

贵州交通职业技术学院
喀斯特山区公路工程安全技术研究与科普教育基地

初步设计

第一册 共二册
(第3分册 共4分册)

桥梁健康监测



贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司
GUIZHOU TRANSPORTATION PLANNING SURVEY & DESIGN ACADEME CO.,LTD.

二〇二一年

贵州交通职业技术学院
喀斯特山区公路工程安全技术研发与科普教育基地

初步设计

第一册 共二册
(第3分册 共4分册)

桥梁健康监测

设计负责人：[Signature]
技术负责人：[Signature]
中心主任：[Signature]
事业部总工程师：[Signature]
事业部总经理：[Signature]
总工程师：[Signature]
总经理：[Signature]

勘察设计单位：贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司
工程勘察证书：中华人民共和国住房和城乡建设部 勘察综合甲级 B152000746
工程设计证书：中华人民共和国住房和城乡建设部 公路行业甲级 A152000746

技术成果资料专用章
(三)

目 录

设计说明.....	1	4.1.3 数据处理与控制.....	6
1 总体说明.....	1	4.2 数据存储与管理子系统.....	6
1.1 工程概况.....	1	4.2.1 数据存储管理子系统组成.....	6
1.1.1 桥梁概况.....	1	4.2.2 数据管理系统工作流程.....	6
1.1.2 结构特点.....	1	4.3 综合预警与安全评估子系统.....	7
1.2 系统概况.....	1	4.3.1 安全报警与安全评估子系统组成.....	7
1.3 服务范围.....	2	4.3.2 安全预警模块.....	7
1.4 设计依据及规范.....	2	4.3.3 安全评估模块.....	9
2 总体设计.....	2	4.4 用户界面子系统.....	10
2.1 系统总体目标.....	2	4.4.1 用户界面子系统架组成.....	10
2.2 设计原则.....	2	4.4.2 基于 B/S 架构的远程监测模块.....	10
2.3 系统测点编码说明.....	3	4.4.3 手机平台模块.....	11
2.4 系统功能架构.....	3	4.4.4 报警平台模块.....	11
2.5 系统功能设计.....	3	5 系统设备技术要求.....	11
2.5.1 自动化监测子系统.....	3	5.1 结构监测设备.....	12
2.5.2 数据存储与管理子系统.....	4	5.1.1 空气温湿度计.....	12
2.5.3 综合预警与安全评估子系统.....	4	5.1.2 温度传感器.....	12
2.5.4 用户界面子系统.....	4	5.1.3 挠度传感器.....	12
3 监测内容及测点布设.....	4	5.1.4 位移传感器.....	12
3.1 监测内容.....	4	5.1.5 索力传感器.....	12
3.2 测点布设.....	4	5.1.6 振动传感器.....	13
3.3 具体布设位置.....	4	5.1.7 风速风向仪.....	13
4 健康监测各子系统设计.....	5	5.1.8 地震响应.....	13
4.1 自动化监测子系统.....	5	5.1.9 应变传感器.....	13
4.1.1 传感器模块.....	5	5.1.10 动态称重系统.....	13
4.1.2 数据采集与传输模块.....	6	5.2 采集与传输设备.....	14
		5.2.1 采集工控机.....	14
		5.2.2 数据采集卡.....	14
		5.2.3 交换机.....	14

5.2.4 采集站 UPS 电源.....	14
5.3 附属设备技术要求.....	15
1) 防雷接地.....	15
2) 防护设备.....	15
5.4 系统集成.....	15
6 工程量清单.....	15

设计说明

总体说明

1.1 工程概况

1.1.1 桥梁概况

主桥为下承式系杆拱桥，主拱肋采用采用钢箱截面；主梁采用由系杆箱、横梁、小纵梁组成的钢结构纵横体系；正交异性钢桥面板。桥梁全宽7.35m，有效宽度5m，桥面横坡为双向1.5%，通过桥面铺装形成。钢结构采用工厂预制，现场支架吊装施工。

上部结构采用主跨50m的下承式系杆拱桥（计算跨径48m），拱肋采用钢箱截面；梁采用由系杆箱、横梁、小纵梁组成的钢结构纵横体系；正交异性钢桥面板。

主要设计标准如下所示：

- 1、桥梁设计基准期：100年。
- 2、桥梁结构设计安全等级：一级。
- 3、桥面净宽：5米。
- 4、桥面横坡：双向1.5%。
- 5、人群荷载：按照《城市人行天桥与人行地道技术规范》（CJJ 69-95）取用，其中人群荷载：5.0KN/m²。

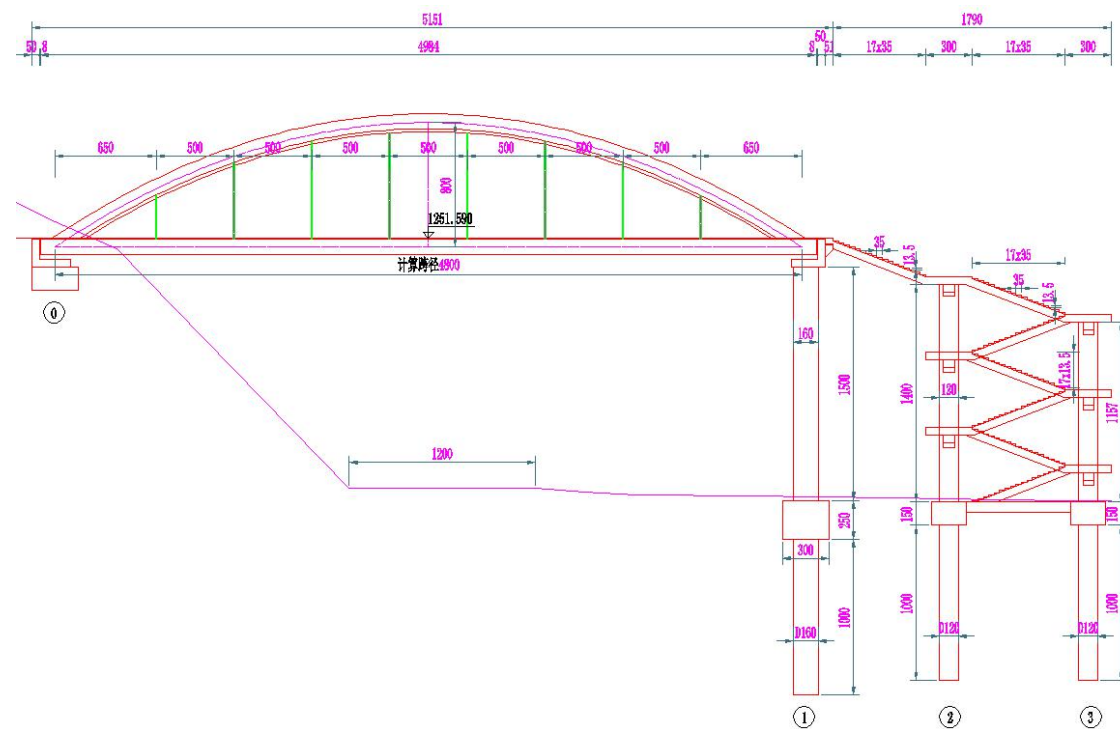


图 1-1 人行天桥主桥立面布置图（单位：cm）

1.1.2 结构特点

(1) 拱肋

拱肋计算跨径 48m，立面投影矢高为 8.0m，矢跨比为 1/6，采用蝴蝶型双拱肋，拱肋向桥外侧倾斜。拱肋外倾角度 15°，拱轴线立面方程 $z=-0.00994x^2+8.65$ 。

拱肋标准横断面尺寸 1000×750mm，顶底板板厚 20mm，腹板板厚 18mm，加劲尺寸 200×20mm，以桥跨中线为基线沿路线方向 1250mm 间距设置横隔板，隔板厚度 20mm。

(2) 钢梁

由钢结构梁格与桥面板组成的整体。钢梁格由两根边系杆箱、端横梁、中横梁、小纵梁组成。桥面板采用正交异性钢桥面板。

桥面随横坡设置双向 1.5% 的坡度，钢梁中心名义梁高 1000mm，系杆箱随拱肋设置 15°斜腹板，系杆箱顶底板板厚 20mm，腹板板厚 18mm，系杆箱加劲尺寸 200×20mm，以桥跨中线为基线沿路线方向 2500mm 间距设置横隔板，隔板厚度 20mm，小纵梁及中横梁采用倒 T 型断面，腹板厚 18mm，底板厚 20mm，端横梁采用箱型截面，中间增设 1 道腹板，端横梁腹板厚 20mm，底板厚 20mm，正交异性钢桥面标准段内板厚 14mm，梁端 3.545m 范围内桥面板加厚至 20mm，桥面过渡段长 400mm。桥面标准段加劲尺寸 160×16mm，桥面加厚段加劲尺寸 200×20mm。

(3) 吊杆

吊杆两侧对称布置，吊杆顺桥向间距6m，两侧拱下各设吊杆8根，全桥吊杆合计16根。吊杆采用Φ15.2x4单丝环氧喷涂无粘结钢绞线，缠包后热挤HDPE，索体外径54mm，破断索力1040kN。拱上吊杆采用销接方式锚固，拱上插销板厚30mm，两侧填板厚6mm，总厚度42mm，吊杆锚固隔板与吊杆方向一致，垂直于水平面布置，与拱轴线斜交。梁上吊杆间距6m，销接方式同拱上吊杆。吊杆采用两端锚固的形式。

1.2 系统概况

从上世纪90年代开始，结构控制研究热点转向结构运营期的监测，近二十年来，桥梁运营期的监测逐渐受到关注并得到很大程度的研究应用。已经安装运营期监测系统的部分桥梁取得了较好的效果，如国内的港珠澳大桥、杭州湾跨海大桥、沪通长江大桥（主跨为1092m钢桁梁斜拉桥）、毕都北盘江特大桥（钢桁梁斜拉桥）、贵州大小井特大桥（钢管混凝土拱桥）、东海大桥、白沙洲大桥（主跨618m双塔混合梁斜拉桥）、贵州坝陵河特大桥（主跨1088m钢桁梁悬索桥）、贵州平塘特大桥（双主跨550m斜拉桥）、上

海闵浦二桥（主跨215m独塔双层斜拉桥）、郑州黄河公铁两用桥（主跨5×168m钢桁梁斜拉桥）等。

目前的桥梁健康监测的基本趋势是将结构的安全监测与养护管理相结合，形成相互交叉的系统。该系统重视结构重点部位的自动监测采集，考虑不同类别数据信息的整合利用，搭建多内核、多层次的评估预警体系，通过最终的评估结果，给出合理的管养建议。

1.3 服务范围

本系统服务范围：深入分析人行天桥结构形式，结合后期养护管理要求，对系统总体结构、系统功能设计、监测内容、测点布设、硬件设备指标等内容进行了方案设计。

1.4 设计依据及规范

- (1) 《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》（JT/T 1037-2016）
- (2) 《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG / TH21-2011）
- (3) 《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG / TJ21-2011）
- (4) 《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB 50982-2014）
- (5) 《公路桥涵养护规范》（JTG H11-2004）
- (6) 《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）
- (7) 《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》（JTJ025-86）
- (8) 《公路工程质量检验评定标准》第一册 土建工程（JTG F80/1-2017）
- (9) 《公路工程质量检验评定标准》第二册 机电工程（JTG F80/2-2004）
- (10) 《民用建筑电气设计规范》（JGJ 16-2008）
- (11) 《人行天桥施工图》
- (12) 人行天桥设计资料及其他相关资料

2 总体设计

2.1 系统总体目标

桥梁由于受到气候、腐蚀、材料性能退化等因素的影响，以及在长期静动载作用下不可避免出现的各类损伤，使得桥梁工作性能的表征量——强度和刚度将随时间的增加而呈现降低的趋势。这一现象不仅会影响桥梁的安全，亦会缩短桥梁的使用寿命。为掌握桥梁运营期间的结构及行车状态，实时或准实时地获取桥址环境、车辆载荷对桥梁结

构整体或局部所产生的效应，设置有效的安全预警机制，定期或突发事件后对桥梁的结构状态和交通状态作出评估，掌握大桥工作状态的变化规律，为桥梁养护管理单位提供主动式管养建议。

人行天桥健康监测系统基于结构监测获取的信息，实现桥梁结构监测数字化、养护管理信息化，为大桥管理提供科学的决策依据，并在桥梁出现病害时有效地开展养护、维修与加固工作,提高桥梁养护管理水平，系统总体功能要求如下：

- (1) 系统能够准确获取反映结构响应、构件状况与环境参数等信息；
- (2) 通过对于自动化获取监测数据的评估结论，以及长期监测数据的统计分析得到的各项特征参数发展规律及其变化趋势，实现对桥梁结构进行分级预警和结构状态评估，为养护管理提供决策支持；
- (3) 提供桥梁监测数据的管理平台，实现桥梁动态、静态数据的归档、查询、存储管理等功能；
- (4) 系统采用主流框架、模块化结构，各子系统以及子模块之间相对独立，并通过合理的集成手段进行有序融合，便于系统的检查、维护、更换、升级；
- (5) 系统具有自检、校准、控制功能，通过具体的措施和量化指标，包括硬件设备的在线诊断、更换以及软件的升级修复，保证系统能够在线连续运行以及正常运行的天数每年不低于 345 天；
- (6) 系统设计时通过有效的储存方案，在合理的经济范围内，确保所存储监测数据的代表性和全面性；
- (7) 通过适当的算法，实现数据分析结果的准确性、分析过程的简便性，提高监测数据的使用效果和应用效率；
- (8) 通过人性化设计，将系统复杂的监测运行、监测内容和监测分析流程，简化为易于大桥管理人员掌握和管理的操作程序，便于直观性监测结论的获取，实现系统人机交互界面的友好性，便于养护管理人员操作，简化直观性监测结果的获取过程，并确保系统具有远程数据共享及监测的功能。

2.2 设计原则

系统在监测桥梁结构状态的同时，应立足服务于养护管理，提高结构安全和养护管理水平，在监测数据、传感器使用等方面充分衔接与融合，系统设计遵循以下原则：

- 1) 系统的实用性

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) 系统的可靠性

由于结构健康监测系统长期、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。

3) 系统的先进性

桥梁结构监测系统将采用当前综合集成理念，集成自动化监测和定期检测，形成本桥养护管理综合集成平台，系统采用先进的监测设备，模块化软件，功能齐全，针对性强，使系统的监测能力达到当前国际先进水平。

4) 系统的合理性

系统监测内容紧扣本桥结构特点及监测需求，选择重要部位和反映结构安全的监测项目进行监测，设置适当的监测测点，设计灵活的采集制度，避免海量数据造成系统的复杂性，造成分析困难，影响系统的稳定性。

5) 可操作和易维护性

系统正常运行后应易于管理、易于操作。对操作人员及维护人员的技术水平及能力，不应有过高要求。选用产品时，应考虑以后的升级换代的方便，充分考虑系统的技术继承性，充分考虑到系统维护和调整的方便，使系统长期保持正常运转。

6) 完整性和可扩展性

系统的监测过程必须内容完整、逻辑严密、各功能模块之间既相互独立又相互关联，避免故障发生时的联动影响，也方便系统扩容。随着桥梁结构运营时间的增长，系统需要监测的内容将会增多，所以要充分考虑系统的可扩展性，留有软硬件接口，方便扩容。系统设计上应适当留有冗余，在不改变系统原有软件和硬件的情况下，可以扩充一定数量的传感通道。

2.3 系统测点编码说明

人行天桥健康监测系统对其监测点都有明确的统一的编号规则。例如风速风向仪测点编号：FSFX-X-Y，“FSFX”代表风速风向仪，“X”代表传感器布置的截面位置，“Y”代表具体测点序号。各监测参数测点布置详见施工图。

2.4 系统功能架构

为实现系统在大桥运营期间的预期功能，将其总体架构作如下设计：人行天桥健康监测系统由四个子系统组成，包括自动化监测子系统、数据存储与管理子系统、综合预警与安全评估子系统、用户界面子系统。其中自动化监测子系统包含传感器模块、数据采集与传输模块、数据处理与控制模块；数据存储与管理子系统主要包含桥梁基本信息数据库、实时监测数据库及系统管理数据库；综合预警与安全评估子系统包含数据分析模块、安全预警模块及安全评估模块；用户界面子系统包含报表生成管理模块、数据显示与维护模块及交互式录入与查询模块。

四大子系统关系是：自动化监测子系统用于荷载源、结构响应数据的采集，并将获取的数据作一定预处理后，统一存储在数据存储与管理子系统中，然后使用软件中计算工具进行相应的统计分析，结合各参数设定的安全阈值实现系统的综合报警和安全评估功能，并由用户界面子系统完成人机交互工作。

