

2025 年 G104 京岚线 3#桥（上行）、东村桥
（下行）桥梁轻量化监测项目

施工图设计

第一册 共一册



浙江数智交院科技股份有限公司
ZHEJIANG INSTITUTE OF COMMUNICATIONS CO.,LTD.
二〇二五年二月



2025 年 G104 京岚线 3#桥（上行）、东村桥
（下行）桥梁轻量化监测项目
一阶段施工图设计

第一册 共一册

单位主管负责人：

张仁松

单位技术负责人：

张书平

部门负责人：

张勇

项目总工程师：

陈世晖

项目负责人：

杨世杰



工 程 设 计 资 质 证 书

证书编号: A133003353

有效 期: 至2027年09月28日

中华人民共和国住房和城乡建设部制

企 业 名 称 : 浙江数智交院科技股份有限公司

经 济 性 质 : 其他股份有限公司 (非上市)

资 质 等 级 : 工程设计综合资质甲级。

可承接各行业、各等级的建设工程设计业务。*****

发证机关:



2022年09月28日

No.AZ 0103053

2025 年 G104 京岚线杨湾大桥(上行、下行)桥梁健康监测
系统及 3#桥(上行)、东村桥(下行)桥梁轻量化监测系统
施工图设计审查专家组意见

2025 年 3 月 7 日,湖州市公路与运输管理中心在湖州组织召开了 2025 年 G104 京岚线杨湾大桥(上行、下行)桥梁健康监测系统及 3#桥(上行)、东村桥(下行)桥梁轻量化监测系统施工图设计审查会议,参加会议的有长兴县公路与运输管理中心及特邀专家,并成立了专家组(名单附后)。与会代表听取设计单位浙江数智交院科技股份有限公司关于本工程施工图设计情况的汇报,查阅了相关资料,经讨论,形成专家组意见如下:

一、总体评价

浙江数智交院科技股份有限公司编制的设计文件基本符合有关设计要求,编制的桥梁监测方案基本合理,原则赞同设计单位推荐的设计方案,经修改完善后可作为施工图报批的依据。

二、实施范围

G104 京岚线杨湾大桥(上行、下行)桥梁健康监测系统及 3#桥(上行)、东村桥(下行)桥梁轻量化监测系统。

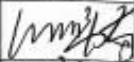
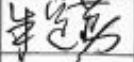
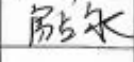
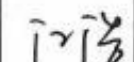
三、建议

- 1、进一步完善桥梁现状情况;
- 2、进一步优化传感器布设位置和数量;
- 3、优化监测预警阈值、数据采集频率;
- 4、补充完善培训方案、交通组织方案等。

请设计单位结合专家组意见,修改完善设计和调整施工图预算。

专家组组长: 
2025 年 3 月 7 日

长兴县 2025 年普通国道桥梁健康监测系统（3#桥上行，东村桥下行，杨湾大桥上行、下行）
施工图设计审查专家组名单

	姓名	工作单位	职称/职务	签字
组长	何伟南	特邀专家	正高	
组员	朱定勤	特邀专家	正高	
	房占永	特邀专家	工程师	
	江浩	衢州市公路港航与运输管理中心	正高	

外部评审意见及改进措施汇总

序号	评审意见	改进措施
1	进一步完善桥梁现状情况	已补充桥梁现状调研资料。详见说明书 1.3
2	进一步优化传感器布设位置和数量	已根据专家意见优化传感器布设，详见图纸 SI-4
3	优化监测预警阈值、数据采集频率	已根据桥梁实际情况优化监测预警阈值、数据采集频率。详见说明书 3.4.1、3.7.5
4	补充完善培训方案、交通组织方案等	已补充完善培训方案、交通组织方案。详见说明书 6.3、4.6

序号	图 表 名 称	图 表 号	页数	备注
	东村桥、3#桥 桥梁健康监测系统			
1	设计说明书	SI-1	31	
	3#桥			
2	监测系统拓扑图	SI-2	1	
3	外站传感器编号对应表	SI-3	1	
4	监测系统测点总体布点图	SI-4	1	
5	采集通讯设备布点图	SI-5	2	
6	主梁横向联系监测测点布点图	SI-6	2	
7	桥面视频监控布点图	SI-7	2	
8	主梁关键截面应变监测测点布点图	SI-8	2	
9	监测系统测点总体走线图	SI-9	1	
	东村桥			
10	监测系统拓扑图	SI-10	1	
11	外站传感器编号对应表	SI-11	1	
12	监测系统测点总体布点图	SI-12	1	
13	采集通讯设备布点图	SI-13	2	
14	主梁横向联系监测测点布点图	SI-14	2	
15	桥面视频监控布点图	SI-15	2	
16	主梁关键截面应变监测测点布点图	SI-16	2	
17	监测系统测点总体走线图	SI-17	1	
	安装图			
18	数据采集外站机柜安装图	SI-18	1	
19	光电挠度仪安装图	SI-19	1	
20	振弦式应变计安装图	SI-20	1	
21	监控摄像头安装图	SI-21	1	
	加工图			
22	振弦式应变计安装配件加工图	SI-22	1	
	接线图			
23	数据采集外站机柜配电图	SI-23	1	
24	振弦式应变计接线图	SI-24	1	
25	监控摄像头接线图	SI-25	1	

[illegible]

第一篇 设计说明

说明书

1. 项目概述

1.1 项目背景

交通是国民经济发展和人民生活质量的重要保障，而桥梁是交通生命线工程最重要的组成部分之一。桥梁在运营过程中，随着交通量、荷载不断的增加，环境恶化以及自然老化等作用，桥梁的使用性能在不断的减退，进而桥梁可能出现性能衰退、安全性降低、耐久性降低以及适应性不足等状况，如果养护得不及时，就有可能降低桥梁的使用年限，增加养护成本甚至危及结构的安全。传统桥梁养护管理模式包括日常检查、定期检测和特殊检测等，缺乏时间上的连续性，没有实时数据的支撑更是很难及时有效判断出桥梁的健康状况，一些情况需要封闭交通才能进行测试，在实际应用中存在一定的不足。近年来，桥梁倒塌或安全事故时有发生，道路交通安全和人民的生命财产安全受到严重威胁，造成的不良社会影响和舆论压力也在不断提升，桥梁运行阶段的安全状态也越发受到相关管理部门和民众的关注。开展桥梁结构健康监测系统建设对保障桥梁安全运行，促进公路桥梁养护管理转型升级，提升公路桥梁建设养护技术水平均有重要作用。

桥梁健康监测系统的内涵是运用现代传感与通信技术，实时监测桥梁运营阶段在各种环境条件下的结构响应与行为，获取反映结构状况和环境因素的各种信息，由此分析结构健康状态、评估结构的可靠性，为大桥在特殊气候、交通条件下或桥梁运营状况严重异常时触发预警信号，为桥梁的管

理与维护决策提供科学依据。随着现代信息和传感技术的发展，桥梁健康监测技术也迅速发展，并逐渐成为行业内在需求与发展趋势，受到行业部门高度重视。

随着《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB50982-2014）、《大跨度桥梁结构健康监测系统预警阈值标准》（T/CECS 529-2018）、《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》（JT/T 1037-2022）等一系列标准、规范的颁布，桥梁健康监测技术逐渐走向成熟与完善。近年来，交通运输部等行业部门高度重视并持续推进公路长大桥梁健康监测系统的建设工作：

2013 年交通运输部发布的《交通运输部关于进一步加强公路桥梁养护管理的若干意见》中规定“特大、特殊结构和特别重要桥梁的养管单位，要利用现代信息技术，建立符合自身特点的养护管理系统和健康监测系统”。

2018 年交通运输部印发了关于《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》的通知，明确规定了长大桥梁应建立结构监测体系，设置专人或委托专业机构对桥梁的结构状态和各类外部荷载作用下的响应情况进行监测，及时掌握长大桥隧的结构运行状况。

十九大报告明确提出建设“交通强国、数字中国和网络强国”等国家战略。2019 年 9 月中共中央、国务院发布实施《交通强国建设纲要》，明确提出“持续加大基础设施安全防护投入，提升关键基础设施安全防护能力。”“强化交通基础设施养护，加强基础设施运行监测检测，提高养护专业化、

信息化水平，增强设施耐久性和可靠性。”2019 年 10 月，浙江入选首批交通强国建设试点。

2020 年 8 月 6 日，《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》（交规划发〔2020〕75 号）指出提升在役交通基础设施检查、检测、监测、评估、风险预警以及养护决策、作业的快速化、自动化、智能化水平，推进交通基础设施长期性能观测网建设。

2020 年 11 月 3 日，省交通运输厅发布《关于做好公路重点桥隧动态安全监测系统数据接入工作的通知》要求，为实时动态监测公路桥梁隧道运行，进一步提高公路桥梁隧道信息化、智慧化管理水平，确保公路桥梁隧道运行安全，我省积极推进“浙江省公路重点桥隧动态安全监测系统”建设。

2020 年 12 月交通运输部出台《交通运输部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），明确指出“到 2025 年，跨江跨海跨峡谷等特殊桥梁结构健康监测系统全面建立，公路桥梁运行安全水平和服务品质明显提升；到 2035 年，公路桥梁结构健康监测系统全面建立，标准化、智能化水平全面提升，基本实现并不断完善管理体系和管理能力现代化。”

2021 年 3 月，交通运输部出台《公路长大桥梁结构健康监测系统建设实施方案》（交办公路〔2021〕21 号），文件明确对跨江跨海跨峡谷等长大桥梁开展结构健康监测，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。

2021 年 3 月，省交通运输厅印发了《浙江省交通数字化改革行动方案》，方案提出：围绕重大任务进行重点突破，打造“行有所畅”、“浙运安重点营运车辆智控”、“智慧高速”、“海上交通智控”、“四港联动”、“重点桥隧动态安全监测”、“宁波舟山港自动化码头”、“机场智慧出行”等牵一发而动全身的数字化改革集成应用，并推进一批社会、基层交通数字化改革最佳实践。

2021 年 12 月，《交通运输部关于印发<数字交通“十四五”发展规划>的通知》（交规划发〔2021〕102 号）提出：升级现代化行业管理信息网络。全国重要交通基础设施结构健康与安全风险监测网络工程对全国长大公路桥梁、隧道、重要港口码头、重要通航建筑物等基础设施的结构、性能、运行状态，实施动态监测、自动采集与分析评估。推进重要基础设施风险信息共享、协同管控和分级分类管理，提高工程质量安全风险防控智慧化水平。开展基础设施长期性能观测，加强基础设施运行状态、运行规律和服役性能分析。

2023 年 11 月，交通运输部公路局组织编制了《进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作实施方案（2024~2030 年）》（征求意见稿），要求探索针对不同结构型式中小跨径桥梁群的轻量化监测建设思路、集群式高效管理模式，加快推进公路桥梁结构监测全面覆盖。

1.2 桥梁概述

随着服役年限和交通荷载的增加，国道 G104 长兴段部分桥梁存在超负荷工作及结构构件损伤等情况，存在较大安全隐患。为了保障通行安全，管

养部门需根据养护规范要求开展检查、监测或评定工作,为桥梁管养提供支撑。桥梁结构监测是一种综合考虑桥梁所处环境与荷载特点、结构受力特性、运营状态及风险分析,结合养护管理需求对部分典型桥梁单个或几个重点关注的运营风险点进行监测的结构监测方法,有利于完善普通国省道公路桥梁安全风险防控体系,提升国省道公路桥梁安全耐久水平。

针对国道 G104 长兴段公路桥梁的特点,典型桥梁考虑选择存在承载能力不足风险的老旧桥梁以及技术状况较差、重载通行交通量较大的梁桥,经过比选,对道路沿线 3#桥(上行)、东村桥(下行)等 2 座桥梁开展轻量化结构健康监测工作。



图 1.2-1 桥梁地理位置图

1.2.1 3#桥(上行)

3#桥位于 G104 京岚线湖州市长兴县,桥梁中心桩号为 K1329+498,建成于 2009 年。桥梁全长 50m,跨径组合为 $3 \times 16\text{m}$,总宽 21.5m。

上部结构:采用预应力混凝土简支空心板,支座采用板式橡胶支座。

下部结构:双柱框架式桥台,灌注桩基础;双柱式墩,桩基础。

桥面系:桥面铺装采用沥青混凝土桥面铺装层,左右两侧采用防撞护栏、大理石栏杆,采用型钢伸缩缝。

桥梁通行载重:公路-I 级。



图 1.2-2 3#桥正面照片



图 1.2-3 3#桥立面照片



图 1.2-4 现场调研照片



图 1.2-4 现场调研照片

1.2.2 东村桥（下行）

东村桥位于 G104 京岚线湖州市长兴县，桥梁中心桩号为 K1331+583，建成于 2002 年。桥梁全长 13.6m，跨径组合为 1×13m，总宽 18m。

上部结构：简支空心板梁，板式橡胶支座。

下部结构：柱式桥台，钻孔灌注桩基础。

桥面系：桥面铺装采用沥青混凝土桥面铺装层，左右两侧采用防撞护栏，采用异型钢伸缩缝。

桥梁通行载重：汽车-20 级。



图 1.2-6 东村桥正面照片



图 1.2-7 东村桥立面照片



图 1.2-8 现场调研照片



图 1.2-9 现场调研照片

1.3 桥梁现状调研

1.3.1 3#桥（上行）

根据《G104 京岚线湖州市长兴县 3#桥（上行）K1329+498 定期检查》（浙江省交通运输科学研究院，2024.10），3#桥（上行）评定等级为 2 类。

表 2.2-1 3#桥（上行）技术状况评定结果表

桥梁名称	桥梁部位	权重	技术状况评分	技术状况等级	全桥技术状况评分	全桥技术状况等级
3#桥（上行）	上部结构	0.4	95.3	1 类	92.0	2 类
	下部结构	0.4	95.6	1 类		
	桥面系	0.2	78.1	3 类		

主要病害包括：

上部结构

1、空心板 1 处破损， $S=0.04m^2$ 。

下部结构

1、盖梁 1 处破损、露筋， $S=0.03m^2$ ；1 处雨水侵蚀。

2、桥头接线 2 处破损， $S_{总}=0.10m^2$ 。

桥面系

1、桥面铺装 3 处车辙， $L_{总}=42.00m$ ；2 处破损， $S_{总}=0.10m^2$ ；1 处坑槽， $S=0.10m^2$ 。

2、伸缩缝堵塞 2 处；破损 1 处；锚固区砼顺桥向裂缝 56 条， $L_{总}=22.40m$ 。

3、右侧人行道 1 处破损， $S=0.12m^2$ ；3 处坑槽， $S_{总}=3.00m^2$ ， $S_{max}=1.00m^2$ ；1 处砌块缺失， $L=5.00m$ 。

4、右侧护栏 1 条 U 形裂缝， $L=0.30m$ 。

5、桥牌 1 处缺失。



图 1.3-1 2-18#空心板板底破损



图 1.3-2 2#盖梁左侧面锈胀露筋

1.3.2 东村桥（下行）

根据《G104 京岚线湖州市长兴县东村桥（下行）定期检查》（中交公路规划设计院有限公司/陕西交控通宇交通研究有限公司，2022.11），东村桥（下行）评定等级为 2 类。

表 2.2-1 东村桥（下行）技术状况评定结果表

桥梁名称	桥梁部位	权重	技术状况评分	技术状况等级	全桥技术状况评分	全桥技术状况等级
东村桥（下行）	上部结构	0.4	91.00	2 类	91.83	2 类
	下部结构	0.4	91.25	2 类		
	桥面系	0.2	94.63	2 类		

主要病害包括：

- （1）上部承重构件：3 处钢筋锈蚀，总面积为 0.012m²，2 处剥落，总面积为 0.54m²；
- （2）上部一般构件：3 处铰缝脱落，总长 5.3m；
- （3）支座：3 处剪切变形；1 处支座脱空；1 处橡胶外鼓；
- （4）桥台：2 处渗水；
- （5）伸缩缝装置：2 处堵塞，长 23m；1 处开裂，长 0.9m，宽 2mm；1 处坑槽，面积 0.24m²；

（6）栏杆、护栏：1 处涂层劣化，面积为 3m²。



图 1.3-13 1#空心板钢筋锈蚀



图 1.3-14 5#空心板剥落



图 1.3-15 7#空心板剥落



图 1.3-16 0-6#支座剪切变形

1.4 桥梁服役环境调研

104 国道长兴段的交通特征包括：

1) 交通流量：

日均车流量：约 20,000~40,000 辆/日（具体因路段、季节、工作日/节假日而异）。高峰时段流量：早高峰（7:00-9:00）、晚高峰（16:00-19:00）可达到每小时 3,000~5,000 辆。

2) 车速统计：

平峰时段平均车速: 60~80km/h (限速一般为 80km/h, 部分路段可能调整)。高峰时段平均车速: 30~50 km/h (受路口、货车比例、施工等因素影响)。

3) 影响因素

货车比例: 104 国道作为货运干线, 货车占比较高 (约 20%~40%), 影响整体车速。

根据现场踏勘结果, 其主要环境信息有:

1) 项目桥梁所在位置无线信号较好, 具备无线传输条件;

2) 项目桥梁现场电力供应条件较好, 附近有监控杆和工厂, 具备接电条件;

3) 日均通行车辆较大, 货车数量较多。

1.5 运营风险分析

桥梁运营环境与荷载作用是影响桥梁运营安全的主要因素, 通常包括温湿度、车辆荷载等。

在桥梁设计、建造、运营、养护维修的整个生命周期内, 桥梁不可避免地会因各类因素影响或共同作用而产生缺陷或病害, 甚至在发生构件破坏, 导致灾难性事件。本项目桥梁在运营期受环境及作用影响的潜在危险性如下:

长兴县 3#桥、东村桥均位于国道 G104 京岚线长兴段, 沿线交通流量较大、重载货运车辆通行频繁, 车辆荷载是桥梁运营阶段承受的主要活载, 随着交通量的日益增大及重载车辆的增加, 长期超负荷承载可能导致桥梁受到损伤, 影响桥梁结构安全性。

2. 系统总体设计

2.1 设计目标

为保障桥梁运营安全, 提升桥梁安全预警水平, 实现科学、高效的运营管理, 构建符合桥梁运营管理需求的桥梁健康监测系统, 实现如下主要目标:

(1) 通过系统能够获取桥梁主要结构参数和环境参数的变化信息, 评估桥梁的运营状态, 对桥梁的危险状态做出及时预警, 确保桥梁的运营安全:

(2) 为桥梁突发事件及时感知、准确研判和快速响应提供支撑, 提升桥梁应急管理水平:

(3) 与桥梁的日常检查、定期检查有效地结合, 对桥梁的运营状态进行综合性评估, 为桥梁的维修养护提供技术支持, 降低养护成本, 实现科学养护:

(4) 掌握桥梁结构性能长期发展演化趋势, 制定合理、主动、预防性养护措施, 提高桥梁运营养护与管理水平, 降低桥梁全寿命期运营养护成本, 限度延长桥梁使用年限。

2.2 设计原则

桥梁结构健康监测系统是一个集结构分析计算、计算机技术、通信技术、网络技术、传感器技术等高新技术于一体的综合系统工程。为了监测系统既能真正长期用于结构损伤和状态评估, 又能满足桥梁养护管理和运营的需要, 并兼具经济效益, 系统的设计实施应遵循以下总体原则:

(1) 在总体设计上, 应满足系统建设和规范要求, 紧密结合桥梁结构特点、工作环境特点、养护管理需求与运营风险, 系统设计更具针对性:

(2) 在各子系统设计上,应充分考虑其主要功能目标和特点有所侧重,同时兼顾各子系统的接口数据处理要求:

(3) 在设计规划上,注重资源统筹、全生命周期信息化构建:

(4) 在设计实施上,注重适用性、先进性、可靠性、耐久性、可维护性、可扩充性等,兼顾经济性:

(5) 同时充分利用现有资源,将设备、信息等统一利用和规划,将健康监测与养护检查相结合。

2.3 设计依据

本系统设计范围内的活动均遵守国家现行的规范和标准要求,对我国未进行规定的范畴,则参考国际上或者行业内认可的标准文件执行。

- (1) 《建筑与桥梁结构监测技术规范》(GB50982-2014)
- (2) 《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T1037-2022)
- (3) 《结构健康监测系统运行维护与管理标准》(T/CS652-2019)
- (4) 《结构健康监测系统施工及验收标准》(T/CECS765-2020)
- (5) 《结构健康监测海量数据处理标准》(T/CCES16-2020)
- (6) 《大跨度桥梁结构健康监测系统预警值标准》(T/CECS529-2018)
- (7) 《桥梁健康监测传感器选型与布设技术规程》(T/CCES15-2020)
- (8) 《公路工程技术标准》(JTGB01-2014)
- (9) 《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60-2015)
- (10) 《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/TH21-2011)
- (11) 《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T21-2011)

- (12) 《公路工程质量检验评定标准》第一册土建工程(JTGF80/1-2017)
- (13) 《公路工程质量检验评定标准》第二册机电工程(JTG2182-2020)
- (14) 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB/T50343-2012)
- (15) 《综合布线系统工程设计规范》(GB/T50311-2016)
- (16) 《低压配电设计规范》(GB50054-2016)
- (17) 《电力工程电缆设计规范》(GB50217-2018)
- (18) 《视频安防监控系统工程设计规范》(GB50395-2017)
- (19) 《视频安防监控系统技术要求》(GA/T367-2001)
- (20) 《信息安全技术网络安全等级保护基本要求》(GB/T22239-2019)
- (21) 《信息安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求》(GB/T25070-2019)
- (22) 《信息安全技术网络安全等级保护测评要求》(GB/T28448-2019)
- (23) 《公路桥梁群结构监测系统试点建设技术指南》交办公路【2025】1号
- (24) 《浙江省公路与运输管理中心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》公运函【2022】3号
- (25) 桥梁设计图纸和定期检查报告
- (26) 国家现行的其他桥涵工程试验检测标准、规范、规程

2.4 逻辑架构设计

桥梁结构健康监测系统从逻辑架构上自下往上可分为感知层、基础设施层、数据层、应用支撑层、应用层和交互层,每个层次的作用如下:

- (1) 感知层: 利用监测的各类专业传感设备获取各类监测项实时数据, 获取环境作用、结构变形、结构振动、交通视频等数据;
- (2) 基础设施层: 包括网络、数据网关、服务器、存储和系统软件的系统基础设施;
- (3) 数据层: 系统数据包括结构化关系型数据和非结构化数据, 关系型数据通过数据存储, 包括监测数据、管理数据等; 非结构化数据主要是文件, 包括数据原始文件、管理的各类文件、巡检文档资料等;
- (4) 应用支撑层: 应用支撑层通常与具体业务无关, 提供支撑服务供应用层调用, 具体包括用户认证及权限服务、日志管理服务、工作流服务、消息服务等。该层同时包括数据采集与传输子系统;
- (5) 应用层: 包括业务应用实现的各系统和模块, 具体包括健康监测与安全预警子系统、综合管理子系统, 同时实现与第三方交通实时监控子系统的整合;
- (6) 交互层: 主要指利用浏览器访问系统各功能模块。

2.5 系统功能

桥梁健康监测系统总体功能需求是通过健康监测系统获取桥梁的运营状态信息, 分析、评估桥梁的运营状态及安全状况, 进行安全预警, 辅助突发事件识别, 提出结构养护检查与维修建议, 提高应急管理效率, 有效指导与支撑桥梁养护管理部门的数字化管养工作。系统应具备以下主要功能:

- (1) 桥梁运营状态信息的自动监测采集: 通过布设在桥梁各关键部位的各类监测传感器, 获取桥梁的运营状态信息, 包括环境、作用、结构响应

等;

- (2) 数据处理: 应能够对前端获取的传感器监测数据进行预处理, 确保完整、有效、无异常的数据进入系统数据库, 同时还可根据后期数据调用、分析等需求对数据进行后处理;
- (3) 数据存储: 应能对监测数据、桥梁基本信息、统计分析数据、评估预警数据等进行分类存储和管理;
- (4) 数据分析: 应能对监测数据进行统计分析和特殊分析;
- (5) 安全报警: 应能在系统中根据需要设置监测指标的报警阈值, 当相应指标超过对应报警阈值时, 系统能够通过短信及邮件推送等多种方式进行自动报警;
- (6) 用户应用管理: 通过用户界面系统, 实现各类养护管理人员对桥梁基本信息、监测信息、分析结果、预警信息、报告报表等信息的查询与管理。

3. 系统测点及功能设计

3.1 选点原则

根据规范要求、桥梁结构及环境地质特点, 监测点的总体确定原则如下:

- (1) 根据桥梁所处的地理环境、地质情况及气候环境特点, 确定对桥梁结构受力和运营影响的因素;
- (2) 确定桥梁构件易损部位、结构控制部位和损伤敏感部位, 如变形控制点、应力集中的位置、动力响应敏感点、不良地质段等, 能够利用尽可

能少的传感器获取全面、精确的结构实时参数信息；

(3) 根据桥梁各类构件在结构安全中的重要性、代表性和易损性，从桥梁结构状态评估的需要和运营养护管理需求出发，能为结构状态识别和安全评估提供充足的监测数据技术准备；

(4) 充分利用结构对称性原则，并考虑一定的冗余度。

3.2 系统监测内容

为有效地对桥梁结构工作状态和安全性进行监测，尽可能的反映桥梁结构工作状态，桥梁结构安全监测内容和测点布置应根据桥梁的复杂性、重要性、外部环境和荷载作用、结构力学特性等进行设计，同时结合结构病害、同类型结构潜在风险分析以及系统的功能目标，并充分考虑运营期的养护管理需求，兼顾考虑测试手段的可行性、分析方法的可靠性以及项目经费限制等因素。

根据《省公路与运输管理中心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》（浙公运函【2022】3 号）文件建议，同时结合《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）要求，本项目监测内容主要包括以下几个方面：

(1) 3#桥（上行）

监测类别	监测内容	传感器类型	测点数量
作用	结构温度	温度计	10
结构响应	主梁竖向位移	挠度仪靶标	10
	主梁关键截面应变	振弦应变计	10
其他	重车抓拍	高清摄像机	1

注：结构温度和应变共用传感器

(2) 东村桥（下行）

监测类别	监测内容	传感器类型	测点数量
作用	结构温度	温度计	10
结构响应	主梁竖向位移	挠度仪靶标	10
	主梁关键截面应变	振弦应变计	10
其他	重车抓拍	高清摄像机	1

注：结构温度和应变共用传感器

3.3 系统硬件设计

3.3.1 设计原则

系统硬件主要包括外场传感器设备、数据采集传输设备、监控中心数据处理存储与通信设备，以及相关的保护支持设备。监测系统在硬件设备的选择上要满足稳定性、精确性、耐久性、经济实用性、冗余度、可更换性等要求，具体要求如下：

(1) 稳定性：长期监测用传感器及设备必须具备长期稳定性，应保证在使用期限内传感器的量程、精度、线性度等指标不发生变化，避免由于设备自身的变化带来安全评估的错误信息，在高、低温、潮湿、灰尘等自然环境下保持正常稳定的工作：

(2) 精确性：选择传感器时，必须对结构部位的受力进行分析，选择精度满足桥梁监测要求的传感测试仪器及配套仪表，能准确的反映出被测监测项的变化，并应使量程范围处于仪表的最佳工作范围；

(3) 耐久性：由于桥梁工作环境较为复杂，在此环境下，选择的设备应该具有防雷、防尘、防水及防腐蚀等功能；

(4) 经济实用性: 传感测试仪器及配套仪表须有合理的性价比, 满足桥梁结构监测特性及养护管理实用性的要求;

(5) 先进性: 传感测试及采集设备选型时, 应选用国际上技术成熟、性能先进的知名品牌或国内著名品牌传感器, 其工作的稳定性和可靠性在实桥中已予以适用验证;

(6) 冗余度: 考虑到传感测试元件存活率可能出现的问题, 系统设计中部分监测项目的监测点时适当考虑冗余度;

(7) 可更换性: 硬件设备选型时尽可能考虑选择外装可更换性好, 更换时对桥梁本身结构不产生损坏, 并能满足更换时测试数据连续性的产品。

3.3.2 监测传感器

3.3.2.4 主梁挠度监测

在桥梁运营过程中, 外界各种荷载作用于主梁, 主梁的变形量会随着荷载的分布及其大小的不断变化产生相应的变化。作为承受车辆荷载的结构, 主梁挠度(线形)直接反应了桥梁当前的内力状态, 是结构预警和安全评定的重要指标。

