

陕西省工程建设标准

城市桥梁监控监测技术规程

Technical regulations for monitoring and controlling of
urban bridges

(征求意见稿)

《城市桥梁监控监测技术规程》编制组

2025年4月

前 言

根据陕西省住房和城乡建设厅、陕西省市场监督管理局《关于下达2023年度工程建设标准立项计划的通知》（陕建发〔2023〕1050号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结城市桥梁绿色施工与质量验收技术的实践经验，参考国内相关标准，立足陕西实际，在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程共分6章和1个附录。主要技术内容是：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.监测内容与方法；5.监测系统；6.数据管理与分析；附录A。

本规程由陕西省住房和城乡建设厅负责归口管理，陕西省建设标准设计站负责日常管理，由西安建筑科技大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至西安建筑科技大学（地址：西安市碑林区雁塔路中段13号，邮政编码：710055，电话：029-82202947，电子邮箱：PuGN@xauat.edu.cn）。

主编单位：西安建筑科技大学

西安建筑科大工程技术有限公司

参编单位：陕西交控通宇交通研究有限公司

长安大学

西安长大公路工程检测中心有限公司

陕西中科启航科技有限公司

陕西科建海华工程技术有限公司

西安公路研究院有限公司

主要起草人员：蒲广宁 杨继承 孟屯良 王勇华 韩丽娟 董振平

魏家乐 李 捷 王明伟 张瑞琳 郭 琦 孙虎平

白福玉 程 高 蔡云龙 刘胜利 叶 毅 周勇军
孙建鹏 袁阳光 魏 进 李春轩 穆勇勇 杨雅勋
刘慧琳 刘红平 刘雄飞 郑振华 周志军 李云璋
张满平 李 牧 张 泳 栗海涛 张仁猛

主要审查人员：

目次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 监测内容与方法	6
4.1 一般规定.....	6
4.2 特定应用场景桥梁监测.....	7
5 监测系统	12
5.1 一般规定.....	12
5.2 系统设计.....	12
5.3 系统实施.....	13
5.4 系统验收.....	14
5.5 系统运维.....	14
6 数据管理与分析	16
6.1 数据管理.....	16
6.2 数据分析与应用.....	17
附录 A（规范性）监测设备的技术要求	20
本规程用词说明	24
引用标准名录	25

Contents

1 General provisions	1
2 Terminology	2
3 Basic requirements	4
4 Monitoring content and methods	6
4.1 General requirements	6
4.2 Bridge monitoring in specific scenarios	7
5 Monitoring system	12
5.1 General requirements	12
5.2 System design	12
5.3 System implementation	13
5.4 System acceptance	14
5.5 System operation and maintenance	14
6 Data management and analysis	16
6.1 Data management	16
6.2 Data analysis and application	17
Appendix A (Normative) Technical requirements for monitoring equipment	20
Explanation of wording in this standard	24
List of quoted standards	25

1 总 则

1.0.1 为规范城市桥梁结构监测技术及相应分析预警，遵循技术先进、数据可靠、经济合理的原则，制定本文件。

【条文说明】桥梁建成后随着运营时间的推移，桥梁各构件将面临各种损伤及内力状态的改变，相应桥梁的刚度和承载能力就会出现不同程度的衰减，这些损伤和内力状态的改变如果能够被预先警告获知，并且及时进行适当的调整、维护、维修，就不会危及桥梁结构的运营安全，否则在长期疲劳下，多种因素耦合作用可能导致灾难性事故。

桥梁结构在长期服役过程中，受环境侵蚀、材料老化和荷载长期效应、疲劳效应与突变效应等因素的耦合作用下，将不可避免的导致结构和系统的损伤累积和抗力衰减，极端情况下引发灾难性的突发事故。结构健康监测技术被普遍认为是提高工程结构健康与安全及实现结构长寿命和可持续管理的最有效途径之一，随着与物联网、云计算、5G通讯、人工智能与大数据等新技术结合应用，桥梁结构健康监测技术日趋智能化，在公众对桥梁结构安全性日益关注的背景下，开展桥梁健康监测已成为行业发展到一定阶段的内在需求。为规范陕西省城市桥梁健康监测的系统设计、实施、验收、运营维护、数据管理和监测应用，制定本文件。

1.0.2 本规范适用于陕西省在役城市桥梁的结构监测，公路桥梁和城市轨道桥梁的结构监测可参照本规程执行。

【条文说明】本条明确了本规程适用于陕西省行政区内城市桥梁的结构监测。

1.0.3 监测系统应有效、安全、可靠和高性能，并便于维护和升级扩容。

1.0.4 城市桥梁的结构监测除符合本规程外，尚应符合国家、行业及地方现行有关标准、规范的要求。

【条文说明】本条明确了本规程与其他相关标准规范的关系。开展城市桥梁结构监测时，除应符合本标准的要求外，尚应符合国家和陕西省现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 桥梁结构监测 bridge structural monitoring