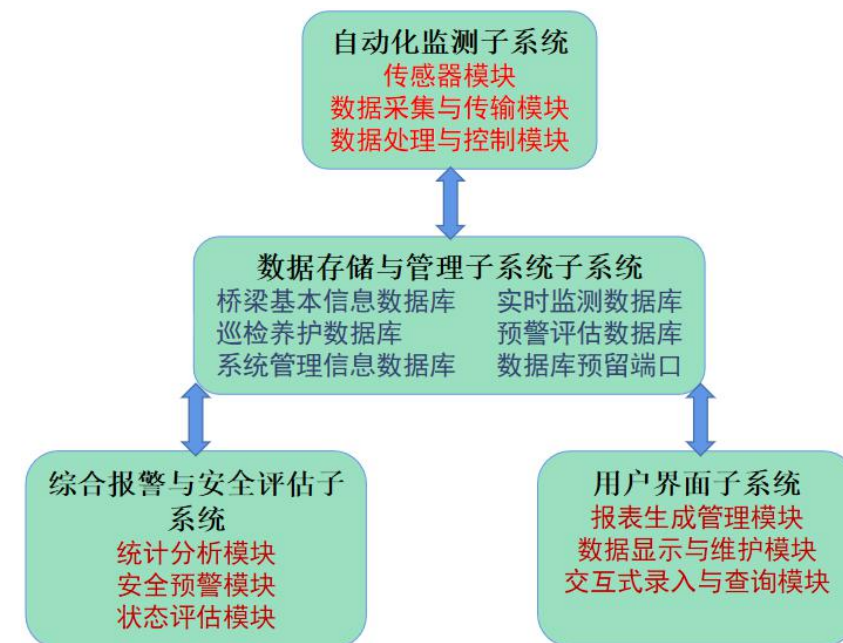


图 2-1 系统功能架构图

2.5 系统功能设计

2.5.1 自动化监测子系统

自动化监测子系统：通过传感器、数据采集、数据传输设备实时采集结构响应及环境特征数据，并通过数据处理和控制设备对采集到的数据做进一步处理。可分为传感器模块、数据采集及传输模块、数据处理与控制模块三个主要模块。

2.5.2 数据存储与管理子系统

数据存储与管理子系统：对传感器监测得到的各类数据，进行统一的数据处理、结构状态评估及预警，包括预警模块和评估模块。该子系统主要管理系统运营后的所有动静态数据（包括实时监测数据、报警评估数据、桥梁基本信息、系统管理信息等），并完成数据的归档、查询、存储。

2.5.3 综合预警与安全评估子系统

综合预警与安全评估子系统：该子系统主要管理整个大系统全寿命期桥梁的所有动态、静态数据（包括设计资料、施工期资料、实时监测数据、预警评估数据、桥梁基本信息、系统管理信息等），并完成数据的归档、查询、存储等。

2.5.4 用户界面子系统

用户界面子系统主要是向大桥管理单位、科研单位、设计单位、养护单位、结构工程师等相关人员提供监测数据分析结果，满足桥梁管理人员监测管理应用的人机界面。

3 监测内容及测点布设

3.1 监测内容

根据《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037-2016 文件及人行天桥健康监测系统的功能定位，拟采用荷载与环境监测、结构整体响应监测和结构局部响应监测三位一体的综合监测方法，其具体监测内容应包括以下部分：

- (1) 荷载与环境监测：风速风向、环境温湿度、结构温度、地震。
- (2) 结构整体响应监测：振动、挠度、位移。
- (3) 结构局部响应监测：应变、索力。
- (4) 车辆监测：动态称重系统

3.2 测点布设

根据《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》（JT/T 1037-2016）规范、人行天桥结构特点以及其养护管理的需求，结合既有桥健康监测系统，遵循“代表性、实用性、经济性、少而精”测点优化布设的原则，对人行天桥各项监测内容进行测点优化布设，达到用较少的测点实现对桥梁结构的全面监测。具体的监测测点布设如下表 3.1、图 3-1 所示。

表 3.1 测点布设一览表（现场安装）

监测类型	监测项目	传感器类型	测点数量	监测截面
------	------	-------	------	------

荷载与环境监测	环境温湿度	温湿度计	1	拱脚位置处
	环境风荷载	风速风向仪	1	跨中位置
	结构温度	温度传感器	30	主梁、拱圈四等分点处
结构局部响应监测	结构应变	应变传感器	30	主梁、拱圈四等分点处
	吊杆索力	索力计/压力环	8	典型吊索
结构整体响应监测	梁端位移	位移计	2	拱脚位置处
	线形/挠度	挠度仪	8	左岸拱脚位置、主梁四等分点处
	动力特性	振动传感器	6	主梁、拱圈跨中截面处
合计			86	

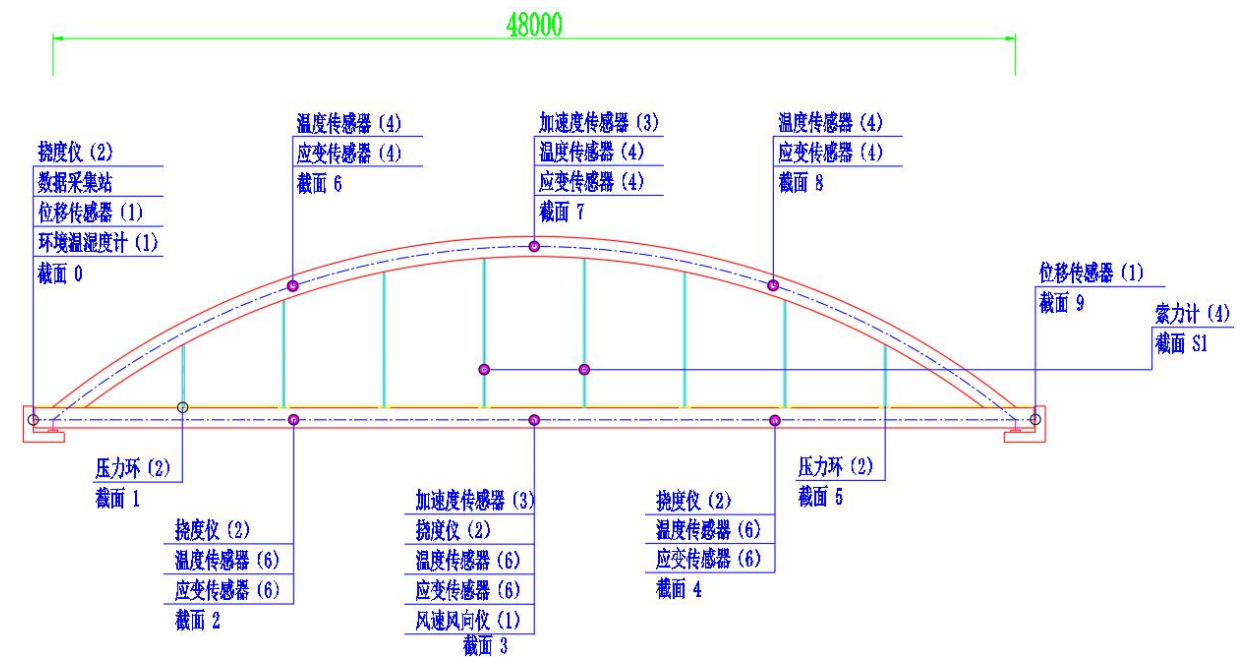


图 3-1 人行天桥测点总体布设图（单位：mm）

3.3 具体布设位置

1) 环境风荷载

风荷载作为主要的荷载源之一，会使桥梁结构产生较大的变形和振动。因此，为能够有效地监测桥址处的风力变化情况，预测其长期变化趋势，达到为结构力学响应分析以及安全状况评估提供依据的目的，根据《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB 50982-2014）7.1.5 条规定，须对桥梁进行风速、风向的监测。考虑到通过健康监测中的风速监测实现峡谷风场难度极大，且在目前预计资金范围内基本无法实现，意义较小，综合考虑下，仅针对主梁跨中位置处进行风速监测。

风荷载监测测点布设如下：主梁跨中位置处布设 1 个测点，测点数量共计 1 个。

2) 温湿度

环境温度的改变常引起桥梁结构的胀缩变形，其周期性变化对于大跨径桥梁的受力影响显著，环境湿度则是影响钢构件耐久性能的重要因素。因此，温湿度是最为常规但又不可或缺的监测内容。根据《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB 50982-2014）7.1.5条规定，温湿度监测为拱桥的应监测项。

温湿度监测测点布置如下：拱脚位置处布置 1 个测点，测点数量共计 1 个。

3) 结构温度

环境温度通过热传导作用，在桥梁结构不同部件之间产生一定的温度差和局部温度梯度，人行天桥为高次超静定结构，结构温差的存在将会产生一定的次内力，局部温度梯度亦会产生一定程度的温度应力。为全面掌握结构温度的分布情况，进而准确分析结构在温度作用下的力学响应，须对主梁刚结构及混凝土桥面板温度进行监测。

结构温度监测测点布置如下：拱圈 L/4、L/2、3L/4 截面均布设 4 个测点、主梁 L/4、L/2、3L/4 截面均布设 6 个测点，测点数量共计 30 个。

4) 结构应力

结构应力是桥梁受力状态的直观体现，是衡量构件材料安全性能的重要指标。人行天桥除了结构体系引起的高应力区域外，其自身的构造特点亦会在相应部位出现应力集中现象。为了更好的把握大桥的力学性能，因此须对主梁钢结构关键受力截面的应力状况进行监测。

结构应力监测测点布置如下：拱圈 L/4、L/2、3L/4 截面均布设 4 个测点、主梁 L/4、L/2、3L/4 截面均布设 6 个测点，测点数量共计 30 个。

5) 吊杆索力

吊杆作为支撑主梁以及传递荷载的重要构件，其工作状态直接关系到桥梁能否正常的安全运营。在车辆荷载和风荷载的共同作用下，吊杆处于高应力状态且具有较大的应力幅值。此外，随着运营时间的增加，吊杆的腐蚀老化现象将逐渐凸显，桥跨结构的整体受力情况也将随之改变。因此，须对典型吊杆索力进行监测。考虑到对称布置有利于识别：是结构损伤导致的索力变化还是荷载导致的索力变化，对典型吊索采用对称布置的方式进行吊杆索力的监测。

吊杆索力监测测点布置如下：端索（4 个）、跨中（4 个），测点数量共计 8 个。

6) 梁端纵向位移

梁端可认为与支座协调变形，而支座作为桥跨结构与下部结构连接装置，不仅起到传力的作用，还要保证能随梁体保持一定的变形，是桥梁正常安全工作的保障，因此选

择主梁梁端布设位移计，用于监测主梁纵桥向位移。

位移监测测点布置如下：主梁梁端每侧均布设 1 个测点，测点数量共计 2 个。

7) 主梁线形/挠度

主梁直接承受来自车辆的荷载作用，主梁的挠度值不仅反映了梁体刚度的大小，也是桥梁结构整体工作性能的最直观表现。此外，主梁线形直接影响行车的安全性和舒适性，为了掌握主梁线形变化情况，须对主梁典型截面的挠度进行监测。

主梁挠度监测测点布置如下：左岸拱脚位置、主梁 L/4、L/2、3L/4 截面上下游各布设 1 个测点，测点数量共计 8 个。

8) 振动

结构一旦出现损伤或其他异常，其动力特征也将随之发生改变，因此桥梁的动力特征可作为结构健康评估的重要依据，从宏观方向总体把握桥梁结构的健康状况。

振动监测测点布置如下：主梁及拱圈跨中截面处均布设 3 个测点，测点数量共计 6 个。

4 健康监测各子系统设计

4.1 自动化监测子系统

4.1.1 传感器模块

所有传感器均应具有自动连续采集的功能。人工控制采集分为软件控制采集及硬件控制采集，本系统人工控制采集指软件控制采集，即通过在监控中心的软件控制改变采集方式。需厂家设定及现场改变传感器采集方式为硬件控制采集。

表 4.1 传感器采集方式

监测类型	监测项目	传感器类型	采集频率	备注
荷载与环境监测	环境风荷载	风速风向仪	≥10Hz	连续采集
	环境温湿度	温湿度计	1 次/分钟	连续采集
	结构温度	温度传感器	≥0.02Hz	连续采集
结构局部响应监测	结构应力	应力传感器	≥50Hz	连续采集
	吊杆索力	索力传感器	≥20Hz	连续采集
结构整体响应监测	梁端位移	位移传感器	≥1Hz	连续采集
	主梁线形/挠度	挠度仪	≥1Hz	连续采集
	动力特性及响应	振动传感器	≥20Hz	连续采集

4.1.2 数据采集与传输模块

数据采集与传输模块由外场工作站内的数据采集设备、数据传输网络及辅助支持系统组成。数据采集与传输模块完成传感器数据的采集、信号调理与数据传输。健康监测系统所包含的传感器种类多、分布广，为防止长距离传输造成的信号失真，同时又不大量增加数据采集单元的数量。外场数据采集站采用集中控制、本地备份、远程存储的采集模式，采集站分区域布设。

大桥共设置 1 个外场数据采集站，采集站具体位置如下图所示：

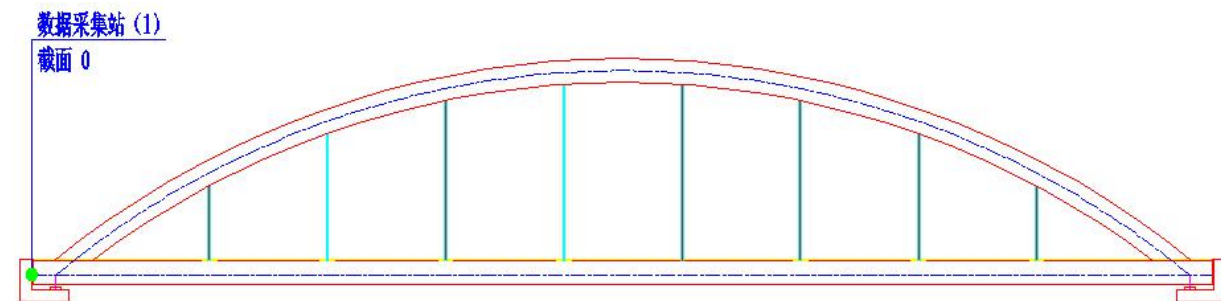


图 4-1 场外数据采集站布设示意图 (单位: cm)

4.1.3 数据处理与控制

数据处理与控制系统由数据处理与存储服务器和现场采集计算机组成，数据处理与存储服务器将采用先进的多芯多核 CPU 服务器。数据处理与控制系统通过主干光纤网络以及以太网和 RS485 总线控制安装在外场的数据采集模块和解调设备进行工作。

4.2 数据存储与管理子系统

4.2.1 数据存储管理子系统组成

数据存储管理子系统的数据来源主要包括：传感器、视频摄像机的监测数据，以及基础数据库中的公共基础信息、路网数据、管养机构信息和 GIS 数据。通过数据计算分析系统为桥梁运营期健康监测系统提供可视化显示、业务综合查询和科学分析决策等支持，数据管理中心框架结构设计如下图所示：

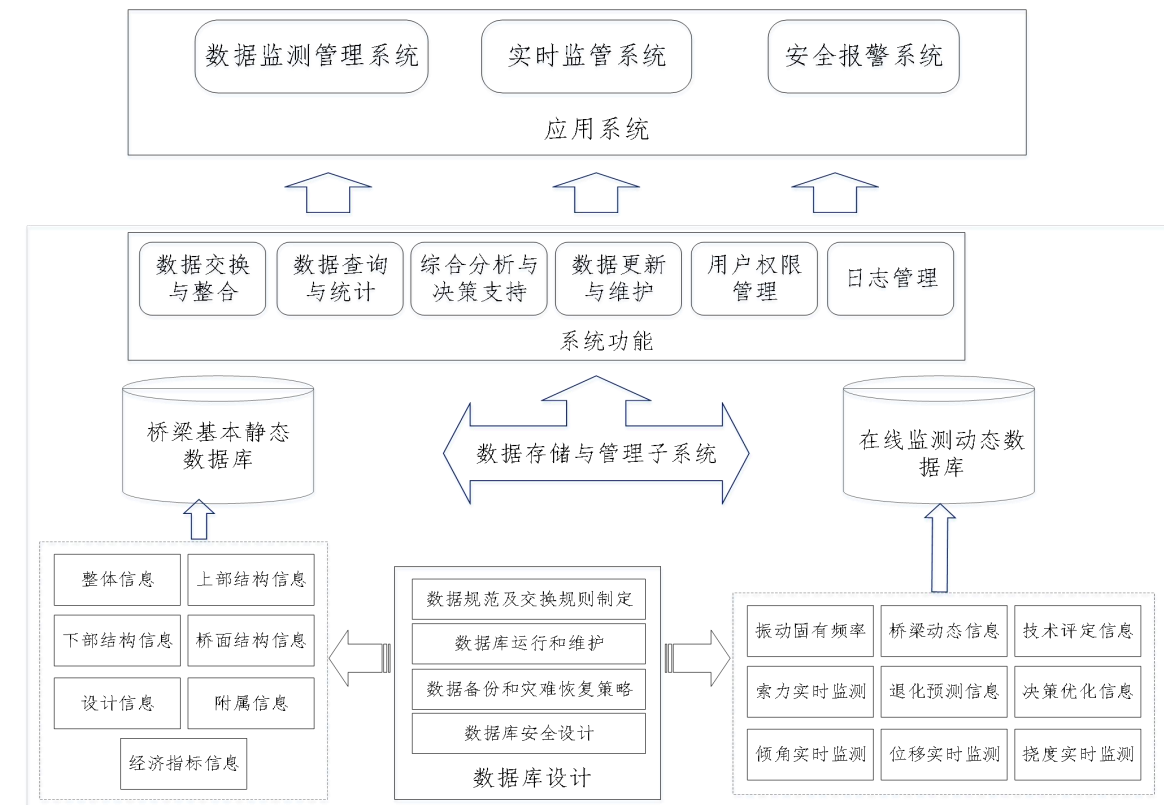


图 4-2 数据存储管理子系统功能框架

数据存储与分析子系统完成监测数据的校验、结构化存储、管理、可视化以及对监测采样的控制等工作。内容包括：对所有信号进行收集、处理、分析、显示、归档和存储，将经过处理和分析的数据发送到结构安全评估系统服务器，以进行结构安全状况评估和产生监测/评估报告。

