

贵州省交通运输厅技术指南

JTT 52/20—2023

贵州省公路桥梁结构健康监测系统 建设指南（试行）

2023-12-19 发布

2023-12-19 实施

贵州省交通运输厅 发布

前言

贵州地处云贵高原东侧的梯级状大斜坡上，地形起伏大，山高谷深，素有“地无三尺平”之称，是全国唯一没有平原地区的山区省份。特殊的地形地貌、复杂的地质条件以及多数桥位不通航、修建施工便道困难等因素，决定了桥梁结构在贵州的大量应用。贵州省作为中国桥梁最多的省份，公路桥梁 2 万余座，几乎囊括了全部桥型，有世界级“桥梁博物馆”之称。世界 100 座最高桥梁排行榜上中国有 80 多座，这 80 多座中有 50 余座在贵州。贵州桥梁覆盖了梁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥等桥梁结构型式，几乎包揽了当今世界上的全部桥型，且桥梁普遍具有墩高、跨度大等特点。

目前，由于交通运输部办公厅关于印发《公路长大桥梁结构健康监测体系建设实施方案》的通知（交办公路〔2021〕21 号）的要求，贵州省交通运输厅印发《贵州省公路长大桥梁结构健康监测体系建设实施方案》的总体要求，以及《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037—2022）的规定中，对系统设计、实施、验收等相关要求及程序不明确，为规范和指导贵州省公路桥梁结构健康监测体系建设工作，在基本遵循《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037—2022）的基础上，结合贵州省山区地方特色，对公路桥梁结构健康监测的设计、实施、验收、运维、数据管理与应用作进一步的完善。

在编制过程中，编制组经广泛调查研究，认真总结相关公路桥梁结构健康监测系统设计及实施的工程实践经验，结合《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037—2022），并参考、借鉴了有关国内外相关标准及规范，在广泛充分征求有关单位和专家意见的基础上，经反复讨论、最后经审查制定本指南。

本指南共分为 12 个章节和 4 个附录，主要内容包括：1 总则、2 规范性引用文件、3 术语、4 基本规定、5 监测内容、6 测点布设、7 监测方法、8 系统实施、9 系统验收、10 系统运维、11 数据分析与管理、12 监测应用、附录 A 施工图设计文件编制、附录 B 监测报告编制、附录 C 测点布设示意图、附录 D 实施过程工作表。

与 JT/T 1037—2022 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术内容变化如下：

- 1) 明确了本指南适用范围，适用于贵州省所辖公路桥梁结构健康监测项目；
- 2) 增加了部分基本规定，如明确了监测内容选择、传感器选型使用寿命、施工图设计、测点布设、系统实施、系统验收、系统运维、监测数据应用等基本要求；
- 3) 调整了各桥型部分监测内容的监测选项选择要求，如桥面结冰、各桥型裂缝、梁桥及拱桥梁端纵向位移、梁桥及拱桥支座位移、梁桥高墩墩顶位移等，且针对桥梁技术状况较

差、普通国省干道桥梁或有特殊需求的梁桥或上承式拱桥调整了车辆荷载监测要求等；

4) 调整了部分测点布设要求，如悬索桥主梁竖向位移测点调整为 8 分点布设、斜拉桥辅助墩附近斜拉索监测、车辆荷载监测根据面层结构调整测点布设要求、主缆偏位测点根据不同跨径等级（以 1500 米为分界）布设测点；

5) 增加各监测方法所对应的传感器技术参数要求及传感器示意图；

6) 增加了系统实施要求，如硬件实施，针对实施准备、施工组织设计、安装调试及附属设施实施均做出相应详细要求；

7) 增加了系统验收要求及验收流程，将在役桥梁健康监测项目划分为单位工程、分部工程、分项工程进行逐级验收，将新建桥梁健康监测项目划分为一个分部工程，参与整个新建桥梁的验收，且针对各验收项目做出相应要求，明确了验收流程；

8) 增加了系统运维工作流程及职责及档案资料管理工作要求；

9) 增加了数据分析管理中监测数据相关性分析要求；

10) 增加了施工图设计文件编制、监测报告编制相关要求；

11) 增加了附录中各分项工程、分部工程、单位工程质量验收评定表及开工申请审批表、开工令、测试记录表、工程变更表等实施过程工作表等。

批准单位：贵州省交通运输厅

主编单位：贵州高速公路集团有限公司

贵州宏信创达工程检测咨询有限公司

参编单位：贵州黔通工程技术有限公司

中交公路规划设计院有限公司

中路高科交通检测检验认证有限公司

贵州省公路局

贵州交通建设集团有限公司

贵州交通职业技术学院

贵州省交通运输综合行政执法直属支队

重庆交通大学

主要审查人员：许湘华、邹飞、石大为、张胜林、蒋永生、李湛、叶志龙、廖

敬波、韩洪举、刘万军、朱晓文、何飞、孟云、韦韩、吁燃、王大庆、郭吉平、
瓦庆标、谢勇、付义书、周承涛

编写人员：张伟、苏龙、沈兆坤、韩璐、张建平、余果、李军、杨黔、潘忠岳、
胡林洲、李典豪、林全坤、胡媛媛、周丹、郭伟、杨玉金、胡涛、邱小龙、康
友良、龚林、苏俊、朱小涛、石峰、罗晶、徐士修、黄谦、张佳荣、周杰、曹传
智、杨桦、代莉芳

目 次

1 总则	1
2 规范性引用文件	2
3 术语	3
4 基本规定	5
5 监测内容	7
6 测点布设	17
7 监测方法	22
8 系统实施	37
9 系统验收	44
10 系统运维	52
11.数据分析与管理	56
12 监测应用	69
附录 A 施工图设计文件编制	76
附录 B 监测报告编制	80
附录 C 测点布设示意图	81
附录 D 实施过程工作表	85

1 总则

1.1 为规范和指导贵州省公路桥梁结构健康监测系统的设计、实施、验收、运维、数据管理与应用，制定本指南。

1.2 本指南适用于贵州省所辖公路桥梁结构健康监测系统建设。

1.3 桥梁结构健康监测是指在《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）、《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21—2011）中规定的初始检查、日常巡查、经常检查、定期检查、特殊检查和桥梁评定的基础上，结合桥梁的环境、作用、结构响应和运营养护状况，通过智能化监测技术，实现数据采集、传输、存储、分析、应用、管理，从而为桥梁养护与管理提供技术支持。

1.4 桥梁结构健康监测系统建设应遵循“科学合理、技术先进、经济适用、稳定耐久”的原则。

1.5 桥梁结构健康监测宜积极稳妥地采用经验证的新技术、新装备。

1.6 桥梁结构健康监测项目除应符合本指南外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 8567 计算机软件文档编制规范
- GB/T 9386 计算机软件测试文档编制规范
- GB/T 15532 计算机软件测试规范
- GB/T 31167 信息安全技术 云计算服务安全指南
- GB/T 31168 信息安全技术 云计算服务安全能力要求
- GB/T 32630 非结构化数据管理系统技术要求
- GB 50311 综合布线系统工程设计规范
- GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范
- GB 50982-2014 建筑与桥梁结构监测技术规范
- JT/T 132 公路数据库编目编码规则
- JT/T 1037-2022 公路桥梁结构监测技术规范
- JTG 2182-2020 公路工程质量检验评定标准 第二册 机电工程
- JTG 5120-2021 公路桥涵养护规范
- JTG/T 5122-2021 公路缆索结构体系桥梁养护技术规范
- JTG/T H21-2011 公路桥梁技术状况评定标准
- DBJ50 T-304-2018 桥梁结构健康监测系统实施和验收标准
- DB61_T 1037-2016 连续梁（刚构）桥健康监测技术规程
- DB_T29-208-2011 天津市桥梁结构健康监测系统技术规程
- T/CECS 765-2020 结构健康监测系统施工及验收标准
- T/CECS 529-2018 大跨度桥梁结构健康监测系统预警阈值标准
- T/CECS 652-2019 结构健康监测系统运行维护及管理标准

3 术语

3.1 桥梁结构健康监测

一种可以对桥梁的设定参数进行连续、自动测量和记录，获取桥梁环境、作用、结构响应与结构变化定量数据，实现监测数据超限报警，评估结构健康度的多学科交叉融合技术。

3.2 桥梁结构健康监测系统

一种通过网络集成技术将分布在桥梁现场和监控中心的各类传感器、数据采集与传输、数据处理与管理、数据分析与应用的硬件设备、软件模块及配套设施连接在一起，具体实现对桥梁设定参数连续采集、自动记录、数据显示、预警评估的功能，辅助桥梁管理和养护决策的电子信息系统。

3.3 环境

影响桥梁安全和功能的桥址自然环境因素。

3.4 作用

桥梁所受的直接荷载或间接荷载。

3.5 结构响应

由作用引起的桥梁构件、部件、结构的静力或动力响应。

3.6 结构变化

以桥梁结构成桥状态或某一规定时刻状态为基准，桥梁构件、部件、结构在使用中几何形态和表观、结构性能发生的相对变化。

3.7 超限阈值

对桥梁环境、作用、结构响应、结构变化、关键结构构件可能出现的各种级别的异常或风险，各监测点数据特征指标所设定的临界状态警戒值。

3.8 超限报警

监测数据的特征指标达到或超过超限阈值时，系统自动发出相应级别的警报。

3.9 桥梁结构健康度

相对于成桥状态或设计规定的结构安全 and 功能要求，当前桥梁结构安全 and 功能所处的相对水平。

3.10 分布式数据采集

同一桥址区内存在多个安放多种监测参数的数据采集、传输和电源等设备的数据采集子站的数据采集方式。

3.11 集中式数据采集

同一桥址区内仅存在一个安放多种监测参数的数据采集、传输和电源等设备的数据采集子站的数据采集方式。

4 基本规定

4.1 桥梁结构健康监测系统建设包含系统设计、系统实施、系统试运行、系统验收、系统运维和监测数据应用。

4.2 桥梁结构健康监测应结合环境和结构特点、营运状态等，合理选择监测内容。对系统建设完成后，在桥梁运营中出现的病害或发现的关键风险点，可增设硬件设备进行针对性监测。

条文说明：

桥梁营运状态包含桥梁结构、部件、构件的技术状况，既有病害、损伤程度、加固后状态等。

4.3 桥梁监测测点布设应仔细分析桥址区环境特点、作用变化规律、结构响应和变化特征，充分考虑各特征值之间的关联性，合理选择测点布设位置，最大限度的反映结构响应与变化特征值。

4.4 传感器的选型应重点考虑准确性、稳定性和使用寿命，预埋在结构内部的传感器的使用寿命应不低于 20 年；附着安装在结构上的非埋入式传感器的使用寿命应不低于 5 年，关键监测参数的传感器使用寿命不低于 10 年。

条文说明：

传感器使用寿命是指传感器在一定的使用年限内，保证其监测数据的可靠性、稳定性。

对于关键监测参数的传感器建议包括但不限于如梁端纵向位移、压力变送器、倾角仪、光纤光栅应变计、温度传感器等。

4.5 桥梁结构健康监测系统实施前，应进行现场踏勘，根据现场条件对设计方案、安全与施工组织方案进行细化调整。

4.6 系统验收前，应确认传感器安装是否合理与稳固，避免环境对数据传输链路的影响，并对监测数据的完整性、稳定性、准确性进行检验，确保传感器采集量值的准确性与后台数据的一致性。

4.7 新建桥梁的结构健康监测系统应与机电工程同步设计、与施工监控同步实施、与交工荷载试验同步试运行、与土建工程同步验收；在役桥梁的结构健康监测系统结合养护管理需求独立设计、实施、验收。

4.8 桥梁结构健康监测系统运行维护中，应定期对现场设备进行检查，发现问题及时维修、更换；应定期对软件系统的运行稳定状态进行检查，发现异常时，及时分析处理；当数据超过阈值、出现报警时，对桥梁运行状态进行分析判断；应定期对系统软件进行维护。

4.9 桥梁结构健康监测系统应充分考虑与现有桥梁养护系统的兼容性，做到数据共享、综合分析应用。

4.10 桥梁结构健康监测系统应按照统一的数据标准与接口，实现与省部级平台的信息共享与业务协同。

4.11 桥梁结构健康监测系统阈值设定应合理，并可依据监测数据分析结果进行调整。

4.12 桥梁结构健康监测系统设计的重点工作为桥梁现状分析、监测内容与测点布设、桥梁结构健康监测系统选型集成与软件开发部署设计和数据应用。

条文说明：

桥梁现状分析包含桥梁运营阶段结构受力分析、病害分析、潜在风险分析及养护需求分析等。

4.13 桥梁结构健康监测系统建设应建立全面的管理流程，明确管理职责。

5 监测内容

5.1 一般规定

5.1.1 监测内容包括环境、作用、结构响应及结构变化，应根据桥梁所处环境、所受作用以及结构构造特点、力学行为特性、状态评估需求、与常规检查的配合和养护管理要求等因素综合确定，监测选项包含应选监测项、宜选监测项、可选监测项。

5.1.2 桥梁技术状况较差、普通国省干道、有特殊需求的梁桥或上承式拱桥等应根据实际监测需要开展车辆荷载监测，且应根据不同路面面层结构或施工环境选择监测选项，当路面面层为双层或三层结构时，宜安装车辆荷载传感器进行监测；当路面面层为单层结构时，不宜安装车辆荷载传感器，可根据监测需求选择视频监测。

5.1.3 对于桥梁结构形式相同且在同一区域内相距较近或分幅式桥梁，可统筹考虑共用部分环境、作用监测测点。

5.1.4 航道等级为 I 级～V 级的通航孔桥以及易受船舶撞击的非通航孔桥宜进行船舶撞击监测，航道等级应根据桥梁设计通航批复文件或通航规定确定。

5.1.5 根据往年气象监测结果，对于易出现桥面结冰、暴雪天气的桥址区宜进行桥面结冰监测。

5.2 悬索桥监测内容

表 1 悬索桥监测内容

监测类别		监测内容	监测选项
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	●
		主梁内温度、湿度 ^a	●
		主缆内温度、湿度	○
		锚室内温度、湿度 ^b	●
		鞍罩内温度、湿度	●
		索塔内温度、湿度	○
	结冰	桥面结冰	○
		主缆结冰	◎
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速	●

监测类别		监测内容	监测选项
		所有车道车流量	●
		所有车道的车辆空间分布视频图像	◎
	风速、风向	桥面风速、风向	●
		塔顶风速、风向	●
	风压	主梁风压	◎
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度	●
		桥面铺装层温度	○
	船舶撞击	桥墩加速度	○
		视频图像	○
	地震	桥岸地表场地加速度	◎
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度及以上)	●
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度以下)	○
结构响应	位移	主梁竖向位移	●
		主梁横向位移	●
		支座位移	●
		梁端纵向位移	●
		塔顶偏位	●
		主缆偏位	○
	转角	塔顶转角	◎
		梁端水平转角	●
		梁端竖向转角	●
	应变	主梁关键截面应变	●
		索塔关键截面应变	○
	索力	吊索索力	●
		锚跨索股力	●

监测类别		监测内容	监测选项
	支座反力	支座反力	○
	振动	主梁竖向振动加速度	●
		主梁横向振动加速度	●
		主梁纵向振动加速度	○
		塔顶水平双向振动加速度	●
		吊索振动加速度	●
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	◎
	位移	锚碇位移	●
	裂缝	混凝土结构裂缝 ^c	●
		钢结构裂缝 ^c	●
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	◎
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	◎
	断丝	吊索、主缆断丝	○
	螺栓状态	索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	○
索夹滑移	索夹滑移	○	
注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项			
a 仅适用于封闭箱梁。			
b 仅适用于地锚式悬索桥。			
c 仅适用于结构性裂缝。			

5.3 斜拉桥监测内容

表 2 斜拉桥监测内容

监测类别		监测内容	监测选项
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	●
		主梁内温度、湿度 ^a	●
		索塔锚固区温度、湿度	●
	雨量	降雨量	◎

监测类别		监测内容	监测选项
	结冰	桥面结冰	○
		斜拉索结冰	◎
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速	●
		所有车道车流量	●
		所有车道的车辆空间分布视频图像	◎
	风速、风向	桥面风速、风向	●
		塔顶风速、风向	●
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度	●
		桥面铺装层温度	○
	船舶撞击	桥墩加速度	○
		视频图像	○
	地震	桥岸地表场地加速度	◎
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度及以上)	●
承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度以下)		○	
结构响应	位移	主梁竖向位移	●
		主梁横向位移	○
		支座位移	●
		梁端纵向位移	●
		塔顶偏位	●
	转角	塔顶转角	○
		梁端水平转角	●
		梁端竖向转角	●
	应变	主梁关键截面应变	●
		索塔关键截面应变	○
	索力	斜拉索索力	●

监测类别		监测内容	监测选项
	支座反力	支座反力	○
	振动	主梁竖向振动加速度	●
		主梁横向振动加速度	●
		主梁纵向振动加速度	○
		塔顶水平双向振动加速度	●
		斜拉索振动加速度	●
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	◎
	裂缝	混凝土结构裂缝 ^b	●
		钢结构裂缝 ^b	●
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	◎
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	◎
	预应力	体外预应力	○
	断丝	斜拉索断丝	○
	螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	○
注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项			
a 仅适用于封闭箱梁。			
b 仅适用于结构性裂缝。			

5.4 梁桥监测内容

表 3 梁桥监测内容

监测类别		监测内容	监测选项
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	●
		主梁内温度、湿度 ^a	●
	结冰	桥面结冰	○
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速	○
		所有车道车流量	○
		所有车道的车辆空间分布视频图像	◎

监测类别		监测内容	监测选项
	风速、风向	桥面风速、风向	◎
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度	●
		桥面铺装层温度	○
	船舶撞击	桥墩加速度	○
		视频图像	○
	地震	桥岸地表场地加速度	◎
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度及以上)	●
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度以下)	○
	结构响应	位移	主梁竖向位移
支座位移			●
梁端纵向位移			●
高墩墩顶位移			○
应变		主梁关键截面应变	●
支座反力		支座反力	○
振动		主梁竖向振动加速度	●
		主梁横向振动加速度 ^b	●/○
		主梁纵向振动加速度	○
		桥墩顶部纵向及横向振动加速度	◎
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	◎
	桥墩沉降	桥墩竖向位移	○
	裂缝	混凝土结构裂缝 ^c	●
		钢结构裂缝 ^c	●
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	◎
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	◎
	预应力	体外预应力	●

监测类别		监测内容	监测选项
	螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	○
注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项			
a 仅适用于封闭箱梁。			
b 当一阶振型为主梁横向振动时为应选监测项。			
c 仅适用于结构性裂缝。			

5.5 拱桥监测内容

表 4 拱桥监测内容

监测类别		监测内容	监测选项
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	●
		主梁内温度、湿度 ^a	●
		主拱内温度、湿度 ^b	●
	结冰	桥面结冰	○
		吊杆结冰	◎
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速 ^c	●/○
		所有车道车流量 ^c	●/○
		所有车道的车辆空间分布视频图像	◎
	风速、风向	桥面风速、风向 ^c	●/○
		拱顶风速、风向	◎
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度	●
		桥面铺装层温度	○
	船舶撞击	桥墩加速度	○
		视频图像	○
	地震	桥岸地表场地加速度	◎
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度及以上)	●
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度以下)	○
结构响	位移	主梁竖向位移	●

监测类别		监测内容	监测选项
应		主梁横向位移	○
		支座位移	●
		梁端纵向位移	●
		主拱圈竖向位移	○
		拱顶位移	●
	应变	主梁关键截面应变	●
		主拱关键截面应变	○
	索力	吊杆(索)力	●
		系杆力	●
	支座反力	支座反力	○
	振动	主梁竖向振动加速度	●
		主梁横向振动加速度 ^d	●/○
		主梁纵向振动加速度	◎
		主拱振动加速度	●
		吊杆(索)振动加速度	●
	结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度
位移		拱脚位移	●
裂缝		混凝土结构裂缝 ^e	●
		钢结构裂缝 ^e	●
腐蚀		墩身、承台混凝土氯离子浓度	◎
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	◎
断丝		吊杆(索)或系杆断丝	○
螺栓状态		高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	○
注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项			
a 仅适用于封闭箱梁。			
b 仅适用于箱形拱。			
c 中、下承式拱桥为应选监测项，上承式拱桥为宜选监测项。			

监测类别	监测内容	监测选项
d 当一阶振型为横向振动时应选监测项。 e 仅适用于结构性裂缝。		

条文说明:

环境温度对于结构物的内力、形态、耐久性有着重要的影响。温度是桥梁结构的重要荷载源，通过监测环境温度、温差的变化，可以获得结构变化的温度趋势效应。湿度过大，会引起结构物中的钢材锈蚀和混凝土中的碱活性反应。

车辆荷载作为桥梁运营期间的主要可变作用，可能导致桥梁结构产生疲劳效应，影响桥梁结构的使用年限，通过监测桥上所有车道的车重、轴重、车流量、空间分布等数据，可以获得车辆荷载信息，为桥梁评估提供荷载数据。

