** T/CECS XXX - 202X**

**中国工程建设标准化协会标准**

**中小跨径桥梁结构安全监测系统设计标准**

Standard for design of structural health monitoring system for small and medium span bridges

**（征求意见稿）**

(提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上)

XX出版社

**中国工程建设标准化协会标准**

**中小跨径桥梁结构安全监测系统设计标准**

Standard for design of structural health monitoring system for small and medium span bridges

**T/CECS XXX - 202X**

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

北京中标绿建工程设计研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月XX日

XX出版社

**202X 北 京**

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分7章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、监测内容与测点选择、数据采集传输及处理、数据存储管理与数据库设计、数据分析与结构安全报警。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理，由招商局重庆交通科研设计院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给招商局重庆交通科研设计院有限公司（地址：XXX；邮编：XXX，邮箱：XXX）。

**主 编 单 位：**招商局重庆交通科研设计院有限公司

北京中标绿建工程设计研究院有限公司

**主要起草人：**

**主要审查人：**

**目 次**

[1 总则 6](#_Toc5066)

[2 术语 7](#_Toc29616)

[3 基本规定 8](#_Toc4849)

[3.1 设计原则 8](#_Toc29190)

[3.2 设计流程 11](#_Toc28975)

[3.3 监测系统组成 14](#_Toc26028)

[4 监测内容与测点选择 15](#_Toc7358)

[4.1 一般规定 15](#_Toc15006)

[4.2 监测内容 16](#_Toc21928)

[4.3 测点布置 19](#_Toc11448)

[4.4 传感器选择 22](#_Toc23666)

[5 数据采集传输及处理 25](#_Toc26165)

[5.1 一般规定 25](#_Toc5896)

[5.2 数据采集 25](#_Toc3948)

[5.3 数据传输 26](#_Toc26135)

[5.4 数据处理 28](#_Toc16703)

[6 数据存储管理与数据库设计 30](#_Toc30271)

[6.1 一般规定 30](#_Toc6153)

[6.2 数据库设计基本要求 31](#_Toc29629)

[6.3 数据库组成 32](#_Toc21276)

[6.4 数据库选型要求 33](#_Toc31870)

[6.5 数据库交互方式 34](#_Toc3338)

[7 数据分析与结构安全报警 35](#_Toc19391)

[7.1 一般规定 35](#_Toc15177)

[7.2 数据分析 36](#_Toc13212)

[7.3 阈值设定 38](#_Toc22523)

[7.4 报警机制 40](#_Toc23623)

[本标准用词说明 43](#_Toc28376)

[引用标准名录 44](#_Toc15801)

[附:条文说明 45](#_Toc20110)

**Contents**

[1 General Provisions 6](#_Toc10207)

[2 Terms 7](#_Toc2328)

[3 Basic Requirements 8](#_Toc20144)

[3.1 Design Principles 8](#_Toc26279)

[3.2 Design Process 11](#_Toc11205)

[3.3 Composition of System 14](#_Toc17280)

[4 Monitoring Content and Measurement Point Selection 15](#_Toc21862)

[4.1 General Requirements 15](#_Toc29586)

[4.2 Monitoring Content 16](#_Toc30188)

[4.3 Layout of Measuring Points 19](#_Toc3827)

[4.4 Sensor Selection 22](#_Toc32650)

[5 Data Acquisition, Transmission and Processing 25](#_Toc26350)

[5.1 General Requirements 25](#_Toc185)

[5.2 Data Acquisition 25](#_Toc4386)

[5.3 Data Transmission 26](#_Toc7547)

[5.4 Data Processing 28](#_Toc31457)

[6 Data Storage, Management and Database Design 30](#_Toc27084)

[6.1 General Requirements 30](#_Toc7269)

[6.2 Basic Requirements for Database Design 31](#_Toc29346)

[6.3 Composition of Database 32](#_Toc14929)

[6.4 Requirements for Database Selection 33](#_Toc23750)

[6.5 Database Interaction Mode 34](#_Toc9679)

[7 Data Analysis and Security Alarm 35](#_Toc8873)

[7.1 General Requirements 35](#_Toc10408)

[7.2 Data Analysis 36](#_Toc21429)

[7.3 Threshold Setting 38](#_Toc17251)

[7.4 Alarm Mechanism 40](#_Toc27147)

[Explanation of Wording in This Standard 43](#_Toc31849)

List of Quoted Standard [44](#_Toc15357)

Addition: Explanation of Provisions [45](#_Toc15405)

# 1 总则

**1.0.1** 为规范中小跨径桥梁结构安全监测系统设计工作，做到安全适用、经济合理，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于新建或在役的公路、市政和轨道交通中小跨径桥梁结构安全监测系统设计，其他桥梁可参考使用。

**1.0.3** 中小跨径桥梁结构安全监测系统设计，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

# 2 术语

**2.0.1 中小跨径桥梁 small and medium span bridges**

单孔跨径介于5m~40m，或多孔总跨径介于8m~100m的桥梁。

**2.0.2** **结构安全监测系统 structural health monitoring system**

一种集传感、数据采集与传输、结构状态参数与损伤识别、性能评估与预测技术为一体的自动化、信息化监测系统，主要由传感器、采集仪器设备及服务器等硬件系统和数据分析及结构分析等软件系统构成。

**2.0.3 环境 environmental factors**

影响桥梁安全和功能的桥址自然环境因素。

**2.0.4 作用 action**

桥梁所受的直接荷载或间接荷载。

**2.0.5 结构响应 structural response**

由作用引起的桥梁构件、部件、结构的静力或动力响应。

**2.0.6 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和表观、结构性能发生的相对变化。

**2.0.7 损伤识别 damage identification**

利用结构的响应数据来分析结构物理参数的变化，进而识别结构损伤的过程。

**2.0.8 报警阈值 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。

**2.0.9 结构安全报警 structure security alarming**

监测数据的特征指标达到或超过阈值时，系统自动发出相应级别的警报。

# 3 基本规定

## 3.1 设计原则

**3.1.1** 中小跨径桥梁结构安全监测系统设计应主要针对单孔跨径介于5m~40m，或多孔总跨径介于8m~100m的梁式桥和拱式桥。

【条文说明】

在现役亚健康桥梁中，中小跨径梁式桥(简支T梁、简支空心板、T构、连续梁、连续刚构等)占据总数的70%左右，中小跨径拱式桥(圬工拱、板拱、肋拱、双曲拱、刚架拱、桁架拱、拱梁组合体系等)占总数的20%左右。本标准参考《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)，按单孔跨径和多孔跨径总长来定义中小跨径桥梁，其中单孔跨径系指标准跨径，梁式桥以两桥墩中线间距离或桥墩中线与台背前缘间距为准；拱式桥以净跨径为准。梁式桥多孔跨径总长为多孔标准跨径的总长；拱式桥的多孔跨径总长为两端桥台内起拱线间的距离。

**3.1.2** 中小跨径桥梁符合下列条件之一时，应进行桥梁安全监测：

**1** 技术状况评定为3类、4类且需要跟踪观测的在役公路桥梁；

**2** 技术状况评定为C级、D级且需要跟踪观测的在役市政桥梁；

**3** 设计文件中明确要求应进行结构监测的桥梁；

**4** 经过评定需要进行结构监测的桥梁。

【条文说明】

城市桥梁和公路桥梁的技术状况评定标准可参考《城市桥梁养护技术标准》（CJJ99-2017）以及《公路桥涵养护规范》（JTG5120-2021）的有关规定。典型桥梁的选择条件可以从如下情况中选择：结构具有代表性；跨径具有代表性；交通荷载具有代表性（通常选为枢纽节点）；已发生的或潜在发生的桥梁病害具有代表性。按照《城市桥梁养护技术标准》（CJJ99-2017）以及《公路桥涵养护规范》（JTG5120-2021）进行定期技术状况评级外，宜进行多次不定期快速筛查，支座可参考《城市桥梁支座快速评定标准》（CECS标准已报批），达到支座阈值时，应按照现行《城市桥梁养护技术标准》（CJJ99-2017）以及《公路桥涵养护规范》（JTG5120-2021）的有关规定进行技术状况评定；同步可快速筛查桥梁相对变形挠度，达到0.8倍设计值，同前也应按照现行《城市桥梁养护技术标准》（CJJ99-2017）以及《公路桥涵养护规范》（JTG5120-2021）的有关规定进行技术状况评定。