4.2.2 数据管理系统工作流程

数据库管理系统安装在控制中心的结构健康评估服务器上，主要包括综合数据库和查询显示系统两部分。要求系统能快速及时地通过计算机网络以图文并茂、友好自主的方式显示数据库中的桥梁状态信息。

根据系统存储和管理海量数据和不同形式数据的需求，可选择采用 Microsoft SQL Server 或 Oracle 作为数据库管理系统，实现对桥梁几何数据、监测时间序列数据、图像监测信息和文本信息的统一存储。

信息查询子系统以 Internet 技术为基础，用户可通过网络查询有关桥梁状态的各种历史信息、实时信息。进而对桥梁管理的决策提供建议和帮助。提供多线索查询手段，如时段、结构区域、传感器类别、检查维修记录等。

4.3 综合预警与安全评估子系统

4.3.1 安全报警与安全评估子系统组成

该子系统对传感器监测得到的各类定量、定性的数据，进行统一的数据处理分析，然后按照一定的报警评估模型，得到桥梁结构安全状态的评估和报警报告，据此给出桥梁结构的管养建议。桥梁养护单位根据评估报警报告给出的管养建议，可以制定经济合理的管养计划。该子系统主要包括数据统计分析、综合报警和评估三个模块。

数据分析模块：该模块的主要目的是对实测数据作预处理及分析，包含数据分析和数据分析两个部分。其中，数据处理侧重于数据的实时信息提取，接收来自于自动化监测子系统的实时数据。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。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，并将结果存入中心数据库。

安全报警模块：该模块的主要目的是及时发现桥梁结构存在的问题。包含设备状态报警、结构状态报警，其中设备状态报警是指桥梁监测设备工作状态的报警，由数据异常识别来诊断仪器异常；结构状态报警是指桥梁关键构件部位在荷载等作用下的结构响应报警、正常使用极限状态报警以及承载能力极限状态报警，通过对结构变形等监测参数建立报警指标，对监测结果进行分析预测，并分级报警。

安全评估模块：该模块的主要目的是对桥梁结构的技术状态进行评价，包括桥梁安全性评估、承载力评估和其它专项评估。桥梁评估体系采用基于可靠度理论、模糊评价的层次分析法，即将整体结构按照功能和体系分割成相对独立的部分，然后按照各自的指标进行分块评估，再利用适当的标准聚合成整体的评价。

4.3.2 安全预警模块

1) 模块功能框架

桥梁安全预警模块负责桥梁危险状况识别和安全预警计算及分级预警，其功能框架见下图。

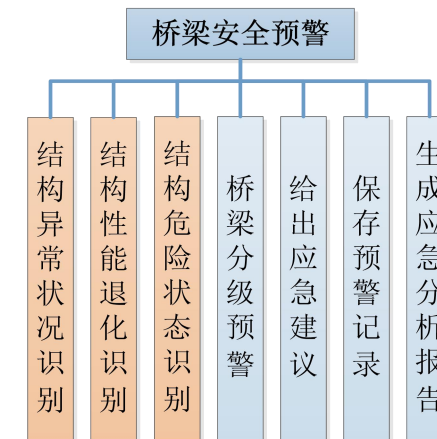


图 4-3 安全预警模块功能框架图

2) 模块工作流程

安全预警系统对桥梁进行实时自动监测，根据定期检查、人工巡查等历史资料，利用统计法、时间序列法等手段对监测数据进行实时预处理和分析，若发现安全预警指标出现明显的异常变化，则立即发出预警信号（如光、声、短信）或者直接中断交通，避免二次事故的发生；若安全预警指标变化情化不是很明确，则立即触发综合评估系统或者专项评估系统全桥进行分析评估，再根据评估结果采取相应的措施。

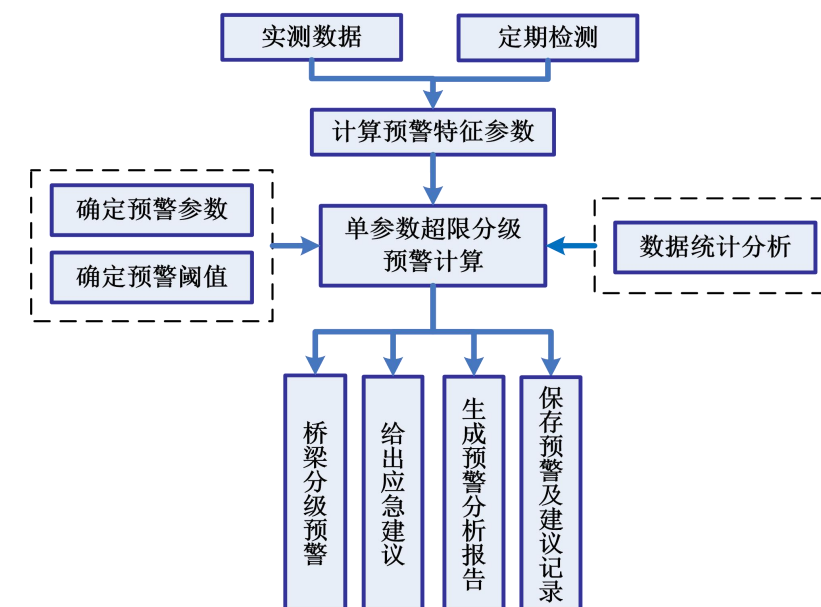


图 4-4 安全预警模块工作流程

3) 安全预警等级

根据中国工程建设协会标准《大跨度桥梁结构健康监测系统预警阈值标准》相关要求，人行天桥健康监测系统将安全预警等级分为四级，对应桥梁状态情况及对策如下表所示。中国工程建设协会标准《大跨度桥梁结构健康监测系统预警阈值标准》(四级预警)所不包含的参数，参考《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T 1037-2016)规范

(两级预警)。

表 4.2 预警级别划分及其桥梁状态描述

预警等级	级别描述	颜色标志	建议处置对策
I	特别严重	红色	及时关闭交通
II	严重	橙色	进行交通管制
III	较严重	黄色	酌情进行交通管制
IV	一般	蓝色	正常养护或重要部位重点查看

a) 车辆行车风速

表 4.3 行车风速预警阈值

预警等级	预警阈值
I	0.84V _d 和 32.6m/s 中较小值, 但不小于 25.0m/s
II	25.0m/s
III	20.8m/s
IV	17.2m/s

注: 1、V_d为重现期 100 年的主梁设计基准风速

b) 地震动水平向加速度

表 4.4 地震动水平加速度预警阈值

预警等级	预警阈值
I	E2 设计地震加速度峰值
II	E1 设计地震加速度峰值的 1.35 倍
III	E1 设计地震加速度峰值
IV	0.4m/s ²

注: 1、桥梁 E1、E2 地震动加速度设计值应根据“工程场地地震安全性评价报告”确定的设计地震动参数或行业标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01-2008 中第 3.1.4 条~第 3.2.2 条确定设计参数, 可分别取 50 年超越概率为 10%与 2%的加速度峰值

c) 相对湿度

表 4.5 相对湿度预警阈值

预警等级	预警阈值
I	70
II	60
III	50
IV	40

d) 绝对索力

表 4.6 绝对索力预警阈值

预警等级	预警阈值

预警等级	预警阈值
I	$T/T_{\max}-1=0.4$
II	$T/T_{\max}-1=0.3$
III	$T/T_{\max}-1=0.2$
IV	$T/T_{\max}-1=0.1$

注: 1、绝对索力预警以避免断索等事故发生为目的, 并以 1h 采样间隔的数据为样本, 将绝对索力 T 与索力设计最大值 T_{max} 进行比较。

e) 吊索振动加速度

表 4.7 吊索振动加速度预警阈值

预警等级	预警阈值
I	$ R_{Acc} - u_R / \sigma_R = 4.5$
II	$ R_{Acc} - u_R / \sigma_R = 4.0$
III	$ R_{Acc} - u_R / \sigma_R = 3.5$
IV	$ R_{Acc} - u_R / \sigma_R = 3.0$

注: 1、应以避免过大振动引起结构破坏等事故发生为目的, 并以 1 年为周期, 以每分钟加速度均方根 R_{Acc} 为参量, 统计其均值 u_R 和标准差 σ_R, 宜按下表确定预警阈值。

f) 主梁一阶自振频率

表 4.8 主梁一阶自振频率预警阈值

预警等级	预警阈值
I	25%
II	15%
III	10%
IV	5%

g) 主梁挠度

表 4.9 汽车荷载作用下主梁下挠程度预警阈值

预警等级	预警阈值
I	1 倍的设计容许挠度值
II	0.8 倍的设计容许挠度值

h) 梁端纵向位移

表 4.10 梁端纵向位移预警阈值

预警等级	预警阈值
I	1 倍的设计容许位移值
II	0.8 倍的设计容许位移值

i) 结构应力

表 4.11 结构应力预警阈值

预警等级	预警阈值
I	1 倍的设计容许应力值
II	0.95 倍的设计容许应力值

4) 报警方式

安全预警方式主要由预警精灵模块完成，实现预警处理和预警解除，负责报警和预警信息的处理和维护统计，并在有报警信息时调用桥梁结构状态评估系统，返回桥梁结构状态评估系统对桥梁的评估结果，为专家诊断提供依据。

当预警模块和预层次分析法发出的安全状态评估结果达到预警状态时，评估系统将自动发出预警信息，为便于管理人员第一时间掌握该信息，拟通过以下三种方式进行预警：

方式 1：在计算机终端显示界面上以醒目图形、声响等形式发出预警，并弹出提示对话框，必须人为取消后才停止；



图 4-5 结构报警示意图

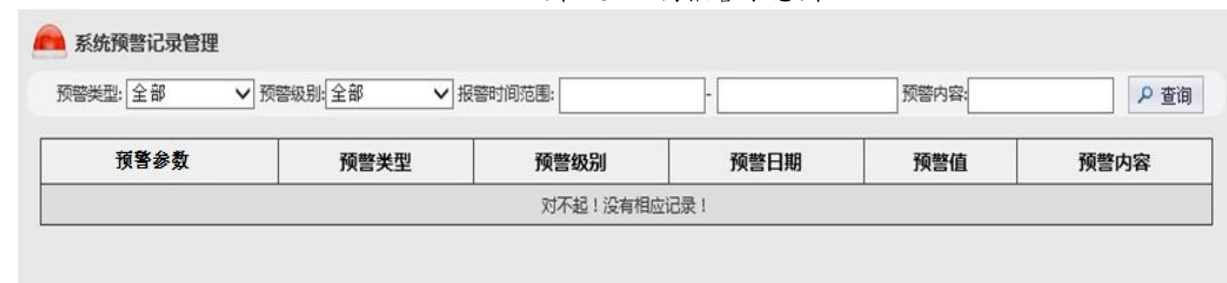


图 4-6 报警记录管理界面

方式 2：通过实时发送短信（微博）、电子邮件等方式通知管理人员；

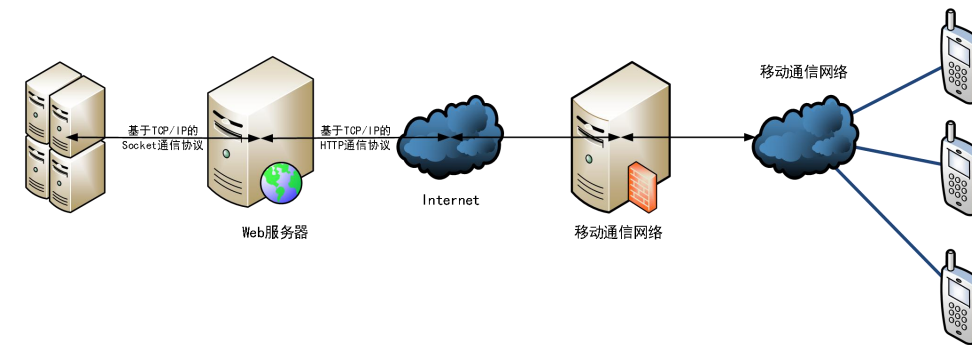


图 4-7 手机短信预警模式

6) 预警分析报告

在系统发出预警之后，将自动生成预警分析报告，预警分析报告包含以下内容：

- a) 超出预警阈值的参数及对应的分析计算过程。
- b) 桥梁结构的整体评估分析。
- c) 分析造成预警参数超限的原因，给出养护管理意见。

4.3.3 安全评估模块

1) 模块功能框架

安全评估模块分为在线评估子模块和离线评估子模块。在线评估采用基于层次分析的变权综合法进行桥梁技术状况综合评估，离线评估主要包含承载力评估和其它专项评估。状态评估模块功能框架如下图所示：

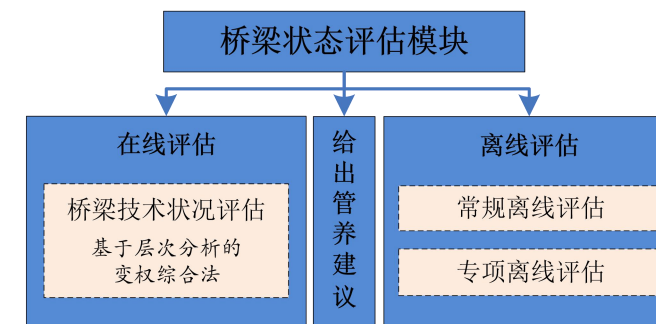


图 4-8 状态评估模块功能框架

2) 模块工作流程

状态评估模块评估工作流程见下图所示：

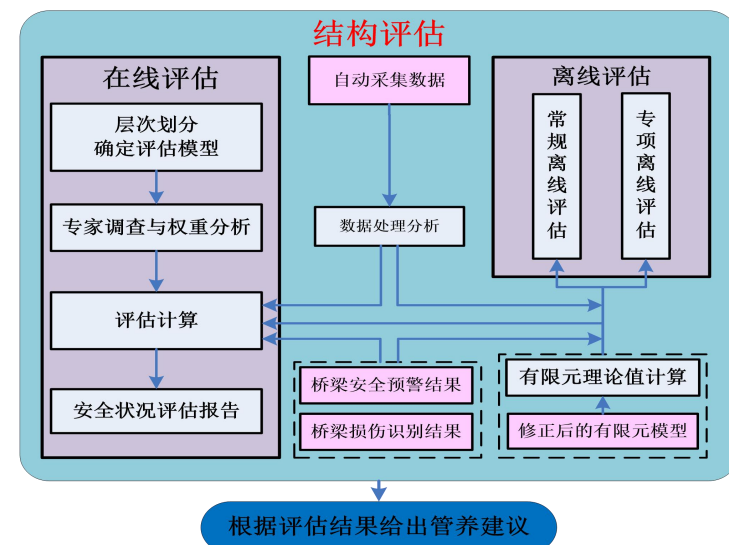


图 4-9 安全评估模块工作流程

4.4 用户界面子系统

4.4.1 用户界面子系统架组成

用户界面子系统主要是向桥梁管理单位、科研单位、设计单位、养护单位、结构工程师等相关人员提供监测数据分析结果，满足桥梁管理人员监测管理应用的人机界面。桥梁运营期健康监测系统的用户界面具体包括基于 B/S 架构的远程监测与分析软件、手机平台、报警平台和三维监测与分析软件。

1) **基于 B/S 架构的远程监测模块:**为方便在远程随时通过因特网登录系统，实现监测查询、统计分析等操作，远程监测部分用 B/S 结构。

2) **手机平台模块:**设计基于智能手机的监测与查询系统，主要功能是数据及数据分析结果、报警通知公告等信息的查询。

3) **报警平台模块:**报警信息包括结构监测的超过报警阈值的信息、系统故障信息。系统提供多种报警形式（客户端、短信、微信、邮件）保证报警信息第一时间通知到用户。