风荷载是大跨度悬索桥、斜拉桥、中、下承式拱桥的主要荷载之一，严重时会造成桥梁构件的疲劳、影响结构稳定性，通过风参数监测，为桥梁风致振动评估提供数据。

结构温度监测主要包括混凝土或钢结构构件温度、桥面铺装层温度等，结构温度监测数据可用于进行温度修正。

钢结构密闭空间的湿度过大，会加速钢结构锈蚀，锈蚀严重时降低结构的承载力、影响结构安全。在结构监测过程中，应重点考虑悬索桥主缆、吊杆、斜拉索、锚头等部位的湿度监测。

地震是桥梁在服役过程中可能遭受的破坏力强的荷载，应根据地震区域烈度等级划分有针对性地开展地震动监测，通过对地震加速度等数据的采集与分析，为桥梁震后评估提供依据。

位移监测主要包括主梁竖向位移、主梁横向位移、支座位移、梁端纵向位移、塔顶偏位和主缆偏位等，通过位移监测数据与其他监测数据的叠加分析，可评估桥梁整体稳定性。

转角监测主要包括桥梁墩顶截面倾角、塔顶截面倾角、梁端水平转角、梁端竖向转角等，通过转角监测数据与其他监测数据的综合分析，可评估桥梁整体变形特性和伸缩缝、支座等部位的协调变形能力。

应变（应力）监测主要包括主梁、墩柱和桥塔关键截面应变（应力），通过应变监测数据可以获取关键截面的应力状态。

索力、锚跨索股力监测可获得吊杆、斜拉索与锚跨索股力的变化值，进而评估其应力状态。

支座反力监测数据可反映支座是否处于正常受压（拉）工作状态，进而判断支座是否出现应力过大、脱空、卡死现象。

桥梁振动监测主要包括主梁竖向振动加速度、主梁横向振动加速度、主梁纵向振动加速度、塔顶水平双向振动加速度和索振动加速度等，通过识别桥梁结构频率、振型、阻尼比等参数，判断桥梁的整体与局部的动力特性是否处于正常范围，进而评估结构整体、特殊杆件的工作状态。

监测基础冲刷深度，可为评估基础承载力和桥梁稳定性提供依据。从数据需求量、技术路线、实施成本等方面综合考虑，该监测项可采用定期检查的方式进行。

锚碇位移监测可评估锚碇是否产生位移变化；对于地质条件较差的地区，宜进行锚碇位移监测。

裂缝监测主要包括混凝土结构和钢结构裂缝变化，通过长期监测裂缝在受力状态下的变化。桥梁结构性裂缝影响桥梁结构受力，给大桥的运营和养护带来了巨大的挑战，均应开展结构性裂缝监测。

结构腐蚀程度监测主要包括混凝土腐蚀与钢材锈蚀两方面，通过腐蚀与锈蚀程度，可进一步分析构件的耐久性状态，及时为桥梁结构养护提供依据。

索夹的滑移监测可以及时发现索夹是否产生位移，索夹滑移会造成主缆防护层开裂、影响吊杆受力状态。

螺栓紧固力监测可及时发现螺栓的受力状态、松动变化情况。

6 测点布设

6.1 一般规定

6.1.1 测点布设基于所确定的监测内容，包括环境测点、作用测点、结构响应及结构变化测点。测点位置和数量依据桥梁所处环境、所受作用分布、结构构造特点以及结构静力特性、结构动力特性、结构病害分布等因素综合确定，并应满足监测参数分析和结构状态评估需求。

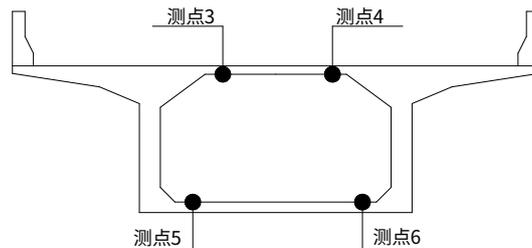
6.1.2 测点布设应明确传感器的安装位置、方向，同时需考虑利于安装、维护、扩展。对于不可更换的测点，宜做冗余设计。

6.1.3 监测系统硬件设施的建设应不影响桥梁正常维护、耐久性。硬件设施的建设应稳定牢靠，不得影响桥梁运营安全。

6.1.4 病害严重的桥梁或构件，可增加测试断面与测点，有针对性地对桥梁病害延展程度开展监测，必要时可开展现场检测、局部加载、荷载试验等，以进一步验证其对结构安全性或耐久性的影响。

6.1.5 监测系统布设应充分考虑桥梁所处环境状态、应力状态、动力响应、结构变形等情况，有针对性的开展监测点布置，测点应能最大程度反映桥梁的真实状态，能提取到结构的关键特征值。

6.1.6 同一监测截面测点编号应按从小桩号往大桩号方向，从左及右，从上及下的原则，从01开始进行测点编号，监测点编号示例如下图所示：



6.2 环境监测测点

6.2.1 温度、湿度监测测点应满足下列规定：

1) 桥址区环境温度、湿度测点宜布设在桥梁跨中位置，也可根据单桥监测系统的采集站布设位置进行调整；

2) 封闭箱梁主梁内温度、湿度监测，用于获取结构内外温度差和湿度变化，测点位置宜与桥址区环境温度、湿度测点保持在同一断面处；

3) 锚室内温湿度监测，宜选择湿度较大且除湿效果较不利的锚室底部；

4) 鞍罩内温湿度监测, 宜选择湿度较大且远离鞍罩除湿系统的位置, 同时应对鞍罩密封性进行检查;

5) 索塔内及索塔锚固区温湿度监测, 宜选择索塔中下部湿度较大处。斜拉索下锚头内易产生积水, 可针对性地选取部分下锚头进行湿度监测。

6.2.2 降雨量应根据斜拉桥所处的环境、斜拉索的结构形式判定是否需要开展监测。对桥址区长年风荷载较大、降雨量多、且未设置斜拉索减振措施的斜拉桥, 可开展监测。测点应布设在桥梁开阔部位。

6.2.3 桥面结冰、主缆结冰、斜拉索结冰、吊杆结冰可根据营运养护需求, 有针对性地开展监测。

6.3 作用监测测点

6.3.1 车辆荷载监测测点应满足下列规定:

1) 悬索桥、斜拉桥应进行车辆荷载监测; 桥梁技术状况较差、普通国省干道、有特殊需求的梁桥或上承式拱桥等, 也可开展车辆荷载监测;

2) 车辆荷载监测应覆盖除应急车道外的所有车道, 且与伸缩缝保持一定距离, 测点宜选择在路基路面完好处或有稳定墩柱支撑的混凝土结构铺装层内布设; 视频监控可与车辆荷载监测联动, 获取所有车道的车辆空间分布;

3) 车辆荷载监测点与视频监控点有条件时可布设在同一断面, 视频监控可利用桥址区现有的门架。

6.3.2 风速风向监测应能监测自由风场风速和风向, 宜按照桥址区风场玫瑰图确定主风向, 根据主风向布置风荷载监测点, 风速风向监测测点应满足下列规定:

1) 跨度小于 1500m 悬索桥应在主梁跨中上、下游两侧和塔顶各布设一个风速风向监测测点; 跨度大于等于 1500m 悬索桥, 结合风场空间相关性, 宜在 1/4、3/4 主跨增加风速风向监测测点; 可在跨中和 1/4、3/4 主跨断面布设风压监测测点;

2) 跨度小于 800m 斜拉桥宜在主梁跨中上、下游两侧和塔顶各布设一个风速风向监测测点; 跨度大于等于 800m 斜拉桥, 结合风场空间相关性, 宜增加风速风向监测测点;

3) 位于强风区的大跨度钢梁桥可在主跨跨中布设风速风向监测测点;

4) 对中、下承式拱桥应在主梁跨中布设风速风向监测测点, 风环境复杂时可在拱顶增设风速风向监测测点; 位于强风区的上承式拱桥可在主梁跨中布设风速风向监测测点。

6.3.3 结构温度监测应根据桥梁结构温度场分布特点，并结合结构类型、联长、跨径、构件尺寸、铺装体系、日照时间分布等因素综合确定。结构温度监测测点可与应变监测的温度补偿测点一同布置。

6.3.4 地震动监测根据桥址区地震烈度和设防等级开展监测。测点宜布设于桥梁墩底或承台顶部、锚碇锚室内，特殊情况也可布设于两岸的引桥桥台附近。

6.4 结构响应监测测点

6.4.1 主梁竖向位移监测测点应满足下列规定：

- 1) 悬索桥监测测点按主跨 8 分点布设；
- 2) 斜拉桥按主跨 4 分点布设，边跨跨中布设，主跨跨径大于 500 米的宜增加监测测点；
- 3) 梁桥按主跨 4 分点布设，边跨按跨中布设，跨中下挠较大的梁桥，可在下挠较大区域增设监测点；
- 4) 中、下承式拱桥宜对主梁竖向开展监测，上承式拱桥宜对主拱圈开展竖向位移监测；
- 5) 宽幅桥面、中央索面或其他具有扭转监测需求的主梁，宜在左右幅同一断面外侧布设监测测点；

6.4.2 主梁横向位移监测测点应满足下列规定：

- 1) 悬索桥主梁横向位移监测点应在主跨跨中布设；
- 2) 高墩、大跨度斜拉桥，可根据实际情况开展主梁横向位移监测。

6.4.3 支座位移、梁端纵向位移监测测点宜布设在主支座、伸缩缝处；支座发生明显横向位移，宜增设横向位移测点。

6.4.4 拱顶位移监测应布设竖向位移监测点，若横向刚度较弱，可结合主拱圈动力特性等情况，布设横向位移监测点，监测测点宜布设于拱顶部。

6.4.5 塔顶偏位监测应根据位移方向、位移量选择合适的方法开展偏位监测，监测测点宜布设于索塔顶部。

6.4.6 跨度小于 1500m 悬索桥宜在跨中布设主缆偏位监测测点；跨度大于等于 1500m 悬索桥宜在跨中、1/4、3/4 主跨布设主缆偏位监测测点，对主梁、主缆线形出现异常的，可有针对性地增设测点。

6.4.7 高墩或桥面为单向坡且纵坡度较大的梁桥，应开展墩顶位移或倾角监测，监测测点宜布设于墩顶。

6.4.8 塔顶转角监测测点宜布设于索塔塔顶位置，宜根据塔顶位移方向布置一个或多个塔顶转角监测点。

6.4.9 梁端竖向、水平转角监测测点宜布设在伸缩缝两端的主梁上。

6.4.10 上承式拱桥拱上高立柱顶部宜开展转角监测或位移监测。

6.4.11 应变监测测点应满足下列规定：

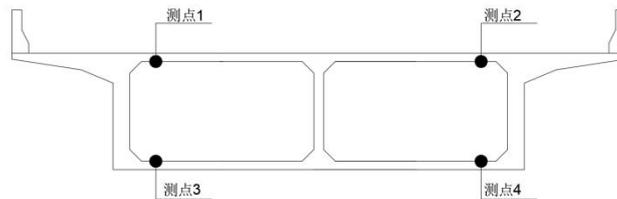
1) 主梁、主拱圈、索塔等关键截面应变监测点位置和数量应根据结构计算分析，选择受力较大的部位布设；对车辆轴载大的位置与方向宜增设测点；

2) 悬索桥主塔塔底应变监测点宜布置在塔底实心段上方 1~2 米处；

3) 加固桥梁宜在维修改造处增设测点，并对加固材料表面与周边开展监测比对；

4) 钢混叠合梁、混合梁，可在钢混接合部两侧分别布设应变监测点；

5) 主梁应变测点应布设在主梁顶、底板，且顶、底板均不少于 1 个测点，测点布设按对称布设原则，且测点宜选择靠近腹板位置，仅有 1 个测点时宜选择靠近一侧腹板布置，测点布设示例如下图所示：



6.4.12 索力监测测点应满足下列规定：

1) 悬索桥、斜拉桥、中下承式拱桥应重点监测长短索与长短吊杆索力，对于斜拉桥边跨辅助墩附近斜拉索索力应重点监测。在开展监测前，应开展全桥索力测试，对实测索力值与成桥索力理论计算值或监控值偏差较大的开展监测。索力监测点宜上、下游对称布设；

2) 主缆索股受力监测，应根据主缆锚固形式、索股布置确定监测索股，宜选取前锚面最上、最下两根索股、中间索股以及外侧角点处索股；同时可对索鞍固定索股开展监测。

6.4.13 主梁竖向和横向振动监测点应结合主梁动力特性计算或现场测试结果确定，若无往年动力测试结果，宜在测点布设前布置临时测点进行现场测试。监测测点宜布设在振型峰值点处，避开振型节点，测点位置应至少包括主跨跨中和 1/4、3/4 主跨；主梁纵向振动监测点宜布设在塔梁连接处或支座附近；主拱振动监测测点应根据主拱振型确定，宜布设在振型峰值点处，避开振型节点；塔顶振动监测测点宜对塔顶进行双向振动监测。

6.5 结构变化监测测点

6.5.1 悬索桥锚碇位移监测测点宜布设于重力锚锚体与前支墩角点处、隧道锚前锚面处；拱桥主拱圈拱脚位移监测测点宜布设于起拱线交汇处。

6.5.2 混凝土结构和钢结构裂缝监测测点应依据检查（测）、技术状况评定、养护维修结果确定测点位置和数量，宜对裂缝宽度跟踪监测。

6.5.3 索夹滑移或索夹螺栓状态监测测点宜布设在对应主缆坡度最大点或接近主索鞍处；测点布设宜根据索夹类型、索夹倾角及螺栓布置形式确定。

6.5.4 依据 JTG/T H21 技术状况评定为“螺栓损失”标度达到 3 或 3 以上的钢结构桥梁，宜根据检查（测）、技术状况评定结果确定高强螺栓状态监测测点位置和数量。

6.5.5 桥梁体外预应力监测测点位置和数量，宜根据梁体结构构造特点和预应力布设形式、位置确定。

7 监测方法

7.1 一般规定

7.1.1 监测方法包括感知方法和数据采集方法，应与桥梁环境、作用、结构响应、结构变化监测内容匹配。

7.1.2 传感器与数据采集设备选型应满足监测量程、分辨力、精度、灵敏度、动态频响特性、长期稳定性、环境适应性要求。

7.1.3 监测数据采集频率应满足数据分析和应用要求。

7.1.4 在满足桥梁结构健康监测需求的前提下，应按照节约、便利、精简的原则，有针对性地选择不同类型、不同数据格式的监测设备。

7.1.5 监测设备工作环境适应能力应满足其所在桥址区或桥梁构件内的环境条件，可按需配置温湿度控制和保护装置。

7.1.6 现场不具备市电供电条件时，可适当选择低功耗采集方式。

7.1.7 监测方法包括但不限于本指南所列传感器与数据采集设备。

7.2 环境监测方法

7.2.1 环境温度监测设备包括热电偶、热电阻、光纤温度传感器等，环境湿度监测设备包括氯化锂湿度计、电阻电容湿度计和电解湿度计等。

表 5 温湿度仪的技术要求

项目	技术要求
测量范围 (相对湿度)	0~ 100%RH
测量误差 (相对湿度)	≤±2% RH (在 20℃条件下)
测量范围 (温度)	-40℃~+60℃
误差 (温度)	≤±0.5℃
分辨力(温度)	≤0.1℃



图 1 温湿度仪

7.2.2 雨量监测设备包括电容雨量传感器、红外散射式雨量传感器、单翻斗雨量传感器等，应根据桥址处气候、气象条件选择雨量传感器类型、量程。

表 6 雨量计的技术要求

项目	技术要求
分辨力	$\leq 0.1\text{mm}$
误差	$\leq 2\%$ (降雨强度 $\leq 25\text{mm/h}$) $\leq 3\%$ ($25\text{mm/h} <$ 降雨强度 $\leq 50\text{mm/h}$)



图 2 单翻斗雨量传感器

7.2.3 结冰监测设备包括超声波结冰传感器、视频监控等。

表 7 超声波结冰传感器技术要求

项目	技术指标
结冰监测量程	0.2mm~10mm
误差	$< 1\text{mm}$
工作温度	$-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$

项目	技术指标
工作湿度	0~100%RH



图 3 超声波结冰传感器

7.3 作用监测方法

7.3.1 车辆荷载监测设备包括压电石英动态称重传感系统、压电薄膜动态称重传感系统、弯板称重系统等动态公路车辆自动衡器。

表 8 动态称重系统的技术要求

项目	技术要求
整车称重误差	$\leq 15\%$
荷载能力 (单轴)	≥ 15 吨
过载能力 (单轴)	$\geq 200\%$
车速范围	5~200km/h
车速误差	$\leq \pm 2$ km/h
车流量统计准确性	$\geq 95\%$

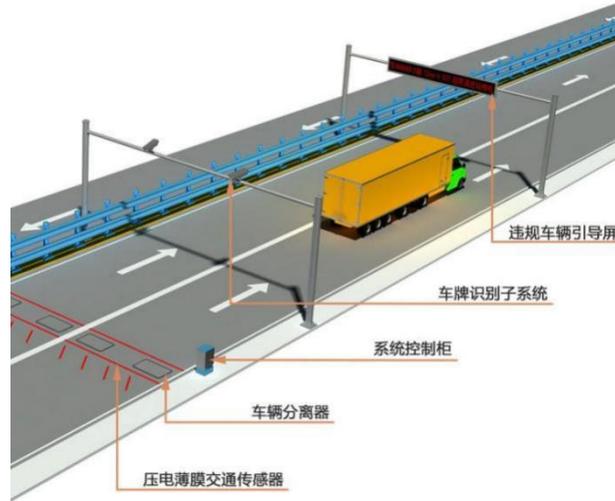


图 4 压电薄膜动态称重传感系统

7.3.2 风荷载监测设备包括超声波风速仪、机械式风速仪、皮托管等。风速风向宜采用机械式风速仪或二维超声风速仪，有风攻角监测需求的建议采用三维超声风速仪。

表 9 超声波风速仪的技术要求

项目	技术要求
测量参数	三个（或两个）正交方向的风速和风向
风速	测量范围：0~40m/s；分辨力≤0.1m/s
风向	水平测量范围：0~360° 俯仰测量范围：-60°~+60° 分辨力≤0.1° 误差≤±2°（1-30m/s），±5°（30-40m/s）

表 10 机械式风速仪的技术要求

项目	技术要求
测量参数	水平风速、风向
风速	测量范围：0~ 100m/s 误差≤±0.3m/s
风向	测量范围：0~360° 误差≤±3°



图5 二维超声风速仪



图6 三维超声风速仪



图7 机械式风速仪

7.3.3 地震动宜采用力平衡式加速度传感器、强震仪、磁电式加速度传感器、压电式加速度传感器等开展监测。

表 11 地震传感器的技术要求

项目	技术要求
测量范围	$> \pm 2g$ (XYZ 三个方向, 可定制)
误差	$\leq 1\%$
灵敏度	$\geq 2.5V/g$ (可定制)
横向灵敏度比	$\leq 1\%$
频率响应	0~80Hz
动态范围	$\geq 120dB$

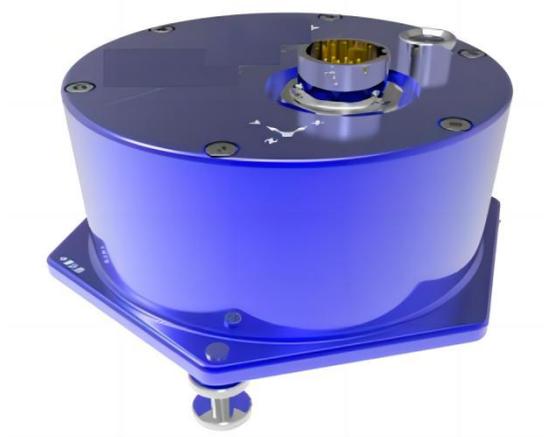


图8 地震加速度传感器

7.4 结构响应监测方法

7.4.1 悬索桥主梁横向位移、主缆偏位宜采用 GNSS 监测技术开展监测，应优先选用北斗卫星导航技术，GNSS 观测基准站可选择在桥址附近稳定、空旷地带，监测数据应转换到大桥独立坐标系。

表 12 GNSS 接收机的技术要求

项目	技术要求
动态测量误差	水平方向： $\leq 10\text{mm} + 1\text{ppm}$
	垂直方向： $\leq 20\text{mm} + 1\text{ppm}$
静态测量误差	水平方向： $\leq 3\text{mm} + 0.5\text{ppm}$
	垂直方向： $\leq 5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$



图 9 GNSS 天线与接收机

7.4.2 梁端转角、塔顶偏位、梁桥高墩墩顶偏位可采用高精度双向倾角仪开展角度监测并换算。

表 13 双向倾角仪的技术要求

项目	技术要求
标准量程	$\pm 5^\circ$
分辨力	0.01°
误差	$\leq 0.02^\circ$
温度范围	$-40 \sim +80^\circ\text{C}$
使用寿命	8 年



图 10 高精度双向倾角仪

7.4.3 上承式拱桥可选用微波雷达挠度仪、光电图像位移计等非接触式测量设备开展主拱圈位移监测。斜拉桥、梁桥和中、下承式拱桥主梁竖向位移监测可选用基于连通管原理的压力变送器，鼓励满足使用条件的桥梁优先选用微波雷达挠度仪、光电图像位移计等非接触式测量设备开展位移监测，并对设备采取相应的安全保护措施。

