
东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务 系统项目 典型桥梁应用集成示范实施方案

采购单位：中国地震台网中心
实施单位：深圳防灾减灾技术研究院

二〇二三年十二月

设计说明目录

1 项目背景	1	5.4 施工组织设计	20
2 项目概况	1	5.4.1 施工准备	20
2.1 项目建设目标	1	5.4.2 设备进场计划	20
2.2 工程概况	1	5.4.3 设备保护措施	21
3 系统设计依据	2	5.4.4 现场施工	21
3.1 规范相关规定	2	5.5 质量保证措施	22
3.2 标准、规范等相关资料	2	5.5.1 质量控制计划	22
4 项目实施方案	3	5.5.2 质量控制手段	23
4.1 强震动监测台站建设实施方案	3	5.5.3 质量验收标准	24
4.1.1 传感器布置方案	3	5.6 安全保证措施	24
4.1.2 仪器设备配置	4	5.6.1 安全生产管理组织机构	24
4.1.3 监测系统集成方案	5	5.6.2 安全生产管理人员职责	24
4.1.4 监测设备安装方案	7	5.6.3 安全检查与安全教育	25
4.2 软件系统建设方案	10	5.6.4 安全防护措施	26
4.2.1 软件平台功能	10	5.7 进度保证措施	26
4.2.2 软件平台架构	11	5.7.1 施工进度计划的控制	26
4.2.3 软件开发方案	13	5.7.2 施工进度控制措施	26
4.2.4 软件系统集成	14	6 系统交付与维护	27
4.2.5 软件系统部署	15	6.1 硬件验收	28
4.2.6 参考文档	15	6.2 软件验收	28
4.3 系统应用场景	15	6.2.1 功能模块检查	28
4.3.1 基于地震预警启动桥梁安全评估与报警	15	6.2.2 用户可用性检查	28
4.3.2 基于本地烈度启动桥梁安全评估与报警	16	7 系统使用培训	28
4.3.3 基于安全评估算法启动桥梁安全评估与报警	16	7.1.1 培训目标	28
5 项目实施组织管理	16	7.1.2 培训对象	28
5.1 项目工作计划	16	7.1.3 培训内容	28
5.2 项目重难点分析	17	7.1.4 培训计划	29
5.3 项目人员组织方案	17		

1 项目背景

随着社会经济的发展，我国建设了大量桥梁工程，随着服役期的增加，在日常荷载、腐蚀、材料老化等因素的作用下导致服役多年的桥梁结构承载力下降，危害桥梁结构安全。交通是社会的经济命脉，桥梁是交通的咽喉，桥梁安全状况关系人民生命和国家财产安全，影响到整个地区甚至国家政治经济状况及社会稳定。

青藏高原东北缘区域是我国一二级阶梯的过渡地带，也是青藏地块、西域地块两个一级地块的结合部位，震情形势严峻，甘肃、青海两省均被列为国家地震预警工程项目第二批攻坚重点地区。桥梁结构形式特殊、地质环境恶劣、地震多发等因素给东北缘区域桥梁的安全性带来巨大的挑战，一旦遭遇地震等灾害，将严重威胁桥梁结构以及社会安全。青藏高原东北缘地区同时也是我国西气东输、成品油和原油管道等骨干油气管道途经地，以及中欧班列、兰新线、兰青线和兰新客专等铁路重要基础设施途经地，2022年1月8日青海门源6.9级地震发生后，震中周边部分基础设施受到破坏损毁，兰新高铁浩门至山丹军马场区间隧道群局部塌方，造成青藏铁路多趟列车停运等，同时也对震中附近的国家重大战略基础设施带来很大的地震破坏风险隐患。党中央国务院有关领导作出指示，要求进一步加强青藏高原东北缘地区国家重大战略基础设施地震灾害风险防治能力。贯彻落实党中央国务院最新指示要求，加快提升青藏高原东北缘地区国家战略基础设施沿线地震监测预警能力势在必行。

因此急需开展东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统建设，为桥梁工程提供地震响应监测、烈度速报、地震预警、地震安全评估等地震安全信息专项示范服务。通过在桥梁上布设多种传感器结构监测台阵，实时监测桥梁结构的响应，并研发基于实测数据的结构安全评估与预警系统，从而可以实现对桥梁地震安全监测与预警，做到隐患提前发现和提前治理，有效预防重大安全事故的发生。通过本项目系统建设，可以提升青藏高原东北缘地区桥梁地震响应监测预警能力和地震信息服务示范能力，拓展保障国家重大战略基础设施地震安全的新途径。

2 项目概况

2.1 项目建设目标

本项目选取位于临夏州永靖县盐锅峡镇的八盘峡跨黄河大桥开展应用集成示范，在桥梁已有的强震监测系统基础上补充监测手段，包括加速度、位移、挠度、运行环境等

的监测，加密传感器布设，开发实时数据展示、地震烈度计算与预警、结构安全评估、三维模型可视化、有限元分析等功能集成与展示。

2.2 工程概况

八盘峡黄河特大桥位于甘肃永靖县境内，大桥从兰新第二双线高家山隧道出口引出，跨越黄河后西行至新庄隧道。桥梁全长1332.1米，是兰新第二双线的重点和难点工程，也是这条高速铁路上唯一横跨黄河的桥梁。

八盘峡黄河特大桥全桥长1.3321公里，其中主桥起止桩号为：DK37+542.972（7号墩）～DK37+882.472（11号墩），桥型布置为（70+100+100+70）m的预应力混凝土连续梁、连续刚构梁，其桥型布置如图1-1所示，桥梁立面照、平面照如图1-2~3所示。

连续刚构梁结构形式：直腹板单箱单室箱形截面，梁体下缘按圆曲线变化。箱梁跨中梁高4.85米，支点梁高7.85米。主梁顶宽12.2米，顶板厚0.4米，底宽6.7米（中支点外局部加宽），底板厚0.4—1.2米；腹板厚0.6—1.0米。主梁设7道横隔板，边支点横隔板厚2.0米，中支点横隔板厚3.5米，中跨跨中横隔板厚0.8米。主梁0号块梁段长14米，中、边跨合龙段长2米，边跨直线段梁长18.9米。零号块及边跨直线段在支架上施工，其他梁段为挂篮悬臂浇注施工。



图 2-1.八盘峡特大桥俯瞰图（m）



图 2-2.大桥侧面照

3 系统设计依据

3.1 规范相关规定

交通运输部于 2015 年 12 月 1 日颁布实施的《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）条文 3.8.6：“技术复杂的大型桥梁工程可根据需要设置必要的结构监测设施”。

交通运输部于 2022 年 1 月 13 日颁布实施的《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）条文 4.1，公路桥梁符合下列条件之一时，进行桥梁结构监测：

- a) 主跨跨径大于等于 500m 悬索桥、300m 斜拉桥、**160m 梁桥**、200m 拱桥；
- b) 技术状况等级为 3 类、4 类且需要跟踪观测的在役桥梁；
- c) 经过评定需要进行结构监测的桥梁。

3.2 标准、规范等相关资料

- (1) 《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）；
- (2) 《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB 50982-2014）；
- (3) 《结构健康监测系统设计标准》（CECS 333:2012）；
- (4) 《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JTG-T 5122-2021）；

- (5) 《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05-2015）；
- (6) 《大跨度桥梁结构健康监测系统预警阈值标准》（T/CECS 529-2018）；
- (7) 《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）；
- (8) 《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）；
- (9) 《公路桥梁加固设计规范》（JTG /T J22-2008）；
- (10) 《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG /T J23-2008）；
- (11) 《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21-2011）；
- (12) 《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01-2015）；
- (13) 《综合布线系统工程设计规范》（GB 50311-2016）；
- (14) 《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）；
- (15) 《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）；
- (16) 《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）；
- (17) 《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）；
- (18) 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343-2012）；
- (19) 《建筑物电子系统防雷装置检测技术规范》（DB11/T 634-2018）；
- (20) 《通用用电设备配电设计规范》（GB50055-2011）；
- (21) 《公路工程质量检验评定标准第二册机电工程》（JTG 2182-2020）；
- (22) 《系统接地的型式及安全技术要求》（GB14050-2008）；
- (23) 《低压配电设计规范》（GB 50054-2011）；
- (24) 《公路桥梁健康监测系统数据库架构设计规范》（DB32/T 3940-2020）；
- (25) 《计算机软件需求规格说明规范》（GB/T 9385-2008）；
- (26) 《计算机软件可靠性和可维护性管理》（GB/T 14394-2008）；
- (27) 《信息技术 软件工程术语》（GB/T 11457-2006）；
- (28) 《计算机软件测试规范》（GB/T 15532-2008）；
- (29) 《信息技术软件测量》（GB/T 18491.1-2001）；
- (30) 《计算机软件可靠性和可维护性管理》（GB/T 14394-2008）；
- (31) 《信息处理系统开放系统互连基本参考模型 第 2 部分：安全体系结构》（GB/T9387.2-1995）；

- (32) 《计算机信息系统 安全保护等级划分准则》（GB 17859-1999）；
- (33) 《安全防范工程技术标准》（GB 50348-2018）；
- (34) 《安全防范系统设计及安装》（06SX503）；
- (35) 《道路桥梁养护手册》中国建筑工业出版社，2002；
- (36) 其他相关资料。

4 项目实施方案

4.1 强震动监测台站建设实施方案

4.1.1 传感器布置方案

本次选取跨黄河的主桥开展结构监测工作，为跨度 70+100+100+70m 的连续刚构梁。参考《连续梁（刚构）桥健康监测技术规程》规定，在桥梁原有监测设备的基础上，增加布设强震仪、加速度计、位移计、挠度计、应变计、光学摄像机等传感器，对桥梁的地震荷载、结构动力响应、结构变形、结构应变以及运营环境进行补充监测。补充监测的传感器布置方案如图 4-1 所示，监测内容以及传感器类型如表 4-1 所示。

表 4-1.八盘峡黄河特大桥传感器布置方案信息表

监测类别	传感器	传感器位置	监测内容	数量	通道数
地震荷载	三分向强震仪	河岸桥墩底部	监测地面自由场地	1	3
结构动力响应	三分向强震仪	两侧主桥箱梁端部伸缩缝	主桥箱梁端部伸缩缝处三分向加速度	2	6
	双向加速度计	四段主桥桥梁跨中桥箱处	监测主桥跨中横桥向、竖向加速度	4	8
结构变形	挠度计	主桥箱梁端部、四段主桥桥梁跨中	监测主桥各跨跨中竖向挠度	5	5
	位移计	两端主桥箱梁端部	监测主桥箱梁端部横桥向、纵向相对位移	6	6
运营环境	光学摄像机	一端主桥桥墩顶部	监控主桥整体状况及主桥墩侵蚀	1	1

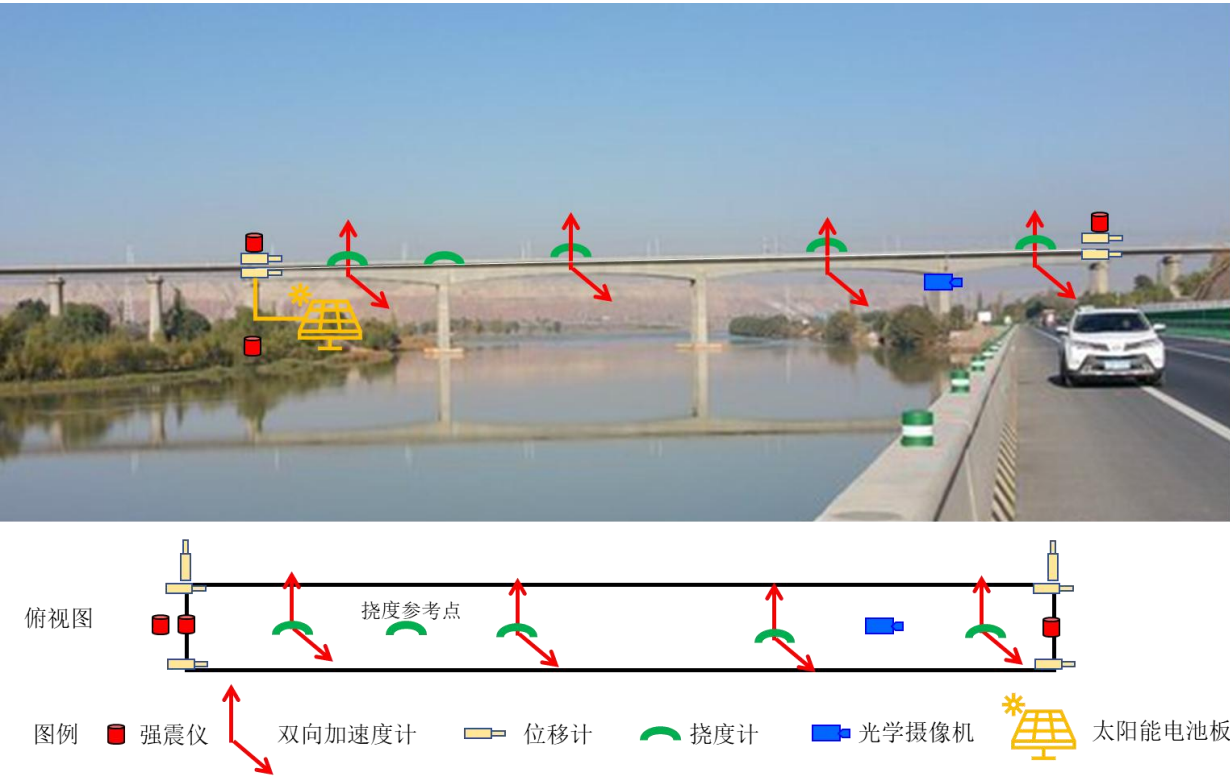


图 4-1.传感器布置图

4.1.2 仪器设备配置

根据所设计的监测方案，本单位提供以下仪器设备，性能先进，完全满足招标书要求。

表 4-2. 仪器设备规格和数量

序号	名称	配置设备	设备规格	数量	是否符合要求
1	三分向强震仪	同泰华光 HG-A2 力平衡式加速度计	类型：力平衡式； 测量频带：DC~80Hz； 测量范围：±2g；动态范围：≥140dB；灵敏度：双端 2.5V/g； 工作环境：-20℃~65℃； 零点漂移：<500 ug/℃； 线性度误差：<0.1%。	3	是
2	双向加速度计	991B 低频振动传感器（两个单向加速度计组合）	通道数：1；灵敏度：0.3V•s ² /m； 测量范围：15 m/s ² ； 分辨率：5×10 ⁻⁶ m/s ² ； 通频带：0.125~200Hz； 适用环境温度：-10℃~50℃。	8	是
3	静力水准仪	SLP 型差压式静力水准仪	测量范围：0-3500mm；分辨率：0.07mm；精度：≤0.015%FS；适用环境温度：-40℃~80℃； 适用环境湿度：5%~95%；防护等级：IP68。	5	是
4	拉绳位移计	LLWY-II 拉线位移传感器	量程：0-1000mm； 测量精度：0.1mm； 线性精度：±0.15%FS (模拟量信号或者 RS485 数字信号)；±0.05%FS（脉冲输出）； 使用温度范围：-25℃~85℃； 防护等级：IP65。	6	是
5	光学摄像机	海康威视 iDS-2DE3A40BX-D/GLT/XM(F1)(S MBG)	具有防雷、防浪涌、防突破功能；支持云台旋转，350°水平旋转、-5°~105°垂直旋转；支持 4G 传输；支持背光补偿；支持强光抑制、3D 降噪、透雾、区域曝光功能；支持手机远程监控；具有防水防尘能力，适应室外环境；像素 400 万；防水等级：IP66；夜视类型：全彩夜视；供网方式：流量卡；存储方式：硬盘+内存卡；警戒功能：声光警戒。	1	是
6	主控	JM5981A 主控单元	数据传输方式：4G/RS485 总线；主控内置存储模块，32G 存储空间；采样速率：每个通道最高采样速率 2kHz。	4	是
7	数据采集仪	JM5981_1 采集设备	通道数：4；分辨率：优于 0.01%；测量精度：优于 0.3%；失真度：优于 0.1%；最大分析带宽:DC~500Hz；采集仪可满足分布式布置；最高采集频率：1000Hz，多档可设置；AD 位数：24。 数据传输方式：4G/RS485 总线；主控内置存储模块，32G 存储空间；采样速率：每个通道最高采样速率 2kHz。	8	是

