

吉林省工程建设地方标准

市政桥梁结构监测技术标准

Technical standard for municipal bridge
structure monitoring

DB22/T 5035—2020

主编部门：吉林省建设标准化管理办公室

批准部门：吉林省住房和城乡建设厅

吉林省市场监督管理厅

施行日期：2020 年 04 月 20 日

2020·长 春

吉林省工程建设地方标准全文公开

吉林省住房和城乡建设厅 吉林省市场监督管理厅

通告

第 551 号

吉林省住房和城乡建设厅 吉林省市场监督管理厅 关于发布《市政桥梁结构监测技术标准》等 6 项 吉林省工程建设地方标准的通告

现批准《市政桥梁结构监测技术标准》《建设工程项目招标投标活动程序标准》《装配式混凝土建筑结构检测技术标准》《城镇道路再生沥青混凝土路面工程技术标准》《预拌混凝土(砂浆)及沥青混凝土企业试验室配置标准》《建设工程见证取样检测标准》为吉林省工程建设地方标准,编号依次为:DB22/T 5035-2020、DB22/T 5036-2020、DB22/T 5037-2020、DB22/T 5038-2020、DB22/T 5039-2020、DB22/T 5040-2020,自发布之日起实施。原《建筑材料见证取样检测标准》,编号为 DB22/T 1035-2011,同时废止。

吉林省住房和城乡建设厅
吉林省市场监督管理厅
2020 年 4 月 20 日

吉林省工程建设地方标准全文公开

前 言

根据吉林省住房和城乡建设厅《关于下达〈2019 年全省工程建设地方标准制定(修订)计划(一)的通知〉(吉建办〔2019〕1 号)的要求,编制组会同有关单位,经过调查、试验研究,依据国家相关标准,结合我省具体情况,制定本标准。

本标准的主要内容包括:1 总则;2 术语;3 基本规定;4 施工期监测;5 运营期监测。

本标准由吉林省建设标准化管理办公室负责管理,由长春市智慧城市科技有限公司负责具体技术内容的解释。

本标准在执行过程中,请各单位积极总结经验,积累资料,随时将有关意见和建议反馈给吉林省建设标准化管理办公室(地址:长春市民康路 519 号;邮箱:jljsbz@126.com;电话:0431-88932615;邮政编码:130041),供今后修订参考。

本标准主编单位:长春市智慧城市科技有限公司
长春市市政工程设计研究院

本标准参编单位:清华大学
吉林大学
哈尔滨工业大学
北京科技大学
北京理工大学
北京邮电大学
海南大学
长春市市政设施维护管理中心
中公诚科(吉林)工程检测有限公司
长春市建筑工程质量检测中心

吉林省建筑科学研究设计院
北京煜星科技股份有限公司
大连航天北斗科技有限公司
上海同丰工程咨询有限公司
上海英斯泊物联网有限公司

本标准主要起草人员：张天申 高 欣 李顺龙 王永光
王伯昕 马腾峰 陈小旭 邹 亮
柴青松 孙 健 赵立权 李建国
李学颖 刘召起 杜艳韬 王景鹏
杨明山 王 威 王 霞 班晓娟
王国新 任维政 周 智 蔡 磊
公尚彦 修 俊 张海云 谭国金
杨加斌 吴立鑫 陈春光 张少荃
卢 强 乔佳伟
本标准主要审查人员：周 毅 陶乐然 孙福申 李舰航
郑继光 赵洪波 陈 亮

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	施工期监测	5
4.1	一般规定	5
4.2	监测内容	5
4.3	监测方法	6
4.4	监测点布置	7
4.5	监测频次	8
4.6	监测数据分析	9
4.7	监测报告	10
5	运营期监测	12
5.1	一般规定	12
5.2	监测内容	13
5.3	监测方法	14
5.4	监测点布置	15
5.5	监测频次	17
5.6	监测数据分析	17
5.7	结构状态评估	19
附录 A	不同类型桥梁运营期监测内容要求	21
附录 B	常规监测内容传感器技术要求	22
附录 C	不同类型桥梁运营期监测点布置要求	24
本标准用词说明		26
引用标准名录		27
附：条文说明		29

吉林省工程建设地方标准全文公开

1 总 则

1.0.1 为规范市政桥梁结构监测,提高市政桥梁施工及维护管理水平,保障桥梁结构安全,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于市政桥梁施工期和运营期的结构监测。

1.0.3 市政桥梁结构监测除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 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。

