****

T/CECS×××-202X

中国工程建设标准化协会标准

结构监测及评估技术标准

**Technical Standard for monitoring and assessment of structures**

**（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）

\*\*\*出版社

中国工程建设标准化协会标准

结构监测及评估技术标准

**Technical Standard for monitoring and assessment of structures**

**（征求意见稿）**

**T/CECS xxx- xxxx**

主编单位：中国建筑金属结构协会

 同恩（上海）工程技术有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年 月 日

\*\*\*出版社

202X年 北京

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2021]20号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结结构监测实践经验，参考有关国际标准和国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分8章和2个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、结构监测系统设计、结构监测参数与测点布置、监测系统的安装调试和防护、结构状态监测和数据处理、结构监测系统维护等。

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检测与试验专业委员会归口管理，由中国建筑金属结构协会和同恩（上海）工程技术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，请寄送至上海市杨浦区国泰路11号主楼703室，邮政编码：200433，邮箱：gaoxixin@tncet.com。

主编单位：中国建筑金属结构协会

 同恩（上海）工程技术有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

# 目 次

[1 总 则 1](#_Toc133592538)

[2 术语 2](#_Toc133592539)

[3 基本规定 4](#_Toc133592540)

[3.1 一般要求 4](#_Toc133592541)

[3.2 结构状态监测与控制要求 4](#_Toc133592542)

[3.3 结构监测初始状态 7](#_Toc133592543)

[4 结构监测系统设计 8](#_Toc133592544)

[4.1 结构监测系统的网络分层构架及功能 8](#_Toc133592545)

[4.2 感知层技术要求 10](#_Toc133592546)

[4.3 承载层技术要求 17](#_Toc133592547)

[4.4 服务应用层技术要求 17](#_Toc133592548)

[4.5 监测系统管理与控制 20](#_Toc133592549)

[4.6 系统验收与交付 23](#_Toc133592550)

[5 结构监测方案与测点布置 27](#_Toc133592551)

[5.1 一般规定 27](#_Toc133592552)

[5.2 施工过程监测 28](#_Toc133592553)

[5.3 使用过程监测 31](#_Toc133592554)

[5.4 测点布置 34](#_Toc133592555)

[6 监测系统安装、调试和防护 38](#_Toc133592556)

[6.1 一般规定 38](#_Toc133592557)

[6.2 监测硬件安装 39](#_Toc133592558)

[6.3 监测系统部署和调试 42](#_Toc133592559)

[6.4 监测设备防护 43](#_Toc133592560)

[7 结构状态监测与数据处理 45](#_Toc133592561)

[7.1 结构状态实时监测 45](#_Toc133592562)

[7.2 结构监测数据处理与分析 46](#_Toc133592563)

[7.3 结构状态监测评估和预警 47](#_Toc133592564)

[8 结构监测系统维护 49](#_Toc133592565)

[8.1 一般规定 49](#_Toc133592566)

[8.2 结构施工过程监测系统维护 49](#_Toc133592567)

[8.3 结构使用过程监测系统维护 51](#_Toc133592568)

[8.4 结构监测系统拆除 51](#_Toc133592569)

[附录A 结构监测报告内容和格式 53](#_Toc133592570)

[附录B 监测系统质量验收表格 61](#_Toc133592571)

[用词说明 68](#_Toc133592572)

[引用标准名录 69](#_Toc133592573)

[附：条文说明 69](#_Toc133592574)

Contents

1 General provisions 1

2 Terms 2

3 Basic requirements 4

3.1 General requirements 4

3.2 Requirements for structural behavior monitoring and control 4

3.3 Initial state of structural monitoring 7

4 Design for strucutral monitoring system 8

4.1 Network architecture and function of structural monitoring system 8

4.2 Technical requirements of perceptual layer 10

4.3 Technical requirements of bearing layer 17

4.4 Technical requirements of service application layer 17

4.5 Management and control of monitoring system 20

4.6 Acceptance and delivery of monitoring system 23

5 Structural monitoring scheme and measurement point arrangement 27

5.1 General requirements 27

5.2 Structural monitoring during construction 28

5.3 Structural monitoring in using process 31

5.4 Monitoring point arrangement 34

6 Installation, debugging and protection of monitoring system 38

6.1 General requirement 38

6.2 Installation of monitoring hardware 39

6.3 Deployment and debugging of monitoring system 42

6.4 Monitoring equipment protection 43

7 Structural behavior monitoring and data processing 45

7.1 Real-time monitoring for structural behavior 45

7.2 Data processing and analysis of structural monitoring 46

7.3 Monitoring for assessment and early warning of structural behavior 47

8 Maintenance of structural monitoring system 49

8.1 General requirements 49

8.2 Maintenance of strucural monitoring system during construction 49

8.3 Maintenance of structural monitoring system in using processing 51

8.4 Demolition of structural monitoring system 51

Appendix A Content and format of structural monitoring reports 53

Appendix B Record form for acceptance of monitoring system 61

Explanation of wording 68

List of quoted standards 69

Addition: Explanation of provisions 69

# 总 则

### **1.0.1**为规范建筑结构监测与控制技术工作，准确获得结构实际技术状态，保障监测系统安全、可靠、持续、稳定运行，做到监测技术先进、安全适用、方便可行、经济合理，制定本标准。

### **1.0.2**本标准适用于建筑结构施工和使用过程监测系统的设计、监测范围与参数选择、监测测点布置、结构状态监测与数据处理。

### **1.0.3**建筑结构监测与控制，除应符合本标准外，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。

# 术语

### **2.0.1**监测对象 monitoring object

需要监测且评估的结构、构件、节点、荷载（作用）与环境。

### **2.0.2**监测测点 monitoring point

直接或间接设置在监测对象上的能反映其变化特征的观测点。

### **2.0.3**监测参数 monitoring parameter

描述监测对象整体或局部结构性能的参数，可采用传感器测得的物理量直接或间接计算获得。

### **2.0.4**监测硬件 monitoring hardware

监测系统中，传感器、数据采集设备、数据传输设备、本地化服务器等硬件的统称。

### **2.0.5**监测软件 monitoring software

搭载于本地服务器或云服务器上，实现监测系统功能的计算机数据和指令的集合。

### **2.0.6**监测系统 monitoring system

实现结构监测功能的监测硬件和软件的集成。

### **2.0.7**数据采样频率data sampling frequency

单位时间内采集数据的次数。

### **2.0.8**监测参数数值计算和评估频率frequency of parameter calculation and assessment

监测系统中单位时间内监测参数数值计算和参数评估的次数。

### **2.0.9**结构监测系统感知层perceptual tier of structural monitoring system

由传感器节点和传感器网关等构成的子系统，可实现对物理世界的信息采集、处理和反馈控制，传感器节点和传感器网关之间的通信可采用有线或无线的方式。

### **2.0.10**结构监测系统承载层bearing tier of structural monitoring system

进行感知层和应用服务层之间数据交换的子系统，可包括有线或无线局域网、移动通信网、互联网、卫星网、广电网及新型融合网络等。

### **2.0.11**结构监测系统应用服务层application server tier of structural monitoring system

进行感知数据存储、处理、分析、展示的子系统，可完成结构监测的功能服务。

### **2.0.12**传感器节点sensor node

具有感知和通信功能的节点，由传感器组成，在监测系统中负责监控目标区域并获取数据以及完成与其他传感器节点或基站节点的通信，能够对数据进行简单的处理。

### **2.0.13**传感器网关sensor gateway

汇总传感器节点发送数据的单元，并可进一步进行数据融合以及其他操作，最终把处理好的数据传至数据中心。

### **2.0.14**数据采集设备data acquisition equipment

自动获取传感器输出的模拟或数字信号、并可将其转化和预处理的装置。

### **2.0.15**采集子站data acquisition substation

用于安放多种数据采集、传输和电源等设备的装置或封闭区域。

### **2.0.16**数据中心monitoring center

为有效存储和管理建筑结构监测系统所采集到的数据信息，提供一个集中放置电子信息设备的物理场所，也可以是采用云存储方式的虚拟数字中心。

### **2.0.17**异常处置exception handling

对监测系统发出的警报或遇到的故障等非正常状况所进行的处理。

# 基本规定

## 一般要求

### **3.1.1**连续进行施工和使用过程监测时，宜统筹考虑监测设备的耐久性和可更换性、监测数据的连续性、监测系统的衔接性和可升级性。

### **3.1.2**监测传感器的使用寿命宜满足监测周期的要求。用于长期监测传感器的使用寿命不应低于5年。

【条文说明】根据传感器市场调查和监测实践结果，目前生产厂商给出的传感器使用寿命一般均在5年左右；用于长期监测的传感器的耐久性和可靠性一般也仅能维持5年左右，尤其外露于自然环境中使用环境更加恶劣时。综合考虑传感器技术和成本因素，规定长期监测传感器的使用寿命不应低于5年，这在技术上可行且成本合理。

### **3.1.3**监测系统应符合下列规定：

**1** 系统宜采用软件与硬件分离的模式；

**2** 系统硬件应具有标准的物理接口，并应提供软件系统可访问的完整数据通信协议；

**3** 通信协议应与软件系统环境无关；

**4** 监测软件应兼容现有的各类监测硬件，并应具有可扩展性。

【条文说明】监测系统采用软硬件分离的模式，便于监测设备的更换维修、监测系统的迁移和升级。

### **3.1.4**监测软件的维护和升级、监测硬件的更换应保证监测数据的连续性不受影响。维护和升级后的监测系统性能不应低于维护前。

## 结构状态监测与控制要求

### **3.2.1**除应符合国家现行标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982规定外，下列结构在施工过程中应进行监测：

1. 对沉降或位形要求严格的结构；
2. 施工方案对结构内力分布影响显著的结构；
3. 整体或局部采用临时支承、分块吊装、整体提升或顶升、整体起扳施工技术的大跨度与空间结构、多高层、高耸结构；
4. 受温度变化、混凝土收缩、徐变、日照等环境因素影响显著的结构；
5. 采用新工艺、新技术、新材料建造或施工期间结构受力复杂的大跨度与空间结构、多高层、高耸结构。

### **3.2.2**除应符合国家现行标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982规定外，下列结构施工用临时支承结构应进行施工监测：

**1** 跨度不小于100m的刚性大跨度结构或跨度不小于50m的柔性大跨度结构施工用临时支承结构；

**2** 施工支承系统处于被提升或滑移等状态时。

【条文说明】在钢结构施工过程中，临时支承（支撑）、千斤顶、液压提升器等施工措施与在建结构共同受力（如临时支承），或为在建结构提供边界条件（如千斤顶、提升钢绞线等），这些施工措施一旦损坏或出现故障，将影响整个在建结构的安全，因此，临时支承或施工措施是钢结构施工过程监测中必不可少的监测对象。常用的结构施工措施包括高支承架、缆风绳、吊索（拉索）、轨道梁、拼装胎架、支撑等。

### **3.2.3**除应符合国家现行标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982规定外，下列结构应进行使用过程监测：

1. 结构竣工位形与设计目标位形误差不符合国家验收标准的结构；
2. 带有隔震体系的高层与高耸结构；
3. 承受变化剧烈的外部荷载或作用，包括机械振动、温差、不均匀沉降、冲击荷载等的结构；
4. 关键构件或节点遭受严重损伤的结构；
5. 结构改造导致传力路径改变或边界条件发生显著变化的结构；
6. 使用过程中发现变形、裂缝或位移超过设计标准限值的结构。

【条文说明】使用过程中结构局部变形、位移或裂缝超过设计标准限值，一般应立即开展检测鉴定工作。当无法开展检测鉴定工作或现场条件不允许全面检测的结构，应进行使用过程监测。

### **3.2.4**数据采样频率和监测参数数值计算频率应根据监测需求设定。

### **3.2.5**结构控制的内容应包括结构状态计算分析或施工过程模拟分析、结构监测、结构状态评估和施工过程调整控制。

【条文说明】施工过程监测进行前，应进行施工过程模拟分析，分析内容和方法应符合现行国家标准《建筑工程施工过程结构分析与监测技术规范》JGJ/T 302规定。使用过程监测进行前，应对当前状态的结构进行计算分析，分析时应输入实际调研得到的荷载和边界条件。进行施工过程模拟分析和既有结构状态分析的目的是确定监测对象和参数，并为设定各施工步的预警阈值提供依据。

### **3.2.6**监测前应设定监测参数阈值。当监测参数实测值超过预警阈值时应报警，并宜建议相应的施工控制措施。监测参数阈值和建议的控制措施按本标准第7.3节执行。

### 报警延时应满足结构控制的需求。

### **3.2.7**监测工作步骤与相应的工作内容宜符合表3.2.6的规定，且应符合现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的相关规定。

表3.2.7 监测工作步骤和内容

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 工作步骤 | 完成内容 |
| 01 | 监测需求调研 | 监测任务单 |
| 02 | 监测方案制定 | 监测方案 |
| 03 | 安装和调试监测设备 | 设备安装和调试记录 |
| 04 | 测试监测系统 | 系统测试记录 |
| 05 | 正式监测采集数据 | 原始数据记录 |
| 06 | 维护监测系统 | 系统维护记录 |
| 07 | 结构状态评估和预警 | 结构评估报告 |
| 08 | 监测数据分析 | 分析与计算报告 |
| 09 | 撰写报告 | 监测报告 |

### **3.2.8**监测前应根据需求调研结果明确监测目的。监测需求调研应包括下列内容：

**1** 施工过程监测应查阅工程背景、现场条件、设计文件、施工技术条件等资料；

**2** 使用过程监测应查阅设计文件、竣工文件、运行维护文件、加固改造记录等资料；

**3** 应了解委托方的经济、监测周期、技术标准等要求；

**4** 应分析工程现状条件与委托方要求的对应关系。

### **3.2.9**监测方案应包括下列内容：

1 工程概况，包括建筑结构概况、监测目的；

2 监测依据；

3 监测对象空间划分和监测阶段划分；

4 监测对象和监测内容；

5 监测施工图，包括监测施工说明、测点布置图和数量统计表、监测系统逻辑图、数据传输线缆布设图和监测设备安装详图等；

6 监测系统设计，包括系统功能、系统框架、监测硬件选型、监测软件组成等；

7 监测施工部署，包括设备的安装进度计划、施工流程、施工准备；

8 监测设备的安装作业指导书；

9 监测安装和调试期间的质量、进度、安全保证措施和应急预案。

### **3.2.10**安装和调试记录宜包括：传感器与采集单元及本地服务器的安装方法、安装时间、安装人、影响质量的关键因素、调试结果以及技术负责人的验收签字等。

### **3.2.11**测试记录宜包括：信号的联通性、参数与测点的对应关系、监测数据的有效性等。

### **3.2.12**维护记录宜包括：维修对象、故障原因、维修时间、责任人、处置结果照片等。

### **3.2.13**监测报告除应符合国家现行标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB50982和《建筑工程施工过程结构分析与监测技术规范》JGJ/T 302的相关规定外，尚宜符合下列规定：

