|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ICS 93.040  CCS P 28 | |  | | --- | |  | |

团体标准

T/CASMES XXX—2025

市政桥梁结构监测技术规范

Technical Specification for Structural Monitoring of Municipal Bridges

（征求意见稿）

**在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。**

2025 - XX - XX发布

2025 - XX - XX实施

中国中小企业协会  发布

目次

[前言 II](#_Toc196741996)

[1 范围 1](#_Toc196741997)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc196741998)

[3 术语和定义 1](#_Toc196741999)

[4 基本规定 1](#_Toc196742000)

[5 施工期监测 2](#_Toc196742001)

[6 运营期监测 5](#_Toc196742002)

[7 运行管理与设备维护 9](#_Toc196742003)

1. 前言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由浙江中浩应用工程技术研究院有限公司提出。

本文件由中国中小企业协会归口。

本文件起草单位：浙江中浩应用工程技术研究院有限公司、XXXX、XXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX。

本文件首次发布。

市政桥梁结构监测技术规范

* 1. 范围

本文件规定了市政桥梁结构监测的基本规定、施工期监测、运营期监测、运行管理和设备维护。

本文件适用于市政桥梁结构的监测。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50311 综合布线系统工程设计规范

GB 50982-2014 建筑与桥梁结构监测技术规范

CJJ 99 城市桥梁养护技术标准

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

市政桥梁 municipal bridge

城市范围内连接或者跨越城市道路、河流等，供车辆、行人通行的桥梁以及高架桥。

结构监测 structure monitoring

通过在结构指定位置安装传感器，对结构的状态进行观察或量测，实时获取结构的响应数据，为在特殊气候、特殊工作状态下结构出现异常时发出预警。

施工期监测 construction monitoring

在结构施工过程中，采用传感器对关键部位各项控制指标进行观察或量测，在传感器数值接近控制值时发出预警，用来保证施工的安全。

运营期监测 post construction monitoring

在结构投入运营后，通过分析采集结构上布置的传感器的响应数据来观察结构工作状态随时间的变化，对结构的损伤位置和程度进行识别，对结构的运营情况、可靠性、耐久性和承载能力进行评估，为结构的维护与管理决策提供依据和指导。

* 1. 基本规定

市政桥梁结构监测应分为施工期监测和运营期监测。

市政桥梁结构监测应建立监测系统，监测系统宜包括传感器模块、数据采集与传输模块、数据处理与管理模块、数据分析模块、安全预警及结构状态评估模块。

监测系统宜具有完整的传感、调理、采集、传输、存储、数据处理及控制、预警及状态评估功能。

监测系统设计应立足于长期规划，结合实际桥梁的结构特点和使用环境，考虑不同时期对结构监测的需求，为结构设计验证、结构模型修正、结构损伤识别、结构养护维修以及新方法、新技术的应用提供数据支撑及技术支持，做到技术先进、方案可行、数据准确、经济合理、便于维护。

监测系统的采样频率应满足监测要求。

对需要进行监测的新建市政桥梁应在设计阶段提出具体监测要求。

监测设备作业环境：

1. 信号电缆、监测设备与大功率无线电发射源、高压输电线和微波无线电信号传输通道的距离应符合GB 50311的相关要求；
2. 监测接收设备附近不应有强烈反射信号的大面积水域、大型建筑、金属网及无线电干扰源；
3. 采用卫星定位系统测量时，视场内障碍物高度角不宜超过15°。

监测系统应按规定的方法或流程进行参数设置和调试，并：

1. 监测前，应对传感器进行初始状态设置或零平衡处理；
2. 应对干扰信号进行来源检查，并应采取有效措施进行处理；
3. 使用期间的监测系统宣继承施工期间监测的数据，并宜进行对比分析与鉴别。

监测传感器：

1. 宜采用具有补偿功能的传感器；
2. 监测传感器的最低工作温度应满足季冻区气候条件；
3. 传感器应符合监测系统对灵敏度、通频带、动态范围量程、线性度、稳定性、供电方式及寿命等要求。