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。

2.0.2 桥梁结构监测系统 bridge structural monitoring systems

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，具有对桥梁设定参数连续监测、自动记录、数据显示、报警评估的功能，辅助桥梁管理和养护决策的电子信息系统。

2.0.3 结构响应 structural response

由作用引起的桥梁构件、部件、结构的静力或动力响应。

2.0.4 结构变化 structural variation

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。

2.0.5 超限阈值 alarming threshold

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。

2.0.6 超限报警 over-limit alarming

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。

2.0.7 桥梁结构健康度 bridge structural health level

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。

2.0.8 重载交通桥梁 heavy duty traffic bridge

规划大件运输通行的桥梁 and 重载交通 (如集装箱运输、煤炭等能源运输等) 通行量大的桥梁。

2.0.9 饱和交通桥梁 saturated traffic bridge

实际最大交通量超过设计通行能力的桥梁 and 道路拥堵 or 严重拥堵的桥梁。

2.0.10 车辆/船舶撞击高风险桥梁 vehicles/ships colliding with high-risk bridges

存在车辆撞击记录, 净空尺度不满足航道规划尺度 or 抗撞性能不满足, 存在非通航孔撞击风险 or 存在下穿通道的桥梁。

2.0.11 地质灾害易发山区桥梁 bridges in mountain areas prone to geological disasters

沿线存在边坡崩塌等记录, 桥梁两侧护坡技术状况等级低, 桥梁两侧边坡存在崩塌等风险的桥梁。

2.0.12 高烈度地震区桥梁 bridges in high-intensity earthquake zone

位于抗震设防烈度大于等于 7 度地区, 沿线存在地震带 or 断层地区, 历史最大地震大于 7 级地震地区的桥梁。

2.0.13 水毁多发区桥梁 bridges in areas prone to water damage

位于存在历史水毁记录, 河道变迁风险, 山洪易发地区的桥梁。

2.0.14 采空区等易沉降桥梁 bridges that are prone to settlement in

goaf and other area

位于采煤挖矿等采空区，桥梁沉降异常地区的桥梁。

2.0.15 恶劣环境区桥梁 bridges in harsh environmental area

位于风速较大地区，冻融地区或极端气候桥面结冰地区的桥梁。

2.0.16 安全状况差、运营风险高的桥梁 bridges with poor safety condition or high operational risk

设计荷载低于实际通行荷载或主要受力构件的结构状况等级为 C 类及以下未进行维修加固的桥梁。

2.0.17 重要的人行天桥 important pedestrian overpass

采用新型材料、结构形式特殊或人流量较大的人行天桥。

3 基本规定

3.0.1 除设计文件要求或其他规定应进行结构监测的桥梁结构外，满足下列条件之一时，应进行桥梁结构监测：

- 1 主跨跨径大于等于100m的梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥；
- 2 技术状况等级为C类、D类且需要跟踪观测的在役桥梁；
- 3 处于复杂环境或结构特殊的其他桥梁结构；
- 4 经过评定需要进行结构监测的桥梁。

【条文说明】参考现行行业标准《城市桥梁养护技术标准》CJJ99-2017第3.0.3条规定I类养护是指跨径大于100m的桥梁及特殊结构的桥梁，第4.3.12条，I类养护的城市桥梁应设立自动化监测系统。特殊结构桥梁指结构受力复杂和在养护方面有特殊要求的桥梁，指系杆拱桥、悬索桥和斜拉桥等。“技术状况等级”是依据现行行业标准《城市桥梁养护技术标准》CJJ99，对II类~III类养护的城市桥梁以桥梁状况指数BCI确定的桥梁技术状况。

对于一些早期建设的大型复杂桥梁,没有设置监测系统或设置的简单监测系统不满足监测需求的，可以考虑设置或改造监测系统。

3.0.2 除符合第3.0.1款要求外的桥梁可选择某一项或几项特定的结构安全风险点进行特定应用场景监测。

【条文说明】特定应用场景监测宜聚焦1~2个监测应用场景，特定应用场景具体包括不限于重载交通，饱和交通，独柱墩桥、弯桥、坡桥等倾覆高风险桥梁，车辆/船舶撞击风险，地质灾害风险，高烈度地震区地震风险，水毁风险，采空区沉降风险，恶劣环境区耐久与桥面结冰风险，安全状况差、运营风险高潜在风