**1** 监测报告宜包括阶段监测报告、数据分析报告和汇总报告；

**2** 施工过程阶段监测报告宜在各关键施工步完成后提交；

**3** 使用过程阶段监测报告宜在预警或极端天气发生后提交；

**4** 监测报告内容和格式可参考本标准附录A。

## 结构监测初始状态

### **3.3.1**结构状态监测参数的数值结果应计入监测参数初值的影响。

### **3.3.2**监测参数初值宜采取实测的方式获取，当不具备实测条件时，应按下列规定取值：

1. 施工过程监测参数的初值，宜按实际施工情况的施工过程模拟分析确定，可取监测对象初始状态对应的参数模拟分析值。
2. 在役或既有结构使用过程监测参数的初值，宜根据结构安全性鉴定的结构受力计算结果确定。未进行结构安全性鉴定时，宜根据结构当前实际状态进行结构受力计算，并宜取该状态监测参数计算结果作为参数初值。
3. 更换监测硬件时，若荷载和边界条件未发生改变，宜取设备更换前的有效监测数据作为参数初值；若荷载或边界条件改变，宜取在相应阶段实际荷载和边界条件下的受力计算结果作为参数初值。

### **3.3.3**监测初始状态结构受力分析应符合下列规定：

1. 计算模型应根据结构初始状态的实际几何、荷载和边界条件建立。
2. 荷载工况宜按照实际调查结果采用标准组合确定。
3. 结构和构件的几何参数应采用实测值，并应计入锈蚀、腐蚀、裂缝、缺陷、损伤及施工偏差等影响。
4. 材料强度标准值和弹性模量等材料参数的取值，当原设计文件有效，且结构无严重的性能退化或施工偏差时，可采用原设计的标准值或设计标准推荐值。当不符合上述情况时，应通过现场检测并按照有关检验标准的要求确定。

# 结构监测系统设计

## 结构监测系统的网络分层构架及功能

### **4.1.1**结构监测系统的网络分层构架和功能模块应分为感知层、承载层和服务层，可按图4.1.1-1和图4.1.1-2划分。

【条文说明】本条参考国家现行标准《信息技术 传感器网络 第1部分：参考体系结构和通用技术要求》GB/T 30269.1-2015。无线通信包括Wifi、5G、GPRS、NBIot、Lora、Zigbee等方式。光纤传感器网络一般采用环形连接；星形连接一般用于传统的有线连接，即传感器直接与数据采集设备链接。



图4.1.1-1 结构监测系统网络分层构架



图4.1.2-2 结构监测系统的功能模块

### **4.1.2**传感器节点和传感器网关之间的拓扑连接形式可采用环形连接、星形连接、树形连接、网络连接及其他混合连接形式。

### **4.1.3**结构监测系统网络分层接口应包含监测硬件之间的物理接口和监测软件功能模块之间的接口。

【条文说明】物理接口用于不同监测硬件间信息交互，功能接口用于监测软件不同功能模块间信息交互，物理接口和功能接口应参考现行国家相关规范。

### **4.1.4**结构监测系统的传感器节点及网关应满足安全性、可靠性、可扩展性、协同性、鲁棒性、节能性、可管理性的要求。

### **4.1.5**监测系统感知层功能应包括下列两类：

1 数据处理和交换功能：应包括数据采集、数据处理和数据存储等；

2 管理与控制功能：应包括网络管理、安全管理、服务管理、设备管理等。

### **4.1.6**监测系统承载层功能应包括数据传输功能和承载层管理和控制功能，并应符合下列规定：

1 数据传输应包括本地局域网络和远程公共网络信息交换两种形式；

2 承载层管理和控制应包括安全管理和服务管理；

3 安全管理应保障感知数据的安全和传感器网络结点设备访问安全；

4 服务管理应提供感知数据的传输服务质量。

### **4.1.7**数据中心应具有感知数据及管理数据存储服务，应保障存储数据的安全性，并宜进行冗余存储。数据中心可采用本地数据中心或云存储形式。

### **4.1.8**监测系统服务层应包括下列功能：

1服务层的管理与控制功能：应包括网络管理、安全管理、服务管理、设备管理和用户管理等；

2 结构监测的专业功能：应包括计算分析、参数评估、安全预警、交互界面、信息展示等。

## 感知层技术要求

### **4.2.1**感知层的监测硬件应包括传感器、数据采集设备和数据传输设备。

【条文说明】感知层的数据传输设备的主要功能是局域网的数据传输。

### **4.2.2**感知层监测传感器、数据采集设备和传输设备的选型应根据监测要求、现场环境、监测条件等因素综合确定。

### **4.2.3**传感器的监测参数可根据采样频率要求分为静态参数和动态参数，采样频率应满足监测、预警和安全评估的要求。

【条文说明】本标准将数据采样频率不小于1Hz的监测参数称为动态监测参数，采样频率小于1Hz的称为静态监测参数。

### **4.2.4**易受温度干扰的传感器应具备温度补偿功能。

### **4.2.5**监测传感器应便于安装和系统集成，并应满足工程中监测量程、分辨力、灵敏度、迟滞、重复性、漂移、供电方式和使用寿命等要求，并应符合国家现行标准《结构健康监测系统设计标准》CECS 333的要求。

【条文说明】传感器的一般性能参数定义如下：

（1）量程：传感器能测量的物理量的极值范围。

（2）最大采样频率：传感器每秒从实际连续信号中提取并组成离散信号的采样最大个数。

（3）线性度：传感器的输出与输入呈线性关系的程度。

（4）灵敏度：传感器在稳定下输出量变化对输入量变化的比值。

（5）分辨力：传感器能够感知或检测到的最小输入信号增量。

（6）迟滞：在相同测量条件下，对应于同一大小的输入信号，传感器正反行程的输出信号大小不相等的现象。

（7）重复性：传感器在输入量按同一方向做全量程多次测试时所得的输入——输出特性曲线的一致程度。

（8）漂移：传感器在输入量不变的情况下，输出量随时间变化的现象。

（9）寿命：传感器的有效期。

### **4.2.6**结构监测用传感器宜包括结构响应类和作用与环境监测类传感器，并宜符合下列规定：

1 结构响应类传感器可包括应变传感器、位移传感器、倾角传感器、速度传感器、加速度传感器、力传感器等。

2 环境和荷载监测类传感器可包括温度传感器、湿度传感器、风速和风向传感器、风压传感器、地震动传感器、传声器、腐蚀介质监测仪、土压力计、雨量计、水位计、摄像头等。

【条文说明】常用监测物理量和传感器类别表

| 监测内容 | 传感器名称 |
| --- | --- |
| 结构响应 | 应力 | 应变计 | 振弦式应变计 |
| 电阻式应变计 |
| 光纤光栅应变计 |
| 位移 | 位移计 | 电阻式位移计 |
| 磁致伸缩式位移计 |
| 激光位移计 |
| 光纤光栅位移计 |
| 静力水准仪 | 振弦式静力水准仪 |
| 磁致伸缩式静力水准仪 |
| 液压式静力水准仪 |
| 倾角计 | MEMS倾角计 |
| 光纤光栅倾角计 |
| 裂缝计 | 振弦式裂缝计 |
| 光纤光栅裂缝计 |
| GNSS变形监测系统 |
| 自动全站仪 |
| 图像变形监测系统 |
| 加速度 | 加速度传感器 | 磁电式速度传感器 |
| 电容式加速度传感器 |
| 压电式加速度传感器 |
| 压阻式加速度传感器 |
| 光纤光栅加速度传感器 |
| 索力 | 锚索计 |
| 加速度传感器 |
| 磁通量式索力计 |
| 环境和荷载 | 温度 | 温度计 | 电阻式温度计 |
| 热电偶 |
| 光纤光栅温度计 |
| 风速风向 | 风速风向仪 | 机械式风速风向仪 |
| 超声波风速风向仪 |
| 风压 | 风压计 | 微压差传感器 |
| 声级 | 传声器 |
| 声级计 |
| 雨量 | 雨量计 |
| 水位 | 水位计 |
| 土压力 | 土压力计 |
| 腐蚀 | 氯离子监测仪 |
| 硫酸盐监测仪 |
| 酸雨监测系统 |
|  | 视频 | 摄像头 |

### **4.2.7**结构监测传感器可选用模拟信号和数字信号传感器，并应符合下列规定：

1 模拟信号传感器应配套可采集对应信号的数据采集设备，并应满足本标准规定的数据采集设备的工作和性能要求；

2 数字信号传感器应提供完整的通信协议，并可接入不同的监测软件。

### **4.2.8**除特殊监测环境外，传感器的工作条件参数应满足下列要求：

1 工作温度范围应为-20℃~﹢60℃，且其上限应高于使用当地最高气温20℃，下限应低于使用当地最低基本气温20℃；

2 环境湿度范围应为相对湿度不大于90%RH；

3 大气压力范围应为86~106kPa，或在其规定的压力下。

【条文说明】特殊监测环境如南极极端低温、西藏等高海拔地区、水下环境等。

### **4.2.9**温度监测宜选用热电偶、热电阻、光纤温度等传感器。温度传感器性能参数应符合下列要求：

1 量程上限宜超出大气温度年极大值30℃以上，量程下限宜低于大气温度年极小值20℃以上；

2 最大允许误差要求为：环境温度宜为±0.5℃，结构表面温度宜为±0.2℃；

3 分辨力要求为：应小于等于0.1℃。

### **4.2.10**环境湿度监测可选用氯化锂湿度计、电阻电容湿度计或电解湿度计等。湿度计性能参数应满足下列要求：

1 量程应为0~100%RH；

2 最大允许误差应为：±2%RH；

3 分辨力应为：小于等于0.1%RH。

### **4.2.11**风速和风向监测宜选用超声波风速风向仪，也可选用机械式风速风向仪。风速风向仪性能参数应满足下列要求：

1 风速量程应大于其安装高度处设计风速的1.2倍，风向量程应为0~359°；

2 启动风速应不大于0.6m/s；

3 风速最大允许误差应不大于0.3m/s，风向最大允许误差应不大于3°；

### **4.2.12**风压监测宜选用陶瓷型或扩散硅型微压差传感器，并宜配置取压嘴或取压头。风压传感器性能参数应满足下列要求：

1 量程宜大于±1000Pa；

2 允许误差不宜大于0.5%F.S.。

### **4.2.13**地震动监测宜选用强震仪或磁电式速度传感器。强震仪技术参数应满足下列要求：

1 量程应为-2.0g~2.0g；

2 灵敏度应为-2.5V/g ~ 2.5V/g；

3 线性度应不大于1%F.S.；

4 横向灵敏度比应不大于1%。

### **4.2.14**应变传感器可选用电阻式、振弦式或光纤光栅应变计。光纤应变传感器技术参数宜符合国家现行标准《土木工程用光纤光栅应变传感器》JG/T 422的规定，电阻应变传感器技术参数宜符合国家现行标准《金属粘贴式电阻应变计》GB/T 13992的规定，振弦式应变传感器的技术参数宜符合国家现行标准《大坝监测仪器 应变计 第2部分：振弦式应变计》GB/T 3408.2的规定。

### **4.2.15**应变传感器性能参数应符合下列要求：

1 量程不应小于±1500με，且静应变传感器量程应大于被测量预计变化范围的1.2倍，动应变传感器量程应大于被测量预计变化范围的2倍；

2 分辨力应不大于1με；

3 线性度宜不大于1%F.S.；

4 应具有温度补偿功能。

### **4.2.16**结构振动监测用加速度传感器应根据结构整体或局部动力分析结果、基频、振型等选用，可选用磁电式加速度传感器。并宜符合下列规定：

1 量程应大于计算分析振动响应最大值的1.2倍，且不宜小于±1g；

2 横向灵敏度应不大于5%；

3 频响范围应为0~100Hz。

### **4.2.17**采用振动法测索力时，宜选用电容式或压电式加速度传感器，监测方法应符合国家现行标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的规定，并应符合下列规定：

1 量程应大于计算分析振动响应最大值的1.5倍，且不宜小于±5g；

2 横向灵敏度应不大于5%；

3 频响范围为0.1Hz~100Hz。

### **4.2.18**构造允许时，监测索力可选用锚索计。锚索计的性能参数宜符合国家现行标准《水运工程 钢弦式锚索测力计》JT/T 578的规定。

### **4.2.19**位移监测可选用拉杆式位移传感器、拉线式位移传感器、磁致伸缩式位移传感器、激光位移传感器等，位移传感器性能参数应符合下列规定：

1 量程应大于被测量预计变化范围的2倍；

2 最大允许误差应为0.5%F.S.；

3 分辨力应不大于0.01mm。

### **4.2.20**静力水准仪性能参数应符合下列规定：

1 量程应大于被测量预计变化范围的2倍，且应大于一个静力水准系统中的最高位和最低位之差；

2 最大允许误差应为0.5mm；

3 分辨力应不大于0.01mm。

### **4.2.21**倾角传感器宜选择微机电系统（MEMS）倾角计，其性能参数应符合下列规定：

1 量程宜为±15°；

2 最大允许误差应为0.01°；

3 分辨力应不大于0.001°。

### **4.2.22**混凝土裂缝宽度监测方法应符合国家现行标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的规定，宜采用自动监测、裸眼观测或相互结合的方式。自动监测时，可选用振弦式裂缝计、电阻式裂缝计、长标距光纤式裂缝传感器。裂缝计参数应符合下列规定：

