

# GDJT

广东省交通运输厅指导性技术文件

GDJT 002-09-2025

## 广东省公路桥梁结构监测技术指南 (试行)

Technical Guidelines for Structural Monitoring of Highway Bridges  
in Guangdong Province

2025-1-20 发布

2025-2-1 实施

广东省交通运输厅发布



# 目 次

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 前 言               | III |
| 引 言               | IV  |
| 1 范围              | 1   |
| 2 规范性引用文件         | 1   |
| 3 术语和定义           | 1   |
| 4 基本规定            | 2   |
| 5 大型桥梁监测          | 3   |
| 5.1 一般规定          | 3   |
| 5.2 监测内容          | 3   |
| 5.3 监测测点布设        | 10  |
| 5.4 监测方法          | 12  |
| 5.5 数据采集          | 17  |
| 6 常规桥梁轻量化监测       | 19  |
| 6.1 一般规定          | 19  |
| 6.2 监测对象          | 19  |
| 6.3 环境风险监测场景与测点布设 | 20  |
| 6.4 作用风险监测场景与测点布设 | 20  |
| 6.5 结构风险监测场景与测点布设 | 22  |
| 6.6 大型桥梁的统筹融合监测   | 23  |
| 6.7 数据采集          | 23  |
| 7 系统实施            | 24  |
| 7.1 一般规定          | 24  |
| 7.2 系统设计          | 24  |
| 7.3 硬件安装          | 25  |
| 7.4 软件开发          | 25  |
| 7.5 系统集成及调试       | 26  |
| 7.6 系统验收与培训       | 26  |
| 8 系统运维            | 27  |
| 8.1 一般规定          | 28  |
| 8.2 日常检查          | 28  |
| 8.3 定期（专项）维护      | 28  |
| 8.4 应急维护          | 28  |
| 9 数据管理            | 29  |
| 9.1 一般规定          | 29  |
| 9.2 数据编码          | 29  |
| 9.3 数据处理          | 29  |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 9.4 数据存储 .....              | 30 |
| 9.5 数据交互与共享 .....           | 31 |
| 9.6 数据安全 .....              | 31 |
| 10 监测应用 .....               | 31 |
| 10.1 一般规定 .....             | 31 |
| 10.2 监测数据分析 .....           | 31 |
| 10.3 超限报警 .....             | 33 |
| 10.4 管养建议 .....             | 35 |
| 10.5 结构健康度评估 .....          | 36 |
| 10.6 特殊事件应急管理 .....         | 37 |
| 附录 A (资料性) 监测内容基本信息定义 ..... | 40 |
| 附录 B (规范性) 数据接口 .....       | 47 |
| 附录 C (资料性) 硬件安装表格 .....     | 65 |

# 前 言

本指南参照 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》的规则起草。

本指南为推荐性文件，不涉及专利。

本指南由广东省交通运输厅提出并归口管理。

主 编 单 位：广东省交通运输厅

广东交科检测有限公司

参 编 单 位：广州诚安路桥检测有限公司

广东盛翔交通工程检测有限公司

主要编写人员：彭伟强、杨慧光、吴益林、张欣、许肇峰、魏斌、苏彬建、林宏磊、王勇平、宋健、  
江少峰、胡朝辉、何惟煌、柳春

主要审查人员：刘永忠、胡利平、曾波波、周智勇、郭明泉、朱鹏、罗秀锋、冷猛、张二猛、罗霆

# 引 言

为进一步规范我省公路桥梁结构监测相关工作的开展，推进行业的标准化，广东省交通运输厅组织相关单位编制了本指南。

本指南是在国家、行业现行标准规范的基础上，针对广东省船撞桥、地质灾害等公路桥梁运行中面临的突出风险，吸纳了近年来我省公路桥梁结构监测系统建设实践的相关经验编制而成，体现了新时代基础设施数字化的具体要求和发展方向。

本指南适用于我省在役公路桥梁的结构监测系统实施，其它在役桥梁和在建桥梁可参照执行。

本指南将适时修订，请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，反馈广东省交通运输厅工程质量管理处（地址：广州市越秀区白云路 27 号，邮编：510101，电话：02083701214，邮箱：yanghui Guang@gd.gov.cn），或技术支持单位广东交科检测有限公司，联系人：张欣，电话：18617310650，邮箱：819693877@qq.com，以便修订时参考。

# 广东省公路桥梁结构监测技术指南（试行）

## 1 范围

1.0.1 本指南规定了广东省公路桥梁结构监测技术的基本规定、大型桥梁结构监测、常规桥梁轻量化监测、系统实施、数据管理、系统运维、监测应用的要求。

1.0.2 本指南适用于广东省在役公路桥梁结构监测方案设计、系统设计、实施、验收、运维、数据管理和监测应用，其它在役桥梁和在建桥梁可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本指南的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本指南。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

GB 50311 综合布线系统工程设计规范

GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范

GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范

GB/T 8567 计算机软件文档编制规范

GB/T 9386 计算机软件测试文档编制规范

GB/T 15532 计算机软件测试规范

GB/T 31167 信息安全技术云计算服务安全指南

GB/T 31168 信息安全技术云计算服务安全能力要求

GB/T 32630 非结构化数据管理系统技术要求

JT/T 132 公路数据库编目编码规则

JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范

JTG/T 3360-02-2020 公路桥梁抗撞设计规范

JT/T 52/20-2023 贵州省公路桥梁结构健康监测体系建设指南（试行）

江苏省普通国省道桥梁轻量化监测系统建设指南（试行）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

### 3.1

**桥梁结构监测** bridge structural monitoring

对桥梁的设定参数进行连续、自动测量和记录,获取桥梁环境、作用、结构响应与结构变化定量数据,实现监测数据超限报警,评估结构健康度的多学科交叉融合技术。

### 3.2

**轻量化监测** lightweight monitoring and detection

一种在资源受限情况下的桥梁结构简易监测方法,旨在通过优化指标、精简测点、高效采集、降低功耗、便捷安装、轻量维护的方式达到对桥梁运行重大安全风险的有效监测。

### 3.3

### **监测场景 monitoring scenarios**

公路桥梁养护管理过程中，主要通过在线监测来实现的具体应用场景，如重载交通通行安全评估、车船撞击桥梁超限报警等。

#### **3.4**

### **桥梁结构监测系统 bridge structural monitoring systems**

通过网络集成技术将分布在桥梁现场和监控中心的各类传感器、数据采集与传输、数据处理与管理、数据分析与应用的硬件设备、软件模块及配套设施连接在一起，具有对桥梁设定参数连续监测、自动记录、数据显示、报警评估的功能，辅助桥梁管理和养护决策的电子信息系统。

#### **3.5**

### **环境 environmental factors**

影响桥梁安全和功能的桥址自然环境因素。

#### **3.6**

### **作用 action**

桥梁所受的直接荷载或间接荷载。

#### **3.7**

### **结构响应 structural response**

由作用引起的桥梁构件、部件、结构的静力或动力响应。

#### **3.8**

### **结构变化 structural variation**

以桥梁结构成桥状态或某一规定时刻状态为基准，桥梁构件、部件、结构在使用中几何形态、外观和结构性能发生的相对变化。

#### **3.9**

### **主动防船撞监测预警系统 active anti-collision monitoring and early warning system**

主动防船撞监测预警系统通过集成物联网传感、监控图像、船舶自动识别系统、边缘计算等多种技术手段，实现对船舶的实时监测、通航安全风险监测以及桥梁环境信息的感知。系统能够自动检测船舶的超高、偏航等危险行为，并及时发出预警信息，以提醒船舶驾驶员采取措施避免碰撞。

#### **3.10**

### **超限阈值 alarming threshold**

对桥梁环境、作用、结构响应、结构变化、关键结构构件可能出现的各种级别的异常或风险，各监测点数据特征指标所设定的临界状态警戒值。

#### **3.11**

### **桥梁结构健康度 bridge structural health level**

相对于成桥状态或设计规定的结构安全和功能要求，当前桥梁结构安全和功能所处的相对水平。

## **4 基本规定**

4.1 桥梁结构监测应分为系统设计、系统实施、系统试运行、系统验收、系统运维和监测数据应用。

4.2 桥梁结构监测应结合环境和结构特点、营运状态等，合理选择监测内容。对系统建设完成后，在桥梁运营中出现的病害或发现的关键风险点，可增设硬件设备进行针对性监测。

4.3 桥梁监测测点布设应仔细分析桥址区环境特点、作用变化规律、结构响应和变化特征，充分考虑各特征值之间的关联性，合理选择测点布设位置，最大限度的反映结构响应与变化特征值。



- 4.4 新建桥梁的结构监测系统应与机电工程同步设计、与交工荷载试验同步试运行、与土建工程同步验收；在役桥梁的结构监测系统结合养护管理需求独立设计、实施、试运行、验收。
- 4.5 桥梁结构监测系统运行维护中，应定期对现场设备进行检查，发现问题及时维修、更换；应定期对软件系统的运行稳定状态进行检查和维护，发现异常时，及时分析处理；当数据超过阈值、出现报警时，对桥梁运行状态进行分析判断。
- 4.6 桥梁结构监测系统应充分考虑与现有桥梁养护系统的兼容性，做到数据共享、综合分析应用。
- 4.7 桥梁监测是现行公路桥梁养护管理的有效手段，应与桥梁日常巡查、定期检查、专项检查和应急检查形成互补机制，应按照统一的数据标准与接口，实现与省部级平台的信息共享与业务协同。
- 4.8 桥梁结构监测系统阈值设定应合理，并可依据监测数据分析结果进行调整。
- 4.9 桥梁结构监测除应满足本指南的要求外，还应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5 大型桥梁监测

5.1 一般规定

- 5.1.1 单孔主跨跨径不小于 100m 的在役或新建桥梁，以及缆索体系桥梁应纳入监测范围。
- 5.1.2 监测内容包括环境、作用、结构响应及结构变化，应根据桥梁所处环境、所受作用以及结构构造特点、力学行为特性、状态评估需求、与常规检查的配合和养护管理要求等因素综合确定，监测选项包含应选监测项、宜选监测项、可选监测项。
- 5.1.3 航道等级为 I 级~V 级的通航孔桥以及易受船舶撞击的非通航孔桥宜进行船舶撞击监测，航道等级应根据桥梁设计通航批复文件或通航规定确定。
- 5.1.4 船撞风险等级按照 JTG/T 3360-02-2020 开展评估，分为高、中、低三个等级。
- 5.1.5 监测测点布设应能够把握环境、作用、结构响应和结构变化的特征，兼顾代表性、经济性、可更换性，并考虑设备布设条件所受约束性。结构响应和结构变化监测的测点宜布置在受力较大、变形较大、易损、影响主要部件安全耐久和结构整体安全、已有病害和损伤的位置。对性能退化、损伤劣化严重的桥梁构件，应针对性增加监测测点数量。
- 5.1.6 监测测点布设应明确传感器的类型、数量、安装位置和方向，宜可更换。对不可更换的监测测点，宜做冗余布设。对关键部件或关键构件监测内容，可布设校核测点。

5.2 监测内容

5.2.1 悬索桥的监测项目应依据表 1 确定。

表 1 悬索桥监测项目及监测参数

| 监测类别 |       | 监测内容                  | 监测选项 |
|------|-------|-----------------------|------|
| 环境   | 温度、湿度 | 桥址区环境温度、湿度            | ●    |
|      |       | 主梁内温度、湿度 <sup>a</sup> | ●    |
|      |       | 主缆内温度、湿度              | ○    |
|      |       | 锚室内温度、湿度              | ●    |
|      |       | 鞍罩内温度、湿度              | ●    |
|      |       | 索塔内温度、湿度              | ○    |
|      | 结冰    | 桥面结冰、主缆结冰             | ◎    |

| 监测类别 |                                 | 监测内容                      |      | 监测选项 |
|------|---------------------------------|---------------------------|------|------|
| 作用   | 车辆荷载                            | 所有车道车重、轴重、车速              |      | ●    |
|      |                                 | 所有车道车流量                   |      | ●    |
|      |                                 | 所有车道的车辆空间分布               |      | ◎    |
|      | 风速、风向                           | 桥面风速、风向                   |      | ●    |
|      |                                 | 塔顶风速、风向                   |      | ●    |
|      | 风压                              | 主梁风压                      |      | ◎    |
|      | 结构温度                            | 混凝土或钢结构构件温度               |      | ●    |
|      |                                 | 桥面铺装层温度                   |      | ○    |
|      | 船舶撞击                            | 桥墩加速度                     |      | ○    |
|      |                                 | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞高风险桥梁)  | 助航信息 | ●    |
|      |                                 |                           | 偏航检测 | ○    |
|      |                                 |                           | 超高检测 | ○    |
|      |                                 |                           | 视频监控 | ●    |
|      |                                 |                           | 水文信息 | ○    |
|      |                                 |                           | 声光报警 | ○    |
|      |                                 | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞中低风险桥梁) | 助航信息 | ○    |
|      |                                 |                           | 偏航检测 | ○    |
|      |                                 |                           | 超高检测 | ○    |
|      |                                 |                           | 视频监控 | ○    |
|      |                                 |                           | 水文信息 | ○    |
| 声光报警 |                                 |                           | ○    |      |
| 地震   |                                 | 桥岸地表场地加速度                 |      | ◎    |
|      | 承台顶或桥墩底部加速度<br>(抗震设防烈度为VII度及以上) |                           | ●    |      |
|      | 承台顶或桥墩底部加速度<br>(抗震设防烈度为VII度以下)  |                           | ○    |      |
| 结构响应 | 位移                              | 主梁竖向位移                    |      | ●    |
|      |                                 | 主梁横向位移                    |      | ●    |
|      |                                 | 支座位移                      |      | ●    |
|      |                                 | 梁端纵向位移                    |      | ●    |
|      |                                 | 塔顶偏位                      |      | ●    |
|      |                                 | 主缆偏位                      |      | ○    |
|      | 转角                              | 塔顶转角                      |      | ◎    |
|      |                                 | 梁端水平转角                    |      | ●    |
|      |                                 | 梁端竖向转角                    |      | ●    |
|      | 应变                              | 主梁关键截面应变                  |      | ●    |

| 监测类别                                  |      | 监测内容            | 监测选项   |
|---------------------------------------|------|-----------------|--------|
|                                       | 索力   | 索塔关键截面应变        | ○      |
|                                       |      | 吊索索力            | ●      |
|                                       |      | 锚跨索股力           | ●      |
|                                       | 支座反力 | 支座反力            | ○      |
|                                       | 振动   | 主梁竖向振动加速度       | ●      |
|                                       |      | 主梁横向振动加速度       | ●      |
|                                       |      | 主梁纵向振动加速度       | ○      |
|                                       |      | 塔顶水平双向振动加速度     | ●      |
|                                       |      | 吊索振动加速度         | ●      |
|                                       | 结构变化 | 基础冲刷            | 基础冲刷深度 |
| 位移                                    |      | 锚碇位移            | ●      |
| 裂缝                                    |      | 混凝土结构裂缝         | ○      |
|                                       |      | 钢结构裂缝           | ○      |
| 腐蚀                                    |      | 墩身、承台混凝土氯离子浓度   | ◎      |
|                                       |      | 墩身、承台混凝土侵蚀深度    | ◎      |
| 断丝                                    |      | 吊索、主缆断丝         | ○      |
| 螺栓紧固力                                 |      | 索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力 | ○      |
| 索夹滑移                                  | 索夹滑移 | ○               |        |
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项；a 仅适用于封闭箱梁。 |      |                 |        |

5.2.2 斜拉桥的监测项目应依据表 2 确定。

表 2 斜拉桥监测项目及监测参数

| 监测类别 |            | 监测内容                      | 监测选项 |
|------|------------|---------------------------|------|
| 环境   | 温度、湿度      | 桥址区环境温度、湿度                | ●    |
|      |            | 主梁内温度、湿度 <sup>a</sup>     | ●    |
|      |            | 索塔锚固区温度、湿度                | ●    |
|      | 雨量         | 降雨量                       | ◎    |
| 结冰   | 桥面结冰、斜拉索结冰 | ◎                         |      |
| 作用   | 车辆荷载       | 所有车道车重、轴重、车速 <sup>b</sup> | ●/○  |
|      |            | 所有车道车流量 <sup>b</sup>      | ●/○  |
|      |            | 所有车道的车辆空间分布               | ◎    |
|      | 风荷载        | 桥面风速、风向                   | ●    |
|      |            | 塔顶风速、风向                   | ●    |
|      | 结构温度       | 混凝土或钢结构构件温度               | ●    |
|      |            | 桥面铺装层温度                   | ○    |
| 船舶撞击 | 桥墩加速度      | ○                         |      |

| 监测类别                            |      | 监测内容                      |      | 监测选项 |
|---------------------------------|------|---------------------------|------|------|
|                                 |      | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞高风险桥梁)  | 助航信息 | ●    |
|                                 |      |                           | 偏航检测 | ○    |
|                                 |      |                           | 超高检测 | ○    |
|                                 |      |                           | 视频监控 | ●    |
|                                 |      |                           | 水文信息 | ○    |
|                                 |      |                           | 声光报警 | ○    |
|                                 |      | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞中低风险桥梁) | 助航信息 | ○    |
|                                 |      |                           | 偏航检测 | ○    |
|                                 |      |                           | 超高检测 | ○    |
|                                 |      |                           | 视频监控 | ○    |
|                                 |      |                           | 水文信息 | ○    |
|                                 |      |                           | 声光报警 | ○    |
|                                 | 地震   | 桥岸地表场地加速度                 |      | ◎    |
| 承台顶或桥墩底部加速度<br>(抗震设防烈度为VII度及以上) |      | ●                         |      |      |
| 承台顶或桥墩底部加速度<br>(抗震设防烈度为VII度以下)  |      | ○                         |      |      |
| 结构响应                            | 位移   | 主梁竖向位移                    | ●    |      |
|                                 |      | 主梁横向位移                    | ○    |      |
|                                 |      | 支座位移                      | ●    |      |
|                                 |      | 梁端纵向位移                    | ●    |      |
|                                 |      | 塔顶偏位                      | ●    |      |
|                                 | 转角   | 塔顶转角                      | ○    |      |
|                                 |      | 梁端水平转角                    | ●    |      |
|                                 |      | 梁端竖向转角                    | ●    |      |
|                                 | 应变   | 主梁关键截面应变                  | ●    |      |
|                                 |      | 索塔关键截面应变                  | ○    |      |
|                                 | 索力   | 斜拉索索力                     | ●    |      |
|                                 | 支座反力 | 支座反力                      | ○    |      |
|                                 | 振动   | 主梁竖向振动加速度                 | ●    |      |
|                                 |      | 主梁横向振动加速度                 | ●    |      |
|                                 |      | 主梁纵向振动加速度                 | ○    |      |
| 塔顶水平双向振动加速度                     |      | ●                         |      |      |
| 斜拉索振动加速度                        |      | ●                         |      |      |
| 结构变化                            | 基础冲刷 | 基础冲刷深度                    | ◎    |      |
|                                 | 裂缝   | 混凝土结构裂缝                   | ○    |      |
|                                 |      | 钢结构裂缝                     | ○    |      |
|                                 | 腐蚀   | 墩身、承台混凝土氯离子浓度             | ◎    |      |
|                                 |      | 墩身、承台混凝土侵蚀深度              | ◎    |      |

| 监测类别 | 监测内容 | 监测选项         |   |
|------|------|--------------|---|
|      | 预应力  | 体外预应力        | ○ |
|      | 断丝   | 斜拉索断丝        | ○ |
|      | 螺栓状态 | 高强螺栓紧固力、螺栓滑脱 | ○ |

注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项；a 仅适用于封闭箱梁；b 主跨跨径不小于 150 米的斜拉桥为应选监测项，其余桥梁为宜选监测项。

