ICS 93.040
CCS P 28

DB63

青　　海　　省　　地　　方　　标　　准

DB63/T 2222—2023

公路长大桥梁结构健康监测系统建设应用指南

2023-12-27 发布　　2024-02-01 实施

青海省市场监督管理局　　发 布

目　　次

前言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总则 1
5 监测方案 2
5.1 概要 2
5.2 资料收集 2
5.3 监测项目 2
5.4 测点布设 3
5.5 监测设备 5
5.6 数据采集与传输 6
5.7 数据存储 7
5.8 报警处置 7
6 系统建设 7
6.1 设计 7
6.2 实施 9
6.3 试运行 9
6.4 验收 10
7 维护与应用 10
7.1 检查维护 10
7.2 监测报警 10
7.3 分析报告 11
7.4 对策建议 11
附录 A（资料性） 硬件设备安装记录表 12
附录 B（资料性） 系统软件测试表 14
附录 C（资料性） 系统软件检查维护记录表 15
附录 D（资料性） 系统硬件检查维护记录表 16
参考文献 18

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由青海省交通运输标准化专业技术委员会提出。

本文件由青海省交通运输厅归口。

本文件起草单位：青海省高速公路养护服务有限公司、中交第一公路勘察设计研究院有限公司、青海省交通检测有限公司、青海省交通科学研究院、青海省公路局。

本文件主要起草人：白卿、赵晓帆、薛兆锋、王晓光、吴玉林、马明、孔祥玲、田中伟、奎万超、周世学、苏兆邦、唐虹、曹海波、张宁昌、高林丽、顾华杰、韩吉正、宫成兵、岳振民、刘玉芬、党李涛、刘祖锋、仲小萍、任伟、闫亚鹏、颜亮德。

本文件由青海省交通运输厅监督实施。

公路长大桥梁结构健康监测系统建设应用指南

1 范围

本文件界定了公路长大桥梁结构健康监测系统建设应用的术语和定义，确立了总则和监测方案，提供了监测系统建设、维护与应用等方面的指导。

本文件适用于公路长大桥梁（主跨跨径大于等于500 m悬索桥、300 m斜拉桥、200 m拱桥、160 m梁桥）结构健康监测系统的建设与应用，其它需要健康监测的桥梁可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 8566 系统与软件工程 软件生存周期过程

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 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

JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范

JTG 5120 公路桥涵养护规范

JTG/T 5122 公路缆索结构体系桥梁养护技术规范

3 术语和定义

JT/T 1037界定的术语和定义适用于本文件。

4 总则

4.1 长大桥梁结构健康监测系统的设计和构建遵循“适用、稳定、安全、耐久、经济”原则。

4.2 系统建设需充分考虑与部、省监测数据平台互联互通、数据共享的需求。

4.3 系统建设宜采用大数据、区块链、云技术、AI 及 InSAR 等先进技术。

4.4 对于新建桥梁的健康监测系统，宜与桥梁主体同步设计、同步实施、同步验收、同步运维。

4.5 系统硬件设备包括传感器、数据采集及数据传输设备，其稳定性和耐久性宜满足高寒环境的条件，且考虑下列因素：

a) 传感器：适用性、兼容性和可扩展性；

b) 数据采集设备：具备实时采集、自动存储、 自动传输等功能；

c) 数据传输设备：保证数据传输的安全性和可靠性，且提供足够的带宽和数据冗余度。

4.6 系统网络安全等级保护达到二级及以上。

5 监测方案

5.1 概要

监测方案的编制包括但不限于下列因素：

a) 桥梁环境、作用、结构响应、结构变化特征；
b) 桥梁服役期病害规律；
c) 场地供电条件；
d) 桥址通讯条件；
e) 预埋件安装；
f) 检修通道等。

5.2 资料收集

5.2.1 监测方案编制前，需收集的资料包括但不限于：

a) 桥梁设计、施工和验收档案资料；
b) 桥址运营环境条件、交通流状况；
c) 桥梁病害类型、范围和程度；
d) 桥梁检查、维修加固等养护资料；
e) 现场供电及网络状况。

