

吉林省工程建设地方标准

# 市政桥梁结构监测系统标准

Municipal bridge structure monitoring system standard

DB22/T 5054 -2021

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：2021年03月16日

2021·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9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《城镇道路泡沫沥青冷再生混合料技术 标准》等5项吉林省工程建设地方标准的通告

现批准《城镇道路泡沫沥青冷再生混合料技术标准》《城镇道路温拌橡胶改性沥青混合料技术标准》《加热电缆地面辐射供暖技术标准》《智慧工地全景成像测量标准》《市政桥梁结构监测系统标准》为吉林省工程建设地方标准，编号依次为：DB22/T 5050—2021、DB22/T 5051—2021、DB22/T 5052—2021、DB22/T 5053—2021、DB22/T 5054—2021，自发布之日起实施。

吉林省住房和城乡建设厅  
吉林省市场监督管理厅  
2021年03月16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〈2020 年全省工程建设地方标准制定(修订)计划(一)〉的通知》(吉建办〔2020〕1号)的要求,编制组会同有关单位,经过调查、深入研究,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 传感器子系统;5 数据采集子系统;6 数据传输子系统;7 数据存储管理子系统;8 预警评估子系统。

本标准由吉林省建设标准化办公室负责管理,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办公室(地址:长春市民康路 519 号;电话:0431-88932615;邮政编码:130041,E-mail:jljsbz@126.com),供今后修订时参考。

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  
北京科技大学  
大连理工大学  
吉林大学  
哈尔滨工业大学  
长春市市政设施维护管理中心  
长春市建筑工程质量检测中心  
北京煜星科技股份有限公司  
北京替帝西交通科技有限公司  
中公实业工程咨询(吉林)有限公司

吉林省瑞凯科技股份有限公司  
大连航天北斗科技有限公司  
深圳市简测智能技术有限公司  
上海隼星传感技术有限公司

本标准主要起草人员：张天申 班晓娟 任亮 王伯昕  
贾子光 马腾峰 陈小旭 邹亮  
宋刚 王霞 白石 祝宇鸿  
何丽莉 袁兆麟 马博渊 孙健  
李建国 李学颖 杜艳韬 刘召起  
杨明山 王景鹏 姜志军 刘福生  
陈春友 范文军 赵立权 王威  
蔡磊 公尚彦 赵一奇 过一  
王朝阳 杨加斌 刘倩 孙立佳  
本标准主要审查人员：周毅 陶乐然 郭东伟 胡封晔  
吕彦伟 李华 王永光

吉林省工程建设地方标准

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语 .....	2
3	基本规定 .....	5
4	传感器子系统 .....	7
4.1	一般规定 .....	7
4.2	环境与荷载监测 .....	7
4.3	结构整体响应监测 .....	8
4.4	结构局部响应监测 .....	9
4.5	材料性能监测 .....	9
5	数据采集子系统 .....	10
5.1	一般规定 .....	10
5.2	采集设备 .....	10
5.3	采集方式 .....	11
5.4	采集模式 .....	11
6	数据传输子系统 .....	13
6.1	一般规定 .....	13
6.2	传输方式 .....	13
6.3	传输方式选择 .....	14
7	数据存储管理子系统 .....	16
7.1	一般规定 .....	16
7.2	数据处理 .....	16
7.3	数据安全 .....	17
7.4	数据库存储设计 .....	17
7.5	数据管理 .....	17
8	预警评估子系统 .....	19
8.1	一般规定 .....	19

8.2	数据展示 .....	19
8.3	数据分析 .....	20
8.4	安全预警 .....	22
8.5	一级评估 .....	23
8.6	二级评估 .....	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，确保桥梁结构运营安全可靠，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于市政桥梁结构的监测系统。

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

吉林省工程建设地方标准

## 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 结构监测系统 structure monitoring system

由安装在桥梁上的传感器以及数据采集、传输、存储与管理等软硬件构成，对桥梁的环境与荷载作用以及桥梁结构性能参数进行测量、收集、处理、分析，并对桥梁结构正常使用水平与安全状态进行评估和预警的系统。

### 2.0.3 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。

### 2.0.4 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。

### 2.0.5 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。

### 2.0.6 集中采集 centralized data collection

数据采集设备集中且数据采集统一的一种数据采集方式。

### 2.0.7 分布采集 discrete data collection

数据采集设备分散且数据采集不统一的一种数据采集方式。

### 2.0.8 混合采集 hybrid data collection

数据采集设备包含集中和分布的一种数据采集方式。

### 2.0.9 模拟信号 analog signal

模拟信号是指信息参数连续变化的信号。

### 2.0.10 数字信号 digital signal

数字信号是自变量因变量为离散的信号。

### **2.0.11 有线传输 wire transmission**

在两个通信设备之间通过有形介质,将信号从一方传输到另一方的技术。

### **2.0.12 无线传输 wireless transmission**

在两个通信设备之间不使用任何有形介质,而是通过空间传输的一种技术。

### **2.0.13 同步传输 synchronous transmission**

发送方和接收方的时钟是统一的、字符与字符间的传输是同步无间隔的数据传输方式。

### **2.0.14 异步传输 asynchronous transmission**

不要求发送方和接收方的时钟完全一样,字符与字符间的传输是异步的数据传输方式。

### **2.0.15 数据库 database**

长期储存在计算机内的、有组织的、可共享的数据集合。

### **2.0.16 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。

### **2.0.17 预警 early warning**

监测系统在监测数据特征值超过预警值时,发出异常情况警告的行为。

### **2.0.18 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。

### **2.0.19 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。

### **2.0.20 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。

### **2.0.21 损伤识别 damage identification**

基于所测量的结构响应数据，分析结构物理参数的变化，进而识别结构损伤的过程，其中包括疲劳裂纹、支座损伤、索损伤、混凝土开裂、腐蚀等损伤识别。

### **2.0.22 一级评估 evaluation: level 1**

将各类传感器监测数据特征值与预先设计计算分析确定的容许值进行对比，分析结构状态的过程。

### **2.0.23 专项检查 special inspection**

使用专业技术手段为实现特定目的而开展的桥梁检查活动。

### **2.0.24 二级评估 evaluation: level 2**

在一级评估的基础上，进行结构损伤识别、模型修正，判断结构性能状态等级的过程。

吉林省工程建设地方标准

## 3 基本规定

**3.0.1** 监测系统应具有传感器子系统、数据采集子系统、数据传输子系统、数据存储管理子系统、预警评估子系统，并通过系统集成技术将各个子系统集成为协调运行的整体。

**3.0.2** 监测系统设置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设置结构监测系统；

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，继续运营的桥梁应设置结构监测系统；

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设置结构监测系统；

4 主要承重构件采用新技术、新材料、新工艺建设，需要对其结构随时间、环境因素变化进行研究的桥梁宜设置结构监测系统。

**3.0.3** 监测系统应设定监测预警值，监测预警值应满足桥梁设计及被监测对象的控制要求。

**3.0.4** 监测数据和预警信息应实时在线显示，并可将预警信息传送给运维管理人员。

**3.0.5** 监测系统应立足于长期规划，涵盖桥梁结构的建设及运营整个寿命周期，综合考虑施工监测、运营监测的功能需求，具有连续性和长期性。

**3.0.6** 监测系统硬件应满足季冻区气候条件，具有抗低温工作性能。

**3.0.7** 监测系统软件应技术先进、稳定可靠、操作简单、经济适用、便于维护和扩展升级。

**3.0.8** 监测系统应根据系统整体要求，确保各个子系统的协调性、数据传输可靠性、系统整体稳定性、环境适应性、可扩展性以及对其它系统平台的兼容性。

**3.0.9** 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。

**3.0.10** 监测系统实施不应影响桥梁结构承载能力，不应对桥梁结构造成损坏。

**3.0.11** 监测系统的维护与管理应由专业运维团队负责。

吉林省工程建设地方标准全文

## 4 传感器子系统

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 传感器子系统由环境与荷载监测、结构整体响应监测、结构局部响应监测和材料性能监测传感器构成,应实现对桥梁环境参数、车辆荷载参数、结构响应和性能的测量。