4.1.3 监测系统集成方案

4.1.3.1 系统组成

- （1）系统具有与其安装位置、功能和预期寿命相适应的质量和标准、通信协议。数据处理与控制系统(DPCS)由系统服务器和相应的软件系统组成，该服务器监测所有的设备和传感器等，进行基本的数据处理和存储；
- （2）系统服务器应装备足够的缓冲内存、网卡、适当的备份设备、网络接口和执行数据处理分析的操作模块；
- （3）数据处理和控制系统管理数据采集系统(DAS)的工作，数据处理与控制系统将通过网络控制安装的数据采集单元；
- （4）所有数据采集、数据预处理均由数据采集系统承担，所有数据的二次预处理则由数据处理和控制系统承担；
- （5）数据处理和控制系统管理一个静态数据库和一个动态数据存储空间,用于存储原始数据和预处理结果；
- （6）数据采集子站由若干个数据采集仪和 1 个子站路由器构成。数据采集仪将传感器信号转换为数字信号，通过高速 485 总线将数据传输至子站路由器。子站路由器对其下的数据采集仪进行统一管理，通过光纤或无线接口与数据中心连接。

硬件系统的集成方案如图所示：

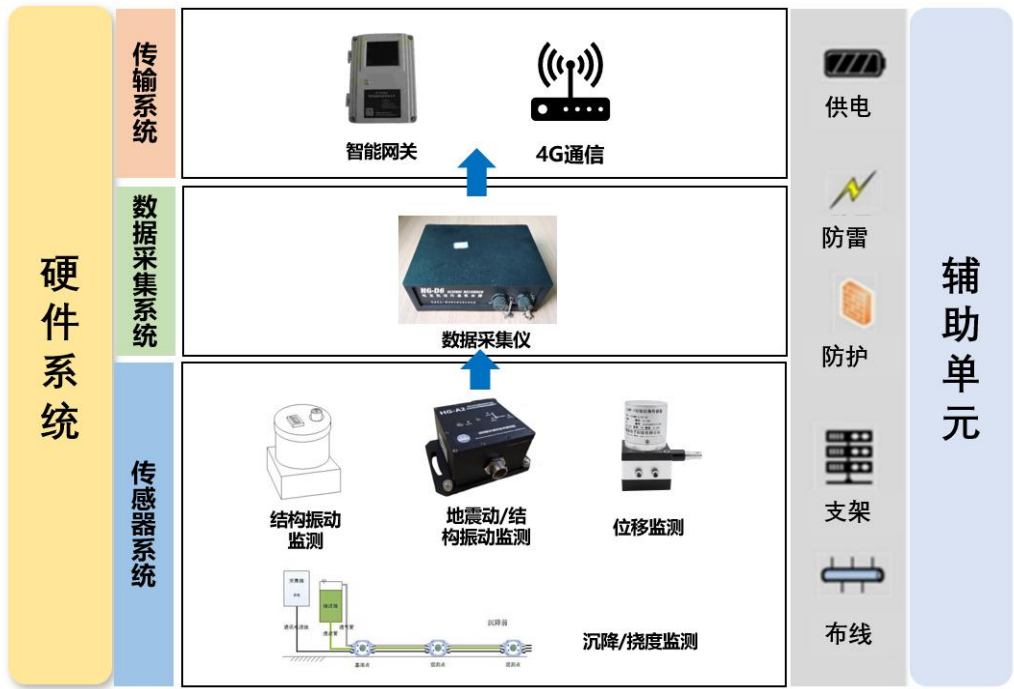


图 4-2. 硬件系统集成示意图

4.1.3.2 硬件设置

- （1）每监测点：传感器；数据线；数据线汇集电箱。
- （2）数据采集子站：数据采集卡，通道数按照该子站动力加速度、地震动、结构位移、挠度等的传感器数量而定，进行地震动、结构动力加速度、结构位移、挠度等数据的实时动态采集；对于自带数据采集模块的传感器，外接 DTU 模块，以及 4G 卡，进行无线传输。
- （3）数据采集总站：数据采集控制器，将各个数据采集卡的数据通过数据线汇总到控制器，并且由控制器的 4G 传输模块将采集到的数据通过无线传输的方式上传到软件平台。
- （4）软件平台：服务器、监测控制系统。接收各个数据采集子站传输的数据，并且对数据进行预处理、数据统计分析、结果可视化、结构评估等。

4.1.3.3 设备供电

- （1）优先采取市电供电，需要向供电部门申请为桥上的传感器与数据采集设备供电；
- （2）如果无法取得供电，可以采用安装太阳能电池板上蓄电池（铅酸蓄电池）供电的方式为传感器与数据采集设备（内置 4G 数据传输模块）供电，如图 4-3、4-4 所示；根据监测设备的耗电功率配置太阳能供电设备，如表 4-3 所示，在阳光情况下蓄电池可以持续供电 5-10 天。

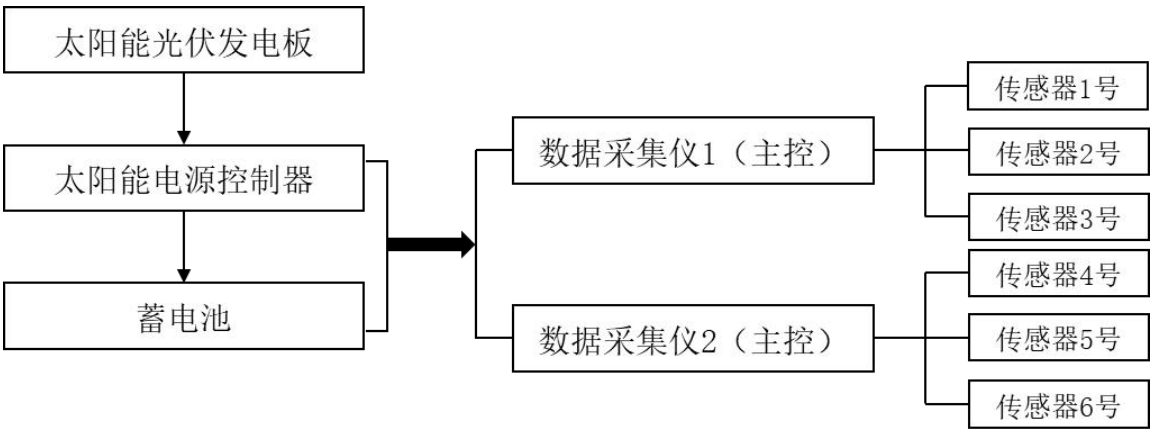


图 4-3. 太阳能供电流程图



图 4-4. 太阳能电池板+蓄电池示意图

表 4-3. 监测系统太阳能供电方案

监测设备（数量）	采集设备	耗电功率(W)	太阳能板	蓄电池
三分向强震仪（3）	3 台主控+3 台采集仪	34	550W 太阳能板 4 块	12V250AH 4 块
加速度计（8）	1 台主控+5 台采集仪	20		
静力水准仪（5）	1 台主控+1 台采集仪	12		
拉绳位移计（6）				
摄像头（1）	内置	20		
总功率		86	2200	12000

经现场勘察，确定八盘峡大桥的监测系统供电由位于简支梁桥下的太阳能板电池供电，再通过线管铺到箱梁内，具体铺装路线模拟图和实景图见图 4-5 和 4-6。

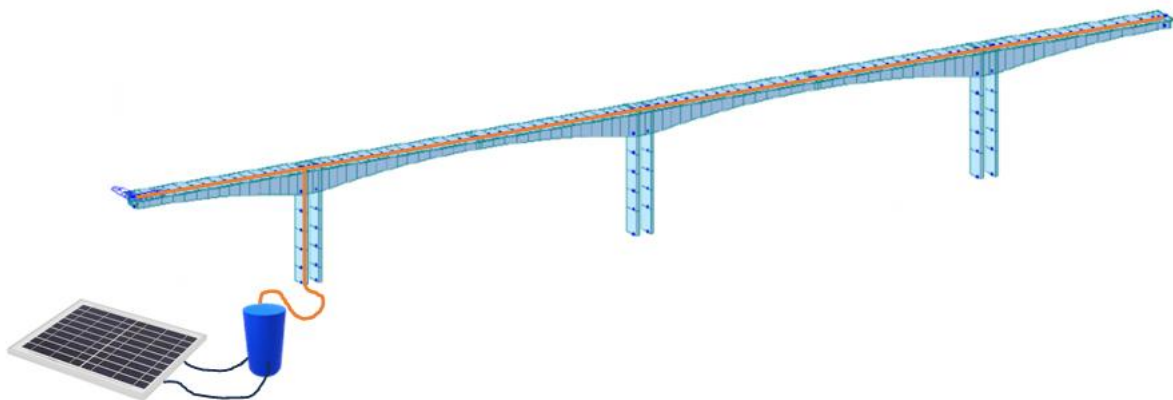


图 4-5. 太阳能板供电模拟图



图 4-6. 太阳能板供电实景图

4.1.3.4 数据采集

为保障全周期内监测数据的可靠性，决定各分项监测传感器与对应子站采集设备之间均采用有线传输的方式。子站至总站之间数据的传输采用无线传输的方式将数据传输至软件平台服务器。

对于结构动力加速度、地震动、结构倾斜度等采用实时动态采集的方式进行数据采集，在测点所在位置安装传感器同时连接电缆线、数据线。数据线汇总至该层数据线汇集点，然后数据线铺设至该层对应测量子站，测量子站设置各分项的数据采集仪以及数据无线发射装置，其中，各子站的动态数据采集设备共用一台动态数据采集仪，内有放大、调理、模数转换等，输出数字信号。可将该层数据发送至监测控制中心进行存储、分析。同时预留该子站至测量总站的管线通道以备后期使用。

4.1.3.5 数据传输

数据传输采用 4G 无线传输，购买工业 4G 物联网卡，安装在数据采集仪或者无线路由器，然后发送到软件平台；

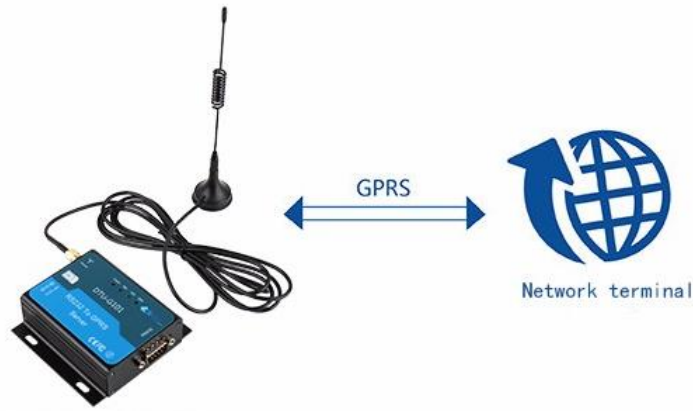


图 4-7. 无线传输模块

4.1.4 监测设备安装方案

本项目选取的应用示范桥梁八盘峡黄河大桥为铁路桥梁，不能进行桥面作业，因此仪器设备安装在箱梁内部、桥墩承台以及桥下场地，不同场景安装示意图如图 4-8 所示。

由于主梁采用高强混凝土浇筑，除摄像头之外的全部仪器设备均采用免钉胶进行固定，不会对桥梁结构造成任何损伤。所有户外的传感器需要加装防护盒，数据线、电线等采用防老化线并且安装在 PVC 管中。



图 4-8. 设备安装位置示意图（1）箱梁内安装（2）承台安装（3）桥下安装

4.1.4.1 三分向强震仪

三分向强震仪安装过程如下：

打开加速度计的包装，除加速度计主机外，还有配套附件，见下图：







		
加速度计	安装衬板	衬板固定膨胀螺栓
		
加速度计固定螺丝	防震铝箱	调零工具

图 4-9. 三分向强震仪安装配件

HG-A2 加速度计采用是单电源供电方式，标准的工作电压是 +12V。如利用兼容的记录仪内置电源供电，需保证电压范围不超出 +8V---+30V。

安装之前，根据观测目的选择安装场地，准备好必要的工具（冲击钻及锤子等）、万用表、指南针等。安装场地用于固定 HG-A2 主机的表面应平整、水平。

首先需要根据实际情况准备一块安装板，然后把安装板和 HG-A2 固定在该结构上。浇注水泥和安装 HG-A2 到任何层面或结构体之前，要最终确定 HG-A2 的定位方向。对于在结构上安装，HG-A2 的定位方向通常与结构的主轴平行。

场地准备好以后，请按照以下安装步骤进行安装：

第一步：在安装平面上画方位基准线，该基准线应为南北方向（方位角为 0 度）。

第二步：将 HG-A2 安装衬板按照下图放置于安装面，标好固定安装衬板时需要打孔的位置，在安装平面上用 $\Phi 14.5$ 的冲击钻和水泥钻头打 10cm 深度三个安装孔，然后将膨胀螺栓打进孔内，用锤子敲打使其紧紧地固定住。将衬板的安装孔插入膨胀螺栓，将螺丝和垫圈插入衬板的固定孔，旋紧螺母固定。

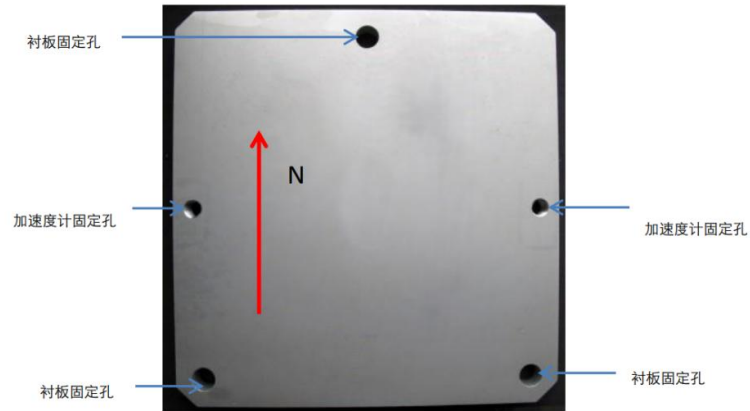


图 4-10. 衬板安装示意图

第三步：固定加速度计将 HG-A2 放到安装衬板上，顶盖板上的箭头“Y”指向正北，用附带的两颗加速度计安装螺钉固定加速度计，预紧螺丝并按第四步说明调整基准水平。



图 4-11. 三分向强震仪示意图

第四步：HG-A2 调基面水平 1. 检查 HG-A2 机顶的水平泡显示。 2. 假如水平泡处于圆环中央，无需再调水平，将螺丝拧紧。 3. 否则要松开安装螺丝来调节两个调水平的脚，直至水平泡处于圆环中央为止。 4. 重新紧固加速度计两侧固定螺丝，小心保持原来的指向，即对自由场安装指向地理正北方向；在结构上安装应与结构的主轴平行。