表 14 压力变送器的技术要求

项 目	技术要求
测量范围	0~6m 水柱（可定制）
误差	≤0.1%
过压影响	≤0.025%FSR/16MPa
稳定性	≤0.1% FSR/60 个月
使用寿命	8 年

表 15 静力水准仪的技术要求

项 目	技术要求
测量范围	0~ 2000mm（可定制）
分辨力	≤0.025%
误差	≤0.1%
使用寿命	8 年

表 16 光电图像位移计的技术要求

项 目	技术要求
监测距离	0.1~ 500m（可定制）
同时监测点数	任意设定，可见即可测

测量误差	监测距离	位移范围	最大示值误差
	10m	1~50mm	±0.1mm
	50m	1~50mm	±0.5mm
	300m	1~50mm	±5mm

表 17 微波雷达挠度仪的技术要求

项 目	技术要求
探测范围	200m（可定制）
测量误差	≤0.1mm



图 11 压力变送器



图 12 微波挠度仪



图 13 光电图像位移计

7.4.4 支座位移、梁端纵向位移宜采用拉线式位移传感器、磁致伸缩位移传感器、激光位移传感器等开展监测。

表 18 拉线式位移传感器技术要求

项 目	技术要求
量程	1000mm（根据伸缩缝设计量程可定制）
线性度	±0.1%FS
重复性	±0.01%FS

表 19 磁致伸缩位移传感器技术要求

项 目	技术要求
测量范围	2000mm（根据伸缩缝设计量程和支座大小可定制）
线性度	<0.05%F.S
重复性	<0.002%F.S



图 14 拉线式位移传感器



图 15 磁致伸缩位移传感器



图 16 激光位移传感器

7.4.5 静应变监测宜采用光纤应变传感器、振弦式应变传感器、电阻应变传感器，动应变监测宜采用光纤应变传感器、电阻应变传感器等。

表 20 应变计的技术要求

项目	技术要求
测量范围	- 1500 $\mu\epsilon$ ~+ 1500 $\mu\epsilon$
分辨力	$\leq 0.5\mu\epsilon$
误差	$\leq \pm 2\mu\epsilon$

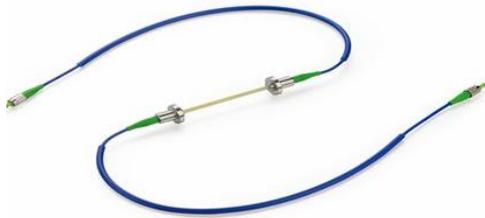


图 17 光纤光栅应变传感器



图 18 振弦式应变传感器

7.4.6 索力监测方法包括间接测力或直接测力法。间接测力法宜采用电容式加速度传感器、压电式加速度传感器，直接测力法可采用压力传感器。在建桥梁可考虑在建设期安装压力传感器；综合使用场景和建设成本，营运桥梁宜采用压电式加速度传感器。体外预应力索力变化监测可采用基于电磁原理的测力仪器。

表 21 加速度传感器(频率法)的技术要求

项目	技术要求
测量范围	-2g~+2g (可定制)
误差	$\leq 1\%$
灵敏度	$\geq 2.5V/g$ (可定制)
频响范围	0~ 100 Hz
动态范围	$\geq 70dB$



图 19 压电式加速度传感器



图 20 压力传感器

7.4.7 振动监测宜采用加速度监测方法，应根据桥梁整体及梁、塔、索结构的动力分析结果、基频、振型等选择传感器，确定振动加速度量程、频响范围、横向灵敏度。钢结构宜采用力平衡式加速度传感器或电容式加速度传感器，索和混凝土结构宜采用电容式、压电式加速度传感器和磁电式加速度传感器。

表 22 加速度传感器的技术要求

项目	技术要求
测量范围	-2g~+2g（可定制）
分辨力	$\leq 1\mu g$
误差	$\leq 1\%$
灵敏度	$\geq 2.5V/g$ （可定制）
横向灵敏度比	$\leq 1\%$
频率响应	0~120 Hz
动态范围	$\geq 120dB$



图 21 加速度传感器

7.5 结构变化监测方法

7.5.1 锚碇位移、拱桥拱脚位移可通过设置桥梁永久观测点定期观测开展监测，也可采用 GNSS 静态观测方法或倾角仪监测方法。

7.5.2 裂缝监测宜采用自动监测、人工观测或相结合的方式。自动监测设备包括振弦式裂缝传感器、电阻式裂缝传感器、长标距光纤等光纤式裂缝传感器、高清摄像机、导电涂膜裂缝监测传感器等。少量裂缝宜选用振弦式或电阻式裂缝传感器，大面积裂缝监测可采用导电涂膜裂缝监测传感器。

表 23 振弦式裂缝传感器技术要求

项目	技术要求
量程	5mm
误差	±0.01mm
分辨力	0.001mm

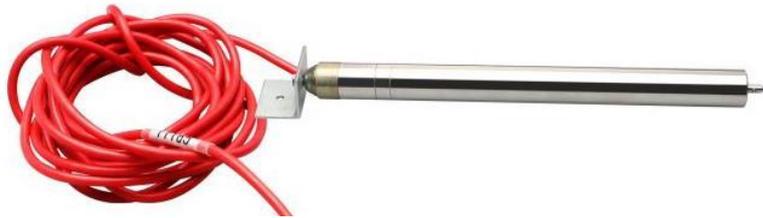


图 22 振弦式裂缝传感器

7.5.3 高强螺栓紧固力监测设备包括振弦式或电阻式压力环式传感器、超声应力传感器。在建或增补螺栓的桥梁可采用振弦式或电阻式压力环式传感器。

表 24 压力环传感器技术参数表

项目	技术要求
量程	200kN
灵敏度	0.1kN
误差	0.2%FS



图 23 压力环传感器



图 24 超声应力传感器

7.5.4 索夹滑移监测设备包括位移监测传感器或视频监控摄像机。宜采用自复位式位移传感器或磁致伸缩位移计。

表 25 自复位式位移传感器技术要求

项目	技术要求
量程	0~250mm（根据设计量程可定制）
线性度	±0.25%FS
重复性	±0.01%FS



图 25 自复位式位移传感器

7.5.5 腐蚀监测宜选用电化学方法，腐蚀监测传感器宜选用沿混凝土保护层深度安装多电极传感器。

7.5.5 断丝监测宜采用声发射监测方法，悬索桥吊索、主缆，斜拉桥斜拉索，拱桥吊杆（索）、系杆等裸露于空气中的钢索结构断丝可选用谐振频率较高的声发射传感器；埋设于混凝土内的预应力钢索断丝可选用谐振频率稍低的声发射传感器。

说明：以上传感器图片仅作为示意图展示。

7.6 数据采集

7.6.1 数据采集站组站方式

数据采集方式应根据桥梁跨度、长度、空间尺度及结构特点、监测规模、传感器类型进行选择，可分为分布式数据采集和集中式数据采集。监测测点相距较近且较集中时，宜选用集中式数据采集方式；监测测点相距较远且较分散时，宜选用分布式数据采集方式。

7.6.2 信号类型

数据采集硬件应根据传感器输出信号类型、幅值、精度、分辨力和兼容性等要求进行设备选型，并满足下列要求：

- 1) 数字信号可选用基于 RS485、CAN、Modbus TCP 或 UDP 等分布式数据采集设备，并兼顾传输距离、传输带宽和速率；
- 2) 电荷信号应选用电荷放大器进行信号调理后采集；
- 3) 模拟电信号宜选用 4mA~20mA 和 -5V~5V 等标准工业信号，可选用基于 PCI、PXI 等技术的集中式数据采集设备，并进行光电隔离，以增强抗干扰能力；
- 4) 光信号数据采集应采用专用的光纤解调设备，应根据波长范围采样通道与采样频率进行选型，光纤光栅波长分辨力小于等于 1pm，扫描频率大于等于 50Hz；
- 5) 振弦式传感器信号应选用专用振弦式采集仪采集，频率信号误差不大于 0.1Hz；
- 6) 电阻式应变传感器信号应选用惠斯登电桥调理信号放大；
- 7) 电磁弹式索力传感器信号应选用磁弹采集仪采集，误差不大于 0.5%F·S；
- 8) 数据采集模数转换（A/D 转换）应满足传感器分辨力、精度和数据分析要求，静态信号分辨力大于等于 16 位，动态信号分辨力大于等于 16 位；
- 9) 静态模拟信号宜选用多路模拟开关、采样保持器进行多路信号采集；
- 10) 动态信号应选用抗混滤波器进行滤波、降噪。

7.6.3 采样频率

- 1) 采样频率应根据监测应用分析要求和功能要求自行设定，宜不低于下列规定：

表 26 环境监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
温度	1/600Hz
湿度	1/600Hz
雨量	1/60Hz
结冰	在线：25FPS

表 27 作用监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
车辆荷载	动态称重设备：触发采集；视频：25FPS
风速风向	超声风速仪：10Hz 机械式风速仪：1Hz
风压	10Hz
结构温度	1/600Hz
船舶撞击	触发采集加速度：50Hz

	视频：25FPS
地震	触发采集加速度：50Hz

表 28 结构响应监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
位移	动位移：20Hz 静位移：1Hz
转角	1Hz
应变	动应变：10Hz 静应变：1/600Hz
索力	压力传感器：1Hz 加速度传感器：50Hz 电磁弹式传感器：1/3600Hz
支座反力	1Hz
振动	20Hz

表 29 结构变化监测内容采样频率表

监测内容	采样频率
基础冲刷	在线：1MHz 离线：每年 1 次~2 次
锚碇位移、拱脚位移、桥墩沉降	在线：1/3600Hz 离线：每年 1 次~2 次
裂缝	动态：10Hz 静态：1/3600Hz 图像：每周 1 次
腐蚀	在线：1/3600Hz 离线：每年 1 次~2 次
体外预应力	在线：1/3600Hz 离线：每年 3 次~4 次
断丝	触发采集：2MHz
螺栓状态	在线：1Hz 图像：每周 1 次 离线：每年 1 次~2 次
索夹滑移	在线：1Hz 图像：每周 1 次 离线：每年 1 次~2 次

条文说明

以上采集频率为最低频率要求，可根据现场实际要求提高采集频率。

2) 环境、作用和结构响应监测数据应同步采集,宜采用北斗卫星导航时钟同步技术,同步精度宜符合下列规定:

①动态监测变量的数据采集时钟同步误差小于 0.1ms;

②静态监测变量的数据采集时钟同步误差小于 1ms。

3) 数据采集应采取抗干扰措施:串模干扰抑制、共模干扰抑制以及防雷接地技术和屏蔽技术,以提高信噪比。

7.6.4 数据传输

1) 数据传输方式应根据桥址环境、测点量、传感器及采集设备类型进行选择配置,可分为有线传输和无线传输,应优先选用有线传输。当有线网络传输路径过长或不具备布设条件时,可考虑选用无线传输。对钢结构桥梁、桥区雷电频发的,原则上不选用无线传输。

2) 有线传输宜选用带宽高、传输距离远、可靠性高、抗干扰能力强的光纤传输,传输网络宜采用基于 TCP/IP 协议的光纤专网。

3) 采用无线通信网络进行数据传输,带宽、传输距离、时延等应满足监测要求。

4) 数据传输设施应选用抗干扰能力强、稳定、高效的工业级产品,应能保证长时间高效、可靠、稳定运行。

8 系统实施

8.1 一般规定

8.1.1 系统现场实施工序宜分为硬件设备采购与测试、软件开发与测试、软硬件安装与联合调试，如图 26 所示。

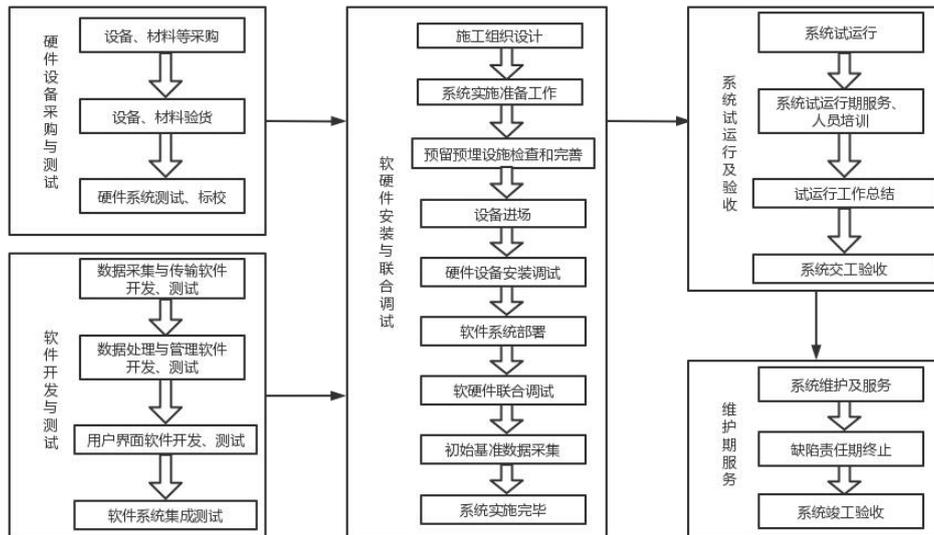


图 26 监测系统实施工序

8.1.2 项目实施前，应编制施工组织设计，并组织评审。

8.1.3 监测系统应制定安全保护措施，可按照《信息安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239）进行系统定级、备案、建设、测评和保护。

8.1.4 监测系统实施现场应根据《贵州省公路桥梁养护检修通道设置技术及管理规定》设置养护检修通道，若现场养护检修通道不满足要求，建设单位应根据《贵州省公路桥梁养护检修通道设置技术及管理规定》进行养护检修通道建设，确保养护检修通道安全正常使用。

8.2 硬件设备部分

8.2.1 应包括施工准备、施工组织设计、桥位外场和数据中心内场的设备、设施安装与调试。

8.2.2 系统采用的材料、设备应符合国家现行有关标准的规定，并附出厂检验合格证。

8.2.3 桥梁监测系统的供电、通信、数据中心、预留预埋、开孔开洞，应同步纳入施工图设计文件。建设单位应协调确定监测系统与其他工程的工作界面。

8.2.4 监测系统实施准备应符合以下规定：

- 1) 施工准备应由技术准备和资源准备组成；

2) 技术准备包括工程资料收集、现场踏勘、施工组织设计、技术交底等;

3) 资源准备包括项目部组建、监测设备采购与进场报验、供电、通信、数据中心、预留预埋、开孔开洞等协调, 施工工具、机械准备、临时设施与安全防护设施搭建等工作。

8.2.5 施工组织设计应符合以下规定:

1) 由系统实施单位在完成现场踏勘工作进行;

2) 由施工技术方案、施工组织方案等组成;

3) 施工技术方案包括传感器、数据采集与传输设备、光电缆线路、数据中心、附属设施等的安装和调试方案等;

4) 施工组织方案应包括建设组织规划、建设进度计划、质量、环保措施等;

5) 现场施工应制定专项的安全施工方案, 在开工前做好安全培训, 对施工中可能出现的风险源进行辨识, 并制定详细的风险防控措施。

8.2.6 安装调试应符合以下规定:

1) 传感器、数据采集与传输设备的安装位置应满足设计要求, 传感器应通过可靠方式与被测结构物牢固连接, 并采取适当的措施予以保护;

2) 安装调试过程应依据作业程序和要求开展, 按有关规定准确填写施工记录表, 记录、整理必要的设备编码、安装参数、初始数据和资料等;

3) 对于主体结构施工过程中的预安装传感器, 实施单位应对其进行核查, 对预安装传感器使用功能、完好状况进行评估, 若无法满足要求, 则由原预安装单位对相应传感器采用附着安装的非埋入式传感器进行替代;

4) 光电缆线应与桥梁其他缆线保持必要的距离, 并采取必要的屏蔽措施。光缆敷设弯曲半径应大于光缆外径的 20 倍, 双绞线、同轴电缆、大对数线缆的弯曲半径应大于外径的 15 倍, 接头部位应平直, 避免受力;

5) 光缆接续时应尽量减少接续损耗, 每道工序完成后采用前向双程测试法测量接头损耗, 中断段光纤的平均接头损耗 $\leq 0.05\text{dB}/\text{个}$;

6) 供电、接地、防雷的建设应满足设计及相关规范要求, 当电压波动较大、供电不稳时, 应在供电设备输出端加设交流稳压装置, 稳压后对监测设备进行供电;

7) 系统现场传感器、数据采集设备安装到位后应采集初始值, 监测系统完工后应建立监测基准值;

8) 现场采用焊接方式安装时, 传感器温度应低于其允许的最高使用温度; 采用膨胀螺栓安装时, 应按传感器的技术要求选择螺栓规格, 不得使用塑料胀塞或木楔; 紧固件应采用镀锌

制品或与传感器配套的其他防锈制品；安装过程中不得猛烈敲打、强拉或抛扔传感器；

9) 布设传感器的截面应全桥统一编号，并设置标志牌，标志牌内容应包含截面布设传感器的类型、型号、数量、编号及对应采集设备的编号及通道号；

10) 风向传感器的定北标志方向与正北方的角度偏差应不大于 1.0° ，风速风向传感器中轴应保持竖直，应在避雷措施的有效防护范围内；

11) 温湿度传感器不应安装在空气不流通的桥梁结构或保护装置内的死角处；

12) 基于连通管原理的传感器连通主管、支管应采用抱箍、卡环或定位卡等定位装置可靠地固定在结构物上，应避免在连通管内形成气泡；基准点位置尽量选择在桥梁的稳定墩(台)上方或桥塔上。所有水箱安装高度应高于对应测点最高点。

13) GNSS 天线周围 30° 仰角范围内应无建筑、铁塔等较大的遮挡物，且天线应在避雷针保护范围内；

14) 光电图像位移传感器的光源器件、长焦摄像机与被测结构物牢固连接，光源器件在长焦摄像机中的成像清晰度良好；

15) 预埋式应变传感器宜采用结构钢筋或辅助钢筋进行传感器定位，并在传感器两端、中部分别绑扎牢固；表贴式应变传感器安装应先清除结构表面杂质，并将安装表面打磨光滑；

16) 加速度传感器的敏感主轴方向与设计方向保持一致；

17) 索力传感器的安装基面与所测索孔径方向垂直；

18) 倾角仪轴线与被测试的结构表面的垂直度偏差应不大于 1.0° ；

19) 机柜内设备与机柜的连接牢固，无漏连、虚连现象，铆钉或铆固螺母应排列整齐，无歪头、裂头及松动，铆接面无下凹、变形或破损。

8.2.7 应对附属设施进行设计和界面划分，与其他工程的界面划分应符合下列规定：

1) 主体结构上的预留预埋件、开孔开洞，由专业施工单位负责施工，对局部防腐涂装、安全防护造成的局部损伤应现场及时专业修复；

2) 系统专用的不间断供电接入点应设置专用动力电源柜；

3) 系统的通信光纤接入点应设在监测系统的数据采集机柜内；

4) 传感器的外部接线应整齐、美观，导线应绝缘良好、无损坏，标识应清晰，固定接线的螺栓和螺钉应拧紧，接线张紧程度应适中，不得使硬件内部收到额外应力；

5) 支架焊接不应有漏焊、欠焊、裂纹和咬边等缺陷；在钢筋混凝土构件上安装支架时应避开钢筋进行钻孔；各支架之间的距离应均匀，宜为 $1.5\text{m}\sim 3.0\text{m}$ ；

6) 线管不得有变形和裂缝,其内部应清洁干燥、无毛刺,管口应有保护措施,线管接头的连接应牢靠,无形变损坏。

7) 线缆敷设时强电、弱电应分离,防止信号传输干扰。

8.2.8 综合布线的桥架宜采用热镀锌、不锈钢、铝合金材质的防火槽式桥架,桥架安装拐角处应做顺滑处理,穿线管宜采用包塑金属软管、热镀锌钢管,光电缆的使用寿命应满足设计要求,线缆屏蔽网编织密度应满足使用要求,并符合《综合布线系统工程设计规范》(GB50311)的有关规定。

8.2.9 系统防雷应与桥梁现有主体结构防雷体系连通,考虑区域强电防雷、弱电防雷等电位连接及接地应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB50343)的有关规定。

8.2.10 结合桥址区环境,确定系统供电模式,优先采用市电供应。对无市电供应或市电接入距离较远的桥梁,可配置满足系统供电需求的太阳能、风能及储电装置。桥梁现场应配备电力稳压及储电装置。

8.3 系统软件部分

8.3.1 系统软件应编制软件功能需求说明书,并进行专家论证。

8.3.2 软件系统包含软件开发、软件部署、软件测试。系统开发完成后应由第三方软件测试单位进行软件各功能测试,软件实施工序如下图所示。

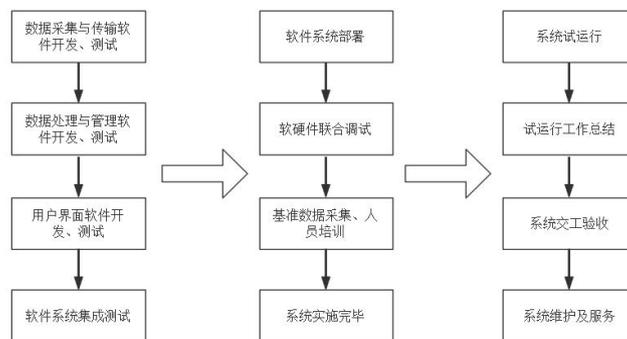


图 27 监测系统软件实施工序

8.3.3 系统设计符合下列规定:

- 1) 各软件模块之间应相对独立、有序融合、方便维护、扩容和升级;
- 2) 软件设计应基于开放性、人性化要求,人机交互友好,操作便捷流畅;
- 3) 数据采集和传输符合下列规定:
 - a) 采集软件宜前置安装运行在桥梁现场采集端设备;
 - b) 应具备各类传感器信号的自动化采集和实时上传功能;

c) 应具备数据采集频率、采集通道、采集参数的自定义设置功能。

4) 数据处理与管理软件符合下列规定:

a) 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;

b) 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;

c) 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;

d) 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;

e) 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。

5) 用户界面软件 (UI) 满足下列要求:

a) 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, 且符合用户特定使用习惯;

b) 宜采用浏览器/服务器 (B/S) 架构, 满足并发访问需求;

c) 应具备高频采样数据的实时动态展示功能, 宜采用图形化方式展示数据;

d) 宜具备相关性分析、对比性分析、趋势性分析等统计分析结果展示功能;

e) 应具备超限管理提醒功能, 提醒方式可采用颜色变化、消息推送、短信提示、声光报警等;

f) 宜具备传感器设备状态自诊断功能, 能够显示设备运行状态信息;

g) 对于有移动访问需求的用户, 宜开发运行在手机、平板上的小程序、App 等应用软件, 功能包含实时数据查看、统计数据查询、超限管理消息推送、车辆荷载监控等;

h) 应具备用户角色管理、权限控制功能, 能够更加用户身份控制系统访问权限。

8.3.4 系统软件开发应符合以下规定:

1) 各单桥系统软件平台的架构及功能尽量保持一致, 应能与省级、部级平台高效衔接;

2) 采用主流的软件开发技术和框架, 软件内部各模块应功能独立, 模块之间耦合性低;

3) 软件编写遵循国际通用编码规范和注释规范, 程序编码风格应简洁易读、结构清晰、易于调试维护;

4) 多方协同开发的软件模块, 需使用软件代码版本控制工具;

5) 系统软件内部不应内置与业务功能无关的后门程序、加密模块;

6) 按照《计算机软件文档编制规范》(GB/T 8567)等计算机软件行业标准要求编写软件开发文档和接口文档;

7) 软件开发时选用的技术路线应包括安全性、可靠性和技术先进性,边缘计算、分布式处理、消息中间件、时序数据库等应做到技术先进可靠。

8.3.5 系统软件测试应符合以下规定:

1) 软件开发完成后由具备相关资质的软件测评单位进行软件测试,测试内容包含单元测试、功能测试、性能测试、集成测试等;

2) 软件测试前应编写测试方案和测试用例,测试流程和内容应符合《计算机软件测试规范》(GB/T 15532)和《计算机软件测试文档编制标准》(GB/T 9386)相关要求;

3) 软件测试完成后由测评单位出具《软件测试报告》,报告应详细描述每个测试用例的测试结果,对于重大功能偏离、缺陷和逻辑错误,需经开发单位修复完善后再次提交测试,最终测试通过率应不低于测试用例总数的95%,软件功能完好率应达到100%。

8.3.6 系统软件部署应符合以下规定:

1) 软件部署前应编制软件部署建设指南,开发过程规范有序,开发完成后各功能完好;

2) 软件现场部署前,服务器、工作站、工控机等硬件安装完毕并接电稳定运行,数据中心网络、供电、通信、照明等应满足设计要求;

3) 操作系统、应用组件、数据库等应用支撑软件的安装和配置应满足软件设计文件的要求;

4) 软件安装和调试分步进行,软件部署完成后大桥现场、数据中心同步功能确认。

8.4 软硬件联合调试

8.4.1 数据采集与传输软件部署完成后与桥梁现场感知设施进行数据采集校验,确保数据输出通道、数据流、方向、精度等与外场设备安装保持一致。

8.4.2 数据处理与管理软件部署完成后,应确保数据接收、处理和存储等功能满足设计文件要求。

8.4.3 软硬件联合调试完成后,用户界面软件各项功能正常,监测数据展示准确,界面数据值、数据精度、数据单位应与设计文件和传感器输出一致。

8.4.4 各软件节点与外场传感器之间的时间同步误差、网络延迟误差、信号噪声量等满足设计文件规定。

8.4.5 系统建设软件功能完好率宜不低于 100%，数据完好率宜不低于 90%。数据完好率可采用公式（1）计算：

$$S = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^p t_i}{P \times T} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

式中：

S——测点数据完好率；

p——故障测点数量；

t_i ——第 i 个故障测点故障时间，单位为天（d）；

P——总测点数量；

T——检查周期时间，单位为天（d）。

9 系统验收

9.1 一般规定

9.1.1 在役桥梁的结构健康监测系统，如多座桥梁为一个合同段，则每座桥梁的结构健康监测系统为一个单位工程，并划分为分部工程和分项工程，系统实施质量验收应按分项工程、分部工程和单位工程逐级进行，单位工程、分部工程、分项工程应按表 30 进行划分。

9.1.2 对于新建桥梁，同步建设桥梁结构健康监测系统的，每座桥梁工程健康监测系统作为一个单位工程，参与整个新建桥梁的验收。

表 30 公路桥梁结构健康监测系统单位、分部、分项工程划分

单位工程	分部工程	分项工程	附录对应表
公路桥梁结构健康监测系统	感知子系统	温湿度监测	附表 D-201
		雨量监测	附表 D-202
		结冰监测	附表 D-203
		车辆荷载监测	附表 D-204
		风速风向监测	附表 D-205
		结构温度监测	附表 D-206
		地震监测	附表 D-207
		位移监测	附表 D-208、附表 D-209、附表 D-210
		倾角监测	附表 D-211
		应变监测	附表 D-212
		索力监控	附表 D-213
		振动监测	附表 D-214
		裂缝监测	附表 D-215
		视频监控	附表 D-216
		
	综合布线子系统	桥架与线管安装	附表 D-301
		线缆敷设	附表 D-302
	采集站与机房子系统	采集站安装	附表 D-401
		机房安装	附表 D-402
	软件测试与部署	软件测试	附表 D-501

		软件部署	附表 D-502
	系统调试	系统单项调试	附表 D-601
		系统联合调试	附表 D-602
	系统试运行	试运行	附表 D-701

条文说明：

同步建设的新建桥梁结构健康监测系统验收时，上表中单位工程、分部工程、分项工程相应作为新建桥梁的分部工程、分项工程及项目，参与整个新建桥梁的验收。

9.1.3 在役桥梁分项工程及新建桥梁项目应按基本要求、检查项目、外观质量和质量保证资料等检验项目分别检查。

9.1.4 基本要求检查应符合下列规定：

- 1) 应对所列基本要求逐项检查，经检查不符合规定时，不得进行工程质量的检验评定；
- 2) 所用的各种设备的型号、规格、数量及质量应符合合同文件、设计文件及有关技术标准规定。

9.1.5 检查项目检验应符合下列规定：

- 1) 应按式（2）计算检查项目合格率：

$$\text{检查项目合格率}(\%) = \frac{\text{合格的点(组)数}}{\text{该检查项目的全部检查点(组)数}} \times 100\% \quad (2)$$

- 2) 进行既有桥梁分项工程或新建桥梁项目质量检验评定时，项目合格率应不低于 100%，否则应进行整修或返工处理直至符合要求后再进行质量检验。

9.1.6 外观质量应进行全面检查，并满足以下规定要求，否则该检验项目为不合格。

- 1) 应对所列外观质量逐项检查，经检查不符合规定时，不得进行工程质量的检验评定。

9.1.7 工程应有真实、准确、齐全、完整的质量保证资料。质量保证资料应包括下列内容：

- 1) 设备或材料的进场报验资料，包括产品说明书、合格证、质保卡及质量检验报告等；
- 2) 设备和软件安装调试记录；
- 3) 实施单位的检验测试记录；
- 4) 实施影像资料；
- 5) 其他应具备的资料，包括施工过程中遇到的非正常情况记录、根据工程实际情况的变更资料等；
- 6) 软件测试报告及软件部署后形成的使用手册及说明书。

9.1.8 在役桥梁分项工程及新建桥梁项目质量检验评定实施单位自检频率为 100%。

9.1.9 工程质量评定等级应分为合格与不合格。

9.1.10 在役桥梁分项工程、分部工程、单位工程质量检验评定及新建桥梁分部工程、分项工程、项目应按本指南附录 D 进行检验与评定；。

9.1.11 在役桥梁分项工程及新建桥梁项目质量评定合格应符合下列规定：

- 1) 基本要求应符合规定；
- 2) 外观质量应满足要求；
- 3) 质量保证资料应完整；
- 4) 检查项目应合格。

9.1.12 在役桥梁分部工程及新建桥梁分项工程质量评定合格应符合下列规定：

- 1) 评定资料应完整；
- 2) 在役桥梁所含分项工程、新建桥梁所含项目评定应合格。

9.1.13 在役桥梁单位工程及新建桥梁分部工程质量评定合格应符合下列规定：

- 1) 评定资料应完整；
- 2) 在役桥梁所含分部工程、新建桥梁所含分项工程评定应合格。

9.1.14 所含单位工程合格，该合同段的工程质量评定为合格；所含合同段的工程质量合格，该工程项目的工程质量评定为合格。

9.1.15 监测系统的传感器设备、材料在进场时应全部检验。

9.1.16 硬件中的数据采集设备和数据传输设备以及监测软件应全部检验。

9.1.17 在役桥梁结构健康监测系统各分项工程、新建桥梁结构健康监测系统各项目质量检验评定应在自检合格后由实施单位报请监理单位（若有）、建设单位或管理单位签认。

9.1.18 在役桥梁结构健康监测系统各分部工程、新建桥梁结构健康监测系统各分项工程质量检验评定应在各分项工程或项目验收完成且合格，提交各类质量检验资料后报请监理单位组织评定，无监理单位时由桥梁建设或管理单位组织评定。评定完成才可进行系统工程交工验收。

9.1.19 对于符合系统验收要求的工程，应根据项目资金来源，由建设单位或行业主管部门组织验收。

9.1.20 系统交付前应进行不低于 3 个月的试运行，试运行期内应开展系统使用培训、功能完善、设备基准值校正、超限阈值设置等工作。

9.1.21 监测系统试运行期结束后，应开展系统验收工作。

9.1.22 监测系统验收应包含系统硬件验收、系统软件验收和资料验收。

9.1.23 土建施工过程中预安装传感器由安装单位依据本指南相关要求进行安装和验收，并向建设单位提交验收资料。

9.2 硬件验收

9.2.1 监测设备及材料的进场验收应按本指南附表 D.1 进行验收，包括资料检查和外观检查，应符合以下规定：

1) 安装设备及材料的名称、数量、规格型号、技术参数等应与合同文件、设计文件及相关技术标准一致；

2) 产品合格证、质保卡、说明书及质量检验报告等应齐全；

3) 外观应完好，无破损、锈迹、裂痕等缺陷，各部分连接牢固，引出线缆无损坏；

4) 铭牌标志、备件和附带技术文件齐全。

9.2.2 感知子系统包含的分项工程实施质量检验评定宜按本指南附表 D.2 进行质量检验评定。

9.2.3 感知子系统包含的分项工程实施质量检验评定应符合下列基本要求：

1) 传感器的型号、规格、数量等应符合设计要求；

2) 线缆应按规范及设计要求连接到位；

3) 传感器安装位置应正确、牢固、端正；

4) 传感器工作状态正常；

5) 布设传感器截面的标识应包括传感器的类型、型号、数量、编号及对应采集设备的编号和通道号，标识应齐全、牢固、清晰。

9.2.4 感知子系统包含的分项工程实施质量检验评定检查项目应符合表 D.2 的规定。

9.2.5 感知子系统包含的分项工程实施质量检验评定外观质量应符合表 D.2 的规定及下列要求：

1) 传感器及保护盒安装牢固，表面光泽一致、无划伤、无剥落、无锈蚀；

2) 表面平整，传感器与结构物接触面紧密；

3) 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。

9.2.6 综合布线子系统包含的分项工程实施质量检验评定宜按本指南附表 D.3 进行质量检验评定。

9.2.7 综合布线子系统包含的分项工程实施质量检验评定应符合下列基本要求：

1) 材料的规格、型号、数量等应符合设计要求；

2) 质量保证资料齐全。

9.2.8 综合布线子系统包含的分项工程实施质量检验评定检查项目应符合表 D.3 的规定。

9.2.9 综合布线子系统包含的分项工程实施质量检验评定外观质量应符合表 D.3 的规定及下列要求：

- 1) 线缆上产品型号、规格等标识清晰；
- 2) 线缆外护套，无伤痕、破损；
- 3) 线缆敷设平直整齐、固定可靠，连接处防水保护措施符合要求；
- 4) 桥架横平竖直排列整齐，连接处对合严密；
- 5) 桥架与支架间连接紧固无遗漏。

9.2.10 采集站与机房子系统包含的分项工程实施质量检验评定宜按本指南附表 D.4 进行质量检验评定。

9.2.11 采集站与机房子系统包含的分项工程实施质量检验评定应符合下列基本要求：

- 1) 设备的规格、型号、数量等符合设计要求；
- 2) 质量保证资料齐全；
- 3) 设备安装环境温度控制满足要求；
- 4) 设备工作状态正常。

9.2.12 采集站与机房子系统包含的分项工程实施质量检验评定检查项目应符合表 D.4 的规定。

9.2.13 采集站与机房子系统包含的分项工程实施质量检验评定外观质量应符合表 D.4 的规定及下列要求：

- 1) 设备安装稳固端正，无伤残痕迹，标识清楚；
- 2) 设备分布合理，裸露金属部分无锈蚀；
- 3) 布线整齐，捆扎牢固，标识清晰；
- 4) 接线安装规范；
- 5) 接地连接可靠，接地引出线无锈蚀。

9.3 软件验收

9.3.1 开展数据采集与传输软件功能完整性和一致性检查，应能正常采集、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求。

9.3.2 开展数据处理与管理软件功能完整性和一致性检查，应能正常接收、处理、存储监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求。

9.3.3 开展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技术要求，静态基础数据、实时监测数据、历史统计数据等各类数据显示准确、齐全。

9.3.4 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技术要求。

9.3.5 系统整体安全性满足设计文件中对于网络信息安全相关技术要求。

9.3.6 软件测试与部署包含的分项工程实施质量检验评定宜按本指南附表 D.5 进行质量检验评定。

9.3.7 软件测试与部署子系统包含的分项工程实施质量检验评定应符合下列基本要求：

- 1) 软件功能符合设计要求；
- 2) 软件各项功能正常；
- 3) 提交的资料齐全。

9.3.8 软件测试与部署包含的分项工程实施质量检验评定检查项目应符合表 D.5 的规定及下列要求：

- 1) 软件部署后环境、接口等设置应符合设计要求且应能正常使用；
- 2) 软件界面布局合理、层次清晰、界面美观，软件窗口、菜单、图标、按钮等元素具有良好的容错能力。

9.3.9 系统调试包含的分项工程实施质量检验评定宜按本指南附表 D.6 进行质量检验评定。

9.3.10 系统调试包含的分项工程实施质量检验评定应符合下列基本要求：

- 1) 系统各项功能符合设计要求；
- 2) 系统工作正常；
- 3) 提交的资料齐全。

9.3.11 系统调试包含的分项工程实施质量检验评定检查项目应符合表 D.6 的规定及下列要求：

1) 电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻应满足产品设计要求。当设计无要求时，用 500V 兆欧表测量时应不小于 5MΩ；60V 以上的直流电源电压波动应不超过 +10%，60V 以下的直流电源电压波动应不超过 +5%；

2) 各传感器采集参数设置应满足设计要求，得到采集指令后，监测系统所有传感器能正常返回数据。且动态同步采集的同步精度应不大于 50ms，静态同步采集的同步精度应不大于 30s；

3) 传感器编号及数据在现场数据库和远程数据库中应相互对应，数据存储精度应不低于传感器的测量精度；各传感器的测量数据应不超过传感器的量程。

9.3.12 系统试运行包含的分项工程实施质量检验评定宜按本指南附表 D.7 进行质量检验评定。

9.3.13 系统试运行包含的分项工程实施质量检验评定应符合下列基本要求：

- 1) 系统运行正常；
- 2) 系统各项功能符合设计要求；
- 3) 提交的资料齐全。

9.3.14 系统试运行包含的分项工程实施质量检验评定检查项目应符合表 D.7 的规定及下列要求：

- 1) 系统设备每月平均无故障工作时间应不小于每月总时长的 95%，系统自动采集数据每日的数据完整率应不小于 90%；
- 2) 监测数据应具有较好的周期性、与环境的相关性，并不得出现明显的系统性偏移；
- 3) 监测数据采集、传输和存储的同步性应符合设计文件的规定。

9.4 资料验收

9.4.1 合同相关资料：批复文件、招标文件、合同谈判纪要、合同协议书等。

9.4.2 实施过程资料：系统设计文件，系统变更资料，设备进场报验资料、监测设备设施安装记录、调试记录、设备设施检验资料、监理资料（质量控制资料）和有关会议纪要等。

9.4.3 技术成果资料：施工图设计文件、实施成果报告、系统试运行报告、硬件维护手册、软件操作手册、系统竣工图等。

9.4.4 验收资料应包含系统实施全过程，施工图设计文件宜按本指南附录 A 编制，部分实施过程工作表宜按本指南附录 D 填写，验收资料清单如下表所示：

表 31 公路桥梁结构健康监测系统验收资料清单

序号	验收资料	资料内容
1	合同相关资料	批复文件、招标文件、合同谈判纪要、合同协议书等
2	工程开工报告	开工申请批复文件、工程开工令等
3	实施安全技术交底	系统实施过程中硬件安装、软件开发安全技术交底
4	设备进场自检、验收记录表	所有硬件设施进场自检、报验资料
5	设备安装验收记录表	所有硬件设施安装自检、验收资料
6	设备产品说明书、合格证及质量检验报告等	所有传感器设备产品技术资料
7	实施方案	施工组织设计、交通组织方案、应急预案等

序号	验收资料	资料内容
8	系统变更资料	根据现场实际变更编制设计变更资料
9	软件部署、测试、调试自检、验收记录表	软件实施过程中的自检、验收记录表
10	硬件设施施工日志	硬件安装过程中的施工日志
11	软件开发与调试工作日志	软件实施过程中的工作日志
12	有关会议通知及会议纪要	实施过程中相关会议通知及会议纪要
13	施工图设计文件	系统硬件设计、系统软件设计、系统配套工程设计、结构计算分析等
14	实施总结报告	硬件及软件安装总结，质量、进度、安全控制效果，合同履行情况及后续运维计划等
15	系统试运行报告	试运行期间系统运行及工作总结、监测数据分析等
16	硬件维护手册	系统测点布设、传感器型号、编号、数量、连接方式、巡查维护、故障处理等
17	软件操作手册	软件架构、软件各模块功能描述、软件维护等
18	系统竣工图纸	根据系统实施实际情况编制系统竣工图，包括关键监测参数阈值分析等

10 系统运维

10.1 一般规定

10.1.1 应合理制订系统运维计划，建立设备维护台账、备品备件清单、列支系统年度维护（含备品备件）费用，监测系统养护应符合 JTG/T 5122 的相关规定。

10.1.2 系统运维内容应包含硬件设施和软件系统的日常检查、定期（专项）维护和应急维护。

10.1.3 桥梁结构监测应贯穿桥梁结构运营期，在正常维护和更换条件下，监测系统硬件、系统软件的更换与升级应保障监测数据的衔接与分析的连续性。

10.2 硬件运维工作

10.2.1 硬件设施日常检查

- 1) 日常检查宜结合桥梁日常巡查工作开展；
- 2) 日常检查应对监测设备的表观完好性及稳固性进行检查并记录；
- 3) 对监测数据以及数据中心设备运行状态进行检查并记录；
- 4) 巡查中发现的问题或系统软件反馈的问题，应及时处置并记录。

10.2.2 硬件设施定期（专项）维护和应急维护

- 1) 宜不低于每半年开展 1 次定期维护；
- 2) 强（台）风、超限车辆过桥等可预见的特殊事件发生前，应对系统开展专项维护；
- 3) 对监测传感器、采集设备等表观完好性开展检查；对设备及防护罩的固定情况以及传感器、采集设备与传输线路的接头紧固情况进行检查；
- 4) 对现场采集站、监控中心内等易受灰尘影响的设备及机柜进行除尘处理；
- 5) 对基于连通管原理的设备的液位情况进行检查，定期补充至设计液位；
- 6) 对维护发现的问题 24h 内快速响应并及时处置。