**3.1.3** 中小跨径桥梁符合下列条件之一时，宜进行桥梁安全监测：

**1** 主跨跨径小于100m的轨道交通简支梁桥、连续梁桥和拱桥；

**2** 采用特殊结构、特殊材料、特殊施工工艺，或者有特殊要求的新建桥梁；

**3** 荷载等级提高或经结构加固的重要桥梁；

**4** 不方便开展检测工作的桥梁。

【条文说明】

桥梁改扩建和大中修后，桥梁的通行等级、荷载等级等通常会提高，可根据改扩建和大中修方案，选择关键桥段进行针对性监测。对于一些早期建设的复杂桥梁，没有设置监测系统或设置的简单监测系统不满足监测需求的，可以考虑设置或改造监测系统。轨道交通桥梁监测参考GB/T 39559.2-2020《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第2部分：桥梁》，以主跨跨径作为是否设置监测系统的指标。

**3.1.4** 中小跨径桥梁结构安全监测系统应综合考虑监测需求与目的、结构特点、周边环境与荷载条件等因素，制定设计方案、组织实施并规范运行管理，满足稳定可靠、经济实用的原则，并应具备兼容性、可扩展性。

【条文说明】

设计中小跨径桥梁结构安全监测系统时要根据结构物所处的环境、地理位置和地质条件、使用功能以及重要性、结构型式、受力特点来确定监测目的、监测内容、监测频率和持续时间。做到目的明确，有的放矢，避免盲目跟从或追求形式。

**3.1.5** 中小跨径桥梁结构安全监测系统应考虑与桥梁养护管理系统的良好衔接，并应兼顾考虑与桥梁施工监控、成桥荷载试验等的关联性。

**3.1.6** 中小跨径桥梁结构安全监测系统设计应满足实用性、可靠性、耐久性、可维护性和可扩展性原则。

【条文说明】

(1)实用性原则：保证系统在桥梁服役环境下安全实用，各测点的布设应有明确目的性。

(2)可靠性原则：保证系统在桥梁服役环境下可靠运行。

(3)耐久性原则：应优先选用满足要求的抗干扰强的传感器和传输方式。

(4)可维护原则：传感器应易于维护和更换并应采取合适方式进行数据接力。

(5)可扩展原则：系统应具适当的扩展性，方便在后期根据需求增加监测内容。

**3.1.7** 桥梁结构安全监测系统的设计应坚持长远规划的原则，结合工程结构的具体特点和场地条件，综合考虑工程结构各阶段的健康监测需求、特征以及环境条件变化的影响，为结构设计验证、结构模型校验与修正、结构损伤识别、结构养护和维修以及新方法、新技术的发展提供支持。

**3.1.8**中小跨径桥梁结构安全监测系统的设计，宜按照监测目的和功能选用和布置传感器及采集系统。监测系统硬件的布置宜有一定的冗余度，宜优先采用标准成熟的产品。对已经出现破损情况的结构，宜适当增加传感器布设。

## 3.2 设计流程

**3.2.1** 桥梁结构安全监测系统设计流程宜包括概念设计、技术方案设计和实施方案设计。

【条文说明】

安全监测系统设计流程可以灵活选择，不需要都经历上述三个步骤。

**3.2.2** 桥梁结构安全监测系统概念设计应以解决系统建设的必要性、主要工作方向和基本技术路线为主要目标，具体工作内容和顺序应按监测需求分析、监测信息特征和指标体系设计、监测模式设计、监测系统设计方案展开。

【条文说明】

概念设计主要回答为什么监测、监测什么以及如何监测三个问题，其工作内容详细说明如下：

(1)监测需求分析：根据中小跨径桥梁结构特点、荷载和作用特点，对在役桥梁的管养决策过程和依据进行梳理和了解，总结出其对所需信息的需求，开展可监测性分析论证，总结、设计出合理的结构监测目标体系。

(2)监测信息特征和指标体系设计：根据结构病害、性能演变分析、管养需求，在既定的监测指标中必选、设计出符合条件的最佳标准功能指标，将对应于不同监测需求和目标的指标体系进行集成，形成完备的指标体系。

(3)监测模式的设计：根据(2)中形成的指标设计最佳监测模式，确定监测内容和测点布设方案，确立监测技术类型和传感设备参数，确定从监测数据中抽取识别指标的方法，以及根据指标进行结构状态识别的方法。

**3.2.3** 桥梁结构安全监测系统技术方案设计应包括下列主要内容：

**1** 硬件系统设计。

**2** 计算方案及算法设计。

**3** 软件系统设计。

**4** 专项监测设计。

**5** 数据源接入方案设计。

**6** 物联网接入方案设计。

【条文说明】

桥梁监测系统技术方案设计是概念设计的具体化，主要解决详细技术路线的问题。技术方案设计的主要内容解释如下：

(1)硬件系统设计：主要针对设计好的监测模式或集约化的监测模式群,统一设计监测所需的硬件系统，包括传感设备、数据采集设备、通信传输设备、数据存储管理设备、数据分析处理设备、数据展示发布媒介设备等一系列的内容。

(2)计算方案及算法设计：针对设计好的监测模式或集约化的监测模式群，研究数据调理算法、数据初步处理和常规数据挖掘算法、基于力学分析模型的特征指标抽取和识别算法,数据驱动的在线预警算法、数据驱动的健康状态评估诊断算法、模型驱动的结构健康状态评估诊断算法。

(3)软件系统设计：针对设计好的监测模式或集约化的监测模式群,统一设计监测所需的软件系统，包括监测系统软件平台、采集驱动程序或模块,数据传输、通信控制软件，数据信号调理和预处理软件、应用分析软件模块等。

(4)专项监测设计；系统对于一些特殊的单个监测目的，要进行单项、独立、自治的监测系统设计。

(5)对于某些要求包括施工监测和成桥期监测在内的全寿命周期监测系统，还需专门对施工期监测设计和实施方案进行特殊设计，以实现监测设备共同和监测数据历史延续。

(6)系统的物联网接入：对于网络化或区域集中管理需求的中小跨径桥梁群监测系统，还需要设计单个桥梁监测系统的网络接入和整合方案。

**3.2.4** 桥梁结构安全监测系统实施方案设计应包括下列主要内容：

**1** 硬件系统的安装与保护方案设计。

**2** 软件系统开发、部署和联调方案设计。

**3** 系统运行参数的优化与校验方案设计。

**4** 监测系统的成果输出与发布方案设计。

【条文说明】

桥梁监测系统实施方案是对桥梁监测系统技术设计方案的实施过程进行详细规划的重要环节。桥梁监测系统实施方案的主要内容解释如下:

(1)硬件系统的安装与保护方案设计：硬件系统的安装与保护:对传感器、设备的安装、电磁保护、气温控制、防水防雷、防盗、安全供电等环节进行设计。

(2)软件系统开发、部署和联调方案设计：对软件开发工程中的质量控制、文档管理、代码编制与调试、多学科联合开发办法等加以规划，对软件的部署方案、软硬件联调方案进行设计。

(3)系统运行参数的优化与校验方案设计:包括试运行期间硬件、软件的运行参数的优化设置办法，系统运行状况的认定办法，监测数据的有效性校验方案。

(4)监测系统的成果输出与发布方案设计；桥梁结构监测系统的运行状况、系统监测数据及其分析结果等，应该以定期或非定期报告的形式予以输出和发布，系统设计者或实施单位应该给出报告的标准模板;在试运行期内，对于关键监测模式，还应该给出数据的范式分析报告，以供业主和相关主管使用

## 3.3 监测系统组成

**3.3.1** 桥梁结构安全监测系统宜包括传感器子系统、数据采集传输与处理子系统、数据存储与管理子系统、数据分析与安全报警子系统，并通过系统集成技术将上述子系统的软硬件整合为协调运行的监测系统。

**3.3.2** 传感器子系统由针对环境监测、外部荷载监测与结构响应监测三类指标的传感器组

成，应能实现桥梁环境参数、外部荷载及结构各类响应的数据获取功能。

**3.3.3** 数据采集与传输子系统由采集设备、传输设备及软件模块组成，应能实现多种类传感

器的数据同步采集与传输功能，以保证数据质量。

**3.3.4** 数据存储与处理子系统由数据预处理、中心数据库、数据管理软件及硬件组成，应能

实现桥梁监测信息的归档、查询、存储、管理等功能。

**3.3.5** 数据报警与结构评估子系统应具备实时数据在线显示和报警功能，荷载与环境报警和

评估，结构安全报警功能。

**3.3.6** 桥梁结构安全监测系统硬件应有适当的保护措施和可维护性，并能保证设计使用寿命。

**3.3.7** 桥梁结构安全监测系统软件应与硬件相匹配，且具有兼容性、可扩展性、易维护性和良好的用户使用性能。

# 4 监测内容与测点选择

## 4.1 一般规定

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

**4.1.2** 监测测点布设应能够准确获取环境、作用、结构响应特征，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。

【条文说明】

测点位置和数量应依据桥址环境、所受作用分布、结构构造特点、结构静力和动力特性、结构病害分布等因素综合确定，应满足监测参数分析和结构状态评估需求。测点位置选取时应根据桥梁结构的受力分析结果对测点布设方案进行优化，选取的测点数据应与理论分析结果建立对应关系。