监测设备：

1. 监测设备的选择应符合监测期、监测内容与监测方法及系统功能的要求，并具有稳定性、耐久性、兼容性和可扩展性；
2. 测得信号的信噪比应符合实际工程分析需求；
3. 在投入使用前应进行校准；
4. 应根据监测方法和监测功能的要求选择安装方式，安装方式应牢固，安装工艺及耐久性应符合监测期内的使用要求；
5. 安装完成后应及时现场标识并绘制监测设备布置图，存档备查。

监测内容的选择及监测点的布置应充分考虑季冻区气候环境并根据桥梁结构的复杂性、桥梁使用的重要性、桥梁在复杂荷载作用下的结构力学特性进行确定。

市政桥梁结构监测应设定监测预警值，监测预警值的设定应满足桥梁设计及被监测结构的控制要求。

监测工作的实施不应影响桥梁结构的承载能力，避免对桥梁结构造成损伤及破坏。

* 1. 施工期监测
     1. 一般规定

除应符合国家标准外，当符合下列条件之一时，桥梁结构应进行施工期监测：

1. 单孔跨径大于150 m的大跨桥梁
2. 施工过程增设大型临时结构的桥梁；
3. 施工过程中整体或局部结构受力复杂桥梁；
4. 大体积混凝土结构、大型预制构件及特殊截面受温度变化、混凝土收缩与徐变、日照等环境因素影响显著的桥梁结构；
5. 施工过程存在体系转换的重要桥梁结构；
6. 施工过程中存在特殊地质条件、特殊环境等特殊情况的桥梁；
7. 对沉降和变形要求严格的桥梁结构。

施工期监测的测量仪器和仪表的分辨率应满足桥梁施工期监测的需要。

桥梁结构施工期间应对重要大型临时设施进行监测。

施工期监测应统筹考虑成桥荷载试验和运营期监测功能要求。

施工期监测传感器预埋宜选在不易损伤的位置，宜增加易损传感器的布设数量。

桥梁成桥时的监测成果可作为运营期监测的初始监测数据。

* + 1. 监测内容

施工期间监测，应重点监测下列构件和节点：

1. 应力变化显著或应力水平较高的构件；
2. 变形显著的构件或节点；
3. 承受较大施工荷载的构件或节点；
4. 控制几何位形的关键节点；
5. 能反映结构内力及变形关键特征的其他重要受力构件或节点。

施工期监测的主要内容应包括主梁标高、主拱标高、墩塔轴线、主梁应力、墩塔应力、索力和温度等。

梁式桥应监测的项目如下：

1. 墩、柱应力；
2. 主梁标高、挠度、应力、温度；
3. 主梁合拢前大气温度与合拢端标高变化的对应关系。

拱桥应监测的项目如下：

1. 主拱安装标高；
2. 拱座标高、水平位移；
3. 分段分层施工的主拱，已成部分关键部位的应力；
4. 连拱中间墩柱应力；
5. 中承式和下承式拱桥的吊桥索力；
6. 肋拱桥横梁标高；
7. 采用斜拉扣挂施工和缆索吊装施工的拱桥，对索塔变形、索塔应力、扣索索力、锚索索力及环境温度进行监测。

斜拉桥应监测的项目如下：

1. 索塔轴线、应力；
2. 主梁标高、应力、温度；
3. 斜拉索索力；
4. 主梁合拢前后大气温度与合拢端标高变化的对应关系以及合拢前后主梁应力状态的变化。

悬索桥应监测的项目如下：

1. 索塔轴线、应力；
2. 主缆线形、索股索力、索鞍偏位、主缆温度；
3. 主梁标高、应力；
4. 吊杆索力、索夹位置。

施工期间的基础沉降监测、变形监测、应变监测、环境及效应监测、其他施工过程的监测等应符合GB 50982-2014中7.2的规定。

* + 1. 监测方法

温度监测宜选用电阻式温度传感器。

变形监测应选用精密水准仪、经纬仪、测距仪、全站仪等测量仪器进行监测，仪器精度不小于下列要求：

1. 高程精度：±0.3 mm；
2. 角度精度：≤1"；
3. 距离精度：1 mm＋2 ppm。

应力监测：

1. 应力监测可采用振弦式传感器、光纤式传感器和电阻应变式传感器；
2. 索力监测可采用动测法或锚下安装压力传感器的方法进行；
3. 传感器精度应能够满足设计和施工控制需要。
   * 1. 监测点布置