10.3 软件运维工作

10.3.1 软件系统日常检查

- 1) 宜至少每周 1 次日常检查；
- 2) 日常检查内容包括软件模块功能工作状态检查、实时数据及历史数据检查、超限数据检查确认等；
- 3) 软件系统日常检查应在系统不停机状态下开展，确需停机维护操作的，应在系统访问低谷时间段开展。

10.3.2 软件系统定期（专项）维护

- 1) 宜每月至少开展 1 次定期维护；
- 2) 软件定期维护内容包括软件系统时间同步检查、磁盘存储空间检查及清理、数据异地备份及软件运行日志检查等；
- 3) 对于有配置参数修改、更正的维护操作，应提前做好备份，并在维护完成后做好日志记录。

10.3.3 软件系统应急维护

- 1) 软件应急维护内容宜包括软件模块崩溃恢复、功能异常修复和数据异常更正等；
- 2) 发现软件功能故障时，应及时进行确认和处治；
- 3) 对于非软件因素造成的数据异常或中断等，应联合硬件维护人员进行排查、修复并做好维护记录。

10.3.4 软件运维工作应根据工作要求加强软件自检功能，保证系统的正常运维。

10.4 档案资料管理工作

10.4.1 档案资料收集的范围应包括实施过程资料、技术成果资料、合同相关资料、分析报告及运维资料等，且应保证档案资料的齐全性、规范性和一致性，对于不符合相关要求的资料应返工整理。

10.4.2 档案资料应按门类和载体进行科学的分类、排列、编号。档案管理人员要定期对档案的保管状况进行检查，对破损或变质的档案应及时修补或复制。

10.4.3 应对档案的收进、移除、保管、利用等情况进行登记和统计，并编制档案工作基本情况统计报表。

10.4.4 应当做好档案防火、防盗、防紫外线、防有害生物、防水、防潮、防尘、防高温、防污染等防护工作。

10.4.5 应当积极做好档案资料利用工作，建立健全档案资料利用及保密制度，根据档案的密级、内容和利用方式，规定不同的利用权限、范围。

10.4.6 宜加强档案信息化工作，建立档案数字化常态机制，统筹传统载体档案数字化、电子文件归档与电子档案管理工作。

10.5 运维工作流程及职责

10.5.1 桥梁结构健康监测系统维护单位：负责对维护期内的系统硬件、软件和数据进行管理，对维护过程中发现的异常及时向管理部门进行汇报。

10.5.2 桥梁养护站：负责桥梁结构健康监测系统的日常巡查工作，在巡查过程中需关注桥梁结构健康监测系统有无明显的损坏情况；配合维护单位完成现场应急巡查工作；负责接收维护单位提出的系统问题和维护建议；对维护单位提出的异常情况进行复核，并制定维修处置方案。

10.5.3 桥梁管养单位：负责组织专业人员对维护单位和桥梁养护站提出的处置意见进行研究、回复；负责接收桥梁养护站上报的系统问题和维护建议；负责接收维护单位提交的系统运维分析报告。

10.5.4 建设单位：负责审核养护单位上报的有疑问的系统运维分析报告，并委派专业技术人员协助解决桥梁营运过程中的技术问题；负责系统维护过程中的项目管理工作；对维护过程中出现的重大危险源和影响结构物安全的异常情况，组织相关部门完成应急处置工作。

10.5.5 传感器损坏维护流程：所有的传感器及保护辅材的固定都使用不锈钢螺丝，螺丝规格尽量统一，传感器附近或保护盒上做长期可辨的标识。当传感器损坏，维护人员根据《硬件维护手册》迅速确定更换方案，从健康监测维护库配备好传感器及维护工具，赶赴现场对传感器进行更换。

10.5.6 传输线缆损坏维护流程：传输线缆两端都做有标识。当传输线缆损坏，维护人员从健康监测维护库配备好更换线缆、临时传输线缆及维护工具，赶赴现场。先用临时传输线缆将传输线缆损坏传感器和采集设备连接，保证数据正常采集。再将更换线缆替换掉损坏线缆，做好标识。传感器和采集设备改用更换好的线缆连接，回收临时传输线缆和损坏线缆。

10.5.7 数据采集子站损坏维护流程：采集站内设备损坏时，维护人员从健康监测维护库配备好维护工具，赶赴现场，小件设备由维护人员带到现场，大件设备由厂家发到现场，维护人员对损坏设备进行更换。

10.5.8 数据传输设备及线缆损坏维护流程：数据传输设备损坏维护流程同数据采集子站维护流程。在系统建设时，应预留无线通信接口，当数据传输线缆损坏时，会临时改为无线传输数据，直到实施单位将数据传输线缆修复。

10.5.9 软件故障维护流程：

1) 如发生数据中断，依次查看相应的采集软件，数据库访问，如果是采集软件发生异常，则及时重启采集软件，恢复数据采集。如果是数据库访问异常，则重启数据库服务，恢复数据库正常访问；

2) 如发生监测平台无法访问，查明服务器上相应的服务是否发生异常，如发生异常，则及时重启相关服务，恢复平台数据访问。

10.5.10 监测系统断电维护流程：

- 1) 查明监测系统断电原因，及时修复，恢复供电；
- 2) 紧急情况下，可使用发电机对监测系统临时供电。

10.5.11 监测系统断网维护流程：

- 1) 查明监测系统断网原因，逐级排查网络节点，及时修复，恢复监测系统通信网络；
- 2) 紧急情况下，人工采集并处理监测数据，或临时采用无线传输方式处理监测数据。

10.5.12 桥梁结构性能异常维护流程：

- 1) 及时通知桥梁管理部门，进行现场检查和确认；
- 2) 经现场确认，视病害的严重程度建议建设单位进行相应的交通管制措施；
- 3) 根据病害情况，建议业主单位对桥梁进行维护处治，若属于大修工程，建议业主委托专业桥梁加固和设计单位，进行专项设计和加固处治；
- 4) 在桥梁加固处治期间，加强对监测系统的值守。若出现结构受力状况进一步恶化，及时通知业主，防止因施工措施不当等原因造成结构进一步损伤；
- 5) 桥梁加固处治完毕，提供监测报告，对加固前后的监测数据进行对比分析，为业主评价加固处治效果提供依据。

11.数据分析与管理

11.1 一般规定

11.1.1 监测数据应客观真实、准确可靠的显示监测项目各测点传感器的实时数据。

11.1.2 监测数据宜采用分布式存储、大数据分析、多源数据整合等技术进行存储、管理和应用。

11.1.3 监测系统应采取措施减少因信号噪声、信号衰减、传感器误差等因素造成的数据失真，提高数据的可靠完整性。

11.1.4 动态监测数据应制定数据采集传输接口标准，静态数据应编制数据字典。

11.1.5 监测数据处理应剔除错误数据，提取反映监测内容的有效特征数据。

11.1.6 监测应用应包括但不限于：监测数据分析、超限阈值与报警、车辆通行管控建议、检查指引、健康度评估、特殊事件应急管理。

11.1.7 监测数据分析应支撑监测应用，可结合养护管理等系统的数据开展。

11.1.8 系统数据管理应包含数据编码、数据预处理、数据存储、数据交互与共享、数据安全。

11.1.9 系统的结构化数据应包括桥梁基础数据、监测数据、特征值数据、超限值数据，非结构化数据可包括图像、音视频及文本。

11.1.10 数据管理应具备存储展示、搜索查询、报表生成等功能。

11.1.11 当根据 JTG/T H21、JTG 5120-2021、JTG/T 5122-2021 确定的桥梁技术状况、适应性评定结果与本指南得到的结构健康度评估结果不同时，可选用最不利评估结果。

11.2 数据格式

11.2.1 监测数据分类

1) 按数据类型划分，监测数据宜分为桥梁基础数据、应急事件数据、监测点属性数据等业务类数据，以及实时监测数据、历史特征数据、车辆荷载数据、视频监控数据等监测类数据；

2) 按监测类别划分，监测数据宜分为环境类监测数据、作用类监测数据、响应类监测数据和变化类监测数据。

11.2.2 监测数据编码规则

1) 监测数据编码按照层级分类原则进行,按层级划分由5个层级构成,一个层级一个层级来编制,最终组合成数据分类编号,不局限于编码的长度等信息,可每一桥型、每一部件进行编码,为便于区分,在数据标准中用‘-’隔开,层级分类框架如下表所示:

表 32 数据编号层级分类框架表

序号	层级分级	层级内容	内容
1	第一层级	基本信息	包括工程所处阶段、路线编号、施工标段、管养单位、主线/匝道类别、桥梁名称、结构类型、桥位桩号编码等
2	第二层级	表征关键数据采集的位置,能够进行溯源关键数据采集的位置	空间位置、构件编码等;监测数据类别简称、传感器所在构件类型编码及截面序号、构件编码等
3	第三层级	表征关键参数类别的编码,能够反映出关键参数的类型	主要包含不同时期施工工艺类别、所属工程类型等
4	第四层级	表征关键数据参数特征、属性等信息的编码	主要是关键数据编码
5	第五层级	扩展部分,对一些特殊数据参数可进行扩展以确定其唯一性	主要包括顺序号及其他表征关键参数特征编码,如检测批次等。

2) 第一层级为基本信息,主要包括工程所处阶段、路线编号、施工标段、管养单位、主线/匝道类别、桥梁名称、结构类型编码、桥位桩号等,编码规则见下表所示:

表 33 数据编号第一层级编码规则表

序号	类型	规则	示例
1	工程所处阶段	分为建设阶段(JS)、运营阶段(YY)	
2	路线编号	5位字符:运营阶段以公布路线编号为准,建设阶段路线编号取建设期道路名称的关键字中文首字母标识,编号不足5位,在前面补0	兰海高速:00G75; 六安高速:0LAGS
3	施工标段编码	4位字符:TJ+标段顺序号	土建1标:TJ01
	管养单位编码	一般不超6位字符,取管养单位名称的关键字中文首字母标识	坝陵河桥隧站: BLHQSZ
4	主线/匝道类别编码	主线:ZX;匝道:ZD	
5	结构类型编码	一般2位字符;详见表34桥梁结构类型编码	
6	桥位桩号	道路上行为右幅,下行为左幅,左幅:ZK;右幅:YK;整幅:K;匝道:AK-ZK;0001-9999,表示千米桩号;001-999,表示米桩号	YK1520+520:上行桩号为K1520+520m
7	桥梁名称编码	一般不超6位字符,取桥梁名称的关键字中文首字母标识	华竹山大桥:HZSDQ

表 34 桥梁结构类型编码组成表

序号	桥梁类型	细分类型		代码
1	梁式桥	混凝土梁式桥	预制“T”梁桥	YT
2			预制箱梁桥	YX
3			预制空心板桥	YK
4			连续刚构桥	GG
5			现浇梁桥	XJ
6			钢筋混凝土梁桥（非预应力）	HL
6		钢结构梁式桥		GL
7	拱式桥	箱拱桥		XG
8		肋拱桥		LG
9		钢-混凝土组合拱桥	上承式钢管混凝土拱桥	SC
10			中承式钢管混凝土拱桥	ZC
11			下承式钢管混凝土拱桥	XC
12	索结构桥	斜拉桥		XL
13		悬索桥		XS

第一层级编码规则示意：工程所处阶段-路线编号-施工标段编码-主线/匝道编码-结构类型编码-中心桩号-桥名编码；

如：YY-00G75-KYQSZ-ZX-GG-YK0620+100-YCHDQ 表示运营期 G75 兰海高速复现开阳桥隧站辖段主线桥梁桩号 YK0620+100 银厂河大桥；

3) 第二层级为表征关键数据采集的位置，能够进行溯源关键数据采集的位置，包括监测数据类别简称、传感器所在构件类型编码及截面序号、构件编码等信息；

表 35 数据编号第二层级编码规则表

序号	类型	规则		示例
1	监测数据类别简称	环境	环境温度：TRS	
			环境湿度：RHS	

序号	类型	规则	示例			
		结冰: FRZ				
		车辆荷载: HSD				
		风速、风向: UAN				
		结构温度: TMP				
		船舶撞击: VID				
		地震: VIE				
		位移: DIS				
		应变: RSG				
		支座: STF				
		振动: VIB				
		基础冲刷: SCO				
		桥墩沉降: AND				
		裂缝: CRK				
		腐蚀: COR				
		预应力: STR				
		螺栓状态: BTF				
		2		传感器所在构件类型编码	梁结构: G; 塔结构: T; 墩结构: P; 拱结构: A; 索结构: C; 锚室: M; 支座: B; 伸缩缝: E	
		3		截面序号	截面序号由两位阿拉伯数字组成, 不足两位前序补 0	
4	构件编码	按照桥梁构件进行编制, 能够确定桥梁构件的唯一性, 梁式桥参考附件: 构件编码规则	009-D3: 9 号墩大 桩号侧第 3 个节段			

第二层级编码示意: 监测数据类别简称编码-传感器所在构件类型编码-截面序号-构件编码

如: VIB-G05-009-D3 表示梁结构第 5 号截面 9 号墩大桩号侧第 3 个节段振动监测项;

4) 第三层级为主要包含施工工艺类别、所属工程类型等, 能够进行溯源关键数据采集的位置;

表 36 数据编号第三层级编码规则表

序号	类型	规则	示例
5	健康监测数据	测点编号，由 2 位阿拉伯数字表示，不足 2 位，前序补 0	03：第 3 监测点

第三层级编码示意：分类编码-分部编码-分项编码；

如：VIB-G05-009-D3-02 表示梁结构第 5 号截面 9 号墩大桩号侧第 3 个节段振动监测项第 2 监测点；

5) 第四层级为表征关键数据参数特征、属性等信息的编码，主要是关键数据编码，一般取取关键数据名称的关键字中文首字母标识，如主梁竖向振动加速度值：LSXZD；

6) 第五层级为扩展部分，对一些特殊数据参数可进行扩展以确定其唯一性，主要包括顺序号及其他表征关键参数特征编码；

7) 数据编码规则示例：

YY-00G75-KYQSZ-ZX-GG-YK0620+100-YCHDQ-VIB-G05-009-D4-02-JC-LSXCD

表示运营期 G75 兰海高速复现开阳桥隧站辖段主线桥梁桩号 YK0620+100 银厂河大桥右幅上部结构 9 号墩大桩号侧第 4 个节段健康监测第 5 号截面第 2 个测点主梁竖向振动加速度数据；

8) 实时监测数据应包含测点编号、数据采集时间、当前值、数据状态等信息；

9) 应将实时监测数据按照一定的时间间隔降采样统计为特征值数据，包含最大值、最小值、平均值、RMS 均方根值等统计方式，特征值统计时间间隔应可自定义配置；

10) 超限报警数据应记录测点编号、超限级别、超限值、超限时间等信息，超限级别划分应与本指南中明确的报警级别保持一致；

11) 视频监控数据应以视频媒体文件形式压缩存储，每个视频文件应对应存储其属性信息，包含摄像头编号、采样分辨率、采集起止时间、摄像机方向、工作状态等信息。

条文说明：

为保证国家公路基础数据库建设工作，系统内监测数据编码应与《公路数据库编目编码规则》（JT/T132）编码规则建立映射关系。

11.2.3 监测系统宜具备与外部系统进行数据交互与共享功能，数据传输协议应符合 JT/T 1037 的相关规定。

11.2.4 监测系统接入企业级、省级监测平台和部级数据平台时，宜采用基于 IP Sec 协议或 SSL 协议建立 VPN 专用网络连接，并需满足省部级平台对于网络安全等级保护的基本要求。

11.3 数据处理

11.3.1 监测系统软件应能够接收并解析桥梁现场发送的各类监测数据，并具备数据预处理、二次处理、特征值提取以及数据持久化存储功能。

11.3.2 系统软件宜能够通过可视化界面远程进行数据处理参数设置。

11.3.3 应针对不同的监测项设计对应的处理方法，对数据进行滤波、特征提取、数据解耦、转换与统计等处理。

11.3.4 宜采用人工智能、深度学习等先进技术对数据质量诊断、大跨悬索桥涡振、拉索/吊索异常振动等开展数据分析处理研究。

11.3.5 应将先进的、适用的结构分析算法集成到监测系统中，深入分析、挖掘数据，实现数据分析和预警的自动化。

11.3.6 应明确定义处理后监测数据的数据单位、数据方向、数据精度。

11.3.7 数据处理宜采用多线程、分布式并行计算、Redis 等技术提升数据处理和存取效率，最大限度提升数据处理时效性。

11.3.8 数据采集设备内置的数据预处理功能应与传感器的分辨率、精度、抗电磁干扰等性能相匹配，应剔除错误数据并将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，并宜符合 GB/T 38637.2 的相关规定。

11.3.9 传感器感知的信号应进行调理、预处理、原始监测数据信号选择对应的处理算法，宜采用阈值法、平均值法以及其他滤波算法。

11.3.10 数据异构转换应支持感知控制设备或系统通信协议，支持解析指定的感知数据包和控制数据包，支持通过协议转换模块进行数据结构转换，实现感知控制设备与网关或系统之间数据互通。

11.3.11 从数据源中提取数据应支持全量抽取、增量抽取、基于日志抽取等抽取模式，可支持地理空间信息数据的抽取，支持数据抽取格式和流程的自定义配置。

11.3.12 对图像、音频、视频及文本非结构数据特征抽取应符合 GB/T 32630 的相关规定。

11.4 数据存储

11.4.1 宜采用数据库技术对结构化数据进行存储，并能以数据接口形式对外提供数据调用和查询功能。

11.4.2 数据库设计应遵循技术先进、架构合理的设计原则，宜按照不同的数据类型和功能进行分类存储管理。

11.4.3 宜按照监测系统功能模块和业务类型划分为桥梁结构信息数据库、监测系统信息数据库、结构有限元模型数据库、实时数据库、数据分析数据库、监测应用数据库等专项数据库。

条文说明:

数据库指的是长期储存在计算机内的、有组织的、可共享的数据集合。桥梁结构信息数据库主要内容包含桥梁概况、历史检查记录等；监测系统信息数据库主要内容包含监测系统概况、监测内容、测点布设位置、传感器设备等；结构有限元模型数据库主要内容为结构有限元分析计算结果等；实时数据库只要内容为实时监测数据、视频监控数据等；数据分析数据库主要内容为统计分析、相关性分析、趋势性分析等；监测应用数据库主要内容为分析报告、超限阈值与报警、检查建议、特殊事件应急管理。

11.4.4 应考虑数据量增长对于数据存取的压力，基于数据安全和存取效率，宜探索采用读写分离、视图机制、分布式存储、时序数据库等方式。

11.4.5 对于视频、图片、文档等非结构化数据，应设计完整的存入、检索、导出功能，设置适宜存储资源进行存储管理，不同数据类型应分类建立单独的存储目录结构。

11.4.6 应提供参数配置功能，能够对各类监测数据的配置参数、处理频率、输出数据格式等进行自定义设置、修改。

11.4.7 宜具备数据备份和故障恢复功能，并设置灾备机制对关键数据进行定期异地备份，对于故障支持自动和手工操作进行故障恢复。

11.4.8 对监测系统采集的各类数据应根据其重要程度、使用频率和数据量大小进行分级分类存储管理，存储方式宜分为在线存储和离线存储。

11.4.9 桥梁现场数据采集站内宜安装采集计算机，采用循环更新存储方式。在网络中断情况下，现场本地数据存储空间结构化原始数据应大于等于 90d，非结构化视频图像数据应大于等于 30d。

11.4.10 监控中心计算机机房实时监测数据存储时间大于 5 年。经处理后的特征数据、超限报警、评估结果等结构化数据存储时间宜大于 20 年。

11.4.11 监控中心计算机机房非结构化视频数据存储宜大于 90 天，特殊事件视频数据应转移备份并永久保存。

11.4.12 可考虑租用云服务商提供的云存储方式，云存储方案应综合考虑网络带宽、数据安全、存储容量等要求，确保满足应用要求。

11.4.13 监测系统数据存储宜具备容灾备份机制，并具备数据压缩存储和异地备份功能，对关键数据宜定期进行异地备份。

11.4.14 数据安全应包含数据完整性、数据加密、数据访问权限控制和数据可审计性。

11.4.15 数据完整性应包含数据传输完整性和数据存储完整性,并符合下列规定：

1) 数据传输完整性宜符合 GB/T 37025 的相关规定；

2) 应采用封装签名、测试字验证、引用约束等方式保证数据存储完整性,并提供非完整数据的解决措施。

11.4.16 对监测系统敏感字段或业务数据应加密存储。

11.4.17 通过公网传输监测数据时，应根据管理要求进行加密传输，加密过程应使用国家密码管理部门批准使用的算法。

11.4.18 数据审计应具备监测记录外部用户访问监测数据行为的功能。

11.4.19 监测系统应具备数据访问权限控制功能，能够对用户访问权限进行分级管理。

11.5 系统安全

11.5.1 应建立网络安全应急工作机制，对系统信息安全实行分级管理。

11.5.2 宜明确系统安全保护等级要求，可从物理层、网络层、应用层、系统层等方面构建多层次网络安全防护体系。

11.5.3 监控中心应建立物理安全保障措施，宜配备消防设施、防雷击和电磁干扰设备、视频安防和门禁系统，并配备恒温空调和 UPS 设备。

11.5.4 监控中心网络应按照功能划分安全域，宜分为数据存储域、数据处理域、应用服务域和工作域，且各安全域之间能够进行隔离。

11.5.5 应采用防火墙技术实现核心应用层与互联网之间的安全阻断与隔离，各应用服务器采取安全防护措施以阻断木马程序、病毒的传播。

11.5.6 各应用服务器、工作站应安装防病毒软件、日志系统、安全审计模块等。

11.5.7 系统数据库应采用用户标识和鉴定、数据存取控制、数据库审计、异地备份等技术保证数据存取安全。

11.5.8 系统软件应具备下列安全功能：用户角色管理、权限控制功能；用户登录密码复杂性校验功能，并定期提示用户更换密码；安全加密和分级授权功能；日志记录功能。

11.5.9 采用云服务技术的监测系统应符合 GB/T31167 、GB/T31168 的相关规定。

11.6 数据分析、评估

11.6.1 应分析环境、作用、结构响应和结构变化监测数据，并宜结合桥梁养护的经常检查、定期检查与特殊检查数据。

11.6.2 监测数据分析应剔除错误数据，监测数据分析方法可采用统计分析、相关性分析、趋势性分析、比对性分析、机器学习，也可采用其他可靠方法。

11.6.3 监测数据分析样本时长，宜根据监测内容的特征确定。

11.6.4 环境监测数据分析符合下列规定：

1) 温度监测数据应分析最高温度、最低温度、最大温差等，宜用于温度作用与效应分析；

2) 湿度监测数据应分析最大值、平均值和超限持续时间等；宜分析湿度时空分布以及单个测点湿度与累积持续时间的统计直方图。监测结果可反馈桥梁相关部件附属机电设备（如除湿机）工作效率，用于针对性检查，指导管养，也可用于耐久性研究；

