

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 148 – 2024

## 桥梁结构健康监测技术标准

Technical Standard for Bridge Structural Health Monitoring

2024-01-12 发布

2024-05-01 实施

深圳市住房和建设局  
深圳市交通运输局

联合发布

深圳市工程建设地方标准

桥梁结构健康监测技术标准

Technical Standard for Bridge Structural Health Monitoring

**SJG 148—2024**

2024 深 圳

## 前 言

根据《深圳市住房和建设局关于发布2021年深圳市工程建设标准制订修订计划项目（第一批）的通知》（深建标〔2021〕14号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，结合深圳市的实际，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准主要技术内容是：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.监测内容与测点布设；5.监测方法；6.监测系统；7.数据管理；8.监测应用；附录 A 监测系统数据字典。

本标准由深圳市住房和建设局、深圳市交通运输局联合批准发布，由深圳市交通运输局业务归口并组织中交公路规划设计院有限公司等编制单位负责技术内容的解释。本标准实施过程中如有意见或建议，请寄送中交公路规划设计院有限公司（地址：北京市东城区前炒面胡同33号，邮编：100010），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：中交公路规划设计院有限公司

本标准参编单位：哈尔滨工业大学

同济大学

深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司

中交公规土木大数据信息技术（北京）有限公司

本标准主要起草人员：李娜 刘志强 李惠 孙利民 周子益

叶志龙 周文松 刘芳亮 赵凯 毛幸全

刘洋 辛荣亚

本标准主要审查人员：王媛 贺晓彬 余祥亮 周海俊 丁志荣

王良高 钟儒勉

本标准主要指导人员：曾岳雄 陈淑 苏智 陈灯 崔飞

廖倬汶 翁衍余 周秋实 钟国强

# 目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	监测内容与测点布设	4
4.1	一般规定	4
4.2	梁桥监测内容及测点布设	4
4.3	拱桥监测内容及测点布设	6
4.4	斜拉桥监测内容及测点布设	7
5	监测方法	9
5.1	一般规定	9
5.2	传感器选型	9
5.3	数据采集方法	10
6	监测系统	11
6.1	一般规定	11
6.2	系统设计	11
6.3	系统实施	13
6.4	系统验收	13
6.5	系统运维	14
6.6	系统安全	15
7	数据管理	16
7.1	一般规定	16
7.2	数据编码	16
7.3	数据预处理	16
7.4	数据接入	16
7.5	数据存储	17
7.6	数据交互与共享	17
7.7	数据安全	18
8	监测应用	19
8.1	一般规定	19
8.2	数据分析	19
8.3	超限报警	20
8.4	养护检查应用	22
8.5	特殊事件应急管理	24
8.6	桥梁安全专项评估	25
附录 A	监测系统数据字典	26
	引用标准名录	29
	附：条文说明	30

# Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	3
4	Monitoring Content and Position	4
4.1	General Requirements	4
4.2	Monitoring Content and Position of Beam Bridge	4
4.3	Monitoring Content and Position of Arch Bridge	6
4.4	Monitoring Content and Position of Cable-Stayed Bridge	7
5	Monitoring Methods	9
5.1	General Requirements	9
5.2	Sensor Selection	9
5.3	Data Acquisition Method	10
6	Monitoring System	11
6.1	General Requirements	11
6.2	System Design	11
6.3	System Implementation	13
6.4	System Hand-over	13
6.5	System Operation and Maintenance	14
6.6	System Safety	15
7	Data Management	16
7.1	General Requirements	16
7.2	Data Encoding	16
7.3	Data Preprocessing	16
7.4	Data Access	16
7.5	Data Storage	17
7.6	Data Exchange and Sharing	17
7.7	DATA SECURITY	18
8	Monitoring Applications	19
8.1	General Requirements	19
8.2	Data Analysis	19
8.3	Over Limit Alarm	20
8.4	Applications on Bridge Maintenance	22
8.5	Special Assessment of Bridge Safety	24
8.6	Management of Emergencies	25
	Appendix A Data Dictionary for Monitoring System	26
	Explanation of Wording in This Standard	29
	Addition: Explanation of Provisions	30



# 1 总 则

**1.0.1** 为提升深圳市桥梁智慧管养水平，指导桥梁结构健康监测系统的设计、实施、验收、运维和应用，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于深圳市公路桥梁和市政桥梁结构健康监测系统的设计、实施、验收、运维和应用，其他桥梁可参考使用。

**1.0.3** 桥梁结构健康监测系统应遵循“因桥制宜、先进适用、安全可靠、互联互通”的原则。

**1.0.4** 桥梁结构健康监测系统除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 桥梁结构健康监测 bridge structural health monitoring

一种通过传感器、信号采集、信号处理、网络、计算机等技术对桥梁设定参数进行连续自动测量、记录和管理，实时获取桥梁环境、作用、结构响应和结构变化数据，并进行数据分析和应用的多学科交叉融合的技术。

### 2.0.2 桥梁结构健康监测系统 bridge structural health monitoring system

一种将传感器、数据采集、数据传输、数据处理、数据管理、数据分析与应用的硬件、软件及配套设施进行集成和组网连接，对桥梁设定参数进行连续测量、记录和管理，并通过数据分析和应用辅助桥梁管养的电子信息系统。

### 2.0.3 环境 environmental factors

影响桥梁安全和功能的桥址自然环境因素。

### 2.0.4 作用 action

桥梁所受直接荷载或间接荷载。

### 2.0.5 结构响应 structural response

由作用引起的桥梁构件、结构的静力响应或动力响应。

### 2.0.6 结构变化 structural variation

以桥梁成桥状态或某一规定时刻状态为基准，桥梁构件、结构发生的几何或表观形态、内力状态、结构性能的相对变化。

### 2.0.7 信号硬件预处理 signal hardware preprocessing

传感器、采集器内置的信号处理。

### 2.0.8 数据软件预处理 data software preprocessing

通过软件进行数据结构转换、数据清洗、数据抽取等。



### 3 基本规定

**3.0.1** 符合下列条件之一的桥梁应进行结构健康监测：

- 1 特大桥、特殊结构、特别重要的桥梁；
- 2 经评定需要进行结构健康监测的桥梁。

**3.0.2** 桥梁结构健康监测应根据桥梁运行环境、结构型式、受力特点、技术状况以及典型病害、风险管控和管养需求进行系统建设和应用，宜与人工检查和养护维修相结合。

**3.0.3** 监测系统应包括系统硬件、系统软件和配套设施，应可扩展、可维护、易于升级改造。

**3.0.4** 新建桥梁的监测系统应与桥梁主体工程同步设计、实施、验收。在役桥梁的监测系统应结合桥梁管养需求进行专项设计、实施、验收。

**3.0.5** 在正常的使用和维护条件下，监测数据应保持延续性和完好性。

**3.0.6** 监测系统应具备接入主管部门桥梁监测管理平台的条件，服务于桥梁安全运行、应急管理、科学管养和决策。

## 4 监测内容与测点布设

### 4.1 一般规定

4.1.1 监测内容应包括环境、作用、结构响应和结构变化，可分为应选监测项、宜选监测项和可选监测项。

4.1.2 监测内容应基于桥梁运行环境、结构受力、构造特点、技术状况以及支撑应急管理和养护管理的数据分析和评估等进行确定。

4.1.3 测点布设应基于桥梁设计资料、施工监控资料、竣（交）工资料、历次检查报告和养护维修资料以及计算分析成果、实地调查分析成果等进行确定，并应符合下列规定：

- 1 测点布设应满足数据分析和应用的需求；
- 2 测点布设宜合理优化，提升经济性；
- 3 测点布设宜优化信号传输的距离，提高信噪比和数据质量；
- 4 测点布设宜考虑数量冗余，满足系统稳定可靠和升级改造的需要；
- 5 测点布设的位置及安装方式不应损害桥梁主体结构的安全耐久。

4.1.4 车辆荷载监测点的布设应基于深圳市路网运行监测整体规划，应重点监测位于货运通道上的重要桥梁，并与治超非现场执法系统统筹协调、数据共享。

4.1.5 风荷载的监测应综合考虑不同区域自然环境差异性、桥梁结构抗风稳定性和行车安全的需求。

4.1.6 加固维修的桥梁宜进行结构性能跟踪监测，监测内容应包括变形、应变、裂缝和动力特性等。

4.1.7 涉水、涉铁等不易抵近的桥梁宜采用视频图像技术进行表观监测，用以辅助人工检查。

4.1.8 跨海桥梁和近海桥梁宜根据实际条件进行氯离子腐蚀监测。填海过渡区的桥梁宜监测桥墩不均匀沉降和倾斜角度。

4.1.9 悬索桥的监测及应用应符合现行行业标准《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037的有关规定。

### 4.2 梁桥监测内容及测点布设

4.2.1 梁桥监测内容及测点布设宜符合表4.2.1的规定。

表4.2.1 梁桥监测内容及测点布设

监测类别		监测内容	测点布设	监测选项	
				中小桥 <sup>a</sup>	大桥 <sup>b</sup>
环境	环境温湿度	桥址区环境温湿度	主跨跨中	△	○
		主梁内环境温湿度 <sup>c</sup>	主跨跨中	△	○
	积水	路面积水	路面易积水处	△	△
作用	风荷载	桥面风速、风向	桥面开阔处	△	△
	车辆荷载	所有车道车流量、总重、轴重、轴数、车速	结构稳定、振动小、纵坡小的桥面处	△	△
		车辆空间分布	主跨	△	△
结构温度	混凝土或钢结构温度	关键构件	◎	◎	

续表4.2.1

监测类别		监测内容	测点布设	监测选项	
				中小桥 <sup>a</sup>	大桥 <sup>b</sup>
作用	结构温度	桥面铺装层温度	铺装层内	△	△
	地震	桥墩底部或承台顶部加速度	桥墩底部或承台顶部	○	○
	船舶撞击 <sup>d</sup>	桥墩加速度	桥墩底部或承台顶部	△	△
视频图像		上下游两侧对称布设	△	△	
结构响应	位移	主梁挠度	根据位移包络线确定,且至少包含主跨跨中	○	◎
		支座位移	支座处	△	△
		梁端纵向位移	梁端伸缩缝处	○	○
		高墩墩顶位移	高墩墩顶处	△	○
	转角	梁体横向倾角	跨中和支座处主梁截面	△	△
		桥墩倾角	桥墩顶部	△	△
	应变	主梁、桥墩关键截面应变	计算得到的最不利截面和应力大、受力复杂的部位	○	◎
	支座反力	支座反力	支座	△	△
	振动	主梁竖向振动加速度	根据振型确定,布设在振型峰值点处,且应包含主跨跨中和边跨跨中	○	◎
		主梁横向振动加速度		△	○
主梁纵向振动加速度		△		△	
结构变化	位移	桥墩不均匀沉降	桥墩墩顶	△	△
	预应力	体外预应力	有代表性的关键拉索	○	○
	基础冲刷	基础冲刷深度	桥墩上下游两侧	△	△
	裂缝	混凝土或钢结构裂缝	检查发现的关键结构裂缝	○	○
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子侵蚀	水位变动区、浪溅区	△	△
	螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	有代表性的关键构件	△	△

注: 1 ◎为应选监测项, ○为宜选监测项, △为可选监测项;

2 <sup>a</sup>单孔跨径小于40m的梁桥;