险，加固改造后评估、重要的人行天桥等场景。

特定应用场景应根据桥梁的结构类型、服役年限、环境特点、交通量、病害状况、潜在风险和养护管理需求等具体情况确定。

特定应用场景监测目的在于通过监测城市桥梁特定应用场景下的结构响应与结构变化关键指标，分析定量监测数据，辅助桥梁管养部门进行养护维修和应急处治。

3.0.3 桥梁结构监测技术自主可控、先进适用。

3.0.4 桥梁结构监测鼓励采用北斗卫星导航、5G 移动通信、人工智能与大数据等新技术和新设备。

3.0.5 应根据桥梁的受力状态、风险评估、耐久性分析结果和监测应用需求确定结构的监测内容、布设监测测点、选择监测方法、构建监测系统、进行数据管理、开展监测应用。

3.0.6 桥梁结构监测应分为系统设计、系统实施、系统验收、系统运维和监测数据应用阶段。

3.0.7 监测系统应由系统硬件、系统软件和配套工程组成。要求监测系统与外部系统互联互通、数据共享，实时展示监测结果，根据传输协议符合 JT/T 1037 的相关规定。

3.0.8 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。

3.0.9 监测系统应对结构状态异常进行报警，分析监测数据，评估桥梁结构安全性及健康程度。

【条文说明】报警是桥梁结构监测系统的重要功能之一。当桥梁环境、运营状态异常导致监测数据出现异常时,监测系统及时给出警示,提醒桥梁管理部门。当桥梁遭受地震、洪水、台风、船撞等突发事件后,监测系统可以回溯桥梁突发事件的全过程,通过对数据的分析,获得桥梁遭遇特殊事件后的状态,为桥梁管理部门制定突发事件后的应急管理方案提供技术支持。

3.0.10 监测数据分析、超限阈值的设置、健康状况评估应由具备相应资质的机构承担。

4 监测内容与方法

4.1 一般规定

4.1.1 监测内容应根据桥梁的技术状况、养护管理状况以及监测管理目标确定。不同特定应用场景间的相同监测项目不宜重复监测。

【条文说明】城市桥梁监测系统应与现行桥梁检查制度形成互补机制，定期对对比分析监测数据结果与桥梁检查结果，探索建立桥梁技术状况评定关键参数的定量化评定标准，综合评估桥梁结构安全状态，将监测工作纳入桥梁养护和运行管理工作中，充分利用监测数据和评估结果提升桥梁养护和运行管理科学性。

4.1.2 符合第 3.0.1 条规定的桥梁的监测内容、测点布设和监测方法应符合 GB 50982 和 JT/T 1037 的要求，监测参数宜包含：

- 1 环境参数，如温度、湿度等；
- 2 作用参数，如车辆荷载、风等；
- 3 结构响应参数，如应变、位移、振动、倾角等；
- 4 结构变化，如基础冲刷、裂缝、位移、腐蚀、断丝、螺栓状态等。

【条文说明】环境监测内容主要包括桥址环境温度、湿度、降雨量、结冰等影响桥梁安全和功能的自然环境因素；作用监测内容主要包括车辆荷载、结构温度、风速风向、风压、地震动、船舶（或漂流物）撞击等桥梁所受的直接或间接荷载；结构响应内容主要包括位移、转角、应变、索力、支座反力、结构振动等由作用引起的桥梁结构的静力或动力响应；结构变化内容主要包括基础冲刷、变位、裂缝、腐蚀、断丝等桥梁结构的几何形态、表观、结构性能发生的相对变化。

测点位置和数量应依据桥址环境、所受作用分布、结构构造特点、结构静力

和动力特性、结构病害分布等因素综合确定，应满足监测参数分析和结构状态评估需求。测点位置选取时应根据桥梁结构的受力分析结果对测点布设方案进行优化，选取的测点数据应与理论分析结果建立对应关系；宜对结构构件进行重要性、危险性和易损性分析，并将分析结果作为测点布设方案优化的参考指标；对施工过程中发生过质量安全事故，经检测、处理与评估后恢复施工或使用的桥梁部位应考虑布设对比测点；测点数量和数采设备接入能力应具有适度冗余，以确保系统的可靠性，并满足系统未来改进、扩充和升级的需要。

4.1.3 传感器和数据采集设备选型应满足监测量程、精度、分辨率、灵敏度、稳定性、环境适应性要求。

4.1.4 监测设备技术要求应符合附录 A 的规定，设备使用寿命至少 5 年以上。

4.1.5 数据采集采样频率以及数据采集、传输方式应符合 GB 50982 和 JT/T 1037 的相关规定。

4.2 特定应用场景桥梁监测

4.2.1 重载交通桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.1。

表4.2.1 重载交通桥梁监测内容及方法

监测场景	监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
规划大件运输通行	竖向位移	宜布置在跨中或跨中附近位置	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用，或采用非接触式多点挠度测量技术
	视频抓拍	宜布置在主梁竖向位移监测测点附近，能够清晰拍摄到桥面交通通行状况的位置	●	宜采用 IP 网络摄像机，像素应大于等于 200 万，并具备事件智能识别功能

