云南省工程建设地方标准 DB

**DBJ -xxx-2023**

**P 备案号： xxxxxx-2023**

云南省城市桥梁健康监测系统技术规程

Technical Code for Urban Bridge Hazard Monitoring System in Yunnan Province

（征求意见稿）

**2023-xx-xx 发布 2024-xx-xx实施**

云南省住房和城乡建设厅 发布

前 言

本规程根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发云南省2020年工程建设地方标准编制计划（第一批）的通知》要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容有：总则、术语、基本规定、系统设计、系统实施、系统管理及维护，本规程用词说明、本规程引用标准名录和条文说明。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责发布和归口管理。由云南省设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送云南省设计院集团有限公司。（地址：　　　　　　　　邮编：　　　　　　　　　邮箱：　　）

主编单位：云南省设计院集团有限公司

　　　　　国投工程检验检测有限公司

　　　　　招商局重庆公路工程检测中心有限公司

参编单位：中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

　　　　　云南省市政工程协会

　　　　　昆明桥隧管理有限公司

　　　　　云南省勘察设计协会

　　　　　华昆工程管理咨询有限公司

　　　　　中星数创（云南）科技有限公司

　　　　　四川升拓检测技术股份有限公司

　　　　　云南云检工程技术检测有限公司

　　　　　昆明理工大学

　　　　　中铁上海局集团第六工程有限公司

　　　　　云南建安昆宁工程设计咨询有限公司

　　　　　云南城投众和建设集团有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

[1 总　则 1](#_Toc136506053)

[2 术 语 2](#_Toc136506054)

[3 基本规定 6](#_Toc136506055)

[4 系统设计 7](#_Toc136506056)

[4.1 一般规定 7](#_Toc136506057)

[4.2 监测内容及测点布设 7](#_Toc136506058)

[4.3 监测数据的采集、分析、评估和应用 22](#_Toc136506059)

[4.4 硬件系统设计 39](#_Toc136506060)

[4.5 软件系统设计 51](#_Toc136506061)

[4.6 专线监测设计 54](#_Toc136506062)

[4.7 施工期监测及其他数据源的纳入方案 55](#_Toc136506063)

[4.8 系统的物联网接入方案 56](#_Toc136506064)

[5 系统实施 57](#_Toc136506065)

[5.1 一般规定 57](#_Toc136506066)

[5.2 系统施工组织 60](#_Toc136506067)

[5.3 系统试运行](#_Toc136506068)

[5.4项目质量管理 67](#_Toc136506068)

[6 系统管理及维护 75](#_Toc136506069)

[6.1 一般规定 75](#_Toc136506070)

[6.2 日常维护 75](#_Toc136506071)

[6.3 专项维护 76](#_Toc136506073)

[6.4 异常处置 77](#_Toc136506074)

[附录A（资料性）验收表格 79](#_Toc136506075)

[附录B（资料性）系统维护检查记录表 83](#_Toc136506076)

[本规程用词说明 92](#_Toc136506077)

[本规程引用标准名录 93](#_Toc136506078)

[附：条文说明 94](#_Toc136506079)

**Contents**

**[1 General Provisions 1](#_Toc136506053)**

**[2 Terms 2](#_Toc136506054)**

**[3 Basic Requirements 6](#_Toc136506055)**

**[4 System Design 7](#_Toc136506056)**

[4.1 Basic Requirements 7](#_Toc136506057)

[4.2 Monitoring Contents and Monitoring Points Layout 7](#_Toc136506058)

[4.3 Acquisition, Analysis, Assessment and Application of Monitoring Data 22](#_Toc136506059)

[4.4 Hardware System Design 39](#_Toc136506060)

[4.5 Software System Design 51](#_Toc136506061)

[4.6 Monitoring Design for Special Line 54](#_Toc136506062)

[4.7 Monitoring in Construction Period and](#_Toc136506063) [Incorporation (Inclusion) of Other Data Sources 55](#_Toc136506063)

[4.8 IoT Connection of the System 56](#_Toc136506064)

**[5 System Implementation 57](#_Toc136506065)**

[5.1 Basic Requirements 57](#_Toc136506066)

[5.2 System Construction Organization 60](#_Toc136506067)

[5.3 Trial Operation of System](#_Toc136506068)

[5.4 Project Quality Management 67](#_Toc136506068)

**[6 System Management and Maintenance 75](#_Toc136506069)**

[6.1 Basic Requirements 75](#_Toc136506070)

[6.2 Routine Maintenance 75](#_Toc136506071)

[6.3 Special Maintenance 76](#_Toc136506073)

[6.4 Exceptional Handling 77](#_Toc136506074)

**[Appendix A (Informative) Acceptance Form 79](#_Toc136506075)**

**[Appendix B (Informative) System Maintenance Check Record Form 83](#_Toc136506076)**

**[Explanation of Wording in This Code 92](#_Toc136506077)**

**[List of Quoted Standards 93](#_Toc136506078)**

**[Explanation of Provisions 94](#_Toc136506079)**

# 总　则

* + 1. 为规范桥梁健康监测系统的设计、建设和运维，保障系统软硬件的持续稳定运行，做到设计合理、技术可靠、经济适用，制定本规程。
    2. 本规程适用于云南省的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。
    3. 城市桥梁结构的监测，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关规范、标准的规定。

# 术语

* + 1. 桥梁健康监测系统 bridge hazard monitoring system

以评价桥梁健康状态为目的所建立的监测系统总称，包括信息化监测系统、数字化监测系统和智慧化监测系统等。

* + 1. 信息化监测系统 information monitoring system

运用计算机网络系统、监测桥梁结构体上安装的传感器系统和数据采集系统，实现桥梁环境、作用、结构响应与结构变化定量数据采集、传输、存储和展示的电子信息系统。其中，设置监测项超限阈值进行超限预警功能和实现物理世界映射到模型空间进行数据管理的系统属于信息化系统。

* + 1. 数字化监测系统 digital monitoring system

基于信息化监测系统，实现监测数据与结构力学模型融合应用的电子信息系统。数字化系统明显特征是通过监测时间节点或时间段的监测数据得出对应的力学分析结果输出，输出结果可以进行结构损伤识别和结构承载力评定。

* + 1. 智能化监测系统 intelligent monitoring system

基于数字化监测系统，运用大数据、云计算和机器学习等人工智能技术，实现对特定桥梁、系统内同一类型桥梁或系统内所有桥梁的结构问题特征提取分析，并根据结构存在的问题和趋势对结构损伤与寿命演化做出预测，智能提出结构养护和加固施工的最优解决方案与管理决策建议等集成性的具有一定人工智能特性的电子信息系统。

* + 1. 传感器 sensor

能够感知并转换测量对象某种物理量或化学量的物理设备或装置。通过将这些物理量或化学量转换为电信号，传感器能够将其发送到其他设备或系统进行处理和分析。在桥梁健康监测系统中，传感器通常被用来监测桥梁结构的振动、应力、应变、温度、湿度等参数，以便及时检测出潜在损伤或故障。

* + 1. 数采设备 data acquisition equipment

在监测点安装的，用于采集和传输监测数据的设备。数采设备能够通过传感器获取桥梁结构的实时监测数据，将这些数据进行处理和分析，并将其传输到监测中心或数据存储服务器上，供工程师和技术人员进行分析和处理，以评估桥梁结构的健康状况。数采设备通常包括数据采集器、传感器、通信模块等组成部分。

* + 1. 传输设备 transmission equipment

用于将数据从数采设备或其他监测设备传输到计算机或其他数据处理设备的硬件设备。传输设备可以使用有线或无线技术进行数据传输，例如以太网、无线局域网、GPRS以及4G等。在桥梁健康监测系统中，传输设备需确保实时监测数据能够及时准确地传输到数据处理系统中进行处理和分析。

* + 1. 采集机柜 acquisition cabinet

专门用于桥梁健康监测系统中的数据采集和控制设备。采集机柜通常由数采设备、传输设备、数据存储设备、控制器、电源等组成，并集成在一个机柜内。采集机柜通常需要满足防水、防尘、防腐等环境要求，以适应复杂的野外环境。采集机柜可以通过有线或无线方式连接到传感器和其他监测设备，采集并处理传感器测量到的桥梁结构响应数据。采集机柜可实现数据存储、实时分析、数据传输、报警等功能，将采集到的数据传输给监测软件或其他设备进行处理和分析。

* + 1. 平均无故障工作时间（MTBF） mean time between failures (MTBF)

在特定条件下，设备或系统运行一段时间内平均无故障的时间，以用于评估设备或系统的可靠性和稳定性。可以通过对设备或系统历史故障数据进行分析和统计得出，通常用小时数来表示。较高的MTBF值意味着设备或系统较为可靠，故障率较低，同时也表明设备或系统的设计和制造质量较高。在桥梁健康监测系统中，MTBF可以用于评估各种设备的可靠性和性能，以便选择最合适的设备并优化系统运行效率。

* + 1. 数据缺失率 data missing rate

在数据采集过程中，由于传感器故障、信号传输中断、数据传输失败等原因导致数据未能正常采集的比例。数据缺失率通常用百分比来表示，是评估监测系统数据完整性和准确性的一个重要指标。在桥梁健康监测系统中，数据缺失率较高可能会影响监测数据的分析和准确性，从而对桥梁的健康状况评估产生负面影响。

* + 1. 软件部署 software deployment

将开发好的软件应用程序或系统，在目标计算机、服务器或设备上进行安装和配置，以使其能够运行和发挥作用的过程。软件部署涉及将软件代码、配置文件和依赖项等内容部署到指定的硬件设备或云平台上，并确保其能够正确地运行和集成到目标环境中。在桥梁健康监测系统中，软件部署是指将监测软件应用程序部署到采集机柜、数据存储设备等目标设备上，以实现桥梁监测系统的数据采集、存储和分析功能。软件部署需要进行严格的测试和验证，确保软件的稳定性和性能，同时需要考虑到目标设备的硬件环境和网络条件等因素，以确保软件能够正确地运行和与其他设备和系统进行通信。

* + 1. 监测点 monitoring points

在桥梁结构中设置的特定位置，通过安装传感器等监测设备，对桥梁结构的各项物理参数进行实时监测和采集的位置。监测点的位置和数量通常根据桥梁结构的设计和实际使用情况进行确定，以覆盖关键部位和可能发生变形或破坏的区域。

* + 1. 数据库 data base

按照特定结构组织和存储数据的集合，可以使用计算机软件对其中的数据进行访问、管理和处理。桥梁健康监测系统中的数据库通常用于存储各种监测数据、系统配置信息、用户信息等相关数据。在桥梁健康监测系统中，数据库的设计和管理直接关系到数据的安全性、完整性和可靠性。

* + 1. 网络安全 network security

在计算机网络环境中，保护网络系统和网络用户不受未经授权的访问、攻击、破坏、窃取、篡改和病毒等威胁的一系列技术、策略和措施。网络安全通常涵盖网络安全管理、网络安全技术、网络安全政策等方面，主要包括防火墙、入侵检测、数据加密、身份认证、访问控制、安全审计等技术手段。桥梁健康监测系统中包含大量敏感信息和数据，因此需要采用有效的网络安全技术和措施，保障系统的安全性和可靠性，防止系统受到各种攻击和破坏。

* + 1. 系统维护 system maintenance

对系统进行定期或不定期的检查、保养、修复和升级等操作，以保证系统正常运行并提高系统的可靠性、可用性和安全性。系统维护包括硬件维护、软件维护和数据维护，通常由专业的系统管理员或运维人员负责。

* + 1. 动态称重系统 dynamic weighing system

一种能够在车辆通过时实时检测车辆重量的系统。由传感器、数据采集设备、数据传输设备、数据处理软件等组成，可对过往车辆的重量、速度等数据进行采集、传输和处理，提供给相关部门进行数据分析、管理和监控，以便进行桥梁结构的健康监测和安全评估。

* + 1. 分部工程验收 acceptance of sectioin works

在工程建设过程中，按照国家和地方相关规定及标准，将整个工程划分为若干个分部或单位工程，对每个分部工程进行相应的技术验收和验收合格后方可继续施工的过程。

* + 1. 分项工程验收 acceptance of sub-section works

建设单位在按照工程设计要求完成各项施工任务后，对工程的质量、安全等方面进行检查、测试、验收、鉴定，评价其是否符合设计、施工规范和建设标准等要求，保证工程质量、安全和环境保护等目标的实现。

* + 1. 单位工程验收 acceptance of unit works

在工程建设中，针对一个独立的、完整的建筑或者构筑物单位，通过检查、测试、测量等手段，检验其是否符合规划、设计、标准、技术规范等要求，是否具有安全、可靠、经济、合理等特点的过程。

* + 1. 竣工验收 completion

建设单位在建筑工程全部或者部分完成后，对工程所完成的质量、规格、数量、安全、环保等方面进行检查、测试和评定，以确定工程是否满足设计要求、技术标准和质量要求，并达到法定的安全和环保标准，具备相应的可靠性、使用寿命和节能要求，以及经验性要求。

# 基本规定

* + 1. 城市桥梁符合下列条件之一时，应进行桥梁健康监测。

1 主跨跨径大于等于160m梁桥、200m拱桥、300m斜拉桥、500m悬索桥；

2 技术状况等级为C级以下且须跟踪观测的在役桥梁；

3 经过评定需要进行健康监测的桥梁。

* + 1. 对需要监测的待建桥梁，结构设计阶段应统筹监测系统设计。
    2. 桥梁健康监测系统应由系统硬件、系统软件和配套工程组成。
    3. 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。
    4. 桥梁结构监测应分为系统设计、系统实施、系统试运行、系统验收、系统运维和监测数据应用阶段。
    5. 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。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。
    6. 轻量化桥梁健康监测系统应具备预警和应用指引功能，应预留接入省级监测平台系统的接口。
    7. 对于新建桥梁，宜将施工监控和运营期健康监测系统统一设计，施工期布设的监测设备在运营期不宜重复布设，应做好施工期和运营期的数据衔接。
    8. 健康监测系统建设应不影响桥梁本体结构的安全性和耐久性，监测设备安装底座、预留管线等宜在桥梁施工期预埋。对列入文物保护的桥梁，健康监测系统的现场实施尚应符合文物保护部门的有关规定。
    9. 公轨两用桥梁的健康监测系统尚应符合《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第2部分：桥梁》GB/T 39559.2的要求。

# 系统设计

## 一般规定

### 健康监测系统应对异常状况进行报警，分析监测数据，评估桥梁结构状态及变化。

### 软件系统应技术先进、稳定可靠、经济实用、便于维护更换及扩展升级、人机交互友好、操作便捷流畅。

* + 1. 健康监测系统应提供故障自诊断功能。

### 监测设备和数据采集频率应根据经济和技术因素综合确定。

### Ⅱ类养护的C级及以上桥梁宜以成桥状态或年平均气温作为基准状态，D级及以下桥梁应以检测评估结论的状态为基准状态，监测数据分析应基于基准状态进行。

### 监测方案制定前应收集桥梁设计资料、施工资料、加固维修资料、检测资料，并开展现场调查，了解现场限制条件，确定监测重点部位和内容。

### 监测方案计算分析应根据受力特点选择梁单元、板单元等建立有限元模型。成桥状态应计入施工过程的影响，运营阶段应计入混凝土收缩、徐变效应的影响。

### 监测方案应明确传感器的类型和数量，安装位置、方向。

## 监测内容及测点布设

### 桥梁健康监测内容应包括：环境、作用、结构响应和结构变化。应根据桥梁的运行环境、受力状态分析、技术状况评估结果、安全性评估结果、监测应用目标确定具体监测内容。

### 航道等级为Ⅰ级～Ⅵ级的通航孔桥和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。

### 监测内容宜兼顾《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99中规定的桥梁永久观测点观测需求。

### 特大跨径梁桥监测内容宜按表4.2.4选择相应监测内容。

| 表 4.2.4 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 | ● |
| 封闭箱梁内温度、湿度 | ● |
| 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 | ● |
| 人群荷载 | 人流量 | ◎ |
| 风速、风向 | 桥面风速、风向a | ◎ |
| 结构温度 | 混凝土或钢结构构件温度 | ● |
| 船舶撞击 | 桥墩加速度 | ○ |
| 视频图像 | ○ |
| 车辆撞击 | 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7度及以上） | ● |
| 承台顶或桥墩底部加速度  （抗震设防烈度为7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 | ○ |
| 结构  变化 | 基础冲刷 | 基础冲刷深度 | ◎ |
| 基础沉降 | 基础沉降量 | ○ |
| 线形 | 主梁竖向线形 | ● |
| 伸缩缝变位 | 伸缩缝宽度 | ● |
| 裂缝 | 混凝土结构结构性裂缝 | ○ |
| 钢结构结构性裂缝 | ○ |
| 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 | ● |
| 螺栓状态 | 高强螺栓紧固力、螺栓滑脱 | ○ |
| 注：1●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项；  2 a表示适用于有通行、作业管控需求的桥梁。 | | | |

### 特大跨径拱桥监测内容宜按表4.2.5选择相应监测内容。

| 表 4.2.5 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 | ● |
| 封闭箱梁内温度、湿度 | ● |
| 封闭箱拱内温度、湿度 | ● |
| 结冰 | 桥面结冰、吊杆（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 | ● |
| 人群荷载 | 人流量 | ◎ |
| 风速、风向 | 中承式、下承式桥梁桥面风速、风向 | ● |
| 上承式桥梁桥面风速、风向a | ◎ |
| 拱顶风速、风向 | ◎ |
| 结构温度 | 混凝土或钢结构构件温度 | ● |
| 船舶撞击 | 桥墩加速度 | ○ |
| 视频图像 | ○ |
| 车辆撞击 | 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7度及以上） | ● |
| 承台顶或桥墩底部加速度  （抗震设防烈度为7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 | ○ |
| 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 | ○ |
| 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 | ◎ |
| 基础沉降 | 基础沉降量 | ● |
| 线形 | 主梁竖向线形 | ● |
| 主拱竖向线形 | ● |
| 位移 | 拱脚竖向位移、水平位移、转角 | ● |
| 伸缩缝变位 | 伸缩缝宽度 | ● |
| 裂缝 | 混凝土结构结构性裂缝 | ○ |
| 钢结构结构性裂缝 | ○ |
| 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：1 ●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项；  2 a表示适用于有通行、作业管控需求的桥梁。 | | | |

### 特大跨径斜拉桥监测内容宜按表4.2.6选择相应监测内容。

| 表 4.2.6 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 | ● |
| 封闭箱梁内温度、湿度 | ● |
| 索塔锚固区温度、湿度 | ● |
| 雨量 | 降雨量 | ◎ |
| 结冰 | 桥面结冰、斜拉索结冰 | ◎ |
| 雾 | 能见度 | ● |
| 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 | ● |
| 人群荷载 | 人流量 | ◎ |
| 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 | ● |
| 船舶撞击 | 桥墩加速度 | ○ |
| 视频图像 | ○ |
| 车辆撞击 | 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7度及以上） | ● |
| 承台顶或桥墩底部加速度  （ 抗震设防烈度为7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 | ● |
| 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 | ◎ |
| 基础沉降 | 有辅助墩的斜拉桥基础沉降量 | ● |
| 无辅助墩的斜拉桥基础沉降量 | ○ |
| 线形 | 主梁竖向线形、桥塔线形 | ● |
| 伸缩缝变位 | 伸缩缝宽度 | ● |
| 裂缝 | 混凝土结构结构性裂缝 | ○ |
| 钢结构结构性裂缝 | ○ |
| 腐蚀 | 主墩墩身、承台混凝土氯离子浓度 | ◎ |
| 主墩墩身、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：1、●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。 | | | |

### 特大跨径悬索桥监测内容宜按表4.2.7选择相应监测内容。

| 表 4.2.7 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 | ● |
| 封闭箱梁内温度、湿度 | ● |
| 主缆内温度、湿度 | ○ |
| 锚室内温度、湿度 | ● |
| 鞍罩内温度、湿度 | ● |
| 索塔内温度、湿度 | ○ |
| 结冰 | 桥面结冰、主缆结冰 | ◎ |
| 雾 | 桥面能见度 | ● |
| 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 | ● |
| 人群荷载 | 人流量 | ◎ |
| 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 | ● |
| 船舶撞击 | 桥墩加速度 | ○ |
| 视频图像 | ○ |
| 车辆撞击 | 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7度及以上） | ● |
| 承台顶或桥墩底部加速度  （ 抗震设防烈度为7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 | ● |
| 支座反力 | 支座反力 | ○ |
| 振动 | 主梁竖向振动加速度 | ● |
| 视频图像 | ● |
| 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 | ◎ |
| 基础沉降 | 基础沉降量 | ○ |
| 线形 | 主梁竖向线形、主缆线形、索塔线形 | ● |
| 位移 | 锚碇或主缆锚固点位移 | ● |
| 伸缩缝变位 | 伸缩缝宽度 | ● |
| 裂缝 | 混凝土结构结构性裂缝 | ○ |
| 钢结构结构性裂缝 | ○ |
| 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、螺滑脱 | ○ |
| 索夹滑移 | 索夹滑移 | ○ |
| 注：1 ●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。 | | | |