1 量程应大于裂缝宽度的5倍；

2 最大允许误差不应大于0.02mm；

3 分辨力不应大于0.01mm。

### **4.2.23**全球导航卫星系统（GNSS）监测宜采用北斗卫星导航技术，并应配置观测基准站和监测站，监测方法应符合国家现行标准《低轨星载GNSS测量型接收机通用规范》GB/T 39410的规定。

### **4.2.24**传感器在使用前应按检验批进行校准，校准结果满足传感器参数要求后方可使用。

### **4.2.25**数据采集设备应包括模拟信号数据采集设备、光纤光栅分析仪、数字信号数据采集设备。

### **4.2.26**数据采集设备应具备调节采样频率功能，最高采样频率应与所连传感器匹配。静态采集单元采样频率不宜低于1/600Hz，动态采集单元采样频率不宜低于10Hz且不宜低于监测对象预估最高频率的2.56倍。

### **4.2.27**模拟信号数据采集设备模数转换（A/D）应满足传感器分辨力、精度和监测的需求，静态信号分辨力应不小于16位，动态型号分辨力应不小于24位。

### **4.2.28**模拟信号数据采集设备选型应满足下列要求：

1 可选用支持多种信号类型采集的集成式数据采集设备；

2 数据采集设备的测量范围应大于传感器量程，分辨力不应低于传感器的分辨力；

3 数据采集设备各通道可独立开关，数据采样时应支持多通道同步采集；

4 数据采集设备宜支持4mA~20mA和-5V~5V等标准工业信号；

5 采集振弦式传感器信号的数据采集设备，频率信号误差不宜大于0.1Hz；

6 采集电荷信号的数据采集设备应选用电荷放大器进行信号调理；

7 动态信号应选用抗混滤波器进行滤波和降噪。

### **4.2.29**光纤光栅数据分析仪应包括光纤光栅解调设备和数据存储设备，并应符合下列规定：

1 根据监测需求，分析仪各通道内检测出的传感器中心波长应具有一定间隔，并应满足各传感器波长变化以及监测参数量程要求，应避免发生信号重叠现象；

2 分析仪应满足所有待测传感器并行测量要求，其波长范围应满足所有传感器的初始中心波长附近1‰变化量的测量要求；

3 数据存储设备应根据监测周期和预估的监测数据量选择，并应保证监测周期中监测数据不丢失。

### **4.2.30**光纤光栅数据分析仪宜按下列原则选用：

1 静态测量时，波长测量重复性应小于3pm，测量误差应小于5pm，波长年漂移量应小于30pm；

2 动态测量时，波长测量重复性应小于10pm，测量误差应小于15pm，波长年漂移量应小于60pm

3 波长分辨力应不大于1pm；

4 扫描频率应不小于50Hz。

### **4.2.31**数字信号传感器的数据采集设备应根据传输距离、传输带宽和速率选用，可选用基于RS485的数据采集设备。

### **4.2.32**数据采集设备和数字量传感器应提供完整的数据传输协议和说明文件。协议说明文件应宜包括采集单元配置参数说明、指令请求和响应体构成以及错误码说明。传输协议应包括下列内容：

1 自动采样开关设置；

2 自动采样频率设置；

3 指定时间范围内的历史缓存原始数据查询；

4 具有指定通道实时采样并返回当前数据功能；

5 采集单元通道数查询；

6 采集单元实时电压查询；

7 指定通道的采样参数设置，包括传感器信号类型、信号处理方式等；

8 动态采集单元通道调零设置；

9 采集单元时钟设置。

### **4.2.33**实时数据远程监测系统中，数据采集设备应在本地设置足够的数据备份空间，并应定期进行自动数据备份。

### **4.2.34**采集单元之间、同一采集单元各通道之间应能同步、独立采样。采样时钟同步误差限值应满足表4.2.34的规定。

表4.2.34 采样的时钟同步误差限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 相互关系 | 静态采集单元 | 动态采集单元 |
| 同一单元内各通道 | ±0.5s | ±5ms |
| 采集单元间 | ±0.5s | ±5ms |

### **4.2.35**数据采集设备宜配备不间断电源，一次性供电时间不宜低于24h。

### **4.2.36**感知层传感器节点与数据采集设备间的数据传输，应根据工程特点、现场条件、监测要求等因素选用通信方式，可采用有线或无线通信方式，且应满足传输速率和延时的要求。

【条文说明】数据传输设备，包括数据传输终端设备、数据传输互联设备、数据传输介质设备。数据传输终端设备是指数据传输中一端或另一端的设备，在监测系统感知层主要为传感器和数据采集设备。数据传输互联设备是指数据传输过程中实现一种网络与另一种网络互访与通信的设备，主要设备有中继器、集线器、网桥、路由器等。数据传输介质设备分为有线传输介质设备和无线传输介质设备两大类。其中，有线传输介质设备是指在两个通信设备之间实现的物理连接部分，主要有双绞线、同轴电缆和光纤。

### **4.2.37**传感器和采集设备间宜采用有线连接。

### **4.2.38**传感器和采集单元间的通信采用无线方式时，传输速率、时延、传输稳定性应满足监测要求。无线传输协议宜根据传输距离和传输速率综合选型，可采用ZigBee、Bluetooth、GPRS、4G、2G、Wi-Fi、NB-IoT、Lora等协议。

【条文说明】常用的无线传输协议及其传输速率和传输距离如下表：

表4.2.40 无线通信协议的传输速率、通信距离

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 无线通讯协议名称 | 传输速率 | 通信距离 |
| ZigBee | 250kb/s | 2.5km |
| Bluetooth | 1Mbps | 10m |
| GPRS | 171.2Kb/s | 不限 |
| 3G | 下载3.6Mb/s；上传384Kb/s | 不限 |
| 4G | 下载300Mb/s；上传75Mb/s | 不限 |
| 5G | 10Gbps | 不限 |
| Wi-Fi | 下载37.5MB/s | 100m |
| NB-IoT | 160kbps-250kbps | 15km |
| Lora | 37.5Kbps | 8km |

### **4.2.39**当出现下列情况之一时，传感器和采集单元间的通信不宜采用无线方式：

1. 干扰信号严重影响无线通信的稳定性。
2. 通信能力不能满足采样频次的要求。

### **4.2.40**无线传感器网络的传输协议应满足数据安全性要求，应能提供端到端的加密保证及数据传输的安全。

### **4.2.41**无线传感器的通信距离超过该类传输协议的有效传输距离范围时，应增设中继节点或基站节点进行中继通信。

## 承载层技术要求

### **4.3.1**数据采集设备到本地服务器间宜采用RS485 、RJ45或光纤传输方式进行传输。

### **4.3.2**在低速、短距离、无干扰的场合可采用普通RS-485电缆；在高速、长线传输时，应采用阻抗匹配的RS-485专用电缆；在严重干扰环境下应采用铠装型双绞屏蔽电缆。

### **4.3.3**采用RS-485传输线路时，应符合下列规定：

1 当通信速率在100kbps及以下时，最长传输距离宜小于500m；

2 当通信速率超过100kbps时，最长传输距离宜小于300m；

3 传输过程中，可增加中继节点放大信号。

### **4.3.4**数据采集设备与云服务器间的通信应采用4G或5G等远距离无线传输方式，信号发射装置和接收装置应远离强电磁干扰源。

## 服务应用层技术要求

### **4.4.1**监测软件应具有安全性、稳定性、鲁棒性。

【条文说明】安全性、稳定性与鲁棒性，是业界公认用于评价监测软件的3个基本参数。针对安全性部分，权限控制的一般做法是将超级权限与普通权限分离，外部访问只允许使用普通权限层级。敏感信息包括密码、用户个人信息、具有保密级别的数据。针对稳定性部分，24小时作为一般工作周期，以此作为最大备份时间间隔是合理的。针对鲁棒性，监测系统的核心在于监测数据的处理、分析，同时具备一般服务器的访问功能，需要同时满足两方面的性能要求。

鲁棒性指在异常和危险状态下的生存能力。监测系统的鲁棒性指在其组织部分遭到破坏或失效的时候，不影响系统整体的运行，不会导致死机、数据丢失等现象。

### **4.4.2**监测软件宜采用分布式计算架构设计，宜根据数据类型设计数据库。监测数据的管理和存储宜选用时序数据库。

【条文说明】监测软件宜设计成多进程或分布式系统，保证局部路径上的数据采集、计算评估节点发生错误时不影响其他计算路径，且不影响整体系统的运行稳定，从而确保监测软件的鲁棒性。监测软件宜设计成方便现场工程师及维护人员方便操作和查看的形式，减少操作的复杂度和出错概率。

### **4.4.3**监测软件宜采用模块化设计，基本功能模块应包括：数据采集、数据管理、计算分析和用户服务（图4.4.3）。模块间宜使用RPC方式进行通信，宜采用统一的接口协议，且应具备异步调用能力。



图4.4.3 监测软件模块化组成

### **4.4.4**监测软件各模块之间应相对独立、有序融合、方便维护、便于扩容和升级。

### **4.4.5**数据采集模块应具备下列基本功能：

1 应包含多个外部数据接口与至少一个内部数据接口。外部数据接口应支持所有监测信号类型及具备可扩展性，内部数据接口应支持同步和异步调用方式。

2 应具有数据筛查和异常数据处理功能。

3 应具有指令调度、缓存与异常判断功能，响应时间不应超过30s，对异常、非法指令应进行拦截和记录。

4 在网络通信状况不佳的情况下，应保证系统的正常运行与数据的准确性。

### **4.4.6**计算分析模块应具备基本结构参数自动计算能力，并应满足下列基本性能要求：

1 单一参数单次计算最大消耗时间不应超过1秒；

2 计算分析模块应具有可扩展性，可增减或变更监测对象、结构参数及其计算方法；

3 可根据预设条件自动触发计算模块运行；

4 可支持人工干预；

5 可按既定评估方式对监测参数进行实时评估。

### **4.4.7**监测软件用户操作界面应逻辑清晰、主次分明、导向性好、便于操作和维护，应提供直观、高效的监测结果显示方式及多终端、多途径信息获取方式。

### **4.4.8**监测系统用户界面应满足下列要求：

1. 宜采用友好的数据界面，界面应清晰直观反映数据变化和特征值；
2. 宜采用浏览器/服务器（B/S）架构，应满足并发访问需求；
3. 宜具备监测数据统计分析结果展示功能；
4. 宜具备传感器和数据采集设备状态自诊断功能，应能显示并更新设备运行状态信息；
5. 对于有移动访问需求的用户，宜开发在手机、平板上运行的小程序、APP等应用软件，功能可包含实时数据查看、统计数据查询、结构评估和预警结果显示等；
6. 应具备用户角色管理、权限控制功能，应能够根据用户身份控制系统访问权限。

### **4.4.9**监测软件各模块间的信息通信延时应低于监测设备数据采集及传输的最小延时。

### **4.4.10**网络条件允许时，监测软件宜具备跨平台数据传输、多渠道及时发布预警信息功能。

### **4.4.11**监测软件应具备访问控制与权限分组功能，宜具备对敏感信息加密处理功能。

### **4.4.12**监测软件应具备不低于1500条参数/秒的数据处理能力、不低于单次500条数据访问请求能力。

### **4.4.13**监测软件应提供设备通信调试接口。

### **4.4.14**监测系统可采用云服务器和本地服务器搭建，监测系统搭建方式选取宜满足表4.4.14的要求。

表4.4.14 监测系统搭建方式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 服务器类别 | 性能 | 适用场景 | 限制 |
| 云服务器 | 实时 | 多地远程实时监控；系统维护成本低，搭建速度快 | 监测环境具备3G、4G或其他有线互联网通信条件 |
| 本地局域网服务器 | 依据服务器硬件选型而定 | 无网络信号；对网络安全和数据保密有特殊要求； | 搭建时间长；维护效率低，维护响应时间低于云服务；无法提供短信实时报警； |

### **4.4.15**云服务器选用应符合下列规定：

1 云服务器可租用供应商提供的云服务器，可同时租用多台组建集群；

2 应至少具有1~2个静态公网IP，静态IP和主服务器应绑定，其余服务器可通过集群内网连接；

3 静态公网IP流量带宽不应小于5Mbps；

4 数据采集设备应与无线模块连接，并应通过4G或5G网络与云服务器通信，无线模块应用特定心跳包机制保证与服务器的持续连接。

### **4.4.16**采用云服务器作为监测软件计算机存储资源时，应配备必要的网络安全及数据备份服务。

### **4.4.17**本地服务器性能主机应根据监测周期、数据采集单元的采样频次、测点数量选择，选型方式宜满足表4.4.17要求。

表4.4.17 服务器性能参数表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 依据 | 容量 | CPU | 内存 | 机箱 |
| 普通型 | 时间<2年测量频次<0.02Hz测点数量<500 | 1T | 2核 | 8GB | 塔式 |
| 计算型 | 时间<6个月测量频次>1Hz测点数量<500 | 4T | 20核 | 32GB | 机架式 |
| 存储型 | 时间<5年测量频次<1Hz测点数量<1000 | 16T硬盘阵列 | 4核 | 16GB | 机架式 |
| 高性能 | 时间<5年测量频次>1Hz测点数量<2000 | 32T硬盘阵列 | 20核 | 32GB | 机架式 |
| 云服务器集群 | 不限 |