监测场景	监测内容	布置位置	监测选项	监测方法
重载交通通行量大	车辆荷载监测	宜选择在路基或有稳定墩柱支撑的混凝土结构铺装层内	○	宜采用动态称重方法，单轴监测量程不宜小于限载车辆轴重的200%
	竖向位移	宜布置在跨中或跨中附近位置	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用，或采用非接触式多点挠度测量技术
	裂缝	应根据检查结果确定测点位置	○	传感器量程应大于裂缝宽度的5倍，测量最大允许误差不大于0.02mm
	应变	宜选择受力较大关键截面、部位	○	静应变监测可采用振弦式应变传感器，动应变监测可采用电阻应变传感器
	振动	宜选择跨中、1/4跨、3/4跨	○	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用，或采用非接触式多点挠度测量技术

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.2 饱和交通桥梁

各监测项目的测点布置和技术要求见表4.2.2。

表4.2.2 饱和交通桥梁监测内容及方法

监测内容	布置位置	监测选项	监测方法
视频抓拍	两侧桥头	●	宜采用 IP 网络摄像机，像素应大于等于200万，具备拥堵、事故、重车聚集、危化品车辆识别等智能识别功能
竖向位移	宜布置在跨中或跨中附近位置	○	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用，或采用非接触式多点挠度测量技术

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.3 独柱墩桥、弯桥、坡桥等倾覆高风险桥梁

各监测项目的测点布置和技术要求见表4.2.3。

表4.2.3 独柱墩桥、弯桥、坡桥等倾覆高风险桥梁监测内容及方法

监测内容	布置位置	监测选项	监测方法
------	------	------	------

支座偏位	应选择墩顶梁端支座处	●	可采用定性测量报警装置
视频抓拍	应选择墩顶梁端支座和两侧桥面处	●	宜采用 IP 网络摄像机,像素应大于等于 200 万, 具备事件智能识别功能
梁体倾角	宜选择主梁跨中	○	宜采用 MEMS 倾角传感器

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.4 车辆/船舶撞击高风险桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.4。

表4.2.4 车辆/船舶撞击高风险桥梁监测内容及方法

监测场景	监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
存在车辆撞击记录	振动	宜布置在车道/航道附近易于感知撞击信号位置处	●	宜采用 MEMS 加速度设备监测
净空尺度不满足航道规划尺度或抗撞性能不满足	视频抓拍	宜布置在振动监测测点附近, 能够清晰拍摄到车辆/船舶撞击的位置	○	宜采用 IP 网络摄像机,像素应大于等于 200 万, 具备车型、船型、碰撞、偏航等智能识别功能
存在非通航孔撞击风险	净空	宜布置在通航净空上方梁底的高程最低位置处	●	宜采用超声波水位传感器
存在下穿通道的桥梁	振动	宜布置在车道/航道附近易于感知撞击信号位置处	●	宜采用 MEMS 加速度设备监测

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.5 地质灾害易发山区桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.5。

表4.2.5 地质灾害易发山区桥梁监测内容及方法

监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
视频抓拍	两侧桥头	●	宜采用 IP 网络摄像机,像素应大于等于 200 万; 并具备事件智能识别功能
边坡位移	桥梁两侧边坡垮塌风险点	○	宜采用非接触式多点挠度测量方法

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.6 高烈度地震区桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.6。

表4.2.6 高烈度地震区桥梁监测内容及方法

监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
振动	宜布置桥台或承台位置处	●	宜采用加速度监测方法
视频抓拍	两侧桥头	○	宜采用 IP 网络摄像机,像素应大于等于 200 万

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.7 水毁多发区桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.7。

表4.2.7 水毁多发区桥梁监测内容及方法

监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
视频抓拍	单侧桥下	●	宜采用 IP 网络摄像机,像素应大于等于 200 万; 并具备事件智能识别功能
冲刷	宜布置桥墩处	○	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用
雨量	桥台处	○	可选用雨量传感器

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.8 采空区等易沉降桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.8。

表4.2.8 采空区等易沉降桥梁监测内容及方法

监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
沉降	桥梁墩台处	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用, 或采用非接触式多点挠度测量技术
视频抓拍	宜布置桥墩处	○	宜采用 IP 网络摄像机,像素应大于等于 200 万

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.9 恶劣环境区桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.9。

表4.2.9 恶劣环境频发的桥梁监测内容及方法

监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
------	------	------	------

