测数据接口规范如下：**

对于该桥实时监测及预警数据等实时性要求较高的数据，本系统按照《指南》统一数据接口要求，设计通用数据接口形式。

系统按市级平台要求以指定的通信协议形式将各类传感器数据按照约定好的报文格式发

送给市级平台方数据接口服务器，平台方通过对报文数据的解析，实现监测数据的存储及展示。支持根据市级平台动态需求提供数据与分析结果，通过指定的通信协议形式将各类传感器数据和数据分析结果自动上报市级平台。

按照传感器类型划分，数据接口报文格式有三种：

1）通用报文格式：适用于振动加速度、光纤光栅应变、位移、主梁挠度、温湿度、风荷载等各类传感器数据。

2）GNSS 报文格式：仅适用于 GNSS 传感器发送的空间变位数据。

3）车轴车速仪报文格式：仅适用于车轴车速仪传来的采集数据。每种报文格式参照《指南》要求定义。

（1）通用报文协议编码

通用报文协议编码主要用于除了 GNSS 和动态称重数据的监测数据的实时传输，其网络连接采用 TCP 或 UDP 协议，报文长度一共 16+N*4 个字节，其中前面 16 字节为传感器属性信息，后面的 N*4 为每一秒的数据值，可以是多组数据，具体报文协议结构如下图所示：

报文类型 1byte	预留位 4byte	消息长度 2byte	时间戳 7byte	传感器通道 2byte	数据值 1 4byte	数据值 N 4byte
---------------	--------------	---------------	--------------	----------------	----------------	----------------

通用报文协议结构组成

具体协议数据格式见下表。

通用报文协议数据格式定义

消息机构	字节序	字段	数据类型	内容描述	备注
报文类型	0	报文类型	BYTE	02 代表通用报文	
	1	预留	BYTE	预留，默认为 0	
	2	方向	BYTE	0：下行信息 1：上行信息	
预留位		网络通讯			
	3	计算机编号	BYTE	默认为 0	
	4	命令码	BYTE	命令码=1	
消息长度	5	长度低	1NT	报文长度用两个字节表示，低字节在前，高字节在后	报文长度为 N*4+9，即 7 个时间字节和 2 个对象码字节，每个数据值占 4 个字节，一共 N 对。实际的年需要加上 1900
	6	长度高			
时间戳	7	年	BYTE	年+1900	

消息机构	字节序	字段	数据类型	内容描述	备注
传感器通道	8	月	BYTE	月	
	9	日	BYTE	日	
	10	时	BYTE	时	
	11	分	BYTE	分	
	12	毫秒低	1NT	毫秒用两个字节表示，低字节在前，高字节在后	用毫秒数除以 1000 得到的值就是秒数，余数就是毫秒数。
	13	毫秒高			
传感器数据	14	对象码低	1NT	对象码用两个字节表示，低字节在前，高字节在后	对象码就是数据通道号，为 1-32767 的整数
	15	对象码高			
	16	数据值低	FLOAT	数据值用四个字节表示，此字节为低字节	从字节 16 开始，依次每四个字节表示一个数据值，一共 N 个。
	17	数据值		数据值用四个字节表示，此字节为次低字节	
	18	数据值		数据值用四个字节表示，此字节为次高字节	
	19	数据值高		数据值用四个字节表示，山字节为高字节	

（二）桥梁监管数据仓：主要包括用户信息、用户权限、桥梁基础数据、历次桥梁检测数据、桥梁三维建模、桥梁实时监测数据、桥梁监测特征数据、桥梁监测分析结果、桥梁巡检记录、桥检报警处置、桥梁维修记录、桥梁监测设备、桥检设备参数、桥梁监测月季年报、桥梁评估报告、数据字典、桥梁病害知识库等数据库的建设。

（三）应用支撑系统：主要包括统一认证服务、地图服务、短信服务、桥梁病害分析模型等建设内容。统一认证服务以浙政钉用户系统作为用户统一认证，地图服务基于市交通局 T-GIS 平台提供的服务进行调用；短信服务调用指挥中心短信服务；桥梁病害分析模型基于市级桥隧监管平台分析模型进行完善优化。

（四）应用系统：主要包括系统管理、基础信息、报警阈值、设备参数、设备巡检、日常监测、报警（巡检）处置、统计分析、健康评估、一屏统览、人工巡检、定检管理、三维建模、省市接口。

1）系统管理：包括人员管理和流程管理。人员管理是对系统用户基础资料和权限的增删改与设置。流程管理是对报警处置流程和巡检工单处置流程的设置。

2）基础信息：是对桥梁的竣工时间、桥长、桥型、设计荷载、设计单位、建设单位等基

础信息增删改查。

3) **报警阈值**: 根据黄橙红 (异于常态、疑似危险、危险) 三级报警定义 (**黄色报警**: 异于日常数据的正常水平, 或可能对结构使用性产生不良影响。 **橙色报警**: 超出设计最不利工况组合, 或可能造成桥梁非主要受力件的破坏, 或影响结构主要受力件的耐久性。 **红色报警**: 已超出设计允许或规范规定, 或可能影响桥梁结构安全) 和各监测设备厂家 4) **设备参数**: 对各监测设备进行报警参数设定。

5) **设备参数**: 对监测设备设置数据采集频率、采集时间等数据采集参数。

6) **设备巡检**: 根据采集设备特性, 自动对监测设备进行监测, 及时发现监测设备故障。

7) **日常监测**: 分为服务器端和 PC 端功能模块。 **PC 端功能**: 在京杭运河特大桥三维模型上标注各测点, 测点数据正常为绿色, 若报警, 则标注为报警级别的颜色。鼠标移至监测点可显示监测数据随时间变化的分布图, 若是报警点, 会给出桥梁监测、养护建议。同时可按时间查询历史数据。 **服务器端功能**: 根据实时采集的数据和报警阈值, 对超阈值的测点进行报警, 并形成处置工单。

8) **报警 (巡检) 处置**: 根据报警 (巡检) 处置流程发送短信, 提醒相关人员进行工单处置。

9) **统计分析**: 按照日、月、季、年等时间维度对各类报警信息进行统计汇总, 形成相应报表供养护单位参考。

10) **健康评估**: 根据监测数据、参考定检、巡检数据形成桥梁季度、年度结构健康评估报告。

11) **一屏统览**: 将京杭运河特大桥的地图定位、基础信息、三维模型及各测点、实时报警信息、月度报警统计信息、最新定检信息、最近结构健康评估信息和视频整合到一屏上, 各分类信息可以通过鼠标点击向下钻取信息, 实现一屏掌控桥梁全部信息。

12) **人工巡检**: 一是通过移动设备将桥梁巡检发现的病害上传系统。二是将巡检发现的桥梁病害采集后, 通过计算机录入。病害录入后, 根据严重程度形成处置工单, 进入处置流程。

13) **定检管理**: 将历次定检报告数据输入系统, 便于查询和评估应用。

14) **三维建模**: 在 WEB 端建立桥梁三维模型和测点标注。

15) **省市接口**: 与省市平台数据交换参数设置。

(五) 省市系统接口

为满足系统数据接入省市级监测平台需要, 分析该桥健康监测数据种类、数据更新频率、

以确定系统建设所需各项数据的来源和采集方式, 根据省市监测平台数据标准、接口规范要求, 开发数据传输接口服务以接入省市级监测平台。

目前, 省公路中心组织开发了浙江省桥梁管理平台, 平台对重点特长桥梁进行实时监管, 对其他桥梁实行重特大桥梁事故及时上报, 并按需进行协调处置。各地若有省重点桥梁需实时传送桥梁监测数据, 非省重点桥梁只需传送重大问题报警信息, 数据以 TCP 协议, 按省平台数据格式传送。但在省平台需要时, 可以软件服务 (BRIDGE-service) 形式调用桥梁实况功能, 实现对桥梁结构状况的实时查看分析。视频通过省市县 (区) 视频平台推送的方式进行共享。同样, 为统筹杭州市桥梁结构健康监管, 杭州市交通运输局组织开发了杭州市桥梁监管平台, 平台对市级重点以上桥梁进行实时监管, 对其他桥梁实行重大桥梁事故及时上报, 并按需进行协调处置。各区县若有重点桥梁需实时传送桥梁监测数据, 非省重点桥梁只需传送重大问题报警信息, 数据以 TCP 协议, 按市平台数据格式要求传送。但在市平台需要时, 可以软件服务 (BRIDGE-service) 形式调用桥梁实况功能, 实现对桥梁结构状况的实时查看分析。视频也是通过市县 (区) 视频平台推送的方式进行共享。

3.8 设备安装及防护方案

3.8.1 一般要求

1) 设备的安装、走线应符合下列规定:

(1) 不得降低原有传感器或设备的测试精度。

(2) 不造成对桥梁结构的破坏, 不影响桥梁的外观。

(3) 应具有较好的防锈蚀、防老化和防人为破坏功能, 并做好防雷、防盗等安全措施。

2) 设备安装前应进行必要的标定、校准或自校。

3) 系统设备安装与施工应符合《公路桥涵施工技术规范》 (JTG/TF50)、《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》 (JTGF80/1)、《公路工程质量检验评定标准第二册机电工程》 (JTGF80/2) 的相关规定。

3.8.2 供电、接地、防雷、防护方案

1) 供电方案稳定可靠的供电电源是自动化数据采集传输系统的基础, 本系统的供电设备包括主要 UPS 不间断电源 (具备稳压过滤功能)、电源防雷设备、电力电缆。电源直接从指定供电点的电源配电箱取出, 通过配电电缆为设备供电, 同时, 系统配备 UPS 不间断电源 (兼具稳压器功能), 为本系统提供稳定可靠的供电电源。电源取电点可就近选择桥址附近的供电点。

2) 接地防雷方案为了保护系统不受雷电损害或将雷击损害降到最低程度,采取综合防雷的方式。综合防雷设计包括两个方面:直接雷击的防护和感应雷击的防护,缺少任何一方面都是不完整的、有缺陷的和有潜在危险的,其中直击雷造成的危害虽然巨大,但发生的几率相对感应雷较低,因而以感应雷击的防护为主。

直接雷击的防护直接雷击防护主要采用避雷针、避雷线、避雷带或避雷网等接闪器和良好的接地系统,其目的是保护桥梁上的安防设备不受雷击的破坏,给设备提供一个相对安全的环境。因大桥本身有较完善的直接雷防护系统,监测系统可利用其进行直接雷击的防护。

目前,计算机等电子设备受到雷电感应高压损坏主要途径有二种,一是辐射性的感应雷击是强雷电磁场通过辐射或感应造成设备损坏。二是由供电线路、信号线路和控制线路等由各种线路传导进来的感应雷电高压脉冲损坏电子设备的。因此采取的相应措施为:

- (1) 采取电磁屏蔽措施;
- (2) 安装浪涌过电压保护器,包括供电系统和信号系统;
- (3) 等电位处理;
- (4) 良好接地系统。本系统防雷设计具体内容如下:
 - (1) 每个外场采集站配电箱安装电源防雷模块一套。
 - (2) 传感器采集设备前加装信号防雷器。

3) 防护方案因系统为长期监测系统,这就要求对传感器进行有效的保护,其防护措施是否能够确保传感器设备稳定可靠地工作,将直接关系到系统稳定运行。保护的目的是:防止人为损坏;防止外部不利环境影响;保证其具有仪器设备要求的工作环境。根据监测内容及使用条件,分为几类:一是直接暴露于空气中的传感器,这类传感器一般不需要采用防护措施,如风速风向仪、空气温湿度计等,否则将直接影响测量效果;二是不宜直接裸露在外的传感器,如温度传感器、索力传感器、振动传感器、挠度传感器等;因此,动态安全监测系统的传感器保护应满足如下要求:

- (1) 对于需要一般防护的传感器保护标准应满足 IP55 要求,直接裸露于外的传感器如风速风向仪等,按照其相应保护要求办理;
- (2) 无论是能够直接暴露于空气中,还是不允许暴露于空气中的设备,对电子部分均采取保护措施;
- (3) 传感器设备需采取可靠接地,泄放可能产生的感应电压;
- (4) 传感器为精密测量设备,安装时必须轻拿轻放,严禁敲打击拍;
- (5) 部分监测传感器具有监测方向性,安装前须参阅传感器设备说明进行安装。

3.8.3 走线方案

本系统各类传感器采集数据,通过屏蔽信号线等线缆传输至数据采集外站。同时整个系统的稳定电源通过电力电缆由供电点传输至数据采集外站。各类线缆走线方案如下:

监测点的传感器信号线缆及电力电缆通过镀锌钢管或金属软管分别敷设的主线路金属线槽然后统一汇聚至相应的采集站。

金属线槽或镀锌钢管是系统线缆的保护装置,具有严格的施工要求和施工顺序。具体布设要求如下:

- 1) 金属线槽采用 T 型托臂固定支撑,L 型托臂所用钢材应平直,无显著扭曲。切口处应无卷边、毛刺。L 型托臂应安装牢固,保证横平竖直,在有坡度的建筑物上安装 L 型托臂应与建筑物的坡度、角度一致。
- 2) 金属线槽内的线缆应用电缆卡带或金属电缆卡子进行分组固定。对于水平敷设的电缆每隔 2m 左右作一固定点;对于垂直敷设的电缆应每隔 1~2m 固定一次。
- 3) 镀锌钢管可通过管卡及膨胀螺栓固定在相应的主梁上。对于不便布设镀锌钢管的位置处可用金属软管代替。

3.8.4 传感器设备安装与施工

(一) 环境温度计

对于安装在箱梁外的环境温湿度计,传感器应固定在四周空气流通的位置,可与其他设备共用 安装支架;对于安装在箱梁内的环境温湿度计,传感器应固定在四周相对空旷非转角的梁体上。

(二) 静力水准仪

1) 在桥面上用液管、气管将多个传感器串联起来,安装时应先将设备通液口的螺套卸下并套入连液管。通液管铺放时注意管子理顺拉直,中间尽量不让管路走弯道,保证压力能快速传递。设备之间的连通管需计算好长度,防止沉降发生时,液位管长度不够,导致拉伸松动,发生漏液现象。然后将多个传感器一起串联至 RS485 总线上,为保证信号线连接质量,用锡焊将信号线焊接并用防水绝缘胶布将信号线包裹起来。将靠近传感器出线口处的液管、气管及信号线用波纹管包裹对其进行防护。

2) 将防冻液倒入液管,关闭储液罐通液口,加入适量的液体(深 20cm),待静力水准仪充液后再连接。使用水泵对已连通液管进行充液(尾端排气口先松开)。当各设备及管的液体充液完成,并从尾端排气口流出时,锁紧排气口,然后依次从尾部开始逐一调整静力水

准正上方的排气口，排清静力水准仪内的空气，上紧排气口，直至所有静力水准仪排清空气。
充液完成后将首端连接到通液管连接到储液罐。如发现管与设备有气泡时，可通过相近的设备的排气口排出。最后在储液罐的防冻液上面添加硅油，减小防冻液挥发。

3) 将液管、气管、信号线等放置到线槽内，将传感器放置在测点相应位置。

4) 将静力水准仪安装在配套的安装支架上，然后确定测点位置并做好标识。将混凝土安装表面打磨平整，用打气筒把安装孔内杂质及灰尘吹出，在Φ10 膨胀螺栓外部及内部（膨胀管与螺栓间空腔间隙）均匀涂抹结构胶，然后塞入安装孔内，接着把螺帽拧紧 2-3 圈后感觉膨胀螺栓比较紧而不松动后拧下螺帽，再把安装支架圆孔对准膨胀螺栓嵌入，然后逐个安装每个膨胀螺栓垫片、弹簧片及螺母，并拧紧。为提高静力水准仪的量程，对于高程比较小的挡块，需将两根方钢安装在挡块上作为传感器安装支架来提高测点高程。

5) 按照倾角仪保护盒的安装方法将金属保护盒安装在传感器的外面对传感器进行防护。

6) 利用线槽对传感器附近的信号线、气管、液管进行防护。

7) 在静力水准仪参考点测点位置处安装储液罐。储液箱安装的位置要根据量程要高于系统中的任意一台设备，在量程内，一般比最高设备高出 1/2~2/3 量程处。根据可安装方式固定好储液箱，避免环境引影响下抖动。

静力水准仪安装完成后，采用 RS485 总线传输至采集端，每个静力水准仪均串联在 RS485 总线上，通过采集端的采集仪集中对倾角计供电并采集数据。

（三）拉线位移计

1) 在位移计测点位置标记，将传感器安装墩顶。

2) 在梁端焊接拉线的固定支撑，安装时尽量保证与传感器出口端面保持垂直，减少拉线与出线口之间的磨损。

3) 安装金属保护盒。

4) 将信号线通过线槽引至采集端，完成位移计的安装。

5) 系统初次调试时，应记录其原始数据。

（四）加速度计

1) 加速度计安装底座应与桥梁主体结构紧密贴合，保护盒应具有良好的防尘和防水功能。

2) 传感器在现场搬运工程中应轻拿轻放，以免损伤传感器。

3) 传感器安装固定前应确保传感器的测试方向符合设计文件要求。

4) 系统初次调试时，应记录其原始数据。

（五）数据采集站

1) 机柜稳固安装，设备安装后检查有无倾斜、晃动等现象。

2) 正确绑扎、固定线缆路由，并预留一定长度的线缆。

3) 做好设备标识，安装完成后应形成准确的信号连接关系表，并做好记录。

4) 合理布设机柜内设备，使得强、弱电线缆宜分开。

3.8.5 数据采集站与综合布线

（一）数据采集站

1) 连接件应牢固可靠，设备安装后无倾斜、晃动等。

2) 线缆路由正确、绑扎牢固、端头连接规范，弯曲半径和预留长度应符合设计或规范要求。

3) 设备标识应清楚、完整，安装完成后应形成准确的信号连接关系表（图）。

4) 设备标识清晰、完整，按照层次排列，如由上至下依次可为采集设备、交换机及网络设备、供电设备。

5) 机柜内设备应布局合理，走线美观，且强、弱电线缆宜分开。

6) 机柜必须稳固，接地良好。绝缘电阻、安全接地电阻、防雷接地电阻应符合验收要求。

（二）综合布线

1) 布线从传感器端开始，到数据采集站位置结束，分类布设。采用热缩套管或专用接头进行 电缆的连接，确保其良好的连通性和防水性。

2) 线缆不能强力拉扯，以免损坏。

3) 线缆的型号、规格应与设计规定相符。

4) 线缆的布放应自然平直，不得产生扭绞、打圈接头等现象，不应受到外力的挤压和损伤。

5) 线缆两端应贴有标签，应标明编号，标签书写应清晰、端正和正确，标签应选用防水、防撕材料。

6) 线缆终接后，应留有余量。交接间、设备间对绞电缆预留长度宜为 0.5~1.0m，工作区为 10~30mm；线缆布放宜盘留，预留长度宜为 3~5m，有特殊要求的应按设计要求预留长度。

7) 电源线、综合布线系统缆线应分别布放，缆线间的最小净距应符合设计要求。

（三）接线工艺

进行线缆连接时，若存在接线点附近无电源可用而无法进行上锡焊接的情况，则要求采

取以下 方式进行线缆续接。

1) 线缆单根内芯线对接方式

- (1) 线缆内芯线用剥线器剥除外部绝缘层，露出铜芯 2.5cm。
- (2) 内芯线铜芯十字交叉，交叉点在其中一根内芯线的铜芯与绝缘层交界处，（此内芯线为 A 线，下同），距另一根内芯线铜芯与绝缘层交界处 0.5cm（此内芯线为 B 线，下同）。
- (3) 两端线头铜芯线各自按顺时针及逆时针拧动，其中 A 线需缠绕在 B 线上，AB 线之间互 相绞接（这里特别注意如果只对 A 线进行拧动，如若 B 线保持顺直状态，会导致线与线之间摩擦力 降低，接线不牢靠）。
- (4) 当 A 线缠绕至 B 线铜芯与绝缘成交界处时，把 B 线多余伸长部分铜芯向 B 线方向回绕， 并剪掉多余线头。
- (5) 芯线接好后，外部采用绝缘胶带进行防护。

2) 线缆多根内芯线对接

- (1) 利用剥线钳剥除线缆最外层绝缘层，剥除长度为 $6\text{cm}+n\times 1\text{cm}$ （n 为电缆芯数），本项目多 为 4 芯线缆，故剥除长度为 10cm。
- (2) 对线缆内芯线，任选一根作为基准长度，其他内芯线长度依次按 1cm、2cm、…… $(n-1)\text{cm}$ 进行裁剪，然后剥除线缆每根内芯线外部绝缘层，剥除长度 2.5cm，如下图所示。
- (3) 对于对接的另一根线缆，预留的每根内芯线长度正好相反，每根内芯线绝缘层剥除长度 2.5cm。
- (4) 两根对接线缆内芯线对接时，按颜色进行配对，内芯线接线可按“线缆单根内芯线对接 方式”依次进行对接。
- (5) 两根线缆内芯线对接完毕后，使用绝缘胶带和橡胶自粘带（也叫防水胶带）对接线处进 行三层缠绕，第一层用绝缘胶布进行打底缠绕，第二层采用橡胶自粘带进行缠绕，第三层采用绝缘 胶带进行缠绕。

3) 线与设备对接

- 线缆与仪器上各端子进行对接时，线缆内芯线接头处需压接管型接线端子，以防止各线头之间由于毛刺发生短接现象。
- (1) 利用剥线钳剥除线缆最外层绝缘层，露出线缆内部芯线 3.5cm；
 - (2) 剥除线缆内部芯线绝缘层，露出铜芯 1cm，把铜芯插入管型接线端子内，利用压线器进行压接；
 - (3) 线缆外部套接一段 2cm 热缩管，套接位置在线缆外部绝缘层与内芯线交界处，然后

利用热风枪使热缩管收缩包裹住交界处位置。

- (4) 按照规定线序把线缆内芯线逐根接在仪器端子口上。

4 系统集成与软硬件联合调试

系统集成包括硬件集成、软件集成和工具平台集成，应通过工具平台实现硬件、软件和网络接口的兼容匹配和合理配置，确保各子系统之间的兼容性、数据传输可靠性、系统整体稳定性、环境适应性、可扩展性和技术先进性，使系统整体性能达到最优。系统硬件集成应考虑网络通信条件、环境适应性、防雷的需求，以系统整体性能最优为目标，以系统功能稳定和数据可靠为约束边界条件，统筹集成数据采集、通信、供电等接口，确保硬件设备之间的兼容性和匹配性。监测设备的调试工作根据时间先后顺序分为以下三方面：

1)工厂调试仪器定制完成后，安排人员对仪器的通道采集情况进行内部调试，调试方法：采用监测系统中

用到的传感器对仪器的所有通道逐点测量，对每个通道采集到的信号评估，有故障的话则返回维修。2)现场安装调试将设备运到桥上时，将仪器平放在桥面上，接上电源线和网络线缆，对仪器进行初步调试。并在仪器的表面位置贴上相关警示标签，防止闲杂人员破坏仪器设备。

3) 软硬件联合调试软硬件联合调试分以下四部分：

第一部分：硬件、软件运行调试，目标是做到采集数据真实、可靠，软件分析结果正确。第二部分：该部分的调试主要包括两项内容，一是监测系统的可操作性和精度评价，二是开发者自编分析软件的兼容性调试。第三部分：数据的传输部分的调试，包括数据的加密、传输、解密、调用。第四部分：软件其它功能调试，系统整体调试。

该四部分工作分步骤进行。首先同时进行第一、第二部分调试，通过后则进行第三部分的并网调试，最后进行第四部分的调试工作。

5 系统维护

动态安全监测系统运维周期为 5 年，由监测系统实施单位负责。运维内容包括运维期内设备的维修、更换措施费用，每个季度对监测系统的定期排查，系统的故障解决，每个季度出具评估报告。

系统维护工作主要包括：1)系统硬件维护；2)系统软件维护及升级；3)对关键传感器及采集设备的主要技术指标标定或自校，并对系统整体性能进行检验。

系统维护工作总体上可分为日常维护、定期维护、故障维护和专项维护共四类，具体如

下：

1) 日常维护日常维护，即对监测系统设备设施的日常检查与维护，主要包括：

（1）运行并检查系统软件，按照软件使用手册观察数据采集、传输、显示是否正常，观察监测数据存储是否完整。

（2）对设备及其附属防护设施进行外观检查，并按照设备使用说明书对设备设施进行清洁、保养、除尘、除锈及清除积水等工作。如：位移传感器拉绳出口易被灰尘堵塞，需定期清理、润滑；清理数据采集工作站计算机防尘过滤网，以保持其通风散热良好。