## 监测系统管理与控制

### **4.5.1**监测参数的原始数据和分析计算数据宜实时、完整存储。监测数据宜定期备份存储，备份周期不宜超过半年。

### **4.5.2**建筑结构监测系统数据存储宜分为建筑现场采集站存储、监控中心计算机存储和云存储，宜在线存储，也可离线存储。

### **4.5.3**建筑现场数据采集站宜安装采集计算机，数据存储可采用循环更新方式。当网络中断时，现场本地数据存储空间，对于结构化原始数据应不小于90 d，对于非结构化视频图像数据应不小于30 d。

### **4.5.4**数据库建立与管理应符合下列规定：

1数据存储应采用数据库技术存储检测系统，并应具有存储调度、存储监控及存储管理可视化功能；

2数据库宜采用模块化架构，可按功能对建筑结构信息、检测系统信息和检测数据进行分层、分类存储和管理；

3数据库宜包括建筑结构信息子数据库、监测系统信息子数据库、结构有限元模型子数据库、实时数据子数据库、数据分析子数据库、监测应用子数据库等。

### **4.5.5**建筑结构信息子数据库宜对建筑设计、竣工图以及科研专题研究资料进行存储和管理，数据库表格宜按照建筑设计、竣工图、科研报告等分类。

### **4.5.6**监测系统信息子数据库应存储和管理传感器、数据采集和传输设备、数据处理和管理设备及软件等信息，可包括设备厂商、安装位置、技术参数、品牌和规格等。

### **4.5.7**结构有限元模型子数据库应存储和管理建筑结构有限元模型。有限元模型宜使用标准文件格式保存，并可根据监（检）测数据和结构养护维修结果定期修正。

### **4.5.8**实时数据子数据库应存储和管理监测系统所有监测内容的原始数据。

### **4.5.9**数据分析子数据库应存储和管理采用统计方法、相关性分析、趋势性分析、比对性分析、机器学习等分析的数据。

### **4.5.10**监测应用子数据库应存储和管理超限报警、评估、分析结果等数据。

### **4.5.11**监测中心计算机实时监测数据存储时间宜大于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。

### **4.5.12**监测中心计算机非结构化视频数据存储宜大于90 d，特殊事件视频数据应转移备份并永久保存。

### **4.5.13**监测系统宜采用容灾备份机制，可具备各类数据压缩存储和异地备份功能。

### **4.5.14**监测系统数据管理应符合下列规定：

1 建筑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；

2 监测数据管理应保证数据的完整性、准确性、一致性、时效性、可访问性，数据质量评估应符合国家现行标准《信息技术 数据质量评价参数》GB/T 36344的规定；

3 监测系统的结构化数据应包括建筑基础数据、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；

4 数据管理应具备存储展示、搜索查询、报表生成等功能。

### **4.5.15**监测系统数据编码应符合下列规定：

1 监测数据宜定义数据字典并进行编码管理；

2 监测数据宜包括建筑结构基础信息数据和监测信息数据；

3 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；

4 实时监测数据应分隔为一定时长的样本，计算数据特征值应包含最大值、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；

5 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；

6 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；

7 文本应以文档格式分类分级别存储。

条文说明：数据字典指对数据的数据项、数据结构、数据流、数据存储、处理逻辑等进行定义和描述，其目的是对数据流图中的各个元素做出详细的说明，使用数据字典为简单的建模项目。

### **4.5.16**监测系统数据预处理应符合下列规定：

1 数据采集设备内置的数据预处理功能应与传感器的分辨力、精度、抗电磁干扰等性能相匹配，应能剔除错误数据并将原始数据换算成反映建筑结构环境、作用、结构响应、结构变化的特征数据，数据预处理功能宜符合国家现行标准《物联网 感知控制设备接入 第2部分：数据管理要求》GB/T 38637.2的规定；

2 传感器感知的信号应进行调理、预处理，原始监测数据信号应选择对应的处理算法，可采用阈值法、平均值法以及其他滤波算法；

3 数据异构转换应支持感知控制设备或系统通信协议，应具有解析指定的感知数据包、控制数据包和数据结构转换功能，应实现感知控制设备与网关或系统之间数据互通；

4 从数据源中抽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；

5 图像、音频、视频及文本非结构数据特征抽取应符合国家现行标准《非结构化数据管理系统技术要求》GB/T 32630的规定。

### **4.5.17**监测系统的数据交互与共享应符合下列规定：

1. 监测系统宜具备与外部系统进行数据交互与共享功能；
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；
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；
4. 监测系统与其他建筑监测平台进行数据交互与共享时，应满足相应平台统一的链路、传输、安全技术要求。

### **4.5.18**监测系统的数据安全应符合下列规定：

1 数据安全内容应包括数据完整性、数据加密、数据访问权限控制和数据可审计性；

2 数据完整性应包括数据传输完整性和数据存储完整性，并应符合下列规定：

1. 数据传输完整性宜符合国家现行标准《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》GB/T 37025的规定；
2. 数据存储完整性应采用封装签名、测试字验证、引用约束等方式保证，并应提供非完整数据的解决措施。

3 监测系统敏感字段或业务数据应加密存储；

4 通过公共网传输监测数据时，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；

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。

### **4.5.19**监测系统应具备数据访问权限控制功能，应分级设定用户访问权限。监测系统集成时应考虑数据采集接口、通讯接口和供电接口等之间的兼容性和匹配性。

## 系统验收与交付

### **4.6.1**监测系统验收应包括系统硬件验收、系统软件验收。监测系统验收应填写验收记录表。

### **4.6.2**系统硬件验收应包括传感器和数据采集设备验收、数据传输设备验收、监控中心设备验收，可分为现场查验和资料验收两步。

### **4.6.3**系统软件验收应包括数据管理与分析模块验收、报警及评估模块验收，可分为现场软件功能演示和软件说明等资料验收两步。

### **4.6.4**监测系统验收应划分为单位工程、分部工程、分项工程，并应符合下列规定：

1 一个结构工程独立工作的监测系统应为一个单位工程；

2 分部工程应包括传感器和数据采集设备、数据传输设备、监控中心设备和软件系统；

3 分项工程及检验内容应符合表4.6.4的规定；

4 监测系统验收应符合下列规定：

1）分项工程所含检验内容应全部验收合格，验收记录应完整、准确；

2）分部工程所含分项工程应全部验收合格，验收记录应完整、准确；

3）单位工程所含分部工程应验收合格，验收记录应完整、准确；

4）验收记录可按本标准附录B的格式填写。

表4.6.4 监测系统验收分部和分项工程检验内容

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **分部工程** | **分项工程** | **检验批内容及数量** |
| 传感器和数据采集设备 | 荷载及环境现场采集设备安装和接地 | 每个监控单元所辖的作用与环境监测点 |
| 结构整体响应现场采集设备安装和接地 | 每个监控单元所辖的结构整体响应监测点 |
| 结构局部响应现场采集设备安装和接地 | 每个监控单元所辖的结构局部响应监测点 |
| 数据传输设备 | 线缆敷设及防护 | 每个监控单元至所辖室外设备区间 |
| 线缆接续 | 每个监控单元至所辖室外设备区间 |
| 线缆引入集成端 | 每个监测机房 |
| 监控中心设备 | 机柜及终端设备 | 每个监控机房 |
| 线槽/桥架 | 每个监控机房 |
| 蓄电池设备 | 每个监控机房 |
| 监控中心设备布线及配线 | 每个监控机房 |
| 监控中心设备防雷及接地 | 每个监控机房 |
| 软件 | 数据库系统 | 每套铁路客站结构健康监测系统 |
| 展示系统 | 每套铁路客站结构健康监测系统 |

### **4.6.5**传感器和采集设备进场检验除应符合国家现行标准《结构健康监测系统施工及验收标准》T/CECS 765规定外，尚应符合下列规定：

1 规格、型号、数量、安装位置应符合设计文件要求；

2 产品图纸、说明书等技术资料、产品合格证、质量检验报告等质量证明文件应齐全，并应符合设计文件要求和有关技术标准的规定；

3 属于行政许可或强制认证的产品应具有相应证书，认证证明文件应在有效期内；

4 部件应齐全，连接应可靠，外观应无损伤、锈蚀，铭牌、标识应完整清晰；

5 传感器及采集设备的输出数据格式应符合产品说明书要求及有关技术标准的规定；

6 安装质量抽样检验应全部合格，抽样数量应符合本标准规定，验收记录应完整、准确；

7 隐蔽工程应按规定留存影像资料；

8 检验方法：应检查实物、产品技术文件和质量证明文件以及加电检验传感器及采集设备输出数据格式。

### **4.6.6**线缆和数据传输设备连接应进行连通性检验，数据传输应稳定可靠且相应延迟时间应满足设计要求，抽检合格率应为100%。

### **4.6.7**线缆及配套器材应进场检验并留存记录文件，单盘电缆的直流电阻、工作电容、绝缘性能等应符合设计文件要求。检验应符合下列规定：

1 检验数量：同厂家、同批次、同型号、同规格的每批抽取应不少于1个样本。

2 检验方法：现场抽样检测，并应检查原材料质量证明文件。

### **4.6.8**线缆、支架、桥架和线管安装应符合本标准第6章的规定，验收应符合下列规定：

1 检验数量：全数检验。

2 检验方法：观察、测量检验。

### **4.6.9**监控中心设备应进场检验，抽检合格率应为100%，检查应符合下列规定：

1 检验数量：全数检验；

2 检验方法：检查实物、产品技术文件和质量证明文件。

### **4.6.10**监控中心设备安装应符合设计文件和本标准第6章的规定。检查应符合下列规定：

1 检验数量：全数检验；

2 检验方法：观察和试验检验。

### **4.6.11**系统软件验收前应保证电源与通信通道稳定、安全、可靠，监测终端显示的监控中心、室外设备信息应与工程现场实际一致。

### **4.6.12**系统软件检验应在传感器、采集设备和数据传输设备分部工程验收后进行，验收时应填写系统软件检验记录。

### **4.6.13**软件系统验收应符合下列规定：

1 系统应具备实现数据实时采集、传输、存储、分析、显示和反馈等功能；

2 与数据库通信应稳定、可靠，可本地或远程调整设备配置，可通过数据库或本地配置文件信息读取；

3 可接受并处理数据采集参数的调整指令，并可记录和备份处理过程；

4 图像采集信息应清晰；

5 检验数量：全数检验；

6 检验方法：试验检验。

### **4.6.14**数据库验收应符合下列规定：

1 数据库应具备数据库数据及分析评价结果的保存、导入、导出、查询等功能，应可测试数据存储能力、数据备份能力、数据恢复能力、数据归档能力；

2 数据库数据管理系统应处于安全的物理环境，对数据库管理系统资源的处理应限定在可控制的访问设备内，应可防止未授权的访问，系统硬件和软件应受到保护；

3 检验数量：全数检验；

4 检验方法：试验检验。

### **4.6.15**界面交互验收应符合下列规定：

1 数据可视化显示内容应包括测点信息、监测数据，测点信息应明确测点位置，监测数据应包括单物理量的数据时域图、多物理量的关联性展示图等；

2 用户界面交互应包括结构基本信息、系统信息、监测数据、数据采集和传输、数据处理和管理、安全预警及评估等静态和动态信息等；

3 检验数量：全数检验；

4 检验方法：试验检验。

### **4.6.16**系统管理功能应符合设计文件及国家现行有关技术标准的规定，管理内容应包括用户管理和项目信息管理等。检验应符合下列规定：

1 检验数量：全数检验；

2 检验方法：试验检验。

### **4.6.17**系统的信息处理、显示、预警、推送等功能检验应符合下列规定：

1 检验数量：全数检验；

2 检验方法：试验检验。

# 结构监测方案与测点布置

## 一般规定

### **5.1.1**构件监测可分为对梁、柱、杆、索、墙、板和壳等构件状态的监测。

### **5.1.2**环境和荷载监测可分为对风、雪、温度、湿度、地震作用、振动的监测。

### **5.1.3**监测参数宜包括应变、倾角、位移、加速度、索力、温度、湿度、风速风向、风压等。

【条文说明】测点与传感器种类应一一对应。监测参数类型宜根据传感器的输出物理量划分，常用的结构响应监测参数与监测参数类型的对应关系如下表：

|  |  |
| --- | --- |
| 监测内容 | 传感器类型 |
| 结构变形或位移（包括支座位移） | 位移 |
| 倾角 |
| 位移差 |
| 振动特性 | 自振频率 |
| 振型 |
| 运动特征 | 速度 |
| 加速度 |
| 构件（组件）端部位移或倾斜 | 位移 |
| 倾角 |
| 构件内力或应力 | 截面轴力 | 应变 |
| 截面弯矩 | 应变 |
| 索力 | 振动加速度（频率法） |
| 索力 |
| 构件挠度 | 倾角 |
| 位移 |

### **5.1.4**监测测点布设应同时明确传感器的类型、数量、安装位置和方向，应满足代表性、经济性、可更换性原则，且应符合国家现行标准GB50982-2014《建筑与桥梁结构监测技术规范》的规定。

### **5.1.5**结构施工过程和使用过程监测方案设计应满足下列原则：

1 测点的位置、数量宜根据结构类型、设计要求、施工过程分析结果与控制要求及结构安全性分析结果确定；

2 测点数量和布置范围应有冗余量，重要部位宜增加测点；

3 可利用结构的对称性减少测点数量；

4监测设备宜方便安装、维护和替代；

5 监测设备不应妨碍结构施工和正常使用；

6 在符合监测要求的基础上，宜缩短信号的传输距离。

### **5.1.6**监测前，应在被监测结构上定义参考坐标系，并应有明确的坐标原点和x、y、z坐标方向。

### **5.1.7**构件和节点在结构整体坐标系中的定位应包括下列内容：

1 确定局部坐标系原点在整体坐标系中的三维坐标；

2 确定局部坐标系轴线与整体坐标系的方位。

【条文说明】测点定位工作包括构件和节点监测对象在结构整体坐标系的定位，以及测点在监测对象上的定位两部分内容。本条规定构件和节点监测对象在结构整体坐标系中的定位。

杆系类构件的定位点一般在杆件的一端；面类构件的定位点一般在面中心或角点；节点定位原点可设置在节点域边缘角点或节点域中心。

环境和荷载类测点的定位可直接在结构整体坐标系或构件、节点局部坐标系中进行。

### **5.1.8**测点在结构中的定位可采用结构整体坐标系的绝对坐标，也可采用与结构轴线的相对坐标。

【条文说明】测点在监测对象上的定位包括在结构整体、构件和节点上的定位。本条规定测点在结构整体上的定位。

### **5.1.9**测点在构件或节点上的定位应符合下列规定：

1 测点在杆类构件上的定位应包括待测截面在杆件上的定位和测点在待测截面上的定位；

2 测点在面类构件上的定位宜包括测点在构件面内二维局部坐标系中的定位和厚度方向的定位；

3 测点在节点上的定位宜采用测点与节点定位点的相对坐标确定。

## 施工过程监测

### **5.2.1**结构施工过程中下列构件应进行监测：

1 结构整体传力路径上的关键构件；

2 施工荷载可能引起内力符号变化、内力分量增减、位形反复的构件；

3 内力或变形较大且计算模型难以准确模拟实际情况的构件；

4 多高层结构的特征构件，包括柱脚、首层、转换层、错层、连体结构支座层、层高突变层、伸臂桁架及相邻层的柱和梁；

5 巨型柱、巨型斜撑、竖向构件平面外收进及竖向刚度分布不连续区域的竖向构件；

6 施工期间临时支承和施工措施中受力较大和传力路径上的关键构件；

7 施工期间承受较大临时荷载的施工措施或结构受力构件。

### **5.2.2**施工过程中下列节点应进行监测：

1 结构整体传力路径上的关键节点；

2 施工荷载可能引起位形反复、内力符号与内力分量变化的节点；

3 内力或变形较大且计算模型难以准确模拟实际情况的节点；

4 具有重要使用功能及特殊要求，模拟计算无明确计算依据的节点。

### **5.2.3**施工过程中下列作用和环境宜进行监测：

1 本标准第3.2.1条规定需要进行监测的工程的温度和风荷载；

2 施工阶段导致结构内力或变形增加25%以上的作用；

3 施工过程中长期作用于结构整体或局部的振动荷载；

4 结构合拢、临时支承卸载等施工过程，应监测关键施工阶段的温度；

5 施工工期超过2年、抗震设防烈度为9度的甲类高层建筑，宜进行施工过程地震动监测。

### **5.2.4**单层建（构）筑结构施工过程中的整体监测参数应按表5.2.4定。

表5.2.4施工过程单层结构整体监测参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | 屋架挠度 | 整体倾斜 | 柱脚不均匀沉降 |
| 排架结构 | ★ | ★ | ○ |
| 落地网格结构 | ★ | ○ | ★ |