**4.1.3** 结构响应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的位置、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。

【条文说明】

宜对结构构件进行重要性、危险性和易损性分析，并将分析结果作为测点布设方案优化的参考指标；对施工过程中发生过质量安全事故，经检测、处理与评估后恢复施工或使用的桥梁部位应考虑布设对比测点。

**4.1.4** 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。

【条文说明】

针对采用埋入式传感器的监测点，宜考虑同时布设与其相关性较强的表贴式监测点，并进行相关性分析；测点数量和数采设备接入能力应具有适度冗余，以确保系统的可靠性，并满足系统未来改进、扩充和升级的需要。

## 4.2 监测内容

**4.2.1** 中小跨径桥梁监测内容应根据桥梁结构型式、受力特点、养护需求、环境状况等因素进行选择。

**4.2.2** 中小跨径梁桥的监测内容应符合表4.2.1的规定，宜根据特定需求选择监测内容。

**表4.2.1 中小跨径梁桥监测内容**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **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① | ◯ |
| 结冰 | 桥面结冰 | ◯ |
| 积水 | 路面易积水处 | ◯ |
| 作用 | 车辆荷载 | 所有车道车重、轴重、轴数、车速、车流量 | ◎ |
| 车辆空间分布 | ◎ |
| 风荷载 | 桥面风速、风向 | ◯ |
| 结构温度 | 混凝土或钢结构构件温度② | ▲/◎ |
| 桥面铺装层温度 | ◯ |
| 船舶撞击③ | 桥墩加速度 | ◯ |
| 视频图像 | ◯ |
| 地震 | 承台顶或桥墩底部加速度 | ◎ |
| 结构响应 | 位移 | 主梁竖向位移 | ▲ |
| 支座位移 | ◯ |
| 梁端纵向位移 | ◎ |
| 高墩墩顶位移 | ◯ |
| 高墩倾角 | ◯ |
| 墩底沉降 | ◯ |
| 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 | ◯ |
| 结构变化 | 桥墩沉降 | 桥墩竖向位移 | ◯ |
| 基础冲刷 | 基础冲刷深度 | ◯ |
| 裂缝 | 混凝土或钢结构裂缝 | ◎ |
| 腐蚀 | 墩身、承台混凝土氯离子侵蚀 | ◯ |
| 预应力 | 体外预应力 | ◎ |
| 螺栓状态 | 高强螺栓紧固力、螺栓脱落 | ◯ |
| 注：▲为应监测项，◎为宜监测项，◯为可监测项 | | | |
| ①仅适用于封闭箱梁。  ②简支体系梁桥为宜监测项。  ③仅适用于有通航要求的桥梁。 | | | |

**4.2.3** 中小跨径拱桥的监测内容应符合表4.2.2的规定，宜根据特定需求选择监测内容。

**表4.2.2 中小跨径拱桥监测内容**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **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① | ▲ |
| 主拱温度、湿度② | ◎ |
| 吊杆（索）、系杆锚头内湿度 | ◎ |
| 结冰 | 桥面结冰、吊杆结冰 | ◯ |
| 积水 | 路面易积水处 | ◯ |
| 作用 | 车辆荷载 | 所有车道车重、轴重、轴数、车速、车流量 | ◎ |
| 车辆空间分布 | ◎ |
| 风荷载 | 桥面风速、风向 | ◎ |
| 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 | ◯ |
| 地震 | 承台顶或桥墩底部加速度 | ◎ |
| 船舶撞击③ | 桥墩加速度 | ◯ |
| 视频图像 | ◯ |
| 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 | ▲ |
| 拱脚位移 | ▲ |
| 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 | ◯ |
| 裂缝 | 混凝土或钢结构裂缝 | ◎ |
| 腐蚀 | 墩身、承台混凝土氯离子侵蚀 | ◯ |
| 断丝 | 吊杆（索）或系杆断丝 | ◯ |
| 螺栓状态 | 高强螺栓紧固力、螺栓脱落 | ◯ |
| 注：▲为应监测项，◎为宜监测项，◯为可监测项 | | | |
| ①仅适用于封闭箱梁。  ②仅适用于箱型拱。  ③仅适用于有通航要求的桥梁。 | | | |

【条文说明】

(1)环境温湿度对于结构物的内力、形态、耐久性有着重要的影响。温度是桥梁结构的重要荷载源，通过监测环境温度、温差的变化，可以获得结构变化的温度趋势效应。湿度过大，会引起结构物中的钢材锈蚀和混凝土中的碱活性反应。结构温度监测主要包括混凝土或钢结构构件温度、桥面铺装层温度等，结构温度监测数据可用于进行温度修正。

(2)位移监测主要包括主梁竖向位移、主梁横向变形、支座位移、梁端纵横向位移、拱顶和拱脚位移等，通过位移监测数据与其他监测数据的叠加分析，可评估桥梁整体稳定性。

(3)应变（应力）监测主要包括主梁、主拱关键截面应变（应力），通过应变监测数据可以获取关键截面的应力状态。

(4)索力监测可获得吊杆（索）、系杆的力的变化值，进而评估其应力状态。

(5)桥梁振动监测主要包括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、主拱振动加速度和吊杆（索）振动加速度等，通过识别桥梁结构频率、振型、阻尼比等参数，判断桥梁的整体与局部的动力特性是否处于正常范围，进而评估结构整体、特殊杆件的工作状态。

(6)螺栓监测包括螺栓压力监测和螺栓防坠系统设置。

## 4.3 测点布置

**4.3.1** 中小跨径梁桥测点布置可参照表4.3.1，应根据结构受力特性和监测目标确定测点布置方案。

**表4.3.1 中小跨径梁桥测点布置**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **监测类别** | | **监测内容** | **测点布置** |
| 环境 | 温度、湿度 | 桥址区环境温度、湿度 | 主跨跨中 |
| 主梁内温度、湿度① | 主跨跨中 |
| 结冰 | 桥面结冰 | 结构稳定、振动小、纵坡小的桥面处 |
| 积水 | 路面积水 | 路面易积水处 |
| 作用 | 车辆荷载 | 所有车道车重、轴重、轴数、车速、车流量 | 结构稳定、振动小、纵坡小的桥面处 |
| 车辆空间分布 | 主跨 |
| 风荷载 | 桥面风速、风向 | 桥面开阔粗处 |
| 结构温度 | 混凝土或钢结构构件温度 | 关键构件 |
| 桥面铺装层温度 | 铺装层内 |
| 船舶撞击② | 桥墩加速度 | 桥墩底部或承台顶部 |
| 视频图像 | 上下游两侧对称布设 |
| 地震 | 承台顶或桥墩底部加速度 | 桥墩底部或承台顶部 |
| 结构响应 | 位移及转角 | 主梁竖向位移 | 根据位移包络线确定，至少包含主跨跨中 |
| 支座位移 | 支座处 |
| 梁端纵向位移 | 梁端伸缩缝处 |
| 高墩墩顶位移 | 高墩墩顶处 |
| 梁体横向倾角 | 跨中和支座处主梁截面 |
| 桥墩倾角 | 桥墩顶部 |
| 应变 | 主梁关键截面应变 | 计算得到的最不利截面和应力大、受理复杂的部位 |
| 支座反力 | 支座反力 | 支座 |
| 振动 | 主梁竖向振动加速度 | 根据振型确定，布设在振型峰值点处，且应包含主跨跨中和边跨跨中 |
| 主梁横向振动加速度 |
| 主梁纵向振动加速度 |
| 结构变化 | 桥墩沉降 | 桥墩竖向位移 | 桥墩墩顶 |
| 基础冲刷 | 基础冲刷深度 | 桥墩上下游两侧 |
| 裂缝 | 混凝土或钢结构裂缝 | 检查发现的关键结构裂缝 |
| 腐蚀 | 墩身、承台混凝土氯离子侵蚀 | 水位变动区、浪溅区 |
| 预应力 | 体外预应力 | 有代表性的关键拉索 |
| 螺栓状态 | 高强螺栓紧固力、螺栓脱落 | 有代表性的关键构件 |