本项目选取主梁跨中截面进行监测, 根据监测需求, 选择多点动位移光学传感器作为主梁挠度监测设备。具体技术参数指标如下:



(a) 动挠度采集仪

(b) 目标靶

图 3.3-4 图像型动挠度测试系统

(a) 动挠度采集仪

- (1) 测量距离: 0~50m
- (2) ★测量精度: 0.1mm (50 米测距)
- (3) ★位移分辨率: 测量范围的十万分之一
- (4) ★采集频率: $\geq 10\text{Hz}$
- (5) 供电方式: DC12-24V, POE 供电
- (6) 工作温度: $-20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$
- (7) 防护等级: IP65

(b) 目标靶

- (1) 光源: LED 光源
- (2) 波长: 850 纳米
- (3) 输入电压: DC12V~24V
- (4) 工作环境温度: $-40 \sim +80^{\circ}\text{C}$
- (5) 防护等级: IP67

3.3.2.6 截面应变监测

桥梁关键截面布置应变传感器, 布置断面为桥梁跨中重载车道下方关键截面。应变监测采用振弦式应变传感器, 传感器同时具有测温功能, 同步进行结构温度监测, 其主要性能参数如下:



图 3.3-5 表面应变计

技术参数

- (1) 量程: $3000 \mu \varepsilon$
- (2) ★分辨率: $\leq 0.2\%.F.S$
- (3) ★非线性度: $\leq 2\%.F.S$
- (4) 温度: $-20\sim 60^{\circ}\text{C}$
- (5) 防护等级: IP67

3.3.2.8 视频及抓拍监测

通过视频监控摄像机可以观察并记录桥梁通行车辆通行情况,也可以在桥梁挠度超限报警时抓拍桥梁照片,追溯桥梁的相关信息。技术参数如下:



图 3.3-6 高清球形摄像机

- (1) 传感器: $1/2.8''$ CMOS
- (2) 最低照度: 彩色: $0.005\text{Lux}@ (F1.6, \text{AGCON})$; 黑白: $0.001\text{Lux}@ (F1.6, \text{AGCON})$; 0Lux with IR

- (3) 快门: $1\text{s}-1/30, 000\text{s}$
- (4) 聚焦模式: 半自动, 手动, 自动
- (5) 日夜转换模式: 自动 CR 彩转黑
- (6) 日夜转换方式: 白天, 夜晚, 自动, 定时切换
- (7) 背光补偿: 支持
- (8) 强光抑制: 支持
- (9) 光学变倍: 23 倍
- (10) 信噪比: $>52\text{dB}$

3.3.3 硬件设备的保护措施

传感器及其它硬件设备是健康监测系统的的重要组成部分,硬件设备的安全保证是系统正常运行的保证,在安装过程中应注意硬件设备的保护。

(1) 传感器的保护

传感器属于高精密仪器设备,传感器在安装过程中需进行有效保护主要采取以下保护措施:

- ①传感器安装需按照规范流程安装,保证传感器安装到位后的正常使用。
- ②表面安装传感器安装到位后需使用保护罩。测点传感器安装完成,立即安装保护罩,并做出明显的标记,注明是监测测点。
- ③在长期监测过程中采取措施保护传感器正常工作的环境。

3.4 系统软件设计

3.4.1 采集与传输软件

数据采集与传输软件是系统纽带,负责对传感器系统感应的电压、电流、

频率、光信号等原始模拟信号进行统一采集，并转换为原始数字信号传输至数据处理与控制系统。稳定、高效的数据采集系统对整个结构健康监测系统的有效运转发挥着极其重要的作用。采集与传输软件基本功能要求如下：

- 1) 数据采集与传输模块设计应包括与传感器接口的匹配性设计、信号调理与数据采集方案、数据传输方案设计、软件功能设计与集成方案。
- 2) 数据采集与传输设备应选用兼容性、耐久性和环境适应性好的产品，并应易于维护、便于更换，且采取防水、防尘、防雷、防损坏等防护措施。
- 3) 数据采集、传输设备应与相应传感器参数匹配、兼容，其精度和分辨率不应低于相应传感器。
- 4) 数据采集与传输设备应具备扩展性，满足传感器升级需求。
- 5) 数据采集与传输设备应设置保护、抗干扰措施，避免受温湿度、雷击、过载冲击及干扰源等环境因素的影响并防止损坏。
- 6) 当需进行相关性分析时，数据应同步采集。动态数据采集的同步精度应不大于 1s；静态数据采集的同步精度应不大于 3s。
- 7) 数据采集设备与传感器之间的距离应小于信号的有效传输距离：数据采集设备的设置应考虑数据同步采集的需求。
- 8) 针对地震、船撞等特殊状态，原始监测数据应具有可追溯性。
- 9) 数据采集应能实现定时、触发和手工采集数据。
- 10) 触发采集的设置应符合下列规定：宜根据地震动、振动等动态监测值和应变、位移等静态监测值启动触发采集；触发阈值宜根据桥梁结构规范、桥梁结构计算和现场测试统计值综合确定。

11) 数据采集频率应满足下列规定：应变等静态监测参数的采样频率对监测系统应不低于 1Hz，竖向位移等动态监测参数采样频率对监测系统应不低于 10Hz。

表 3.4-1 系统数据采集频率要求

序号	传感器类型	采样频率
1	振弦应变计	1Hz
2	结构温度	1/600Hz
3	竖向位移	10Hz

3.4.2 数据处理与分析软件

数据处理与分析软件是“处理中枢”，负责利用不同数据处理方法对不同类型的原始数字信号进行包括数据格式转换、误差消除、数据检验、统计分析、可视化等在内的二次处理，软件基本功能要求如下：

- (1) 能够实现数据的预处理，具备数据诊断功能，剔除完全不可信数据，最大可能的消除由于传感器故障或者传输干扰产生的不可信数据对结构评估的影响；
- (2) 应根据监测类别设置对应的处理算法，将处理前的原始数据换算成反映桥梁环境、作用结构响应、结构变化的特征数据；
- (3) 能够合理利用资源并分配任务，与前向及后向模块有序融合。

3.4.3 数据处理

数据处理侧重于数据的实时信息提取，接收来自于自动化在线监测子系统数据。数据处理首先对原始数据进行清洗、整理，并且针对数据的异常现象诊断仪器设备工作状态，根据需要对“干净”数据进行预处理，然后计算

目标监测量, 统计特征参数, 并将结果存入中心数据库。

3.4.4 数据分析

数据统计分析侧重于数据的长期信息提取, 从中心数据库获取经过前处理后的长时间数据, 进行在/离线分析, 通过统计分析、特征提取、数据挖掘的手段来获取隐含特征、长期规则、模型参数, 并将结果存入数据库, 为进一步进行结构损伤识别、安全预警、结构状态评估准备输入特征参数, 提供高效的数据支持与模型支持。

3.4.5 数据存储与管理软件

数据存储于管理软件模块作为监测系统非常重要的一部分, 主要是将处理过的监测数据进行存储和管理, 管理整个健康监测系统收集的桥梁全寿命期的所有监测数据, 并完成数据的存储、查询、归档等。该模块作为桥梁监测数据的管理平台, 为其它系统提供有效的信息源, 也为各应用子系统提供可靠的数据交换与存储平台, 方便开发与使用。其具体功能要求如下:

- (1) 应能接收并解析桥梁现场采集的原始数据, 并具备数据预处理、特征值提取以及数据持久化存储功能;
- (2) 应能定义处理后监测数据的数据单位、数据方向、数据精度;
- (3) 应能够自定义设置、修改各类监测数据的配置参数、处理频率、输出数据格式等;
- (4) 宜采用读写分离、分布式存储、时间序列数据库等技术提升数据存取效率和稳定性;
- (5) 音视频、图片、文档类非结构化数据, 应设计完整的上传、检索、

导出功能, 并分类建立单独的存储目录结构。

3.4.5.1 数据存储

(1) 数据存储策略

面对整个监测与管理系统的海量数据, 有效的数据存储与管理策略才能让各个子系统有机的协调工作。桥梁现场安装数据采集站, 满足存储一定时间原始数据的要求: 经过处理后的数据以及大量的传感器设置信息、设备的设置信息、采样频率等各种参数设置信息、处理过程中的中间信息均存储在远程监控平台数据库中, 供随时调用。为了数据安全, 防止网络中断情况下数据发生丢失, 系统采取两级存储的方式, 网络中断时, 桥梁现场的数据采集工作站照常进行采集工作, 数据存储在本地硬盘上, 网络恢复后, 可自动将数据送往远程中心服务器。

(2) 数据存储结构

整个系统数据类型多样, 每种数据有其自身不同的特点, 根据不同的数据特点, 选择合适其自身的存储方式, 宜以数据库的形式, 对系统运行过程中各系统产生的所有数据分类进行长期储存和统一管理, 不仅可以大大减少其它各系统中的数据冗余量, 提高系统的运行效率, 还可为系统的进一步完善提供重要的历史基础数据。

3.4.5.2 数据管理

数据管理是在数据处理与控制系统框架下, 制定适当的数据采集、传输、存储策略, 通过与对应硬件设备进行协议交互并发出采集任务, 完成从相应传感器读取数据, 然后对这些数据进行复杂计算、转换并统计分析, 得到可

以反映监测项的数据，并提供快速查询、显示接口。

数据管理中存在大量的数据交换，包括人机数据交换和系统与数据库系统之间的数据交换。其中系统与数据库之间的数据交换主要存在于数据采集与处理中，其均按照预设好的规则运行：

系统通过用户界面软件向用户提供统一的使用接口，其中人机交换数据为使用凭证。

3.4.6 用户界面软件

用户界面软件主要是向系统用户提供监测数据分析结果，满足监测管理应用的人机界面。

用户界面软件是本桥综合监测系统与用户交互的窗口，应满足不同使用人员的要求，用户界面软件基本功能要求如下：

- （1）宜采用视觉友好的数据看板，界面应能清晰直观反映数据变化，且符合用户使用习惯：
- （2）宜采用浏览器/服务器（B/S）架构，满足并发访问需求：
- （3）应具备数据的实时展示功能，宜采用图形化方式展示数据：
- （4）系统应具备数据超限管理提醒功能：
- （5）系统可具有挠度联动抓拍相机的重车抓拍功能等：
- （6）应具备用户角色管理、权限控制功能，能够根据用户身份控制系统访问权限。

3.5 .系统配套工程

3.5.1 供电部署

电力系统负责为桥梁健康监测系统的现场硬件设备进行供电，满足系统传感器、采集和通讯设备的电力要求，使监测系统能够正常工作。在桥梁健康监测系统中，现场监测设备运行需提供永久电源，在桥梁现场需提供市电 220V 接入点，并引入现场采集站内，采用供电电缆敷设至供电点，供电点设立配电箱，为防止供电系统突然断电影响系统的正常运行。若桥梁未预留供电点，供电点需要管理单位协调相关部门建设。

由于市电网广泛的提供工、民用用电，因而在电网中存在谐波、电涌、高压尖波脉冲、瞬态过电压等电网干扰，为了防护这样的公害，可在分理站的电源部分应安装隔离变压器、交流净化稳压电源及串并联避雷器等设备，对外部的交流电源进行净化处理。

3.5.2 网络通信

建设涵盖桥梁健康监测的远程通信网络，可以采用多种通信手段，如自建光纤网络、公共网络资源（即采用中国电信、中国联通或中国移动的光纤 SDH/MSTP 网络、4G）、无线等传输网络。根据现场调研情况，桥梁距离监控中心较为遥远，自建光纤网络成本高，公共资源网络能够覆盖本项目桥梁，数据传输网络以租用公共资源网络为主。

3.5.3 防护措施

健康监测系统的各类硬件设备和传输线缆均布设在结构表面，系统在运行过程中不可避免面临了各种复杂环境、人为因素干扰，因此有必要做好设备保护及线缆防护工作。

- ①所有桥面设置传感器均采用保护柜或保护盒进行保护，并做明显标识。

保护柜或保护和非工作人员禁止开启，同时对所涉及的钢结构进行必要的防腐处理。

②所有缆线均需布放在桥架内，大桥主桥架覆盖不到的地方，监测系统需布设自己的桥架或穿线管，桥架采用热镀锌、不锈钢、铝合金材质的防火槽式桥架，穿线管采用包塑不锈钢软管、热镀锌钢管。

③监测系统所有数据采集站防护等级满足使用要求，且设有门锁，非专业工作人员禁止打开，同时机柜安装过程中做好防腐、防盗措施。

3.6 系统安全设计

在桥梁健康监测系统架构设计时，以实际情况和现实问题为基础，遵照国家的法律法规和标准规范，参照国际的安全标准和最佳实践，依据相应等级信息系统的基本要求和安全目标，设计出等级化、符合系统特点、融管理和技术为一体的整体安全保障体系，指导系统的安全防护建设工作。

3.6.1 物理层安全

物理安全保护的目的是使监控中心、采集站计算机、网络设备以及信息系统设备和存储数据的介质等免受物理环境、自然灾害以及人为操作失误和恶意操作等各种威胁所产生的攻击。物理安全是防护信息系统安全的最底层，缺乏物理安全，其他任何措施都是毫无意义的。物理安全主要涉及的方面包括环境安全（防火、防水、防雷击等）设备和介质的防盗窃、防破坏等方面。具体包括：物理位置的选择、物理访问控制、防盗窃和防破坏、防雷击、防火、防水盒防潮、防静电、温湿度控制、电力供应和电磁防护等。

物理位置选择参考相关规范，考虑防震、防风、防雨特征，设置防护装置，控制物理访问，对电力供应、电磁防护、温湿度控制、静电防护、防水和防潮进行施工。

3.6.2 网络层安全

在桥梁群健康监测系统的各层级网络通信中，使用加密的传输方式，避免密码等敏感信息的明文传输。对于保密等级要求较高的桥梁，使用专线进行数据的网络传输，通过物理方式保障信息安全。

3.6.3 数据权限安全

根据二级等级保护要求，系统应提供专用的登录控制模块对登录用户进行身份标识和鉴别，对同一用户采用两种或两种以上组合的鉴别技术实现用户身份鉴别，应启用访问控制功能，依据安全策略控制用户对文件、数据库表等客体的访问，对用户角色进行权限分配；应提供覆盖到每个用户的安全审计功能，对应用系统重要安全事件进行审计；应提供数据有效性检验功能和自动保护功能，当故障发生时自动保护当前所有状态，保证系统能够进行恢复；应能够对系统的最大并发会话连接数、对账户或请求进程占用的资源、服务优先级等进行限制设定。

桥梁健康监测系统通过专用登录控制模块对用户进行身份识别，并根据配置的安全策略来对用户启用相应的功能，并通过日志记录用户的操作历史，对重要的安全事件进行审计。系统对文件服务器、数据库服务器的端口及可访问性做出严格限制，使用白名单机制进行访问控制。

3.6.4 数据库安全方案

数据是桥梁健康监测系统中最为宝贵的财产，而且桥梁健康监测对于桥梁的运维安全相当重要，一旦相关数据损失或泄露，后果不堪设想。在监测系统中，综合使用结构化数据库存储和时间序列存储，用于存储静态和动态数据为保证数据库安全，桥梁健康监测系统在数据库产品选型时，均选用业界主流、成熟产品，同时要注意数据库版本的先进性和可靠性。所采用的数据库系统负荷 NCSC 认证的 C2 级安全标准，应提供严格的数据库恢复和事务完整性保障机制，提供完整的角色管理和自主控制安全机制，要支持软硬件容错，逻辑备份与恢复，物理备份与恢复，在线连及备份和恢复等功能，保证在发生故障和灾难后能够很好地恢复或重构数据库。

3.7 数据分析及报警

3.7.1 子系统架构

数据分析与报警子系统由数据分析系统和报警评估子系统两部分组成。总体框架如图所示。

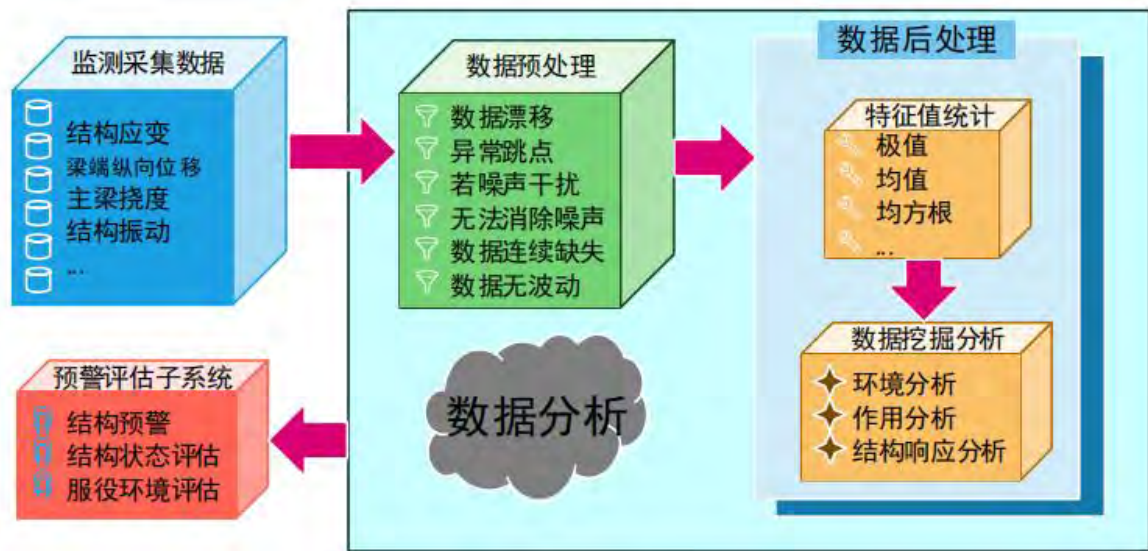


图 3.7-1 数据分析及报警子系统框架

3.7.2 数据预处理

结构健康监测系统工程结构对象所得到的分析评估结果，其准确性和精度与传感器类型和数量、数据采集模块、数据传输模块等硬件设备的性能息息相关，但是信号进行采集的过程中，由于存在着各种各样的环境干扰（如电磁场等），或者传感器固有属性，或者传输电路干扰，硬件设备老化等其他原因，使得进入到测站的数字信号包含干扰信号（即噪声），或者数据存在丢失，不完整，不一致，造成了采集获取的监测信号不能够反映实际工程结构对象的真实信息。因此，针对自动化数据采集系统获取的信号，必须进行前处理，尽可能的获取反映结构对象真实状态的信号。同时为数据的后处理提供有效的数据支持。

数据预处理旨在对采集的原始数据按照一定的判别准则，判断数据质量好坏，针对数据存在的“病症”，结合不同类型传感器、采集设备的特征，做出各种仪器设备自身是否处于正常工作状态，以及故障可能原因的诊断以及维修建议，通知现场相关人员对仪器设备进行故障排查检修工作。同时，针对异常数据的不同表现形式，采取纠正不一致数据，消除异常数据，修补遗漏数据，平滑噪声数据等相应的措施，为后续的分析处理准备干净整齐的数据。监测数据可分为静态类和动态类，针对不同数据类型，数据异常判断及相应预处理方法如下表所示。

图 3.7-1 数据分析及报警子系统框架

数据类型	数据异常类型	判断方法	处理方法
静力数据	异常跳点	差值 n 倍标准差	剔除

数据类型	数据异常类型	判断方法	处理方法
	数据缺失	长时间无数据采集	报警
	弱噪声干扰	弱环境激励明显测点	平滑滤波
	时变数据的趋势项干扰	温度影响明显监测项	去趋势项
	数据连续无波动	相邻差值连续为零	剔除
	数据飘移	数据连续超限	数据平移
振动数据	数据缺失	长时间无数据采集	报警
	无法消除强噪声	PSD 分段峭度	剔除
	弱噪声干扰	弱环境激励明显测点	平滑滤波
	数据连续无波动	相邻差值连续为零	剔除
	数据飘移	/	去均值处理

3.7.3 数据后处理

为进一步获取结构的实际受力状态，评估结构的服役水平，对预处理后的监测数据进行后处理分析。后处理分析包括监测数据的极值、均值等特征值统计和数据挖掘分析。

健康监测系统数据分析系统根据所涉及监测项指定，参照交通部技术规范要求，数据分析系统软件清单如下表所示。

表 3.7-2 数据分析软件清单

分析类别	监测项目	分析项	分析指标
作用监测	结构温度	统计分析	最大值/最小值/平均值
结构响应	主梁挠度	统计分析	最大值/最小值/平均值
		主梁线形变化	主梁相对变形图
	静应变	统计分析	最大值/最小值/平均值
		应力五度指标	安全度/承载度/异常度/振荡值/动向指标
综合分析	主梁挠度	变形校验分析	校验系数

分析类别	监测项目	分析项	分析指标
	各监测项	相关性分析	相关性时程
			相关性散点图

3.7.4 结构安全报警机制

结构健康监测系统结构安全报警总体框架如图 3.7-2 所示。

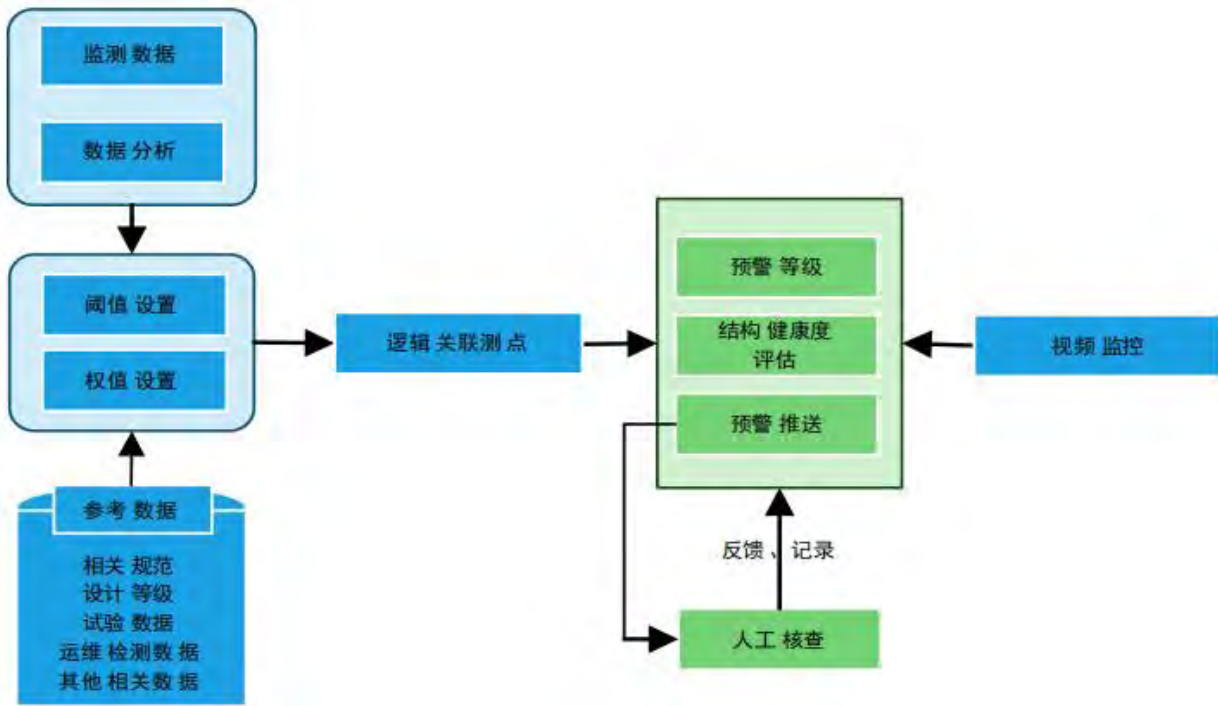


图 3.7-2 结构安全报警系统总体框架

3.7.5 报警状态的判别

结构监测报警阈值的设定宜按照以下原则确定：

- (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) 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；
- (3) 兼顾桥梁定期检查及技术状况评定结果设定报警阈值；
- (4) 依据桥梁使用状况和系统运行状况在后期可对报警阈值进行动态

调整。

结构监测报警阈值设计参照《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）设定如下表所示。

表 3.7-3 结构监测报警设置

报警类别	报警内容	报警阈值	超限级别
作用	混凝土构件温度	达到设计值	一级
结构响应	主梁竖向位移	大于 0.8 倍设计值	二级
		大于设计值或一个月内发现 10 次以上黄色报警	三级
	主梁关键截面静应变	超过历史最大值	一级
		超过设计最不利工况计算值	二级
监测数据分析	主梁下挠	持续下挠	三级
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	超过 5%	二级
		疲劳损伤指数达到 0.1	三级

3.7.6 结构健康度评估

1、桥梁结构健康度包括结构整体健康度和结构构件健康度，等级宜划分为I基本完好、II轻微异常、III中等异常、IV严重异常四级，评定依据见下表。

表 3.7-4 桥梁结构健康度等级评定依据

健康度等级	结构构件	结构整体
I 基本完好	2a) 中所列监测数据无超限	2b) 中所列监测数据超限等级全部为一级或无超限
II 轻微异常	2a) 中所列监测数据超限等级一	2b) 中所列其他监测数据与分析结果超限等级

健康度等级	结构构件	结构整体
	级	仅有 1 项为二级、无三级
III中等异常	2a) 中所列监测数据超限等级二 级	2b) 中所列监测数据与分析结果超限等级出现多项（2 项及以上）二级或 1 项三级
IV严重异常	2a) 中所列监测数据超限等级三 级	2b) 中所列监测数据与分析结果超限等级出现多项三级；或多项构件健康度严重异常

2、宜通过监测数据分析、并与超限阈值比较，进行桥梁结构健康度评估，评估参数包括：

1）构件健康度表征评估参数：采用梁端纵向位移、关键截面应变、裂缝等监测数据；

2）结构整体健康度表征评估参数：采用主梁竖向位移、主梁振动等监测数据，以及主梁持续下挠变化、剔除环境影响的桥梁主要频率变化等分析结果。

3、也可以通过损伤识别和模型修正建立可靠的有限元模型，将计算的结构响应和结构变化结果与表 3.7-3 中超限阈值进行对比，参考表 3.7-4 进行桥梁结构健康评估。

3.7.7 预警信息反馈

实时预警信息内容主要包括：结构健康度评估结果、预警级别、预警构件/荷载，报警传感器编号和位置、报警监测值和预警值，对应信息接收人如表 3.7-5 所示。

表 3.7-5 实时报警信息表

序号	报警信息	报警方式	接收人	采取措施
----	------	------	-----	------

序号	报警信息	报警方式	接收人	采取措施
1	II 轻微异常	电子邮件	我单位数据维护员管养单位桥梁工程师	I: 桥梁工程师现场检查桥梁概况 II: 我单位桥梁季度检查期间重点关注、核对与跟踪
2	III 中等异常	电子邮件及短信	我单位数据维护员管养单位桥梁工程师	I: 桥梁工程师现场检查桥梁概况 II: 我单位数据维护员次日现场检查 核对报警信息
3	IV 严重异常	电子邮件、短信及口头通知	我单位数据维护员我单位项目负责人管养单位桥梁工程师主管领导	I: 桥梁工程师现场检查结构安全状态, 必要时紧急封闭交通 II: 我单位项目负责人及数据维护员即刻到达现场检查桥梁安装状态, 必要时协助封闭现场交通

3.7.8 监测数据分析

服务方在后续服务期内，需向业主提供数据分析报告，每年提供桥梁数据运行报告，并提供养护维修建议，如发生特殊事件，如台风、地震、超重车辆等，应及时提供数据分析与评估报告，并提出相应的养护建议。包括以下内容：

根据对监测系统的监测数据进行分析，获取大桥各监测项的统计最大值、最小值、平均值，进行结构内力状态识别、恒载状态对比分析、趋势分析、动力特性识别、车辆荷载校验系数分析、安全性评估、耐久性评估，提交年度综合评估报告；桥梁运营中发生的突发事件如台风、地震、特殊车辆过桥的事件，根据监测系统的监测数据进行结构安全性分析，并提交特殊事件分析报告。