2.0.2 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。

2.0.3 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。

2.0.4 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。

2.0.5 环境与荷载 environment and load

桥梁所在区域的自然环境参数与交通荷载，包括风、温度、湿度、地震、车辆荷载等。

2.0.6 结构局部响应 structural local response

在荷载作用下桥梁结构的应变、裂缝、索力、支座反力等。

2.0.7 结构整体响应 structural global response

在荷载作用下桥梁结构的振动、位移、变形和倾角等。

2.0.8 预警值 alarming value

对桥梁结构在施工过程、运营环境下可能出现的不同程度的异常或危险，所设定的各监测点监测参数的警戒值。

2.0.9 监测频次 times of monitoring

单位时间内的监测次数。

2.0.10 模态参数 modal parameter

结构的固有动力特性，包括结构的自振频率、阻尼比和模态振型。

2.0.11 模态参数分析 modal parameter analysis

对监测的桥梁结构响应及外部激励数据，采用模态识别方法获得结构模态参数。

2.0.12 模型修正 model updating

依据相关测试结果，利用有效手段修正结构有限元模型中的参数，使所建立的有限元模型尽可能地反映结构的真实状态。

2.0.13 状态评估 safety evaluation

通过监测数据分析桥梁结构当前的工作状态，并与相应的临界状态进行比较分析，评价其安全状况。

2.0.14 损伤识别 damage identification

利用结构的响应数据来分析模态参数 / 物理参数的变化，进而识别结构的损伤过程。

3 基本规定

3.0.1 市政桥梁结构监测应分为施工期监测和运营期监测。

3.0.2 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。

3.0.3 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。

3.0.4 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。

3.0.5 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。

3.0.6 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。

3.0.7 监测工作的实施不应影响桥梁结构的承载能力,不得对桥梁结构造成损伤及破坏。

3.0.8 监测传感器应符合监测期、监测内容与方法的要求,具有稳定性、耐久性、环境适用性和经济性。

3.0.9 监测传感器的最低工作温度应满足季冻区气候条件。

4 施工期监测

4.1 一般规定

4.1.1 除应符合国家现行标准外，当符合下列条件之一时，桥梁结构应进行施工期监测：

- 1 施工过程中增设大型临时结构的桥梁；
- 2 施工过程中整体或局部结构受力复杂桥梁；
- 3 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；
- 4 施工过程中存在体系转换的重要桥梁结构；
- 5 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。

4.1.2 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。

4.1.3 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。

4.1.4 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。

4.1.5 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。

4.2 监测内容

4.2.1 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。

4.2.2 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。

4.2.3 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 连拱中间墩柱应力；
- 4 分段分层施工的主拱，已成部分关键部位的应力；
- 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，对应索塔变形、索塔应力、扣索索力、锚索索力及环境温度进行监测。

4.2.4 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。

4.2.5 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。

4.3 监测方法

4.3.1 温度监测宜选用电阻式温度传感器。

4.3.2 变形监测宜选用精密水准仪、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：高程精度正负 0.3mm，角度精度不大于 1"，距离精度 1mm 加 2ppm。

4.3.3 应力监测应符合下列规定：

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。

4.3.4 对于本条未提及的传感器类型，可在进行适用性、可靠性验证后采用。

4.3.5 传感器精度应能够满足设计和施工控制需要。

4.4 监测点布置

4.4.1 桥梁墩柱、索塔轴线监测截面宜设在分段施工的自然顶面。

4.4.2 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。

4.4.3 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）。

4.4.4 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。

4.4.5 主梁温度监测截面及测点布置宜符合以下规定：

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。

4.4.6 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。

4.4.7 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。

4.4.8 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。

4.5 监测频次

4.5.1 施工期的监测频次应符合下列规定：

1 每一个阶段施工过程不少于 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。

4.5.2 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。

4.5.3 轴线及标高监测频次应符合以下规定：

- 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。

4.5.4 应力监测频次应符合以下规定：

- 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。

4.6 监测数据分析

4.6.1 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，结构分析应符合下列规定：

- 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分析；
- 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。

4.6.2 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。

4.6.3 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。

4.6.4 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。

4.6.5 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。

4.6.6 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。

4.7 监测报告

4.7.1 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。

4.7.2 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。

4.7.3 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。

4.7.4 总结性监测报告应能够反应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做出评价。

4.7.5 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，不得随意涂改。

4.7.6 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 and 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。

5 运营期监测

5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 除应满足国家现行有关标准规定外，还应符合下列规定：

1 依据现行行业标准《城市桥梁养护技术标准》CJJ99 的规定，属于 I 类养护类别的桥梁应进行运营期监测；

2 依据现行行业标准《城市桥梁养护技术标准》CJJ99 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，应进行运营期监测；

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宜进行运营期监测；

4 主要承重构件采用新技术、新材料、新工艺建设的桥梁宜进行运营期监测。

5.1.3 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。

5.1.4 市政桥梁运营期监测应与桥梁检测和养护管理相结合。

5.1.5 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。

5.1.6 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。

5.2 监测内容

5.2.1 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。

5.2.2 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。

5.2.3 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。

5.2.4 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。

5.2.5 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。

5.2.6 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。

5.2.7 不同桥型的监测内容除应符合本章第 5.2.1～5.2.6 条外，尚应符合本标准附录 A 的规定。

5.3 监测方法

5.3.1 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。

5.3.2 环境与荷载监测内容传感器选型宜符合下列规定：

- 1 风速和风向监测可选用三向超声风速仪或机械式风速仪；
- 2 温度监测可选用热电偶、热电阻或光纤光栅温度传感器等；
- 3 湿度监测可选用氯化锂湿度计、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向加速度传感器，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。