### 悬索桥发生涡振时应启动视频录像，作为特殊事件进行记录。

### 组合结构桥梁监测内容可根据结构主要受力特点按表4.2.4～表4.2.7选择相应监测内容。

### 对于常规跨径桥梁，可根据桥梁的结构特点、既有病害、历次检测结果和特定需求选择监测内容，建设轻量化健康监测系统，也可就特定目的有针对性地进行专项监测。常规跨径桥梁轻量化健康监测可按表4.2.10选择相应监测内容。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 4.2.10 常规跨径桥梁轻量化监测内容 | | | | | | |
| **监测类别** | | **监 测 内 容** | **梁桥** | **拱桥** | **斜拉桥** | **悬索桥** |
| 作用 | 结构温度 | 混凝土或钢结构构件温度 | ● | ● | ● | ● |
| 结构  响应 | 位移 | 主梁竖向位移 | ● | ● | ● | ● |
| 拱顶位移 | / | ● | / | / |
| 支座位移 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 应变 | 主梁关键截面应变 | ● | ● | ● | ● |
| 主拱关键截面应变 | / | ○ | / | / |
| 支座反力 | 支座反力 | ○ | ◎ | ◎ | ◎ |
| 振动 | 主梁竖向振动加速度 | ● | ○ | ● | ● |
| 主拱振动加速度 | / | ● | / | / |
| 吊杆（索）、拉索索力 | / | ● | ● | ● |
| 结构  变化 | 基础冲刷 | 基础冲刷深度 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| 基础沉降 | 基础沉降量 | ○ | ● | ○ | ○ |
| 伸缩缝变位 | 伸缩缝宽度 | ● | ○ | ○ | ○ |
| 裂缝 | 混凝土结构结构性裂缝 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 钢结构结构性裂缝 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 注：1 ●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项，/表示无此监测项。 | | | | | | |

### 监测测点的布设位置应能够反映环境、作用、结构响应和结构变化的特征，应根据结构类型、设计要求、施工情况、监测项目及结构分析结果确定。

### 结构响应和结构变化监测的测点宜布置在受力较大、变形较大、易损、影响主要构件安全耐久和结构整体安全的位置、已有病害和损伤的部位。

### 对重要部位和性能退化及损伤劣化严重的桥梁构件监测测点、传感器难以更换或易损的监测测点应有冗余量。

### 对关键构件的应测监测内容，宜布设校核测点。

### 位移监测测点应按《城市桥梁养护技术标准》CJJ99中规定的桥梁永久观测点统筹布设。

### 环境监测测点布设应符合下列规定：

1 桥址区环境温度和湿度的监测测点宜布设在桥梁跨中位置，可根据桥梁结构类型、联长、跨径、桥面宽度和构造增设监测测点。

2 对于桥梁构件封闭空间，温度和湿度监测测点应布设于桥梁结构内外温度、湿度变化较大和对温度、湿度敏感的部位。

3 降雨量监测测点宜布设在桥梁开阔部位。

4 缆、索结冰视频监测测点可布设在近塔顶，吊杆（索）结冰视频监测测点可布设于主拱。

5 能见度监测测点应布设在桥梁开阔部位。

### 作用监测测点布设应符合下列规定：

1 车辆荷载监测测点应覆盖所有机动车行车道，且宜选择在上桥方向的路基或有稳定墩柱支撑的混凝土结构铺装层内。

2 人群荷载人流量监测测点应布置在上下桥的出入口处。

3 风速风向监测测点应能监测自由场风速和风向，风速风向和风压监测测点应符合下列规定：

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，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（台）风区的钢结构大跨度梁桥可在主跨跨中布设风速风向监测测点；

4）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（台）风区的上承式拱桥可在主梁跨中布设风速风向监测测点。

4 结构温度监测测点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、日照情况等因素综合确定。应变监测的温度补偿测点宜兼顾结构温度监测测点协同布设。

5 船舶撞击监测测点宜布设在有船撞风险的桥墩底部或承台顶部的水位变动区以上，视频监测测点宜在主梁上、下游两侧对称布设。

6 车辆撞击监测测点宜布设于有大型车辆撞击风险的桥墩下部，视频监测测点宜布设于桥墩上部或主梁上的来车方向侧。

7 地震动监测测点宜布设于桥梁主墩底部或承台顶部接近大地的位置，可布设于桥梁锚碇锚室内，近桥址监控中心等自由场地。长度小于800m的桥梁，不应少于一个监测测点；长度大于等于800m的桥梁，宜增加监测测点。

### 结构响应监测测点布设应符合下列规定：

1 结构位移监测测点布设应符合下列规定：

1）主梁竖向位移监测测点应在主跨跨中和1/4、3/4 主跨，边跨最大活载位移处布设；对于宽幅桥面、中央索面或其他具有扭转监测需求的主梁，应在同一断面横向两侧位置布设监测测点；

2）主梁横向位移监测测点应在主跨跨中布设；

3）支座位移、主梁梁端纵向位移测点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；

4）塔顶偏位监测测点应布设于索塔顶部，拱顶位移监测测点应布设于主拱拱顶；

5）主缆偏位监测测点宜在主跨跨中和1/4、3/4主跨；

6）高墩桥梁或纵坡较大的桥梁，桥墩的纵向和横向位移测点宜布设在墩顶；

7）通过GNSS监测技术监测位移的监测测点天线应布设在桥梁开阔部位，其上方不得有遮挡物。

2 塔顶转角监测测点宜布置在索塔塔顶，梁端水平和竖向转角监测测点宜布设在伸缩缝两端的主梁上。

3 应变监测测点应符合下列规定：

1）主梁、索塔、主拱等关键构件截面静态和动态应变监测测点位置和数量应根据结构计算分析和易损性分析，选择受力较大的关键截面布置在传力路线明确的部位，每个构件同一侧截面不宜少于2个监测点；

2）正交异性钢桥面板动态应变监测测点应选择在重车道或行车道车轮轮迹线对应位置，宜布设在顶板、U肋和横隔板等疲劳热点处；

3）受力复杂的构件截面和部位，宜布设三向静态和动态应变监测测点；

4）钢混接合段宜布设应变监测测点，可布设在应变较大和应力集中处；

5）圬工拱桥同一截面的上下缘宜布置应变监测点。

4 索力监测测点应符合下列规定：

1）应根据悬索桥吊索的布置形式、规格、型号、长短、索力和应力，确定监测的代表性索构件，应包括索力最大的索、应力幅最大的索及安全系数最小的索，宜选择上、下游索构件成对布设，同时应兼顾中跨和边跨；斜拉桥和拱桥宜对全桥斜拉索、吊杆（索）和系杆等索构件进行索力监测；

2）悬索桥锚跨索股力监测的索股监测测点宜锚固索股四周布设，不宜少于8股，基准索股宜布设测点。

5 支座反力监测宜选择可能出现横向失稳等倾覆性破坏的独柱墩桥梁和小间距支座桥梁、容易出现支座脱空或负反力的曲线桥和斜桥、基础易发生沉降或采用压重设计的桥梁的支座。非测力支座在运营期可通过间接监测支座变形、支座-梁相对位移、桥梁横向倾斜度等替代支座反力监测。

6 结构振动监测测点应符合下列规定：

1）主梁竖向和横向振动监测测点应根据主梁振动振型确定，宜根据待测目标振型布设在振型各峰值点处，避开振型节点，每跨应至少有1个监测测点；主梁纵向振动监测测点宜布设在塔梁固接处或中间支座位置处；

2）塔顶水平振动监测测点应在塔顶双向布设；

3）宜选择振动幅值大的悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）等索构件布设振动监测测点，测点应根据索构件振动振型确定，避开振型节点；对索面内和索面外均存在较大振动的情况，可双向布设；

4）梁桥桥墩纵向和横向振动监测测点应在桥墩顶部布设；

5）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。

### 结构变化监测测点布设应符合下列规定：

1 基础冲刷监测测点布设应根据基础冲刷风险分析确定监测桥墩和测点位置，也可根据冲刷检查（测）结果或冲刷专题研究确定。圆形桥墩宜布设在桥墩上、下游两侧；圆端形长条形桥墩宜布设在桥墩上、下游；最大冲刷位置已知时，在最大冲刷位置处应布设监测测点；冲刷较严重情况宜在周边侧面增加监测测点。基础冲刷传感器应避开桥梁被动防撞装置。

2 悬索桥锚碇位移监测测点宜布设于锚体和前支墩处；沉降监测测点宜布设于桥墩、桥台、锚碇接近地面的位置，条件受限时可布设于桥墩、桥台或锚碇上部，但应剔除温度和墩台偏位等影响；拱桥拱脚位移监测测点宜布设于拱脚承台处。

3 混凝土结构和钢结构裂缝监测测点应依据检查（测）、技术状况评估、养护维修结果确定测点位置和数量，宜对结构性裂缝和宽度超限裂缝的宽度和长度变化进行监测。

4 腐蚀监测测点宜布设在墩台水位变动、浪溅区的混凝土保护层内。

5 依据《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233，缺损程度因钢丝锈蚀达到中等以下的悬索桥主缆和吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）和系杆，宜布设断丝监测测点，测点可布设在锚头端部位置或易腐蚀断丝位置。

6 对于倾角较大的索夹和检查有错位、移动的索夹，宜布设索夹滑移和索夹螺栓状态监测测点。测点布设宜根据索夹类型、索夹倾角以及螺栓布置形式确定；高强螺栓状态监测测点位置和数量宜根据检查（测）、技术状况评估结果确定。

7 斜拉桥和梁桥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。

8 结构线形监测测点单孔每测线不宜少于10个监测点，跨中、1/4跨、3/4跨和变形最大位置应设置监测测点。主缆线形每孔不宜少于10 个点，沿索夹位置布设，主缆最低点和最高点应布设监测测点。索塔线形在桥面、桥面以上1/2塔高和塔顶应设置监测测点。

9 伸缩缝宽度监测测点应布置在伸缩缝横桥向的两端。

### 梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥的监测测点应按图4.2.20-1～图4.2.20-4所示布设。

|  |
| --- |
|  |
| 图 4.2.20‑1 梁桥测点布设示意图 |

|  |
| --- |
|  |
| 图 4.2.20‑2 拱桥测点布设示意图 |

|  |
| --- |
|  |
| 图 4.2.20‑3斜拉桥桥测点布设示意图 |

|  |
| --- |
|  |
| 图 4.2.20‑4悬索桥测点布设示意图 |

## 监测数据的采集、分析、评估和应用

### 数据采集设备应考虑传感器的分辨力、信号类型、接口的兼容性。信号应不失真，信噪比满足分析要求。动态信号应进行抗混滤波，满足采样定理，应涵盖比较关注的结构振动频率。

### 数据采集时间同步精度应满足数据处理、数据分析及状态评估的要求。动态信号的时间同步精度应不超过0.1ms。

### 数据采集可选用连续采集、触发采集和定时采集等方式，采集频率应满足实时报警、数据分析及应用的要求，可根据监测需求参照表4.3.3进行设定、调整。

| 表 4.3.3 数据采集频率 | | |
| --- | --- | --- |
| **监测类别** | **监测内容** | **采集频率** |
| 环境 | 温度 | 1/600 Hz |
| 湿度 | 1/600 Hz |
| 雨量 | 1/60 Hz |
| 结冰 | 微波：1/600 Hz  视频：25 FPS |
| 能见度 | 1/3600 Hz |
| 作用 | 车辆荷载 | 动态称重设备：触发采集  视频：25 FPS |
| 风速、风向 | 超声风速仪：10 Hz  机械式风速仪：1 Hz |
| 风压 | 10 Hz |
| 船舶撞击、车辆撞击 | 加速度：50 Hz  视频：25 FPS |
| 地震 | 加速度：50 Hz |
| 视频 | 25 FPS |
| 人流量 | 触发采集 |
| 结构响应 | 位移、线形 | 动态：20 Hz  静态：1/600 Hz |
| 转角 | 动态：10 Hz  静态：1/600 Hz |
| 应变 | 动态：10 Hz  静态：1/600 Hz |
| 索力 | 压力传感器：1/600 Hz  加速度传感器：50 Hz  电磁弹式传感器：1/3600 Hz |
| 支座反力 | 1Hz |
| 振动 | 不低于20Hz |
| 结构变化 | 基础冲刷 | 在线：1 MHz  离线：每年1～2次 |
| 锚碇位移、拱脚位移、桥墩沉降 | 在线：1/3600 Hz  离线：每年1～2次 |
| 裂缝 | 动态：10 Hz  静态：1/3600 Hz  图像：每周1次 |
| 腐蚀 | 在线：1/3600 Hz  离线：每年1～2次 |
| 体外预应力 | 在线：1/3600 Hz  离线：每年3～4次 |
| 断丝 | 触发采集：2 MHz |
| 螺栓状态 | 在线：1Hz  图像：每周1次  离线：每年1~2次 |
| 索夹滑移 | 在线：1Hz  图像：每周1次  离线：每年1~2次 |

### 应针对不同的监测项设计对应的处理方法，应对数据进行滤波、特征提取、数据解耦、转换与统计、温度效应剔除等处理。

### 数据分析与应用应围绕桥梁安全与耐久，基于监测系统监测数据，对桥梁结构安全进行报警，并应定期进行桥梁运营状态评估。

### 环境监测数据分析应符合下列规定：

1 温度监测数据分析应包括最高温度、最低温度等。

2 湿度监测数据分析宜包括最大值、平均值、超限持续时间等。

3 宜联合统计分析温度和湿度，评估对桥梁结构耐久性影响。

### 数据分析与应用应包括报警、定期运营监测数据分析、突发事件监测数据分析和状态评估。

### 数据分析、评估应专业可靠，宜采用对比分析和相关性分析等有效方法，应获得环境与作用以及结构响应与变化的实际情况以及趋势规律，开展状态评估。

### 应对桥梁日常运营监测数据进行统计分析，应符合下列规定：

1 监测数据统计分析宜包括最大值、最小值、平均值、分位值、均方差、累计值等统计值。

2 监测数据统计分析的时间长度应根据监测变量的采集频率和监测数据变化特征确定，并宜符合下列规定：

1）采集频率大于1Hz的动态监测数据，宜采用10分钟、日、月、年为统计分析时间段；

2）温湿度、静应变、静位移等静态监测变量，宜采用日、月、年为统计分析时间段；

3）风荷载、车辆荷载、时变索力等动态监测变量，宜根据变化特征确定统计分析时长；

4）基础冲刷、腐蚀等非实时监测变量，宜根据变化特征确定统计分析时长。

3 对于不同技术状况评定等级的桥梁，应调整数据分析的重点，C级、D级桥梁宜逐步增加耐久性能和使用性能的数据分析内容。

### 作用监测数据分析应符合下列规定：

1 车辆荷载监测数据分析应符合下列规定：

1）分析内容应包括车流量、轴重、车重、标准车当量数的日、月、年最大值及其统计分布，以及超载车数量、车重、轴重和时间；

2）宜将车辆荷载统计数据转化为疲劳荷载谱，应用于桥梁疲劳损伤评估；

3）可结合挠度、应变等监测数据和动态称重系统所监测的车重，计算挠度、应变等校验系数。

2 风参数监测数据分析宜包括十分钟平均风速和风向、风攻角、脉动风速及脉动风速谱、湍流强度、阵风因子等，并宜给出风玫瑰图。

3 地震监测数据分析宜包括下列内容：

1）桥岸地表加速度的峰值、持续时间、反应谱；

2）承台顶或桥墩底部加速度的峰值、持续时间、反应谱。

4 结构构件温湿度分析宜包括下列内容：

1）主缆等结构构件温度最大值、最小值和最大梯度；

2）锚室、鞍罩等易发生腐蚀部位湿度的最大值和持续时间。

### 结构响应监测数据分析应符合下列规定：

1 响应监测数据分析应包括桥梁变形、位移、转角、加速度、应变等响应监测数据分析等。

2 位移数据分析应包括平均值和绝对最大值；对于结构静力位移和变形，应进行趋势变化分析。

3 转角数据分析应包括最大值和最小值。

4 索力时程数据分析应包括平均值、最大值、最小值等；应对监测索力与成桥索力、设计容许索力、破断索力以及定期检测索力进行对比分析；宜利用上下游成对拉索索力相关性，评估拉索状态。

5 锚跨张力数据应分析其最大值、累积变化值、变化趋势。

6 支座反力数据分析应包括平均值、最大值、最小值、变化量等。

7 加速度数据分析应包括绝对最大值、最大均方根值、频谱、大幅度振动的持续时间，宜进行结构振动与风速风向的相关性分析。

8 利用加速度监测数据进行桥梁模态参数分析应符合下列规定。

1）桥梁模态参数应包括结构频率和振型，可包括阻尼比；

2）桥梁模态参数识别应选用成熟可靠的模态识别方法；

3）宜分析桥梁频率和振型识别结果与桥梁温度和风速等环境变量的相关关系；

4）应分析桥梁模态参数随服役时间的变化规律。

9 应变时程数据分析应包括平均值、最大值、最小值、应力幅最大值和循环次数等；并宜采用雨流法和Miner准则计算构件疲劳累积损伤指数；非焊接且不出现拉应力的结构构件可不进行疲劳分析。

10 可采用机器学习等方法深入分析监测数据，宜提取数据中可以反映桥梁状态的特征变量对桥梁状态进行评估。

### 结构变化监测数据分析应符合下列规定：

1 结构变化监测数据分析应包括基础冲刷、锚碇位移、裂缝、腐蚀、索力、支座反力、索夹螺栓紧固力、高强螺栓紧固力、索夹滑移等数据分析。应结合检测数据进行综合分析，并宜进行趋势项提取和分离。

2 主缆锚碇位移、拱脚位移分析宜包括位移最大值和累积变化值。

3 桥墩冲刷监测数据分析宜包括冲刷深度最大值及其变化规律，可包括各等级流速和流向统计值、冲刷深度与流速的相关性。

4 裂缝数据分析应包括裂缝位置、走向、裂缝宽度的最大值及其变化规律，宜分析裂缝与重车荷载的相关性。

5 腐蚀数据分析宜包括腐蚀程度、腐蚀进程、氯离子浓度。

6 索夹螺栓紧固力和索夹滑移数据应分析其平均值、最大值、最小值和累积变化值。

### 监测数据相关性分析应符合下列规定：

1 相关性分析内容宜包括主梁位移与风速、主梁挠度与温度、主梁挠度和索力等不同类型监测变量相关性分析，以及拉索索力、截面应变、索塔位移、支座位移等同类型监测变量相关性分析。

2 监测数据相关性分析宜采用线性相关系数、相关函数、相干函数等指标，也可采用机器学习等人工智能方法。

3 宜根据相关性分析结果，判断桥梁状态是否发生变化。

### 对于大跨度悬索桥、斜拉桥，当I类养护的合格桥梁和II类养护的A级、B类桥梁遭受桥面10分钟平均横桥向风速大于0.8倍桥面设计风速的台风时，或II类养护的C类桥梁遭受桥面10分钟平均横桥向风速大于0.75倍桥面设计风速的台风时，或I类养护的不合格桥梁和II类养护的D类桥梁遭受桥面10分钟平均横桥向风速大于0.7倍桥面设计风速的台风时，应进行桥梁结构静力和动力响应专项分析，分析内容应包括：

1 宜计算统计10分钟时距的平均风速、平均风向角，可计算分析平均风攻角、湍流强度、阵风因子和脉动风功率谱等风参数及其随时间的变化趋势。

2 应计算统计10分钟时主梁振动加速度和位移均方根值、振动频率和振型特征，并可分析与风参数的相关性。

3 宜计算分析在强风作用下10分钟时距的主梁变形、塔顶偏位、主缆偏位、索力等的最大值、最小值、变化幅值及其随时间和风速的变化趋势。

4 当在强风作用下桥梁频率参数发生3%以上或者振型MAC值发生5%以上变化或者主梁应力、主梁水平变形、塔顶偏位、主缆偏位、索力等超过设计值，应对桥梁进行专项检查。

### 宜对悬索桥、斜拉桥、钢结构梁桥是否发生涡振进行判断；当发生涡振时且10分钟加速度均方根值大于31.5 cm/s2且振动时间持续30分钟，应进行主梁涡振特性专项分析，分析内容应包括：

1 进行涡振判定。宜采用加速度均方根值和振动能量比特征双参数作为判定涡振的指标。

2 计算分析10分钟主梁加速度和位移均方根值、振动频率、振型和持时特征；计算分析涡振发生全过程中10分钟时距平均风速、风向、风攻角；对涡振和风参数进行相关性分析，获得现场桥梁涡振发生的风况条件。