3.7.9 分析成果的交付

按照桥梁结构监测实施及运行期间可能出现的情形，在技术服务期间提交的结构安全分析成果主要包括：

（1）结构监测系统运行报告（每季度一册）；

基于各个监测项目数据进行阶段分析，对桥梁服役状态进行综合评估并给出养护建议，同时对监测系统工作状态进行跟踪维护。

（2）结构监测预警报告（根据实际按事件实时发出）；

当监测系统给出预警信息时发出，对应内容包括预警信息记录、人工现场核查结果、预警信息分析结论、预警对应处置意见。

（3）特殊事件应急报告（根据实际按事件实时发出）；

桥梁在地震、车辆超载、船撞等特殊事件时发出，对应内容包含结构健康度评估及特殊事件数据分析应急管理措施决策。

3.8 数据接口开发

根据交通运输部公路局在 2021 年 3 月 20 号召开现场调研会指示精神，为满足系统数据接入部省平台需要，分析 3#桥及东村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《公路桥梁结构监测技术规范》统一的数据标准、接口规范要求，开发数据传输接口服务，实现 3#桥及东村桥监测数据及业务数据顺利接入部省健康监测平台。

3.8.1 数据交互架构

系统平台总体交互主要涉及到省级监控中心、区县监控中心和桥梁现场

三级平台的数据交互，数据主要交互流程为：首先，分布在桥梁现场的数据采集站将健康监测数据、报警数据等实时传送长兴监控中心，由区县监控中心进行数据归集、汇总与管理；其次，区县监控中心的数据接口服务器负责与省级平台进行数据通信，将本桥健康监测数据以约定好的数据接口协议，打包发送给省级监控平台；最后，省级监控平台的数据接入服务器负责接收、解析、存储单桥发送来的健康监测及报警数据，并将汇总整理后的数据发送省级平台界面展示，实现单桥数据的接入。

3.8.2 业务数据接口

由于本系统未来要汇总接入省级及国家级健康监测平台，而目前各地建设的桥梁监测项目和设备的均不相同，难以建设统一的数据交换平台。

Web Service 是一种新的 web 应用程序分支，是自包含、自描述、模块化的应用，可以发布、定位并通过 web 端调用。Web Service 可以执行从简单的请求到复杂商务处理的任何功能。一旦部署以后，其他 Web Service 应用程序可以发现并调用它部署的服务。Web Service 是一种应用程序，它可以使用标准的互联网协议，像超文本传输协议（HTTP）和 XML，将功能纲领性地体现在互联网和企业内部网上。可将 Web 服务视作 Web 上的组件编程。Web 服务是建立在一些通用协议的基础上，如 HTTP，SOAP，XML，WSDL，UDDI 等。这些协议在涉及到操作系统、对象模型和编程语言的选择时，没有任何倾向，因此将会有很强的生命力。但具体到 Web 服务编程时，.NET 和 J2EE 有一些区别。.NET Web 服务可用 C#，VB，JScript 等语言编写，还能利用一些 Windows 资源；而 J2EE Web 服务一般使用 JAVA 语

言及 J2EE 资源，像 Bean，EJB，CORBA 等。它们在编程环境，语法结构，管理配置等方面也各有自己的特色。.NET Web 服务用 JAVA 语言实现了.NET 类库中提供的 Web 服务 APIs。它能把用户用.NET 开发的 Web 服务移植到与平台无关的 JAVA。因是 JAVA，故也可利用 JAVA 的资源。实际上，Web Service 的主要目标是跨平台的可互操作性。为了达到这一目标，Web Service 完全基于 XML（可扩展标记语言）、XSD（XML Schema）等独立于平台、独立于软件供应商的标准，是创建可互操作的、分布式应用程序的新平台。

3.8.3 监测数据接口

对于大桥实时监测及报警数据等实时性要求较高的数据，本系统按照《公路桥梁结构监测技术规范》统一数据接口要求，设计通用数据接口、车轴车速仪数据接口（采集车辆荷载监测项数据）两种类型数据接口形式。

单桥系统以 UDP 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区县监控平台数据接口服务器，平台通过对报文数据的解析，实现监测数据的存储及展示。

3.8.4 数据接口模块开发

要实现 3#桥及东村桥监测数据的转发及平台端接收显示，在单桥端开发数据传输软件，实现监测数据的分流、打包及 UDP 转发功能。同时在长兴平台端开发部署数据接收软件，实现数据的接收，解包及存储管理，满足平台查询展示的需要。数据转发软件按照不同监测数据类型采用对应的监测数据接口格式对监测报警数据 Packet 打包，通过 VPN 专网将数据发送长兴监

控平台。长兴监控平台部署的数据接收软件对接收到的数据进行解压、预处理、数据校验等，并将处理后数据分为两路，一路以数据流形式发送 Web 服务器，实现实时数据展示，另一路存储录入平台中心数据库，实现历史数据存储管理。

4. 系统实施

4.1 总体部署

本工程将依据工程施工条件和施工特点，并结合施工组织计划，在机械设备、劳动力、材料的组织、技术工作等方面做好充分的准备，选择合适的施工方案，以确保有序、优质、安全、高效地组织生产，达到预期目标。本工程总体施工部署包括施工准备、施工组织实施、验收三大方面的内容，分为四个阶段进行实施：

（1）第一阶段：施工准备阶段

主要进行现场准备、设备及材料准备和人员技术准备等工作，重点包括图纸会审、项目部组建、施工场地准备工作等，为施工创造良好的条件。

（2）第二阶段：现场设备安装调试阶段

主要进行现场施工平台建设、传感器、采集仪、现场采集站的安装调试工作。

（3）第三阶段：软件系统安装调试阶段

主要进行监控中心端、现场端软件开发、安装部署及调试工作。

（4）第四阶段：验收阶段

主要进行现场收尾、系统联调运行和资料整理工作，是确保项目验收的关键，应做到工完场清，系统运行正常，工程资料完善。

4.2 准备工作

（1）现场准备

- ①布置好现场临时水、电及机械设备安装调试，为施工做好准备；
- ②设置好消防、保安设施，建立消防保安等组织机构和有关的规章制度，

布置好消防、保安设施，并派专人进行检查落实。

- ③及时做好施工方案、技术交底、安全交底等，并以书面形式层层落实。

（2）设备、材料准备

确定材料进场时间并及时组织拟进场材料的质量检测工作，所有材料必须经检验合格后方可使用，工程施工所需的各种材料应提前采购备货，并由机料管理人员清点后统一运至项目驻地；制定施工器具计划，落实设备配置，确保机械设备处于良好工作状态。施工期间所需的登高作业车、桥检车及其他辅助措施应提前做好沟通协调，以确保施工期间的人力、物资的运输。

（3）人员准备

由经验丰富的技术人员组建项目部，项目组实施前，相关的管理人员、技术人员和施工人员提前进场进行现场勘察，并对现场施工人员做好安全、技术交底。

（4）雨季施工准备

本工程施工期间，可能遭遇南方地区大雨、台风季节。因此，必须做好充分的准备。

- ①取得气象部门的服务资料，以便及时采取有效防范措施和生产安排。
- ②随时做好防台风袭击的准备，设备应充分考虑抗击台风影响的可能性。
- ④充分考虑大雨可能造成影响，做好排水措施，做好防汛工作。
- ⑤施工时要充分考虑雷击的影响，做好防雷措施。

（5）消防准备

做好防火工作，配备足够的消防器材、沙箱等。建立健全的消防管理制度。

4.3 设备安装

4.3.1 传感器安装

传感器安装应符合下列规定：

- （1）传感器和配件的类型、型号、数量和安装位置应满足设计文件要求。
- （2）传感器附近应有牢固、字迹清晰、内容完整的固定标识牌，且安装信息文档的内容应完整、清晰、准确。
- （3）传感器及配件安装应牢固和端正，防止在桥梁长期运营振动过程中松动脱落，应无明显的破损、变形、划伤、刻痕、剥落和锈蚀，引出线缆和插接接头应有有效的保护。
- （4）传感器工作性能应正常，安装位置偏差、安装角度偏差应符合安装要求。

4.3.2 线缆敷设安装

所有传感器安装完毕后按照布线设计进行线缆布设及保护槽的安装。线

缆及槽的安装遵循以下原则：（1）满足使用要求；（2）安装的美观大方；（3）考虑维护及维修需要。

线缆敷设安装应符合下列规定：

- （1）线缆敷设图纸材料、归档资料齐全，符合设计规定。
 - （2）支架、桥架安装端正、稳固，配件齐全，无锈蚀，螺栓连接牢靠。
 - （3）桥架底部应高于地面 2.0m，顶部距离建筑物应大于 0.3m
 - （4）电缆和数据信号线缆分隔布设；线缆排列整齐、有序，绑扎牢固，无机械损伤，线缆两段标签应装设齐全、正确、清晰。
 - （5）线缆布设在线槽中在无法布设线槽的位置，使用软管保护线缆。
- 信号电缆及电力电缆通过数字万用表进行检测，避免出现短路和断路的情况。光缆的连接情况通过红光源和光纤解调仪进行检测。

4.3.3 终端设备安装

现场监测站通常需包含以下设备：交换机、光开关、解调仪、各类信号调理器、数据采集仪、供电设备等。终端设备安装应符合下列规定：

- （1）设备的合格证书、产品说明书和操作说明书齐全；设备的设计文档、接线方式，以及安装记录齐全；设备标识整齐清楚。
- （2）机柜安装牢固，垂直偏差不大于其高度的 1%，机柜强度满足规范要求，有可靠接地措施。
- （3）机柜内的配电模块和串接用电设备安装正确。
- （4）终端设备的安装牢固，进、出线孔防水处理有效，机柜内有足够的安装和维修空间。

(5) 设备通电后, 各设备的供电正常; 设备的各级熔丝规格满足设计文件要求。

4.3.4 采集站安装

采集站的主要作用是安装数据采集设备, 负责现场各类传感器的数据采集、数据在线分析、数据存储以及数据传输。采集站安装应符合下列规定:

(1) 机柜门的最大开启角度不应小于 90° , 室外机柜门开启时, 应能防止外部积水进入机柜。

(2) 机柜安装位置与招标文件的偏差应小于 30mm。

(3) 机柜内设备与机柜应连接牢固, 铆钉或锚固落幕应排列整齐, 铆接面无下凹、变形和破损。

(4) 数据采集和传输设备应安装整齐美观。

(5) 电线铺设应无绞拧、护层断裂和表面严重划伤。

同时, 传感器的数据传输线都将汇集于现场采集站, 采集站数量和位置直接决定着各类传感器数据传输线的长度。需要注意屏蔽电缆传输距离不能超过 800 米, 否则信号衰减和噪声干扰便会很大, 传感器信号质量将受到较大的影响。现场测站位置应选择在所有传感器布设区域的中间位置附近, 以减少光缆对信号传输的损耗, 并避开过往车辆、行人, 做好防护, 防止出现人为破坏。

4.3.5 安装验收参数

(1) 传感器系统的验收应满足下列要求:

①传感器工作性能应满足出厂说明文件规定。

②保护装置应可靠有效, 对于埋入式传感器引出线缆的长度不应小于 1m。

③建立包括传感器类型、型号、数量、编号和通道的安装信息文档。

(2) 线路敷设的验收应满足下列要求:

①数据传输系统工作性能应满足招标文件规定, 数据传输应稳定可靠。

②应建立包括线缆和设备类型、型号、编号和接口的安装信息文档。

(3) 采集子站的验收应满足下列要求:

①硬件设备工作性能应满足说明文件规定。

②软件工作性能良好。

③设备和线缆接头处应有清晰明显的标识。

4.3.6 安装注意事项

(1) 桥梁健康设备安装不应破坏原有桥梁主体设施;

(2) 监测设备基础位置、高度及有关基础护坡处理, 应严格按照有关图纸和监理工程师的意见处理。

(3) 接地装置应严格按照图纸和《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》(GB50169-2006) 要求, 配合基础同时进行施工, 隐蔽部分应在覆盖前及时做好中间测试, 检查和验收。

(4) 本项目安装的强弱电箱、设备箱需核实现场尺寸后方可加工生产。

(5) 本项目在施工时需对现有设施做好保护工作, 以防止损坏。

(6) 本项目图纸是在原有施工图的基础上设计的, 现场施工接线时需核实现有设备接线; 对于控制、通信系统的接线需在厂家指导下实施。

(7) 本工程未尽之处应参照国家有关规定、规范及标准施工。

4.4 交通组织方案

本项目中设备安装实施对交通运营有一定影响,为保证施工期间不中断交通或减少影响,施工单位应根据具体情况制定合理的交通组织设计。

4.4.1 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,路面施工应分幅、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。

由于本项目路段交通量较大,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路段巡查。

4.4.2 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 施工路段的道路状况。

(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

本项目为国道一级公路，采取封闭最外侧车道的方式进行施工作业，作业控制区布置方案如下（具体以当地交管部门批准方案为准）：

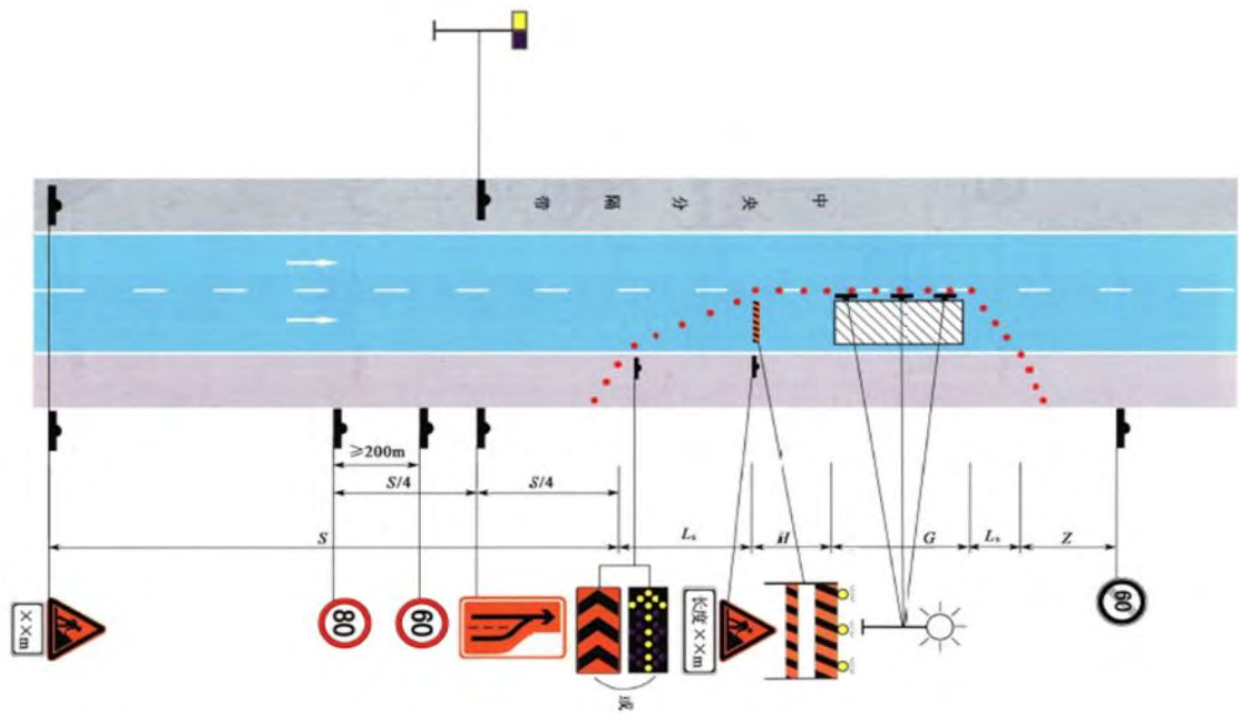


图 4.4-1 作业控制区布置方案

（4）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上报及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。

（5）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，再配备相应

安全设施预备，用于设施的及时更换、完善。

（6）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，设立保畅值班小组，制定值班人员工作职责。安排人员轮流值班。

4.4.3 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：

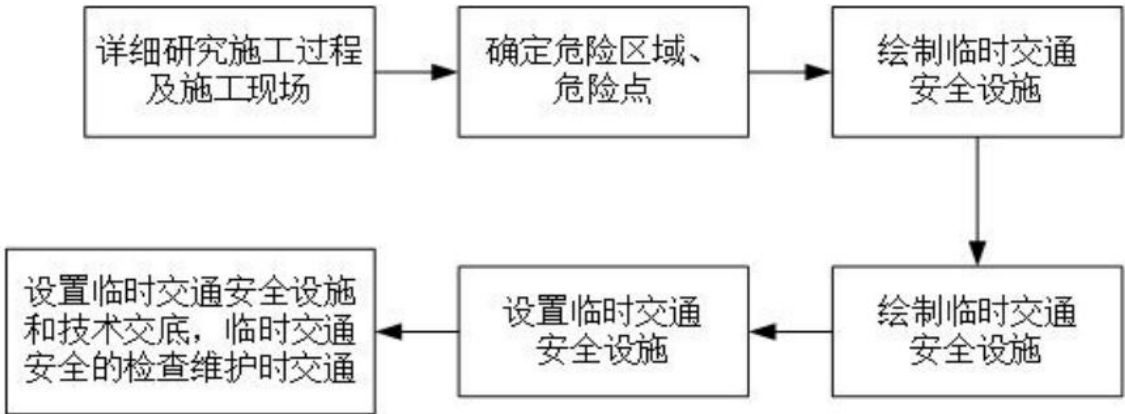


图 4.4-2 临时交通安全设施的设置步骤图

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。

4.5 质量安全保障措施

（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设计图纸现场进行核对检查，如发现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，定期进行体格检查。

（5）现场施工前，应对施工材料、机具、劳保用品进行数量、质量检查，确保施工过程物料充足、机具运行正常、劳保用品防护到位。

（6）现场施工前，应对施工进场人员进行安全、技术培训，培训合格后方可上岗。

（7）现场施工时，施工人员应严格遵守相关操作程序，严禁酒后上岗、岗上打闹等。

（8）施工人员（尤其高空作业人员）施工作业时，务必做到安全第一，防护用具先行，每动一步，防护先行一步，确保施工作业时的安全作业，将

施工风险降到最低。

（9）现场施工材料、用具等应放到安全稳定位置，并加以固定，防止掉落后，丢失或砸伤人员。

（10）确定工程质量、安全负责人及负责小组，对施工安全、质量进行监督和检查，排除安全、质量隐患，对安全事故进行应急处理。

（11）每日施工完成后，对施工材料、机具进行清点，防止丢失或掉落后砸伤人员。

（12）施工完毕后，对施工现场进行清理，防止施工材料、机具的丢失。

4.6 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设计图纸现场进行核对检查，如发现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，定期进行体格检查。

5. 系统验收

系统验收应依据合同文件、批复的设计文件、业主单位签发的设计变更以及相关规范进行。系统验收应包括硬件验收、软件验收和资料验收三部分。系统验收的要求依据《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）的规定。

5.1 硬件验收

硬件验收应包含以下内容：

- （1）进场设备材料的数量、规格型号、技术参数等与合同文件、设计文件的一致性，合格证、质保卡、说明书及出厂检验报告是否齐全；
- （2）传感器安装位置正确、牢固、端正，表面平整，与结构物接触面紧密，采取必要的防腐防护措施，信号线按要求连接到位；
- （3）数据采集设备处于正常工作状态，机柜内电力线、信号线、元器件等布线平直、整齐、固定可靠，插头牢固，出线管与箱体连接密封良好，机柜内无积水、尘土、霉变，金属机柜与接地连接可靠，接地引出线无锈蚀；
- （4）光电缆线路敷设与数据中心设备安装应满足《公路工程质量检验评定标准第二册机电工程》（JTG 2182-2020）的相关要求。

5.2 软件验收

软件验收应包含以下内容：

- （1）数据采集与传输软件功能完整性和一致性检查，能够正常采集、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件要求；
- （2）数据处理与管理软件功能完整性和一致性检查，能够正常接收、

处理、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件要求；

- （3）用户界面软件功能完整性和一致性检查，各软件模块功能满足设计文件要求，静态基础数据、实时监测数据、历史统计数据等各类数据准确、齐全；

- （4）软件整体请求响应速度、数据刷新率等性能指标满足设计文件要求；

- （5）系统整体安全性检查，确保满足设计文件中对于网络信息安全相关技术要求。

5.3 资料验收

资料验收主要检查文档的齐全性、规范性和一致性，应包含以下内容：

- （1）合同相关资料：合同协议书、招投标文件、系统设计文件等；
- （2）实施过程资料：系统施工图设计文件、系统变更资料、监测设备设施安装记录、软件设计说明书、监理资料、有关会议纪要；
- （3）交工验收资料：系统实施工作报告、系统竣工图、硬件维护手册、软件操作手册、系统试运行报告。

5.4 验收方式

硬件验收宜采取阶段验收的方式，根据硬件进场及安装进度分阶段进行，硬件进场验收合格后方可进行安装调试。软件验收宜采取现场功能演示的方式，软件实际功能和性能应符合设计文件中相关要求，功能覆盖率应不低于设计文件要求的 95%。阶段验收合格、软硬件联合调试后，系统可进入试

运行,试运行期宜为 3 个月,系统试运行状态分析内容包括:各类型监测数据统计分析;结构响应超限阈值分析,结合理论分析和试运行情况确定安全预警超限阈值;综合评价大桥健康监测系统的运行状态,数据完好率宜不低于 90%。试运行结束,且在此期间数据采集、存储、展示、查询等功能正常,应组织交工验收。交工验收应由业主单位组织开展,宜采用会议验收的方式,并形成验收意见,在验收合格后应及时开具验收证书,作为系统交付使用的依据。

6. 系统维护及人员培训

6.1 结构监测系统运行一般特点

根据以往项目经验,总结结构结构监测系统、监测设备和工作人员素质呈现如下特点:

- 1) 网络系统故障较少;
- 2) 监测设备一般运行良好,故障较少;外场传感器故障较多发;
- 3) 运营养护团队员工素质和技术专业水平在近年逐步提高;
- 4) 进口的监测设备产品,存在维修周期较长等问题;
- 5) 投入运营后,由于监测数据量大增,易存在服务器超负荷运转状况;
- 6) 受自然环境的侵蚀,特别是桥面设备、光纤线路易损、易老化。

6.2 系统运维管理

6.2.1 管理模式

专设一个运营维护团队,分为监测系统运营维护组和监测数据评估组。

1) 一般运营维护方式

- (1) 每年一次维护。工程师对网络设备、健康检测系统设备的维护;
- (2) 发现异常及时分析与判断,快速做出响应并按单位相关流程程序执行;
- (3) 当出现故障时,工程师第一时间赶赴现场,迅速按单位故障流程和应急处理流程执行;
- (4) 网络设备工程师、软件工程师、数据分析工程师各自按自己的职责,每天对网络系统各个部分实时检测;
- (5) 网络设备工程师、软件工程师、数据分析工程师和维护工程师每年对结构监测系统设备和数据进行汇总分析,判断系统运行的状况;
- (6) 每次上桥维护与维修作业,与桥梁养护管理单位等进行沟通,确保各项作业工作进行和工作人员、车辆的安全;
- (7) 每年向业主递交一份设备运营维护、维修报告;
- (8) 特殊情况或重大设备故障,及时向管理部门汇报,并详细说明相关处理方案。

2) 特定情况运营维护方式

重要领导来访、节假日前对系统各个设备进行安全维护巡查;
在台风、暴雨、冰冻、大雪等自然灾害来临的前后,对系统各个设备进行安全维护巡查;

6.2.2 系统运维管理内容

结构监测系统为专业服务系统,运营过程中需要桥梁结构工程师、软件

工程师、维护工程师和值班人员共同完成。

1) 日常系统管理

(1) 结构健康状态页面的日常监控

值班人员通过结构监测系统中结构健康状态页面，按各监测内容及不同的实时监测区段，及时掌握各实时监测内容当前的实测数据和报警情况。如值班人员发现异常情况，及时通知维护工程师确认异常现象，以便采取进一步措施。做好日常记录和故障记录。

(2) 设备工作状态页面的日常监控

值班人员通过结构监测系统中设备工作状态页面，对传感器模块、数据采集及传输模块、数据处理及管理模块的所有硬件设备工作状态进行监视；值班人员可通过该页面直观地了解结构监测系统所有设备当前的实时工作状态及设备报警信息。如发现异常情况，及时通知维护工程师进行确认，以便采取进一步措施。做好日常记录和故障记录。

2) 数据维护管理

数据维护工程师主要负责结构监测系统采集数据的收集、分析工作，同时负责结构监测系统基础数据的收集、整理、预处理和录入维护工作。

基础数据包括型号信息、设备信息、位置信息、通道信息、监测项目、布置图和预设显示方案。

数据维护工程师需按照桥梁结构工程师确认的基础数据进行日常维护，包括基础数的添加、修改、删除等操作。数据维护工程师可进行维护的基础数据包括型号信息、设备信息、位置信息、通道信息、监测项目、数据采样

制度和评估体系。

3) 运营养护管理

(1) 设备的日常定期维护

系统维护人员根据预定的系统养护计划，定期对全桥所有监测设备进行专业维护，以保证设备始终处于高效的运转状态。初步拟定，当前对主要的外场设备每个半年均进行一次定期维护工作。

(2) 故障设备的检修维护

维护工程师每日对设备运行情况进行初检、分析和记录归档，严格按维护流程规定执行维护计划，对要维护、维修个更换的设备记录详尽，有据可查。对各个设备运行的性能要具有可预测性和判断准确性，及时向管理所提出详尽的运营维护建议、措施和方案。

(3) 运营维护工具管理

运营维护要在每次运营维护之前，对汽车、工具、设备钥匙、安全锥和荧光背心等必须认真、仔细的检查，并对使用情况做好详细记录。发现问题及时维修与更换。

(4) 运营维护制度与安全管理

定期对员工进行运营维护 and 安全性教育，做到所有人员仪表端庄，态度认真，遵章守纪。运营人员不得擅自离岗和脱岗，维护人员时刻牢记安全作业的思想，做好各项安全防范工作。

6.3 培训方案

6.3.1 技术服务

在监测系统安装、调试、试运转以及整机质量保证期内，业主应派遣必要数量的有资格、有经验、有技术、健康、能胜任工作的技术人员（须为专业工程师）到项目现场从事技术服务工作，在正确安装维修、故障排除及操作使用等方面为项目提供技术上的帮助和支持，以保证系统能顺利投入使用。

6.3.2 技术培训

合同生效后，承建方要为业主的操作和维修人员提供必要的技术培训，并应设计编写专业的培训教材或资料及操作培训资料。免费提供安全、维修和操作规程、培训。

培训在项目监控中心进行，承建方只需派遣培训专家到项目监控中心进行培训，要注重现场培训，实际动手操作的培训。

（1）培训对象

要求业主组织相关称职的人员、值班人员、安全技术人员等参加在线监测系统的培训。

（2）培训目的

通过培训，应使业主熟练并掌握本系统的操作和日常维护，并具备独立工作的能力。

（3）培训安排

培训主要分为室内培训和室外培训，室内指在监控中心对参加培训人员进行软件、监测系统和监控中心硬件设备的培训，室外指现场监测设备异常问题处理、点位具体功能的相关培训。

初步规划在监测系统进入试运行后，组织为期 2 天的培训，培训次数至

少在两次以上，视参加培训人员数量和具体掌握情况再制定详细的培训计划。培训过程中我们将理论结合实践，以通俗易懂的词语代替专业名词，保证所有参加培训人员都能够充分理解在线监测系统的目的和意义，确保每 1 位人员都能够熟练并掌握本系统的操作和日常维护，并具备独立工作的能力。