5.3.3 结构局部响应监测内容传感器选型宜符合下列规定：

- 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。

5.3.4 结构整体响应监测内容传感器选型应符合下列规定：

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宜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。

5.3.5 常规监测内容对应传感器技术指标应符合本标准附录 B 的规定。

5.4 监测点布置

5.4.1 监测点布置应符合下列规定：

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。

5.4.2 环境与荷载监测点布置应符合下列规定：

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 and 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。

5.4.3 结构局部响应监测点布置符合下列规定:

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。

5.4.4 结构整体响应监测点布置符合下列规定：

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。

5.4.5 不同桥型的监测点布置除应符合本章第 5.4.1～5.4.4 条外，尚应符合本标准附录 C 的规定。

5.5 监测频次

5.5.1 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。

5.5.2 相应监测内容的监测频次要求不应低于现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982 的有关规定。

5.5.3 监测数据达到预警值或发生异常情况时应增加监测频次。

5.6 监测数据分析

5.6.1 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。

5.6.2 环境与荷载监测数据分析符合下列规定：

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。

5.6.3 结构局部响应监测数据分析符合下列规定:

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。

5.6.4 结构整体响应监测数据分析符合下列规定:

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。

5.7 结构状态评估

5.7.1 运营期监测应实现对桥梁结构状态评估的要求。

5.7.2 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。

5.7.3 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应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 应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。

5.7.4 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 应基于监测的加速度,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大于或等于 1，判定结构处于正常状态；当该比值小于 1 且有其它关键监测数据大于限值或设计值，判定结构状态异常。

5.7.5 当出现下列情况，应进行桥梁结构损伤识别：

- 1 结构空间变形大于或等于设计值；
- 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。

5.7.6 结构损伤识别宜符合下列规定：

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 模型修正可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。

5.7.7 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。

附录 A 不同类型桥梁运营期监测内容要求

A.0.1 不同类型桥梁运营期的监测内容应符合表 A.0.1-1~4 的规定。

表 A.0.1-1 梁桥监测内容

环境与荷载监测	应选项	温度、湿度、车辆荷载
	宜选项	风速风向、地震动响应、基础冲刷、基础冻胀、雪荷载、冻融循环、除冰盐（氯离子）
结构响应监测	应选项	主梁应力、主梁挠度、桥梁振动、伸缩缝位移
	宜选项	墩柱沉降、支座反力

表 A.0.1-2 拱桥监测内容

环境与荷载监测	应选项	温度、湿度、车辆荷载
	宜选项	风速风向、地震动响应、基础冲刷、基础冻胀、雪荷载、冻融循环、除冰盐（氯离子）
结构响应监测	应选项	吊杆索力、系杆索力、各控制截面应力、主梁挠度、桥梁振动、拱脚位移、伸缩缝位移
	宜选项	墩柱沉降、支座反力

表 A.0.1-3 斜拉桥监测内容

环境与荷载监测	应选项	温度、湿度、风速风向、车辆荷载
	宜选项	地震动响应、基础冲刷、基础冻胀、雪荷载、冻融循环、除冰盐（氯离子）
结构响应监测	应选项	各控制截面应力、桥塔空间变位、斜拉索索力、主梁挠度、桥梁振动、伸缩缝位移
	宜选项	墩柱沉降、支座反力

表 A.0.1-4 悬索桥监测内容

环境与荷载监测	应选项	温度、湿度、风速风向、车辆荷载
	宜选项	地震动响应、基础冲刷、基础冻胀、雪荷载、冻融循环、除冰盐（氯离子）
结构响应监测	应选项	各控制截面应力、桥塔空间变位、主缆索力、主缆空间变形、吊杆索力、主梁挠度、桥梁振动、伸缩缝位移、锚碇位移、锚碇压力
	宜选项	墩柱沉降、支座反力

附录 B 常规监测内容传感器技术要求

B.0.1 常规监测内容对应传感器技术指标宜符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 常规监测内容传感器技术要求

