

ICS 91.040.01

CCS P 30



T

团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—202X

数字建筑全生命期健康监测规程

Technical code of practice for health monitoring throughout the entire lifecycle of digital buildings

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 基本规定	2
5 智能监测系统	3
5.1 基本要求	3
5.2 传感器系统	3
5.3 数据采集系统	3
5.4 数据传输系统	3
5.5 数据储存系统	4
5.6 系统软件平台	4
6 监测技术与方法	4
6.1 基本要求	4
6.2 应变监测	5
6.3 变形监测	6
6.4 裂缝监测	6
6.5 温湿度监测	6
6.6 振动监测	7
6.7 地震动及地震响应监测	8
6.8 风及风致响应监测	8
6.9 索力监测	9
6.10 腐蚀监测	9
7 全生命周期健康安全监测	9
7.1 基本要求	9
7.2 施工期间监测	10
7.3 使用期间监测	11
8 数据处理与监测预警	12
8.1 数据处理	12
8.2 监测预警	12
9 监测成果与安全评估	13
9.1 监测成果	13
9.2 安全评估	13
附录 A（资料性）常用传感器的选型及性能要求	15
参考文献	16

前 言

本文件按照 GB/T1.1 — 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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由核工业湖州勘测规划设计研究院股份有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：核工业湖州勘测规划设计研究院股份有限公司、中国建筑第三工程局有限公司、湖州城投、浙江中材、浙江大学、浙江绿城、核工业井巷建设集团有限公司、湖州职业技术学院、浙江交通职业技术学院等。

本文件起草人员：XXXXXXX。

引 言

近年来，伴随着数字化发展的浪潮，建筑设计领域的数字化转型已步入快车道，近年来，自动化监测技术也在不断发展，为规范光纤监测技术在建筑健康领域的运用，统一工作方法与技术要求，确保自动化监测工作方案科学、技术先进、成果可靠、经济合理，结合数字建筑的特征，制定本文件。

本文件在充分调研了光纤技术自动化监测在数字建筑领域方面的应用，光纤技术标准、监测技术与应用效果的基础上，总结了自动监测实践经验和科研成果，并广泛征求了有关单位和专家的意见。

数字建筑全生命期健康监测规程

1 范围

本文件对各类建筑自动化监测的目的、程序、分级、监测方案编制、监测对象与监测内容、监测设备选择、安装与运维管理、数据采集、传输、处理与分析、监测预警、系统建设、调试与运维管理、监测成果编制等进行了规定，并对监测设备及辅助设施的维护提出了具体要求。

本文件适用于各类工程建筑的健康监测，各类工程建筑包括：木结构建筑、砖木结构建筑、砖混结构建筑、钢筋混凝土结构建筑和钢结构建筑工程的自动化监测工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范

GB 50496 大体积混凝土施工标准

JGJ 8 建筑变形测量规范

3 术语与定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1

数字建筑 digital buildings

在设计、建造或者管理使用过程中用到了数字技术的建筑。

3.2

全生命周期 life cycle

在项目规划、设计、施工、运营等各个阶段，以及项目完成后的维护和更新过程中，对项目进行全面、系统、有效的管理。

注：旨在通过全过程的管理，提高项目的效率、质量、可靠性和可持续性，从而确保项目的成功完成和长期运营。

3.3

施工监测 construction monitoring

体现结构设计思路、保证施工过程的安全且为施工控制提供数据的监测手段。

3.4

健康监测 health monitoring

利用现场的、无损的、实时的方式采集结构与环境信息，分析结构反应的各种特征，获取结构因环境因素、损伤或退化而造成的改变的监测手段。

3.5

连续监测 continuous monitoring

以连续或触发控制的方式进行的监测手段。

3.6

预警平台 warning platform

通过网络系统的应用层，对监测对象的监测数据信息进行分析研判后，作出可能发生异常情况的预测预报及预警系统。

4 基本规定

4.1 为了规范数字建筑全生命周期健康监测的内容及预警内容，提高数字建筑健康监测的监测质量，制定本文件。

4.2 数字建筑健康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。整个系统应做到安全可靠、方案可行、技术先进、经济合理、便于维护。