5.2.2 资料收集时需保证资料的真实性、有效性和保密性。

5.3 监测项目

5.3.1 监测内容的确定宜综合考虑桥梁运营环境、受力状态分析、耐久性分析、风险评估结果、部构件技术状况、病害类型与损伤程度、监测应用目标等因素。

5.3.2 综合集成监测系统是为了保证桥梁结构整体安全性，同时监测多个目标或多种项目的长期监测系统，宜按 JT/T 1037 所描述的各类桥型的监测内容设置。

5.3.3 特定目标监测系统是针对某一项或几项特定的结构安全风险专门实施的长期监测系统，其监测内容见表 1。

表1 特定目标监测项目

项次	监测目标	监测类别	监测内容	监测选项
1	寒区环境	结冰	桥面、索结构覆冰	●
		除冰盐	除冰盐	○
		冻蚀	冻蚀	●
2	盐渍土环境	腐蚀	氯离子浓度	●
			钢筋锈蚀	●
			硫酸盐浓度	○
			侵蚀深度	●
3	结构性裂缝	裂缝	裂缝宽度	●
			裂缝长度	○
		腐蚀	氯离子浓度	◎
			侵蚀深度	◎
		温湿度	环境温度、湿度	◎
4	薄壁高墩温度梯度	结构温度	混凝土构件温度	●
		应变	桥墩混凝土应变	●
		位移	桥墩顺桥向位移	●
			桥墩横桥向位移	●

表1　特定目标监测项目（续）

项次	监测目标	监测类别	监测内容	监测选项
5	支座损伤	温湿度	环境温度、湿度	●
		位移	支座位移	●
		车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速	○
			所有车道车流量	○
6	基础冲刷	基础冲刷	基础偏位	●
			冲刷深度	●
7	桩基冻拔	位移	基础竖向位移	●
			基础横向位移	●
		振动	墩顶加速度	○
		温度	基础土体温度	●
		含水率	土体含水率	○
8	不均匀沉降	位移	基础位移	●
		振动	墩顶加速度	○
		含水率	土体含水率	○
9	铺装层开裂	结构温度	铺装层温度	●
		紫外线强度	紫外线强度	○
		腐蚀	氯离子浓度	○
			侵蚀深度	○
		裂缝	主梁裂缝	●
		车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速	◎
			所有车道车流量	◎
10	桥面渗水	桥面状况	视频图像	○
11	伸缩缝病害	位移	伸缩缝位移	●
		温湿度	环境温度、湿度	●
12	桥头跳车	路基沉降	桥头路基沉降位移	●
		含水率	台后填土含水率	●
		温度	填土温度	○
13	锥坡开裂、滑移	含水率	土体含水率	●
		温度	土体温度	○
		温湿度	环境温度、湿度	○
		裂缝	土体裂缝	●
14	冰撞击	振动	桥墩加速度	○
		结构状况	视频图像	○
注：●必选项，○宜选项，◎可选项。				