注：★应监测，○可监测。

### **5.2.5**多高层和高耸结构施工过程中的整体监测参数应按表5.2.5定。

表5.2.5施工过程多高层和高耸结构整体监测参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | 层间位移角 | 顶部水平位移 | 不均匀沉降 | 柱脚反力 | 加速度 |
| 框架结构 | ★ | ○ | ▲ | ▲ | ○ |
| 筒体结构 | ★ | ▲ | ★ | ▲ | ○ |
| 巨型结构 | ★ | ▲ | ★ | ▲ | ○ |
| 钢塔架 | / | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 钢桅杆 | / | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 风力发电塔 | / | ★ | ○ | ▲ | ○ |

注：1、采用起扳法施工的高耸结构应进行结构挠度监测。

2、★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.2.6**大跨度、大悬臂和异形空间结构施工过程中的整体监测参数应按表5.2.6定。

表5.2.6施工过程大跨度、大悬臂和异型空间结构整体监测参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | 挠度 | 支座反力 | 支座不均匀沉降 | 振动加速度 |
| 网架结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 网壳结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 桁架结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 张弦结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 索结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 膜结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.2.7**施工用临时支承结构及措施的监测参数应根据其结构体系按本标准第5.2.4~5.2.6条的规定确定。

【条文说明】施工临时措施的结构体系可能有多种情况，如大跨度结构的施工平台也为大跨度空间结构，则其施工过程监测宜根据大跨度结构的监测参数选取规则确定其监测参数。

### **5.2.8**施工过程构件的监测参数应按表5.2.8确定。

表5.2.8 施工过程梁、柱、杆、索的监测参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 构件类别 | 内力 | 应力（应力比） | 挠度 | 倾斜 | 裂缝宽度 | 加速度 |
| 轴力*N* | 弯矩*M*y | 弯矩*M*z |
| 梁 | ▲ | ★ | ▲ | ★ | ▲ | / | / | / |
| 柱 | ★ | ★ | ★ | ★ | ○ | ★ | / | / |
| 杆 | ★ | ★ | ▲ | ▲ | ○ | / | / | / |
| 索 | ★ | / | / | / | / | / | / | / |
| 板 | ○ | ▲ | ▲ | ▲ | ★ | / | / | / |
| 墙 | ▲ | ○ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | / | / |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.2.9**施工过程节点监测参数应按表5.2.9确定。

表5.2.9 施工过程节点的监测参数

|  |  |
| --- | --- |
| 节点类别 | 监测参数 |
| 应力 | 转角 | 位移 |
| 一般节点 | ★ | ○ | ○ |
| 支座节点 | ★ | ○ | ▲ |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.2.10**施工过程作用和环境监测参数应按表5.2.10确定。

表5.2.10 施工过程作用和环境监测参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 环境参数 | 要求 |
| 风 | 风速 | ▲ |
| 风向 | ▲ |
| 风压 | / |
| 温度 | 环境温度 | ★ |
| 结构表面温度 | ★ |
| 温差 | ★ |
| 湿度 | 环境湿度 | ○ |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

## 使用过程监测

### **5.3.1**结构使用过程中下列构件应进行监测：

1 结构整体传力路径上的关键构件；

2 内力或变形较大，且计算模型难以准确模拟实际情况的构件；

3 具有重要使用功能或特殊要求的构件；

5 多高层结构的特征构件，包括柱脚、首层、转换层、错层、连体结构支座层、层高突变层、伸臂桁架及相邻层的柱和梁；

6 巨型柱、巨型斜撑、竖向构件平面外收进及竖向刚度分布不连续区域的竖向构件；

7 受地震、台风等极端天气作用后变形过大，可能影响使用安全的构件；

8 结构安全性鉴定等级为*c*u或*d*u的构件，以及采取针对措施后的构件；

9 建筑功能改造导致的局部受力显著增加的构件。

### **5.3.2**使用过程中下列节点应进行监测：

1 结构整体传力路径上的关键节点；

2 内力或变形较大且计算模型难以准确模拟实际情况的节点；

3 具有重要的使用功能及特殊要求，模拟计算无明确的计算依据的节点；

4 结构安全鉴定等级为*c*u或*d*u的节点，以及采取针对措施后的节点。

【条文说明】根据《高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准》GB 51008-2016中规定，评定等级为*c*u及*d*u构件和节点，在目标适用期内显著影响安全或危及安全，应采取措施。因此，本标准针对鉴定等级为为*c*u及*d*u的构件和节点提出了监测要求。

### **5.3.3**使用过程中下列作用和环境宜进行监测：

1 本标准第5.3.1条规定需要监测的结构中的温度和风荷载；

2 使用阶段导致结构内力或变形增加25%以上的荷载或作用；

3 抗震设防烈度为9度的甲类高层建筑的地震动；

3 近5年出现过超越规范取值的极端气候或地质运动。

3 对振动或噪声有特殊要求的结构的振动作用或噪声；

4 对环境气压有特殊要求的建筑内部和外部气压；

6 有大量排灰的厂房，应监测厂房的积灰荷载。

### **5.3.4**单层建（构）筑结构使用过程中整体监测参数应按表5.3.4确定。

表5.3.4单层结构使用过程整体监测参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | 屋架挠度 | 整体倾斜 | 柱脚不均匀沉降 |
| 单层排架结构 | ★ | ★ | ▲ |
| 落地网格结构 | ★ | ○ | ★ |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.3.5**多高层和高耸结构使用过程中整体监测参数应按表5.3.5确定。

表5.3.5多高层和高耸结构使用过程整体监测参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | 层间位移角 | 顶部水平位移 | 不均匀沉降 | 柱脚反力 | 加速度 |
| 框架结构 | ★ | ○ | ▲ | ▲ | ○ |
| 筒体结构 | ★ | ▲ | ★ | ▲ | ▲ |
| 巨型结构 | ★ | ○ | ★ | ▲ | ★ |
| 钢塔架 | / | ★ | ○ | ▲ | ★ |
| 钢桅杆 | / | ★ | ○ | ▲ | ★ |
| 风力发电塔 | / | ★ | ○ | ▲ | ★ |

注：1、采用起扳法施工的高耸结构应进行结构挠度监测。

2、★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.3.6**大跨度、大悬臂和异形空间结构使用过程中整体监测参数应按表5.3.6确定。

表5.3.6大跨度、大悬臂和异型空间结构使用过程整体监测参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | 挠度 | 支座反力 | 支座不均匀沉降 | 振动加速度 |
| 网架结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 网壳结构 | ★ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 桁架结构 | ★ | ○ | ▲ | ○ |
| 张弦结构 | ★ | ○ | ▲ | ▲ |
| 索结构 | ★ | ○ | ▲ | ▲ |
| 膜结构 | ★ | ○ | ▲ | ▲ |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.3.7**使用过程中构件的监测参数应按表5.3.7确定。

表5.3.7 使用过程梁、柱、杆、索监测参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 构件类别 | 内力 | 应力（应力比） | 挠度 | 倾斜 | 裂缝宽度 | 加速度 |
| 轴力*N* | 弯矩*M*y | 弯矩*M*z |
| 梁 | ▲ | ★ | ▲ | ★ | ★ | / | ○ | / |
| 柱 | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ○ | / |
| 杆 | ★ | ★ | ▲ | ▲ | ▲ | / | ○ | / |
| 索 | ★ | / | / | / | / | / | / | / |
| 板 | ○ | ▲ | ▲ | ▲ | ★ | / | ○ | ○ |
| 墙 | ▲ | ○ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | / |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.3.8**使用过程中节点的监测参数应按表5.3.8确定。

表5.3.8 使用过程节点监测参数

|  |  |
| --- | --- |
| 监测对象 | 监测参数 |
| 应力 | 转角 | 位移 |
| 节点 | ★ | ○ | ○ |
| 支座节点 | ★ | ○ | ▲ |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

### **5.3.9**使用过程中作用和环境监测参数应符合表5.3.9确定。

表5.3.9 使用过程作用和环境监测参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 监测对象 | 环境参数 | 要求 |
| 风 | 风速 | ▲ |
| 风向 | ▲ |
| 风压 | ○ |
| 温度 | 环境温度 | ★ |
| 结构表面温度 | ★ |
| 温差 | ▲ |
| 湿度 | 环境湿度 | ▲ |

注：★应监测，▲宜监测，○可监测。

## 测点布置

### **5.4.1**采用全站仪、位移计或静力水准仪监测大跨度结构挠度时，测点宜布置在两端支座、跨中、1/4跨和3/4跨位置。对于双向受力的大跨度空间结构，宜在两个主方向分别布置挠度测点。

### **5.4.2**采用全站仪、位移计或静力水准仪监测悬挑结构挠度时，测点宜布置在支座和悬挑端部。

### **5.4.3**采用倾角计监测结构挠度时，大跨度结构挠度不宜少于4个测点，悬挑结构不宜少于3个测点；测点宜分布均匀。

【条文说明】采用倾角计测结构挠度的前提为：

（1）结构的边界条件明确，待测跨度范围内无其他约束；

（2）荷载模式确定，即均布荷载或若干集中荷载作用确定。

在上述两个前提下，结构挠度可用1个二次或三次曲线拟合。以均布荷载作用下单跨桁架为例，通过监测桁架上4个点的倾角，根据最小二乘法即可获得挠曲线方程参数，进而获得该桁架任一点挠度值。也可用3个倾角计拟合该荷载和边界下结构的挠曲线。实践表明，采用4个倾角计进行过拟合得到的挠曲线方程更接近该荷载和边界条件下变形的真实状态。当结构荷载和边界条件明确时，可采用下图的模式进行结构挠度监测。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示  描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 |
| 采用3支倾角计换算结构挠度 | 采用4支倾角计换算结构挠度 |

### **5.4.4**多高层结构层间位移测点宜布置在转换层、错层、伸臂桁架层及其相邻层、层高突变层。

### **5.4.5**外框架筒体结构宜每隔5~8层布置筒体与外框架之间不均匀沉降测点。

### **5.4.6**高耸结构水平位移测点宜布置在结构顶部。

### **5.4.7**结构振动加速度测点应根据结构振型确定，宜布设在振型峰值点，应避开振型节点。

### **5.4.8**监测构件截面内力时，宜选择最不利内力截面；当无法选择最大内力截面时，可根据构件所受的荷载模式换算得到构件的最不利内力截面位置。

【条文说明】

**1** 在确定的边界条件和荷载情况下，同时受轴力和弯矩的构件（压弯或拉弯）的最不利内力监测，可采用下表的测点布置模式，采用该方法监测各测点处截面内力，以换算得到构件最不利内力或应力。

压弯或拉弯构最不利内力件测点布置

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 图示  描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 |
| 两端支承，无端弯矩，横向集中荷载 | 两端支承，无端弯矩，横向均布荷载 | 两端支承，有端弯矩，无横向荷载 |
| 图示  描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 | 图表, 图示  描述已自动生成 |
| 悬臂柱，有端弯矩 | 两端支承，柱脚铰接，有端弯矩和横向均布荷载 | 两端支承，柱脚铰接，有端弯矩和横向集中荷载 |
| 图示  描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 |
| 两端支承，有端弯矩和横向均布荷载 | 两端支承，有端弯矩和横向集中荷载 | 有侧移柱和悬臂柱，有端弯矩和横向集中荷载 |
| 图示  描述已自动生成 |  |  |
| 有侧移柱和悬臂柱，有端弯矩和横向均布荷载 |  |  |

**2** 在确定的荷载模式和边界条件下，受弯构件可采用表24.3.6-2中的测点布置模式监测构件最不利内力或应力。

压受弯构件最不利内力测点布置

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 图表  描述已自动生成 | 折线图  描述已自动生成 | 图表, 折线图  描述已自动生成 |
| 两端支承，无端弯矩，均布荷载 | 两端支承，有端弯矩，无横向荷载 | 两端支承，无端弯矩，集中荷载 |
| 图表, 折线图  描述已自动生成 | 图表, 折线图  描述已自动生成 |  |
| 悬臂梁，均布荷载 | 悬臂梁，端部集中荷载 |  |

### **5.4.9**采用应变计测得的应变换算构件截面内力时，应变测点应根据构件截面形式在构件的同一截面合理布置，且可按表5.4.9确定，应变计应沿杆轴方向布置。

表5.4.9 常见构件截面的应力测点分布

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 图示  中度可信度描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 |
| 图示  中度可信度描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 | 图示  中度可信度描述已自动生成 |
| 图示  中度可信度描述已自动生成 | 图示  描述已自动生成 |  |
| 图示  描述已自动生成 | 图示  中度可信度描述已自动生成 | 图表, 旭日形  描述已自动生成 |
| 图表  描述已自动生成 | 图表, 箱线图  描述已自动生成 | 图片包含 图表  描述已自动生成 |