**4.1.2** 传感器的选择应符合以下原则:

1 传感器应满足测量精度、分辨率、灵敏度、量程、频响特性等要求,应根据项目具体要求及实际应用条件,选择具有良好耐久性、长期稳定性及抗干扰能力的传感器类型;

2 应根据桥梁结构状态、体系和形式以及经济条件,并结合桥梁监测中具体内容和目的选择适宜的传感器类型和数量;

3 宜选择具有温度补偿功能的传感器。

**4.1.3** 传感器的布置应按以下原则:

1 应基于力学分析结果,将传感器布置在结构静动力响应较大及易损伤位置;

2 测得的数据应能充分并准确地反映结构的动力特性;

3 宜在结构的既有损伤及缺陷位置,增设传感器并进行重点监测;

4 可合理利用结构的对称性原则,达到减少传感器的目的;

5 传感器便于安装和更换,减少信号的传输距离。

### 4.2 环境与荷载监测

**4.2.1** 风环境监测包括风速、风向、风压监测;风速风向监测宜选用三向超声风速仪或机械式风速仪;风压监测宜选用陶瓷型或扩散

硅型微压差传感器；处于大风影响区域的桥梁宜选择三向超声风速仪；风速仪宜布设在桥面两侧、塔顶、拱顶等位置，能够监测自由场风速。

**4.2.2** 地震动监测宜选用强震动记录仪或三向加速度传感器，应符合地震动监测相关标准的要求；对于大跨径桥梁，宜考虑地面运动的非一致性。

**4.2.3** 温度监测包括环境温度监测及结构温度监测，宜采用热电偶、热电阻或光纤光栅温度传感器等，其中结构温度监测传感器应结合桥梁设计规范或有限元模拟结果确定布设位置。考虑我省温度变化剧烈，传感器量程宜大于年极值温度的 1.5 倍。

**4.2.4** 湿度监测宜选择氯化锂湿度计、电解湿度计、电阻电容湿度计等，应布设在桥梁湿度变化较大的部位以及对湿度敏感的构件。

**4.2.5** 车辆荷载监测宜采用动态称重设备，传感器参数和安装要求应符合《动态公路车辆自动衡器》GB/T 21296 相关规定。

**4.2.6** 降雨量监测宜选用电容雨量计、红外散射式雨量计、单翻斗雨量计，监测测点宜布设在桥梁开阔部位。

### 4.3 结构整体响应监测

**4.3.1** 结构整体振动监测应选用加速度传感器，根据桥梁结构动力计算分析结果，考虑传感器重量、频率响应和灵敏度等因素，选用压电式、伺服式、电容式等加速度计。

**4.3.2** 结构整体位移和变形监测应选用位移计、倾角传感器以及北斗系统等，变形测点应反映桥梁结构整体性能变化，包括跨中竖向位移、斜拉桥主塔塔顶水平位移、悬索桥主缆关键位置空间位移、桥梁轴线方向连续变形等。



## 4.4 结构局部响应监测

**4.4.1** 应变监测应选用电阻应变传感器、振弦式应变传感器和光纤光栅应变传感器等,应根据被测结构在施工和运行阶段的环境条件进行选择。应变监测应进行温度补偿,考虑我省四季温度变化范围极大,可采用具有温度自补偿功能或低温度灵敏度的传感器。

**4.4.2** 索力监测应选用磁通量传感器、加速度传感器(振动法)、压力传感器和光纤光栅应变传感器等。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。

**4.4.3** 裂缝监测应选用光纤类位移计、振弦式测缝计、应变式测缝计等,宜与量测、检测等方式相结合,对既有裂缝及可能发生开裂的区域进行监测。

**4.4.4** 支座反力监测宜选用测力支座;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。

## 4.5 材料性能监测

**4.5.1** 腐蚀监测可选用沿混凝土保护层深度安装的多电极传感器,传感器应能分辨腐蚀类型,测定腐蚀速率。监测位置应结合结构特点、特殊部位、连接位置的腐蚀速率等因素确定。

**4.5.2** 疲劳监测可选用三向应变传感器,根据结构计算分析和结构易损性分析结果布设在易于或已出现疲劳破坏初期征兆的部位。

## 5 数据采集子系统

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 数据采集子系统由数据采集设备、数据采集软件构成，应实现传感器数据同步采集，确保获得高精度、高品质、不失真数据。

**5.1.2** 数据采集设备应选择兼容性、耐久性和适应性好的产品，且能够与传感器性能匹配。宜选择具有多类型传感器同步采集功能的设备。

**5.1.3** 数据采集设备应具备对数据进行预处理的功能，数据预处理宜实现对信号进行滤波、降噪、截取和异常值处理等功能，提高信噪比。

**5.1.4** 应根据传感器系统空间分布与现场具体条件，选择合理的采集方式和采集模式。

**5.1.5** 数据采集站应满足防水、防尘、防雷、防损坏等基本要求，天气寒冷时，宜采取保温加热措施。

**5.1.6** 数据采集软件应与数据管理系统稳定、可靠地通信，可本地或远程调整设备配置，可通过标签数据库或本地配置文件进行信息读取。

### 5.2 采集设备

**5.2.1** 数据采集设备应根据传感器类型及信号传输方式，结合精度、分辨率、兼容性、同步性等要求进行选型。

**5.2.2** 模拟信号宜选用基于 D 型、BNC、XLR 等接口的采集设备；数字信号宜选用基于 CAN、串行接口、RJ45、PCI、PCIE、USB 等总线采集设备。

**5.2.3** 光信号数据采集设备应根据光纤传感器的种类、数量、波长范围、信号特征及系统对信号调理的要求，选用合适的信号调理设备，并保持与数据传输和存储管理接口的兼容。

**5.2.4** 数据采集设备宜具有自校准功能。使用无自校准功能的设备时应按要求进行定期校准。

### 5.3 采集方式

**5.3.1** 应根据桥梁的规模、测点位置和数量、监测设备类型，合理设计数据采集方式，可采用集中采集、分布采集、混合采集三种方式。

**5.3.2** 当传感器子系统空间分布较集中、传感器网络与采集站的距离较近时宜采用集中采集。

**5.3.3** 当测点和采集设备较多，各监测部位相距较远且相对分散时，宜采用分布采集。

**5.3.4** 当同一桥梁结构监测中传感器子系统空间分布较为分散时，总体可设置多个子采集站进行分布采集，同时在某些局部采用集中采集。

### 5.4 采集模式

**5.4.1** 数据采集模式应根据桥梁结构监测的功能需求、监测变量类型，以及数据采集设备的采样频率、运算处理、数据传输和存储等方面的性能合理制定。

**5.4.2** 桥梁结构监测的采集模式包括定时采集、触发采集、连续采集、混合采集等。混合采集是指采用定时采集和触发采集相结合的方式，当监测变量未出现异常时，采用定时采集，当监测变量超过预警值时，采用触发采集。

**5.4.3** 温度、湿度、雨量等环境监测变量，以及结构静态位移、静态应变、索力、腐蚀等结构整体与局部响应监测变量，应采用定时采集模式。

**5.4.4** 风速风向、风压、地震作用、车辆荷载等环境与荷载监测变量，以及加速度、动态位移、动态应变等结构整体与局部响应监测变量，应采用触发采集模式。触发预警值应根据桥梁结构形式以及受力特点确定。

**5.4.5** 桥梁通车初期 3 年内，以及桥梁安全评估结果发现结构存在较大损伤或关键构件异常时，宜采用连续采集模式。

吉林省工程建设地方标准

## 6 数据传输子系统

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 数据传输子系统由数据传输设备与线缆、数据传输软件构成，应具备对来自数据采集子系统的各种数据予以接收、传输的能力。