3) 雨量监测数据宜分析 10min 平均降雨量，结合风速风向、拉索振动数据，分析斜拉索的风雨激振；

4) 桥面、缆、索、吊杆结冰超声波监测和视频监测数据宜分析结冰位置、范围和程度，指导车辆通行管控、桥面及构件除冰。

11.6.5 作用监测数据分析符合下列规定：

1) 车辆荷载监测数据应分析车流量、轴重、车重，超载车数量、车重、轴重和时间，宜分析年极值、车辆疲劳荷载谱和荷载校验系数，可用于超载车辆管控、车流量预测、实测车辆荷载作用下的疲劳评估，可用于研究结构刚度长期退化规律；

2) 风速风向监测数据应分析 10min 平均风速、风向和风玫瑰图，风速风向平均方法应采用矢量平均法；风压监测数据宜分析 10min 平均风压和均方根值，可用于实桥风效应分析，指导车辆通行管控；

3) 结构温度监测数据应分析温度最大值、最小值、最大梯度和年极值，可用于研究温度作用下构件和结构的温度场分布和温度作用下长期性能分析，还可应用于其他监测内容的温度补偿。桥面铺装层温度可用于高温预警，辅助管养决策。

11.6.6 结构响应监测数据分析符合下列规定：

1) 主梁竖向和横向位移、塔顶和主缆偏位、高墩墩顶位移和拱顶位移监测数据应分析平均值、绝对最大值、均方根值及其随时间变化规律；支座位移和梁端纵向位移应分析平均值、绝对最大值、均方根值和绝对值累积量；应分析主梁下挠、塔顶和主缆及主拱偏位、桥

墩沉降等趋势,以判断结构整体、构件位移超限情况及异常变化、是否出现影响结构安全的持续变形趋势,评估结构安全状态,指导桥梁构件检查和维修加固决策;

2) 塔顶截面倾角、梁端水平和竖向转角监测数据应分析平均值、绝对最大值、均方根值及其随时间变化规律,宜与位移数据进行对比较核,判断桥梁部件、构件倾斜情况,分析桥塔变形规律,判断伸缩缝和支座工作状态;

3) 主梁关键截面应变监测数据应分析平均值、绝对最大值,索塔、主拱关键截面应变监测数据应分析平均值、绝对最大值;

4) 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)等索力监测数据应分析平均值、最大值、最小值、均方根值及其随时间变化趋势,悬索桥锚跨索股力和拱桥系杆索力监测数据应分析最大值、最小值和变化趋势;监测索力宜与成桥索力、设计值、破断索力以及定期检测索力进行对比分析;

5) 主梁竖向横向纵向、塔顶水平双向、悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、梁桥桥墩顶部纵向和横向、拱桥主拱和吊杆(索)振动监测数据应分析绝对最大值、均方根值、频谱分析等。

11.6.7 变化监测数据分析符合下列规定:

1) 桥墩基础冲刷监测数据宜分析冲刷深度最大值、冲刷范围;

2) 主缆锚碇位移、拱脚位移监测数据应分析其是否发生变化;

3) 混凝土结构和钢结构裂缝监测数据宜分析裂缝长度、宽度、数量、位置及其随时间变化规律,可分析裂缝与环境、作用和结构构造的相关性;

4) 墩身、承台混凝土腐蚀监测数据,宜分析氯离子浓度、侵蚀深度最大值、最小值、梯度及其变化趋势;

5) 悬索桥主缆和吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)和系杆断丝监测数据宜分析断丝位置和程度;

6) 索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力和螺栓滑脱监测数据宜分析数量、位置、程度和变化趋势;

7) 索夹滑移监测数据宜分析数量、程度和变化趋势;

8) 体外预应力监测数据宜分析其预应力变化程度和趋势。

11.6.8 宜分析不同类型监测内容之间、相同类型监测内容之间数据相关性,包括环境、作用与结构响应、结构变化之间的相关性,不同构件、测点的结构响应、结构变化之间的相关性等,进行相关性分析的测点可根据桥梁力学分析选择。

11.6.9 对于环境特别复杂或结构形式特殊的桥梁，建议采用多种形式的分析方法，以得到更为精准的、多维度的分析结论，包括但不限于以下分析方法。

表 37 监测数据分析方法

数据分析类型	数据分析方法	备注
相关性分析	皮尔逊相关系数法	衡量变量之间线性关系强弱的统计量，可以反映出两个变量之间的相关程度，对于建立模型、分析数据和预测趋势具有重要意义
	机器学习	通过分析特征之间的相关性,可以更加准确地选择具有高预测能力和独立性的特征,从而提高特征选择的效果和结果
模态参数分析	实时在线桥梁模态参数自动识别	实现集数据采集、传输和分析一体化的模态参数自动识别系统框架，通过建立数据解析过程，保证实时在线模态识别的数据获取，并通过动态可变滑动数据窗，保证在线自动识别的实时性
车辆荷载分析	荷载校验系数法	可用于超载车辆管控、车流量预测、实测车辆荷载作用下的疲劳评估，可用于研究结构刚度长期退化规律
结构响应疲劳损伤指数	雨流法	通过雨流法计算主梁累积损伤指数，评估主梁疲劳损伤状态

11.6.10 桥梁结构响应受到环境和运行条件变化的影响，它可能掩盖由于结构损伤引起的结构响应及自身特性的变化，因此建立应变、位移等结构响应与温度、风和交通荷载特征量之间的相关性模型，对于损伤识别是十分重要的。

11.6.11 系统的关联性不仅表现在内部子系统之间的相关性、子系统与整体之间的相关性，也表现在桥梁系统与外界环境的相互作用，一般来说，桥梁结构中各类参数之间的关联有以下几类：

- 1) 环境关联性：外部环境对测点传感器影响最大；
- 2) 结构关联性：系统由不同的子系统构成，位于不同的子系统上的结构参数之间的关联性也不同；
- 3) 位置关联性：同一系统中位置相近的传感器表现更强的关联性；
- 4) 时间相关性：各测点在同一时刻测得的数据关联度会比较大，这些数据表现出在时间上的关联性；
- 5) 类别关联性：系统中有不同类别的测试参数，系统测点之间的关联性是多种多样的，测点之间可能存在多种关联性，而且这种关联性可能会发生一定的变化。

表 38 参数关联性分析建议表

分类	变量	因变量
环境关联	环境温度、结构温度	主梁竖向位移
		支座位移
		梁端纵向位移
		结构裂缝
	环境湿度	结构腐蚀
	风速风向	横向位移
	车辆荷载	结构变化
结构关联	塔顶偏位	索塔根部应变
	主梁竖向位移	梁端纵向位移
	梁端转角	支座位移
		梁端纵向位移
	上承式拱桥高立柱转角	主梁纵向位移
	索力	主梁竖向位移

11.6.12 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 39 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	a) 中所列监测数据无超限	b) 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	a) 中所列监测数据超限等级一级	除锚碇位移之外, b) 中所列其他监测数据与分析结果超限等级仅有 1 项为二级, 无三级
III 中等异常	a) 中所列监测数据超限等级二级	b) 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; 当锚碇位移出现一项或以上二级; 或多项构件健康度中等异常
IV 严重异常	a) 中所列监测数据超限等级三级	b) 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
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:		
a) 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、索力、支座反力、索振动、裂缝、断丝、螺栓状态、索夹滑移、疲劳等监测数据。		
b) 结构整体健康度表征评估参数: 采用主梁竖向位移和横向位移、塔顶偏位、主缆偏位、支座位移、高		

健康度等级	结构构件	结构整体
墩墩顶位移、锚碇位移、拱脚位移、基础冲刷深度、锚跨索股力、预应力、主梁振动等监测数据，以及塔顶或主缆或主拱永久偏位、主梁持续下挠、桥墩沉降、索力基准值变化、剔除环境影响的桥梁主要频率变化等分析结果。		

11.6.12 当构件健康度或结构整体健康度为Ⅲ级中等异常或Ⅳ级严重异常时，应进行专家研判。

12 监测应用

12.1 一般规定

12.1.1 监测数据分析应定期形成分析报告，宜采用季报、年报和特殊事件专项报告。

12.1.2 监测数据分析应支撑监测应用，可结合养护管理等系统的数据开展。

12.2 阈值分析及报警

12.2.1 超限阈值应分为三级，当监测数据超过各级超限阈值时，宜同步报警。报警类别分环境报警、作用报警、结构响应报警、结构变化报警、主梁涡振报警和监测数据分析结果报警。

12.2.2 各级超限阈值确定符合下列规定：

1) 超限阈值宜根据监测内容历史统计值、材料允许值、仿真计算值、设计值和规范容许值设定，并宜考虑车辆通行管控建议、检查指引、健康度评估、特殊事件应急管理监测应用需求；

2) 超限阈值可根据桥梁健康度和技术状况进行调整。

表 40 超限报警阈值设定表

报警类别	报警内容	超限阈值 ^a	超限级别	桥梁类别			
				悬索桥	斜拉桥	梁桥	拱桥
环境	最高温度、最低温度、最大温差	设计值	一级	●	●	●	●
		达到 1.2 倍设计值	二级	●	●	●	●
	构件封闭空间内相对湿度 ^b	达到 50%	一级	●	●	●	●
	结冰	出现结冰	一级	●	●	●	●
作用	车辆总重或轴重	达到 1.5 倍设计车辆荷载	一级	●	●	●	●
		达到 2.0 倍设计车辆荷载	二级	●	●	●	●
	风速、风向	桥面 10 min 平均风速达到 25 m/s	一级	●	●	●	●
		桥面 10 min 平均风速达到 0.8 倍桥面设计基准风速	二级	●	●	●	●
		达到设计值	三级	●	●	●	●
	混凝土、钢结构构件温度	达到设计值	一级	●	●	●	●
	桥面铺装层温度	大于 60℃或小于-20℃或根据铺装体系材料力学性能随温度变化关系确定	一级	●	●	●	●
	船舶撞击	发生船撞事件	二级	●	●	●	●
	桥岸地表场地地震加速度	达到设计 E1 地震作用加速度峰值	二级	●	●	●	●

		达到设计 E2 地震作用加速度峰值	三级	●	●	●	●
结构 响应	主梁竖向位移	达到 0.8 倍设计值	二级	●	●	●	●
		达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	●	●
	主梁横向位移	达到 0.8 倍设计值	二级	●	●	—	●
		达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	—	●
	支座位移	绝对值达到 0.8 倍设计值	二级	●	●	●	●
		绝对值达到设计值	三级	●	●	●	●
	梁端纵向位移	绝对值达到 0.8 倍设计值	二级	●	●	●	●
		绝对值达到设计值	三级	●	●	●	●
	塔顶偏位	达到 0.8 倍设计值	二级	●	●	—	—
		达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	—	—
	主缆偏位	达到 0.8 倍设计值	二级	●	—	—	—
		达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	—	—	—
	梁桥高墩墩顶位移	达到 0.8 倍设计值	二级	—	—	●	—
		达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	—	—	●	—
	拱桥主拱拱顶位移	达到 0.8 倍设计值	二级	—	—	—	●
		达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	—	—	—	●
	主梁、索塔、主拱关键截面静应变	超过历史最大值	一级	●	●	●	●
		超过设计最不利工况计算值	二级	●	●	●	●
悬索桥吊索、锚跨索股力斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)、系杆等索力	达到 0.95 倍设计值	二级	●	●	—	●	
	超过设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	—	●	
支座位反力	绝对值达到 0.8 倍设计值	二级	●	●	●	●	
	绝对值达到设计值	三级	●	●	●	●	
结构 响应	主梁振动加速度	10min 加速度均方根达到 31.5cm/s ² 且持续时间超过 30min	一级	●	●	●	●
		10min 加速度均方根达到 50cm/s ²	二级	●	●	●	●
		幅值持续增大,呈现发散特征	三级	●	●	●	●
	悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)振动加速	10min 加速度均方根达到 100cm/s ²	一级	●	●	—	●
		10min 加速度均方根达到	二级	●	●	—	●

	度	300cm/s ² 且频繁出现					
结构变化	基础冲刷	达到 0.7 倍设计冲刷深度	二级	●	●	●	●
		达到设计冲刷深度	三级	●	●	●	●
	锚碇位移	锚碇水平位移达到 0.00005 倍主跨跨径, 锚碇竖向位移达到 0.0001 倍主跨跨径	二级	●	—	—	—
		锚碇水平位移达到 0.0001 倍主跨跨径, 锚碇竖向位移达到 0.0002 倍主跨跨径	三级	●	—	—	—
	拱脚位移	达到 0.8 倍设计限值	二级	—	—	—	●
		达到 1.0 倍设计限值	三级	—	—	—	●
	裂缝	出现结构性裂缝	一级	●	●	●	●
		结构性裂缝超过规范限值或发展加速	二级	●	●	●	●
	腐蚀	腐蚀深度达到保护层深度	二级	●	●	●	●
	预应力	体外预应力相对损失超过 5%	二级	—	●	●	—
		体外预应力相对损失超过 10%	三级	—	●	●	—
	断丝	出现断丝	二级	●	●	—	●
		断丝率达到 2%	三级	●	●	—	●
	螺栓状态	个别螺栓轻微松动	一级	●	●	●	●
		部分螺栓松动	二级	●	●	●	●
		较多螺栓发生严重松动或少量脱落	三级	●	●	●	●
	索夹滑移	索夹出现滑移	二级	●	—	—	—
		索夹滑移严重或较多数量索夹出现滑移	三级	●	—	—	—
主梁涡振 ^c	10min 振动加速度均方根值达到 31.5cm/s ² 、能量比因子大于 10	一级	●	●	●	—	
	10min 振动加速度均方根值达到 50cm/s ² 、能量比因子大于 10	二级	●	●	●	—	
	10min 振动加速度均方根值达到 80cm/s ² 、能量比因子大于 10	三级	●	●	●	—	
检测数据分析结果 ^d	钢结构疲劳	疲劳损伤指数达到 0.1	一级	●	●	●	●
		出现较多疲劳裂缝, 或裂缝长度和宽度较大	二级	●	●	●	●
	塔顶或主缆或主拱偏位	三级	●	●	—	●	
	主梁下挠	三级	●	●	●	●	

	桥墩沉降 ^e	墩台均匀总沉降达到 20√L mm, 或相邻墩台总沉降差值达到 10√L mm	三级	—	—	●	—
	索力基准值	与成桥索力相比变化超过 10%	二级	●	●	—	●
		与成桥索力相比变化超过 15%	三级	●	●	—	●
	剔除环境影响的 桥梁主要频率变化	超过 3%	二级	●	●	●	●
		超过 5%	三级	●	●	●	●

注:●为应报警项;●针对大跨度钢桥;—为无须报警项。

^a “超限阈值”一列中的“设计值”参考了 JTG D60、JTG 3362、JTG/T D65—05、JTG/T 3365—01、JTG/TD65—06、JTG/T3360—01、JTG/T1037 的相关规定。锚碇位移限值参考了 JTG/T D65—05、JTG/T1037 的相关规定。裂缝限值参考 JTG 5120—2021、JTG/T H21、JTG/T1037 的相关规定。设计车辆荷载可参考《交通运输部令 2016 年第 62 号》的相关规定。

^b 构件封闭空间为钢结构构件内,悬索桥主缆、锚室和鞍罩内,斜拉桥索塔和索塔锚固区内,中、下承式拱桥主拱内,且超限阈值设置应同步参考钢结构防腐设计;对于不含钢结构或主要钢结构未外露的混凝土桥梁封闭空间内可不设超限阈值,如混凝土主梁内等。

^c 桥梁涡振报警选取主梁竖向加速度均方根值和能量比因子作为报警指标,阈值取值的原则依据已有桥梁发生涡振的加速度均方根值统计规律以及 ISO 2631—1 舒适性标准制定。超限一级、二级和三级阈值分别取为 31.5 cm/s²、50 cm/s² 和 80 cm/s² 分别对应 ISO 2631—1 中的“稍有不舒适”“比较不舒适”和“不舒适”的下限。

^d 数据分析结果超限报警为非同步报警项。

^e L 为相邻墩台最小跨径,单位为米(m)。

12.2.3 监测数据和分析结果出现超限报警时,宜提醒进行桥梁检查,检查建议见下表,并结合 JTG/T 5122、JTG/T 5120 及 JTG/T 1037 相关规定制定检查和养护措施。

表 41 监测数据超限检查建议

监测类别	监测内容	超限级别	检测建议
环境	构件封闭空间内相对湿度	一级	提示检查除湿设施是否运转正常
作用	车辆总重或轴重	二级	提示检查桥梁主要受力构件的技术状况
	混凝土、钢结构构件温度	一级	提示进行构件使用性检查
	铺装层温度	一级	提示洒水降温
结构响应	主梁竖向位移	二级	提示基础沉降、裂缝检查,必要时全桥检查
	主梁横向位移	二级	提示检查支座、索力,必要时全桥检查
	支座位移、支座反力	二级	提示检查支座
	梁端纵向位移	二级	提示检查伸缩缝

	塔顶偏位	二级	提示索力、竖直度检查、必要时全桥检查
	主缆偏位	二级	提示索力检查、必要时全桥检查
	梁桥高墩墩顶位移	二级	提示支座、竖直度检查、必要时全桥检查
	拱桥主拱拱顶位移	二级	提示基础、裂缝检查, 必要时全桥检查
	主梁、索塔、主拱关键截面静应变	一级	提示检查传感器附近构件裂缝
		二级	提示对传感器所在构件进行特殊检查
	悬索桥吊索、锚跨索股力, 斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)、系杆等索力	二级	提示检查索构件
	主梁振动加速度	二级	提示应对连接构件进行检查
	悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)振动加速度	一级	提示管理部门注意
		二级	提示分析原因并检查减振设施有效性
结构变化	基础冲刷	二级	提示河床检查, 必要时全桥检查
	锚碇位移	二级	提示全桥检查
	桥墩沉降	三级	提示基础检查, 必要时全桥检查
	拱脚位移	二级	提示全桥检查
	裂缝	一级	提示管理部门注意
		二级	提示对构件进行特殊检查
	腐蚀	二级	提示对腐蚀区进行特殊检查
	体外预应力	二级	提示全桥检查
	断丝	二级	提示进行特殊检查
	螺栓状态	一级	提示管理部门注意
二级		提示检查螺栓	
索夹滑移	二级	提示检查索夹	
监测数据分析结果	钢结构疲劳	一级	提示管理部门注意
		二级	提示检查疲劳裂纹发展情况

12.3 特殊事件应急管理

12.3.1 在遭受涡振、强(台)风, 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)等异常振动,

地震、车辆超载、船撞等特殊事件时，应进行特殊事件数据分析辅助应急管理措施决策，并评估桥梁结构健康度，必要时组织专家研判。

12.3.2 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）等索构件振动加速度超限二级，应提醒检查减振设施有效性并进行数据分析，数据分析内容宜包括：索构件异常振动前、异常振动全过程、异常振动后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定：

- 1) 分析桥面 10min 平均风速、平均风向、风偏角、风攻角；
- 2) 分析索构件 10min 加速度均方根值；
- 3) 分析索构件异常振动全过程持续时间、风况条件、加速度和位移均方根值、振动频率；
- 4) 分析索构件索力基准值变化；
- 5) 分析索构件异常振动全过程持续时间、风况条件、加速度和位移均方根值、振动频率；
- 6) 分析索构件索力基准值变化；
- 7) 分析索构件异常振动的类型。