### **5.4.10**钢筋混凝土构件表面裂缝测点宜布置在裂缝最宽处。当出现新裂缝时，应及时增设新测点。

### **5.4.11**环境温度和湿度测点宜布置于离地面1.5m高且空气流通处。

### **5.4.12**施工过程结构温度测点布置宜符合下列规定：

1 宜根据结构温度场分布特点并结合结构类型、结构平面和立面布置、日照等因素确定；

2 结构合拢时宜在合拢位置两侧布置温度测点；

3 多高层结构宜在受阳光直射面、相对结构背面、结构内部沿结构高度布置温度测点。

### **5.4.13**使用过程中温度测点布置宜符合下列规定：

1 宜布置在温度梯度变化较大位置，且宜对称均匀；

2 宜在结构受阳光直射面、相对结构背面或底面布置测点，高层结构宜沿结构高度布置测点，结构同一水平面上的测点不宜少于3个。

### **5.4.14**风速、风向和风压测点布置宜符合国家现行标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的规定。

### **5.4.15**使用期间地震动及地震响应监测点应布置在结构地下室的底面、结构顶层的顶面及不少于2个中间层位置，尚应结合结构振动测点，选择测点布置部位。

### **5.4.16**监测楼板舒适度时，振动加速度测点宜根据楼板动力特性，布置在振型特征点处或振动敏感部位。

### **5.4.17**已进行风洞试验或风洞试验模拟的结构，宜参考试验或模拟结果布置风压测点。

# 监测系统安装、调试和防护

## 一般规定

### **6.1.2**监测设备应按下列原则进行安装：

1 设备安装前，应根据监测方案校对设备型号与测点、位置之间的对应关系；

2 设备安装完成后，应记录测点实际位置、绘制实际测点分布图；

3 设备安装应考虑温度、湿度、防尘、振动和风吹等环境影响和后期维护、更换的便利性；

4 设备安装完成后，应记录安装过程、设置永久标识符、建立设备电子档案；

5 监测设备及其防护装置宜与建筑外观及使用环境相协调；

6 监测设备安装后应进行保护，应避免设备损坏失效或数据传输线路中断；

7 宜在测点位置预制传感器支座或安装孔位。

【条文说明】监测设备电子档案可包括下列内容：

（1）设备名称、型号、危险标识；

（2）安装日期、安装责任人；

（3）验收日期、验收人；

（4）相连设备的名称、编号；

（5）线缆缆终端头、中间接头处、转弯处、直线段每隔50m处应设置标识牌。

### **6.1.3**监测系统调试应包括硬件调试和软件调试。

### **6.1.4**监测硬件安装完成后应在24小时内完成硬件调试。

【条文说明】该条规定保证硬件安装的有效性。

## 监测硬件安装

### **6.2.1**监测硬件安装前应进行现场调查。现场调查应包括下列内容：

1 在建结构的施工进度和既有结构的竣工验收时间；

2 监测硬件设备安装和维护的便易性；

3 监测设备安装时现场可用的辅助措施以及需要的专用辅助措施对场地的时间、空间要求；

4 监测设备的安装阶段和时机；

5 安装监测设备所需的条件，包括供电、网络、措施、办公和储藏等。

### **6.2.2**传感器安装位置处理和定位应符合国家现行标准T/CECS 765 《结构健康监测系统施工及验收标准》规定。

### **6.2.3**传感器可采用结构内部预埋、钻孔埋置方式固定在构件内部，也可采用胶结、焊接、栓接、夹具或抱箍、磁力吸附等方式固定在构件或节点上。

### **6.2.4**传感器安装不应影响主体结构的安全。

【条文说明】传感器支座安装时，一般需要在钢结构表明打磨、施焊或胶结，混凝土构件表面上可能需要钻孔或切割。上述操作过程中应不影响结构安全。

### **6.2.5**传感器的固定方式应符合国家现行标准T/CECS 765 《结构健康监测系统施工及验收标准》规定，固定方式的选用宜符合下列规定：

1 监测周期不小于1年的监测，传感器宜采用焊接、栓接、钻孔埋置、内部预埋等永久固定方式，不应采用胶结、磁力吸附的固定方式；

2监测周期小于1年的监测，传感器可采用胶结、夹具或抱箍的固定方式；

3 短期测试监测，传感器可采用磁力吸附、胶结的固定方式。

【条文说明】短期测试类监测如监测周期在1周以内的试验、测试等。

### **6.2.6**数据采集设备安装应符合下列规定：

1 数据采集设备应安装于信号干扰小的环境中，并应有屏蔽、接地等措施；

2采用无线通信的数据采集设备应安装于无信号屏蔽区域；

3 引入数据采集设备内部的线缆布置应整齐合理，并应在线端头设标签；

4 数据采集设备柜的管线孔应密封，管线和门洞口应有防止生物入侵的措施；

5 数据采集设备柜内不宜使用电源插座；

6 数据采集设备内配置的配电模块或数据传输模块应在柜内固定，并应与数据采集模块分开布置。

### **6.2.7**用于信号传输的线缆敷设应符合下列规定：

1 线缆不宜缠绕和扭绞，敷设时应根据线缆类别、数量、缆径、芯数分别绑扎，绑扎点应均匀且间距不宜大于2m；

2 用于数据传输的线缆与供电线缆宜分隔敷设，当在同一桥架内时，应隔离强电、弱电；

3 槽道内电缆摆放应顺直自然，同时敷设多条光电缆时，应互不交叉、标识明确；

4 直埋线缆的埋深、机械防护应符合有关技术标准的规定，穿越用的防护管或防护槽的位置、材质、管长、埋设深度应符合设计文件要求，线缆外护层和防护套不应有破损；

5 线缆余留位置和长度应符合设计文件要求和有关技术标准的规定；

4 线缆敷设完成后应立即进行连通性测试。

条文说明：用于数据传输的线缆包括同轴屏蔽电缆、多芯屏蔽电缆和单模光缆。

### **6.2.8**用于信号传输的电缆接头应符合下列规定：

1 电缆、光纤跳线的芯线不应有错线、断线、混线；

2 监测环境干燥、监测周期不大于1年的施工和使用过程监测，可使用航空插头的电缆连接方式；

3 监测环境潮湿、监测周期大于1年的结构监测，不宜有中间接头。当无法避免时，可采用接线箱或接线盒接线；

4 电缆接续前、后应进行芯线导通和芯线对地、芯线间绝缘检测，其线间绝缘、芯线对地绝缘电阻率均不应小于20MΩ·km；

5 同径路上不同光电缆的接续盒间距不宜小于1m，接续盒应水平放置在电缆槽内，接头两端各300mm内不应弯曲；

6 线缆引入室内时，电缆转弯及余留量的布放应均匀光滑、整齐美观，不得有硬弯或背扣现象，并应符合线缆弯曲半径的要求，余留量应符合设计要求；

7 室内线缆引入孔应进行防火、防鼠封堵。

### **6.2.9**用于导电的电缆不宜有中间接头，当无法避免时，应在接线箱或拉线盒内采用压接方式连接。接头部位应平直且不受拉。

### **6.2.10**光纤接头应符合下列规定：

1 宜避免中间接头，当无法避免时，可采用熔接或法兰连接方式进行光纤连接，宜优先选用熔接方式；

2 熔接光纤时，应严格控制接头处的光强损失，且接头损耗平均值应不大于0.15dB，最大值应不大于0.3dB；

3 熔接方式连接的传感器两端应预留足够的熔接冗余长度，光纤预留长度不宜小于250mm；

4 法兰方式连接的传感器两端应配有跳纤接头，且相邻量传感器的间距不宜小于50mm；

5 光缆尾纤应按标定的纤序连接设备，光纤跳线应单独布放并用垫衬固定，不得挤压、扭曲。

【条文说明】本条第3、4款参考T/CECS 505-2018第4.2.6条，第2款参考JT/T 1037-2022第9.3.2条。

### **6.2.11**线缆标识和警示牌的埋设位置、埋设深度应符合设计要求和有关技术标准的规定。

### **6.2.12**静力水准仪用通气通液管以及风压计用通气管布设应符合下列规定：

1 通气、通液管不宜有中间接头，当无法避免时，可采用与管径相匹配的气动快速接头；

2 通气、通液管布设时，应避免直角弯折；

3 施工过程监测周期超过1年和使用过程监测，宜采用桥架、线管等方式保护通气、通液管，桥架和线管布设应符合本标准第6.4节规定。

### **6.2.13**无线传输设备、交换机、串口服务器等可与数据采集设备安装于同一机柜中并固定。

### **6.2.14**本地服务器的安装应符合下列规定：

1 宜布置在监控中心，并宜配有网络机柜，机柜防护等级不应低于IP55；

2 服务器不应安装于振动、噪声和粉尘等显著的环境，宜选择湿度40%~60%、温度10~25℃范围的环境，当不满足要求时，应配备调温机柜；

3 服务器应保证不间断供电，机房应配置至少1个不间断电源。

### **6.2.15**监控中心设备的安装应符合下列规定：

1 机柜安装应牢固可靠，相邻机柜应正立面平齐、符合设计要求；

2 机柜内设备插接应位置正确、连接可靠、牢固；机柜门内侧应附配线图、柜内设备平面布置图，设备主机上应标明IP地址；

3 监测终端设备之间应连接正确，终端设备插接件应咬合紧密、接触可靠，设备安装应平稳牢固；设备应漆饰完好，铭牌、标记应清楚准确，应布局合理、便于操作；

4 机柜之间应保持电气连接良好，支架、槽道、桥架应接地可靠；

5 蓄电池工作状态应正常，蓄电池标志应准确、清晰、齐全，电池柜/架漆面完整、漆色一致，螺栓、螺母应经过防腐处理，蓄电池安装应排列整齐，连接条应经过防腐处理，距离应均匀一致、连接牢靠；

6 接地连接线不应有接续和缩径、不留余长。

## 监测系统部署和调试

### **6.3.1**硬件调试应按通电前检查、电路测试、静态测试和动态测试的步骤进行，应在硬件开始安装前和安装完成后分别进行调试。

### **6.3.2**监测硬件通电前检查应符合下列规定：

1 应分别检查传感器、采集单元、传输模块的线路连接、通断正负异性是否正确等；

2 应检查元器件连接是否短路、接触不良、防雷接地是否正确等；

3 应检查设备供电电源的稳定性。

### **6.3.3**硬件电路应在通电后先进行不少于1小时的测试，应观察电路有无冒烟、异常气味、监测设备高温等现象。当出现异常现象时，应立即关闭电源，并应在故障排除后再进行电路测试直至通过。

### **6.3.4**硬件静态测试应包括采用万用表测量各设备及连接线缆的工作电压与电流的波动区间或电阻值。

### **6.3.5**硬件动态测试应包括调整采集单元的信号调频功能和输出频率范围，测试传感器输出信号的波形、幅值量级、温度稳定性，测试信息传输模块抗干扰能力和信号衰减程度。

### **6.3.6**软件部署应符合下列规定：

1 软件部署前应编制软件部署指南，部署完成后应立即进行软件调试；

2 软件现场部署前，应完成服务器、现场工控机等硬件安装，并应保证接电稳定运行；

3 软件部署和调试应分步进行，软件部署完成后应进行功能确认。

### **6.3.7**软件调试内容应包括设备通信、网络、参数计算、参数评估、数据展示和预警发布。

### **6.3.8**软件调试应在监测系统集成后进行，可按设备通信、网络、参数计算、参数评估、数据显示的次序进行调试。

### **6.3.9**软件通信调试应依次调试信号状态、波动范围和连接状态等。

### **6.3.10**网络调试应符合下列规定：

1 排查本地服务器与监测设备连接的失效点；

2 模拟监测故障，测试托管模式的触发机制；

3 模拟监测运行，测试监测系统与其他客户端的通信状态。

### **6.3.11**参数计算测试应符合下列规定：

1 应打开全部监测通道，测试监测参数计算的延时；

2应提供至少2~3个监测参数进行现场激励，测试参数计算结果与施加激励的一致性；

3 应测试初值更替的连续性。

### **6.3.12**参数评估测试应符合下列规定：

1 应调整监测参数阈值，测试监测参数自动评估的准确性；

2 应测试监测系统预警响应机制。

### **6.3.13**软件数据展示测试应符合下列规定：

1 监测参数预警信息到各客户端的延时应满足监测设计要求；

2 监测报告生成、下载功能应正常运行；

3 数据展示时间段和阶段选择、显示时间间隔选择功能应正常；

4 数据导出功能应正常。

### **6.3.14**预警发布测试应符合下列规定：

1 手动触发预警，测试终端收到预警信息的延时应满足监测设计要求；

2 预警信息应正确；

3 无漏发或错发现象。

## 监测设备防护

### **6.4.1**传感器、数据采集和传输设备应明确防尘、防水、防雷的要求。

### **6.4.2**监测设备的防护措施应安全可靠，耐久性年限不应低于设备使用年限。

### **6.4.3**传感器防护装置应符合下列规定：

1 施工过程监测传感器可根据监测周期选择防护方式，短期且处于良好监测环境下的传感器可不防护；

2 施工过程中处于人员频繁走动、现场环境变化频繁、施工设备和材料频繁移动环境下的传感器，应设施防护装置；

3 使用过程监测中传感器宜设置防护装置，处于湿度大于80%或处于腐蚀环境下的传感器，应设置防护装置；

4 传感器的防护装置宜优先选用可拆卸的安装方式。

### **6.4.4**数据采集设备防护应符合下列规定；

1 数据采集设备宜根据元器件的工作温度与监测环境温度的适宜性配备空调机柜；

2 机柜防护等级，室外环境下不宜低于现行国家标准《外壳防护等级（IP代码）》GB/T4208规定的IP65，室内环境下不低于IP55；

3 对无防护外壳的数据采集设备，应配备防护等级不小于IP65的防护箱；

4 数据采集设备的机柜或防护箱应配锁，也可安装防护栏并张贴警示牌。

### **6.4.5**线缆防护应符合下列规定：

1 监测周期不大于1年的施工过程监测，若现场监测环境良好，可不进行线缆防护；

2 监测周期大于1年及使用过程监测，线缆宜采用桥架和线管的方式防护，防护设计应符合现行国家标准《综合布线系统工程设计规范》GB 50311的规定；

3 监测周期大于1年及使用过程监测，静力水准仪的通气通液管宜采用桥架或线管的方式防护，且不应与线缆布置于同一桥架或线管中。

### **6.4.6**传感器至数据采集设备的线缆防护宜符合下列规定：

1 竖直部分采用钢管或金属软管防护，弯曲部分宜采用软管防护；

2 固定防护管卡箍间距最大距离宜符合表6.4.6的规定；

表6.4.6 管卡间最大距离

|  |  |
| --- | --- |
| 导管种类 | 导管直径（mm） |
| 15~20 | 25~32 | 40~50 | 65以上 |
| 管卡间最大距离（m） |
| 壁厚＞2mm刚性钢导管 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.5 |
| 壁厚＞2mm刚性钢导管 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | - |
| 刚性塑料导管 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.0 |