5.2.3 梁桥监测项目应依据表 3 确定。

表 3 梁桥监测项目及监测参数

| 监测类别 | 监测内容                            | 监测选项                      |      |   |
|------|---------------------------------|---------------------------|------|---|
| 环境   | 温度、湿度                           | 桥址区环境温度、湿度                | ●    |   |
|      |                                 | 主梁内温度、湿度 <sup>a</sup>     | ●    |   |
|      | 结冰                              | 桥面结冰                      | ◎    |   |
| 作用   | 车辆荷载                            | 所有车道车重、轴重、轴数、车速           | ○    |   |
|      |                                 | 所有车道车流量                   | ○    |   |
|      |                                 | 所有车道的车辆空间分布视频图像           | ◎    |   |
|      | 风荷载                             | 桥面风速、风向                   | ◎    |   |
|      | 结构温度                            | 混凝土或钢结构构件温度               | ●    |   |
|      |                                 | 桥面铺装层温度                   | ○    |   |
|      | 船舶撞击                            | 桥墩加速度                     |      | ○ |
|      |                                 | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞高风险桥梁)  | 助航信息 | ● |
|      |                                 |                           | 偏航检测 | ○ |
|      |                                 |                           | 超高检测 | ○ |
|      |                                 |                           | 视频监控 | ● |
|      |                                 |                           | 水文信息 | ○ |
|      |                                 |                           | 声光报警 | ○ |
|      |                                 | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞中低风险桥梁) | 助航信息 | ○ |
|      |                                 |                           | 偏航检测 | ○ |
|      |                                 |                           | 超高检测 | ○ |
|      |                                 |                           | 视频监控 | ○ |
| 水文信息 |                                 |                           | ○    |   |
| 声光报警 | ○                               |                           |      |   |
| 地震   | 桥岸地表场地加速度                       |                           | ◎    |   |
|      | 承台顶或桥墩底部加速度<br>(抗震设防烈度为VII度及以上) |                           | ●    |   |
|      | 承台顶或桥墩底部加速度<br>(抗震设防烈度为VII度以下)  |                           | ○    |   |
| 结构响应 | 位移                              | 主梁竖向位移                    | ●    |   |

| 监测类别           |              | 监测内容          | 监测选项 |
|----------------|--------------|---------------|------|
|                |              | 支座位移          | ○    |
|                |              | 梁端纵向位移        | ○    |
|                |              | 高墩墩顶位移        | ○    |
|                | 应变           | 主梁关键截面应变      | ●    |
|                | 支座反力         | 支座反力          | ○    |
|                | 振动           | 主梁竖向振动加速度     | ●    |
|                |              | 主梁横向振动加速度     | ○    |
|                |              | 主梁纵向振动加速度     | ○    |
| 桥墩顶部纵向及横向振动加速度 |              | ◎             |      |
| 结构变化           | 基础冲刷         | 基础冲刷深度        | ◎    |
|                | 桥墩沉降         | 桥墩竖向位移        | ○    |
|                | 裂缝           | 混凝土结构裂缝       | ○    |
|                |              | 钢结构裂缝         | ○    |
|                | 腐蚀           | 墩身、承台混凝土氯离子浓度 | ◎    |
|                |              | 墩身、承台混凝土侵蚀深度  | ◎    |
|                | 预应力          | 体外预应力         | ●    |
| 螺栓状态           | 高强螺栓紧固力、螺栓滑脱 | ○             |      |

注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项；a 仅适用于封闭箱梁。

5.2.4 拱桥监测项目应依据表 4 确定。

表 4 拱桥监测项目及监测参数

| 监测类别 |                          | 监测内容                         | 监测选项 |
|------|--------------------------|------------------------------|------|
| 环境   | 温度、湿度                    | 桥址区环境温度、湿度                   | ●    |
|      |                          | 主梁内温度、湿度 <sup>a</sup>        | ●    |
|      |                          | 主拱内温度、湿度 <sup>b</sup>        | ●    |
| 结冰   | 桥面结冰、吊杆结冰                | ◎                            |      |
| 作用   | 车辆荷载                     | 所有车道车重、轴重、轴数、车速 <sup>c</sup> | ●/○  |
|      |                          | 所有车道车流量                      | ●/○  |
|      |                          | 所有车道的车辆空间分布视频图像              | ◎    |
|      | 风荷载                      | 桥面风速、风向 <sup>c</sup>         | ●/○  |
|      |                          | 拱顶风速、风向                      | ◎    |
|      | 结构温度                     | 混凝土或钢结构构件温度                  | ●    |
|      |                          | 桥面铺装层温度                      | ○    |
| 船舶撞击 | 桥墩加速度                    |                              | ○    |
|      | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞高风险桥梁) | 助航信息                         | ●    |
|      |                          | 偏航检测                         | ○    |

| 监测类别 |              | 监测内容                            |      | 监测选项 |
|------|--------------|---------------------------------|------|------|
|      |              | 主动防船撞监测预警系统<br>(船撞中低风险桥梁)       | 超高检测 | ○    |
|      |              |                                 | 视频监控 | ●    |
|      |              |                                 | 水文信息 | ○    |
|      |              |                                 | 声光报警 | ○    |
|      |              |                                 | 助航信息 | ○    |
|      |              |                                 | 偏航检测 | ○    |
|      |              |                                 | 超高检测 | ○    |
|      |              |                                 | 视频监控 | ○    |
|      |              |                                 | 水文信息 | ○    |
|      |              |                                 | 声光报警 | ○    |
|      | 地震           | 桥岸地表场地加速度                       |      | ◎    |
|      |              | 承台顶或桥墩底部加速度<br>(抗震设防烈度为VII度及以上) |      | ●    |
|      |              | 承台顶或桥墩底部加速度                     |      | ○    |
| 结构响应 | 位移           | 主梁竖向位移                          | ●    |      |
|      |              | 主梁横向位移                          | ○    |      |
|      |              | 支座位移                            | ○    |      |
|      |              | 梁端纵向位移                          | ○    |      |
|      |              | 拱顶位移                            | ●    |      |
|      | 应变           | 主梁关键截面应变                        | ●    |      |
|      |              | 主拱关键截面应变                        | ○    |      |
|      | 索力           | 吊杆(索)力                          | ●    |      |
|      |              | 系杆力                             | ●    |      |
|      | 支座反力         | 支座反力                            | ○    |      |
|      | 振动           | 主梁竖向振动加速度                       | ●    |      |
|      |              | 主梁横向振动加速度                       | ○    |      |
|      |              | 主梁纵向振动加速度                       | ◎    |      |
|      |              | 主拱振动加速度                         | ●    |      |
|      |              | 吊杆(索)振动加速度                      | ●    |      |
| 结构变化 | 基础冲刷         | 基础冲刷深度                          | ◎    |      |
|      | 位移           | 拱脚位移                            | ●    |      |
|      | 裂缝           | 混凝土结构裂缝                         | ○    |      |
|      |              | 钢结构裂缝                           | ○    |      |
|      | 腐蚀           | 墩身、承台混凝土氯离子浓度                   | ◎    |      |
|      |              | 墩身、承台混凝土侵蚀深度                    | ◎    |      |
|      | 断丝           | 吊杆(索)或系杆断丝                      | ○    |      |
| 螺栓状态 | 高强螺栓紧固力、螺栓滑脱 | ○                               |      |      |

| 监测类别  | 监测内容 | 监测选项 |
|---|------|------|
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项；a 仅适用于封闭箱梁；b 仅适用于箱形拱；c 中、下承式拱桥为应选监测项，上承式拱桥为宜选监测项。 |      |      |

### 5.3 监测测点布设

#### 5.3.1 温度、湿度监测测点应满足下列规定：

- 桥址区环境温度、湿度测点宜布设在桥梁跨中位置，也可根据单桥监测系统的采集站布设位置进行调整；
- 封闭箱梁主梁内温度、湿度监测，用于获取结构内外温度差和湿度变化，测点位置宜与桥址区环境温度、湿度测点保持在同一断面处；
- 锚室内温湿度监测，宜选择湿度较大且除湿效果较不利的锚室底部；
- 鞍罩内温湿度监测，宜选择湿度较大且远离鞍罩除湿系统的位置，同时应对鞍罩密封性进行检查；
- 索塔内及索塔锚固区温湿度监测，宜选择索塔中下部湿度较大处。斜拉索下锚头内易产生积水，可针对性地选取部分下锚头进行湿度监测。

5.3.2 降雨量应根据斜拉桥所处的环境、斜拉索的结构形式判定是否需要开展监测。对桥址区长年风荷载较大、降雨量多、且未设置斜拉索减振措施的斜拉桥，可开展监测。测点应布设在桥梁开阔部位。

5.3.3 桥面结冰、主缆结冰、斜拉索结冰、吊杆结冰可根据营运养护需求，有针对性地开展监测。

#### 5.3.4 车辆荷载监测测点应满足下列规定：

- 主跨跨径不小于 150 米的悬索桥、斜拉桥应进行车辆荷载监测；桥梁技术状况较差、普通国省干道、有特殊需求的其它桥梁，也可开展车辆荷载监测；
- 车辆荷载监测应覆盖除应急车道外的所有车道，车辆荷载监测可与视频监测联动，获取所有车道的车辆空间分布；
- 车辆荷载监测点宜布设在主跨跨中断面。

5.3.5 船舶撞击桥墩加速度监测测点宜布设在有船撞风险的水位变动区的桥墩底部或承台顶部。主动防船撞监测预警系统中偏航检测 AIS、雷达、摄像头测点宜在桥墩附近，用于实时监测船舶与桥墩之间的距离和船舶的航行状态，视频监测测点宜在主梁上、下游两侧对称布设；超高检测光纤测点宜布设在梁底通航净空位置、激光雷达测点宜布设在桥墩附近；声光报警装置宜布设在桥梁通航孔对应的防撞护栏上，能够直观地提醒过往船舶注意桥梁的存在和潜在风险；具体功能模块根据桥梁实际通航情况选择性安装。

5.3.6 风速风向监测应能监测自由风场风速和风向，宜按照桥址区风场玫瑰图确定主风向，根据主风向布置风荷载监测点，风速风向监测测点应满足下列规定：

- 跨度小于1500m悬索桥应在主梁跨中上、下游两侧和塔顶各布设一个风速风向监测测点；跨度大于等于1500m悬索桥，结合风场空间相关性，宜在1/4、3/4主跨增加风速风向监测测点；可在跨中和1/4、3/4主跨断面布设风压监测测点；
- 跨度小于800m斜拉桥宜在主梁跨中上、下游两侧和塔顶各布设一个风速风向监测测点；跨度大于等于800m斜拉桥，结合风场空间相关性，宜增加风速风向监测测点；
- 位于强风区的大跨度钢梁桥可在主跨跨中布设风速风向监测测点；
- 对中、下承式拱桥应在主梁跨中布设风速风向监测测点，风环境复杂时可在拱顶增设风速风向监测测点；位于强风区的上承式拱桥可在主梁跨中布设风速风向监测测点。



- 5.3.7 结构温度监测应根据桥梁结构温度场分布特点,并结合结构类型、联长、跨径、构件尺寸、铺装体系、日照时间分布等因素综合确定。钢结构温度监测测点可与应变监测的温度补偿测点协调布设。
- 5.3.8 地震动监测测点宜布设于桥梁桥墩底部或承台顶部,可布设于桥梁两岸的护岸、锚碇锚室内,近桥址监控中心等自由场地。长度小于800m的桥梁,应不少于一个监测测点;长度大于等于800m的桥梁,宜增加监测测点。
- 5.3.9 主梁竖向位移监测测点应满足下列规定:
- 悬索桥监测测点应按主跨8分点布设;
  - 斜拉桥应按主跨4分点、边跨跨中布设,主跨跨径大于500米的宜增加监测测点;
  - 梁桥应按主跨4分点、边跨按跨中布设,跨中下挠较大的梁桥,可在下挠较大区域增设监测测点;
  - 中、下承式拱桥宜对主梁开展竖向位移监测,上承式拱桥宜对主拱圈开展竖向位移监测;
  - 宽幅桥面、中央索面或其他具有扭转监测需求的主梁,宜在左右幅同一断面外侧布设监测测点。
- 5.3.10 主梁横向位移监测测点应满足下列规定:
- 悬索桥主梁横向位移监测点应在主跨跨中布设;
  - 高墩、大跨度斜拉桥,可根据实际情况开展主梁横向位移监测。
- 5.3.11 支座位移、梁端纵向位移监测测点宜布设在主支座、伸缩缝处;支座发生明显横向位移,宜增设横向位移测点。
- 5.3.12 拱顶位移监测应布设竖向位移监测点,若横向刚度较弱,可结合主拱圈动力特性等情况,布设横向位移监测点,监测测点宜布设于拱顶部。
- 5.3.13 塔顶偏位监测应根据位移方向、位移量选择合适的方法开展偏位监测,监测测点宜布设于索塔顶部。
- 5.3.14 跨度小于1500m悬索桥宜在跨中布设主缆偏位监测测点;跨度大于等于1500m悬索桥宜在跨中、1/4、3/4主跨布设主缆偏位监测测点,对主梁、主缆线形出现异常的,可有针对性地增设测点。
- 5.3.15 高墩或桥面为单向坡且纵坡度较大的梁桥,应开展墩顶位移或倾角监测,监测测点宜布设于墩顶。
- 5.3.16 塔顶转角监测测点宜布设于索塔塔顶位置,梁端竖向、水平转角监测测点宜布设在伸缩缝两端的主梁上。
- 5.3.17 上承式拱桥拱上高立柱顶部宜开展转角监测或位移监测。
- 5.3.18 应变监测测点应满足下列规定:
- 主梁、主拱圈、索塔等关键截面应变监测点位置和数量应根据结构计算分析,选择受力较大的部位布设;对车辆轴载大的位置与方向宜增设测点;
  - 悬索桥主塔塔底应变监测点宜布置在塔底实心段上方1~2米处;
  - 加固桥梁宜在维修改造处增设测点,并对加固材料表面与周边开展监测比对;
  - 钢混叠合梁、混合梁,可在钢混接合部两侧分别布设应变监测点;
  - 主梁应变测点应布设在主梁顶、底板,且顶、底板均不少于1个测点,测点布设按对称布设原则,且测点宜选择靠近腹板位置。
- 5.3.19 索力监测测点应满足下列规定:
- 应根据悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)和系杆等索构件的布置形式、规格、型号、长短、索力和应力,确定监测的索构件,宜选择上、下游索构件成对布设;
  - 应根据主缆锚固方案、索股布置形式,确定锚跨索股力监测的索股,基准索股宜布设测点。
- 5.3.20 主梁竖向和横向振动监测点应结合主梁动力特性计算或现场测试结果确定。监测测点宜布设在振型峰值点处,避开振型节点,测点位置应至少包括主跨跨中和1/4、3/4主跨;主梁纵向振动监测

点宜布设在塔梁连接处或支座附近；主拱振动监测测点应根据主拱振型确定，宜布设在振型峰值点处，避开振型节点；塔顶振动监测测点宜对塔顶进行双向振动监测。

5.3.21 悬索桥锚碇位移监测测点宜布设于重力锚锚体与前支墩角点处、隧道锚前锚面处；拱桥主拱圈拱脚位移监测测点宜布设于起拱线交汇处。

5.3.22 混凝土结构和钢结构裂缝监测测点应依据检查（测）、技术状况评定、养护维修结果确定测点位置和数量，宜对裂缝宽度跟踪监测。

5.3.23 索夹滑移或索夹螺栓状态监测测点宜布设在对应主缆坡度最大点或接近主索鞍处；测点布置宜根据索夹类型、索夹倾角及螺栓布置形式确定。

5.3.24 依据 JTG/TH21 技术状况评定为“螺栓损失”标度达到 3 或 3 以上的钢结构桥梁，宜根据检查（测）、技术状况评定结果确定高强螺栓状态监测测点位置和数量。

5.3.25 桥梁体外预应力监测测点位置和数量，宜根据梁体结构构造特点和预应力布设形式、位置确定。

#### 5.4 监测方法

5.4.1 监测方法包括感知方法和数据采集方法，应与桥梁环境、作用、结构响应、结构变化监测内容匹配。

5.4.2 传感器与数据采集设备选型应满足监测量程、分辨力、精度、灵敏度、动态频响特性、长期稳定性、环境适应性要求。

5.4.3 监测数据采集频率应满足数据分析和应用要求。

5.4.4 监测设备工作环境适应能力应满足其所在桥址区或桥梁构件内的环境条件，可按需配置温湿度控制和保护装置。

5.4.5 现场不具备市电供电条件时，可适当选择低功耗采集方式。

5.4.6 监测方法包括但不限于本指南所列传感器与数据采集设备。

5.4.7 环境温度监测设备包括热电偶、热电阻、光纤温度传感器等，环境湿度监测设备包括氯化锂湿度计、电阻电容湿度计和电解湿度计等。

表 5 温湿度计的技术要求

| 项目         | 技术要求            |
|------------|-----------------|
| 测量范围（相对湿度） | 0~100%RH        |
| 测量误差（相对湿度） | ≤±2%RH（在20℃条件下） |
| 测量范围（相对湿度） | -10℃~+80℃       |
| 误差（相对湿度）   | ≤±0.5℃          |
| 分辨力（温度）    | ≤0.1℃           |

5.4.8 雨量监测设备包括电容雨量传感器、红外散射式雨量传感器、单翻斗雨量传感器等，应根据桥址处气候、气象条件选择雨量传感器类型、量程。

表 6 雨量计的技术要求

| 项目 | 技术要求 |
|----|------|
|----|------|

| 项目  | 技术要求  |
|-----|---|
| 分辨力 | ≤0.1mm  |
| 误差  | ≤2% (降雨强度≤25mm/h)<br>≤3% (25mm/h<降雨强度≤50mm/h) |

5.4.9 结冰监测设备包括超声波结冰传感器、视频监控等。

表7 超声波结冰传感器的技术要求

| 项目     | 技术要求       |
|--------|------------|
| 结冰监测量程 | 0.2mm~10mm |
| 误差     | <1mm       |
| 工作温度   | -40℃~85℃   |

5.4.10 车辆荷载监测方法包括动态称重系统和基于视频技术与静态称重系统相结合的车辆荷载监测系统。

表8 动态称重系统的技术要求

| 项目       | 技术要求      |
|----------|-----------|
| 整车称重误差   | ≤15%      |
| 荷载能力(单轴) | ≥15吨      |
| 过载能力(单轴) | ≥200%     |
| 车速范围     | 5~200km/h |
| 车速误差     | ≤±2km/h   |
| 车流量统计准确性 | ≥95%      |

表9 高清摄像机的技术要求

| 项目   | 技术指标  |
|------|---|
| 像素   | ≥900万dpi  |
| 照度   | ≥0.005Lux   |
| 分辨率  | ≥4096(H)×2160(V)  |
| 目标检测 | 机动车抓拍,车辆捕获率≥99%(线圈)车辆捕获率≥95%(视频),非机动抓拍,行人抓拍;具备车牌识别、车型识别、车身颜色识别(环境光有要求)、违章检测、车辆品牌等特征检测 |

5.4.11 风荷载监测设备包括超声波风速仪、机械式风速仪、皮托管等。桥面风速风向监测宜选用三维超声波风速仪,塔顶风速风向监测宜采用螺旋桨式风速仪或二维超声波风向仪。

表10 超声波风速仪的技术要求

| 项目   | 技术要求  |
|------|---|
| 测量参数 | 三个(或两个)正交方向的风速和风向   |
| 风速   | 测量范围:0~40m/s;分辨力≤0.1m/s   |
| 风向   | 水平测量范围:0~360°;俯仰测量范围:-60°~+60°;分辨力≤0.1°;误差≤±2°(1~30m/s),±5°(30~40m/s) |

表11 机械式风速仪的技术要求

| 项目   | 技术要求                                     |
|------|--|
| 测量参数 | 水平风速、风向                                  |
| 风速   | 测量范围：0~100m/s；误差 $\leq\pm 0.3\text{m/s}$ |
| 风向   | 测量范围：0~360°；误差 $\leq\pm 3^\circ$         |

5.4.12 主动防船撞监测预警系统包括助航信息推送、偏航检测、超高检测、水文信息检测、视频监控、声光报警等功能。助航信息推送采用 AIS 技术对桥梁 2km 范围内的船舶进行识别，并主动推送助行信息；偏航检测采用 AIS 电子围栏、摄像机、雷达等技术，对经过桥梁的船舶航迹进行跟踪，如果检测到船舶偏航，系统启动 VHF, AIS、声光报警等装置向偏航船舶发布预警信息；超高检测采用光纤、激光雷达等技术，安装的高度与桥梁通航净空高度持平，通过光纤是否断裂或对即将经过桥梁的船舶图像分析处理进行高度监测，如果检测到船舶超高，将通过预警系统向管养单位发出报警信号；水位信息检测通过水位计监测水位变化，计算出实时通航净高，通过 AIS 短信、无线对讲机语音等多种方法把实时通航净高告知船舶驾驶员；视频监控 24 小时全天候监视桥区的工作状态，一旦发生船舶碰撞事故，作为分析及取证资料。

5.4.13 地震动宜采用力平衡式加速度传感器、强震仪、磁电式加速度传感器、压电式加速度传感器等开展监测。

表 12 地震动传感器的技术要求

| 项目     | 技术要求                       |
|--------|----------------------------|
| 测量范围   | $>\pm 2\text{g}$ (XYZ三个方向) |
| 误差     | $\leq 1\%$                 |
| 灵敏度    | $\geq 2.5\text{V/g}$       |
| 横向灵敏度比 | $\leq 1\%$                 |
| 频率响应   | 0.1~80Hz                   |
| 动态范围   | $\geq 120\text{dB}$        |

5.4.14 主梁横向位移、主缆偏位、塔顶偏位、梁桥高墩墩顶偏位可采用北斗卫星导航技术或光电图像位移计等非接触式测量设备开展监测，北斗观测基准站可选择在桥址附近稳定、空旷地带，监测数据应转换到大桥独立坐标系。

表 13 北斗接收机的技术要求

| 项目     | 技术要求                                  |
|--------|---------------------------------------|
| 动态测量误差 | 水平方向： $\leq 10\text{mm}+1\text{ppm}$  |
|        | 垂直方向： $\leq 20\text{mm}+1\text{ppm}$  |
| 静态测量误差 | 水平方向： $\leq 3\text{mm}+0.5\text{ppm}$ |
|        | 垂直方向： $\leq 5\text{mm}+0.5\text{ppm}$ |