3 <sup>b</sup>单孔跨径不小于40m且不大于150m的梁桥;

4 <sup>c</sup>仅适用于封闭箱梁;

5 <sup>d</sup>仅适用于有通航要求的桥梁。

4.2.2 存在倾覆风险的桥梁宜基于计算分析结果进行抗倾覆稳定性监测。

4.2.3 梁体出现纵向或横向异常位移的桥梁宜进行梁体空间变位监测,监测内容宜包括梁体纵向位移、横向位移、支座竖向脱空和桥墩倾角。

4.2.4 预制装配式梁桥宜根据实际需要进行横向连接性的监测。监测内容宜包括各片主梁挠度相关性、动力特性相关性、应变相关性和横梁应力等。

4.2.5 箱形截面的梁桥采用中性轴指标评估方法时应符合下列规定:

1 监测截面宜选取跨中截面、弯矩最大的截面以及存在梁底横向裂缝的截面;

2 应在主梁监测截面的某一侧腹板上布设不少于两个应变传感器;

3 传感器布设时应远离截面理论中性轴位置,且同一侧布设的传感器应相互远离;

4 当同一侧腹板布设的传感器超过两个时,宜采用回归算法提高中性轴位置的准确性。当腹板两侧均布设有应变传感器时,宜计算两侧中性轴位置的平均值。

4.2.6 结构型式类同的桥梁可根据结构易损性、技术状况和主要病害分布选择相对不利的联跨或结构部件进行监测。

4.2.7 不同结构型式梁桥的监测内容应符合下列规定:

- 1 装配式预应力混凝土组合箱梁、T梁宜重点监测梁底横向裂缝、腹板斜向裂缝、横隔梁连接性能、支座位移等。空心板宜重点监测跨中板底应变、铰缝的横向连接性能等；
- 2 预应力混凝土现浇箱梁宜监测关键截面挠度、应变、腹板及底板纵向、横向、斜向裂缝等。对于带有人孔的箱梁，还宜监测箱梁内部的裂缝；
- 3 钢混组合梁宜重点监测钢混叠合面的应变协调性、温度梯度和关键截面结构应力等；
- 4 钢箱梁宜监测正交异性钢桥面板关键部位应力和钢桥面铺装层温度等；
- 5 变截面连续梁桥、连续刚构桥、T型刚构桥宜加强对主梁线形的监测，并宜根据实际情况加强对0号块附近的腹板裂缝和主梁关键截面的应力的监测；
- 6 节段预制拼装桥梁宜监测体外预应力、拼接缝应力和裂缝等。

### 4.3 拱桥监测内容及测点布设

4.3.1 拱桥监测内容及测点布设宜符合表4.3.1的规定。

表4.3.1 拱桥监测内容及测点布设

监测类别		监测内容	测点布设	监测选项
环境	环境温湿度	桥址区环境温湿度	主跨跨中	◎
		主梁内环境温湿度 <sup>a</sup>	主跨跨中	◎
		主拱内环境温湿度 <sup>b</sup>	主跨跨中	○
		吊杆（索）、系杆锚头内湿度	有代表性的吊杆（索）、系杆锚头保护罩内	○
	积水	路面积水	路面易积水处	△
作用	风荷载	桥面风速、风向	桥面开阔处	○
		拱顶风速、风向	拱顶	△
	车辆荷载	所有车道车流量、总重、轴重、轴数、车速	结构稳定、振动小、纵坡小的桥面处	△
		车辆空间分布	主跨	△
	结构温度	混凝土或钢结构温度	关键构件	◎
		桥面铺装层温度	铺装层内	△
	地震	桥墩底部或承台顶部加速度	桥墩底部或承台顶部	○
	船舶撞击 <sup>c</sup>	桥墩加速度	桥墩底部或承台顶部	△
视频图像		上下游两侧对称布设	△	
结构响应	位移	主梁挠度	根据位移包络线确定，且至少包含主跨跨中、四分点	◎
		主梁横向位移	主跨跨中	○
		拱顶位移	主跨跨中	○
		支座位移	支座处	○
		梁端纵向位移	梁端伸缩缝处	○
	应变	主梁关键截面应变	计算得到的最不利截面和应力大、受力复杂的部位	◎
		主拱关键截面应变		○
	索力	吊杆（索）力	有代表性的关键吊杆（索）	◎
		系杆力	有代表性的关键系杆	◎
	支座反力	支座反力	支座	△
	振动	主梁竖向振动加速度		◎
		主梁横向振动加速度	根据振型确定，布设在振型峰值点处，且包含主跨跨中、四分点	○
主梁纵向振动加速度		△		
主拱振动加速度		△		
吊杆（索）振动加速度	有代表性的关键吊杆（索）	◎		
结构变化	位移	拱脚位移	拱脚处	○
	基础冲刷	基础冲刷深度	桥墩上下游两侧	△
	裂缝	混凝土或钢结构裂缝	检查发现的关键结构裂缝	○

续表4.3.1

监测类别		监测内容	测点布设	监测选项
结构变化	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子侵蚀	水位变动区、浪溅区	△
	断丝	吊杆(索)或系杆断丝	有代表性的关键构件	△
	螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	有代表性的关键构件	△

注: 1 ◎为应选监测项, ○为宜选监测项, △为可选监测项;

2 <sup>a</sup>仅适用于封闭箱梁;

3 <sup>b</sup>仅适用于箱形拱;

4 <sup>c</sup>仅适用于有通航要求的桥梁。

4.3.2 拱桥宜监测关键受力截面的变位和裂缝。有推力式拱可监测拱脚、四分点和拱顶等关键截面。无推力式拱桥可监测拱肋四分点和拱顶等关键截面。

4.3.3 上承式拱桥宜监测立柱裂缝和拱圈裂缝。腹孔结构采用梁板形式时,对梁板的监测应符合本标准4.2的有关规定。

4.3.4 中承式拱桥和下承式拱桥宜监测主梁关键截面的位移和应变、吊杆(索)索力、振动和锚头内湿度等。

4.3.5 拱桥采用梁式系杆时宜监测关键截面应变,采用拉索式系杆时宜监测索力变化。

#### 4.4 斜拉桥监测内容及测点布设

4.4.1 斜拉桥监测内容及测点布设应符合表4.4.1的规定。

表4.4.1 斜拉桥监测内容及测点布设

监测类别		监测内容	测点布设	监测选项
环境	环境温湿度	桥址区环境温湿度	主跨跨中	◎
		主梁内温湿度 <sup>a</sup>	主跨跨中	◎
		索塔锚固区温湿度	索塔锚固区	◎
		斜拉索锚头内湿度	有代表性的斜拉索锚头保护罩内	○
	积水	路面积水	路面易积水处	△
	雨量	降雨量	桥面开阔处	○
作用	风荷载	桥面风速、风向	桥面开阔处	◎
		塔顶风速、风向	索塔顶部	○
	车辆荷载	所有车道车流量、总重、轴重、轴数、车速	结构稳定、振动小、纵坡小的桥面处	△
		车辆空间分布	主跨	△
	结构温度	混凝土或钢结构温度	关键构件	◎
		桥面铺装层温度	铺装层内	△
	地震	桥墩底部或承台顶部加速度	桥墩底部或承台顶部	○
	船舶撞击 <sup>b</sup>	桥墩加速度	桥墩底部或承台顶部	△
视频图像		上下游两侧对称布设	△	
结构响应	位移	主梁挠度	根据位移包络线确定,且至少包含主跨跨中、四分点	◎
		主梁横向位移	主跨跨中	○
		塔顶位移	索塔顶部	○
		支座位移	支座处	◎
		梁端纵向位移	梁端伸缩缝处	◎
	转角	塔顶转角	塔顶截面	○
		梁端转角	梁端截面	◎
	应变	主梁关键截面应变	计算得到的最不利截面和应力大、受力复杂的部位	◎
		索塔关键截面应变		○
	索力	斜拉索索力	有代表性的关键斜拉索	◎
	支座反力	支座反力	支座	△
振动	主梁竖向振动加速度	根据振型确定,布设在振型峰值点处,且包含主跨跨中、四分点	◎	

续表4.4.1

监测类别		监测内容	测点布设	监测选项
结构 响应	振动	主梁横向振动加速度	根据振型确定，布设在振型峰值点处，且包含主跨跨中、四分点	◎
		主梁纵向振动加速度		△
		塔顶水平振动加速度	塔顶截面	○
		斜拉索振动加速度	有代表性的关键斜拉索	◎
结构 变化	基础冲刷	基础冲刷深度	桥墩上下游两侧	△
	裂缝	混凝土、钢结构裂缝	检查发现的关键结构裂缝	○
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子侵蚀	水位变动区、浪溅区	△
	断丝	斜拉索断丝	有代表性的关键斜拉索	△
	螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	有代表性的关键构件	△

注：1 ◎为应选监测项，○为宜选监测项，△为可选监测项；

2 <sup>a</sup>仅适用于封闭箱梁；

3 <sup>b</sup>仅适用于有通航要求的桥梁。

#### 4.4.2 斜拉桥宜重点监测主梁挠度、索塔变位和斜拉索索力，监测内容应符合下列规定：

1 可监测主梁主跨跨中、四分点和边跨跨中等关键截面的挠度。中央索面斜拉桥的主梁挠度监测测点可在主梁两侧对称布设；

2 可对索塔纵桥向和横桥向的位移进行监测；

3 可选取有代表性的斜拉索进行索力和振动监测。

#### 4.4.3 宜对索塔锚固区裂缝、斜拉索锚头内湿度、钢箱梁应变和裂缝等进行监测。

4.4.4 对风荷载敏感的大跨径斜拉桥，宜在主梁跨中两侧分别布设不少于一台风速仪。

4.4.5 独塔斜拉桥应重点监测索塔空间变位、斜拉索索力、主梁挠度、梁端纵向位移以及索塔和主梁的关键截面应力等。

## 5 监测方法

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 传感器选型应基于监测内容与测点布设、数据分析和应用的要求，并应满足量程、分辨力、误差、灵敏度、动态响应特性和环境适应性等要求。
- 5.1.2 数据采集设备选型应与传感器选型相匹配，满足量程、分辨力、误差、采样频率、时间同步和环境适应性等要求。
- 5.1.3 数据采样频率应满足监测数据分析和应用的要求，并应符合采样定理。
- 5.1.4 监测设备宜选用可原位校验或自校验的产品及技术。