桥梁墩柱、索塔轴线监测截面宜设在分段施工的自然顶面。

桥梁墩柱、索塔应力监测截面应选择墩、塔底附近的应力较大截面，一个截面的测点不宜少于4个。

主梁标高监测截面及测点布置应符合以下规定：

1. 悬臂浇筑和节段拼装的主梁，主梁标高测点宜设置在各梁段上表面的前端，一个截面的测点数量不宜少于4个（其中：底面不宜少于1个、顶面不宜少于3个）；立模标高测点应设置在各梁端模板的前端，一个截面的测点数量不宜少于5个（其中：底面不宜少于2个、顶面不宜少于3个）；
2. 支架现浇的主梁，主梁标高监测截面宜设置在墩顶、跨中1/4跨、3/4跨，并可视情况增加1/8跨标高监测点，一个截面的测点数量不宜少于4个（其中：底面不宜少于1个、顶面不宜少于3个）。

主梁应力监测截面及测点布置应符合以下规定：

1. 梁式桥主梁应力监测点宜布置在主梁根部、1/4跨、跨中以及其他控制截面上的上下缘位置，每个测试断面测点不宜少于4个；
2. 拱桥主梁和主拱圈应力监测截面宜布置在拱脚、1/4跨和跨中，测点应布置在截面的上下缘位置，每截面不宜少于4个测点；
3. 斜拉桥和悬索桥主梁应力监测截面应选择施工过程结构分析确定的控制截面，主跨应力监测截面不宜少于3个，一个截面的应力测点不宜少于4个。

主梁温度监测截面及测点布置应符合以下规定：

1. 混凝土箱梁温度监测截面宜设在主跨1/4跨位置附近，在监测截面的上、下、左、右位置均应设置温度测点，每个位置应沿混凝土箱壁厚度方向的外、中、内布置且不宜少于3个温度测点；
2. 钢箱梁温度监测截面宜设置在标准梁段位置，测点应较均匀地布置在钢箱梁内表面的上、下、左、右位置，一个截面的测点不宜少于4个；
3. 温度监测截面测点布置可与应力监测综合考虑。

悬索桥主缆温度监测截面宜设在主跨跨中位置、主缆1/2垂度和两索塔附近，主跨较大时可适当增加数量。

悬索桥主缆线形监测点宜设置在主缆最大垂度截面的基准索股上。

对于桥宽较大的多箱室结构，应结合箱室设置和结构受力特点增加横向测点数量。

* + 1. 监测频次

施工期的监测频次：

1. 每一个阶段施工过程不应少于2次施工期监测；
2. 由监测数据指导设计与施工的工程应根据结构应力或变形速率实时调整监测频次；
3. 复杂工程的监测频次，应根据工程结构类型、变形特征、监测精度和工程地质条件等因素综合确定；
4. 停工时和复工时应分别进行1次监测。

当出现下列情况，应提高监测频次：

1. 监测数据达到或超过预警值；
2. 结构受到地震、洪水、台风、爆破、事故等异常情况影响；
3. 桥梁附近出现异常的地表裂缝和变形等可能影响工程安全的异常情况。

轴线及标高监测频次：

1. 墩塔轴线监测应在墩塔节段施工前后各进行2次；
2. 主梁和主拱标高监测应在主梁节段施工前后各进行2次；
3. 设置纵桥向预应力的主梁，应在纵桥向预应力张拉前后各进行2次主梁标高监测；
4. 斜拉桥主梁标高监测应在斜拉索张拉前后各进行2次。