第五步：HG-A2 调节基面水平后，物理安装基本完成，将随仪器测试电缆（选配）与 12V 电源相连。

第六步：检查电缆线应完好，无破损和短路，同时核对接线无误后接通 HG-A2 的电源，等待 1 分钟后，用万用电压表检查各方向的灵敏度输出线与输出信号地线电压（零位），HG-A2 出厂时均调校在 $[-10\text{mV}, 10\text{mV}]$ 范围内，如果超过 $[-50\text{mV}, 50\text{mV}]$ 范围

外，则需要调节仪器的零位，具体方法参照第三章有关 HG-A2 零位调节方法进行调节。

第七步：用专用摆线与数据采集器连接，安装完毕。

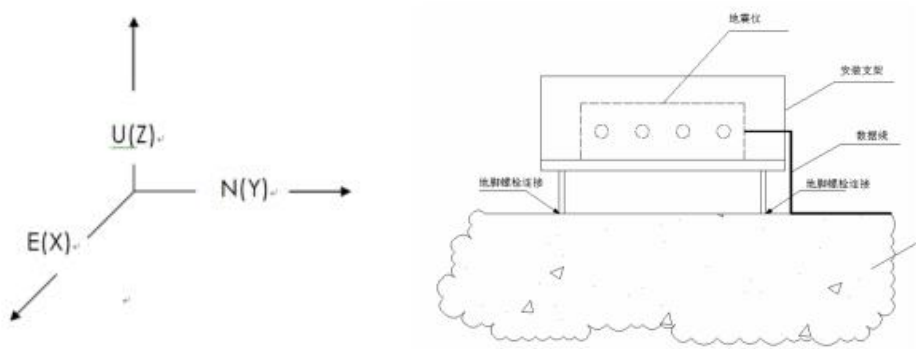


图 4-12. 三分向强震仪安装示意图

4.1.4.2 单分向加速度传感器

安装方法：

- （1）场地选择：选择固定 991B 测振仪的表面应平整、水平。
- （2）如下图为拾振器测量的方向；

第一步：摆放时，将铅垂向拾振器放于场地中间，水平向拾振器置于其垂直方向，正对东西、南北两个方向；

第二步：用免钉胶进行固定，防止发生滑移。

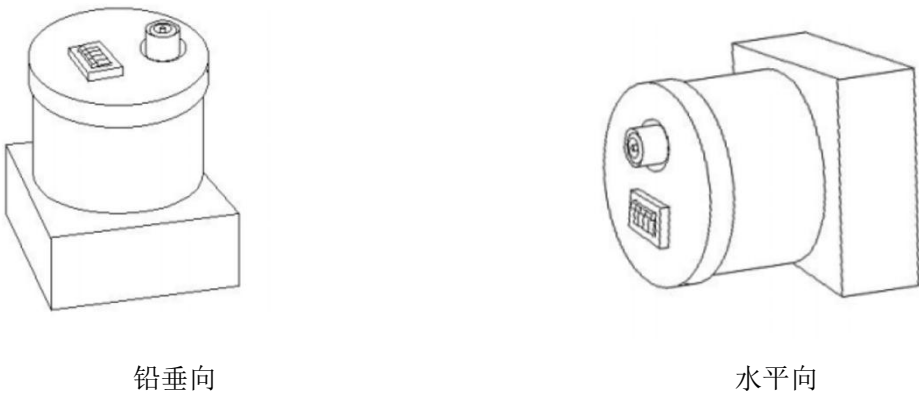


图 4-13. 拾振器测量方向图

4.1.4.3 静力水准仪

安装方法：

- （1）安装准备

静力水准系统包含静力水准仪、储液箱、支架、通气管、通液管等。在安装前根据设计配置各设备的地址，根据设计方案，选定储液箱 测点与相对基准点的安装位置。根据现场情况提前做好可支架辅件，常用工具材料如下表：

表 4-4.常用工具设备

固定扳手（M10、M13、M15、M16、M17）	六角螺丝刀（M4、M6）
充电式冲击钻（钻头M10）	一字十字两用螺丝刀（2mm/6mm）
万用表	微型水泵（12V）
记号笔	水桶
斜口钳、尖嘴钳、剥线钳	防水胶布
电动扳手（套筒M10, M13）【选配】	手持电钻【建议带】

- (2) 支架安装
- 将支架用免钉胶固定在安装位置，并且用胶带固定直到免钉胶完全凝固。支架安装时候，建议所有的支架安装都是水平的，并且朝向都一致。
- (3) 储液箱安装
- 储液箱安装的位置根据量程要高于系统中的任意一台设备，在量程内，储液箱 底部比系统内的最高一个设备的高差 $\geq 10\text{cm}$ ，储液箱底部与系统内最低一个设备的高差 $\leq 160\text{cm}$ 。根据可安装方式固定好储液箱，避免因环境影响下抖动。关闭通液口，加入半箱到 2/3 的液体，（约 15cm）。为提高精度，建议所有的测点和基准点的高度接近一个水平面，另外，测点最低和最高的设备中心线与水箱底部的高差控制在 80-110cm 之间。

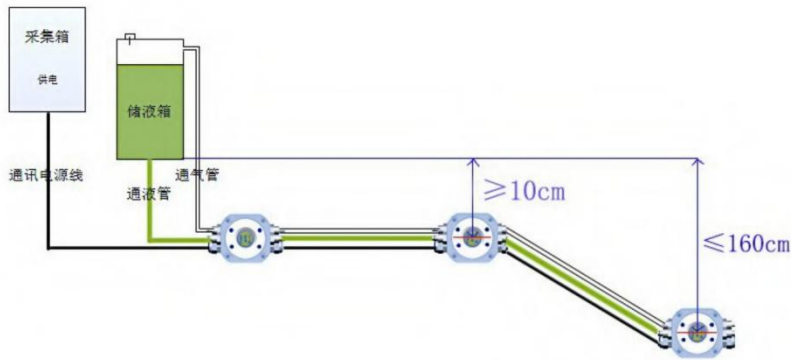


图 4-14. 储液箱安装示意图

- (4) 静力水准仪安装
- 传感器水平安装在桥面护栏外侧，所有的设备尽可能安装在同一个水平面上，待灌液完成可直接用免钉胶固定到支架上，排气阀朝上，如下图：

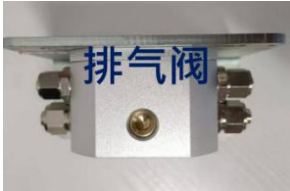


图 4-15. 排气阀安装示意图

- (5) 通液管、通气管、线缆安装
- 按各测点之间及储液箱的管线路长度顺序铺设通气管、通液管、线缆。并将设备连接，安装时应先将设备通液口的螺套卸下并套入通液管，各个设备利用通液管相互连通，首端通液口连接到水泵（长度要留够后面可以接到储液箱）。
- 通气管的作用是使所有液面压力保持一致，整个气压平衡系统应相互连通，各设备的通气口用通气管相互连接起来，首端通气口先连接一根通气管到水箱，长留够可以接到储液箱（先不接），尽量多预留十几公分，尾端通气口用一字堵头堵住。各个设备的通讯线两两相互连接，首端设备的一头通讯线连接 DTU，尾端设备的一头通讯线用黑胶布缠住，防止进水。
- (6) 充液
- 使用水泵对已连通液管进行充液，当排气完成时，确保储液罐内的防冻液达到 2/3 后，往储液罐里添加 150ml 硅油。
- (7) 管线与设备保护
- 温差过大会导致仪器内的液体产生热胀冷缩现象，从而导致测量出现偏差。需对仪器和连通管进行保温处理。可制作专用的不锈钢仪器保护罩用于保护设备（可在里面填充发泡材料，充当隔热层）。然后将静力水准仪套在里面，既能保护设备，又具有隔热功能。储液箱利用保温棉保护起来（静力水准仪也可用保温棉保护），连通管可用 $\phi 22\text{mm}$ ，厚 15mm 的聚氯乙烯保温材料进行保护，如果在户外，需要带有铝膜外套。
- 同时为了防止通信电缆裸露在外面容易受到破坏，也同样需要强化保护。将通信线缆穿入 $\phi 25\text{mm}$ 的 PVC 管，防止线路被破坏。PVC 线管和设备之间位置，可用金属带塑料外壳的波纹软管包好。

- (8) 设备连接
- 设备连接如下图所示，由于设备内部已经做好了 485 总线并联，所以在连接设备时，设备之间的通讯线连接为相邻两设备相互连接（串联）即可，无需多个设备并联。



图 4-16. 水准仪连接示意图

4.1.4.4 拉绳位移计

安装方法：免钉胶+支架

- （1）利用免钉胶将底部固定在主梁端部，安装后另加保护罩。
- （2）不锈钢索安装时，使用水平尺测量，使钢索出线口至移动部位，于工作时水平滑动。保持最小角度（容许偏差 $\pm 3^\circ$ ）以确保量测精度及钢索之寿命。
- （3）钢索本体是不锈钢加涂氟层，请勿让其受外力的割伤、烧损、撞击等不当之事发生：过量的粉尘、积屑或是足以破坏钢索的物品贮留于内部的滑轮或出线口将造成钢索破损，导致运转不顺的故障。

未安装工作台或固定座前，请勿用手或是其他工具将钢索拉出来并让其瞬间自行回弹，此举将造成钢索断裂，伤害本体结构及人身安全。



图 4-17. 拉绳位移计安装实景图

4.1.4.5 智能摄像头

安装方法：

- （1）根据场地以及监测目标选择合适的安装位置，选择安装在桥墩外侧。
- （2）选择好合适的位置后，先用摄像机支架衡量需要安装的地方，在相应的位置打孔（直径 3.5mm 深度 3cm）的或用自攻丝进行固定。
- （3）在打好的小洞里塞入涨塞，用自攻丝固定摄像机支架。注意，一定要固定牢固，不然后期摄像头会出现抖动现象。
- （4）摄像头支架固定完毕之后，将摄像头固定在支架上，根据所要监控的区域初步调整摄像头的角度。
- （5）摄像头安装好之后，就可以开始进行接线了。摄像头有电源线和信号线，电源线采用 12v2a 电源进行供电，而信号线根据摄像机的种类不同采用的数据线也不同，比如说模拟用的是同轴电缆，网络摄像则用的是网线。
- （6）线路连接完毕后，再到后端将硬盘录像线路连接好，之后就可以进行调试了。如果摄像头、电源等没有问题，那么此时，后端就可以出现摄像头的画面了。



图 4-18. 摄像机实图

4.2 软件系统建设方案

4.2.1 软件平台功能

东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务软件系统主要功能包括：

- （1）桥梁监测数据实时接收。支持并具备 3 种以上类型的观测设备传感器（如加速度计、位移计、挠度计等）数据实时接收；提供与国家预警工程波形数据交换系统对接，

具备定制化接收汇集桥梁周边台站的实时数据功能；提供与预警紧急信息服务系统数据对接，具备定制化接收桥梁区域（关注区）预警、速报等产品产出功能；设计并提供接收桥梁监测相关的位移、挠度等传感器实时数据的接口。

（2）数据预处理与存储。具备对接收的数据根据协议进行解码、汇集和存储功能，同时具备并提供监测数据的零漂校正、滤波等预处理服务；具备并提供异常数据自动识别与修复服务功能；提供数据存储模块，具备实时数据、分析结果等各类数据和产品产出长期永久存储设计和功能实现等。

（3）桥梁本地地震烈度计算与安全评估。提供并具备桥梁本地仪器烈度计算功能；具备并集成模态频率、小波包能量、主成分分析、融合指标等不少于 4 种桥梁地震响应结构安全评估算法模块；提供实时数据在线分析和结构安全评估指标自动计算服务；提供桥梁结构地震安全评估报告自动产出服务等。

（4）桥梁地震预警与异常告警。完成与预警工程紧急信息服务系统（获取预警、速报等信息）的集成；具备并实现桥梁异常告警信息模板化管理，对触发条件、告警级别、告警方式（如邮件和短消息）等可灵活配置，支持对日常桥梁监测异常信息、震后桥梁监测安全评估等产品产出通过邮件和短消息等向用户提供服务，实现与对应服务系统的集成。

（5）3D 建模与系统可视化。根据桥梁结构竣工图纸，建立 7 座桥梁结构三维展示模型，实现对桥梁三维模型和监测点位的可视化展示，具备三维模型调用、浏览、互动和放大、缩小、旋转等操作，通过点击模型可以显示相关信息，包括测点的传感器信息、通道位置信息、实时波形数据、地震记录展示等；具备根据不同桥梁、不同测点、不同时间段，提供实时数据查询和展示服务，提供实时数据与频谱同步查看服务等。

（6）典型桥梁应用集成示范。在一座典型桥梁上增加布设加速度计、位移计、挠度计等传感器，测点覆盖自由场地、桥梁主要结构部位，完成新增监测设备的购置、安装、调试和试运行，提供系统运维与仪器保修服务。针对该典型桥梁，建立结构三维有限元模型；根据实测得到的桥梁模态信息，对有限元模型进行模型修正；基于修正后的有限元模型，开展典型桥梁结构地震反应、损伤特点和抗震性能等分析。

（7）数据服务。支持按不同查询条件的桥梁监测数据（7 座桥梁，其中一座示范桥梁）、桥梁地震烈度速报、桥梁地震安全评估结果的检索、可视化展示和下载服务；提

供各桥梁监测信息等年度、月度和日报表服务；提供基于 Web 的各类数据和产品的检索、在线查看、离线下载等功能。

（8）通用功能。包括配置管理、用户、权限管理和日志管理等。其中配置管理支持并具备各类监测仪器参数在线配置和远程管理功能，包括但不限于元数据、桥梁信息、各类传感器、模型参数等灵活配置、远程标定等功能，具备远程管理能力；用户和权限管理提供并具备包括用户管理、角色管理和权限管理功能，以及用户、角色与权限的映射关系维护等；日志管理要求具备规范的系统日志管理功能，提供但不限于用户的登录、注销、操作、浏览和下载等日志查询和归档服务等。