### 5.2 传感器选型

- 5.2.1 温度监测可采用热电阻、热电偶和光纤温度传感器。误差不宜大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，分辨力不宜大于 $0.1^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.2.2 湿度监测可采用氯化锂湿度计、电阻电容湿度计和电解湿度计。测量范围宜为0~100% RH（非凝露），误差不宜大于 $\pm 2\% \text{RH}$ 。
- 5.2.3 降雨量监测可采用电容雨量计、红外散射雨量计和翻斗式雨量计。误差不宜大于 $\pm 3\%$ ，分辨力不宜大于 $0.1\text{mm}$ 。
- 5.2.4 风速风向监测可采用超声波风速度仪或机械式风速仪。量程不宜小于桥梁设计风速的1.2倍，风速误差不宜大于 $\pm 0.3\text{m/s}$ ，风向误差不宜大于 $\pm 3^{\circ}$ 。
- 5.2.5 车辆荷载监测可采用动态称重系统。量程（单轴）不宜小于30t，误差不宜大于 $\pm 7\%$ 。
- 5.2.6 地震动监测可采用力平衡式加速度传感器。量程不宜小于 $\pm 2\text{g}$ ，分辨力不宜大于 $1 \times 10^{-5}\text{g}$ ，同时应满足桥址区地震动观测的要求。
- 5.2.7 船舶撞击监测可分为主被动防撞系统和撞击响应监测。主动防撞系统可采用扫描激光雷达或热成像视频技术。撞击响应监测可采用加速度传感器，宜与地震动监测协同。
- 5.2.8 位移监测应根据所监测的桥梁部位的位移量和位移速率选择适宜的传感器，并应符合下列规定：
- 1 梁端位移可采用拉杆式位移计、拉绳式位移计和激光位移计。误差不宜大于 $\pm 1\text{mm}$ ；
  - 2 桥梁结构水平位移可采用串并联相机网络和 GNSS 等技术。误差不宜大于 $\pm 2.5\text{mm}$ ；
  - 3 主梁挠度可采用连通管系统、串并联相机网络、光电挠度仪和毫米波雷达等技术。误差不宜大于 $\pm 2\text{mm}$ ；
  - 4 主梁线形、桥墩不均匀沉降、拱脚位移、拱肋空间变位的监测可设置永久观测点进行定期观测，还可采用 GNSS 静态观测。
- 5.2.9 桥梁倾斜角度监测可采用倾角传感器。量程不宜小于 $\pm 5^{\circ}$ ，误差不宜大于 $\pm 0.02^{\circ}$ 。
- 5.2.10 拉索索力监测可采用加速度传感器（频率法）、力传感器和磁通量传感器。量程不宜小于索力设计值的1.2倍，误差不宜大于 $\pm 5\%$ 。
- 5.2.11 应变监测可分为动应变和静应变监测。静应变监测可采用光纤应变传感器、电阻应变传感器和振弦式应变传感器。动应变监测可采用光纤应变传感器和电阻应变传感器等。量程不宜小于 $1000\mu\epsilon$ ，分辨力不宜大于 $1\mu\epsilon$ ，并应考虑温度补偿。
- 5.2.12 裂缝监测可采用振弦式传感器、光纤传感器、线性可变差动变压器和视频图像监测技术。误差不宜大于 $\pm 0.02\text{mm}$ ，分辨力不宜大于 $0.01\text{mm}$ 。

5.2.13 振动监测可采用力平衡式加速度传感器。量程、灵敏度、动态范围和频响特性应符合结构整体和局部构件振动监测的要求。

5.2.14 混凝土结构腐蚀监测可采用电化学方法，宜沿混凝土保护层深度安装多电极腐蚀传感器，监测混凝土保护层腐蚀侵蚀速率、深度，判断钢筋工作状态。

5.2.15 视频图像监测可采用工业摄像机。图像分辨力不宜低于200万像素，帧率不宜低于30FPS，可根据实际需要配备夜视或补光灯、自动光圈、光学变焦镜头等功能。

### 5.3 数据采集方法

5.3.1 数字传感器的输出接口宜采用 RS485串口、RJ45网口。串口数据包宜选用 Modbus。网络数据包宜选用 MQTT、ModbusTCP 和 Socket。

5.3.2 模拟传感器的输出接口宜采用4mA~20mA 和-5V~5V 等标准工业信号，并宜就近进行模数转换（A/D 转换）。分辨力不宜小于24位。

5.3.3 光纤传感器应由专用的光纤信号解调设备进行数据采集，并应根据传感器测点数量选择适宜的波长范围和采集通道数。波长分辨力不宜大于1pm，波长稳定性不宜大于5pm，扫描频率不宜小于50Hz。

5.3.4 数据采集应时间同步，并宜采用网络授时或卫星授时技术进行时间校准。

5.3.5 数据采集频率应根据数据分析和应用的需求进行设置，并宜符合表0.5的规定。

表5.3.5 主要监测数据采集频率

监测内容		数据采集频率
环境与作用	温度	1/600Hz
	湿度	1/600Hz
	降雨量	触发采集
	车辆荷载	触发采集
	船舶撞击加速度	50Hz
	风速风向	1Hz
	地震	50Hz
结构响应	位移	动位移：50Hz 静位移：1Hz
	转角	1Hz
	应变	动应变：20Hz 静应变：1/600Hz
	索力	力传感器：1Hz 磁通量传感器：1/3600Hz 加速度传感器：50Hz
	振动	50Hz
结构变化	裂缝	动态：10Hz 静态：1/3600Hz
	腐蚀	在线：1/3600Hz 离线：每年1次~2次
	拱脚位移	在线：1/3600Hz 离线：每年1次~2次



## 6 监测系统

### 6.1 一般规定

6.1.1 监测系统应包括系统硬件、系统软件及配套设施。系统构成宜符合图6.1.1的规定。

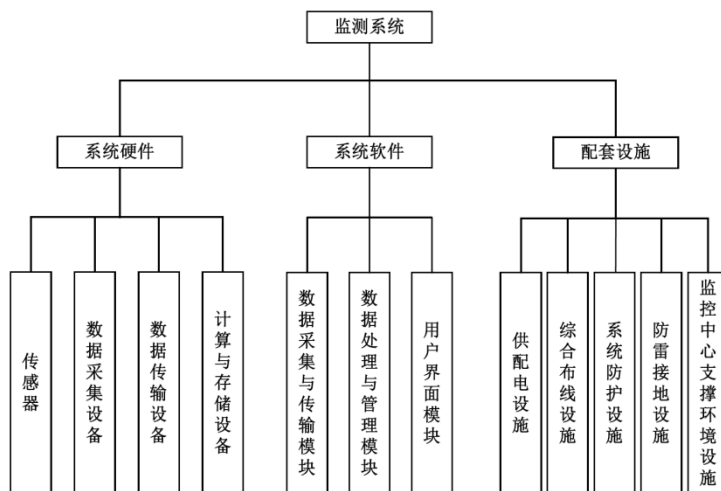


图6.1.1 监测系统构成

6.1.2 监测系统设计应遵循先进适用、稳定可靠、友好便捷、易于升级和扩展的原则，应满足报警、数据分析、应急管理和状态评估的需要。

6.1.3 系统软件平台宜采用网络化信息化桥群管理平台架构，并按统一标准建设。

6.1.4 系统软件平台架构、数据库和应用组件等软件设计研发宜采用自主可控或开源技术。

6.1.5 监测数据完好率不宜低于95%。

### 6.2 系统设计

6.2.1 系统设计应基于桥梁结构计算分析、风险评估和病害调查等成果进行，宜包括下列内容：

- 1 系统总体架构和功能设计；
- 2 监测内容及测点布设方案设计；
- 3 传感器、数据采集、传输、处理与管理方案设计；
- 4 系统供电、通信、综合布线、防雷、防护、预留预埋等配套设施设计；
- 5 超限报警及阈值设计；
- 6 系统与桥梁主体结构、供电、通信、监控中心等工程的界面划分；
- 7 系统运行维护、升级改造及外场设备巡查和更换的建议。

6.2.2 监测内容与测点布设、监测方法、数据管理和监测应用的设计应符合本标准第4章、第5章、第7章和第8章的有关规定。

6.2.3 系统设计应综合考虑准确性、兼容性、匹配性、稳定性和环境适应性等要求，应确保系统有机协调、无缝衔接、稳定可靠。

6.2.4 系统硬件设计应符合下列规定：

- 1 传感器选型应基于监测内容、测点布设、数据分析和应用的要求，并应考虑设备安装、维护、更换的可行性和便捷性；
- 2 数据采集方案应根据桥梁构件的空间分布、监测点规模和传感器类型综合确定，并应考虑不同监测数据分析实时性和同步性的要求；

- 3 数据传输方案应采用有线网络、无线网络或两者相结合的方式，可采用5G通信技术。
- 4 数据采集设备选型应考虑环境适应性的要求，可根据工作温度的实际需要配置温控机柜；
- 5 系统计算、存储能力及网络带宽应根据测点数量、采样频率、数据分析、系统功能和并发访问量等综合确定，并宜预留冗余量；
- 6 布设于桥梁结构内部的机柜的防护级别不宜低于 IP55。位于结构外部的机柜的防护级别不宜低于 IP65；
- 7 硬件安装方案不应损害桥梁主体结构的安全耐久。

#### 6.2.5 系统软件设计应符合下列规定：

- 1 系统软件应基于桥梁集群管理理念设计，应开放兼容、人机交互友好、操作便捷流畅；
- 2 系统软件设计应遵循高内聚、低耦合的理念，应便于维护、扩容和升级；
- 3 系统软件宜采用读写分离、分布式存储和时间序列数据库等技术提升数据存取效率和稳定性；

4 数据采集与传输软件应具备数据采集频率、采集通道和采集参数的自定义设置功能，宜安装在桥梁现场前端，具备传感器信号的自动化采集、实时上传及本地存储功能，并能够在网络故障或断电时将数据自动存储在本地，在网络恢复后自动续传数据；

5 数据处理与管理软件应能接收并解析采集到的原始数据，换算成反映桥梁环境、作用、结构响应及变化的特征数据，能够定义处理后监测数据的数据单位、数据方向、数据精度以及自定义设置和修改监测数据的配置参数、处理频率、输出数据格式，并具有数据预处理、特征值提取以及数据持久化存储功能；

6 对音视频、图片、文档类等非结构化数据，应设计完整的上传、检索、导出功能，分类建立单独的存储目录结构；

7 用户界面软件（UI）应具备超限管理提醒功能，宜采用浏览器/服务器（B/S）架构，满足并发访问需求；宜采用视觉友好的数据看板，清晰直观反映数据变化；宜采用图形化方式展示数据，具备相关性分析、对比性分析、趋势性分析等统计分析结果展示、高频采样数据的实时动态展示、系统运行状态展示等功能；

8 对于有移动访问需求的用户，宜开发能够运行在手机、平板上的小程序或 APP 等应用软件，主要功能宜包括实时数据查看、统计数据查询、超限报警消息推送、车辆荷载监控等；

9 系统软件应具备用户角色管理、权限控制功能，能够辨识用户身份进行安全管理，控制系统访问权限；

10 系统软件可将桥梁 BIM 模型和监测数据进行融合展示，将传感器及监测数据在 BIM 模型上进行管理和展示。

#### 6.2.6 系统配套设施应符合下列规定：

- 1 配套设施应包括供配电、综合布线、系统防护、防雷接地和监控中心支撑环境等设施；
- 2 系统防雷应基于桥梁整体防雷体系，应明确强电防雷、弱电防雷、等电位连接及接地等技术要求；
- 3 监控中心支撑环境应明确机柜数量或空间、供配电和网络等需求；
- 4 配套设施的安装宜采用附着式。开孔开洞、焊接、打磨、切割等不应影响桥梁主体结构安全。

#### 6.2.7 系统设计应明确桥梁现场供电、网络接入需求，以便统一协调、一体化设计。

## 6.3 系统实施

**6.3.1** 系统实施应包含系统硬件安装和调试、系统软件开发与测试、系统软件部署和系统软硬件联合调试。

**6.3.2** 系统硬件安装和调试应符合下列规定：

- 1 传感器应与被测构件或结构可靠连接，能够准确反映被测构件或结构的响应和变化；
- 2 传感器、数据采集等监测设备在安装前应经过校验，安装后应进行调试和验证；
- 3 监测设备安装完成后应结合现场环境特点采取防护措施；
- 4 系统宜定期进行校验和验证。