应力监测频次：

1. 梁式桥主要节段施工前后、纵桥向预应力张拉前后应各进行2次应力监测；
2. 拱桥主要节段施工前后、分层浇筑前后、拱上建筑施工前后应各进行2次应力监测；
3. 斜拉桥主梁节段施工前后、斜拉桥索张拉前后、纵桥向预应力张拉前后应各进行2次应力监测；
4. 悬索桥主梁节段施工前后应各进行2次应力监测；
5. 桥面铺装施工完成前后应各进行2次应力监测。
   * 1. 监测数据分析

施工期监测前应对结构与构件进行施工过程的结构模拟分析，结构分析：

1. 内力验算应按照桥梁设计所依据的规范或现行规范要求进行；
2. 可根据工程实际计入基础沉降、温度作用、风荷载等内容；
3. 充分考虑实际工序、临时工程、易出现风险的中间工况等内容，当施工方案调整时，应依据调整方案及时调整；
4. 结构分析应采用实测的构件尺寸、材料性质、荷载大小进行，未施工结构的假定参数应按施工进度及时进行检测、调整和修正。

施工期监测数据分析应具备结构材料、荷载、受力、几何尺寸、环境等基础数据。

采集到的监测数据应尽快进行处理，关键性数据应实时进行分析处理并进行判断，异常数据应及时进行核查确认。

在施工期监测数据分析后，应对其真伪性进行一次综合的分析和识别。

施工期的监测预警应根据安全控制与质量控制的不同目标，对监测的构件或节点，提出相应的限值要求和不同危急程度的预警值，预警值应满足相关现行施工质量验收规范的要求。

施工期监测出现监测数据超出容许值时，应及时预警，立即将信息向施工现场反馈，并根据风险程度发出指令，采取相关的应急和防范措施。

* + 1. 监测报告

施工期的监测报告应分为阶段性报告和总结性报告。阶段性报告应在监测期结合施工阶段定期提交，总结性报告应在监测结束后提交。

监测报告应满足监测方案的要求，数据详实、内容完整、结论明确，可为桥梁施工期的结构性能评价提供真实、准确、可靠、有效的监测数据和结论。

阶段性监测报告应包括下列内容：

1. 项目及施工阶段概况，主要包括：项目基本情况，桥梁结构的主要参数，与监测相关的技术和方法；
2. 监测方法和依据，主要包括：监测依据的技术标准，监测期和频次，监测参数，采用的监测设备及设备主要参数，测点布置施工过程结构分析结果及预警值；
3. 监测结果，主要包括：监测期各测点监测参数的监测结果与结构分析结果的对比情况，预警情况及评估结果，测点的变化情况，对监测期异常情况的处理记录；
4. 监测结论及建议，主要包括：监测的具体结论，监测过程中发现的问题，结合监测结论对桥梁后期建设的建议；
5. 预警报告、处理结果及相关附件。

总结性监测报告应能够反映整个监测期内的监测情况，报告内容应包括各阶段监测报告的主要内容，以及桥梁结构（成桥）状态与设计状态的对比分析并对桥梁状态作出评价。

监测记录应在监测现场或监测系统中完成，记录的数据、文字及图表应真实、准确、清晰、完整，不应随意涂改。

监测方案、原始记录、监测报告应在每个阶段实时进行归档监测报告中应包括施工过程结构分析的计算书、结构变形及应变监测的监测原始记录和对比分析结果，对异常情况的处理记录，预警报告及处理结果。