本项目各项内容之间的关系如下：

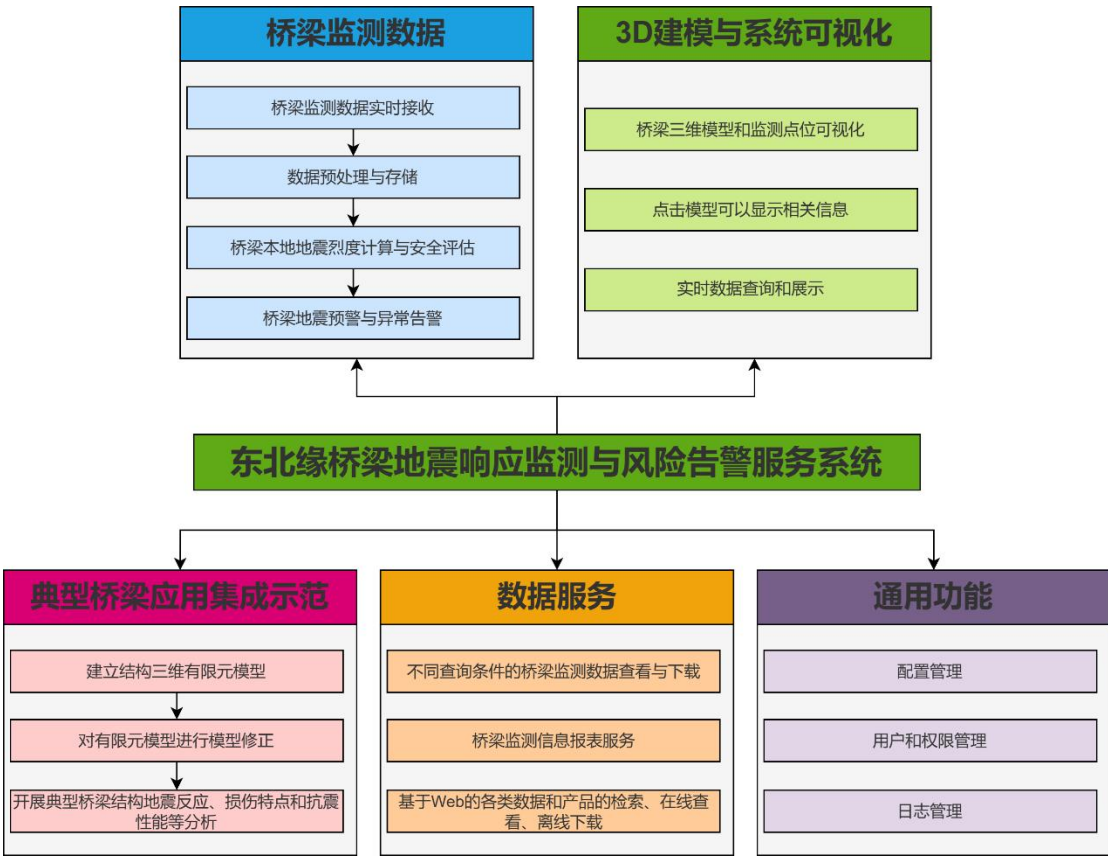


图 4-21 系统主要内容及其关系图

4.2.2 软件平台架构

东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统建设工作立足于最新的成熟信息技术和理念，积极采纳云服务架构、微服务架构、大数据架构的思想理念来展开，以获得最佳的信息技术投资和系统建设效果，达到系统的高可用性，良好扩展性。云服务、微服

务、大数据三者相互依存的架构，可以实现系统应用，满足未来的扩展和发展，在性能和安全、大数据应用上得到了保证。云服务、微服务、大数据三者相互依存的架构，可以实现系统应用，满足未来的扩展和发展，在性能和安全、大数据应用上得到了保证。架构及技术构成如图所示：

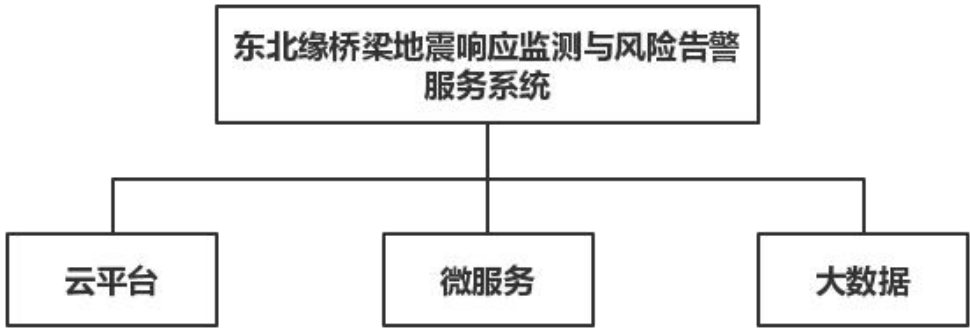


图 4-22 “云服务+微服务+大数据”软件架构

云服务是基于互联网的相关服务的增加、使用和交互模式，通常涉及通过互联网来提供动态易扩展且经常是虚拟化的资源。云是网络、互联网的一种比喻说法，过去在图中往往用云来表示电信网，后来也用来表示互联网和底层基础设施的抽象。云服务指通过网络以按需、易扩展的方式获得所需服务。

东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统大数据模块总体结构采用云服务架构，云服务架构是把系统所有逻辑处理和数据处理都放在云服务器里运行，前端无论是桌面程序，浏览器是作为系统的浏览端。对比服务组件都集中在客户端的传统架构，云服务架构把平台组件服务都集中在服务器上，易于平台的更新、维护和扩展，也更容易采用服务集群，扩大服务的容量和效率。

云服务的基础性应用使大数据的存储、运算都有了基础支撑，同时也为微服务的部署提供了更好的弹性环境。所以系统的总体运行都是以云服务为基础的运行架构。

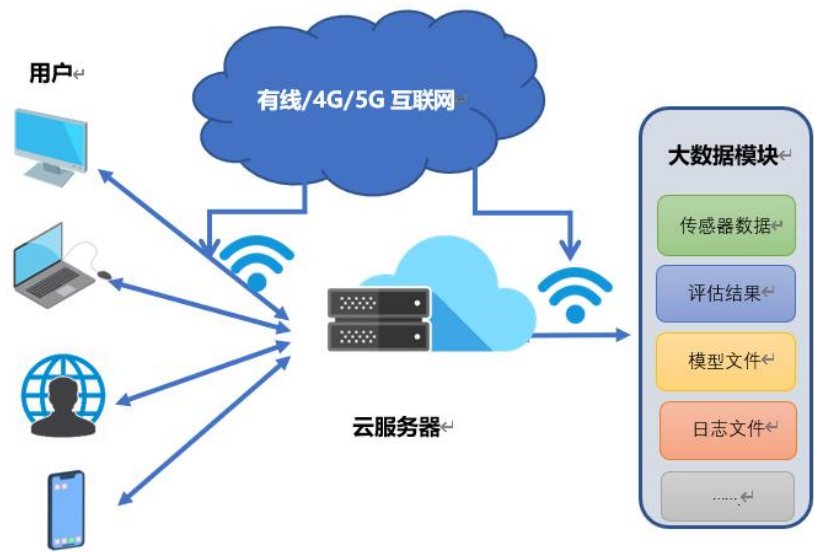


图 4-23. 云服务平台

系统的核心业务层将运用微服务架构（Microservice Architecture）。微服务架构（Microservice Architecture）是一种架构概念，旨在通过将功能分解到各个离散的服务中以实现解决方案的解耦。微服务（Microservice）这个概念是 2012 年出现的，作为加快 Web 和移动应用程序开发进程的一种方法，2014 年开始受到各方的关注，而 2015 年，可以说是微服务的元年，越来越多的论坛、社区、blog 以及互联网行业巨头开始对微服务进行讨论、实践，可以说这样更近一步推动了微服务的发展和创新。现在越来越多大型应用，都采用微服务架构，包括淘宝、京东等一大批具有众多业务服务的互联网行业巨头。

微服务架构的主要作用是把一个大型的单个应用程序和服务拆分为数个甚至数十个的支持微服务，从而降低系统的耦合性，并提供更加灵活的服务支持。它可扩展单个组件而不是整个的应用程序堆栈，从而满足服务等级协议。

微服务架构具有以下特征：

- （1）一系列的独立的分布式服务共同组成系统；
- （2）按照业务，而不是技术来划分组织；
- （3）单独部署，跑在自己的进程中；
- （4）每个服务为独立的业务开发；
- （5）自动化运维；
- （6）高度容错性；
- （7）快速演化和迭代。

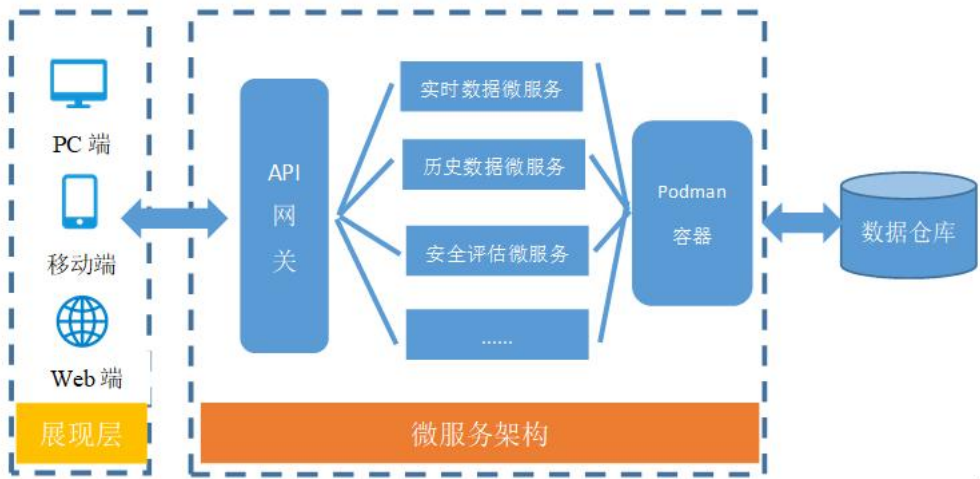


图 4-24. 微服务架构



图 4-25. 微服务功能模块

总而言之，微服务的目的是有效的拆分应用，实现敏捷开发和部署。在大型应用中通过把不同的功能应用封装为服务的形式，可以实现独立开发、独立部署，利用消息队列的形式实现服务调用，服务间协同、服务间数据调用。依靠 Podman 等容器实现负载均衡、分布式部署，非常适合应用在规模庞大，灵活应用的云服务端。

4.2.3 软件开发方案

软件和功能模块基于微服务和分布式架构，采用 Java、Python 等主流语言开发，支持 Linux 64 位操作系统（业主方可调整为国产操作系统）等，支持 mysql5.5 及以上（含 mysql cluster）数据库，Web 服务器为 Tomcat8 和 Nginx 1.5 及以上。

基于 Linux 或者 Unix 系统的稳定性、流畅度、安全性以及性能上都比 Windows 高，现在大多数的生产系统都部署在 Linux 或者 Unix 下，本系统的最终部署也是基于 Linux

或者 Unix 的云服务，结合中国地震台网中心的使用习惯，在这里我们选择 FreeBSD 进行整个系统部署，综合测试。

本系统主要的编程语言是 Java 和 Python，选用的开发工具要能有效地将它们融合在一起，进行开发、测试，从而提高工作效率。

Eclipse 是一个开放源代码的、基于 Java 的可扩展开发平台。就其本身而言，它只是一个框架和一组服务，用于通过插件组件构建开发环境。幸运的是，Eclipse 附带了一个标准的插件集，包括 Java 开发工具（Java Development Kit, JDK）。Eclipse 还包括插件开发环境（Plug-in Development Environment, PDE），这个组件主要针对希望扩展 Eclipse 的软件开发人员，因为它允许他们构建与 Eclipse 环境无缝集成的工具。由于 Eclipse 中的每样东西都是插件，对于给 Eclipse 提供插件，以及给用户提供一致和统一的集成开发环境而言，所有工具开发人员都具有同等的发挥场所。这种平等和一致性并不仅限于 Java 开发工具。尽管 Eclipse 是使用 Java 语言开发的，但它的用途并不限于 Java 语言；例如，支持诸如 C/C++、COBOL、Python、PHP、Android 等编程语言的插件已经可用。

因此，选用 Eclipse 进行开发完全可以满足本平台的开发要求。

为了延续旧系统的特性和有点，兼顾计算分析，本系统的开发语言主要使用 Java 和 Python。Java 是一种可以撰写跨平台应用程序的面向对象的程序设计语言。Java 技术具有卓越的通用性、高效性、平台移植性和安全性，广泛应用于 PC、数据中心、游戏控制台、科学超级计算机、移动电话和互联网，同时拥有全球最大的开发者专业社群。

Java 是功能完善的通用程序设计语言，可以用来开发可靠的、要求严格的应用程序。Java 编程语言的风格十分接近 C 语言、C++ 语言。Java 是一个纯粹的面向对象的程序设计语言，它继承了 C++ 语言面向对象技术的核心。Java 舍弃了 C 语言中容易引起错误的指针（以引用取代）、运算符重载（operator overloading）、多重继承（以接口取代）等特性，增加了垃圾回收器功能用于回收不再被引用的对象所占据的内存空间，使得程序员不用再为内存管理而担忧。Java 经过多年的发展，在大型应用中处于常青树的龙头位置。

Java 不同于一般的编译执行计算机语言和解释执行计算机语言。它首先将源代码编译成二进制字节码（Bytecode），然后依赖各种不同平台上的虚拟机来解释执行字节码。从而实现了“一次编译、到处执行”的跨平台特性。不过，每次的执行编译后的字节码需要消

耗一定的时间，这同时也在一定程度上降低了 Java 程序的性能。

此外，虽然 Java 的性能非常全面，应用领域非常广，但在数据处理方面却稍显欠缺。本项目拟研发的系统的核心在于数据分析，对数据处理的要求非常高。因此，仅仅依赖 Java 不能满足系统需求，必须结合 Python 这种擅长数学计算分析的语言，使用混合编程的方法对系统功能模块进行集成。

Python 是一个高层次的结合了解释性、编译性、互动性和面向对象的脚本语言。其设计具有很强的可读性，相比其他语言，Python 具有特有的语法结构。Python 支持广泛的应用程序开发，从简单的文字处理到 Web 开发，以及数据库操作。Python 的特点有以下几个方面：Python 有相对比较少的关键字，结构简单，语法定义明确。Python 代码使用空格对齐，更加便于阅读和理解。每一个模块有清晰的定义和调用说明，在软件完成以后的维护很容易。Python 的易于学习和编写使其快速地流行。经过多年的发展和标准制定，Python 提供了丰富的标准库。这些库文件安装可以通过 Python 命令进行。库文件的调用也十分简单。如果标准库中没有目标程序源码，用户可以自己通过 C 或者 C++自我实现。也可以通过 API 对 C 和 C++进行调用。Python 支持所有的商业数据库的数据接口，支持 GUI 编程。提供成熟可靠的 Web 框架，简化的 Web 开发的过程。不同用途或者功能的软件开发可能需要不同的语言进行编写。特定的语言提供了良好数据操作和简化后的编程逻辑。而 Python 提供了当前许多不同功能软件开发操作的库。不同的程序，相同的语言进行实现，效率更高，兼容性更好。此外，Python 还支持机器学习和创建数学模型。Python 是大数据分析和智能领域应用最广泛的语言。

项目中用到 Java 和 Python 两种语言结合进行，这样就会涉及到一个问题，就是如何用 Java 程序来调用已经写好的 Python 脚本，一共有三种方法可以实现。

（1）在 Java 类中直接执行 Python 语句。此方法需要引用 org.Python 包，需要下载 Jython。Jython 是一种完整的语言，而不是一个 Java 翻译器或仅仅是一个 Python 编译器，它是一个 Python 语言在 Java 中的完全实现。Jython 也有很多从 CPython 中继承的模块库。Jython 不像 CPython 或其他任何高级语言，它提供了对其实现语言的一切存取。所以 Jython 不仅给你提供了 Python 的库，同时也提供了所有的 Java 类，这使其有一个巨大的资源库。