**6.1.2** 数据传输子系统应坚持因地制宜的原则，并综合考虑数据传输距离、工程各阶段特征和工程现场地形条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素，灵活选取合适的数据传输方式。

**6.1.3** 数据传输的硬件应能保证监测系统各组成部分间的物理连接，应提供足够的带宽和数据冗余度，保证传输的安全、可靠、高质量和便于维护。

**6.1.4** 数据传输的软件设计、开发和安装宜考虑质量检查、传输校验、同步性检查、缓存管理、通信异常检查、安全管理与兼容性。

### 6.2 传输方式

**6.2.1** 数据传输按照硬件物理连接形式分为：

- 1 有线传输；
- 2 无线传输。

**6.2.2** 有线传输技术应满足传感器、数据采集设备、数据存储之间通讯距离、通讯速率及带宽要求。宜选用的有线传输方式包括：

- 1 包括双绞线、同轴电缆；
- 2 有线宽带或宽带专线通讯；
- 3 基于单模光纤的光通信技术。

**6.2.3** 无线传输带宽应满足现场设备数据传输速率，并预留 1 倍的冗余量以满足突发事件数据采集需求。可选用的无线传输方式包括：

1 低功耗无线广域网（物联网）：NB-IOT、LoRa，适用于传感器至无线网关的传输；

2 无线宽带网：3/4/5G、工业级无线网桥或其它宽带微波通讯，适用于传感器至数据采集设备之间或数据采集设备至数据存储之间的数据传输。

**6.2.4** 数据传输子系统按照传输速度不同，可分为两种方式：

- 1 异步传输；
- 2 同步传输。

**6.2.5** 数据按传输同步的基准，可分为：

- 1 基于信号的同步；
- 2 基于时间的同步。

### 6.3 传输方式选择

**6.3.1** 数据传输方式宜选用技术成熟、抗干扰性强、稳定可靠的主流有线、无线或光通信技术，并优先选用有线通讯以保证数据传输的稳定性及可靠性。

**6.3.2** 有线传输方式的选择应符合如下规定：

1 对于电信号传感器，宜采用二芯屏蔽电缆、同轴电缆等符合所选用传感器技术要求的电缆；当传输距离相对较短且无强电磁干扰时，可采用模拟信号进行传输；

2 在满足传感器输出特性的前提下，应尽可能减小电缆模拟信号输出电缆的长度或就近转换为数字信号以符合远程传输要求；当传输距离较远或有较强电磁干扰时，宜采用 RS-485、工业以太网等数字信号或光纤传输技术进行传输；

3 使用光纤传感器时，宜根据所配套光纤数据采集设备组成独立的光纤光栅数据传输采集子系统，并通过组建光纤以太网或利用基于互联网的有线宽带、专线实现数据传输。

**6.3.3** 无线传输方式的选择应符合如下规定：

1 采用无线传输方式时，宜选用基于 NB-IOT、LoRa 无线传输技术与配套的无线网关实现传输；

2 当有线或光纤传输方式因通讯距离或环境条件受限时，现场数据传输方式宜采用 3/4/5G 网络、基于 WLAN 的无线网桥或微波传输；

3 相对偏僻、无公共基础通讯设施的环境，宜选用基于 WLAN 的无线网桥或其它微波传输方式。

**6.3.4** 桥梁现场与监控管理中心之间的远距离数据传输宜采用光纤传输技术、无线传输技术及两者相结合的方式。

**6.3.5** 传输同步的速度宜根据各级设备、监测系统以及数据分析的要求选择。要求高速传输的场合，宜采用严格同步传输，要求低速传输的场合，宜采用异步传输。

**6.3.6** 当数据传输子系统选择同步传输时，应结合现场实际情况，综合考虑传感器间距离、工程各阶段特征及工程现场地形条件等因素，选择合适的同步技术。

1 对于小范围的结构监测系统，宜采用基于信号的同步技术。当采用基于信号的同步技术时，在设计时应考虑路线最优化，并注意外部的突发事件对信号可能造成的干扰；

2 对于大范围的结构监测系统，宜采用基于时间的同步技术；

3 根据工程实际需要，可选取一种或两种同步技术组合使用。

## 7 数据存储管理子系统

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 数据存储管理子系统由数据处理、数据库、数据查询与管理软硬件构成，应实现监测数据的处理、查询、存储和管理等功能。

**7.1.2** 管理系统应采用统一数据标准格式和统一数据接口，以满足其信息系统应用的需求，同时保证传输数据的安全性。

**7.1.3** 管理系统应对采集的数据进行适当的数据处理，既有效过滤噪声，减轻数据存储的负担，又保留监测需要的信号数据。

**7.1.4** 管理系统宜具备系统状态自检、数据备份与清除、故障判断与恢复等功能。

### 7.2 数据处理

**7.2.1** 数据处理过程中宜正确区分并处理粗误差、系统误差、偶然误差等，并剔除系统自身产生的异常数据。

**7.2.2** 数据处理可根据数据类型进行专项处理，平稳信号频谱分析宜采用离散傅里叶变换，非平稳信号宜采用时频域分析方法。

**7.2.3** 频谱分析宜选择合适窗函数进行信号截断，以减少对频谱分析精度的影响。

**7.2.4** 时域变换宜利用自相关函数检验数据的相关性和混于随机噪声中的周期信号，宜利用互相关函数确定信号源位置，并检验受通道噪声干扰的周期信号。



## 7.3 数据安全

**7.3.1** 需对数据存储系统中的硬盘介质构建冗余磁盘阵列，所选构建模式应具备数据校验及可恢复能力。

**7.3.2** 当系统不是采用公有云平台进行部署，系统应具备数据容灾备份能力以保证异常情况发生时存储数据的安全性以及数据访问服务的快速重启。

**7.3.3** 当系统采用浏览器/服务器模式进行开发部署时，为了保证用户隐私及系统数据安全，所有对于页面以及数据的网络访问应采用 https 协议。

## 7.4 数据库存储设计

**7.4.1** 数据库软件选型时宜充分考虑软件价格、运维成本、稳定性、扩展性、安全性等多方面因素。

**7.4.2** 数据库表结构设计应满足以下标准：

1 关系型数据库表结构应满足 BCNF 范式以避免数据的冗余，且应具有较强的业务变动兼容性；

2 数据库表存储内容应至少包括：监测点位数据、监测设备信息、监测数据、桥梁检测报告、用户数据、系统操作日志，宜包含桥梁三维模型、桥梁结构分析指标数据及相关评估报告；

3 应分别为原始监测数据以及加工处理之后的监测数据设计各自的存储形式。

## 7.5 数据管理

**7.5.1** 系统应具备权限管理功能以对所有用户的可查看数据范围及操作权限进行限定。

**7.5.2** 当监测数据量较大或单台服务器性能难以满足高效管理要求时，宜采用分布式存储技术组建数据存储集群，并配置负载均衡中间件。

**7.5.3** 由于现场条件限制或其他原因导致无法部署私有数据管理系统时，宜采用云平台托管相应数据及系统软件。

**7.5.4** 系统应对录入数据进行定期备份，备份方式宜采用日增量备份外加月全拷贝备份。

**7.5.5** 系统应对历史数据进行定期清理，清理周期宜不少于1次/年，同时应保证系统对于历史监测数据的保存年限不少于15年，重要数据宜永久保存。

**7.5.6** 存储管理系统为数据预警与评估子系统开放的数据访问接口设计宜遵循 RESTful API 接口规范。

吉林省工程建设地方标准

## 8 预警评估子系统

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 预警评估子系统应实现数据实时在线展示、数据分析、安全预警及评估等功能。