4.4.2 基于 B/S 架构的远程监测模块

基于 B/S 架构的远程监测

B/S (Browser/Server) 结构即浏览器和服务器结构。它是随着 Internet 技术的兴起，对 C/S 结构的一种变化或者改进的结构。在这种结构下，用户工作界面是通过浏览器来实现，极少部分事务逻辑在前端 (Browser) 实现，但是主要事务逻辑在服务器端 (Server) 实现，形成所谓三层结构。这样就大大简化了客户端计算机的载荷，减轻了系统维护与升级的成本和工作量，降低了用户的总体成本。以目前的技术看，局域网建立 B/S 结构

的网络应用，并通过 Internet/Intranet 模式下数据库应用，相对易于把握、成本也是较低的。它是一次性到位的开发，能实现不同的人员，从不同的地点，以不同的接入方式（比如 LAN, WAN, Internet/Intranet 等）访问和操作共同的数据库；它能有效地保护数据平台和管理访问权限，服务器数据库也很安全。采用 B/S 架构，还可以提供各种数字表格、曲线图形、分析报表等丰富的界面形式，使开发的软件简单易用，易于维护。

系统通过浏览器界面提供人机交互接口，进行前台的数据交换；在后台通过 ASP.NET+AJAX 动态页面技术和数据访问组件与数据库进行数据交换；其数据流结构总图如下图所示：

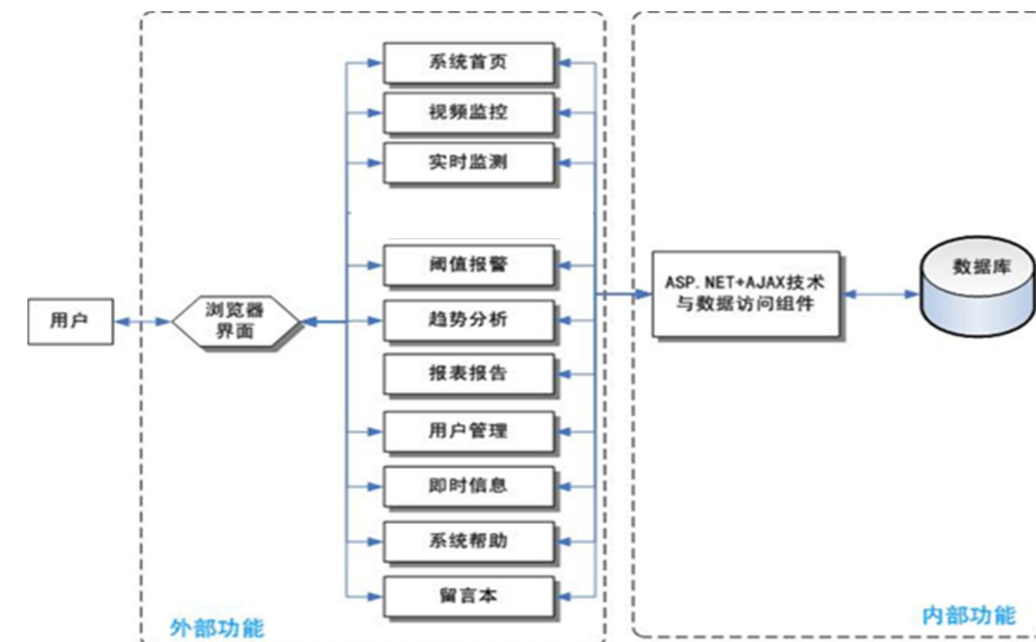


图 4-10 BHMA 系统数据流总图

B/S (Browser/Server) 结构即浏览器和服务器结构。它是随着 Internet 技术的兴起，对 C/S 结构的一种变化或者改进的结构。在这种结构下，用户工作界面是通过浏览器来实现，极少部分事务逻辑在前端 (Browser) 实现，但是主要事务逻辑在服务器端 (Server) 实现，形成所谓三层结构。这样就大大简化了客户端计算机的载荷，减轻了系统维护与升级的成本和工作量，降低了用户的总体成本。以目前的技术看，局域网建立 B/S 结构的网络应用，并通过 Internet/Intranet 模式下数据库应用，相对易于把握、成本也是较低的。它是一次性到位的开发，能实现不同的人员，从不同的地点，以不同的接入方式（比如 LAN, WAN, Internet/Intranet 等）访问和操作共同的数据库；它能有效地保护数据平台和管理访问权限，服务器数据库也很安全。采用 B/S 架构，还可以提供各种数字表格、曲线图形、分析报表等丰富的界面形式，使开发的软件简单易用，易于维护。

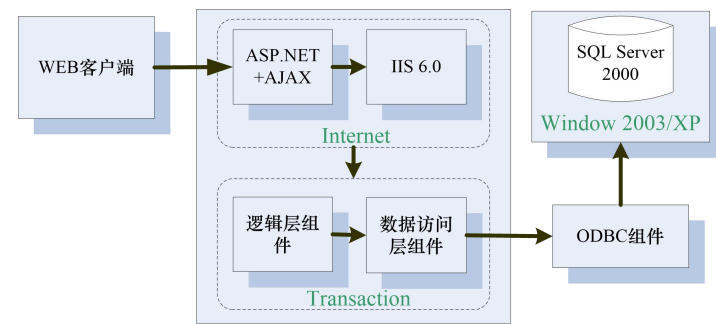


图 4-84 B/S 三层结构示意图

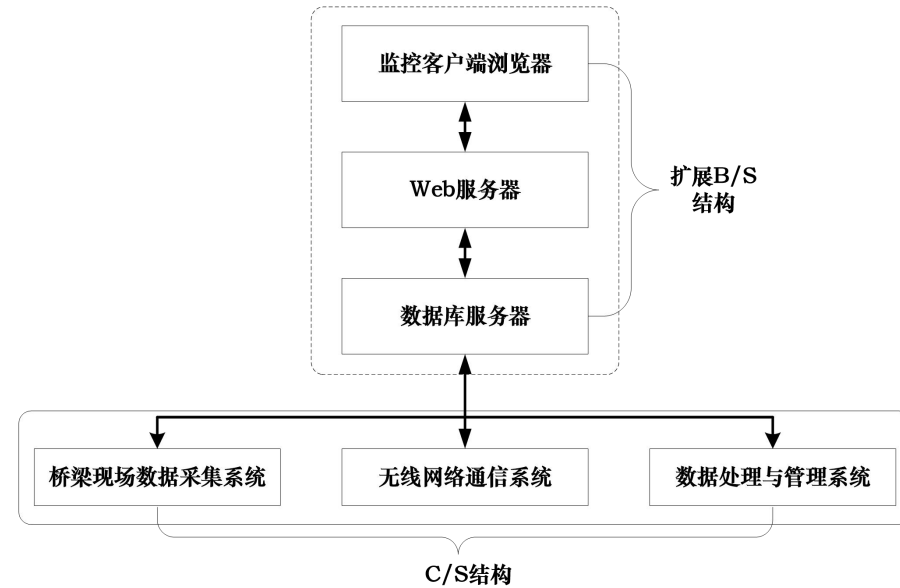


图 4-11 系统模式结构图

在桥梁结构安全运营监测过程中，为能充分反映桥梁的结构特性，捕捉一切引发异常的线索，在桥梁上布设了大量的各类测点。在系统中要真实反映这些测点所监测到的情况，并能使工程技术人员、桥梁维护管理和决策者方便的掌握桥梁现场的结构数据变化，需要对传统的 Web 系统交互方式进行优化。在扩展 B/S 架构的大型桥梁结构运营监测系统中应用基于 ASP.NET AJAX 技术的 Web 无刷新页面数据粒度更新方法使监测系统交互性得到了前所未有的提高，可以大大增强系统应用的实用性和实时性。

4.4.3 手机平台模块

手机版健康监测软件是计算机平台软件的补充，是计算机平台软件的简略版，手机版页面包括框架页面（用来包裹 HTML 网页）、欢迎界面、登录界面、客户端设置界面（服务器地址、用户密码等）、监测指标概述截面、实施监测界面、分析查询界面等。手机平台包括手机监测软件和智能巡检终端软件。

1) 手机监测软件

为了方便用户随时使用本系统，我们设计了基于智能手机的监测软件，基于手机的

监测软件与基于计算机的远程监测与分析软件主要区别是在针对了手机的速度慢、屏幕小、输入方式与台式机的键盘鼠标有所不同，因此，专门对手机在流量、运算和界面做了优化。



图 4-12 手机监测软件

4.4.4 报警平台模块

报警平台用于向用户发送报警的平台，报警信息包括结构监测的超过报警阈值的信息、系统故障信息等。系统提供多种报警形式保证报警信息第一时间通知到用户。

用户也可以通过远程登录系统，发布重要信息和通知，发布时可以选择使用哪些信息发送方式。

1) 客户端报警

客户端报警是指在只要用户打开监测客户端就能够收到报警信息，客户端指基于 B/S 的远程监测与分析软件和手机监测软件以及智能巡检终端软件。

2) 短信报警

考虑到用户不可能实时打开监测客户端，特别是不在值班领导等用户，为了能让报警及时不遗漏的发通知到用户，我们提供了短信报警平台，所有报警信息都会通过短信报警平台发送到用户手机，系统管理员可以自行设置根据不同的报警类型发送到不同的人员手机上，同时也可以根据值班表将特定短信只发送到当前值班的人员而不是所有人员。

5 系统设备技术要求

桥梁结构健康监测系统由系统硬件、软件构成，按系统功能分为传感测试系统、数据管理、结构预警与评估系统、用户界面系统，其中传感测试系统中硬件设备包括传感器设备、信号调理采集设备，这些设备是获取结构信息的感知元器件和得到结构真实信

号的处理设备，是健康监测系统的关键设备。设备的可靠性、准确性、精确性，关系到采集数据的准确性；设备的稳定性、可靠性、耐久性，关系到健康监测系统长期运行稳定性。系统获得数据的真实性、可靠性，直接关系到对结构评定的结果，也是反演结构的输入参数，因此，建立健康监测系统前，把好设备技术关，直接关系到系统建设的成败。在目前监测技术所能及的范围内，必须本着稳定可靠、技术先进、经济合理，满足本桥长期监测性质和监测要求。

5.1 结构监测设备

5.1.1 空气温湿度计

空气温湿度计技术参数如下：

表 5.1 空气温湿度计技术参数

项目		技术参数
空气温度	原件	湿敏电阻
	测量范围	-20℃~80℃
	精度	±0.5℃ (25℃)
	响应时间	<15s
空气湿度	原件	铂电阻
	测量范围	0~100%RH
	精度	±1.5%RH(0~100%RH,23℃)
	响应时间	<6s
供电		DC24V
采用频率		1次/分钟

5.1.2 温度传感器

温度传感器技术参数如下：

表 5.2 温度传感器技术参数表

项目	技术指标
测量范围	-20~+80℃
精度	±0.5℃
分辨率	0.1℃
采样频率	≥0.02Hz

5.1.3 挠度传感器

挠度传感器技术参数如下：

表 5.3 挠度仪技术参数表

项目	技术参数
传感器类型	差压变送器
量程上限	10000mmH2O
精度	±0.065%
过压影响	±0.03% FSR/16MPa
稳定性	±0.1% FSR/60个月
采样频率	≥1Hz
操作温度	-40℃~85℃
工作压力	16MPa (Max)
防护等级	IP67

5.1.4 位移传感器

位移传感器技术参数如下：

表 5.4 位移传感器技术参数

项目	技术参数
传感器类型	磁致位移传感器
测量范围	2000mm
工作电压	24VDC
输出信号	0~10V/4~20mA、Modbus 可选
线性度	<0.05%F.S.
重复性	<0.002%F.S.
测量方式	非接触
采样频率	≥1Hz
工作温度	-40℃~85℃

5.1.5 索力传感器

索力传感器技术参数如下：

表 5.5 传感器技术参数

项目	技术指标
测量范围	50m/s ²
轴向灵敏度	100mV/m/s ²
最大横向灵敏度	<5%
频响范围	(0.2-1000) Hz
采样频率	≥20Hz
工作温度	(-10~80) °C

项目	技术指标
使用寿命	符合安全监测系统使用要求
测量范围	50m/s ²

5.1.6 振动传感器

振动度传感器技术参数如下：

表 5.6 振动传感器技术参数表

项目		技术参数			
档位		0	1	2	3
	加速度	小速度	中速度	大速度	
灵敏度 V/(m/s)或 V/ (m/s ²)		~0.3	~20	~5	~0.3
最大量程	位移 (mm p)		20	200	500
	速度 (m/s p)		0.125	0.3	0.6
	加速度 (m/s ² p)	20			
分辨率	速度 (m/s)	3×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁸	4×10 ⁻⁷	3×10 ⁻⁶
频带 (Hz) (+1dB~-3dB)		0.25~100	1~100	0.5~100	0.17~80
输出负荷电阻(MΩ)		10			
采用频率		≥100Hz			
温度 (°C)		-30~+50			
湿度		≤85%			

5.1.7 风速风向仪

风速风向仪技术参数如下：

表 5.7 风速风向仪技术指标

项目	技术参数
测量参数	三个正交方向 U、V、W 的风速和风向
风速	测量范围：0~60m/s
	精确度：±1%
	分辨率：0.01m/s
风向	测量范围：0~360°
	精确度：±1°
	分辨率：0.1°
采样频率	≥10Hz
环境要求	适应于暴露在自然环境下； 操作温度：-40°C至 60°C；湿度：0~100%；防护等级：IP65

5.1.8 地震响应

地震仪技术参数如下：

表 5.8 地震仪技术参数

项目	技术指标
测量范围	±2g (三分量)
频率响应	DC~120 Hz
动态范围	>120dB
灵敏度	±2.5V/g
交叉干扰	<0.3%
温漂	<10-6g/°C
零度温漂	<0.5μg
供电	±12~15VDC
工作温度	-25°C~+60°C

5.1.9 应变传感器

应变传感器技术参数如下：

表 5.9 应变传感器技术参数表

项目	技术参数
应变量程	±1500με
精度	±1.0%F.S.
灵敏度	0.1%F.S.
安装方式	胶粘、螺栓固定
采用频率	≥50Hz
工作温度范围	-20°C~+80°C

5.1.10 动态称重系统

动态称重系统技术参数如下：

表 5.10 动态称重系统技术参数表

项目	技术指标
承重范围	30T/轴
速度范围	5~180 公里/小时
称重精度	<10% (车速 25~180 公里/小时)，95%以上可信度
可分类车型	交通部颁布的标准车型

项目	技术指标
测速精度误差	<±1.5%
温度范围	工作温度-30℃~65℃，不会因振动等引起损伤 -100℃~500℃：使用温度传感器实现温度补偿
空气湿度	10%~90%
长期可靠性	平均寿命≥100,000 小时

5.2 采集与传输设备

5.2.1 采集工控机

数据采集单元中重要的设备是工业用控制计算机，它完成数据采集与传输工作。在数据采集与传输计算机软件控制下，工控机完成将各传感器送来的模拟信号或数字信号经预处理转换成有工程单位的数据，存储在本地计算机软件数据库中或数据文件中。同时将这些数据传输到中心计算机服务器中，供分析使用。

工控机技术参数如下：

表 5.11 工控机技术参数

项目	技术指标
处理器	板载 Core i7-2655LE, 2.2GHz 处理器
内存	8GB DDR3
硬盘	500G
网口	10/100/1000 Base-T Ethernet 接口
串口	4 个
PCI 插槽	4 个
工作湿度	10~85% 无凝霜

5.2.2 数据采集卡

数据采集卡技术参数如下：

表 5.12 数据采集卡技术参数

项目	技术参数
模拟输入	8 路
分辨率	16 位
高抗噪性	1kV 浪涌保护电压输入,3KVEFT 及 8KV
精度	±0.5‰
采样频率	≥250KS/s
工作温度	-10℃~50℃
工作湿度	0~80%无凝结

5.2.3 交换机

系统网络要求采用网环冗余，能够在通信链路发生故障的时候，启用另外一条健全的通信链路。系统现场的数据传输采用工业光纤以太网方案。外场数据采集站内的网络交换机均使用光交换机，满足外场恶劣的环境以及网络冗余自愈的功能。技术参数如下：

表 5.13 交换机技术参数

项目	技术指标
接口	支持 2 个 100Base-FX 单模或多模光纤接口
环网冗余协议	支持（冗余时间<100ms）
电口	4 个 10/100Base-T(x)电口

5.2.4 采集站 UPS 电源

技术指参数如下：

表 5.14 UPS 电源技术参数

项目	技术参数	
UPS 类型	在线式	
额定容量	1kVA	
输入	电压	(115-300)VAC
	频率	46-54Hz(默认)，通过软件可调为(40-60)Hz
	功因	>0.97
电池	电池形式	Panasonic 铅酸密封,免维护
	电池数量	3PCS
	维持时间	2 小时
输出	电压	220(1±2%)VAC
	频率	与输入同步(市电模式)
		50(1±0.2%)Hz (电池模式)
	超载能力	110%—150%维持 30 秒钟后输出转为旁路，150%以上维持 300ms
	输出波形	正弦波
插座形式	国标插座×2	
转换时间	零中断	
指示灯(LED)	负载指示灯、电池供电指示灯、UPS 运行状况指示灯	
警报声音	电池放电	当输入电压断电时每 4 秒一叫；当电池将用尽时每秒一叫
	UPS 异常	长鸣
自动重启	电池 SHUTDOWN 后，市电恢复正常时，可以自动重启	