传感器	技术指标	技术要求
风速仪	风速测量范围 (m/s)	0~60
	风速测量精度 (m/s)	±0.1
	风向方位角测量范围 (°)	0~360
	风向测量精度 (°)	≤±3
	工作温度 (°C)	-40~55
温度计	测量范围 (°C)	-40~55
	精度 (°C)	±0.5
	工作温度 (°C)	-40~55
湿度计	测量范围 (RH)	12~99
	精度	±2%
	稳定性 (RH/年)	<1%
	工作温度 (°C)	-40~55
动态称重传感器	行车速度范围 (km/h)	10~200
	称重范围 (kN/轴)	300
	测重精度	±5%
	工作温度 (°C)	-40~55
应变传感器	测量范围 (με)	±1500
	分辨率 (με)	1
	工作温度 (°C)	-40~55
	测量精度 (με)	±3
静力水准仪	量程 (mm)	≥10
	精度 (mm)	±0.3
	工作温度 (°C)	-40~55
位移传感器	测量范围 (mm)	10~1000
	精度 (mm)	0.1

	工作温度 (°C)	-40~55
全球定位系统 (GPS、北斗)	静态基线精度	水平: $\pm 2.5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$ 竖向: $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm}$
	RTK 精度	水平: $\pm 8\text{mm} + 1\text{ppm}$ 高程: $\pm 15\text{mm} + 1\text{ppm}$ (实时)
	工作温度 (°C)	-40~55
磁通量传感器	测量范围	0~拉索屈服应力
	接线长度 (m)	≤ 200
	系统误差 (FS)	$\leq 2\%$
	供电电源 (V)	AC (100~240)
	激励电压 (V)	100~500
	工作温度 (°C)	-40~55

附录 C 不同类型桥梁运营期监测点布置要求

C.0.1 不同类型桥梁运营期监测点布置应符合表 C.0.1-1~4 的规定。

表 C.0.1-1 梁桥监测点布置

监测内容	监测点布置
温度	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨
湿度	主跨跨中
应力	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中（连续梁为边跨最大弯矩处）及支点（刚结构桥为墩梁固结处）
桥梁振动	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中（连续梁为边跨最大弯矩处）及支点（刚结构桥为墩梁固结处）
挠度	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中（连续梁为边跨最大弯矩处）
车辆荷载	与主桥相连的引桥桥头、行车道
地震动响应	桥墩承台
伸缩缝位移	伸缩缝

表 C.0.1-2 拱桥监测点布置

监测内容	监测点布置
风速风向	主跨跨中
温度	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨
湿度	主跨跨中
车辆荷载	与主桥相连的引桥桥头、行车道
地震	拱脚
应力	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、主拱跨中、拱脚
索力	吊杆、系杆
桥梁振动	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨
空间位移	主跨跨中、主拱跨中、拱脚
挠度	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、拱顶
支座反力	拱座
伸缩缝宽度	伸缩缝

表 C.0.1-3 斜拉桥监测点布置

监测内容	监测点布置
风速风向	主跨跨中、索塔
温度	主跨跨中、索塔
湿度	主跨跨中、索塔
车辆荷载	与主桥相连的引桥桥头、行车道
地震动响应	桥墩承台
应力	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中、索塔
索力	斜拉索
桥梁振动	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中、索塔
空间位移	主跨跨中、索塔
挠度	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中、
支座反力	桥墩
伸缩缝位移	伸缩缝

表 C.0.1-4 悬索桥监测点布置

监测内容	监测点布置
风速风向	主跨跨中、索塔
温度	主跨跨中、索塔
湿度	主跨跨中、索塔
车辆荷载	与主桥相连的引桥桥头、上下行车道
地震动响应	桥墩承台、索塔
应力	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中、索塔
索力	主缆、吊杆
桥梁振动	主跨跨中、1/4、3/4 跨、边跨跨中、索塔
空间位移	主跨跨中、索塔
挠度	主跨跨中、1/4 和 3/4 跨、边跨跨中
锚碇压力	锚碇
伸缩缝位移	伸缩缝

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的用词：
正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑与桥梁结构监测技术规范》 GB 50982
- 2 《电工电子产品环境参数分类及其严酷程度分级》
GB/T 4796
- 3 《电工电子产品自然环境条件温度和湿度》 GB/T 4797.1
- 4 《道路交通气象环境埋入式路面状况检测器》 JT/T 715
- 5 《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》 JT/T 1037
- 6 《城市桥梁设计规范》 CJJ 11
- 7 《城市桥梁养护技术规范》 CJJ 99

吉林省工程建设地方标准全文公开

吉林省工程建设地方标准

市政桥梁结构监测技术标准

DB22/T 5035 – 2020

条文说明

吉林省工程建设地方标准全文公开

目 次

1	总则	33
3	基本规定	34
4	施工期监测	36
4.1	一般规定	36
4.2	监测内容	36
4.3	监测方法	36
4.4	监测点布置	37
4.5	监测频次	37
4.6	监测数据分析	38
4.7	监测报告	38
5	运营期监测	39
5.1	一般规定	39
5.2	监测内容	41
5.3	监测方法	41
5.4	监测点布置	41
5.5	监测频次	42
5.6	监测数据分析	42
5.7	结构状态评估	42