**8.1.2** 数据分析应对监测数据进行统计分析和特殊分析，为安全预警、一级评估、二级评估提供基础数据。

**8.1.3** 安全预警应根据监测数据分析结果进行实时预警。

**8.1.4** 预警值应根据结构的设计值、相关现行规范所规定的容许值，并结合结构的重要性等多种因素综合确定，可依据结构运行状况对预警值进行校验和调整。

**8.1.5** 一级评估应对监测数据统计特征值与规范容许值、设计值进行对比分析，对结构状态进行判定。

**8.1.6** 二级评估应基于监测数据分析、一级评估结果、专项检查，对结构性能进行评估，确定结构性能状态等级。

### 8.2 数据展示

**8.2.1** 数据展示形式应结合监测数据特性，通过图、表等数据可视化工具美观、简明地呈现监测数值及数据的深层次含义。

**8.2.2** 数据展示模块所呈现内容应包括以下类型：

- 1** 系统应支持对桥梁各个点位的实时监测数据进行展示；
- 2** 系统应支持对历史监测数据的检索展示，检索条件由用户给出，检索方式应支持点位检索、设备检索、监测类型检索、时间区间检索以及多筛选条件的混合；

3 系统应支持对桥梁检测报告、人工巡检报告、设备养护记录等类型文件的下载及在线预览。

**8.2.3** 对于具有典型周期特性的监测数据类型，如环境数据、车辆数据等，宜在展示时显示历史同期数据用于进行对比观察。

**8.2.4** 系统应具备数据对比展示功能，根据用户指定的多个监测点位或多个监测项，协同展示依时间轴对齐的不同监测指标的变化趋势，便于用户进行多指标的对比分析。

**8.2.5** 数据处理及渲染时间应满足实时性要求，数据检索查询界面响应时间应不大于 2s，统计分析页面响应时间应不大于 5s。

### 8.3 数据分析

**8.3.1** 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、平均值、均方根值、累计值等统计值；特殊分析包括荷载谱分析、风参数分析、模态分析、疲劳分析等。

**8.3.2** 环境与荷载监测数据分析符合下列规定：

1 分析风参数，宜包括风速、风向、风攻角、脉动风速谱、湍流强度、阵风系数及各等级风速疲劳谱等；

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；

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；

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；

5 分析车辆荷载监测数据，应分析通过桥梁的车流量、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；宜将车辆荷载统计和模型转化为疲劳荷载谱，也可将车辆荷载重量、数量和相应时间直接作为车辆疲劳荷载；

6 分析雨量监测数据，宜包括每小时最大降雨量、累计降雨量。

### 8.3.3 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、破断索力进行对比分析；宜根据索的应力幅值计算疲劳损伤指数；

3 分析裂缝监测数据，应对裂缝长度、宽度、深度的最大值进行分析；

4 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。

### 8.3.4 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，模态分析符合下列规定：

(1) 模态分析所用加速度数据采集时长宜不小于 10min；

(2) 宜采用频域识别法、时域识别法或时频域识别法进行模态分析；

(3) 模态分析应考虑温度对自振频率的影响、风速对阻尼比的影响、振动幅值对自振频率和阻尼比的影响，振型可不考虑上述因素的影响；

(4) 获取的模态参数，可为结构模型修正及损伤识别提供基础数据。

**8.3.5** 材料性能监测数据分析符合下列规定：

1 分析腐蚀监测数据，应对腐蚀深度最大值以及腐蚀进程进行分析；

2 分析疲劳监测数据，应对应变时程数据进行分析，包括平均值、最大值、最小值、应力幅最大值，钢结构宜根据雨流计数法和 Miner 线性损伤理论计算疲劳损伤指数。

## 8.4 安全预警

**8.4.1** 安全预警内容应包括：预警级别、预警传感器编号和位置、预警值。

**8.4.2** 安全预警级别宜设黄色、橙色和红色三级：

1 黄色预警：管理人员应对环境、荷载、结构响应加强关注，并进行跟踪观察；

2 橙色预警：管理人员应对环境、荷载、结构响应连续密切关注，查明报警原因，采取适当检查；

3 红色预警：管理人员应采取应急管理措施以确保桥梁结构安全运营，并应及时进行结构性能评估。

**8.4.3** 在系统发出预警指令后，系统应通过声、光、短讯等手段及时预警。

**8.4.4** 通过监测数据分析，获取结构各监测内容特征值，超过黄色预警值，则预示异常，由系统发出黄色预警信号。

**8.4.5** 通过监测数据分析，获取结构各监测内容特征值，超过橙色预警值，由系统发出橙色预警信号。

**8.4.6** 通过监测数据分析，获取结构各监测内容特征值，超过红色预警值，由系统发出红色预警信号。

## 8.5 一级评估

**8.5.1** 根据数据分析结果定期开展桥梁结构一级评估。

**8.5.2** 基于数据分析结果进行一级评估时，应符合下列规定：

1 根据应变计算应力时应考虑温度效应的影响，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 当拉索、吊索、吊杆、系杆应力小于设计值时，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 当拉索、吊索、吊杆、系杆应力大于规范容许疲劳应力时，可判定索体结构疲劳状态异常，应进行疲劳状态评估；

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；

6 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；

7 获取的结构动力特性应与设计值进行对比，当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。

**8.5.3** 当一级评估中有下列情况，应进行专项检查：

1 关键构件监测点位置拉、压应力大于设计值，应力状态异常；

2 关键构件监测点位置疲劳状态超过中等损伤，疲劳状态异常；

3 拉索、吊索、吊杆和系杆应力大于或等于设计值，索体结构状态异常。

## 8.6 二级评估

**8.6.1** 二级评估应基于数据分析、一级评估和专项检查结果进行结构有限元模型修正与结构损伤识别，确定结构性能状态等级。

**8.6.2** 结构有限元模型修正宜采用设计参数修正法，参数可选择应变、曲率、挠度等静力参数，以及结构固有频率、应变模态、位移振型等动力参数；在监测条件允许的情况下，可采用多目标参数、动静力参数组合的模型修正法。

**8.6.3** 结构损伤识别可采用下列方法：

1 利用结构刚度（包括结构单元刚度）、位移、应变、残余力、材料参数如弹性模量、单元面积或惯性矩等来构建损伤指标的静力参数法；

2 利用频率比、振型变化、振型曲率、应变模态振型、MAC、COMAC、柔度曲率、模态应变能、里兹向量等来构建损伤指标的动力参数法；

3 利用矩阵型、基于参数灵敏度或随机模型等进行修正的模型修正法；

4 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）等辅助方法。

**8.6.4** 二级评估应对结构整体、结构主要部件和结构的次要部件分级评估，其评定等级分别由表 8.6.4-1、表 8.6.4-2 和表 8.6.4-3 确定。

表 8.6.4-1 结构整体性能评定等级

等级	总体评价	性能状况描述
1	完好	全新状态，功能完好，在设计荷载和监测荷载作用下，结构稳定，所有构件的内力、变形均小于设计值且满足现行规范
2	较好	有轻微损伤，对结构使用功能无影响



续表 8.6.4-1

等级	总体评价	性能状况描述
3	中度损伤	有中等损伤，尚能维持正常使用功能
4	损伤严重	主要构件有大的损伤，严重影响结构使用功能
5	危险	主要构件存在严重损伤，不能正常使用，结构处于危险状态