3 根据主梁振动的10分钟加速度均方根值、频率、振型和持时评价行车舒适度。

4 当主梁发生10分钟加速度均方根值大于80 cm/s2剧烈振动，分析涡振前后主梁模态参数特征以及连接构件状态特征，若桥梁结构状态发生变化，应对桥梁进行专项检查。

### 当桥梁拉（吊）索发生加速度均方根值大于300 cm/s2大幅度振动且振动时间持续30分钟，应进行拉（吊）索异常振动专项分析，分析内容宜包括：

1 计算分析拉（吊）索异常振动加速度和位移10分钟时距均方根值、振动频率、振型和持时特征。

2 计算分析拉（吊）索异常振动发生全过程中10分钟时距平均风速、风偏角、风攻角和降雨量、主梁的振动和模态参数特征。

3 对拉（吊）索异常振动和风雨参数、主梁振动特征进行相关性分析，获得索结构的振动类型。

4 分析拉（吊）索异常振动频率、阻尼和索力变化特征，评估拉（吊）索锚固结构和阻尼器的安全和工作状态。

### 当自由场水平地震动加速度峰值大于设计E1地震作用加速度峰值时，桥梁震中监测数据分析、震前和震后监测数据对比分析应按下列规定进行：

1 震中监测数据分析宜包括：桥址附近自由场地面加速度的峰值、均方根值、反应谱反应；桥墩处加速度的峰值、均方根值、反应谱、频域反应；桥梁上部结构的加速度、变形和位移等整体响应的峰值、均方根值；桥梁关键部位的监测应变、支座反力、支座位移、索力等局部响应的峰值。

2 震前与震后监测数据对比分析宜包括：桥梁震前和震后的频率、振型和阻尼比；桥梁上部结构、下部结构、支座位移等的震前和震后的静态位移和转角响应；桥梁主要构件震前和震后的应变平均响应值；桥梁缆索构件震前和震后的索力值。

3 根据桥梁震前、震中和震后监测数据的分析结果发现桥梁状态发生变化时，应对桥梁进行专项检查。

### 车辆超载分析应符合下列规定：

1 当车辆荷载超过设计值时，应对监测数据进行直接分析并与设计值对比；宜利用修正的结构模型，进行桥梁在超载车荷载作用下的主梁挠度、支座反力、构件内力/应力等验算。

2 当超载车辆过桥时，宜将监测的桥梁变形、支座反力、构件内力等响应与本条第一款中计算数值进行比较；当监测数值与计算数值存在较大差异时，宜对桥梁进行进一步检测。

### 当桥梁遭受漂浮物、船舶或车辆撞击后，应按下列规定进行监测数据分析：

1 应分析视频数据，确定桥梁被漂浮物、船舶或车辆撞击的时间和位置。

2 应分析靠近漂浮物、船舶或车辆处桥墩底部、主梁、索塔顶部撞击后20s内的加速度响应绝对最大值、均方根值和频谱及加速度响应衰减规律。

3 应分析漂浮物、船舶或车辆撞击后20s内结构变形和位移等整体响应监测数据的绝对最大值、均方根值和频谱，宜分析支座反力、支座位移、应变和索力等结构局部响应监测数据的绝对最大值和均方根值。

4 宜选择漂浮物、船舶或车辆撞击前后加速度监测数据进行模态分析。

5 当桥梁模态参数在漂浮物、船撞或车撞前后发生明显变化，或者撞击后桥梁结构关键构件/部位的位移和应变响应出现明显残余量时，应通知桥梁养管单位进行检查。

### 当桥梁遭遇洪水时和洪水后，宜分析洪水期间桥墩冲刷深度变化量及变化速率；当桥梁冲刷深度达到0.7倍设计值且变化速率较快时，宜建议及时采取桥梁封闭或限行措施。

### 当桥梁遭遇滑坡、泥石流、海啸、火灾、山洪等突发事件，宜根据具体情况分专业分项目进行专项分析。

### 监测系统报警应符合下列要求：

1 桥梁日常运营过程中出现影响桥梁结构安全、行车安全的状况时，应及时报警。

2 桥梁遭受地震、船撞、车撞、台风、风致异常振动等突发事件时，应及时报警。

3 应排除监测系统自身故障引起的数据错误后基于真实监测数据报警。

### 报警应分为超限一级、超限二级和超限三级，应符合下列要求：

1 当监测数据接近或超过桥梁正常使用条件界限值，但不会对桥梁安全、正常使用和行车安全产生影响时，进行超限一级报警。超限一级报警阈值可根据养护管理规定和需求、桥梁结构特点、行车舒适度等因素确定阈值。

2 当监测数据超过桥梁正常使用条件界限值且可能对桥梁安全、正常使用和行车安全产生显著影响时，进行超限二级报警。

3 当监测数据接近桥梁结构安全界限值或者严重影响桥梁安全、正常使用和行车安全时，进行超限三级报警。

4 各监测项目应根据重要程度确定报警级别、采取适当的报警响应措施。

### 报警阈值的确定应符合下列规定：

1 基于监测参数历史统计值、设计值和规范容许值设定报警阈值。

2 考虑监测数据动态特征、统计特性以及异常特征设定报警阈值。

3 兼顾桥梁定期检查、技术状况评定结果和荷载试验结果设定报警阈值。

4 依据桥梁使用状况和系统运行状况可对报警阈值进行动态调整。

### 在监测系统设计过程中或监测系统运行之初，可参照表4.3.25设置报警阈值初值。

| 表 4.3.25 报警阈值设定用表 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **报警类别** | **报警内容** | **超限阈值** | **报警级别** | **桥型类别** | | | |
| **悬索桥** | **斜拉桥** | **梁桥** | **拱桥** |
| 环境 | 最高温度、最低温度、最大温差 | 达到1.0倍设计值 | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 达到1.2倍设计值 | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 构件封闭空间内相对湿度 | 达到50% | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 结冰 | 出现结冰 | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 雨量 | 12 h 内降雨量超过50 mm 或12 h 内降雪量超过4 mm 以上 | 一级 | - | ● | - | - |
| 雾 | 大雾能见度小于200 m，但大于或等于50m | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 大雾能见度小于50 m | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 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 | ● | ● | ● | ● |
| 人群荷载 | 达到设计人群荷载 | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 风速、风向 | 桥面10分钟平均风速达到25m/s | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 桥面10分钟平均风速达到0.8倍桥面设计基准风速 | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 桥面10分钟平均风速达到桥面设计风速 | 三级 | ● | ● | ● | ● |
| 混凝土、钢结构构件温度 | 达到设计值 | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 船舶撞击 | 发生船撞事件 | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 车辆撞击 | 发生车撞事件 | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 桥岸地表场地地震动加速度 | 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 | 主梁振动加速度 | 10min加速度均方根达到31.5cm/s2且持续时间超过30min | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 10min加速度均方根达到31.5cm/s2 | 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）振动加速度 | 10min加速度均方根达到100cm/s2 | 一级 | ● | ● | ● | ● |
| 10min加速度均方根达到300cm/s2且频繁出现 | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 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发现10次以上二级 | 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发现10次以上二级 | 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发现10次以上二级 | 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发现10次以上二级 | 三级 | ● | - | - | - |
| 梁顶高墩墩顶位移 | 达到0.8倍设计值 | 二级 | - | - | ● | - |
| 达到设计值或一个月内发现10次以上二级 | 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发现10次以上二级 | 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发现10次以上二级 | 三级 | ● | ● | - | ● |
| 支座反力 | 绝对值达到0.8倍设计值 | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 绝对值达到设计值 | 三级 | ● | ● | ● | ● |
| 线形 | 达到0.8倍设计值 | 二级 | - | - | - | ● |
| 达到设计值或一个月内发现10次以上二级 | 三级 | - | - | - | ● |
| 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 | ● | ● | ● | ● |
| 结构性裂缝宽度超过规范限值或发展加速 | 二级 | ● | ● | ● | ● |
| 腐蚀 | 腐蚀深度到达保护层深度 | 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 | ● | ● | - | ● |
| 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 | ● | - | - | - |
| 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 | ● | ● | ● | ● |
| 主梁涡振 | | 10min振动加速度均方根值达到31.5 cm/s2、能量比因子大于10 | 一级 | ● | ● | ◐ | - |
| 10min振动加速度均方根值达到50 cm/s2、能量比因子大于10 | 二级 | ● | ● | ◐ | - |
| 10min振动加速度均方根值达到80 cm/s2、能量比因子大于10 | 三级 | ● | ● | ◐ | - |
| 监测数据分析结果 | 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 | 出现永久偏位 | 三级 | ● | ● | - | ● |
| 主梁下挠 | 持续下挠 | 三级 | ● | ● | ● | ● |
| 桥梁沉降e | 墩台均匀总沉降达到20mm，或相邻墩台总沉降差值达到10mm | 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。  表中L为相邻墩台最小跨径，单位为米（m）。 | | | | | | | |
| a “超限阈值”一列中的“设计值”参考了《公路桥涵设计通用规范》JTG D60、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65—05、《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365—01、《公路钢管混凝土拱桥设计规范》JTG/T D65—06、《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360—01的相关规定。锚碇位移限值参考了《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65—05的相关规定。裂缝限值参考《公路桥涵养护规范》JTG 5120—2021、《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21的相关规定。  b 构件封闭空间为主梁内，悬索桥主缆、锚室和鞍罩内，斜拉桥索塔和索塔锚固区内，拱桥主拱内封闭空间。  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。 | | | | | | | |

### 监测系统报警功能应与桥梁养护管理制度形成协同机制，出现报警时宜及时提醒桥梁养护管理单位采取桥梁检查（测）、特殊检测、交通管制、封闭桥梁等响应措施。

### 当监测数据和分析结果超限时，宜进行桥梁检查或管控，并应制定相应检查、管控或养护措施。

| 表 4.3.27 监测数据超限检查/管控建议 | | | |
| --- | --- | --- | --- |
| **监测类别** | **监测内容** | **超限级别** | **检查、管控建议** |
| 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 |
| 最高温度、最低温度、最大温差 | 二级 | 提示检查伸缩缝等变形装置是否正常运行 |
| 结冰 | 一级 | 提示管理部门进行车辆限速、限行和除冰处治 |
| 雨量 | 一级 | 提示管理部门注意桥梁拉索是否发生风雨激振 |
| 雾 | 一级 | 提示车辆限速 |
| 二级 | 提示封桥 |
| 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 |
| 人群荷载 | 一级 | 提示疏散人流 |
| 混凝土、钢结构构件温度 | 一级 | 提示进行构件使用性检查 |
| 风速、风向 | 一级 | 提示封桥 |
| 船舶撞击 | 二级 | 提示特殊检查 |
| 车辆撞击 | 二级 | 提示专项检查 |
| 桥岸地表场地地震动加速度 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 结构响应 | 主梁竖向位移 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 主梁横向位移 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 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 | 提示全桥检查 |
| 主缆偏位 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 梁桥高墩墩顶位移 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 拱桥主拱拱顶位移 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 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 | 提示全桥检查 |
| 锚碇位移 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 桥墩沉降 | 三级 | 提示全桥检查 |
| 拱脚位移 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 线形 | 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 |
| 主梁涡振 | 一级 | 提示封桥 |
| 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 |
| 塔顶或主缆或主拱偏位 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 主梁下挠 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 桥梁沉降 | 二级 | 提示全桥检查 |
| 索力基准值 | 二级 | 提示全桥检查 |

### 桥梁结构健康度应包括结构整体健康度和结构构件建康度，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。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 表 4.3.28 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 | 4.3.29 1中所列监测数据无超限 | 4.3.29 2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 | 4.3.29 1中所列监测数据超限等级一级 | 除塔顶偏位、锚碇位移、拱脚位移之外，4.3.29 2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 | 4.3.29 1中所列监测数据超限等级二级 | 4.3.29 2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；或当塔顶偏位、锚碇位移、拱脚位移出现1项或以上二级；或多项构件健康度中等异常 |
| Ⅳ严重异常 | 4.3.29 1中所列监测数据超限等级三级 | 4.3.29 2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，评估参数应符合下列规定：

1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。

2 结构整体健康度表征评估参数：采用主梁竖向和横向位移、塔顶偏位、主缆偏位、支座位移、高墩墩顶位移、锚淀位移、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。

### 也可通过损伤识别和模型修正建立可靠的有限元模型，将计算的结构响应和结构变化结果与超限阈值进行对比，进行桥梁结构健康度评估。

### 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。

### 宜根据累积的历史监测数据统计分析、对比分析和趋势性分析结果、桥梁定期检测（查）结果，并与超限阈值比较，进行结构整体健康度评估。

### 宜通过损伤识别和模型修正的有限元模型进行结构计算分析，并根据分析结果对桥梁健康状况评估结果进行修正。

### 当桥梁健康状况评估结果与《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99、《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21评定的技术状况结果不一致时，可选用最不利评估结果。

### 当有监测数据外的其他源数据时，应考虑多源数据的充分融合，动态调整预警阈值和预警策略，可基于多数据源进行结构健康度动态评估。

### 应定期对桥梁日常运营中监测到的环境、作用、响应和变化等监测数据进行分析，形成数据分析报告，用于桥梁健康状态评估。数据分析报告可采用季报和年报的形式，宜包含下列内容：

1 项目概述

2 监测目的

3 监测依据

4 监测内容、监测方法

5 监测仪器及精度

6 供电及数据传输方式

7 监测频率

8 构件编号、测点编号规则

9 测点布设

10 软硬件维护情况

11 设备完整率

12 数据完好率

13 突发事件情况

14 监测数据分析方法、分析结果

15 结构健康度评估

16 结论及建议

季报的数据分析内容宜包括：监测变量的季度内统计分析及其超越监测系统报警值的数量、比例、位置和时间，监测变量的季度内变化趋势，模态参数分析，相关性分析。

年报的数据分析内容宜包括：监测变量的年内统计分析及其超越监测系统报警值的数量、比例、位置和时间，监测变量的年内变化趋势，模态参数分析，相关性分析，疲劳分析等。

### 桥梁在遭受涡振、强风、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、火灾等特殊事件时，应进行特殊事件数据分析和评估结构健康度，必要时应组织专家研判，形成专项分析报告，辅助应急管理措施决策。

### 涡振应急管理应符合下列规定：

1 宜采用10 min加速度均方根值*Sa*和振动能量比因子*R*作为涡振判定指标，也可补充其他参数。*Sa*和*R*按公式（4.3.40-1）和公式（4.3.40-2）计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4.3.40‑1） |

式中：

*Sa*—加速度均方根值，单位为米每平方秒（m/s2）；

*ai*—主梁振动加速度，单位为米每平方秒（m/s2）；

*N*—10min加速度采样点数。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4.3.40‑2） |

式中：

*A*1—结构振动响应功率谱密度中最大幅值，单位为m2/s3；

*A*2—结构振动响应功率谱密度中次最大幅值，单位为m2/s3。

2 可采用机器学习算法自动判断涡振，也可采用其他可靠方法。

3 涡振超限预警，检查建议宜符合下列规定：

1）超限一级，提醒持续关注；

2）超限二级，提醒采取车辆限速等管理措施；

3）超限三级，提醒封闭桥梁，进行桥梁结构健康度评估。

4 应提供桥梁涡振事件分析报告，报告内容宜包括：涡振前、涡振事件全过程、涡振后数据分析结果。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、风攻角、湍流度；

2）分析主梁10 min加速度均方根值、模态参数变化；

3）分析涡振全过程持续时间、风况条件、加速度和位移均方根值、振动频率。

### 强（台）风应急管理应符合下列规定：

1 强（台）风风速超限阈值，检查宜符合下列规定：

1）超限一级，宜提醒封闭桥梁；

2）超限二级，宜提醒检查桥梁构件状态；

3）超限三级，宜提醒检查桥梁构件状态，并进行桥梁结构健康度评估。

2 应提供桥梁强（台）风分析报告，报告内容宜包括：强（台）风前强（台）风全过程、强（台）风后数据分析结果。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、风攻角、湍流度、阵风因子；

2）分析主梁、悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊索等振动加速度均方根值、模态参数变化；

3）分析主梁竖向和横向位移塔顶偏位、主缆偏位、主拱拱顶位移、索力基准值变化等最大值。

### 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊索等索构件振动加速度超限二级，应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、降雨量。

2 分析索构件10min加速度均方根值、模态参数变化。

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的类型。

### 地震应急管理宜符合下列规定：

1 地震动加速度超限二级时，宜提醒对桥梁进行全面检查。.

2 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，宜符合下列规定：

1）按4.3.30条的规定，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。

3 提供地震事件分析报告，报告内容宜包括：震前、地震过程中和震后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定：

1）分析地震过程中桥址地表场地和桥梁墩底、承台加速度峰值、均方根值、反应谱；

2）分析主梁竖向和横向位移、支座位移、梁端纵向位移、塔顶偏位、主缆偏位，梁桥高墩墩顶位移、拱桥主拱拱顶位移的最大值和残余位移；分析主梁索塔、主拱关键截面应变最大值和残余应变；分析悬索桥吊索锚跨索股力，斜拉桥斜拉索、拱桥吊索、系杆等索力基准值变化；分析支座反力的最大值和残余力；

3）分析主梁、塔顶、主拱、索构件等振动加速度的峰值和均方根值；

4）分析震前和震后桥梁模态参数变化。

### 车辆超载应急管理应符合下列规定：

1 监测车辆荷载超限二级时，应提醒进行桥梁结构检查。

2 可根据4.3.30条规定，利用监测数据进行桥梁结构健康度评估。

3 也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。

### 车辆和船舶撞击应急管理应符合下列规定：

1 桥梁发生撞击后，应提醒进行桥梁结构检查。

2 可进行桥梁结构健康度评估，提供分析报告，报告内容宜包括撞击前、撞击全过程、撞击后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定：

1)对撞击全过程视频监测数据进行分析；

2）分析主梁、塔顶、桥墩墩顶振动加速度，主梁横向位移、梁桥高墩墩顶位移、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、拱脚位移等监测数据的绝对最大值与残余值，模态参数等。

## 硬件系统设计

### 应根据桥梁监测参数的计算结果，确定传感器的量程、分辨力、精度、灵敏度、动态频响特性、长期稳定性、环境适应性等参数。

### 传感器应选用耐久性好、通讯接口具备普适性、抗干扰能力强、技术成熟、性能先进的产品。

### 应根据桥梁感知方法、传感器数量和分布确定数据采集方法，包括数据采集硬件、软件以及数据采集制式。

### 数据采集方式应根据桥梁规模、测点空间分布、结构特点和传感器类型选择分布式数据采集或集中式数据采集。

### 动态数据采集设备的模数转换分辨力应满足实时报警、数据分析及应用的要求。

### 环境监测传感器应符合下列规定：

1 环境温度监测宜采用热电偶、热电阻、光纤温度传感器等，传感器量程上限宜超出大气温度年极大值30℃以上，量程下限宜低于年极小值20℃以上，温度监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。

2 环境湿度监测应采用湿度传感器，可选用氯化锂湿度计、电阻电容湿度计和电解湿度计等，监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。

3 雨量监测应采用雨量传感器，可选用电容雨量传感器、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。

4 结冰监测可采用超声波测试法、视频监测法，结冰厚度监测最大允许误差宜小于1mm，视频监测法中摄像机技术参数和指标应符合《交通信息采集视频交通流检测器》GB/T 24726的相关规定，且应符合下列规定：

1）像素应大于等于200万，帧率应大于等于25FPS；

2）动态范围应大于等于55dB，应具备自动光圈、变焦镜头、红外夜视、昼/夜自动转换功能、防护罩；

3）具备水平0°～360°，垂直15°～ 90°旋转功能。

5 能见度监测可采用前向散射式传感器监测，应根据桥址处气候、气象条件选择传感器相应量程，散射角覆盖范围宜大于等于30°～40°。

### 作用监测传感器应符合下列规定：

1 车辆荷载监测宜采用动态称重方法并与视频图像联动监测，动态称重设备宜采用动态公路车辆自动衡器，设备应符合《动态公路车辆自动衡器 第1部分：通用技术规范》GB/T 21296.1的相关规定，且应符合下列规定：

1）传感器布设尺寸应覆盖车道宽度，称重量程根据桥梁车辆限载重以及预估车辆载重综合确定，单轴监测量程不宜小于限载车辆轴重的200%；

2）具备数据自动采集功能，现场单车荷载数据存储能力宜不少于90d，视频数据存储能力宜不少于30d；

3）车辆空间分布宜联合采用动态称重和视频图像监测设备，视频监测范围应覆盖全桥范围内的所有行车道，且具备图像自动抓拍功能；

4）视频图像监测宜采用IP网络摄像机，摄像机技术参数和指标应符合4.4.6 4的规定。

2 桥面风速风向监测宜采用三向超声风速仪，塔顶风速风向宜采用机械式风速仪或两向超声风速仪，监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定，且应符合下列规定：