（3）对线缆、光缆进行巡检，检查电缆是否损伤、老化，线缆与传感器及数采设备连接是否松动。

（4）网络通信设备检查：通过光交换机端口指示灯和光交换机网关软件查看网络连接是否正常，路由器、网关是否正常工作。

（5）检查 UPS 工作情况及蓄电量是否正常。市电正常供电的情况下，电量应该充足，停电时电量少于 10%应该及时关机；每季度对 UPS 电池进行一次充放电。

（6）温控通风设备的日常检查和保养：外场采集站机柜的温控及通风设备的日常维护除根据季节的变换开启和关闭温控及通风设备外，还应在设备开启前和关闭后对其进行除尘和保养维护。

（7）发现有设备出现异常时及时通知专业技术人员进行故障维护。

2) 定期维护定期维护，即定期对监测系统设备设施进行全面检查和保养，排除潜在隐患，确保系统能长期正常稳定运行。系统定期维护工作主要包括：

（1）检查日常维护的工作记录和备忘录。

（2）检查、整理及观察系统的运行情况：使用测试软件检查网络传输质量，有无丢包现象；使用计算机系统自带的网络命令测试 PC 与交换机的连接状况；进入交换机配置页面查看各端口运行状况。

（3）检查监测系统自检信息，系统错误日志文件检查和清理，例行数据备份和日志备份。

（4）外场监测设备的定期维护主要包括：主要设备及其附属设施运行情况检查；所有连接接口、线缆、电源稳定性检查；关键设备的易损易耗元件的定期更换。

（5）协助桥梁养护管理单位分析和解决日常设备运行中出现的问题。

（6）系统软件例行升级。

3) 故障维护故障维护，即处理日常或定期维护中发现的异常状况或故障，包括硬件设备的修理或更换、软件的修复升级或重新部署等。系统故障维护工作主要包括：

（1）出现故障的硬件设备应及时进行故障判断、维修或更换，并采取相应的预防措施避免同一故障再次出现。

（2）对系统软件运行出现的故障应排查原因，优先通过补丁修复或软件升级等方式排除故障。若需通过系统重启或重部署等方式修复系统，需确保系统配置和监测数据提前备份。

4) 专项维护专项维护，即在灾害和突发事件发生后，为保障或恢复系统正常运行而开展的针对性系统排查和维护工作。在雷暴、地震、洪水等自然灾害或火灾、车船撞击、雷暴、地震、偷盗及人为破坏等突发事件发生后，应及时开展系统专项排查，评估其对系统功能和性能的影响程度，必要时进行专项维护或修复。

系统日常维护工作宜结合桥梁日常巡查或经常检查组织实施，原则上不少于每月一次；定期维护工作可结合桥梁定期检查或专项检查组织实施，原则上不少于每年一次；故障维护、专项维护则视实际需要组织实施。系统日常维护工作宜由桥梁养管单位负责实施，定期维护、故障维护和专项维护工作宜委托系统承建商或其他专业机构实施。

各类维护工作的主要内容参见下表。

系统维护工作清单		
分类	目的	间隔周期
日常维护	对监测系统设备、设施的日常检查与维护	≤30 天
定期维护	定期对监测系统设备、设施进行全面检查和保养，确保设备、设施处于良好的运行状态，	≤365 天
故障维护	处理日常检查中发现的异常状况或故障，包括硬件设备的修理或更换、软件重启或修改等	不定期
专项维护	在车船撞击、雷暴、地震、火灾、洪水等不同灾害或突发事件发生后，开展系统专项检查和维护工作	不定期

6 施工期间交通组织

本次监测系统升级改造工程中对交通运营有一定影响，为保证施工期间不中断交通，施工单位应根据具体情况制定合理的交通组织设计。

6.1 施工交通组织安排原则

施工组织计划应遵循的原则：

- 1) 不中断交通原则：要求施工期间能保证现有道路的通畅，施工应分幅、分段进行；
- 2) 少影响原则：尽量减少施工对现有交通道路的影响（影响强度最小，影响时间最短），同时要尽量避免或减轻施工对地方交通的影响，由于本项目工期较短建议在夜间施工；

由于本项目交通量较大，为了确保施工期间道路的安全通畅以及施工人员、车辆和过往人员、车辆的安全，工程施工期间应严格执行《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）及有关部门的要求施工，在工程开工前做好以下工作：

- （1）施工前业主单位应组织交警、路政、监理、施工等单位共同商讨安全保障措施，同时对施工单位的施工组织进行会审；
- （2）施工前在当地电视媒体、报刊上发布通告；
- （3）施工前与相关村镇联系、沟通，提高当地人员的安全意识，避免发生安全事故与交通事故；
- （4）施工路段两头设置总体施工告示牌、施工警示牌、限速标志、禁止停车标志、禁止超车标志、导向标志、禁止通行标志灯，并在各个主要交叉路口处设立告示牌。
- （5）为确保在施工过程中的施工人员及过往行人、车辆的安全，首先从施工人员抓起，施工人员必须穿黄色警示背心，其次组织专门人员负责安全设施的管理以及夜间交通安全的管理，并派人员 24 小时巡查。

6.2 交通组织措施

按照《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）、《道路交通标志和标线》GB5768. 4-2017 及路政、交警的要求，初步制定交通流控制总原则和控制方案如下：

（1）编制依据

- ①公路养护安全作业规程（JTG H30-2015）及《道路交通标志和标线》GB5768. 4-2017；
- ②交警、路政相关要求；
- ③借道路段的道路状况。

（2）指导思想

本通行方案的指导思想是按照标准化、规范化要求进行编制，在满足规范、标准要求的基础上，考虑该路段的道路特殊性，为进一步提高安全性能，确保道路畅通及人民生命财产的安全，本着人性化管理的要求，加大安全措施，加大安全成本投入，加大人员安全保障措施，进行借道方案编制实施。施工借道以尽可能利用现有交叉口为原则，尽量少破坏现有绿化带进行借道施工。

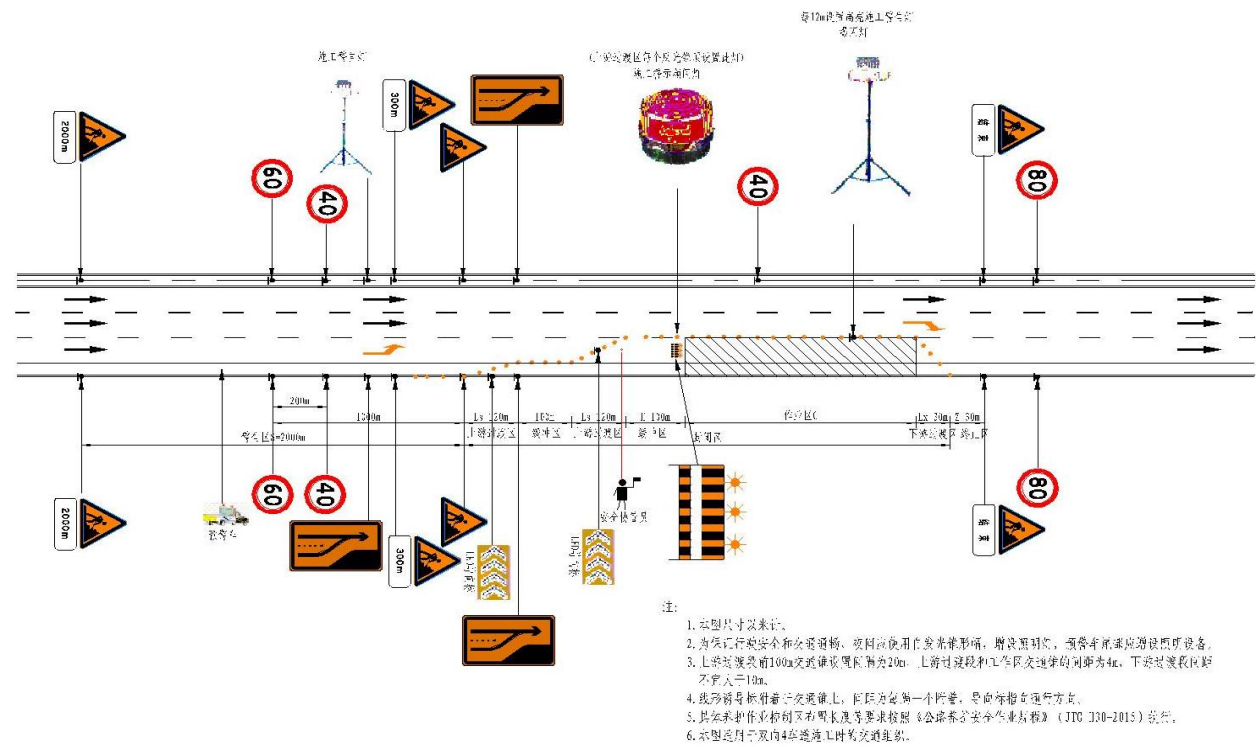
（3）方案设置

主要采取不改变交通流方向的方式进行施工作业，即采用四车道一级公路封闭外侧或内侧车道养护作业控制区布置方案。

（4）占道、借道设施设置

临平区 G104 京岚线京杭运河特大桥采用封闭外侧车道监测系统安装作业控制区布置方案

根据公路养护安全作业规程（JTG H30-2015）及《道路交通标志和标线》（GB5768. 4-2017）的要求，按警告区、过渡区、缓冲区、工作区、终止区进行标志标牌、隔离设施的设置，为进一步提高安全效果，各区域增加标志标牌及电子导向等设施的数量，加大了警告区、过渡区、缓冲区的长度。过渡区、缓冲区、工作区跟通行车道之间采用橡皮锥隔离。在过渡区和缓冲区之间增设一组防撞桶（内装不小于其容积 2/3 的中砂），同时在封闭区增加导向标志牌等。



（5）媒体信息发布

通过电台、报刊等媒体发布相关路段实施交通管制、借道通行的公告，将借道通行的路况信息及时告知司乘人员，同时进行安全知识宣传及教育。各单位要加强信息的报送工作，遇异常状况及突发事件及时向指挥中心和上级有关部门进行汇报，并建立信息通报制度，有关信息及时通报地方政府等有关部门，通过各种媒介及时向社会公布。

（6）开口部或平交口管理（借道期间）

为加强关键区域开口部或平交口的管理，在开口部或平交口位置由施工单位派人实行 24 小时值班（三班制），指引疏导车辆缓慢进入借道区域，同时指挥协调及上报突发事件工作。

(7) 封道设施维护：为确保封道期间借道设施的完好，车辆安全畅通，由施工单位派人进行 24 小时巡查工作，维护保畅设施。

为确保损坏借道设施的更新、补充，再配备 50 只水码、100 个橡皮帽、2 套太阳能电子导向牌、2 套太阳能爆闪灯、4 块标志牌用于设施的及时更换、完善。

(8) 保畅值班

①为加强对借道通行的指挥领导，应经常邀请交警、路政赴现场检查指导，召开由各单位参加的现场办公会议，分析解决工作中遇到的问题。

②为加强对借道通行现场的管理，设立保畅值班室，制定了值班人员工作职责。安排人员轮流值班。

6.3 主要材料运输

本工程所需材料均可由当地或附近采购，并可由汽车通过现有道路运输到现场。

6.4 临时交通设施设置

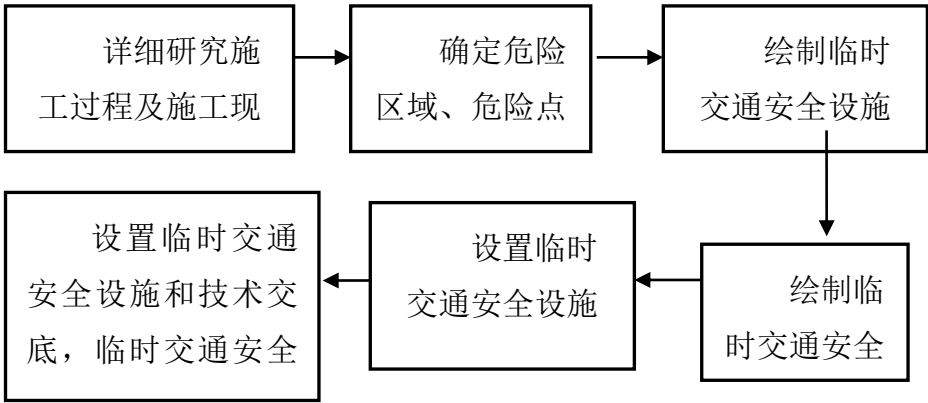
(1) 临时交通安全设施的类型

临时交通安全设施主要包括：

- ①临时交通标志与标线；
- ②用于渠化交通的安全设施，如锥形交通路标、施工隔离墩防撞筒；
- ③移动式标志车；
- ④施工警告灯；
- ⑤夜间照明设施。

(2) 临时交通安全的设置步骤

根据相关规范要求，本项目交通安全设施设置步骤如下：



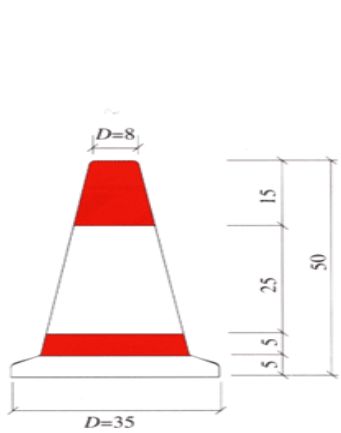
临时交通安全设施的设置步骤图

对于作业控制区的要求、作业控制区的布置以及安全作业方面的具体要求，应符合现行《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）的规定。

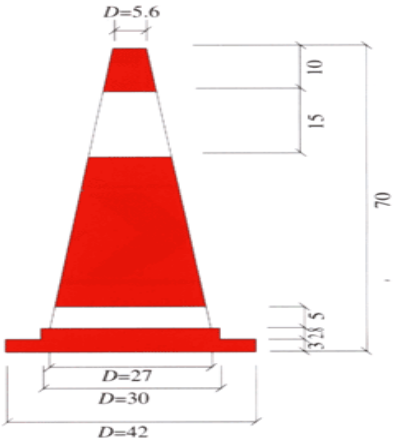
(3) 临时设施尺寸规格（mm）

- ①可变信息版：1950×800、1600×600、1250×400；
- ②锥形桶：D350、H500 和 D420、H700；

锥形交通路标的基本形式如下图所示。交通锥夜间使用时上端应安装白色反光材料或反光导标。



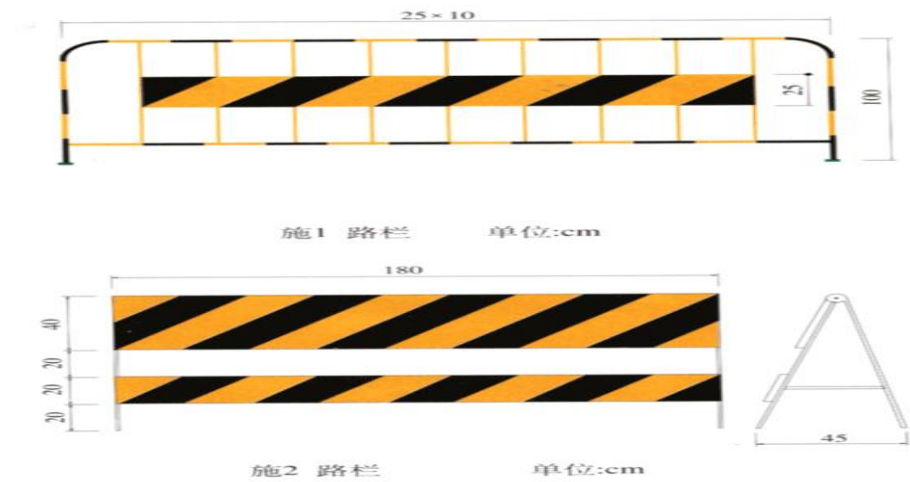
施3 锥形交通标 单位:cm



施4 锥形交通标 单位:cm

- ③施工隔离墩：500×400×500；
- ④防撞桶：端头型 720×900×900、一般型 540×900×90；
- ⑤防撞桶：1500×548×900；
- ⑥路栏

用以阻挡车辆及行人前进或指示改道。设在监测系统安装施工而致路段交通阻断的两端。路栏的基本形式，如图所示。



⑦标志

警告和禁令标志尺寸可根据施工道路等级选择 900mm(一级公路)，800mm(二级以下)。主要单柱标志有：



⑧作业区标志

尺寸采用 2140×760，单位 mm 计。图例如下：



6.5 施工总体要求及注意事项

- (1) 施工单位要牢固树立质量意识，切实贯彻质量责任终身制度，建立健全质量内部控制体系。施工前，要全面熟悉设计图纸及说明，认真领会设计意图。
- (2) 各分项工程严格执行相关施工技术规范、质量检验及验收评定标准和设计要求。
- (3) 施工时施工单位应对照现场病害进行核对检查，如发现病害实际情况与设计图纸出入较大或不一致的地方，应及时报告业主、监理和设计单位，以便共同商定解决方案。
- (4) 攀登高空作业人员以及搭设高处作业安全设施的人员，必须经过专业技术培训，并定期进行体格检查。

7 施工要点

(1) 硬件设施的安装

- 1、场端各个监测项目传感器的安装位置偏差应满足设计文件要求，如现场实际条件异常导致安装位置必须更改的，现场安装人员应遵循设计单位的书面同意。
- 2、应采用合适的施工方法保证传感器及其附属产品的安装对监测桥隧原有构件的正常工作无影响：禁止对监测桥隧原有构件进行损伤、拆除重建等严重影响结构安全的行为；禁止在施工过程中采用可能引起混凝土崩裂的施工方式。
- 3、对施工过程中造成的桥隧微损区域应进行及时修复。
- 4、为保证传感器使用的耐久性要求，现场传感器安装应满足设计图纸和生产厂家提出的技术要求。

(2) 线缆施工

- 1、电缆的弯曲半径应大于电缆直径的 20 倍。
- 2、应尽量避免电缆的接续，电缆接续时须采用专门接插件。
- 3、设备连接电缆时，宜从设备下部进线。
- 4、信号线线缆接头必须采用焊接，并用热缩管包裹。光电缆线应与大桥其他缆线保持必要的距离，并采取必要的屏蔽措施。光缆敷设弯曲半径应大于光缆外径的 20 倍。
- 5、直埋电缆在直线段应每隔 50~100m、电缆接头及转弯处、进入不同环境处时应设置明显的方位标志，在易于接触区域警示防护标志应加密设置。
- 6、沿室外墙面敷设电缆宜采用吊挂方式，沿室内墙面敷设电缆宜采用卡子方式。
- 7、用于数据采集传输的现场设备连接线缆应及时进行归纳防护处理，以保证结构耐久性

要求。

8、线缆在进入采集站时，每根线缆应建立唯一图像识别二维码卡片，并于线缆有效固定，二维码应包含以下信息内容：

- a.线缆所连接传感器类型；
- b.传感器所在截面；
- c.传感器编号。

9、光缆接续时应尽量减少接续损耗，每道工序完成后采用前向双程测试法测量接头损耗，中断段光纤的平均接头损耗不大于 0.05dB/个。

（3）施工注意事项

- 1、 从事高处作业的作业人员，必须正确使用佩戴安全带、安全帽。
- 2、 电工作业人员、金属焊接切割作业人员、起重机械作业人员、场(厂)内专用机动车辆驾驶人员、登高架设作业人员、垂直运输机械作业人员等特种作业人负必须按照国家有关规定经过专门的安全作业培训，并取得特种作业操作资格证书后，方可上岗作业。
- 3、 施工现场必须设置有关部门规定的警示标志，必要时派专人警戒看守。
- 4、 在设置的作业区内作业时，应防止非作业人负进入工作场地。
- 5、 桥梁结构上的预留孔洞处需设立安全警示标志。
- 6、 光缆接续、测试时，光纤激光不得正对眼睛。线路测试(抢修)时，应先断开外缆与设备的连接。
- 7、 在供电线路附近架空作业时，作业人员必须戴安全帽、绝缘手套，穿绝缘鞋和使用绝缘工具。
- 8、 在高压线附近架空作业时，离开高压线最小距离必须保证: 35kV 以下为 2.5m, 35kV 以上为 4m。
- 9、 立杆作业前应认真观察地形及周围环境，根据所立电杆的材料、规格和重量合理配备作业人员，明确分工，专人指挥。
- 10、 严禁在电力线路正下方（尤其是高压线路下）立杆作业。
- 11、 在桥梁侧体施工必须得到相关管理部门批准，严禁擅自改变安装位置，损伤桥体主钢筋。
- 12、 在桥梁侧体施工时，作业人员宜使用吊篮，并同时使用安全带，吊篮各部件应连接牢固。
- 13、 吊篮和安全带应安挂于牢靠处，吊篮内的作业人员应系好安全带。

14、 工具及材料应装在工具袋内，用绳索吊上或放下，不得抛掷工具、材料。

15、 从桥上给桥侧传递大件材料（钢管）时，应有专人指挥，钢管两端拴绳缓慢送下，待固定后再拆除绳索。

（4）其他

现场施工前应认真核对设计图 and 实际结构对应情况，如发现实际构造与设计图纸有出入及有新的病害产生时，应及时通知设计人员。其它未尽事宜应满足按照现行规范相关规定要求。

8 环境保护

- 1) 光污染控制
 - （1）在箱梁外夜间电焊作业时，宜采取必要的遮挡措施，避免电焊弧光外泄。
 - （2）夜间施工时，大型照明灯具应控制照射角度，防止强光外泄。
- 2) 水污染控制
 - （1）各种溶剂、胶水应妥善存放，严防泄漏、坠江。残余胶水、溶剂容器及留有残余物的抹布等应集中封固、处理，严防与水接触。
 - （2）施工时，严禁向江内丢弃任何物品、器具。
- 3) 建筑垃圾控制
 - （1）建筑垃圾应及时清理，并分类堆放在指定的地点，严禁随意抛放。
 - （2）不得燃烧废弃物。

9 系统验收

9.1 资料验收

施工完成后需提供以下资料文件：

- 1) 各类设备出厂合格证明、产品保修卡、产品说明书；
- 2) 传感器设备检验及评定报告；
- 3) 软件类产品用户使用说明书；
- 4) 竣工图、设计变更过程传递文件；
- 5) 其他资料。

9.2 现场验收

1) 各类传感器验收方式:

①测点数量

验收方法: 目测

验收要求: $\geq$ 设计值

②测点位置

验收方法: 尺量

验收要求: $\leq 20\text{cm}$

③测点存活率

验收方法: 读取数据

验收要求: 存活率 100%, 且数据无异常。

④设备型号及编号

验收方法: 查验设备资料

验收要求: 厂、证、物一一对应; 不得出现有物无证的情况。

2) 其他

①施工造成的桥梁损伤

验收方法: 目测;

验收要求: 不得出现由于施工导致的混凝土大面积破损, 不得出现施工打孔未封堵的情况。

②现场杂物清理

验收方法: 目测

验收要求: 施工区域不得留有施工杂物

③线缆防护验收方法: 目测

验收要求: 各类线缆应整齐, 不得随意散落; 线缆进入采集站时每根线缆应标注对应传感器类型、编号; 线缆沿箱梁腹板、底板、顶板敷设, 敷设时应进行防护, 并间隔粘贴警示标识; 电源线缆应进行防护处理, 并间隔布设“有电危险”标识。

9.3 软件验收

系统验收时由监测系统实施单位提供软件第三方功能检测报告。

10 后期工作

10.1 用户培训及监测报告

由于动态安全监测系统涉及专业性深、知识面广, 因此监测系统安装开发承担单位须做好接管单位人员的培训工作, 具体工作如下:

(1) 软件开发单位须撰写系统使用手册, 并负责培训使用人员;

(2) 软件开发单位须提供软件开发手册;