（2）在 Java 中调用本地 Python 脚本。同样需要用到 JPython 包，使用 Python 在本地建立脚本，在 Java 中对整个脚本进行调用。

（3）使用 Runtime.getRuntime() 执行脚本文件。与上述两种方法不同，使用 Runtime.getRuntime() 执行 Python 脚本时，不需要 JPython 包。可使程序运行得更为稳定，降低调试难度。

4.2.4 软件系统集成

为了将紧急信息服务系统、波形交换管理系统集、示范桥梁监测系统、邮件系统、短信系统五个不同的模块/系统集成到东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统，我们采取以下方法：

1. 紧急信息服务系统集成：这个系统是国家预警工程的一部分，它的任务是实时获取地震预警、速报和烈度速报产品以及相关信息。我们通过 MQTT 协议来接入该系统，确保信息的高效传递，并且我们严格遵循国家预警工程的接入消息规范。

2. 波形交换管理系统整合：这个系统也是国家预警工程的一部分，它的功能是实时获取桥梁加速度地震计和周边台站（包括基准站、基本站和一般站）的实时流数据。我们使用快流 Liss 协议与该系统连接，确保数据的及时性和准确性。

3. 示范桥梁监测系统接入：我们将与示范桥梁监测系统进行整合，以实现各类传感器（如位移和挠度传感器）数据的接入。这确保了我们能够监测到示范桥梁的关键数据，以支持及时的监测和评估。

4. 邮件系统支持：我们将邮件系统整合到我们的平台中，以提供高效的邮件服务。这使得我们能够向相关用户发送邮件通知和信息，以便更好地提供服务。

5. 短信系统支持：我们还整合了短信系统，以为项目提供短信通知服务。这使得我们能够通过短信向相关用户发送重要信息和通知，确保信息的及时传达。

系统集成的具体步骤和措施如下：

1.需求分析：首先，明确定义每个系统的需求和集成目标。确定哪些数据和信息需要在系统之间共享，并识别关键触发事件。

2.API 和集成点：检查每个系统是否提供 API（应用程序接口）或其他集成点。API 是一种允许不同系统之间通信和数据传输的方式。

3.数据格式标准化：确保所有系统使用相同的数据格式标准。这可以包括 XML、JSON 或其他通用数据格式。确保数据在系统之间的传递时能够被正确解释和处理。

4.数据映射和转换：如果系统之间存在数据格式差异，开发数据映射和转换逻辑，以

确保数据在传递过程中正确映射和转换为目标格式。

5.事件触发和通知：确定哪些事件将触发集成操作。例如，在桥梁监测系统中检测到异常事件时，可以触发短信或邮件通知。设置事件触发规则和逻辑。

6.监控和错误处理：实施监控机制，以监视集成系统的运行状况。设置错误处理和日志记录，以便快速识别和解决集成问题。

7.持续维护：随着系统的演化，确保集成系统也进行相应的维护和升级。定期评估集成的性能和可用性，以应对新需求和变化。

通过这些集成，我们能够实现不同系统之间的数据交换和协同工作，以支持项目的顺利进行和监测任务的完成。这些集成保证了信息的及时性、可靠性和高效性，有助于确保项目的成功实施。

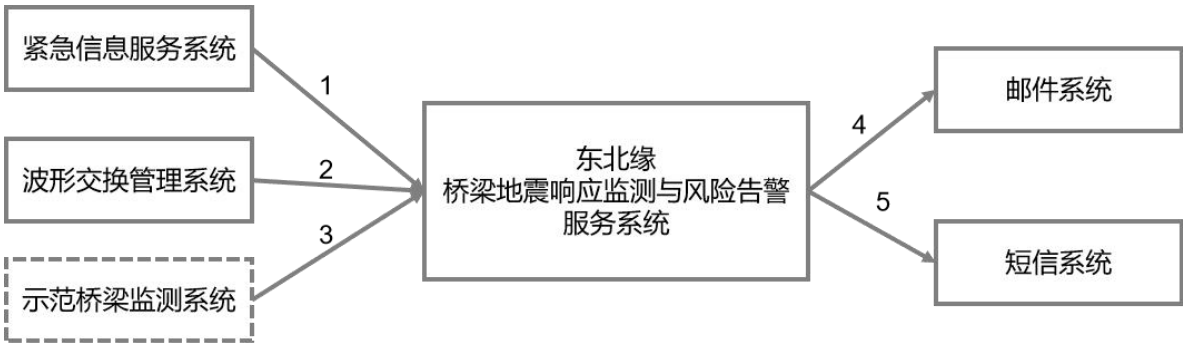


图 4-26. 系统集成示意图

4.2.5 软件系统部署

东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统软件和功能模块基于微服务和分布式架构，采用 JAVA（jdk1.8 及以上）、Python 等主流语言开发；支持 Linux 64 位操作系统（业主方可调整为国产操作系统）等;支持 mysql5.5 及以上（含 mysql cluster）数据库；Web 服务器为 Tomcat8 和 Nginx 1.5 及以上。

东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统的部署，主要分为大数据平台部署和微服务部署。大数据平台部署主要由 Hadoop、Hbase、Flink、以及 Kafka 集群组成。微服务部署由 Nginx、ZooKeeper、Dubbo、Podman 容器、Kubernetes 平台的部署组成。其中 Podman 容器根据服务的不同，分为 Netty 网络服务、Apache Tomcat Web 系统管理服务、安全服务、健康诊断服务、地震速报服务、实时报警服务、数据接收服务、App。

在系统部署硬件环境上面，软件系统部署在中心云平台上，同时支持实体服务器部署。在系统部署网络环境上面，均部署在地震行业内网或行业网 DMZ 区（可以与互联

网通信）。

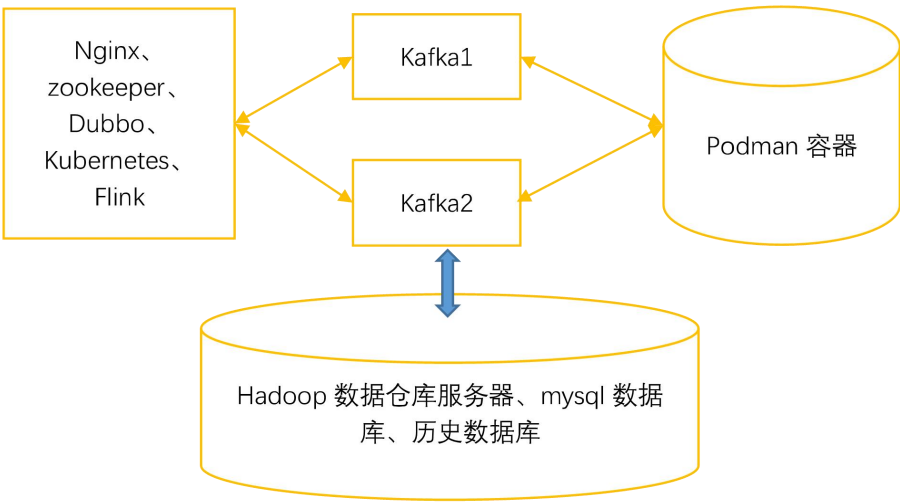


图 4-27. 云服务器部署图

4.2.6 参考文档

表 4-6. 软件开发参考文档表

文档编号	标题	修订版本	日期
TC230102K	东北缘桥隧预警数据分析处理与产出系统招标文件	——	2023-9
——	东北缘桥隧预警数据分析处理与产出系统投标文件	——	2023-9
TC230102K-DOC-001	软件需求规格说明书	1.0	2023-11
TC230102K-DOC-002	软件概要设计说明书	1.0	2023-11

4.3 系统应用场景

东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统项目主要应用场景是为东北缘地区的桥梁工程提供地震响应监测、烈度速报、地震预警、地震安全评估等地震安全信息专项示范服务。通过在桥梁上布设多种传感器结构监测台阵，实时监测桥梁结构的响应，并研发基于实测数据的结构安全评估与预警系统，从而可以实现对桥梁地震安全监测与预警，做到隐患提前发现和提前治理，有效预防重大安全事故的发生。具体的应用场景包括：

4.3.1 基于地震预警启动桥梁安全评估与报警

系统在接收到周围地震台网发送的地震预警信息之后，自动启动以下桥梁结构安全评估流程：

（1）利用系统中嵌入的结构安全评估算法对实测的监测数据进行分析，判断结构安全评估算法的计算结果是否出现异常并与预先设定的安全阈值进行比较，根据计算结果超过安全阈值的程度发出不同等级的报警；

（2）将监测到的地震动数据输入桥梁结构模型，开展有限元模型非线性分析，计算结构的损伤情况，评估结构的抗震性能；

（3）利用桥梁结构振动加速度监测数据计算桥梁本地地震烈度；

（4）利用以上分析结果形成桥梁结构安全分析报告。

4.3.2 基于本地烈度启动桥梁安全评估与报警

系统根据监测数据实时计算桥梁本地烈度并判断是否超过预警限值，如果超过限值则自动启动以下桥梁结构安全评估流程：

（1）利用系统中嵌入的结构安全评估算法对实测的监测数据进行分析，判断结构安全评估算法的计算结果是否出现异常并与预先设定的安全阈值进行比较，根据计算结果超过安全阈值的程度发出不同等级的报警；

（2）将监测到的地震动数据输入桥梁结构模型，开展有限元模型非线性分析，计算结构的损伤情况，评估结构的抗震性能；

（4）利用以上分析结果形成桥梁结构安全分析报告。

4.3.3 基于安全评估算法启动桥梁安全评估与报警

系统中嵌入的结构安全评估算法对实测的监测数据进行分析，判断结构安全评估算法的计算结果是否出现异常并与预先设定的安全阈值进行比较，根据计算结果超过安全阈值的程度发出不同等级的报警并自动启动以下桥梁结构安全评估流程：

（1）将监测到的地震动数据输入桥梁结构模型，开展有限元模型非线性分析，计算结构的损伤情况，评估结构的抗震性能；

（2）利用桥梁结构振动加速度监测数据计算桥梁本地地震烈度；

（3）利用以上分析结果形成桥梁结构安全分析报告。

5 项目实施组织管理

5.1 项目工作计划

东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统项目总工期为 10 个月（含 3 个月的试运行），具体的工作安排如下表所示。

表 5-1. 东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统项目工作计划表

序号	工作内容	工时（周）	起始时间
1	完成实施准备工程，成立项目实施团队；	6	2023.11.01~2023.12.13
2	完成监测系统详细的施工方案；	7	2023.11.01~2023.12.13
3	完成监测系统的设备采购；	6	2024.02.01~2024.03.14
4	完成监测系统硬件设备的安装部署；	7	2024.03.12~2024.04.30
5	完成监测软件调试和数据采集测试；	9	2024.02.27~2024.04.30
监测系统建设完成			2024.04.30
6	软件：桥梁监测数据实时接收	25	2023.11.01~2024.04.24
7	软件：传感器数据预处理与存储	22	2023.12.01~2024.05.03
8	软件：桥梁本地地震烈度计算与安全评估	10	2024.03.01~2024.05.10
9	软件：桥梁地震预警与异常告警	13	2024.02.01~2024.05.02
10	软件：3D 建模与系统可视化	23	2023.12.11~2024.05.20
11	软件：典型桥梁应用集成示范	8	2024.04.05~2024.05.31
12	软件：数据服务及通用功能	18	2024.01.26~2024.05.31
软件系统开发完成并开始试运行			2024.05.31
13	完成整体系统部署和调试，进入试运行；	13	2024.06.01~2024.08.31
14	完成故障排查、运行优化；	13	2024.06.01~2024.08.31
15	人员培训、资料整理、项目交付、竣工验收。	4	2024.08.03~2024.08.31
16	项目交付、竣工验收。	2	2024.08.17~2024.08.31
项目完成验收			2024.08.31



图 5-1. 项目工作计划甘特图

5.2 项目重难点分析

根据对项目需求分析以及现场调研，本项目实施的重难点在于：

（1）甘肃省位于中国西北，地势东高西低，主要为高原和山地。由于地域辽阔，气候差异显著。冬季寒冷，夏季炎热，气温差异较大。境内气候多样，包括高寒山地气候、温带半湿润气候和寒冷干旱气候。年降雨量相对较低，主要集中在夏季。同时面临多种灾害性天气，包括干旱、秋风、冰雹等。

（2）桥梁自身条件限制。由于甘肃省地理环境的特殊性，桥梁可能受到自然环境中的风吹雨打、温差变化等影响，导致混凝土结构的老化。在安装传感器时，需要考虑桥梁结构的实际状态，避免传感器等仪器设备对结构造成影响。甘肃省气候较为干燥，同时受到气温和季节的极端变化。这可能会对传感器的工作温度范围、防水性等性能提出一定要求。对于混凝土刚构桥，混凝土的配合比和质量会对桥梁耐久性有显著影响。

（3）特大桥梁施工困难。大跨度桥梁的施工环境可能受到季节和气候的极端变化，例如高温、低温等。这可能会对传感器的性能产生影响，因此在安装传感器时，需要考虑其工作温度范围和环境适应性。对于该典型示范桥梁，大多悬空高度高，设备安装危险系数高，对安装人员的相关能力要求高，施工难度较大。

针对本项目实时的重难点，我院结合以往的项目经验及甘肃境内实际的条件，提出

以下几点应对措施：

- （1）中标后及时联系采购方，了解桥梁的实时信息，并尽快进行现场踏勘工作，制定适合的方案，对于传感器的布设尽量优化，让每个传感器的作用最大化。
- （2）针对现场的环境，做好相应的防护措施，避免因天气的原因耽误现场施工的进度。
- （4）为保证施工进度，在夏天需要调整作息时避开高温时段，另外定时发放防暑降温药品，确保施工人员安全；在冬天需要做好防冻保暖工作。跨黄河大桥的施工涉及到作业环境影响，施工位置离河面有一定的高度，危险性很大，需要专业施工的团队或工人，以及充足的准备措施才能开展施工，包括配备警示牌、反光衣、保护绳等装备。跨黄河大桥桥墩底部扎于河床下的岩石上，所以施工前应设置河边围栏，与河岸保持一定安全距离，并配备安全帽、安全绳等必要的安全措施，确保施工人员安全。

本项目设备实施将聘用长期专业从事桥梁维养团队,包含高空作业资质的相关证书，选择合适的天气，确保安全的情况下对设备进行安装，保障系统的顺利运行。

5.3 项目人员组织方案

考虑到本项目复杂程度高、专业性强、时间紧、任务重等特点，结合工作内容和特点，为保证顺利完成项目目标，选派经验丰富、技术精湛、团队意识强的技术和管理人员组成项目部，应设置项目负责人总体负责全部工作，技术负责人负责审核技术资料，项目组下设组长、组员，质安与后勤小组同时服务于桥梁和调试小组。各小组分工明确，各司其职，有利于发挥各自专业所长，共同推进项目的顺利开展，并本着严格热情服务、秉公办事、一丝不苟的原则，以合同文件为依据，独立、公正、有效地开展健康监测的工作业务。