**6.3.3** 系统软件开发与测试应符合下列规定：

- 1 系统软件应采用成熟的软件开发技术，模块化开发。各模块功能独立、耦合性低；
- 2 多方协同开发的软件模块，应采用代码仓库进行源代码管理，并采用版本控制工具进行版本控制；
- 3 软件源代码编写应结构清晰、逻辑正确、注释规范、易于调试维护；
- 4 系统软件应编写测试用例，进行单元测试，保证代码逻辑正确；
- 5 软件测试报告应描述每个测试用例的测试结果，最终测试通过率不宜低于测试用例总数的95%。对于重大功能偏离、缺陷和逻辑错误，应修复完善后再次测试，直至100%通过。

**6.3.4** 系统软件部署应符合下列规定：

- 1 系统软件部署应编制软件部署指南，确保部署过程规范有序；
- 2 计算机服务器、工作站、工控机及监控中心支撑环境等硬件以及操作系统、应用组件、数据库等应用支撑软件的安装和调试应在系统软件部署前完成，并应满足设计要求；
- 3 部署在政务云的系统软件应满足政务云有关资源申请、端口开放、信息安全等相关规定；
- 4 系统软件部署完成后应进行软件功能测试和性能测试，应验证是否达到设计要求。

**6.3.5** 系统软硬件联合调试应符合下列规定：

- 1 数据采集与传输软件部署完成后，应与传感器、数据采集设备进行对接、匹配和校验，确保数据的准确性和一致性；
- 2 数据处理与管理软件部署完成后，应与数据采集与传输软件进行数据对接。数据接收、处理和存储等应满足设计要求；
- 3 软硬件联合调试完成后，软件平台用户界面软件 UI 预设功能应全部正常。数据展示应准确、流畅。数据值、数据精度、数据单位应符合设计要求。

## 6.4 系统验收

**6.4.1** 系统验收前应进行试运行。试运行期不宜少于3个月。

**6.4.2** 系统试运行期间宜进行功能完善、数据校验、基准状态及超限阈值设置、系统使用培训等工作。试运行结束后应进行系统验收。

**6.4.3** 系统验收应包含系统硬件验收、系统软件验收和资料验收。

**6.4.4** 系统硬件验收应符合下列规定：

- 1 传感器的安装和工作状态应满足设计要求和相关规范的规定，传感器安装位置正确、连接牢固、防护措施有效；
- 2 数据采集设备的安装和工作状态应满足设计要求和相关规范的规定，数据采集机柜内布线整齐平直、连接可靠、标识清晰；

3 系统综合布线与监控中心计算和存储设备的安装和工作状态应满足设计要求和相关规范的规定。

**6.4.5** 系统软件验收应符合下列规定：

1 数据采集与传输软件各项功能指标应满足设计要求，完整性和一致性良好，能够正常进行数据采集、存储和转发；

2 数据处理与管理软件各项功能指标应满足设计要求，完整性和一致性良好，能够正常进行数据接收、处理、存储和转发；

3 平台用户界面软件各项功能指标应满足设计要求，完整性和一致性良好，实时监测数据、历史统计数据、静态基础数据等展示准确、完整；

4 软件整体请求响应速度、数据刷新频率等性能指标应满足设计要求，具有良好的用户操作体验。

**6.4.6** 资料验收应查验下列资料的完整性、规范性和合规性：

1 设备材料的合格证、质保卡、出厂检测报告等；

2 设备材料进场使用报验单、安全技术交底记录、安装调试报验单和质量检验评定单等；

3 系统施工组织设计、施工技术方案、施工总结报告、竣工图、试运行报告和软硬件手册等。

## 6.5 系统运维

**6.5.1** 监测系统应建养并重，宜编制系统运维年度计划和年度维护费用预算等，并应建立系统维护台账及备品备件清单。

**6.5.2** 系统运维宜包含系统软硬件的日常检查、定期维护和应急维护。

**6.5.3** 系统硬件日常检查宜结合桥梁日常巡查进行，应对监测设备的表观状况和运行状态进行检查、保护和记录。

**6.5.4** 系统硬件定期维护和应急维护应符合下列规定：

1 系统硬件定期维护不宜少于每半年1次；

2 对数据采集机柜、监控中心机柜应定期进行除尘维护；

3 对连通管系统内的液体应定期维护、补充至设计液位；

4 在强（台）风、超限车辆过桥等可预见的特殊事件发生前宜事先进行系统应急维护。

**6.5.5** 系统软件日常检查应符合下列规定：

1 系统软件日常检查不宜少于每周1次；

2 系统软件日常检查内容应包括各模块工作状态、超限数据、实时监测数据和历史数据等；

3 系统软件日常检查宜在系统不停机状态下进行，确需停机维护时应在系统访问低谷时间段进行。

**6.5.6** 系统软件定期维护应符合下列规定：

1 系统软件定期维护不宜少于每季度1次；

2 系统软件定期维护内容应包括系统时间同步检查和校正、磁盘存储空间检查及清理、数据库异地备份及软件运行日志检查等；

3 对配置参数修改、更正等维护操作，应提前备份，并形成维护日志。

**6.5.7** 系统软件应急维护应符合下列规定：

1 系统软件应急维护应包括软件模块崩溃恢复、功能异常修复和数据异常更正等；

2 当发现软件功能故障或异常时，应及时进行处置；

3 对于非软件因素造成的数据异常或中断等，应协同系统硬件维护人员及时进行故障排查、修复，并形成维护记录。

## 6.6 系统安全

6.6.1 系统应建立网络安全应急工作机制，并应符合现行国家标准《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239和《信息安全技术 网络安全等级保护安全技术要求》GB/T 25070的有关规定。

6.6.2 系统安全应结合市级桥群集中监管要求明确安全保护等级，宜从物理层、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，并采用防火墙等技术实现核心应用层与互联网之间的安全阻断与隔离。

6.6.3 系统应在网络边界或区域之间部署防火墙等访问控制设备，应实现边界防护、访问控制、入侵防范、恶意代码防范、安全审计和可信验证。

6.6.4 系统软件应符合下列规定：

1 应具有用户角色管理和权限控制功能；

2 应具有用户登录密码复杂性校验功能，并定期提示用户更换密码；

3 应具有安全加密和分级授权功能；

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

5 数据库应具有用户标识和鉴定、数据存取控制、数据库审计和异地备份等功能。

6.6.5 系统宜按现行国家标准《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》GB/T 22240、《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技术要求》GB/T 25070、《信息安全技术 网络安全等级保护测评要求》GB/T 28448和《信息安全技术 网络安全等级保护实施指南》GB/T 25058等有关规定进行系统定级、备案、建设、测评和保护。

6.6.6 部署在政务云的系统应符合深圳市政务云信息安全管理的相关规定。

## 7 数据管理

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 系统数据应包括桥梁基础数据、监测数据、特征值数据、超限值数据和设备基本信息等结构化数据，以及桥梁结构设计图纸、竣工图纸、专题研究资料、定期检查报告、音视频数据以及监测系统图纸、数据分析报告、有限元模型和 BIM 模型等非结构化数据。

**7.1.2** 系统数据管理应包括数据编码、数据预处理、数据接入、数据存储、数据交互与共享、数据安全。

**7.1.3** 系统数据管理应实现数据的完整性、准确性、时效性和可访问性。对监测数据的操作应分类进行权限控制，仅授权用户可以操作，且禁止越权操作。

### 7.2 数据编码

**7.2.1** 系统数据宜定义数据字典进行编码管理。

**7.2.2** 桥梁基础数据编码应符合现行行业标准《公路数据库编目编码规则》JT/T 132的有关规定。传感器基本信息、监测点基本信息、实时监测数据、特征值统计数据 and 特殊事件信息编码宜符合本标准附录 A 的有关规定。其他系统数据编码应符合现行行业标准《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037的有关规定。

**7.2.3** 监测数据编码宜由“桥名简称-监测类别简称-联所在幅别位置及编号-构件类型编码及构件序号-测点编号”组成，各字段之间应以中横线“-”加以分割。桥梁监测点编号命名规则下图所示。

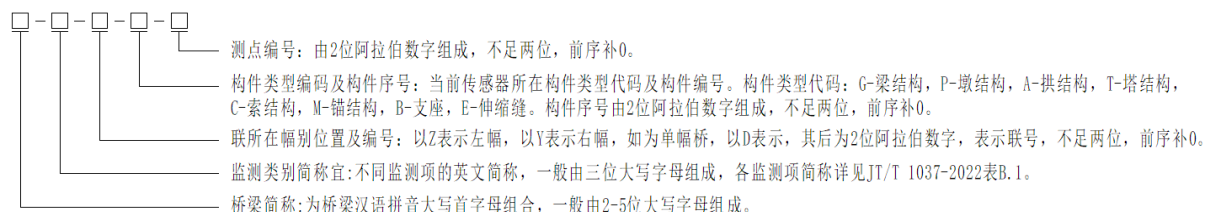


图7.2.3 监测点编号命名规则示意

### 7.3 数据预处理

**7.3.1** 数据预处理应包括信号硬件预处理和数据软件预处理。

**7.3.2** 数据采集设备的信号硬件预处理应对传感器信号进行调理、滤波和转换，并应符合现行行业标准《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037的有关规定。

**7.3.3** 数据软件预处理应结合监测内容和系统硬件方案在保证系统性能的基础上满足时效性要求。

### 7.4 数据接入

**7.4.1** 监测数据应具备接入主管部门桥梁监测管理平台的条件，可采用监测平台数据接入和直连设备接入两种方式。

**7.4.2** 监测系统和直连设备应上传原始采样频率的数据，不宜在数据接入过程中降采样、破坏数据的完整性。

**7.4.3** 监测数据接入深圳市交通运输一体化智慧平台时，应符合下列要求：

1 监测系统或直连设备宜在物联网平台完成注册，由物联网平台分配身份验证信息，用于终端和物联网平台建立连接时进行身份验证；

2 监测系统或直连设备宜向物联网平台提供设备属性信息，由物联网平台为监测系统或设备分配唯一身份标识信息；

3 监测系统或直连设备与物联网平台传输数据宜采用 MQTT 协议，且客户端宜将 Qos 设置为1。

**7.4.4** 视频监控数据接入深圳市交通运输局视频联网共享平台时，视频格式与编码应符合现行国家标准《公路网图像信息管理系统 平台互联技术规范 第2部分：视频格式与编码》GB/T 28059.2的有关规定。前端摄像机应支持 Onvif 协议或符合现行国家标准《公共安全视频监控联网系统 信息传输、交换、控制技术要求》GB/T 28181的有关规定。采用中间汇聚平台接入方式时，应符合现行国家标准《公共安全视频监控联网系统 信息传输、交换、控制技术要求》GB/T 28181的有关规定。

## 7.5 数据存储

**7.5.1** 监测数据存储宜包括在线存储和离线存储，可分为桥梁外场采集站本地存储、监控机房中心存储和云存储。云存储宜采用政务云或国资云。

**7.5.2** 监测数据应采用数据库技术进行存储。数据库系统应采用开源产品或者国内自主开发的技术或产品，数据库设计应遵循可靠性、先进性、开放性、可扩展性、经济性和安全性等原则。

**7.5.3** 监测数据应根据数据种类的不同采用适宜的存储形式。对于关系型的业务数据，宜采用关系型数据库；对于周期性的时序数据，宜采用时序型数据库；对于指标类型数据，宜采用文档型数据库；对于视频类或大文件类型数据，宜采用对象存储服务器存储。