项目		技术参数
保护		抗浪涌、过电压欠电压保护、过热保护
通讯界面		市电异常、断电、电池容量、遥控 UPS 开关机、UPS 状态指示等智能监控功能
操作环境	温度	0°C~40°C
	湿度	20%~90%

5.3 附属设备技术要求

1) 防雷接地

符合《建筑物防雷设计规范(GB50057—2010)》的环境下可耐受雷击且不影响正常工作。

2) 防护设备

(1) 线缆防护要求使用镀锌桥架或镀锌钢管，传感器保护盒采用不锈钢材质。

(2) 本系统中所有设备的安装，不得影响主体结构。

5.4 系统集成

系统集成，就是通过结构化的综合布线系统和计算机网络技术，将各个分离的设备(各类传感器等)、功能和信息等集成到相互关联的、统一和协调的系统之中，使资源达到充分共享，实现集中、高效、便利的管理。系统集成采用功能集成、网络集成、软件界面集成等多种集成技术。系统集成实现的关键在于解决系统之间的互连和互操作性问题，它是一个多厂商、多协议和面向各种应用的体系结构。需要解决各类设备、子系统间的接口、协议、系统平台、应用软件等与子系统、建筑环境、施工配合、组织管理和人员配备相关的一切面向集成的问题。

6 工程量清单

贵州交通职业技术学院新校区人行天桥健康监测系统实施费用包括系统设备采购安装与软件开发、系统集成调试、系统维护等工程量。

表 6.1 人行天桥健康监测实施工程量表 (现场安装及教学使用)

序号	实训项目	设备名称	数量	单位	规格型号	备注
1	天桥监测-风速风向	风速风向仪	1	个	/	现场安装, 超声式风速风向仪
		风速风向仪	8	个	/	教学使用, 机械式风速风向仪

2	天桥监测-环境温湿度	温湿度计	9	个	/	1个现场安装, 8个教学使用, 该单价为综合单价
3	天桥监测-结构温度	温度传感器	30	个	/	否
4	天桥监测-结构应变	应变传感器	38	个	/	30个现场安装, 8个教学使用, 该单价为综合单价
5	天桥监测-主梁挠度	挠度仪	8	个	/	否
		动态位移测量教学设备	5	个	/	
6	天桥监测-梁端位移	位移计	10	个	/	2个现场安装, 8个教学使用, 该单价为综合单价
7	天桥监测-索力	索力计	8	个	/	否
8	天桥监测-结构振动	振动传感器	14	个	/	6个现场安装, 8个教学使用, 该单价为综合单价
9	天桥监测-车辆监测	加载小车	2	台	/	可以模拟不同时速(20-60码), 装载砝码模拟不同重量(最大总重1吨)的双轴车
10	天桥监测-数据传输模块	现场采传基站	1	套	/	否
11		采集传输设备(教学)	8	套		教学版
12	天桥监测-系统软件	/	1	套	/	工程及教学一体化平台, 桥隧边坡共用
13	BIM展示	云平台项目添加及建模费	1	项		
14	数据显示	室外LED大屏	10	平米	/	桥隧边坡共用, 放置于室外

表 6.2 人行天桥专项检测参数工程量表

序号	实训项目	总工位	设备名称	单位	已有设备台套数	新采购设备台套数	规格型号	项目归属
1	混凝土强度	10	数显式回弹仪一体机	台	2	0	/	养护工大赛
2	碳化深度	10	混凝土碳化深度测量仪	个	0	0	/	养护工大赛
3	钢筋位置及保护层厚度	5	一体式钢筋扫描仪	台	3	2	DE	特色项目

5	钢筋锈蚀电位	5	钢筋锈蚀仪	台	2	3	FE	特色项目
6	混凝土氯离子含量	5	氯离子含量测定仪	台	2	3	SSX-CLU	特色项目
7	混凝土电阻率	5	混凝土电阻率仪	台	2	3	DZL-4000	特色项目
8	表观缺陷	5	钢卷尺、相机、钢直尺	套	5	0	/	特色项目
9	内部缺陷	5	非金属超声波检测仪	/	3	2	SCU-PWT	特色项目
10	裂缝（长度、宽度、深度等）	5	钢卷尺	把	5	0	/	特色项目
		5	裂缝测宽仪	台	0	5	GE	特色项目
		5	裂缝深度测试仪	台	0	5	LE	特色项目
11	钢材及焊缝无损检测	/	数字式超声波探伤仪	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购	
12	涂层厚度	/	磁性涂层测厚仪	台	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购	
13	涂层附着力	/	附着力检测仪	台	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
		/	漆膜划格器	个	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
14	表面粗糙度	/	表面粗糙度仪	台	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购	
15	钢材厚度	/	超声波测厚仪	台	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购	
16	钢结构几何尺寸	/	全站仪	台	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
		/	钢卷尺	把	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购

		/	钢直尺	把	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
17	表面清洁度	/	/	/	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
18	高强度螺栓连接副 紧固轴力	/	轴力计	套	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
19	高强度螺栓连接副 扭矩系数	/	扭力扳手	套	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
20	高强度螺栓、螺母及 垫圈硬度	/	万能材料试验机	台	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
21	高强度螺母保证载 荷	/	压力试验机	台	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
22	高强度螺栓楔负载	/	/	套	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
23	结构线形	与钢结构几何尺寸检测设备共用						双高专业群 钢结构设备 采购
		/	精密水准仪	台	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
24	垂直度	与钢结构几何尺寸检测设备共用						双高专业群 钢结构设备 采购
25	结构尺寸	/	钢卷尺	把	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
		/	钢直尺	把	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
		/	手持红外测距仪	个	/	/	/	双高专业群 钢结构设备 采购
26	冲击系数	3	无线动态应变测 试分析系统	台	1	2	DH5908N	桥隧专项

27	动态挠度	1	桥梁动挠度仪	台	1	1	BJQN-5B	桥隧专项
28	位移	与钢结构几何尺寸检测设备共用						桥隧专项
		/	高精密水准仪	/	/	/	/	桥隧专项
29	静态挠度	与钢结构几何尺寸检测设备共用						桥隧专项
30	静态应变（应力）	3	无线静态应变测试分析系统	套	1	2	DH3819N	桥隧专项
31	动态应变（应力）	与冲击系数检测设备共用						桥隧专项
34	模态参数（频率、振型、阻尼比）	3	无线桥梁模态分析系统	套	1	2	DH5907N	桥隧专项
35	加速度	与模态参数检测设备共用						桥隧专项
36	速度	与模态参数检测设备共用						桥隧专项
37	索力	3	索力动测仪	套	3	0	/	桥隧专项

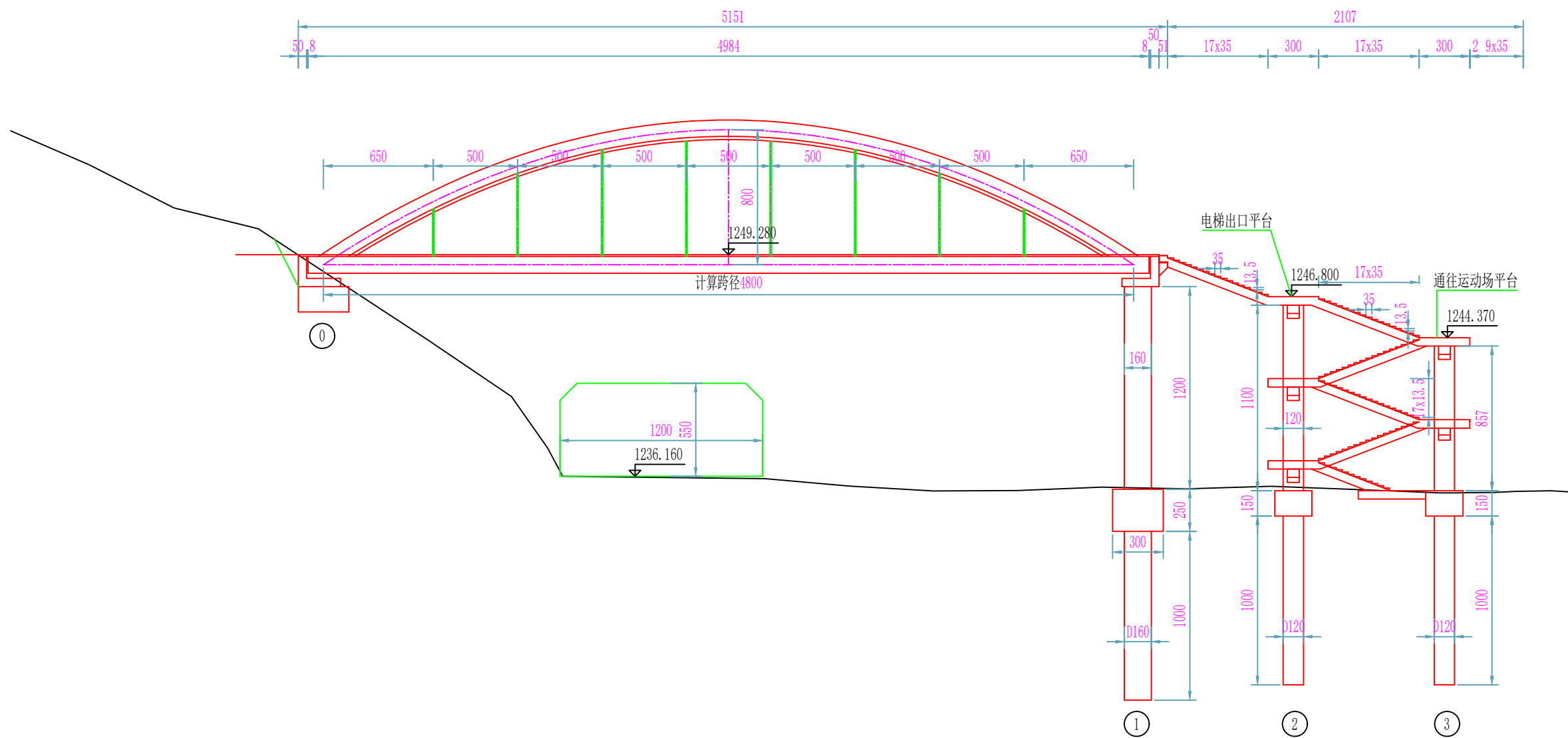
贵州交通职业技术学院
人行天桥健康监测

施 工 图 纸

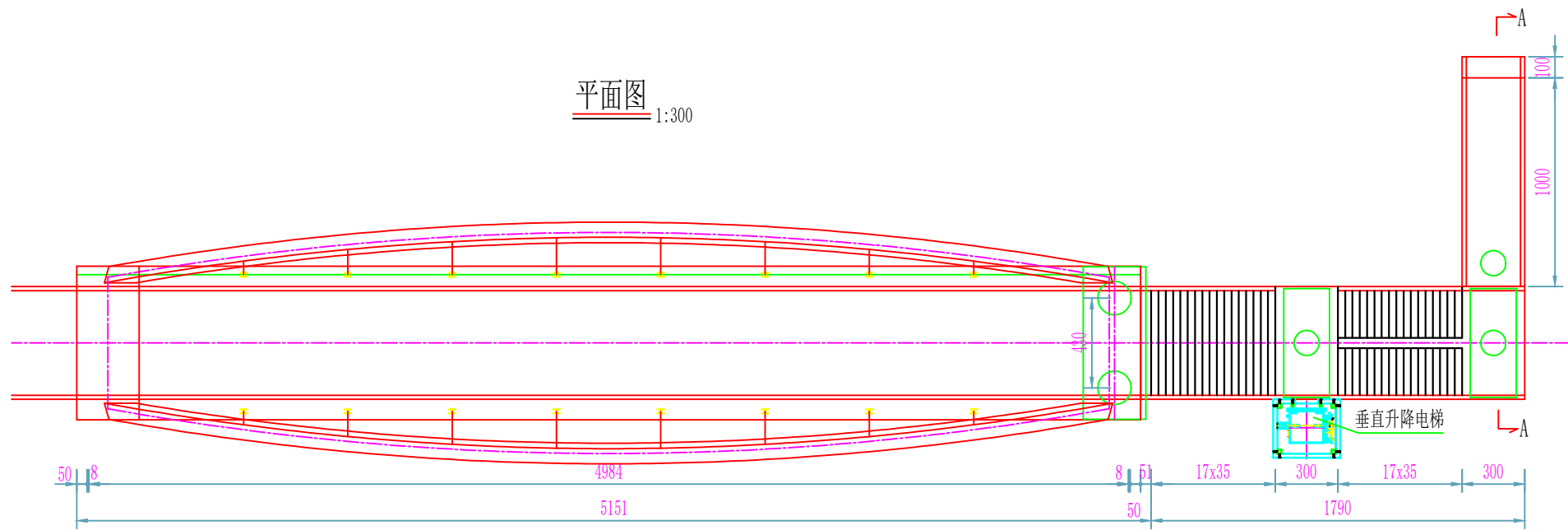
贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