12.3.3 地震动加速度超限二级时，宜提醒对桥梁进行全面检查；地震动加速度超限三级时，宜提醒封闭桥梁，对桥梁进行全面检查，并满足下列规定：

- 1) 利用监测数据进行桥梁结构健康度评估；
- 2) 也可采用可靠的考虑土结相互作用的非线性结构有限元模型，通过计算分析在地震动作用下桥梁加速度、位移、支座反力、构件内力和应力等结构响应的最大值和残余量，进行桥梁结构健康度评估。

12.3.4 车辆超载应急管理宜符合下列规定：

- 1) 监测车辆荷载超限二级时，应提醒进行桥梁结构检查；
- 2) 利用监测数据进行桥梁结构健康度评估；
- 3) 可采用可靠的修正有限元模型，验算超载车辆荷载作用下的主梁竖向位移、支座反力、构件内力和应力，并通过与实测监测数据对比，进行桥梁结构健康度评估；
- 4) 车辆超载特殊事件专项报告内容宜包括：超载车辆荷载、发生时间，主梁竖向位移、支座位移、主梁关键截面静应变，悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）、系杆等索力，支座反力等最大值。

12.4 监测报告

12.4.1 监测数据分析报告内容需包含下列内容：

- 1) 季报内容：季度内监测数据分析结果，超过限值的数量、比例、位置和时间；
- 2) 年报内容：年度内监测数据分析结果，超过限值的数量、比例、位置和时间；
- 3) 特殊事件专项报告内容：在特殊事件发生后快速提供专项报告。

12.4.2 报告出具宜按本指南附录 B 编制。

- 1) 季报：在每季度后一个月内提交；
- 2) 年报：第二年度第一个月末提交；
- 3) 特殊事件专项报告：大桥在遭受涡振、强风等异常振动，地震、车辆超载等特殊事件时，应进行特殊事件数据分析，编制特殊事件专项报告并提交。

12.4.3 监测数据分析报告宜由软件自动分析生成，保证数据数据分析的实时化、自动化。

附录 A 施工图设计文件编制

1 总体说明

1.1 项目背景

通过国家政策要求和标准规范要求，说明该桥梁进行桥梁结构健康监测的背景。

1.2 工程概况

对被监测桥梁的状态作出简要描述，包括桥址、跨径、结构、主要技术指标等信息。根据资料和现场调研结果，评估现场施工条件，提出适宜的施工措施。

1.3 桥梁现状分析

分析监测桥梁运营阶段环境、车辆、风、地震、材料性能退化等各种作用的不利影响，根据大桥桥区环境、结构体系与构造特点及行业规范要求，进行监测桥梁关键特性分析，并确定主要监测内容。

1.4 监测重点分析

根据监测桥梁运营环境分析、危险性分析及相关资料，分析健康监测系统建设的重点和要点。

1.5 服务范围

根据合同和后期养护管理要求，明确桥梁结构健康监测的服务范围。

2 总体设计

2.1 设计依据及规范

列举对应桥梁健康监测工作依据的规范、标准、设计资料等。

2.2 系统总体设计目标

根据合同条款和监测需求，对健康监测系统提出功能要求。

2.3 设计原则

健康监测系统在监测桥梁结构状态的同时，应满足实用性、可靠性、先进性、完整性和可扩容性等原则。

2.4 系统测点编码说明

对桥梁所有监测点编号原则进行阐述。

2.5 系统功能架构

简明介绍健康监测的系统架构及功能组成。

2.6 系统功能设计

对健康监测系统所包含的自动化监测子系统、数据存储与管理子系统、综合预警与安全评估子系统、用户界面子系统等作出简要描述。

3 监测内容及测点布设

3.1 有限元分析

通过有限元计算,得到监测桥梁运营阶段结构的受力与活载下结构响应,并据此确定监测的内容和精度要求,为测点布置和优化提供依据。

3.2 监测内容

列举环境、作用、结构响应和结构变化的监测参数。

3.3 测点布设

列举桥梁健康监测的参数类别、监测项目、传感器、测点位置和数量等信息。必要时,画图标示监测截面和断面的测点布设。

3.4 具体布设位置

详细说明桥梁健康监测传感器的布设位置。必要时,画图标示监测截面和断面的测点布设。

4 健康监测各子系统设计

4.1 自动化监测子系统

从传感器、数据采集与传输、数据存储与分析等方面阐述各子系统的功能。

4.2 交通监测子系统(如需)

对交通监测子系统应具有的功能及对应的模块作简要描述。

4.3 数据存储与管理子系统

对数据管理中心框架结构与工作流程进行简明阐述。

4.4 综合预警与安全评估子系统

从数据统计分析、综合报警和评估三个方面对综合预警与安全评估子系统进行介绍。

4.5 用户界面子系统

从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等组成模块分别进行阐述。

4.6 省、部级平台对接

针对每种数据类型,制定统一的数据传输协议接口,报文格式,以便后期项目监测系统将与省级、部级的平台进行对接。

4.7 数据保密

从物理层、网络层、应用层、系统层等方面简要描述系统构建的多层次网络安全防护体系。

4.8 软件开发与测试

列举监测系统的软件开发与测试应具备的功能、性能和安全性方面的要求。

4.9 网络安全

依据相关规范，开展监测系统网络安全定级、建设、测评等工作，对现有安全防护措施进行评估，在综合利用现有技术和管理手段的基础上，有针对性地完善系统安全保护措施。

4.10 监测数据传输协议

从消息编码规则、数据字典定义、消息体数据格式等方面简述数据传输协议。

4.11 系统实施细节

对监测工作涉及到具体细节进行简要描述，包括硬件安装、软件开发和软硬件联调联试等。

5 系统设备技术要求

5.1 结构监测设备

对项目工作使用的监测设备技术参数、传感器受用寿命进行详细描述。

5.2 采集与传输设备

对项目工作使用的采集与传输设备技术参数进行详细描述。

5.3 监控中心设备

对项目工作使用的监控中心设备技术参数进行详细描述。

5.4 附属设备技术要求

列举监测工作需要的附属设备，并说明其技术要求。

5.5 系统集成

简要描述项目监测系统集成概念。

6 系统试运行及验收

6.1 系统试运行

对试运行期内开展的系统使用培训、功能完善、设备基准值校正、超限阈值设置等工作作出详细描述。

6.2 系统验收

从硬件验收、软件验收和资料验收等方面简要说明系统验收的要求。

7 系统运维

7.1 日常检查

从硬件、软件两方面说明系统日常检查的工作流程。

7.2 定期检查

从硬件、软件两方面说明系统定期检查的频率与要求。

7.3 应急检查

简要描述应急检查的工作流程。

7.4 异常处置措施

简要描述数据异常或中断等突发状况所采用解决措施。

8 监测应用

8.1 数据分析

结合桥梁养护的经常检查、定期检查与特殊检查数据，对环境、作用、结构响应和结构变化等监测数据的分析方法进行简要叙述。

8.2 超限阈值管理及应用

依据相关规范，简要描述监测数据超过各级超限阈值时的监测建议。

8.3 桥梁结构健康度评估

依据相应规范，评估监测周期内的桥梁结构健康度。

8.4 特殊事件应急处理

简要描述桥梁在遭受涡振、强(台)风，吊索异常振动、地震、车辆超载船撞等特殊事件时，需进行的特殊事件应急管理流程。

8.5 报告出具

对季度报告、年度总结报告、特殊事件专项报告的相关内容作出简要描述。

9 施工期间交通组织

从交通安全保障方式、交通设施布置、标志、标牌、警示情况等方面阐述交通组织措施。

10 施工图

11.施工图预算（另册）

附录 B 监测报告编制

1 系统概况

1.1 工程概况

对被监测桥梁的状态作出简要描述,包括桥址、跨径、结构、主要技术指标等信息。

1.2 监测系统简介

对监测参数和相应的测点布置进行详细描述,并简明介绍健康监测的系统架构及功能组成。

1.3 监测依据

列举对应桥梁健康监测工作依据的规范、标准、设计资料等。

1.4 相关约定

对易引起争议的坐标、数据、单位等参数进行约定。

2 监测数据分析

2.1 分析方法

介绍报告数据的采集周期、参数阈值超限及桥梁状态的评判方法。

2.2 环境与作用影响分析

在阶段监测周期内,分析环境温湿度、交通荷载(如需)、风荷载(如需)、结构温度等环境和作用参数变化对桥梁结构的影响程度。

2.3 结构静力响应分析

结合运营期间结构整体和局部计算结果,对监测桥梁结构的位移、挠度、应变、索力(如需)等静力响应参数超限状态进行分析。

2.4 结构动力响应分析

依据振动传感器的监测数据,对桥梁结构监测周期内的结构振动进行评估。

3 桥梁结构健康度评估

对结构构件和结构整体的参数监测数据综合分析,依据相应规范,评估阶段监测周期内的桥梁结构健康度。

4 结论

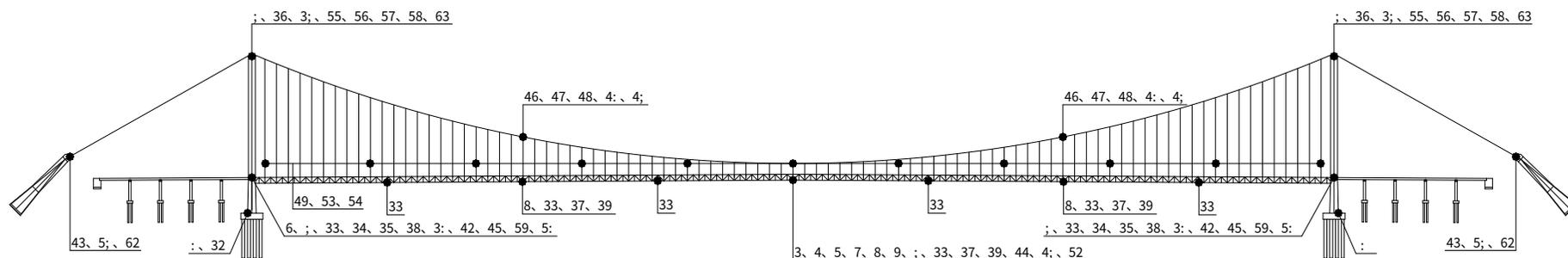
对所有参数的监测结果进行总结分析。

5 建议

依据监测数据和分析结果,对下阶段桥梁养护工作做出合理建议。

附录 C 测点布设示意图

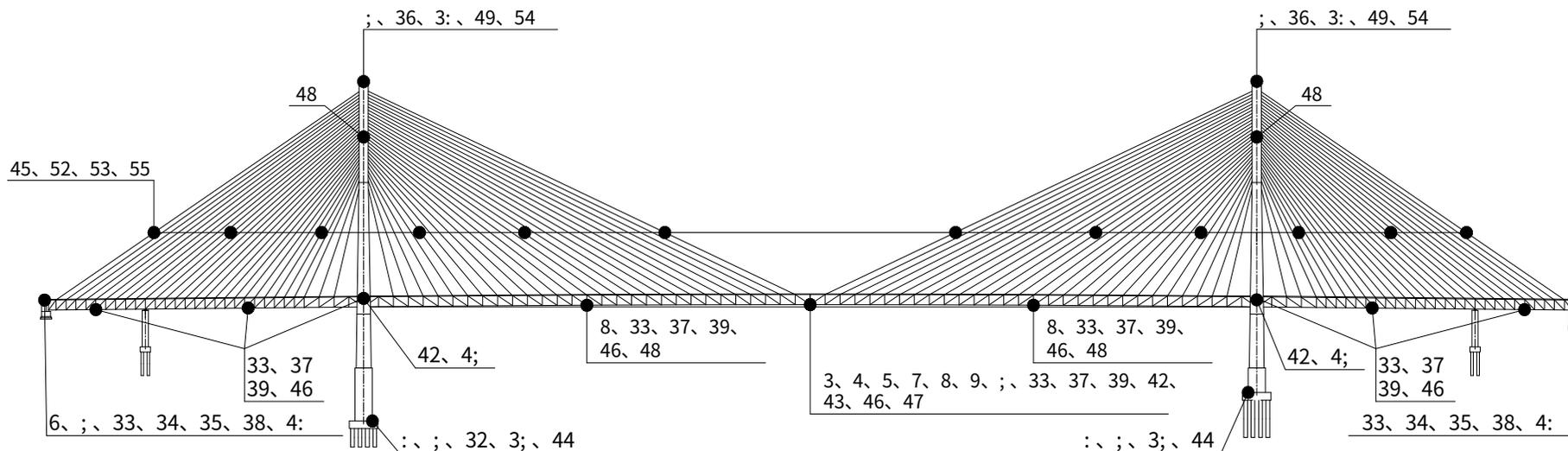
各桥型监测截面测点布设示意图见图 C-1~附图 C-4。



标引序号说明:

- | | | | | | |
|----------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------------|
| 1—环境温湿度 | 8—船舶撞击 | 15—主梁应变 | 22—关键截面裂缝 | 29—主缆偏位 | 36—塔顶风速风向 |
| 2—主梁内温湿度 | 9—视频图像 | 16—支座反力 | 23—腐蚀 | 30—主梁风压 | 37—塔关键截面应变 |
| 3—桥面结冰 | 10—地震动 | 17—主梁振动（竖、横） | 24—主缆断丝 | 31—吊索索力 | 38—梁端转角（水平、竖向） |
| 4—车辆荷载 | 11—主梁位移（横、竖） | 18—主梁振动（纵） | 25—螺栓状态 | 32—吊索振动 | 39—锚室内温湿度 |
| 5—桥面风速风向 | 12—支座位移 | 19—塔顶振动（纵、横） | 26—索夹滑移 | 33—塔顶倾角 | 40—锚跨索股力 |
| 6—结构温度 | 13—梁端纵向位移 | 20—基础冲刷 | 27—吊索断丝 | 34—鞍罩内温湿度 | 41—主缆结冰 |
| 7—桥面铺装温度 | 14—塔顶偏位 | 21—锚碇位移 | 28—主缆内温湿度 | 35—索塔内温湿度 | |

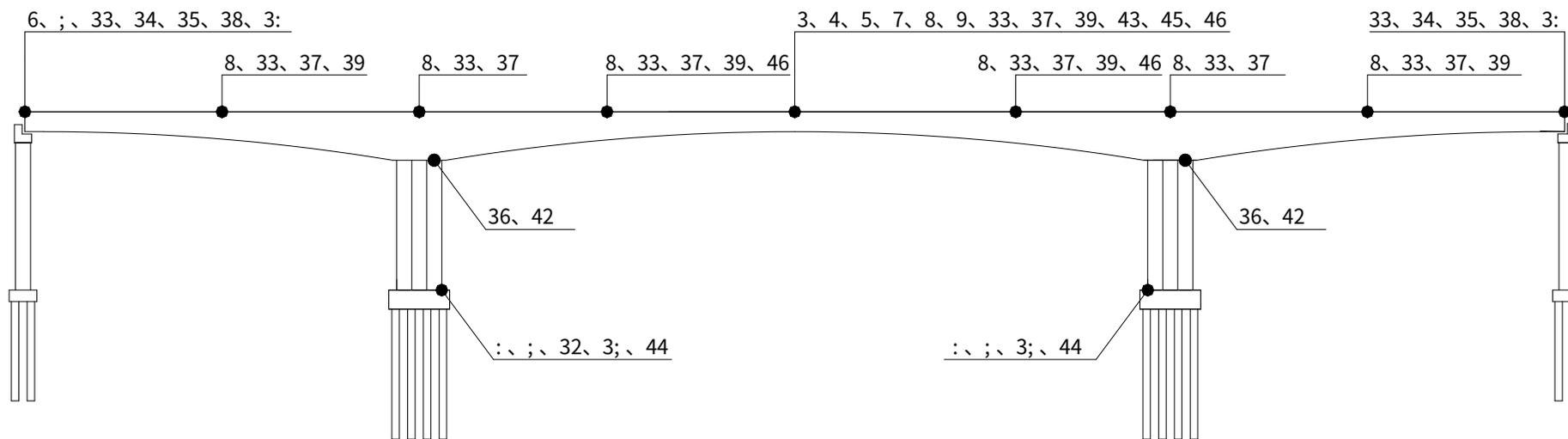
图 C-1 悬索桥测点布设示意图



标引序号说明:

- | | | | | |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 1---环境温湿度 | 8---船舶撞击 | 15---主梁应变 | 22---腐蚀 | 29---索塔关键截面应变 |
| 2---主梁内温湿度 | 9---视频图像 | 16---支座反力 | 23---斜拉索断丝 | 30---斜拉索索力 |
| 3---桥面结冰 | 10---地震动 | 17---主梁振动 (纵、竖、横) | 24---螺栓状态 | 31---斜拉索振动 |
| 4---车辆荷载 | 11---主梁位移 (横、竖) | 18---塔顶振动 (纵、横) | 25---降雨量 | 32---塔顶风速风向 |
| 5---桥面风速风向 | 12---支座位移 | 19---基础冲刷 | 26---索塔锚固区温度 | 33---斜拉索结冰 |
| 6---结构温度 | 13---梁端纵向位移 | 20---预应力 | 27---塔顶倾角 | |
| 7---桥面铺装温度 | 14---塔顶偏位 | 21---关键截面裂缝 | 28---梁端转角 (水平、竖向) | |

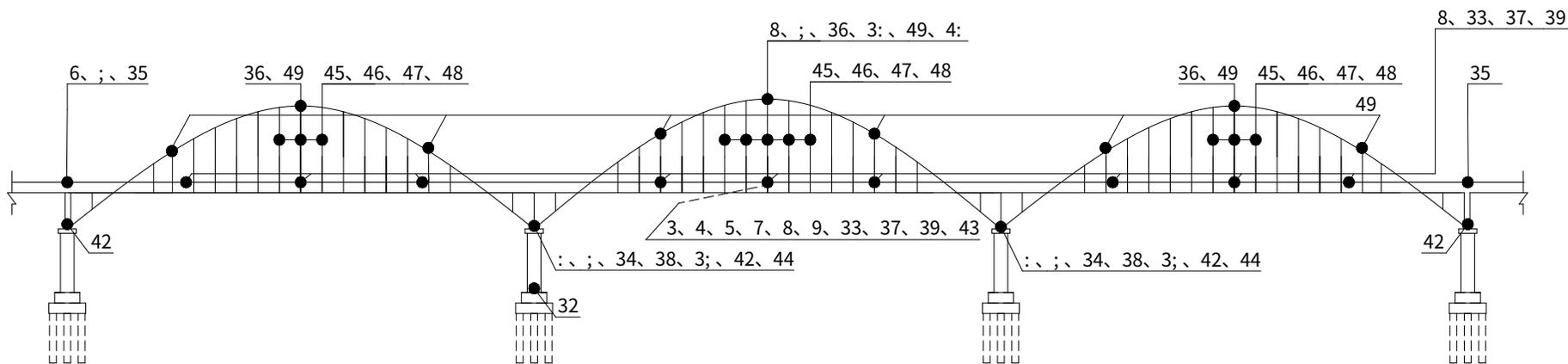
图 C-2 斜拉桥测点布设示意图



标引序号说明:

- | | | | | |
|------------|------------|-------------|-----------------|------------|
| 1---环境温湿度 | 6---结构温度 | 11--主梁位移（竖） | 16--支座反力 | 21--关键截面裂缝 |
| 2---主梁内温湿度 | 7---桥面铺装温度 | 12--支座位移 | 17--主梁振动（纵、竖、横） | 22--腐蚀 |
| 3---桥面结冰 | 8---船舶撞击 | 13--梁端纵向位移 | 18--墩顶振动（纵、横） | 23--体外预应力 |
| 4---车辆荷载 | 9---视频图像 | 14--墩顶位移 | 19--基础冲刷 | 24--螺栓状态 |
| 5---桥面风速风向 | 10--地震动 | 15--主梁应变 | 20--桥墩沉降 | |

图 C-3 梁桥测点布设示意图



标引序号说明:

- | | | | |
|------------|----------------|------------------|-------------|
| 1---环境温湿度 | 8---船舶撞击 | 15---主梁应变 | 22---腐蚀 |
| 2---主梁内温湿度 | 9---视频图像 | 16---支座反力 | 23---吊索断丝 |
| 3---桥面结冰 | 10---地震动 | 17---主梁振动（纵、横、竖） | 24---螺栓状态 |
| 4---车辆荷载 | 11---主梁位移（横、竖） | 18---拱顶振动（纵、横、竖） | 25---吊杆力 |
| 5---桥面风速风向 | 12---支座位移 | 19---基础冲刷 | 26---吊杆振动 |
| 6---结构温度 | 13---梁端纵向位移 | 20---拱脚位移 | 27---主拱应变 |
| 7---桥面铺装温度 | 14---拱顶位移 | 21---关键截面裂缝 | 28---拱顶风速风向 |