**7.5.4** 数据存储架构宜进行数据分层存储设计，并宜根据数据 ETL 顺序从底层至上层分多层次存储。

**7.5.5** 桥梁外场采集站本地存储空间应确保原始监测数据的存储时间不少于90天、视频图像数据的存储时间不少于30天。

**7.5.6** 监控中心平台的实时监测数据存储时间不宜少于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不宜少于20年，非结构化视频数据存储时间不宜少于90天。突发事件的监测数据应转移备份、永久保存。

**7.5.7** 监测系统应具备数据备份、故障恢复、数据压缩存储等功能，宜设置灾备机制对关键数据进行定期异地备份，并支持自动或手工操作进行故障恢复。

## 7.6 数据交互与共享

**7.6.1** 监测系统应具有与外部系统进行数据交互与共享的功能，应采取权限验证和安全管理措施保证数据交换与共享的安全性。

**7.6.2** 监测系统与外部系统的数据交互宜采用数据接口、消息中间件、中间数据库等方式，且不应影响监测系统的正常稳定运行。

**7.6.3** 数据交互应支持结构化数据和非结构化数据。结构化数据交互在权限允许和数据交换环境安全的条件下，可采用数据库同步的方式，也可基于 HTTP/HTTPS 协议采用 JSON 的数据格式对外提供数据接口；非结构化数据交互宜采用 HTTP/HTTPS、FTP、SFTP 和网

络共享等方式。

## 7.7 数据安全

**7.7.1** 数据安全应包含数据完整性、数据加密、数据访问权限控制和数据可审计性，应配备硬件、软件和人员支撑数据安全的管理。

**7.7.2** 数据完整性应包含数据传输完整性和数据存储完整性。数据传输和存储时应设置数据完整性校验机制，保证数据传输和存储过程中的完整性。对于非完整数据，应重新发起传输或采取其他有效措施。

**7.7.3** 监测系统敏感字段或业务数据的加密处理应采用国家密码管理主管部门批准的密码算法和认证核准的密码产品，宜采用数据脱敏算法对敏感信息加密。

**7.7.4** 监测系统应具备数据访问权限控制功能、支持制定安全策略，并应根据安全策略控制用户对数据的访问，实现业务数据、系统数据和数据库系统等不同级别的用户权限分离管理机制，用户权限分配应基于最小化原则。

**7.7.5** 监测系统应采取安全审计措施实现重要事务的操作记录。操作记录内容应包括操作人、操作时间、操作类型和结果等信息，并应长期保存。



## 8 监测应用

### 8.1 一般规定

8.1.1 监测应用应包括数据分析、超限报警、养护检查应用、特殊事件应急管理和桥梁安全专项评估等内容。

8.1.2 监测数据分析宜支撑超限报警、养护检查应用、特殊事件应急管理和桥梁安全专项评估等监测应用。

### 8.2 数据分析

8.2.1 监测数据分析前应进行数据清洗，剔除错误数据。

8.2.2 监测数据分析应包括环境、作用、结构响应和结构变化数据分析，应与桥梁检查数据分析协同、融合。

8.2.3 监测数据分析可采用统计分析、相关性分析、趋势性分析、比对性分析和机器学习等方法。

8.2.4 监测数据分析样本时长应根据监测内容特征和监测应用的需求确定。

8.2.5 环境监测数据分析应符合下列规定：

- 1 温度监测数据应分析最高温度、最低温度和最大温差等；
- 2 湿度监测数据应分析最大值、平均值及持续时间等；
- 3 路面积水应分析最大积水深度。

8.2.6 作用监测数据分析应符合下列规定：

- 1 风速风向监测数据分析应包括 2min 平均风速、风向和风玫瑰图等；
- 2 结构温度监测数据分析应包括最大值、最小值、最大梯度和年极值等；
- 3 车辆荷载监测数据分析宜包括车流量、轴重、总重的极值与概率分布，超载车的数量、总重、轴重和通过时间，以及车辆空间分布等。

8.2.7 结构响应监测数据分析应符合下列规定：

1 位移监测数据分析应包括主梁竖向、横向和纵向位移，塔顶、拱顶和墩顶位移，以及桥墩沉降等。主梁竖向和横向位移、塔顶、拱顶和墩顶位移监测数据分析应包括平均值、最大值及变化规律等。梁端纵向位移监测数据分析应包括平均值、最大值、累计值及变化规律；

2 索塔、主梁、主拱关键截面应变监测数据分析应包括平均值和最大值；

3 斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）和系杆索力监测数据分析宜包括平均值、最大值、最小值及变化规律。监测索力宜与成桥索力、设计索力、破断索力以及定期检测索力进行比对分析；

4 支座反力监测数据分析宜包括平均值、最大值、最小值及变化规律；

5 主梁、索塔、主拱、桥墩以及斜拉索、吊杆（索）振动监测数据分析宜包括最大值、均方根值和频谱，宜进行模态参数识别与分析。模态参数识别应剔除环境因素的影响。

8.2.8 结构变化监测数据分析应符合下列规定：

1 混凝土结构和钢结构裂缝监测数据宜分析裂缝宽度及变化规律，可分析裂缝与环境、作用和结构构造的相关性；

2 墩身和承台混凝土腐蚀监测数据宜分析氯离子侵蚀深度的变化速率和趋势；

3 体外预应力监测数据宜分析预应力变化量和变化趋势。

8.2.9 宜分析不同类型监测内容之间、相同类型监测内容之间数据的相关性。

**8.2.10** 对于存在倾覆风险的桥梁监测数据分析，除应符合8.2.5~8.2.9的规定外，还应符合下列规定：

- 1 宜分析梁体横向倾角的最大值、平均值及变化规律；
- 2 宜分析支座两侧竖向位移差、支座横向位移的最大值、平均值及变化规律。

**8.2.11** 梁体出现纵向、横向异常位移的桥梁监测数据分析，除应符合8.2.5~8.2.9的规定外，还应符合下列规定：

- 1 宜分析支座位移、梁体位移的平均值、最大值及变化趋势；
- 2 宜分析支座位移、梁体位移与温度的相关性；
- 3 宜分析桥墩倾角、桥墩根部应变的最大值及变化趋势。

**8.2.12** 对于加固维修后的桥梁监测数据分析，除应符合8.2.5~8.2.9的规定外，还应符合下列规定：

- 1 宜分析加固板材与原主梁结构的变形协调性；
- 2 宜对比分析桥梁加固前后中性轴和结构模态参数的变化。

**8.2.13** 监测数据分析应定期形成分析报告，宜采用半年报、年报和特殊事件专项分析报告，报告内容应符合下列规定：

- 1 半年报内容宜包括 8.2.5~8.2.9 条中规定的半年内监测数据分析结果以及超限的数量、比例、位置和时间；
- 2 年报内容宜包括 8.2.5~8.2.9 条中规定的年度内监测数据分析结果以及超限的数量、比例、位置和时间；
- 3 特殊事件专项分析报告内容宜符合 8.5 的有关规定。

**8.2.14** 监测数据分析报告宜包括下列内容：

- 1 桥梁结构及监测系统概况；
- 2 监测数据统计分析及结论；
- 3 超限报警分析及结论；
- 4 专项评估及结论；
- 5 结论和建议。

### 8.3 超限报警

**8.3.1** 监测系统超限报警应分类分级设置，宜分为特殊事件报警和养护检查报警。

**8.3.2** 当基于数据分析或安全评估结果判定桥梁结构或行车存在较大安全风险时，养护检查报警应提升为特殊事件报警。

**8.3.3** 根据超限严重程度和影响范围的差异，特殊事件报警等级宜分为黄色、橙色、红色，养护检查报警等级宜分为一级、二级、三级。

**8.3.4** 超限报警阈值的确定应符合下列规定：

- 1 应根据设计值和规范容许值设定，兼顾监测数据的历史统计值、材料允许值和仿真计算值，并结合养护检查应用、特殊事件应急管理和桥梁安全专项评估等监测应用的需求。
- 2 宜根据桥梁技术状况定期调整。

**8.3.5** 特殊事件报警阈值的设定宜符合表8.3.5的规定。

表8.3.5 特殊事件报警阈值设定

类别	监测内容	报警阈值	报警等级
强（台）风	风速	桥面2min 平均风速达到17.2m/s，或3s 平均风速达到24.5m/s	黄色
		桥面2min 平均风速达到24.5m/s，或3s 平均风速达到32.7m/s	橙色
		桥面2min 平均风速达到32.7m/s	红色
车辆超载	车辆轴重、总重	车辆总重达到1.5倍限载标准，或轴重达到1.5倍限载标准	黄色
		车辆总重达到2倍限载标准，或轴重达到2倍限载标准	橙色
		车辆总重达到2.5倍限载标准，或轴重达到2.5倍限载标准	红色
船撞	桥墩振动加速度	桥墩振动加速度达到10mg	橙色
		桥墩振动加速度达到20mg	红色
梁体倾覆	支座竖向位移	支座竖向位移大于2mm 且持续时间超过2s，并恢复至原有水平	橙色
		支座竖向位移大于2mm 且持续时间超过2s，未恢复至原有水平或持续增大	红色
	梁体横向倾角	梁体横向转角大于0.5°且持续时间超过2s，并恢复至原有水平	橙色
		梁体横向转角大于0.5°且持续时间超过2s，未恢复至原有水平或持续增大	红色

8.3.6 养护检查报警阈值的设定宜符合表8.3.6的规定。

表8.3.6 养护检查报警阈值设定

类别	监测内容	报警阈值	报警等级	梁桥	拱桥	斜拉桥
环境	结构封闭空间内相对湿度 <sup>a</sup>	1个月内相对湿度超过50%RH 的累计时间占比达到50%	二级	◎	◎	◎
		1个月内湿度值超过70%RH 的累计时间占比达到50%	三级	◎	◎	◎
	路面积水	排水侧行车道边缘路面积水深度超过50mm	二级	◎	◎	◎
作用	桥面铺装层温度	大于60°C或根据铺装体系材料力学性能随温度变化关系确定	二级	◎	◎	◎
结构响应	主梁挠度	达到0.8倍设计值	一级	◎	◎	◎
		达到设计值	二级	◎	◎	◎
		达到1.2倍设计值	三级	◎	◎	◎
	梁端、支座纵向位移	达到0.8倍容许值 <sup>b</sup>	一级	◎	◎	◎
		达到容许值 <sup>b</sup>	二级	◎	◎	◎
	主梁、支座横向位移	达到0.8倍容许值 <sup>c</sup>	一级	◎	◎	◎
		达到容许值 <sup>c</sup>	二级	◎	◎	◎
	塔顶位移	达到0.8倍设计值	二级	-	-	◎
		达到设计值	三级	-	-	◎
	墩顶位移	达到0.8倍设计值	二级	◎	-	-
		达到设计值	三级	◎	-	-
	主拱拱顶位移	达到0.8倍设计值	二级	-	◎	-
		达到设计值	三级	-	◎	-
	关键截面应变	超过历史最大值	一级	◎	◎	◎
		超过设计最不利工况计算值	二级	◎	◎	◎
	拉（吊）索索力	达到1.2倍历史最大索力，或相对成桥索力变化超过10%	一级	-	◎	◎
达到1.5倍历史最大索力，或相对成桥索力变化超过15%		二级	-	◎	◎	
支座反力	达到0.8倍设计值	二级	◎	◎	◎	
	达到设计值	三级	◎	◎	◎	
拉（吊）索振动加速度	10min 加速度均方根值达到100mg	一级	-	◎	◎	
	10min 加速度均方根值达到300mg	二级	-	◎	◎	