1）处于强（台）风区域的桥梁应选择三向超声风速仪，测试参数应包括风速和风向等；

2）风速测试量程应大于其安装高度处设计风速的1.2倍；

3）主梁两侧应采用同类型风速仪，多个索塔塔顶宜采用同类型风速仪；

4）新建桥梁风速风向传感器宜安装在专用支架上，支架应具有足够刚度和强度，与桥体连接牢固，并满足抗风要求；支架伸出索塔高度方向宜大于等于3m。在役桥梁风速风向传感器可安装在桥梁沿线附属设施构件上，但应避免主体结构绕流对风速测试数据的影响。

3 桥梁风压监测应符合下列规定：

1）自由场处风压监测宜选择皮托管，皮托管应安装在不受干扰的自由风场处，水平周向每隔30°布设一个，皮托管安装于固定支架上；

2）主梁风压监测宜选择陶瓷型或扩散硅型微压差传感器，量程宜大于-1000Pa～+1000Pa，最大允许误差0.5%F.S，传感器沿主梁截面周向和纵桥向布置，应安装于梁体外表面，气嘴垂直于梁体外表面。

4 地震动监测宜采用力平衡式加速度传感器、强震仪。力平衡式加速度传感器动态范围宜大于等于120dB。强震仪技术要求宜符合《地震行业标准体系》DB/T 1相关规定。地震动监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。

5 船舶撞击桥墩加速度监测宜与地震动监测协同，宜采用力平衡式加速度传感器、强震仪，技术参数宜符合4.4.7 4的规定，并辅助视频监测。摄像机技术参数和指标应符合4.4.6 4的规定，宜具备低照度、透雾功能。

6 人群荷载监测宜采用视频法监测，摄像机技术参数和指标应符合4.4.6 4的规定，应具备人流量统计功等能。

### 结构响应监测传感器应符合下列规定：

1 位移监测应根据被测桥梁结构、构件和附属设施的构造特点、安装环境，选择传感器类型、精度、位置和安装方式，位移监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定，且应符合下列规定：

1）悬索桥主梁竖向位移和横向位移、斜拉桥主梁和拱桥主梁横向位移、塔顶偏位、主缆偏位宜采用GNSS监测技术进行监测，监测数据应转换到大桥独立坐标系。技术指标应符合《低轨星载GNSS测量型接收机通用规范》GB/T 39410相关规定；

2）斜拉桥、梁桥和拱桥的主梁竖向位移监测可选用基于连通管原理的压力变送器等，将安装、调试后监测仪器的初始值作为测量基准值，并应定期进行温度修正和补液，压力变送器技术指标宜符合《压力变送器检定规程》JJG 882的相关规定；也可选用其他类型满足量程、精度、分辨力要求的位移传感器，或设置桥梁永久观测点固定测标进行定期量测；

3）支座位移、梁端纵向位移宜选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，技术指标宜符合《线位移传感器校准规范》JJF1305的相关规定；

4）特殊条件下的结构和构件位移监测，可选用视频图像法或雷达测试法。视频图像法应符合4.4.6 4的规定，并宜符合《交通信息采集视频交通流检测器》GB/T 24726的相关规定。

2 梁端、塔顶转角监测宜采用微电子机械系统倾角传感器。

3 应变监测宜采用光纤应变传感器、电阻应变传感器、振弦式应变传感器等，静应变监测可采用光纤应变传感器、振弦式应变传感器，动应变监测可采用光纤应变传感器、电阻应变传感器等。应变监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。光纤应变传感器技术指标宜符合《土木工程用光纤光栅应变传感器》JG/T 422的相关规定，电阻应变传感器技术指标宜符合GB/T 13992的相关规定，振弦式应变传感器技术指标宜符合《大坝监测仪器 应变计 第二部分：振弦式应变计》GB/T 3408.2的相关规定。应变传感器选型应符合下列规定：

1）应变传感器标距应与构件材料性质和被测参数精度要求匹配；

2）静应变传感器量程应大于等于被测量预计变化范围的1.2倍，动应变传感器量程应大于等于预测被测量变化范围的2倍；

3）三向静态和动态监测应变测点可选择应变花；

4）应变监测应进行温度补偿，安装时应测量记录初始值。

4 索力监测宜采用间接测力或直接测力法。索力监测传感器量程应大于索力设计值的1.5倍，误差应小于被测索力设计值的5%，监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。间接测力法宜采用频率法或电磁弹式传感器，频率法可选用电容式加速度传感器、压电式加速度传感器，电容式加速度传感器技术指标宜符合《电容式加速度传感器校准规范》JJF 1918的相关规定。直接测力法可采用锚索计，锚索计技术指标宜符合《水运工程 钢弦式锚索测力计》JT/T 578的相关规定。

5 支座反力监测宜采用直接测力的成品测力支座，误差应小于被测支座标称竖向承载力值的5%。

6 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或压电式加速度传感器，振动监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定，并符合下列规定：

1）宜根据桥梁结构振动主要参与振型，选择三向、双向或单向加速度传感器；

2）主梁、塔、主拱振动加速度传感器量程应大于计算分析振动响应最大值的1.2倍，可选用力平衡式加速度传感器；

3）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传感器量程应大于计算分析振动响应最大值的1.5倍，可选用电容式加速度传感器或压电式加速度传感器。

### 结构变化监测传感器应符合下列规定：

1 基础冲刷监测应根据桥址处水流速度、含沙量等水文参数以及设计允许冲刷深度，综合选定监测设备类型。宜采用声学监测方法监测冲刷深度，采用雷达法监测水流速度，监测传感器应符合下列规定：

1）传感探头类型和数量应根据被测墩身基础类型、尺寸和水流特点确定，传感器探头宜安装在承台底部或桩顶部位置，距离被测墩身处水底面的距离宜大于等于10m；

2）应通过试验确定传感探头的指向角度，控制探头与桥墩的合理距离；

3）应根据监测区域水流速度、压力、含沙量等水文特点，进行声传感探头预埋安装件专项设计，预埋安装件应与桥墩（台）结构长期牢固连接。声呐探头宜选用可拆卸安装方式，安装连接材料应满足防水、耐老化、耐侵蚀等要求。

2 悬索桥锚碇位移、梁桥桥墩沉降、拱桥拱脚位移监测宜设置桥梁永久观测点定期观测或GNSS静态观测方法，且应满足下列规定：

1）永久观测点应安装永久固定金属测标，永久观测点设置应符合《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99的相关规定；

2）GNSS监测宜采用北斗卫星导航技术，GNSS监测应配置永久观测基准站，应符合《低轨星载GNSS测量型接收机通用规范》GB/T 39410的相关规定。

3 裂缝监测宜采用自动监测、观测或相互结合的方式，裂缝监测传感器量程应大于裂缝宽度的5倍。可采用振弦式裂缝传感器、电阻式裂缝传感器、长标距光纤等光纤式裂缝传感器、高清摄像机等方法监测。监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。摄像机技术参数和指标应符合4.4.6 4的要求，并应配置高精度图像自动识别模块。

4 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，可监测腐蚀电位、腐蚀电流、混凝土温度、腐蚀速率等参数，监测方法应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。技术参数宜符合《无损检测 电化学检测 总则》GB/T 38894的相关规定。

5 断丝监测宜采用声发射监测方法，悬索桥吊索和主缆、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，工作温度范围宜为-30℃～70℃，工作频率宜在40kHz～100kHz范围内；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，工作频率宜在10kHz～40kHz范围内。

6 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，电磁弹式索力传感器测量范围为材料的0～0.9倍屈服应力，传感器测力最大允许误差不大于设计索力5%。

7 螺杆/螺栓紧固力可采用直接测力或间接测力法。直接测力法可选用振弦式或电阻式压力环式传感器。间接测力法可选用超声波法或螺杆/螺栓应变电测法。螺栓滑脱可采用视频图像监测方法，摄像机技术参数和指标应符合4.4.6 4的规定，并应配置高精度图像自动识别模块。

8 索夹滑移监测可选用位移监测法或视频监测法，也可联合使用。摄像机技术参数和指标应符合4.4.6 4的规定，并应配置高精度图像自动识别模块。高精度线位移计技术参数指标宜符合《线位移传感器校准规范》JJF 1305的相关规定。

### 各监测类型所采用的传感器相关要求应满足表4.4.10的要求。

| 表 4.4.10 常用传感器性能指标表 | | |
| --- | --- | --- |
| **传感器名称** | **技术指标** | **备注** |
| 超声风速风向仪 | 1）风速测量范围：（0～60）m/s  2）风速分辨率：±0.01m/s  3）风速测量精度：≤0.3m/s  4）风向方位角测量范围：0°～360°  5）风向分辨率：0.1°  6）风向测量精度：≤±1°  7）采样频率：≥10Hz  8）工作温度：（-30～65）℃  9）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 风速风向监测 |
| 机械式风速风向仪 | 1）风速测量范围：（0～60）m/s  3）风速测量精度：≤0.3m/s  4）风向方位角测量范围：0°～360°  6）风向测量精度：≤±3°  7）采样频率：≥1Hz  8）工作温度：（-30～65）℃  9）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 风速风向监测 |
| 动态称重仪 | 1）行车速度范围：（10～200）km/h  2）测速精度：≤±1.5%  3）分离车辆准确可靠：≥98%  4）称重范围：≥300kN/轴  5）交通量计数精度：≤±1%  6）轴距误差：≤±1%  7）测重精度：±5%  8）可分类车型：交通部颁布的标准车型  9）工作温度：（－30～85）℃  10）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 车辆荷载监测 |
| 振动加速度传感器 | 1）测量方向（轴数）：≥1  2）测量范围：≥±2g  3）带宽：（0～100）Hz  4）分辨率：≤10μg  5）灵敏度：≥2500mv/g  6）横向灵敏度比：<1%  7）抗冲击极限：＞250g  8）工作温度：（-30～65）℃  9）使用寿命：符合现行国家／行业设备标准 | 地震、桥梁振动和撞击监测 |
| 索力加速度传感器 | 1）测量方向（轴数）：1  2）测量范围：≥±2g  3）灵敏度：≥1000mv/g  4）分辨率：＜10μg  5）频响范围：（0.1～100）Hz  6）工作温度：（-30～65）℃  7）使用寿命：符合现行国家／行业设备标准 | 频率法测量索力 |
| 锚索计 | 1）分辨率：≤5%  2）适用量程：大于索力设计值的1.5倍  3）零点漂移：≤0.5%  4）工作温度：（-30～65）℃  5）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 索力测量 |
| 振弦应变传感器 | 1）测量范围：≥±1000με  2）分辨率：1με  3）采样频率：≤1Hz  4）精度：±3με  5）工作温度：（-30～85）℃ | 静态应变监测 |
| 光纤光栅应变传感器 | 1）测量范围：≥±1000με  2）分辨率：≤1με  3）采样频率：100Hz  4）精度：0.4%F.S  5）工作温度：（-30～85）℃ | 动态应变监测 |
| GNSS | 1）静态基线精度：  水平：3mm ±0.5ppm  竖向：5mm ±1ppm  2）动态精度：  水平：10mm ±1.5ppm  高程：15mm ±1.5ppm（实时）  3）采样频率：≥20Hz  4）工作温度：（-30～60）℃  5）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 大量程位移监测：悬索桥主梁竖向位移和横向位移、斜拉桥主梁和拱桥主梁横向位移、塔顶偏位、主缆偏位 |
| 位移传感器 | 1）测量范围：（10～1000）mm  2）精度：0.5%F.S  3）分拼率：0.01mm  4）工作温度：（-30～65）℃  5）使用寿命：符台现行国家/行业设备标准 | 支座或梁端位移监测 |
| 湿度传感器 | 1）测量范围：0～100%RH  2）精度：2%RH  3）稳定性：<1%RH/年  4）工作温度：（-30～85）℃  5）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 环境湿度监测 |
| 温度传感器 | 1）测量范围：（-30～85）℃  2）精度：±0.5℃  3）分辨率：0.1℃  4）工作温度：（-30～85）℃  5）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 环境温度监测 |
| 倾角传感器 | 1）量程：±5°  2）灵敏轴非对称性：<0.15°  3）零点漂移：<0.01°  4）非线性：<0.005°  5）带宽-3dB，（典型值）：30Hz  6）分辨率：<0.0005°  7）重复性：<0.003°  8）精度：≤0.01°  8）噪声：<0.0002°rms  9）工作温度：（-30～65）℃  10）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 梁端、塔顶转角监测 |
| 静力水准仪 | 1）量程：≥1000mm  2）精度：≤±1mm  3）工作温度：（-30～65）℃  4）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 挠度监测 |
| 支座反力计 | 1）测量范围：（500～6400）kN  2）分辨率：≤0.1%F.S  3）非直线度：≤1.5%F.S  4）综合误差：≤2.0%F.S  5）工作温度：（-20～65）℃  6）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 支座反力监测 |
| 声发射传感器 | 1）工作温度：（-30～70）℃  2）谐振频率：  裸露钢索（40～100）kHz  预埋钢索（10～40）kHz  3）防护等级：IP65  6）使用寿命：符合现行国家/行业设备标准 | 断丝监测 |
| 基础冲刷传感器 | 1）冲刷深度分辨率：≤5mm  2）量程：≥10m  3）供电：（9～36）V DC  4）防护等级：IP68 | 冲刷深度监测 |
| 流速监测仪 | 1）量程：≥±5m/s  2）精度：≤±1%F.S  3）分辨率：≤0.1cm/s  4）供电：（9～36）V DC | 流速监测 |
| 裂缝计 | 1）量程：≥10mm或大于裂缝宽度的5倍  2）精度：≤0.02mm  3）分辨率：0.01mm  4）防护等级：IP68 | 裂缝监测 |
| 翻斗式雨量传感器 | 1）分辨力：0.1mm  2）雨强范围：0.01mm～4mm/min  3）允许通过最大雨强：8mm/min  4）测量准确度：≤±4%F.S  5）供电电压：（9～36）V DC  6）工作环境：温度：－10℃～50℃；湿度：<95%RH（40℃） | 雨量监测 |
| 能见度监测仪 | 1）测量范围：≥2km  2）精度：≤1m  3）典型精度：±10% （@25℃，50%RH）  4）平均无故障时间（MTBF）：大于18000h  5）工作环境：-40℃～60℃  6）供电：（9～36）V | 能见度监测 |

### 数据采集硬件应符合下列规定：

1 应根据传感器种类、数量、信号特征、信号采样频率、IO数，据吞吐量及对信号的预处理等要求，确定数据采集硬件系统的基本方式和具体硬件设备的选择。

2 应遵循标准协议和标准接口。

3 应具有较高的精度，宜配置信号增益、滤波等硬件设备。

4 应具备实时采集、自动存储、即时显示、即时反馈、自动处理、自动传输功能，应保证现场数据的真实性、有效性、实时性、可用性。

5 应满足室外工作需求，具有便携、防雨、防雷和防尘等功能。

6 应易于更换，且更换不影响采集软件的使用，应增大所有功耗器件的冗余量，延长其使用寿命。

7 数据采集硬件应采取抗干扰措施：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等。

8 数据采集硬件应根据传感器输出信号类型、范围、兼容性、精度和分辨力等要求进行设备选型，并符合下列规定：

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，并应进行光电隔离；

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应小于等于1pm，扫描频率应大于等于50Hz；应注意温度对光信号调制解调的影响，若光纤光栅解调仪所在环境温度超出其工作温度范围，宜配置温控机柜。

5）振弦式传感器信号应选用专用振弦式采集仪采集，频率信号误差应不大于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，误差应不大于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，静态信号分辨力应大于等于16位，动态信号分辨力应大于等于24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。

### 组网方式应符合下列规定：

1 监测系统组网应综合考虑系统整体上下行流量水平、突发流量、数据延迟要求等综合考虑，根据桥梁所在位置的设施设备状况，宜采用有线或无线网络，优先选用有线网络。

2 对于常规跨径桥梁，监测系统数据采集方式均为静态采样的监测系统，同时上行突发流量所需带宽不大于无线传输带宽上行速率的80%，并对数据传输延迟要求不高的情况，宜采用无线传输方式。

3 对于特大跨径、测点多、监测系统中有视频监控或部分监测点采样方式为实时采集的桥梁宜采用节点汇聚，有线环网连接的方式。有线传输应符合下列规定：

1）桥梁环网交换机带宽选取应根据监测系统各传输链路节点数据所需总带宽选取环网交换机接口带宽等级，环网交换机带宽宜为100Mbps/1000Mbps。

2）有线宽带或专线等数据远程传输应根据监测系统总数据传输带宽设计需求，选取合适的网络上行带宽。

### 系统供电应符合下列规定：

1 桥梁健康监测系统供电可依据监测现场设施设备情况选用合适的系统供电方式，宜采取市电供电方式，条件受限时可采取太阳能供电。系统供配电设计应符合《供配电系统设计规范》GB 50052和《低压配电设计规范》GB 50054的相关规定，同时兼顾后期维护便利。

2 市电供电方式应依据监测系统整体功耗及取电点距离综合确定，市电供电应符合下列规定：

1）当供电电压波动范围大于±10%时应考虑增设稳压系统；

2）当取电点与监测系统间隔距离大于4000m时，功率大于2000W，供电干线可考虑增设升压变压器，升降变压器间传输线缆应选取铠装绝缘线；

3）应配备UPS等不间断电源，UPS选取功率应不低于监测系统额定功率的1.5倍。

3 太阳能供电选取应对当地日照环境及监测设备功耗综合评估，太阳能供电方式应符合下列规定：

1）系统采集设备及传感器应为微功耗设备，且选取的太阳能供电系统年平均发电量应不小于监测系统整体耗电量的2倍；

2）太阳能供电系统储能电池的选取，应满足无日照情况下储能电池应能维持监测系统连续工作时长大于30d。

### 防雷接地应符合下列规定：

1 桥梁监测系统应安装防雷设备及良好的接地，基于桥梁现有主体结构防雷体系设计系统防雷，明确区域强电防雷、弱电防雷、等电位连接及接地技术要求，并应符合《高速公路机电系统防雷技术规范》GB/T 37048、《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343的相关规定。

2 防雷接地与交流工作接地、直流工作接地、安全保护接地共用一组接地装置时，接地装置的接地电阻值必须按接入设备中要求的最小值确定。

3 接地装置应优先利用建筑物的自然接地体，当自然接地体的接地电阻不小于10Ω时应增加人工接地体。

4 接地系统的等电位接地端子板应设置在便于安装和检查的位置，不得设置在潮湿或有腐蚀性气体及易受机械损伤的地方，等电位接地端子板的连接点应满足机械强度和电气连续性的要求。

5 当相邻设备的电子信息系统之间采用电缆互联时，宜采用屏蔽电缆，非屏蔽电缆应敷设在金属电缆管道内，屏蔽电缆屏蔽层两端或金属管道两端应分别连接到独立建筑物各自的等电位连接带上。采用屏蔽电缆互联时，电缆屏蔽层应能承载可预见的浪涌电流；

6 光缆的所有金属接头、金属护层、金属挡潮层、金属加强芯等应在进入机柜处直接接地。

7 电子信息系统线缆宜敷设在金属线槽或金属管道内。电子信息系统线路宜靠近等电位连接网络的金属部件敷设，不宜贴近雷电防护区的屏蔽层；

8 布置电子信息系统线缆路由走向应减小由线缆自身形成的电磁感应环路面积，布线不应形成环路。

9 电缆保护钢管、电缆保护屏蔽层等金属导体应在机柜处做等电位连接，并接至总接地端子板。

10 机柜内弱电设备的接地端，应采用截面积不小于4mm²的多股绝缘铜线，连接至机柜接地端子。

11 机柜内强电设备的接地端应使用不小于其相线截面积的多股绝缘铜线连接至机柜接地端子。

12 机柜接地排至总接地干线之间宜采用截面积不小于16mm²的多股绝缘铜线连接。

13 电源浪涌保护器安装及接线应牢固可靠。各连接导线走线应短直、整齐，不得盘绕。

14 电涌保护器的最大持续运行电压应不小于表4.4.14所规定的最小值。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表 4.4.14 电涌保护器取决于系统特征所要求的最大持续运行电压最小值 | | | |
| **浪涌保护器接于** | **配电网络的系统特征** | | |
| **TT系统** | **TN-C系统** | **TN-S系统** |
| 每一相线与中性线间 | 1.15Uo | 不适用 | 1.15Uo |
| 每一相线与PE线间 | 1.15Uo | 不适用 | 1.15Uo |
| 中性线与PE线问 | Uo\* | 不适用 | Uo\* |
| 每一相线与PEN线间 | 不适用 | 1.15Uo | 不适用 |