4.3 数字建筑健康监测系统宜包括传感器系统、数据的采集和处理系统、数据传输系统、数据存储和管理系统、结构状态识别和健康评估系统。

4.4 数字健康监测系统的设计，应合理选用和布置传感器及采集系统，使之满足监测的目的和功能。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。

4.5 建筑结构智能监测的实施单位应具备健全的项目组织机构、安全管理制度、技术与质量管理体系，以及相应的技术能力、专业技术人员。

4.6 建筑结构智能监测宜按以下流程实施：

- a) 收集图纸资料、施工与竣工技术文件等资料，现场踏勘；
- b) 编制和审定监测方案；
- c) 监测系统施工；
- d) 监测系统运行；
- e) 监测信息反馈与监测预警；
- f) 安全状态评估；
- g) 提交阶段性监测报告；
- h) 监测完成，提交监测总结报告。

4.7 建筑结构智能监测的监测方案，应根据监测目的和监测要求，结合工程特点、现场及周边环境条件等因素制定。

4.8 建筑结构智能监测的监测项目、测点布置、监测频率、监测精度及监测预警值应根据所监测建筑结构的地基基础、建设规模、结构类型、复杂程度等综合确定，并满足设计及现行相关规范要求。

4.9 下列建筑结构的监测方案应进行专门论证：

- a) 甲类或复杂的乙类抗震设防类别的高层与高耸结构、大跨空间结构；
- b) 发生严重事故，经处理与评估恢复施工或使用的建筑结构；
- c) 监测方案复杂或其他需要论证的建筑结构。

4.10 实施智能监测的建筑结构，应定期对监测数据和结果进行人工监测比对、校核。

4.11 业主单位、监测单位应建立建筑结构智能监测数据的安全管理制度，保障数据安全。对于有信息安全等级保护要求的建筑结构，应按相关法律法规及要求执行。

4.12 建筑结构智能监测应对监测设备采取保护措施，未经监测实施单位许可不应移动或损坏传感器、线缆、采集仪等监测设备。

5 智能监测系统

5.1 基本要求

- 5.1.1 智能监测系统宜包括硬件系统和软件系统，硬件系统包括传感器系统、数据采集系统、数据传输系统和数据存储系统，软件系统包括系统软件平台。
- 5.1.2 智能监测系统应做到稳定可靠、技术先进、经济合理、便于维护。
- 5.1.3 智能监测系统的关键技术和设备应根据工程的实际需要和系统运行环境，采用成熟、先进、可靠的技术或产品，并应满足国家标准或行业标准。
- 5.1.4 智能监测系统的硬件宜有一定的冗余度，应有适当的保护措施和可维护性。
- 5.1.5 智能监测系统硬件的防雷与接地，应符合 GB 50343 的有关规定。

5.2 传感器系统

- 5.2.1 传感器系统应能获取建筑结构的荷载、环境状态、材料性能、结构反应或几何变形数据。
- 5.2.2 传感器应优先选用经过长期测试稳定可靠的产品，产品应结构简单、维护方便，应具有适宜的量程、精度、稳定性和耐久性。也可自行设计、制造传感器，自制传感器的性能应满足现行国家标准或行业标准的要求。
- 5.2.3 传感器的选型和性能参数应符合第 6 章的规定。
- 5.2.4 传感器应满足工作环境的要求。在恶劣条件下工作的传感器，应采取防风、防雨雪、防雷、防尘、防晒、防冻、防腐蚀、防扰动等保护措施。
- 5.2.5 传感器输入输出信号标准应开放，应有唯一性的身份标识。
- 5.2.6 传感器系统应具有稳定可靠的电力供应，应能监测感知设备的供电情况。关键位置传感器应具备备用电力供应，能满足设备在断电情况下短期的正常运行要求。