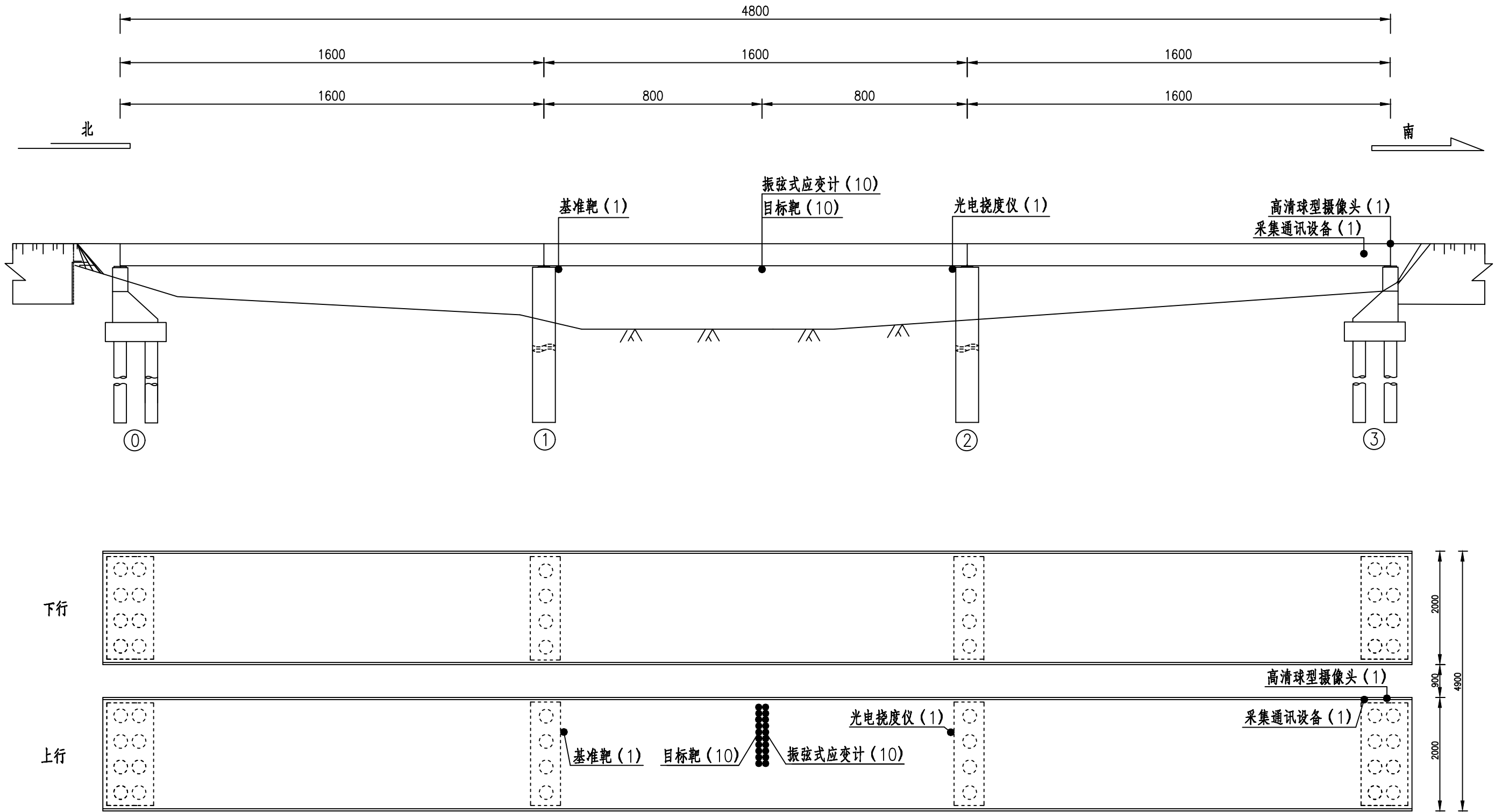
7. 工程量清单

序号	项目	分项	单位	数量
1	主梁竖向位移监测	图像法动位移监测仪	套	2
		监测仪安装支架	套	22
		监测红外目标靶	套	22
		设备支架及防护罩	套	22
2	特殊事件监测	安装立柱及基础	套	2
		高清球型摄像机	台	2
		球机壁装支架	套	2
3	结构应变监测	振弦式应变传感器	套	20
		不锈钢防护壳	套	20
4	数据采集传输设备	现场采集工控机	台	2
		振弦应变采集分析仪（16 通道）	台	2
		工业级交换机	台	2
		网络智能运维单元	台	2
		12V/24V 开关电源	套	4
		信号及电源防雷	套	2
		4G 无线断路器	台	2
		轻量化设备综合机柜	套	2
5	线缆及防护	RVV3*4mm2	米	600
		UTP-5E 网线	米	400
		RVV2*1.5	米	400
		RVVP4*0.5	米	900
		桥架及综合布线管	米	300
6	传输及调试	数据采集与传输中台	座	2
		区县平台连通性调试	项	1
		省级平台连通性调试	项	1
		突发结构性报警数据推送	年	3
		结构状况评估	项	2

序号	项目	分项	单位	数量
		系统软硬件调试	项	2
		传感器初值及预警值标定	项	2
		系统试运行	项	2
		专项作业车租赁	台班	10
7	运维	设备及系统维护	年	3
		用户使用培训	项	1
		监测数据人工处理与分析（含季度、年度、特殊事件）	年	3
		系统电费	年	3
		网络通信费	年	3
8	安全生产费		项	1

第二篇 设计图纸

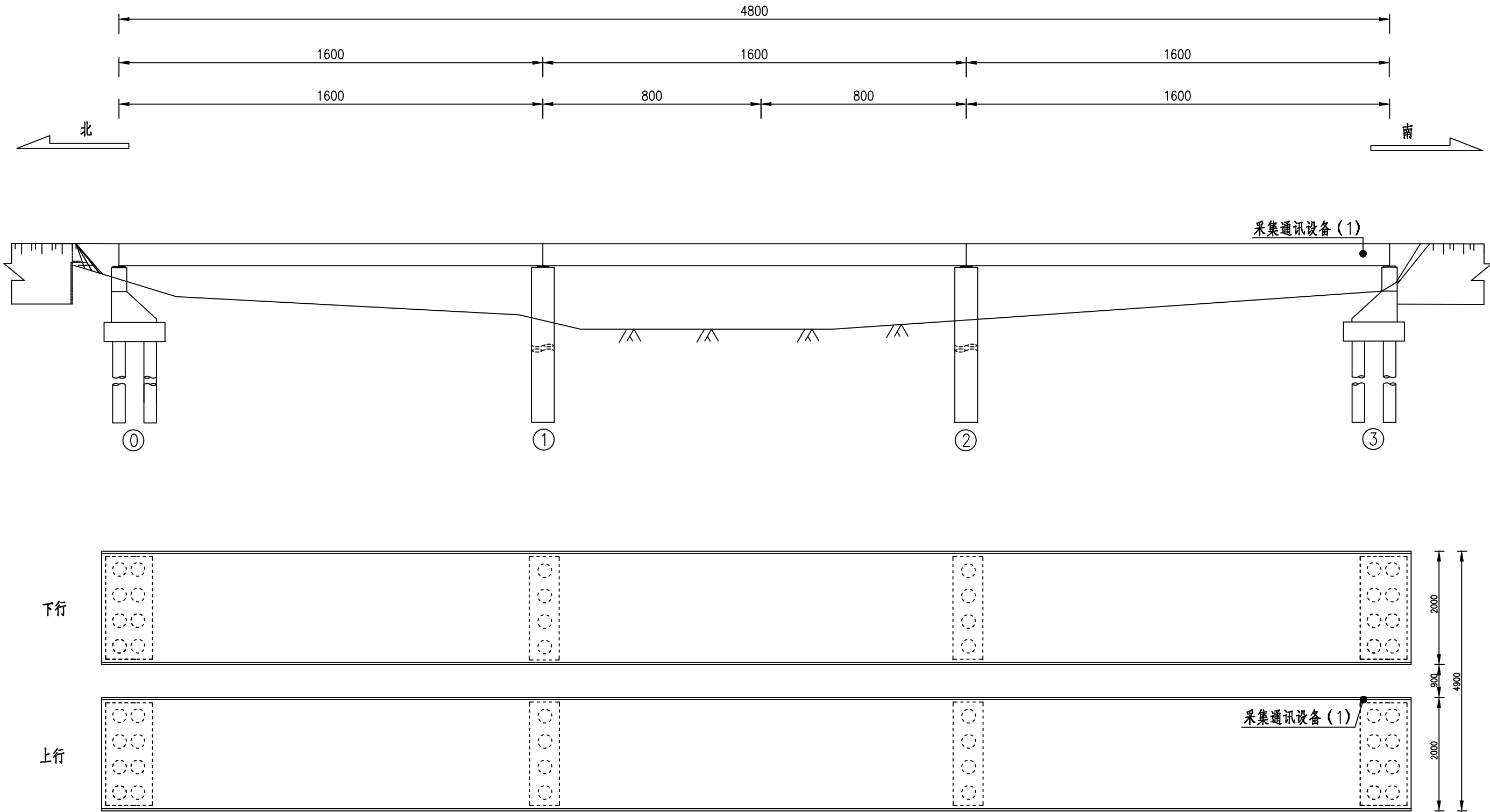
监测系统测点总体布点图



注:

1. 本图尺寸以厘米计;
2. "●"为测点位置.

采集通讯设备布点图

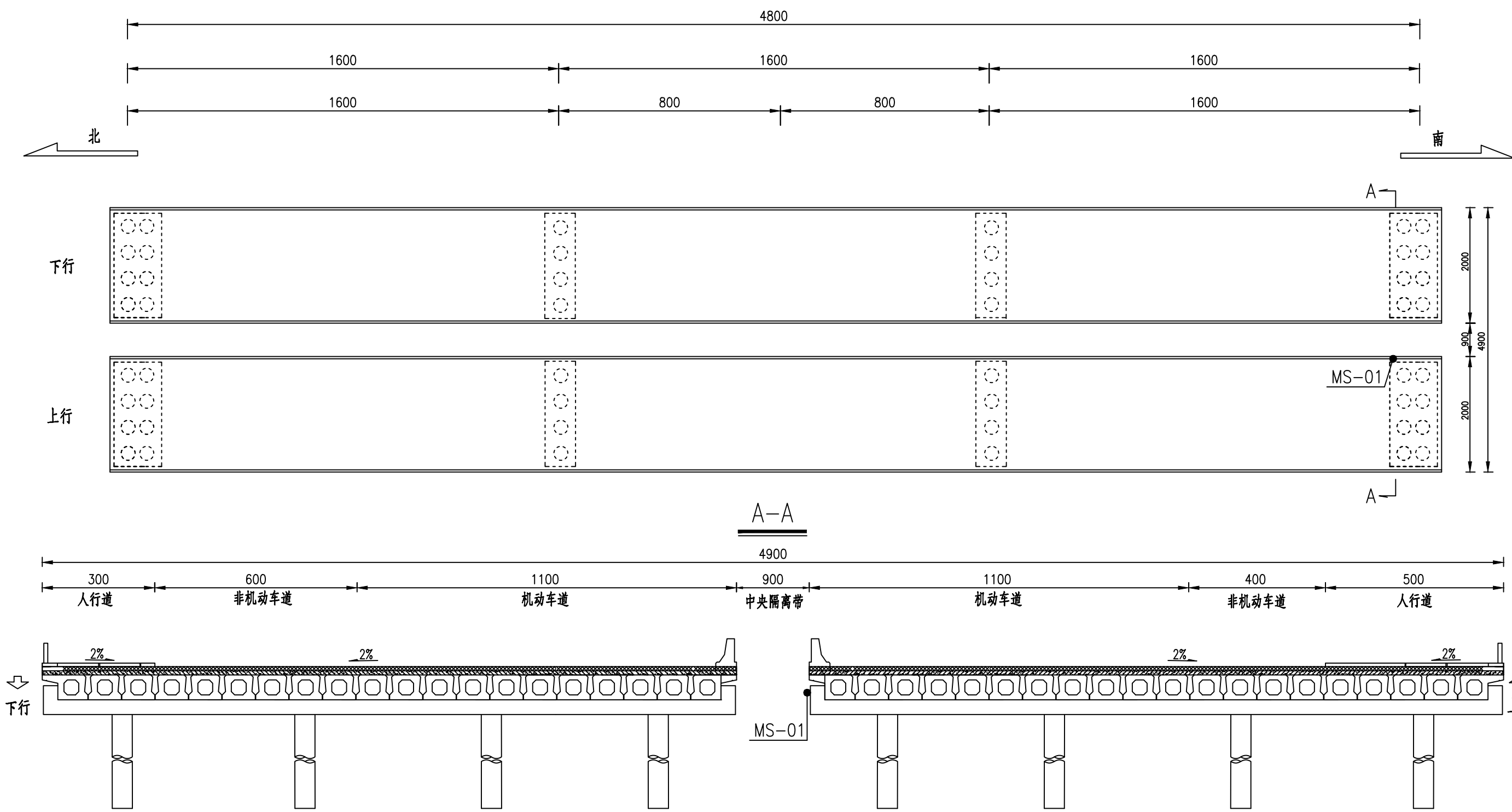


注：

1. 本图尺寸以厘米计；

2. "●"为测点位置。

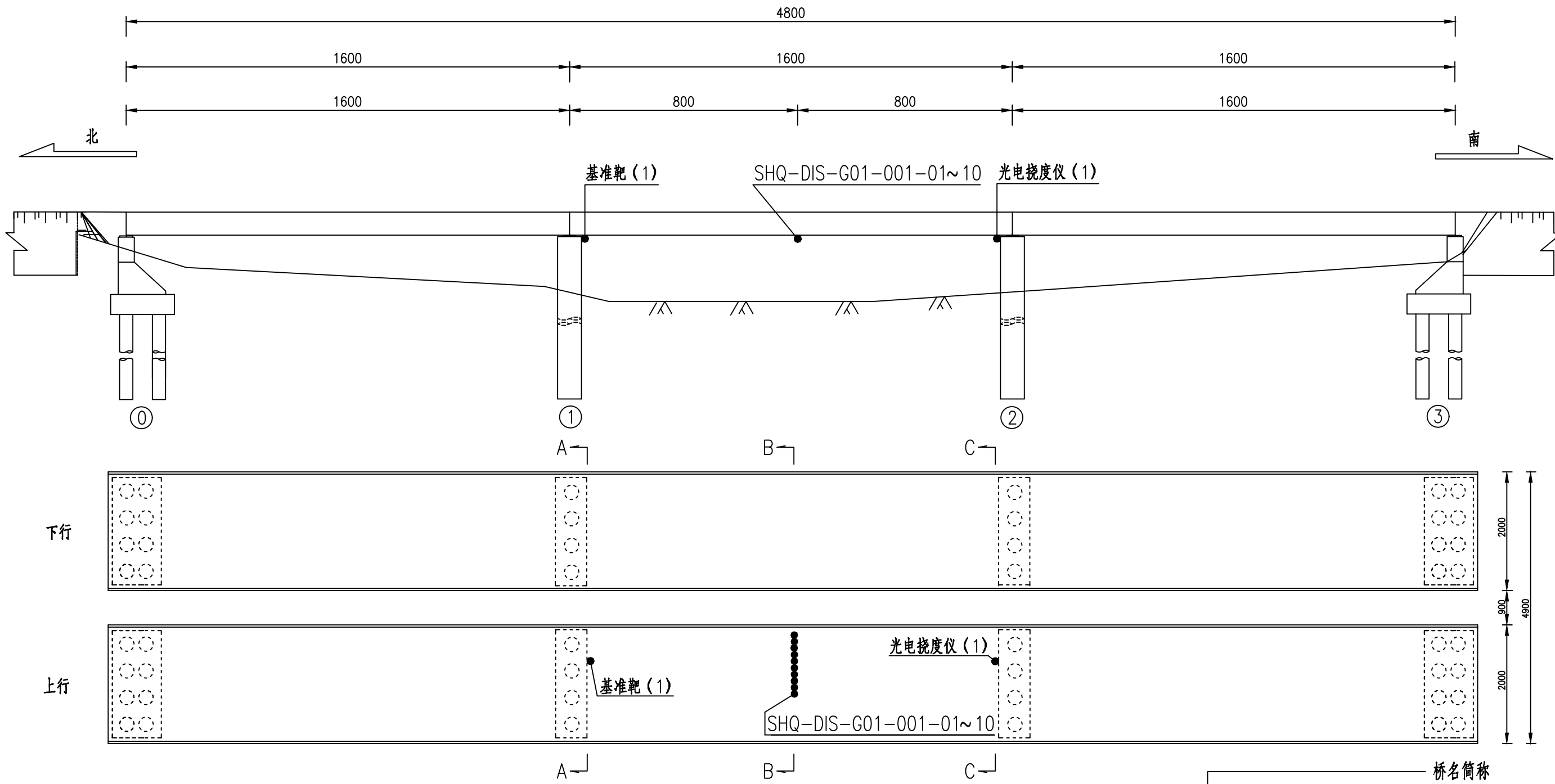
采集通讯设备布点图



数据采集外站布置表	
传感器编号	位置描述
MS-01	上行桥3#桥墩东侧外缘

- 注：
- 数据采集单元
 - 数据采集单元编号
 - 1. MS-XX
 - 2. “●” —测点位置；
 - 3.本图尺寸以厘米计。

主梁横向联系监测测点布点图



传感器编号/名称	位置描述
SHQ-DIS-G01-001-01~10	上行桥2#桥跨跨中2~11#箱梁下缘
光电挠度仪	上行桥2#墩盖梁（侧面）上缘
基准靶	上行桥1#墩盖梁（侧面）上缘

注：

桥名简称

监测类别简称

构件编号及截面编号

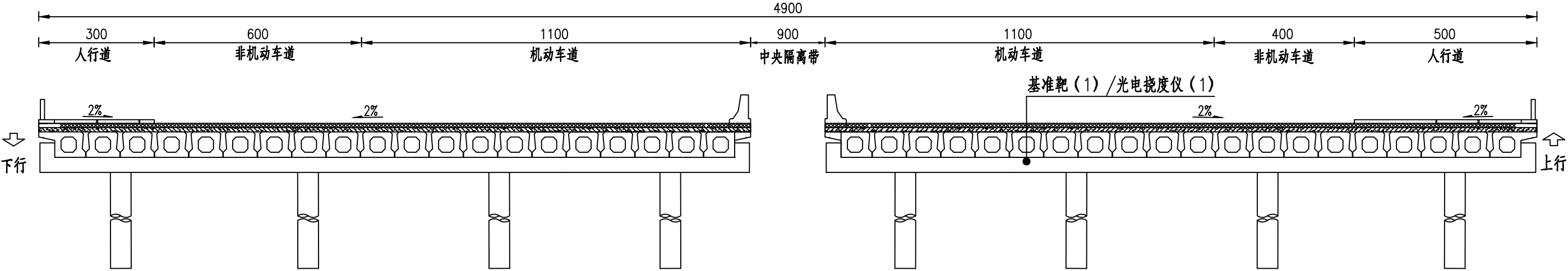
构件编号

测点编号

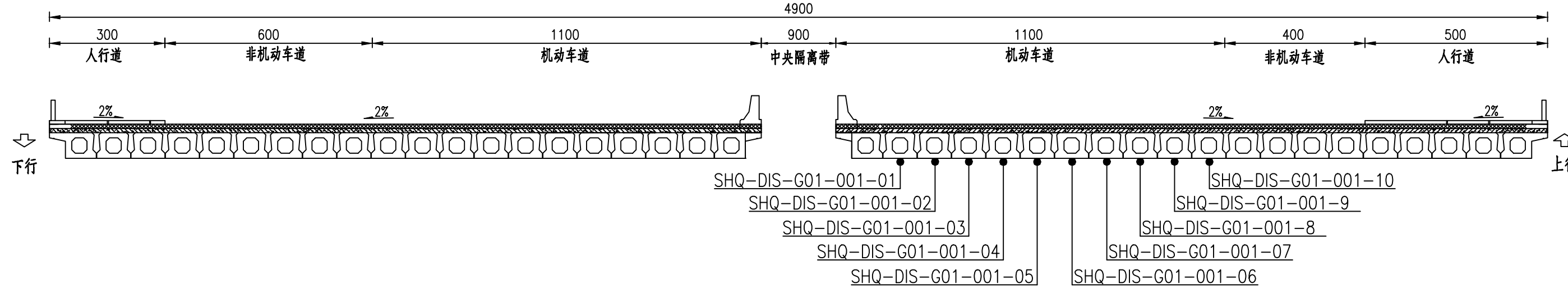
- XXXXXX-XXX-XXX-XXX-XX
- 图尺寸以厘米计
- “●”为测点位置；
- 测点编号自东向西方向依次递增。

主梁横向联系监测测点布点图

A-A/C-C

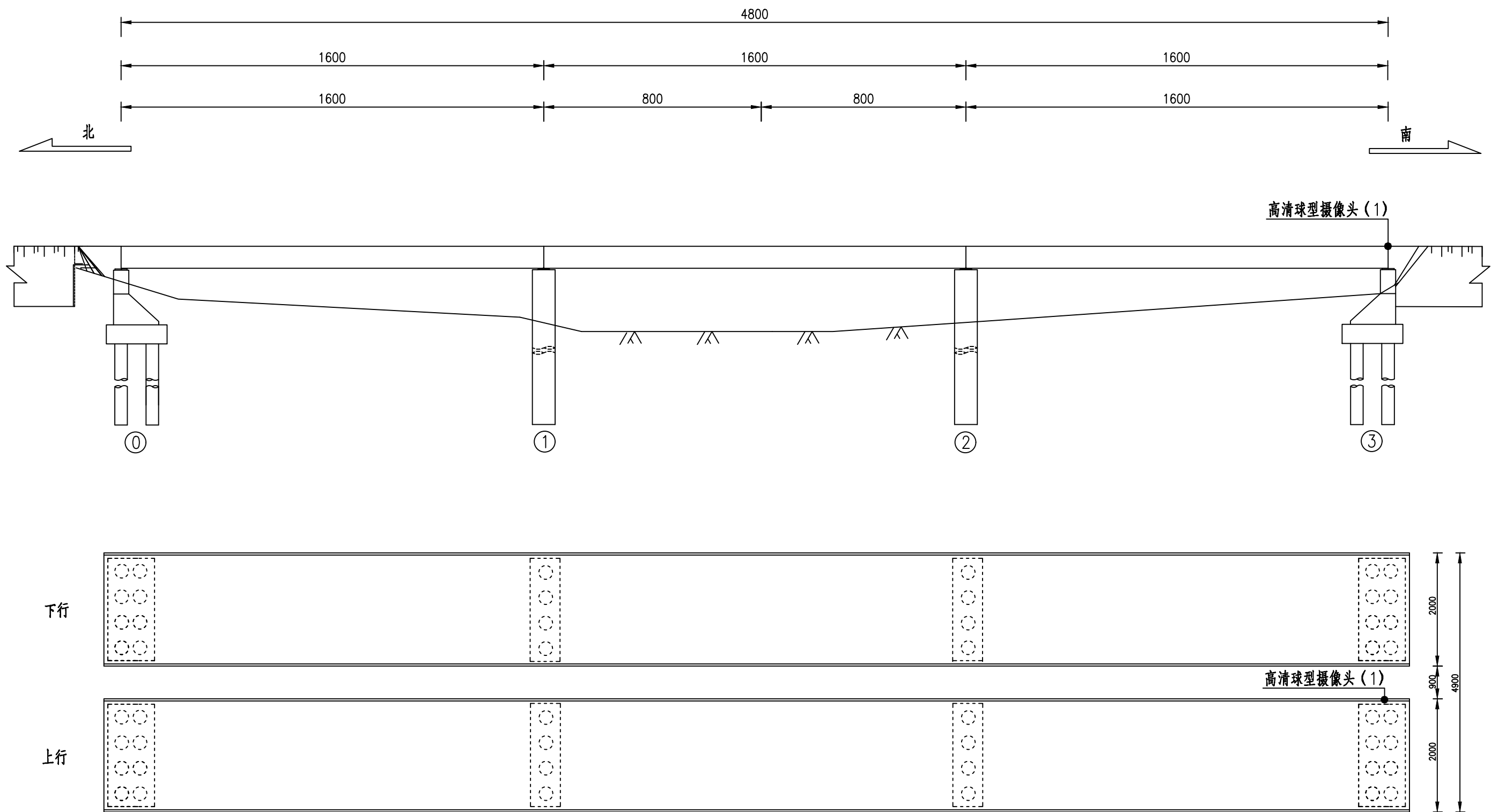


B-B



- 注：
1. 本图尺寸以厘米计；
 2. "●"为测点位置；
 3. 测点编号自东向西方向依次递增。

桥面视频监控布点图



- 注：
1. 本图尺寸以厘米计；
 2. "●"为测点位置；
 3. 高清球机位置离2#跨跨中约25米处。

桥面视频监控布点图

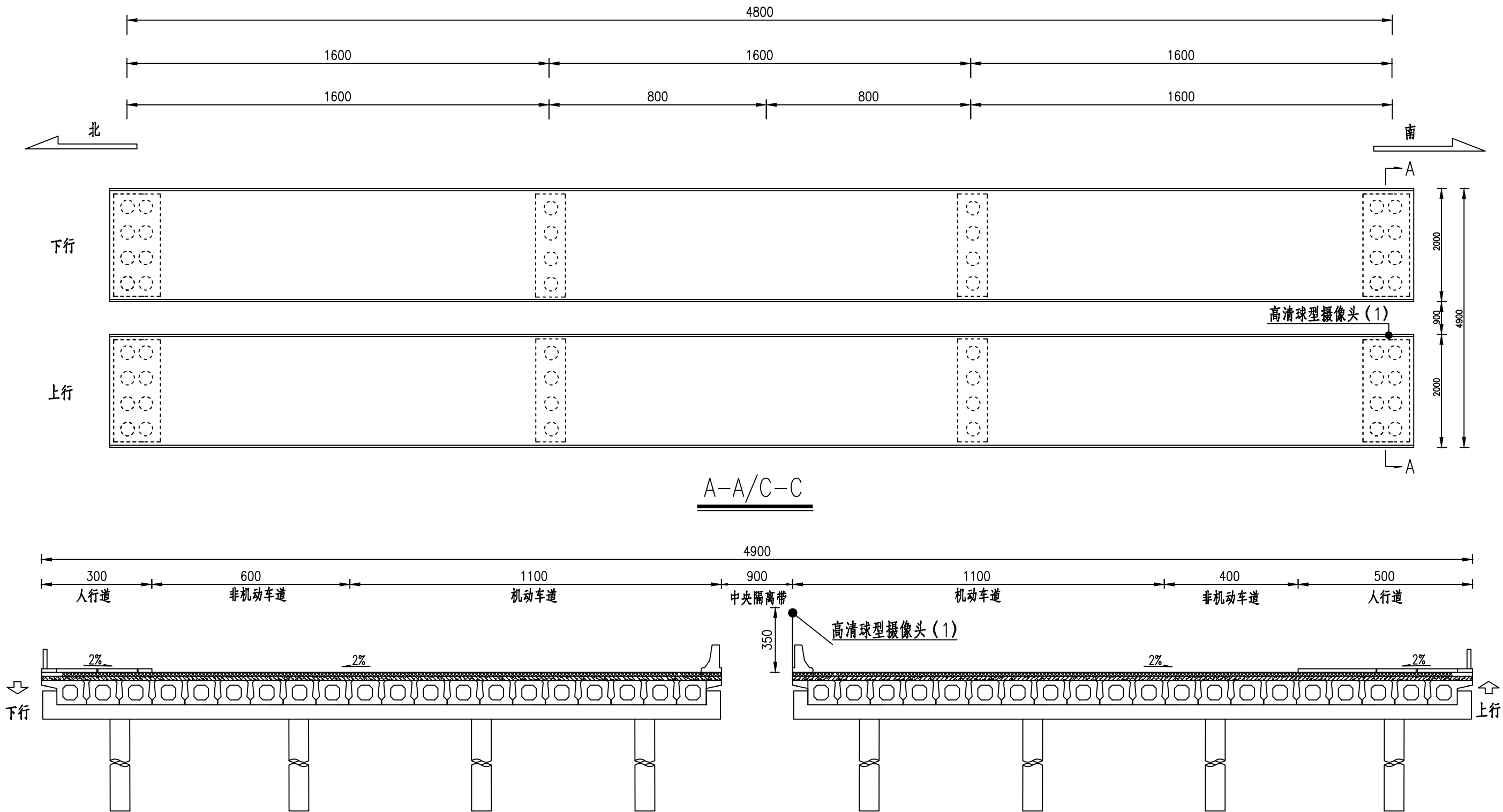
其他

交通工程

建筑

道路

专业会签



- 注：
- 1. 本图尺寸以厘米计；
 - 2. "●"为测点位置；
 - 3. 高清球机新建杆件，离地面3.5米。

浙江数智交院科技股份有限公司	G104京岚线3#桥（上行）、东村桥（下行）桥梁轻量化监测项目	G104京岚线3#桥（上行）桥梁桥面视频监控布点图	设计	宋志远	复核	杨世杰	一审	陆潇雄	二审	陈露晔	编号	2025GL190069
				宋志远		杨世杰		陆潇雄		陈露晔	图号	SI-7

主梁关键截面应变监测测点布点图

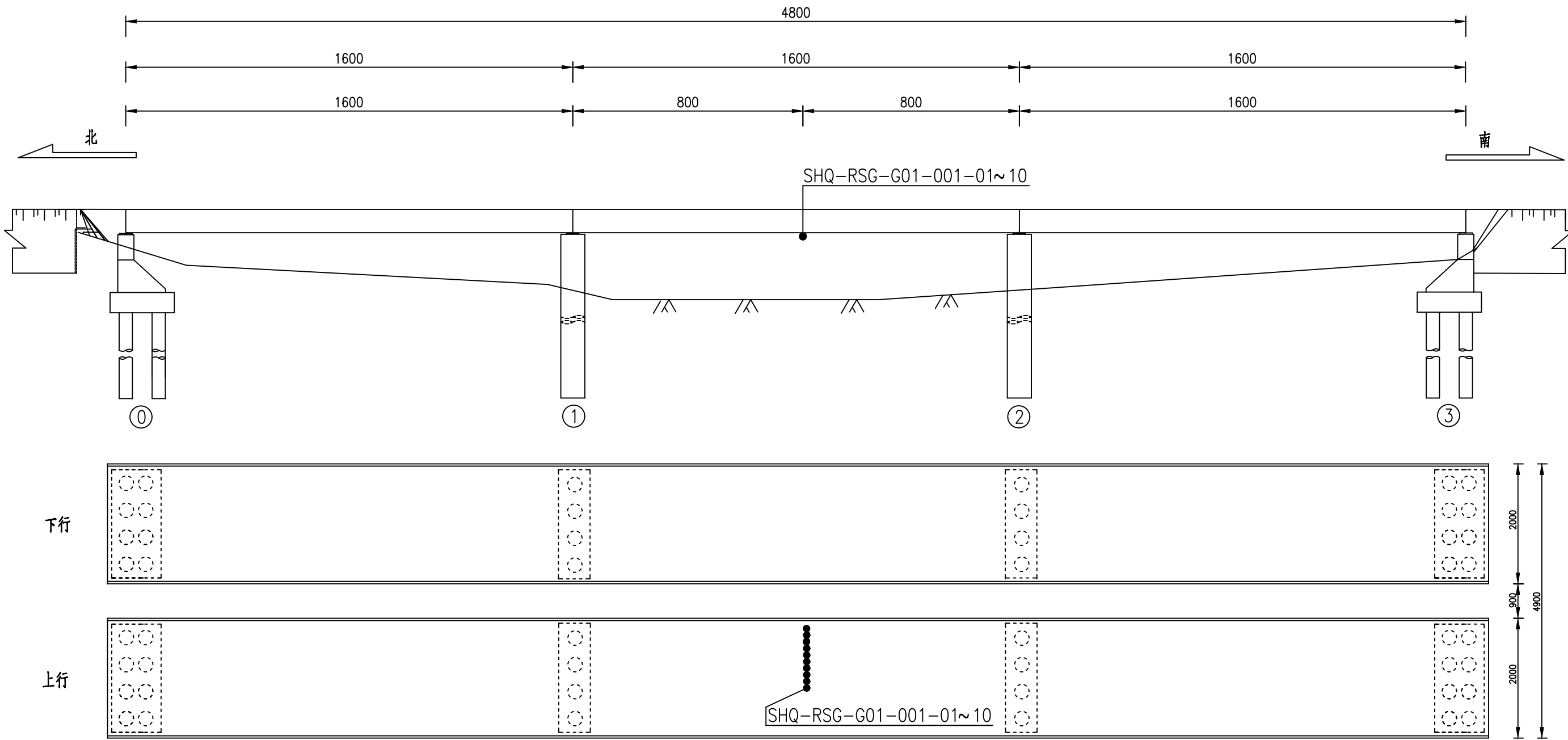
其他

交通工程

建筑

道路

专业会签



注:

- 1. XXXXXX-XXX-XXX-XXX-XX
- 2.图尺寸以厘米计
- 3.“●”为测点位置;
- 4.测点编号自东向西方向依次递增.