注： 1 标有\*的值是故障下最坏的情况,所以不需计及15%的允许误差。

2 Uo是低压系统相线对中性线的标称电压,即相电压220V。

3 此表基于按现行国家标准《低压配电系统的电涌保护器（SPD）第1部分：性能要求和实验方法》GB 18802.1 标准做过相关试验的电涌保护器产品。

15 信号线路浪涌保护器的接地线宜采用截面积不小于1.5mm²的铜芯导线，接地线应平直，并应就近经被保护设备的接地汇流排（端）接地。

### 系统布线应分为电源布线和通讯布线。强弱电应分离布设，线缆选型应符合《低压配电设计规范》GB 50054的要求，传感器线缆、光缆、电缆等综合布线设计应符合《综合布线系统工程设计规范》GB 50311的要求，还应符合下列规定：

1 系统电源布线应符合下列规定：

1）供电电缆应满足设备用电功率、传输距离的技术要求；

2）供电电源布线应保持平直，避免锐角弯曲；

3）监测系统供电电缆应使用额定电压不低于500V的铜芯绝缘线，监测系统整体功率小于400W时，线芯截面不应小于1mm²，系统功率介于400W～2000W之间的线芯截面不应小于1.5mm²；

4）线缆走线宜采用桥架方式走线，强弱电分离；强弱电走同一桥架宜选用分隔式桥架，且桥架良好接地。

2 系统通讯综合布线应符合下列规定：

1）通讯线缆应依据不同的信号类型、传输距离进行选型；

2）485通讯线布线距离宜不大于500m，布线距离小于500m时，宜选用0.5mm²屏蔽双绞线；如不可避免引入分支节点，分支节点布线长度一般不大于2m；总线连接方法应采用总线型拓扑结构，总线屏蔽接地应选择单点接地方式。

3）振弦频率信号布线宜选用屏蔽电缆，布设距离宜小于300m；

4）采用模拟信号传输的加速度传感器传输布线宜选用同轴屏蔽线缆，布设距离应不大于500m，应与强电分隔布线；

5）RJ45网线选取宜不低于CAT5E标准，布设距离应不大于100m，应与强电间隔布线；

6）光缆铺设应避免直角弯曲，光纤的最小容许弯曲半径，单条光缆宜不小于其外径的20倍；光纤在接头部位有至少1m的余留长度，弯曲半径不小于40mm。光纤类传感器如光纤光栅应变计同一通道内多传感器串接时宜采用熔接方式连接，且熔接光衰不应大于0.3db，光纤接头处应做防水、防尘、防拉处理；

7）系统专用的不间断供电回路、系统通信光纤网，宜与桥梁原交通机电系统联合设计，并由专业施工人员接入。

## 软件系统设计

### 软件系统架构、数据库、应用组件宜采用开源技术。

### 软件系统宜按省级监测系统平台的数据交互与共享要求预留传输接口。

### 软件系统宜按照《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239、《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的相关规定构建系统信息安全保护体系。

### 软件架构及功能设计应符合下列规定：

1 软件系统架构及功能设计应考虑安全性、可靠性和技术先进性，可采用边缘计算、分布式处理、消息中间件、时序数据库等先进可靠技术。

2 软件系统应包括系统管理功能模块、数据采集与传输功能模块、数据处理与管理功能模块、数据分析与安全预警及评估功能模块。

3 系统管理功能模块应包含用户管理、设备管理及设施管理功能。

4数据处理与管理功能模块应提供桥梁监测数据的处理、查询、存储与管理等功能。

5数据分析与安全预警及评估功能模块应包括监测数据在线显示、数据分析、安全预警。

6 系统应具有根据传感器测量误差随时间变化关系实现监测数据误差修正的功能。

7 系统应对高频数据实时展示，宜采用时程曲线、数据列表、大屏驾驶舱等多种方式展示数据实时变化及规律。

8系统应提供监测报告生成、查看和下载功能，报告分为监测日报、季报、年报和评估报告。

### 数据库设计应符合下列规定：

1 数据库应采用技术先进、稳定可靠、易于扩展的设计方案，设计方案应遵循数据的完整性和一致性原则；宜采用分布式数据库、时序数据库等存储监测数据。

2 数据库系统宜具备身份鉴别、主动访问控制、安全审计等安全防护功能。

3 数据库系统的设计及功能等应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关要求。

4 数据库系统宜针对具体需求提供数据备份功能，保障数据安全。

5 数据库系统宜具备数据仓库拓展功能或具备向数据仓库系统迁移能力。

6 数据库架构设计除执行本规范外，尚应符合国家及行业现行相关标准的规定。

7 数据库中表的主键字段宜创建聚集索引，宜对常用查询字段设置索引。

8 数据库架构设计应考虑基础信息表、监测数据表、功能表与其他数据库系统或软件系统的数据交换需求。

9 基础信息表应包括桥梁信息表、构件信息表、传感器配置表、设备信息表、监测类型配置表等。

10 基础信息表的字段应覆盖桥梁健康监测系统需要的桥梁、传感器及设备信息等。

11 采用传统关系型数据库存储监测数据时，监测数据表应根据不同类型的监测数据分表进行设计，其对应每个具体测量参数应设计独立的表。

12业务功能表应体现对基础信息数据及业务数据的统计、展示、分析等功能，应根据不同功能模块分表进行设计。

### 用户界面设计应符合下列规定：

1 用户界面应采用数据驾驶舱看板，应能清晰直观反映数据变化，且符合用户使用习惯。

2 用户界面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。

3 用户界面应具备相关分析、对比分析、趋势分析等统计分析结果展示功能。

4 用户界面应具备多样化预警提醒，提醒方式可采用消息推送、短信提示、声光报警等。

5 用户界面应具备传感器设备状态自诊断可视化功能，能够显示设备运行状态信息。

6 用户界面应具备移动端App应用，可实时查看监测数据、进行监测统计数据查询、监测预警消息管理等可视化功能。

### 数据采集及存储设计应符合下列规定：

1 数据采集程序应按不同的监测内容、采样次序、采样频率，完成对传感器输出的采样与模数转换。

2 对配置专用软件的传感器设备，系统应提供软件运行的平台，并编制相应的通信协议与接口。

3 数据采集程序应对监测数据非正常状况的识别、剔除与事件发生进行记录。

4 数据采集应对监测数据输出内容进行初步计算及整理。

5 桥梁健康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。

6 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，现场本地数据存储空间结构化原始数据应大于等于90天，非结构化视频图像数据应大于等于30天。

7 系统应采用数据库技术存储监测数据，应提供存储调度、存储监控及存储管理可视化功能。数据库宜采用模块化架构，可按功能对桥梁结构信息、监测系统信息和监测数据进行分层、分类存储和管理。

8 监测系统数据库应存储和管理传感器、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。

9 监测系统数据库应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。

10 监测系统数据库应存储和管理监测系统所有监测内容的原始数据。

11 监测系统数据库应存储和管理采用统计方法、相关性分析、趋势性分析、比对性分析、机器学习等分析的数据。

12 监测系统数据库应存储和管理超限报警、评估、分析结果等数据。

13 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，中心计算机机房非结构化视频数据存储宜大于90天。

14 监测系统宜采用容灾备份机制，宜具备各类数据压缩存储和异地备份功能。

### 报警功能应符合下列规定：

1 具有实时和自动报警功能，应在监测系统软件界面显示报警信息。

2 报警内容需包括报警级别、报警传感器编号和位置、报警监测值和报警阈值。

3 能发布、调整和解除报警。

4 报警阈值应能依据桥梁和系统运行状况动态调整。

### 系统性能设计应符合下列规定：

1 系统用户登录时间应小于等于3秒。

2 系统界面初始化操作应小于等于3秒。

3 系统内在线事务处理的响应时间应小于等于3秒，系统内查询的响应时间应小于等于5秒。

4 系统内点击页面的任意功能到接收返回的结果的平均响应时间应小于等于3秒。

5 系统可支持同时在线操作的用户终端数不得少于200个。

6 系统并发数设计应该支持30%的冗余，保证系统在业务高峰期间稳定运行，系统在业务处理高峰时，各主机设备的内存利用率应不大于70%，CPU平均空闲率不低于30%。

7 系统应支持连续7×24h不间断地工作。

### 系统安全性设计应符合下列规定：

1 系统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。

2 系统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。

3 系统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。

4 各应用服务器、工作站应安装防病毒软件，具备日志系统、安全审计等功能。

5 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。

6 网络通讯过程之中如被第三者截取数据，根据现在的技术手段无法解密。

7 系统安全管理应具有高可靠性，并具有可审计可监控性。

8 系统应具备数据的备份与恢复功能。

9 系统应具备安全加密和分级授权功能。

10系统应具备日志记录功能，能够对用户登录、页面操作、配置修改、恶意攻击、系统故障等信息进行自动记录保存，能够事后统计和追查用户的访问操作。

## 专线监测设计

### 专线监测系统适用性应按以下情况确定：

1 具有重要保护意义的桥梁；

2 监测系统接网成本较高，从而采用短距局域网专线传输监测的桥梁；

3 其它具有特殊要求的桥梁。

### 专线监测系统设计除满足常规监测系统要求外，尚应满足专线监测系统设计要求。

### 专线监测系统应满足信息化监测系统功能要求，宜达到数字化监测系统功能要求，当有条件做深入研究的项目，可采用智能化监测系统的概念。

### 专线监测系统应按组成的软硬件功能情况分模块设计，且应包括传感器模块、数据采集和传输模块、数据管理模块，宜包括数据分析应用模块，并通过系统集成技术将各模块集成为统一协调的整体。不同模块应满足以下规定：

1 数据采集和传输模块宜与传感器模块共同设置在监测桥梁现场，其供配电、通信需求由系统设计单位提出，由桥梁机电工程设计单位统一设计预留，工作界面划分应设在系统数据采集机柜内；

2 数据管理模块和数据分析应用模块当使用政务云或私有云等具有较高安全性的既有数据存储及计算设施时，建设时该模块仅需配套数据调用的PC端，否则应建立专用服务器，服务器具体配置需求由系统设计单位提出；

3 数据管理模块和数据分析应用模块应共同集成在同一软件中，设计及开发时应充分考虑其可扩展性；所依附的硬件设施根据项目具体情况，可放置于桥梁位置附近或相关单位认可的其他位置。

### 专线监测系统应设置专门的监控中心用做系统软硬件设施存放、提供工作平台和监测成果展示等功能；中心应配备稳定的供电设施，设施应具有断电工作保护和断电信息告知措施，宜安排专人值守。

### 专线监测宜采用附着式传感器，不宜采用埋入式传感器。

### 专线监测系统数据采集和传输应采用有线传输方式，确需采用无线传输方式时应有可靠的手段保证数据的安全性，且采集仪应具有原始电子数据保存功能，数据管理模块应具有数据无线传输数据丢失检测功能和数据丢失恢复算法功能，必要时可人工至采集仪进行拷贝恢复。

### 应建立监测桥梁的结构有限元模型，宜优先采用空间实体有限元模型；系统数据管理模块应预留足够的结构模型存储空间，数据分析应用模块应有历史有限元模型调用、模型修正和输出与有限元软件兼容的修正模型功能。

### 系统应具有数据定期转存机制。

## 施工期监测及其他数据源的纳入方案

### 施工监测与运营健康监测系统应统一设计，做到同步施工和连续监测。健康监测系统设计尚应满足常规监测系统或专线监测系统的相关要求。

### 应将施工监测数据纳入到健康监测系统的数据管理中，对已投入运营桥梁加装健康监测系统的情况，系统设计时应在数据管理模块中增加施工过程及成桥状态相关数据和运营后经常检查、定期检查、特殊检查及荷载试验等数据的录入功能。

### 施工阶段的监测系统的传感器模块设计应重点关注传感器增加对已装传感器数据采集连续性的影响，宜采用扩展性较高且能保证数据连续的传感器。

### 施工阶段的监测系统设计应充分考虑对传感器、数据线路、采集仪和供电路线等系统组件的保护，并结合桥梁竣工后的总体供电和线路排布情况拟定监测系统线路的布线方案。

### 施工监控数据可采用无线传输方式传送至数据管理及数据分析应用模块，但应在数据采集模块中设置原始电子数据保存功能。

## 系统的物联网接入方案

### 监测系统设计时宜与当地城市信息系统设计融合，统一基础信息，明确数据交互和接口规则等内容。

### 物联网接入应在既有监测系统的基础上进行，不宜出现针对物联网接入需求更改既有监测系统功能的情况。

### 物联网接入应充分保证专业信息的安全，应注重不同类型桥梁结构信息的共性化特征，适度增加结构的个性化、专业化和私密化特征。

### 监测系统物联网宜采用区域结构群网络分散建立数据库，再通过城际网络连接各分散数据库实现数据共享的方案。

### 接入物联网的桥梁健康监测系统应开发物联信息应用功能模块，实现共性特征信息提取结果反馈至个体结构并得到有效利用。

# 系统实施

## 一般规定

### 承担城市桥梁结构安全监测系统实施的单位应建立项目组织机构、安全管理制度、施工质量控制和检验制度。

### 城市桥梁结构安全监测系统实施前，应按设计要求深化施工图，编制施工组织设计、专项施工方案，通过审查、技术交底后方可进行现场施工。

### 城市桥梁结构安全监测系统宜按单位工程、分部工程、分项工程进行划分。

### 监测设备的基础、法兰、地脚、支架等及其防腐处理均应符合相关规范和设计要求，应连接牢固、可靠，并不得影响城市桥梁的结构安全和使用功能。

### 硬件和原材料在实验室及施工现场应按使用条件分类保管。

### 所采用的仪器设备、原材料、半成品和制成品，均应符合有关产品标准、规范或合同的要求，并应具有符合国家认可标准要求的质量检查机构出具的检验合格证和出厂合格证。

### 分项工程检查频率：承包单位应为100%；验收抽查不应低于30%，当项目测点数少于3 个时，应全部检查。

### 分项工程各项实测项目的权值：关键项目应为2，非关键项目应为1。

### 布设硬件的截面应全桥统一编号，并宜采用带荧光的标示条进行标识。标示条可采用条形码、二维码或射频电子标签等辅助手段。

### 针对上跨铁路的桥梁，应避免在上跨铁路部分的梁底布设传感器，应保证桥面以上各类传感器及其他设备安装牢固，应防止设备脱落对桥下铁路运营产生影响。

### 在监控中心应能实现监测系统软件参数的配置和远程管理。

### 软件系统应具备自动恢复功能，在无人值守情况下可从故障中恢复正常工作状态。

### 在软件系统上设计后台程序应获得建设单位和城市桥梁管理部门的书面批准。

### 在软件实施过程中形成文档的内容要求应符合《计算机软件文档编制规范》GB/T 8567的规定。

### 系统调试应由机电、结构和软件专业技术人员组成调试小组，根据设计文件和产品技术文件进行。

### 系统调试前应制定调试方案并应采取必要的安全防护措施。

### 系统调试应进行单项调试和联合调试，应按照附录A中表A.1-A.4的要求出具调试报告。

## 系统施工组织

### 硬件安装实施应符合下列规定：

1. 表贴式应变传感器的安装应符合下列规定：
2. 安装时，应用专用工具随时测量；
3. 应定点、测量及记录每一安装面的传感器之间需要的布线长度、相对位置、算出预留线的长度；
4. 现场布线、走线，应将传感器牢固粘贴于被测结构物表面，应用防水材料包裹；
5. 应将所有线固定到线槽中，进行编号；
6. 安装时，应按照设计文件给予的位置进行安装，其横向偏差不应大于0.5cm，纵向位置不应大于1cm。传感器应与结构物抗弯构件相平行，角度偏差不大于1°；
7. 安装时，传感器位置应布设结构物变形响应位置不利位置及响应较大位置。
8. 预埋式应变传感器的安装应符合下列规定：
9. 安装位置与设计监测点的距离偏差不应大于30mm,角度偏差不应大于1°；
10. 宜采用结构钢筋或辅助钢筋进行预埋传感器的定位，并应在传感器两端、中部分别绑扎牢固；
11. 当传感器预浇在预制块内埋设时，预制混凝土块的设计强度应与监测点处混凝土的设计强度相同。在传感器测试方向，预制块顶面应在钢筋保护层以内；
12. 传感器的引出线缆宜采用软管保护，软管与钢筋的绑扎间距不应大于1m；
13. 在混凝土浇筑过程中,严禁振捣器触碰传感器。
14. 加速度传感器的安装应符合下列规定：
15. 安装时，传感器的安装位置和方向应正确无误；位置确定后，安装螺钉时应使用螺纹锁固胶加以锁固；
16. 测试方向与设计方向的角度偏差不应大于1°；
17. 用单螺栓固定加速度传感器时，应采取防止加速度传感器发生转动的措施；
18. 加速度传感器外壳与接地体之间的阻抗不应大于1Ω；
19. 加速度传感器的屏蔽线外层应与接地体可靠连接。
20. 倾角传感器的安装应符合下列规定：
21. 安装方式应符合设计规定。当设计无规定时，宜采用刚性连接将其与被测构件牢固连接；
22. 安装精度应符合设计规定。当设计无规定时，倾角仪轴线宜与被测构件轴线重合，水平位置偏差不宜大于1cm；
23. 安装后应及时读取初始值，并应作为传感器的起始值。
24. 静力水准传感器的安装应符合下列规定：
25. 采用螺栓或抱箍固定传感器时，宜先在螺栓或抱箍及传感器的连接面上满涂环氧树脂，再拧紧螺栓或抱箍；
26. 传感器应竖直安装，角度偏差不应大于 2°；
27. 监测点的高程差应符合设计规定。设计无规定时，传感器各监测点的高程差不应大于其测量范围的1/4；
28. 连通主管、支管的直径不应小于设计直径 ；
29. 连通主管、支管应采用抱箍、卡环或定位卡等定位装置可靠固定在结构物上；
30. 连通管的弯曲半径应符合设计规定。当设计无规定时，弯曲半径应大于管道外径的3. 5倍；
31. 连接处管的内径不得小于被连接管道的内径；
32. 施工过程中不得扭曲、划伤连通管；
33. 灌入液体的材料、配比应符合设计要求；.
34. 应从连通管的一端连续、匀速地灌入液体，应避免在连通管中形成气泡；
35. 应采用有效措施排出连通管中水平长度大于10mm的气泡；
36. 连通管安装完成后，应对连通管施加不小于2个标准大气压并持续30min，所有的管道、接头处应无渗漏现象。
37. 动态称重系统的安装应符合下列规定：
38. 动态称重系统安装位置前后的引道应为直线路段，传感器两侧引道的长度不应小于20m；引道宽度应超出传感器两端各300mm以上且不应小于3m；
39. 引道横向坡度应小于1%；
40. 在传感器两侧8m范围以内，引道纵向水平倾斜度不应超±3mm；在传感器两侧8m范围之外，引道纵向水平倾斜度不应超过±6mm；
41. 动态称重监测点的排水截面尺寸应符合设计文件要求；
42. 动态称重传感器与路面水平面的高差应符合设计文件要求、当设计文件无要求时，高差不应大于3mm；
43. 接地片的横截面面积和理深应符合设计文件要求。当设计文件无规定时，接地电阻不应大于4Ω；
44. 安装时不应超开挖、超切割路面。安装完成后应及时修复，并不得影响道路使用；
45. 动态称重传感器封印装置的安装应符合现行国家标准《动态公路自动衡器》GB/T 21296的规定。
46. 拉线式位移传感器的安装应符合下列规定：
47. 传感器应固定在固定点，拉线端固定在移动点，并根据位移传感器的量程选择合适的安装位置；
48. 测量好被测物的距离，调整好传感器的量程；
49. 安装传感器时，应罩好防护罩，对传感器设备拉绳端做好保护。
50. 环境温湿度传感器的安装应符合下列规定:
51. 温度传感器不应受到阳光的直接辐射；
52. 应选择较为典型的环境监测处；
53. 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；
54. 应避免阳光及雨水等环境影响处。
55. 混凝土钻孔中温度传感器的安装应符合下列规定:
56. 钻孔前应确认钻孔深度范围内无预应力钢筋；
57. 钻孔方向应与设计孔位方向一致；钻孔深度不得小于设计深度；钻孔直径与设计偏差应小于3mm；
58. 达到钻孔深度后，应将孔内残留物清理干净；
59. 沿孔深方向宜采用钢筋等辅助工具进行温度传感器的定位；
60. 传感器安装到位后应采用细石混凝土或砂浆将钻孔填塞密实。
61. 风速风向仪的安装应符合下列规定：
62. 应根据实际需要，灵活地选择安装方式，但必须保证仪器垂直放置，固定牢固；
63. 应提供适当的安装连接界面；
64. 风速风向仪安装时，应采取相关保护措施；
65. 对安装在突出桥面箱梁外缘伸臂上的风速风向仪，风速风向仪与箱梁风嘴最外缘的水平距离应大于3.0m；
66. 应选择安装在盛行风的一侧；
67. 在安装过程中，必须用精密的方向测定仪器先测定某个固定方向，“零位”指示箭头依据这个方向来确定仪器的安装方位；
68. 风向标前后重量应平衡，前后两翼板应与旋转轴线位于同一平面内；
69. 在60m/s的环境风速下不得对设备和立柱结构造成破坏。
70. 数采设备的安装应符合下列规定：
71. 数采设备与传输设备在安装前应进行检查、检验，应符合监测系统设计要求及产品技术文件所规定的技术性能；
72. 数采设备和传输设备应安装在采集机柜或者控制柜中，应设置齐全、清晰的铭牌标志；
73. 数采设备和控制柜的布置不应影响车辆、行人以及检修人员的通行；当数据采集机柜和控制柜布置在车行道或人行道上时，应设置有效的防撞措施。
74. 采集机柜的安装应符合下列规定：
75. 机柜应牢固固定在基座上，机柜的安装位置与设计文件的偏差不应大于30mm；
76. 机柜的安装应考虑开门方向和操作便利性，机柜的设备舱门和配线舱门应能完全开启；
77. 机柜进出线缆孔洞在线缆安装完毕后应采用防火胶泥封堵，并应做好防水和防潮处理；
78. 机柜安装垂直偏差度不应大于3mm，水平误差不应大于2mm；
79. 机柜宜选用不锈钢材质，并具备防水、防尘和防盗功能；
80. 桥墩上的机柜宜选用膨胀螺栓固定，膨胀螺栓选用适配，固定稳固；
81. 机柜应进行接地处理，整体结构安装合理、美观；
82. 设备宜选用螺栓固定在机柜的背板上，固定稳固、无漏连、虚连现象；
83. 机柜内的设备布局宜合理、美观。
84. 硬件的固定应符合下列规定：
85. 硬件在安装固定前应进行检查、测试，应满足设计文件的要求；
86. 当采用焊接方式固定时，焊接传导给硬件的最高温度应小于传感器允许的使用温度上限值；
87. 当采用膨胀螺栓固定时，应按硬件技术要求选择螺栓规格；不应使用塑料胀塞或木楔固定；
88. 紧固件应采用镀锌制品或与传感器配套的其他防锈制品；
89. 固定硬件时，不应使硬件内部受到额外的应力。
90. 硬件的外部接线应符合下列规定：
91. 接线排列应整齐、美观，导线应绝缘良好、无损伤、标识应清晰；
92. 固定接线的螺栓和螺钉应采用有金属防护层或铜质的制品；
93. 接线的螺栓和螺钉应拧紧，拧紧力矩值应符合硬件技术文件的要求；
94. 接线张紧程度应适中，不应使硬件内部受到额外应力；
95. 接线接头处宜有防水保护措施。