(3) 维护期内每年出版 1 期年度监测报告及 4 期季度监测报告撰写, 并逐步移交给接管单位。

10.2 设备维护

监控设备基本是电子产品, 其使用寿命和运营性能与日常维护是分不开的, 在使用过程中尽量做到以下方面:

(1) 保持监测设备环境干燥;

(2) 采用稳压设备, 避免电压过高或过低;

(3) 传感器加装防护罩, 避免人为损坏;

(4) 传感器及时标定, 如有损坏, 及时更换;

(5) 加装防雷击设施, 机箱外壳接地;

(6) 及时检查保护罩内积水情况;

(7) 设备线路与过桥电力缆线按设备需要保持一定距离。

10.3 设备校验

严格执行传感器周期校验, 原则不低于一年一次。

11 预算

11.1 编制范围

预算编制范围为: 2022 年杭州市临平区 G104 京岚线京杭运河特大桥增设动态安全监测系统, 京杭运河特大桥全长 1525.4m。

11.2 编制依据

(1) 交通运输部 2018 年第 86 号公告发布的《公路工程项目概算预算编制办法》(JTG

3830-2018) (以下简称《编制办法》)、《公路工程概算定额》(JTG/T 3831-2018)、《公路工程预算定额》(JTG/T 3832-2018)、《公路工程机械台班费用定额》(JTG/T 3833-2018);

(2)交通运输部 2019 年第 26 号公告:关于调整《公路工程项目投资估算编制办法》(JTG 3820-2018)和《公路工程项目概算预算编制办法》(JTG 3830-2018)中“税金”有关规定的公告;

(3)浙江省交通运输厅转发交通运输部 2018 年第 86 号公告的通知(浙交〔2019〕116 号), (以下简称《补充规定》);

(4)浙江省交通工程管理中心 2022 年发布的《质监与造价》第三期信息价;

(5)浙公运函〔2022〕3 号《关于进一步规范桥梁结构健康监测系统施工图设计方案编制工作的通知》;

(6)数据文件采用同望 WECOST (V10.7.0) 公路工程造价软件编制;

11.3 直接工程费与间接费

1)直接费

(1)人工费

人工费单价根据《补充规定》按 127.66 元/工日标准计取。

(2)材料费

材料价格根据浙江省交通工程管理中心 2022 年发布的《质监与造价》第三期信息价,并结合市场调查综合计取。

(3)施工机械使用费

施工机械台班预算价格按《公路工程机械台班费用定额》(JTG/T 3833-2018)计算。其中,不变费用按定额规定费用计算,可变费用中的台班人工费工日单价采用《补充规定》, 动力燃料费用按材料费的计算规定计算,车船使用税按我省的有关规定计算。

2)设备购置费

①设计能提出设备购置费应列出计划购置的清单,则以数量乘以设备预算价计算;

②设计不能提出设备购置费应列出计划购置的清单,则按《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)附录四的定额人工、材料、设备单价表参考值计算。

3)措施费

(1)冬季施工增加费、雨季施工增加费、夜间施工增加费、施工辅助费按《编制办法》及《补充规定》计取;

(2)辅助生产间接费、特殊地区施工增加费:本项目不计;

(3)工地转移费率按 50km 计;

(4)行车干扰工程施工增加费:按 501~1000 计;

4)企业管理费

(1)基本费用、职工探亲路费、职工取暖补贴、财务费用按《编制办法》计取;

(2)主副食运费补贴:综合里程按 3 公里计取。

5)规费

按《补充规定》计列,其中:养老保险费 14%,失业保险费 0.5%,医疗保险费(含生育保险费)8%,工伤保险费 1.3%,住房公积金 8.5%。

6)利润

按定额直接费、措施费、企业管理费之和的 7.42%计算。

7)税金

执行交通运输部 2019 年第 26 号公告,按增值税税率 9%计算。

8)专项费用

(1)施工场地建设费:不计。

(2)安全生产费按建安费的 2.0%计列。

11.4 预算金额

本项目投资预算总金额为 1183892.19 元(其中建安费为 1035226.89 元)。

2022 年杭州市临平区 G104 京岚线京杭运河特大桥 增设动态安全监测系统施工图设计评审会专家组意见

2022 年 3 月 8 日，杭州市交通运输管理服务中心在杭州组织召开了《2022 年杭州市临平区 G104 京岚线京杭运河特大桥增设动态安全监测系统施工图设计》(以下简称“施工图设计”)评审会。参加会议的有浙江省公路运输与管理中心、临平区公路与运输管理服务中心、设计等单位的代表和特邀专家，并成立了专家组(名单附后)。与会代表和专家听取了设计单位杭州市交通规划设计研究院有限公司对《施工图设计》情况的介绍，经讨论形成意见如下：

一、概述

本工程涉及的京杭运河特大桥位于杭州市临平区 G104 京岚线，桥梁全长 1525.4m，桥面总宽 33m，分两幅布设。主桥上部结构为跨径 60+105+60m 预应力混凝土连续箱梁，单箱单室直腹板断面，箱梁顶板宽 17.05m，底板宽 8.45m，悬臂长度 4.3m，箱梁根部梁高为 6.3m，跨中及边跨端部梁高为 2.5m，梁底渐变采用 1.8 次抛物线；下部结构主墩为实体桥墩接“承台+钻孔灌注桩基础”，边墩采用双柱式墩接钻孔灌注桩。引桥上部结构为 22m~35m 结构简支或先简支后连续预应力组合小箱梁；下部结构为双柱式桥墩接盖梁，钻孔灌注桩基础。

本次施工图设计根据 2018 年~2021 年《定期检测报告》，拟对主桥裂缝、挠度、位移、振动等项目进行监测，健康监测系统主要包括：桥梁传感器系统、数据采集与传输系统、数据库管理系统、数据处理与预警系统、数据评估系统、用户界面系统等。

二、总体评价

设计单位编制的《施工图设计》文件，内容较齐全、资料较详实，监测目标较明确，制定的监测方案基本合理，监测内容符合管理文件及有关技术标准的要求。经修改完善报批后可交付工程实施。

三、意见和建议

1、完善编制依据、项目背景及监测目标等的说明。补充方案编制过程以及资料收集、调查、各接口平台现有资源调查及功能兼容情况说明。

2、完善主桥上、下部结构典型病害调查及平面展开图编制，分析对结构受力影响等内容。

3、左、右幅主桥结构、周边环境相同，应根据桥梁病害特征以及受力分析，按照实用性、可靠性、耐久性、可维护、可扩展原则，进一步优化测点布设以及监测内容，建议重点应关注裂缝、结构刚度、墩柱位移等，调整对湿度、温度、地震等监测内容。

4、细化预警阈值设置方法及取值情况的说明，完善桥梁预警等级设定方法、取值及响应措施，合理制定桥梁结构定期安全评估推荐频率。

5、测点布设位置应避免易破损部位，尽量防止道路养护造成破坏。外置的监测设备应采取保护措施，避免被偷盗或者人为破坏；细化施工期间交通组织管理要求。

6、优化桥梁挠度监测方法，完善传感器精度、健康监测系统验收标准以及误报筛查、平台数据维护及服务管理等的要求。

7、加强与大桥运营及管理部门等的沟通，根据安全管控及养护需求调整监测内容、监测目标、管理平台架构及功能，核查工程数量并修改完善预算。

专家组组长：



2022 年 3 月 8 日

2022 年杭州市临平区普通国道桥梁增设健康监测系 统工程施工图评审会专家组名单

日期：2022 年 3 月 8 日

[illegible]

第二篇

动态安全监测系统

动态安全监测系统工程数量表

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
一	传感器子系统				
1	环境温湿度传感器	量程：-50~100℃； 分辨率：0.1℃； 量程：0~100%RH； 分辨率：1%RH； 输出：0~5V；4~20mA；RS485；	套	1	
2	结构温度传感器（埋入式）	测量范围：-40℃~-60℃ 精度：±0.3℃ 输出：0~5V；4~20mA；RS485；	测点	4	
3	静力水准仪	量程：0~150mm（可定制） 分辨率：≤0.025% 误差：≤0.1% 输出：0~5V；4~20mA；RS485；	测点	14	
4	拉线位移计	量程：0~1000mm 精度：±0.1%FS 分辨率：0.01mm 重复性：0.02mm 输出：0~5V；4~20mA；RS485；	套	4	
5	静应变传感器（振弦式表面应变计）	测量范围：±1500μ ϵ ； 分辨率：±0.5μ ϵ ； 精度：±2μ ϵ ； 输出：0~5V；4~20mA；RS485；	测点	24	
6	双向加速度传感器	测量范围：±2g 频率响应：DC-120 Hz 非线性度：1%FS 分辨率：10ug； 横向灵敏度：1% 输出：0~5V；4~20mA；RS485；	测点	2	
7	视频监控系统	400W 像素数字高清球机，含抱杆机箱、杆件、支架、接地等	套	2	与路灯合杆安装
二	数据采集传输与传输子系统				
1	数据采集仪				
1.1	通用信号数据采集仪	输入：24 通道，RS232/485； 输出：RJ45，标准 MODBUSTCP 协议，UDP，TCP/IP 含机箱，可现场安装，防护等级 IP55	套	3	
1.2	动态信号数据采集仪	输入：8 通道电压模拟量输入；采样频率 100Hz 以上，可配置； 输出：RJ45，标准 MODBUSTCP 协议，UDP，TCP/IP 含机箱，可现场安装，防护等级 IP55	套	1	

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
2	客户机	CPU：酷睿 Core i5； 内存：8GB； 硬盘：1T 机械硬盘+256 固态硬盘； 含 22' 显示器，键盘鼠标	台	1	监控室内布置
3	数据库服务器	机架式； 处理器：2 个；≥2.1GHz，≥16 核，L3 缓存≥22M； 内存：内存插槽支持≥16 个；容量 128GB 或以上； 存储：配置 2 块 SSD 固态硬盘（容量≥960GB）用于系统及应用程序，2 块 6TB3.5 寸 SATA 硬盘用于数据存储； 网口：4 个 10/100/1000M 自适应网口； 显卡：标配集成 32M 显卡 含显示器，键盘鼠标	台	1	监控室内布置
4	防火墙	1U 硬件架构，千兆电口≥8 个，千兆光口≥4 个，防火墙吞吐≥4G，并发连接≥180 万，每秒新建连接≥2.4 万。	台	1	监控室内布置
5	物联网安全接入网关系统	桌面型，5 个千兆电口，1 个 console 口，1 对 DID0 总线接口，1 个 RS232 总线接口、2 个 RS485 总线接口，1 组 lora 通信接口，1 个蓝牙接口，单电源，防火墙吞吐：650Mbps Ipsec VPN 吞吐：190Mbps 传感器接入数量：100； 提供产品功能使用培训， 免费 1 年服务	台	1	机柜内安装
6	硬盘录像机	4 路，含 8 硬盘	台	1	监控室内布置
7	外站机柜	含微型断路器、避雷器、端子排、线槽、电线、基础、接地等	台	1	
8	光纤收发器	单模，1 光 4 电	对	3	
9	工业以太网交换机（汇聚）	2 光 8 电，千兆	台	1	机柜内安装
10	UPS（供电）	3kVA	台	1	机柜内安装
11	电源线	YJV-3×10	千米	0.5	进线电缆
12	电源线	YJV-3×6	千米	0.8	
13	4 芯屏蔽线	RVVP-4×1.0	千米	1.2	
14	网线	超五类屏蔽	千米	0.4	
15	光缆	4 芯单模光缆	千米	0.5	
16	线槽	热镀锌：100x50mm	千米	0.2	

动态安全监测系统工程数量表

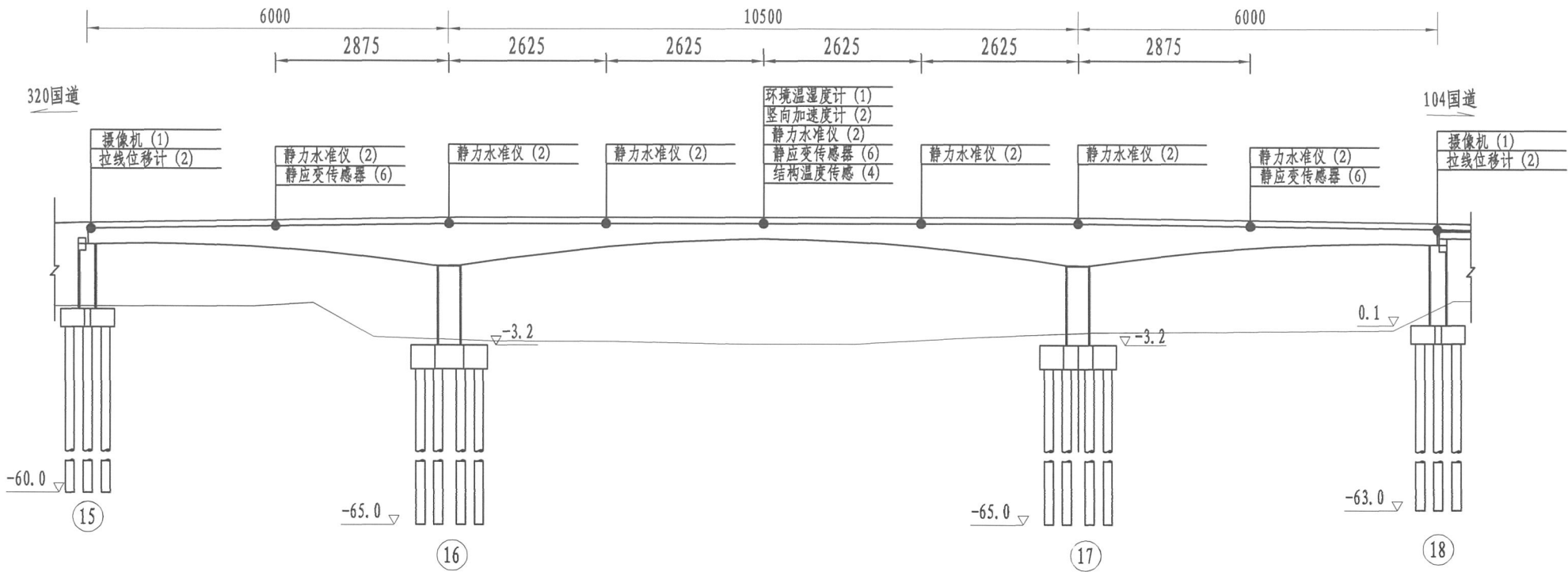
序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
17	穿线管	DN32, 热镀锌	千米	1	
18	穿线管	DN50, PE	千米	0.4	
19	VPN 租赁	100 兆; 5 年	项	1	
三	软件平台开发				
1	物联感知数据采集系统	接入安装在京杭运河特大桥的环境温湿度、结构温度、静力水准仪、拉线位移计、静应变传感器、双向加速度传感器的数据接入桥梁实时监测数据库, 通过与视频录像机的级联, 将视频信息接入指挥中心视频平台, 通过视频平台读取视频信息。	人月	0.5	
2	桥梁监管数据仓	主要包括用户信息、用户权限、桥梁基础数据、历次桥梁检测数据、桥梁三维建模、桥梁实时监测数据、桥梁监测特征数据、桥梁监测分析结果、桥梁巡检记录、桥检报警处置、桥梁维修记录、桥梁监测设备、桥检设备参数、桥梁监测月季年报、桥梁评估报告、数据字典、桥梁病害知识库等数据库的建设。	人月	0.3	
3	应用支撑系统	主要包括统一认证服务、地图服务、短信服务、桥梁病害分析模型等建设内容。统一认证服务以浙政钉用户系统作为用户统一认证, 地图服务基于市交通局 T-GIS 平台提供的服务进行调用; 短信服务调用指挥中心短信服务; 桥梁病害分析模型基于市级桥隧监管平台分析模型进行完善优化。	人月	0.2	
4	应用系统	主要包括系统管理、基础信息、报警阈值、设备参数、设备巡检、日常监测、报警(巡检)处置、统计分析、健康评估、一屏统览、人工巡检、定检管理、三维建模、省市接口。	人月	7	4.1-4.14 合计
4.1	系统管理	包括人员管理和流程管理。人员管理是对系统用户基础资料和权限的增删改与设置。流程管理是对报警处置流程和巡检工单处置流程的设置。	人月	0.5	
4.2	基础信息	对桥梁的竣工时间、桥长、桥型、设计荷载、设计单位、建设单位等基础信息增删改查。	人月	0.2	

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
4.3	报警阈值	根据黄橙红(异于常态、疑似危险、危险)三级报警定义(黄色报警: 异于日常数据的正常水平, 或可能对结构使用性产生不良影响。橙色报警: 超出设计最不利工况组合, 或可能造成桥梁非主要受力件的破坏, 或影响结构主要受力件的耐久性。红色报警: 已超出设计允许或规范规定, 或可能影响桥梁结构安全)和各监测设备厂家设备参数对各监测设备进行报警参数设定。	人月	1	
4.4	设备参数	对监测设备设置数据采集频率、采集时间等数据采集参数	人月	0.3	
4.5	设备巡检	根据采集设备特性, 自动对监测设备进行监测, 及时发现监测设备故障	人月	0.5	
4.6	日常监测	分为服务器端和 PC 端功能模块。PC 端功能: 在京杭运河特大桥三维模型上标注各测点, 测点数据正常为绿色, 若报警, 则标注为报警级别的颜色。鼠标移至监测点可显示监测数据随时间变化的分布图, 若是报警点, 会给出桥梁监测、养护建议。同时可按时间查询历史数据。服务器端功能: 根据实时采集的数据和报警阈值, 对超阈值的测点进行报警, 并形成处置工单。	人月	0.5	
4.7	报警(巡检)处置	根据报警(巡检)处置流程发送短信, 提醒相关人员进行工单处置。	人月	0.3	
4.8	统计分析	按照日、月、季、年等时间维度对各类报警信息进行统计汇总, 形成相应报表供养护单位参考。	人月	0.2	
4.9	健康评估	根据监测数据、参考定检、巡检数据形成桥梁季度、年度结构健康评估报告。	人月	1	
4.1	一屏统览	将京杭运河特大桥的地图定位、基础信息、三维模型及各测点、实时报警信息、月度报警统计信息、最新定检信息、最近结构健康评估信息和视频整合到一屏上, 各分类信息可以通过鼠标点击向下钻取信息, 实现一屏掌控桥梁全部信息。	人月	0.5	

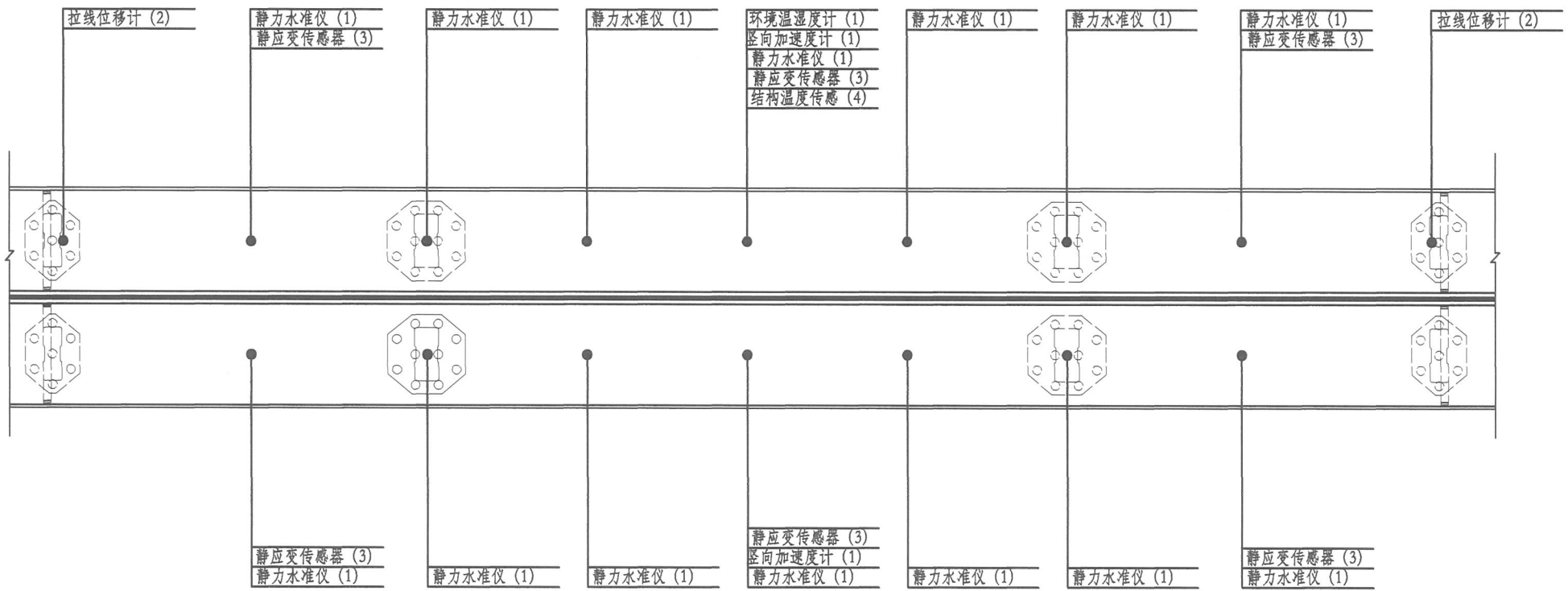
动态安全监测系统工程数量表

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
4.11	人工巡检	一是通过移动设备将桥梁巡检发现的病害上传系统。二是将巡检发现的桥梁病害采集后，通过计算机录入。病害录入后，根据严重程度形成处置工单，进入处置流程	人月	0.3	
4.12	定检管理	将历次定检报告数据输入系统，便于查询和评估应用。	人月	0.2	
4.13	三维建模	在 WEB 端建立桥梁三维模型，进行测点标注	人月	1	
4.14	省市接口	与省市平台数据交换参数设置。	人月	0.5	
5	省市数据交换接口	根据省市桥梁监管平台要求，省级接口根据省平台接口标准实时传送省级重点长大桥梁的监测数据，其他桥梁则及时传送重特大桥梁事故数据。并根据需要可调用系统服务（BRIDGE-service）查看桥梁实况（视频及监测数据）。市级接口根据市平台接口标准实时传送市级重点长大桥梁的监测数据，其他桥梁则及时传送重大及以上桥梁事故数据。并根据需要可调用系统服务（BRIDGE-service）查看桥梁实况（视频及监测数据）。	人月	2	
四	其他				
1	特殊车辆费	桥梁检测车及吊车	日	3	
2	维护费	5年系统维护费及每季度的桥梁健康检测报告	项	1	

立面图



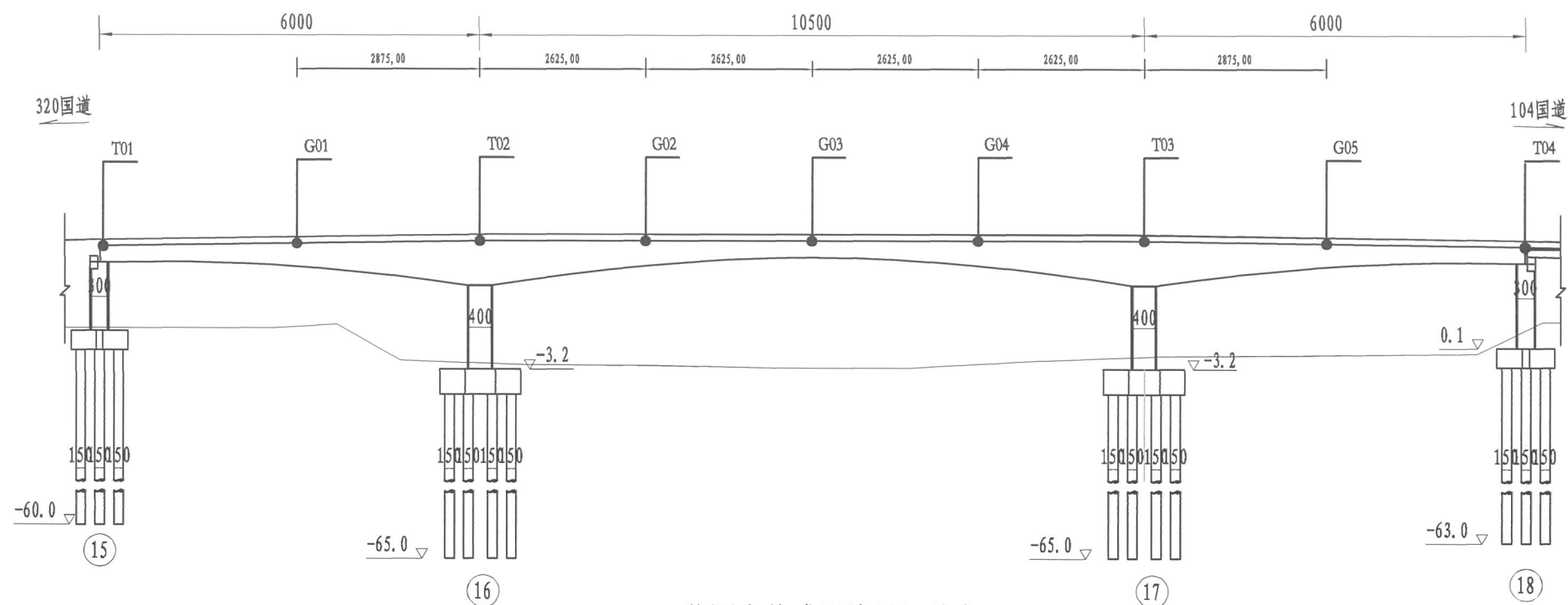
平面图



说明:

1. 本图尺寸单位为厘米;
2. 括号内数字为监测点数量;
3. 图中“●”表述监测点所在断面。

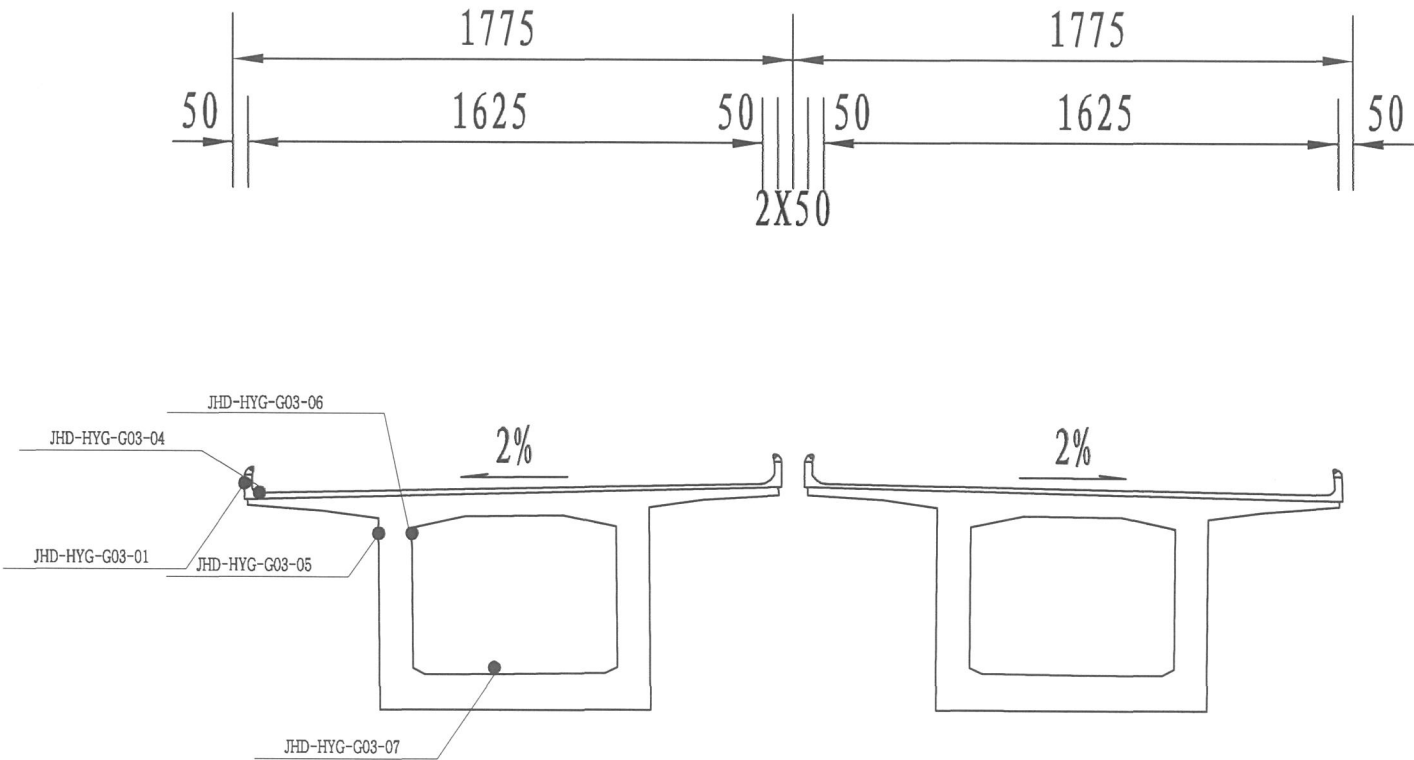
立面图



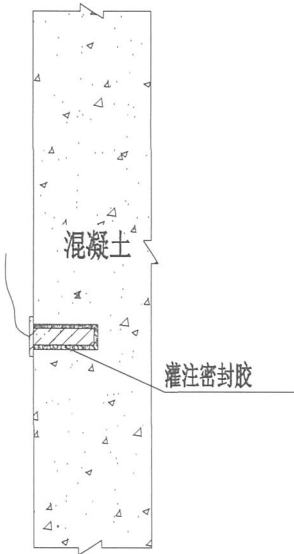
监测点传感器编号汇总表

监测项目	布设位置	传感器类型	截面位置	传感器编号	数量
环境温湿度	左幅主桥中跨跨中箱梁外	环境温湿度计	G03	JHD-HYG-G03-01	1
主梁恒载挠度	G320国道方向边跨跨中处箱梁内	静力水准仪	G01	JHD-HYL-G01-01~02	2
	G320国道方向主墩处箱梁内		T02	JHD-HYL-T02-01~02	2
	中跨L/4截面处箱梁内		G02	JHD-HYL-G02-01~02	2
	中跨跨中处箱梁内		G03	JHD-HYL-G03-01~02	2
	中路3L/4截面处箱梁内		G04	JHD-HYL-G04-01~02	2
	G104国道方向主墩处箱梁内		T03	JHD-HYL-T03-01~02	2
	G104国道方向边跨跨中处箱梁内		G05	JHD-HYL-G05-01~02	2
监测项目	布设位置	传感器类型	截面位置	传感器编号	数量
梁端纵向位移	左幅交界墩处伸缩缝附近	拉线位移计	T01	JHD-DIS-T01-01~02	2
			T04	JHD-DIS-T04-01~02	2
主梁振动	左幅中跨跨中处箱梁内	竖向加速度计	G03	JHD-ACC-G03-01	1
	右幅中跨跨中处箱梁内		G03	JHD-ACC-G03-02	1
主梁应变	左幅中跨跨中处箱梁内	振弦式应变计	G03	JHD-STR-G03-01~04	4
	右幅中跨跨中处箱梁内		G03	JHD-STR-G03-05~08	4
	左幅边跨跨中处箱梁内	振弦式应变计	G01	JHD-STR-G01-01~04	4
	右幅边跨跨中处箱梁内		G01	JHD-STR-G01-05~08	4
	左幅边跨跨中处箱梁内	振弦式应变计	G05	JHD-STR-G05-01~04	4
	右幅边跨跨中处箱梁内		G05	JHD-STR-G05-05~08	4
	中跨跨中处左幅桥面铺装	结构温度计	G03	JHD-HYG-G03-04	1
	中跨跨中处箱梁左腹板上倒角内外侧		G03	JHD-HYG-G03-05~06	2
	中跨跨中处箱梁底板内侧		G03	JHD-HYG-G03-07	1

G03截面温湿度传感器布置图



埋入式结构温度计大样图

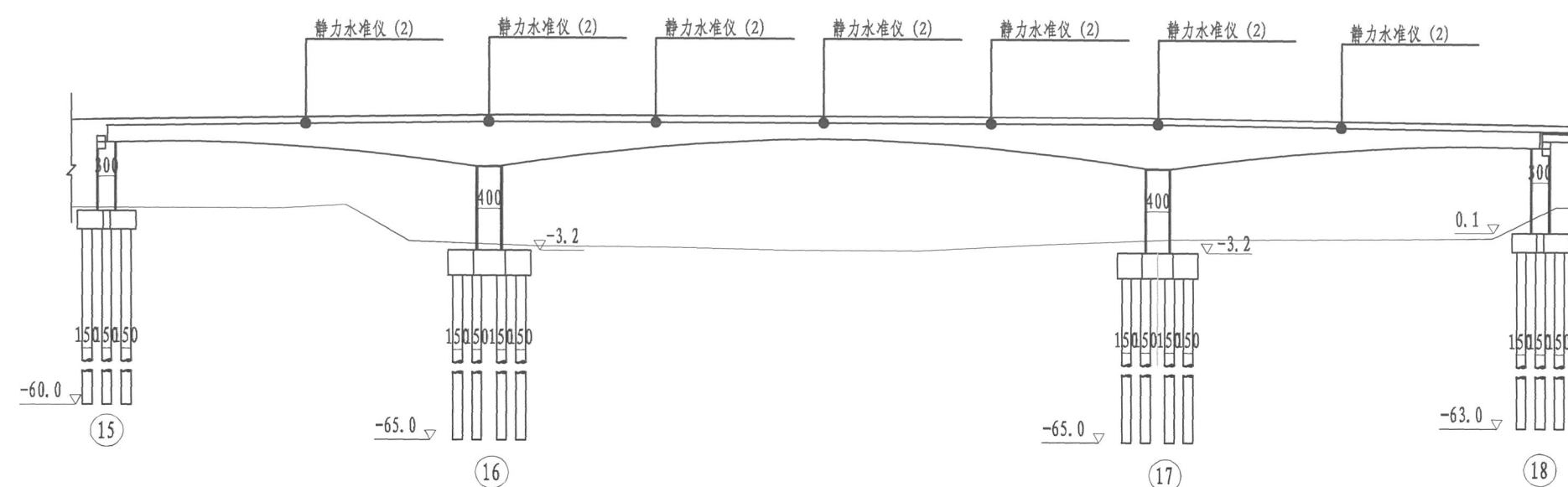


附注:

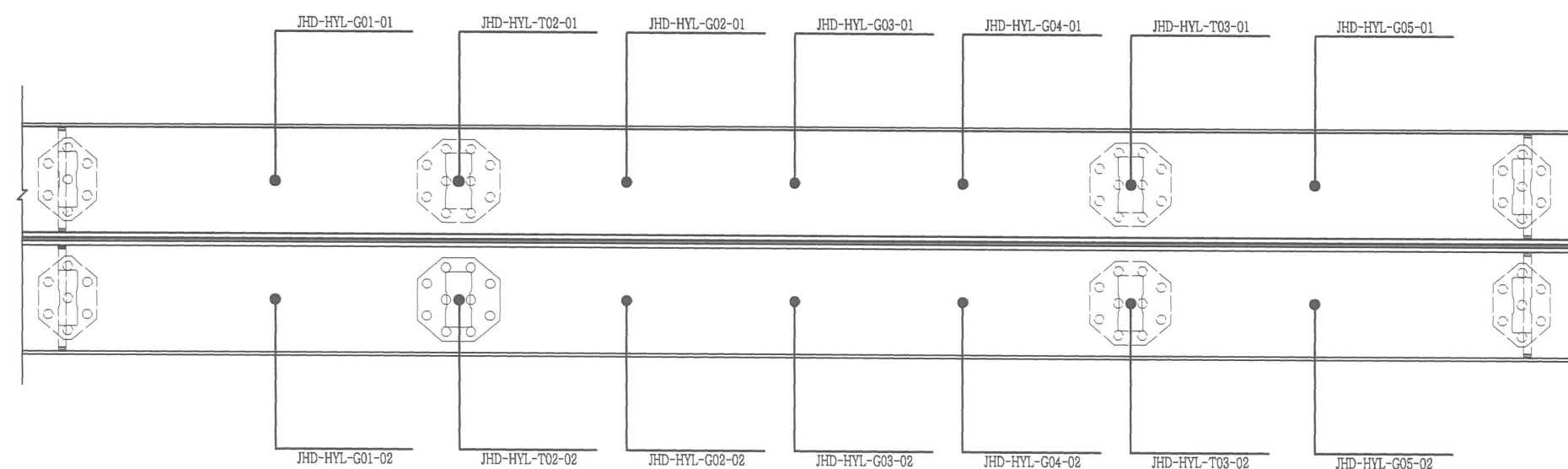
1、本图尺寸以厘米为单位。

杭州市交通规划设计研究院有限公司	2022年杭州市临平区G104京岚线京杭运河特大桥 增设动态安全监测系统	温湿度传感器安装示意图	设计	张强	复核	李锦辉	审核	濮辉铭	图号	S2-3	日期	2022. 03
------------------	---	-------------	----	----	----	-----	----	-----	----	------	----	----------

立面图

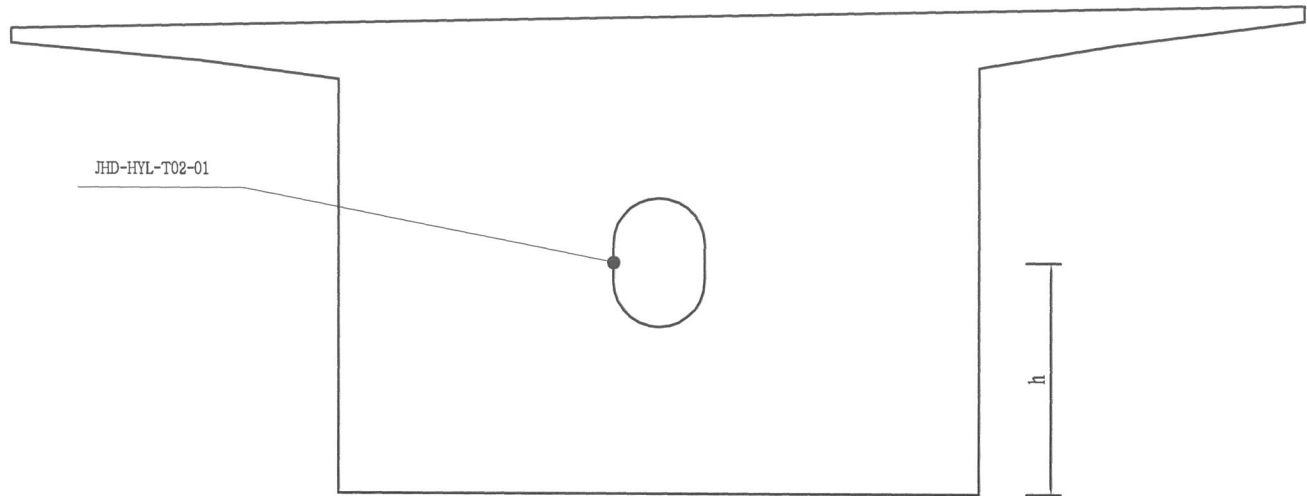


平面图

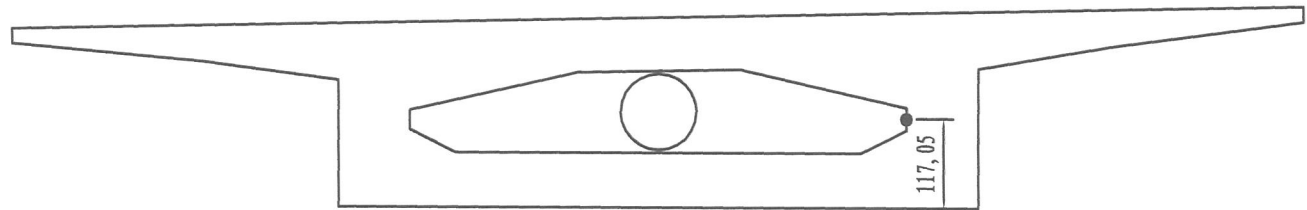


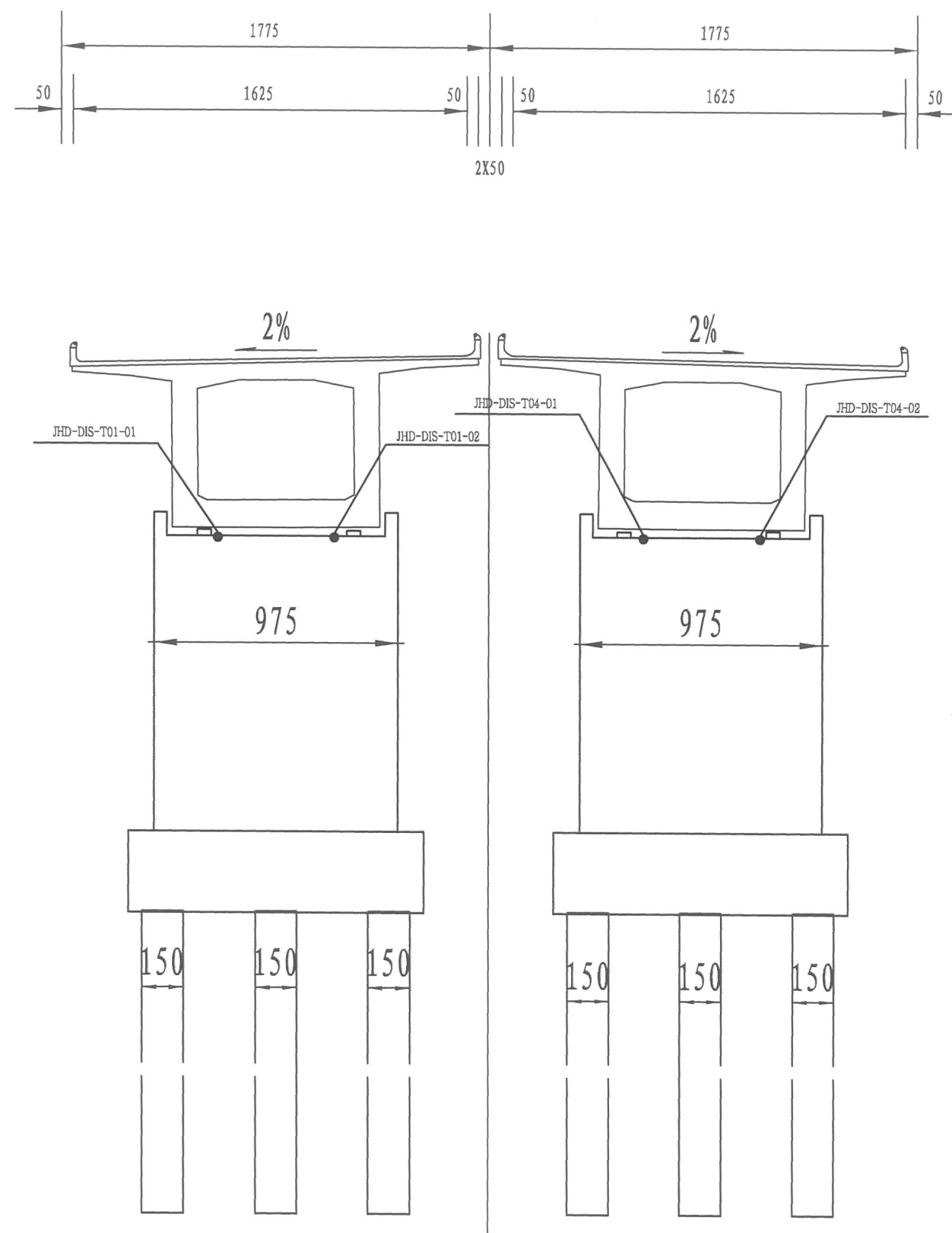
说明:
1. 本图尺寸单位为厘米;