5.3 数据采集系统

- 5.3.1 数据采集系统性能应与对应监测设备性能匹配，并满足监测物理量的要求。
- 5.3.2 数据采集设备应避免潮湿、静电及磁场环境，应有不间断电源保障。
- 5.3.3 数据采集设备与传感器之间应有明确的拓扑关系，根据工程特点与现场条件，可选择集中式数据采集、分布式数据采集或混合式数据采集三种方式。
- 5.3.4 数据采集系统应对信号进行放大、滤波、去噪、隔离等处理，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。
- 5.3.5 数据采集系统应遵循标准协议和标准接口，便于数据传输和存储。
- 5.3.6 数据采集系统应根据需求设定采样时间和采样频率，采集到的数据应具有良好的时间同步性。
- 5.3.7 数据采集系统应有自动和手工采集功能，振动或地震监测的数据采集应具有触发采集功能。

5.4 数据传输系统

- 5.4.1 数据传输系统应具备对数据进行实时接收、处理、交换和传输的功能，可根据工程需要选择无线、有线或组合的传输方式。
- 5.4.2 数据传输系统应保证数据传输过程中传输线路的可靠性、安全性和可更换性。
- 5.4.3 有线传输应选取适当的传输介质，可利用监测系统已有的光纤通信网或部门局域互联网等数据传输线路，设置必要的中继器或转发器；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。

5.4.4 无线传输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。

5.4.5 数据传输系统应设计数据备份机制，数据传输设备应在本地保存至少最近 7 d 的监测数据作为备份。

5.4.6 数据传输系统应根据监测设备单位时间采集的数据量大小，结合传输设备实际通信能力对数据进行分包处理，以包为单位实施传输。数据传输系统应进行误码控制。

5.5 数据储存系统

5.5.1 数据存储系统存储内容应包括但不限于：

- a) 建筑结构基本信息；
- b) 实时监测数据和历史监测数据；
- c) 管理数据；
- d) 知识库数据；
- e) 分析处理后的成果数据。

5.5.2 数据存储方式应支持但不限于关系型数据存储、分布式文件存储、对象存储及文档存储。

5.5.3 数据存储系统应满足以下要求：

- a) 数据库应建立在清晰、简明、标准化的数据元上，能方便、快速、准确的检索到所需信息；
- b) 数据存储系统应对海量数据高效管理；
- c) 数据库应具有足够的安全性，防止外部系统侵入，当发生异常情况时能及时恢复数据；
- d) 数据存储系统应支持异常情况下的容错功能；
- e) 数据库构架应为后续拓展适用功能预留空间。

5.5.4 数据存储系统存储周期应根据实际需要进行配置，安全日志存储时间不少于 6 个月。

5.6 系统软件平台

5.6.1 智能监测系统软件平台的功能应满足监测方案设计要求，并具有兼容性、可扩展性、稳定性和良好合理的使用性能，软件升级期间应做好监测数据的衔接。

5.6.2 智能监测系统软件平台应包含数据处理、分析、查询、管理和监测预警功能。

5.6.3 智能监测系统软件平台应能对荷载、环境参数、结构几何变形、结构整体响应、结构局部响应、结构材料性能监测数据进行智能分析，为安全评估、监测预警提供基础数据。

5.6.4 智能监测系统软件平台应能对监测数据进行分类管理，可自动生成数据分析结果、变化曲线图、监测成果报表。

5.6.5 智能监测系统软件平台监测预警功能可根据监测数据和数据分析结果进行实时预警，应有监测预警确认机制。

5.6.6 智能监测系统软件平台交互界面应包括工程信息、监测设备信息、数据采集与传输工作状态、监测数据、数据处理与分析结果、监测预警信息，以图形、文字等直观的方式对以上信息进行可视化展示。