图 C-4 拱桥测点布设示意图

附录 D 实施过程工作表

表 D.1 监测设备及材料进场验收表

(D-101) 材料/设备进场报验表

工程名称				日期																																				
致：																																								
现报上关于 XX 桥梁结构健康监测系統建设项目的材料/设备进场检验记录，请予以批准使用。																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>名称</th> <th>型号</th> <th>单位</th> <th>数量</th> <th>使用部位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						名称	型号	单位	数量	使用部位																														
名称	型号	单位	数量	使用部位																																				
附件：																																								
<input type="checkbox"/> 出厂合格证 <input type="checkbox"/> 厂家质量检验报告 <input type="checkbox"/> 厂家质量保证书 <input type="checkbox"/> 进场检查记录 <input type="checkbox"/> 其他资料：																																								
承包单位（盖章）：			项目负责人（签字）：																																					
监理单位审查意见（若有）：																																								
监理单位（盖章）：			项目负责人(签字)：																																					
建设单位审查意见：																																								
<input type="checkbox"/> 同意进场 <input type="checkbox"/> 不同意进场：																																								
建设单位（盖章）：			项目负责人(签字)：																																					

(D-102) 设备验收记录表

设备名称	规格型号	生产厂家	出厂年月	设备编号
资料及配件		验 收 情 况	1、外观是否完好：完好 <input type="checkbox"/> 、存在缺损 <input type="checkbox"/> 2、需要注意的问题或其他事项：	
资料： <input type="checkbox"/> 合格证 <input type="checkbox"/> 质保卡 <input type="checkbox"/> 质量检验报告 <input type="checkbox"/> 其他： 配件（注明配件名称、规格和数量）：				

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

(D-103) 材料验收记录表

品牌	配件名称	型号、规格	数量	生产日期
资料	<input type="checkbox"/> 合格证 <input type="checkbox"/> 质保卡 <input type="checkbox"/> 质量检验报告 <input type="checkbox"/> 其他：			
外观质量	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 破损 <input type="checkbox"/> 存在孔洞 <input type="checkbox"/> 配件缺陷 <input type="checkbox"/> 存在杂物 <input type="checkbox"/> 其他缺陷：			

承包单位：

监理单位（若有）

：建设单位：

验收日期：

表 D.2 分项工程（感知子系统分部工程）质量检验评定表

(D-201) 温湿度监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：				建设单位：				
所属分部工程名称：						所属单位工程名称：					
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。				<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定		
				实测结果					合格率(%)	合格判定	
	1	温度测量误差	符合设计要求(是/否)								
	2	湿度测量误差	符合设计要求(是/否)								
	3	测量分辨力	符合设计要求(是/否)								
	4	信号采集频率	符合设计要求(是/否)								
	5	安装截面位置	符合设计要求(是/否)								
6	绝缘电阻	$\geq 50M\Omega$									
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。						质量保证资料			
质量等级评定											

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-202) 雨量监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：		监理单位（若有）：			建设单位：					
所属分部工程名称：				所属单位工程名称：						
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。			<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定	
				实测结果					合格率(%)	合格判定
	1	测量分辨力	符合设计要求(是/否)							
	2	信号采集频率	符合设计要求(是/否)							
	3	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
	4	绝缘电阻	$\geq 50M\Omega$							
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。						质量保证资料		
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-205) 风速、风向监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：				建设单位：				
所属分部工程名称：						所属单位工程名称：					
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰； <input type="checkbox"/> 风速风向仪安装位置处有足够空间，不能影响风流动。 <input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；									
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定		
				实测结果					合格率(%)	合格判定	
	1	风速测量误差	符合设计要求(是/否)								
	2	测量分辨力	符合设计要求(是/否)								
	3	信号采集频率	符合设计要求(是/否)								
	4	安装截面位置	符合设计要求(是/否)								
	5	安装方位角偏差	$\leq \pm 1^\circ$								
6	绝缘电阻	$\geq 50M\Omega$									
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。						质量保证资料			
质量等级评定											

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-206) 结构温度监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：				建设单位：				
所属分部工程名称：						所属单位工程名称：					
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。				<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定		
									合格率(%)	合格判定	
	实测结果										
	1	温度测量误差	符合设计要求(是/否)								
	2	测量分辨力	符合设计要求(是/否)								
	3	信号采集频率	符合设计要求(是/否)								
4	安装截面位置	符合设计要求(是/否)									
5	绝缘电阻	≥50MΩ									
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 表面平整，传感器与结构物接触面紧密。					质量保证资料				
质量等级评定											

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-207) 地震监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：			建设单位：				
所属分部工程名称：					所属单位工程名称：					
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。			<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或 允许偏差	测点编号					质量评定	
										合格率(%)
	实测结果									
	1	测量分辨力	符合设计要求(是/否)							
	2	信号采集频率	符合设计要求(是/否)							
	3	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
4	敏感主轴方向	符合设计要求(是/否)								
5	绝缘电阻	≥50MΩ								
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 表面平整，传感器与结构物接触面紧密。					质量保证资料			
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-210) 支座、梁端纵向位移监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：		监理单位（若有）：			建设单位：					
所属分部工程名称：				所属单位工程名称：						
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。			<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定	
				实测结果					合格率(%)	合格判定
	1	测量分辨力	符合设计要求(是/否)							
	2	信号采集频率	符合设计要求(是/否)							
	3	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
4	绝缘电阻	$\geq 50M\Omega$								
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 设备保护装置安装合理，并保持良好。						质量保证资料		
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-212) 应变监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：		监理单位（若有）：			建设单位：					
所属分部工程名称：				所属单位工程名称：						
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。			<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定	
				实测结果					合格率(%)	合格判定
	1	测量分辨力	符合设计要求(是/否)							
	2	信号采集频率	符合设计要求(是/否)							
	3	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
	4	绝缘电阻	$\geq 50M\Omega$							
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 设备保护装置安装合理，并保持良好。						质量保证资料		
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-213) 索力监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：			建设单位：				
所属分部工程名称：				所属单位工程名称：						
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。			<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定	
				实测结果					合格率(%)	合格判定
	1	测量分辨力	符合设计要求(是/否)							
	2	信号采集频率	符合设计要求(是/否)							
	3	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
	4	安装高度	符合设计要求(是/否)							
	5	绝缘电阻	≥50MΩ							
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 设备保护装置安装合理，并保持良好。						质量保证资料		
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-214) 振动监测分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：			建设单位：				
所属分部工程名称：					所属单位工程名称：					
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰。			<input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 传感器工作状态正常；					
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定	
				实测结果					合格率(%)	合格判定
	1	测量分辨力	符合设计要求(是/否)							
	2	信号采集频率	符合设计要求(是/否)							
	3	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
	4	敏感主轴方向	符合设计要求(是/否)							
	5	绝缘电阻	≥50MΩ							
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 设备保护装置安装合理，并保持良好。						质量保证资料		
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-216) 视频监控分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：		监理单位（若有）：			建设单位：					
所属分部工程名称：				所属单位工程名称：						
基本要求		<input type="checkbox"/> 传感器的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 传感器安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰； <input type="checkbox"/> 摄像头安装位置处有足够空间及视线。 <input type="checkbox"/> 线缆应按规范及设计要求连接到位； <input type="checkbox"/> 摄像头工作状态正常；								
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定	
				实测结果					合格率(%)	合格判定
	1	视频回放	保存最新1个月视频数据，具有回放功能（是/否）							
	2	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
	3	绝缘电阻	≥50MΩ							
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。						质量保证资料		
质量等级评定										

实施单位： 监理单位（若有）： 建设单位： 日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.3 分项工程（综合布线子系统分部工程）质量检验评定表

(D-301) 桥架与线管安装分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：			建设单位：				
所属分部工程名称：					所属单位工程名称：					
基本要求		<input type="checkbox"/> 材料的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 桥架、线管安装牢固、端正。								
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	实测结果					质量评定	
									合格率(%)	合格判定
	1	安装走线线路	符合设计要求(是/否)							
	2	线管固定间距	≤3m							
	3	桥架支架安装间距	≤3m							
外观质量		<input type="checkbox"/> 各部件表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 防腐措施得当，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 桥架横平竖直排列整齐，连接处对合严密。 <input type="checkbox"/> 桥架与支架间连接紧固无遗漏。							质量保证资料	
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-302) 线缆敷设分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：		监理单位（若有）：			建设单位：					
所属分部工程名称：				所属单位工程名称：						
基本要求		<input type="checkbox"/> 材料的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 线缆连接固定可靠。								
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	实测结果					质量评定	
									合格率(%)	合格判定
	1	安装走线线路	符合设计要求(是/否)							
	2	线缆固定间距	≤3m							
外观质量		<input type="checkbox"/> 线缆上产品型号、规格、接入接出设备编号等标识清晰。 <input type="checkbox"/> 线缆外护套，无伤痕、破损。 <input type="checkbox"/> 线缆敷设平直整齐、固定可靠，连接处防水保护措施符合要求。							质量保证资料	
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.4 分项工程（采集站与机房子系统分部工程）质量检验评定表

(D-401) 采集站安装分项工程质量检验评定表

第 页 共 页

实施单位：			监理单位（若有）：			建设单位：				
所属分部工程名称：				所属单位工程名称：						
基本要求		<input type="checkbox"/> 设备的型号、规格、数量等符合设计要求； <input type="checkbox"/> 设备安装位置正确、牢固、端正； <input type="checkbox"/> 标识齐全、牢固、清晰； <input type="checkbox"/> 设备安装环境温度控制满足要求。								
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	测点编号					质量评定	
				实测结果					合格率(%)	合格判定
	1	设备防雷与接地	符合设计要求(是/否)							
	2	系统供电	符合设计要求(是/否)							
	3	设备工作状态	符合设计要求(是/否)							
	4	安装截面位置	符合设计要求(是/否)							
	5	绝缘电阻	$\geq 50M\Omega$							
	6	接地电阻	$\leq 10\Omega$							
外观质量		<input type="checkbox"/> 设备安装稳固端正，无伤残痕迹，标识清楚。 <input type="checkbox"/> 设备分布合理，裸露金属部分无锈蚀。 <input type="checkbox"/> 布线整齐，捆扎牢固，标识清晰。 <input type="checkbox"/> 接线安装规范。 <input type="checkbox"/> 接地连接可靠，接地引出线无锈蚀。						质量保证资料		
质量等级评定										

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.5 分项工程（软件测试与部署分部工程）质量检验评定表

(D-501) 软件测试分项工程质量检验评定表

实施单位：		监理单位（若有）：		建设单位：	
所属分部工程名称：			所属单位工程名称：		
基本要求		<input type="checkbox"/> 软件功能符合设计要求； <input type="checkbox"/> 软件各项功能正常。			
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查结果	质量评定
					合格判定
	1	软件架构	符合设计要求（是/否）		
	2	数据采集与传输	1、平均无故障工作时间 $\geq 95\%$ 总时长 2、系统正常启动后软件可以自启动 3、符合设计要求		
	3	数据处理与管理	1、数据存储容量、视频存储方式符合要求 2、数据每日备份，并带时间记录 3、符合设计要求		
	4	综合预警与评估	1、平均无故障工作时间 $\geq 95\%$ 总时长 2、系统正常启动后软件可以自启动 3、符合设计要求		
5	用户界面	1、按设定的轮询周期，及时准确完成数据交换 2、统计、查询、报表功能符合要求 3、符合设计要求			
质量保证资料					
质量等级评定					

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-502) 软件部署分项工程质量检验评定表

实施单位：		监理单位（若有）：		建设单位：	
所属分部工程名称：			所属单位工程名称：		
基本要求		<input type="checkbox"/> 软件功能符合设计要求； <input type="checkbox"/> 软件各项功能正常。			
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查结果	质量评定
					合格判定
	1	安全性	具有相应的网络安全防护措施		
	2	功能性	根据软件测试的要求，部署后软件各项功能正常		
	3	软件开机自启动	系统正常启动后软件可以自启动		
质量保证资料					
质量等级评定					

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.6 分项工程（系统调试分部工程）质量检验评定表

(D-601) 系统单项调试分项工程质量检验评定表

实施单位：		监理单位（若有）：		建设单位：	
所属分部工程名称：			所属单位工程名称：		
基本要求		<input type="checkbox"/> 系统各项功能符合设计要求； <input type="checkbox"/> 系统工作正常。			
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查结果	质量评定
					合格判定
	1	系统供电调试	1、电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻应满足产品设计要求。当设计无要求时，用500v兆欧表测量时应不小于5MΩ； 2、60V以上的直流电源电压波动应不超过+10%；60V以下的直流电源电压波动应不超过+5%		
	2	系统信号调试	1、各传感器采集参数设置应满足设计要求； 2、应针对每种采集策略分别测试传感器返回测试信号的正确性； 3、单个传感器采集数据的响应时间应满足设计和产品技术文件的要求； 4、动态同步采集时各传感器同步精度应不大于50ms； 5、静态同步采集时各传感器同步精度应不大于30s。		
	3	系统数据调试	1、传感器编号及数据在现场数据库和远程数据库中应相互对应； 2、数据存储精度应不低于传感器的测量精度； 3、各传感器的测量数据应不超过传感器的测量范围。		
质量保证资料					
质量等级评定					

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

(D-602) 系统联合调试分项工程质量检验评定表

实施单位：		监理单位（若有）：		建设单位：	
所属分部工程名称：			所属单位工程名称：		
基本要求		<input type="checkbox"/> 系统各项功能符合设计要求； <input type="checkbox"/> 系统工作正常。			
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查结果	质量评定
					合格判定
	1	数据采集与传输	与桥梁现场传感器模块和数据采集硬件进行数据采集集成校验，数据输出通道、数据流、方向、精度等与外场设备安装保持一致		
	2	数据处理与管理	与桥梁现场数据采集与传输软件进行数据对接，数据接收、处理和存储等功能满足设计文件技术要求		
	3	综合预警与评估	软件各项功能正常，及时对异常数据进行预警及评估		
	4	用户界面	软件各项功能正常，监测数据展示流畅准确，界面数据值、数据精度、数据单位与设计文件技术要求一致		
质量保证资料					
质量等级评定					

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.7 分项工程（系统试运行分部工程）质量检验评定表

(D-701) 系统试运行分项工程质量检验评定表

实施单位：		监理单位（若有）：		建设单位：	
所属分部工程名称：			所属单位工程名称：		
基本要求		<input type="checkbox"/> 系统各项功能符合设计要求； <input type="checkbox"/> 系统试运行期符合要求。 <input type="checkbox"/> 系统运行正常；			
检查项目	项次	检查项目	规定值或允许偏差	实测值或实测 偏差值	质量评定 合格判定
	1	系统稳定性	系统设备每月平均无故障工作时间应不小于每月总时长的 95%，系统自动采集数据每日的数据完整率应不小于 95%		
	2	系统同步性	监测数据采集、传输和存储的同步性应符合设计文件的规定，当无相关规定时间动态采集的同步时差应小于 10ms，静态采集的同步时差应小于 30ms。		
	3	系统准确性	监测数据应具有较好的周期性、与环境的相关性，并不得出现明显的系统性偏移。		
质量保证资料					
质量等级评定					

实施单位：

监理单位（若有）：

建设单位：

日期：

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.8 分部工程质量检验评定表

(D-801) 分部工程质量检验评定表

承包单位			
建设单位			
分部工程名称			
所属单位工程			
工程地点		日期	
分项工程名称	质量评定		
	质量等级	备注	
质量等级			
承包单位单位意见：			
承包单位（盖章）： 项目负责人(签字)：			
监理单位单位意见（若有）：			
监理单位（盖章）： 项目负责人(签字)：			
建设单位审查意见：			
建设单位（盖章）： 项目负责人(签字)：			

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.9 单位工程质量检验评定表

(D-901) 单位工程质量检验评定表

承包单位			
建设单位			
单位工程名称			
工程地点		日期	
分部工程名称	质量评定		
	质量等级	备注	
质量等级			
承包单位单位意见：			
承包单位（盖章）：		项目负责人(签字)：	
监理单位单位意见（若有）：			
监理单位（盖章）：		项目负责人(签字)：	
建设单位审查意见：			
建设单位（盖章）：		项目负责人(签字)：	

说明：新建桥梁将系统作为一个分部工程，并划分为分项工程和项目，参与整个新建桥梁单位工程的验收。

表 D.10 其它实施过程工作表

(D-1001) 开工申请审批单

承包单位:

编号:

致建设单位:

根据合同要求,我部已经做好工程开工前的一切准备工作,现申请该项目正式开工,请予批准。

计划开工日期:年月日,计划完工日期:年月日。

附件: 1.实施方案(含管理机构、组织计划、主要人员、材料、设备等);

2.实施方案报审表;

3.交通组织方案;

4.应急预案;

5.涉路施工审批情况(若有);

6.安全教育培训及技术交底情况。

项目负责人:

年 月 日

监理单位意见(若有):

签字:

年 月 日

建设单位意见:

签字:

年 月 日

(D-1002) 工程开工令

承包单位：

编号：

致承包人：

一、批准开工工程

工程名称：XX 桥梁结构健康监测系统建设工程（***桥）

合同号：

二、开工时间：年 月日

三、完工时间：年 月日

建设单位意见：

签字：

日期：

承包人签收：

签字：

日期：

(D-1003) 材料安装记录

承包单位:

实施单位		施工日期	年 月 日
制造单位		产品规格	
外观检查	型号核对		外观质量
	随机文件	<input type="checkbox"/> 合格证 <input type="checkbox"/> 出厂检验报告 <input type="checkbox"/> 产品说明书 <input type="checkbox"/> 其他	
	随机附件		
产品安装情况 (含现场照片)	<p>(附产品安装照片)</p> <p>经测试:</p> <p>记录人: 复核人: 年月 日</p>		

(D-1004) 设备安装记录

承包单位:

分项工程			设备名称	
实施单位			安装日期	年 月 日
制造单位			设备型号	
设备编号			测点编号	
外观检查	型号核对		外观质量	
	随机文件	<input type="checkbox"/> 合格证 <input type="checkbox"/> 出厂检验报告 <input type="checkbox"/> 产品说明书 <input type="checkbox"/> 其他		
	随机附件			
设备安装情况 (含现场照片)	<p>(附设备安装照片)</p> <p>经测试:</p> <p>记录人: 复核人: 年月 日</p>			

(D-1005) 设备调试记录

承包单位:

设备名称		调试地点	
调试人员		调试日期	
设备型号		设备编号	
设备调试情况 (含现场照片)	<p>(附设备调试照片)</p> <p>经调试:</p> <p>记录人: 复核人: 年月 日</p>		

(D-1008) 系统试运行记录

承包单位:

单位工程		分部工程	
分项工程		实施日期	
系统试运行情况 (含现场照片)	<p>(附系统试运行照片)</p> <p>系统试运行情况:</p> <p>记录人: 复核人: 年月 日</p>		

(D-1009) 变更申请单

承包单位：

编号：

项目名称		
变更原因	<input type="checkbox"/> 原方案存在错误	<input type="checkbox"/> 原方案深度不足
	<input type="checkbox"/> 原方案存在缺漏	<input type="checkbox"/> 优化原方案
	<input type="checkbox"/> 技术标准、规范发生变化	<input type="checkbox"/> 地址、气象等灾害
	<input type="checkbox"/> 施工工艺改变	<input type="checkbox"/> 工期调整
	<input type="checkbox"/> 其他：	
变更主要内容	<p>项目负责人（签字）： 承包单位（盖章）：</p> <p style="text-align: right;">年月 日</p>	
处理意见：	<p>项目负责人（签字）： 监理单位（若有）</p> <p style="text-align: right;">年月 日</p>	
处理意见：	<p>项目负责人（签字）： 建设单位</p> <p style="text-align: right;">年月 日</p>	

(D-1010) 工程联系单

编号：

承包单位：

监理单位（若有）：

建设单位

约定单位		被约单位	
项目名称		工程名称	
		日期	
联系内容：			
签发		递交日期	年 月 日
收件人		收件日期	年 月 日
签回意见：			
		签字：	日期： 年 月 日

(D-1011) 试运行申请表

实施单位：

建设单位：

致：

根据系统实施要求，项目的硬件设备采购与测试、软件开发与测试、软硬件安装与联合调试工作已完成，现申请该项目正式进入试运行，请予批准。

试运行期开始时间：_年月日，试运行期结束时间：_年月日，试运行期共计个月。

附件：1.设备与材料进场报验表；

2.分项工程（感知子系统、综合布线子系统、采集站与机房子系统、软件测试与部署子系统、系统调试子系统）质量检验评定表。

实施单位意见：

签字： 年 月 日

监理单位意见（若有）：

签字： 年 月 日

建设单位意见：

签字： 年 月 日

(D-1012) 系统验收申请表

实施单位：

建设单位：

致：

现项目合同约定的各项系统实施及系统试运行工作已按要求全部完成，并已通过各子系统工程质量检验评定，特报请进行系统验收。

系统验收后，我们将按合同要求继续履行系统运维服务。

上述工程中的缺陷及未完成项目

项目名称	责任内容	完成时间	备注

附件：合同相关资料、技术成果资料、实施过程资料等验收资料。

签字： 年 月 日

监理单位意见（若有）：

签字： 年 月 日

建设单位意见：

签字： 年 月 日

(D-1013) 材料/设备移交清单

移交单位		移交日期	年 月 日
接收单位		接收日期	年 月 日
移交内容			
移交物品明细			
序号	物品名称	备注	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

移交单位（盖章）：
年 月 日

接收单位（盖章）：
年 月 日