风速风向	可在主跨跨中布设	●	宜采用三向超声风速仪
结冰	宜与车辆荷载视频监测测点同位置	●	可采用超声波测试法、视频监测法

注：●为应选监测项。

4.2.10 安全状况差、运营风险高的桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.10。

表4.2.10 安全状况差、运营风险高的桥梁监测内容及方法

监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
竖向位移	宜布置在跨中位置,或根据主梁在交通荷载作用下的竖向位移情况选择测点位置	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用,或采用非接触式多点挠度测量技术
裂缝	根据检查(测)、技术状况评定、养护维修结果确定测点位置	●	传感器量程应大于裂缝宽度的 5 倍,测量最大允许误差不大于 0.02mm
应变	宜选择受力较大关键截面、部位	○	静应变监测可采用振弦式应变传感器,动应变监测可采用电阻应变传感器

注：●为应选监测项，○为宜选监测项。

4.2.11 加固改造桥梁

各监测项目的测点布设和技术要求见表4.2.11。

表4.2.11 加固改造桥梁监测内容及方法

监测场景	监测内容	布设位置	监测选项	监测方法
预应力加固	竖向位移	宜布置在跨中位置,或根据主梁在交通荷载作用下的竖向位移情况选择测点位置	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用,或采用非接触式多点挠度测量技术
	应变	宜选择受力较大关键截面、部位	●	静应变监测可采用振弦式应变传感器,动应变监测可采用电阻应变传感器
	裂缝	根据检查(测)、技术状况评定、养护维修结果确定测点位置	○	传感器量程应大于裂缝宽度的 5 倍,测量最大允许误差不大于 0.02mm
	体外预应力	宜根据梁体结构构造	○	可采用基于电磁原理的测力仪器

	力	特点和预应力布设形式、位置确定		
梁体更换及纠偏、支座更换	横向位移	宜布置在加固改造梁体跨中或支点处	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用, 或采用非接触式多点挠度测量技术
	竖向位移	宜布置在加固改造梁体跨中或支点处	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用, 或采用非接触式多点挠度测量技术
	应变	宜选择受力较大关键截面、部位	○	静应变监测可采用振弦式应变传感器, 动应变监测可采用电阻应变传感器
	支座偏位	宜布设在墩顶梁端支座处, 宜根据不同支座的功能和类型选择支座位移测量方向	○	可采用定性测量报警装置
斜拉索或吊杆更换	竖向位移	宜布置在更换索体附近、挠度易受索力影响的主梁位置	●	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用, 或采用非接触式多点挠度测量技术
	索力	布置在更换的吊杆及邻近吊杆	●	索力监测宜采用间接测力或直接测力法
	应变	宜选择受力较大关键截面、部位	○	静应变监测可采用振弦式应变传感器, 动应变监测可采用电阻应变传感器
	裂缝	根据检查(测)、技术状况评定、养护维修结果确定测点位置	○	传感器量程应大于裂缝宽度的 5 倍, 测量最大允许误差不大于 0.02mm

注: ●为应选监测项, ○为宜选监测项。

4.2.12 重要的人行天桥

重要的人行天桥的监测内容应符合表 4.2.12 的规定, 可根据特定需求调整监测内容, 宜按 GB 50982、JT/T 1037 规定的方法进行监测。

表 4.2.12 重要的人行天桥监测内容及方法

监测项目		监测选项	测点布设	监测方法
环境	结冰	●	桥面及人行梯、坡道结冰	宜根据 JT/T 1037 的监测方法选用
作用	视频	●	通行状况实时监控	
	风速、风向	○	桥面风速、风向	
结构响应	位移	○	主梁结构位移	

	振动	●	主梁竖向振动加速度	
		○	桥墩顶部纵向及横向振动加速度	
结构变化	裂缝	●	结构裂缝	
	基础沉降	◎	桥墩基础沉降	

注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。

5 监测系统

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁监测系统的设计、实施、验收和运维应符合 GB 50982、JT/T 1037 的相关规定。

5.1.2 城市桥梁运行监测系统宜按照统一的数据标准与接口，实现与省部平台的信息共享与业务协同。

【条文说明】城市桥梁结构监测系统与省部级桥梁监测平台数据交互与共享时，需要满足省、部级平台统一的链路、传输安全技术要求。这意味着在数据交互和共享过程中，需要遵守统一的标准和规范，以确保数据的安全传输和可靠共享。

首先，统一的链路要求意味着数据的传输通道需要符合统一的标准和协议。可能需要使用加密技术、虚拟专用网络（VPN）、安全套接字层（SSU）等安全传输通道，以确保数据在传输过程中不受到未经授权的访问和窃取。

其次，传输安全技术要求涉及到数据传输过程中的安全控制和保护措施。这可能包括数据加密、数字签名、访问控制、身份验证等技术手段，以确保数据在传输过程中不受到篡改、损坏或未经授权的访问。