表 8.6.4-2 结构主要部件性能评定等级

等级	总体评价	性能状况描述
1	完好	全新状态，功能完好，在设计荷载和监测荷载作用下，结构部件稳固，内力、变形均小于设计值且满足现行规范
2	较好	功能良好，部件出现有局部轻微缺损或污染
3	中度损伤	部件有中等缺损，或出现轻度功能性病害，但发展缓慢，尚能维持正常使用功能
4	损伤严重	部件有严重缺损，或出现中等功能性病害，且发展较快，结构变形小于或等于规范值，功能明显降低
5	危险	部件严重损伤，或出现严重功能性病害，且有继续扩展现象，关键部分的材料强度达到极限，变形大于规范值，结构的强度、刚度、稳定性不能达到安全通行的要求

表 8.6.4-3 结构次要部件性能评定等级

等级	总体评价	性能状况描述
1	良好	全新状态，功能良好，部件有轻度损伤
2	中度损伤	部件有中等损伤，但不影响使用功能
3	严重损伤	部件有严重缺损，出现功能降低，进一步恶化将不利于主要部件
4	危险	部件有严重损伤，失去应有功能，严重影响正常交通

**8.6.5** 二级评估应给出具体维护管理建议，并根据实际情况及时调整措施。

## 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 《动态公路车辆自动衡器》 GB/T 21296;
- 3 《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》 JT/T 1037;
- 4 《建筑变形测量规范》 JGJ 8;
- 5 《城市桥梁设计规范》 CJJ 11;
- 6 《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

# 市政桥梁结构监测系统标准

DB/T 5054 – 2021

条文说明

## 制订说明

《市政桥梁结构监测系统标准》编制组经过调查、深入研究，依据国家相关标准，结合我省具体情况，总结实践经验，制定本标准。

为了有关人员在使用本标准时能理解和执行条文规定，本标准按章、节、条顺序编写了本标准的条文说明，对条文的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握本标准规定的参考。

吉林省工程建设地方标准

# 目 次

1	总则	33
3	基本规定	34
4	传感器子系统	37
4.1	一般规定	37
4.2	环境与荷载监测	37
4.3	结构整体响应监测	38
4.4	结构局部响应监测	38
4.5	材料性能监测	38
5	数据采集子系统	40
5.1	一般规定	40
5.2	采集设备	41
5.3	采集方式	42
5.4	采集模式	42
6	数据传输子系统	44
6.1	一般规定	44
6.2	传输方式	44
6.3	传输方式选择	45
7	数据存储管理子系统	47
7.1	一般规定	47
7.2	数据处理	47
7.3	数据安全	49
7.4	数据库存储设计	49
7.5	数据管理	50
8	预警评估子系统	51
8.1	一般规定	51

8.2 数据展示 .....	52
8.6 二级评估 .....	52

吉林省工程建设地方标准全文公开



# 1 总 则

**1.0.1** 近年来随着桥梁工程、传感技术、通信技术、物联网、大数据、云存储、计算机技术等多学科交叉联合，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，市政桥梁很少有实施，同时针对市政桥梁的监测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系统的应用，保障市政桥梁的运营安全，为桥梁管养提供技术支持。

## 3 基本规定

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

传感器子系统由针对环境与荷载、结构响应、结构性能监测三类指标的传感器组成，能实现桥梁环境参数、荷载及结构响应的数据获取功能。

数据采集与传输子系统由采集设备、传输设备及软件模块组成，能实现多种类传感器的数据同步采集与传输功能，以保证数据质量。

数据存储与管理子系统由数据处理、数据库、数据管理软件及硬件组成，能实现桥梁监测信息的归档、查询、存储、管理等功能。

数据预警与结构评估子系统具备实时数据在线显示和预警功能，结构安全预警和评估功能。

**3.0.2** 本条文针对市政桥梁结构情况规定了设置结构监测系统的几种情况：

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。

**3.0.3** 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。

**3.0.5** 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。

**3.0.6** 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抗低温工作性能。

**3.0.9** 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。

吉林省工程建设地方标准

## 4 传感器子系统

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 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、降雨量等；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；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；结构性能监测内容主要有：腐蚀和疲劳监测。

**4.1.2** 本条规定了传感器的选用原则。传感器应满足桥梁结构全生命周期监测的基本要求，根据桥梁的结构形式，以及需要的监测内容，合理选择传感器的类型和数量，满足桥梁结构施工阶段和使用阶段的监测要求。传感器在监测期间应具有良好的稳定性和抗干扰能力，并具有温度补偿功能。

**4.1.3** 本条规定了传感器的布置原则。对于桥梁结构整体动力响应监测，测点位置应能满足模态保证准则（MAC）等振型识别的要求。对于局部响应监测，应根据结构分析结果选择力学响应（如应力、应变）较大的热点位置。如无法直接在热点位置安装传感器，则应选择靠近热点位置的关键点进行监测，通过分析该位置与热点位置的关联性，获得热点位置的力学响应。对于桥梁结构既有损伤及缺陷（如混凝土裂缝）位置，宜增设传感器进行重点监测，并结合损伤识别方法对损伤演化情况进行分析。

### 4.2 环境与荷载监测

**4.2.2** 地震动监测所选用的传感器和记录仪，应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982-2014中附录 A.0.3的技术指标要求。

### 4.3 结构整体响应监测

**4.3.1** 根据桥梁结构主要振型，选择三向、双向和单向加速度传感器；大跨径桥梁选用低频性能优良的电容式或伺服式加速度传感器，中小跨度桥梁选用电容式或压电式加速度传感器。

**4.3.2** 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。

### 4.4 结构局部响应监测

**4.4.3** 裂缝传感器量程应大于裂缝宽度，测量方向应与裂缝扩展方向垂直；对于判断结构是否发生开裂，应将传感器布置在结构关键构件、关键区域进行分布式布设；对于结构既有裂缝，应将传感器布置在开裂部位垂直方向，监测裂缝的宽度和长度变化。

### 4.5 材料性能监测

**4.5.1** 混凝土中氯离子及其它离子的渗入，会导致混凝土保护层的劣化甚至失效，随之埋置于内部的钢筋开始锈蚀、胀裂并失效。采用沿混凝土保护层深度安装的多电极传感器，通过埋设参比电极提供各项参数的参比基准，获取保护层中各项有害杂质的数据。此外，传感器应能分辨腐蚀类型，测定腐蚀速率。监测位置应结合结构特

点、特殊部位、连接位置的腐蚀速率等因素确定，在易于腐蚀和腐蚀速率快的部位埋设多电极传感器。

**4.5.2** 根据结构计算分析和结构易损性分析结果，初步筛选出疲劳危险点，利用谱分析法和应力集中系数法计算各类危险点的损伤度，确定疲劳监测点的位置。疲劳监测选用动应变监测的传感器，传感器在设计时，应变计疲劳寿命不宜小于所安装构件的疲劳寿命。在满足精度和量程要求的情况下，优先考虑抗电磁干扰能力和长期稳定性好的传感器。应考虑疲劳监测传感器与构件的可靠连接，采用埋入、焊接、螺栓连接等方式，不建议采用粘接剂等粘贴安装方法。