6 监测技术与方法

6.1 基本要求

6.1.1 智能监测项目包括应变监测、变形监测、裂缝监测、温湿度监测、振动监测、地震

动及地震响应监测、风及风致响应监测、索力监测及腐蚀监测。

6.1.2 传感器的选型应根据监测项目、监测参数结合实际应用条件综合确定。

6.1.3 智能监测常用传感器可按照表 1 选择，传感器的性能要求宜符合附录 A 的规定。

表 1 智能监测传感器选用

监测项目		监测传感器
几何变形类	沉降	沉降传感器、全站仪、卫星定位系统
	水平位移	全站仪、卫星定位系统、位移传感器、激光测距仪
	竖向位移	全站仪、沉降传感器、位移传感器、激光测距仪
	倾斜	全站仪、卫星定位系统、倾角传感器
结构反应类	应变	应变传感器
	内力	索力传感器、轴力传感器、压力传感器
	裂缝	裂缝传感器
	动力响应	加速度传感器、速度传感器
荷载与环境参数类	温湿度	温度传感器、湿度传感器
	风	风速风向传感器、风压传感器
	振动、地震动	加速度传感器、速度传感器、地震动传感器
	降雨	雨量传感器
	地下水位	水位计
材料性能类	锈蚀	锈蚀传感器

6.2 应变监测

6.2.1 应变监测可选用电阻应变计、振弦式应变计、光纤类应变计等应变监测传感器进行监测。

6.2.2 应变传感器应符合下列基本规定。

- 量程应与量测范围相适应，应变量测的精度应为量程的 0.5%，监测值宜控制为量程的 30%~80%。
- 混凝土构件宜选择大标距的应变传感器；应变梯度较大的应力集中区域，宜选用标距较小的应变传感器。
- 应变传感器应具备温度补偿功能。

6.2.3 选用不同类型的应变传感器应符合下列规定：

- 电阻应变计的测量片和补偿片应选用同一规格产品，并进行屏蔽绝缘保护；
- 振弦式应变计应与匹配的频率仪配套校准，频率仪的分辨率不应大于 0.5 Hz；
- 光纤解调系统各项指标应符合被监测对象对待测参数的规定。

6.2.4 应变传感器宜布设在结构受力较大或影响结构整体安全的关键构件、截面和部位。

6.3 变形监测

6.3.1 变形监测可分为水平位移监测、垂直位移监测、三维位移监测、倾斜监测、挠度监测和其他变形监测。

6.3.2 变形监测可选用沉降传感器、位移传感器、倾角传感器、激光测距仪、电子全站仪、卫星定位系统等设备，应根据结构或构件的变形特征确定变形监测的监测参数和监测设备。

6.3.3 变形监测应减少温度等环境因素的影响，监测结果应结合环境及效应监测的结果进行修正。

6.3.4 根据现场条件和精度要求，水平位移可选择位移传感器、激光测距仪、电子全站仪、卫星导航定位等方法；垂直位移和挠度监测可选择电子全站仪、静力水准仪。

6.3.5 当采用电子全站仪进行位移监测时，基准网的建立、监测精度要求、全站仪监测精度等级、监测点到仪器测站点的视线长度等要求应符合 JGJ 8 的规定，同时应符合下列规定：

- a) 全站仪自动照准功能应稳定、有效，单点单次照准时间不宜大于 10 s；
- b) 监测设备应能按预定顺序逐点观测，数据不正常时应能补测，并应根据即时指令增加观测；
- c) 可用多台全站仪联合组网观测，联合组网观测时相邻测站应有重叠的观测目标；
- d) 每期观测时均应进行基准点联测、稳定性判断和观测精度评定，然后再进行监测点数据计算。