项目人员组织框架如下图所示，具体项目组成员如下表所示。

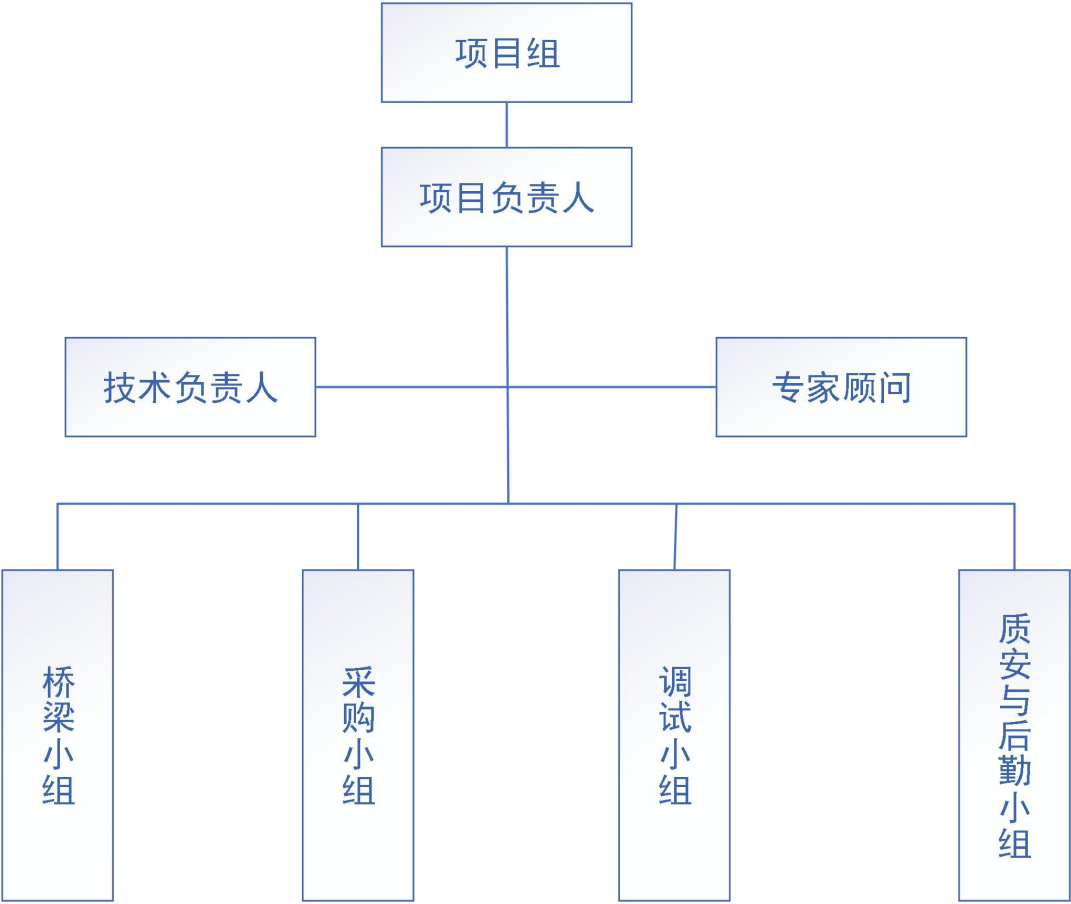


图 5-2. 项目人员组织框架图

表 5-2.项目人员及工作职责表

组别	岗位	姓名
领导协调组	项目经理	王立新
	技术负责人	胡荣攀
	技术指导	帅向华
软件开发小组	小组长	胡荣攀
	组员	林健富、魏雄钰、赵贤任、刘军香、林思健
示范工程小组	小组长	赵贤任
	组员	廖旭、廖峰、汪羽凡、林思健
采购小组	成员	吴梅、付娆、伍嘉雯
调试小组	成员	廖旭、伍嘉雯
质安与后勤小组	安全员	欧阳小波
	后勤人员	伍嘉雯、付娆

各岗位职责如下：

1. 项目负责人岗位职责

- （1）负责代表单位在该项目中履行合同中的有关技术、进度、现场管理、质量等方面的全面工作；
- （2）严格执行国家、地方相关法律、法规与工程建设标准强制性条文、规范、规程及单位的规章制度和指令；
- （3）组织编制项目施工组织方案，包括施工计划和技术方案，制定安全生产和质量保证措施，并组织实施；
- （4）组织制定施工措施及经费使用计划，对施工活动提供必要的人力、物力及资金保证条件；
- （5）选配合适的项目组成员，为完成项目工作任务配备精兵良将；
- （6）做好项目实施的组织管理和工作任务分工，并督促工作进度和任务完成情况；
- （7）经常检查项目进展及质量等各方面的情况，进行项目总结，提出注意事项和应采取的措施；

2. 技术负责人岗位职责

- （1）负责技术管理职责，协助项目负责人认真贯彻执行国家的安全生产方针、政策、法律、法规和规章制度；严格贯彻执行单位的各项规章制度，并配合项目负责人对工程各项工作进行落实和检查；
- （2）负责领导项目的监测及评估技术管理及业务工作；审核项目技术报告；主持编制项目技术及施工方案，审批一般的技术核定；
- （3）组织相关的规范、技术文件学习，工程项目的前期准备工作，协调解决协作中的技术问题；
- （4）综合项目工程特点，开工前对项目组人员进行技术等方面全面交底；
- （5）研究解决项目过程中的技术问题，并深入项目现场，对项目的关键节点进行指导，发现问题及时处理；桥梁监测过程中发现异常数据或者重要问题时，必须在现场进行指挥和技术指导；
- （6）组织对桥梁监测系统质量、安全和进度的定期检查，掌握质量、安全动态，负责处理一般质量、安全和设备故障；
- （7）全面掌握项目安全生产情况，协调解决项目生产中的主要安全技术问题，协助

项目负责人完成各项安全生产经济指标；

（8）整理和保管好项目工程相关的所有资料。

3. 专家顾问岗位职责

- （1）对项目技术及施工方案的可行性提出意见建议；
- （2）分析监测数据变化、为结构状态评估提供技术指导；
- （3）有必要时进驻现场指导现场施工工作；
- （4）给业主提供相关专业技术咨询。

4. 软件开发小组职责

- （1）系统需求分析和设计：负责与项目团队合作，收集和分析项目的技术需求，确保软件系统能够满足监测和评估的要求。制定系统架构和设计方案，包括数据库设计、界面设计和功能设计。
- （2）软件开发：进行系统的软件编码和开发，根据需求编写高质量的代码。确保软件在性能、可维护性和安全性等方面达到最佳水平。
- （3）测试和质量保证：制定测试计划和策略，进行软件测试，包括功能测试、性能测试和安全性测试。确保系统的稳定性和可靠性，及时修复和调整软件中的问题。
- （4）版本管理和配置控制：负责软件版本管理，确保不同版本的软件能够正确协同工作。维护软件的配置控制，以确保系统的一致性和稳定性。
- （5）系统维护和更新：定期检查和维护软件系统，确保其持续有效运行。及时响应用户的反馈和需求，提供技术支持和问题解决。
- （6）文档编制：编写软件开发文档、用户手册和技术文档，以便其他团队成员理解和使用软件系统。
- （7）技术研究和创新：跟踪最新的技术趋势和行业发展，提出创新性的软件解决方案，以不断提高系统的性能和功能。
- （8）与其他团队协作：积极与项目的其他团队成员合作，包括工程师、技术负责人和专家顾问，以确保软件系统与硬件设备和监测数据的集成顺利进行。
- （9）项目管理支持：协助项目负责人进行进度跟踪和资源分配，确保软件开发工作按计划完成。
- （10）安全管理：负责软件系统的安全性管理，采取措施防止潜在的安全威胁和数据

据泄漏。

（11）持续改进：积极参与持续改进流程，提高软件开发效率和质量。

5. 示范工程小组职责

- （1）坚决贯彻执行党和国家的安全生产方针、政策、法律、法规、制度和单位有关安全生产的指示、决定、以及项目负责人、技术负责人布置的有关安全生产的要求；
- （2）制定该组工期进度表，组织小组成员到现场安装设备，协调各作业间的工作，并严格控制桥梁监测系统安装建设进度；
- （3）施工前进行技术交底、安全交底，施工过程中适时组织例会，沟通、研究和解决工作中存在的“常见病”、“多发病”等相关问题；
- （4）负责现场工作的具体实施与本小组成员的工作组织及管理；
- （5）防止工伤和重大事故，监督本小组成员严格按照行业规范、操作规程、安全生产制度工作；
- （6）对本小组成员合理分工，提高工作效率；
- （7）复核重要的现场监测数据；
- （8）定期向上级反馈项目现场信息、进度；
- （9）按时、保质保量完成上级交待的其它工作；
- （10）工作勤谨、忠实、敬业、廉洁自律，以身作则，处处做好成员的表率，努力提升单位的社会形象。

6. 采购小组职责

- （1）遵守和贯彻执行国家有关法律、法规和单位采购相关规章制度；
- （2）遵守职业道德，树立良好的工作品质和工作作风；
- （3）全面了解项目所需仪器设备的指标参数，依法依规开展采购工作；
- （4）收到仪器设备后，及时开展抽样检查工作，确保仪器设备满足项目需求；
- （5）做好仪器设备的登记、领用、运输和移交工作，做好详细记录和登记；
- （6）仪器出现异常情况时，应向质检员汇报，及时沟通厂家予以解决和处理。

7. 调试小组职责

- （1）检查调试前准备工作的落实情况；
- （2）组织并实施各项软硬件的调试和试运行工作；

（3）监视设备运行情况，发现问题及时报告检修，保证仪器设备的正常运行。

8. 质安与后勤小组职责

（1）严格贯彻执行制定的质量检查计划，对监测系统安装过程中出现的质量问题不徇私舞弊；

（2）参加监测系统安装现场的不定期质量检查工作，做好检查中的具体实测实量，做好检查记录，保证检查记录全面、准确，做好资料反馈到位；

（3）对质检工作认真负责，态度端正；

（4）严格按照国家有关标准、规范进行质量检查；

（5）做好质量检查的日常安排，及时有效的发现问题、处理问题；

（6）做好日常质量检查记录，掌握项目工作进展情况；

（7）检查工作人员是否按标准、规范进行操作；

（8）严格贯彻执行劳动保护、安全生产的方针政策、法令法规、规范标准，做好安全生产的宣传和监督工作；

（9）参加监测系统方案和安全生产措施计划的审查工作，并对安全生产措施的实施进行监督；

（10）专做好日常安全巡视检查工作，掌握安全生产的动态，做好安全活动记录；

（11）检查工作人员持证上岗情况，对特殊工种无证上岗情况进行制止；

（12）制止违章指挥、违章操作等行为，及时发现安全隐患和及时上报；

（13）保证工作的物质条件，做好设备和工具的供应、维修和更新工作；

（14）加强设备和工具的使用、保养、教育和存放管理，尽力保护其使用功能不受损坏，尽量延长其使用寿命；

（15）严格执行采购程序，严防盲购；

（16）负责日常经费报销等行政工作；

（17）负责工程档案整理、保管，便于有关部门查阅调用。

5.4 施工组织设计

5.4.1 施工准备

（1）成立现场项目部

施工组织架构中对项目部的规划设计，成立现场项目部，项目部机构组成后，项目

部成员在项目期间不定时驻现场办公。

项目工程施工前一周进行现场准备，建立初步的现场项目部，现场项目负责人负责驻地建设，落实办公等临时设施。

（2）落实施工队伍

根据本项目的特点和技术复杂程度，抽调专业技术人员和作业劳务人员，组成施工队伍。根据工程量配备现场施工人员，根据施工进度要求及施工过程具体情况，可采用临时增加施工人员，加快施工进度。

（3）材料采购

材料采购分为两类，一类是量多价值高的材料，统一进行采购，材料直接发往现场，进行现场验收、现场保管，对于一般量小价值低的材料，采用现场报采购计划单后进行现场采购。

（4）现场检测及复勘确认工作

对设计文件中所标注的传感器安装位置、采集站布设位置开展现场复勘工作，并对安装位置进行逐点确认标记，核查采集站是否存在积水、电磁干扰、偷盗等隐患。

（5）编制安全作业专项方案

根据仪器设备安装位置和现场实际电力供应情况，对于存在涉路作业、高空作业和施工临时用电等，均需编制安全作业专项方案，并预留相应安全措施费用。

5.4.2 设备进场计划

为保证项目的顺利进行，与项目人员进场计划统一考虑，各监测设备及材料进场计划如下：

（1）根据业主确认后的实施方案准备仪器设备和购买相应的耗材；

（2）健康监测系统用设备、材料陆续到齐，施工队根据设备材料到场情况安排施工作业；

材料采购分为两类，一类是量多价值高的材料，统一进行采购，材料直接发往现场，进行现场验收、现场保管，对于一般量小价值低的材料，采用现场报采购计划单后进行现场采购。

设备进场顺序按照如下顺序进行：明敷线缆管道→设备立柱、底座、机柜→线缆→传感器设备→采集设备→控制管理设备，前后顺序将根据现场施工界面及成品保护可行

性进行调整。

5.4.3 设备保护措施

（1）传感器保护措施

传感器属于外场设备，在施工过程和长期监测过程中应格外注意保护，加之，传感器属于精密元器件，所以传感器的保护必须引起施工单位的足够重视。传感器的保护的主要措施是设计传感器保护盒，同时保护盒做好固定与防腐工作，确保长期耐用

（2）数据采集站保护措施

对于已经安装完，但是还没正式运行的采集站的保护通过采用遮盖的方式，避免其被其他作业单位损坏；对于已经投入运行并长期监测的采集站则采用底座固定牢靠，密封，采集站门上锁，采集站打好标示标志牌等方式进行保护。

（3）数据传输设备保护措施

传输设备主要是交换机和光端机等设备，对于长期安装在桥梁外场的传输设备，其要能经得起大桥的振动，所以大桥桥梁监测系统采用的交换机为卡轨式安装交换机且安装在采集站内，采集站上锁。

（4）线缆保护措施

线缆的保护措施主要为线缆套管，线缆固定，线缆绑扎，桥架固定，接头密封，做好标示标志牌等。

（5）供电与防雷设备防护措施

供电及防雷设备的保护措施主要为设置保护箱，根据实际情况选取是否防水，防护箱固定，缝隙密封。

（6）服务器等设备保护措施

服务器等设备采用机架式安装方式，个别服务器采用托盘安装，为了保证散热，每台服务器间要留有一定的间隙。

5.4.4 现场施工

（1）施工管理

为了保证系统的安装施工质量和进度要求，施工单位项目组将严格执行以下管理措施：

1）各设备及零配件严格按照满足质量标准、性能、规格、参数与数量应符合监测设

计方案，采购应保留设备质检单、说明书、采购合同等证明文件，作为验收资料的组成部分；

2）量测系统在现场安装之前，首先在室内完成仪器的 100%检查与组网调试，完全正常工作后打包运往施工现场，在现场安装前分别进行检查验收，确认没有损伤，能正常工作后再送到现场安装，确保传感器的正常工作，防止返工，从而保证工期要求；