吉林省工程建设地方标准

## 5 数据采集子系统

### 5.1 一般规定

**5.1.2** 数据采集设备的稳定性是指设备长期使用后仍能保持正常的工作性能，且对工作环境具有较强的适应能力和抗干扰能力。对于信号同步性要求较高的监测项目，宜选用多类型传感器同步采集设备，实现硬件级信号同步。

**5.1.3** 数据预处理应进行滤波降噪，方法一般包含低通滤波、带通滤波、高通滤波、数据平均处理等。实际监测中，数据采集系统和数据分析处理系统有多种组合形式，比如有的监测系统将数据采集设备、数据处理（预处理、后处理）设备、数据分析设备进行上下级布置，各级间通过网络传输连接，而有的监测系统会将数据采集、数据处理到分析都集中在本地同一个终端中。同样的，在滤波器的设计和配置上，有的监测系统会分别对数据采集设备、数据处理设备、数据分析设备都有单独的滤波器设计和配置，而有的监测系统会将数据采集、处理到分析设备进行统一的综合设计和配置。因此应根据监测具体需求来对滤波器进行设计和选用，其原则是应遵循最大限度滤除噪声和最大限度保留有用信号。采集数据中的噪声多属于高频信号时，此类信号宜在数据预处理阶段就采用低通或带通类型的数字滤波器进行滤波，对于振动模态分析的监测场合，应在数据的分析处理阶段对结构的振动信号进行分析，应对其结构静态成分（趋势项）利用处理软件的频谱分析滤波功能进行消除。

**5.1.4** 应根据桥梁的规模、测点位置和数量、监测设备类型，合理设计数据采集方式。测点及监测设备较多且监测部位距离较远且相对分散的桥梁宜采用分布式或总体分布式、局部集中式的混合方式进行数据采集；测点及监测设备较少且监测部位集中的桥梁，宜采



用集中式数据采集。采集站安置位置应能保证信号的传输质量，采集站与传感器间的传输距离应由信号传输衰减性能确定。

## 5.2 采集设备

**5.2.2** 模拟信号是用连续变化的物理量表示的信息，其信号的幅度，或频率，或相位随时间作连续变化，或在一段连续的时间间隔内，其代表信息的特征量可以在任意瞬间呈现为任意数值的信号。模拟信号接口通常指信号传输过程中物理连接的接口形式，对与其接口的选择，通常考虑接口的通用性、易用性、耐久性；D型、BNC、XLR等接口是比较常见的接口形式，易于获得，连接方便、易用，且耐久性较好。

数字信号指自变量是离散的、因变量也是离散的信号，这种信号的自变量用整数表示，因变量用有限数字中的一个数字来表示。在计算机中，数字信号的大小常用有限位的二进制数表示。总线是一种描述数字信号传输线路的结构形式，是一类信号线的集合，是子系统间传输信息的公共通道。通过总线能使整个系统内各部件之间的信息进行传输、交换、共享和逻辑控制等功能。CAN、串行接口、RJ45、PCI、PCIE、USB等总线为目前比较常用和通用的总线类型，应用范围广。

**5.2.3** 对于光纤光栅解调设备，应满足波长测量精度、重复性及波长漂移量等要求。解调设备能够适应长期监测要求，满足温度自补偿、绝对波长校正等长期性能要求。解调设备还需符合国家相关仪器设备标准对于冲击、振动、高低温、电磁干扰、潮湿等恶劣环境下工作的规定。

## 5.3 采集方式

**5.3.1** 测点及监测设备较多且监测部位距离较远且相对分散的桥梁宜采用分布采集或混合采集；测点及监测设备较少且监测部位集中的桥梁，宜采用集中采集。采集站与传感器的最远距离应根据传感器信号衰减传输性能确定。

**5.3.2** 集中采集：传感器系统空间分布较集中、传感器网络与采集站的距离较近（一般 $\leq 10\text{km}$ ）时宜采用此方法，即仅设置单一的中心采集站，根据实际情况，中心采集站可安置于被测结构外，也可以安置于被测结构内达到安置条件的区域。

**5.3.3** 分布采集：传感器系统空间分布较分散时，或集中采集方案传感器和采集站的连接距离超过传感器信号衰减传输性能所允许的最远距离时（一般 $> 10\text{km}$ ），宜设置多个子采集站，各子采集站与中心采集站直接或通过中继相连，其中需注意子采集站必须安置于具备设备安置条件的区域，传感器与采集站，子采集站与中心采集站的连接须可靠、稳定。

**5.3.4** 混合采集：指的是集中采集和分布式采集混合使用的方式。在同一桥梁结构的监测中，在传感器空间分布较为分散时，总体上可以设置多个子采集站进行分布式采集，而在特定局部可以用光纤传感网络直接连接中心采集站而采用集中采集。

## 5.4 采集模式

**5.4.1~5.4.2** 桥梁结构监测系统长期采集的数据集，或在高频方式下采集的监测数据容量巨大。数据容量大小合适与否，直接影响到监测系统识别和分析桥梁结构特征。长期存储海量的采集数据，既增加系统硬件设备的压力，也增加用户抽取数据进行结构分析时的工作量。因此在采集软件设计时，建议采取如下办法来解决海量数

据存储的问题：设置采集阈值来进行触发采集或存储。如应变等被测量波动较小接近噪声时，软件可以设置不采集或不存储、不发送；设置分时和定时触发采集的机制。即根据桥梁结构特点和监测需求，不进行连续性全时的采集和存储，而是采取分时段来确定采集、存储和发送的策略。

吉林省工程建设地方标准全文公示

## 6 数据传输子系统

### 6.1 一般规定

**6.1.2** 坚持因地制宜的原则，即要了解工程场地现场的各种条件，充分考虑到工程过程中可能遇到的各种问题，灵活选取合适的方式。根据工程各阶段施工特点和需要组建临时通信网络的，尽量选择无线传输方式，便于布设和维护。

**6.1.3** 在满足监测系统需求的前提下，硬件性能指标设计宜预留一定的冗余度，硬件宜预留一定的可扩展空间，便于匹配可能提高的监测要求。线路的布设拓扑应依据监测系统具体需求、传感器类型和其传输距离衰减性能、各级采集设备的传输能力、各场所和通信网络的现有条件以及施工现场条件等进行综合性的设计。传输线路的拓扑结构应符合国际和国家相关标准的要求。应考虑结构监测系统和各结构、电气、机电、通信、安全等多方面的协调，应按相关标准设计安全可靠、高效便利的传输子系统。

**6.1.4** 数据采集与传输软件在整个监测系统中十分关键，采集的数据为结构状态的分析提供直接依据，软件精确度、运行速度、传输质量、数据库设置、数据文件存取格式等均应严格的要求。此外为保证数据采集和传输的可靠性、实时性及同步性，软件应具有补发功能，当数据通信与传输过程由于故障而中断，在故障排除后，宜利用数据通道空闲时段将中断时间段内所有数据发送到接收端，通过设置时限避免因应答等待、重发及补发影响正常数据发送。

### 6.2 传输方式

**6.2.1** 有线传输是指两个通信设备之间使用有形介质连接，将信号

从一方传到另一方。常用的介质有双绞线、同轴电缆和光缆等，常用的接口有 RS232、RS422、RS485 和 RJ45 等。无线传输是指两个通信设备之间不使用任何物理连接，将信号通过空间传输的一种技术。通常可分为无线广域通信网（无线公网）和无线局域通信网两种方式。无线广域通信网络可采用 GPRS 和 CDMA 等方式；无线局域通信网可采用 TCP/IP 协议。

**6.2.4** 异步传输是以字符为单位进行传输，传输字符之间的时间间隔可以是随机的、不同步的。但在传输一个字符的时段内，收发双方仍需依据比特流保持同步，所以也称为起止式同步传输。异步传输方式实现简单，但需在每个字符的首尾附加起始位和停止位，因而它的额外开销大，传输效率低。这种方式主要用于低速传输的设备。同步传输是指在一组字符（数据包、帧）之前加入同步字符，同步字符之后可以连续发送任意多个字符。同步方式中，数据传输额外开销小，传输效率高。但是同步方式实现复杂，传输中的一个错误将影响整个字符组（而异步传输中的同样错误只影响一个字符的正确接收）。这种方式用于高速传输的设备。