3 线缆引入至电缆槽道时，宜采用软管防护并与支柱固定牢固。

### **6.4.7**除天线外，无线传输设备应与数据采集设备放于防护箱内，防护箱等级应符合本标准6.4.3条规定。

### **6.4.8**结构监测系统应设计防雷系统，防雷设计内容应包括区域强电防雷、弱电防雷、等电位连接及接地技术要求，监测设备接地应满足下列规定：

1 电磁干扰强的监测环境下，监测设备均应接地；

2 模拟信号传感器应在传感器端或数据采集端接地；

3 数据采集设备外壳应接地；

4 监测设备的供电系统应可靠接地；

4 接地方法和标准应符合国家现行标准《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB/T 50343的相关规定。

# 结构状态监测与数据处理

## 结构状态实时监测

### **7.1.1**结构状态监测应记录监测现场环境信息，包括环境温度、湿度、风速风向等，施工过程监测还应记录关键施工步的起止时间、施工内容、结构状态变化情况等。

【条文说明】结构整体提升、滑移等涉及结构变位的施工过程监测，在作用在结构上的荷载或结构边界条件发生变化时，监测结果可能发生突变。因此，需记录监测过程中关键施工步开始和结束时间、结构状态变化情况，以便进行结构状态分析和监测结果有效性的判断。

### **7.1.2**监测频率应包括监测数据采样频率和参数计算频率。

### **7.1.3**监测数据采样频率不应低于系统监测参数计算频率。

### **7.1.4**监测数据采样频率宜符合表7.1.4规定。

表7.1.4 监测参数数据采样频率

| 监测内容 | 数据采样频率 |
| --- | --- |
| 存在结构变位的施工过程 | 长期施工过程和使用过程 |
| 应变 | 1 | 1/600 |
| 位移和位移差 | 1 | 1/600 |
| 倾角 | 1 | 1/600 |
| 加速度 | 50 | 10 |
| 加速度（频率法测索力） | 50 | 50 |
| 温度 | 1 | 1/600 |
| 风速和风向（超声式） | 10 | 10 |
| 风速和风向（机械式） | 1 | 1 |
| 风压 | 1 | 1/600 |

注：“存在结构变位的施工过程”是指结构整体提升、分块或累积滑移等施工过程。

### **7.1.5**结构监测参数计算频率宜符合表7.1.5规定。

表7.1.5 监测参数计算频率

| 监测参数 | 监测参数计算频率（Hz） |
| --- | --- |
| 存在结构变位的施工过程 | 长期施工过程和使用过程 |
| 结构挠度 | 1/60 | 1/600 |
| 支座位移差 | 1/60 | 1/600 |
| 层间位移角 | 1/60 | 1/600 |
| 振动加速度 | 50 | 10 |
| 竖向支承顶部水平位移 | 1/60 | 1/600 |
| 构件应力比 | 1/60 | 1/600 |
| 截面内力 | 1/60 | 1/600 |
| 主应力 | 1/60 | 1/600 |
| 索力 | 1/600 | 1/3600 |
| 构件挠度 | 1/60 | 1/600 |
| 构件倾斜 | 1/60 | 1/600 |
| 温度 | 1/600 | 1/600 |
| 风速和风向（超声式） | 10 | 10 |
| 风速和风向（机械式） | 1 | 1 |

注：“存在结构变位的施工过程”是指结构整体提升、分块或累积滑移等施工过程。

## 结构监测数据处理与分析

### **7.2.1**监测软件应具备自动计算监测参数的功能，并宜具备自动计算监测参数的平均值、最大值、最小值、均方根值、标准差、最大幅值等功能。

【条文说明】监测数据可按小时、日、月、年为单位计算统计值。

### **7.2.2**进行监测参数计算前，应筛选和剔除由于监测系统故障引起的异常数据。

### **7.2.3**监测数据分析可包括统计分析、相关性分析和拟合分析等，数据分析结果可直接或间接用于结构状态评估和预警。

### **7.2.4**监测数据相关分析宜包括位移与温度、应力与温度、应力与位移等参数的相关性分析。

### **7.2.5**监测数据拟合分析可采用多项式插值、样条插值、最小二乘法等方法。

## 结构状态监测评估和预警

### **7.3.1**结构状态监测预警可采用监测参数阈值法，当监测参数数值超过参数各级阈值时，宜同步报警。

### **7.3.2**结构状态监测预警等级宜分为四级，当监测参数数值超过各级阈值时，应同步报警，并宜发布应急处置建议。

### **7.3.3**预警阈值的确定宜符合下列规定：

1 施工过程监测，应根据结构施工过程力学模拟计算结果确定；

2 不同阶段的预警阈值可根据计算结果分别设置；

3 使用过程监测，应根据结构在设计荷载作用下的计算结果确定；

4 应综合考虑现行国家标准在设计、施工、验收等方面规定的结构参数限值；

5 应考虑设计资料明确要求的限值。

### **7.3.4**结构施工过程监测参数的评估等级、对应的预警等级和响应可按表7.3.4确定。

表7.3.4 施工过程监测参数评估和预警等级及应急响应

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 参数评估等级 | 预警等级 | 应急响应 |
| 一级 | / | 继续施工 |
| 二级 | 蓝色 | 可继续施工，须设置突加荷载限制值并通知现场 |
| 三级 | 黄色 | 谨慎施工，宜进行当前阶段结构性态评估，通知潜在危险性，检查临时加固措施的完整性 |
| 四级 | 橙色 | 限制加载量，即时伺服计算进行评估，通知危险点，准备临时加固措施 |
| 五级 | 红色 | 通知作业人员撤离，立即采取临时加固措施 |

### **7.3.5**结构使用过程监测参数的评估等级、对应的预警等级和响应可按表7.3.5确定。

表7.3.5 使用过程监测参数评估和预警等级及应急响应

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 参数评估等级 | 预警等级 | 应急响应 |
| 一级 | / | 正常使用 |
| 二级 | 蓝色 | 可正常使用，须关注重点参数的变化状态 |
| 三级 | 黄色 | 可正常使用，宜重点关注参数异常的区域，咨询结构工程师的使用意见 |
| 四级 | 橙色 | 限制使用，降低结构负载，通知使用人员潜在危险点位置，准备临时加固措施 |
| 五级 | 红色 | 停止使用，通知使用人员撤离，立即采取临时加固措施 |

# 结构监测系统维护

## 一般规定

### **8.1.1**结构施工和使用过程监测应在监测方案阶段制定应急处置预案。当监测系统出现异常状况时，应启动应急处置，应急处置流程应符合国家现行标准《结构健康监测系统运行维护与管理标准》T/CECS 652的规定，并应做好现场处置记录。

### **8.1.2**结构监测系统日常检查管理应包括对监测系统、采集子站和监控中心的检查管理。管理内容应包括运行环境管理、工作状态检查和运行安全管理，管理流程应符合国家现行标准《结构健康监测系统运行维护与管理标准》T/CECS 652的规定，并做好检查管理记录。

【条文说明】施工过程和使用过程监测均需对监测系统和采集子站进行日常管理，其中，监测系统日常管理又包括监测硬件和软件的管理。结构使用过程监测，当服务器本地化布置时，还需要进行监控中心日常管理。

### **8.1.3**结构监测系统设备检查内容宜包括工作状态检查、保养与维护，设备检查与维护流程应符合国家现行标准《结构健康监测系统运行维护与管理标准》T/CECS 652的规定，并应做好检查现场记录。

## 结构施工过程监测系统维护

### **8.2.1**施工过程监测硬件检查应符合下列规定：

1 结构整体提升、滑移等复杂施工过程监测，宜每日进行1次日常检查，并应做好巡查记录；

2 长期施工过程监测，宜每周进行1次日常检查，并应做好巡查记录；

3 硬件检查内容应包括传感器的表观完好性和稳固性、硬件设备供电是否正常、数据传输线缆和无线模块天线是否完好等；

4 对检查中发现的硬件问题应及时反馈，并应进行应急处置、做好问题和处置记录。

### **8.2.2**施工过程监测软件日常检查和维护应符合下列规定：

1宜每日进行1次日常检查，复杂施工过程监测宜每日至少进行2次日常检查；

2 软件日常检查内容应包括：软件各功能模块的工作状态、实时数据返回和显示、历史数据完整性、超限数据检查、预警信息处理等；

3 对检查中发现的软件问题或与硬件相关问题应及时反馈，并应进行应急处置及做好问题和处置记录。

### **8.2.3**监测数据出现异常时，应根据数据异常现象采取对应的应急处理措施，可按下列规定进行：

1 数据出现个别异常值时，可按传感器供电电压、传感器和采集设备的连接状态、各通信接口连接状态顺序进行排查；

2 数据出现连续异常值时，可按传感器供电电压、传感器附近电磁干扰源、数据采集设备通道工作状态的顺序进行排查。

3 当一台数据采集设备所连传感器同时出现数据中断或异常情况时，宜立即排查响应数据采集设备问题。

### **8.2.4**当单一传感器数据出现异常时，应检查传感器的下列事项：

1 传感器支座和连接是否松动；

2 传感器外观是否损坏，是否有液体浸入传感器；

3 传感器是否遭遇其他物体撞击；

4 传感器周围是否出现电磁干扰源；

5 传感器所连数据传输线缆是否损坏；

6 供电传感器的电源是否中断。

### **8.2.5**断路电缆修复应包括下列步骤：

1 确定破损或断开电缆位置；

2 选择电缆连接方式，宜优先选用焊接和热缩套管保护方式；

3 剥除断开处电缆外皮并缠绕；

4 焊接电缆；

5热缩电缆保护套管；

6 放入线槽或桥架中，并做好外部保护；

7 进行硬件和软件联通测试；

8 记录备案。

### **8.2.6**断裂光纤修复应包括下列步骤：

1 确定光损严重或光纤断裂位置；

2 剥除断裂处两个端部的树脂涂覆层；

3 选择光纤连接方式，可选择熔接或机械连接；

4 切割和连接光纤；

5 封装和保护光纤连接处；

6 进行硬件联通测试以及软件联通测试；

7 修复和更换记录备案。

【条文说明】本条参考《光纤光栅结构振动检测与监测标准》T/CECS 505-2018。

## 结构使用过程监测系统维护

### **8.3.1**使用过程监测系统运行环境管理、工作状态检查、运行安全管理应符合本标准第8.2.1~8.2.3条规定。

### **8.3.2**使用过程监测硬件检查和维护应符合下列规定：

1 日常维护期间发现的问题应在24小时内响应，并宜在7个工作日内进行处置；

2每个季度宜进行1次定期维护；

3 静力水准仪等基于连通器原理的监测设备，应在每次维护时检查液位状况，液位低于最低警戒线以下时，应及时补充通液管内液体至设计液位。

4 发生强（台）风、暴雨、暴雪等极端天气后，应对监测硬件进行维护。

### **8.3.3**使用过程监测软件检查与维护下列规定：

1每周宜进行至少1次检查；

2 日常检查内容应包括软件各模块功能检查、实时数据和历史数据检查、超限数据预警检查和确认；

3 发生强（台）风、暴雨、暴雪等极端天气后，应对监测软件进行检查；

4 采用本地服务器的监测系统，应检查磁盘存储空间、数据库异地备份以及软件运行日志等；

### **8.3.4**结构使用过程监测系统硬件检查应包括传感器、数据采集设备、数据传输设备、数据存储设备和数据显示设备的检查。

### **8.3.5**当结构使用过程监测系统发生异常时，应按本标准第8.2.18~第8.2.24条的规定处置。

## 结构监测系统拆除

### **8.4.1**以下布置于建筑结构上的监测系统应拆除：

1 仅用于施工过程监测，建筑运营阶段不得附属的监测系统；

2 按要求在施工监测完成后必须清理的监测系统；

3 施工过程监测时安装的影响后续结构使用过程安全性和耐久性的监测系统。

### **8.4.2**监测系统拆除应按下列流程进行：

1 关闭监测软件中的计算开关；

2 关闭监测软件中的数据采集设备开关；

3 断开监测现场监测硬件电源；

4 拆除数据采集设备端与传感器的连接线；

5 拆除数据采集设备；

6 拆除传感器保护壳；

7 拆除传感器端的数据连接线，传感器端线缆保留长度宜为1~3m；

8 拆除线缆及桥架；

9 拆除所有附属零件；

10 监测设备安装处补漆；

11 清理和检查现场，不得遗留任何设备、零件和工具。

### **8.4.3**无法拆除且不影响建筑外观和使用的监测设备或配件，应采取措施确保其在结构后续使用过程中不掉落、不影响结构的安全性和耐久性。

### **8.4.4**采用焊接形式安装的传感器、采用永久桥架和线管布设的线缆，无特殊要求可不拆除。

### **8.4.5**监测硬件拆除后，应对结构上预留的埋件、空洞等进行耐久性防腐涂装，应对局部损伤进行修复，涂装和修复应满足结构耐久性设计要求。

# 附录A 结构监测报告内容和格式

### **A.0.1** 监测报告的内容和格式可参考下列模式：

1 阶段监测报告可包括下列内容：

1）工程概况；

2）当前阶段描述和时间段；

3）监测依据；

4）监测测点布置与设备安装图；

5）监测参数结果数据和曲线；

6）参数评估结果；

7）监测结论和建议。

2 项目总报告可包括下列内容：

1）工程概况；

2）时间和空间划分；

3）监测依据；

4）监测对象、监测内容和参数；

5）监测测点布置与设备安装图；

6）监测参数结果数据和曲线；

7）参数评估结果；

8）监测结论和建议。

### **A.0.2** 阶段监测报告格式

**项目名称**

**阶 段 监 测 报 告**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 报告编号 | 上一阶段 | **当前阶段** | 下一阶段 |
| 开始时间 |  |  |  |
| 结束时间 |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **委 托 单 位：** |   |
| **工 程 地 点：** |   |
| **委 托 日 期：** |   |
| **报 告 日 期：** |   |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 监测专用章 | 编制： |   |
| 审核： |   |
| 批准： |   |
| 声明：1、我公司仅对加盖“\*\*\*公司监测专用章”的完整报告负责。2、本报告结果仅对本项目的监测对象有效。3、未经本公司书面授权，不得部分复制本报告。 |