续表8.3.6

类别	监测内容	报警阈值	报警等级	梁桥	拱桥	斜拉桥
结构响应	主梁振动加速度	10min 加速度均方根值达到31.5mg	二级	◎	◎	◎
		10min 加速度均方根值达到50mg	三级	◎	◎	◎
结构变化	基础冲刷	达到0.7倍设计值	二级	◎	◎	◎
		达到设计值	三级	◎	◎	◎
	拱脚位移	达到0.8倍设计值	二级	-	◎	-
		达到设计值	三级	-	◎	-
	裂缝	结构裂缝宽度达到0.2mm, 但发展速率较慢, 未达到0.1mm/月	一级	◎	◎	◎
		结构裂缝宽度达到0.2mm, 且发展速率较快, 超过0.1mm/月, 或结构裂缝宽度达到0.3mm	二级	◎	◎	◎
	体外预应力	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	◎	-	-
	腐蚀	腐蚀深度达到保护层厚度	二级	◎	◎	◎
	断丝	出现断丝	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	◎	◎	◎	
监测数据分析结果	主梁下挠、桥墩沉降、桥墩倾斜	主梁持续下挠, 桥墩持续沉降、倾斜	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: 1 ◎为设报警项; -为不适用项;

2 <sup>a</sup>适用于设有除湿设施的钢箱梁和拉索锚固区、拉(吊)索锚头内湿度;

3 <sup>b</sup>容许值为伸缩缝容许位移、支座容许位移;

4 <sup>c</sup>容许值为梁体与限位装置之间的最大间距。

**8.3.7** 监测数据超过报警阈值时应超限数据进行研判, 应根据研判结果启动应急响应。

**8.3.8** 超限报警处置过程和处置结果宜通过监测系统进行完整记录, 处置完毕后应关闭报警。

## 8.4 养护检查应用

**8.4.1** 监测数据和分析结果超限报警时, 宜按表8.4.1的规定进行桥梁养护检查。

表8.4.1 养护检查措施

类别	监测内容	报警等级	养护检查建议和措施
环境	结构封闭空间内相对湿度(钢箱梁等)	二级	检查除湿设施是否工作正常。
		三级	检查除湿设施是否工作正常, 相关构件有无开裂、渗漏水等异常情况。
	结构封闭空间内相对湿度(斜拉索和吊索锚头等)	二级	检查拉(吊)索的防水装置有无异常。
		三级	1.检查锚头有无渗漏水, 锚头内有无积水、潮湿、锈蚀, 防护油有无失效, 锚固系统有无异常。 2.检查拉(吊)索护套有无开裂、破损等。
作用	桥面积水	二级	1.检查清理泄水孔。 2.当积水深度达到150mm时, 采取必要的交通管制措施。
结构响应	主梁挠度	一级	1.通过视频监控数据检查桥面车辆情况。 2.加强日常巡查。
		二级	1.生成数据分析快报。 2.检测桥梁线形有无异常。

续表8.4.1

类别	监测内容	报警等级	养护检查建议和措施
结构响应	主梁挠度	三级	1.检查梁体开裂情况,检查关键部位混凝土有无裂缝、缺损。 2.对于斜拉桥和系杆拱桥,检查拉(吊)索索力有无异常。 3.检查预应力锚固区混凝土有无开裂,沿预应力筋的混凝土表面有无纵向裂缝。 4.研判桥梁有无较大安全风险,是否应提升为特殊事件报警。 5.设置永久观测点,进行定期观测。
	梁端、支座纵向位移	一级 二级	加强日常巡查。 1.加强经常检查,检查伸缩缝有无阻塞,连接件有无松动,锚固区混凝土有无破损等。检查支座有无异常、卡死,位移和转角有无超限,滑板有无破损,橡胶有无外鼓、变形过大等。 2.研判桥梁有无落梁风险,是否应提升为特殊事件报警。 3.必要时加强定期检查,根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
结构响应	主梁、支座横向位移	一级	加强日常巡查。
		二级	1.加强经常检查,检查梁体与限位装置有无顶死,限位挡块有无开裂、破损,桥墩有无倾斜等。 2.必要时加强定期检查,根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
	斜拉桥塔顶位移	二级	加强经常检查,检测斜拉索索力、主梁约束体系的工作状态等。
		三级	1.加强定期检查,检测斜拉索索力、主梁约束体系的工作状态、索塔不均匀沉降等。 2.必要时开展特殊检查,根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
	梁桥墩顶位移	二级	加强经常检查,检查桥墩周边环境和支座、伸缩缝的工作状态等。
		三级	1.加强定期检查,检查支座、伸缩缝的工作状态以及桥墩有无开裂等。 2.必要时开展特殊检查,根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
	拱桥主拱顶位移	二级	加强经常检查,检查主拱有无异常等。
		三级	1.加强定期检查,检测主拱和主梁线形、吊索索力、系杆索力等。 2.必要时开展特殊检查,根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
	关键截面应变	一级	检查传感器所处部位以及相关构件有无开裂。
		二级	必要时开展特殊检查,根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
	拉(吊)索索力	一级	1.通过视频监控数据和车辆荷载监测数据检查有无超载车辆过桥。 2.研究分析相关拉(吊)索索力变化情况,结合车辆荷载情况进行评估。
		二级	1.研究分析全部拉(吊)索索力变化情况,结合车辆荷载情况进行评估。 2.检查拉(吊)索有无异常。 3.检测主梁线形。 4.必要时检查拉(吊)索有无锈蚀、断丝等。
	支座反力	二级	1.通过视频监控数据检查桥面车辆情况。 2.加强经常检查,检查支座有无脱空、偏压、位移或转角超限,橡胶有无外鼓、变形过大等。
		三级	加强定期检查,全面检查支座有无异常。
拉(吊)索振动加速度	一级	加强日常巡查,检查减振器有无异常等。	
	二级	1.加强经常检查,检查减振器有无异常、拉(吊)索有无异常。 2.生成数据分析快报。	
主梁振动加速度	二级	1.通过视频监控数据检查有无车船撞击等。 2.检查桥梁气动外形有无明显改变。 3.生成数据分析快报。	

续表8.4.1

类别	监测内容	报警等级	养护检查建议和措施
结构响应	主梁振动加速度	三级	1.立即开展现场检查。 2.研判是否应提升为特殊事件报警。 3.开展事后全面检查。
结构变化	基础冲刷	二级	加强经常检查，检测桥墩倾斜、墩顶位移等。
		三级	必要时开展特殊检查，根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
	拱脚位移	二级	加强经常检查，检测主拱变形、主梁线形、系杆索力和周边沉降情况等。
		三级	必要时开展特殊检查，根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。
	裂缝	一级	加强日常巡查。
		二级	1.加强经常检查，检查裂缝有无发展。 2.检测裂缝宽度、主梁线形、桥墩倾斜等。
	体外预应力	二级	1.检查体外预应力钢束有无破损，锚固块、转向块与梁体结合区域有无裂缝。 2.检测主梁变形和开裂情。
		三级	必要时开展特殊检查，评估桥梁承载力。
	腐蚀	二级	检查腐蚀部位及相关区域，并对同类情况进行全面检查。
	断丝	三级	1.检测拉（吊）索索力、桥梁线形等。 2.必要时开展特殊检查，评估桥梁承载力。
螺栓状态	一级	加强日常巡查，检查螺栓缺损、脱落等情况。	
	二级	加强经常检查，检查螺栓松动、缺损、脱落等情况。	
	三级	加强定期检查，根据检查评估结果制定处治措施进行养护维修。	
监测数据分析结果	主梁下挠、桥墩沉降、桥墩倾斜	三级	1.加强日常巡查、经常检查，检查主梁有无开裂，桥墩有无开裂，支座有无异常等。 2.研判桥梁有无较大安全风险，是否应提升为特殊事件报警。 3.必要时开展特殊检查，评估桥梁承载力。 4.设置永久观测点，进行定期观测。
		二级	加强经常检查、定期检查，检测主梁线形、主梁裂缝、主梁约束体系有无变化等。
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	三级	必要时开展特殊检查，评估桥梁承载力。

8.4.2 监测数据和分析结果超限报警时，宜核查监测设备的工作状态，进行系统检查和维护。

### 8.5 特殊事件应急管理

8.5.1 当发生强（台）风、地震、车辆超载、船舶撞击等突发事件时，应进行突发事件数据分析，辅助应急管理和决策，必要时应组织专家研判。

表8.5.1 特殊事件应急处置措施

类别	内容	报警等级	应急处置建议和措施
强（台）风	风速	黄色	加强值班值守，通过视频监控数据密切关注桥梁运行状况（过桥车辆、附属设施状态、有无异物侵入等）、拉（吊）索振动情况等。
		橙色	结合实际情况，研判是否应进行交通管制。
		红色	1.研究给出交通管制的建议。 2.强（台）风过后开展现场检查。 3.必要时开展特殊检查，评估桥梁安全性和适应性。
地震	地震动峰值加速度	橙色	1.生成数据分析快报。 2.地震过后开展现场检查。
		红色	1.生成数据分析快报。 2.向应急管理部门上报。 3.地震过后开展现场检查。 4.必要时开展特殊检查，评估桥梁安全性和适应性。
车辆超载	车辆轴重、总重	黄色	检查桥梁结构响应和变化数据有无超限。当超限时，检查桥梁主要受力构件的技术状况。
		橙色	密切跟踪超载车辆，必要时进行拦截。

续表8.5.1

类别	内容	报警等级	应急处置建议和措施
车辆超载	车辆轴重、总重	红色	1.与有关部门应急联动，立即拦截超载车辆。 2.必要时开展特殊检查，评估桥梁安全性和适应性。
船撞	桥墩振动加速度	橙色	1.查看视频监控数据，检查有无车船撞击等事件。当发现桥梁存在明显异常时，应立即将报警等级提升为红色。 2.生成数据分析快报。 3.必要时开展现场检查。
		红色	1.立即查看视频监控数据。当可判定现场正常时，则可将报警等级降低一级。 2.生成数据分析快报。 3.立即开展现场检查，及时采取交通管制措施。 4.必要时开展特殊检查，评估桥梁安全性和适应性。
梁体倾覆	支座竖向位移、梁体横向倾角	橙色	1.查看视频监控数据。当发现梁体和桥墩出现明显异常时，应立即将报警等级提升为红色。 2.生成数据分析快报。 3.必要时开展现场检查。
		红色	1.查看视频监控数据，当可判定现场正常时，则可将报警等级降低一级。2.生成数据分析快报。 3.立即开展现场检查。 4.向应急管理部门上报。 5.必要时开展特殊检查，评估桥梁安全性和适应性。