桥名简称
监测类别简称
构件编号及截面编号
构件编号
测点编号

传感器编号/名称	位置描述
SHQ-RSG-G01-001-01~10	上行桥2#桥跨跨中2~11#箱梁下缘

浙江数智交院科技股份有限公司

G104京岚线3#桥（上行）、东村
桥（下行）桥梁轻量化监测项目

G104京岚线3#桥（上行）桥梁
主梁关键截面应变监测测点布点图

设计

宋志远
宋志远

复核

杨世杰
杨世杰

一审

陆潇雄
陆潇雄

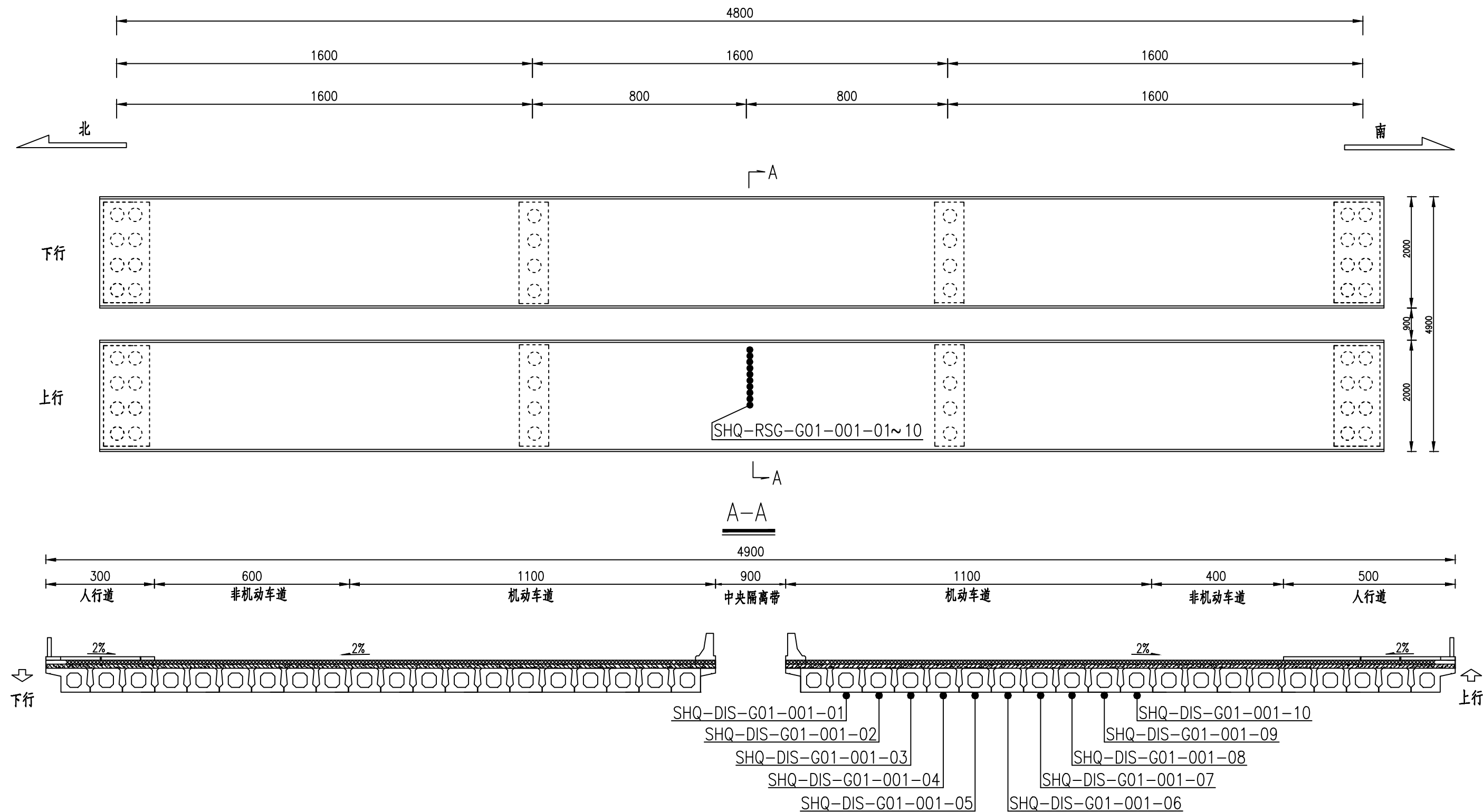
二审

陈露晔
陈露晔

编号
图号

2025GL190069
SI-8

主梁关键截面应变监测测点布点图



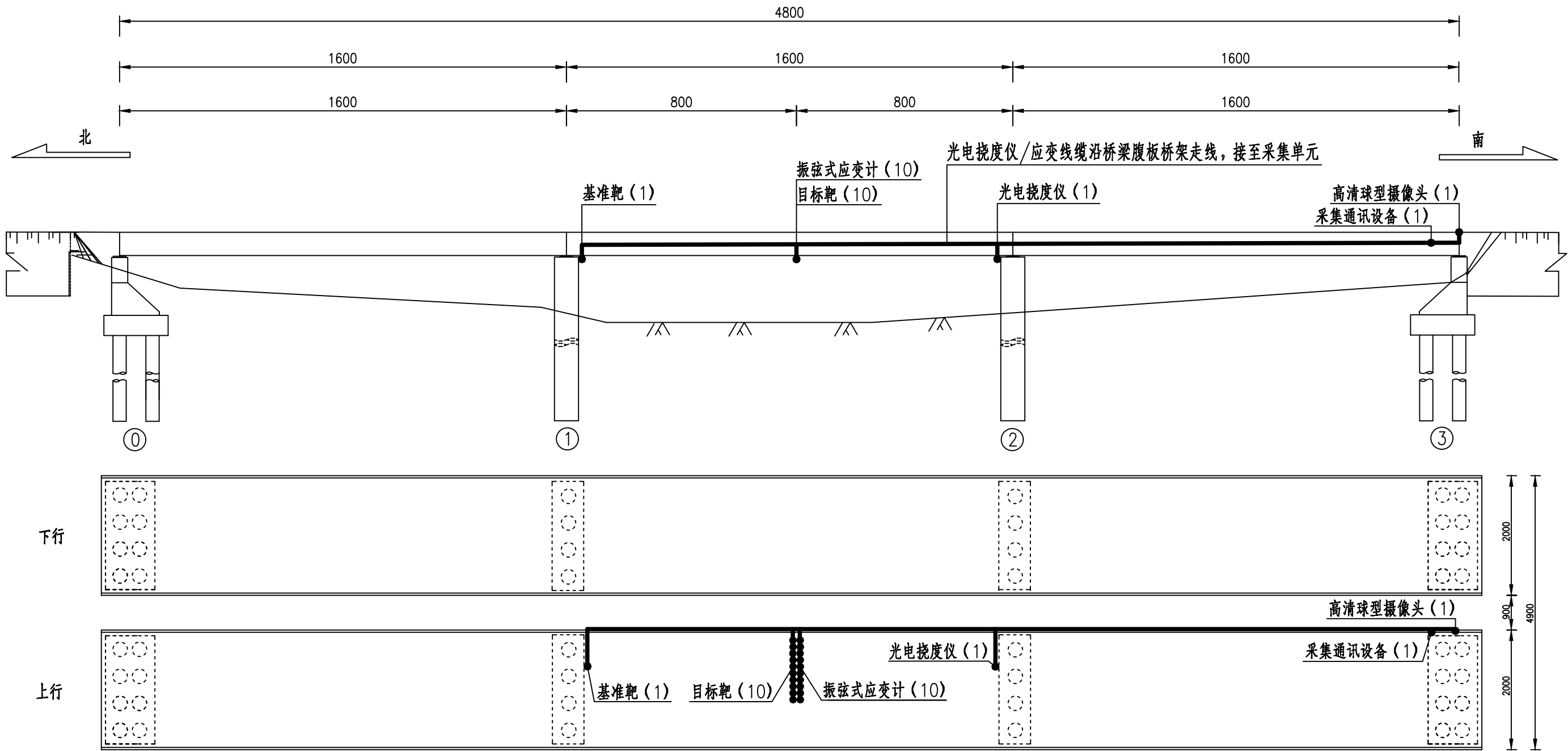
注：

1. 本图尺寸以厘米计；

2. “●”为测点位置；

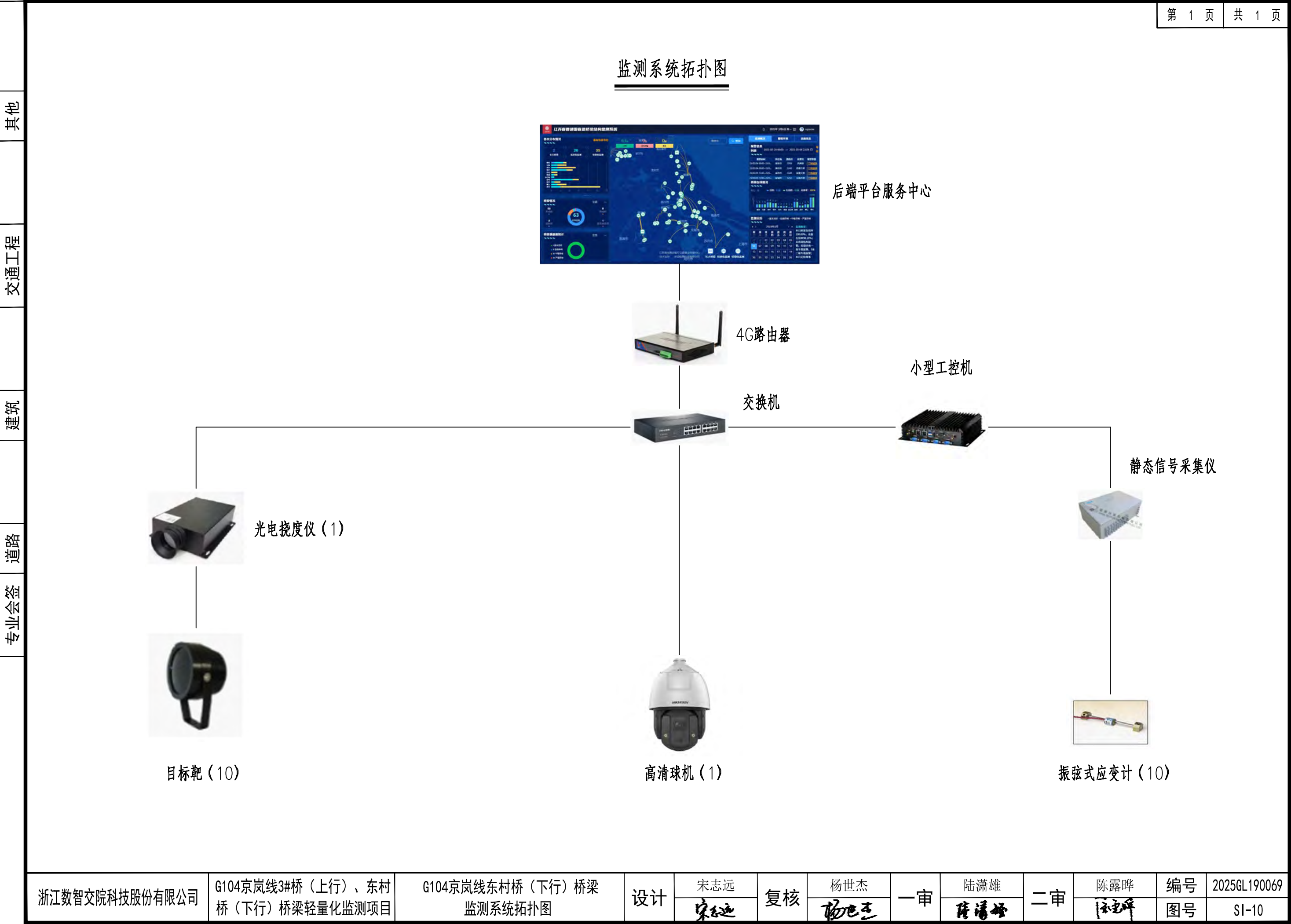
3. 测点编号自东向西方向依次递增。

监测系统测点总体走线图

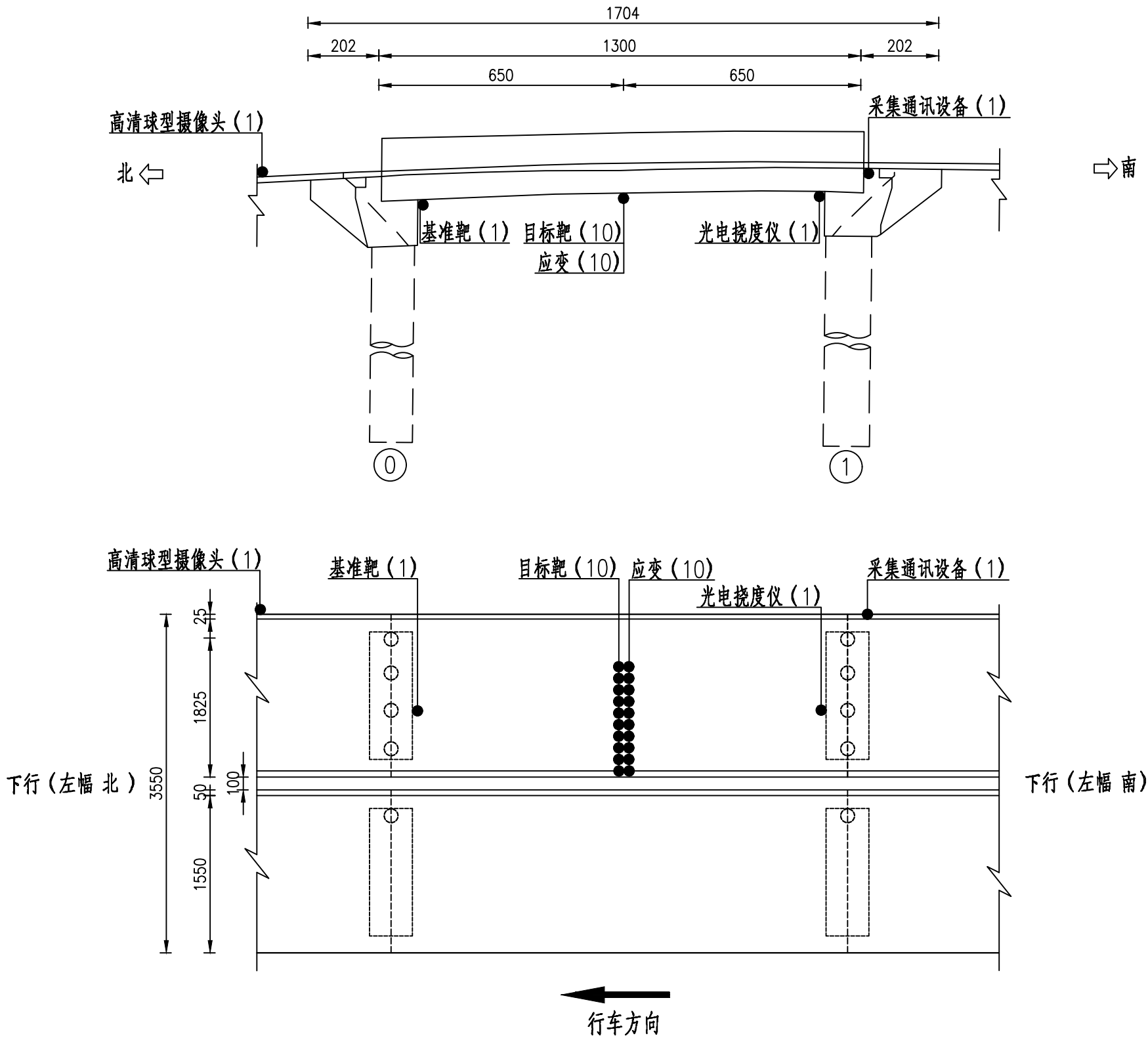


编号	设备	线缆型号
1	光电挠度仪	电缆：RW2x1.5平方毫米
		信号线：超五类网线
2	目标靶/基准靶	电缆：RW2x1.5平方毫米
3	高清球形摄像头	电缆：RW2x1.5平方毫米
		信号线：超五类网线
4	应变	电缆：RWP4x0.5平方毫米

注：
1. 本图尺寸以厘米计；
2. "●"为测点位置，"—"为线缆；
3. 横桥方向统一铺设PVC管，顺桥方向统一铺设桥架。



监测系统测点总体布点图



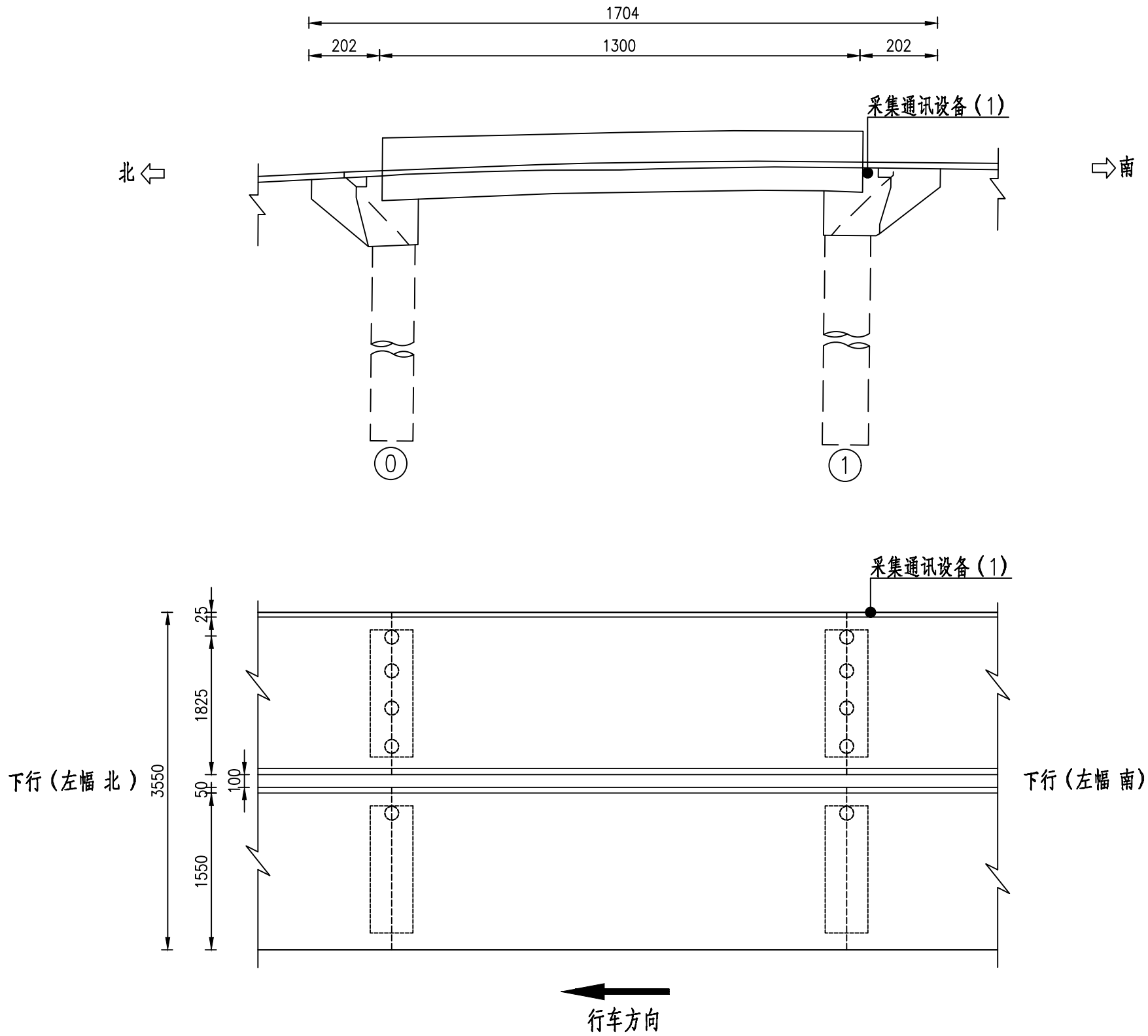
注：

1. 本图尺寸以厘米计；

2. "●"为测点位置。

浙江数智交院科技股份有限公司	G104京岚线3#桥（上行）、东村桥（下行）桥梁轻量化监测项目	G104京岚线东村桥（下行）桥梁监测系统测点总体布点图	设计	宋志远	复核	杨世杰	一审	陆潇雄	二审	陈露晔	编号	2025GL190069
				宋志远		杨世杰		陆潇雄		陈露晔	图号	SI-12

采集通讯设备布点图



注：

1. 本图尺寸以厘米计

2. "●"为测点位置.