5.4　测点布设

5.4.1　宜合理利用监测点之间联系和结构的对称性等，优化测点布设。

5.4.2　测点布设宜明确传感器的数量、安装位置、方向等，对于不可更换的测点，宜做冗余设计。

5.4.3　监测测点布设位置和数量，需考虑但不限于以下因素：

a）　桥址环境、所受作用分布；

b）　结构构造特点、静力特性及动力特性；

c）　结构病害特征及分布；

d）　监测项目数据分析和结构状态评估需求；

e）　对于结构既有损伤及缺陷位置，需设置针对性测点。

5.4.4　综合集成监测测点布设见表 2。

表2　综合集成监测测点布设

项次	监测内容		布设位置
1	温度、湿度	桥址区	跨中
		主梁内、主缆内、锚室内、鞍罩内、索塔内	桥梁湿度变化较大的部位、对湿度敏感的构件
2	雨量		桥梁开阔部位
3	结冰	桥面	桥面易结冰区域的典型位置
		缆索	近塔顶
		吊杆	主拱
4	车辆荷载	所有车道	路基或有稳定墩柱支撑的混凝土结构铺装层内
5	风速、风向、风压		能监测自由场风速和风向；宜布设于跨中上下游、塔顶、拱顶；悬索桥（≥1500 m）、斜拉桥（≥800 m）需增设测点
6	结构温度	构件温度	根据温度场分布特点、结合结构类型、联长、跨径、构件尺寸、铺装体系、 日照情况等综合确定；与结构应变温度补偿测点协同布设
7		桥面铺装层	铺装层内
8	船舶撞击		有船撞风险的水位变动区的桥墩底部、承台顶部
9	地震动		桥岸、承台顶或桥墩底部；护岸、锚碇锚室、近桥址监控中心等自由场地；大跨桥梁考虑地面运动的非一致性
10	位移	主梁竖向	主跨跨中和1/4、3/4主跨、边跨跨中；有扭转监测需求时，同一断面左右幅外侧
		主梁横向	主跨跨中
		支座	墩顶梁端支座处
		梁端纵向	梁端伸缩缝处
		塔顶偏位	索塔顶部
		拱顶位移	拱顶部
		主缆偏位	主跨跨中和1/4、3/4主跨
		高墩位移	墩顶
11	转角	塔顶转角	塔顶
		梁端转角	梁端主梁
12	应变	主梁、索塔、主拱	根据结构计算分析和易损性分析确定截面和部位
		正交异性钢桥面板	车道轮迹线、疲劳热点（顶板、U肋、横隔板）
		受力复杂的构件	根据结构计算分析确定三向静、动态应变测点
		钢混结合段	应变较大或应力集中处
13	索力	悬索桥吊索	根据索构件的布置形式、规格、型号、长短、索力和应力选取代表性、索力较大、拉索应力变化较大的拉索
		斜拉桥斜拉索	
		拱桥吊杆（索）和系杆	
		锚跨索股	根据主缆锚固方案、索股布置形式确定，至少包括基准索股
14	支座反力		根据支座类型、构造、安装方式确定；可能出现横向失稳等倾覆性破坏的独柱桥、曲线桥、基础易发生沉降或采用压重设计的桥梁支座
15	振动	主梁竖向和横向	振型峰值点，避开振型节点；至少包括主跨跨中和四分点
		主梁纵向	塔梁连接处或支座位置处
		索塔	塔顶
		索	振幅较大的索，避开索构件振型节点
		桥墩	墩顶
		主拱	根据主拱振型确定，宜布设在振型峰值点出，避开振型节点
16	冲刷		根据基础冲刷风险分析确定；圆形桥墩不设置上下游两侧；圆端形布设在上下游及侧面最大冲刷位置；冲刷严重宜在周边侧面同断面布置
17	基础变位	锚碇位移	锚体和前支墩角点
		桥墩沉降	墩顶
		拱脚位移	拱脚承台
18	裂缝		既有典型裂缝或可能发生开裂的区域；结合检查、技术状况评定、养护维修结果确定

表2　综合集成监测测点布设（续）

项次	监测内容	布设位置
19	腐蚀	墩台水位变动、浪溅区混凝土保护层内；根据氯离子浓度梯度测试要求确定位置和数量；结合结构特点、特殊部位、连接位置的腐蚀速率确定
20	断丝	“腐蚀或锈蚀”标度达到3及以上的索；锚头端部或易断丝位置
21	索夹滑移	“错位、滑移”标度达到3及以上的索夹；索夹类型、索夹倾角、螺栓布置形式
22	高强度螺栓状态	检查（测）、技术状况评定结果
23	体外预应力	构造特点和预应力布设形式、位置
24	支座反力	横向失稳发生倾覆性破坏的独柱墩桥梁、弯桥，以及基础易发生沉降、存在负反力等桥梁的关键支座
25	疲劳	根据结构计算分析和结构易损性分析结果，布设在易于或已出现疲劳破坏初期征兆的部位