* 1. 运营期监测
     1. 一般规定

应根据市政桥梁的养护类别、养护等级和技术状况级别有选择地进行运营期监测。

除应满足国家标准规定外，当符合下列条件之一时，桥梁结构应进行运营期监测：

1. 根据CJJ 99的规定，属于I类养护类别的桥梁；
2. 根据CJJ 99的规定，经现场重复荷载试验其结果属于D级或E级的桥梁，经维修处理后继续运营的；
3. 跨越铁路、轨道、城市主干道、江河以及互通立交等重要节点桥梁；
4. 特别重要的特大桥；
5. 主要承重构件采用新技术、新材料、新工艺建设的桥梁；
6. 主跨跨径大于150 m的梁桥；
7. 主跨跨径大于300 m的斜拉桥；
8. 主跨跨径大于500 m的悬索桥；
9. 主跨跨径大于200 m的拱桥；
10. 处于复杂环境或结构特殊的其他桥梁结构。

对于在施工期就采取监测的市政桥梁，竣工交付进入运营期的监测内容选择和测点布置应充分利用施工期实施成果，满足经济性和适用性。

市政桥梁运营期监测应与桥梁检测和养护管理相结合。

对需要进行大修、加固及改扩建的市政桥梁，宜同步实施监测系统的设计与施工。

市政桥梁运营期监测的维护与管理应由专业运维团队负责。

* + 1. 监测内容

运营期监测内容应根据市政桥梁的运营环境、结构特点、结构设计和监测功能确定。

运营期监测内容应包括环境与荷载监测、结构响应监测；结构响应监测包括结构局部响应监测与结构整体响应监测：

1. 环境与荷载监测内容主要有：风速风向、温度、湿度、地震动响应、车辆荷载、基础冲刷，应结合季冻区的气候特点，选择增加基础冻胀、冻融循环、雪荷载、除冰盐（氯离子）监测内容；
2. 结构局部响应监测内容主要有：应力监测、索力监测、支座反力监测、裂缝监测；
3. 结构整体响应监测内容主要有：变形监测、位移监测、振动监测、倾角监测。

梁桥运营期应监测内容如下：

1. 车辆荷载、温度、湿度；
2. 主梁应力、主梁挠度、桥梁振动、伸缩缝位移。

拱桥运营期应监测内容如下：

1. 车辆荷载、温度、湿度；
2. 吊杆索力、系杆索力、主梁挠度、桥梁振动、各控制截面应力、拱脚位移、伸缩缝位移。

斜拉桥运营期应监测内容如下：

1. 车辆荷载、风速风向、温度、湿度；
2. 各控制截面应力、桥塔空间变位、桥梁振动、斜拉索索力、主梁挠度、伸缩缝位移。

悬索桥运营期应监测内容如下：

1. 车辆荷载、风速风向、温度、湿度；
2. 各控制截面应力、桥塔空间变位、桥梁振动、主缆索力、吊索索力、主缆空间变形、主梁挠度、锚碇位移、锚碇压力、伸缩缝位移。

运营期监测中变形监测、应变监测、动力响应监测、基础沉降监测、支座反力与位移监测、环境及效应监测、车辆载荷等还应符合GB 50982-2014中7.3的规定。

* + 1. 监测方法

传感器选型应根据监测对象、监测内容和监测方法的要求遵循“技术先进、性能稳定、操作方便、经济适用”的原则。

环境与荷载监测内容传感器选型：

1. 风速和风向监测宜选用三向超声风速仪或机械式风速仪；
2. 温度监测宜选用热电偶、热电阻或光纤光栅温度传感器等；
3. 湿度监测宜选用氯化锂湿度计、电阻电容湿度计或电解湿度计等；
4. 地震动响应监测宜选用三相加速度传感器，传感器应符合地震动监测相关标准的要求；
5. 车辆荷载监测宜选用动态称重系统；
6. 基础冲刷监测宜选用测深仪、流速仪及具有连续输出功能的水位计；
7. 基础冻胀监测宜选用振弦式多点位移计；
8. 雪荷载监测宜选用埋入式路面状况检测器；
9. 冻融循环监测宜选用温湿度传感器和振弦式应力传感器；
10. 除冰盐（氯离子）监测宜选用多电极传感器或埋入式路面状况检测器。