**6.2.5** 基于信号的同步技术采用基于时钟同步模块的时钟频率共享技术，每个采集设备中装有时钟同步模块，再用有线介质将各个设备相连，以其中之一作为主模块，其余的作为从模块。主模块内部的时钟信号通过电缆同步从模块内部的时钟信号。采集设备的时间戳同步应采用同一网络时间服务器。基于时间的同步技术是系统各部分具有一个公共的时间基准参考，可以基于该基准时间生成事件、触发和时钟。对于长距离传输，可以利用包括 GPS、NTP、IEEE 1588 和 IRIG-B 等各种时间参考，借助绝对定时实现测量结果的关联与同步。

## 6.3 传输方式选择

**6.3.5** 传输同步的速度要求。异步传输：异步传输是以字符为单位

进行传输。传输字符之间的时间间隔可以是随机的、不同步的。但在传输一个字符的时段内，收发双方应依据比特流保持同步，所以也称为起-止式同步传输。异步传输方式实现简单，但应在每个字符的首尾附加起始位和停止位，因而它的额外开销大，传输效率低。这种方式主要用于低速传输的设备。同步传输：同步传输是指在一组字符（数据包、帧）之前加入同步字符，同步字符之后可以连续发送任意多个字符。同步方式中，数据传输额外开销小，传输效率高。但是同步方式实现复杂，传输中的一个错误将影响整个字符组（而异步传输中的同样错误只影响一个字符的正确接收），这种方式宜用于高速传输的设备。

吉林省工程建设地方标准

## 7 数据存储管理子系统

### 7.1 一般规定

**7.1.2** 数据库管理子系统应设计成为一个开放系统,通过标准的通信协议 TCP/IP 协议进行数据交换,能够针对不同的应用特点(包括数据特征、事务特征以及性能需求等)对系统核心(如事务调度策略、并发机制及存储模型等)进行策略配置或选择,满足不同应用环境对数据管理和处理的需求,与相关桥梁管理维护数据库进行数据整合或无缝集成,实现数据最大化共享。

**7.1.4** 系统状态自检包括传感器状态、设备状态与传输通信状态检查,自检期间宜尽量保证系统正常工作。数据备份是指为防止传感网络的数据处理与存储系统出现操作失误或系统故障导致数据丢失,而将全部或部分数据集合从应用主机复制到其他的存储介质,备份方式宜包括定期磁带、数据库、网络数据与远程镜像。处理软件宜具备利用自检方法,发现系统和设备是否存在故障以及进一步识别故障类型、位置等功能。

### 7.2 数据处理

**7.2.1~7.2.4** 针对动态监测的降噪滤波,宜使用 EMD 经验模态分解法。对信号进行消除趋势项处理。EMD 方法的特点是能够对非线性、非平稳过程的数据进行线性化、平稳化处理,而且在分解的过程中保留了数据本身的特性。EMD 方法的思路是对采集数据进行绘图,对波形的上、下包络的平均值确定“瞬时平衡位置”,把复杂信号的函数分解为有限的 IMF 函数之和。在结构振动信号降噪模态参数识别中,EMD 方法被广泛应用,在各级设备终端、上位

机中基于 EMD 方法的数字滤波器的实现应采用模拟滤波器和数字滤波器相结合对噪声进行抑制。

数字滤波器可包括但不限于：平均值滤波器、中值滤波器、低通数字滤波器、高通数字滤波器、带通数字滤波器等，还可将典型的模拟滤波器的原理进行数字化处理，集成到软件中供用户选择。可集成的典型滤波器包括但不限于：巴特沃斯滤波器、切比雪夫滤波器、贝塞尔滤波器、椭圆滤波器等。应根据监测系统对数据处理的具体需求来进行滤波器设计。应针对被测结构不同的监测目的和不同被测物理量的特性，采用不同的滤波方法：

- (1) 对高频噪声信息，应选用低通或带通类型的滤波器去除高频噪声；
- (2) 在需进行结构的模态提取时，应消除趋势项和噪声信号，仅保留结构的振动响应信号；
- (3) 在利用应变影响线理论进行结构性能评估时，应消除结构振动信号和噪声信号，仅保留结构的应变趋势项成分。其中应变趋势项的提取或去除主要有两个方法：一是利用三种信号的频谱特征（趋势项的频率成分接近 0，振动信号频率成分属于低频特征，噪声信号频率成分属于高频特征）进行滤波分析；二是采用希尔伯特-黄变换（HHT）原理进行动静态分离，其核心方法即经验模态分解（EMD），能使复杂信号分解为有限个固有模态函数，相对于其他滤波方法而言，其最大的优势是便于处理非平稳信号。根据具体应用范围，综合应用上述两种方法和近年来发展起来的各类小波分析方法进行滤波。

针对非平稳信号，宜采用时域、频域或二者相结合的方法；针对平稳信号，宜采用离散傅立叶变化的频谱分析方法。时域分析法，宜根据数据的时间先后利用自相关与互相关函数，检验数据相关性与信号源位置，以及随机噪声干扰中的周期信号；频谱分析法针对信号与噪声特点，宜设计选取合适的窗函数与算法。



## 7.3 数据安全

**7.3.1** 桥梁监测数据录入频率高、吞吐量大，长时间频繁的数据写入易造成磁头臂及磁头电机的损坏，导致数据丢失。因此在配置系统硬件时，应采用多块独立磁盘构建冗余磁盘阵列，使存储介质具有冗余备份及数据自恢复能力。

**7.3.2** 当监测系统未采用公有云平台进行部署时，服务器所在环境的不稳定性可能造成硬件系统损坏，使得数据丢失或者系统服务终止。因此建议采用异地容灾备份的方式，搭建至少两个数据或服务节点，且各个节点在物理空间上相距足够远，不存在二者同时受损的可能。在单个节点出现故障时，异地容灾能够保证数据的完整性以及系统服务的正常运行，为损坏节点抢修提供缓冲时间。

**7.3.3** 当系统为浏览器/服务器模式且采用 https 协议时，由于其明文传输特性，宜造成监测数据及用户隐私的丢失，严重情况可能导致服务器权限被窃，使桥梁管理存在安全隐患。https 是以安全为目标的 http 通道，在 http 的基础上通过传输加密和身份认证保证了传输过程的安全性，建议桥梁管理系统的数据传输过程均采用 https 协议。

## 7.4 数据库存储设计

**7.4.1** 不同的数据库软件在适用业务场景、存取效率、后期开发难度、购买及运维成本方面有较大差异，最好由专业的软件公司或机构根据现场情况以及业务需求对数据库软件选型进行评估推荐。

**7.4.2** BCNF 范式，全称为 Boyce Codd Normal Form，中文叫巴斯范式/鲍依斯-科得范式，是修正的第三范式，满足该范式是复杂项目数据库表应该满足的基本要求，可以有效减少数据冗余，增加一致性。在执行修改点位、修改监测设备等涉及到多表关联的操作时，可以较少操作复杂性，降低出现数据不一致等情况的概率。

## 7.5 数据管理

**7.5.1** 数据操作权限包括数据查看权限、数据新增权限、数据修改权限、数据删除权限。

**7.5.2** 当数据检索请求较多，超过单台存储节点计算负载时，通过分布式存储加负载均衡的方式可以根据各个数据存储节点负载情况将查询请求均摊，增加数据存储子系统的整体响应速率。原始桥梁监测数据可采用主-从分布式结构的关系型数据库，对于其他非关系型数据可根据业务需要酌情选择。