T02截面测点布置图（左幅）

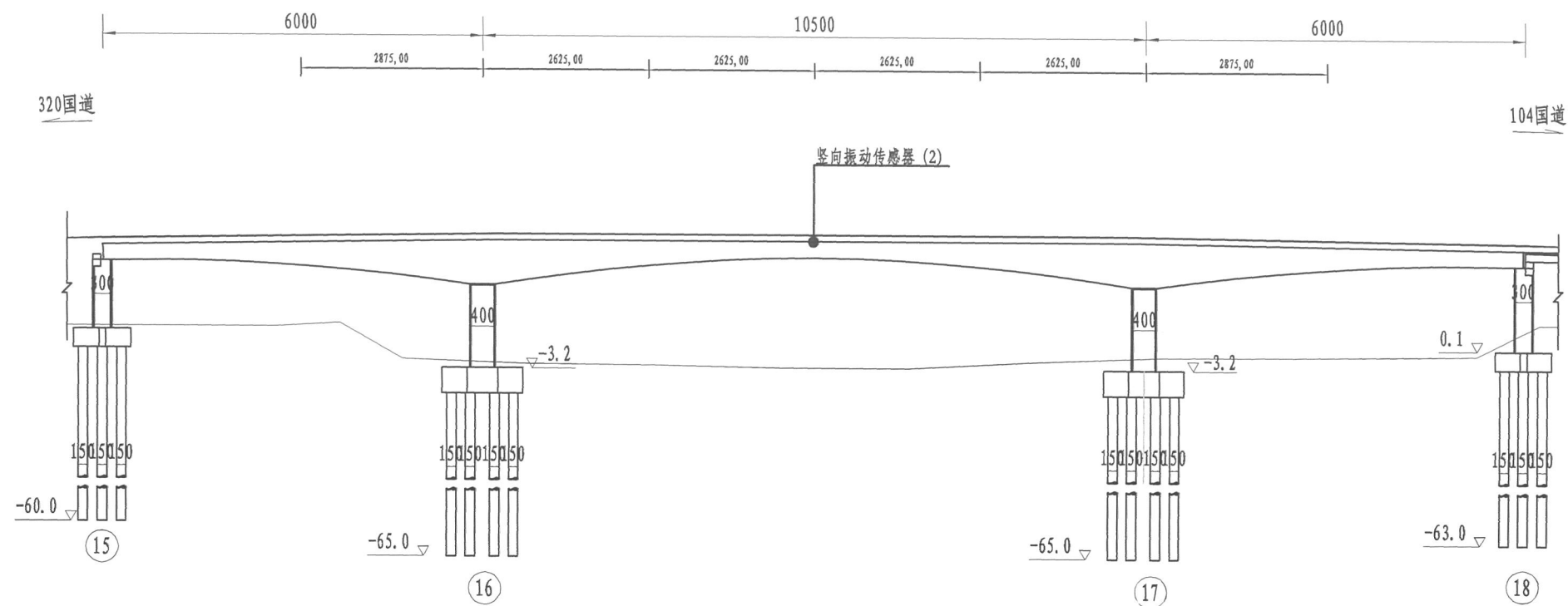


G03截面测点布置图（左幅）

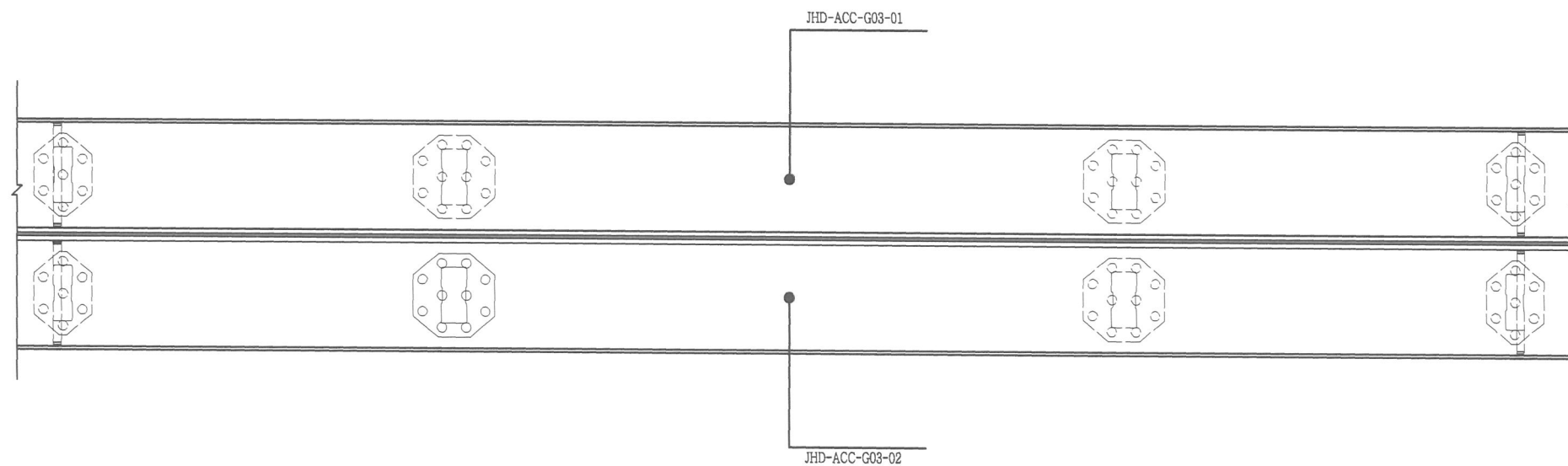




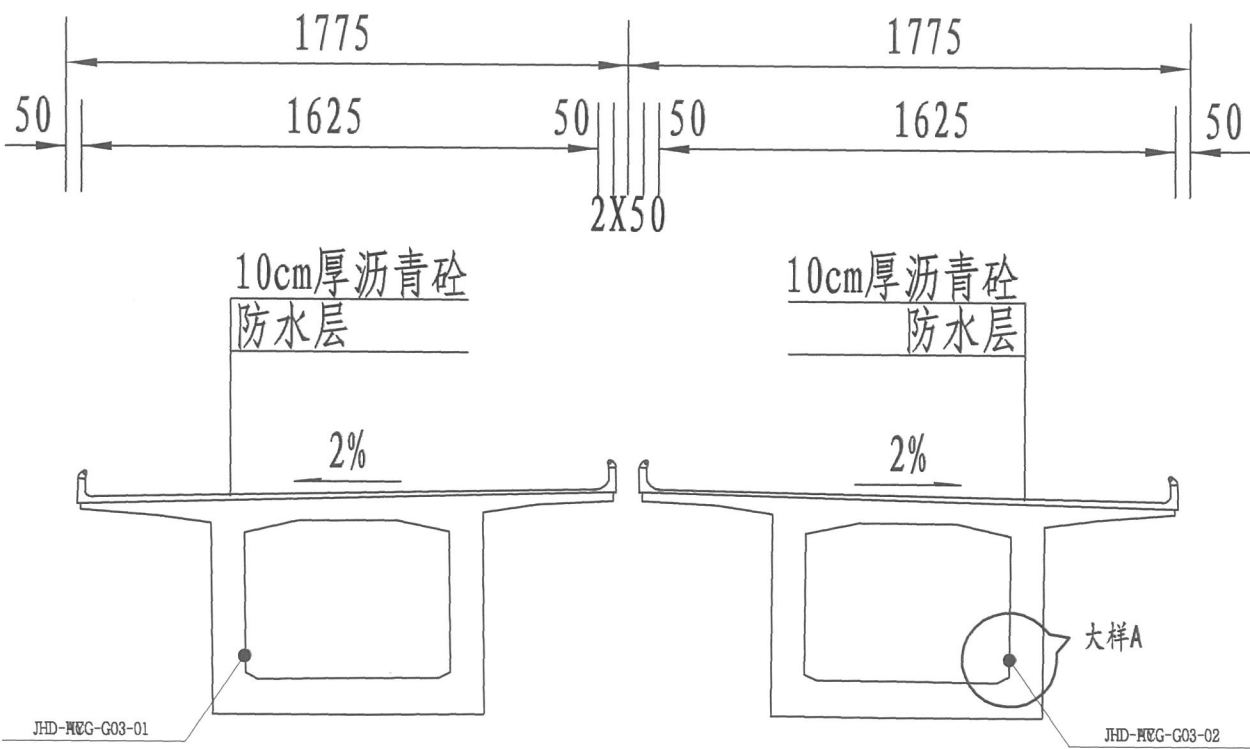
立面图

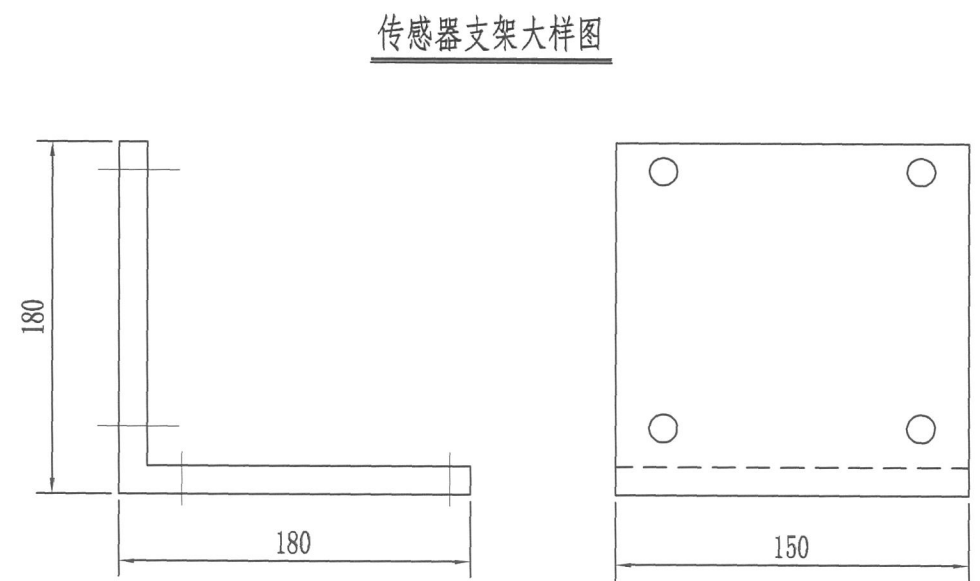
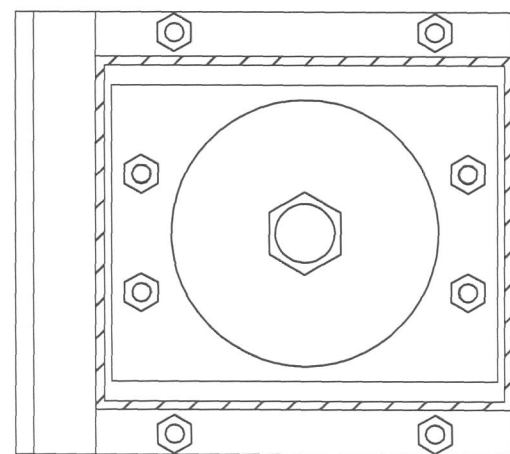
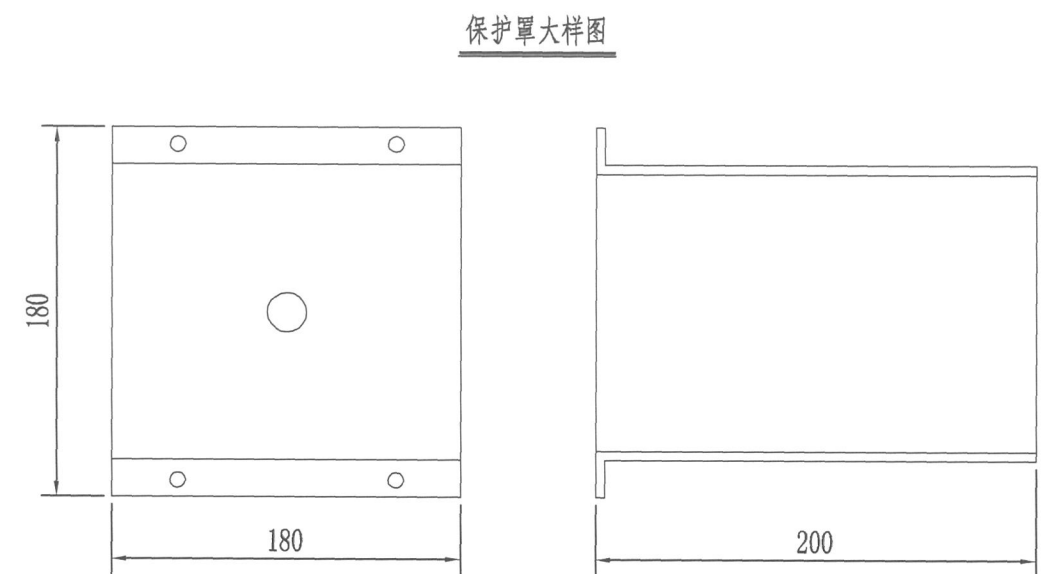
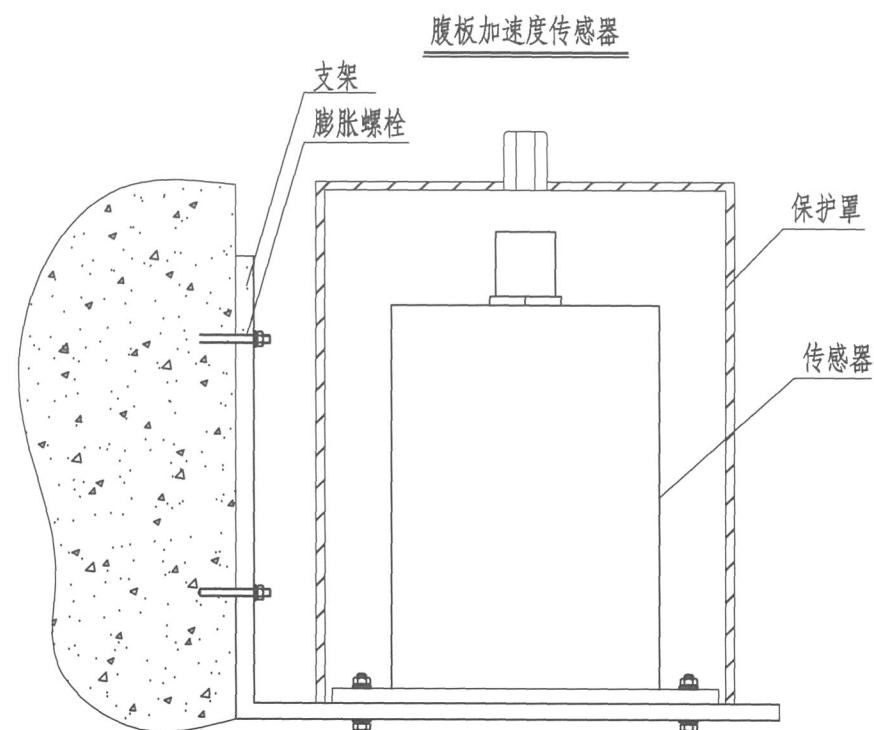


平面图



G03截面振动传感器布置图





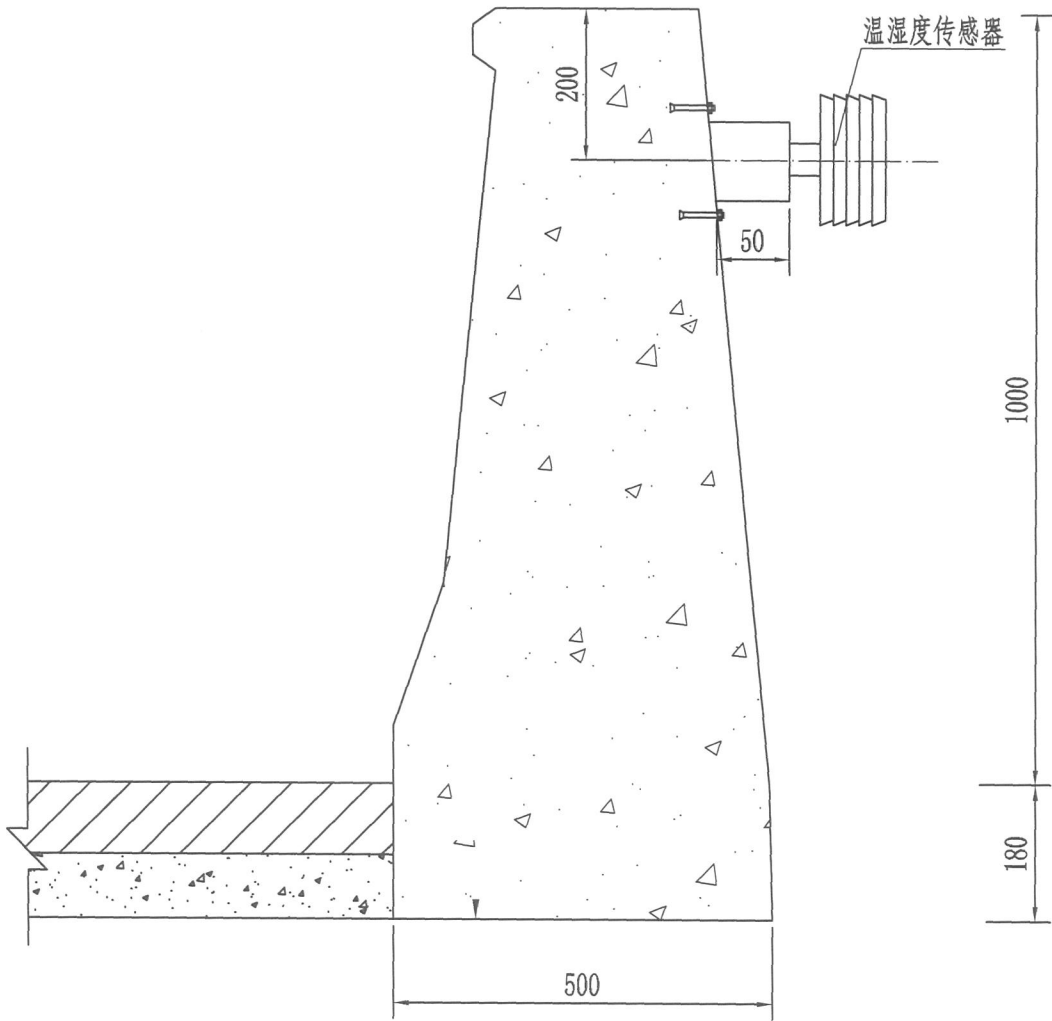
单支加速度传感器材料表

序号	名称	规格	数量	备注
1	加速度传感器	/	1	
2	保护罩	不锈钢	1	定制
3	支架	不锈钢	1	定制
4	膨胀螺栓	膨胀	4	
5	六角螺丝	定制	4	
6	六角螺母	M6	4	

说明

1. 本图单位以毫米计，保护罩尺寸根据具体传感器型号调整；
2. 在实施的各个阶段，及时记录必要的数
3. 安装前，需要打磨混凝土面，确保安装面平整；为确保安装效果，应使用矫直棒；
4. 为保证加速度采集的稳定可靠，底座需要辅以粘合剂固定，粘合剂的选择对仪器长期可靠性至关重要。

桥面护栏外侧温湿度传感器安装图



单支传感器材料表

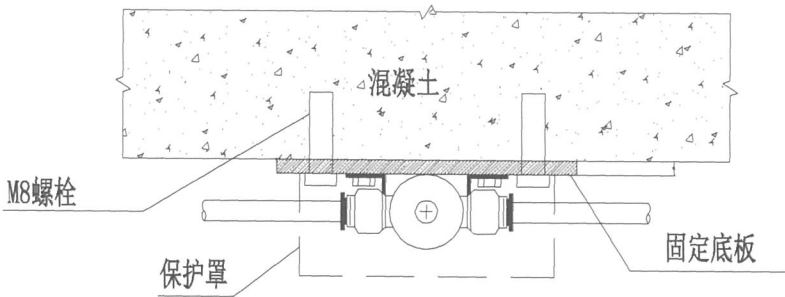
序号	名称	规格	数量	备注
1	传感器	/	1	
2	膨胀螺栓	膨胀	4	

- 说明
1. 本图尺寸单位为毫米;
 2. 本图适用于桥面护栏外侧温湿度传感器安装;
 3. 传感器距离护栏顶板20cm

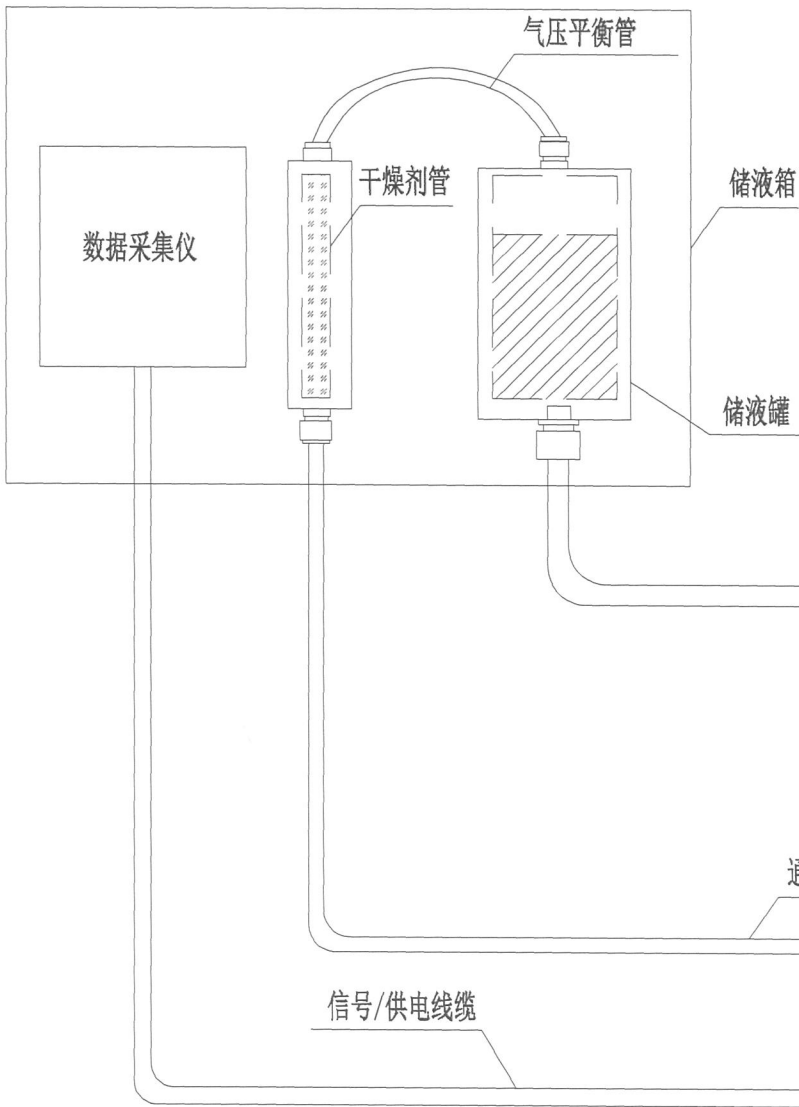
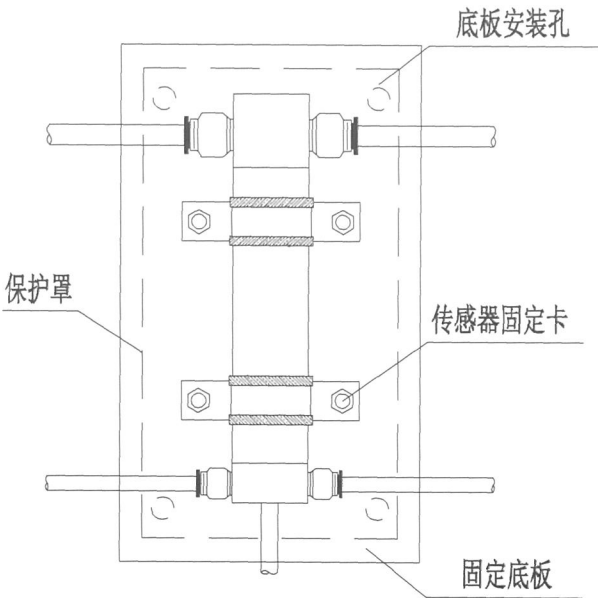
单个测点工程数量表