阶段监测结论

|  |  |
| --- | --- |
| **结论** |  |
| **建议** |  |
| **简图** | *当前施工阶段简图* |
| **依据** | *监测依据，包括现行国家标准、设计和施工资料等。* |
| **索引** | 1. 监测对象、参数、测点分布见第1章 监测施工图。
2. 参数预警阈值设置见第2章 评估等级和阈值。
3. 该阶段监测参数评估见第3章 参数评估。
4. 各个监测参数在本阶段的变化趋势见第4章 监测参数变化趋势。
5. 本阶段的现场反馈情况 第5章 现场记录
 |

**目录**

第1章 监测施工图

第2章 评估等级和阈值

第3章 参数评估

第4章 监测结果曲线图

第5章 现场照片

**第1章 监测测点布置与设备安装图**

*包括监测对象、监测参数、、测点分布、安装详图等。*

**第2章 评估等级和阈值**

**2.1 评估等级和行为响应**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 评估等级 | 描述 | 应急响应 |
| **一级** | **非常安全** | 正常使用。 |
| **二级** | **安全** | 可正常使用，须关注重点参数的变化状态。 |
| **三级** | **重点关注** | 可正常使用，宜重点关注参数异常的区域，咨询结构工程师的使用意见。 |
| **四级** | **预警** | 限制使用，降低结构负载，通知使用人员潜在危险点位置，准备临时加固措施。 |
| **五级** | **紧急** | 停止使用，通知使用人员撤离，立即采取临时加固措施。 |

**2.2 评估阈值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 对象编号 | 参数名称 | 单位 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**第3章 参数评估**

*说明：*

*（1）阶段代表值可设定为当前施工阶段监测参数的最大值、最小值、平均值等统计值。*

*（2）阶段终值指当前阶段完成时监测参数的测值。*

**3.1 结构**

结构组件编号，评估等级，行为响应。

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 代表值 | 等级 | 终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**3.2 构件**

构件或节点编号，构件类别，评估等级，行为响应。

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 阶段代表值 | 评估等级 | 阶段终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**3.3 节点**

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 阶段代表值 | 评估等级 | 阶段终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**3.3 环境、荷载和作用**

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 阶段代表值 | 评估等级 | 阶段终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**第4章 监测结果曲线图**

*报告包含时间范围内各监测参数随时间变化曲线。*

**第5章 现场照片**

*现场照片内容包括但不限于：（1）现场环境；（2）数据采集单元及编号；（3）各传感器及编号。*

### **A.0.3** 总监测报告格式

**项目名称**

**监 测 报 告**

报告编号：

|  |  |
| --- | --- |
| **项 目 地 点：** |   |
| **委 托 单 位：** |   |
| **进 场 日 期：** |   |
| **结 束 日 期：** |   |
| **报 告 日 期：** |   |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 监测专用章 | 项目负责： |   |
| 编制： |   |
| 审核： |   |
| 批准： |   |
| 声明：1、我公司仅对加盖“\*\*\*\*公司监测专用章”的完整报告负责。2、本报告结果仅对本项目的监测对象有效。3、未经本公司书面授权，不得部分复制本报告。 |

**结论和建议**

|  |  |
| --- | --- |
| **结论** |  |
| **建议** |  |
| **简图** | *结构平面、立面简图* |
| **依据** | *监测依据，包括现行国家标准、设计和施工资料等。* |

**目录**

第1章 项目概况

第2章 施工阶段划分

第3章 监测测点布置与设备安装图

第4章 评估阈值 参数预警阈值设置

第5章 参数评估

第6章 监测参数变化趋势

第7章 现场记录

**第1章 项目概况**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 |  | 施工方法 |  |
| 主要材料 |  | 监测开始时间 |  |
| 施工方法 |  | 监测结束时间 |  |
| 结构总重 |  | 监测周期 |  |
| 结构平面尺寸 |  |  |  |

**第2章 施工阶段划分**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 阶段编号 | 时间 | 施工内容 | 示意图 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**第3章 监测测点布置与设备安装图**

*包括监测对象、监测参数、、测点分布、安装详图等。*

**第4章 评估等级和阈值**

**2.1 评估等级和行为响应**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 评估等级 | 描述 | 应急响应 |
| **一级** | **非常安全** | 正常使用。 |
| **二级** | **安全** | 可正常使用，须关注重点参数的变化状态。 |
| **三级** | **重点关注** | 可正常使用，宜重点关注参数异常的区域，咨询结构工程师的使用意见。 |
| **四级** | **预警** | 限制使用，降低结构负载，通知使用人员潜在危险点位置，准备临时加固措施。 |
| **五级** | **紧急** | 停止使用，通知使用人员撤离，立即采取临时加固措施。 |

**2.2 评估阈值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 对象编号 | 参数名称 | 单位 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

注：若各施工阶段评估阈值不同，需不同阶段分别列表。

**第5章 参数评估**

*代表值可设定为整个施工过程监测参数的最大值、最小值、平均值等统计值。*

*终值指监测完成时监测参数的测值。*

**3.1 结构**

结构组件编号，评估等级，行为响应。

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 代表值 | 等级 | 终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**3.2 构件**

构件或节点编号，构件类别，评估等级，行为响应。

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 阶段代表值 | 评估等级 | 阶段终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**3.3 节点**

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 阶段代表值 | 评估等级 | 阶段终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**3.3 环境、荷载和作用**

|  |
| --- |
| **测点分布模式图** |
| 参数名称 | 单位 | 阶段代表值 | 评估等级 | 阶段终值 | 评估等级 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**第6章 监测结果曲线图**

*报告包含时间范围内各监测参数随时间变化曲线。*

**第7章 现场照片**

*现场照片内容包括但不限于：（1）现场环境；（2）数据采集单元及编号；（3）各传感器及编号。*

# 附录B 监测系统质量验收表格

### **B.0.1** 检验批质量验收记录可参照表B.0.1。

表B.0.1 检验批质量验收记录

|  |  |
| --- | --- |
| 单位工程名称 |  |
| 分部工程名称 |  |
| 分项工程名称 |  | 检验批部位 |  |
| 监测实施单位 |  | 项目负责人 |  |
| 施工质量验收标准名称及编号 |  |
| 施工质量验收标准规定 | 检验记录表编号 | 监测实施单位自检结论 | 监理单位验收结论 |
| 序号 | 条文号 | 检查内容 |
| 1 |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |
| 监测实施单位检查评定结果：专职质量检查员： 年 月 日分项工程技术负责人： 年 月 日分项工程负责人： 年 月 日 |
| 监理单位检查结论：监理工程师： 年 月 日 |

### **B.0.2** 检验批检验记录可参照表B.0.2。

表B.0.2 检验批检验记录表

|  |  |
| --- | --- |
| 单位工程名称 |  |
| 分部工程名称 |  |
| 分项工程名称 |  | 检验批部位 |  |
| 监测实施单位 |  | 项目负责人 |  |
| 施工质量验收标准名称及编号 |  |
| 检验内容 |  |
| 序号 | 检验部位 | 检验情况 | 序号 | 检验部位 | 检验情况 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 监测实施单位：专职质量检查员： 年 月 日 |
| 监理单位：监理工程师： 年 月 日 |

### **B.0.3** 分项工程质量验收记录可参照表B.0.3。

表B.0.3 分项工程质量验收记录

|  |  |
| --- | --- |
| 单位工程名称 |  |
| 分部工程名称 |  |
| 分项工程名称 |  | 检验批数量 |  |
| 监测实施单位 |  | 项目负责人 |  |
| 项目技术负责人 |  |
| 序号 | 检验批验收部位 | 检验批质量验收记录表编号 | 监测实施单位自检结论 | 监理单位验收结论 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |
| 说明： |
| 监测实施单位检查评定结果：分项工程负责人： 年 月 日 |
| 监理单位检查结论：监理工程师： 年 月 日 |

### **B.0.4** 分部工程质量验收记录可参照表B.0.4。

表B.0.4 分部工程质量验收记录

|  |  |
| --- | --- |
| 单位工程名称 |  |
| 分部工程名称 |  | 分项工程数量 |  |
| 监测实施单位 |  | 项目负责人 |  |  |
| 技术负责人 |  |  |
| 质量负责人 |  |  |
| 序号 | 分项工程名称 | 检验批数量 | 监测实施单位检查结果 | 监理单位验收结论 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |
| 质量控制资料 | 符合要求 | 符合要求 |
| 安全和功能检查报告 | 符合要求 | 符合要求 |
| 验收单位 | 监测实施单位：项目负责人： 年 月 日 |
| 设计单位/使用单位（需要时）：监理工程师： 年 月 日 |
| 监理单位：监理工程师： 年 月 日 |

### **B.0.5** 单位工程质量验收记录可参照表B.0.5。

表B.0.5 单位工程质量验收记录

|  |  |
| --- | --- |
| 单位工程名称 |  |
| 监测实施单位 |  | 项目负责人 |  | 开工日期 |  |
| 项目技术负责人 |  | 项目质量负责人 |  | 竣工日期 |  |
| 序号 | 项目 | 验收记录 | 验收结论 |
| 1 | 分部工程 | 共 分部，经查符合标准规定及设计要求 项 |  |
| 2 | 质量控制资料核查（表A.0.5） | 共 分部，经查符合标准规定及设计要求 项 |  |
| 3 | 综合性验收结论 |  |
| 验收单位 | 监测实施单位 | 监理单位 | 设计单位 | 建设单位 | 使用单位 |
| （公章）项目负责人：年 月 日 | （公章）总监理工程师：年 月 日 | （公章）项目负责人：年 月 日 | （公章）项目负责人：年 月 日 | （公章）项目负责人：年 月 日 |

### **B.0.6** 单位工程质量控制资料核查记录可参照表B.0.6。

表B.0.6 单位工程质量控制资料核查记录

|  |  |
| --- | --- |
| 单位工程名称 |  |
| 监测实施单位 |  |
| 项目负责人 |  | 项目技术负责人 |  | 项目质量负责人 |  |
| 序号 | 资料名称 | 份数 | 核查意见 |  |
| 1 | 施工现场质量管理检查记录 |  |  |  |
| 2 | 图纸会审、设计变更、工程洽商等记录 |  |  |  |
| 3 | 工程定测、复测记录 |  |  |  |
| 4 | 材料和设备进场检验记录 |  |  |  |
| 5 | 隐蔽工程验收记录 |  |  |  |
| 6 | 施工记录 |  |  |  |
| 7 | 新技术施工记录 |  |  |  |
| 8 | 工程质量事故及事故处理资料 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 结论： |
|  | 监测实施单位 | 监理单位 | 设计单位 | 建设单位 | 使用单位 |
| 验收单位 | （公章）项目负责人：年 月 日 | （公章）总监理工程师：年 月 日 | （公章）项目负责人：年 月 日 | （公章）项目负责人：年 月 日 | （公章）项目负责人：年 月 日 |

### **B.0.7** 施工现场质量管理检查记录可参照表B.0.7。

表B.0.7 施工现场质量管理检查记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 单位工程名称 |  | 开工日期 |  |
| 建设单位 |  | 项目负责人 |  |
| 设计单位 |  | 项目负责人 |  |
| 监理单位 |  | 总监理工程师 |  |
| 使用单位 |  | 项目负责人 |  |
| 监测实施单位 |  | 项目负责人 |  |
| 项目技术负责人 |  |
| 序号 | 项目 | 主要内容 |
| 1 | 开工报告 |  |
| 2 | 质量管理制度 |  |
| 3 | 质量责任制度 |  |
| 4 | 质量检验制度 |  |
| 5 | 材料和设备管理制度 |  |
| 6 | 施工技术标准 |  |
| 7 | 施工组织设计和施工方案 |  |
| 8 | 施工图现场核对记录 |  |
| 9 | 主要专业工种操作上岗证 |  |
| 10 | 施工机械及仪器仪表配置表 |  |
| 11 | 施工定复测资料（施工复测及测量控制资料） |  |
| 12 | 其他 |  |
| 自检结果：监测实施单位项目负责人： 年 月 日 | 检查结论：总监理工程师： 年 月 日 |

# 用词说明

为便于在执行本标准条款时区别对待，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，仅对该日期应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《综合布线系统工程设计规范》GB 50311

《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982

《大坝监测仪器 应变计 第2部分：振弦式应变计》GB/T 3408.2

《外壳防护等级（IP代码）》GB/T 4208

《金属粘贴式电阻应变计》GB/T 13992

《信息技术 传感器网络 第1部分：参考体系结构和通用技术要求》GB/T 30269.1

《非结构化数据管理系统技术要求》GB/T 32630

《信息技术 数据质量评价参数》GB/T 36344

《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》GB/T 37025

《物联网 感知控制设备接入 第2部分：数据管理要求》GB/T 38637.2

《低轨星载GNSS测量型接收机通用规范》GB/T 39410

《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB/T 50343

《土木工程用光纤光栅应变传感器》JT/T 422

《水运工程 钢弦式锚索测力计》JT/T 578

《公路桥梁结构监测技术规范》JT/T 1037

《结构健康监测系统设计标准》CECS 333

《结构健康监测系统运营维护与管理标准》T/CECS 652

《结构健康监测系统施工及验收标准》T/CECS 765

# 附：条文说明