### 软件实施应符合下列规定：

1. 测试与部署应符合下列规定：
2. 软件开发完成后应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；
3. 软件的单元测试、集成测试、配置项测试和系统测试应符合《计算机软件测试规范》GB/T15532和《计算机软件测试文档编制标准》GB/T 9386的相关要求；
4. 测评单位出具的《软件测试报告》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，应经开发单位修复完善后再次提交测试，最终测试通过率不应低于测试用例总数的95%；
5. 应对数据采集、传输和存储模块进行强度测试，强度测试宜包括地震、船撞等极端条件下全桥所有传感器同步采集能力、数据传输量的饱和测试、超出规定存储量的数据存储能力、超过30%设计传感器数量的采集任务；
6. 软件部署前应编制软件部署建设指南；
7. 软件现场部署前，服务器、工作站、工控机等硬件应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；
8. 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；
9. 软件安装和调试宜分步进行，软件部署完成后应对桥梁现场、数据中心的功能同步确认；
10. 软件缺陷导致无法部署时，应修改软件并测试通过后方可重新部署；
11. 在软件部署后、系统调试未完成前，应采取临时措施防止未经培训人员操作软件；
12. 监测软件部署后应形成的文档应包括：用户手册、软件操作手册、软件产品规格说明书、软件维护说明书。
13. 网络安全等级保护实施应符合下列规定：
14. 网络安全等级保护应按保护对象划分等级，遵循自主保护、重点保护、同步建设、动态调整等原则按标准进行建设、管理和监督；
15. 网络安全等级保护基本流程应包括等级保护对象定级与备案阶段、总体安全规划阶段、安全设计与实施阶段、安全运行与维护阶段和定级对象终止阶段；
16. 等级保护对象定级与备案阶段宜包括等级保护对象分析、安全保护等级确定、定级结果备案；
17. 总体安全规划阶段宜包括安全总体需求分析、总体安全设计、安全建设项目规划；
18. 安全设计与实施阶段宜包括安全方案详细设计，技术措施的实现、管理措施的实现；
19. 安全运行与维护阶段宜包括安全运行管理和控制、变更管理和控制、安装状态监控、安全自查和持续改进、服务商管理和监控、等级测评、监督检查、应急响应与保障；
20. 定级对象终止阶段宜包括信息转移、暂存和清除、设备迁移或废弃、存储介质清除或销毁。

### 系统调试与验证应符合下列规定：

1. 供电调试应符合下列规定：
2. 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，当无设计要求时，用兆欧表测量时不应小于500MΩ；
3. 市电220V电压波动不应超过±10%，当超过该范围时，应加装稳压设备；
4. 60V以上的直流电源电压波动不应超过±10%，60V以下的直流电源电压波动不应超过±5%；
5. 不间断电源宜进行自行切换性能试验，切换时间和切换电压值应符合产品技术文件的规定；
6. 供电调试宜按附录A中表A.1中的要求进行验收。
7. 信号调试应符合下列规定：
8. 应检查各传感器的技术指标是否满足设计要求；
9. 当设计要求多种采集策略时，应针对每种采集策略分别测试传感器能否正确返回测试信号；
10. 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；
11. 需要同步采集的传感器其同步精度应满足监测需要；
12. 信号调试宜按附录A中表A.2中的要求进行验收。
13. 数据调试应符合下列规定：
14. 传感器的编号及数据在现场数据库及远程数据库中应完全对应；
15. 传感器数据应与其物理位置对应；
16. 数据存储精度不应小于传感器的分辨率；
17. 各传感器的测量数据不应超过传感器测量范围和设计文件规定的测量范围；
18. 信号调试宜按附录A中表A.3中的要求进行验收。
19. 联合调试应符合下列规定：
20. 城市桥梁结构安全监测系统的功能调试宜包括：自动和人工实现数据采集、传输和存储功能、数据显示、回放和统计功能、城市桥梁安全监测系统报警和预警功能、城市桥梁安全监测系统评估功能、设计文件要求的其他功能；
21. 城市桥梁结构安全监测系统的时钟每月最大计时误差应小于5s；
22. 联合调试完成后，用户界面软件各项功能应正常，监测数据展示应流畅准确，界面数据值、数据精度、数据单位与设计文件技术要求应一致；
23. 联合调试宜按附录A中表A.4中的要求进行记录。
24. 系统验证应符合下列规定：
25. 系统验证抽样的传感器数量应满足设计文件的规定；
26. 对可采用参考计量仪器进行验证的被测参量，系统实测数据与同时、同条件人工测量数据的偏差应符合表5.2.3的规定；

表5.2.3 传感器验证允许偏差表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 温度 | 湿度 | 应变 | 挠度 | 固有基频 |
| 允许最大偏差 | ±0.5℃ | ±5% | ±3με | ±1mm | ±0.2Hz |

1. 对可采用参考计量仪器进行验证的被测参量，系统实测数据与同时同条件人工比测数据的偏差应小于抽样传感器测量精度的3倍；
2. 连通管式挠度测量子系统应按传感器满量程的30%、50%、80%进行加减水试验3次，相邻传感器的平均偏差应小于传感器精度的3倍；
3. 在同等测试条件下，各加速度传感器通道所得结构基频之间的误差应小于传感器频率分辨率的3倍；
4. 系统安装完成后，可采用车辆实施加载试验对系统进行验证；
5. 动态称重传感器的现场验证方法和偏差应按《动态公路车辆自动衡器》GB/T 21296执行，设备性能指标应满足设计要求；
6. 在相同截面处，城市桥梁定期观测位移与监测系统位移测试的变化趋势应吻合。

### 验收要求与评分办法应符合下列规定：

1. 分项工程验收要求应符合下列规定：
2. 分项工程内设备安装完成，符合设计文件和本规范的规定时，可向监理和业主提交书面申请进行分部分项验收；
3. 分项工程验收时，应提交文件包括安装和质量检查记录、隐蔽工程记录、硬件和材料的产品质量合格证明。
4. 分部工程验收要求应符合下列规定：
5. 文件范围内传感器安装、线缆敷设以及软件部署完毕，监控机房安装完成后，可向监理和业主申请分部工程验收；
6. 分部工程验收时，应提交文件包括分项验收所提交资料、调试试验记录、硬件清单、软件清单。
7. 单位工程验收要求应符合下列规定：
8. 系统正常运营90天、经验证合格及完成档案验收后，可向监理和业主申请竣工验收。竣工验收按期举行确有困难的，经工程验收主持单位同意，可适当延长期限；
9. 提交竣工验收报告前历次检查和监理发现的问题应全部处理完毕；
10. 提交竣工验收报告前归档资料应符合工程档案资料管理的有关规定；
11. 监测数据必须有效传输至城市桥梁管理部门监控中心，统一维护管理；
12. 系统应保证24h连续工作；
13. 系统应满足实时监测、定期远程监控、特殊环境状况下的应急监测需求；
14. 系统应满足人工控制启动功能；
15. 必须提供系统完整的帮助文档和操作手册；
16. 验收前应提交的工程资料清单包括竣工验收申请报告、竣工图、工程决算书、图纸会审记录，设计变更洽商记录、材料、硬件的质量合格证明、施工记录。包括必要的检验、试验记录、中间交接记录与证明、工程质量事故发生和处理记录、工程变更单、其它有关该项工程的技术决定和技术资料、系统使用说明书、系统维护说明书、系统硬件、软件清单、系统审批资料、本规范规定的在软件实施过程中形成的文档、软件测试报告、系统试运行报告；
17. 竣工验收申请报告应包括竣工验收申请表及单位工程竣工验收记录，宜按附录A中表A.5、A.6中的要求进行记录。

## 系统试运行

### 系统试运行应在系统单项调试和联合调试合格后进行。

### 系统试运行的时间期限应符合设计规定，当设计无规定时，试运行期应不少于3个月。

### 试运行期间系统的可靠性应符合下列规定：

1. 系统设备每月平均无故障工作时间不应小于每月总时长的95%，统计时宜排除网电等外部因素影响。
2. 系统自动采集数据日均数据缺失率不应大于5%。

### 试运行期间系统的稳定性应符合下列规定：

1. 当被测桥梁结构受力、环境基本不变时，监测静态参数的传感器在1min内连续采集数据的变动幅值应小于本标准表5.2.3的规定。
2. 试运行期间监测系统在监测点与人工测试点相同或邻近条件下，系统自动采集数据与相应时间人工测试数据的规律应一致，变化幅值应接近。
3. 试运行期间监测系统的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。

## 项目质量管理

### 质量控制措施必须符合下列规定：

1. 采购质量控制应符合下列要求：
2. 宜根据设备生产厂家的业绩、信誉、设备运行质量进行选择；
3. 设备生产供应过程中宜派员监督；
4. 设备出厂前及到货后，应认真检查测试。
5. 施工过程质量控制应符合下列规定：
6. 严格执行业主和监理工程师指定的工程标准；
7. 严格遵守各项操作方法和规程；
8. 分工序应制定控制方案，各专业工程师必须根据各工序特点，制定各专业主要工序质量控制方案；
9. 应建立质量管理岗位责任制，项目负责人将根据各施工管理各部门、各工种的特点，制定质量管理岗位责任制，明确职责范围、工程程序、质量标准、质量目标、规范施工及管理；
10. 必须认真填写施工记录。
11. 检验、试验制度应符合下列规定：
12. 未经检验的设备不得进场；
13. 施工过程中的各工序完工后，必须经质保工程师检查合格后，方可进行下道工序；
14. 建设单位应加强与业主和监理工程师的联系，应认真执行业主和监理工程师的各项指令、要求。
15. 建立纠正和预防措施应符合下列规定：
16. 发现不合格的工程，必须立即纠正；
17. 应定期对施工过程进行分析、研究，及时发现、分析并消除不合格因素和潜在因素。

### 质量控制环节必须符合下列规定：

1. 基础设施施工控制应符合下列规定：
2. 应做好基础施工的辅助工具和相关材料的准备工作；
3. 应做好基础施工图纸、施工工艺操作程序的准备工作；
4. 根据施工图纸，制作有关设备的预制基础，安装尺寸的精确性应符合要求；
5. 敷设线缆之前，现场工程师应对线缆进行质量检验，并填写现场设备检验测试报告单；
6. 根据线缆敷设表应对所用线缆进行标记编号，编号清晰、明确，一致；
7. 严格按照作业指导书进行线缆敷设工作；
8. 线缆敷设完成后，现场工程师应该对线缆进行进一步检查，由现场工程师填写线缆敷设工程检验单；
9. 现场作业人员应在工程部工程师监督下根据系统要求，正确安装有关设备的辅助支架。
10. 机电设备安装控制应符合下列规定：
11. 生产主管部门应对现场使用的加工工具、试验设备、工作环境和操作人员的资格是否符合规定要求进行检查，并对检查结果负责；
12. 严格检查所采用的图纸、文件、技术说明书等文件的配套性、有效性，然后按工序分配生产任务；
13. 应检查核对本次产品需要的零件、部件及各类装配件是否符合图纸要求，产品标识是否记录清楚、完整；
14. 应检查各零件、部件的质量记录是否清楚、完整；
15. 生产工人严格按照图纸和工艺技术文件操作并自检；
16. 在进行现场设备安装之前，现场工程主管应根据现场实施情况，建立辅助安装工具及辅助材料清单表；
17. 现场工程师应对现场使用的辅助安装设备工具、器材进行检查，并对检查结果负责；
18. 现场工程师在进行具体的设备安装之前，应对其进行质量检验，出现问题的设备必须立即处理；
19. 现场工程师严格按照设备安装技术文件、作业指导书，进行设备安装，并自检。
20. 工程调试控制应符合下列规定：
21. 技术工程师应根据现场情况建立系统测试手册，落实测试内容，测试数据要求，并对测试结果负责；
22. 应对系统按照硬件、软件单独功能测试和系统逻辑测试；
23. 技术工程师应对系统的组成设备进行单独功能调试，并建立调试记录；
24. 所有硬件设备功能正常时，可以进行系统联调或者子系统联调，并对调试过程加以记录；
25. 技术工程师应按照软件功能说明书，对系统软件进行分系统、分功能调试，测试数据应具有代表性；
26. 当确认软件功能正常后，应进行软件稳定性测试，并建立测试记录；
27. 硬件、软件单独测试完成后，应将硬件、软件进行整体调试，对系统整体的逻辑功能进行评定；
28. 系统连续运行一定时间，应考验系统在各种情况下的稳定性。
29. 完工项目的检验和试验控制应符合下列规定：
30. 最终产品的检验，应在确认最终产品检验前的所有工序已全部完成，各项检验和试验全部合格的情况下进行；
31. 最终检验所用检验或试验设备、量具均应经周期鉴定合格，并在规定的合格使用期内，其精度应满足该产品检验、试验规定的要求；
32. 检验员必须经考核合格，持上岗证；
33. 检验、试验环境条件必须满足相应技术文件中队检验、试验的要求；
34. 对最终产品应进行100%检验；
35. 检验员应按规定填写“产品最终检验（试验）单”，并检查各个工序检验、试验的合格记录和标识。如发现产品不具备最终检验条件，检验员有权拒绝检验，通过检验部门负责人向质量管理小组报告；
36. 检验员应按技术文件和工艺文件的要求，逐项进行检验。应正确判定产品合格与否。应将检验实际结果填入检验报告，并作好标识。对经检验、试验合格的产品，检验测试中心应签发合格证；
37. 检验测试中心应按合同要求作安全试验、环境试验、可靠性试验，电磁兼容试验的产品可委托有关单位完成试验工作，并由该试验单位提供完整的试验报告；
38. 经检验、试验不合格的产品，检验员应做好标识后，将实物加以隔离，做好记录，填写“不合格品报告”，写明不合格项目，报不合格品审理组织；
39. 返工和返修后的产品，应重新检验产品的质量。
40. 搬运、包装、防护和交付控制应符合下列规定：
41. 物资采购部门宜负责外购产品的搬运；
42. 应使用与产品相适应的搬运工具；
43. 对产品应有相应的保护措施，并给出醒目的识别标志；
44. 当产品在搬运过程中需要通过有污染的环境时，应根据环境的情况，采取适当的防护措施；
45. 搬运过程中，保护产品的标识不得被损坏；
46. 视产品的体积、重量、精密程度等宜选用不同的包装方式；
47. 精密或者易碰伤、变形或者特殊的零部件以及元器件应按要求分别包装或使用专用包装箱；
48. 包装箱应符合防雨、防尘、防潮、防震的要求，包装箱内应装有装箱清单、检验合格证、备附件及有关文件；
49. 封箱前应检查包装及装箱情况，按装箱单确认品种、规格、数量、配套包装等是否符合要求；
50. 产品包装箱外面应挂标签或按规定标记，包装箱外喷刷或粘贴的标志不得因运输条件和自然条件而褪色、变色和脱落；
51. 产品的交付应由质量管理小组组织实施，产品交付部门填写“产品交付记录表”，交质量管理小组保存，并归档；
52. 产品最终检验和试验后，交付部门不得改动产品的技术状态，交付时按本程序规定的搬运、贮存、包装和防护要求执行；
53. 交付时，文件应齐全，主要包括技术说明书、操作、使用、维护手册，有关图纸资料等；
54. 产品的交付应经使用方或其代表验收合格，并在验收文件上签字，若产品不符合合同规定的要求时，使用方有权拒收；
55. 交付时，应向使用方提供有关检验和试验结果以及故障排除情况等文件。
56. 质量记录的控制必须符合下列规定：
57. 质量记录必须有能够准确识别的标记，必需的质量记录。标识标记宜在报告和记录表的右上方适当位置；
58. 质量记录应指定专人收集和保管。与产品质量有关的记录，由各部门负责收集、整理和保管；
59. 质量记录的保存环境应做到防潮、防火、防虫蛀、防鼠害、保存方法应便于检索和查阅；
60. 硬拷贝或者电子媒体形成的质量记录应有适宜的保存环境，防止其信息和数据的丢失和失效；
61. 根据类别和具体情况，确定各种质量记录的保存期限，保存期限必须满足合同或者质量体系及产品的要求和规定；
62. 质量管理小组保存的质量记录需查阅时，原则上应就地查阅，需暂时借阅者，应向质量管理小组提出，经同意后，方可借阅，应办理借阅登记手续；其它各部门保存的质量记录需要查阅时，宜随时就地查阅；
63. 超出保存期的质量记录，应由质量记录保管部门的主管领导同意后进行处理；
64. 质量记录应在统一的规范记录表上填写，要求填写正确，字迹清晰，内容完整，数据准确。质量记录应有记录人员签名及签署日期，程序文件内列出的质量记录表格由质量管理小组负责汇总、保存；
65. 需要归档的记录禁止使用铅笔、红墨水笔、纯兰墨水笔、圆珠笔或彩笔填写，不归档的记录宜使用钢笔和圆珠笔填写，但不得用红圆珠笔填写。
66. **系统管理及维护**
    1. **一般规定**
       1. 监测系统维护应建立专门的管理制度，设置专职管理人员及专项维护资金。
       2. 监测系统维护期间应包括日常维护、专项维护及异常处置。
       3. 监测系统硬件维护和软件升级前后的监测数据应做好衔接工作。硬件维护后的主要技术指标不应低于维护前的指标，软件升级后的性能应优于升级前的性能。
       4. 系统设备检查和维护的对象应包括传感器、采集及传输设备、数据存储设备和系统软件等。
    2. **日常维护**
       1. 日常检查宜由专职人员负责，每周不宜少于1次，检查应包含以下内容：

1系统有无报警、报警时间、报警类型。

2采集软件、分析软件、传输软件是否正常工作，数据是否存在缺失。

3各级传输网络是否正常连接，如存在中断、速度慢等现象应及时查明原因。

4计算存储资源是否存在冗余。

5采集站和监控中心设备是否完好，是否存在与监测系统无关的其他软件。

6备品备件是否齐全。

* + 1. 检查结果应定期向上一级管理部门和负责人上报，每六个月不宜少于1次。
    2. 若系统存在故障，宜及时进行维护，维护响应时间不宜超过24h。
    3. 每次检查维护完成后，应及时填写检查维护记录，且应符合下列规定：