这种统一的链路、传输安全技术要求可以帮助确保数据交互和共享的安全性和可靠性，同时也有助于简化数据交互和共享的流程，减少不必要的安全风险和数据泄漏的可能性。

此外，满足省、部级平台统一的链路、传输安全技术要求还有助于确保数据交互和共享的合规性，遵守法律法规和行业标准，从而保障桥梁监测数据的安全

和隐私。这对于提高桥梁结构监测的综合性能和可靠性,促进城市基础设施的安全和可持续发展具有重要意义。

5.1.3 城市桥梁运行监测系统的网络安全宜按照 GB/T 22239、GB/T 25070 的规定建立信息安全保护,信息系统安全保护等级应按 GB/T 22239 定级为二级或二级以上。

5.2 系统设计

5.2.1 系统设计应基于桥梁结构计算、分析、风险评估结果进行,宜包括下列内容:

- 1** 系统功能要求与总体方案设计;
- 2** 系统各模块的工作流程、功能设计、详细设计及集成方案;
- 3** 监测内容和测点选择、监测方法、设备选型与安装方案;
- 4** 系统数据采集、传输、处理与管理方案;
- 5** 系统供配电、通信、防雷、防护方案;
- 6** 系统及其附属设施的预埋件和预留孔洞方案;
- 7** 系统数据分析和超限管理方案;
- 8** 系统与桥梁主体结构、供配电、通信、监控中心的房建等的工程界面划分;
- 9** 针对系统维护的桥梁检修通道设计需求;
- 10** 系统软件和硬件的维护更换、扩容升级建议。

5.2.2 系统数据采集、传输、供配电、通信、防雷、预埋件、预留孔洞方案等应基于环境适应性、匹配性设计。

5.2.3 新建、在役桥梁的系统设计应明确桥梁现场系统供配电、通信接入点技术要求，纳入桥梁机电工程统一设计预留。

5.2.4 系统设计应提出监控中心环境、技术要求，纳入监控中心房建、机电体系统一设计。

5.3 系统实施

5.3.1 系统实施应根据系统设计进行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。

5.3.2 传感器、数据采集与传输设备等硬件设备安装调试应符合设计要求，安装前应检定，安装后进行校验。

5.3.3 系统软件开发宜采用国内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。

5.3.4 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。

5.3.5 系统软件宜由具备资质的软件测评单位进行软件测试，测试流程和内容应符合 GB/T 15532 和 GB/T 9386 的相关规定。

5.3.6 软件安装和调试分步进行，软件系统部署完成后应进行功能确认。

5.3.7 数据处理与管理软件部署完成后以及软硬件联合调试完成后,均应验证是否与设计文件技术要求一致。

5.4 系统验收

5.4.1 监测系统交付前应进行不少于 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。监测系统试运行期结束后，应开展系统验收工作。

5.4.2 系统验收宜分为交工验收和竣工验收。与新建桥梁同期建设的监测系统应与桥梁建设同步进行交（竣）工。在役桥梁独立建设的监测系统交工后系统缺陷责任期宜为 2 年。

5.4.3 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。

5.4.4 系统硬件验收应检查安装设备材料的数量、规格型号、技术参数等应与合同文件、设计文件一致，合格证、质保卡、说明书及出厂检验报告等应齐全，传感器的安装是否可靠。

5.4.5 系统软件验收应检查软件功能是否完整，是否与设计要求一致。

5.4.6 系统交（竣）工验收应检查验收资料的齐全性、规范性和一致性，验收资料宜包含下列内容：

1 合同相关资料，合同协议书、合同谈判纪要等；

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、设备设施检验资料，监理资料（质量控制资料）、有关会议纪要等；

3 技术成果资料，系统竣工图、实施成果报告、系统试运行报告、硬件维护手册、软件操作手册等。

5.5 系统运维

5.5.1 系统运维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。

5.5.2 日常检查应符合下列规定：

1 硬件设施的日常检查宜结合桥梁的日常巡查工作开展，软件系统的日常检查宜至少每周1次；

2 日常检查主要检查硬件设施及软件系统的运行情况，工作状态，功能是否正常及稳固性进行检查；

3 对巡查中发现的问题或系统软件反馈的问题，应及时处置或通知专业单位进行处置，并对处置结果进行记录。

5.5.3 定期（专项）维护符合下列规定：

1 硬件设施宜不低于每半年进行1次定期维护，软件系统宜每月至少开展1次定期维护；

2 对超限车辆过桥等可预见的特殊事件发生前应对系统进行专项维护；

3 对维护发现的问题应在24h内响应并及时处置。

5.5.4 应急维护符合下列规定：

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。

6 数据管理与分析

6.1 数据管理

6.1.1 数据编码应符合下列相关规定：

- 1 监测数据应进行编码管理，并确定编码规则，数据编码宜参考JT/T 132的规定；
- 2 监测数据宜包括桥梁的基础信息和监测信息数据；
- 3 监测数据应包含测点编号、数据采集时间及数值、数据状态等信息；
- 4 视频信息数据应以视频媒体文件形式压缩存储，视频文件应存储其属性信息；
- 5 视频格式与编码宜符合GB/T 28059.2的规定；
- 6 文本以文档格式分类分级别存储。