**8.5.2** 特殊事件数据分析报告内容宜包括特殊事件概况、特殊事件过程和特殊事件之后的数据分析结果。

**8.5.3** 车辆超载特殊事件数据分析报告内容宜包括超载时间、车辆荷载数据、主梁竖向位移、支座位移、主梁关键截面应变、拉（吊）索索力和系杆索力等。

**8.5.4** 特殊事件的确认和审核应结合监测数据、视频图像、现场检查的结果综合研判。

**8.5.5** 特殊事件的归档应包括监测数据、桥梁检查和处置情况等，应纳入全寿命周期数字化档案。

## 8.6 桥梁安全专项评估

**8.6.1** 存在倾覆风险的桥梁应进行抗倾覆性能专项评估，宜包括车辆荷载、支座竖向位移、支座横向位移和梁体横向倾角等。

**8.6.2** 桥梁加固维修后应进行专项评估，宜包括主梁应变、主梁挠度、裂缝宽度和动力特性等。

**8.6.3** 预制装配式多主梁梁桥应进行横向连接性能专项评估，宜包括横梁应力、各片主梁挠度相关性、加速度相关性以及应变相关性等。

**8.6.4** 桥梁动力特性专项评估宜包括桥梁振动加速度、振动加速度均方根值和模态参数变化等。

**8.6.5** 结构安全评估可通过建立有限元模型，结合模型修正和损伤识别技术计算分析结构响应和变化。

## 附录 A 监测系统数据字典

表 A.1 传感器基本信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	传感器唯一标识
桥梁 ID	长整型	所属桥梁 ID
传感器编码	字符型	传感器在桥上安装的唯一编码
传感器类型	字符型	传感器类型
传感器型号	字符型	传感器型号
生产厂家	字符型	传感器生产厂家
安装时间	日期时间型	设备安装或更新时间
安装位置	字符型	设备在桥梁安装位置
当前状态	整型	0-正常, 1-故障, 2-损坏, 3-维修, 4-更换

表 A.2 监测点基本信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	监测点唯一标识
桥梁 ID	长整型	所属桥梁 ID
监测内容 ID	整型	-
传感器 ID	字符型	传感器在桥上安装的唯一编码
信号类型	字符型	电流、电压、电阻、光纤等
信号范围	字符型	信号输出范围, 如: 4mA ~ 20mA
传感器通道名称	字符型	传感器通道名称, 如: 温度、湿度
传感器通道编码	整型	用于实时数据报文传输
分辨力	双精度浮点型	传感器采集数据分辨力
K 值	双精度浮点型	转换参数 K 值
B 值	双精度浮点型	转换参数 B 值
数据精度	浮点型	数据保留小数点精度
数据单位	字符型	输出数值单位
采样频率	双精度浮点型	数据采样频率, 单位为赫兹 (Hz)
安装时间	日期时间型	设备安装或更新时间
安装位置	字符型	设备在桥梁安装位置
当前状态	整型	0-正常, 1-故障, 2-损坏, 3-维修, 4-更换
超限三级阈值上限	双精度浮点型	超限三级阈值上限
超限三级阈值下限	双精度浮点型	超限三级阈值下限
超限二级阈值上限	双精度浮点型	超限二级阈值上限
超限二级阈值下限	双精度浮点型	超限二级阈值下限
超限一级阈值上限	双精度浮点型	超限一级阈值上限
超限一级阈值下限	双精度浮点型	超限一级阈值下限
是否启动报警	布尔型	是否启动报警功能标识
备注	字符型	-



表 A.3 实时监测数据表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	-
监测点 ID	长整型	该条监测数据所属监测点
数据采集时间	日期时间型	-
当前值	双精度浮点型	按实际精度要求保留小数点
报警状态	整型	0-正常, 1-超限一级报警, 2-超限二级报警, 3-超限三级报警
数据状态	整型	0-正常, 1-异常
备注	字符型	-

表 A.4 特征值统计数据表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	-
监测点 ID	长整型	该条监测数据所属监测点
数据采集时间	日期时间型	-
采样间隔	整型	特征值统计间隔时间, 单位为 (s)
最大值	双精度浮点型	统计时间范围内的最大值
最小值	双精度浮点型	统计时间范围内的最小值
平均值	双精度浮点型	统计时间范围内的平均值
RMS 均方根	双精度浮点型	统计时间范围内的均方根值
方差	双精度浮点型	统计时间范围内的方差值
数据状态	整型	0-正常, 1-异常
备注	字符型	-

表 A.5 特殊事件信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	-
桥梁 ID	长整型	所属桥梁 ID
特殊事件名称	字符型	特殊事件的名称
特殊事件类型	字符型	特殊事件所属的事件类型 (例如: 强 (台) 风、地震、洪水、车撞、船撞等)
特殊事件开始时间	日期时间型	特殊事件发生的时间
特殊事件结束时间	日期时间型	特殊事件结束的时间
事件描述	长文本型	对特殊事件进行一个简述
录入人	字符型	录入事件的人员名称
录入时间	日期时间型	录入事件的时间
处置状态	整型	0-未处置, 1-已处置
处置措施	长文本型	-
备注	字符型	-

## 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的标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《信息技术 软件生存周期过程》GB/T 8566
- 2 《计算机软件文档编制规范》GB/T 8567
- 3 《计算机软件测试文档编制规范》GB/T 9386
- 4 《计算机软件测试规范》GB/T 15532
- 5 《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239
- 6 《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》GB/T 22240
- 7 《信息安全技术 网络安全等级保护实施指南》GB/T 25058
- 8 《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
- 9 《信息安全技术 网络安全等级保护测评要求》GB/T 28448
- 10 《公路网图像信息管理系统 平台互联技术规范 第2部分：视频格式与编码》GB/T 28059.2
- 11 《公共安全视频监控联网系统 信息传输、交换、控制技术要求》GB/T 28181
- 12 《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037
- 13 《公路数据库编目编码规则》JT/T 132
- 14 《公路桥涵养护规范》JTG 5120
- 15 《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》JTG/T 5122

深圳市工程建设地方标准

桥梁结构健康监测技术标准

**SJG 148 - 2024**

条文说明

# 目 次

1	总则 .....	32
2	术语 .....	33
3	基本规定.....	34
4	监测内容与测点布设 .....	35
4.1	一般规定.....	35
4.2	梁桥监测内容及测点布设 .....	35
5	监测方法.....	37
5.2	传感器选型 .....	37
6	监测系统.....	38
6.1	一般规定.....	38
6.2	系统设计.....	38
6.3	系统实施.....	38
6.6	系统安全.....	38
7	数据管理.....	40
7.1	一般规定.....	40
7.2	数据编码.....	40
7.3	数据预处理 .....	40
7.4	数据接入.....	40
7.5	数据存储.....	40
7.6	数据交互与共享.....	41
8	监测应用.....	42
8.2	数据分析.....	42
8.3	超限报警.....	42
8.4	养护检查应用.....	43

# 1 总 则

**1.0.2** 本标准适用于深圳市新建、改扩建和在役的公路桥梁和市政桥梁结构健康监测系统的建设和应用，包括系统设计、系统实施、系统验收、系统运维和数据应用。

## 2 术 语

本章仅给出本标准中特别重要的或新定义的术语，其他的常见术语参见现行国家标准和行业标准。

### 3 基本规定

**3.0.1** 根据深圳桥梁结构监测的实际需要，本标准中特大桥是指单孔跨径大于150m的桥梁。特殊结构桥梁是指斜拉桥、悬索桥、系杆拱桥等结构复杂的桥梁。特别重要的桥梁是指对城市路网运行有重大影响的桥梁，包括高速公路、城市快速路和主干路上的关键桥梁，以及跨越铁路、跨越重要水域、跨越重要通道、跨越重要管道的桥梁等。经评定需要进行结构健康监测的桥梁是指根据桥梁运行安全和科学管养的需要，进行技术状况和风险分析，经评定有必要进行监测的桥梁，包括独柱墩桥、弯桥，位于货运通道（交通量大或重车比例高）、地铁下穿、软土地基的桥梁，建筑工地、港口、火车站、道路货物运输站、场（含物流园区、物流中心）等货运源头周边的桥梁等。

**3.0.2** 本标准基于深圳桥梁特点和实际，对梁桥、拱桥和斜拉桥的结构监测和应用加以规定和要求，而悬索桥的结构监测和应用参照现行行业规范《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037基本能够满足当前的工作需要。



## 4 监测内容与测点布设

### 4.1 一般规定

4.1.2 深圳市桥梁车辆运行环境复杂、结构形式多样，因此需要根据监测和管理的实际需求有针对性地确定监测内容。

4.1.4 本标准中的治超非现场执法系统是指对检测点路段车辆通行情况进行不间断监测和数据分析，研判超限超载车辆、支撑超限执法决策的系统，一般由电子不停车超限监测点检测提示牌、称重传感器、车牌识别及抓拍设备、车辆外廓尺寸检测设备、视频监控设备和信息发布设备等构成。

4.1.6 加固维修的桥梁结合加固前承载力评定结果和加固后荷载试验结果进行结构性能跟踪监测，分析总结加固维修的效果。

4.1.8 深圳是沿海城市，海岸线附近为近海或海洋氯化物环境。根据现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310，距离平均水位15m的海上大气环境和涨潮岸线100m~300m范围内的陆上环境的作用等级为D级，海洋氯化物环境对结构的作用影响程度为严重，当条件允许时有必要进行监测。填海过渡区是指填海陆域离岸侧的边缘及附近区域。新填土充分固结前，填土过渡区内的桥墩有较大的沉降风险，且由于承受不平衡土压力还可能会出现倾斜和水平位移。

### 4.2 梁桥监测内容及测点布设

4.2.1 本标准以单孔跨径来定义大桥和中小桥。单孔跨径小于40m的为中桥和小桥。单孔跨径大于等于40m且小于等于150m的为大桥。对于单孔跨径大于150m的特大桥（梁桥）可以参照《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037执行。主梁内环境温湿度的监测可用于设内置式排水管的箱梁内部积水或设有除湿设施的钢箱梁和拉索锚固区内湿度异常的情况。

4.2.3 纵坡较大的坡桥易发生梁体的纵向移位，弯桥易发生横向移位。弯桥的空间受力特征明显，当外部约束条件（支座卡死、伸缩缝阻塞等）发生变化时，梁体将产生较大附加内力，严重时梁体可能会出现较大的变形，并伴随着混凝土开裂。当支座横向约束不足时，在汽车离心力、温度作用下，弯桥可能会发生向曲线外侧横移的现象，该问题在深圳市较为突出，是管养单位较为关注的问题之一。弯桥横向位移监测的目的是持续观测梁体相对盖梁的横向位移，关注支座脱空、挡块破损、盆式固定支座螺栓破损、板式橡胶支座剪切变形等问题。

4.2.4 多主梁式桥梁的横隔梁和铰缝的刚度直接影响纵梁的活载横向分布，横隔梁和铰缝是该种类型桥梁的病害多发部位，容易发生单板或单梁受力的风险，是监测的重点。

4.2.5 采用中性轴位置作为评估指标的方法，当主梁截面布设两个传感器时，截面中性轴位置与上下应变监测点的位置关系如下图所示。由平截面假定可知，主梁在外荷载作用下，截面的上应变监测点和下应变监测点与中性轴位置满足如下关系式：

$$\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_b} = \frac{y_{NA} - y_t}{y_{NA} - y_b} \quad (1)$$