二〇二一年

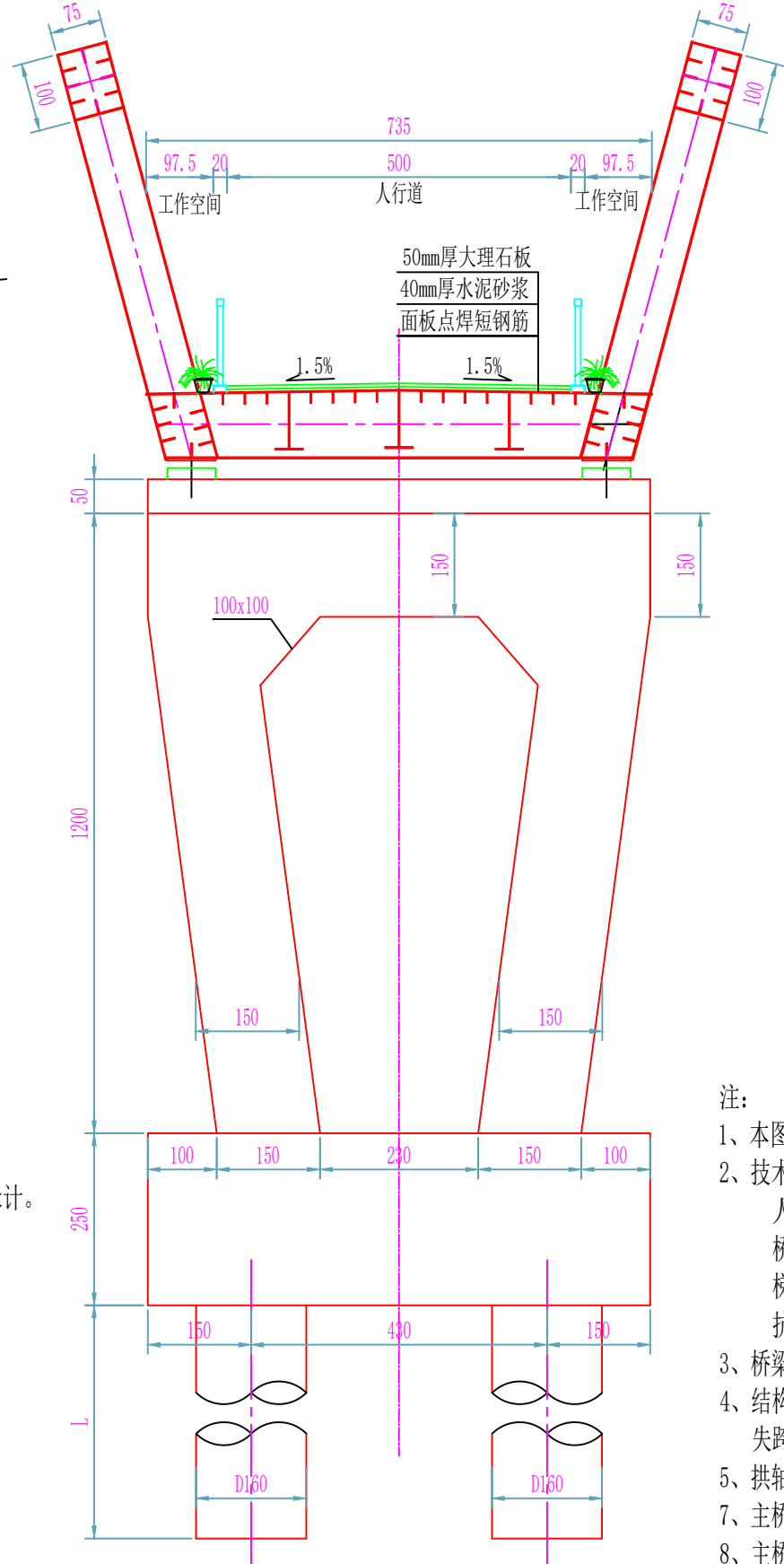
立面图
1:300



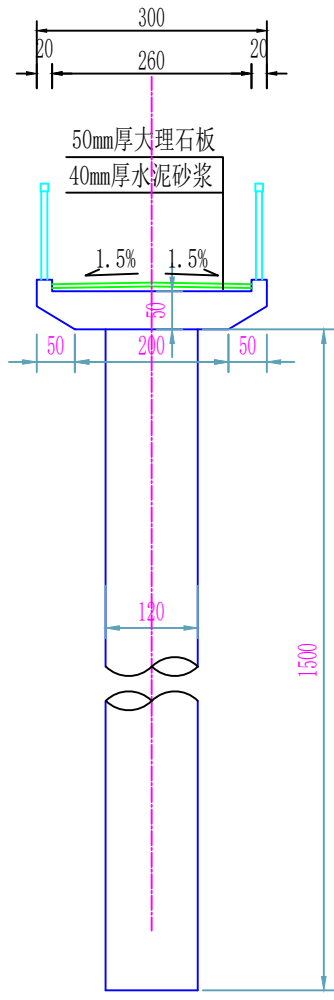
平面图
1:300



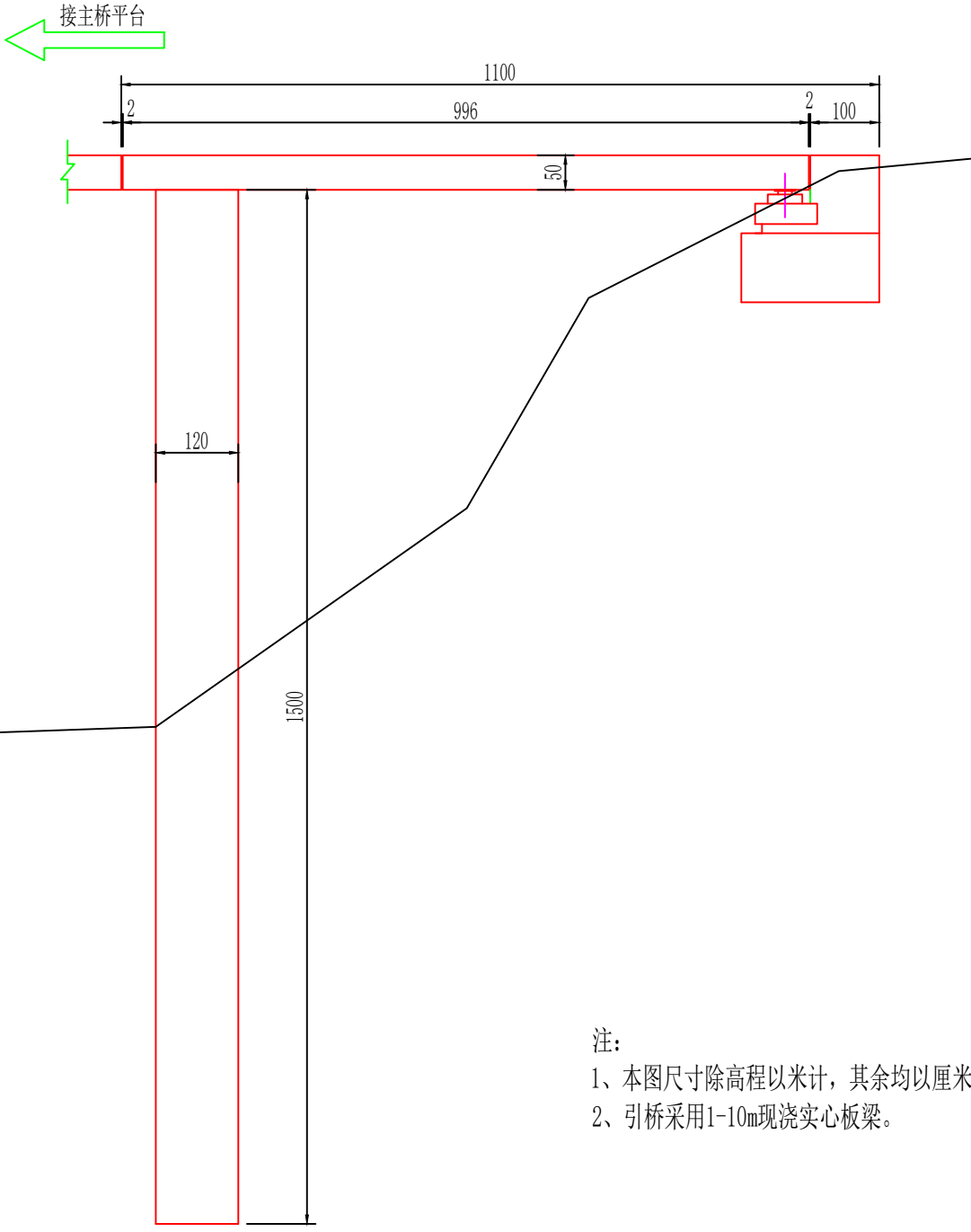
主桥断面图 1:100



引桥断面图 1:100



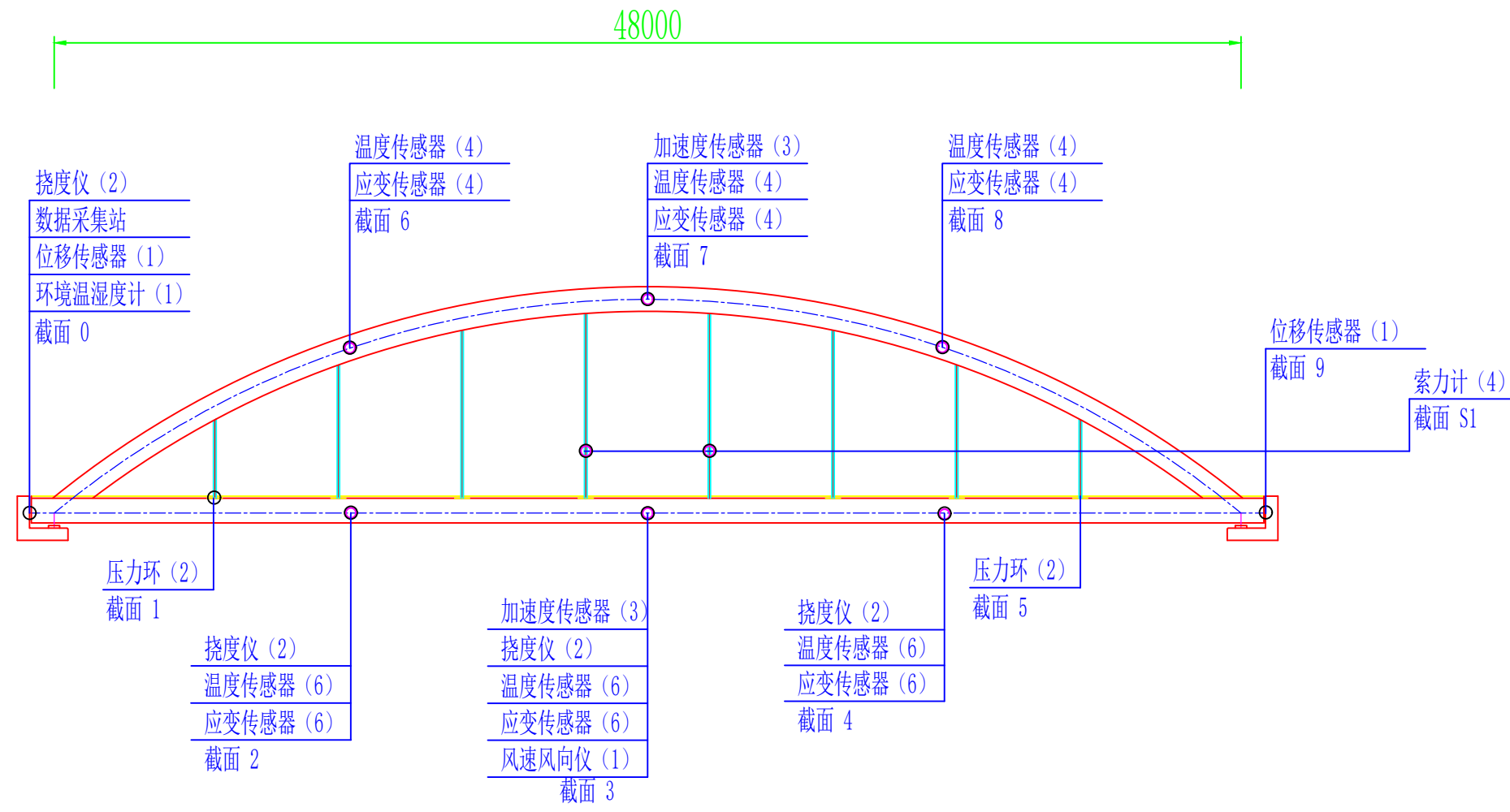
A--A 1:200



注：
1、本图尺寸除高程以米计，其余均以厘米计。
2、引桥采用1-10m现浇实心板梁。

注：
1、本图尺寸除高程以米计，其余均以厘米计。
2、技术标准：
人群荷载：4.5kpa；
桥面宽度：7.35m=1.175m（工作空间）+5.0m（人行道）+1.175m（工作空间）；
梯道宽度：5.4m=0.2m（护栏）+5.0m（人行道）+0.2m（护栏）；
抗震设防烈度：6度，地震动峰值加速0.05g。
3、桥梁线形：桥梁位于直线上，桥面横坡为1.5%（双向）。
4、结构类型：上部结构为50m下承式系杆拱，拱圈理论计算跨度48m，名义矢高8.0m，失跨比1/6，外倾角度15°
5、拱轴线方程 $y=-0.00994 X^2+8.65(XZ平面)$ 。
7、主桥横向设双向1.5%的横坡、横坡通过基层纤维防水混凝土进行调整。
8、主桥和梯道栏杆均采用不锈钢栏杆。

测点布置图

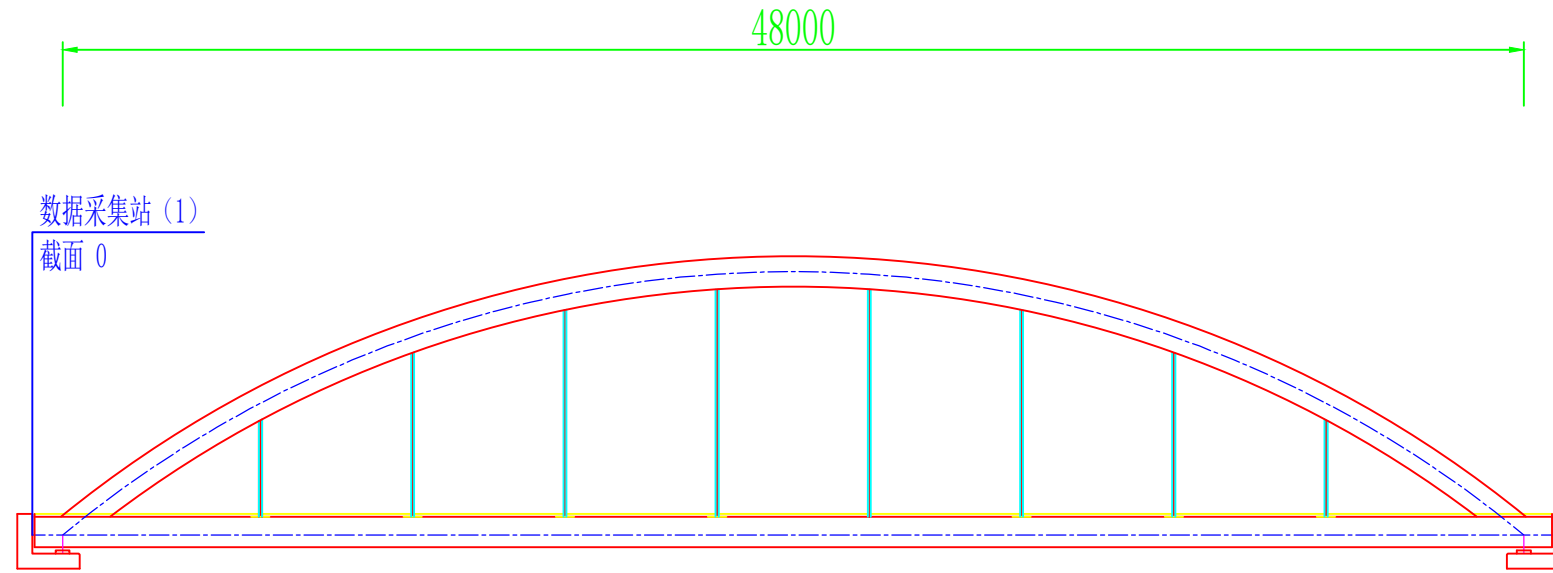


监测测点统计表 (现场安装)

监测类型	监测项目	传感器类型	测点数量	监测部位/截面
荷载与环境监测	环境风荷载	风速风向仪	1	跨中位置处
	环境温湿度	温湿度计	1	拱脚位置处
	结构温度	温度传感器	30	主梁、拱圈四等分点处
结构局部响应监测	结构应变	应变传感器	30	主梁、拱圈四等分点处
	吊杆索力	索力传感器	8	典型吊杆
结构整体响应监测	支座位移	位移计	2	拱脚位置处
	主梁线形/挠度	挠度仪	8	左岸拱脚位置、主梁四等分点处
	动力特性	振动传感器	6	主梁、拱圈跨中截面处
	合计		86	

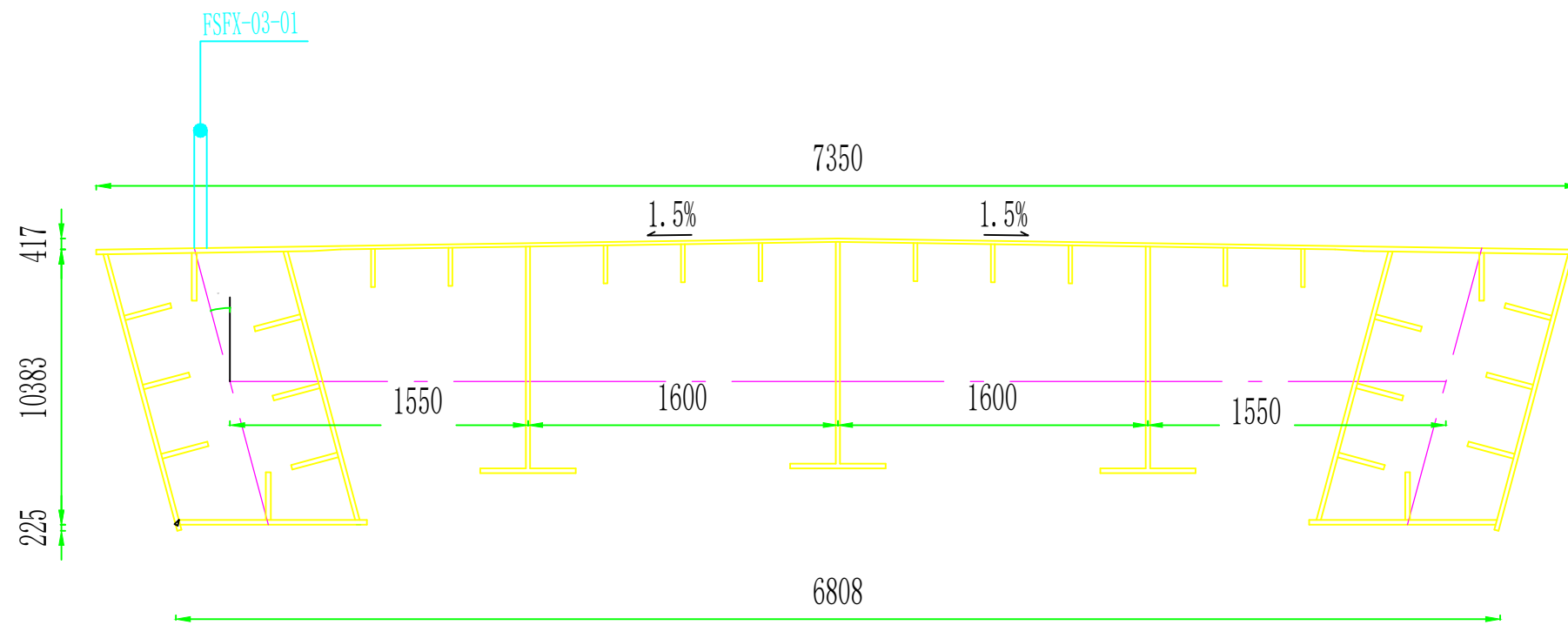
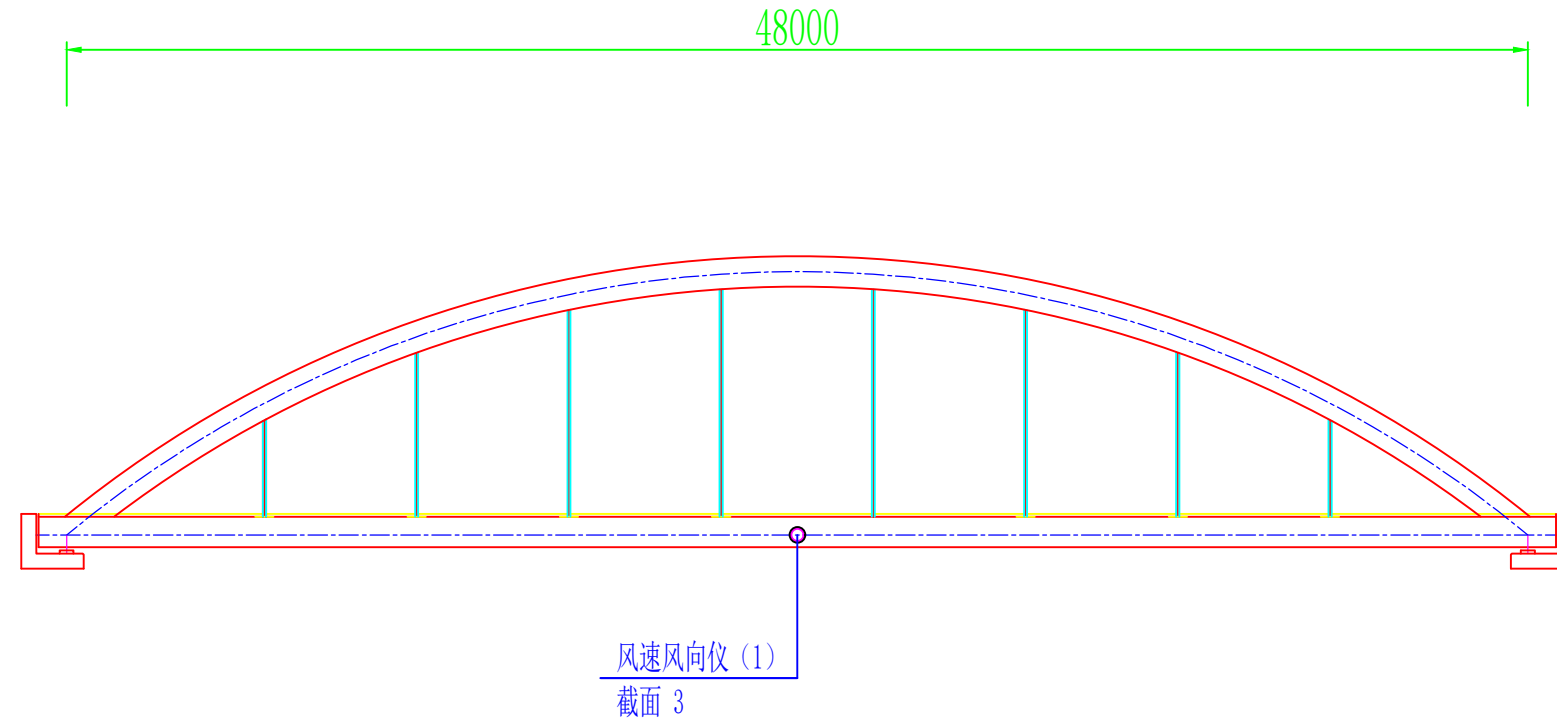
注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。