5.4.15 梁端转角采用高精度双向倾角仪开展角度监测。

表 14 双向倾角仪的技术要求

| 项目   | 技术要求              |
|------|-------------------|
| 标准量程 | $\pm 5^\circ$     |
| 分辨力  | 0.01°             |
| 误差   | $\leq 0.02^\circ$ |
| 温度范围 | -40~80° C         |

5.4.16 上承式拱桥可选用微波雷达挠度仪、光电图像位移计等非接触式测量设备开展主拱圈位移监测。斜拉桥、梁桥和中、下承式拱桥主梁竖向位移监测可选用基于连通管原理的压力变送器、微波雷达挠度仪、光电图像位移计，鼓励满足适用条件的桥梁优先选用基于连通管原理的压力变送器开展位移监测。

表 15 压力变送器的技术要求

| 项目   | 技术要求                           |
|------|--------------------------------|
| 量程   | 6.25m水柱                        |
| 精度   | $\pm 0.065\%$                  |
| 过压影响 | $\pm 0.03\%F.S.R/16\text{MPa}$ |
| 稳定性  | $\pm 0.1\%F.S.R/60\text{个月}$   |
| 操作温度 | -40°C~85°C                     |

5.4.17 支座位移、梁端纵向位移宜采用拉线式位移传感器、磁致伸缩位移传感器、激光位移传感器等开展监测。

表 16 拉线式位移传感器技术要求

| 项目  | 技术要求                 |
|-----|----------------------|
| 量程  | 1000mm（根据伸缩缝设计量程可定制） |
| 线性度 | $\pm 0.1\%FS$        |
| 重复性 | $\pm 0.01\%FS$       |

表 17 磁致伸缩位移传感器技术要求

| 项目  | 技术要求                 |
|-----|----------------------|
| 量程  | 2000mm（根据伸缩缝设计量程可定制） |
| 线性度 | $\pm 0.05\%FS$       |
| 重复性 | $\pm 0.002\%FS$      |

5.4.18 静应变监测宜采用光纤应变传感器、振弦式应变传感器、电阻应变传感器，动应变监测宜采用光纤应变传感器、电阻应变传感器等。

表 18 应变计的技术要求

| 项目   | 技术要求                                       |
|------|--|
| 测量范围 | - 1500 $\mu\epsilon$ ~ +1500 $\mu\epsilon$ |
| 分辨力  | $\leq 0.5\mu\epsilon$                      |
| 误差   | $\leq +2\mu\epsilon$                       |

5.4.19 索力监测方法包括间接测力或直接测力法。间接测力法宜采用电容式加速度传感器、压电式加速度传感器，直接测力法可采用压力传感器。在建桥梁可考虑在建设期安装压力传感器；综合使用场景和建设成本，在役桥梁宜采用压电式加速度传感器。体外预应力索力变化监测可采用基于电磁原理的测力仪器。

表 19 加速度传感器（频率法）的技术要求

| 项目   | 技术要求          |
|------|---------------|
| 测量范围 | -2g~+2g       |
| 误差   | $\leq 1\%$    |
| 灵敏度  | $\leq 2.5V/g$ |
| 频响范围 | 0~100 Hz      |
| 动态范围 | $\geq 70dB$   |

5.4.20 振动监测宜采用加速度监测方法，应根据桥梁整体及梁、塔、索结构的动力分析结果、基频、振型等选择传感器，确定振动加速度量程、频响范围、横向灵敏度。钢结构宜采用力平衡式加速度传感器或电容式加速度传感器，索和混凝土结构宜采用电容式、压电式加速度传感器和磁电式加速度传感器。

表 20 加速度传感器的技术要求

| 项目     | 技术要求                |
|--------|---------------------|
| 测量范围   | -2g~+2g             |
| 分辨力    | $\leq 1\mu g$       |
| 误差     | $\leq 1\%$          |
| 灵敏度    | $\geq 2.5V/g$ （可定制） |
| 横向灵敏度比 | $\leq 1\%$          |
| 频率响应   | 0.1~120 Hz          |
| 动态范围   | $\geq 120dB$        |

5.4.21 裂缝监测宜采用自动监测、人工观测或相结合的方式。自动监测设备包括振弦式裂缝传感器、电阻式裂缝传感器、长标距光纤等光纤式裂缝传感器、高清摄像机、导电涂膜裂缝监测传感器等。少量裂缝宜选用振弦式或电阻式裂缝传感器，大面积裂缝监测可采用导电涂膜裂缝监测传感器。

5.4.22 高强螺栓紧固力监测设备包括振弦式或电阻式压力环式传感器、超声应力传感器。在建或增补螺栓的桥梁可采用振弦式或电阻式压力环式传感器。

表 21 压力环传感器的技术要求

| 项目  | 技术要求   |
|-----|--------|
| 量程  | 200kN  |
| 灵敏度 | 0.1kN  |
| 误差  | 0.2%FS |

5.4.23 索夹滑移监测设备包括位移监测传感器或视频监测摄像机。宜采用自复位式位移传感器或磁致伸缩位移计。

5.4.24 腐蚀监测宜选用电化学方法,腐蚀监测传感器宜选用沿混凝土保护层深度安装多电极传感器。

5.4.25 断丝监测宜采用声发射监测方法,悬索桥吊索、主缆,斜拉桥斜拉索,拱桥吊杆(索)、系杆等裸露于空气中的钢索结构断丝可选用谐振频率较高的声发射传感器;埋设于混凝土内的预应力索断丝可选用谐振频率稍低的声发射传感器。

## 5.5 数据采集

### 5.5.1 数据采集站组站方式

数据采集方式应根据桥梁跨度、长度、空间尺度及结构特点、监测规模、传感器类型进行选择,可分为分布式数据采集和集中式数据采集。监测测点相距较近且较集中时,宜选用集中式数据采集方式;监测测点相距较远且较分散时,宜选用分布式数据采集方式。

### 5.5.2 信号类型

数据采集硬件应根据传感器输出信号类型、幅值、精度、分辨力和兼容性等要求进行设备选型,并满足下列要求:

- a) 数字信号可选用基于 RS485、CAN、Modbus TCP 或 UDP 等分布式数据采集设备,并兼顾传输距离、传输带宽和速率;
- b) 电荷信号应选用电荷放大器进行信号调理后采集;
- c) 模拟电信号宜选用 4mA~20mA 和 -5V~5V 等标准工业信号,可选用基于 PCI、PXI 等技术的集中式数据采集设备,并进行光电隔离,以增强抗干扰能力;
- d) 光信号数据采集应采用专用的光纤解调设备,应根据波长范围采样通道与采样频率进行选型,光纤光栅波长分辨力小于等于 1pm,扫描频率大于等于 50Hz;
- e) 振弦式传感器信号应选用专用振弦式采集仪采集,频率信号误差不大于 0.1Hz;
- f) 电阻式应变传感器信号应选用惠斯登电桥调理信号放大;
- g) 电磁弹式索力传感器信号应选用磁弹采集仪采集,误差不大于 0.5%F·S;
- h) 数据采集模数转换(A/D 转换)应满足传感器分辨力、精度和数据分析要求,静态信号分辨力大于等于 16 位,动态信号分辨力大于等于 16 位;
- i) 静态模拟信号宜选用多路模拟开关、采样保持器进行多路信号采集;
- j) 动态信号应选用抗混滤波器进行滤波、降噪。

### 5.5.3 采样频率

- a) 采样频率应根据监测应用分析要求和功能要求自行设定,宜不低于下列规定:

表 22 环境监测内容采样频率表

| 监测内容 | 采样频率     |
|------|----------|
| 温度   | 1/600Hz  |
| 湿度   | 1/600Hz  |
| 雨量   | 1/60Hz   |
| 结冰   | 在线：25FPS |

表 23 作用监测内容采样频率表

| 监测内容 | 采样频率                  |
|------|-----------------------|
| 车辆荷载 | 动态称重设备：触发采集；视频：25FPS  |
| 风速风向 | 超声风速仪：10Hz；机械式风速仪：1Hz |
| 风压   | 10Hz                  |
| 结构温度 | 1/600Hz               |
| 船舶撞击 | 触发采集加速度：50Hz          |
| 地震   | 触发采集加速度：50Hz          |

表 24 结构响应监测内容采样频率表

| 监测内容 | 采样频率                                   |
|------|--|
| 位移   | 动位移：20Hz；静位移：1Hz                       |
| 转角   | 1Hz                                    |
| 应变   | 动应变：10Hz；静应变：1/600Hz                   |
| 索力   | 压力传感器：1Hz；加速度传感器：50Hz；电磁弹式传感器：1/3600Hz |
| 支座反力 | 1Hz                                    |
| 振动   | 拱桥不低于 100Hz，其它桥梁不低于 50Hz               |

表 25 结构变化监测内容采样频率表

| 监测内容           | 采样频率                           |
|----------------|--------------------------------|
| 基础冲刷           | 在线：1MHz；离线：每年 1 次~2 次          |
| 锚碇位移、拱脚位移、桥墩沉降 | 在线：1/3600Hz；离线：每年 1 次~2 次      |
| 裂缝             | 动态：10Hz；静态：1/3600Hz；图像：每周 1 次  |
| 腐蚀             | 在线：1/3600Hz；离线：每年 1 次~2 次      |
| 体外预应力          | 在线：1/3600Hz；离线：每年 3 次~4 次      |
| 断丝             | 触发采集：2MHz                      |
| 螺栓状态           | 在线：1Hz；图像：每周 1 次；离线：每年 1 次~2 次 |
| 索夹滑移           | 在线：1Hz；图像：每周 1 次；离线：每年 1 次~2 次 |

b) 环境、作用和结构响应监测数据应同步采集，宜采用北斗卫星导航时钟同步技术，同步精度宜符合下列规定：

- 1) 动态监测变量的数据采集时钟同步误差小于 0.1ms；
- 2) 静态监测变量的数据采集时钟同步误差小于 1ms。



- c) 数据采集应采取抗干扰措施：串模干扰抑制、共模干扰抑制以及防雷接地技术和屏蔽技术，以提高信噪比。

#### 5.5.4 数据传输

- a) 数据传输方式应根据桥址环境、测点量、传感器及采集设备类型进行选择配置，可分为有线传输和无线传输，传感到采集站应优先选用有线传输，当有线网络传输路径过长或不具备布设条件时，可考虑选用无线传输。
- b) 有线传输宜选用带宽高、传输距离远、可靠性高、抗干扰能力强的光纤传输，传输网络宜采用基于 TCP/IP 协议的光纤专网。
- c) 采用无线通信网络进行数据传输，带宽、传输距离、时延等应满足监测要求。
- d) 数据传输设施应选用抗干扰能力强、稳定、高效的工业级产品，应能保证长时间高效、可靠、稳定运行。

### 6 常规桥梁轻量化监测

#### 6.1 一般规定

6.1.1 常规桥梁监测应采用轻量化监测方式，宜具有“小成本、少指标、轻数据、低功耗、自组网、易安装、高集成、便维护、可拆卸”等主要特征。

6.1.2 系统建设单位根据桥梁实际情况，评估桥梁环境、作用、结构安全状况等方面的风险水平，确定具体的监测场景。重点考虑超限报警和应急响应应用场景类别，适当兼顾养护评估和基础研究应用场景类别。监测场景主要包括：

- a) 桥梁服役环境风险源的监测场景，包括但不限于水毁风险监测和地质灾害风险监测等；
- b) 桥梁作用风险源的监测场景，包括但不限于重载交通桥梁安全监测、撞击风险监测、高烈度地震区桥梁安全监测和沉降风险监测等；
- c) 桥梁结构安全状况风险源的监测场景，包括但不限于重点结构安全监测、先天不足桥梁安全监测、运行风险高桥梁监测、技术状况差桥梁安全监测和桥梁长期服役性能监测等。

6.1.3 应根据监测场景需求和结构类型确定监测内容、测点布设和监测方法。

6.1.4 不同监测应用场景间的相同监测项目不宜重复监测。

#### 6.2 监测对象

6.2.1 常规桥梁可选择典型桥跨进行监测。典型桥跨应根据监测场景的具体需要，分别从施工工艺、技术状况评定指标等维度，按照一定比例进行选取，再对不同维度选出的桥跨进行统筹。选取原则可参考表 26。

表 26 典型桥跨选择原则

| 桥跨数量   | 最小选取数量 | 桥跨数量     | 最小选取数量 |
|--------|--------|----------|--------|
| 2~15   | 2      | 151~280  | 13     |
| 16~25  | 3      | 281~500  | 20     |
| 26~90  | 5      | 501~1200 | 32     |
| 91~150 | 8      | 1201 以上  | 50     |

6.2.2 应选取典型桥跨主要承重构件的代表性构件进行实时监测，代表性构件宜为监测场景风险源的直接作用对象。鼓励采用非接触式的技术和设备实现代表性构件的全覆盖。

### 6.3 环境风险监测场景与测点布设

6.3.1 水毁风险区桥梁主要包括：存在历史水毁记录桥梁、河道变迁风险桥梁、边岸再造风险地区桥梁、山洪易发地区桥梁、泄洪区桥梁、冲刷风险较大桥梁、季节水位变化较大桥梁、扩大基础桥梁。监测项目及测点布设见表 27。

表 27 水毁风险区桥梁轻量化监测

| 轻量化监测场景 | 监测项目      | 监测选项 | 测点布设         |
|---------|-----------|------|--------------|
| 水毁风险区桥梁 | 视频抓拍监测    | ●    | 单侧桥下         |
|         | 水位监测      | ○    | 宜布置桥墩处       |
|         | 桥墩或梁体大变位  | ●    | 宜布置墩顶或主跨跨中处  |
|         | 冲刷监测      | ○    | 宜布置桥墩处       |
|         | 雨量监测      | ○    | 桥台处          |
|         | 梁体断裂或垮塌监测 | ○    | 宜沿桥面护栏外侧通长布设 |

注：●为应选监测项，○为宜选监测项

6.3.2 地质灾害风险区桥梁主要包括：沿线存在边坡崩塌等记录、桥梁两侧护坡技术状况等级低、桥梁两侧边坡存在崩塌等风险。监测项目及测点布设见表 28。

表 28 地质灾害风险区桥梁轻量化监测

| 轻量化监测场景   | 监测项目               | 监测选项 | 测点布设            |
|-----------|--------------------|------|-----------------|
| 地质灾害风险区桥梁 | 视频抓拍监测             | ●    | 两侧桥头            |
|           | 边坡位移监测             | ○    | 桥梁两侧边坡垮塌风险点     |
|           | 风险点环境监测（降雨量、土壤湿度等） | ○    | 与周边桥梁环境监测内容统筹考虑 |
|           | 桥墩或梁体大变位           | ●    | 宜布置墩顶或主梁跨中处     |
|           | 梁体断裂或垮塌监测          | ○    | 宜沿桥面护栏外侧通长布设    |

注：●为应选监测项，○为宜选监测项

### 6.4 作用风险监测场景与测点布设

6.4.1 重载交通桥梁主要包括：规划大件运输通行的桥梁、重载交通通行量大的桥梁。监测项目及测点布设见表 29。

表 29 重载交通桥梁轻量化监测

| 轻量化监测场景 | 监测项目     | 监测选项    | 测点布设 |               |
|---------|----------|---------|------|---------------|
| 重载交通    | 1.规划大件运输 | 竖向动位移监测 | ●    | 宜布置在跨中或跨中附近位置 |

|                   |               |         |   |  |
|-------------------|---------------|---------|---|--|
| 桥梁                | 通行的桥梁         | 视频抓拍监测  | ● | 宜布置在主梁竖向动位移监测测点附近，能够清晰拍摄到桥面交通通行状况的位置   |
|                   | 2.重载交通通行量大的桥梁 | 车辆荷载监测  | ○ | 结合桥梁、动态称重系统、交通量调查站点等的分布综合确定，并与视频监测进行联动 |
|                   |               | 竖向动位移监测 | ● | 宜布置在跨中或跨中附近位置                          |
|                   |               | 裂缝监测    | ○ | 应根据检查结果确定测点位置                          |
|                   |               | 应变监测    | ○ | 宜选择受力较大关键截面、部位或典型桥跨全长连续多个断面            |
|                   |               | 振动监测    | ○ | 宜选择跨中、1/4跨、3/4跨                        |
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项 |               |         |   |  |

6.4.2 撞击高风险桥梁主要包括：存在车辆撞击记录、净空尺度不满足航道规划尺度或抗撞性能不满足、存在非通航孔撞击风险、存在下穿通道的桥梁、存在漂浮物撞击风险的桥梁（如浮木等）。监测项目及测点布设见表 30。

表 30 撞击高风险桥梁轻量化监测

| 轻量化监测场景           |                         | 监测项目        |      | 监测选项                   | 测点布设                |
|-------------------|-------------------------|-------------|------|------------------------|---------------------|
| 撞击高风险桥梁           | 1.存在车辆撞击记录              | 振动监测        |      | ●                      | 宜布置在车道附近易于感知撞击信号位置处 |
|                   | 2.净空尺度不满足航道规划尺度或抗撞性能不满足 | 主动防船撞监测预警系统 | 助航信息 | ●                      | 宜布置在偏航或超高风险区域       |
|                   |                         |             | 偏航检测 | ○                      |                     |
|                   |                         |             | 超高检测 | ○                      |                     |
|                   |                         |             | 视频监控 | ●                      |                     |
|                   |                         |             | 水文信息 | ○                      |                     |
|                   | 声光报警                    | ○           |      |                        |                     |
| 3.存在非通航孔撞击风险      | 净空监测                    |             | ○    | 宜布置在通航净空上方梁底的高程最低位置处   |                     |
| 4.存在下穿通道的桥梁       | 振动监测                    |             | ●    | 宜布置在车道/航道附近易于感知撞击信号位置处 |                     |
| 5.存在漂浮物撞击风险的桥梁    | 振动监测                    |             | ●    | 宜布置在车道/航道附近易于感知撞击信号位置处 |                     |
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项 |                         |             |      |                        |                     |

6.4.3 高烈度地震区桥梁主要包括：抗震设防烈度大于等于 8 度地区、沿线存在地震带或断层地区。监测项目及测点布设见表 31。

表 31 高烈度地震区桥梁轻量化监测

| 轻量化监测场景 | 监测项目 | 监测选项 | 测点布设 |
|---------|------|------|------|
|---------|------|------|------|

|                   |        |   |              |
|-------------------|--------|---|--------------|
| 高烈度地震区桥梁          | 振动监测   | ● | 宜布置桥台或承台位置处  |
|                   | 桥墩倾斜监测 | ● | 桥墩位置         |
|                   | 视频抓拍监测 | ○ | 两侧桥头         |
|                   | 落梁监测   | ○ | 可和振动监测测点合并设置 |
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项 |        |   |              |

6.4.4 沉降风险区桥梁主要包括：采空区、桥梁沉降异常地区、高填方区域。监测项目及测点布设见表 32。

表 32 沉降风险区桥梁轻量化监测

| 轻量化监测场景           | 监测项目          | 监测选项 | 测点布设   |
|-------------------|---------------|------|--------|
| 沉降风险区桥梁           | 沉降监测（或桥墩倾斜监测） | ●    | 桥梁墩台处  |
|                   | 落梁监测          | ○    | 梁端位置   |
|                   | 视频抓拍监测        | ○    | 宜布置桥墩处 |
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项 |               |      |        |

## 6.5 结构风险监测场景与测点布设

6.5.1 重点结构桥梁主要包括：系杆拱桥、圯工拱桥、肋拱桥、双曲拱桥、刚架拱；刚构桥、连续箱梁桥、高墩装配式梁桥。监测项目及测点布设见表 33。

表 33 重点结构桥梁轻量化监测

| 监测应用场景            |        | 监测项目    | 监测选项          | 测点布设                           |
|-------------------|--------|---------|---------------|--------------------------------|
| 重点结构桥梁            | 1. 拱桥  | 竖向动位移监测 | ●             | 宜布置在跨中或跨中附近位置                  |
|                   |        | 裂缝监测    | ○             | 根据检查(测)确定测点位置                  |
|                   |        | 索力监测    | ○             | 根据索和系杆的布置、规格、长短等确定             |
|                   |        | 振动监测    | ○             | 宜选择跨中、1/4 跨、3/4 跨              |
|                   | 拱脚位移监测 | ○       | 宜布设于拱座上、下游两侧  |                                |
|                   | 2. 梁桥  | 竖向静位移监测 | ●             | 宜布置在跨中或跨中附近位置；T 型刚构桥，应布置在挂梁悬臂端 |
|                   |        | 桥墩倾斜监测  | ●             | 桥梁墩台处                          |
|                   |        | 沉降监测    | ○             | 桥梁墩台处                          |
| 裂缝监测              |        | ○       | 根据检查(测)确定测点位置 |                                |
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项 |        |         |               |                                |

6.5.2 先天不足桥梁主要包括：设计汽车荷载低于现行荷载标准的桥梁；抗震、抗水毁等御灾能力不足的桥梁。监测项目及测点布设见表 34。

表 34 先天不足桥梁轻量化监测

| 监测应用场景            | 监测项目    | 监测选项 | 测点布设                        |
|-------------------|---------|------|-----------------------------|
| 先天不足桥梁            | 竖向动位移监测 | ●    | 宜布置在跨中或跨中附近位置               |
|                   | 视频抓拍监测  | ●    | 单侧桥下                        |
|                   | 车辆荷载监测  | ○    | 结合桥梁、动态称重系统、交通量调查站点等的分布综合确定 |
| 注：●为应选监测项，○为宜选监测项 |         |      |                             |