3）现场安装前，应配合营运单位完成开箱检验与加电测试，并签署货物交接单；如营运单位代表有异议，须进行更换，并重新进行开箱检验与加电测试；

4）如产品短缺、缺损、缺陷或与合同不符，须在 7 天内补齐、更换或修理并运输至现场，并重新进行开箱检验与加电测试；

5）现场布点应按照测点布置方案，并考虑实际情况，合理布设具体固定位置，保证不影响桥梁的结构安全，不影响桥梁的正常巡检工作，便于测点安装；

6）与业主积极沟通，双方密切配合，保证现场工作安全、顺利，有序的完成。在总工期的宏观控制下，确定各阶段的施工安装进度，保证工序衔接合理紧凑；

7）及时作好针对性的技术交底，使施工人员深刻领会，做到熟能生巧；

8）加强技术管理，认真贯彻各项管理制度；

9）加强施工全过程中的质量预控，密切配合项目的检查与验收；

10）优化施工方案，认真作好技术交底；

11）认真作好工程技术资料，及时、准确、完整地收集和整理好各种资料。

（2）施工准备

1）技术准备

组织学习、熟悉实施方案，领会设计方案意图。编制施工进度控制实施细则，分解工程进度控制目标，明确各自职责，确保工期。编制材料、设备生产和采购计划，需要采购的部分落实供货方。

2）硬件准备

按照项目实施方案准备相应的硬件设备及安装、调试工具，完成设备的生产与性能测试以及标定。

施工开工前 2 日内，逐步安排物资进场，既保证施工顺利进行，又不积压材料。

3）软件准备

根据设计和实施方案分别导入监测桥梁的基础数据与结构数据，包括照片、说明等；导入测点方案，包括测点编号、测点类型、测量通道、节点编号、网关配置、数据包编码与格式、传输协议等；导入数据分析算法与参数，包括监测桥梁模态信息、算法优化参数等。

4) 人力准备

开工前 3 日内，所有现场管理人员到位，劳务人员根据现场需要分批进场，施工人员、技术人员上岗前由项目总工程师对他们进行全员交底，充分认识本工程的重点、难点和需注意事项，所有人员挂牌上岗。

（3）施工安全

进入施工现场所有人员戴好安全帽，凡从事两米以上高空作业，无法采取可靠防护设施的施工人员系好安全带，从事电气焊、剔凿等作业的人员要使用面罩或护目镜，特种人员持证上岗，并佩带相应的劳动保护用品。

（4）临时用电及机械安全

1) 现场设施用电管理负责人，负责各类型机电设备的管理（包括用电许可证的发放）和对进入工地的电气操作人员进行技术交底，并检查监督工地用电安全。

2) 电气操作人员必须遵守有关操作规程，并严格执行交接班记录制度。

3) 现场用电必须动力、照明分开，所有用电设备均应安装触电保护器，并接地良好，总配电间应有门锁及安全标志、绝缘防护设备等。

4) 现场电缆必须用管线或架空铺设，配电箱，开关箱应采用铁板制作，并确保其坚固可靠的保护接地，不准采用木质配电箱及开关箱。

5) 所有机械设备使用时应遵守操作规程，并做到专人操作，专人保养、检修、严禁违章操作。高度设备必须设置避雷接地系统。

（5）设备采购、运输、保管及现场看护

严格按照相关的合同条款及项目业主管理办法的要求采购全部设备、材料，并且负责设备、材料的运输、保管等工作。

所有采购的设备和材料均是全新未使用过的。在设备运输到现场后，对照装箱单，开箱检验，并记录好设备的序列编号。

在设备采购、运输到场、开箱检验记录等一系列程序完成后，应按照施工图的要求

进行设备的安装，在监测设备安装前应进行设备的测试和标定工作，安装后应进行现场调测，所有的设备的编号和安装位置及调测/标定应详尽地予以记录，作为设备的历史档案。

设备的现场看护应由专人进行，每天清点设备，设备进出严格按照要求进行登记，做到设备的可追溯、可查询。

5.5 质量保证措施

5.5.1 质量控制计划

为了加强本项目的质量管理，明确各阶段质量控制的重点，将施工项目质量控制分成几个阶段进行控制，并在各个阶段着重控制一些主要质量控制点。本系统工程严格控制工序质量，将工序质量和分项工程调试设置成质量控制点，在施工中加强控制和严格检查。

5.5.1.1 施工前准备阶段的质量控制

（1）编制质量管理目标和管理计划，对施工质量预控。

（2）施工人员：对进入现场施工的人员，施工前加强培训，强化质量意识。

（3）材料、设备的采购：在采购订货前，明确材料和设备的性能指标、规格型号、技术标准和质量要求、计量方法、交货期限、交货方式、价格以及质量保证文件。

（4）产品制造：产品质量的监督与控制，对某些重要设备、器材或外购订货的构件，必要时实行监造的方式，进行重点的或全过程的质量监督。

（5）工厂测试：技术复杂或现场不能进行检测的设备，进行工厂测试或公司内测试，试验后证明具有良好的工作性能方可采用。

（6）材料、设备进场：凡运到施工现场的原材料、半成品或构配件，均经现场抽样检验，合格后方可进场施工。

（7）材料、设备存放：各种材料、设备等存放需注意符合要求的条件，杜绝露天存放。

（8）施工用机械、设备：进入施工现场的机械设备，事先均需进行检查，性能、质量满足要求和适合现场条件后方进入现场施工。

5.5.1.2 安装过程中的质量控制

（1）实地踏勘：根据实施方案，对施工现场进行测量和复核，确保设计和施工准确

无误。

（2）工程标定：施工前应对测试仪器进行校验，安装设备进行标定。

（3）施工验证：这是确认原材料及设备投入安装前，是否符合现场施工及系统性能的最后把关环节。所有用于工程的原材料、设备在投入施工时必须根据现场环境做进一步试安装，对不符合要求的需要整改。

（4）设备安装：设备经安装验证符合系统性能及现场安装条件后，进行设备的正式安装，安装前必须仔细阅读设备说明书和安装手册，严格按照设计图纸进行设备安装，安装完成后须做好设备防护装置。

（5）工序检验：工序质量是整个工程的基础，本系统工程严格控制工序质量，严格工序间的交接检查，确认其质量符合要求后，才能进行下道工序施工。

（6）安装测试：这是材料和设备安装后，进行完工测试前的各单独设备和设备间的连接测试，检查设备安装后其性能指标是否发生变化或发生变化的程度，判断经安装后的材料和设备是否满足系统要求。

（7）完工测试：完工测试是指对经安装后的设备，进行设备选择性的技术试验，包括单项设备通电测试、单项设备功能测试、分系统功能测试、系统功能测试、系统运行测试及在所有设备安装完毕后，在运行状态下的最后总测试，以表明分阶段测试对前期工程的性能无影响。如果设备中的任一部件未能通过上述测试，施工人员和技术人员必须进行故障排除，直到重新测试通过。

5.5.1.3 安装过程后的质量控制

（1）分项调试：分项调试是各分项工程施工质量的检验，也是系统整体联调的基础，设置成工程施工质量控制点，严格控制调试质量，认真做好各项调试记录和检查工作。

（2）系统联调：系统联调是整个系统技术施工工作的归整，是质量管理工作成果的检验，是对每一个经检验合格的单体工程联系起来进行整体测试，是检验整体系统工程施工质量及技术达标的重要环节，由项目部技术人员主持，重视系统联调中出现的问题，并需要认真记录与分析。

（3）中间验收：对于施工过程完成的分部、分项工程，组织进行自检，确认合格。

（4）系统试运行：系统试运行期间，将可能集中暴露系统的缺陷，需要认真对待，妥善解决将使系统后期的故障率明显降低。

5.5.2 质量控制手段

（1）控制施工人员的素质，确保工程施工质量

工程质量的形成受到所有参加工程项目施工的管理技术干部、操作人员、服务人员共同作用，他们是形成工程质量的主要因素。因此要控制施工质量，就要培训、优选施工人员，提高他们的质量意识，加强领导，落实责任制。

（2）严格控制投入品的质量

对进场设备、材料，除按规定进行必要的检测、监造或试验外，还需进行分析、鉴定，不合要求的不得使用。严格执行建设工程检测制度，把好工程质量基础关，严把材料采购关，加强材料、设备的质量控制，提高工程质量。

（3）全面控制施工过程，重点控制工序质量

工程项目都是由若干个分项、分部工程组成，要确保整个工程项目的质量达标，就必须全面控制施工过程，使每一个分项、分部工程都符合质量标准，每一个分项、分部工程又都是通过一道道工序来完成，由此可见，工程质量是在工序中创造的，要确保工程质量就必须重点控制工序质量，对每一道工序质量都必须严格检查。

（4）抓好施工质量检查与监督

严格执行施工质量的检查和监督，现场质量检查是施工现场质量控制的重要手段，可通过目测法，实测法，试验检查等对工程项目开工前、工序交接、隐蔽工程进行质量检查。

（5）贯彻“以预防为主”的方针

贯彻“以防为主、防检结合”的方针，防患于未然，把质量问题消灭于萌芽之中，做到纵向全过程、横向全系统、意识全方向、时间全控制的质量管理要求。综合运用多种督查手段措施，确保工程质量，满足使用功能。

（6）严格技术管理

推行质量管理责任制，落实技术责任制、技术交底、技术复核、材料检验、技术档案、工程验收等制度。要求每个工程技术人员明确自己的职责和权限，分工明确、各司其职，从技术管理上保证施工质量的控制落到实处。

5.5.3 质量验收标准

5.5.3.1 仪器设备

- （1）仪器设备符合产品说明书及相关技术资料；
- （2）设备指标满足大桥监测要求；
- （3）进场设备经通电检测，应能正常工作，提供的技术资料完整。

5.5.3.2 安装施工

- （1）安装施工符合设计要求，安装位置、方位、方向正确；
- （2）设备连接及接线正确，设备正常工作；
- （3）电源、通信线路按规范要求连接到位；
- （4）隐蔽工程验收记录、分项工程自检和设备调试记录、有效的设备检验合格报告或证书资料齐全；
- （5）防雷接地、安全接地连接可靠，符合接地规范要求。

5.5.3.3 系统调试

- （1）系统所有设备的配置、设备数量、型号规格符合设计要求，部件完整；
- （2）系统的所有设备安装调试完毕，系统处于正常运转工作状态；
- （3）准确及时采集与显示系统运行状态的各种信息；
- （4）隐蔽工程验收记录、分项工程自检和设备调试记录、有效的设备检验合格报告或证书资料齐全；
- （5）系统外场设备的工作状态在计算机上正确显示；
- （6）操作迅速，正确地统计、查询、打印采集数据、设备状况、系统故障等数据。

5.6 安全保证措施

5.6.1 安全生产管理机构

我单位保证不会因赶进度而忽视安全，必要时同时安排几个小组同时作业。

坚持全过程实行全面质量安全管理制，做到项目负责人指导→安全员检查→技术人员纠正→项目负责人验收的管理体系，且发现问题立即解决。

安排安全员在第一线进行现场管理，为确保质量，在检测过程中随时进行检查，发现问题，及时反馈解决。

坚持一切检测工作为业主服务。

5.6.2 安全生产管理人员职责

项目负责人是项目安全生产的第一负责人，其主要安全生产职责是：

- （1）在组织管理本项目生产过程中，具体贯彻执行安全生产方针、政策、法令和本单位的安全生产责任制度、安全生产规章制度和操作规程及事故应急预案制度。
 - （2）确保安全生产费用的有效使用，并负责制定资金使用计划，监督使用情况，防止资金被挪作他用。
 - （3）根据工程特点组织制定安全施工技术措施，消除事故隐患，保护作业人员生产与健康及财产的损失。
 - （4）定期组织专项施工现场安全生产、文明施工大检查，发现隐患按三定(定人、定时间、定措施)进行整改，发现危及人身安全的紧急情况，立即下令停止作业，撤出人员。
 - （5）经常向职工进行劳动纪律、规章制度和安全知识、操作技术教育，对特种作业人员要经考核合格，领取操作证后方准独立操作，对新工人、新调换工种人员在其上岗前进行安全教育。
 - （6）发生事故后应立即报告，组织抢救，保护现场，参加事故调查，组织编制和落实整改措施，并对职工进行安全教育。
 - （7）定期组织安全生产事故应急预案的现场演练，熟悉应急救援的组织、程序、措施及协调工作。
 - （8）召开安全生产例会，对所提出问题应及时解决，或按规定权限向有关领导和部门提出报告，组织班组安全活动，支持安全员工作。
 - （9）教育职工正确使用个人劳动保护用品。
- 安全员的主要安全生产职责是：
- （1）在项目负责人的领导下，全面负责工地的安全工作，建立健全安全生产组织机构。
 - （2）学习安全管理有关规定，领会安全管理的精神，制定出具体的安全措施。
 - （3）实行安全生产责任制，根据实际情况设立相应的安全检查人员，并定期对施工生产中的安全设施进行监督检查，保证工程的顺利进行。
 - （4）组织施工人员进行安全教育，并做好工程安全交底工作，填报相应的资料。

（5）定期组织施工技术人员进行安全学习，并做好学习记录。

（6）完成领导交给的临时任务。

5.6.3 安全检查与安全教育

认真贯彻国家有关安全法规，提高安全、文明施工意识，牢固树立“安全第一，预防为主，综合治理”的思想，不断地对新入场的工人进行安全教育，坚持特殊工种持证上岗，反对违章指挥、违章作业，及时消除不安全的因素。定期召开安全会议，向员工讲解安全知识及杜绝隐患措施。

5.6.3.1 安全检查

安全检查主要包括上岗前安全检查、经常性安全检查和专项安全检查三个方面。

（1）上岗前安全检查

1) 安全管理组负责人在项目进场前进行标准验收：对安全防护器材的设备（交通锥、标志牌）数量、反光强度。尺寸进行标准验收；对安全防护器材的数量、完整性、有效性进行确认。

2) 安全管理组负责人对专项资金到位情况进行确认，保证安全生产专项资金准确到位。

3) 安全管理组负责人进行安全生产考核，确保各岗位人员清楚各自安全生产职责，安全生产技能等。

（2）经常性安全检查

1) 专职安全员每日开工前对交通安全设施、安全防护器材、特种设备是否齐全有效进行清点、检查，以保证检测工作顺利开展。

2) 专职安全员每日对项目成员安全装备穿戴是否规范，齐整，是否出现不带安全幅、反光衣，或者出现反光衣穿反的违规行为，及时逐一指正，并批评教育，督促其整改。

3) 专职安全员对交通锥、标志牌摆放规范性进行检查，尤其对渐变段的长度、角度、线形进行复核指正。

4) 专职安全员对检测工作过程中发现的违反仪器设备操作规程、违反安全作业办法的行为，要及时进行制止，并监督其整改。

5) 专职安全员对生产过程中存在的安全隐患要及早发现，及时整改。

6) 专职安全员将所有检查和整改情况记录在记录本上，并及时逐级上报。

（3）专项安全检查

1) 针对特殊路段或者较危险路段的现场交通安全组织，安全管理组负责人组织对检测现场进行专项安全检查，并就发现的问题及时提出整改意见。

2) 针对特殊检测部位或者较危险的检测部位，安全管理组负责人要组织对现场安全操作进行专项安全检查，并就发现的问题及时提出整改意见。

5.6.3.2 安全教育

安全生产培训教育加强检测人员的安全教育培训，提高检测人员对工作风险的辨识、控制、应急处置和避险自救能力，提高检测人员安全意识和综合素质，是防止产生不安全行为，减少人为失误的主要途径。