吉林省工程建设地方标准全文公开

1 总 则

1.0.1 目前,对大跨度桥梁安全性的重视程度远高于跨径相对较小的市政桥梁。但是,往往桥梁垮塌事故在市政桥梁上更为常见。其主要原因有四点:1、市政桥梁的基数远大于大跨度桥梁;2、我国桥梁过往设计承载能力偏低,施工时质量控制较弱,长期重建设轻养护;3、超载对于市政桥梁的影响要远大于大跨径桥梁;4、现存市政桥梁中绝大部分的建设年代较早,桥龄长,其中危桥数量呈快速增长趋势。

近年来随着桥梁工程、传感技术、通信技术、计算机技术等学科的交叉联合,对桥梁进行长期实时监测技术得到了快速发展。但目前主要是针对大跨径桥梁做了结构监测,市政桥梁基本没有实施,同时针对市政桥梁的监测技术标准缺乏关注和研究,这种情况阻碍了结构监测技术在市政桥梁中的应用。市政桥梁量大、面广且资金投入有限,正因如此,在市政桥梁监测设计上就更加需要标准化,以便同时满足技术要求和成本要求,达到技术和成本上的“双赢”,得到主管部门认可并推广应用。

面对吉林省市政桥梁快速发展的实际情况,制定本标准是为了指导市政桥梁结构监测技术的应用,保障市政桥梁的运营安全,为桥梁管养提供技术支持。

1.0.2 实际桥梁工程结构常以竣工验收作为施工期和运营期的界线点,分界线比较明确,且实际中也常以此分界线进行分类监测。

1.0.3 本标准归纳总结了国内一些监测技术要求,针对市政桥梁监测,除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 桥梁结构在施工期为了保证施工质量和精度，需要进行定期监测；建成投入运营后，为了能获取结构日常工作状态以及在出现特殊状况时结构的响应情况，为结构的安全进行评估，需要进行实时监测。

3.0.2 监测系统应该具有传感、采集、传输、存储、数据处理及管理、预警及状态评估功能，构成监测系统的完整链条，缺一不可。

3.0.3 对市政桥梁进行监测应能评估分析桥梁在所处环境条件下结构发展事态及其对结构安全运营造成的潜在威胁，确保结构安全；对桥梁日常运营和发生意外灾害时，对结构的健康状态、结构安全可靠性和可靠性进行评估，进而给桥梁管理部门提供等级预警信息，为结构维修提供建议；论证设计、施工两阶段的参数、工艺的有效性，对设计和施工进行后期验证；为新方法技术的发展及应用提供建议。通过结构振动监测数据，获取自振频率、振型、模态阻尼比，如有特殊要求，可获取模态刚度、模态质量等参数。

3.0.4 在设计阶段，出现下述情况时，设计单位需明确提出监测要求：

1 设计单位采用的桥梁结构计算简化模型需要通过监测手段来验证和调整时；

2 主要承重构件采用了新材料和新工艺，施工时难以保证安全和质量时；

3 施工方案难度大，施工时可能会影响到周围建（构）筑物的安全时；

4 桥梁结构形式非常复杂，施工时需要进行体系转换时，例如大跨度桥梁合龙等。

对于新建需要监测的市政桥梁，设计单位可以与监测单位协作，将监测点的布置、监测设备的安装、走线方式、预埋管线、保护装置及相应标志标识的设立等直接体现在施工图设计图纸上。

3.0.5 桥梁结构监测是一项系统性的工作，在监测前，应该有一份详细的方案说明，方案内容中重点内容应该基于监测需求和设计要求，并能考虑我省季冻气候特点来确定监测内容和监测方法等内容。

监测内容的选择和测点位置布置是监测工作的重要内容，在进行内容和位置选择时，应该充分体现结构专业性，根据气候特点、结构特点、重要性和受力特点来确定。

3.0.6 监测预警是桥梁结构进行监测的主要目的之一，监测预警值的设定是监测期对结构正常、异常或危险判断的重要指标，为了更有利于对结构状态进行判断，监测预警值应该分级制定。

3.0.8 监测设备的稳定性和耐久性应与监测期相适应，施工期间的监测设备选择宜兼顾运营期间监测需求，监测设备的稳定性、耐久性以及造价宜与运营期间的监测统筹考虑。当监测设备的使用寿命短于结构寿命，应及时更换。监测设备的稳定性不仅要求监测设备经过长期使用以后其工作性能保持正常，还要求其对工作环境具有较强的适应能力和抗干扰能力。兼容性一般要求监测系统中所有设备的接口使用标准接口。

3.0.9 监测设备的工作温度范围应大于季冻地区气候温度变化范围，在-40℃时能正常工作。我省一年四季温度变化范围极大，温度变化会对设备工作精度造成不利影响，所以监测设备应该具有温度补偿功能。