5.4.5　特定目标监测测点布设见表 3：

表3　特定目标测点布设

项次	监测内容		布设位置
1	桥面覆冰		宜布设在动态称重系统附近桥面位置
2	索结构覆冰		宜布设在索体顶部
3	除冰盐		宜布设在受除冰盐侵蚀的典型区域和典型节点
4	冻蚀		宜布设在水中桥墩
5	盐渍土腐蚀	氯离子浓度	盐蚀交替区域
		钢筋锈蚀	
		硫酸盐浓度	
		侵蚀深度	
6	薄壁高墩温度梯度	混凝土构件温度	温度梯度效应最大处截面四周
		桥墩混凝土应变	
		桥墩顺桥向位移	墩顶或温度梯度效应最大处
		桥墩横桥向位移	
7	基础冲刷	基础偏位	宜布设于桥墩顶部
8	桩基冻拔	基础竖向位移	宜布设于桥墩顶部
		基础竖向位移	宜布设于桥墩顶部
		墩顶加速度	宜布设于桥墩顶部
		基础土体温度	桩周土体冻融范围内
		土体含水率	
9	不均匀沉降	基础位移	宜布设于墩台顶部
		墩顶加速度	
		土体含水率	桩周土体扰动范围内
10	铺装层温度		宜根据桥梁日照特征，选取具有代表性的截面进行测点布设
11	紫外线强度		宜与铺装层温度传感器同断面
12	铺装层裂缝		开裂位置处
13	桥面渗水		梁底或墩顶盖梁
14	桥头跳车	路基沉降	桥台顶部及台后路基沉降范围内
		台后填土含水率	桥头搭板下方台后填土内
		台后填土温度	
15	锥坡开裂、滑移	土体含水率	锥坡土体内
		土体温度	
		裂缝	土体裂缝最宽处
16	冰撞击振动		宜布设于桥墩顶部

5.5　监测设备

5.5.1 监测设备见表 4。

表4 监测设备

项次	监测内容	监测设备
1	温湿度	氯化钾湿度计、电解湿度计、电阻电容湿度计（温湿度传感器）
2	雨量	雨量计（电容雨量计、红外散射式雨量计、单翻斗雨量计）
3	结冰	温度计
4	温度	热电偶、热电阻、光纤光栅温度计
5	地震	强震动记录仪、三向加速度传感器
6	车辆	动态称重仪、视频摄像头
7	船撞	加速度传感器、倾角仪、位移计
8	风速风向	超声风速仪、机械式风速仪
9	风压	陶瓷型或扩散硅型微压差传感器
10	振动	加速度传感器（压电式、伺服式、电容式）、速度传感器、长标距光纤光栅传感器
11	位移	GNSS/北斗传感器、倾角仪、静力水准仪、电平梁、压力变送器、长标距光纤光栅传感器、机器视觉传感器、位移计
12	应变	振弦式应变计、光纤光栅应变计、电阻应变计
13	索力	加速度传感器、磁通量传感器、压力传感器（锚索计）、长标距光纤光栅传感器
14	断丝	声发射传感器
15	裂缝	振弦式裂缝计、光纤光栅裂缝计、裂缝观测传感器、长标距光纤光栅传感器、导电涂料传感器
16	腐蚀	腐蚀传感器、长标距光纤光栅传感器、混凝土保护层深度安装多电极传感器（腐蚀类型、腐蚀速率）
17	疲劳	应变传感器
18	覆冰	电容传感器、光纤传感器、超声波测试法、视频监测法
19	除冰盐	桥面系水体氯离子浓度
20	冻蚀	温度计、高清摄像头
21	紫外线强度	紫外线辐射传感器
22	土体含水率	渗压计、土壤水分传感器
23	桥面/结构状况	高清摄像头