6.3.6 当采用卫星导航定位测量方法进行位移监测时，监测设备应布设在结构顶部，应保证高度角 15° 以上无遮挡，同时应符合 JGJ 8 的相关规定。

6.3.7 当采用静力水准仪进行垂直位移或挠度监测时，应符合 JGJ 8 的规定，同时应满足以下规定：

- a) 一组静力水准仪可由一个参考点和多个监测点组成；
- b) 静力水准仪管路液体应具有流动性；
- c) 应保证静力水准仪管路温度均匀，避免阳光直射。

6.3.8 当采用倾角传感器进行倾斜监测时，应符合下列规定：

- a) 倾斜传感器可根据监测要求选用固定式或便携式；
- b) 倾角传感器宜布设在结构顶部或墙、柱顶部。

6.3.9 当采用激光测距仪进行位移监测时，应符合下列规定：

- a) 激光测量距离不宜大于 20 m；
- b) 激光测距仪应配合反光板使用，激光测距仪固定于基准位置，反光板固定于待测构件上；
- c) 监测过程中，测线方向应保持不变；
- d) 应保证测线温度均匀，避免阳光直射；
- e) 监测结果应进行温度修正。

6.4 裂缝监测

6.4.1 裂缝监测可采用裂缝传感器进行，裂缝监测参数宜包括裂缝位置、走向、长度、宽度。

6.4.2 裂缝传感器的量程应大于裂缝的预警宽度，传感器测量方向应与裂缝走向垂直。

6.4.3 裂缝传感器宜布设在结构已有的典型水平裂缝、竖向裂缝和斜向裂缝处，裂缝较多时可对裂缝测点进行优化。

6.5 温湿度监测

6.5.1 温湿度监测宜包括环境及构件温度监测、环境湿度监测。

6.5.2 环境及构件温度监测应符合下列规定。

- a) 温度监测点应布置在温度特征代表点和温度梯度变化较大位置，宜对称、均匀，应反映结构竖向及水平向温度场变化规律。
- b) 相对独立空间应设 1 个～3 个监测点，当面积或跨度较大时，以及结构构件应力及变形受环境温度影响大的区域，宜增加监测点。
- c) 环境温度传感器可与风速传感器一并安装在结构表面，并应直接置于外界环境中以获得有代表性的温度值。
- d) 监测整个结构的温度场分布和不同部位结构温度与环境温度对应关系时，测点宜覆盖整个结构区域。
- e) 温度传感器宜选用监测范围大、精度高、线性及稳定性好的传感器。
- f) 监测频率宜与结构应力监测和变形监测保持一致。
- g) 长期温度监测时，监测结果应包括日平均温度、日最高温度和日最低温度；结构温度分布监测时，宜绘制结构温度分布等温线图。

6.5.3 大体积混凝土温度监测应按照 GB 50496 的规定执行。

6.5.4 环境湿度监测应符合下列规定：

- a) 湿度宜采用相对湿度表示，湿度传感器监测范围应为 12%RH～99%RH；
- b) 湿度传感器要求响应时间短、温度系数小，稳定性好以及湿滞后作用低；
- c) 湿度传感器与温度传感器一并安装时，宜布置在结构内湿度变化大，对结构耐久性影响大的部位；
- d) 长期湿度监测时，监测结果应包括日平均湿度、日最高湿度和日最低湿度。

6.5.5 温度监测精度宜为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿度监测精度宜为 $\pm 2\%\text{RH}$ 。

6.6 振动监测

6.6.1 振动监测应包括振动激励监测和振动响应监测，监测参数可为加速度、速度、位移及应变。

6.6.2 振动监测的方法分为相对测量法和绝对测量法。

6.6.3 相对测量法监测结构振动位移应符合下列规定：

- a) 监测中应设置有一个相对于被测工程结构的固定参考点；
- b) 被监测对象上应牢固地设置有靶、反光镜等测点标志；
- c) 测量仪器可选择自动跟踪的全站仪、激光测振仪、图像识别仪。

6.6.4 绝对测量法宜采用惯性式传感器，以空间不动点为参考坐标，可测量工程结构的绝对振动位移、速度和加速度，并应符合下列规定：

- a) 加速度量测可选用力平衡加速度传感器、电动速度摆加速度传感器、ICP 型压电加速度传感器、压阻加速度传感器；
- b) 速度量测可选用电位移摆速度传感器，也可通过加速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得速度值；
- c) 位移测量可选用电位移摆速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得位移值；
- d) 结构在振动荷载作用下产生的振动位移、速度和加速度，应量测一定时间段内的时间历程。