**4.3.2** 中小跨径拱桥测点布置可参照表4.3.2，应根据结构受力特性和监测目标确定测点布置方案。

**表4.3.2 中小跨径拱桥测点布置**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **监测类别** | | **监测内容** | **测点布置** |
| 环境 | 温度、湿度 | 桥址区环境温度、湿度 | 主跨跨中 |
| 主梁内温度、湿度① | 主跨跨中 |
| 主拱内温度、湿度② | 主跨跨中 |
| 吊杆（索）、系杆锚头内湿度 | 有代表性的吊杆（索）、系杆锚头保护罩内 |
| 结冰 | 桥面结冰、吊杆结冰 | 结构稳定、振动小、纵坡小的桥面处及主拱处 |
| 积水 | 路面积水 | 路面易积水处 |
| 作用 | 车辆荷载 | 所有车道车重、轴重、轴数、车速、车流量 | 结构稳定、振动小、纵坡小的桥面处 |
| 车辆空间分布 | 主跨 |
| 风荷载 | 桥面风速、风向 | 桥面开阔处 |
| 拱顶风速、风向 | 拱顶 |
| 结构温度 | 混凝土或钢结构构件温度 | 关键构件 |
| 桥面铺装层温度 | 铺装层内 |
| 地震 | 承台顶或桥墩底部加速度 | 桥墩底部或承台顶部 |
| 船舶撞击③ | 桥墩加速度 | 桥墩底部或承台顶部 |
| 视频图像 | 上下游两侧对称布设 |
| 结构响应 | 位移 | 主梁竖向位移 | 根据位移包络线确定，且至少包含主跨跨中、四分点 |
| 主梁横向位移 | 主跨跨中 |
| 支座位移 | 支座处 |
| 梁端纵向位移 | 梁端伸缩缝处 |
| 拱顶位移 | 主跨跨中 |
| 拱脚位移 | 拱脚处 |
| 应变 | 主梁关键截面应变 | 计算得到的最不利截面和应力大、受力复杂的部位 |
| 主拱关键截面应变 |
| 索力 | 吊杆（索）力 | 有代表性的关键吊杆（索） |
| 系杆力 | 有代表性的关键系杆 |
| 支座反力 | 支座反力 | 支座 |
| 振动 | 主梁竖向振动加速度 | 根据振型确定，布设在振型峰值点处，且包含主跨跨中、四分点 |
| 主梁横向振动加速度 |
| 主梁纵向振动加速度 |
| 主拱振动加速度 |
| 吊杆（索）振动加速度 | 有代表性的关键吊杆（索） |
| 结构变化 | 基础冲刷 | 基础冲刷深度 | 桥墩上下游两侧 |
| 裂缝 | 混凝土或钢结构裂缝 | 检查发现的关键结构裂缝 |
| 腐蚀 | 墩身、承台混凝土氯离子侵蚀 | 水位变动区、浪溅区 |
| 断丝 | 吊杆（索）或系杆断丝 | 有代表性的关键构件 |
| 螺栓状态 | 高强螺栓紧固力、螺栓脱落 | 有代表性的关键构件 |

【条文说明】

(1)船舶区域入侵自动识别视频监控系统可在船只偏离航道进入危险水域时自动识别，并通过声光发生装置提醒驾驶人员，避免事故发生或降低事故损失

(2)地震动监测应根据桥梁抗震设计要求和安全风险评估结论进行监测，应测量地表振动。地震动监测数据除直接用于安全预警外，也可为震后桥梁结构安全专项评估提供基础。

(3)环境温度和结构温度的实测数据一般不直接用于安全预警，作为结构受力和变形分析的重要输入参数。

(4)湿度的实测数据一般不直接用于安全预警，湿度监测主要从桥梁结构耐久性角度考虑。主要在主梁、主拱结构封闭空间内部布设湿度测点，以便封闭箱室内湿度超过设计或规范限值时提醒桥梁管养单位检修或增设除湿系统，以确保桥梁结构长期安全。

4.4 传感器选择

**4.4.1** 传感器的选择应综合考虑被测结构的物理量性质、安装环境、测试环境等因素，具体包括测量类型、分辨率、测量范围、测试周期、测试环境、安装环境以及资金投入等进行选择。

**4.4.2** 传感器应技术成熟、性能先进，耐久性和抗干扰能力强，应易安装，便于维护和更换。传感器防水等级不宜低于IP67，必要情况应为传感器设计保护装置。

**4.4.3** 传感器正常工作前应进行校准、调试，以确保其正常工作，传感器主要性能参数应结合项目要求确定。常见传感器类型及相应关键技术指标可参考表4.4.1。

**表4.4.1 常见传感器类型及相应技术指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **监测类别** | | **监测传感器/方法** | **技术指标** |
| 环境 | 温度 | 热电阻、热电偶、光纤温度传感器 | 误差≤0.5℃，分辨力≤0.1℃ |
| 湿度 | 氯化铝湿度计、电阻电容湿度计和电解湿度计 | 测量范围0~100%RH，误差≤±2RH |
| 结冰 | 超声波测试法、  视频监测法 | 结冰厚度最大允许误差＜1mm |
| 积水 | 视频监测法 | 图像分辨力不宜低于200万像素，帧率不宜低于30FPS |
| 作用 | 车辆荷载 | 动态称重系统 | 量程（单轴）≥30t，误差≤±7% |
| 工业摄像机 | 分辨力≥200万像素，帧率≥30FPS |
| 风荷载 | 超声波风速仪、机械式风速仪 | 量程≥1.2倍桥梁设计风速  风速误差≤±0.3m/s |
| 结构温度 | 同环境温度项一致 | 同环境温度项一致 |
| 地震 | 力平衡式加速度传感器 | 量程＞±2.0g，灵敏度≥2.5V/g，分辨力≤1×10-5g，动态范围≥120dB |
| 船舶撞击③ | 主被动防船撞系统 | - |
| 力平衡式加速度传感器 | 与地震动监测协同 |
| 结构响应 | 位移 | 压力变送器、光电挠度仪、毫米波雷达（主梁竖向位移） | 误差≤±2mm |
| 拉杆式位移计、拉伸时位移计、激光位移计  （梁端位移、支座位移） | 误差≤±1mm |
| GNSS静态观测、永久观测点（主梁横向位移、拱顶、拱脚位移） | - |
| 应变 | 光纤应变传感器、电阻应变传感器和振弦式应变传感器 | 量程≥1000με，分辨力≤1με |
| 索力 | 加速度传感器、力传感器和磁通量传感器 | 量程≥1.2索力设计值，误差≤±5% |
| 支座反力 | 直接测力的成品测力  支座 | 误差应小于被测支座标称竖向承载力的5% |
| 振动 | 力平衡式加速度传感器 | 符合结构整体和局部构件振动  监测的要求 |
| 结构变化 | 基础冲刷 | 水流速监测仪器 | 量程≥±5m/s，最大允许误差≤1%FS，分辨力≤0.1cm/s |
| 裂缝 | 振弦式传感器、光纤传感器、线性可变差动变压器和视频图像监测技术 | 误差不宜大于±0.02mm，分辨力不宜大于0.01mm。 |
| 腐蚀 | 多电极腐蚀传感器 | 技术参数宜符合GB/T 38894的相关规定 |
| 断丝 | 声发射传感器 | 工作温度-30℃~70℃，工作频率范围40kHz-100kHz（暴露在空气中的钢索结构），工作频率范围10kHz-40kHz（埋设在混凝土内的钢索结构） |
| 螺栓状态 | 振弦式或电阻式压力环式传感器（直接测力法）； | - |
| 工业摄像机（螺栓滑脱） | 图像分辨力不宜低于200万像素，帧率不宜低于30FPS |

**4.4.4** 传感器的性能参数应符合下列基本要求：

**1** 针对中小跨径桥梁加速度等动态反应进行监测时，传感器采样频率应为需监测到的结构最大频率的2倍以上，采样频率宜为结构最大频率的3~4倍。

**2** 针对中小跨径桥梁位移及应变等反应进行监测时应具有良好而稳定的灵敏度和信噪比，并满足较高的线性度要求。

**3** 采样频率应根据监测应用分析要求和功能要求自行设定，并宜符合JT/T1037 2022第8.6.4条的规定。

【条文说明】

中小跨径桥梁在车辆活荷载作用下主梁挠度响应时间较短，为有效监测主梁变形时程曲线，宜优先采用动态位移监测方式，采样频率不宜小于30Hz，同理，中小跨径桥梁宜优先选用动态应变监测方式，采样频率不宜小于30Hz。