6.5.3 运行风险高桥梁主要包括，倾覆风险：独柱墩桥、弯桥；装置失效风险：高墩长下坡路段桥梁；突发事件风险：危化品车辆通行占比高桥梁。监测项目及测点布设见表 35。

表 35 运行风险高桥梁轻量化监测

| 监测应用场景  | 监测项目              | 监测选项   | 测点布设 |               |
|---------|-------------------|--------|------|---------------|
| 运行风险高桥梁 | 1. 倾覆风险桥梁         | 支座偏位监测 | ●    | 应选择墩顶梁端支座处    |
|         |                   | 视频抓拍监测 | ●    | 应选择桥梁侧面       |
|         |                   | 梁体倾角监测 | ○    | 宜选择主梁跨中       |
|         | 2. 装置失效风险桥梁       | 梁端位移   | ●    | 宜布置在伸缩缝附近位置   |
|         |                   | 视频抓拍监测 | ●    | 支座位置附近        |
|         |                   | 裂缝监测   | ○    | 根据检查（测）确定测点位置 |
|         |                   | 桥墩倾斜监测 | ○    | 桥梁墩台处         |
|         | 3. 突发事件风险桥梁       | 视频抓拍监测 | ●    | 应选择可覆盖全桥面位置   |
|         | 注：●为应选监测项，○为宜选监测项 |        |      |               |

6.5.4 技术状况差桥梁主要包括：技术状况等级为 3 类、4 类且需要跟踪监测的在役桥梁；经过评定需要进行结构监测的桥梁；结构存在严重缺陷或病害的桥梁；横向联系弱、整体性差的装配式桥梁。监测项目及测点布设见表 36。

表 36 技术状况差桥梁轻量化监测

| 监测应用场景    | 监测项目    | 监测选项 | 测点布设               |
|-----------|---------|------|--------------------|
| 技术状况差桥梁   | 竖向动位移监测 | ●    | 布置在主梁跨中位置的多片相邻梁体附近 |
|           | 裂缝监测    | ●    | 根据检查结果确定测点位置       |
| 注：●为应选监测项 |         |      |                    |

6.5.5 对符合监测范围内的典型区域典型结构类型、实施条件较好的个别桥梁进行长期服役性能监测，监测内容和监测方法结合桥梁实际及基础研究需要确定。

## 6.6 大型桥梁的统筹融合监测

6.6.1 常规桥梁可按路段和区域共享大型桥梁相关应用场景的监测数据特征值和报警信息，特别是环境监测数据和作用监测数据，共享推送的频率结合具体监测场景需求确定。

## 6.7 数据采集

6.7.1 根据桥梁感知方法、传感器数量和测点位置分布，数据采集模式可分为基于微处理器的一体化采集和基于边缘网关的汇聚化采集，鼓励采用一体化采集模式。

6.7.2 数据采集应选用连续采集，必要时可选用触发采集、定时采集和即时采集等方式，采样频率应满足实时报警、数据应用的要求，可根据实际情况参考表 37 进行设定和调整。

表 37 数据采集频率

| 监测项目    | 采集方式 | 采样频率  |
|---------|------|---|
| 视频监控    | 连续采集 | 在线：25FPS  |
| 竖向位移监测  | 连续采集 | 不低于 1Hz   |
| 横向位移监测  | 连续采集 | 不低于 1Hz   |
| 裂缝监测    | 定时采集 | 定时采集：不低于每天 1 次                                  |
| 应变监测    | 连续采集 | 静应变：10 次/min<br>动应变：10Hz                        |
| 振动监测    | 连续采集 | 不低于 10Hz  |
| 净空监测    | 连续采集 | 不低于 1 次/h                                       |
| 梁体倾角监测  | 连续采集 | 不低于 1Hz   |
| 索力监测    | 连续采集 | 压力传感器：1 次/10min<br>加速度传感器：10Hz<br>电磁弹式传感器：1 次/h |
| 体外预应力监测 | 连续采集 | 在线：1 次/h  |
| 支座偏位监测  | 触发采集 | —   |
| 拱脚位移监测  | 定时采集 | 不低于每年 1 次                                       |

## 7 系统实施

### 7.1 一般规定

7.1.1 系统实施包括系统设计、硬件设备采购与安装、软件开发与测试、系统集成调试。

### 7.2 系统设计

7.2.1 系统设计应基于桥梁结构计算、分析、风险评估结果进行, 包括下列内容:

- a) 系统功能要求与总体方案设计;
- b) 系统各模块的工作流程、功能设计, 详细设计及集成方案;
- c) 监测内容和测点选择、监测方法、设备选型与安装方案;
- d) 系统数据采集、传输、处理与管理方案;
- e) 系统供配电、通信、防雷、防护方案;
- f) 系统及其附属设施的预埋件和预留孔洞方案;
- g) 系统数据分析和超限管理方案;
- h) 系统与桥梁主体结构、供配电、通信、监控中心的房建等的工程界面划分;

- i) 针对系统维护的桥梁检修通道设计需求;
  - j) 系统软件和硬件的维护更换、扩容升级建议。
- 7.2.2 监测内容、监测测点布设、监测方法、系统维护、数据管理及监测应用的设计应满足第5章、第6章、第8章、第9章和第10章的规定。
- 7.2.3 系统数据采集、传输、供配电、通信、防雷、预埋件、预留孔洞方案等应基于环境适应性，匹配性设计。
- 7.2.4 新建、在役桥梁的系统设计应明确桥梁现场系统供配电、通信接入点技术要求，纳入桥梁机电工程统一设计预留。
- 7.2.5 系统设计宜给出不同功能硬件的合理使用寿命，以及设备的维护与更换、软件模块更新升级的要求。
- 7.2.6 系统设计应明确与其他工程的工作界面划分，桥梁主体结构上的预留预埋件安装、开孔开洞后对耐久性防腐涂装局部损伤应进行专业修复。

### 7.3 硬件安装

- 7.3.1 传感器、数据采集设备在安装前应进行抽样计量测试，传感器类抽样测试比例不低10%，传感器、数据采集、传输设备、机箱、线管等设备和材料的技术参数应满足设计要求和国家现行相关标准。
- 7.3.2 传感器、数据采集与传输设备的安装位置应满足设计要求，传感器应通过可靠方式与被测结构物稳固连接，并采取适当的措施予以保护。
- 7.3.3 传感器和数据采集设备宜在就近位置设置标识铭牌，铭牌内容应包含监测内容、测点名称、编号等信息。
- 7.3.4 传感器安装完成后应准确填写施工记录表，详细记录传感器的监测内容、安装位置、测点名称、传感器名称、传感器型号、传感器编号和安装日期等信息资料。
- 7.3.5 硬件安装实施过程中的交通组织、施工通道、安全防护、防火措施及环境保护等应符合国家有关法律法规和现行有关标准的规定。
- 7.3.6 桥梁结构监测系统采用自建监控中心的应配备UPS电源、恒温空调、门禁安防系统。

### 7.4 软件开发

- 7.4.1 软件系统包含软件开发、软件部署、软件测试。
- 7.4.2 系统软件开发应符合以下规定：
- a) 各单桥系统软件平台的架构及功能尽量保持一致，应能与省级、部级平台高效衔接；
  - b) 宜采用主流的软件开发技术和框架，软件内部各模块应功能独立，模块之间耦合性低；
  - c) 软件编写遵循国际通用编码规范和注释规范，程序编码应简洁易读、结构清晰、易于调试维护；
  - d) 多方协同开发的软件模块，宜使用软件代码版本控制工具；
  - e) 系统软件内部不应内置与业务功能无关的后门程序、加密模块；
  - f) 按照《计算机软件文档编制规范》（GB/T 8567）等计算机软件行业标准要求编写软件开发文档和接口；
  - g) 软件开发时选用的技术路线应包括安全性、可靠性和技术先进性，宜采用边缘计算、分布式处理、消息中间件、时序数据库等技术。
- 7.4.3 系统软件部署应符合以下规定：
- a) 软件部署前应编制软件部署建设指南，过程规范有序，部署完成后各功能完好；

- b) 软件现场部署前, 服务器、工作站、工控机等硬件安装完毕并接电稳定运行, 数据中心网络、供电、通信、照明等应满足设计要求;
- c) 操作系统、应用组件、数据库等应用支撑软件的安装和配置应满足软件设计文件的要求;
- d) 软件安装和调试分步进行, 软件部署完成后现场、数据中心同步进行功能确认。

#### 7.4.4 软件性能测试应符合下列规定:

- a) 软件开发完成后应进行软件测试, 测试内容包含单元测试、功能测试、性能测试、集成测试等, 软件测试前应编写测试方案和测试用例, 测试流程和内容应符合 GB/T 15532 和 GB/T 9386 相关要求;
- b) 软件测试完成后出具《软件测试报告》, 报告应详细描述每个测试用例的测试结果, 对于重大功能偏离、缺陷和逻辑错误, 需经开发单位修复完善后再次提交测试, 最终测试通过率应不低于测试用例总数的 95%, 软件重大功能完好率应达到 100%。

### 7.5 系统集成及调试

7.5.1 数据采集与传输软件部署完成后与桥梁现场传感器模块和数据采集硬件进行数据集成校验, 确保数据输出通道、数据流、方向、精度等与外场设备安装保持一致。

7.5.2 数据处理与管理软件部署完成后, 数据接收、处理和存储等功能应满足设计文件要求。

7.5.3 软硬件联合调试完成后, 用户界面软件各项功能正常, 监测数据展示准确, 界面数据值、数据精度、数据单位应与设计文件技术要求一致。

7.5.4 系统软件操作响应时间宜小于 3s, 数据查询响应时间宜小于 5s, 测点数据完好率宜不低于 90%, 可采用公式 (1) 计算:

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

式中:

S——测点数据完好率;

p——故障测点数量;

T—检查周期时间, 单位为天 (d);

t<sub>i</sub>——第 i 个故障测点故障时间, 单位为天 (d);

P——总测点数量;

### 7.6 系统验收与培训

7.6.1 系统验收应按照“单桥系统预验收—省级平台对接测试—单桥系统正式验收”三个环节进行。

7.6.2 在役公路桥梁单桥系统预验收由桥梁管养单位负责。在建和新建公路桥梁单桥系统预验收由桥梁建设单位负责, 应与桥梁 (或项目) 主体工程交 (竣) 工验收同步进行。

7.6.3 单桥系统完成预验收后, 由桥梁管养单位或系统建设单位向技术支持单位提出正式对接测试申请, 并附竣工图、试运行报告、会议纪要或评审意见等文件资料。

#### 7.6.4 单桥系统预验收

- a) 单桥系统交付前进行不低于 3 个月的试运行, 轻量化监测系统试运行期宜结合养护需求制定,



试运行期内应开展系统使用培训、功能完善、设备基准值校正、超限阈值设置等工作。

- b) 单桥系统试运行期结束后，应开展单桥系统预验收工作。
- c) 单桥系统预验收前，应对输入和输出的监测数据进行逻辑性、相关性和匹配性检验。
- d) 监测系统验收应包含系统硬件验收、系统软件验收和资料验收。
- e) 系统硬件验收满足下列要求：
  - 1) 安装设备材料的数量、规格型号、技术参数等应与合同文件、设计文件一致，合格证、质保卡说明书及出厂检验报告等应齐全；
  - 2) 传感器安装位置应正确、牢固、端正、表面平整，与结构物接触面紧密，应采取必要的防腐防护措施，信号线按要求连接到位；
  - 3) 数据采集设备应处于正常工作状态，机柜内电力线、信号线、元器件等应布线平直、整齐、固定可靠，插头牢固，标识清晰；出线管与箱体连接应密封良好，机柜内应无积水、尘土、霉变；机柜接地应连接可靠，接地引出线无锈蚀；
  - 4) 光电缆线路敷设与监控中心设备安装宜符合 JTG 2182 的相关规定。
- f) 系统软件验收应满足下列要求：
  - 1) 进行数据采集与传输软件功能完整性和一致性检查，正常采集、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求；
  - 2) 进行数据处理与管理软件功能完整性和一致性检查，正常接收、处理、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求；
  - 3) 进行用户界面软件功能完整性和一致性检查，各软件模块功能满足设计文件技术要求，静态基础数据、实时监测数据、历史统计数据等各类数据显示准确、齐全；
  - 4) 软件整体请求响应速度、数据刷新率等性能指标满足设计文件技术要求；
  - 5) 进行系统整体安全性检查，确保满足设计文件中对于网络信息安全相关技术要求。
- g) 系统交（竣）工验收应检查验收资料的齐全性、规范性和一致性，验收资料宜包含下列内容：
  - 1) 合同相关资料：合同协议书、合同谈判纪要等；
  - 2) 实施过程资料：系统设计文件，系统变更资料，设备进场报验资料、监测设备设施安装记录、设备设施检验资料，监理资料（质量控制资料），有关会议纪要等；
  - 3) 技术成果资料：系统竣工图、实施成果报告、系统试运行报告、硬件维护手册、软件操作手册等。

#### 7.6.5 省级平台对接测试

技术支持单位收到对接申请后，应提供单桥接口密钥及授权账号，对单桥基础数据进行审核，配置省级平台公共侧的资源，协助调试接收单桥特征数据及实时数据，测试评估上传数据及视频的完好率和质量，实现与省级平台的对接。

#### 7.6.6 单桥系统正式验收

单桥系统预验收和省级平台对接测试完成后，可进行单桥系统正式验收。正式验收采用会议验收与现场抽查相结合的方式，其中在役国家高速公路和普通国道长大桥梁，原则上由省厅会同省公路事务中心组织，在役国家高速公路和普通国道的其它桥梁，由各地市交通局或省交通集团组织；在役省网高速公路桥梁（不含省交通集团所辖桥梁）、普通省道桥梁和农村公路桥梁由各地市交通局组织；省交通集团所属省网高速公路桥梁由省交通集团组织。

## 8 系统运维

## 8.1 一般规定

- 8.1.1 系统运维内容应包含硬件和软件的日常检查、定期（专项）维护和应急维护。
- 8.1.2 系统维护应建立备品备件库，对易损设备进行备品采购，确保设备故障能够快速处置。
- 8.1.3 桥梁管养单位应合理制定系统运维计划，列支系统年度维护（含备品备件）费用，并组织实施系统运维工作。

## 8.2 日常检查

### 8.2.1 硬件系统日常检查符合下列规定：

- a) 日常检查宜结合桥梁经常性检查工作开展；
- b) 日常检查对检查路线上监测设备的表观完好性及稳固性进行检查，并对检查情况进行记录；
- c) 对监控中心用户界面展示的监测数据以及监控中心机房计算机设备和工控机运行状态进行检查，并进行记录；
- d) 对检查中发现的问题或系统软件反馈的问题，应及时处置或通知专业单位进行处置，并对处置结果进行记录。

### 8.2.2 软件系统日常检查与维护符合下列规定：

- a) 宜至少每周 1 次日常检查；
- b) 日常检查内容包括各软件模块功能工作状态检查、实时数据及历史数据检查、超限数据检查确认等；
- c) 在不停机状态下进行软件日常检查，确需停机维护操作的，在系统访问低谷时间段开展。

## 8.3 定期（专项）维护

### 8.3.1 硬件系统定期检查与维护符合下列规定：

- a) 硬件系统宜不低于每半年进行 1 次定期维护；
- b) 对监测传感器、采集设备的表观完好性检查和在线数据核查宜不低于每年一次；对设备及防护罩的固定情况以及传感器、采集设备与传输线路的接头紧固情况进行检查；
- c) 对现场采集站、监控中心内等易受灰尘影响的设备及机柜进行除尘处理；
- d) 对基于连通管原理设备的液位情况进行检查，定期补充连通管内液体至设计液位；

### 8.3.2 软件系统定期检查与维护符合下列规定：

- a) 大型桥梁软件系统宜每月至少开展 1 次定期维护，常规桥梁软件系统宜每年至少开展 1 次定期维护；
- b) 软件定期维护内容包括软件系统时间同步检查、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；
- c) 对于有配置参数修改、更正的维护操作，应提前做好备份，并在维护完成后做好日志记录。

## 8.4 应急维护

### 8.4.1 硬件应急维护符合下列规定：

- a) 对强（台）风、超限车辆过桥等可预见的特殊事件发生前应对系统进行维护；
- b) 对维护发现的问题 24h 内快速响应。

### 8.4.2 软件系统应急维护符合下列规定：

- a) 软件应急维护内容宜包括软件模块崩溃恢复、功能异常修复和数据异常更正等；

- b) 当发现软件功能故障时，应及时进行确认和处治；
- c) 对于非软件因素造成的数据异常或中断等，应联合硬件维护人员进行排查、修复并做好维护记录。

## 9 数据管理

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 桥梁结构监测系统数据管理应包含数据编码、数据预处理、数据存储、数据交互与共享、数据安全。
- 9.1.2 监测数据管理应实现数据的完整性、准确性、一致性、时效性、可访问性。数据质量评估应符合 GB/T 36344 的相关规定。
- 9.1.3 监测系统的结构化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，非结构化数据可包括图像、音视频及文本。
- 9.1.4 数据管理应具备存储展示、搜索查询、报表生成等功能。

### 9.2 数据编码

9.2.1 监测测点编码应在 JT/T 132 桥梁编号及扩充位的基础上按固定规则编码。宜由“桥名简称-监测类别简称-构件类型编码-截面序号-构件序号-测点编号”组成，桥梁监测点编号命名规则如图 1 所示。

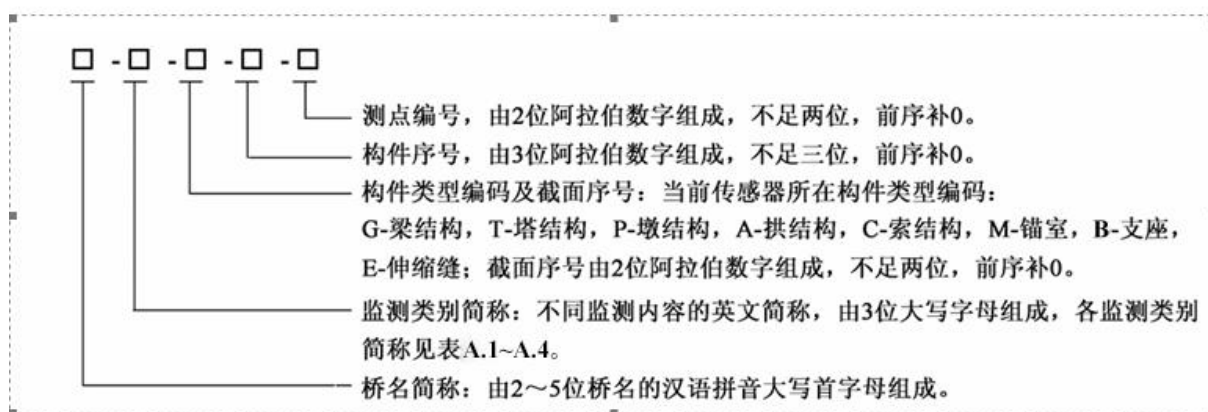


图 1 桥梁监测点编号命名规则

- 9.2.2 监测数据应包含测点编号、数据采集时间及数值、数据状态等信息。
- 9.2.3 实时监测数据应分隔为一定时长的样本，计算数据特征值，包含最大值、最小值、平均值、均方根值等统计值，统计时长宜根据监测内容的特征确定。
- 9.2.4 超限报警数据应记录测点编号、超限级别、超限值、超限时间等信息，超限级别划分应与超限管理级别一致。
- 9.2.5 视频信息数据应以视频媒体文件形式压缩存储，视频文件应存储其属性信息，视频格式与编码宜符合 GB/T28059.2 的规定。
- 9.2.6 文本以文档格式分类分级别存储。

### 9.3 数据处理

- 9.3.1 监测系统软件应能够接收并解析桥梁现场发送的各类监测数据,并具备数据预处理、二次处理、特征值提取以及数据持久化存储功能。
- 9.3.2 系统软件宜能够通过可视化界面远程进行数据处理参数设置。
- 9.3.3 应针对不同的监测项设计对应的处理方法,对数据进行滤波、特征提取、数据解耦、转换与统计等处理。
- 9.3.4 应明确定义处理后监测数据的数据单位、数据方向、数据精度。
- 9.3.5 数据处理宜采用多线程、分布式并行计算、Redis 等技术提升数据处理和存取效率,最大限度提升数据处理时效性。
- 9.3.6 数据采集设备内置的数据预处理功能应与传感器的分辨率、精度、抗电磁干扰等性能相匹配,应剔除错误数据并将原始数据换算成反映桥梁环境、作用、结构响应、结构变化的特征数据,并应符合 GB/T 38637.2 的相关规定。
- 9.3.7 传感器感知的信号应进行调理、预处理,原始监测数据信号选择对应的处理算法,宜采用阈值法、平均值法以及其他滤波算法。
- 9.3.8 数据异构转换应支持感知控制设备或系统通信协议,支持解析指定的感知数据包和控制数据包,支持通过协议转换模块进行数据结构转换,实现感知控制设备与网关或系统之间数据互通。
- 9.3.9 从数据源中提取数据应支持全量抽取、增量抽取、基于日志抽取等抽取模式,可支持地理空间信息数据的抽取,支持数据抽取格式和流程的自定义配置。
- 9.3.10 对图像、音频、视频及文本非结构数据特征抽取应符合 GB/T 32630 的相关规定。