6.1.2 数据预处理应符合下列相关规定：

- 1 数据采集设备的数据预处理能力应与传感器的性能相匹配，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、结构变位的特征数据，并应符合GB/T 38637.2的相关规定；
- 2 传感器感知的信号应进行预处理，监测数据信号选择对应的算法，宜采用阈值法、平均值法；
- 3 提取数据应全面,具备代表性。对图像、音频、视频及文本非结构数据的抽取应符合 GB/T 32630的规定。

【条文说明】由于环境因素影响以及硬件设备自身稳定性的原因,监测系统采集的监测数据时常会出现数据异常,包括数据缺失、数据飘移、长周干扰、非

一致异点（跳点）、干扰噪声、及其他难以快速识别和消除的数据异常等,这些异常数据将严重影响监测数据分析结果的准确性,因此在数据分析应用前,需进行数据预处理,包括异常数据识别、错误数据剔除等,由于数据量较大,宜采用基于深度学习的方法进行处理。

6.1.3 数据存储应符合下列相关规定:

1 桥梁结构监测系统数据存储宜分为桥梁现场采集站存储、监控中心计算机机房存储和云存储,宜在线存储,也可离线存储;

2 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和管理;

3 数据库应存储和管理监测系统所有监测内容的原始数据;

4 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;

5 监控中心计算机机房实时监测数据存储时间宜大于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;

6 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;

7 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。

6.1.4 数据交互与共享应符合下列相关规定:

1 监测系统与外部系统数据交互方式可采用数据交换接口、中间存储介质或数据库同步等方式；

2 数据交互应采取权限验证和安全管理措施，通过互联网传输的应进行加密和身份验证。

6.2 数据分析与应用

6.2.1 数据分析应符合下列相关规定：

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性检查、定期检查与特殊检查数据进行分析；

2 监测数据分析应用前，应根据监测数据中错误数据特征，剔除错误数据，保证监测数据分析结果的可靠性。可采用设置合理阈值、统计特征分析、机器学习等方法进行错误数据剔除；

3 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、机器学习或其他可靠方法；

4 监测数据分析样本时长，宜根据监测内容的特征确定；

5 环境、作用、结构响应和结构变化数据分析应符合JT/T 1037的相关规定。

6.2.2 超限阈值与报警应符合下列相关规定：

1 超限阈值应分为三级，当监测数据超过各级超限值时，宜同步报警；

2 各级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、

特殊事件应急响应等桥梁监测应用需求，监测数据超限阈值可依据JT/T 1037的规定设定，超限阈值可根据桥梁健康度和技术状况进行调整；

3 监测数据超限时，应分析超限监测数据类型与超限等级，宜参照JT/T 1037的规定提出检查建议；

4 监测系统报警功能应与桥梁养护管理制度形成协同机制，出现报警时应提醒桥梁养护管理单位进行桥梁检查、检测、特殊检测、交通管制、封闭桥梁等响应措施。

【条文说明】报警信息包括报警级别、报警传感器编号和位置、报警监测值和报警阈值、报警时刻的桥面行车图像信息等。报警形式除了在软件界面自动实时展示外，还可通过声光报警、邮件、短信、微信、APP等形式发送报警信息。

桥梁检查、检测、特殊检测等内容和技术要求应符合现行行业标准《城市桥梁养护技术标准》CJJ99、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》JTG/T 5122的相关规定，并依据上述养护规范制定检查和养护措施，并与桥梁监测系统形成协同、互补的养护管理机制。

桥梁检查对应上述规范中的日常巡查和经常性检查；桥梁检测对应上述规范中的定期检查或定期检测；特殊检测对应上述规范中的特殊检测或特殊检查。

6.2.3 特殊事件应急响应符合下列相关规定：

1 桥梁在遭受涡振、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，应对特殊事件全过程监测数据进行分析，辅助应急响应决策，并评估结构健康度，必要时组织专家研判；

2 特殊事件应急响应管理宜参照JT/T 1037的规定执行。

6.2.4 结构健康度评估应符合下列相关规定：

1 桥梁结构健康度应包括结构整体健康度和结构构件健康度，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，宜按照JT/T 1037的规定进行结构健康度评估；