# 5 数据采集传输及处理

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 数据采集、传输设备及系统应具有稳定性和可靠性。

**5.1.2** 数据采集、传输设备应定期开展工作状态检查、保养与维护、运行维护管理等工作。

**5.1.3** 数据采集应包括数据采集硬件、软件和数据采集制度的设计。

**5.1.4** 数据采集制度的设计应包括数据采集模式、触发阈值、频次和采样频率的设定。

**5.1.5** 数据传输应确保监测数据和指令在各模块之间高效可靠的传输。

**5.1.6** 预处理软件设计、数据采集及传输软硬件设计与选型应保证数据获取的时效性；采集及传输硬件设备的耐久性和技术指标应满足国家相关规范、标准的要求。

**5.1.7** 数据处理应能纠正或剔除异常数据，提高数据质量。

【条文说明】

本条规定了数据处理的要求。

**5.1.8** 数据管理应具有标准化读写接口，应考虑数据的结构化、安全性、共享性以及使用友好性和便捷性。

## 5.2 数据采集

**5.2.1** 采集设备的性能应与对应传感器性能匹配，并满足被测物理量的要求。采集设备应易于更换，且更换不影响采集软件使用。

**5.2.2** 采集设备应满足数据的幅值、分辨率和容量的要求。

**5.2.3** 采集设备与传感器之间应有明确的拓扑关系。应根据桥梁测点位置和数量、监测设备类型、系统数据处理和存储能力，设计数据采集方式。

**1** 测点及监测设备较多且监测部位距离较远且相对分散的桥梁宜采用分布式或总体分布式、局部集中式的混合方式进行数据采集。

**2** 测点及监测设备较少且监测部位集中的桥梁，宜采用集中式数据采集。

**5.2.4** 采集设备不应设置在潮湿、有静电和磁场环境之中，应做好防潮、防尘和防雷保护，信号采集仪应有不间断电源保障。

**5.2.5** 采集设备宜对信号进行放大、滤波、去噪、隔离等预处理，对信号强度量级有较大差异的不同信号，应严格进行采集前的信号隔离。

**5.2.6** 监测系统应做到防雷击、防渗水；机箱应有接地措施；当所测光、电等信号微弱以致不易获得时，宜选择能满足采集系统要求的信号放大器；信号放大前应进行滤波以提高信噪比；信号放大器的安装位置应满足其所需的环境要求。

**5.2.7** 宜选择具有自校准功能的数据采集设备，对于无自校准功能的数据采集设备应根据设备说明定期进行外部校准。

**5.2.8** 数据采集设备应考虑抗干扰措施，包括串模干扰抑制、共模干扰抑制以及接地技术、屏蔽技术，以提高信噪比。

**5.2.9** 数据的采样频率应能反映被监测结构的行为和状态，宜根据结构静态、动态指标的监测需要选择采样频率。

**5.2.10** 数据的采样时间应有足够的长度。当测点较多而传感器数量不足时，可分批测量，每批测试应至少保留一个共同的参考点。

**5.2.11** 当同类或不同类数据需要做相关分析时，所有相关数据应同步采集；否则，可选择伪同步采集或异步采集。

【条文说明】

严格同步要求信号时间的时间差不超过0.1ms，伪同步的时间差要满足响应的安全评估需要。

## 5.3 数据传输

**5.3.1** 数据传输软件开发应符合下列规定：

**1** 应考虑数据传输的一致性、完整性、可靠性和安全性，应满足系统开放性和可扩展性要求。

**2** 应实现对数据进行压缩包处理和解包复原功能，宜以包为单位进行传输。

**3** 宜基于TCP/IP协议进行数据交换和传输，应符合IEEE 802.3的规定。

**5.3.2** 应根据系统前端传感器单位时间采集的数据量大小，结合设计的传输实际通信能力，对数据进行分包处理,以包为单位实施传输。开发的相应数据传输软件在设计中应采用应答模式，并引入检校-重发-补发机制进行误码控制。

**5.3.3** 数据包设计宜符合下列格式要求：

**1** 数据包应加入开始位和结束位。

**2** 在每组数据的开头和结束位置,应加人控制参数信息，定义请求发送包和文件结束包。

**3** 在每个数据段前应加入标识信息。

**4** 传输数据应进行校验，可采用奇偶校验或循环冗余校验，并将校验码加人数据段后的校验位。

**5.3.4** 数据传输软件应具备对数据进行分包处理和解包复原的功能，宜以包为单位进行传输。

**5.3.5** 应能够定时启动传感器设备监测运行，能够与现场监控中心工作站进行通信与数据交换，能够进行时钟校验。

**5.3.6** 接收工作站可对监测操作参数进行修改，调整监测运行的时间和监测采样次序、采样频率与监测模拟量转换参数。

**5.3.7** 数据传输可采用有线传输方式和无线传输方式，应综合考虑数据传输距离、工程特征和现场地形条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素灵活选取：

**1** 当工程现场存在无线发射设备或在有强电磁场的环境下，应采取有效的电磁屏蔽措施，当无法实施电磁屏蔽时，应采用有线传输方式。

**2** 对于交通不便的复杂地形、物理线路布设和维护困难的环境及需要构建临时传输网络的工程现场，宜采用无线传输方式。

**3** 根据工程实际需要，可选择一种或多种传输方式进行组合使用。

【条文说明】

坚持因地制宜的原则，即要了解工程场地现场的各种条件，充分考虑到工程过程中可能遇到的各种问题，灵活选取合适的方式。采用有线传输数据时宜利用已有的光纤通信网等数据传输线路，设置必要的中继器或转发器，选取适当的传输介质；同时应以现场数据采集器的接口为基础，以增加最少的接口转换器为原则，选取适当的接口类型。采用无线传输数据是应根据工程现场营运的网络、成本和现场实际情况选择合适的无线传输方式。

**5.3.8** 有线数据传输方式选用应符合下列规定：

**1** 当传输距离相对较短且无强电磁干扰时,可采用模拟信号进行传输。

**2** 当传输距离较远或有较强电磁干扰时，宜采用RS-485、工业以太网等数字信号或光纤传输技术进行传输。

**5.3.9** 无线传输方式宜选用电磁波传输技术，信号发射装置和接收装置应远离强电磁干扰源。

**5.3.10** 按照传输速度不同，可采用同步传输和异步传输两种模式。低速数据可采用异步传输，高速数据可采用同步传输。

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

**5.3.12** 数据传输系统设计宜具备下列资料：

**1** 工程场地的现状平面图。

**2** 电力及有关建筑材料的供应条件。

**3** 周围建筑物振动、噪声源等信息资料。

**4** 工程总平面布置图。

**5** 工程基础平面图和剖面图。

**6** 工程施工方案。

【条文说明】

工程场地的现状平面图包括交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物的分布。

**5.3.13** 数据传输系统应具有备份机制、较大的存储数据能力和良好的鲁棒性，在某个传输线路发生故障时，应能保证数据的完整性和可靠性。

**1** 数据采集子站应至少备份最近一周的监测数据。

**2** 宜设置双卡槽的数据存储介质以满足连续观测需要。

**5.3.14** 数据传输系统中应设计校验机制，在传送和接收两方对数据进行确认。

**5.3.15** 当数据通道发生故障而中断，在故障排除后,数据传输系统应具有补发功能，将中断时间段内所有数据发送到接收端。

**5.3.16** 对于数据传输系统的应答、重发和补发模块应设置时限，避免因应答等待、重发及补发影响正常数据发送，宜利用数据通道空闲时段完成补发数据传输。

## 5.4 数据处理

**5.4.1** 数据处理应包括数据预处理和后处理。数据预处理应包括滤波、去噪、去趋势项、截取和异常点处理等；数据后处理应根据数据类型及分析要求进行专项分析。

**5.4.2** 时域信号宜按照时间先后顺序进行变换，宜利用自相关函数检验数据相关性；受随机噪声干扰的周期信号，宜利用互相关函数确定信号源位置，并检验受通道噪声干扰的周期信号。

**5.4.3** 非平稳信号宜采用时频域信号处理分析方法，平稳信号宜采用离散傅里叶变换处理分析。

**5.4.4** 频谱分析时应考虑被分析信号的性质和处理要求，选择合适的窗函数，减少截断对谱分析精度的影响。

**5.4.5** 数据处理系统及软件应符合下列规定：

**1** 应能接收、解析并存储采集端的原始数据，包括数据预处理、监测量特征值提取以及数据存储功能。

**2** 应能定义处理后监测数据的单位、时间、精度，数据单位采用国际标准单位制，

时间采用公历，最低精度为秒。

**3** 应针对不同类型监测量设置相应的处理算法，将原始数据转换成反映桥梁环境、作用、结构响应与结构变化的特征数据。

**4** 应能够自定义设置修改各类监测数据的配置参数.处理频率,输出数据格式等。

**5** 宜采用读写分离、分布式存储、时间序列数据库等技术提升数据存取效率和稳定性。

# 6 数据存储管理与数据库设计

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 数据库应能够对监测设备所监测到的车辆荷载、环境作用、结构荷载效应数据，以及监测系统自身的属性信息进行分层、分类存储。系统数据库应模块化架构，并分层管理，宜根据数据需求包括子数据库。