其他

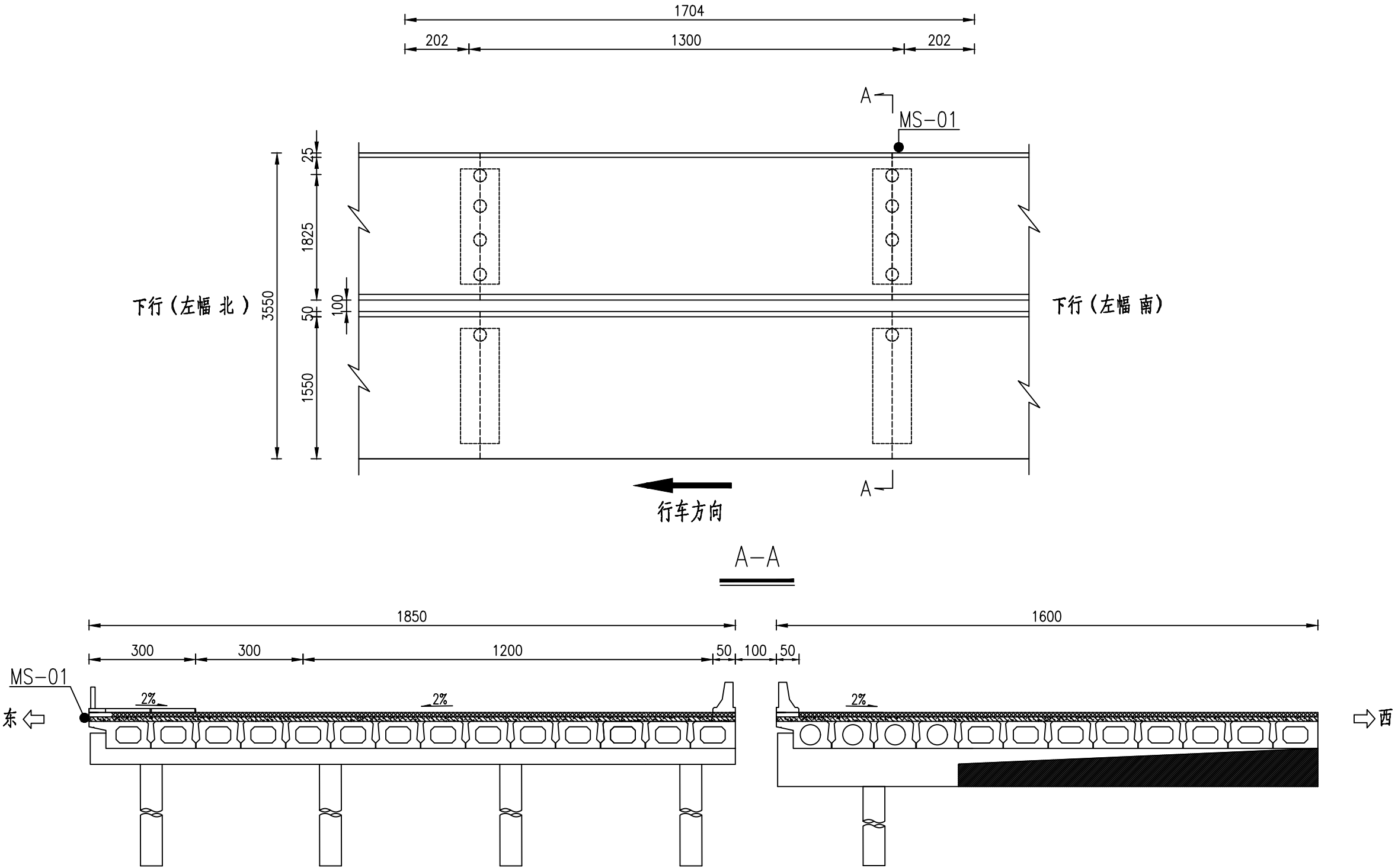
交通工程

建筑

道路

专业会签

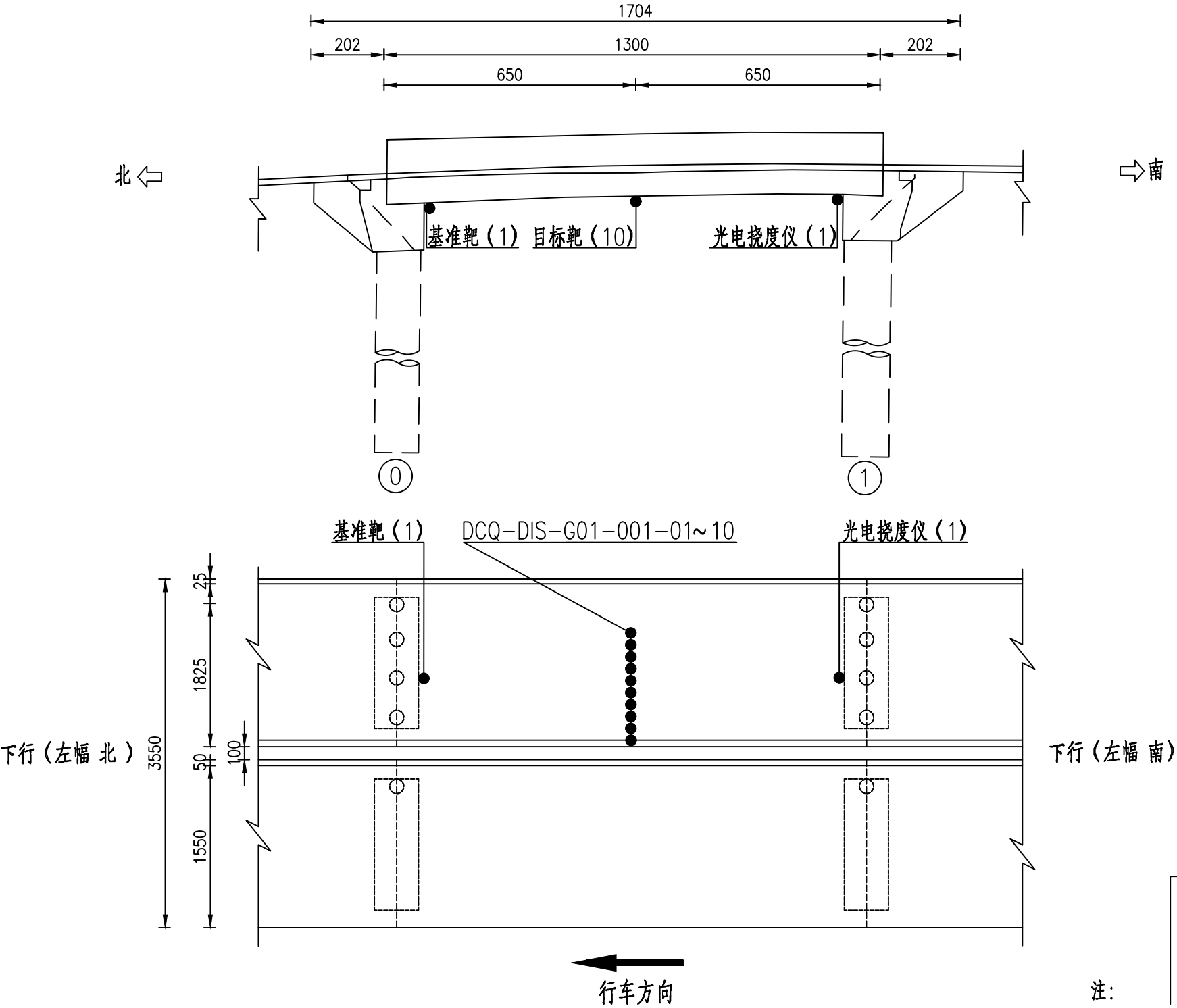
采集通讯设备布点图



数据采集外站布置表	
传感器编号	位置描述
MS-01	下行桥1#桥墩梁板侧面

- 注：
- 数据采集单元
 - 数据采集单元编号
 - 1. MS-XX
 - 2. “●”一测点位置；
 - 3.本图尺寸以厘米计。

主梁横向联系监测测点布点图

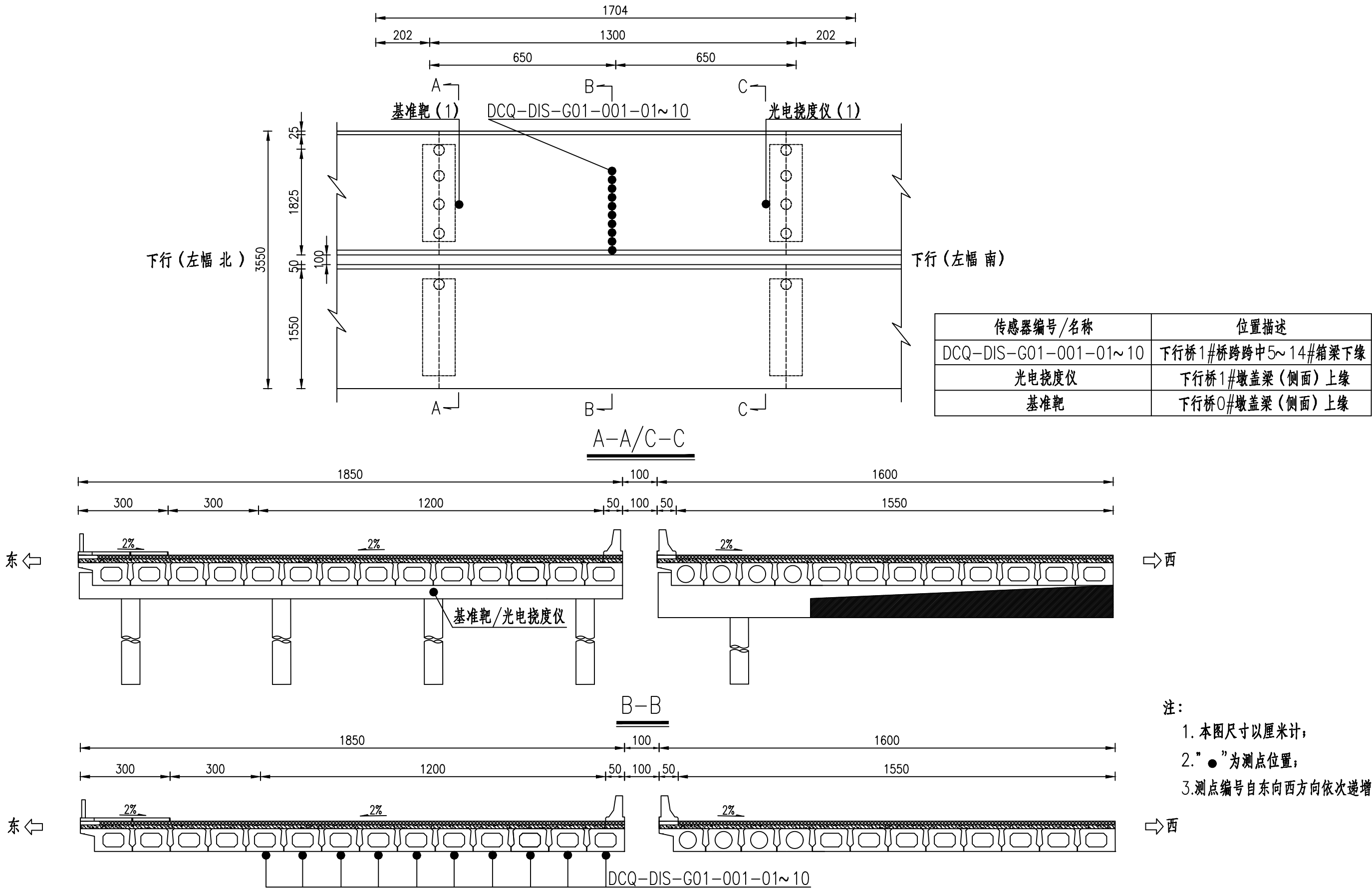


注:

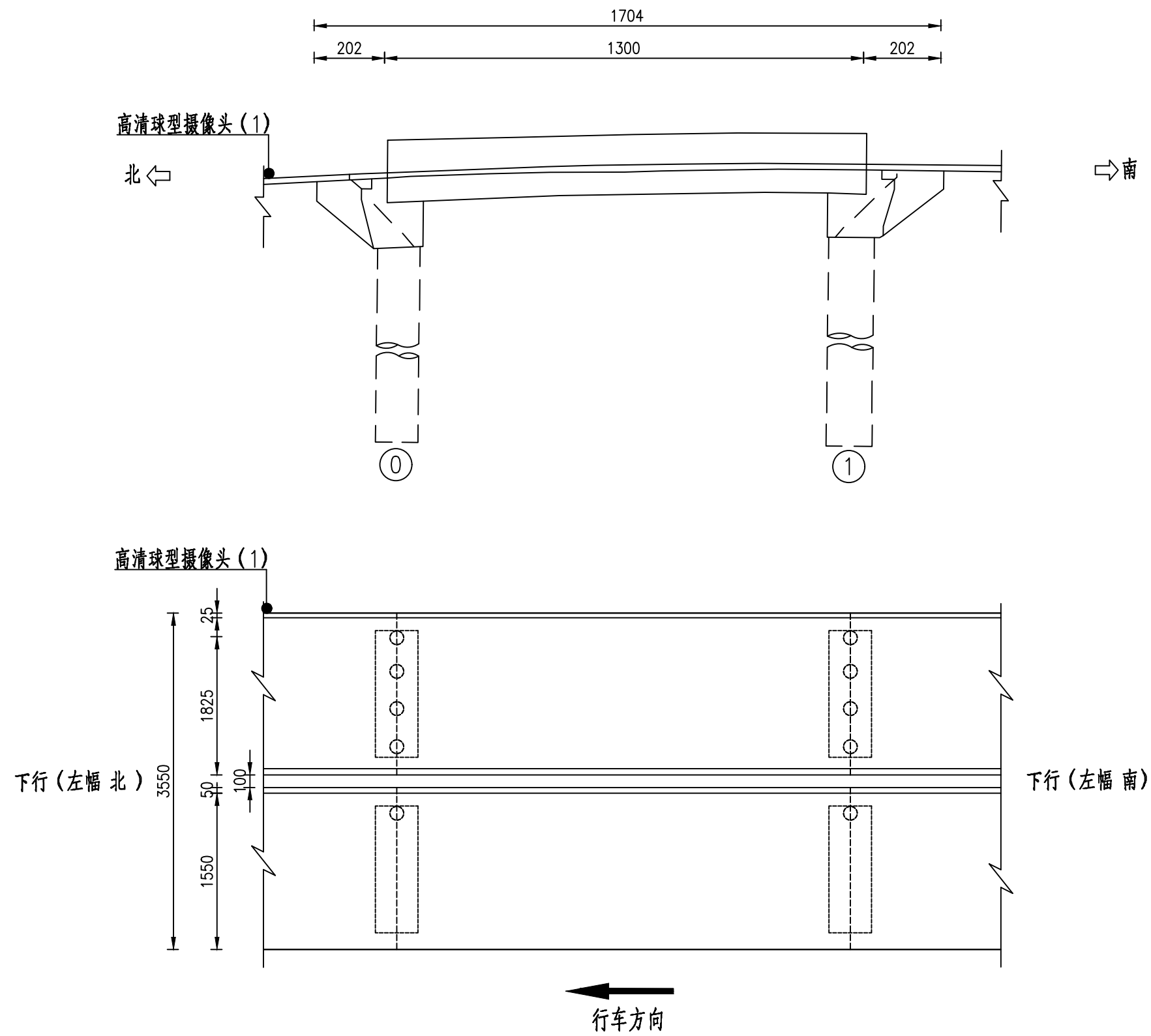
- 1. XXXXXX-XXX-XXX-XXX-XX
- 2.图尺寸以厘米计
- 3. “ ” 为测点位置;
- 4.测点编号自东向西方向依次递增.

桥名简称
监测类别简称
构件编号及截面编号
构件编号
测点编号

主梁横向联系监测测点布点图

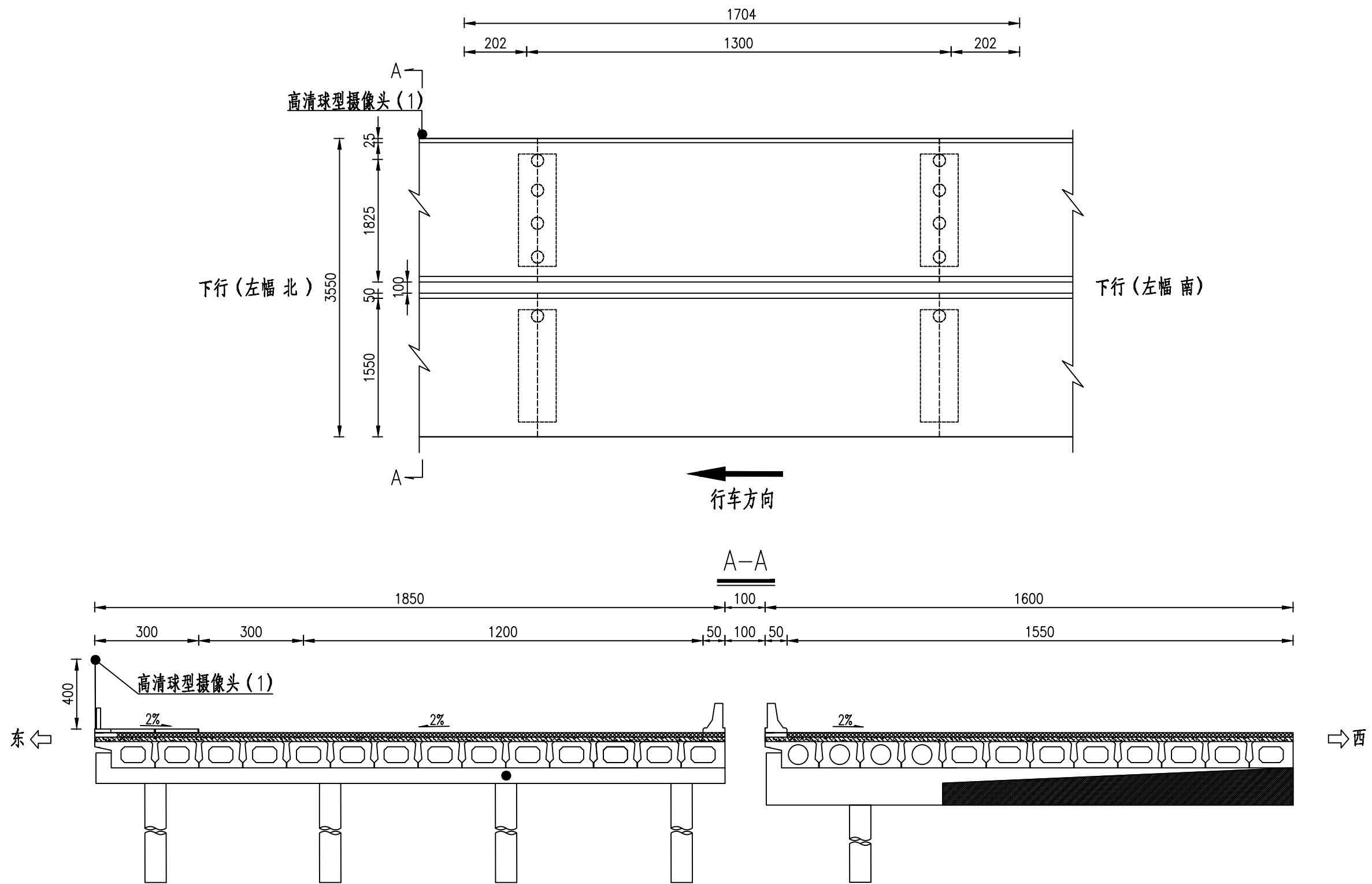


桥面视频监控布点图



- 注：
- 1. 本图尺寸以厘米计；
 - 2. “●”为测点位置；
 - 3. 高清球机位置离1#跨跨中约30米处。

桥面视频监控布点图



传感器编号/名称	位置描述
高清球型摄像头	下行桥桥北侧靠路边离1#跨跨中约30米

- 注：
1. 本图尺寸以厘米计；
 2. "●"为测点位置；
 3. 高清球机新建杆件，离地面4米。

其他

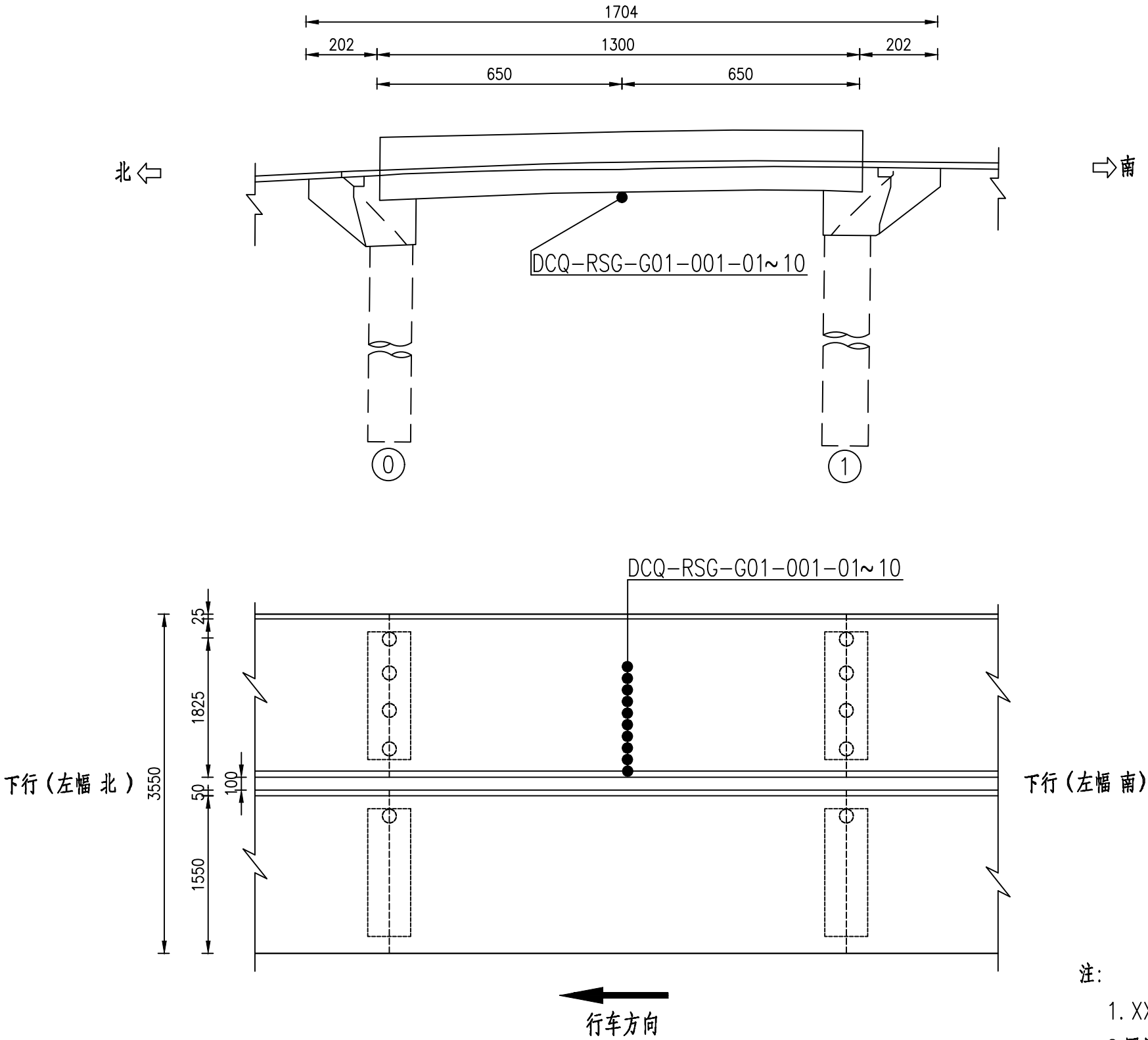
交通工程

建筑

道路

专业会签

主梁关键截面应变监测测点布点图



注:

桥名简称
监测类别简称
构件编号及截面编号
构件编号
测点编号

1. XXXXXX-XXX-XXX-XXX-XX
2.图尺寸以厘米计
3. “ ” 为测点位置;
4.测点编号自东向西方向依次递增.

浙江数智交院科技股份有限公司

G104京岚线3#桥（上行）、东村桥（下行）桥梁轻量化监测项目

G104京岚线东村桥（下行）桥梁主梁关键截面应变监测测点布点图

设计

宋志远
宋志远

复核

杨世杰
杨世杰

一审

陆潇雄
陆潇雄

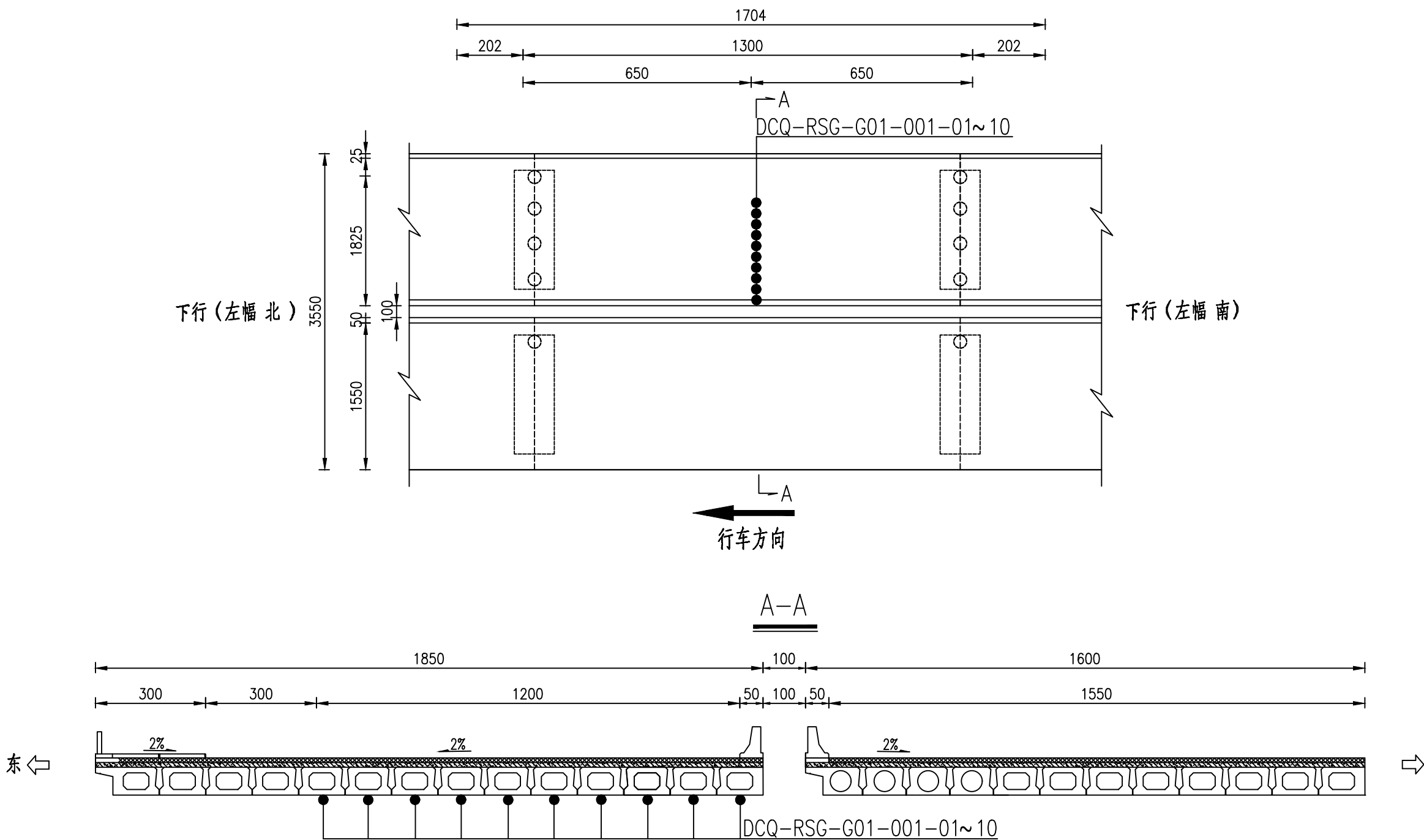
二审

陈露晔
陈露晔

编号
图号

2025GL190069
SI-16

主梁关键截面应变监测测点布点图



传感器编号/名称	位置描述
DCQ-RSG-G01-001-01~10	下行桥1#桥跨跨中5~14#箱梁下缘

- 注：
1. 本图尺寸以厘米计；
 2. "●"为测点位置；
 3. 测点编号自东向西方向依次递增。

其他

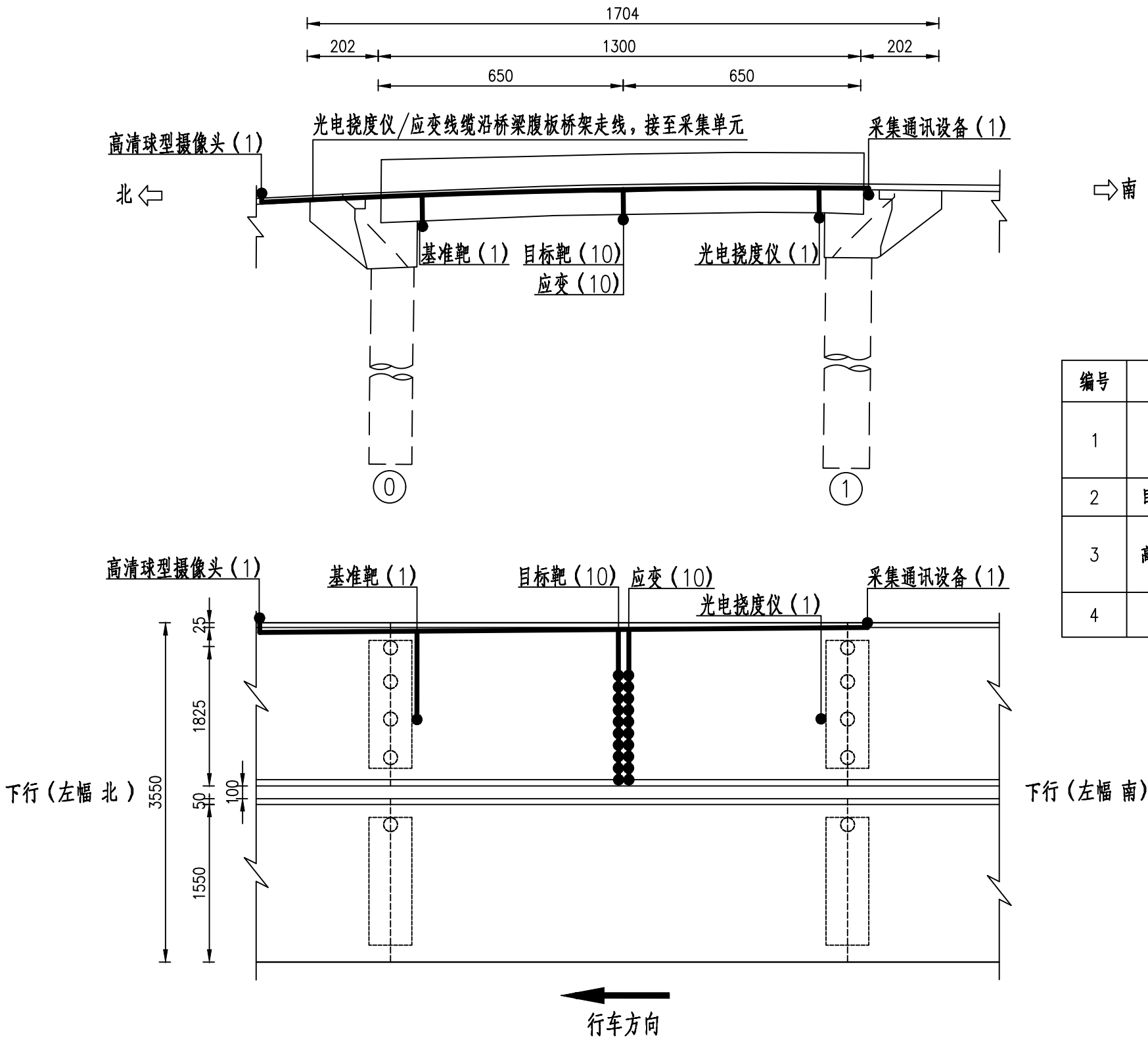
交通工程

建筑

道路

专业会签

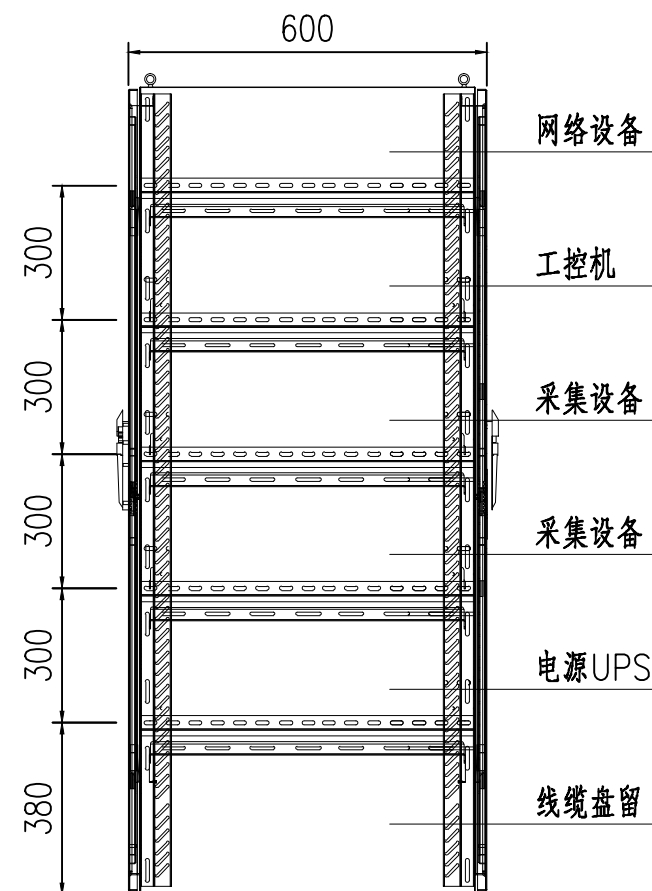
监测系统测点总体走线图



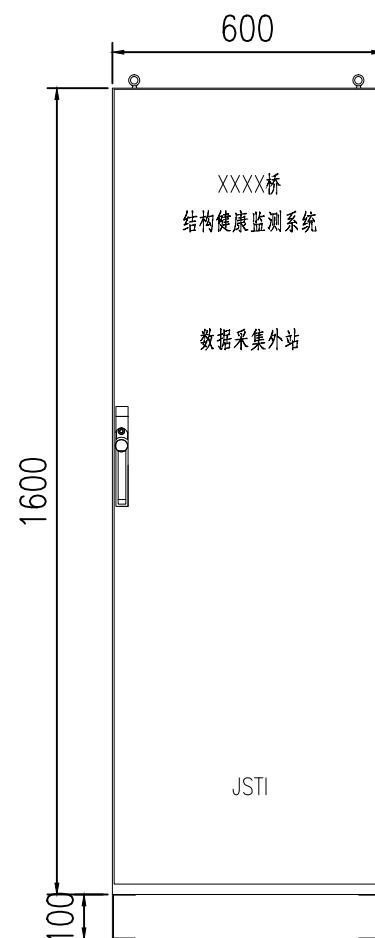
- 注：
- 1. 本图尺寸以厘米计；
 - 2. “●”为测点位置，“—”为线缆；
 - 3. 横桥方向统一铺设PVC管，顺桥方向统一铺设桥架。