#### 9.4 数据存储

- 9.4.1 宜采用数据库技术对结构化数据进行存储,并能以数据接口形式对外提供数据调用和查询功能。
- 9.4.2 对监测系统采集的各类数据应根据其重要程度、使用频率和数据量大小进行分级分类存储管理,存储方式宜分为在线存储和离线存储。
- 9.4.3 宜按照监测系统功能模块划分为桥梁结构信息数据库、监测系统信息数据库、结构有限元模型数据库、实时数据库、数据分析数据库、监测应用数据库等专项数据库。
- 9.4.4 应考虑数据量增长对于数据存取的的压力,基于数据安全和存取效率,宜探索采用读写分离、视图机制、分布式存储、时序数据库等方式。
- 9.4.5 对于视频、图片、文档等非结构化数据,设置适宜存储资源进行存储管理,不同数据类型应分类建立单独的存储目录结构。
- 9.4.6 宜具备数据备份和故障恢复功能,并设置灾备机制对关键数据进行定期异地备份,对于故障支持自动和手工操作进行故障恢复。
- 9.4.7 桥梁现场数据采集站内宜安装采集计算机,采用循环更新存储方式。在网络中断情况下,现场本地数据存储空间结构化原始数据应大于等于 90d,非结构化视频图像数据应大于等于 30d。
- 9.4.8 监控中心计算机机房实时监测数据存储时间大于 5 年。经处理后的特征数据、超限报警、评估结果等结构化数据存储时间宜大于 20 年。
- 9.4.9 监控中心计算机机房非结构化视频数据存储宜大于 90 天,特殊事件视频数据应转移备份并永久保存。
- 9.4.10 采用云存储方式时,应综合考虑网络带宽、数据安全、存储容量等要求;购买云存储服务时,应根据数据存储的时间要求合理约定服务期限。

## 9.5 数据交互与共享

- 9.5.1 监测系统应具备与外部系统进行数据交互与共享功能。
- 9.5.2 监测系统与外部系统数据交互方式可采用数据交换接口、中间存储介质或数据库同步等方式。
- 9.5.3 数据交互应采取权限验证和安全管理措施，数据通过互联网传输时应进行传输加密和身份认证。
- 9.5.4 监测系统与省、部级桥梁监测平台数据交互与共享时，应满足省、部级平台统一的链路、传输安全技术要求。

## 9.6 数据安全

- 9.6.1 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。
- 9.6.2 数据完整性应包含数据传输完整性和数据存储完整性,并符合下列规定:
  - a) 数据传输完整性应符合 GB/T 37025 的相关规定;
  - b) 应采用封装签名、测试字验证、引用约束等方式保证数据存储完整性,并提供非完整数据的解决措施。
- 9.6.3 对监测系统敏感字段或业务数据应加密存储。
- 9.6.4 通过公网传输监测数据时,应根据管理要求进行加密传输,加密过程应使用国家密码管理部门批准使用的算法。
- 9.6.5 数据审计应具备监测记录外部用户访问监测数据行为的功能。
- 9.6.6 监测系统应具备数据访问权限控制功能,能够对用户访问权限进行分级管理。

## 10 监测应用

### 10.1 一般规定

- 10.1.1 桥梁结构监测数据应用应包括但不限于数据分析、超限报警、管养建议、健康度评估、特殊事件应急管理。
- 10.1.2 数据分析应定期形成数据分析报告,展现形式应包括日常监测报告、特殊事件报告、养护评估报告。

### 10.2 监测数据分析

- 10.2.1 监测数据分析样本时长,宜根据监测内容的特征确定。
- 10.2.2 环境监测数据分析符合下列规定:
  - a) 温度监测数据应分析最高温度、最低温度、最大温差等;
  - b) 湿度监测数据应分析最大值、平均值和超限持续时间等;
  - c) 雨量监测数据宜分析10min平均降雨量;
  - d) 桥面、缆、索、吊杆结冰超声波检测和视频监控数据宜分析结冰位置、范围和程度。
- 10.2.3 作用监测数据分析符合下列规定:
  - a) 车辆荷载监测数据应分析车流量、轴重、车重、超载车数量、车重、轴重和时间,宜分析年极值、车辆疲劳荷载谱和荷载校验系数;
  - b) 风速风向监测数据应分析10min平均风速、风向和风玫瑰图;风压监测数据宜分析10min平均风压和均方根值;

c) 结构温度监测数据应分析温度最大值、最小值、最大梯度和年极值。

#### 10.2.4 结构响应监测数据分析符合下列规定：

- a) 主梁竖向和横向位移、塔顶和主缆偏位、高墩墩顶位移和拱顶位移监测数据应分析平均值、绝对最大值、均方根值及其随时间变化规律；支座位移和梁端纵向位移应分析平均值、绝对最大值、均方根值和绝对值累积量；应分析主梁下挠、塔顶和主缆及主拱偏位、桥墩沉降等趋势；
- b) 塔顶截面倾角、梁端水平和竖向转角监测数据应分析平均值、绝对最大值、均方根值及其随时间变化规律；
- c) 主梁关键截面应变监测数据应分析平均值、绝对最大值、疲劳累积损伤指数，索塔、主拱关键截面应变监测数据应分析平均值、绝对最大值；
- d) 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）等索力监测数据应分析平均值、最大值、最小值、均方根值、疲劳损伤指数及其随时间变化趋势，悬索桥锚跨索股力和拱桥系杆索力监测数据应分析最大值、最小值和变化趋势；监测索力宜与成桥索力、设计值、破断索力以及定期检测索力进行对比分析；
- e) 支座反力监测数据宜分析平均值、最大值、最小值及其随时间变化规律；
- f) 主梁竖向横向纵向、塔顶水平双向、悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、梁桥桥墩顶部纵向和横向、拱桥主拱和吊杆（索）振动监测数据应分析绝对最大值、均方根值、频谱，宜进行模态参数分析，模态参数应剔除环境等因素影响。

#### 10.2.5 变化监测数据分析符合下列规定：

- a) 桥墩基础冲刷监测数据宜分析冲刷深度最大值、冲刷范围及其变化规律；
- b) 主缆锚碇位移、拱脚位移监测数据应分析其是否发生变化；
- c) 混凝土结构和钢结构裂缝监测数据宜分析裂缝长度、宽度、数量、位置及其随时间变化规律，可分析裂缝与环境、作用和结构构造的相关性；
- d) 墩身、承台混凝土腐蚀监测数据，宜分析离子浓度、侵蚀深度最大值、最小值、梯度及其变化趋势；
- e) 悬索桥主缆和吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）和系杆断丝监测数据宜分析断丝位置和程度；
- f) 索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力和螺栓滑脱监测数据宜分析数量、位置、程度和变化趋势；
- g) 索夹滑移监测数据宜分析数量、程度和变化趋势；
- h) 体外预应力监测数据宜分析其预应力变化程度和趋势。

10.2.6 数据分析报告应在数据预处理的基础上，剔除错误数据后形成，能够准确地反应监测对象的真实状态，包括但不限于异常信息统计和异常事件记录。

10.2.7 异常信息统计应包括异常场景、异常设备、报警次数、异常极值及报警阈值。异常事件记录应包括异常事件、起止日期、事件描述及处治措施。

10.2.8 日常监测报告内容应包括系统运行情况说明和桥梁结构状况分析，并给出分析结论和管养建议。系统运行情况说明宜包括数据质量分析、软硬件的维护情况等，桥梁结构状况分析宜汇总说明周期内各监测数据分析及其超限报警情况、特殊事件应急响应下的分析结论以及为养护评估而开展的相关数据分析和结论。

10.2.9 针对台风、影响程度较大的地震、车船撞击、大件运输车辆过桥等对桥梁安全运行管理影响较大的特殊事件，应编制特殊事件报告，其他类型特殊事件视影响程度大小确定是否编制报告。特殊事件报告应说明事件概况、监测数据超限报警情况、应急处置、信息报送等情况，分析事前、事中、

事后数据，评估事件影响，给出管养建议。

10.2.10 养护评估报告宜综合采用监测、检查等数据分析成果编制，可包括结构健康度评估、桥梁技术状况评定、适应性评定和其他专项养护评估等内容，并综合分析评估结构整体受力性能、主要受力构件性能、附属设施使用性能等，给出评估结论和管养建议。

### 10.3 超限报警

10.3.1 异常报警设定三级报警阈值，当监测数据达到或超过报警阈值时，宜同步报警。当监测数据提示异常报警时，应深入分析监测数据，关注异常状态的影响程度和发展趋势。

10.3.2 报警阈值宜基于监测内容历史统计值、设计值、仿真计算值和规范容许值确定，并宜考虑桥梁管养需求、车辆通行管控建议等监测应用需求。

#### 10.3.3

10.3.4 报警阈值由系统设计单位结合监测场景和桥梁管养需求提出，可参考表 38 进行设置。

表 38 超限报警阈值设定表

| 报警类别 | 报警内容                     | 超限阈值 <sup>a</sup>             | 超限级别 |
|------|--------------------------|-------------------------------|------|
| 环境   | 风速、风向                    | 桥面 10min 平均风速达到 25m/s         | 一级   |
|      |                          | 桥面 10min 平均风速达到 0.8 倍桥面设计基准风速 | 二级   |
|      |                          | 桥面 10min 平均风速达到桥面设计基准风速       | 三级   |
|      | 最高温度、最低温度、最大温差           | 达到 1.0 倍设计值                   | 一级   |
|      |                          | 达到 1.2 倍设计值                   | 二级   |
|      | 混凝土、钢结构构件温度              | 达到设计值                         | 一级   |
|      | 构件封闭空间内相对湿度 <sup>b</sup> | 达到 50%                        | 一级   |
| 作用   | 车辆总重或轴重                  | 达到 1.5 倍设计车辆荷载                | 一级   |
|      |                          | 达到 2.0 倍设计车辆荷载                | 二级   |
|      | 船舶撞击                     | 发生船撞事件                        | 二级   |
|      | 桥岸地表场地地震动加速度             | 达到设计 E1 地震作用加速度峰值             | 二级   |
|      |                          | 达到设计 E2 地震作用加速度峰值             | 三级   |
| 结构响应 | 主梁竖向位移                   | 达到 0.8 倍设计值                   | 二级   |
|      |                          | 达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限       | 三级   |
|      | 主梁横向位移                   | 达到 0.8 倍设计值                   | 二级   |
|      |                          | 达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限       | 三级   |
|      | 支座位移                     | 绝对值达到 0.8 倍设计值                | 二级   |
|      |                          | 绝对值达到设计值                      | 三级   |
|      | 梁端纵向位移                   | 绝对值达到 0.8 倍设计值                | 二级   |
|      |                          | 绝对值达到设计值                      | 三级   |
|      | 塔顶偏位                     | 达到 0.8 倍设计值                   | 二级   |
|      |                          | 达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限       | 三级   |
|      | 主缆偏位                     | 达到 0.8 倍设计值                   | 二级   |

|      |  |  |    |
|------|--|--|----|
|      |  | 达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限                          | 三级 |
|      | 梁桥高墩墩顶位移                                 | 达到 0.8 倍设计值                                      | 二级 |
|      |  | 达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限                          | 三级 |
|      | 拱桥主拱拱顶位移                                 | 达到 0.8 倍设计值                                      | 二级 |
|      |  | 达到设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限                          | 三级 |
|      | 主梁、索塔、主拱关键截面<br>静应变                      | 超过历史最大值  | 一级 |
|      |  | 超过设计最不利工况计算值                                     | 二级 |
|      | 悬索桥吊索、锚跨索股力,<br>斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆<br>(索)、系杆等索力 | 达到 0.95 倍设计值                                     | 二级 |
|      |  | 超过设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限                          | 三级 |
|      | 支座反力                                     | 绝对值达到 0.8 倍设计值                                   | 二级 |
|      |  | 绝对值达到设计值   | 三级 |
|      | 主梁振动加速度                                  | 10min 加速度均方根达到 $31.5\text{cm/s}^2$ 且持续时间超过 30min | 一级 |
|      |  | 10 min 加速度均方根达到 $50\text{cm/s}^2$                | 二级 |
|      |  | 幅值持续增大、呈现发散特征                                    | 三级 |
|      | 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉<br>索、拱桥吊杆(索)振动加<br>速度        | 10min 加速度均方根达到 $100\text{cm/s}^2$                | 一级 |
|      |  | 10min 加速度均方根达到 $300\text{cm/s}^2$ 且频繁出现          | 二级 |
| 结构变化 | 基础冲刷                                     | 达到 0.7 倍设计冲刷深度                                   | 二级 |
|      |  | 达到设计冲刷深度   | 三级 |
|      | 锚碇位移                                     | 锚碇水平位移达到 0.00005 倍主跨跨径, 锚碇竖向位移达到<br>0.0001 倍主跨跨径 | 二级 |
|      |  | 锚碇水平位移达到 0.0001 倍主跨跨径, 锚碇竖向位移达到<br>0.0002 倍主跨跨径  | 三级 |
|      | 拱脚位移                                     | 达到 0.8 倍设计限值                                     | 二级 |
|      |  | 达到 1.0 倍设计限值                                     | 三级 |
|      | 裂缝                                       | 出现结构性裂缝  | 一级 |
|      |  | 结构性裂缝宽度超过规范限值或发展加速                               | 二级 |
|      | 腐蚀                                       | 腐蚀深度到达保护层深度                                      | 二级 |
|      | 预应力                                      | 体外预应力相对损失超过 5%                                   | 二级 |
|      |  | 体外预应力相对损失超过 10%                                  | 三级 |
|      | 断丝                                       | 出现断丝   | 二级 |
|      |  | 断丝率达到 2%   | 三级 |
|      | 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 |
|      | 索夹滑移                                     | 索夹出现滑移   | 二级 |
|      |  | 索夹滑移严重或较多数量索夹出现滑移                                | 三级 |



|  |                   |   |    |
|--|-------------------|---|----|
| 主梁涡振 <sup>c</sup>  |                   | 10min 振动加速度均方根值达到 31.5cm/s <sup>2</sup> 、能量比因子大于 10   | 一级 |
|  |                   | 10min 振动加速度均方根值达到 50cm/s <sup>2</sup> 、能量比因子大于 10     | 二级 |
|  |                   | 10min 振动加速度均方根值达到 80cm/s <sup>2</sup> 、能量比因子大于 10     | 三级 |
| 监测数据分析结果 <sup>d</sup>  | 钢结构疲劳             | 疲劳损伤指数达到 0.1  | 一级 |
|  |                   | 出现较多疲劳裂缝，或裂缝长度和宽度较大                                   | 二级 |
|  | 塔顶或主缆或主拱偏位        | 出现永久偏位  | 三级 |
|  | 主梁下挠              | 持续下挠  | 三级 |
|  | 桥墩沉降 <sup>e</sup> | 墩台均匀总沉降达 $20\sqrt{L}$ mm，或相邻墩台总沉降差值达到 $10\sqrt{L}$ mm | 三级 |
|  | 索力基准值             | 与成桥索力相比变化超过 10%                                       | 二级 |
|  |                   | 与成桥索力相比变化超过 15%                                       | 三级 |
|  | 剔除环境影响的桥梁主要频率变化   | 超过 3%   | 二级 |
| 超过 5%  |                   | 三级  |    |
| <sup>a</sup> “超限阈值”一列中的“设计值”参考 JTG D60、JTG 3362、JTG/T D65-05、JTG/T 3365-01、JTG/T D65-06、JTG/T 3360-01 的相关规定。锚碇位移限值参考 JTG/T D65-05 的相关规定。裂缝限值参考 JTG 5120-2021、JTG/T H21 的相关规定。<br><sup>b</sup> 构件封闭空间为主梁内，悬索桥主缆、锚室和鞍罩内，斜拉桥索塔和索塔锚固区内，拱桥主拱内封闭空间。<br><sup>c</sup> 桥梁涡振报警选取主梁竖向加速度均方根值和能量比因子作为报警指标，阈值取值的原则依据已有桥梁发生涡振的加速度均方根值统计规律以及 ISO 2631-1 舒适性标准制定。超限一级、二级和三级阈值分别取为 31.5cm/s <sup>2</sup> 、50cm/s <sup>2</sup> 和 80cm/s <sup>2</sup> 分别对应 ISO 2631-1 中的“稍有不舒适”“比较不舒适”和“不舒适”的下限。<br><sup>d</sup> 数据分析结果超限报警为非同步报警项。<br><sup>e</sup> L 为相邻墩台最小跨径（m）。 |                   |   |    |

10.3.5 监测数据触发异常报警时，宜基于桥梁特点、报警频次、异常极值等采取养护措施。报警级别达到二级时，异常情况应上报至省级监测平台；报警级别达到三级时，异常情况应上报至部级数据平台。

10.3.6 报警信息发布形式宜多样化，可包括指示灯、声音、网络、短信、微信等。报警信息应形成日志，包括报警始末时间、警示事项、报警级别、采取的管养措施等。

## 10.4 管养建议

10.4.1 管养建议包括车辆通行管控与检查指引。

10.4.2 车辆通行管控建议基于桥梁结构监测数据分析并协同其他运行管理系统信息给出，当监测数据显示出现影响行车安全状况时，应给出车辆通行管控建议，应符合下列规定：

- 根据气象数据，12h 内降雨量超过 50mm 或 12h 内降雪量超过 4mm 以上，宜进行车辆限速限流；大雾能见度小于 200m 时，宜进行车辆限速；大雾能见度小于 50m 时，宜封桥；
- 桥面结冰，缆、索、吊杆结冰时，宜进行车辆限速和除冰处治；
- 桥面平均风速超过一级限值时，可进行封桥管理；
- 主梁加速度均方根值超过一级限值时，宜进行车辆限速。

10.4.3 监测数据和分析结果超限时，宜提醒桥梁管养单位进行桥梁检查，检查建议可参考表 39。

表 39 桥梁检查指引建议表

| 监测类别     | 监测内容                          | 超限级别             | 养护建议              |
|----------|-------------------------------|------------------|-------------------|
| 环境       | 构件封闭空间内相对湿度                   | 一级               | 提示检查除湿设施是否运转正常    |
| 作用       | 车辆总重或轴重                       | 二级               | 提示检查桥梁主要受力构件的技术状况 |
|          | 混凝土、钢结构构件温度                   | 一级               | 提示进行构件使用性检查       |
|          | 铺装层温度                         | 一级               | 提示洒水降温            |
| 结构响应     | 主梁竖向位移                        | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 主梁横向位移                        | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 支座位移、支座反力                     | 二级               | 提示检查支座            |
|          | 梁端纵向位移                        | 二级               | 提示检查伸缩缝           |
|          | 塔顶偏位                          | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 主缆偏位                          | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 梁桥高墩墩顶位移                      | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 拱桥主拱拱顶位移                      | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 主梁、索塔、主拱关键截面静应变               | 一级               | 提示检查传感器附近构件裂缝     |
|          |                               | 二级               | 提示对传感器所在构件进行特殊检查  |
|          | 悬索桥吊索、锚跨索股力，斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆、系杆等索力 | 二级               | 提示检查索构件           |
|          | 主梁振动加速度                       | 二级               | 提示应对连接构件进行检查      |
|          | 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）振动加速度     | 一级               | 提示管理部门注意          |
| 二级       |                               | 提示分析原因并检查减振设施有效性 |                   |
| 结构变化     | 基础冲刷                          | 二级               | 提示检查水中基础          |
|          | 锚碇位移                          | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 桥墩沉降                          | 三级               | 提示全桥检查            |
|          | 拱脚位移                          | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 裂缝                            | 一级               | 提示管理部门注意          |
|          |                               | 二级               | 提示对构件进行特殊检查       |
|          | 腐蚀                            | 二级               | 提示对腐蚀区进行特殊检查      |
|          | 体外预应力                         | 二级               | 提示全桥检查            |
|          | 断丝                            | 二级               | 提示进行特殊检查          |
|          | 螺栓状态                          | 一级               | 提示管理部门注意          |
|          |                               | 二级               | 提示检查螺栓            |
|          | 索夹滑移                          | 二级               | 提示检查索夹            |
| 监测数据分析结果 | 钢箱梁疲劳                         | 一级               | 提示管理部门注意          |
|          |                               | 二级               | 提示检查疲劳裂纹发展情况      |

## 10.5 结构健康度评估

10.5.1 桥梁结构健康度包括结构构件健康度和结构整体健康度，宜根据表 40 划分为四个等级。

表 40 桥梁结构健康度等级评定依据

| 健康度等级（状态） | 结构构件健康度             | 结构整体健康度   |
|-----------|---------------------|---|
| I（基本完好）   | 10.5.2 所列监测数据无超限    | 10.5.3 所列监测数据超限等级全部为一级或无超限  |
| II（轻微异常）  | 10.5.2 所列监测数据超限等级一级 | 除塔顶偏位、锚碇位移、拱脚位移之外，10.5.3 所列其他监测数据与分析结果超限等级仅有 1 项为二级、无三级                           |
| III（中等异常） | 10.5.2 所列监测数据超限等级二级 | 10.5.3 所列监测数据与分析结果超限等级出现 2 项及以上二级或 1 项三级；或当塔顶偏位、锚碇位移、拱脚位移出现 1 项或以上二级；或多项构件健康度中等异常 |
| IV（严重异常）  | 10.5.2 所列监测数据超限等级三级 | 10.5.3 所列监测数据与分析结果超限等级出现多项三级；或多项构件健康度严重异常   |