上式中， $y_{NA}$ 为中性轴距梁底的高度， $y_t$ 为上应变监测点距梁底的高度， $y_b$ 为下应变监测点距梁底的高度， $\varepsilon_t$ 为上监测点应变， $\varepsilon_b$ 为下监测点应变。

中性轴的位置可以转换成如下计算式：

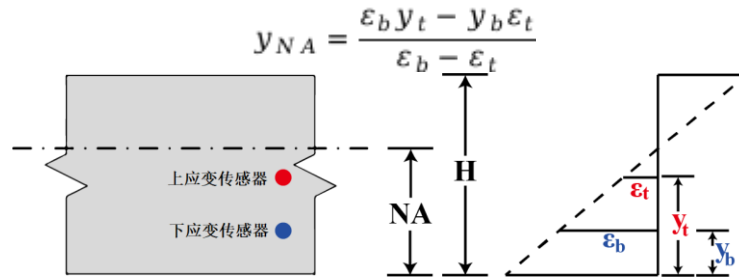


图1 中性轴位置与上下应变监测点的关系

4.2.6 城市桥梁，特别是高架桥，各联跨径和结构型式类似，通常选择相对不利的联跨或结构部件进行监测。

4.2.7 连续梁桥和连续刚构桥受混凝土收缩、徐变和材料性能退化等因素的影响会发生预应力损失，容易造成主梁下挠、线形改变；节段预制拼装箱梁的正截面破坏多发生在接缝处，破坏裂缝也多集中在接缝处，接缝的性能对截面承载力有较大影响，是监测的重点。

## 5 监测方法

### 5.2 传感器选型

**5.2.4** 风速仪的布设尽可能避开或远离受桥梁构件及附属设施、车辆、周边建筑物等干扰的区域。

## 6 监测系统

### 6.1 一般规定

**6.1.4** 目前深圳市已开始交通运输一体化智慧平台的建设，旨在构建一个集约、高效、技术先进的城市桥梁集群监测管理大数据平台。按照统一标准接入单桥监测数据，既可避免单桥软件系统重复建设，又可避免单桥数据标准不统一的问题，实现互联互通、一体化管理的目标。

**6.1.6** 数据完好率按下式计算：

$$S = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^p t_i}{P \times T} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中：

- $S$  ——监测数据完好率；
- $p$  ——故障测点数量；
- $t_i$  ——第  $i$  个故障测点的故障时间，单位为天；
- $P$  ——总测点数量；
- $T$  ——检查周期，单位为天。

### 6.2 系统设计

**6.2.4** 桥梁空间尺度大、测点较分散，多选择分布式或集中式和分布式相结合的数据采集方式，并根据系统规模选择有线网络或无线网络进行数据传输。

**6.2.5** B/S 架构是一种基于浏览器/服务器的软件架构模式，用户在被授权后可通过浏览器访问系统，该架构具有无需单独安装客户端、可多人同时在线访问等特点。移动终端 APP 或小程序大大提高了桥梁监测的便捷性，移动终端设备可通过 WiFi、4G/5G 网络与中心应用服务器进行数据交互，获取与展示数据。采用 BIM 时，可通过打点等方式，将传感器点位在 BIM 模型上进行标识，同时可通过数据接口将监测数据与标识点进行绑定，实现基于 BIM 的桥梁监测数据展示及管理。

### 6.3 系统实施

**6.3.3** 系统软件的开发与测试需规范有序。系统软件开发文档和接口文档的编写可以参照现行国家标准《计算机软件文档编制规范》GB/T 8567 的相关规定，软件编码可以参照现行国家标准《信息技术 软件生存周期过程》GB/T 8566 的相关规定，软件测试流程和内容可以参照现行国家标准《计算机软件测试规范》GB/T 15532 和《计算机软件测试文档编制规范》GB/T 9386 的相关规定。

### 6.6 系统安全

**6.6.2** 防火墙技术能够有效隔离外部网络攻击，一般分为硬件防火墙和软件防火墙。硬件防火墙是通过硬件和软件的组合达到隔离内外部网络的目的，一般嵌入在路由器、交换机等设备中。软件防火墙一般集成在操作系统平台中，通过纯软件方式实现内外网隔离。应用服务器常用的安

全防护措施包括安装防病毒软件、启用防火墙、限制外部存储设备数据拷贝等。

## 7 数据管理

### 7.1 一般规定

**7.1.3** 桥梁监测数据直接反映出桥梁所处环境和运行安全状态，属于设施安全管养基础档案资料，因此需严格控制对监测数据操作的权限，防止泄露和篡改。

### 7.2 数据编码

**7.2.3** 示例：机场南宝安立交主线桥加速度监测项右幅第 1 联第 2 跨箱梁 03 号测点：JCBA-ACC-Y01-G02-03；机场南宝安立交主线桥墩顶倾斜监测项右幅第 1 联 2 号墩 1 号测点：JCBA-ACC-Y01-P02-01。

### 7.3 数据预处理

**7.3.2** 硬件预处理一般是从硬件设计的角度，对信号进行处理、转换的过程。

**7.3.3** 软件预处理既可以在数据采集站进行，也可以在中心服务器上进行。数据采集站由于处理性能有限，一般不进行耗时较长的数据预处理操作。中心服务器多采用统计分析、大数据、机器学习等技术对数据进行预处理操作，包括错误数据剔除、缺失数据补全、重复数据过滤等。

### 7.4 数据接入

**7.4.1** 对于已建成的桥梁监测系统，可以通过监测系统将数据接入到上级监测平台。对于新建的桥梁监测系统，还可以采用直连设备的接入方式。当接入深圳市交通运输一体化智慧平台时，需满足其物联网平台的接入要求。

**7.4.2** 桥梁监测数据分析需要基于原始采样频率的数据，数据接入过程中需保证数据完整性不被破坏。

**7.4.3** 深圳市交通运输一体化智慧平台中的物联网平台采用用户名、密码组合进行身份验证。物联网平台使用唯一字符串标识监测平台或设备。MQTT 协议是一种基于发布/订阅（publish/subscribe）模式的“轻量级”通讯协议，该协议构建于 TCP/IP 协议上，以极少的代码和有限的带宽，为连接远程设备提供实时可靠的消息服务。Qos 设置为 1 时，服务端将至少返回一次确认信息，客户端未收到确认消息时，可重新发送，以保证数据完整性。客户端需在设置的保活时间内发送数据消息，若终端设定的采集间隔大于报文中的保活时间，则需向平台发送心跳包，否则平台将会断开与终端的连接。

**7.4.4** 深圳市交通运输局已建设交通运输局视频云平台，用于接入前端视频监控设备，桥梁视频监测数据可以接入该平台。

### 7.5 数据存储

**7.5.2** 为加强数据安全、防范数据泄露，数据库产品需优先选择开源产品或国内自主研发的技术。

**7.5.4** 系统数据接入层为贴源层，保存全量物理设备上报的原始数据。中间层为分类专题层，根据业务逻辑从贴源层抽取转换而来，形成不同业务专题的结构化数据。最上层为指标展示层，

保存由各个专题汇聚指标和作业批处理得出的各类指标。

## **7.6 数据交互与共享**

**7.6.1** 系统间数据交互和共享需采取安全措施，包括用户身份校验、数据加密等，以确保数据访问安全。

**7.6.2** 监测系统与外部系统进行数据交互时，需充分考虑数据交互的频率，以及由此增加的性能消耗，防止对监测系统的正常运行产生干扰。

**7.6.3** 为保证数据交互安全，数据库同步需在内网环境下进行，公网环境下多采用安全的HTTPS接口方式进行数据交互。

## 8 监测应用

### 8.2 数据分析

**8.2.1** 由于传感器、数据采集和数据传输过程中，可能遭受电磁、噪声等干扰，造成收集的监测数据出现各种错误。因此，在开展数据专业分析之前需进行数据诊断，剔除错误监测数据。

**8.2.2** 本标准按照环境、作用、结构响应和结构变化四类对监测数据进行分类，并将基于表观病害的桥梁定期检测数据作为监测数据的有效补充，通过监测数据和检测数据的协同分析来评判桥梁状态，辅助科学管养和决策。

**8.2.3** 监测数据分析方法一般包括长时间单变量监测数据的统计分析、不同监测变量之间的相关性分析、监测变量的趋势性变化分析、监测变量在不同阶段监测值的对比分析和采用机器学习等智能算法的监测变量数据特征分析。

**8.2.4** 桥梁监测数据类型多样，有的变化较缓慢（例如桥墩沉降），有的响应较快（例如桥梁主梁振动），因此需要根据监测数据所反映的结构静动力特性以及监测应用需求综合分析、确定监测数据分析时长。

**8.2.5** 对于桥址附近的温湿度监测数据分析主要是关注温湿度极值以及平均值。路面积水过深会影响行车安全，因此路面积水主要是关注积水最大深度。

**8.2.6** 车辆荷载是桥梁结构所承担的主要荷载之一，特别是超载车辆过桥会大大增加桥梁构件的应力水平，长期作用易导致桥梁构件累计损伤，因此需要对车辆荷载的数量、轴重等进行统计分析。结构温度会引起构件内部应力变化，结构温度分析主要关注温度的梯度和极值。

**8.2.7** 对于主梁和拱顶等桥梁关键构件的位移、主梁关键截面应变、吊杆索力以及支座反力等监测数据，主要关注这些监测数据在各种外部荷载作用下的变化极值和变化趋势。主梁纵向位移、挠度等结构响应与温度相关性较高，因此有必要进行结构响应-温度相关性分析。对于桥梁结构振动数据，除了关注桥梁振动幅值（最大值、均方根值）外，还需进行桥梁模态参数分析。

**8.2.10** 当桥梁出现主梁倾覆风险时，桥墩横梁会发生横向倾斜，边墩支座两侧会产生竖向位移差，同时支座还可能产生横向位移。因此需对梁底横向转角、支座两侧竖向位移差和支座横向位移的监测数据进行分析。

**8.2.11** 弯桥空间受力特征显著，当外部约束条件（支座和伸缩缝活动受限、卡死等）发生变化时，梁体将产生附加内力，甚至出现梁体的空间变位，并伴随混凝土开裂。当支座横向约束力不足时，在汽车离心力、温度作用下，弯桥可能会发生向曲线外侧横移的现象。因此需要分析桥梁的空间变位，包括主梁和支座的横向、纵向位移，以及桥墩倾角和墩底弯曲应变的变化极值和趋势。

### 8.3 超限报警

**8.3.1** 特殊事件报警是指在发生危及桥梁结构安全或行车安全等特殊事件时系统发出的报警，包括强（台）风、地震、车辆超载、船舶撞击、梁体倾覆等，用以辅助特殊事件应急管理和决策。养护检查报警是指在荷载作用或结构响应超限但尚不危及结构安全或行车安全时系统发出的报警，用以辅助管养单位采取相应的养护检查措施。

**8.3.4** 监测数据超过报警阈值时，需由值班人员或管养人员对监测数据进行初步研判，必要时赴现场进行核查，确认超限后应及时发出报警，并采取相应的应急管理措施。应急管理措施的制



定可以参照现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG 5120、《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037 和《深圳市道路设施养护管理制度汇编》2022 的有关规定和要求。

#### **8.4 养护检查应用**

**8.4.1** 桥梁检查和养护措施的制定可以参照现行行业标准《公路桥涵养护规范》JTG 5120、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》JT/T 5122 和《深圳市道路设施养护管理制度汇编》2022 的有关规定和要求。