6.6.5 振动监测前，宜进行结构动力特性测试或结构动力特性计算分析。

6.6.6 动态响应监测时，测点应选在工程结构振动敏感处；当进行动力特性分析时，振动测点宜布置在需识别的振型关键点上，且宜覆盖结构整体，也可根据需求对结构局部增加测点；测点布置数量较多时，可进行优化布置。

6.6.7 振动监测数据采集与处理应符合下列规定：

- a) 应根据不同结构形式及监测目的选择相应采样频率;
- b) 应根据监测参数选择滤波器;
- c) 应选择合适的窗函数对数据进行处理。

6.6.8 动应变监测设备量程不应小于量测估计值的 2 倍~3 倍,监测设备的分辨率应满足最小应变值的量测要求,确保较高的信噪比。振动位移、速度及加速度监测的精度应根据振动频率及幅度、监测目的等因素确定。

6.6.9 动应变监测应符合下列规定:

- a) 动应变监测可选用电阻应变计或光纤类应变计;
- b) 动态监测设备使用前应进行静态校准,监测较高频率的动态应变时宜增加动态校准。

6.7 地震动及地震响应监测

6.7.1 设防烈度为 7 度且高度超过 160 m 的大型公共建筑,以及设计文件要求或有其他特殊要求的结构应进行地震响应监测。

6.7.2 地震动及地震响应监测参数主要为地震动及地震响应加速度,必要时监测力、位移、应变等其他参数。

6.7.3 结构地震动及地震响应监测应符合下列规定:

- a) 监测方案应包括监测系统类型、测点布置、仪器的技术指标、监测设备安装和管理维护的要求;
- b) 测点应根据设防烈度、抗震设防类别和结构重要性、结构类型和地形地质条件进行布置;
- c) 可结合风、交通等振动响应统筹布置监测系统,并应与震害检查设施结合;
- d) 测点布置应能反映地震动及上部结构地震响应。

6.8 风及风致响应监测

6.8.1 对风敏感的结构宜进行风及风致响应监测。

6.8.2 监测参数应包括风压、风速、风向及风致振动响应。

6.8.3 风压监测应符合下列规定:

- a) 风压监测宜选用微压量程、具有可测正负压的压力传感器,也可选用专用的风压传感器,监测参数为空气压力;
- b) 风压传感器的安装应避免对工程结构外立面的影响,并采取有效保护措施,相应的数据采集设备应具备时间补偿功能;
- c) 风压测点宜根据风洞试验的数据和结构分析的结果确定,无风洞试验数据时可根据风荷载分布特征及结构分析结果布置测点;
- d) 进行表面风压监测的项目,宜绘制监测表面的风压分布图。

6.8.4 风压传感器的量程应满足结构设计中风场的要求,宜选择可调量程的风压传感器,风压传感器的精度应为满量程的 $\pm 0.4\%$,且不宜小于 10 Pa,非线性度应在满量程的 $\pm 0.1\%$ 范围内,响应时间应小于 200 ms。

6.8.5 风速及风向监测应符合下列规定:

- a) 可采用机械式风速传感器或超声波式风速传感器,机械式风速传感器和超声波式风速传感器宜成对设置;
- b) 风速和风向传感器应安装在工程结构绕流影响区域之外,绕流风影响区域宜采用计算流体动力学数值模拟或风洞试验的方法分析;
- c) 风速传感器量程应大于设计风速,风速监测精度宜为 0.1 m/s,风向监测精度不宜

大于 3° ；

- d) 宜选取采样频率高的风速和风向传感器，采样频率不应小于 10 Hz；
- e) 监测结果应包括脉动风速、平均风速和风向。

6.8.6 风致响应监测应符合下列规定：

- a) 风致响应监测应对不同方向的风致响应进行量测，现场实测时应根据监测目的和监测参数布置传感器；
- b) 风致响应测点可布置量测不同参数的多种传感器；
- c) 应变传感器应根据分析结果，布置在应力或应变较大或刚度突变能反映结构风致响应特征的位置；
- d) 对位移有限制要求的结构部位宜布置位移传感器，位移传感器记录结果应与位移限值进行对比。