【条文说明】

本条规定了数据库存储、架构、管理和包含内容。

**6.1.2** 数据库应存储桥梁结构的设计资料、荷载试验资料、科研专题研究资料、桥梁结构有限元模型、传感采集和传输设备的基本信息、桥梁结构的动力性能参数等。

【条文说明】

本条规定了数据库的存储内容。

**6.1.3** 数据存储宜分为桥梁现场采集站存储、监控中心计算机机房存储和云存储，数据可存储在本地硬件设备上，宜在线存储，也可离线存储。

**6.1.4** 桥梁现场数据采集站应采用循环更新存储方式，在网络中断情况下，本地数据存储空间应满足结构化原始数据大于等于90天数据量的要求，满足非结构化视频图像数据大于等于30天数据量的要求。

**6.1.5** 应采用数据库技术存储监测系统数据，应提供存储调度、存储监控及存储管理可视化功能。

**6.1.6** 原始监测数据应定期存储，备份存档、后处理数据应保持不小于3月的在线存储；统计、分析数据应专项存储。

【条文说明】

本条规定了原始监测数据、后处理数据和统计、分析数据的存储要求。

**6.1.7** 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。

**6.1.8** 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。

【条文说明】

根据GB/T 36344-2018《信息技术 数据质量评价指标》，数值质量评价指标框架包含以下6个部分：

(1)完整性：按照数据规则要求,数据元素被赋予数值的程度。

(2)准确性：数据准确表示其所描述的真实实体(实际对象)真实值的程度。

(3)一致性：数据与其他特定上下文中使用的数据无矛盾的程度。

(4)时效性：数据在时间变化中的正确程度。

(5)可访问性：数据能被访问的程度。

(6)规范性：数据符合数据标准、数据模型、业务规则、元数据或权威参考数据的程度。

**6.1.9** 数据管理应具备存储展示、搜索查询、报表生成等功能。

**6.1.10** 数据管理软件应实现数据归档、生成报告、快速显示和高效存储等管理功能。

**6.1.11** 数据管理软件应能对所有监测项目、监测点设备或指定监测项目监测点设备的监测数据及图像在限定时间段进行回放追溯。

**6.1.12** 数据报告报表应实现提供日报、月报、季报、年报以及极端事件之后报告的功能；报告报表应能够导出并成为常用办公系统通用数据格式。

**6.1.13** 数据库对采集系统收集到的实时数据和历史数据进行存储，以供数据处理和数据评估系统进行数据处理和数据分析，并存储处理及分析结果以便查询。

【条文说明】

本条规定了结构健康监测数据库存储的目的和功能。

**6.1.14** 数据库系统设计应遵循可靠、先进、开放、可扩展、标准和经济的基本原则，并保证数据的共享、安全与结构整体性，以及数据库系统与应用系统的统一性。

【条文说明】

本条规定了数据库设计应遵循的基本原则。

## 6.2 数据库设计基本要求

**6.2.1** 结构安全监测系统涉及的数据库功能应包括监测设备管理、监测信息管理、结构模型信息管理、评估分析信息管理、数据转储管理、用户管理、安全管理以及报警信息管理等方面。

【条文说明】

**1**监测设备管理应包括传感器和采集设备(包括采集子站和总站)的添加、更换、状态查询以及故障检测等功能。传感器设备宜按监测信息内容和功能进行分类管理。

**2**监测信息管理应包括监测信息的自动导人、图形或文件形式导出数据、历史监测信息的查询，并宜具备监测信息的可视化功能。

**3**结构模型信息管理应提供结构的基本参数和评估分析所需要的计算机数值模型。

**4**评估分析信息管理应提供评估准则、保存评估结果并供查询统计。

**5**数据转储管理应支持海量數据的归档以及相应的元数据管理。归档的数据可以存储在大容量存储设备中并应支持使用时的可访问性。

**6**用户管理应支持用户权限的定义和分配功能。系统根据用户的权限来操作不同模块,提供基于角色的用户组管理、用户授权、注册账号和认证管理等。

**7**系统安全管理应提供系统运行环境的网络安全管理和安全保护、数据库的容灾备份机制.敏感信息标记以及用户使用日志审计等功能。数据库系统安全管理应有相应的硬件、软件和人员来支持。

**6.2.2** 数据库系统在使用时应支持在线实时数据处理分析、离线数据处理分析以及两种工作方式的混合模式。

【条文说明】

本条规定了数据库系统使用时的支持工作方式。

**6.2.3** 系统应具备报警信息处理功能，并能将各种报警信息以电子邮件和短信等形式通知相关人员。

**6.2.4** 数据装载应包括数据的筛选.输入、校验、转换和綜合等主要步骤。

**6.2.5** 结构监测数据和分析数据的精度应满足监测目的,并根据结构特性、监测内容确定。

**6.2.6** 查询的响应級别应为秒级，分析结果及可视化等方面应能满足实际使用的要求。

## 6.3 数据库组成

**6.3.1** 数据库按主题可划分为监测设备数据库、监测信息数据库、结构模型信息数据库、评估分析信息数据库和用户数据库等。

**1** 监测设备数据库的内容宜包括设备标识、设备名称、所属子站、几何位置、设备功能、出厂参数、安装时间、采样频率、警戒值、运行状况、维修记录等。

**2** 监测信息数据库应包括监测到的原始环境信息、荷载信息、结构反应信息、结构形态信息以及原始数据经简单处理后的附加信息。

**3** 结构模型信息数据库的内容宜包括结构设计图纸、基本设计参数、结构分析所需要的有限元模型。

**4** 评估分析信息数据库的内容宜包括评估所采用的准则和方法，评估时的主体、时间、参数、对象、结果和报告。

**5** 用户数据库的内容宜包括用户名、用户标识、用户组、个人信息。

【条文说明】

各种原始监测信息的记录应能满足监测目的。环境信息的内容宜包括气压、风速和风向、环境温度和太阳辐射强度、湿度、腐蚀；荷载信息的内容宜包括风压、地面加速度、车辆荷载、结构温度；结构反应信息的内容宜包括结构位移、速度、加速度、应变、倾角、沉降；结构形态信息宜包括结构的几何坐标或线形。

**6.3.2** 数据库应建立在清晰、简明、标准化的数据元上，保证用户方便、快速、准确地检索到所需的信息。

【条文说明】

数据元是最小的不可再分的信息单位，是一类数据的总称，是数据对象的抽象。

**6.3.3** 数据元标准应包括数据元的定义、命名/标识和一致性。

**6.3.4** 监测单位应遵照“国际标准、国家标准、行业标准和企业标准”来建立适合结构物实际情况的健康监测信息分类与编码标准，应做好名词俗语的标准化,确定信息分类与编码对象、编码原则和编码表标准。

【条文说明】

信息分类是根据信息内容属性，将信息按一定的原则和方法进行区分和归类，并建立起一定的分类系统和排列顺序，以便管理和使用信息。信息编码是在信息分类的基础上，将信息对象赋予有一定规律的、易于计算机和用户识别与处理的符号。

## 6.4 数据库选型要求

**6.4.1** 选择数据库管理系统宜考虑下列因素：

**1** 系统支持对海量数据的高效管理机制。

**2** 异常情况下的容错功能。

**3** 系统恢复功能。

**4** 系统宜支持分布式数据管理功能，包括分布式数据存储、复制、数据透明访问等。

【条文说明】

由于监测数据的流量较大，为了保证数据处理和分析的效率，选择数据库系统时应考虑对海量数据的有效存储管理，并应考虑系统的扩展性。数据库系统要有较好的数据分布管理策略，如数据的分片存储、透明访问、分布备份等,必要时要求支持数据网格集成等技术。

**6.4.2** 异常情况下的容错功能可按下列内容进行评价：

**1** 有无操作系统故障、网络故障硬件的容错

**2** 有无磁盘镜像处理功能软件的容错。

**3** 有无应用软件异常情况的容错功能。

**6.4.3** 当突然停电、出现硬件故障、软件失效、病毒或严重错误操作时，系统应提供恢复数据库的功能，如定期转存、恢复备份、回滚等，使系统将数据恢复到损坏以前的状态。

## 6.5 数据库交互方式

**6.5.1** 系统交互可采用人机交互、监测系统与数据库系统交互，也可采用分布式环境下的协作交互。

**6.5.2** 系统交互宜符合下列规定：

**1**人机交互系统应具有友好的、符合专业操作习惯的用户界面。

**2**监测系统可通过数据传输与控制系统将监测数据存储到数据库系统中，也可从数据库中请求和提取需要处理和分析的数据。处理分析完的相关信息应存储在数据库系统中，以便系统能够进一步进行各种深人分析和评估。

**3**在分布式环境下，可通过数据的分片等技术将系统数据进行分布存储。

【条文说明】

监测系统按照应用交互要求自上而下可以分为三个层面：应用层（或表现层）、逻辑层和模型层（或数据存储层）。表现层主要是人机交互，体现的是用户与系统之间的互动；逻辑层包括监测系统与数据库系统之间的交互，体现对采集数据的处理逻辑和建立于各种数据模型之上的业务逻辑；模型层主要体现于系统建立的数据模型，包括数据库中存储的各种数据信息模式以及各种分析、评估模型等。