10.5.2 桥梁结构构件健康度表征评估参数宜包括梁端纵向位移、关键截面应变、索力、支座反力、索振动、裂缝、断丝、螺栓状态、索夹滑移、疲劳等监测数据。

10.5.3 桥梁结构整体健康度表征评估参数宜包括主梁竖向和横向位移、塔顶偏位、主缆偏位、支座位移、高墩墩顶位移、锚碇位移、拱脚位移、基础冲刷深度、锚跨索股力、预应力、主梁振动等监测数据，以及塔顶或主缆或主拱永久偏位、主梁持续下挠、桥墩沉降、索力基准值变化、剔除环境影响的桥梁主要频率变化等分析结果。

10.5.4 桥梁结构整体健康度也可根据监测数据和检测资料修正有限元模型和荷载模型，将计算的结构响应和结构变化结果与表 38 中超限阈值进行对比，进行桥梁结构健康度评估。

10.5.5 当桥梁结构构件健康度或桥梁结构整体健康度评定为 III 级和 IV 级时，应进行专家研判。

## 10.6 特殊事件应急管理

10.6.1 桥梁在遭受涡振、强（台）风，悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）等异常振动，地震、车辆超载、船撞等特殊事件时，应进行特殊事件数据分析辅助应急管理措施决策，并评估结构健康度，必要时组织专家研判。

10.6.2 涡振应急管理符合下列规定：

- a) 宜采用 10 min 加速度均方根值  $S_a$  和振动能量比因子  $R$  作为涡振判定指标，也可补充其他参数。可采用其他可靠方法判断涡振。 $S_a$  和  $R$  分别按式（2）和式（3）计算：

$$S_a = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2} \quad (2)$$

式中：  
 $S_a$  —— 加速度均方根值（ $\text{m/s}^2$ ）；  
 $a_i$  —— 主梁振动加速度（ $\text{m/s}^2$ ）；  
 $N$  —— 10 min 加速度采样点数。

$$R = \frac{A_1}{A_2} \quad (3)$$

式中：  
 $A_1$  —— 结构振动响应功率谱密度中最大幅值（ $\text{m}^2/\text{s}^3$ ）；  
 $A_2$  —— 结构振动响应功率谱密度中次最大幅值（ $\text{m}^2/\text{s}^3$ ）。

- b) 可采用机器学习算法自动判断涡振，也可采用其他可靠方法；  
c) 涡振超限阈值宜按表 38 规定选取，检查建议宜符合下列规定：  
1) 超限一级，提醒持续关注；  
2) 超限二级，提醒采取车辆限速等管理措施；

- 3) 超限三级, 提醒封闭桥梁, 按 10.5 的规定进行桥梁结构健康度评估。
- d) 应提供桥梁涡振事件分析报告, 报告内容宜包括: 涡振前、涡振事件全过程、涡振后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定:
  - 1) 分析桥面 10min 平均风速、平均风向、风攻角、湍流度;
  - 2) 分析主梁 10min 加速度均方根值、模态参数变化;
  - 3) 分析涡振全过程持续时间、风况条件、加速度和位移均方根值、振动频率。

#### 10.6.3 强(台)风应急管理符合下列规定:

- a) 强(台)风风速超限阈值宜按表 38 规定选取, 检查建议符合下列规定:
  - 1) 超限一级, 提醒封闭桥梁;
  - 2) 超限二级, 提醒检查桥梁构件状态;
  - 3) 超限三级, 提醒检查桥梁构件状态, 并按 10.5 的规定进行桥梁结构健康度评估。
- b) 应提供桥梁强(台)风分析报告, 报告内容宜包括: 强(台)风前、强(台)风全过程、强(台)风后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定:
  - 1) 分析桥面 10min 平均风速、平均风向、风攻角、湍流度、阵风因子;
  - 2) 分析主梁、悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)等振动加速度均方根值、模态参数变化;
  - 3) 分析主梁竖向和横向位移、塔顶偏位、主缆偏位、主拱拱顶位移、索力基准值变化等最大值。

#### 10.6.4 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)等索构件振动加速度超限二级, 应提醒检查减振设施有效性并进行数据分析, 数据分析内容宜包括: 索构件异常振动前、异常振动全过程、异常振动后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定:

- a) 分析桥面 10min 平均风速、平均风向、风偏角、风攻角、降雨量;
- b) 分析索构件 10min 加速度均方根值、模态参数变化;
- c) 分析索构件异常振动全过程持续时间、风况条件、加速度和位移均方根值、振动频率;
- d) 分析索构件索力基准值变化;
- e) 分析索构件异常振动的类型。

#### 10.6.5 地震应急管理符合下列规定:

- a) 地震动加速度超限二级时, 宜提醒对桥梁进行全面检查;
- b) 地震动加速度超限三级时, 宜提醒封闭桥梁, 对桥梁进行全面检查, 并满足下列规定:
  - 1) 按 10.5 的规定, 利用监测数据进行桥梁结构健康度评估;
  - 2) 也可采用可靠的考虑土结相互作用的非线性结构有限元模型, 通过计算分析在地震动作用下桥梁加速度、位移、支座反力, 构件内力和应力等结构响应的最大值和残余量, 进行桥梁结构健康度评估。
- c) 提供地震事件分析报告, 报告内容宜包括震前、地震过程中和震后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定:
  - 1) 分析地震过程中桥址地表场地和桥梁墩底(承台)加速度峰值、均方根值、反应谱;
  - 2) 分析主梁竖向和横向位移、支座位移、梁端纵向位移、塔顶偏位、主缆偏位、梁桥高墩墩顶位移、拱桥主拱拱顶位移的最大值和残余位移; 分析主梁、索塔、主拱关键截面应变最大值和残余应变; 分析悬索桥吊索、锚跨索股力, 斜拉桥斜拉索, 拱桥吊杆(索)、系杆等索力基准值变化;
  - 3) 分析主梁、塔顶、主拱、索构件等振动加速度的峰值和均方根值;

4) 分析震前和震后桥梁模态参数变化。

10.6.6 车辆超载应急管理符合下列规定：

- a) 监测车辆荷载超限二级时，应提醒进行桥梁结构检查；
- b) 大型桥梁可根据 10.5 的规定，利用监测数据进行桥梁结构健康度评估；也可采用可靠的修正有限元模型，验算超载车辆荷载作用下的主梁竖向位移、支座反力、构件内力和应力，并通过与实测监测数据对比，进行桥梁结构健康度评估；
- c) 车辆超载特殊事件专项报告内容宜包括：超载车辆荷载、发生时间，主梁竖向位移、支座位移、主梁关键截面静应变，悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）、系杆等索力，支座反力等最大值。

10.6.7 船舶撞击应急管理符合下列规定：

- a) 发生船舶撞击后，应提醒进行桥梁结构检查；
- b) 可按 10.5 的规定进行桥梁结构健康度评估，提供分析报告，报告内容宜包括船舶撞击前、撞击全过程、撞击后数据分析结果。数据分析宜符合下列规定：
  - 1) 对船舶撞击全过程视频监测数据进行分析；
  - 2) 分析主梁、塔顶、桥墩墩顶振动加速度，主梁横向位移、梁桥高墩墩顶位移、支座位移、主梁关键截面静应变、悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）系杆等索力，支座反力、拱脚位移等监测数据的绝对最大值与残余值，模态参数等。

## 附录 A

(资料性)

### 监测内容基本信息定义

表 A.1 悬索桥监测内容定义与编码

| 监测类别        | 监测类型   | 监测类型简称 | 监测指标                                 | 监测内容            | 监测内容编码     | 数据单位                        |
|-------------|--------|--------|--------------------------------------|-----------------|------------|-----------------------------|
| 环境          | 温湿度    | RHS    | 温度,湿度                                | 桥址区环境温度、湿度      | 101        | 温度:摄氏度(°C);湿度:百分比(%)        |
|             |        |        |                                      | 主梁内温度、湿度        | 102        |                             |
|             |        |        |                                      | 主缆内温度、湿度        | 103        |                             |
|             |        |        |                                      | 锚室内温度、湿度        | 104        |                             |
|             |        |        |                                      | 鞍罩内温度、湿度        | 105        |                             |
|             |        |        |                                      | 索塔内温度、湿度        | 106        |                             |
|             | 结冰     | FRZ    | 结冰厚度,温度                              | 桥面结冰            | 118        | 毫米(mm)                      |
|             |        |        |                                      | 主缆结冰            | 119        |                             |
|             |        |        |                                      | 吊杆结冰            | 120        |                             |
|             | 雨量     | PWS    | 雨量                                   | 降雨量             | 117        | 毫米(mm)                      |
| 通航孔水位       | WLV    | 通航孔水位  | 桥底水位                                 | 123             | 米(m)       |                             |
| 能见度         | VSF    | 能见度    | 大气能见度                                | 124             | 米(m)       |                             |
| 大气浓度        | ACN    | 大气浓度   | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 等浓度 | 125             | 百万分之一(ppm) |                             |
| 作用          | 车辆荷载   | HSD    | 车道号,上下行,车型,车速,轴数,车重,轴重,车牌号,车牌颜色      | 所有车道车重、轴重、轴数、车速 | 201        | 车重、轴重:千克(kg);车速:千米每小时(km/h) |
|             | 风速风向   | UAN    | 风速,风向,风攻角                            | 桥面风速、风向         | 204        | 风速:米每秒(m/s);风向:度(°)         |
|             |        |        |                                      | 塔顶风速、风向         | 205        |                             |
|             | 风压     | WDP    | 压力                                   | 主梁风压            | 207        | 帕(Pa)                       |
|             | 结构温度   | TMP    | 温度                                   | 混凝土或钢结构构件温度     | 208        | 摄氏度(°C)                     |
|             |        |        |                                      | 桥面铺装层温度         | 210        |                             |
|             | 船舶撞击   | VID    | 加速度                                  | 桥墩加速度           | 211        | 米每平方秒(m/s <sup>2</sup> )    |
|             | 地震     | VIE    | 加速度                                  | 桥岸地表场地加速度       | 212        | 米每平方秒(m/s <sup>2</sup> )    |
| 承台顶或桥墩底部加速度 |        |        |                                      | 213             |            |                             |
| 结构响应        | 位移(响应) | DIS    | 位移,温度                                | 支座位移            | 303        | 毫米(mm)                      |
|             |        |        |                                      | 梁端纵向位移          | 304        |                             |

| 监测类别                    | 监测类型   | 监测类型简称 | 监测指标                 | 监测内容                | 监测内容编码 | 数据单位                    |
|-------------------------|--------|--------|----------------------|---------------------|--------|-------------------------|
| 结构变化                    |        |        |                      | 高墩墩顶位移              | 308    |                         |
|                         |        |        |                      | 主梁横向位移              | 333    |                         |
|                         | 挠度     | HPT    | 挠度, 温度               | 主梁竖向位移              | 302    | 毫米(mm)                  |
|                         | 结构空间变形 | GNSS   | 横桥向, 纵桥向, 竖向         | 主梁偏位                | 301    | 毫米(mm)                  |
|                         |        |        |                      | 塔顶偏位                | 305    |                         |
|                         |        |        |                      | 主缆偏位                | 306    |                         |
|                         | 转角     | INC    | 横桥向 X, 纵桥向 Y, 温度     | 塔顶转角                | 309    | 度(°)                    |
|                         |        |        |                      | 梁端水平转角              | 310    |                         |
|                         |        |        |                      | 梁端竖向转角              | 311    |                         |
|                         | 应变     | RSG    | 应变, 温度               | 主梁关键截面应变            | 312    | 微应变( $\mu\varepsilon$ ) |
|                         |        |        |                      | 索塔关键截面应变            | 313    |                         |
|                         | 索力     | VIC    | 索力, 基频               | 吊索索力                | 316    | 千牛(kN)                  |
|                         |        |        |                      | 锚跨索股力               | 318    |                         |
|                         | 支座反力   | STF    | 反力, 温度               | 支座反力                | 321    | 千牛(kN)                  |
|                         | 振动     | VIB    | 加速度                  | 主梁竖向振动加速度           | 323    | 米每平方秒( $m/s^2$ )        |
|                         |        |        |                      | 主梁横向振动加速度           | 324    |                         |
|                         |        |        |                      | 主梁纵向振动加速度           | 325    |                         |
| 塔顶水平双向振动加速度             |        |        |                      | 326                 |        |                         |
| 吊索振动加速度、主缆振动加速度、锚索振动加速度 |        |        |                      | 327                 |        |                         |
| 伸缩缝                     | EJN    | 声音强度   | 伸缩缝噪音                | 332                 | 分贝(dB) |                         |
| 平面变形                    | PLD    | 位移     | 竖向、水平两个方向变形          | 334                 | 毫米(mm) |                         |
| 结构变化                    | 基础冲刷   | SCO    | 深度                   | 基础冲刷深度              | 401    | 毫米(mm)                  |
|                         | 位移(变化) | AND    | 横桥向, 纵桥向, 竖向         | 锚碇位移                | 403    | 毫米(mm)                  |
|                         | 裂缝     | CRK    | 裂缝宽度, 温度             | 混凝土结构裂缝             | 405    | 毫米(mm)                  |
|                         |        |        |                      | 钢结构裂缝               | 406    |                         |
|                         | 腐蚀     | COR    | 氯离子浓度, 侵蚀深度          | 墩身、承台混凝土氯离子浓度       | 407    | 千克每立方米( $kg/m^3$ )      |
|                         |        |        |                      | 墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度     | 408    | 毫米(mm)                  |
|                         | 预应力    | STR    | 预应力, 温度              | 体外预应力               | 409    | 千牛(kN)                  |
|                         | 断丝     | BRK    | 状态                   | 主缆断丝、斜拉索、吊杆(索)、系杆断丝 | 410    | -                       |
| 螺栓状态                    | BTF    | 力值, 温度 | 索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力、螺栓滑脱 | 411                 | 千牛(kN) |                         |

| 监测类别 | 监测类型 | 监测类型简称 | 监测指标   | 监测内容 | 监测内容编码 | 数据单位    |
|------|------|--------|--------|------|--------|---------|
|      | 索夹滑移 | CSP    | 位移, 温度 | 索夹滑移 | 412    | 毫米 (mm) |
|      | 索鞍滑移 | SSP    | 位移, 温度 | 索鞍滑移 | 413    | 毫米 (mm) |

表 A.2 斜拉桥监测内容定义与编码

| 监测类别 | 监测类型    | 监测类型简称 | 监测指标                                    | 监测内容            | 监测内容编码                    | 数据单位                             |
|------|---------|--------|---|-----------------|---------------------------|----------------------------------|
| 环境   | 温湿度     | RHS    | 温度, 湿度                                  | 桥址区环境温度、湿度      | 101                       | 温度: 摄氏度 (°C); 湿度: 百分比 (%)        |
|      |         |        |   | 主梁内温度、湿度        | 102                       |                                  |
|      |         |        |   | 索塔锚固区温度、湿度      | 107                       |                                  |
|      | 结冰      | FRZ    | 结冰厚度, 温度                                | 桥面结冰            | 118                       | 毫米 (mm)                          |
|      |         |        |   | 斜拉索结冰           | 121                       |                                  |
|      | 雨量      | PWS    | 雨量                                      | 降雨量             | 117                       | 毫米 (mm)                          |
|      | 水位      | WLV    | 水位                                      | 桥底水位            | 123                       | 米 (m)                            |
|      | 能见度     | VSF    | 能见度                                     | 大气能见度           | 124                       | 米 (m)                            |
| 大气浓度 | ACN     | 大气浓度   | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 等浓度    | 125             | 百万分之一 (ppm)               |                                  |
| 作用   | 车辆荷载    | HSD    | 车道号, 上下行, 车型, 车速, 轴数, 车重, 轴重, 车牌号, 车牌颜色 | 所有车道车重、轴重、轴数、车速 | 201                       | 车重、轴重: 千克 (kg); 车速: 千米每小时 (km/h) |
|      | 风速风向    | UAN    | 风速, 风向, 风攻角                             | 桥面风速、风向         | 204                       | 风速: 米每秒 (m/s); 风向: 度 (°)         |
|      |         |        |   | 塔顶风速、风向         | 205                       |                                  |
|      | 风压      | WDP    | 压力                                      | 主梁风压            | 207                       | 帕 (Pa)                           |
|      | 结构温度    | TMP    | 温度                                      | 混凝土或钢结构构件温度     | 208                       | 摄氏度 (°C)                         |
|      |         |        |   | 桥面铺装层温度         | 210                       |                                  |
|      | 船舶撞击    | VID    | 加速度                                     | 桥墩加速度           | 211                       | 米每平方秒 (m/s <sup>2</sup> )        |
| 地震   | VIE     | 加速度    | 桥岸地表场地加速度                               | 212             | 米每平方秒 (m/s <sup>2</sup> ) |                                  |
|      |         |        | 承台顶或桥墩底部加速度                             | 213             |                           |                                  |
| 结构响应 | 位移 (响应) | DIS    | 位移, 温度                                  | 支座位移            | 303                       | 毫米 (mm)                          |
|      |         |        |   | 梁端纵向位移          | 304                       |                                  |
|      |         |        |   | 高墩墩顶位移          | 308                       |                                  |
|      |         |        |   | 主梁横向位移          | 333                       |                                  |
|      | 挠度      | HPT    | 挠度, 温度                                  | 主梁竖向位移          | 302                       | 毫米 (mm)                          |
|      | 结构空间变形  | GNSS   | 横桥向, 纵桥向, 竖向                            | 主梁偏位            | 301                       | 毫米 (mm)                          |
| 塔顶偏位 |         |        |   | 305             |                           |                                  |



| 监测类别 | 监测类型 | 监测类型简称 | 监测指标             | 监测内容        | 监测内容编码 | 数据单位                 |
|------|------|--------|------------------|-------------|--------|----------------------|
|      | 转角   | INC    | 横桥向 X, 纵桥向 Y, 温度 | 塔顶转角        | 309    | 度(°)                 |
|      |      |        |                  | 梁端水平转角      | 310    |                      |
|      |      |        |                  | 梁端竖向转角      | 311    |                      |
|      | 应变   | RSG    | 应变, 温度           | 主梁关键截面应变    | 312    | 微应变( $\mu\epsilon$ ) |
|      |      |        |                  | 索塔关键截面应变    | 313    |                      |
|      | 索力   | VIC    | 索力, 基频           | 斜拉索索力       | 317    | 千牛(kN)               |
|      | 支座反力 | STF    | 反力, 温度           | 支座反力        | 321    | 千牛(kN)               |
|      | 振动   | VIB    | 加速度              | 主梁竖向振动加速度   | 323    | 米每平方秒( $m/s^2$ )     |
|      |      |        |                  | 主梁横向振动加速度   | 324    |                      |
|      |      |        |                  | 主梁纵向振动加速度   | 325    |                      |
|      |      |        |                  | 塔顶水平双向振动加速度 | 326    |                      |
|      |      |        |                  | 斜拉索振动加速度    | 328    |                      |
|      | 伸缩缝  | EJN    | 声音强度             | 伸缩缝噪音       | 332    | 分贝(dB)               |
| 平面变形 | PLD  | 位移     | 竖向、水平两个方向变形      | 334         | 毫米(mm) |                      |