6.9 索力监测

6.9.1 膜结构、悬索结构等大跨空间结构应进行索力监测。

6.9.2 索力监测应符合下列规定：

- a) 索力监测的监测方法可包括压力传感器测定法、振动频率法；
- b) 压力传感器测定法监测精度宜为满量程的 3%；
- c) 振动频率法监测索力的加速度传感器频响范围应覆盖索体振动基频，采用实测频率推算索力时，应将拉索及拉索两端弹性支承结构整体建模共同分析；
- d) 索力监测系统设计时，宜与结构内部管线、通信设备综合协调；
- e) 索力监测预警值应结合工程设计的限值、结构设计要求及监测对象的控制要求综合确定。

6.9.3 索力监测的测点应具有代表性，且均匀分布；单根拉索或钢拉杆的不同位置宜有对比性测点，可监测同一根钢索不同位置的索力变化；横索、竖索、张拉索与辅助索均应布设测点。

6.10 腐蚀监测

6.10.1 在氯离子含量较高或受腐蚀影响较大的区域或有设计要求时，可进行腐蚀监测。

6.10.2 腐蚀监测应符合下列规定。

- a) 腐蚀监测方案中应包括腐蚀监测方法、监测参数、监测位置和监测频率。
- b) 腐蚀监测宜选用电化学方法，电化学监测方法可选用电流监测、电位监测，也可同时采用电流和电位监测。
- c) 腐蚀监测参数可包括结构腐蚀电位、腐蚀电流和混凝土温度。
- d) 腐蚀监测位置应根据监测目的，结合工程结构特点、特殊部位、结构连接位置、不同位置的腐蚀速率等因素确定；测点宜选择在力与侵蚀环境荷载分别作用的典型区域及侵蚀环境荷载作用下的典型节点。
- e) 腐蚀传感器应能分辨腐蚀类型、测定腐蚀速率。可采用外置式和嵌入式两种方式布置：对于新建结构，可在施工过程中将传感器埋入预定的位置；对既有结构，可在结构相应测点的邻近位置外置传感器。

7 全生命周期健康安全监测

7.1 基本要求

7.1.1 建筑结构的智能监测按建筑结构的生命周期分为施工期间监测、使用期间监测、施

工影响监测、加固与改造监测、危房监测、拆除监测。

7.1.2 智能监测的测点布置应符合下列规定：

- a) 测点布置应能反映监测对象的实际状态及变化趋势，满足安全预警和评估的要求，宜布置在监测参数值最大的位置；
- b) 测点的位置、数量宜根据结构类型、设计要求、施工过程、监测项目及结构分析结果确定；
- c) 测点的数量和布置范围应有冗余量，重要部位应增加测点；
- d) 可利用结构的对称性，减少测点布置数量；
- e) 宜便于监测设备的安装、测读、维护和替换；
- f) 不应妨碍监测对象的施工和正常使用；
- g) 在符合上述要求的基础上，宜缩短信号的传输距离。

7.1.3 建筑结构的智能监测可按实际需求设定数据采集频率。

7.1.4 实施智能监测的项目，应具备人工复核的条件，应定期对智能监测系统进行人工复核和系统维护。

7.2 施工期间监测

7.2.1 下列情况下的建筑结构，应进行施工期间监测：

- a) 高度 250 m 及以上或竖向结构构件变形显著的高层与高耸结构；
- b) 跨度大于 100 m 的网架及多层网壳钢结构，跨度大于 50 m 的单层网壳结构，跨度大于 40 m 的钢筋混凝土薄壳结构；
- c) 结构悬挑长度大于 30 m 的钢结构；
- d) 设计文件要求或其他规定应进行施工期间监测的建筑物。