序号	规格(mm)	数量	材料	备注
1	安装支架(底板)	1	Q235B	-
2	保护盒	1	Q235B	-

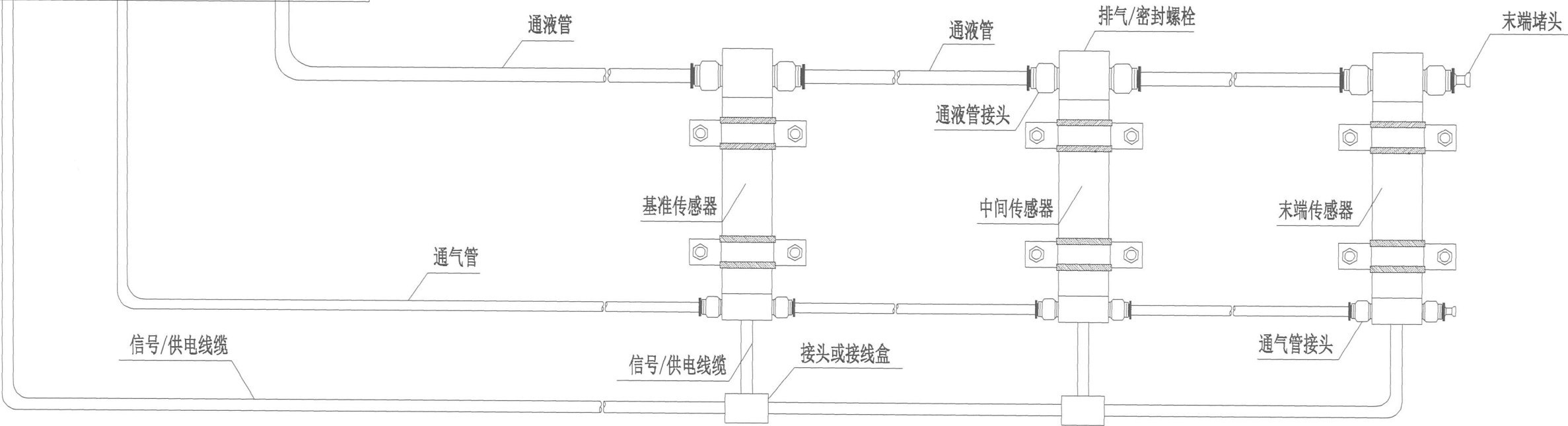
静力水准仪安装平面图



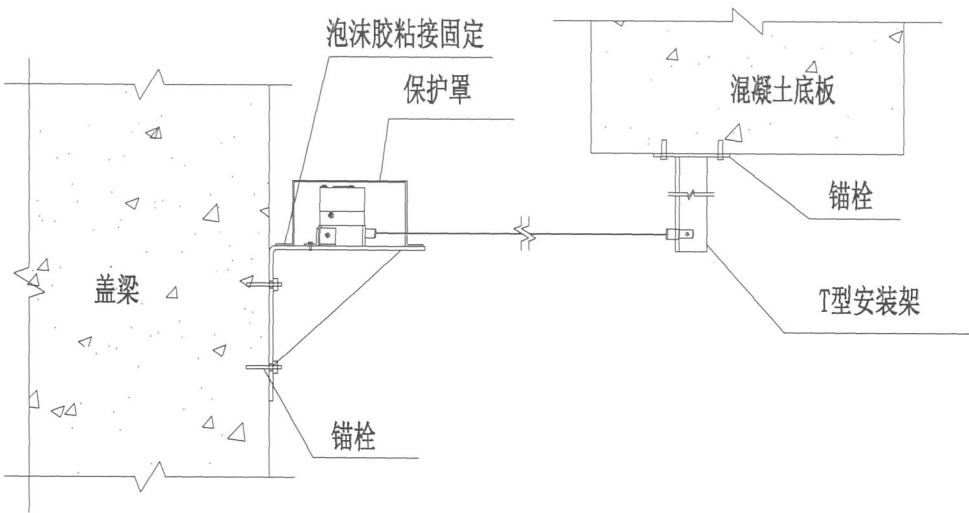
静力水准仪安装立面图



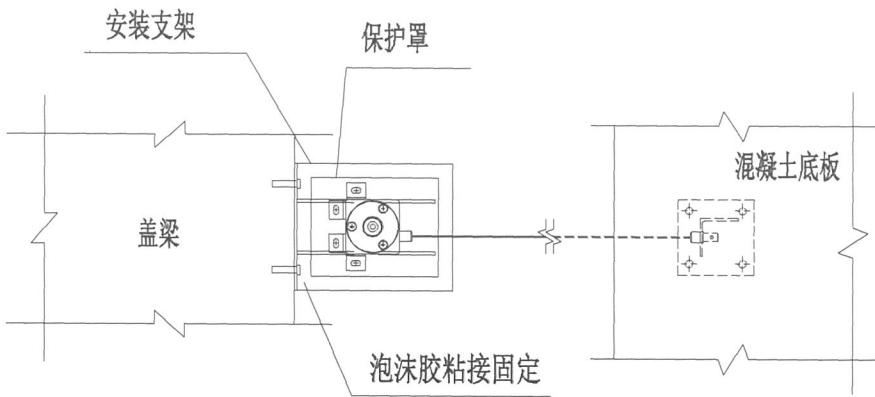
静力水准系统连接示意图



位移计安装侧视图

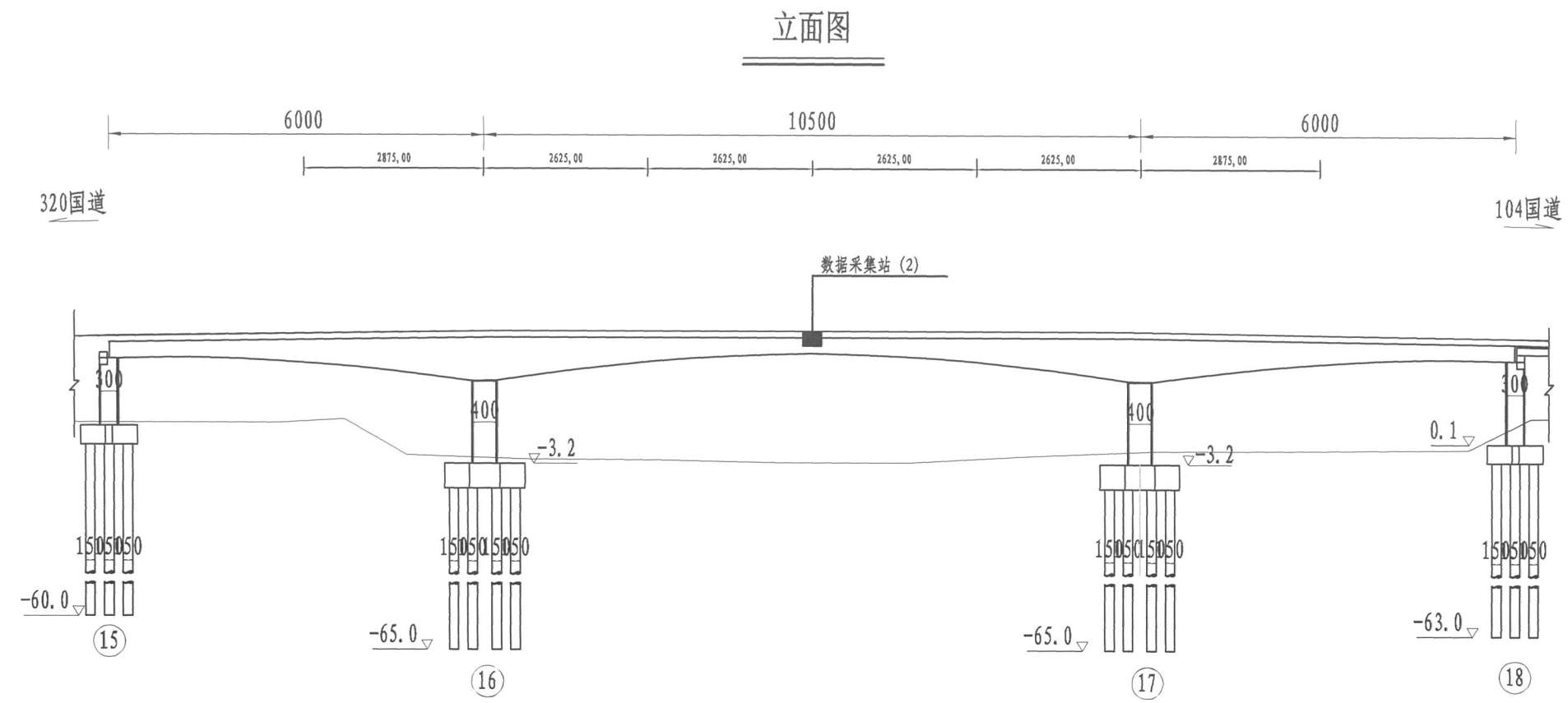


位移计安装俯视图



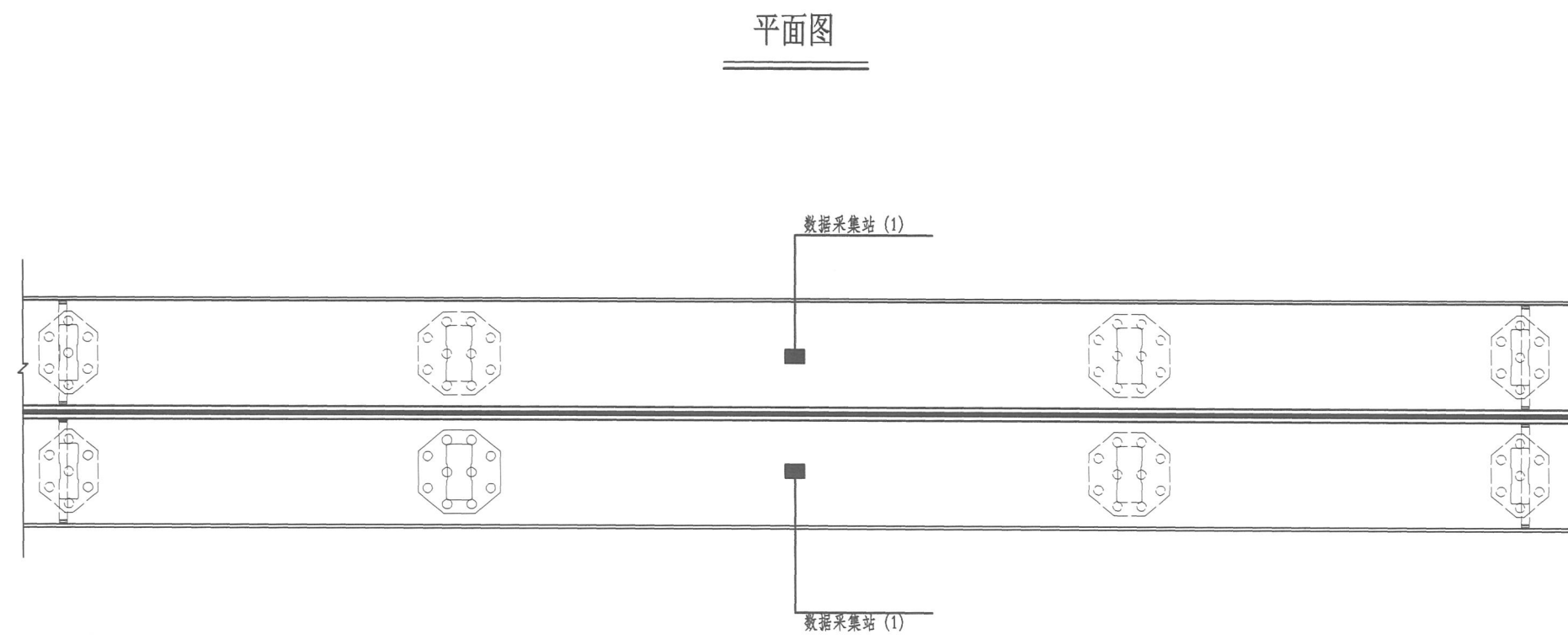
单个测点工程数量表

序号	规格(mm)	数量	材料	备注
1	安装支架(底板)	1	Q235B	-
2	保护盒	1	Q235B	-



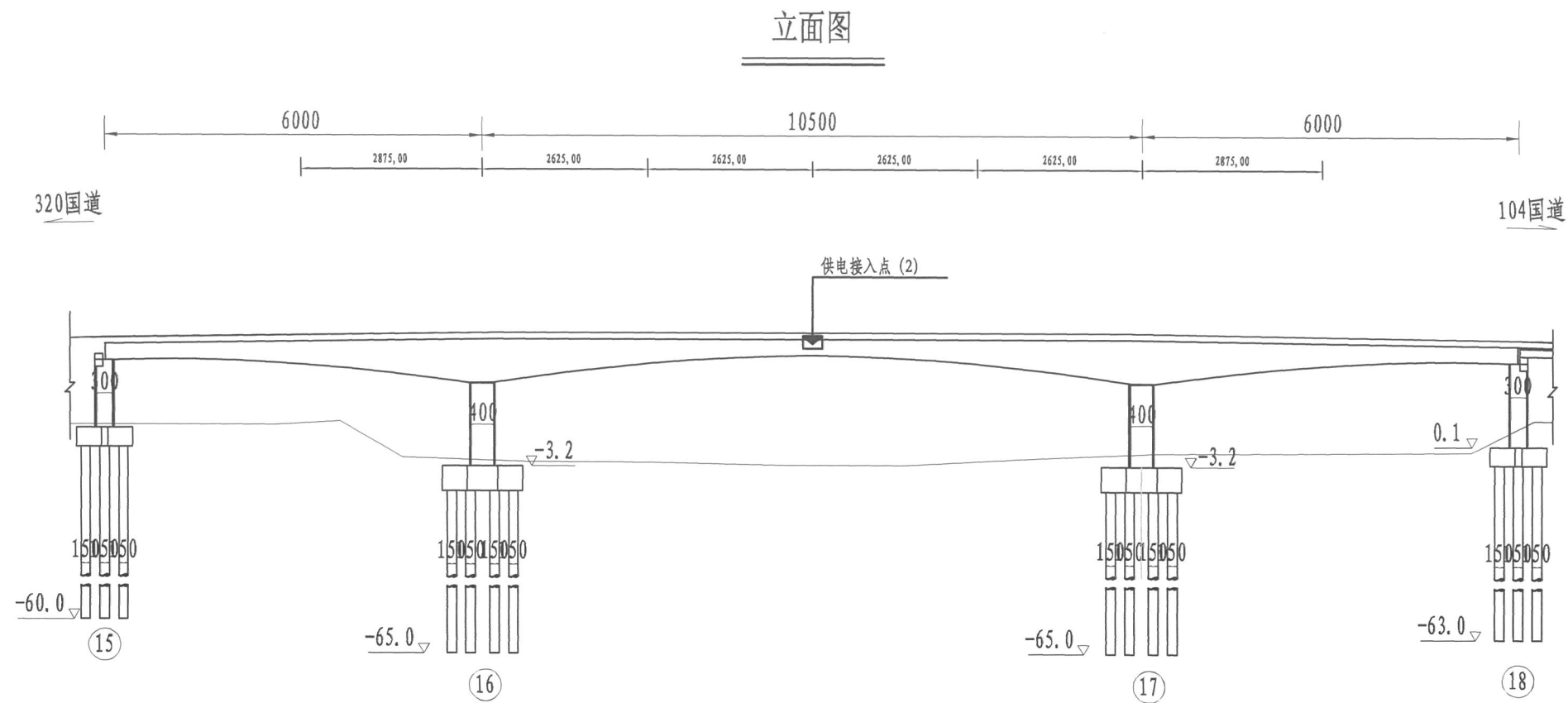
数据采集站位置一览表

采集站编号	采集站位置
DAU1	左幅主桥中跨跨中处箱内
DAU2	右幅主桥中跨跨中处箱内



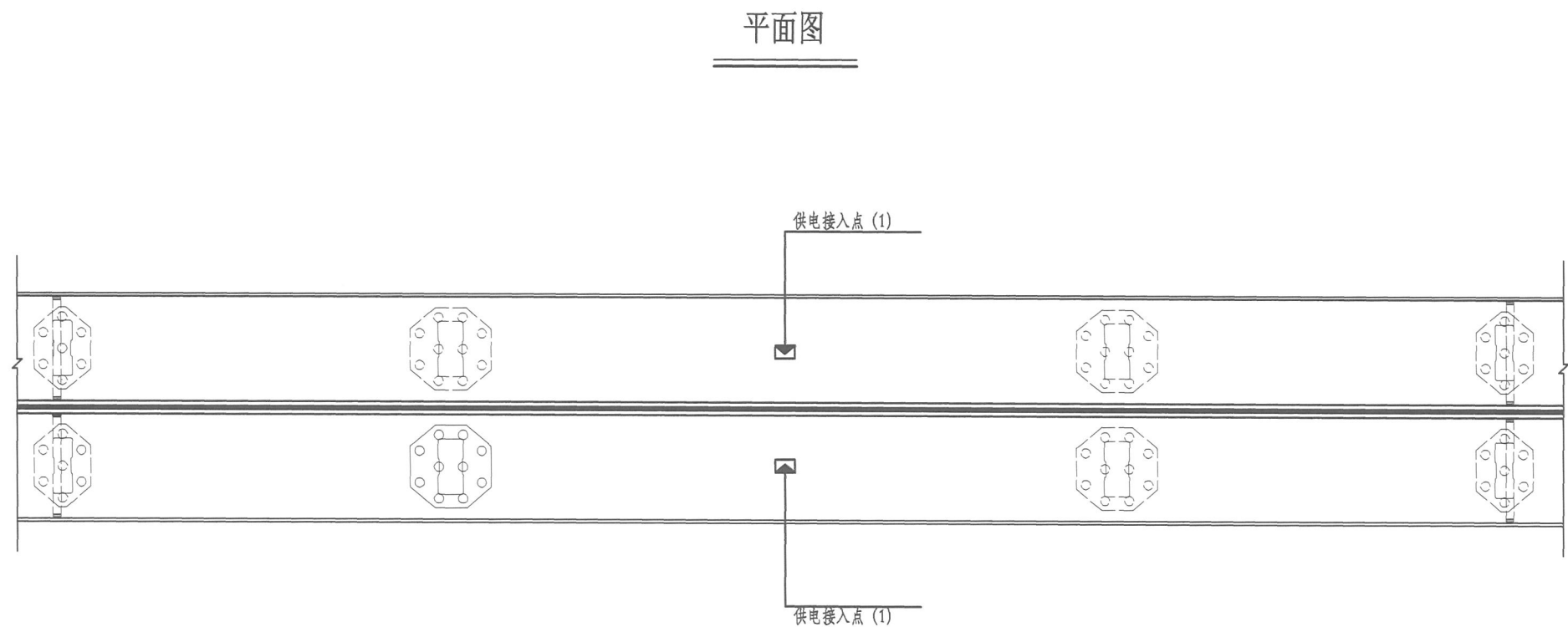
附注:

- 1、本图尺寸厘米为单位。
- 2、图中“”表示数据采集站。
- 3、括号中数字为数据采集站数量。

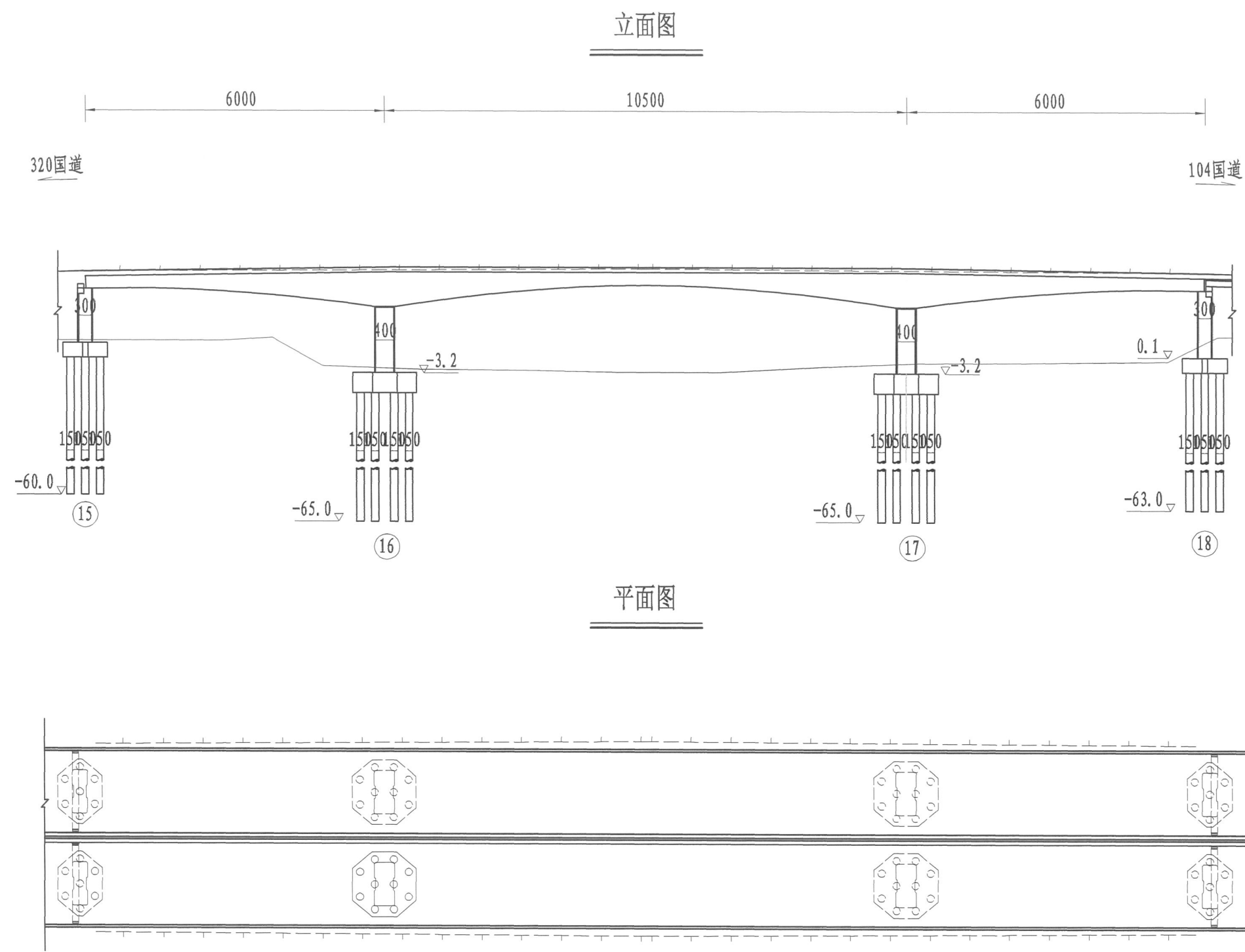


供电接入点布置图

采集站编号	采集站位置
DAU1	左幅主桥中跨跨中处箱内
DAU2	右幅主桥中跨跨中处箱内



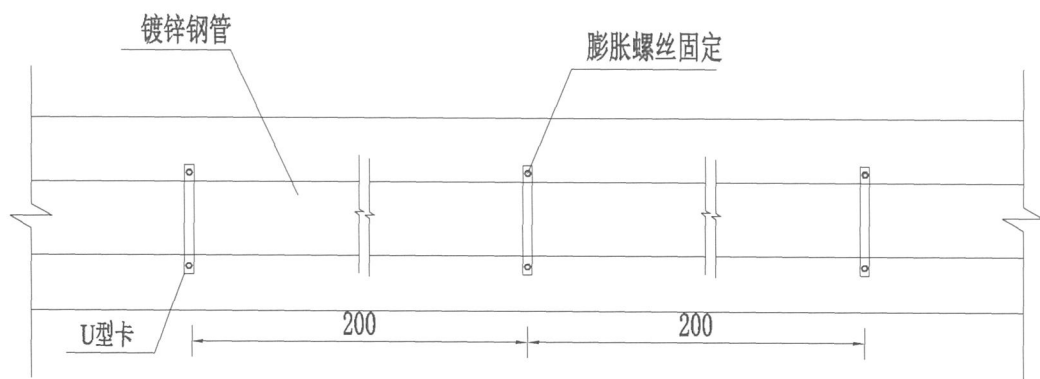
- 附注:
- 1、本图尺寸厘米为单位。
 - 2、图中“▼”表示供电接入点。
 - 3、括号中数字为供电接入点数量。



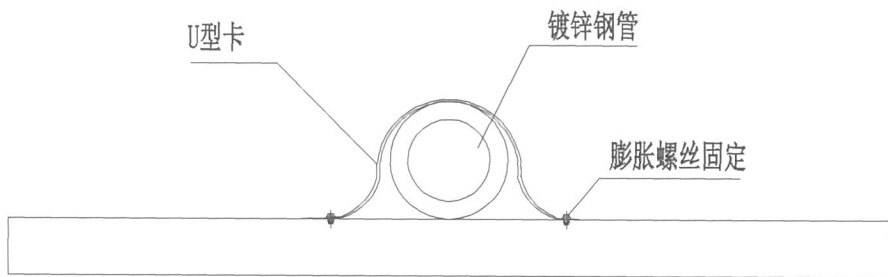
- 附注:
- 1、本图尺寸以cm为单位。
 - 2、桥架沿左右桥外侧腹板敷设，传感器信号线缆通过镀锌钢管或金属软管引至腹板处桥架汇聚至采集站。
 - 3、桥架安装高度可根据现场实际情况作适当调整。

杭州市交通规划设计研究院有限公司	2022年杭州市临平区G104京岚线京杭运河特大桥 增设动态安全监测系统	线槽安装示意图	设计	张强	复核	李锦辉	审核	濮辉铭	图号	S2-12	日期	2022. 03

镀锌钢管安装图

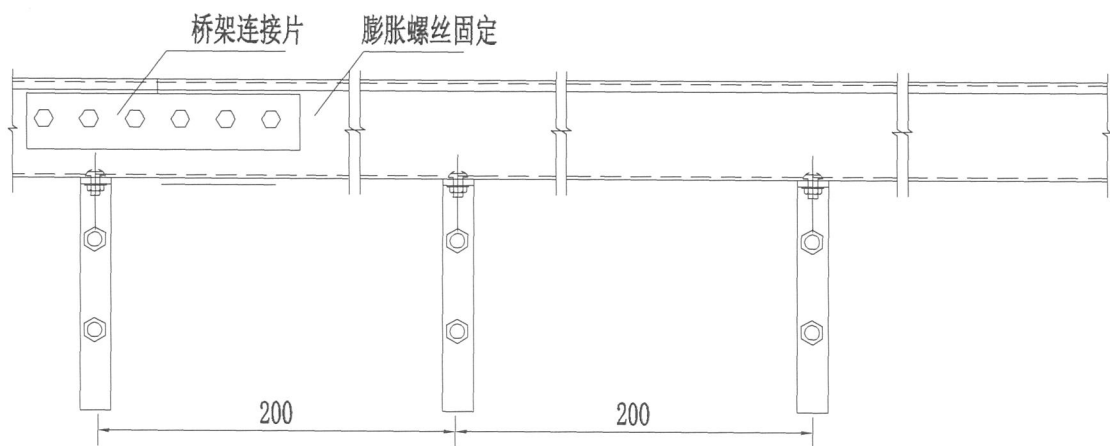
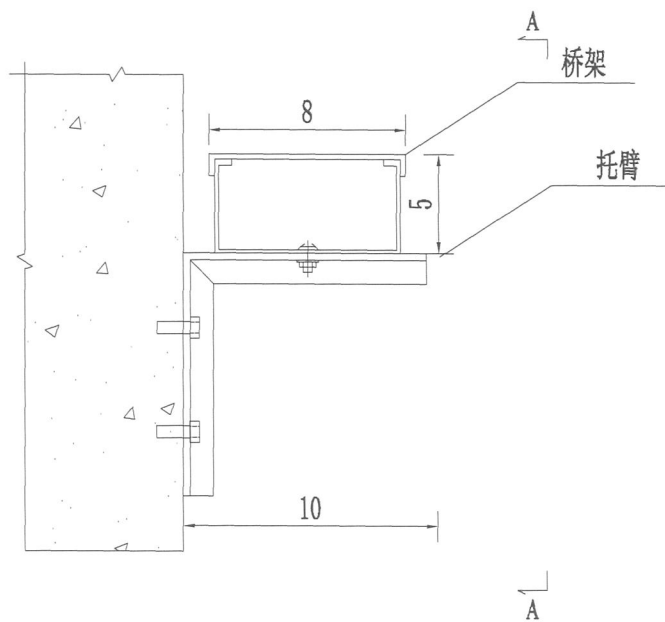