(1)人机交互要充分考虑用户的使用习惯和感受。系统设计和实现时要界定哪些信息应由用户输入，尽量避免因为人为因素造成的数据输入错误和操作错误。在出现各种人为输入异常时系统要具有出错提醒、容错的能力，并建议系统能够给用户提供实时的智能帮助信息。

(2)监测系统与数据库的交互包括监测系统对监测设备数据库 、监测信息数据库、结构模型信息数据库、评估分析信息数据库和用户数据库等进行数据储存、处理请求和提取;数据库管理系统利用自身的管理和处理功能为监测系统提供相应的信息服务。为确保采集数据正确送达并储存，数据传输系统和数据库系统之间需要采用一定的数据报文协议进行通信，协议要包含传感器自身的标识信息、监测数据信息、校验信息和应答信息等。如果采集的信息不能够正确送达，监测系统根据接收的内容可以要求数据传输系统再次发送之前缓存的信息，正确接收后，监测系统要向数据传输系统发送应答信息。

(3)分布式数据库之间的协作交互要求系统实现时充分利用商业数据库管理系统所支持的分布式数据管理能力，实现系统数据存储的用户透明性、系统业务的协作性。

# 7 数据分析与结构安全报警

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 数据分析前，应对数据可信度进行评价。

**7.1.2** 监测数据分析样本时长，宜根据监测内容的特征确定。

**7.1.3** 长期在线监测时，应对温度效应影响进行分离。

【条文说明】

桥梁长期健康监测得到的信号往往包含如环境效应、荷载效应和混凝土收缩徐变效应等多种因素的共同作用，环境效应中的温度效应是影响信号变化的最主要因素，结构的损伤信号往往淹没其中，导致无法直接根据实测信号对结构的安全状态做出评价。，

**7.1.4** 应对结构各类监测参数建立明确的报警指标，并通过对监测数据进行处理分析，实现对结构状态的监测和分级报警。

**7.1.5** 应根据结构性能，并结合长期数据累积提出与结构安全性、适用性和耐久性相应的限值要求和不同的报警值，报警值应满足国家现行相关结构设计标准的要求。

**7.1.6** 当监测系统报警时，宜采用快速筛查方式对桥梁监测指标进行快速初筛。

【条文说明】

报警是桥梁结构监测系统的重要功能之一，当桥梁运营状态发生异常导致监测数据出现异常时，监测系统可以给出分级报警，提示桥梁管理部门应采取应对措施。监测报警可分两类，一类为基于直接监测数据的报警，另一类为基于监测数据分析结果的报警，前者是通过设定监测变量的报警阈值，当实际监测变量超过阈值时，自动触发报警；后者是基于监测数据分析、提取与结构健康状态相关的特征指标，并根据特征指标的变化进行桥梁结构异常状态报警。监测系统触发报警后，宜进行快速筛查，可参考《城市桥梁支座快速评定标准》（CECS标准已报批），达到支座阈值时，同理也可结合快速挠度筛查测试，并结合现场检测、桥梁荷载试验等检测手段与专家论证，进行桥梁安全评估。

**7.1.7** 结构安全报警应对结构各类参数建立明确的报警指标，并通过监测数据分析，进一步实现对结构状态的监测与分级报警。

**7.1.8** 系统能够稳定运行，能够对桥梁的主要危险状态进行识别，实现分级报警。

**7.1.9** 系统应具备实时数据在线显示和报警功能。

## 7.2 数据分析

**7.2.1** 应分析环境、作用、结构响应和结构变化监测数据，并宜结合桥梁养护的经常检查、定期检查和特殊检查数据。

**7.2.2** 数据分析包括统计分析和特殊分析，统计分析包括最值、极值、平均值、均方根值、累计值等统计值分析以及数据相关性、趋势性、比对性分析；特殊分析包括模态分析、疲劳分析和荷载谱分析等。

**1** 静态监测数据的统计分析区间宜根据监测参数的特征，结合分析需求，按小时、日、季度、年为单位进行分析。

**2** 动态监测数据的统计分析区间和分析频率宜根据监测参数的特征，分析时长、采样频率和报警需求确定。

**3** 监测数据频域分析区间需满足频率分辨率不小于0.01Hz，区间重叠率不小于1/2；宜按照长期平均功率谱的模式进行分析。

**4** 时间序列的集中趋势宜采用均值、众数或中位数反映；离散程度宜采用方差、标准差、极差或变异系数反映。

**7.2.3** 环境监测数据分析符合下列规定：

**1** 温度监测数据应分析最高温度、最低温度、最大温差等。

**2** 湿度监测数据应分析最大值平均值和超限持续时间等。

**7.2.4** 作用监测数据分析符合下列规定：

**1** 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。

**2** 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。

**7.2.5** 结构响应监测数据分析符合下列规定：

**1** 主梁竖向和横向位移、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；应分析主梁下挠及主拱偏位、桥墩沉降等趋势。

**2** 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，主拱关键截面应变监测数据应分析平均值、绝对最大值。

**3** 主梁竖向振动应分析绝对最大值和均方根值，宜进行结构振动与风速风向及车辆荷载相关性分析。

**4** 拱脚位移监测数据应分析其是否发生变化。

**7.2.6** 结构变化监测数据分析符合下列规定：

**1** 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。

**2** 混凝土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，可分析裂缝与荷载作用和结构构造的相关性。

**3** 墩身、承台混凝土腐蚀监测数据，宜分析氯离子浓度、侵蚀深度最大值、最小值、梯度及其变化。

**4** 拱桥吊杆（索）和系杆断丝监测数据宜分析断丝位置和程度。

**5** 螺栓滑脱监测数据宜分析数量、位置、程度和变化趋势。

**7.2.7** 模态参数分析宜包括结构自振频率、振型和阻尼比。

【条文说明】

模态参数分析可以采用时域识别，也可采用频域识别或时频域结合识别。时域识别主要方法有时序分析法、Ibrahim时域法、随机子空间、特征系统实现法等；频域识别主要方法有峰值拾取法、频域分解法等；时频域识别主要方法有小波变换、希尔伯特－黄变换(HHT)、变分模态分解(VMD)等。