结构局部响应监测内容传感器选型：

1. 应力监测宜选用电阻应变传感器、振弦式应变传感器或光纤光栅应变传感器，长期监测选择可选择后两类传感器；
2. 索力监测宜选用磁通量传感器、压力传感器或振动传感器（频率法）等；
3. 支座反力监测宜选用测力支座；
4. 裂缝监测宜选用振弦式测缝计、应变式裂缝计或光纤类位移计。

结构整体响应监测内容传感器选型：

1. 主梁挠度监测宜选用连通管原理的静力水准仪或液压式传感器等；
2. 主梁端部伸缩缝位移监测仪选用拉绳式或磁致伸缩式位移计等；
3. 结构空间变形监测宜选用GPS系统、北斗系统或倾斜仪等；
4. 振动监测宜选用速度传感器或加速度传感器，加速度传感器可选用力平衡式、电容式或压电式加速度传感器。
   * 1. 监测点布置

监测点布置：

1. 监测点位的选择应反映桥梁结构的实际状态及变化趋势，且应布置在监测参数值最大的位置上；
2. 监测点的位置、数量应根据桥梁类型、设计要求、监测内容及结构分析结果确定；
3. 宜合理利用结构的对称性原则，减少监测点布置数量，同时重要部位应增加监测点数量；
4. 监测点位置应便于设备的安装、维护和更换；
5. 监测点位置应具有较好的抗噪声干扰性能，宜减少信号传输的距离。

环境与荷载监测点布置：

1. 风速风向监测点宜选择在桥面两侧、塔顶、拱顶，其安装位置应尽量能够监测自由场风速和风向；
2. 温度监测点应根据截面温度梯度及结构整体升温和空间分布特点，布置在温度梯度变化较大位置，宜对称、均匀，反映结构竖向及水平向温度场的变化规律。同时宜与应变监测的温度补偿测点统一设计，实现数据对比；
3. 湿度监测点不宜少于两个，宜布设于桥梁结构内外湿度变化较大和对湿度敏感的桥梁结构内部或外部；
4. 地震动响应监测点应布置在相对固定不动、接近大地的位置，安装于大桥承台顶部、索塔根部及锚碇的锚室内；
5. 车辆荷载监测点应布设在主桥上桥方向振动最小且在路基或有稳定支撑的混凝土结构铺装层内，应覆盖所有车道；
6. 基础冲刷监测点宜根据专项研究报告、桩基类型，选择冲刷速率、冲刷深度最大区域及桩基薄弱区域进行布置；
7. 基础冻胀监测点宜布设在索塔、拱脚段、锚碇位置及易受冻胀影响部位；
8. 雪荷载监测点宜布设在主桥、1/4跨、跨中桥面位置；
9. 冻融循环监测点宜布设在受力较大或影响结构整体安全的关键构件、截面和部位；
10. 除冰盐（氯离子）监测点宜选择受除冰盐侵蚀荷载作用的典型区域及典型节点。

结构局部响应监测点布置：

1. 应力监测点应根据结构计算分析选择受力较大或影响结构整体安全的关键构件、截面和部位。同时，对受力复杂的构件、截面和部位可布设多向应变计（应变花）进行监测；
2. 索力监测点应根据拉索主要参数选择有代表性、索力较大、拉索应力变化较大的拉索进行监测；
3. 支座反力监测点宜选择容易出现横向失稳发生倾覆性破坏的独柱桥梁、弯桥，以及基础易发生沉降、存在负反力等桥梁的关键支座；
4. 裂缝监测点应选择桥梁关键部位的裂缝进行监测，宜根据裂缝的走向和长度，分别布设在裂缝的最宽处和裂缝的末端。

结构整体响应监测点布置：

1. 结构空间变形和位移监测点应布设在最不利荷载组合作用下主梁、索塔、主缆、主拱、拱脚等关键构件的挠度、位移和倾角发生变化最大或较大的位置；
2. 振动监测点应选择在桥梁结构振动敏感处，避开节点位置，并根据桥梁结构有限元计算结果、振型特点以及所需监测振型阶数综合确定。
   * 1. 监测频次