镀锌钢管安装截面图



A-A

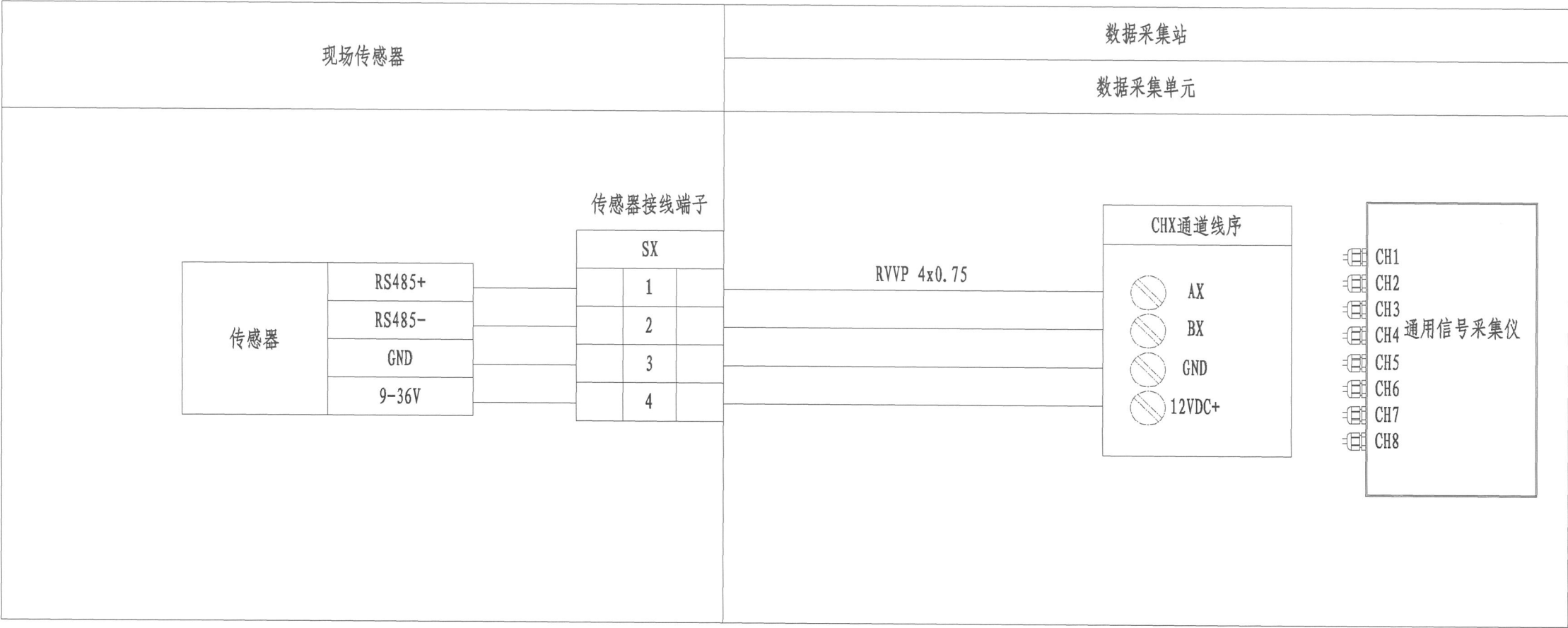
桥架安装示意图



工程数量表

序号	名 称	型 号 规 格	备 注
1	线槽	8*5*200	含内部元件及安装附件
2	托臂	按图制作	
3	螺栓	M8	
4	螺栓	M4	

附注：
1、本图尺寸以cm为单位。
2、托臂相邻间距为2m，单个线槽长度为2m。



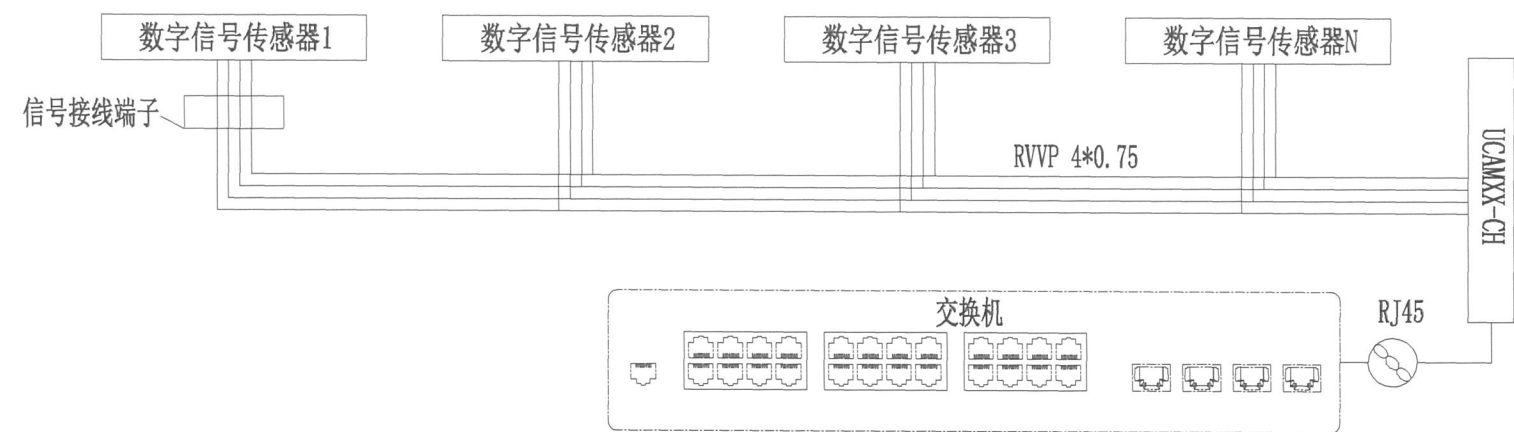
说明

1. 详细线缆型号详见采集站电缆索引表。

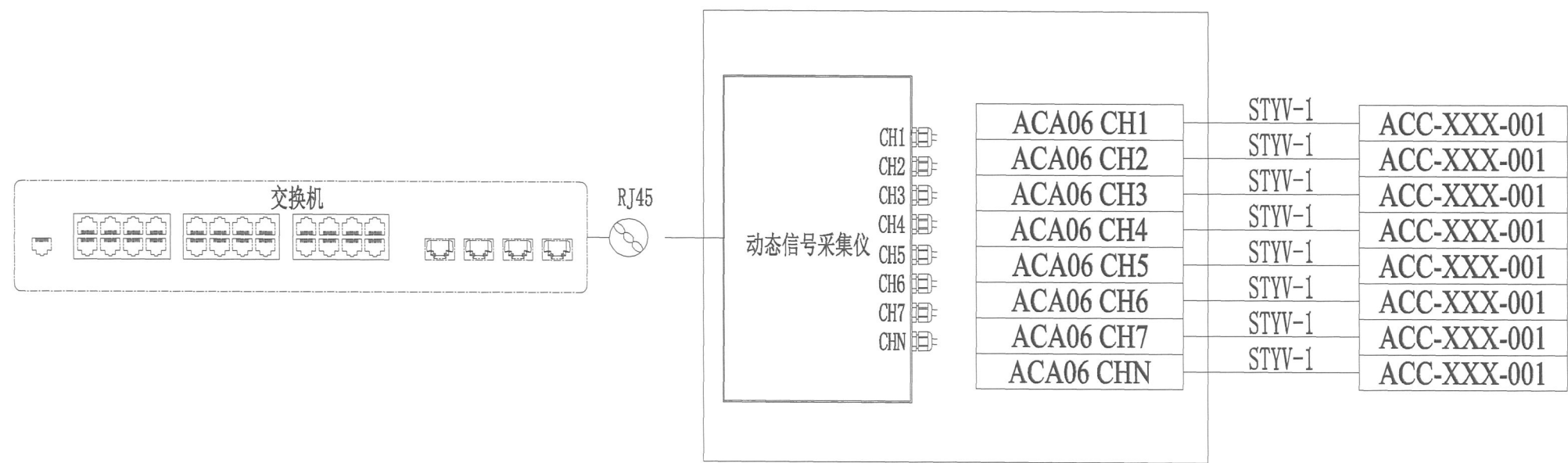
2. 数据采集站内详细接线图见相关采集站接线图。

3. 采集仪信号采集通道布置为示意，可根据实际采集仪信号采集通道进行接线。

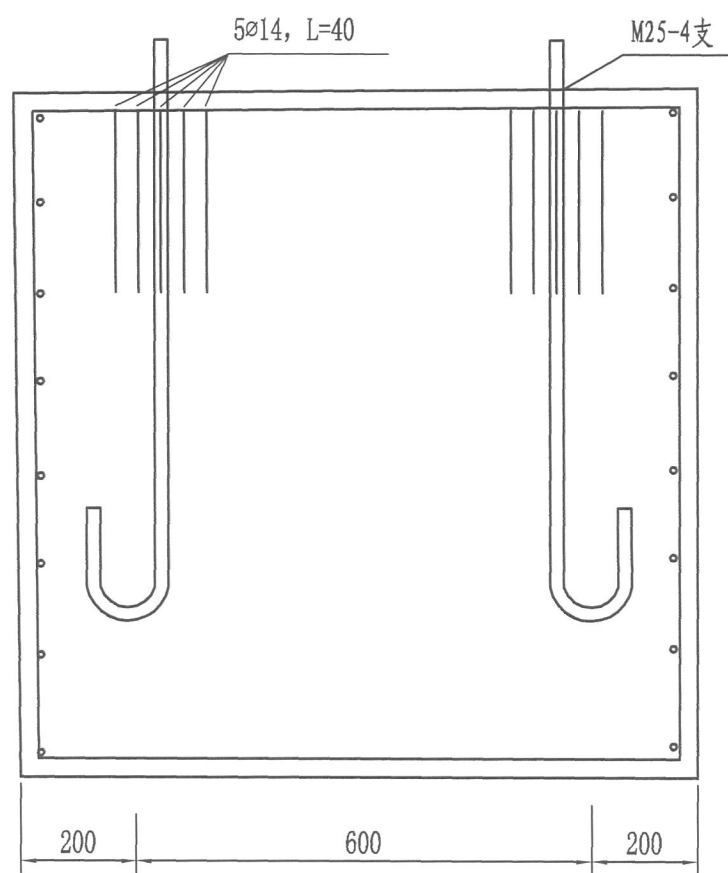
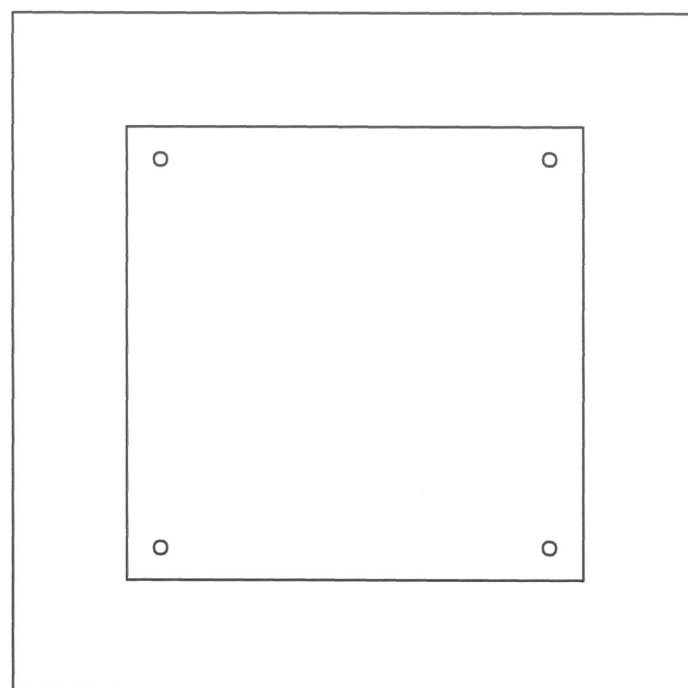
数字信号传感器连线图



电压信号传感器连线图

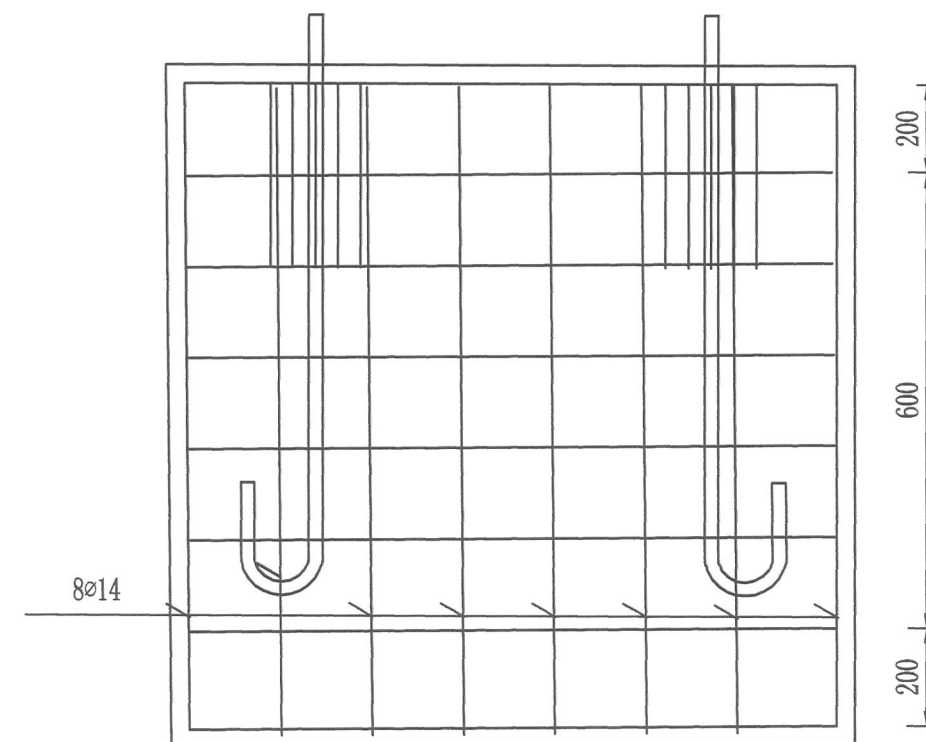


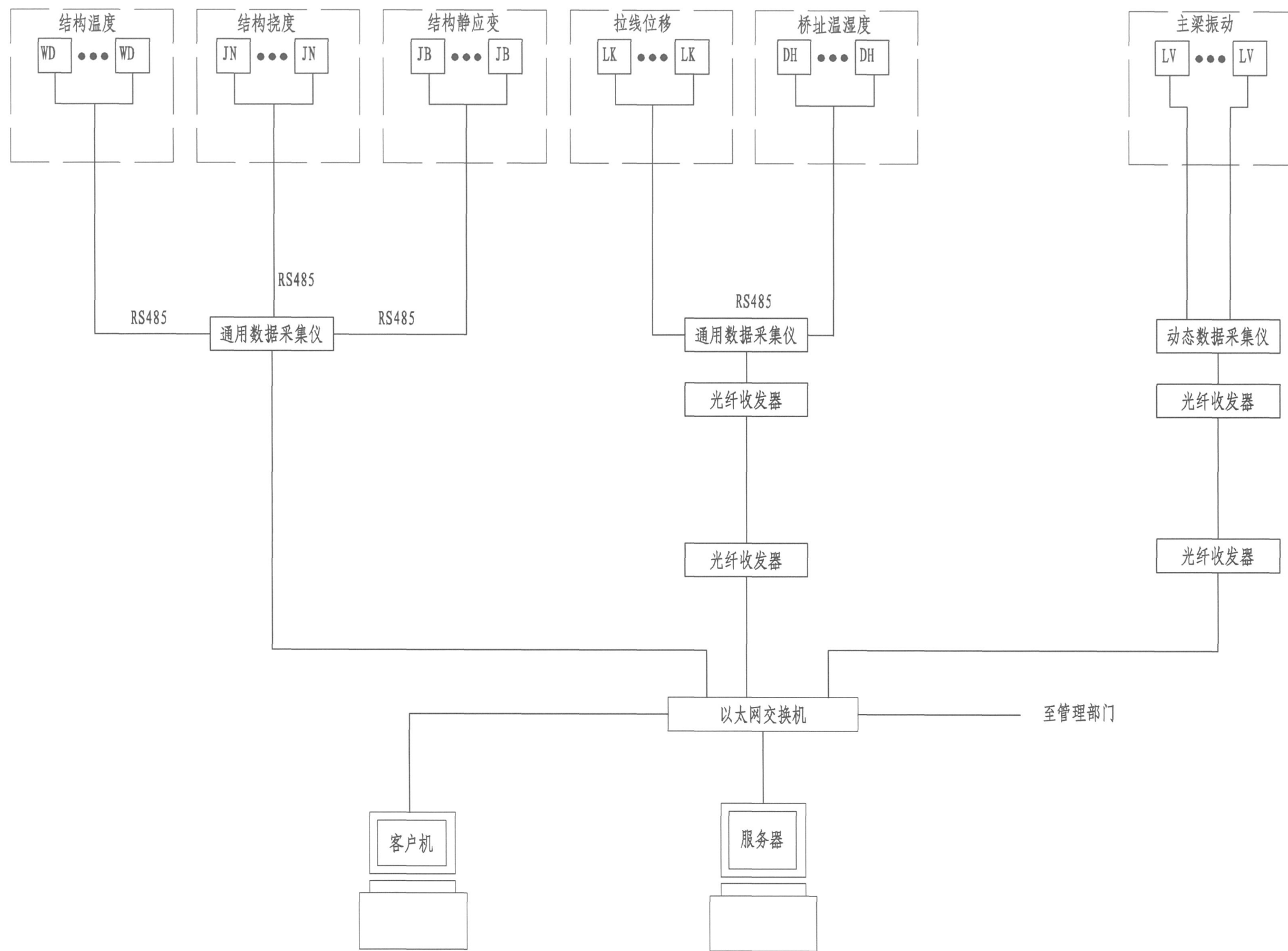
地笼示意图



说明:

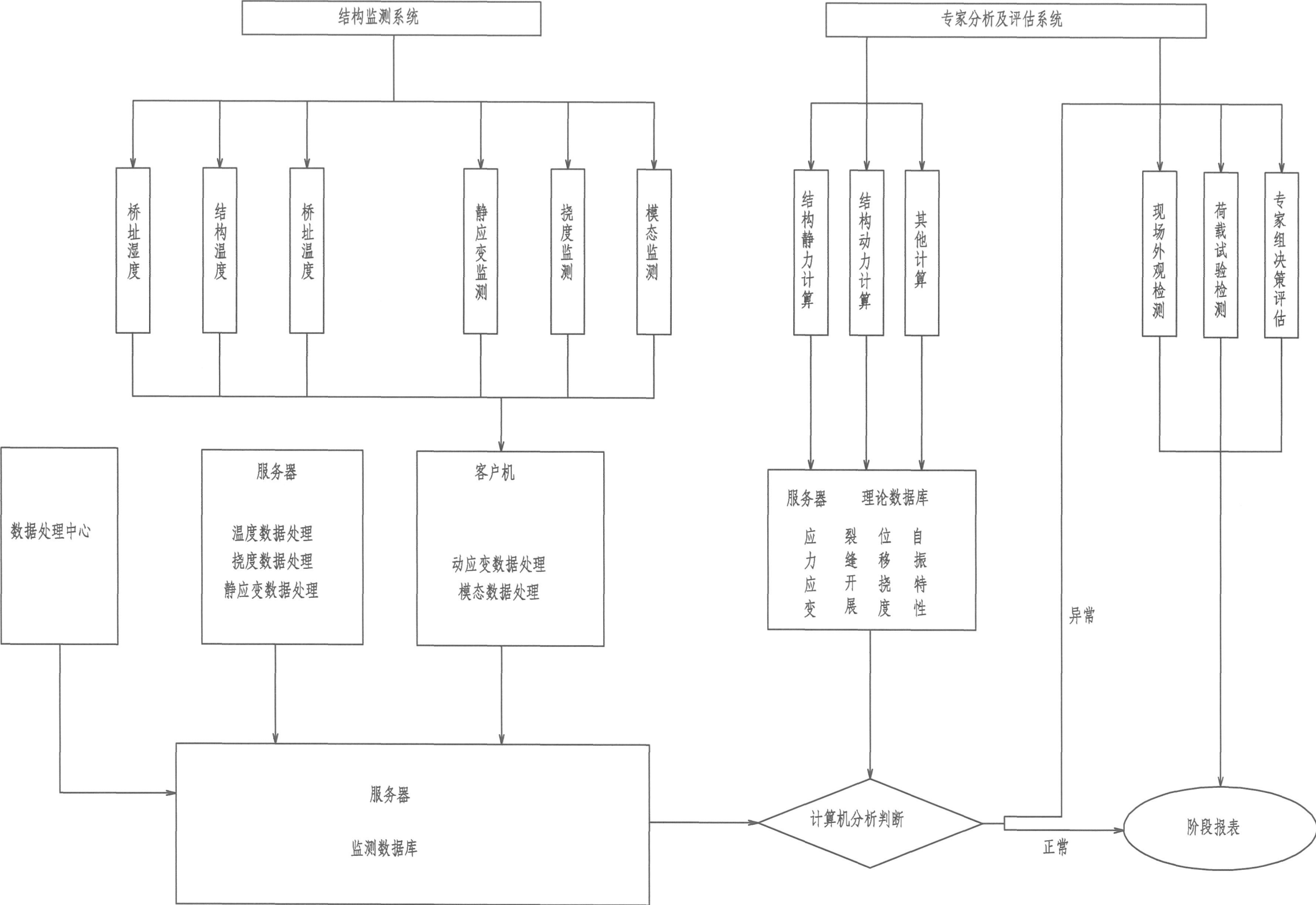
1. 本图单位以毫米计;
2. 基础采用C25钢筋混凝土现场浇注,基础底面地基承载力不小于150kpa;
3. 地脚螺栓外露端应涂以黄油,再以黑胶布包裹保护;
4. 龙门架两基础预埋穿线管、设置通信、埋设防雷地线等;
5. 基础内预埋的防雷地线应与脚螺栓焊接牢固防雷地尖桩与连接扁钢均要求热镀锌,焊后应作防腐处理;
6. 防雷地尖桩上端埋深应大于700mm,防雷地尖桩阻值应小于4欧姆,如达不到应继续增加酒桩或增加减阻剂;
7. 基础顶面应预埋高强地脚螺栓,地脚下部为标准弯钩地脚螺栓应事先进行热浸镀锌处理镀锌量为 $>350\text{g/m}$.