4 施工期监测

4.1 一般规定

4.1.3 施工期安装的监测设备可接入运营期使用。

4.1.4 为保证施工期监测数据的有效采集，在预埋传感器时应充分考虑实际施工情况、传感器类型和传感器的有效保护手段，确保传感器的存活数量。

4.2 监测内容

4.2.2 梁式桥的监测重点是主梁标高和结构应力及温度监测，墩高大于 20m 还需要增加墩柱偏位监测。主梁标高监测含桥梁关键部位的标高、挠度（跨中、1/4 跨、其他挠度变形较大部位）、桥梁线性等内容。

4.2.3 拱桥的监测重点主要是拱肋的线形、索力和应力及温度等监测。

4.2.4 斜拉桥的监测重点是主梁标高和斜拉索力，索塔轴线在建时一般都会预偏。

4.2.5 悬索桥的监测重点是主缆线形（尤其是基准索股的线形）、主梁标高、索塔轴线（索塔在建造时一般有预偏）。

4.3 监测方法

4.3.3 千斤顶油压表法也可以测定索力，但该方法仅在斜拉索张拉时使用，在斜拉索张拉时，可利用该方法测定的索力对动测法或压力环法监测的结果进行修正。

4.4 监测点布置

4.4.1 桥梁墩柱、索塔轴线监测点的设置应能反映墩、塔实际倾斜情况。

4.4.3 主梁标高监测截面的测点布置，一般应根据主梁截面形式和截面宽度确定，本条仅以常见的单箱单室混凝土箱梁为例给出。对于多箱室的混凝土主梁截面和钢箱梁及其他异形截面，应适当增加监测点，以满足控制主梁截面总体标高为目的。

4.4.4 主梁应力监测截面布置，一般为主梁施工过程中的控制性截面，主要为墩顶附近截面（靠近最大负弯矩位置）、跨中截面（最大正弯矩位置）和主梁截面变化处截面。主梁应力监测截面测点布置，主要根据截面形式和截面宽度结合结构计算确定，本条仅以常见的梁式桥单箱单室混凝土箱梁、斜拉桥和悬索桥钢箱梁为例给出。对于多箱室的混凝土主梁截面和其他异形截面，应适当增加监测点，以满足控制主梁截面总体应力为目的的设置。

4.4.5 主梁温度监测的目的在于监测主梁内外温差、日照温差及季节性温差，以便分析主梁线形及应力受各种温差的影响。

4.5 监测频次

4.5.1 应按要求的监测频次实施监测，监测数据采集方式可采用自动采集与人工测量相结合，每个阶段指的是施工期间可根据施工工序进行划分。

4.5.3 轴线及标高监测主要考虑轴线及标高发生相对较大变化的工况。对于常见的混凝土箱梁，在悬臂较短时，纵向预应力张拉工况对主梁的标高影响很小，在此阶段可不进行主梁标高的监测。

4.5.4 应力监测主要考虑截面应力发生相对较大变化的工况。

4.6 监测数据分析

4.6.1 结构分析包括内力验算与变形分析。内力验算包含承载力验算和内力验算。为确保桥梁施工安全，在参数选取时，若实测参数在结构结算中偏安全，应采用设计参数进行结构分析；若实测参数与设计值差异较大时，应分析产生原因和对桥梁结构的影响。

4.6.3 关键性数据是指影响结构工程质量以及安全的主要监测参数，异常数据是指影响结构工程质量以及安全的主要监测参数，异常数据是指个别数据明显偏离预期的情况。

4.6.4 桥梁施工过程中的监测参数准确性受环境、精度、原材等诸多因素影响，其真伪性需要结合现场实际情况进行分析、修正和识别，以便为反馈控制提供可靠和有效的信息。

4.6.5 预警值应根据施工过程结构分析结果设定，根据预警等级不同，可采用结构分析结果的 50%、70%、90%进行预警。

4.7 监测报告

4.7.3 项目及施工阶段概况包括建设、设计及施工等单位、工程概况、监测目的和要求、项目起始时间、实际完成的工作量、施工进度等。预警报告为监测期间监测预警时监测单位发出的监测预警记录。

4.7.4 总监测报告是对整个监测阶段的总结，应对整个监测阶段的结构及监测系统的运行情况进行汇总，内容涵盖阶段性监测报告的全部主要内容，并且有归纳和总结。

5 运营期监测

5.1 一般规定

5.1.2 本条文在符合现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982 中关于桥梁结构在使用期间监测的规定外，另外规定了其它情况：

1 依据《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99-2017 中关于城市桥梁养护类别的分类，I类养护桥梁是指单孔跨径大于100m的桥梁及特殊结构的桥梁，特殊结构桥梁指结构受力复杂和在养护方面有特殊要求的桥梁，主要是指系杆拱桥、斜拉桥和悬索桥。对I类养护的城市桥梁，必须设专人负责日常巡检，应根据桥梁特点定期进行结构检测。有条件的城市可采用自动化监测系统设点监测，应随时掌握桥梁技术状况和中长期发展趋势；