运营期监测频次应采取长期实时监测，分时段确定数据采集频次，应能满足数据分析、安全预警及结构评估要求。

相应监测内容的监测频次要求不应低于GB 50982-2014的有关规定。

监测数据达到预警值或发生异常情况时应增加监测频次。

* + 1. 监测数据分析

监测数据分析应设定监测预警值，监测预警值应结合长期数据积累分析及桥梁承载力性能分析结果提出，应满足设计及被监测对象的控制要求。

环境与荷载监测数据分析：

1. 分析风荷载监测数据，宜包括最大风速、平均风速、风向与各等级风速占比等；
2. 分析温度监测数据，宜包括最高温度、最低温度和构件断面最大温度梯度等；
3. 分析湿度监测数据，宜包括构件内外湿度最大值、平均值和超限持续时间等；
4. 分析地震动响应监测数据，宜包括加速度峰值、速度峰值、持续时间、频谱和反应谱等；
5. 分析车辆荷载监测数据，宜包括通过桥梁的车流量、车型、轴重、总重、车速及超载车辆比例等车辆荷载参数，得出车辆荷载日、月、年最大值及其分布规律；
6. 分析基础冲刷监测数据，宜包括冲刷深度和冲刷速率的最大值，对其变化规律进行分析，并预测其发展趋势；
7. 分析基础冻胀监测数据，宜包括最低温度、最高温度、温度变化趋势及监测点位位移变化；
8. 分析雪荷载监测数据，宜包括桥面积雪厚度；
9. 分析冻融循环监测数据，宜包括最低温度、最高温度、温度平均值及冻融循环次数；
10. 分析除冰盐（氯离子）监测数据，宜包括氯离子浓度的变化值。

结构局部响应监测数据分析：

1. 分析应力监测数据，宜包括平均值、最大值、最小值等；并应与桥梁设计规范、材料允许值、设计最不利值进行对比；
2. 分析索力监测数据，宜包括平均值、最大值、最小值等；并应与成桥索力、设计容许索力、破断索力进行对比；
3. 分析支座反力数据，宜包括平均值、最大值和最小值、最大变化量等。

结构整体响应监测数据分析：

1. 分析结构变形监测数据，宜包括平均值和绝对最大值，宜进行挠度与温度、车辆荷载的相关性分析，横向位移和挠度与风速风向的相关性分析；
2. 分析伸缩缝位移监测数据，宜包括绝对最大值和累计位移，宜进行与温度和车辆荷载的相关性分析；
3. 分析振动加速度监测数据，宜包括绝对最大值和最大均方根值，宜进行结构振动与风速风向及车辆荷载的相关性分析；
4. 分析模态参数，宜包括结构自振频率、振型和阻尼比。
   * 1. 结构状态评估

运营期监测应实现对桥梁结构状态评估的要求。

结构状态评估应包括安全预警与安全评估两方面：

1. 安全预警应包括预警级别、预警位置与预警值；
2. 安全评估应包括评估依据、评估级别和评估结论。

基于数据分析结果进行安全评估时，应符合下列规定：

1. 根据应变计算应力时考虑温度对应变的影响，对钢筋混凝土桥梁还应考虑收缩、徐变对应变的影响；
2. 监测点处应力值与设计值进行比较，当小于设计值说明监测点处应力状态正常；当大于设计值时，监测点处应力状态异常；
3. 当索力小于设计值时，可判定索体结构处于正常状态；否则，判定索体结构状态异常；
4. 基于桥梁构件实际物理特性参数、几何特性参数以及结构边界条件建立有限元模型；
5. 利用环境、车辆荷载及结构响应，计算结构整体内力和线形，与设计值进行对比，结构整体内力和线形满足桥梁设计规范要求，判定结构处于正常状态；否则，判定结构状态异常。

利用桥梁结构动力特性进行安全评估时，应符合下列规定：

1. 基于监测的加速度，采用模态参数分析获取结构动力特性；
2. 获取的结构动力特性应与设计值进行对比；
3. 获取的桥梁结构自振频率与设计理论计算频率的比值不小于1，判定结构处于正常状态；当该比值小于1且有其他关键监测数据大于限值或设计值，判定结构状态异常。