1传感器的日常检查宜按附录B中表B.1中的要求进行记录。

2采集设备的日常检查宜按附录B中表B.2中的要求进行记录。

3系统软件的日常检查宜按附录B中表B.3中的要求进行记录。

* + 1. 严禁非专业人员随意搬动仪器设备、变更各项仪器设备的连接方式。
  1. **专项维护**
     1. 专项维护应包含以下内容：

1 硬件、软件故障维护，维护完成后上传维护记录；

2 季度、年度、特殊事件等离线评估分析工作；

3 每年对监测数据进行1次校验，检查数据连续性、传感器技术参数、时间同步性；

4 每年对系统工作状态进行总结，对工作时长超限的设备提出更换计划。

* + 1. 传感器设备、采集与传输设备的专项维护应包含以下内容：

1 对传感器的精度、线性度、分辨率、量程应进行专项校核；

2 传感器松动或变位后应及时紧固，无法紧固的应在原位附近设置满足要求的新测点；

3 设备检修、维护、更换时应断电，且应保证前后一致，并进行记录存档。

4 设备信号指示灯正常，运行过程中不应有异响或异常振动，不应出现过热现象。

* + 1. 数据存储设备专项维护应包含以下内容：

1 监测数据应每日进行差异备份，每6个月进行一次完全备份。数据库文件和备份文件应在不同的IO或机器上。

2 出现数据失真、数据重复等异常情况应及时确定原因，恢复正常。

3 每月对数据存储空间占用情况进行检查，当存储空间不足时，及时对数据转存备份或增加存储空间容量。

4 根据实测数据的分析统计结果对蓝色预警值进行修订。

* + 1. 软件系统应根据专项检查发现的问题进行维护或者升级。软件维护或者升级宜由软件开发单位或者第三方专业单位进行。
    2. 系统软件在专项维护时，不得随意删除或修改软件；升级过程中应保留原有监测数据，应对重要数据加强备份保护。
    3. 应进行系统软件病毒监测、病毒查杀；应卸载或修改导致兼容性问题的软件；
    4. 系统专项维护检查完成后，应及时填写维护记录：

1 传感器的专项检查宜按附录B中表B.4中的要求进行记录。

2 采集设备的专项检查宜按附录B中表B.5中的要求进行记录。

3 系统软件的专项检查宜按附录B中表B.6中的要求进行记录。

* + 1. 定期检查与维护后，应在一个月内向上一级管理部门和负责人上报运营维护报告。
  1. **异常处置**
     1. 专职管理人员应熟练掌握各项监测软件的使用，如果系统出现异常应及时上报，并应协助专业人员查明原因、排除故障。
     2. 应提前制定可预见预警情况的处置方案，对不可预见的预警情况应进行记录存档，预警处理流程应符合下列规定：

1 蓝色预警：当某项指标经常性超过蓝色预警阈值时，管养单位应注意观察预警时间及规律，进行初步分析后研判是否需要调整预警阈值。调整预警阈值应参考专业工程技术人员意见，并报主管领导同意。

2 黄色预警：当某项指标超过黄色阈值时，桥梁管养单位应对预警项重点关注，对报警原因进行初步分析，判断预警项是否恢复正常，当出现连续报警时，应及时上报，并做好记录。

3 红色预警：当某项指标超过红色阈值、或多项指标同时超过黄色阈值、或发生极端突发事件时，应立即上报，并做好记录。

* + 1. 遭遇地震、洪水、台风、火灾及车船撞击等特殊事件或设备发生故障后应及时检查，响应时间不宜超过24h，检查内容应符合下列规定：

1 软件检查内容包括：数据完整性检查、性能指标检查、预警功能检查、软件可用性与安全性检查等。

2 硬件检查内容包括：时钟系统检查、单板运行状态检查、终端系统检查和配线系统检查等。

3 环境检查内容包括：地线检查、配线架检查、配电检查、机房及机柜温湿度检查、机房防护检查等。

* + 1. 系统异常检查完成后，应及时填写维护记录，且应符合下列规定：

1 传感器的异常检查宜按附录B中表B.7中的要求进行记录。

2 采集设备的异常检查宜按附录B中表B.8中的要求进行记录。

3 系统软件的异常检查宜按附录B中表B.9中的要求进行记录。

* + 1. 桥梁健康监测系统异常检查应在检查后一周内向上一级管理部门和负责人上报异常处置报告并存档。

附录A（资料性）验收表格

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表A.1 单项调试报告1 -供电调试 | | | | |
| 检验项目 | 性质 | 单位 | 质量标准 | 检查方法 |
| 绝缘电阻 |  | MΩ | 满足设计要求 | 检测 |
| 电压稳定性 | 主控 | % | 市电220V，电压波动≤±10%；  60V以上直流电压波动≤±10%；  60V以下直流电压波动≤±5%； | 检测 |
| 不间断电源 |  |  | 市电→电池：0  旁路切换＜1ms | 试验 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表A.2 单项调试报告2 -信号调试 | | | | |
| 检验项目 | 性质 | 单位 | 质量标准 | 检查方法 |
| 传感器采集参数 | 主控 |  | 满足设计要求 | 核查 |
| 数据采集稳定性 | 主控 | % | 满足各传感器设置采集策略 | 核查、统计 |
| 传感器响应时间 |  | ms | 满足设计和产品技术文件要求 | 核查、统计 |
| 动态数据同步 |  | ms | 同步精度＜1ms | 核查、统计 |
| 静态数据同步 |  | s | 同步精度＜5s | 核查、统计 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表A.3 单项调试报告3 -数据调试 | | | | |
| 检验项目 | 性质 | 单位 | 质量标准 | 检查方法 |
| 传感器与数据库对应情况 | 主控 |  | 与数据库编号完全对应 | 核查 |
| 传感器数据可靠性 | 主控 |  | 与实测物理位置对应 | 检测、核查 |
| 数据存储精度 |  |  | 不低于传感器分辨率 | 核查 |
| 数据真实性 | 主控 |  | 不超过传感器测量范围 | 检测、核查 |

|  |  |
| --- | --- |
| 表A.4联合调试合格证书 | |
| 项目名称 |  |
| 建设单位 |  |
| 调试时间 | 自 年 月 日 起 至 年 月 日止 |
| 调试情况 |  |
| **调试鉴定**  现场调试鉴定  □ 合格 □ 不合格  安装资料鉴定  合格 □ 不合格  　调试资料鉴定  合格 □ 不合格  　工程图纸鉴定  合格 □ 不合格 | |
| 监理单位    总监理工程师：  单位盖章  　 年 月 日 | |
| 施工单位    项目负责人：  　 单位盖章  　　 年 月 日 | |
| 建设单位    项目负责人：  　 单位盖章  年 月 日 | |

|  |  |
| --- | --- |
| 表A.5 单位工程竣工验收申请表 | |
| 工程名称 |  |
| 致： XX （监理单位）  XX（施工单位）已经完成了XX单位工程质量竣工验收工作，现报上该工程报验申请表，请予以审查和验收。  附件：  1、单位工程质量竣工验收记录；  2、单位工程质量控制资料核查记录；  3、单位工程安全和功能检验资料核查及主要功能抽查记录  4、单位工程观感质量检查记录  施工单位（公章）  项目经理  年 月 日 | |
| 审查意见：  施工单位（公章）  总监理工程师  年 月 日 | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表A.6单位工程竣工验收记录 | | | | | | | | |
| 工程名称 | |  | | 开工时间 | |  | 竣工时间 |  |
| 施工单位 | |  | | 技术负责人 | |  | 项目经理 |  |
| 序号 | 项目 | | | 验收记录 | | | 验收结论 | |
| 1 | 分部工程 | | |  | | |  | |
| 2 | 质量控制资料核查 | | |  | | |  | |
| 3 | 安全和主要使用功能核查及抽查结果 | | |  | | |  | |
| 4 | 外观质量验收 | | |  | | |  | |
| 5 | 综合验收结论 | | |  | | |  | |
| 参加验收单位 | 建设单位 | | 监理单位 | | 施工单位 | | 设计单位 | |
| 单位（项目）负责人  （公章） | | 总监理工程师  （公章） | | 单位（项目）负责人  （公章） | | 单位（项目）负责人  （公章） | |

附录B（资料性）系统维护检查记录表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表B.1 传感器日常检查记录表 | | | | | |
| 项目名称 |  | | | | |
| 检查周期 |  | 操作者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | | **结论** | | **传感器编号** | **存在问题及维护情况** |
| 安装位置是否变动  或偏移 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器安装是否牢固 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器密封情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器清洁情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器破损情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器锈蚀情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器内部积水情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器接线情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器线缆保护层情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 隔热或冷却装置情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 电源高低压参数情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 保护装置情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器示数情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器测量性能情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 其他情况 | |  | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表B.2采集设备日常检查记录表 | | | | | |
| 项目名称 |  | | | | |
| 检查周期 |  | 操作者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | | **结论** | | **设备编号** | **存在问题及维护情况** |
| 设备清洁情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备破损情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备锈蚀情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备积水情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备连接线情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备之间的连接情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备过热情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备振动情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备老化情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 外接电源情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备的接地情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备标签情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 保护装置情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据采集设备的测量性能情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 服务器是否正常运行 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据采集设备的电源工作情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据传输设备的通讯和工作性能情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据存储设备的磁盘工作情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据存储设备的电源工作情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据显示设备的显示和按键工作情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 其他情况 | |  | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表B.3系统软件日常检查记录表 | | | | | |
| 项目名称 |  | | | | |
| 检查周期 |  | 操作者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | | **结论** | | **编号** | **存在问题及维护情况** |
| 软件图标显示及打开  情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 软件界面各项功能  是否正常运行 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据采集软件采集数据是否完整 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据采集设备的通讯软件情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据显示软件的监控画面是否完整 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据库软件功能及日志情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 软件密钥或注册码是否完好并妥善保管 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 其他情况 | |  | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表B.4传感器专项检查记录表 | | | | | |
| 项目名称 |  | | | | |
| **检查周期** |  | 操作者 |  | **起止时间** | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | | **结论** | | **传感器编号** | **存在问题及维护情况** |
| 风速仪 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 温度、湿度、雨量传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 车辆荷载传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数字摄像设备 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 挠度传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 位移传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 振动/加速度传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 倾角传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| GPS/北斗传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 应变传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 索力传感器 | | □正常 □异常 | |  |  |
| …… | |  | |  |  |
| 传感器工作环境 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器防护措施 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 传感器线缆 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 其他情况 | |  | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表B.5采集设备专项检查记录表 | | | | | |
| 项目名称 |  | | | | |
| 检查周期 |  | 操作者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | | **结论** | | **设备编号** | **存在问题及维护情况** |
| 数据采集设备工作状况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据传输设备工作状况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据存储设备工作状况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据显示设备工作状况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备除尘、除湿情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备连接线情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据存储设备的历史数据是否完整 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据存储设备的磁盘检查和数据备份 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据存储设备的不间断电源 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据采集设备的环境要求（温湿度等） | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据传输设备的环境要求（温湿度等） | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据存储设备的环境要求（温湿度等） | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据显示设备的环境要求（温湿度等） | | □正常 □异常 | |  |  |
| 机柜空调、热交换器以及风扇等温控设备 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备电池工作情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 设备的拆卸、安装情况 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 其他情况 | |  | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表B.6系统软件专项检查记录表 | | | | | |
| 项目名称 |  | | | | |
| 检查周期 |  | 操作者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | | **结论** | | **编号** | **存在问题及维护情况** |
| 软件运行是否流畅 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 软件日志是否正常 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 软件自动恢复功能 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据备份功能 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 数据分析功能 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 系统软件病毒检测 | | □正常 □异常 | |  |  |
| 软件是否需要升级 | | □是 □否 | |  |  |
| 其他情况 | |  | | | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表B.7传感器异常检查记录表 | | | |
| 项目名称 |  | | |
| 传感器异常检查原因 |  | | |
| 操作者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | **结论** | **传感器编号** | **存在问题及维护情况** |
| 风速仪 | □正常 □异常 |  |  |
| 温度、湿度、雨量传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| 车辆荷载传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| 数字摄像设备 | □正常 □异常 |  |  |
| 挠度传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| 位移传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| 振动/加速度传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| 倾角传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| GPS/北斗传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| 应变传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| 索力传感器 | □正常 □异常 |  |  |
| …… |  |  |  |
| 传感器工作环境 | □正常 □异常 |  |  |
| 传感器防护措施 | □正常 □异常 |  |  |
| 传感器线缆 | □正常 □异常 |  |  |
| 其他情况 |  | | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表B.8采集设备异常检查记录表 | | | |
| 项目名称 |  | | |
| 采集设备异常检查原因 |  | | |
| 检查者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | **结论** | **设备编号** | **存在问题及维护情况** |
| 数据采集设备工作状况 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据传输设备工作状况 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据存储设备工作状况 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据显示设备工作状况 | □正常 □异常 |  |  |
| 设备除尘、除湿情况 | □正常 □异常 |  |  |
| 设备连接线情况 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据存储设备的历史数据是否完整 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据存储设备的磁盘检查和数据备份 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据存储设备的不间断电源 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据采集设备的环境要求（温湿度等） | □正常 □异常 |  |  |
| 数据传输设备的环境要求（温湿度等） | □正常 □异常 |  |  |
| 数据存储设备的环境要求（温湿度等） | □正常 □异常 |  |  |
| 数据显示设备的环境要求（温湿度等） | □正常 □异常 |  |  |
| 机柜空调、热交换器以及风扇等温控设备 | □正常 □异常 |  |  |
| 设备电池工作情况 | □正常 □异常 |  |  |
| 设备的拆卸、安装情况 | □正常 □异常 |  |  |
| 其他情况 |  | | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表B.9系统软件异常检查记录表 | | | |
| 项目名称 |  | | |
| 系统软件异常检查原因 |  | | |
| 操作者 |  | 起止时间 | 起：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分  止：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日\_\_时\_\_分 |
| 复核者 |  |
| **检查项目** | **结论** | **编号** | **存在问题及维护情况** |
| 软件运行是否流畅 | □正常 □异常 |  |  |
| 软件日志是否正常 | □正常 □异常 |  |  |
| 软件自动恢复功能 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据备份功能 | □正常 □异常 |  |  |
| 数据分析功能 | □正常 □异常 |  |  |
| 系统软件病毒检测 | □正常 □异常 |  |  |
| 软件是否需要升级 | □是 □否 |  |  |
| 其他情况 |  | | |

本规程用词说明

**1** 为便于在执行本规范条文时区别对待，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用词：采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合······的规定”或“应按······执行”。

本规程引用标准名录

1 《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982

2 《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99

3 《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第2部分：桥梁》GB/T 39559.2

4 《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233

5 《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21

6 《交通信息采集视频交通流检测器》GB/T 24726  
7 《动态公路车辆自动衡器 第1部分：通用技术规范》GB/T 21296.1

8 《地震行业标准体系》DB/T 1

9 《低轨星载GNSS测量型接收机通用规范》GB/T 39410

10 《压力变送器检定规程》JJG 882

11 《线位移传感器校准规范》JJF1305

12 《土木工程用光纤光栅应变传感器》JG/T 422

13 《大坝监测仪器 应变计 第二部分：振弦式应变计》GB/T 3408.2

14 《电容式加速度传感器校准规范》JJF 1918

15 《水运工程 钢弦式锚索测力计》JT/T 578

16 《无损检测 电化学检测 总则》GB/T 38894

17 《供配电系统设计规范》GB 50052

18 《低压配电设计规范》GB 50054

19 《高速公路机电系统防雷技术规范》GB/T 37048

20 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343

21 《低压配电系统的电涌保护器（SPD）第1部分：性能要求和实验方法》GB 18802.1

22 《综合布线系统工程设计规范》GB 50311

23 《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239

24 《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

25 《计算机软件文档编制规范》GB/T 8567

26 《信息安全技术-信息系统通用安全技术要求》GB/T 20271

27 《计算机软件测试规范》（GB/T15532）

28 《计算机软件测试文档编制标准》（GB/T 9386）

云南省工程建设地方标准

云南省城市桥梁健康监测系统技术规程

DBJ 53/T-xxx-2023

条文说明

目　　次

[2 术语 95](#_Toc136504928)

[4 系统设计 96](#_Toc136504929)

[4.1 一般规定 96](#_Toc136504930)

[4.2 监测内容及测点布设 96](#_Toc136504931)

[4.3 监测数据的采集、分析、评估和应用 98](#_Toc136504932)

[4.4 硬件系统设计 100](#_Toc136504933)

[4.5 软件系统设计 100](#_Toc136504934)

[4.6 专线监测设计 100](#_Toc136504935)

[4.7 施工期监测及其他数据源的纳入方案 102](#_Toc136504936)

[4.8 系统的物联网接入方案 103](#_Toc136504937)

[5系统实施 105](#_Toc136504938)

[5.1一般规定 105](#_Toc136504939)

[5.2系统施工组织 106](#_Toc136504940)

[6 系统管理及维护 108](#_Toc136504941)

[6.3 专项维护 108](#_Toc136504942)

[6.4 异常处置 108](#_Toc136504943)

2 术语

2.0.1-2.0.4 监测技术应以结构参数的自动化监控替代桥梁结构的定期检查和特殊检查工作，规范结构性能评价的技术性和专业性，同时拓展技术监测结果的转化应用，从而达到提效降成本的最终目的，而绝非在已有的成本投入中，附加额外的成本。故监测系统及数据应用宜分层次实现，第一层次应能实现监测数据对单项指标完好性能的评定，即单项指标预警阈值设定、误超阈值情况排除机制和超阈值后单项性能指标判定；第二层次应实现多项监测指标的联析联判，实现监测数据对截止点结构整体性能的综合评定，为结构养护维修提供依据；第三层次应实现监测数据的演化分析，从数据变化趋势实现结构在将来演化可能性的预判，为桥梁养护维修提供指导性决策的同时沉淀出预防结构损伤与抑制结构功能退化的技术，为结构设计理论的优化与提高提供基础性支撑。

4 系统设计

4.1 一般规定

4.1.5对于Ⅰ类养护城市桥梁，通常不允许持续存在不合格状态，故此处只对Ⅱ类养护桥梁提出要求。

4.2 监测内容及测点布设

4.2.1 运行环境包括自然环境和运营环境，自然环境包温度、湿度、风、雨、雾等。运营环境包括下穿道路、通航情况等。

4.2.2 根据《内河通航标准》，V级航道通航船舶为300吨，Ⅵ级航道通航船舶为100吨，Ⅶ级航道通航船舶为50吨。《公路桥梁结构监测技术规范》(JT∕T 1037-2022)要求航道等级为V级以上的桥梁宜进行船撞监测，城市桥梁结构尺寸相对纤细，故船舶撞击监测提高到Ⅵ级。

4.2.4 根据《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB50982，各类型桥均应监测竖向变形（竖向线形），交通荷载监测作为应测项。

由于城市桥梁的人流量较公路桥梁大，景观桥梁在节假日尤为突出，为便于管控，故将人群荷载的人流量作为可选监测项。

抗震设防烈度为7度的表示方法与《城市桥梁抗震设计规范》CJJ166保持一致。

4.2.5 《城市桥梁养护技术标准》CJJ99要求对拱桥及软弱地基桥梁的沉降每年测量1次，且拱桥的基础沉降对中小跨径桥梁的受力影响较大，故将基础沉降作为应测选项。

裂缝监测强调对结构性受力裂缝进行监测，非结构性裂缝则不作要求。

根据《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB50982，交通荷载监测作为应测项。

4.2.6根据《城市桥梁养护技术标准》CJJ99，悬索桥和斜拉桥在特殊气候条件下应进行通行限制管控，故将有雾情况的能见度和雨天的风速作为应测监测项，便于通行警示管控。

根据《城市桥梁养护技术标准》CJJ99，对岸跨有辅墩的斜拉桥，应每年至少对主塔与辅墩的沉降量和不均匀沉降量进行一次监测，故将该类桥的基础沉降量作为应测项。

《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB50982将各类型桥的基础沉降作为宜测项，故本规程将无辅助墩的桥梁作为宜测项。

4.2.7根据4.2.6条文说明，将有雾天气下的能见度和大风天气下风速作为应监测选项。

由于悬索桥加劲梁通常为连续结构，故吊索索力不要求监测全桥索力，监测有代表性的索即可。

根据《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB50982要求，各型桥的基础沉降作为宜测项。

4.2.8根据《城市桥梁养护技术标准》CJJ99要求，悬索桥发生涡振时应启动视频录像，作为特殊事件进行记录。

4.2.10对于量大面广的常规跨径桥梁，难以做到全面监测，为兼顾经济性和代表性，主要选择结构响应和结构变化中的重要监测内容进行监测。当桥梁结构存在特定异常状况时，也可就特定目的有针对性地开展专项监测。上承式中小跨径拱桥的梁式上部结构多为简支结构，故将其支座反力作为可选监测项。