数据采集站布置图



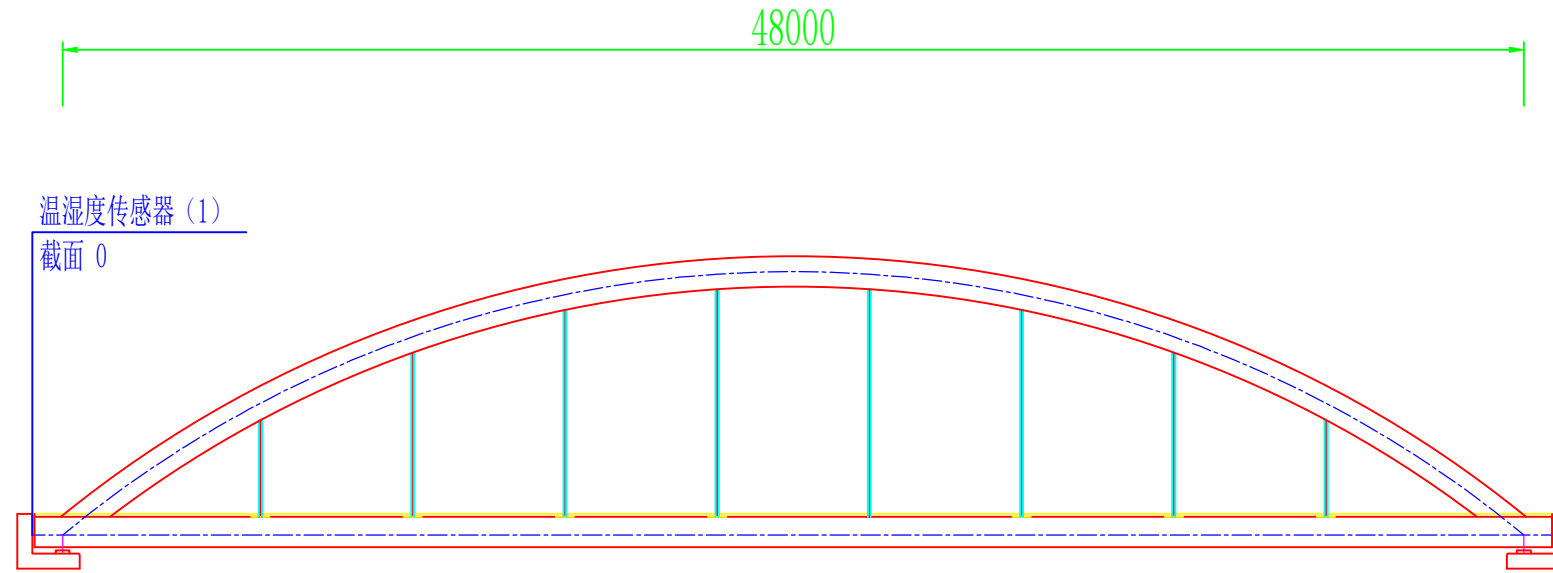
注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。

风速风向测点布置图



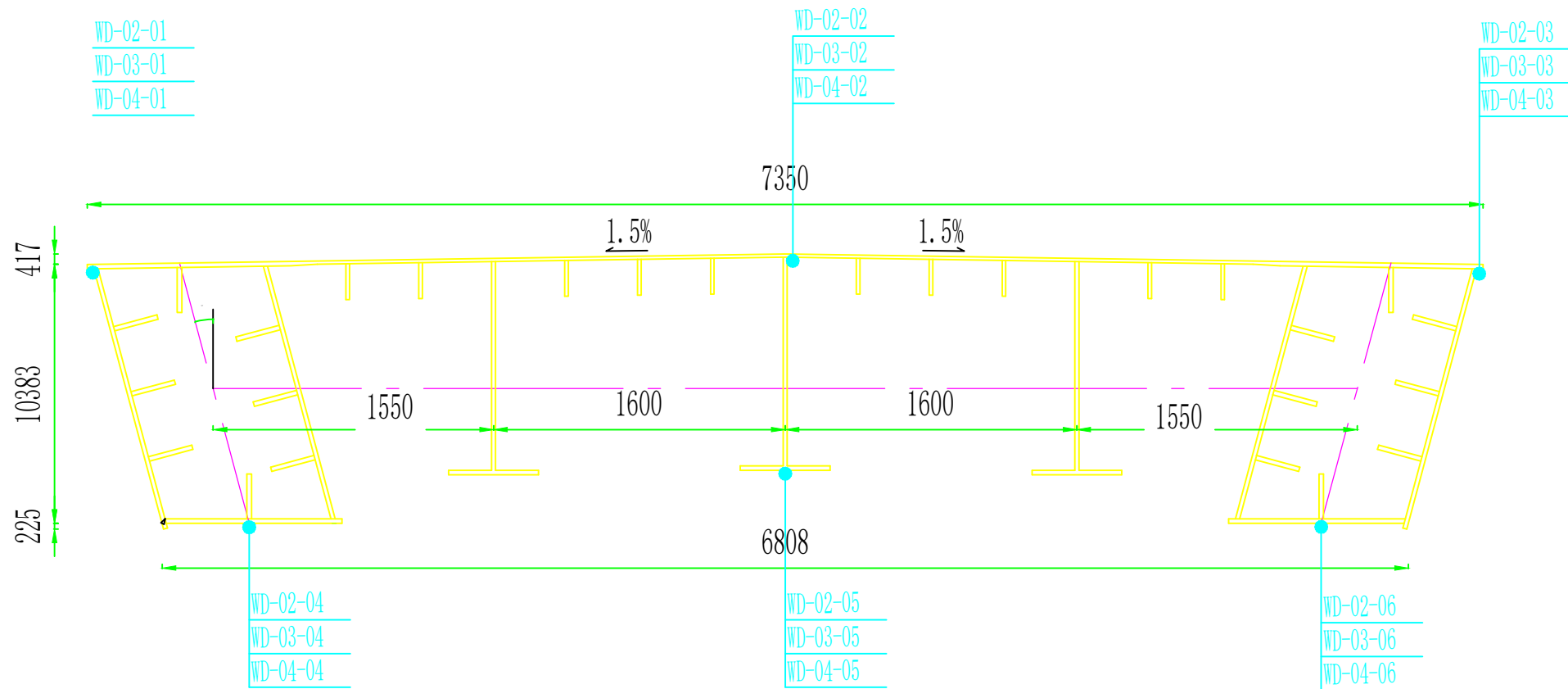
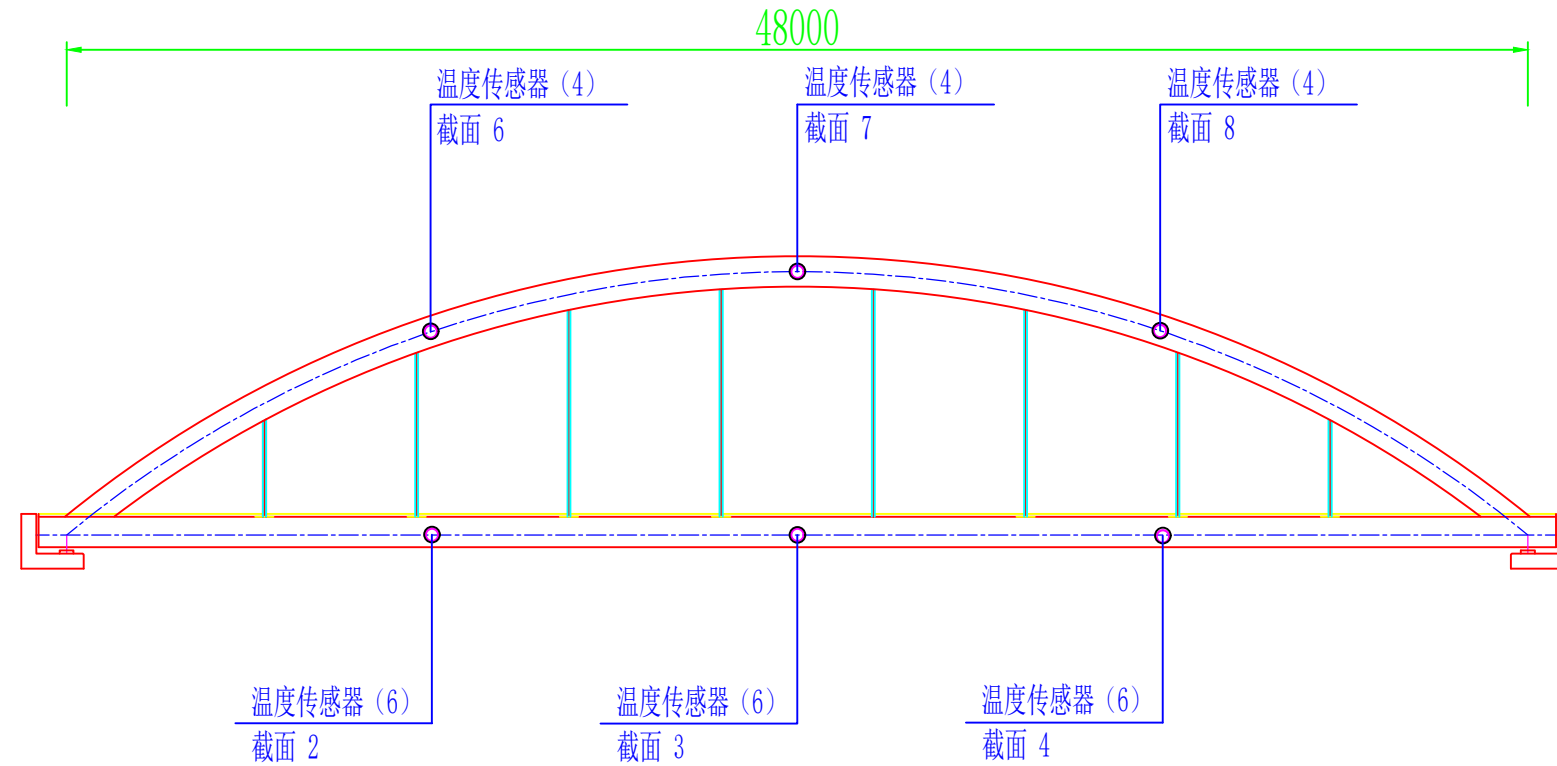
注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。

温湿度测点布置图



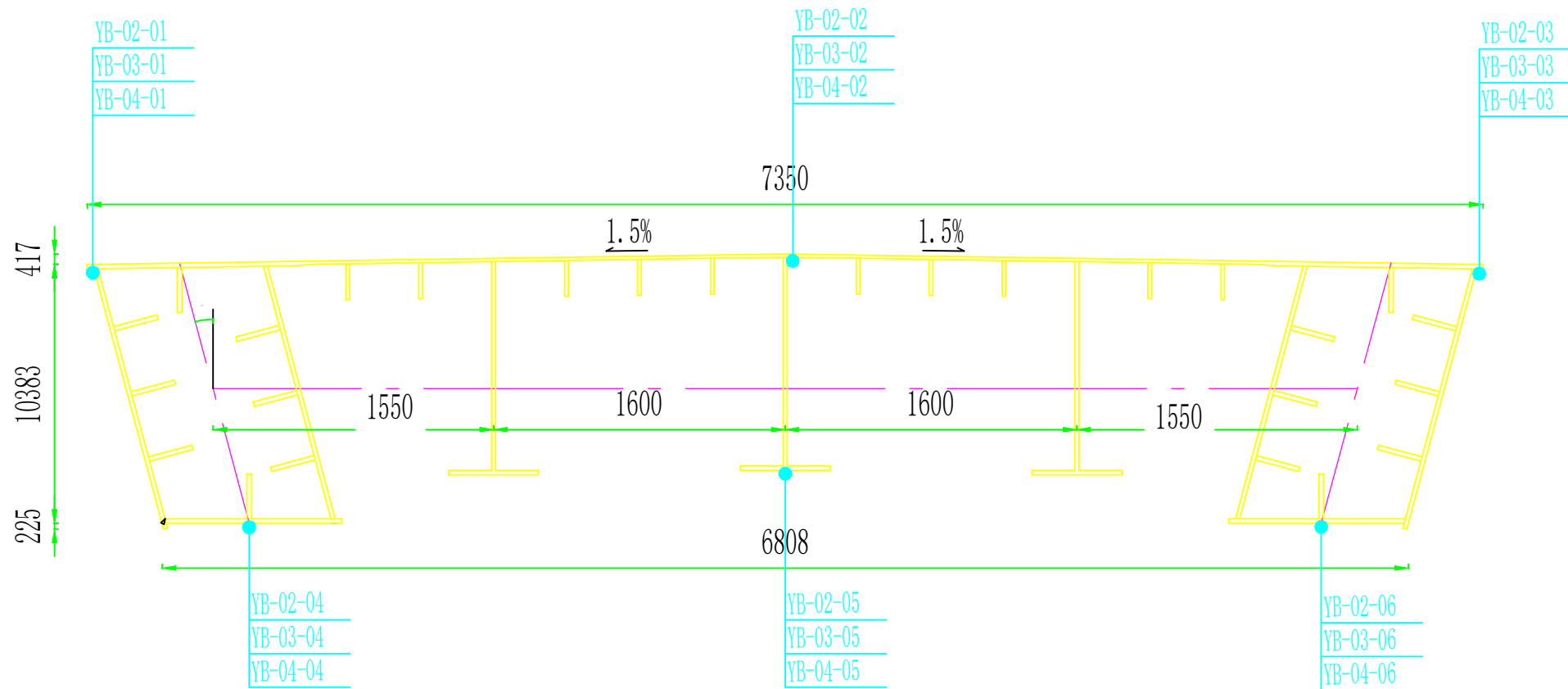
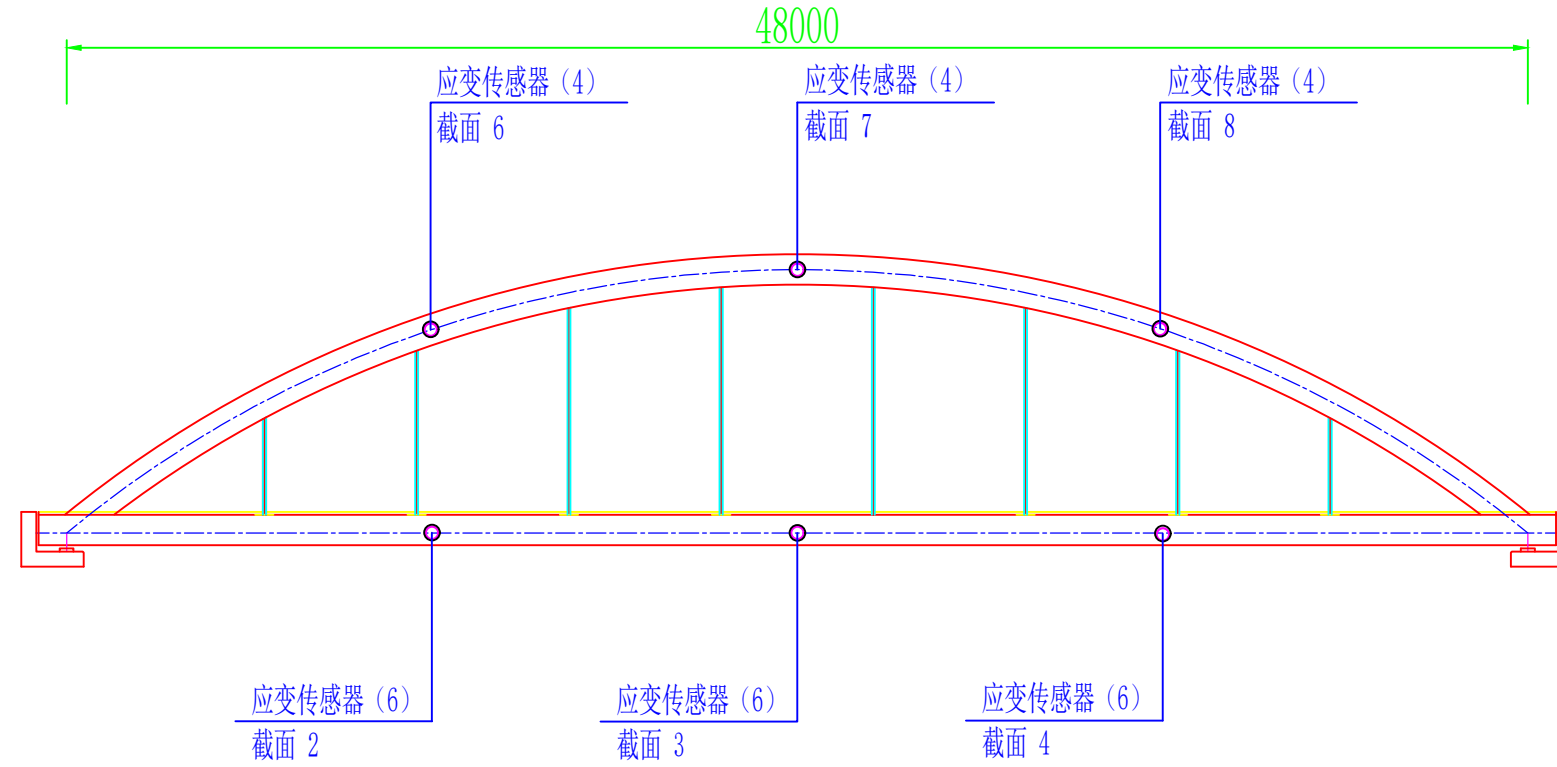
注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。