**7.5.3** 部署私有数据管理系统指购置完整的服务器、交换机、用户终端等配套硬件，一次性投入较高。且部分桥梁所在位置偏僻、外部环境恶劣，系统软硬件维护成本可能较高，此时宜采用付费租赁公有云平台的方式对软件系统进行托管。

**7.5.6** 不同的数据处理、分析子系统会根据业务需求变动进行后期扩展开发，不规范的数据存储系统访问接口会增加开发及运维成本。RESTful API 规范是目前比较成熟的一套互联网应用程序的 API 设计理论，该规范对路径、HTTP 动词、过滤信息、状态码、错误处理、返回结果给出了明确的规范要求，系统接口设计遵循 RESTful API 规范可以使其结构清晰、符合标准、易于理解、扩展方便，并且便于实现系统前后端分离。

## 8 预警评估子系统

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 对桥梁结构进行安全预警与性能评估的目的包括：首先是要对桥梁结构健康状况进行诊断，探测其有无异常出现，并根据需要作出预警，以便引起管理部门及养护部门、甚至是用户的注意，及时采取相应的措施来规避可能的风险；其次，在桥梁长期运营过程中，其结构性能会由于多种原因产生退化，通过对结构性能情况的长期持续评估，则可以分析其性能退化规律，寻求其退化的主要原因，有助于准确把握结构存在的本质病害；再者，在掌握结构性能退化规律的基础上，可以对结构将来的性能发展情况作出预测；最后，结构的性能评估与预测的一个很重要的目的是要为了对结构进行合理管养和维护而进行，结构管养的计划并不是一成不变的，而是要根据结构的性能状态水平和预测情况不断调整实施的。在结构的性能评估中，需要充分运用从结构监测系统中获取的监测数据，以及结构检测包括初期检测、周期性检测和特殊检测的数据和分析报告，进行分析、评估和预测。对于基于监测数据的评估可设定合适的评估基准进行评估分析。

**8.1.4** 桥梁结构的异常分析与安全预警将根据结构的状态参数和损伤指标来确定，当监测指标超过预警值则直接进行报警，而当监测指标没有达到极限监测值，但也超过了某个值(或某一程度)时，则说明结构出现了异常，需要进行预警。因此对于结构的异常分析和安全预警需要针对相关指标设定阈值，即预警值。预警值需要根据结构的设计值、相关现行规范所规定的容许值，并结合结构的重要性等因素综合确定；一般来说，预警触发值的确定，对于如加速度等对损伤不敏感、变化比较小的全局变量指标，可取超过正常范

围的 5%对应的值，应变等比较敏感的局部指标可取超过正常范围的 10%对应的值，对于一些离散性大的变量可取超过正常范围 15%对应的值。另外，也可根据预警值进行一定比例的缩小或放大来确定，如应变预警值取极限报警值的 80%，具体取值可视具体情况综合多种因素决定。

## 8.2 数据展示

**8.2.3** 具有周期性特征的数据包括：温度、湿度、风速、风向、风偏角等环境监测数据，此类数据的周期多为 1 年。车辆荷载、车流量等交通相关数据也具有周期特性，其周期需要结合监测对象以及所在地域情况进行具体分析。

## 8.6 二级评估

**8.6.2** 结构模型修正就是通过对结构有限元模型的部分参数进行修正，使得实测的结构特征参数与理论计算参数之间的尽量吻合。根据试验加载方式和已知响应信息类型的不同，结构有限元模型修正分为基于动力（利用频率、振型等信息）和基于静力（利用位移、应变和曲率等信息）的方法。前者获得信息的方式比较方便，如直接在交通荷载下获得动态响应，受交通限制条件少，但是测量精度、对损伤敏感度等一直受到工程界质疑。相反，静态方法获取的数据可信度高，试验过程简单，容易被工程师接受，但静载试验费用高、对交通影响大等缺点，发展受限制。

采用动、静态应变测量的方法，相应地解析出其他结构参数，如应变模态、频率、振型、挠度、曲率等，再将这些参数用于模型修正。本条例注重不同类型参数合理搭配使用，如应变模态/应变对局部刚度变化引起的损伤敏感，可用于修正这类损伤引起的模型

变化；而频率/挠度对支座损伤等这类损伤敏感，用于修正这类参数变化。同时，动力修正存在自身的局限，就是动力参数往往只有前几阶，修正后的模型也一般适用于这几阶的动力预测，与实际情况差异大。因此，建议尽量使用动静态结合的模式修正方法。

**8.6.3 静力参数法**通常在单元层次上，利用参数的残差分析来识别损伤。在静力荷载作用下测得的挠度、应变等比较直观，也是结构状态评估目前普遍使用的方法。

结构的模态参数（模态频率、振型等）反应了结构固有的动力特性，是结构物理参数的函数。结构发生损伤后，结构的刚度（或质量、连接条件、边界条件等）将发生改变，从而使结构的模态参数发生相应变化，因而可以根据结构动力参数的变化来辨识结构的损伤。典型的动力参数法是将观察到的动力参数改变与基准参数比较，并选择其中最有可能的改变来判断结构的真实状况。

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。

此外，考虑到工程结构参数和响应往往带有不确定性，使得确定性模型修正方法的实用性大大降低。因此可以在模型修正过程引入概率统计或其他随机理论（如最小方差法、最大似然法、贝叶斯方法等），通过构建随机模型修正过程，识别结构参数的统计特征

值（如均值和方差）。最后通过识别统计特征值的变化，来判断结构是否发生损伤。

神经网络法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。BP神经网络由于具有较强的非线性映射能力而被广泛用于结构分析中，而且大部分采用三层构造，即1个输入层、1个隐层和1个输出层。基于神经网络的结构损伤识别主要包括网络结构的确定、参数的选取、学习样本规格化、初始权值的选取和结构损伤检测等步骤。根据这种思想，输入一组训练好的神经网络模型，将测量获得的模态参数输入到这个训练好的神经网络模型，就能得到结构参数的变化量，进而识别结构损伤的位置和大小。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，该方法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。与经典最优化方法相比，遗传算法的优点有：遗传算法的编码操作保证了它在每一步迭代能充分利用每群解中的信息，同时遗传算法的并行处理计算效率高；遗传算法的编码操作使之能处理结构损伤检测中大量参数的问题；遗传算法对其目标函数既不要求连续，也不要求可微，只要

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，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。小波分析在损伤识别中的应用是多方面的，如奇异信号检测、信噪分离、频带分析等。目前小波分析在损伤识别中的应用主要是属于信号分析范畴，由小波变换得到的谱图中直接显示损伤的存在。以小波分析为工具，通过分析系统的时变性质来实现损伤识别，能揭示损伤的性质。

希尔伯特-黄变换 (HHT)是美籍华人 Norden E Huang 在 Hilbert 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 Hilbert-Huang 谱。基于 Hilbert-Huang 变换的 Hilbert 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。模型数学的应用、智能诊断方法的应用、损伤信息处理技术的应用以及基于混合模型的损伤识别技术的应用，在未来可能具有重要意义。

**8.6.4** 对于桥梁结构性能评估的方法有多种，既有对于单一指标的评估，也有对于结构整体的评估，既有基于确定性分析上的评估，也有基于考虑不确定性的评估。在结构性能评估的实际应用中，需根据实际需要选用合适的评价方法。一般来说，单一指标的评估比

较单纯，同时又很片面。由于结构拥有多种类型多个具体的性能指标，除了一些关键性的指标，很难说某个具体指标一旦超标结构整体就性能不满足了，在实际操作中，往往会针对众指标进行综合评估，一个常用的方法就是建立一个分级评估体系，对每个指标进行打分，最后通过公式算出最终性能得分，并据此对结构性能进行分级，这是一种可操作性极强的方法，目前已被广泛使用。本条文则是针对结构的安全等级评定作了一些相关的说明。

吉林省工程建设地方标准全文