安全培训教育主要包括上岗前教育培训和定期教育培训两方面。

（1）上岗前安全教育培训

培训内容主要包括安全生产思想、知识、技能三个方面的教育：

1) 安全思想教育。在项目进场前，需要从加强思想路线、方针政策和劳动纪律教育三个方面进行。项目负责人需要组织安全技术交底会议，对项目成员宣讲相关安全生产法规、交通安全法规；并结合本次项目工作地点、监测内容、作业时间等特点，讲解本项目的安全生产组织方案；同时结合单位以往项目出现的安全案例进行剖析讲解。

2) 安全知识教育。对本次监测工作的性质进行划分，对该工作的相关安全基本知识要求进行讲解，重点对桥梁检测车的规范操作，现场检测的安全交通设施、设备、劳保品的使用方法等进行规范化要求。

3) 安全技能教育。结合本项目特点，对本次从事的岗位安全技术知识进行介绍，对现场交通安全组织及实施重点进行讲解。

（2）定期教育培训，定期教育培训主要是由安全管理组组织对项目生产过程中出现的比较集中和普遍的安全隐患或者违规操作情况进行公布，并提出整改措施；同时对于项目生产过程出现的安全文明施工的典范进行表扬。

5.6.3.3 安全会议

安全会议主要包括安全技术交底会、定期会议、专项安全会议及安全总结会。

（1）项目进场前安全技术交底会制度。项目进场前由项目负责人组织由项目全体成员参加的安全技术交底会，并邀请部门分管领导参加。安全交底会主要由项目负责人对

所有项目成员讲解项目安全生产组织方案，包括对安全生产、交通安全组织、安全隐患应对措施等，并组织项目人员进行分组讨论，并根据开会意见修改安全生产组织方案。

（2）项目过程中，定期召开项目人员碰头会。项目负责人定期组织技术负责人、外业组组长、安全管理组组长对近期检测过程存在安全隐患一一进行排查、总结，并制定整改措施，然后由安全管理组负责监督整改措施执行情况。

（3）项目开展中期，针对专项安全问题召开安全生大会。项目进行中期一般属于作业高峰期，项目成员身心比较疲惫，容易滋生侥幸心理。此时由安全管理组负责组织，对项目前期的相关安全问题进行总结，对随后的安全生产工作进行强调。此项会议对避免项目中后期出现项目成员安全思想减退现象发生作用很大。

（4）项目安全总结。项目负责人组织技术负责人、安全员及各小组成员对项目整个过程中出现的安全生产方法、思路、成果及问题进行总结、思考，并形成文字记录。然后召开项目成员安全总结大会，进一步加深大家安全意识，为下一个项目蓄势。

5.6.4 安全防护措施

安全工作是检测的一个重要方面，我中心长期以来始终贯彻“安全第一”的思想，在桥梁检测和其它工作中一直以“零事故率”为目标，切实保障检测人员和设备的安全。

我中心进行监测作业时，应遵守以下规定：

（1）所有桥梁监测工作人员必须严格遵守国家有关安全生产的法律法规、交通部颁发的《公路养护安全作业规程》（JTGH30-2015）和《公路水运工程安全生产监督管理办法》有关安全生产的规定，摆放临时施工标志标牌、护栅、警告标牌等安全防护设施。认真执行工程承包合同中的有关安全要求。

（2）充分关注和保障所有在现场的工作人员的安全、采取有效措施，使现场监测工作的实施保持有条不紊，以免使上述人员的安全受到威胁。

（3）桥梁监测作业必须在规定的区域内进行，施工现场须由安全员管理，作业现场按要求配置临时施工标志标牌、护栅、警告标牌、限速标志牌等安全标志，作业区迎车方向应设置必要的安全防撞设施。桥梁监测作业人员必须配戴安全帽，穿着安全标志服，高空作业时必须系上安全带。

（4）严格执行相关仪器操作规程的具体规定。监测机具设备和高空作业设备均应经检查合格才能使用。保护好仪器设备、监测车辆不受损坏，自觉遵守现场的安全操作要

求。

（5）经常加强人身安全教育，检查仪器设备的安全操作情况，做到警钟长鸣，及时消除隐患，杜绝机械事故和人身伤亡事故发生。

（6）在通航的水域所进行的监测作业如果会影响到行船，应当采取措施，设置必要的安全防护标志及设施，确保通航的安全，同时还必须满足《内河通航标准》（GB50139-2004）。

（7）在整个监测过程中，业主有权监督，并向我单位提出整改要求。

（8）在进行桥梁监测作业时，应与交警、交通执法大队及业主管护部门完善相关手续，并有相应的保证道路畅通的合作协调措施。

5.7 进度保证措施

5.7.1 施工进度计划的控制

施工项目进度控制方法采用动态方法，重点做好规划、控制和协调工作。根据合同要求及交工时间节点，总体确定施工项目总进度控制目标和分进度控制目标，编制进度计划。在施工项目实施的全过程中，进行施工实际进度与施工计划进度的比较，出现偏差及时采取措施调整进行纠偏。施工中加强协调是指协调与施工进度有关的单位、部门和工作队组之间的进度关系。对施工进度控制，除采取各项控制手段和方法外，应重点控制以下时间节点：

- （1）施工进场时间；
- （2）设备采购到场时间；
- （3）系统调试时间；
- （4）交工验收时间。

施工阶段进度计划的控制是一个循环渐进的动态控制过程，施工现场的条件与情况千变万化，项目负责人部要随时了解和掌握与施工进度相关的各种信息，做到提前预测和协调，调动各项资源，为现场施工做好各项保障工作。

5.7.2 施工进度控制措施

施工项目进度控制主要采取组织措施、技术措施、合同措施、经济措施和信息管理措施等。

- （1）精心组织

1) 落实项目负责人岗位责任制，设立专职人员负责施工进度的检查、统计和整理，实施进度计划的控制和落实，实施责任到人制度，将责任落实到人，使责任人目标明确，做到各负其责，层层落实，环环相扣。

2) 制定严密的原材料采购供应计划，建立材料供应体系，保证各种施工所用材料按施工进度需要如期供应，并具有一定的储备量。

3) 对施工关键设备重点维护、检修，配备一定的修理人员跟班作业，出现故障及时抢修，保证工程设备处于最佳运行状态。

4) 组织职工、合同工进行生产技术和技能的学习，提高劳动技能和生产效率。利用不利气候进行工程备料和设备维修保养，确保施工期间的材料供应和设备出勤率。

5) 施工进度检查，填好施工进度统计表。若检查的实际施工进度产生的偏差影响了总施工进度计划工期，在各施工之间的逻辑关系允许改变的条件下，可改变关键线路和超过计划工期的非关键线路上的有关工作之间的逻辑关系，达到缩短工期的目的，否则直接增加各施工项目的施工人员，缩短施工持续时间，使施工进度加快。

6) 做好施工中的调度工作，协调各方面的关系，调动各项资源，为按计划进度进行施工做好现场保障工作。

(2) 技术保障

1) 当施工中实际进度与计划进度不一致时，或施工界面影响计划进度时，或主体工程施工进度调整时，本系统工程的施工将采取相应的措施，调整分部、分项工程施工进度计划，确保施工项目总进度目标计划。

2) 合理安排本系统工程的施工任务和施工顺序，将一些施工持续时间较长的施工，在安排进度计划时从其最早开始时间排列计划，并将无须在现场施工的施工任务和现场施工任务进行错开排列施工计划。

3) 在施工期间，为了实施施工进度计划，将规定的任务结合现场施工条件，编制具体的作业计划，并下达施工任务书，施工负责人必须监督施工班组保证指令任务的完成。

4) 加强技术交底，提高施工人员技术水平，提高劳动效率。

5) 根据现场情况和分项工程的特点，分析施工方案，不断调整 and 选择最优施工方案。

6) 利用信息反馈控制项目施工进度，对于那些和主体工程各施工阶段紧密相关的施工任务，密切关注其施工进度，确保本系统项目施工进度按照主体工程施工进度完成；

在各分项工程密集施工中，建立各施工层信息反馈上报机制，汇总施工实际进度计划，进行比较分析做出决策，以便进行施工进度计划调整和实施。

(3) 周密计划

1) 根据合同工期目标，制订总体施工进度计划，将进度计划层层分解，编制施工准备工作计划、分项进度计划、阶段计划和各个专业计划等。

2) 编制月计划、周计划及日计划，配备具体的施工任务书，作好进度记录和掌握施工实际进度情况，加强管理工作，把握好施工进度情况。

3) 实施进度与计划控制，对计划的实施进行监督，在动态中不断调整，实现总进度计划目标。

4) 实施责任到人制度，将责任落实到人，使责任人目标明确，做到各负其责，层层落实，环环相扣。

5) 制定技术保证措施，定期学习和定期考核，保持有高水准施工技术力量。

6) 实施设计现场跟进措施，要求设计完善、设计改进、设计变更、设计增补一步到位，使之不影响施工进度计划。

(4) 严格监控

1) 项目部加强现场检查工作，做好有关进度的事前检查，重点检查影响施工开展的施工条件，提前进行协调，保障各项施工如期开展。

2) 加强现场质检工作，进行质量跟踪和质量方面的技术督导，防止因施工质量而返工影响施工进度。

3) 由项目负责人部的计划管理部、施工管理部主要管理人员组成施工进度检查小组，对各项施工工程每周进行一次进度检查。对关键工程每周进行不少于二次的检查，结合工程施工质量进行评比，每月公布一次评比结果。

4) 安全生产，避免由于发生安全事故而影响工程的施工进度。

6 系统交付与维护

系统具备交付条件时，及时组织验收交付投入使用。系统验收包括硬件验收、软件验收和资料验收三部分。

6.1 硬件验收

（1）现场数量和型号点验

现场安装设备、材料、备品备件数量和型号与设备清单相符，提供自检证书或自检报告；

（2）安装质量验收

设备安装位置与设计图纸相符，现场安装工艺满足要求，现场网络、供电系统完备，确认大桥健康监测系统外场安装工作完成；

（3）数据采集质量验收

系统安装的全部测点能正常进行数据采集，并在软件系统平台上正常显示，数据信息存储正常和连贯。

验收前 15 天为系统在线运行测试期，每天观察记录全部测点的在线运行情况。除外部断电断网等因素外，全部测点数据正常在线率不低于 98%为合格。

6.2 软件验收

6.2.1 功能模块检查

（1）检查各个功能模块是否按照规划完成。

对各个功能模块进行细致的检查和测试，是否有缺失或者多余的功能存在。

（2）检查各个功能模块是否能够完成需求。

对各个功能实现的结果进行分析，是否能够满足需求。

（3）检查各个功能模块是否能够正常运行。

对各个功能进行测试，有无明显的运行卡顿或者页面跳转问题。

6.2.2 用户可用性检查

（1）系统有效性。

计算实际结果与预计结果的相差程度是否在预期范围内。

计算用户使用产品并完成所有期望目标的程度是否在预期范围内。

（2）系统完成度。

（3）用户满意度。

7 系统使用培训

为了使系统管理和操作人员快速熟悉系统使用方法和早日发挥系统功能，有必要对

系统管理和操作人员进行完整和全面的培训。

7.1.1 培训目标

针对本项目涉及的仪器设备、软件系统等所有硬件产品、软件产品、系统集成及配套设备在内的所有相关要素对用户进行技术培训。

在东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统大数据模块软件以及八盘峡黄河特大桥应用示范工程正式投入使用前，对采购方的技术管理、操作和维护人员提供至少 30 人天的培训。

对用户的技术管理、操作和维护人员提供培训，使之能够独立或在我方工程师远程指导下完成相关硬件及软件的安装与使用；能够掌握软硬件产品的管理配置；能够独立进行观测系统的日常维护、自行安装调试和常见故障维护；能配合我方的技术人员熟练地排除系统故障，通过电话或邮件等指导能在本地进行故障检测和分析，最终使经过培训的人员具备独立承担本职工作的能力；在使相关人员提高工作效率的同时，能保障系统的正常运行。

7.1.2 培训对象

我方将根据不同培训对象的特点设置不同层次的培训课程，保证不同用户对系统的正常使用。通过对技术骨干人员的培训，使之能对系统进行维护、调试和管理，能对系统硬件设备和软件系统进行维护和管理；通过对业务操作人员的培训，使之能正确地使用此系统。本项目的主要培训对象为各级业务操作人员、各级技术骨干人员。

1. 各级业务操作人员：在系统使用者中，接触最多的是各级业务操作人员，为他们提供良好的培训可以提高整个系统的实际使用效率，降低系统的运行维护成本。
2. 各级技术骨干人员：系统骨干人员负责系统运行的维护管理等工作，对他们进行完整系统的培训，对于观测系统的正常高效运行，起着非常关键的作用。

7.1.3 培训内容

我方提供大数据模块软件以及八盘峡黄河特大桥应用示范工程的软硬件培训。主要培训内容包括：

1. 大数据模块软件培训内容

(1)东北缘桥梁地震响应监测与风险告警服务系统大数据模块软件云服务、微服务、流式大数据处理系统的基本原理以及操作方法介绍；

(2)提供实时流数据处理、大数据存储、消息中转传递、Web 服务、集群建立、负载均衡、系统日志管理、安全认证管理、大数据服务、基于 PC 和移动端的综合展示等功能模块的基本原理以及操作方法介绍；

(3)提供大数据软件平台系统、安全、日志等管理与注意事项的培训；

(4)提供大数据软件平台常见故障排除与日常维护方法等

2. 八盘峡黄河特大桥应用示范工程软硬件培训内容

(1)一体化强震仪、加速度传感器、拉线式位移计等专业设备的基本原理介绍；

(2)一体化强震仪、加速度传感器、拉线式位移计等专业设备及软件功能模块的使用操作讲解；

(3)一体化强震仪、加速度传感器、拉线式位移计等硬件安装与维护等；

(4)监测系统通信链路日常维护与注意事项；

(5)监测系统的所有设备硬件和软件的常见故障排除与日常维护方法等；

(6)数据实时分析和结构评估模块原理及使用注意事项。

7.1.4 培训计划

技术培训时，将结合实际情况，分为现场培训和集中培训两种方式。对用户提供的
所有培训在征得用户同意的前提下，将派出具有相应专业知识和经验丰富的讲师和相关
专业的专家进行培训。

1. 现场培训：在大数据软件系统服务器部署现场或者大数据控制中心，就软件系统的部
署、软件操作使用、系统维护等对购方人员进行培训；在示范工程项目安装现场就
所供货物的组装、使用、运行、维护和简单修理对采购方人员进行培训。对现场的
软硬件安装、操作训练至少提供 30 人天的 2 次现场培训。

2. 集中培训：在北京或甘肃，为采购方就大数据软件平台以及示范工程强震动监测系统
相关设备的基本原理、设备使用操作、配套软件和硬件安装使用与维护、常见故障
排除与日常维护方法等对采购方人员进行系统性培训。

在项目实施过程中，我方目前计划进行二次集中培训，分别是系统的基础培训和系
统运行维护培训。

1. 系统基础培训拟定在北京或甘肃，主要针对各级业务操作人员，培训人数以最终与采
购人商定为准，培训时间拟定 2 天。

2. 系统运行维护培训拟定在北京或甘肃，主要针对各级系统骨干人员，培训人数以最终
与采购人商定为准，培训时间拟定 2 天。

3. 我单位还将与采购方协商，在适当时候邀请采购方组织相关人员参观厂家或参加我方
组织的相关方面培训。