2 依据《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99-2017 中的规定，被评估为D级或E级的桥梁，通常都是结构发生严重损坏或者不能满足现有交通量、荷载量增长的需要，需恢复和提高技术等级，提高其承载能力的桥梁，对于这样的桥梁采取监测手段，时刻关注其运营状况，进行安全评估；

3 依据《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99-2017 中的规定，城市主干道上的桥梁属于III类养护桥梁，这样的桥梁在城市交通中的地位重要，通常跨越铁路、轨道、道路、江河，并且不易进行定期检测发现其病害，所以需要进行监测，随时掌握桥梁的技术状况和中长期发展趋势；

随着城市建设的快速发展，城市快速路高架桥的数量越来越多，并承担着舒缓城市交通压力的重要职责。根据《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99-2017 中的规定，城市快速路上的桥梁属于II类养护桥

梁，对于互通立交部分，桥梁结构错综复杂，需要进行监测，来时刻获取其受力状态，为养护管理提供决策支持。另外，监测不只局限于重要节点，宜对典型梁段进行监测，构建桥梁集群化监测体系；

4 随着经济建设的快速推进，大量使用新技术、新材料和新工艺的桥梁结构层出不穷，随之而来对结构的安全性、耐久性和适用性的要求越来越突出。在工程实践中，由于存在诸多不确定性因素，设计与实际工作状态往往存在一定差异，设计值是否全面真实地反映了结构的各种变化，需要采用监测技术手段进行验证，论证设计和施工两阶段的参数、工艺的有效性，对设计和施工进行后期验证，为新方法、新技术的发展及应用提供建议。

5.1.3 运营期与施工期监测时间段不同，荷载分布及变化情况也不同，其监测目标、功能等方面也不尽相同，但具有许多共同特点：

1 都是通过测量桥梁结构的各种响应（应力、变形及位移等）来了解结构的实际工作状态，从而判断结构的安全性；

2 除监测桥梁结构自身的工作状态，还强调对结构所处环境（风、温度、地震、雨雪等）的监测和分析，以分析环境对结构受力状态的影响程度；

3 在桥梁结构施工期传感器主要用于监测施工质量；在运营期传感器主要用于连续地监测结构状态，力求获取结构的信息完整连续。两个阶段传感器的布置位置可基本延续，以保证监测数据的连续一致性。

5.1.4~5.1.5 城市桥梁绝大部分的建设年代较早，桥龄较长，其中危桥数量呈快速增长趋势，目前对城市桥梁常用的检查措施基本上以人工检测为主，包括常规定期检测和结构定期检测。但人工检测仅能对明显的问题做出定性判断、难以定量，且仅能确定检测时桥梁的健康状态，不能够有效保证两次检测之间的安全状态。所以很有必要在进行桥梁大修、加固或改扩建时，实施监测工作，时刻获取结构的运营状态，达到实现对桥梁结构信息化养护管理的目的。

5.2 监测内容

5.2.2 吉林省属于寒冷地区，对于由于温度变化引起的桥梁关键基础冻胀位移、冻融循环受力变化，冬季降雪造成的桥面积雪荷载，有必要进行监测。

变形监测一般包括主梁挠度、主梁水平位移、桥塔空间变位、锚碇位移、主缆变形、拱肋变形、拱脚位移等；应力监测应包括主梁、拱肋、桥塔关键截面应力；索力监测应包括主缆索力、斜拉索索力、吊杆（吊索）系杆索力；振动监测可包括结构自振频率、振型及阻尼比；基础沉降监测应包括桥墩沉降、拱脚沉降、桥塔沉降。

5.3 监测方法

5.3.4 主跨大于 150m 的拱桥宜在拱顶采用 GPS 系统或北斗系统监测空间变形；斜拉桥索塔塔顶变形监测宜采用倾斜仪、GPS 系统或北斗系统；主跨跨度大于或等于 200m 的斜拉桥宜在主梁跨中采用 GPS 系统或北斗系统监测整个截面竖向、横向、纵向及扭转位移；悬索桥主缆变形监测宜选用 GPS 系统或北斗系统；索塔塔顶变形监测宜采用倾斜仪、GPS 系统或北斗系统；主跨跨度大于 600m 的悬索桥宜在主梁跨中采用 GPS 系统或北斗系统监测整个截面竖向、横向、纵向及扭转位移。

5.4 监测点布置

5.4.1 监测点布置是捕捉监测内容有效信息的关键环节，测点要能反映监测内容的实际状态及变化趋势。在结合结构分析结果布置测点时，宜对结构的内力分布、变形和动力特性等作全面的分析，选

择结构响应及变形较大的部位，并结合现场实际情况确定测点位置。测点的数量既要考虑到监测系统的可靠性，又要考虑经济性。

5.5 监测频次

5.5.1 桥梁运营期监测周期一般比较长，重要结构为全寿命监测周期，这样随着时间的推移会产生海量的监测数据，为了保证对采集数据的科学存储与管理，需分时段确定数据采集频次，满足数据分析、安全预警及结构评估要求。