2 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，应由专家对评估结果进行研判。

6.2.5 监测数据应用报告应符合下列相关规定：

1 监测数据应用成果可包括日常监测报告、特殊事件报告、养护评估报告和基础研究报告，各类报告是超限报警、应急响应、养护评估、基础研究四类应用场景的主要载体，报告出具的频次应满足表6.2.5的要求；

表 6.2.5 监测数据应用频次要求

序号	报告类型	频次
1	日常监测报告	季度、年度
2	特殊事件报告	特殊事件发生后
3	养护评估报告	年度
4	基础研究报告	按需

2 日常监测报告内容应包括系统运行情况说明和桥梁结构状况分析，并给出分析结论和管养建议，系统运行情况说明宜包括数据质量分析、软硬件维护情况等，桥梁结构状况分析宜汇总说明周期内各监测数据分析及其超限报警情况、特殊事件应急响应下的分析结论以及为养护评估而开展的相关数据分析和结论；

3 针对影响程度较大的地震、车船撞击、大件运输车辆过桥、主梁涡激振动等对桥梁安全运行管理影响较大的特殊事件，应编制特殊事件报告，其他类型

特殊事件视影响程度大小确定是否编制报告,特殊事件报告应说明事件概况以及监测数据超限报警、应急处置、信息报送等情况,分析事前、事中、事后数据,评估事件影响,给出管养建议;

4 养护评估报告宜综合采用监测、检查等数据分析成果编制,宜包括结构健康度评估和其他专项养护评估等内容,并综合分析评估结构整体受力性能、主要受力构件性能、附属设施使用性能等,给出评估结论和管养建议;

5 基础研究报告可结合研究情况,针对桥梁结构构件、材料、附属设施等长期性能或其他研究内容进行编制。

附录 A（规范性） 监测设备的技术要求

监测设备选型可根据实际情况按表A.01~A.14的要求执行。

表A.01 动态称重系统的技术要求

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

表A.02 超声风速仪的技术要求

项目	技术要求
测量参数	三个正交方向的风速和风向
风速	测量范围：0~40 m/s（台风区为0~65 m/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)
采样频率	≥20Hz

表A.03 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°
采样频率	≥10Hz

表A.04 三向加速度传感器的技术要求

项目	技术要求
----	------

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

表A.05 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
测量范围 (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℃

表A.06 雨量计的技术要求

项目	技术要求
分辨力	≤0.1mm
误差	≤2% (降雨强度≤25mm/h) ≤3% (25mm/h<降雨强度≤50mm/h)

表A.07 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	≤1μg
误差	≤1%
灵敏度	≥2.5V/g (可定制)
横向灵敏度比	≤1%
频率响应	0~120 Hz
动态范围	≥120dB

表A.08 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: $\leq 5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$
采样频率	$\geq 10\text{Hz}$

表A.09 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	$\leq 0.1\%$
过压影响	$\leq 0.025\% \text{FSR} / 16\text{MPa}$
稳定性	$\leq 0.1\% \text{FSR} / 60\text{个月}$

表A.10 静力水准仪的技术要求

项目	技术要求
测量范围	0~150mm (可定制)
分辨力	$\leq 0.025\%$
误差	$\leq 0.1\%$

表A.11 应变计的技术要求

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

表A.12 加速度传感器 (频率法) 的技术要求

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

表A.13 数据采集设备的技术要求

项目	技术要求
测量范围	-10V~+10V (可定制)
分辨力	24位 AD
误差	≤0.01%
采样频率	≥100Hz (可定制)
时间同步	IEEE1588、卫星授时系统等
共模干扰	120dB

表A.14 光纤光栅解调仪的技术要求

项目	技术要求
测量范围 (波长)	1525~1565nm (可定制)
分辨力	≤0.1pm
误差	≤1pm
动态范围	≥50dB
采样频率	≥100Hz (可定制)

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指定应按其它有关标准、规范执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”；非必须按所指定的标准、规范执行时，写法为：“可参照……”。

引用标准名录

- 1 《计算机软件测试文档编制规范》GB/T 9386
- 2 《计算机软件测试规范》GB/T 15532
- 3 《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239
- 4 《信息安全技术 网络安全等级保护安全设计技术要求》GB/T 25070
- 5 《公路网图像信息管理系统 平台互联技术规范 第2部分：视频格式与编码》
GB/T 28059.2
- 6 《非结构化数据管理系统技术要求》GB/T 32630
- 7 《物联网 感知控制设备接入 第2部分：数据管理要求》GB/T 38637.2
- 8 《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982
- 9 《公路数据库编目编码规则》JT/T 132
- 10 《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037