数据采集外站机柜安装图

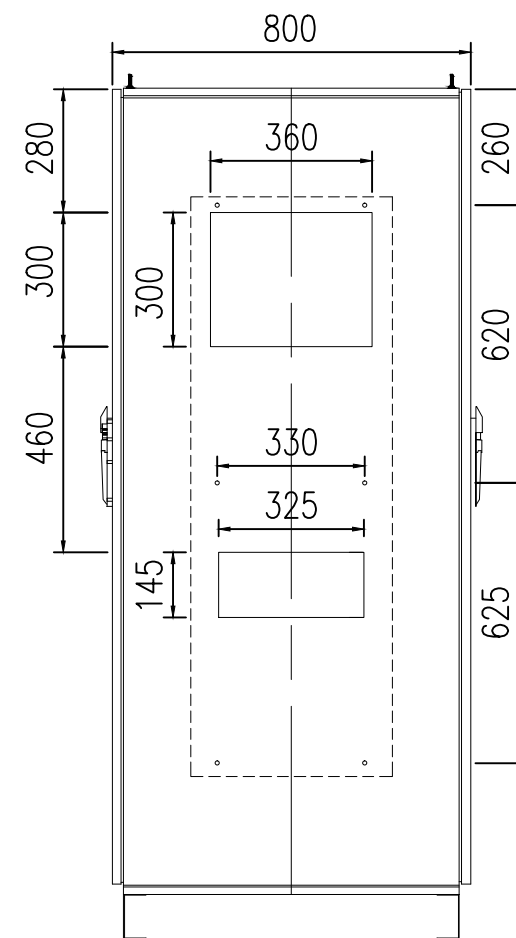
机柜主体框架



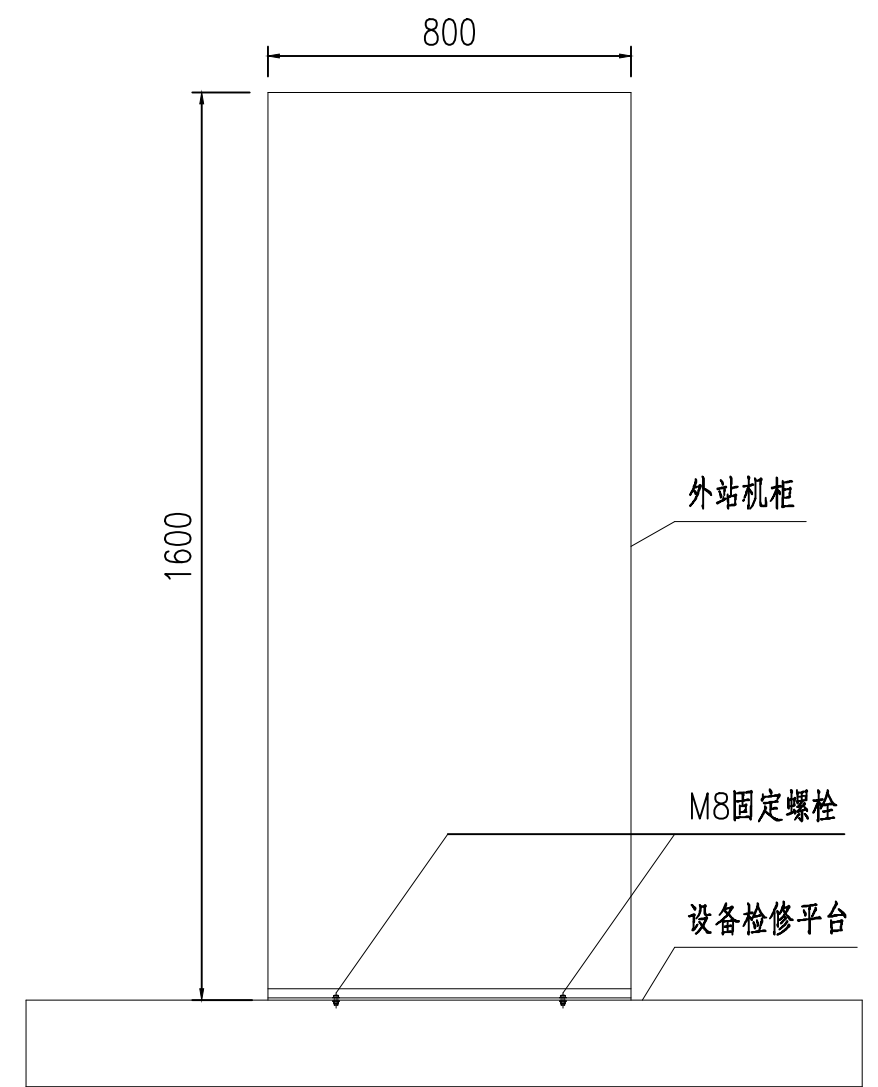
机柜主体框架



机柜侧板预留空调安装孔



机柜侧视图



注：

- 1.本图尺寸以毫米计。
- 2.机柜尺寸600X800X1600（宽X深X高），底部预留10cm高固定底座。
- 3.机柜侧板安装空调，底部进线孔在施工结束后进行密封处理。
- 4.机柜整体可拆卸，安装时主体框架进行焊接固定。
- 5.内部配置：19英寸立柱4根；活动层板5块；安装纵梁5根；底部三段式进线板。

其他

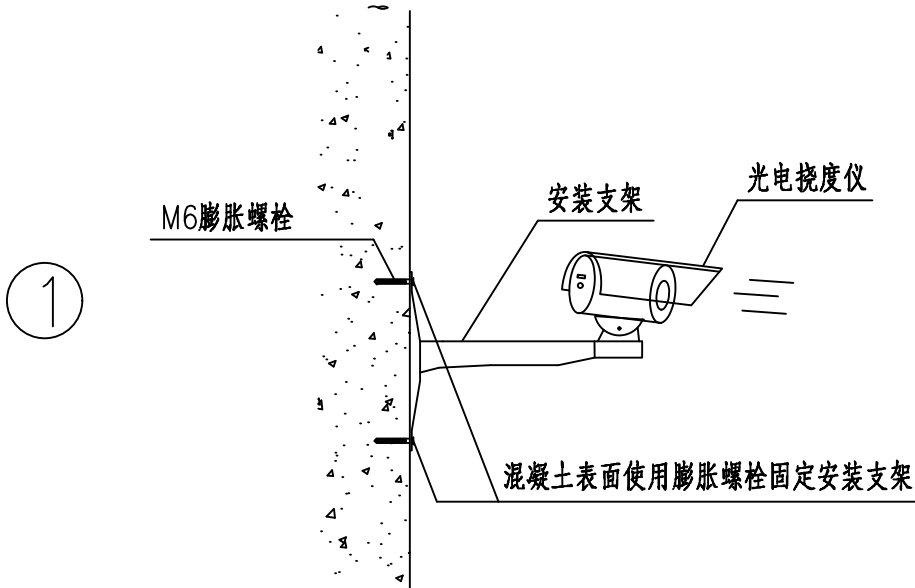
交通工程

建筑

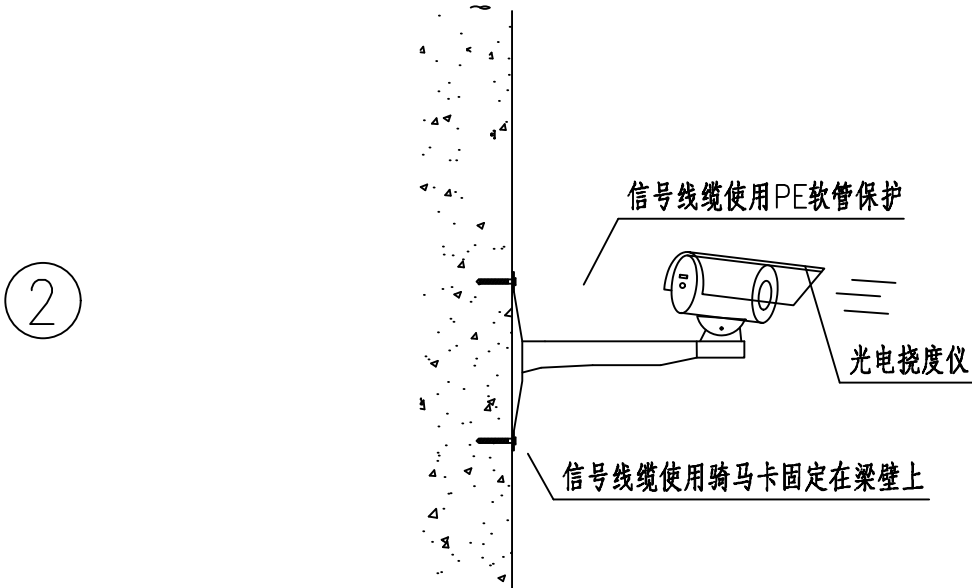
道路

专业会签

光电挠度仪安装图



1. 测量、放样，根据图纸确定安装位置和安装方向。
2. 安装前使用水平尺在安装位置标注参考线，确保支架水平偏差不大于 3° 。
3. 混凝土表面安装时，安装支架使用M6膨胀螺栓固定在被测构件上。



1. 光电挠度仪安装时需检查观测靶标，确保观测点靶标位置在可视范围内。
2. 光电挠度仪观测范围可通过专用支架上万向节调整方向，确定观测范围后紧固。
3. 传感器信号线缆接头部位需要焊接，使用热缩管保护。
4. 传感器信号线缆使用PE软管保护，使用骑马卡固定在梁壁上,确保线缆敷设美观。
5. 必须在规定位置标注传感器编号,便于维修更换。

其他

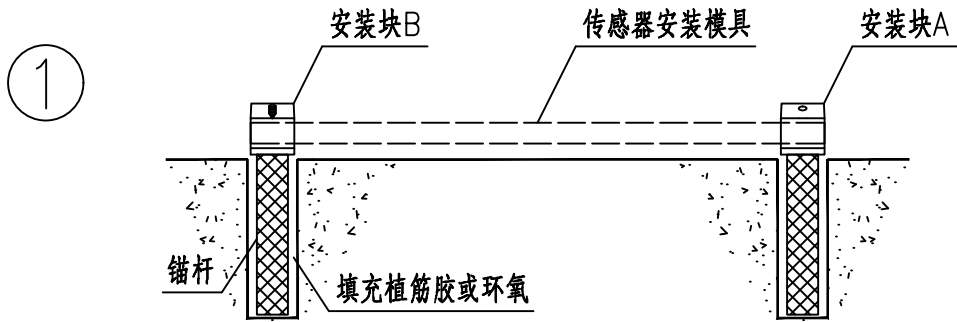
交通工程

建筑

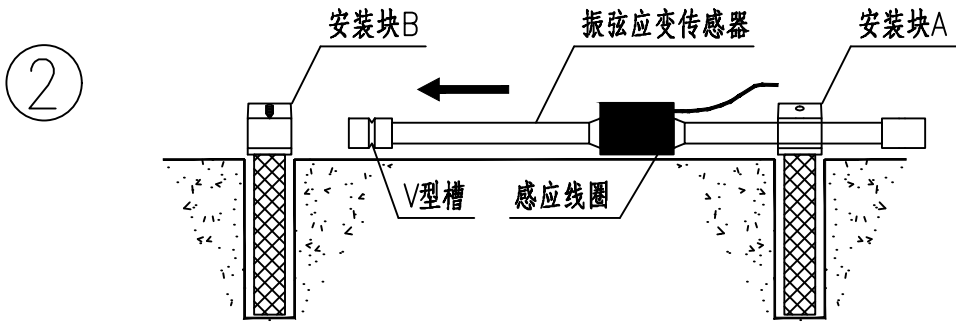
道路

专业会签

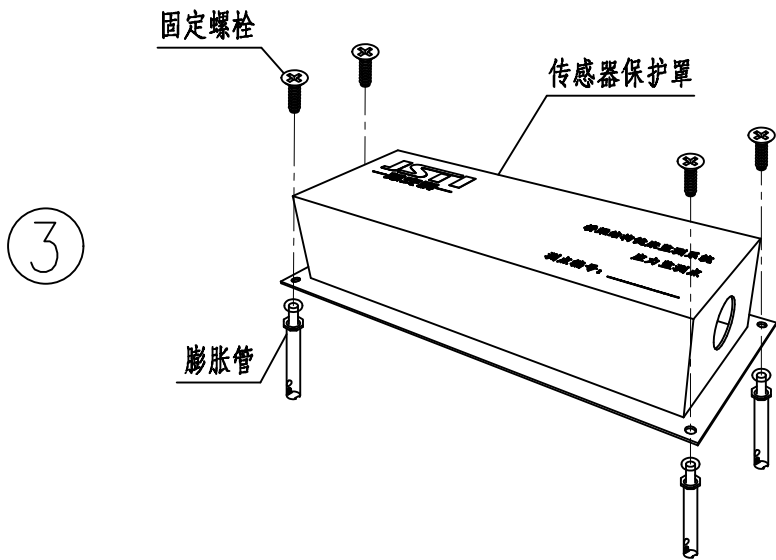
振弦式应变计安装图



1. 测量安装位置，使用传感器安装模具定位安装块在被测物表面钻孔，清除安装孔内尘土。
2. 钻孔内填充植筋胶或环氧，将安装块锚杆固定在钻孔内。
3. 待植筋胶或环氧完全凝固后，拆除安装模具。



1. 按上图所示方向装入传感器，套上线圈并固定卡箍。
2. 传感器固定时，需使用便携式读数仪进行检验。
3. 先将应变计有V形槽的一段用螺钉固定，调节另一端使之达到预期的初始读数。
4. 初始读数稳定后使用螺丝固定。



1. 传感器保护罩使用膨胀管固定在混凝土构件表面。
2. 保护罩预留 $\Phi 22$ 出线孔，安装PG13防水接头，用于传感器信号线缆布设。
3. 传感器信号线缆接头部位需要焊接，使用热缩管保护，接线部位收纳在保护罩内。
4. 保护罩安装完成后，必须在规定位置标注传感器编号，便于维修更换。

注：

1. 传感器接线参照振弦式应变计接线图。
2. 传感器保护罩尺寸详见应变/温度传感器安装配件加工图。
3. 应变计通常读数范围是400~1200，如果仪器设计用于测量拉应变，可将应变计活动端向内轻压（应避免相对扭转，以免损坏应变计），将读数调整到650左右。如果仪器设计用于测量压应变，可将应变计活动端向外轻推，将读数调整到950左右。调整完毕后，将自由端固定。

其他

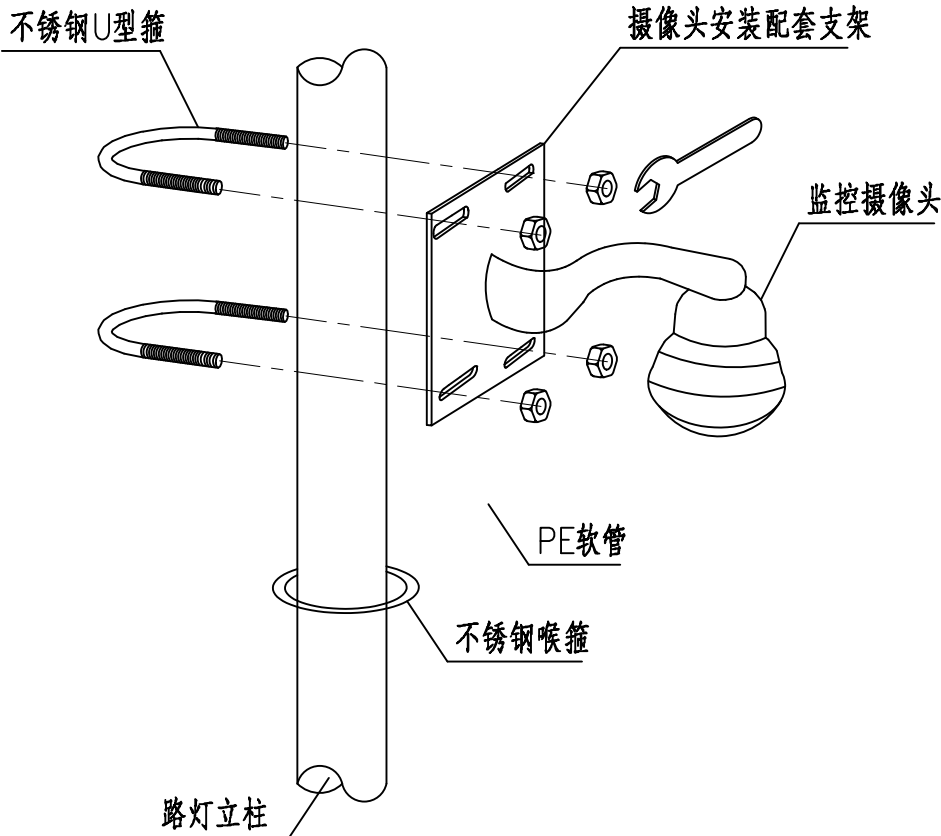
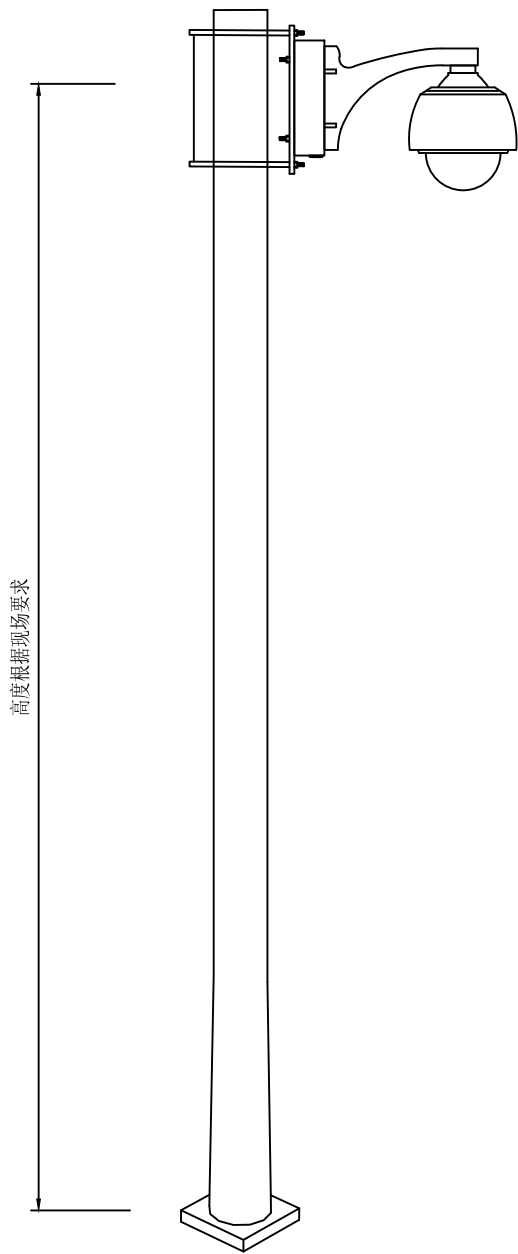
交通工程

建筑

道路

专业会签

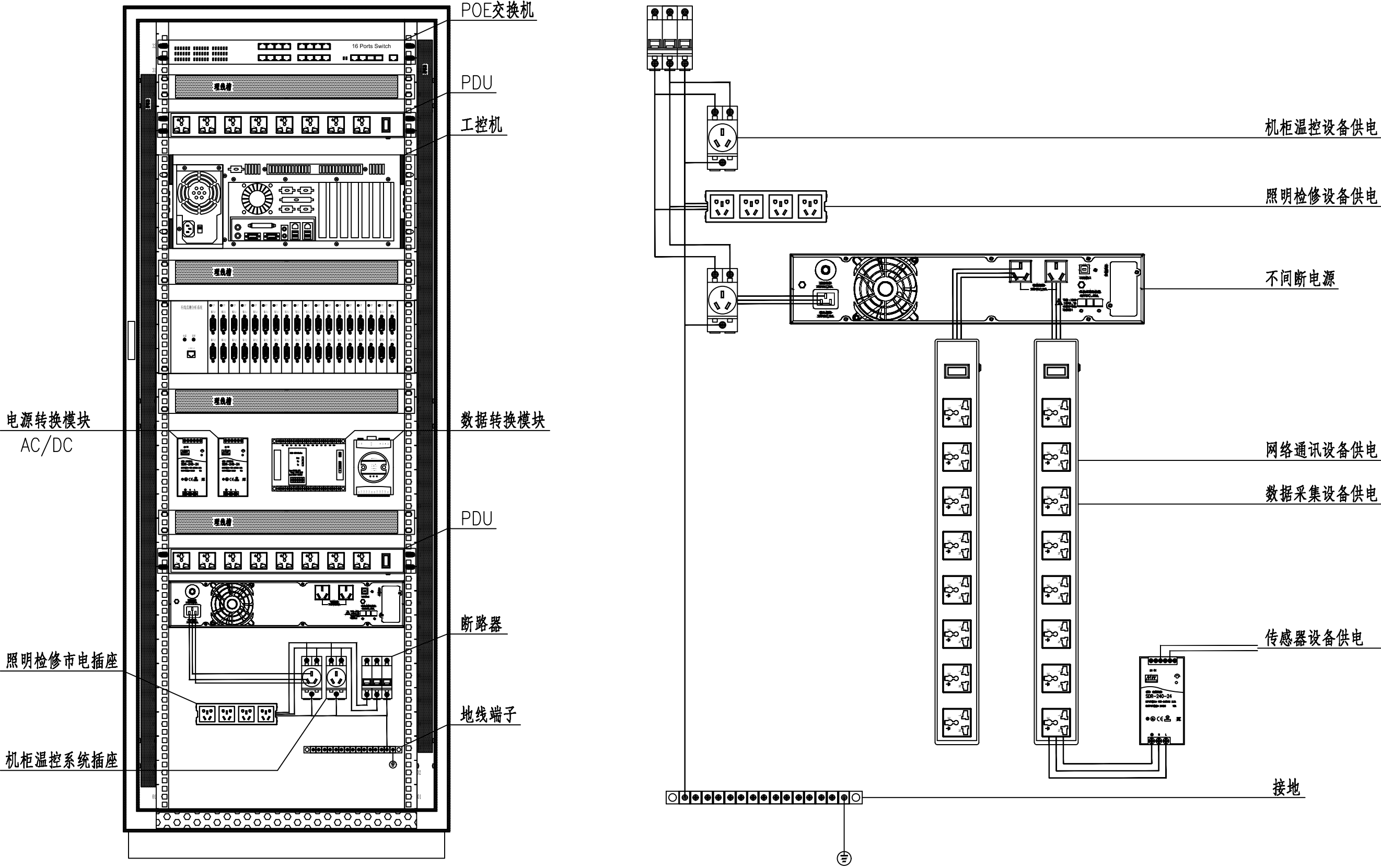
监控摄像头安装图



- 注：
- 1.本图尺寸以毫米计。
 - 2.桥面监控摄像头使用U型抱箍安装在立柱上，安装高度根据现场要求。
 - 3.传感器信号线缆使用PE软管保护，使用不锈钢抱箍固定在立柱上，固定间隔0.5米。
 - 4.传感器信号线缆敷设应尽可能隐蔽，不影响美观
 - 5.传感器接线参照监控摄像头接线图。
 - 6.传感器保护罩尺寸详见监控摄像头安装配件加工图。

												第 1 页		共 1 页	
振弦式应变计安装配件加工图															
传感器保护罩															
注： 1. 本图尺寸以毫米计。 2. 传感器保护罩采用1.5mm厚304不锈钢板折弯制作,表面喷砂处理。 3. 传感器保护罩尺寸根据传感器实际情况定制。															
浙江数智交院科技股份有限公司		G104京岚线3#桥（上行）、东村桥（下行）桥梁轻量化监测项目		振弦式应变计安装配件加工图		设计	宋志远	复核	杨世杰	一审	陆潇雄	二审	陈露晔	编号	2025GL190069
							宋志远		杨世杰		陆潇雄		陈露晔	图号	SI-22