当出现下列情况，应进行桥梁结构损伤识别：

1. 结构空间变形不小于设计值；
2. 结构自振频率明显降低；
3. 结构响应异常，检测发现桥梁损伤。

结构损伤识别：

1. 结构损伤识别应基于数据分析、模态参数分析与有限元模型修正的结果；
2. 模型修正宜采用矩阵型修正方法、元素型修正方法、误差因子修正方法（子矩阵修正方法）、设计参数修正方法；
3. 结构损伤识别也可采用神经网络法、遗传算法、小波变换、希尔伯特-黄变换方法（HHT方法）等；
4. 运营期结构状态评估应给出具体养护建议，宜结合日常养护信息、定期检测信息、荷载试验信息及专家论证。
   * 1. 监测报告

运营期监测期间的监测报告可分为监测系统报告和监测报表，监测系统报告应在监测系统完成时提交，监测报表应在监测期间由监测系统自动生成。

监测报表应为运营期期间结构性能的评价提供真实、可靠、有效的监测数据和结论。

监测系统报告应包括项目概况、施工过程、监测方法和依据、监测项目及监测系统操作指南。

监测报表应包括下列内容：

1. 监测结果及对比情况，包括:规定时间段内的监测结果及与结构分析结果的对比、预警值；
2. 监测结论。

监测报表、原始记录应进行归档。

* 1. 运行管理与设备维护
     1. 运行管理

应成立专门的运行维护团队，配备专业技术人员，负责监测系统的日常运行、数据采集、分析处理及设备维护等工作。

运维人员应经过专业培训，熟悉监测系统的组成、工作原理、操作流程及常见故障排除方法，并持证上岗。

应制定完善的运行管理制度，包括但不限于设备操作规程、数据采集与处理流程、故障处理机制、安全管理制度等。

应建立运行记录制度，详细记录监测系统的运行状态、数据采集情况、设备维护情况、故障及处理过程等信息，便于追溯和分析。

应建立健全的数据管理体系，确保监测数据的完整性、准确性和安全。数据存储应采用冗余备份机制，防止数据丢失。监测期间，监测结果应与结构分析结果进行适时对比，当监测数据异常时，应及时对监测对象与监测系统进行核查，当监测值超过预警值时应立即报警。

应建立数据共享机制，按照相关规定和要求，将监测数据及时、准确地提供给桥梁管理部门、养护单位及其他相关部门。

* + 1. 设备管理

市政桥梁结构监测系统运行期应对传感器、数据采集设备、数据传输设备、数据存储设备、数据显示设备、系统软件开展日常检查和维护，定期检查宜不低于每半年进行一次；定期检查与维护后，应在一个月内形成定期检查与维护报告，向桥梁管理部门上报并存档。

市政桥梁结构监测系统日常检查频度：

1. 传感器每月应进行一次日常检查；
2. 设备与系统软件每周应进行一次日常检查。

日常检查结果宜每六个月形成日常检查与维护报告，向桥梁管理部门上报并存档。

建立快速响应的故障处理机制，一旦监测系统出现故障，运维人员应在规定时间内到达现场进行处理；故障处理应遵循先恢复系统运行、后查找故障原因的原则，确保监测系统的连续运行。在故障排除后，应对系统进行全面检查和测试，确保其恢复正常工作状态。

定期对监测系统的设备进行评估，根据设备的使用年限、技术性能、可靠性等因素，制定设备更新与升级计划。在设备更新与升级过程中，应做好数据备份和迁移工作。

建立网络安全防护体系，采用防火墙、入侵检测、数据加密等技术手段，防止监测系统受到网络攻击和数据泄露。定期对网络安全设备进行检查和维护，严格控制访问权限，对监测系统的访问进行身份认证和授权管理，防止未经授权的人员访问和操作监测系统。