表 A.3 梁桥监测内容定义与编码

| 监测类别 | 监测类型 | 监测类型简称 | 监测指标                                    | 监测内容            | 监测内容编码     | 数据单位                           |
|------|------|--------|---|-----------------|------------|--------------------------------|
| 环境   | 温湿度  | RHS    | 温度, 湿度                                  | 桥址区环境温度、湿度      | 101        | 温度: 摄氏度(°C); 湿度: 百分比(%)        |
|      |      |        |   | 主梁内温度、湿度        | 102        |                                |
|      | 结冰   | FRZ    | 结冰厚度, 温度                                | 桥面结冰            | 118        | 毫米(mm)                         |
|      | 雨量   | PWS    | 雨量                                      | 降雨量             | 117        | 毫米(mm)                         |
|      | 水位   | WLV    | 水位                                      | 桥底水位            | 123        | 米(m)                           |
|      | 能见度  | VSB    | 能见度                                     | 大气能见度           | 124        | 米(m)                           |
| 大气浓度 | ACN  | 大气浓度   | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 等浓度    | 125             | 百万分之一(ppm) |                                |
| 作用   | 车辆荷载 | HSD    | 车道号, 上下行, 车型, 车速, 轴数, 车重, 轴重, 车牌号, 车牌颜色 | 所有车道车重、轴重、轴数、车速 | 201        | 车重、轴重: 千克(kg); 车速: 千米每小时(km/h) |
|      | 风速风向 | UAN    | 风速, 风向, 风攻角                             | 桥面风速、风向         | 204        | 风速: 米每秒(m/s); 风向: 度(°)         |
|      | 结构   | TMP    | 温度                                      | 混凝土或钢结构构件温度     | 208        | 摄氏度(°C)                        |

| 监测类别           | 监测类型       | 监测类型简称    | 监测指标           | 监测内容            | 监测内容编码                     | 数据单位                     |
|----------------|------------|-----------|----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|
|                | 温度         |           |                | 桥面铺装层温度         | 210                        |                          |
|                | 船舶撞击       | VID       | 加速度            | 桥墩加速度           | 211                        | 米每平方秒(m/s <sup>2</sup> ) |
|                | 地震         | VIE       | 加速度            | 桥岸地表场地加速度       | 212                        | 米每平方秒(m/s <sup>2</sup> ) |
| 承台顶或桥墩底部加速度    |            |           |                | 213             |                            |                          |
| 结构响应           | 位移<br>(响应) | DIS       | 位移, 温度         | 支座位移            | 303                        | 毫米(mm)                   |
|                |            |           |                | 梁端纵向位移          | 304                        |                          |
|                |            |           |                | 高墩墩顶位移          | 308                        |                          |
|                |            |           |                | 主梁横向位移          | 333                        |                          |
|                | 挠度         | HPT       | 挠度, 温度         | 主梁竖向位移          | 302                        | 毫米(mm)                   |
|                | 结构空间变形     | GNSS      | 横桥向, 纵桥向, 竖向   | 主梁偏位            | 301                        | 毫米(mm)                   |
|                | 转角         | INC       | 横桥向X, 纵桥向Y, 温度 | 塔顶转角            | 309                        | 度(°)                     |
|                |            |           |                | 梁端水平转角          | 310                        |                          |
|                |            |           |                | 梁端竖向转角          | 311                        |                          |
|                | 应变         | RSG       | 应变, 温度         | 主梁关键截面应变        | 312                        | 微应变(μ ε)                 |
|                |            |           |                | 桥墩关键截面应变(加一个编码) | 315                        |                          |
|                | 支座反力       | STF       | 反力, 温度         | 支座反力            | 321                        | 千牛(kN)                   |
|                | 振动         | VIB       | 加速度            | 主梁竖向振动加速度       | 323                        | 米每平方秒(m/s <sup>2</sup> ) |
| 主梁横向振动加速度      |            |           |                | 324             |                            |                          |
| 主梁纵向振动加速度      |            |           |                | 325             |                            |                          |
| 桥墩顶部纵向及横向振动加速度 |            |           |                | 329             |                            |                          |
| 伸缩缝            | EJN        | 声音强度      | 伸缩缝噪音          | 332             | 分贝(dB)                     |                          |
| 平面变形           | PLD        | 位移        | 竖向、水平两个方向变形    | 334             | 毫米(mm)                     |                          |
| 结构变化           | 基础冲刷       | SCO       | 深度             | 基础冲刷深度          | 401                        | 毫米(mm)                   |
|                | 位移(变化)     | AND       | 横桥向, 纵桥向, 竖向   | 桥墩竖向位移          | 402                        | 毫米(mm)                   |
|                | 裂缝         | CRK       | 裂缝宽度, 温度       | 混凝土结构裂缝         | 405                        | 毫米(mm)                   |
|                |            |           |                | 钢结构裂缝           | 406                        |                          |
| 腐蚀             | COR        | 氯离子浓度, 侵蚀 | 墩身、承台混凝土氯离子浓   | 407             | 千克每立方米(kg/m <sup>3</sup> ) |                          |

| 监测类别 | 监测类型 | 监测类型简称 | 监测指标    | 监测内容                 | 监测内容编码 | 数据单位   |
|------|------|--------|---------|----------------------|--------|--------|
|      |      |        | 深度      | 度                    |        |        |
|      |      |        |         | 墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度      | 408    | 毫米(mm) |
|      | 预应力  | STR    | 预应力, 温度 | 体外预应力                | 409    | 千牛(kN) |
|      | 螺栓状态 | BTF    | 力值, 温度  | 索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力、螺栓滑脱 | 411    | 千牛(kN) |

表 A.4 拱桥监测内容定义与编码

| 监测类别 | 监测类型   | 监测类型简称 | 监测指标                                    | 监测内容            | 监测内容编码                   | 数据单位                           |
|------|--------|--------|---|-----------------|--------------------------|--------------------------------|
| 环境   | 温湿度    | RHS    | 温度, 湿度                                  | 桥址区环境温度、湿度      | 101                      | 温度: 摄氏度(°C); 湿度: 百分比(%)        |
|      |        |        |   | 主梁内温度、湿度        | 102                      |                                |
|      |        |        |   | 主拱内温度、湿度        | 108                      |                                |
|      | 结冰     | FRZ    | 结冰厚度, 温度                                | 桥面结冰            | 118                      | 毫米(mm)                         |
|      |        |        |   | 吊杆结冰            | 120                      |                                |
|      | 雨量     | PWS    | 雨量                                      | 降雨量             | 117                      | 毫米(mm)                         |
|      | 水位     | WLV    | 水位                                      | 桥底水位            | 123                      | 米(m)                           |
| 能见度  | VSB    | 能见度    | 大气能见度                                   | 124             | 米(m)                     |                                |
| 大气浓度 | ACN    | 大气浓度   | SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 等浓度    | 125             | 百万分之一(ppm)               |                                |
| 作用   | 车辆荷载   | HSD    | 车道号, 上下行, 车型, 车速, 轴数, 车重, 轴重, 车牌号, 车牌颜色 | 所有车道车重、轴重、轴数、车速 | 201                      | 车重、轴重: 千克(kg); 车速: 千米每小时(km/h) |
|      | 风速风向   | UAN    | 风速, 风向, 风攻角                             | 桥面风速、风向         | 204                      | 风速: 米每秒(m/s); 风向: 度(°)         |
|      |        |        |   | 拱顶风速、风向         | 206                      |                                |
|      | 风压     | WDP    | 压力                                      | 主梁风压            | 207                      | 帕(Pa)                          |
|      | 结构温度   | TMP    | 温度                                      | 混凝土或钢结构构件温度     | 208                      | 摄氏度(°C)                        |
|      |        |        |   | 桥面铺装层温度         | 210                      |                                |
|      | 船舶撞击   | VID    | 加速度                                     | 桥墩加速度           | 211                      | 米每平方秒(m/s <sup>2</sup> )       |
| 地震   | VIE    | 加速度    | 桥岸地表场地加速度                               | 212             | 米每平方秒(m/s <sup>2</sup> ) |                                |
|      |        |        | 承台顶或桥墩底部加速度                             | 213             |                          |                                |
| 结构响应 | 位移(响应) | DIS    | 位移, 温度                                  | 支座位移            | 303                      | 毫米(mm)                         |
|      |        |        |   | 梁端纵向位移          | 304                      |                                |

| 监测类别 | 监测类型    | 监测类型简称 | 监测指标                 | 监测内容                 | 监测内容编码  | 数据单位                   |
|------|---------|--------|----------------------|----------------------|---------|------------------------|
|      |         |        |                      | 主梁横向位移               | 333     |                        |
|      | 挠度      | HPT    | 挠度, 温度               | 主梁竖向位移               | 302     | 毫米 (mm)                |
|      | 结构空间变形  | GNSS   | 横桥向, 纵桥向, 竖向         | 主梁偏位                 | 301     | 毫米 (mm)                |
|      |         |        |                      | 拱顶偏位                 | 307     |                        |
|      | 应变      | RSG    | 应变, 温度               | 主梁关键截面应变             | 312     | 微应变 ( $\mu \epsilon$ ) |
|      |         |        |                      | 主拱关键截面应变             | 314     |                        |
|      | 索力      | VIC    | 索力, 基频               | 拱桥吊杆 (索) 力           | 319     | 千牛 (kN)                |
|      |         |        |                      | 系杆力                  | 320     |                        |
|      | 支座反力    | STF    | 反力, 温度               | 支座反力                 | 321     | 千牛 (kN)                |
|      | 振动      | VIB    | 加速度                  | 主梁竖向振动加速度            | 323     | 米每平方秒 ( $m/s^2$ )      |
|      |         |        |                      | 主梁横向振动加速度            | 324     |                        |
|      |         |        |                      | 主梁纵向振动加速度            | 325     |                        |
|      |         |        |                      | 主拱振动加速度              | 330     |                        |
|      |         |        |                      | 拱桥吊杆 (索) 振动加速度       | 331     |                        |
| 伸缩缝  | EJN     | 声音强度   | 伸缩缝噪音                | 332                  | 分贝 (dB) |                        |
| 平面变形 | PLD     | 位移     | 竖向、水平两个方向变形          | 334                  | 毫米 (mm) |                        |
| 结构变化 | 基础冲刷    | SCO    | 深度                   | 基础冲刷深度               | 401     | 毫米 (mm)                |
|      | 位移 (变化) | AND    | 横桥向, 纵桥向, 竖向         | 拱脚位移                 | 404     | 毫米 (mm)                |
|      | 裂缝      | CRK    | 裂缝宽度, 温度             | 混凝土结构裂缝              | 405     | 毫米 (mm)                |
|      |         |        |                      | 钢结构裂缝                | 406     |                        |
|      | 腐蚀      | COR    | 氯离子浓度, 侵蚀深度          | 墩身、承台混凝土氯离子浓度        | 407     | 千克每立方米 ( $kg/m^3$ )    |
|      |         |        |                      | 墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度      | 408     | 毫米 (mm)                |
|      | 预应力     | STR    | 预应力, 温度              | 体外预应力                | 409     | 千牛 (kN)                |
|      | 断丝      | BRK    | 状态                   | 主缆断丝、斜拉索、吊杆 (索)、系杆断丝 | 410     | -                      |
| 螺栓状态 | BTF     | 力值, 温度 | 索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力、螺栓滑脱 | 411                  | 千牛 (kN) |                        |

## 附录 B

(规范性)

### 数据接口

#### B.1 数据协议及签名

单结构物监测系统与省级平台数据交换将使用 http 协议进行传输,通过调用省级平台提供的数据接口进行数据上传,省级平台根据需要可以通过该协议调用单结构物监测系统接口及单点登录访问等。省级技术支持单位将提供开发者平台以便单结构物监测系统开展数据对接事宜,开发者平台地址及开发账号请联系技术支持单位获取。单结构物监测系统数据在接入前,需在开发者平台先补充完善相关基础数据(如结构物基础信息、监测测点相关信息等),并获取开发密钥(包括 AppKey 及 AppSecret, AppSecret 不能对外暴露)及在线接口文档等。基于对接口的统一约束,方便开发,对数据接口及参数签名作以下要求:

##### (1) http 请求必要参数

单结构物监测系统与省级平台的每个数据接口必须提供以下必要 header 参数,用于对数据进行签名及验签,默认提供数据接口都用 Post 请求,Content-Type 为 application/json,http 请求的 Header 应包括以下必要参数:

表 B.1-1 Header 参数说明

| 参数名          | 类型     | 说明     | 示例值   |
|--------------|--------|--------|---|
| Header<br>参数 | appKey | string | 省级平台提供的 AppKey  |
|              | rnd    | long   | 时间戳,精确到秒。允许与北京时间有 5 分钟的误差(单结构物系统要保证系统时间的正确性)  |
|              | sign   | string | 发送方计算出待发送数据的签名,需要转为大写形式,计算方式为: sign=Sha1(post 请求字符串+rnd+AppKey+AppSecret),各参数的含义见“签名计算”相关内容 |

##### (2) 签名计算及验签

为了保证数据安全,无论是省平台或单结构监测系统提供的数据接口都需要进行签名验证,数据签名使用 Sha1 摘要算法。发送方把待发送数据结合当前时间戳及持有的密钥对待发送数据进行签名得到数据签名串 sign,随后把签名串 sign 及待发送数据发送给接收方,接收方在接收数据时用同样的方式结合自己持有 AppSecret 重新计算一次数据签名串得到 sign1,通过比较 sign 与 sign1 是否相同来验证数据的合法性及完整性,保证数据在传输过程中没有被篡改过,以便完成请求验证及处理。其中相关密钥由省级平台提供,双方共同持有,其中签名 sign 的计算方式如下:

$$\text{sign}=\text{Sha1}(\text{post 请求字符串}+\text{rnd}+\text{AppKey}+\text{AppSecret})$$

表 B.1-2 签名计算参数说明

| 参数         | 类型     | 说明                         | 示例值                           |
|------------|--------|----------------------------|-------------------------------|
| post 请求字符串 | string | http 请求 body 的内容,如 json 数据 | {"key1": "string", "key2": 1} |
| rnd        | long   | 时间戳,精确到秒                   | 1736218470                    |

|           |        |                |                                  |
|-----------|--------|----------------|----------------------------------|
| appKey    | string | 由省级平台提供        | 923527d01230467a                 |
| appSecret | string | 由省级平台提供，不能对外暴露 | b2817c8412264da3879a5d54112ebac6 |

### (3) 对接流程

单结构物监测系统与省级平台对接流程如下图 B.1 所示。



图 B.1 单结构物监测系统与省级平台对接流程示意图

## B.2 监测数据接口

表 B. 2-1 温湿度监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                | 示例值           |
|------------------|--------|----|-------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号            | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒,确保唯一,不能重复调用 | 1668386275300 |
| TempMax          | float  | 是  | 温度最大值             | 60            |
| TempMin          | float  | 是  | 温度最小值             | 10            |
| TempAvg          | float  | 是  | 温度平均值             | 30            |
| TempDiff         | float  | 是  | 最大温差              | 50            |
| HumMax           | float  | 是  | 湿度最大值             | 100           |
| HumMin           | float  | 是  | 湿度最小值             | 10            |
| HumAvg           | float  | 是  | 湿度平均值             | 50            |
| WaringDuration   | float  | 是  | 超限持续时间            | 0.8           |

表 B. 2-2 结冰监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                | 示例值           |
|------------------|--------|----|-------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号            | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒,确保唯一,不能重复调用 | 1668386275300 |
| Max              | float  | 是  | 最大值               | 略             |
| Min              | float  | 是  | 最小值               | 略             |
| Avg              | float  | 是  | 平均值               | 略             |

表 B. 2-3 降雨量监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                | 示例值           |
|------------------|--------|----|-------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号            | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒,确保唯一,不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值               | 略             |

表 B. 2-4 车辆荷载监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                | 示例值           |
|------------------|--------|----|-------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号            | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒,确保唯一,不能重复调用 | 1668386275300 |
| Total            | float  | 是  | 车流量               | 略             |
| MaxWeight        | float  | 是  | 最大总负荷             | 略             |
| MaxWeight1       | float  | 是  | 最大轴重              | 略             |
| OverWeightCount  | float  | 是  | 超载车数量             | 略             |

表 B. 2-5 风速风向监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                | 示例值           |
|------------------|--------|----|-------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号            | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒,确保唯一,不能重复调用 | 1668386275300 |
| AvgSpeed         | float  | 是  | 风速平均值             | 25            |
| AvgDirection     | float  | 是  | 风向平均值             | 180           |
| AvgDirectionZ    | float  | 是  | 风攻角平均值            | 5             |

表 B. 2-6 风压监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                | 示例值           |
|------------------|--------|----|-------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号            | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒,确保唯一,不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 风压平均值             | 50            |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值              | 略             |

表 B. 2-7 结构温度监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                | 示例值           |
|------------------|--------|----|-------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号            | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒,确保唯一,不能重复调用 | 1668386275300 |
| Max              | float  | 是  | 最大值               | 50            |
| Min              | float  | 是  | 最小值               | 10            |
| Avg              | float  | 是  | 平均值               | 25            |

表 B. 2-8 船舶撞击、地震监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| XMax             | float  | 是  | 横桥向绝对最大值            | 略             |
| YMax             | float  | 是  | 纵桥向绝对最大值            | 略             |
| ZMax             | float  | 是  | 竖向绝对最大值             | 略             |
| XRms             | float  | 是  | 横桥向均方根值             | 略             |
| YRms             | float  | 是  | 纵桥向均方根值             | 略             |
| ZRms             | float  | 是  | 竖向均方根值              | 略             |

表 B. 2-9 位移（主梁、塔顶、主缆、高墩墩顶、拱顶）监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 10            |
| Max              | float  | 是  | 绝对最大值               | 20            |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值                | 15            |

表 B. 2-10 GNSS 监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| XAvg             | float  | 是  | 横桥向平均值              | 略             |
| YAvg             | float  | 是  | 纵桥向平均值              | 略             |
| ZAvg             | float  | 是  | 竖向平均值               | 略             |
| Xmax             | float  | 是  | 横桥向绝对最大值            | 略             |
| YMax             | float  | 是  | 纵桥向绝对最大值            | 略             |
| ZMax             | float  | 是  | 竖向绝对最大值             | 略             |
| XRms             | float  | 是  | 横桥向均方根值             | 略             |
| YRms             | float  | 是  | 纵桥向均方根值             | 略             |
| ZRms             | float  | 是  | 竖向均方根值              | 略             |

表 B. 2-11 位移（支座位移、梁端纵向位移）监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |



| 参数名称    | 类型    | 必须 | 描述     | 示例值 |
|---------|-------|----|--------|-----|
| Max     | float | 是  | 绝对最大值  | 略   |
| Rms     | float | 是  | 均方根值   | 略   |
| AbsDiff | float | 是  | 绝对值累积量 | 略   |

表 B. 2-12 转角监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| XAvg             | float  | 是  | 横向平均值               | 略             |
| Xmax             | float  | 是  | 横向绝对最大值             | 略             |
| XRms             | float  | 是  | 横向均方根值              | 略             |
| YAvg             | float  | 是  | 纵向平均值               | 略             |
| YMax             | float  | 是  | 纵向绝对最大值             | 略             |
| YRms             | float  | 是  | 纵向均方根值              | 略             |

表 B. 2-13 应变监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 绝对最大值               | 略             |

表 B. 2-14 索力监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 最大值                 | 略             |
| Min              | float  | 是  | 最小值                 | 略             |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值                | 略             |

表 B. 2-15 索力监测加速度特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Max              | float  | 是  | 绝对最大值               | 略             |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值                | 略             |

表 B. 2-16 支座反力监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 最大值                 | 略             |
| Min              | float  | 是  | 最小值                 | 略             |

表 B. 2-17 振动（主梁、索塔、拱圈）监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Max              | float  | 是  | 绝对最大值               | 略             |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值                | 略             |

表 B. 2-18 基础冲刷监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Max              | float  | 是  | 冲刷深度最大值             | 略             |
| Area             | float  | 是  | 冲刷范围                | 略             |

表 B. 2-19 裂缝监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 最大值                 | 略             |

表 B. 2-20 结构温度监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| ChlorineMax      | float  | 是  | 氯离子浓度最大值            | 略             |
| ChlorineAvg      | float  | 是  | 氯离子浓度平均值            | 略             |
| ChlorineMin      | float  | 是  | 氯离子浓度最小值            | 略             |
| CorrosionMax     | float  | 是  | 侵蚀深度最大值             | 略             |

| 参数名称         | 类型    | 必须 | 描述      | 示例值 |
|--------------|-------|----|---------|-----|
| CorrosionAvg | float | 是  | 侵蚀深度平均值 | 略   |
| CorrosionMin | float | 是  | 侵蚀深度最小值 | 略   |

表 B. 2-21 体外预应力监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 最大值                 | 略             |
| Min              | float  | 是  | 最小值                 | 略             |

表 B. 2-22 螺杆状态监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 绝对最大值               | 略             |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值                | 略             |

表 B. 2-23 索夹滑移监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 绝对最大值               | 略             |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值                | 略             |

表 B. 2-24 位移（锚定位移、拱脚位移、桥墩沉降）监测特征值数据接入

| 参数名称             | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值           |
|------------------|--------|----|---------------------|---------------|
| ThirdChannelCode | string | 是  | 测点通道编号              | 略             |
| DataTimeUnix     | long   | 是  | 时间戳毫秒, 确保唯一, 不能重复调用 | 1668386275300 |
| Avg              | float  | 是  | 平均值                 | 略             |
| Max              | float  | 是  | 绝对最大值               | 略             |
| Rms              | float  | 是  | 均方根值                | 略             |

表 B. 2-25 温湿度监测实时数据接入

| 参数名 | 必选 | 类型 | 说明 | 示例 |
|-----|----|----|----|----|
|     |    |    |    |    |

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| Temp     | 是  | float  | 数组对象中的温度值            | 1.2           |
| Hum      | 是  | float  | 数组对象中的湿度值            | 50            |

表 B. 2-26 结冰监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的结冰厚度值          | 略             |

表 B. 2-27 降雨量监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的降雨量值           | 略             |

表 B. 2-28 车辆荷载监测实时数据接入

| 参数名           | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|---------------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code          | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime      | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Lane          | 是  | float  | 车道号                  | 略             |
| Direction     | 是  | float  | 车辆行驶方向               | 略             |
| Model         | 是  | float  | 车辆类型                 | 略             |
| Axle          | 是  | float  | 轴数                   | 略             |
| AxleDistances | 是  | float  | 轴间距                  | 略             |
| Speed         | 是  | float  | 车速                   | 略             |
| Payload       | 是  | float  | 车辆总负荷                | 略             |
| LeftWeights   | 是  | float  | 左轮系列重量               | 略             |
| RightWeights  | 是  | float  | 右轮系列重量               | 略             |
| Plate         | 是  | float  | 车牌                   | 略             |
| Color         | 是  | float  | 车牌颜色                 | 略             |

| 参数名    | 必选 | 类型     | 说明     | 示例 |
|--------|----|--------|--------|----|
| Code   | 是  | string | 测点唯一编号 | 略  |
| Length | 是  | float  | 车辆长度   | 略  |