5.6 监测数据分析

5.6.1 数据分析包括统计分析和特殊分析，统计分析包括最大值、最小值、均值、均方根值、累计值等统计值；特殊分析包括风参数分析、模态分析等。采集数据应以日、月、年为统计间隔获得其统计值。温湿度、应变、位移等监测变量，应给出以日、月、年为统计间隔的统计值。

5.7 结构状态评估

5.7.1 当发生突发事件或被监测桥梁触发预警，且可能影响桥梁结构安全时，应结合现场检测、桥梁荷载试验等检测手段与专家论证，及时进行桥梁安全评估。

5.7.3 将各类传感器监测数据特征值与预先设计计算确定的容许值进行对比，分析结构安全的方法。

5.7.4 利用桥梁结构动力特性分析的基本思想是桥梁结构的模态参数(固有频率、模态振型和模态阻尼)为结构物理特征(质量、阻尼、刚度)的函数。因此，结构物理特性的改变将导致模态参数改变。通过对来自桥梁结构的振动信号进行模态分析，辨识出模态参数，

进而对桥梁结构的物理特性进行监测。结构物理特性的改变被进一步用来对结构的损伤严重程度和位置进行预测。

5.7.6 模型修正是利用结构实测数据（一般是模态参数）来修正结构的初始理论模型，使修正后的结构模型的响应与结构的实测响应相一致。而用模型修正法进行损伤识别时，应把有限元基准模型作为结构的初始理论模型，把损伤后的结构响应作为结构实测数据修正后的结构模型与初始基准模型的差异即反映为结构的损伤。

若有高精度的有限元基准模型可供利用时，可采用模型修正的方法进行结构物理参数辨识进而实现结构损伤识别的目的。模型修正法进行损伤识别是根据实测数据修正现有模型，修正后模型与原模型的差异即为结构损伤，因此在用模型修正方法进行损伤识别前，应具备与损伤前实测数据吻合的高精度有限元基准模型。模型修正方法已经较为成熟，可根据实际需要选用适当的方法。

神经网络是一种基于数据的非参数化非线性建模方法，其用于损伤识别的基本步骤，是构建结构的损伤数据集合，对神经网络进行训练，校验神经网络的有效性，利用训练得到的神经网络模型进行损伤识别。结构的损伤数据应根据用途划分为训练集、校验集、测试集。为了得到较好的结果，训练集一般应进行归一化。神经网络近年来在结构损伤识别中得到了广泛应用。常用的神经网络模型有：BP 神经网络、RBF 神经网络、概率神经网络、自组织神经网络和模糊神经网络等，其中，最为常见的神经网络模型为 BP 神经网络和 RBF 神经网络。神经网络的拓扑结构应根据所解决的问题来选择，也可采用试错法或遗传算法以及其他优化方法确定。

遗传算法是模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理的生物进化过程的计算模型，是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。遗传算法将问题的求解表示成染色体（在计算机语言中一般用二进制码串表示），从而构成一个染色体群，将他们置于问题的环境中，遵循优胜劣汰的原则，通过不断循环执行选择、交叉、变异等操作，逐渐逼近全局最优解。遗传算法对其目标函数即不要

求连续，也不要求可微，仅要求可以计算，而且它的搜索范围始终遍及整个空间，操作方便，鲁棒性强，容易得到全局最优解。

小波变换法先对采集的数据进行离散，再对局部信号放大和聚焦，可以检验出信号突变的位置，从而精确的指出损伤发生的时刻，非常适合于分析和识别结构响应中其他方法难以发泄的局部损伤信息。小波变换对应的每一个小波基都有自己的结构和特性，分析效果也有所不同，因此小波基的选取很关键，目前主要凭借经验选取。

希尔伯特-黄变换 (HHT)是美籍华人 Norden E Huang 在 Hibert 变换的基础上发展的一种方法，是一种专门针对非线性、非稳态时间序列进行分析的时域分析方法，适合分析非平稳过程的信号处理。该方法主要分两步，首先对信号进行经验模态分解，得到一系列的本征模函数或称本征模信号，然后对 IMF 进行 Hilbert 变换，即可得到 Hibert-Huang 谱。基于 Hibert-Huang 变换的额 Hibert 谱比小波谱更能清晰地刻画信号能量随时间、频率的分布。该方法以瞬时频率为基本量，以本征模信号为基本时域信号，比以往的时域分析方法更能反应信号的时域特征。

结构损伤识别是一个正在蓬勃发展的新兴研究领域，大量的新的研究成果不断涌现，如 ARMA 模型方法、响应面法、奇异值检验方法等，因而，在实际工作中，也可采用其他的有效的损伤识别方法。