5.6 数据采集与传输

5.6.1 宜综合考虑监测手段、传感器数量及空间位置分布，选取采集模式：

a) 传感器空间分布较集中、传感器网络与采集站的距离较近时，采用集中式采集；

b) 传感器和采集设备较多，各监测部位相距较远且相对分散时，采用分布式采集；

c) 同一桥梁结构监测中传感器空间分布较为分散时，总体可设置多个子采集站进行分布式采集，局部位置同时采用集中式采集。

5.6.2 数据采集需考虑但不限于下列因素：

a) 采样频率的适用性：宜按 JT/T 1037 设置，并考虑监测需求；

b) 监测数据的同步性：变量数据时钟同步误差动态监测小于 0.1 ms，静态监测小于 1 ms；

c) 采集数据的稳定性：采集数据和历史数据的差值宜在一定范围内，可根据具体情况设定阈值；

d) 异常数据的诊断：数据完好率宜不低于 90%。

5.6.3 数据传输需考虑但不限于以下因素：

a) 数据传输的及时性、可靠性和完整性；

b) 高速数据传输宜采用同步传输，低速数据传输可采用异步传输；

c) 远距离宜采用光纤传输技术、无线传输技术或两者相结合的方式。

5.6.4 监测系统上传至省、部级监测平台的数据包含但不限于：

a) 基础数据：桥梁基本信息、监测设备信息、传感器监测点位信息等；

b) 原始数据：各类监测指标的初始数据；

c） 特征值数据：最大值、最小值、平均值、均方根值、方差等；
d） 状态数据：桥梁健康度、单桥系统运行状态、传感器运行状态等数据；
e） 报警数据：超过报警阈值的测点数据；
f） 应急监测数据：应急预案、应急通讯录、事中处置信息、处置结果信息、处置报告等；
g） 视频数据：动态称重、桥面、航道等视频监控数据。

5.7 数据存储

5.7.1 监测系统数据宜采用模块化架构的数据库存储技术，具备提供存储调度、存储监控及存储管理可视化功能，可对桥梁结构信息、监测系统信息和监测数据进行分层、分类存储和管理。

5.7.2 监测系统数据库包括但不限于：

a） 桥梁结构信息数据库：宜对桥梁设计、竣工图纸以及专题研究等资料进行存储和管理，数据库表宜按桥梁设计、竣工图纸、研究报告等分类；
b） 监测系统信息数据库：宜存储和管理传感器、数据采集和传输设备、数据处理和管理设备及软件等信息，包括设备厂商、安装位置、技术参数、品牌和规格等；
c） 结构有限元模型数据库：宜存储和管理桥梁结构有限元模型，有限元模型宜使用标准文件格式进行保存，并可根据监测数据应用和桥梁养护结果定期按需修正；
d） 实时数据数据库：宜存储和管理监测系统所有监测内容的原始数据；
e） 数据分析数据库：宜存储和管理采用统计方法、相关分析、趋势分析、比对分析及机器学习等数据；
f） 监测应用数据库：宜存储和管理超限报警、评估、分析结果等数据。

5.7.3 数据存储考虑下列因素：

a） 现场采集站存储时，宜在采集站内安装采集计算机，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数据宜不少于 90 d，非结构化数据宜不少于 30 d；
b） 对于交变类型的较高频连续监测数据，可根据数据存储准则存储数据，存储数据时间宜采用公历，最低精度为 s；
c） 监控中心计算机机房监测数据存储时间：
- 结构化数据：不少于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不少于20年，
- 非结构化视频数据：不少于90 d，特殊事件视频数据应转移备份并永久保存；

d） 监测系统宜采用容灾备份机制，可具备各类数据压缩存储和异地备份功能。

5.8 报警处置

5.8.1 报警等级、报警阈值宜参考 JT/T 1037 设置。

5.8.2 报警值应满足工程设计及被监测对象的控制要求，数据超限报警宜分为三级，当监测数据超过各级阈值时，宜同步报警。

5.8.3 监测数据和报警信息宜实时在线显示，并将报警信息及时传送给运维管理人员。

5.8.4 监测数据触发异常报警时，宜根据桥梁特点、报警频次、异常极值等进行检查和养护，按 JT/T 1037、JTG 5120、JTG/T 5122 执行。

6 系统建设

6.1 设计

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/486110202131010215