**7.2.8** 桥梁因遭受灾害及特殊车辆过桥等突发事件后进行专项评估时，应对事件发生前后数据进行对比分析。

**7.2.9** 监测数据分析应定期形成分析报告，宜采用月报、季报、年报和特殊事件专项报告，报告内容宜包括但不限于基础信息、分析对象、分析方法和分析结果等。

【条文说明】

(1)月报内容包括：月度内监测数据分析，超限值的数量、比例、位置、时间。

(2)季报内容包括：季度内监测数据分析，超限值的数量、比例、位置、时间。

(3)年报内容包括：年度内监测数据分析，超限值的数量、比例、位置、时间。

(4)特殊事件专项报告内容包括：突发事件发生概况、监测系统基本信息及监测方案、评估项目、评估方法、分析结果、结论及建议等。

## 7.3 阈值设定

**7.3.1** 应根据结构性能，并结合长期数据积累提出与结构安全性、适用性和耐久性相应的报警阈值，并满足国家现行相关结构设计标准的要求。

**7.3.2** 各级报警阈值确定符合下列规定：

**1** 报警阈值宜根据监测内容历史统计值、材料允许值、仿真计算值、设计值和规范容许值设定，并宜考虑车辆通行管控建议、检查指引、健康度评估、特殊事件应急管理等监测应用需求。

**2** 报警阈值可根据桥梁健康度和技术状况进行调整。

**7.3.3** 报警阈值应分为三级，报警类别分为环境报警，作用报警、结构响应报警、结构变化报警和监测数据分析结果报警，常见结构监测参数报警阈值设定参见表7.3.1。

**表7.3.1关键结构响应参数报警阈值设定规则**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **类别** | **报警**  **内容** | **报警阈值** | **报警等级** | **梁桥** | **拱桥** |
| 环境 | 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 | ▲ | ▲ |
| 构件封闭空间内相对湿度① | 达到50% | 一级 | ▲ | ▲ |
| 结冰 | 出现结冰 | 一级 | ▲ | ▲ |
| 积水 | 排水侧行车道边缘路面积水深度超过50mm | 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 | ▲ | ▲ |
| 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 | ▲ | ▲ |
| 混凝土或钢结构构件温度 | 达到设计值 | 一级 | ▲ | ▲ |
| 桥面铺装层  温度 | 大于60℃或小于-20℃或根据铺装体系材料 | 一级 | ▲ | ▲ |
| 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E1地震作用加速度峰值 | 二级 | ▲ | ▲ |
| 达到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 | ▲ | ▲ |
| 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 | ▲ | - |
| 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 | - | ▲ |
| 拱桥吊杆(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 | - | ▲ |
| 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 | ▲ | ▲ |
| 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31.5cm/s2且持续时间超过30min | 一级 | ▲ | ▲ |
| 10min加速度均方根达到50cm/s2 | 二级 | ▲ | ▲ |
| 幅值持续增大、呈现发散特征 | 三级 | ▲ | ▲ |
| 吊杆(索)  振动加速度 | 10min加速度均方根达到100cm/s2 | 一级 | - | ▲ |
| 10min加速度均方根达到300cm/s2且频繁出现 | 二级 | - | ▲ |
| 结构  变化 | 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 | - | ▲ |
| 基础冲刷 | 达到0.7倍冲刷深度 | 二级 | ▲ | ▲ |
| 达到设计冲刷深度 | 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10% | 三级 | ▲ | - |
| 螺栓状态 | 个别螺栓轻微松动 | 一级 | ▲ | ▲ |
| 部分螺栓松动 | 二级 | ▲ | ▲ |
| 较多螺栓发生严重松动或少量脱落 | 三级 | ▲ | ▲ |
| 监测数据分析结果② | 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③ | 墩台均匀总沉降达20mm,或相邻墩台总沉降差值达到10mm | 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 | - | ▲ |
| 注：▲为应报警项，—为无需报警项 | | | | | |
| ①构件封闭空间为主梁内、拱桥主拱内封闭空间。  ②数据分析结果超限报警为非同步报警项。  ③L为相邻墩台最小跨径，单位为米（m）。 | | | | | |

【条文说明】

(1)“报警阈值”一列中的“设计值” 参考了 JTG D60、JTG 3362、JTG/ T D65—06、JTG/ T 3360—01 的相关规定。裂缝限值参考 JTG 5120—2021、JTG/ T H21 的相关规定。

(2)结构工程中阵风的持续时间一般取3S，由此在工程实践中风速、风向、脉动风速、脉动风速谱分析时长多按照10min计算。

(3)报警阈值应根据工作环境、危险种类、结构状态、认知的深入而不断补充、修正和优化，使其更加合理。

(4)基于监测数据设置的报警阈值，应通过从服役起至少1年且结构未见异常的连续监测数据得到，随着桥梁运营年限的增加，监测数据也会积累的越来越多，报警阈值应做相应地更新。

## 7.4 报警机制

**7.4.1** 中小跨径桥梁结构安全报警指标应以主梁或主拱圈控制截面的应力和挠度为主。

【条文说明】

中小跨径桥梁结构刚度较大，振动不明显。且其模态解析式相对稳定，模态参数识别意义有限。相对地，基于变形信息的结构静力参数识别仅需利用少量较低频率响应的传感器即可直接识别出结构的刚度等参数，其信噪比高且工程意义明确。

**7.4.2** 结构安全报警应包括：报警级别、报警位置和报警值。

**7.4.3** 系统应具备报警信息处理功能，能将各种报警信息以电子邮件和短信等形式通知相关人员，并根据报警级别给出相应应急预案。

【条文说明】

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

**7.4.4** 结构安全报警功能应与桥梁养护管理制度形成协同机制，出现报警时应提醒桥梁管理养护单位开展桥梁日常巡查、经常检查、定期检查、特殊检查及检测、交通管制、封闭桥梁等响应措施。

**7.4.5** 发出报警信号时，宜提醒进行桥梁结构及主要受力构件进行检查和评估，检查、检测建议及措施见表7.4.1。

**7.4.6** 当对桥梁刚度或强度进行可靠性评估时，宜将对应的设计可靠度指标作为报警阈值。

**表7.4.1 监测数据超限检查建议**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **监测**  **类别** | **监测内容** | **超限**  **级别** | **检测建议及措施** |
| 环境 | 构件封闭空间内相对湿度 | 一级 | 检查除湿设施是否运转正常，相关构件有无开裂、渗漏水等情况。 |
| 积水 | 一级 | 检查清理泄水孔 |
| 结冰 | 一级 | 提醒进行路边除冰措施 |
| 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 | 1.检查梁体开裂情况，检查关键部位混凝土有无裂缝、缺损。  2.对于系杆拱桥，检查拉（吊）索索力有无异常。  3、检查预应力锚固区混凝土有无开裂，沿预应力筋的混凝土表面有无纵向裂缝。 |
| 主梁横向位移 | 二级 | 加强经常检查，检查梁体与限位装置有无顶死，限位挡块有无开裂、破损，桥墩有无倾斜等。 |
| 支座位移、支座反力 | 二级 | 检查支座有无异常、卡死，位移和转角有无超限，滑板有无破损，橡胶有无外鼓、变形过大等。 |
| 梁端纵向位移 | 二级 | 加强经常检查，检查伸缩缝有无阻塞，连接件有无松动。 |
| 梁桥高墩墩顶位移 | 二级 | 加强定期检查，检查支座、伸缩缝的工作状态以及桥墩有无开裂等。 |
| 拱桥主拱拱顶位移 | 二级 | 加强定期检查，检测主拱和主梁线形、吊索索力、系杆索力等。 |
| 主梁、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测 |
| 拱桥吊杆(索)、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 |
| 拱桥吊杆(索)振动加速度 | 一级 | 提示管理部门注意 |
| 二级 | 加强经常检查，检查减振器有无异常、拉（吊）索有无异常。 |
| 结构变化 | 裂缝 | 一级 | 加强日常巡查。 |
| 二级 | 1、加强经常检查，检查裂缝有无发展。  2、监测裂缝宽度、主梁线形、桥墩倾斜等。 |
| 拱脚位移 | 二级 | 1、加强经常检查，检测主拱变形、主梁线形、系杆索力和周边沉降情况等。  2、必要时开展特殊检查，根据检查评估结果制定处治措施进行加固维修。 |
| 基础冲刷 | 二级 | 加强经常检查，检测桥墩倾斜、墩顶位移等，提示管理部门采取防冲刷措施。 |
| 腐蚀 | 二级 | 检查腐蚀部位及相关区域，对同类情况进行全面检查并采取防腐蚀措施。 |
| 体外预应力 | 二级 | 1.检查体外预应力钢束有无破损，锚固块、转向块与梁体结合区域有无裂缝。  2.检测主梁变形和开裂情况，必要时开展特殊检检查，评估桥梁承载力。 |
| 断丝 | 二级 | 1.检测拉（吊）索索力、桥梁线形等。  2.必要时开展特殊检查，评估桥梁承载力。 |
| 螺栓状态 | 一级 | 加强日常巡查，检查螺栓缺损、脱落等情况。 |
| 二级 | 加强经常检查，检查螺栓松动、缺损、脱落等情况。 |
| 监测数据分析结果 | 主梁下挠、主拱偏位、桥墩沉降 | 三级 | 1、加强日常巡查、经常检查，检查主梁、桥墩有无开裂，支座有无异常等。  2、研判桥梁有无安全风险，必要时开展特殊检查，评估桥梁承载力。 |

# 本标准用词说明

为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1** 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4** 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：采用“可”。

# 引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982-2014

《信息技术数据质量评价指标》GB/T 36344-2018

《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037-2022

《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650-2020

《公路桥涵设计通用规范》JTG D 60-2015

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362-2018

《公路钢管混凝土拱桥设计规范》JTG/T D65-06-2015

《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360-01-2018

《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21-2011

《公路桥涵养护规范》JTG 5121-2021

《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99-2017

《公路桥涵养护规范》JTG 5120-2021

《桥梁健康监测传感器选型与布设技术规程》T/CCES 15-2020

《结构健康监测海量数据处理标准》T/CCES 16-2020

《结构健康监测系统运行维护与管理标准》T/CECS 652-2019

《结构健康监测系统设计标准》CECS 333：2012

**中国工程建设标准化协会标准**

**中小跨径桥梁结构安全监测系统设计标准**

**T/CECS XXX - 202X**

**附:条文说明**

**制定说明**

本标准制定过程中，编制组进行了中小跨径桥梁结构安全监测系统组成、设计的调查研究，总结了我国参考了我国住建部和交通运输部近年来的发布的重要规范，如2014年发布的《建筑与桥梁结构监测技术规范》和2022年发布的《公路桥梁结构监测技术规范》等。此外，本标准还广泛征求了设计、科研、管理等单位的意见，在充分吸收和采纳各方意见的基础上，通过反复讨论、修改和完善，最终修订编制完成。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考