表 B. 2-29 风速风向监测实时数据接入

| 参数名        | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|------------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code       | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime   | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data       | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| Speed      | 是  | float  | 数组对象中的风速值            | 25            |
| Direction  | 是  | float  | 数组对象中的风向值            | 180           |
| DirectionZ | 是  | float  | 数组对象中的风攻角值           | 5             |

表 B. 2-30 风压监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的风压值            | 略             |

表 B. 2-31 结构温度监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的温度值            | 略             |

表 B. 2-32 船舶撞击、地震监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| X        | 是  | float  | 数组对象中的横桥向加速度值        | 略             |
| Y        | 是  | float  | 数组对象中的纵桥向加速度值        | 略             |
| Z        | 是  | float  | 数组对象中的竖向加速度值         | 略             |

表 B. 2-33 位移（主梁、塔顶、主缆、高墩墩顶、拱顶）监测实时数据接入

| 参数名 | 必选 | 类型 | 说明 | 示例 |
|-----|----|----|----|----|
|-----|----|----|----|----|

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的位移值            | 略             |

表 B. 2-34 GNSS 监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| X        | 是  | float  | 数组对象中的横桥向变化值         | 略             |
| Y        | 是  | float  | 数组对象中的纵桥向变化值         | 略             |
| Z        | 是  | float  | 数组对象中的竖向变化值          | 略             |

表 B. 2-35 位移（支座位移、梁端纵向位移）监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的位移值            | 略             |

表 B. 2-36 转角监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| X        | 是  | float  | 数组对象中的横桥向倾角值         | 略             |
| Y        | 是  | float  | 数组对象中的纵桥向倾角值         | 略             |

表 B. 2-37 应变监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的应变值            | 略             |

表 B. 2-38 索力监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的索力值            | 略             |

表 B. 2-39 索力监测加速度实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的加速度值           | 略             |

表 B. 2-40 支座反力监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的支座反力值          | 略             |

表 B. 2-41 振动（主梁、索塔、拱圈）监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的加速度值           | 略             |

表 B. 2-42 基础冲刷监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| Deep     | 是  | float  | 数组对象中的冲刷深度值          | 略             |
| Area     | 是  | float  | 数组对象中的冲刷范围           | 略             |

表 B. 2-43 裂缝监测实时数据接入

| 参数名  | 必选 | 类型     | 说明     | 示例 |
|------|----|--------|--------|----|
| Code | 是  | string | 测点唯一编号 | 略  |

| 参数名      | 必选 | 类型    | 说明                   | 示例            |
|----------|----|-------|----------------------|---------------|
| Datetime | 是  | long  | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组  | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float | 数组对象中的裂缝值            | 略             |

表 B. 2-44 腐蚀监测实时数据接入

| 参数名       | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|-----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code      | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime  | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data      | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| Chlorine  | 是  | float  | 数组对象中的氯离子浓度值         | 略             |
| Corrosion | 是  | float  | 数组对象中的侵蚀深度值          | 略             |

表 B. 2-45 体外预应力监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的体外预应力值         | 略             |

表 B. 2-46 螺杆状态监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的螺杆状态值          | 略             |

表 B. 2-47 索夹滑移监测实时数据接入

| 参数名      | 必选 | 类型     | 说明                   | 示例            |
|----------|----|--------|----------------------|---------------|
| Code     | 是  | string | 测点唯一编号               | 略             |
| Datetime | 是  | long   | 时间戳，精确到秒，表示哪一秒采集到的数据 | 1668059716965 |
| Data     | 是  | 对象数组   | 该秒内采集到多个数据           | 略             |
| data     | 是  | float  | 数组对象中的索夹滑移值          | 略             |

表 B. 2-48 预警信息接入

| 参数名称                | 类型     | 必须 | 描述                     | 示例值 |
|---------------------|--------|----|------------------------|-----|
| WarningInfoClientId | string | 是  | 单桥系统数据的预警 Id，确保唯一，不能重复 | 略   |



| 参数名称               | 类型     | 必须 | 描述                  | 示例值                 |
|--------------------|--------|----|---------------------|---------------------|
|                    |        |    | 调用                  |                     |
| BridgeCode         | string | 是  | 桥梁编码                | 略                   |
| ThirdChannelCode   | string | 是  | 测点编码                | 略                   |
| WarningLevel       | int    | 是  | 1=一级, 2=二级, 3=三级    | 略                   |
| WarningValue       | double | 是  | 超限值                 | 略                   |
| DataUnit           | string | 是  | 单位                  | 略                   |
| WarningTimeUnix    | long   | 是  | 报警时间时间戳毫秒           | 1668059716965       |
| CheckTimeUnix      | long   | 是  | 报警确认时间时间戳毫秒         | 1668059716965       |
| CheckUser          | string | 是  | 报警确认人               | 略                   |
| CheckTelephone     | string | 是  | 报警确认人电话             | 略                   |
| WarningDescription | string | 否  | 预警原因的描述             | 最高温度达到 1.0 倍设计值(50) |
| RedWarningMax      | float  | 否  | 阈值上限(三级), 超限当时配置的阈值 | 1                   |
| RedWarningMin      | float  | 否  | 阈值下限(三级), 超限当时配置的阈值 | 1                   |
| YelloWarningMax    | float  | 否  | 阈值上限(二级), 超限当时配置的阈值 | 1                   |
| YelloWarningMin    | float  | 否  | 阈值下限(二级), 超限当时配置的阈值 | 1                   |
| BlueWarningMax     | float  | 否  | 阈值上限(一级), 超限当时配置的阈值 | 1                   |
| BlueWarningMin     | float  | 否  | 阈值下限(一级), 超限当时配置的阈值 | 1                   |

表 B. 2-49 预警信息处理结果接入

| 参数名称                  | 类型     | 必须 | 描述                        | 示例值           |
|-----------------------|--------|----|---------------------------|---------------|
| WarningHandleClientId | string | 是  | 单桥系统预警处置 Id, 确保唯一, 不能重复调用 | 略             |
| WarningInfoClientId   | string | 是  | 单桥系统预警 Id                 | 略             |
| BridgeCode            | string | 是  | 桥梁编码                      | 略             |
| HandleTimeUnix        | long   | 是  | 处理时间时间戳毫秒                 | 1668059716965 |
| HandleUser            | string | 是  | 处理人                       | 略             |
| HandleTelephone       | string | 是  | 处理人电话                     | 略             |
| HandleMeasures        | string | 是  | 处理措施                      | 略             |

表 B. 2-50 上传原始数据压缩包

| 参数名称       | 类型     | 必须 | 描述                      | 示例值 |
|------------|--------|----|-------------------------|-----|
| BridgeCode | string | 是  | 桥梁编码                    | 略   |
| File       | 文件     | 是  | 文件, 文件的文件名称确保唯一, 不能重复调用 | 略   |

表 B. 2-51 上传报告

| 参数名称               | 类型     | 必须 | 描述 | 示例值                   |
|--------------------|--------|----|----|-----------------------|
| ReportFileClientId | string | 是  | 主键 | 客户端数据 id, 最大长度 36, 确保 |

| 参数名称                   | 类型     | 必须 | 描述  | 示例值  |
|------------------------|--------|----|---|--|
|                        |        |    |   | 唯一，不能重复调用  |
| BridgeCode             | string | 是  | 桥梁编码  | 略  |
| File                   | 文件     | 是  | 文件  | 略  |
| ReportType             | string | 是  | 文件类型  | QuarterlyReport 季报；<br>AnnualReport 年报；<br>SpecialEvent 特殊事件专项报告；                                      |
| EmergencyEventClientId | string | 否  | 应急事件客户端 id，<br>SpecialEvent 特殊事件专项报告需要传关联上应急事件                    | 略  |
| ReportName             | string | 是  | 报告名称  | 季报：XXX 桥监测系统季度数据分析报告（XX 年 X 季）；年报：XXX 桥监测系统年度数据分析报告（XX 年）；特殊事件专项报告：XXX 桥监测系统 XXX 特殊事件专项分析报告（XXX 特殊事件）； |
| ReportTimeUnix         | long   | 是  | 报告的时间戳毫秒。如年报，报告时间为改年的 1 月 1 日 0 点时间戳。如季报，报告时间为该季度第一个月 1 日的 0 点时间戳 | 1666679260817  |
| ReportUser             | string | 是  | 上传者   | 略  |

表 B. 2-52 上传桥梁健康度

| 参数名称                    | 类型     | 必须 | 描述                                    | 示例值           |
|-------------------------|--------|----|---------------------------------------|---------------|
| BridgeCode              | string | 是  | 桥梁编码                                  | 略             |
| CurrentLevel            | int    | 是  | 桥梁健康度, 1=基本完好, 2=轻微异常, 3=中等异常, 4=严重异常 | 略             |
| CurrentComponentLevel   | int    | 是  | 构件健康度, 1=基本完好, 2=轻微异常, 3=中等异常, 4=严重异常 | 略             |
| CurrentEvaluateTimeUnix | long   | 是  | 健康度时间戳毫秒,                             | 1697472000000 |

### B. 3 应急监测数据接口

表 B. 3-1 上传应急预案

| 参数名称                  | 类型     | 必须 | 描述                               | 示例值 |
|-----------------------|--------|----|----------------------------------|-----|
| EmergencyPlanClientId | string | 是  | 客户端数据 id, 最大长度 36, 如果已经存在值, 更新操作 | 略   |

| 参数名称               | 类型     | 必须 | 描述   | 示例值     |
|--------------------|--------|----|--|---------|
| BridgeCode         | string | 是  | 桥梁编码   | 略       |
| Name               | string | 是  | 应急预案名称   |         |
| CreateUser         | string | 是  | 上传者  | 略       |
| EmergencyEventType | string | 是  | 事件类型:Typhoon 台风;Earthquake 地震;VortexVibration 涡振;ShipHit 船撞;Complex 综合;Other 其他; | Typhoon |
| File               | 文件     | 是  | 文件   | 略       |

表 B. 3-2 上传应急联系人

| 参数名称                     | 类型     | 必须 | 描述                               | 示例值  |
|--------------------------|--------|----|----------------------------------|------|
| EmergencyContactClientId | string | 是  | 客户端数据 id, 最大长度 36, 如果已经存在值, 更新操作 | 略    |
| BridgeCode               | string | 是  | 桥梁编码                             | 略    |
| Name                     | string | 是  | 姓名                               | 略    |
| Phone                    | string | 是  | 电话                               | 略    |
| Company                  | string | 是  | 公司                               | 略    |
| Address                  | string | 是  | 详细地址                             | 略    |
| Gender                   | string | 是  | 性别                               | 男, 女 |
| Age                      | int    | 是  | 年龄                               | 略    |
| Position                 | string | 是  | 职位                               | 略    |
| CreateUser               | string | 是  | 创建人                              | 略    |
| Remark                   | string | 否  | 备注                               | 略    |

表 B. 3-3 上传应急事件

| 参数名称                   | 类型     | 必须 | 描述   | 示例值           |
|------------------------|--------|----|--|---------------|
| EmergencyEventClientId | string | 是  | 客户端数据 id, 最大长度 36, 如果已经存在值, 更新操作   | 略             |
| EmergencyPlanClientId  | string | 否  | 应急事件启动的应急预案客户端数据 id, 最大长度 36   | 略             |
| BridgeCode             | string | 是  | 桥梁编码   | 略             |
| Title                  | string | 是  | 标题   | 略             |
| Content                | string | 是  | 内容   | 略             |
| HappenTimeUnix         | long   | 是  | 发生时间戳毫秒  | 1668059716965 |
| EmergencyEventType     | string | 是  | 事件类型:Typhoon 台风;Earthquake 地震;VortexVibration 涡振;ShipHit 船撞;Complex 综合;Other 其他; | Typhoon       |
| CreateUser             | string | 是  | 报送人  | 略             |
| Phone                  | string | 是  | 报送人电话  | 略             |

表 B. 3-4 提交应急处理结果

| 参数名称                         | 类型     | 必须 | 描述                                    | 示例值         |
|------------------------------|--------|----|---------------------------------------|-------------|
| BridgeCode                   | string | 是  | 桥梁编码                                  | 略           |
| EmergencyEventHandleClientId | string | 是  | 客户端应急事件处置数据 id, 最大长度 36, 确保唯一, 不能重复调用 | 略           |
| EmergencyEventClientId       | string | 是  | 客户端应急事件数据 id, 最大长度 36                 | 略           |
| ReplyOpinion                 | string | 是  | 处理措施及内容                               | 略           |
| ReplyUser                    | string | 是  | 处理人                                   | 略           |
| Phone                        | string | 是  | 处理人电话                                 | 12345678909 |
| Files                        | 多文件列表  | 是  | 多个附件文件                                | 略           |

#### B. 4 船撞监测数据接口

表 B. 4-1 上传船舶实时位置数据

| 参数名称         | 类型     | 必须 | 描述    | 示例值              |
|--------------|--------|----|-------|------------------|
| BridgeCode   | string | 是  | 桥梁编码  | 填部里唯一编号          |
| DataTimeUnix | long   | 是  | 发生时间  | 如: 1668496402110 |
| Mmsi         | int    | 是  | 船舶号   | 船号, 如: 412000000 |
| ChineseName  | string | 是  | 船中文名  |                  |
| EnglishName  | string | 是  | 船英文名  |                  |
| Longitude    | float  | 是  | 经度    |                  |
| Latitude     | float  | 是  | 纬度    |                  |
| Cog          | float  | 是  | 航向(度) |                  |
| Sog          | float  | 是  | 船速(节) |                  |
| ShipType     | int    | 是  | 船舶类型  | 小于 255           |
| Width        | float  | 否  | 船舶宽度  |                  |
| Length       | float  | 否  | 船舶长度  |                  |
| Distance     | float  | 否  | 离桥距离  |                  |
| UpDown       | string | 否  | 游向    | 取值上游、下游、船下       |
| WarnLevel    | int    | 否  | 桥梁编码  | 取值应该是 1 或 2      |

表 B. 4-2 上传船舶助航预警信息

| 参数名称        | 类型     | 必须 | 描述            | 示例值              |
|-------------|--------|----|---------------|------------------|
| BridgeCode  | string | 是  | 桥梁编码          | 与桥梁基础信息中的编码一致    |
| Mmsi        | int    | 是  | 船舶号           | 船号, 如: 412000000 |
| ChineseName | string | 是  | 船中文名, 长度小于 50 | 中文名称             |

| 参数名称         | 类型     | 必须 | 描述           | 示例值           |
|--------------|--------|----|--------------|---------------|
| EnglishName  | string | 是  | 船中文名，长度小于 50 | 英文名称          |
| Longitude    | float  | 是  | 经度           | 必须是省内经度       |
| Latitude     | float  | 是  | 纬度           | 必须是省内纬度       |
| DataTimeUnix | long   | 是  | 时间戳毫秒        | 1668496402110 |
| Sog          | float  | 否  | 速度（节）        | 略             |
| Cog          | float  | 否  | 航向（度）        | 0 到 360 度之间   |
| ShipType     | int    | 否  | 小于 255       | 不填将由平台推断船舶类型  |
| Length       | float  | 否  | 船长(米)        | 不填将由平台推断船舶长度  |
| Width        | float  | 否  | 船宽(米)        | 不填将由平台推断船舶宽度  |
| Message      | string | 否  | 助航消息         | 略             |

表 B. 4-3 上传船舶偏航预警信息

| 参数名称         | 类型     | 必须 | 描述     | 示例值             |
|--------------|--------|----|--------|-----------------|
| BridgeCode   | string | 是  | 桥梁编码   | 填部里唯一编号         |
| DataTimeUnix | long   | 是  | 发生时间   | 如：1668496402110 |
| Mmsi         | int    | 是  | 船舶号    | 船号，如：412000000  |
| WarnLevel    | int    | 是  | 桥梁编码   | 取值应该是 1 或 2     |
| ChineseName  | string | 是  | 船中文名   |                 |
| EnglishName  | string | 是  | 船英文名   |                 |
| Longitude    | float  | 是  | 经度     |                 |
| Latitude     | float  | 是  | 纬度     |                 |
| Width        | float  | 否  | 船舶宽度   |                 |
| Length       | float  | 否  | 船舶长度   |                 |
| Cog          | float  | 是  | 航向（度）  |                 |
| Sog          | float  | 是  | 船速（节）  |                 |
| ShipType     | int    | 否  | 船舶类型   | 小于 255          |
| Message      | string | 否  | 发送的消息  |                 |
| PicturePath  | string | 否  | 偏航图片地址 |                 |
| VideoPath    | string | 否  | 偏航视频地址 |                 |
| UpDown       | string | 否  | 游向     | 取值上游、下游、船下      |

表 B. 4-4 上传船舶超高预警信息

| 数名称          | 类型     | 必须 | 描述   | 示例值             |
|--------------|--------|----|------|-----------------|
| BridgeCode   | string | 是  | 桥梁编码 | 填部里唯一编号         |
| DataTimeUnix | long   | 是  | 发生时间 | 如：1668496402110 |
| Mmsi         | int    | 否  | 船舶号  | 船号，如：412000000  |
| WarnLevel    | int    | 否  | 桥梁编码 | 取值应该是 1 或 2     |

| 数名称          | 类型     | 必须 | 描述       | 示例值        |
|--------------|--------|----|----------|------------|
| OverHeight   | float  | 是  | 检测到的船舶高度 |            |
| ChineseName  | string | 否  | 船中文名     |            |
| EnglishName  | string | 否  | 船英文名     |            |
| Longitude    | float  | 否  | 经度       |            |
| Latitude     | float  | 否  | 纬度       |            |
| Width        | float  | 否  | 船舶宽度     |            |
| Length       | float  | 否  | 船舶长度     |            |
| Cog          | float  | 否  | 航向（度）    |            |
| Sog          | float  | 否  | 船速（节）    |            |
| ShipType     | int    | 否  | 船舶类型     | 小于 255     |
| Message      | string | 否  | 发送的消息    |            |
| PicturePath  | string | 否  | 偏航图片地址   |            |
| VideoPath    | string | 否  | 偏航视频地址   |            |
| DetectHeight | float  | 否  | 检测到的船舶高度 |            |
| UpDown       | string | 否  | 游向       | 取值上游、下游、船下 |

表 B. 4-5 上传通航净高数据

| 参数名称         | 类型     | 必须 | 描述     | 示例值             |
|--------------|--------|----|--------|-----------------|
| BridgeCode   | string | 是  | 桥梁编码   | 填部里唯一编号         |
| DataTimeUnix | long   | 是  | 发生时间   | 如：1668496402110 |
| Height       | float  | 是  | 航净高(米) | 23.45           |

表 B. 4-6 上传通航轨迹数据

| 参数名称         | 类型     | 必须 | 描述   | 示例值                       |
|--------------|--------|----|--|---------------------------|
| BridgeCode   | string | 是  | 桥梁编码   | 略                         |
| Mmsi         | int    | 是  | 船舶号  | 船号，如：412000000            |
| DataTimeUnix | long   | 是  | 时间戳毫秒  | 1668496402110             |
| Longitude    | float  | 是  | 经度   | 必须是省内经度                   |
| Latitude     | float  | 是  | 纬度   | 必须是省内纬度                   |
| Sog          | float  | 是  | 速度（节）  | 0 到 30 之间                 |
| Cog          | float  | 是  | 航向（度）  | 0 到 360 度之间               |
| Distance     | int    | 否  | 离桥垂直距离（米）                                    | 123                       |
| IsYawing     | bool   | 否  | 是否产生偏航，null 和 false 表示不触发预警，true 表示触发预警      | 取值 null, false, true 三者之一 |
| WarnLevel    | int    | 否  | 触发预警时的偏航预警等级，null 没有预警，1 表示产生一级预警，2 表示产生二级预警 | 取 null, 1, 2 三者之一         |

附录 C

(资料性)

硬件安装表格

表 C.1 设备安装质量检验表

| 工程名称       |  | 施工时间     |     |
|------------|--|----------|-----|
| 桩号及部位      |  | 检验时间     |     |
| 项次         | 检验项目   | 设计值或允许偏差 | 检验值 |
| 1          | 设备名称   |          |     |
| 2          | 设备型号   |          |     |
| 3          | 设备安装要求   |          |     |
| 4          | 采样频率   |          |     |
| 5          | 精度   |          |     |
| 6          | 设备接地电组 (Ω)<br>联合接地   |          |     |
| 7          | 设备安装调试   |          |     |
| 8          | 设备接线要求   |          |     |
| 9          | 基本外观描述   |          |     |
| 自检<br>意见   | <p style="text-align: right;">承包人：                      日期：</p>    |          |     |
| 监理单位 (若有)  | <p style="text-align: right;">监理单位人员：                      日期：</p> |          |     |
| 建设单位<br>意见 | <p style="text-align: right;">建设单位人员：                      日期：</p> |          |     |