结构温度测点布置图



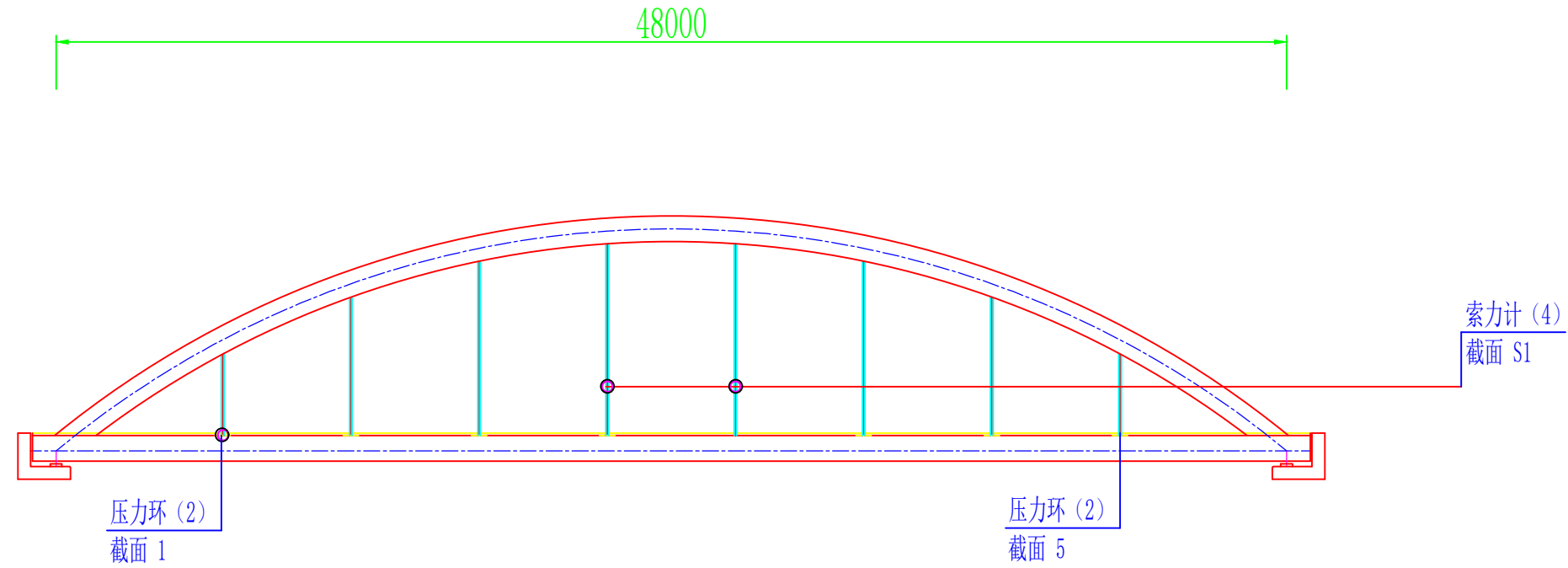
注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。

结构应变测点布置图



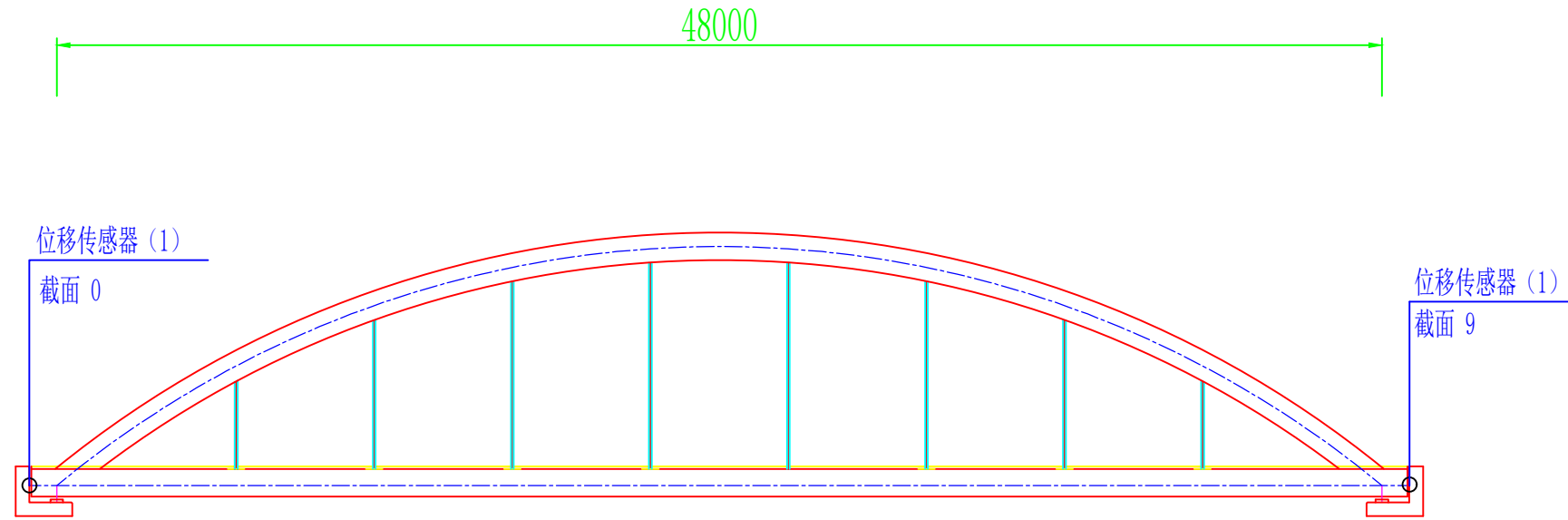
注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。

吊杆索力测点布置图



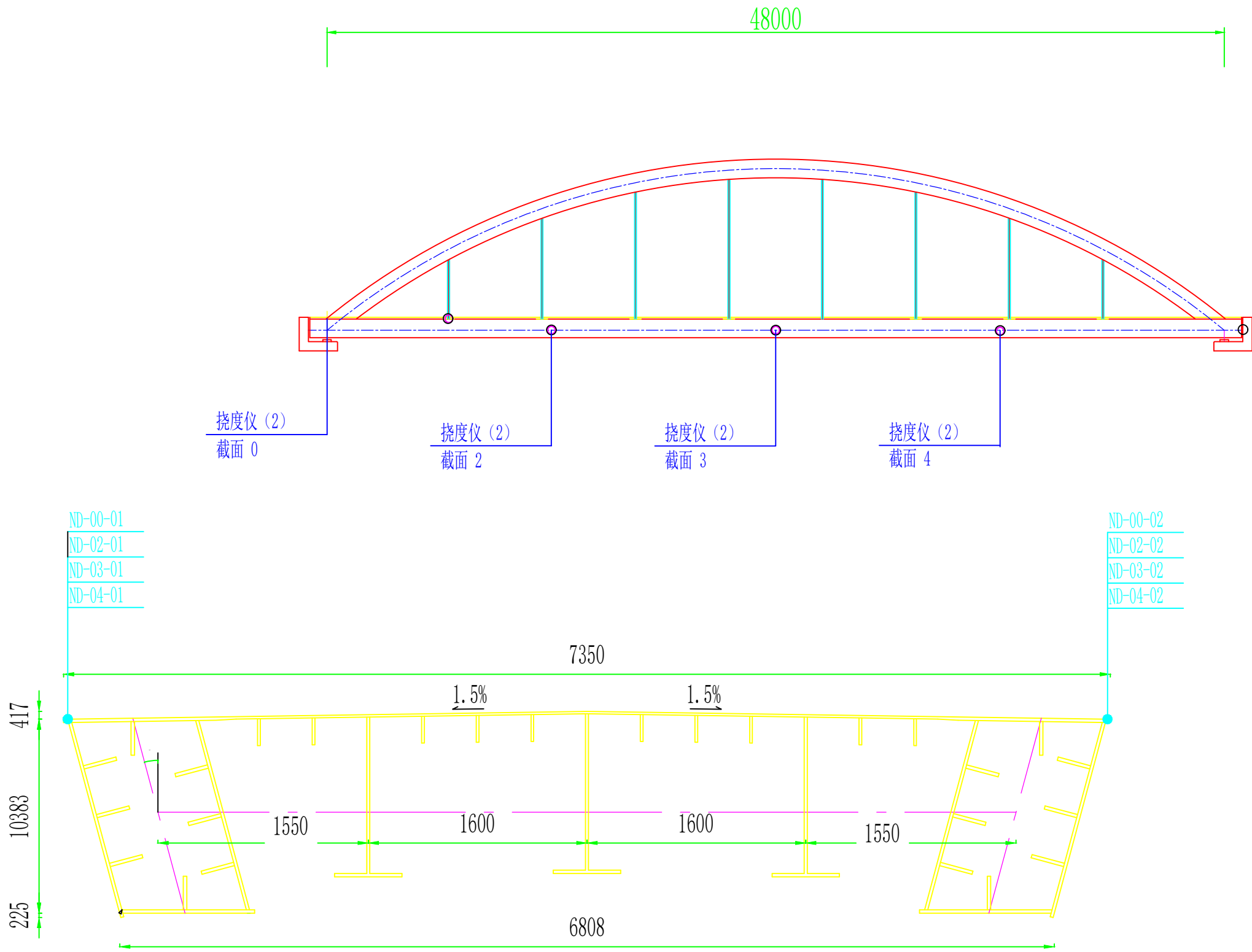
注：
 1、○ 为测点。
 2、本图尺寸以mm为单位。

梁端位移测点布置图



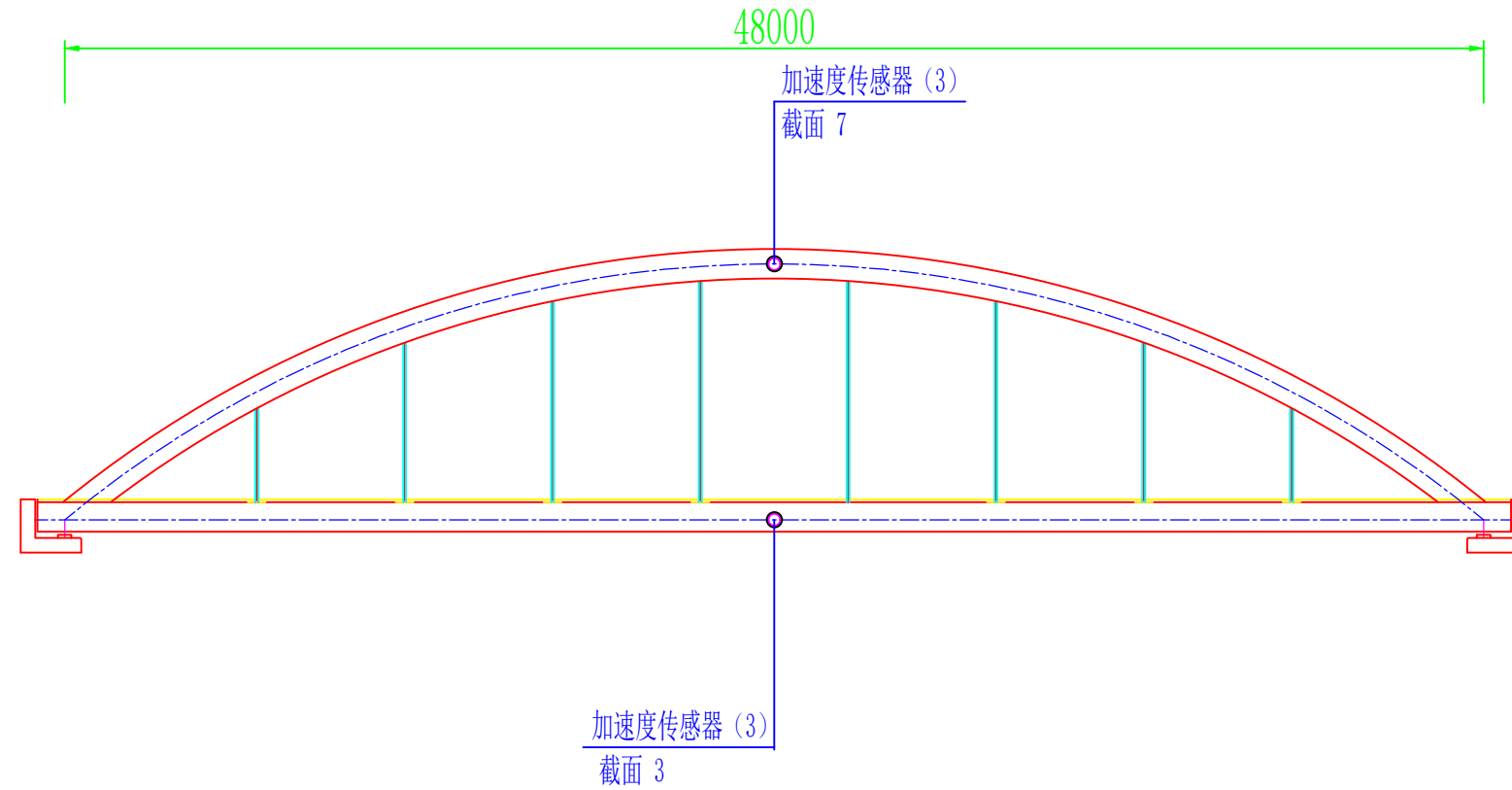
注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。

线形/挠度测点布置图



注：
 1、○ 为测点。
 2、本图尺寸以mm为单位。

振动测点布置图



注：
1、○ 为测点。
2、本图尺寸以mm为单位。