4.2.11监测测点的布设位置应兼顾代表性、经济性、易维护性、可更换性和现场布设约束性。可利用结构的对称性，减少监测测点布置数量，以使健康监测系统经济。测点位置宜便于监测设备的安装、维护和更换，不应妨碍监测对象的正常使用。

4.2.12为使监测结果的稳定和便于分析，监测测点的位置应避开局部施工缺陷位置，但监测截面应包括施工缺陷部位。

4.2.13由于当前传感器的寿命一般只有2～5年，具体寿命视现场情况而定，由于现场安装质量难以完全保证，且处于户外现场环境，故测点布设时应设置一定的冗余。

4.2.17 应变测点测量值受温度影响较大，故温度补偿测点应随应变测点布设，温度补偿测点与结构温度测点应优先保证温度补偿测点位置的准确性。

为保证传感器的耐久性，船舶撞击监测测点宜布置在水面浪溅区以上。

地振动监测测点宜布设于主墩。两岸的护岸在地震作用下可能垮塌，不宜直接布设监测点，如因条件受限而布置，则应离护岸边缘保持一定距离，保证监测点的完好。

4.2.18关键截面和部位的监测测点设置在传力路线明确的部位便于前期计算和后期整体分析评估。由于应变监测受到的影响因素较多，一个测点代表性通常不足，故同一部位要求不宜少于2个监测点。

由于圬工拱桥的截面整体性通常不如混凝土结构或钢结构，其同一截面的上下缘受力不能保证完全协调，故宜同时布置应变监测测点。

根据《城市桥梁养护技术标准》CJJ99，要求每年测量1次吊杆拉力，当拱桥的桥面结构为简支结构时，吊杆断索的风险则较大，故宜对全桥吊杆拉力进行监测。《城市桥梁养护技术标准》CJJ99要求每年测量1次拉索索力，故对宜对全桥斜拉索索力进行监测。

《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB50982要求应包括索力最大的索、应力幅最大的索及安全系数最小的的索。

悬索桥锚跨索股力监测点沿周边上下左右布设，每个方向不少于2个监测点，以使监测的索力在一定程度上反映主缆的索股索力分布情况。

支反力监测的主要目的是避免桥梁的横向失稳等倾覆性破坏。支反力直接监测有困难时，可通过间接监测支座变形、支座-梁相对位移来实现对横向失稳等倾覆性破坏的监测。

由于已要求振动监测测点布置在振型各峰值点处，而主跨跨中和1/4、3/4主跨不一定是峰值点，故未要求布置在上述位置。主梁纵向振动的监测测点选择在竖向振动分量较小的位置，端支座处可能受到伸缩缝处车辆冲击荷载的影响，故选择在塔梁固接处或中间支座位置处设置纵向振动监测测点。

4.2.19 研究表明：圆形桥墩最大冲刷坑可能出现在桥墩两侧，长条形桥墩轴线与水流方向夹角小于15度时，冲刷坑一般发生在桥墩前部。虽研究表明当桥墩斜交角不小于15度时墩尾共轭冲刷坑与墩前冲刷坑并存，共轭冲刷坑的冲刷深度小于墩前冲刷坑，共轭冲刷坑的深度和体积随水流强度及夹角的增大而增大，但实际桥梁的水流条件非理想状态，根据既有桥梁的检测结果来看，小斜交角的桥墩下游依然可能出现冲刷坑，故要求长条形桥墩的上下游均布设冲刷监测测点。

4.3 监测数据的采集、分析、评估和应用

4.3.2 对时间同步精度要求不高的设备，可支持NTP时钟同步功能以保持与远 程服务器的时钟同步。如设备之间需要高精度的时钟同步，可采用北斗卫星导航时钟同步技术。

4.3.3 《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037-2022要求结冰采样频率为25FPS，考虑到结冰监测量属于慢变信号，且目前基于微波扰动等技术的结冰传感器已比较成熟，故采用微波技术时，结冰采样频率调整为1/600 Hz。

JT/T 1037-2022要求转角采样频率为1Hz，考虑到监测需求的不同，故将转角监测细化为静态采样和动态采样。

4.3.4 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错误，这些错误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。

4.3.5 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。在桥梁运营过程中，监测系统积累了大量桥梁日常运营状态的监测数据，通过数据分析定期掌握桥梁运营状态，为桥梁日常管理决策提供依据。

4.3.11 涡激振动是一种具有强迫和自激双重特性的风致振动线形，通常在低风速下发生，且结构振幅幅度比较大。在进行涡激振动分析时，宜分析涡激振动的持续时间、风况条件、结构响应与风速风向的相关关系。

4.3.15振动能量比因子计算方法见4.3.38。

4.3.25 “超限阈值”一列中的“设计值”参考了《公路桥涵设计通用规范》JTG D60、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65—05、《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365—01、《公路钢管混凝土拱桥设计规范》JTG/T D65—06、《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360—01的相关规定。锚碇位移限值参考了《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65—05的相关规定。裂缝限值参考《公路桥涵养护规范》JTG 5120—2021、《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21的相关规定。

构件封闭空间为主梁内，悬索桥主缆、锚室和鞍罩内，斜拉桥索塔和索塔锚固区内，拱桥主拱内封闭空间。

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。

受力复杂部位的应力（变）阈值采用理论值时，应以局部细化实体单元模型为基础，分析局部效应。

数据分析结果超限报警为非同步报警项。

4.3.34对于缆索结构体系桥梁，《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21较《城市桥梁养护技术标准》CJJ99的规定更为详细和具体，应用性更强，故缆索结构体系桥梁宜符合JTG/T H21的规定。

4.4 硬件系统设计

4.4.15 RS485通讯线缆的分支节点过长将会引起信号反射，影响通讯质量，故要求分支节点布线长度一般不大于2m。

由于光纤属于易损类通讯线缆，在布设过程中不能直角弯折。

4.5 软件系统设计

4.5.2 软件系统根据省部级监测平台预留数据接口，参照省部级监测平台通讯协议，接口规范设计软件系统数据接口以及数据共享服务。

4.5.3 软件系统对标省级监测平台信息安全等级构建信息安全防护体系。

4.5.4软件系统包括的系统管理功能模块、数据采集与传输功能模块、数据处理与管理功能模块、数据分析与安全预警及评估功能模块需要通过系统集成技术将各功能模块集成为统一协调的整体软件系统；数据采集与传输功能模块应实现传感器数据同步采集与传输，保证数据质量、不失真；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。数据分析应基于监测数据，提供各类数据分析方法。

4.5.6 用户界面布局合理、层次清晰、标示清楚、意义明确、简洁美观，充分满足监测业务实际需要，整个监测软件系统用户界面风格，字体，颜色统一，可视化驾驶舱满足一体化监测需求，能够实现一屏控全局。

4.6 专线监测设计

4.6.1专线监测系统具有造价高昂的特性，需要在监测项目与终端控制室之间建立专用局域网线路或使用其它专用网络，不直接接入互联网，主要为数据的稳定性或保密性而设置，所以常规的、非涉及重要保护范围的项目一般不宜采用，采用该类监测设计的项目，应在设计时综合考虑附近类似项目的存在，寻求共用监测专线网络的可能性。

4.6.3通过对当前结构监测技术研究现状和市场需求的总结，智能化监测系统是结构健康监测和评价追求的目标，但根据现有监测技术的跟踪调查及研究，目前所能具备的技术能力和硬件设施，智慧化尚无法得到系统性的集成实现，但考虑科技的加速发展和突变的可能性，本次规范编写时增加了智能化监测系统的概念，为具有条件做相关技术研究的单位提供方向性参考；数字化监测系统建设中监测数据与力学模型的融合过程尚无可靠有效的数据自动衔接及分析手段，目前尚需技术人员对监测数据做深入处理，选取“具有代表性”的数据人工输入商业桥梁结构计算软件做计算分析，根据分析结果结合现场及工程经验进行结构损伤识别和结构承载力评定，目前急需解决的问题是如何寻找可靠的技术手段在海量的监测数据中识别有用数据，再将数据与结构计算模型自动衔接计算，并提取出可用的计算结果信息，可更深一步的工作是根据计算结果自动修正结构计算模型。故在实际监测系统建设中，健康监测系统实现的功能不应低于信息化监测系统要求，宜达到数字化监测系统要求，除特殊监测及研究项目经专家论证确能实现智能化监测目标或确定作为研究性的项目外，一般不宜进行智能化监测系统建设。

4.6.6根据目前业内对多个实际实施项目情况总结，要求埋入式监测设备的使用寿命应不低于20年，但实际情况完全实现不了，以埋入后成活的传感器数量进行统计，时间超过5年，存活率能达到百分之三十就是很不错的项目，因传感器已埋入，难以进行更换，达不到数据的连续性要求；且传感器埋入工作与桥梁施工同步进行，导致传感器和外接线路难以保护，造成的传感器损坏和断线无法维修等情况，故不宜采用埋入式传感器。而附着式传感器目前市场上宣传的寿命在5～8年，有甚者宣称能达到20年，但从实际应用结果分析，使用知名厂商生产的传感器，在维护得当的情况下，达到5年使用时间，存活率不低于80%是可以满足的，且附着式传感器易于更换，结合软件修正功能，保证数据的连续性和完成寿命周期的监测工作是能够实现的。

4.6.7无线传输依赖于信号的强弱和稳定性，在信号较弱或不稳定的情况下将会导致数据在传输过程中丢失或重复传输的情况，桥梁现场环境复杂，信号受物体遮挡是难以避免的，且无线传输的数据保密性较差，结合专线监测系统的特点，不宜采用无线传输方式。当确实需要无线传输时，可通过在数据管理系统中设置数据丢包检测和丢失数据恢复算法等手段确保得到数据的完整性，或通过在采集仪中集成原始数据的定期存储功能，便于在丢失数据难以靠算法恢复的情况下实现人工数据恢复。

4.6.8一般桥梁设计采用的结构计算模型为二维杆单元模型，若以该类模型作为承接监测数据的输入计算，仅能考虑桥跨的某个位置变化对桥整体的影响，忽略了桥梁横向空间分布特征的影响。而实际桥梁为空间结构体，外界作用并不是总位于桥梁纵向中轴线上，若要准确分析布设于桥梁各空间点上传感器监测到的响应结果与桥梁变化情况的对应关系，空间实体有限元模型是技术实现的最优选择，宜优先选用；模型修正既指根据桥梁实际情况改变结构的荷载作用、边界条件和材料强度变化等模型更改修正，亦指基于模态参数灵敏度分析的模型修正方法（具体方法可参考李惠等著的《结构健康监测数据科学与工程》等）。

4.7 施工期监测及其他数据源的纳入方案

4.7.2根据目前业内得出的结构健康监测的基本公理可知，损伤评估需对两个系统状态进行对比，故桥梁施工过程及成桥状态的结构数据作为描述结构损伤模型的初始数据，对结构承载力评定和损伤演化评估具有重要意义。同时考虑存在已运营桥梁加装监测系统的可能，提出了运营桥梁系统设计在监测数据管理模块中增加数据人为输入的功能。

4.7.3因增加传感器影响到已获得数据连续性的问题在施工位移或变形参数监测中表现得较为明显，比较常见的固定式位移或变形监测设备有静力水准仪和视觉位移监测设备两种，静力水准仪属于利用压差变化原理测量变形的设备，在进行测点（静力水准仪）增加施工时会对压差构成影响，难以保证已安装测点数据的连续性；而视觉位移监测设备属于非接触式变形测量设备，主要利用高分辨率图像采集和识别原理，对标记测点（特征点或靶标）位置在图像中的相对变化进行识别计算出目标点的位移和变形，该类仪器具有既有测点数据不受视场和视距内测点数量变化影响的特性，且具有可同时识别测点空间位置变化的优点，故应优先选用该类原理的传感器。

4.7.4根据既有桥梁监测系统的施工阶段监测建设经验，施工阶段环境复杂，施工人员因不慎或故意损坏监测系统的情况频发，加之施工过程中难以做到系统供电设施和线路排布与成桥后的情况一致，基本采用临时供电及布线等，待结构施工完成后再统一规整线路和接入市政供电的建设方案增加了系统的保护难度。故事先设计系统配件的保护措施，对预防系统配件的人为损坏效果明显，拟定布线方案则有利于系统改动及沿用。

4.8 系统的物联网接入方案

4.8.1智慧城市建设是未来城市管理运营的建设目标，而城市信息系统是实现智慧城市的前期建设探索，物联网技术是实现智慧城市的前提，故数据交互和接口规则对后期建设和数据利用具有重要意义，秉持充分利用既有资源，避免重复建设的设计理念，提出在监测系统设计时宜优先考虑与城市信息系统的融合，继而作为监测系统的物联网接入方案的基础。

4.8.2对于桥梁结构健康监测而言物联网就是通过智能感知、识别、自动化控制技术和互联网等网络技术把传感器、硬件设备、人员等通过全新的方式联系在一起，形成人与结构、结构与结构相连，构成信息化、远程管理控制、智能化的网络。因此物联网是各类技术的综合应用体，具有较为宽泛的概念，主要功能是实现不同个体信息来源的综合分析应用；而监测系统处于物联网末端是信息的感知单元，其具有专业性强的特点。故物联网接入应是一个自下往上的信息传递过程，而不是自上而下的修正过程，不能以结构监测系统类比做人的神经系统对创伤感知过程来比喻物联网，物联网更应该用领导核心对人的治理行为做类比。

4.8.3应借助物联网技术充分发挥出监测桥梁结构规模总体庞大的优势，通过分布式技术的优势为城市桥梁运营管理决策控制服务，若过于强调单体结构信息的完整性，存在信息被不法人员利用的可能，有可能助长暴恐事件的破坏范围，因此接入方案制定时宜充分对专业信息交互的安全性做出研判。

4.8.4各类物体信息感知系统建设具有先后时间顺序是客观存在的事实，不可能同一时间或较短时间内全面建设完成，物联网的实现是一个网络拓扑的过程，难以做到统一规划和统一建设，故采用区域结构群网络分散建立数据库，再通过城际网络连接各分散数据库实现数据共享的方案是切实可行的，有利于促进物联网的实现。

4.8.5物联网建设目的是实现超个体或区域信息的交互共享，达到信息价值的最大化应用，即万事万物皆是信息提供者亦是信息的受益者，说明物联网中信息的传递并不是单向传导过程，而是双向反馈应用过程，故在拟将桥梁健康监测信息共享时便应完善对反馈信息的挖掘应用技术保障措施。

5系统实施

5.1一般规定

5.1.3城市桥梁结构安全监测系统单位工程、分部工程、分项工程划分办法如下，

城市桥梁结构安全监测系统工程划分按单体式结构监测及集群化监测两种类型进行划分。

单体桥梁结构监测：

1. 单位工程：每一个单体结构项目的实施为一个单位工程；
2. 分部工程：每一个单位工程分为桥梁外场安装、软件系统安装两个分部

工程；

1. 分项工程：桥梁外场安装分项按传感器安装、控制箱机柜安装、线缆安

装、桥架与线管安装、水管水路安装、电源与防雷、标签标志等划分；软件系统安装按各功能模块划分分项工程。

集群化桥梁结构监测：

（1）单位工程：每一个集群化监测项目的实施为一个单位工程；

（2）分部工程：每一个单位工程分为桥梁外场安装、软件系统安装两个分部工程；

（3）分项工程：按集群化桥梁项目监测的单体桥梁划分分项工程，各分项工程验收内容包括：传感器安装、控制箱机柜安装、线缆安装、桥架与线管安装、水管水路安装、电源与防雷、标签标志等。软件系统安装按各功能模块划分分项工程。

5.1.11硬件的检查包括外观检查和标志检查。外观和标志检查以目测为主，应满足下列要求：

（1）附带技术文件应包括产品合格证和质保书等文件；

（2）当设备的外观尺寸对其安装有影响时，除采用目测检查外，可采用游标卡尺等测试工具对硬件设备的外观尺寸、安装孔尺寸进行检查。

5.1.13截面编号可采用阿拉伯数字或英文字母。考虑到箱梁桥内部或受其他结构物、标示牌等阴影遮挡，标示条张贴处的光线可能较暗，故规定采用较为醒目的荧光标示条作为标记物。

5.1.18对传感器，宜安装专用的保护盒；对外部接线，宜放人专用桥架或线管中。

5.1.25应向有关部门提交关于设置后台程序的目的、用途、安全性等书面申请。获得批准后方可设计后台程序。不应私自在软件系统上设计后台程序，使软件系统受到非法远程控制或远程传输数据。

5.1.27系统调试是检验监测系统实施质量、修正实施过程中可能存在错误的重要手段，且调试过程可能造成传感器等设备损坏以及人为事故，故本条规定调试应由专业技术人员进行，专业技术人员宜取得相关专业工程师以上职称或具有相应的执业资格。

5.2系统施工组织

5.2.1硬件安装实施应符合下列规定：

（1）安装表贴式应变传感器时，用专用工具随时测量的目的是为了保证传感器的成活率；

（2）安装面是指传感器与基座或结构直接接触的面；

（3）为保证振捣器不对传感器造成损伤，且振捣过程中不影响传感器的安装位置，本条规定了混凝土浇筑过程中振捣器的使用条件；

（4）当连通管中混人气泡时，将影响静力水准仪的准确度，本条对连通管允许的气泡大小进行了规定；

（5）现行国家标准《动态公路自动衡器》GB/T 21296的规定，引道应有足够的长度可同时支持衡器称量最长车辆的所有车轮。目前，我国标准中特大型客车的长度13. 7m，平板车17.5m和车头约为21m，其前轮和最后一个轮的轴距应小于20m，故规定引道长度不小于20m；

（6）积水可能导致动态称重传感器损坏或降低其耐久性。故本条对动态称重系统的排水施工进行了规定；

（7）若动态称重传感器与道路高差较大，易因跳车现象导致测量失真；

（8）采用钢筋作为辅助定位工具的目的主要是为在后期封孔过程中保持传感器位置不易扰动。

5.2.3系统调试与验证应符合下列规定

（1）每月平均无故障工作时间指系统每月30天内正常工作的总小时数，其中，自动定时采集所得数据连续3次异常视为系统工作不正常；

（2）在桥梁结构健康监测系统中，温度、湿度、风速和裂缝等测试参数均可采用参考计量仪器进行验证；

（3）对于挠度，同一影响线段内，定期观测截面与健康监测布点截面之间的距离小于该段影响线长度的1/10时可视为相同截面；对于桥塔的塔顶等位移，定期观测截面与健康监测布点截面之间的距离小于5m时可视为相同截面。

6 系统管理及维护

6.3 专项维护

**6.3.2**数据传输设备，包括数据传输终端设备、数据传输互联设备、数据传输介质设备。数据传输终端设备是指数据传输中一端或另一端的设备，包括计算机显示终端设备或其他终端设备。数据传输互联设备是指数据传输过程中实现一种网络与另一种网络互访与通信的设备，主要设备有中继器、集线器、网桥、路由器等。数据传输介质设备分为有线传输介质设备和无线传输介质设备两大类。其中，有线传输介质设备是指在两个通信设备之间实现的物理连接部分，主要有双绞线、同轴电缆和光纤。

**6.3.3**数据存储设备按照存储方式可分为电能式、磁能式、光学式、磁光式等几种类型。结构健康监测系统通常釆用磁能方式存储设备进行监测数据的存储和备份。数据存储设备根据使用需要可配备多种附属设备，包括温控设备、不间断电源等。

6.4 异常处置

**6.4.1** 系统异常包括报警和故障两种情况。对于系统故障应分清是硬件故障、软件操作系统故障还是数据库故障。对于数据库故障的处置，应由专业的数据库管理员严格按操作程序进行，不能由系统管理员或使用者直接进行恢复。数据库恢复前应制定详细的书面恢复计划并提交给相应的主管领导审批，包括应恢复的内容、恢复的时间、恢复的操作步骤、恢复对应用造成的影响等。主管领导应确认恢复造成的影响，在批准执行恢复前应以相应方式与有关部门进行沟通。在进行恢复前，首先应对现有的内容作相应的备份，以防止在恢复的过程中发生更进一步的错误，并再次确认恢复计划的可行性及造成的后果，确认无误后进入实际的恢复操作，应将每一步的执行过程记录下来以备后用。在完成恢复操作并对系统测试成功运行后，应对恢复后的系统进行相应的备份。

**6.4.2** 应急预案是异常处置工作的核心，预案应对出现的各种可能异常全面考虑。系统相关人员发现异常时，应快速对照应急预案启动条件，准确判断是否需要启动应急处理流程。维护工程师应保证接警通畅、及时，对异常事件定位、分类准确，在现场处置力量不够的情况下，要及时向上级主管报告，寻求更多的支持。