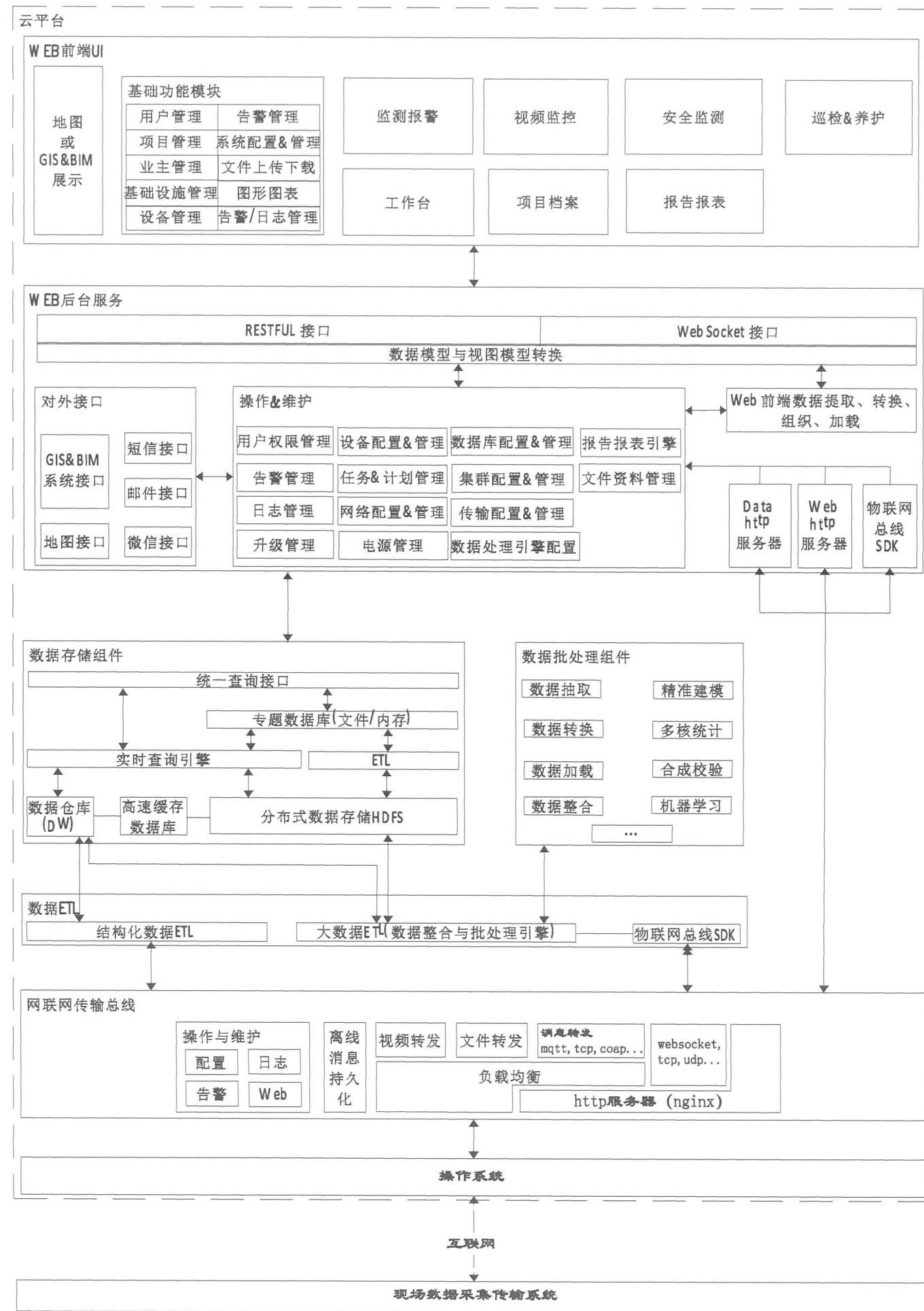




说明:
1. 数据采集器距离交换机超过100米时采用光纤通信;

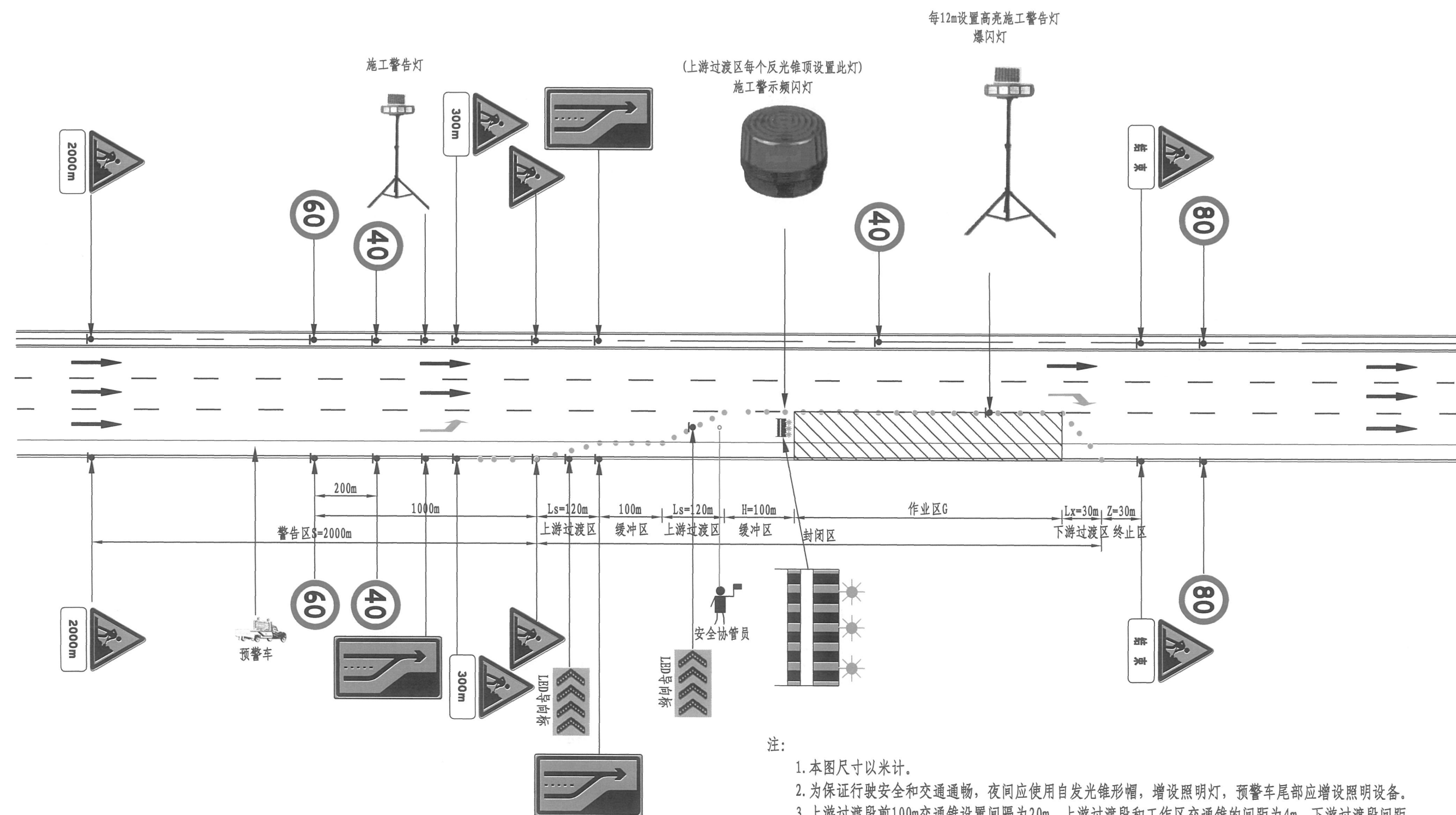
系统数据流程图





第三篇

施工期间交通组织



- 注:
1. 本图尺寸以米计。
 2. 为保证行驶安全和交通通畅，夜间应使用自发光锥形帽，增设照明灯，预警车尾部应增设照明设备。
 3. 上游过渡段前100m交通锥设置间隔为20m，上游过渡段和工作区交通锥的间距为4m，下游过渡段间距不宜大于10m。
 4. 线形诱导标附着于交通锥上，间距为每隔一个附着，导向标指向通行方向。
 5. 具体养护作业控制区布置长度等要求按照《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）执行。
 6. 本图适用于双向4车道施工时的交通组织。

施工安全设施主要工程数量表

2022年杭州市临平区G104京岚线京杭运河特大桥增设动态安全监测系统

第1页 共1页

序号	名称		单位	数量	备注
1	临时标线贴		平方米	250	一级公路
2	橡胶警示柱		根	300	
3	水马		个	400	
4	黄闪警告灯		盏	8	
5	小太阳照明灯		盏	20	
6	爆闪灯		盏	8	
7	锥形交通标		个	80	
8	带警示灯的路栏		个	10	
9	红旗		面	40	
10	电子导向牌（箭头标志板）		个	4	
11	旗手		人	4	
12	标志	简易单立柱 $\phi 80+\triangle 90\text{cm}$	套	4	
13		简易单立柱 $\phi 80+\triangle 90\text{cm}+80 \times 40\text{cm}$	套	2	
14		简易单立柱 $2\triangle 90\text{cm}+80 \times 40\text{cm}$	套	4	
15		简易单立柱 $\triangle 90\text{cm}+80 \times 40\text{cm}$	套	4	
16		简易单立柱 $2\triangle 90\text{cm}$	套	4	
17		简易单立柱 $100 \times 50\text{cm}$	套	2	
18		简易单立柱 $2\phi 80$	套	4	
19	预警车		辆	1	

编制: 吴

[illegible]

复核: 付一

S3-1

第四篇

预算

表A.0.2-5 总预算表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目

编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康

第1页共1页

01表

分项编号	工程或费用名称	单位	数量	金额（元）	技术经济指标	各项费用比例(%)	备注
1	第一部分 建筑安装工程费	公路公里	1.525	1035226.89	678837.3	87.44	建设项目路线总长度（主线长度）
101	临时工程	公路公里	1.525	27515.63	18043.04	2.32	
10101	临时道路	km	1.525	27515.63	18043.04	2.32	
1010103	保通便道	km	1.525	27515.63	18043.04	2.32	
101010302	保通临时安全设施	km	1.525	27515.63	18043.04	2.32	
107	交通工程及沿线设施	公路公里	1.525	989707.31	648988.4	83.60	
10703	监控系统	公路公里	1.525	989707.31	648988.4	83.60	
1070304	传感器子系统	公路公里	1.525	207462	136040.66	17.52	
107030401	传感器子系统安装	公路公里	1.525	58938.6	38648.26	4.98	
107030402	传感器子系统设备	公路公里	1.525	148523.4	97392.39	12.55	
1070306	数据采集传输与传输子系统	公路公里	1.525	444219.66	291291.58	37.52	
107030601	数据采集传输与传输子系统安装	公路公里	1.525	237719.16	155881.42	20.08	
107030602	数据采集传输与传输子系统设备	公路公里	1.525	206500.5	135410.16	17.44	
1070307	软件平台开发	公路公里	1.525	200000	131147.54	16.89	
1070308	其他	公路公里	1.525	138025.65	90508.62	11.66	
110	专项费用	元		18003.95		1.52	
11002	安全生产费	元		18003.95		1.52	
2	第二部分 土地使用及拆迁补偿费	公路公里	1.525				
3	第三部分 工程建设其他费	公路公里	1.525	114183	74874.1	9.64	
301	建设项目管理费	公路公里	1.525	56462.19	37024.39	4.77	
30101	建设单位（业主）管理费	公路公里	0.618	20352.74	32933.24	1.72	
30102	建设项目信息化费	公路公里	0.618	2513.72	4067.51	0.21	
30103	工程监理费	公路公里	0.618	12568.59	20337.53	1.06	
30104	设计文件审查费	公路公里	0.618	322.59	522	0.03	
30105	竣（交）工验收试验检测费	公路公里	0.618	20704.54	33502.49	1.75	
303	建设项目前期工作费	公路公里	1.525	55000	36065.57	4.65	
308	工程保险费	公路公里	1.525	2720.81	1784.14	0.23	
4	第四部分 预备费	公路公里	1.525	34482.3	22611.34	2.91	
401	基本预备费	元		34482.3		2.91	
402	价差预备费	元					
5	第一至四部分合计	公路公里	1.525	1183892.19	776322.74	100.00	
6	建设期贷款利息	公路公里	1.525				
7	公路基本造价	公路公里	1.525	1183892.19	776322.74	100.00	

编制：吴彩丰、王莺

复核：刘洁

表A.0.2-6 人工、主要材料、施工机械台班数量汇总表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目

编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

第1页 共2页

02表

[illegible]

编制：吴彩丰、王莺

复核：刘洁

表A.0.2-6 人工、主要材料、施工机械台班数量汇总表

建设工程名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目
 编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

第 2 页 共 2 页 02表

代号	规格名称	单位	单价(元)	总数量	分项统计										场外运输损耗	
					交通工程及 沿线设施									辅助生产	%	数量
8021007	网络分析仪（10MHz～110GHz）	台班	165.02	1.5	1.5											
8021016	光时域反射仪（1.3～1.55 μ m）	台班	630.45	0.13	0.13											
8025004	功率90kW以内工程修理车（EQ-141）	台班	822.48	18.94	18.94											
8099001	小型机具使用费	元	1	1318.21	1318.21											

表A.0.2-7 建筑安装工程费计算表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目

编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

序号	分项编号	工程名称	单位	工程量	定额直接费(元)	定额设备购置费(元)	直接费（元）				设备购置费	措施费	企业管理费	规费	利润(元)	税金(元)	金额合计（元）	
							人工费	材料费	施工机械使用费	合计					费率（%） 7.42%	税率（%） 9.0%	合计	单价
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	101	临时工程	公路公里	1.525	23500			23500		23500					1743.7	2271.93	27515.63	18043.04
2	10101	临时道路	km	1.525	23500			23500		23500					1743.7	2271.93	27515.63	18043.04
3	1010103	保通便道	km	1.525	23500			23500		23500					1743.7	2271.93	27515.63	18043.04
4	101010302	保通临时安全设施	km	1.525	23500			23500		23500					1743.7	2271.93	27515.63	18043.04
5	107	交通工程及沿线设施	公路公里	1.525	254678.66		64812.98	108862.53	33541.26	545242.42	325710	6762.1	13438.83	24349.32	20396.07	53808.58	989707.31	648988.4
6	10703	监控系统	公路公里	1.525	254678.66		64812.98	108862.53	33541.26	545242.42	325710	6762.1	13438.83	24349.32	20396.07	53808.58	989707.31	648988.4
7	1070304	传感器子系统	公路公里	1.525	34683.05		15574.52	2446.9	21724.31	39745.73	136260	1990.63	2764.93	6644.48	2926.35	17129.89	207462	136040.66
8	107030401	传感器子系统安装	公路公里	1.525	34683.05		15574.52	2446.9	21724.31	39745.73		1990.63	2764.93	6644.48	2926.35	4866.49	58938.6	38648.26
9	107030402	传感器子系统设备	公路公里	1.525							136260					12263.4	148523.4	97392.39
10	1070306	数据采集传输与传输子系统	公路公里	1.525	219995.61		49238.46	106415.63	11816.95	167471.04	189450	4771.47	10673.9	17704.84	17469.72	36678.69	444219.66	291291.58
11	107030601	数据采集传输与传输子系统安装	公路公里	1.525	219995.61		49238.46	106415.63	11816.95	167471.04		4771.47	10673.9	17704.84	17469.72	19628.19	237719.16	155881.42
12	107030602	数据采集传输与传输子系统设备	公路公里	1.525							189450					17050.5	206500.5	135410.16
13	1070307	软件平台开发	公路公里	1.525						200000							200000	131147.54
14	1070308	其他	公路公里	1.525						138025.65							138025.65	90508.62
15	110	专项费用	元							18003.95							18003.95	
16	11002	安全生产费	元							18003.95							18003.95	
合计				1.525	278178.66		64812.98	132362.53	33541.26	248720.71	325710	6762.1	13438.83	24349.32	22139.77	56080.51	1035226.89	678837.3

编制：吴彩丰、王鸞

复核：刘洁

表A.0.2-8 综合费率计算表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目

编制范围：临平区2022年普通国道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测

第1页 共1页

04表

[illegible]

编制：吴彩丰、王莺

复核：刘洁

表A.0.2-9 综合费计算表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目
 编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监

序号	工程名称	措施费											企业管理费						规费					
		冬季施工增加费	雨季施工增加费	夜间施工增加费	高原地区施工增加费	风沙地区施工增加费	沿海地区施工增加费	行车干扰施工增加费	施工辅助费	工地转移费	综合费用		基本费用	主副食运费补贴	职工探亲路费	职工取暖补贴	财务费用	综合费用	养老保险费	失业保险费	医疗保险费	工伤保险费	住房公积金	综合费用
											I	II												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	保通临时安全设施																							
2	传感器子系统安装	232.42						611.2	946.5	200.51	1044.13	946.5	2072.66	78.04	191.1	43.7	379.43	2764.93	2879.96	102.86	1645.69	267.42	1748.55	6644.48
3	传感器子系统设备																							
4	数据采集传输与传输子系统安装	269.5	209.34					969.35	3087.56	235.7	1683.9	3087.56	8348.34	279.41	675.65	158.4	1212.1	10673.9	7673.93	274.07	4385.1	712.58	4659.17	17704.84
5	数据采集传输与传输子系统设备																							
6	合计：	501.93	209.34					1580.55	4034.06	436.21	2728.03	4034.06	10421	357.44	866.76	202.1	1591.54	13438.83	10553.89	376.93	6030.79	980	6407.72	24349.32

表A.0.2-10 设备费计算表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目

编制范围；临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

第1页 共1页

05表

[illegible]

编制：吴彩丰、王莺

复核：刘洁

分项设备费计算表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目

编制范围；临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

第1页 共1页

05-1表

[illegible]

编制：吴彩丰、王鸯

复核：刘洁

表A.0.2-12 土地使用及拆迁补偿费计算表

建设项目名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目

编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

第 1 页共 1 页

07表

序号	费用名称	单位	数量	单价（元）	金额(元)	说明及计算式	备注
----	------	----	----	-------	-------	--------	----

表A.0.2-13 工程建设其他费计算表

建设工程名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目
编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

第1页 共1页08表

序号	费用名称及项目	说明及计算式	金额(元)	备注
3	第三部分 工程建设其他费		114183	
301	建设项目管理费		56462.19	
30101	建设单位（业主）管理费	{部颁2018建设单位（业主）管理费}	20352.74	0+(418953.14-0)*0.04858*1.0
30102	建设项目信息化费	{部颁2018建设项目信息化费}	2513.72	0+(418953.14-0)*0.006*1.0
30103	工程监理费	{部颁2018工程监理费}	12568.59	0+(418953.14-0)*0.03*1.0
30104	设计文件审查费	{部颁2018设计文件审查费}	322.59	0+(418953.14-0)*0.00077*1.0
30105	竣（交）工验收试验检测费	建安工程费*0.02	20704.54	1035226.89*0.02
303	建设项目前期工作费	55000	55000	55000
308	工程保险费	(建安工程费-设备费)*0.4%	2720.81	(1035226.89-355023.9)*0.4%
4	第四部分 预备费		34482.3	
401	基本预备费	(建安工程费+第二部分 土地使用及拆迁补偿费+第三部分 工程建设其他费)*3%	34482.3	(1035226.89+0+114183)*3%

表A.0.2-14 人工、材料、施工机械台班单价汇总表

建设工程名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目
 编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

第 1 页 共 1 页

09表

序号	名称	单位	代号	预算单价 (元)	备注	序号	名称	单位	代号	预算单价 (元)	备注
1	人工	工日	1001001	127.66		31	容量32kV·A以内交流电弧焊机BX1-330	台班	8015028	208.18	
2	机械工	工日	1051001	127.66		32	电流500A以内氩弧焊机	台班	8015038	251.51	
3	8~12号铁丝镀锌铁丝	kg	2001021	5.7		33	光纤测试仪	台班	8021001	283.8	
4	镀锌钢管外径15mm~20mm，壁厚2.7mm~4.5mm	t	2003009	5524		34	网络分析仪10MHz~110GHz	台班	8021007	165.02	
5	镀锌钢板δ=1mm，δ=1.5mm，δ=3mm	t	2003012	5854		35	光时域反射仪1.3~1.55μm	台班	8021016	630.45	
6	电焊条结422(502、506、507)3.2/4.0/5.0	kg	2009011	6.9		36	功率90kW以内工程修理车EQ-141	台班	8025004	822.48	
7	镀锌螺栓混合格格	kg	2009014	12		37	小型机具使用费	元	8099001	1	
8	膨胀螺栓混合格格	套	2009015	4.79		38	定额基价	元	1999	1	
9	汽油92号	kg	3003002	10.43							
10	柴油0号，-10号，-20号	kg	3003003	8.85							
11	电	kW·h	3005002	0.88							
12	塑料软管	kg	5001017	16.64							
13	油漆	kg	5009002	15.38							
14	母线	m	7001002	11.97							
15	裸铝（铜）线35mm2铜芯铝绞成	m	7001005	3.42							
16	绝缘软线BVR-35	m	7001008	16.32							
17	铜接线端子DT-10、25、35	个	7005011	7.01							
18	其他材料费	元	7801001	1							
19	YJV-3×635mm2三芯铅芯连地	m	7001001006	17.41							
20	YJV-3×1035mm2三芯铅芯连地	m	7001001007	27.45							
21	RVVP-4×1.035mm2三芯铅芯连地	m	7001001008	6.36							
22	超五类35mm2三芯铅芯连地	m	7001001009	20.54							
23	4芯单模光缆	m	7003001001	1.62							
24	装载质量4t以内载货汽车CA10B	台班	8007003	565.15							
25	装载质量6t以内载货汽车CA141K,CA1091K	台班	8007005	569.59							
26	提升质量5t以内汽车式起重机QY5	台班	8009025	735.7							
27	最大作业高度10m以内高空作业车QYJ5040JGKZ10	台班	8009046	587.95							
28	牵引力10kN以内单筒慢动电动卷扬机JJM-1	台班	8009079	156.91							
29	提升质量4t以内内燃叉车CPC40A	台班	8009122	542.91							
30	提升质量300kg以内液压升降机提升高度9m	台班	8009153	156.94							

人工、材料、施工机械台班单价汇总表

建设工程名称：2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目
 编制范围：临平区2022年普通国省道危旧桥隧维修加固改造项目（京杭运河特大桥结构健康监测系统）

序号	名称	单位	代号	定额单价 (元)	预算单价 (元)	备注	序号	名称	单位	代号	定额单价 (元)	预算单价 (元)	备注
1	人工	工日	1001001	106.28	127.66		30	提升质量300kg以内液压升降机提升高度9m	台班	8009153	135.56	156.94	
2	机械工	工日	1051001	106.28	127.66		31	容量32kV·A以内交流电弧焊机BX1-330	台班	8015028	184.23	208.18	
3	8~12号铁丝镀锌铁丝	kg	2001021	4.36	5.7		32	电流500A以内氩弧焊机	台班	8015038	226.93	251.51	
4	镀锌钢管外径15mm~20mm, 壁厚2.7mm~4.5mm	t	2003009	4547.01	5524		33	光纤测试仪	台班	8021001	283.78	283.8	
5	镀锌钢板 δ=1mm, δ=1.5mm, δ=3mm	t	2003012	4538.46	5854		34	网络分析仪10MHz~110GHz	台班	8021007	165.01	165.02	
6	电焊条结422(502、506、507)3.2/4.0/5.0	kg	2009011	5.73	6.9		35	光时域反射仪1.3~1.55 μm	台班	8021016	630.43	630.45	
7	镀锌螺栓混合格格	kg	2009014	11.88	12		36	功率90kW以内工程修理车EQ-141	台班	8025004	728.18	822.48	
8	膨胀螺栓混合格格	套	2009015	4.79	4.79		37	小型机具使用费	元	8099001	1	1	
9	汽油92号	kg	3003002	8.29	10.43		38	定额基价	元	1999		1	
10	柴油0号,—10号,—20号	kg	3003003	7.44	8.85								
11	电	kW·h	3005002	0.85	0.88								
12	塑料软管	kg	5001017	13.59	16.64								
13	油漆	kg	5009002	15.38	15.38								
14	母线	m	7001002	11.97	11.97								
15	裸铝（铜）线35mm2铜芯铝绞成	m	7001005	3.42	3.42								
16	绝缘软线BVR-35	m	7001008	16.32	16.32								
17	铜接线端子DT-10、25、35	个	7005011	7.01	7.01								
18	其他材料费	元	7801001	1	1								
19	YJV-3×635mm2三芯铅芯连地	m	7001001006	37.09	17.41								
20	YJV-3×1035mm2三芯铅芯连地	m	7001001007	37.09	27.45								
21	RVVP-4×1.035mm2三芯铅芯连地	m	7001001008	37.09	6.36								
22	超五类35mm2三芯铅芯连地	m	7001001009	37.09	20.54								
23	4芯单模光缆	m	7003001001	4.27	1.62								
24	装载质量4t以内载货汽车CA10B	台班	8007003	470.1	565.15								
25	装载质量6t以内载货汽车CA141K,CA1091K	台班	8007005	492.45	569.59								
26	提升质量5t以内汽车式起重机QY5	台班	8009025	637.22	735.7								
27	最大作业高度10m以内高空作业车QYJ5040JGKZ10	台班	8009046	515.38	587.95								
28	牵引力10kN以内单筒慢动电动卷扬机JJM-1	台班	8009079	134.89	156.91								
29	提升质量4t以内内燃叉车CPC40A	台班	8009122	476.41	542.91								

编制：吴彩丰、王鸯

复核：刘洁