数据采集外站机柜配电图



其他

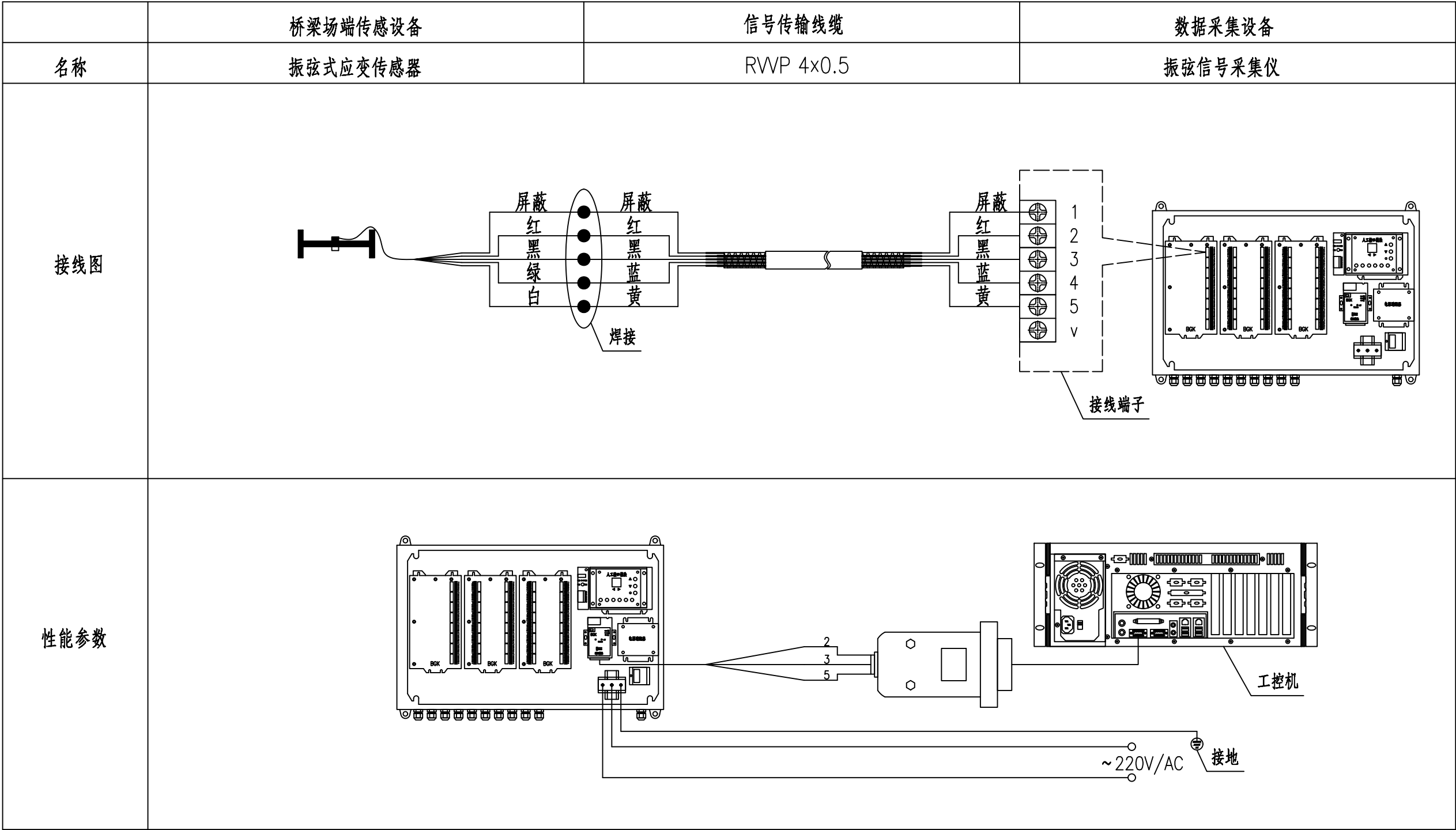
交通工程

建筑

道路

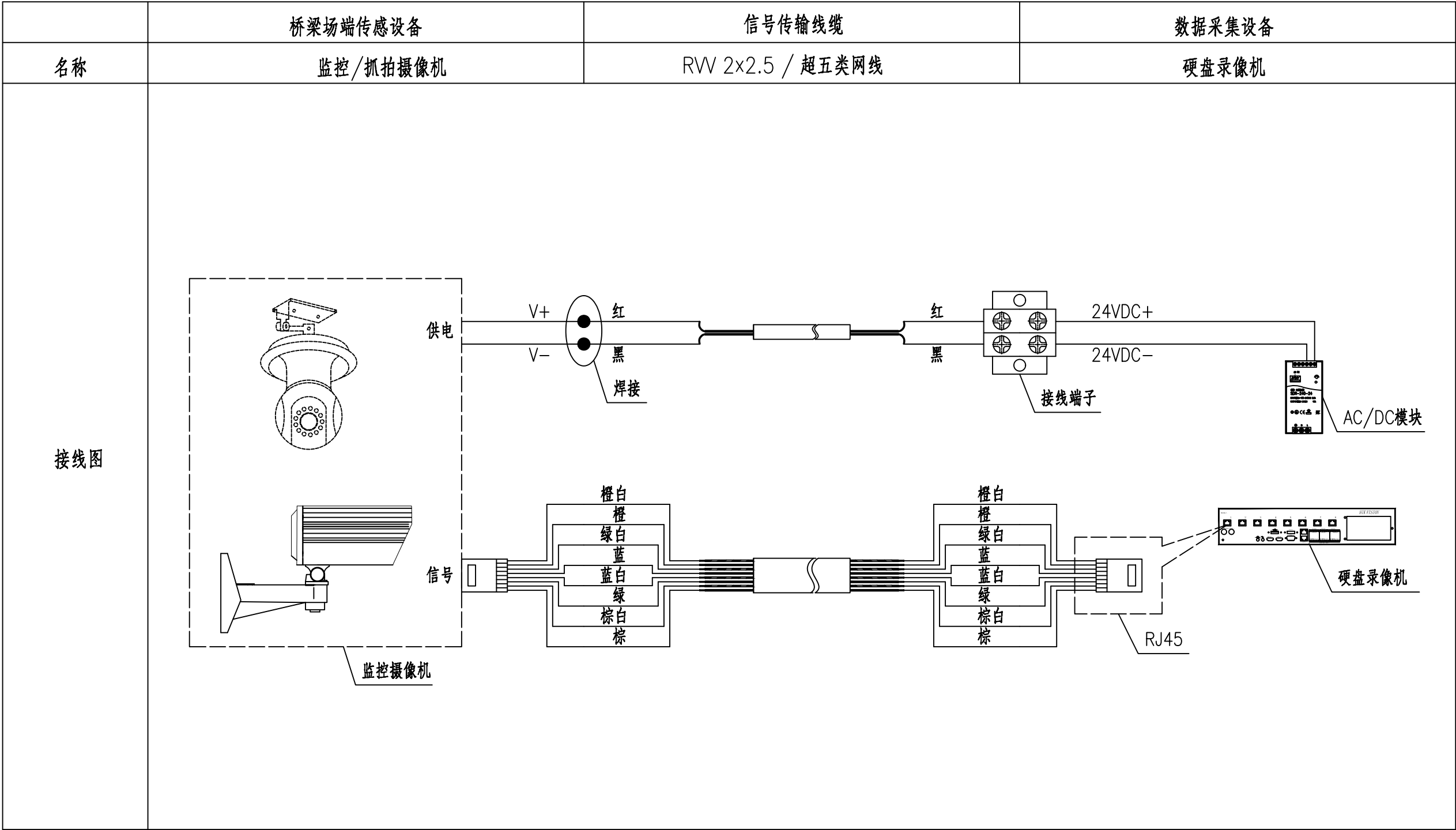
专业会签

振弦式应变计接线图



注：
1. 具体接线方式，详见设备说明书。

监控摄像头接线图



其他

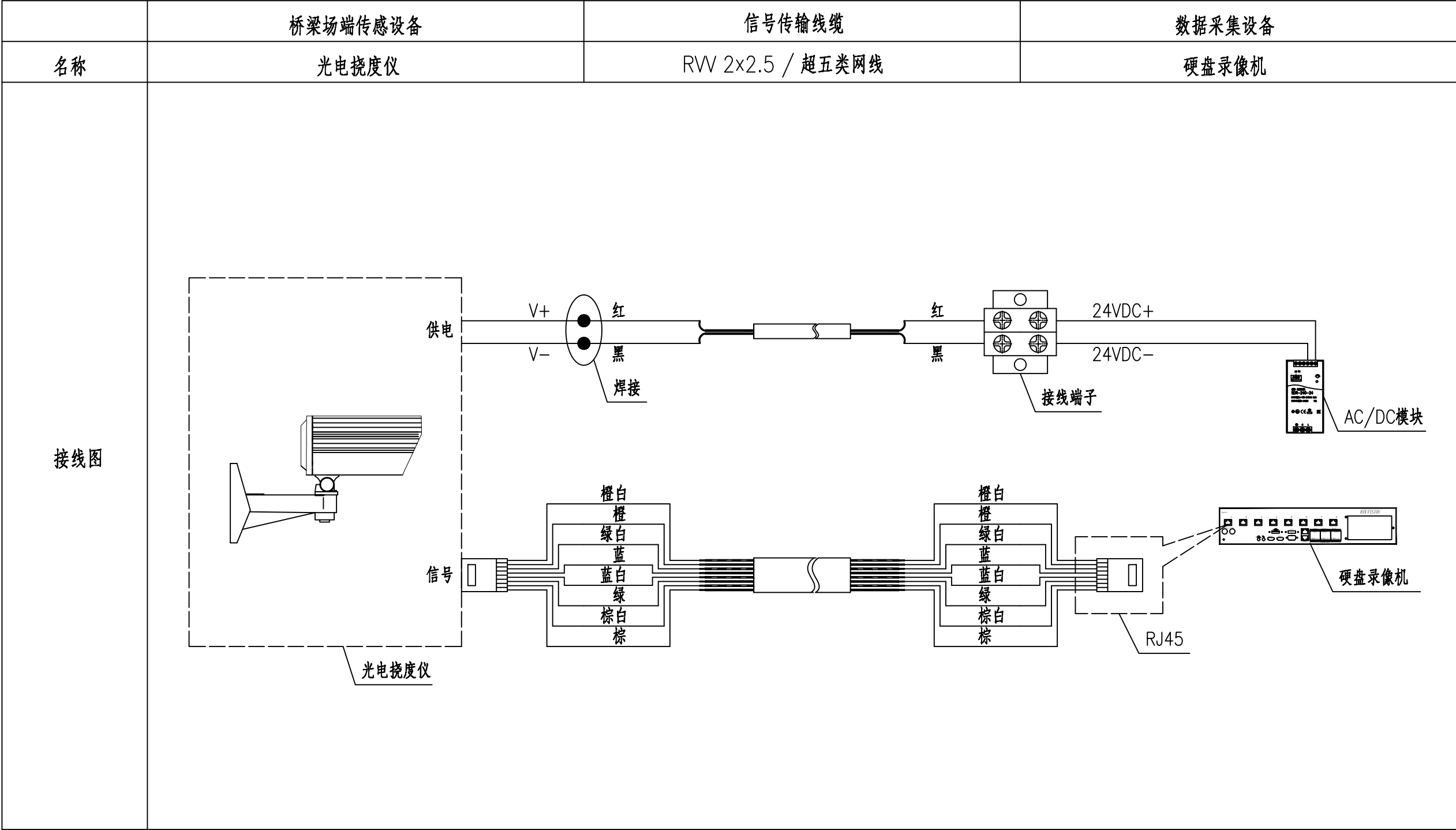
交通工程

建筑

道路

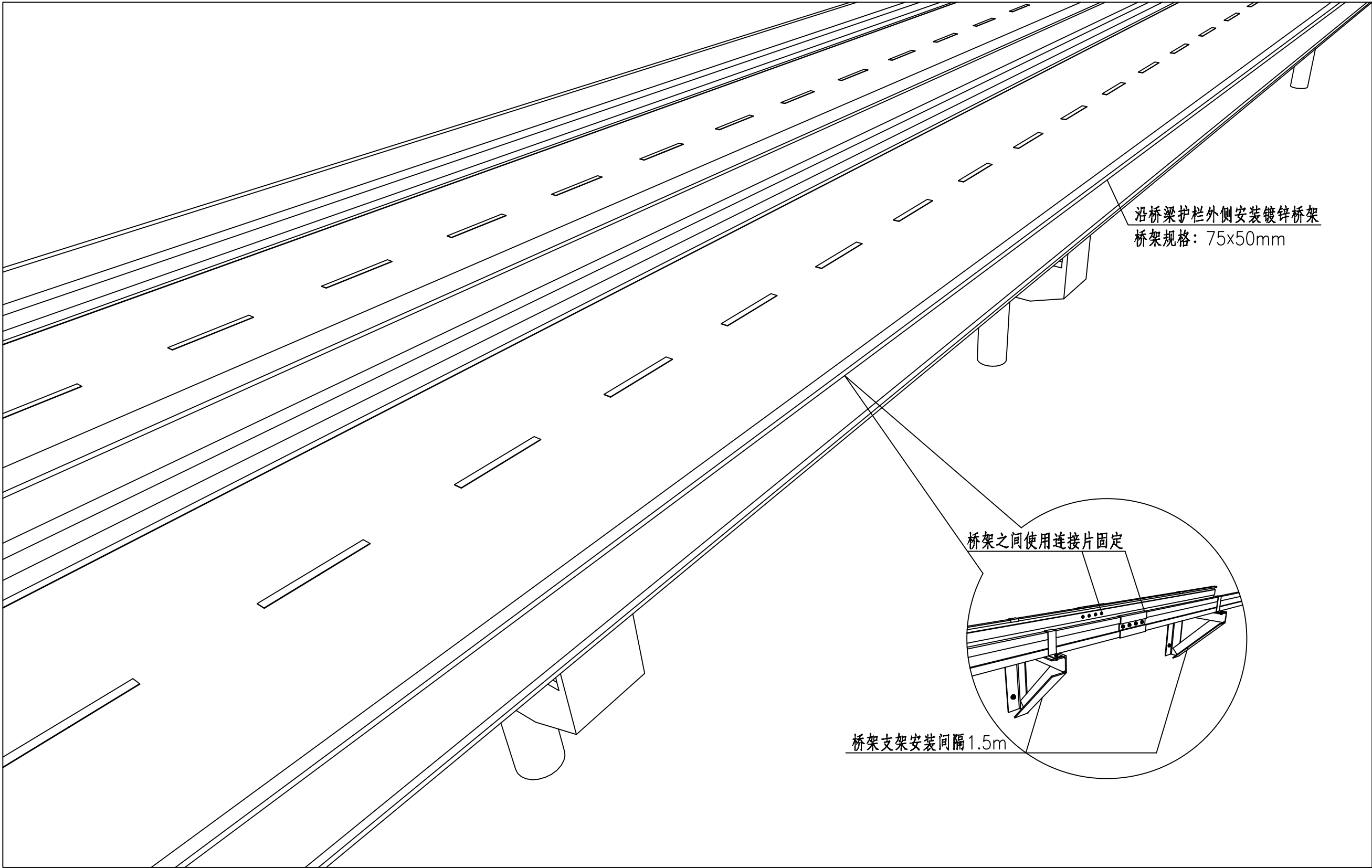
专业会签

光电挠度仪接线图

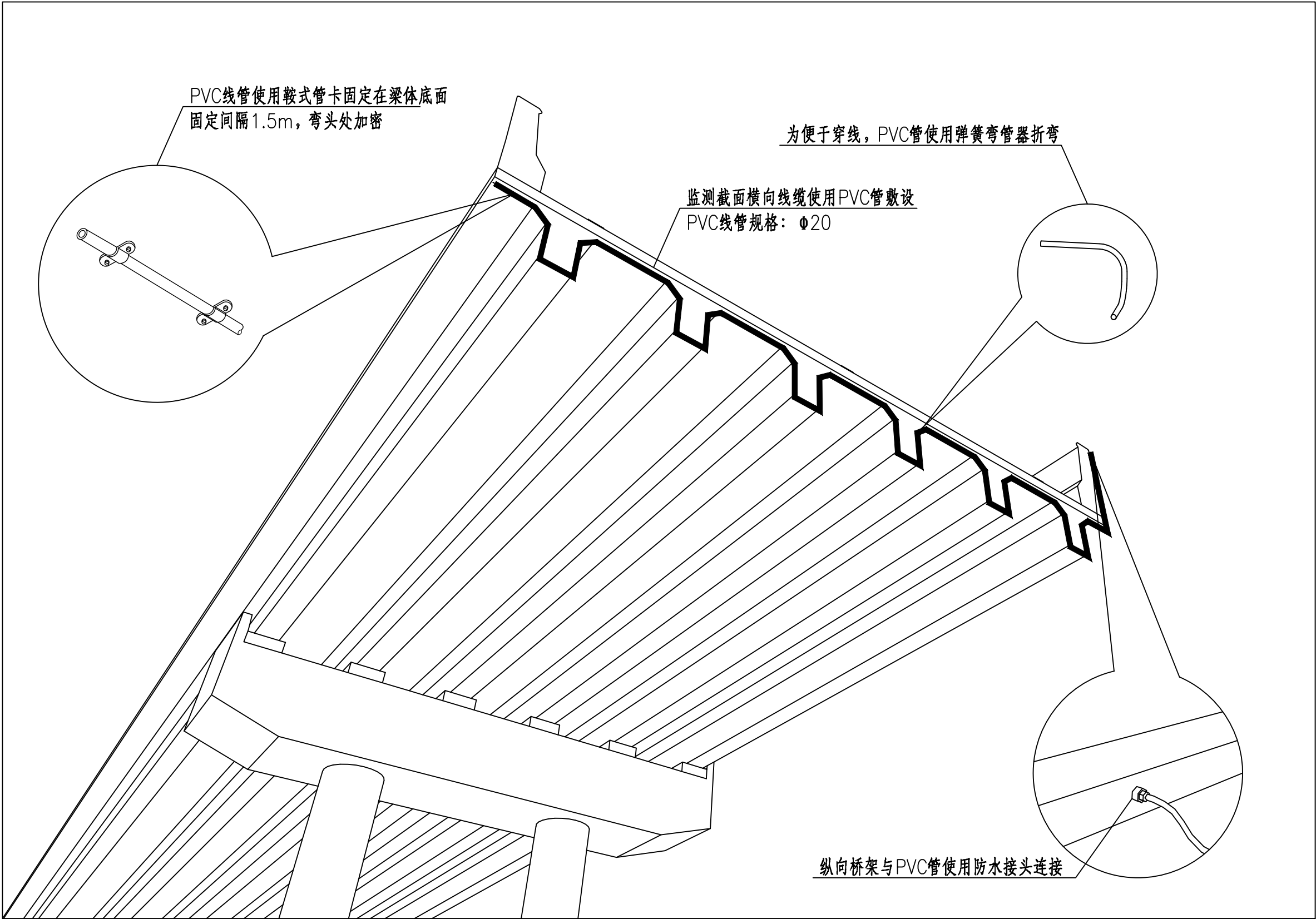


注：
1. 具体接线方式，详见设备说明书。

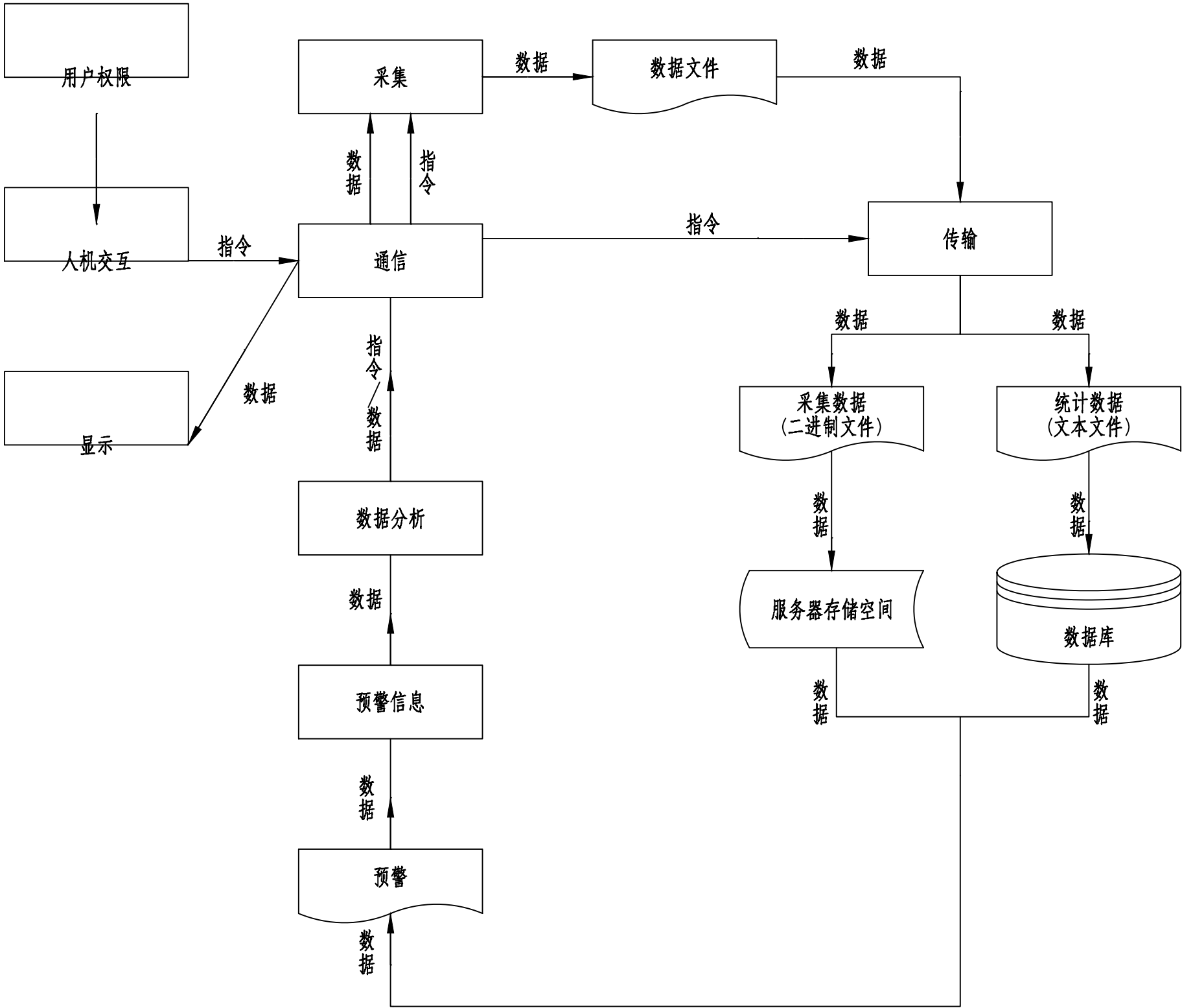
线缆敷设示意图一



线缆敷设示意图二



数据处理与控制逻辑拓扑图



其他

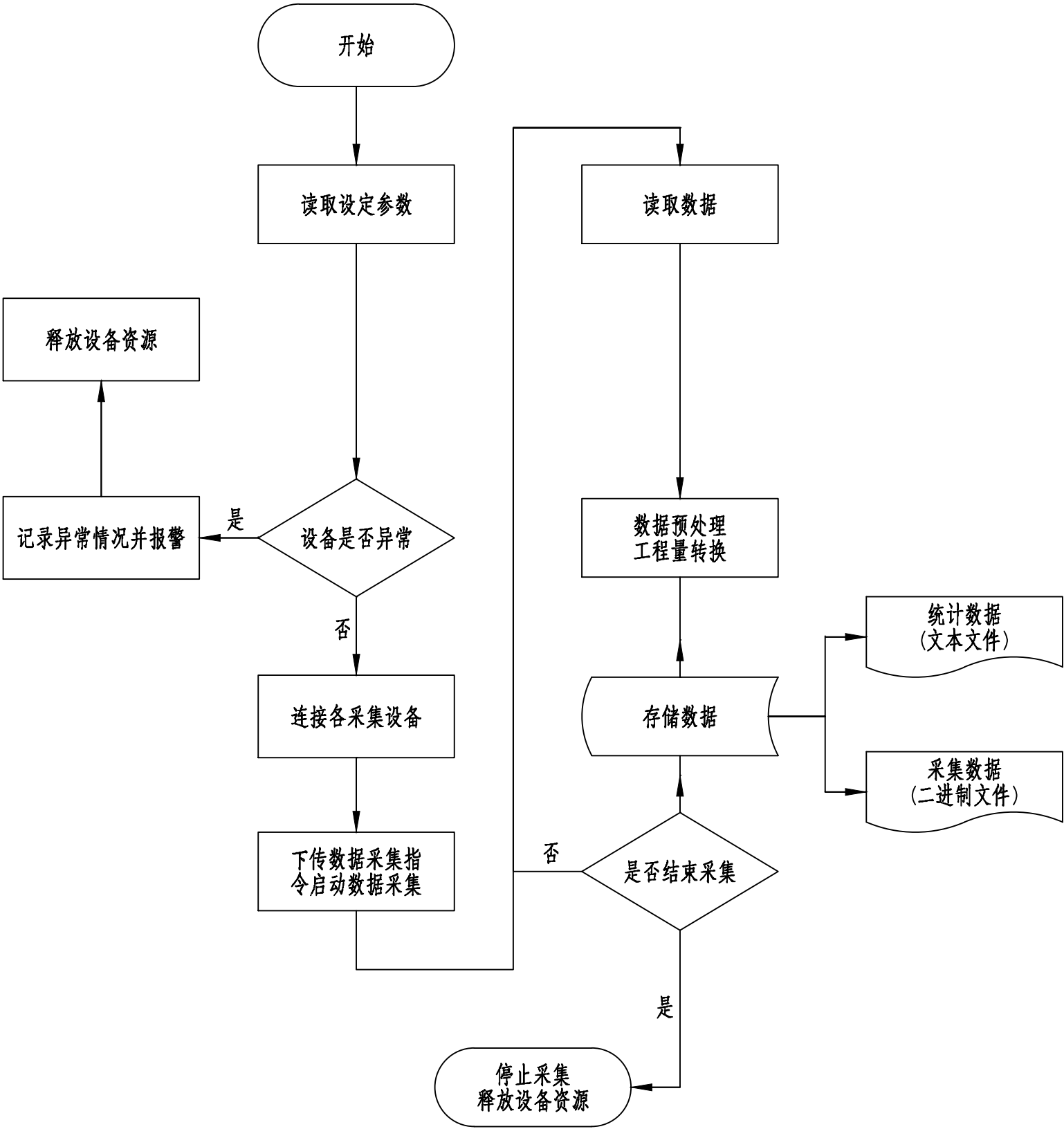
交通工程

建筑

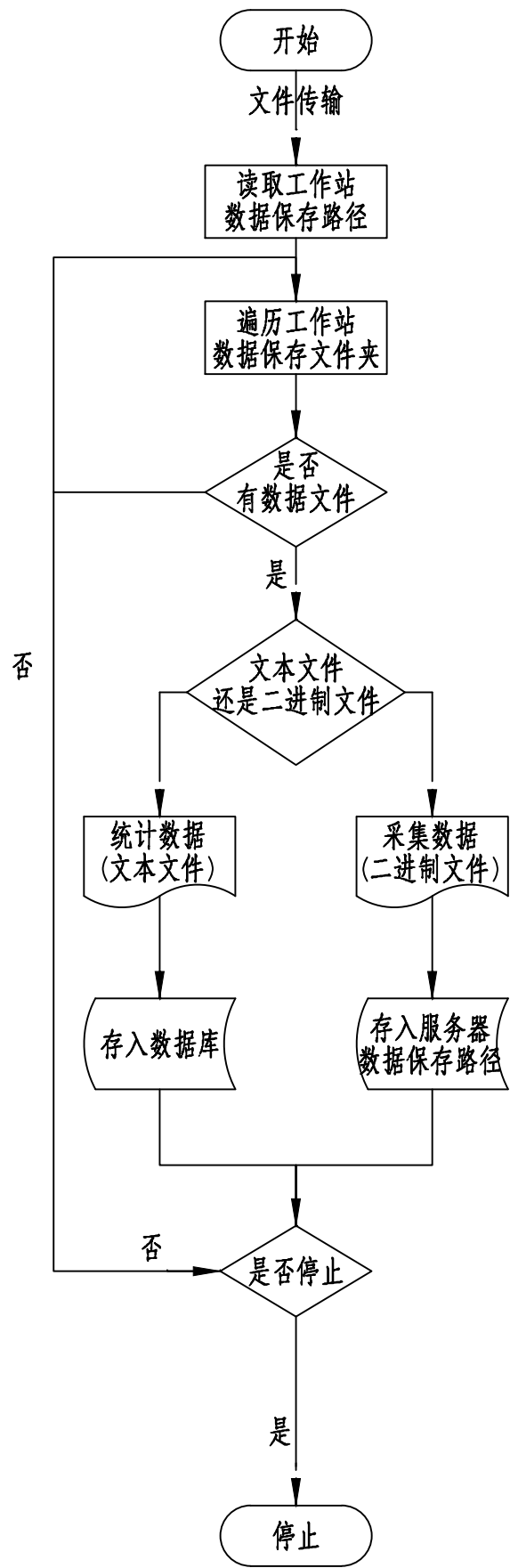
道路

专业会签

采集软件流程图



通讯软件流程图



其他

交通工程

建筑

道路

专业会签

传感器参数远程控制模块