7.2.2 高层和高耸结构、大跨空间结构施工期间的监测，宜按照 GB 50982 的有关规定执行。监测项目应根据结构特点按照表 2 选择。

表 2 施工期间监测项目

结构形式	变形监测			应变监测	环境及效应监测			支座位移监测
	基础沉降	竖向变形	水平变形		风	温湿度	振动	
高层与高耸结构	★	★	★	★	▲	▲	▲	-
网架结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	○
网壳结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	★
薄壳结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	★
悬索结构	▲	★	○	★	○	▲	○	▲
膜结构	▲	★	○	★	○	▲	○	○
悬挑钢结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	○
注：★应测项目，▲宜测项目，○可测项目，-不涉及该项目。								

7.2.3 施工期间智能监测方案宜在工程设计阶段与结构设计同步进行，宜与使用期间智能监测统筹考虑。监测系统构建宜与工程施工同步进行，宜设置专门的控制机房。

7.2.4 施工期间监测前应对结构与构件进行结构分析，结构分析符合下列规定。

- a) 内力验算宜按照荷载效应的基本组合计算，结构分析计算值与应变实测值对比应按照荷载效应的标准组合计算，变形验算应按照荷载效应的标准组合计算。
- b) 应考虑恒荷载、活荷载等重力荷载，可根据工程实际需要计入地基沉降、温度作

用和风荷载。

- c) 结构分析应以实际施工方案为准，施工过程中方案有调整的，施工全过程结构分析应相应更新；计算参数假定与施工早期监测数据差别较大时，应及时调整计算参数，校正计算结果，并应用于下一阶段的施工期间监测中。
 - d) 宜采用实测的构件和材料的参数及荷载参数。
 - e) 结构分析模型应与设计结构模型进行核对。
 - f) 应结合施工方案，采用实际的施工工序，并应考虑可能出现风险的中间工况。
 - g) 应充分考虑施工临时支护、支撑对结构的影响。
- 7.2.5 施工期间监测，宜重点监测下列构件和节点：
- a) 应力变化显著或应力水平较高的构件；
 - b) 变形显著的构件或节点；
 - c) 承受较大施工荷载的构件或节点；
 - d) 控制几何位形的关键节点；
 - e) 能反映结构内力及变形关键特征的其他重要受力构件或节点。
- 7.2.6 装配式建筑结构施工期间宜对整体沉降和倾斜、竖向构件倾斜和应变、水平构件变形和应变、连接节点变形等项目进行监测。
- 7.2.7 施工期间监测数据应进行处理分析，关键性数据宜实时进行分析判断，异常数据应及时进行核查确认。
- 7.2.8 施工期间的监测预警应根据安全控制与质量控制的不同目标，宜按照“分区、分级、分阶段”的原则，结合施工过程结构分析结果，对监测的构件或节点，提出相应的限值要求和不同危急程度的预警值，预警值应满足相关现行施工质量验收标准的要求。
- 7.2.9 当出现下列情况时，应提高监测频率：
- a) 监测数据达到或超过预警值；
 - b) 结构受到地震、洪水、大风、爆炸冲击等异常情况影响；
 - c) 建筑结构现场、周边建（构筑物）的结构部分及其地面出现可能发展的变形裂缝或较严重的突发裂缝等可能影响工程安全的异常情况。
- 7.2.10 施工期间监测应按照施工进度进行巡视检查。

7.3 使用期间监测

- 7.3.1 下列情况下的建筑结构，应进行使用期间监测：
- a) 高度 350 m 及以上的高层与高耸结构；
 - b) 跨度大于 120 m 的网架及多层网壳钢结构，跨度大于 60 m 的单层网壳结构，跨度大于 50 m 的钢筋混凝土薄壳结构；
 - c) 结构悬挑长度大于 40 m 的钢结构；
 - d) 施工过程导致结构最终位形与设计目标位形存在较大差异的高层与高耸结构；
 - e) 带有隔震体系的高层与高耸或复杂结构；
 - f) 设计文件要求或其他规定应进行使用期间监测的建筑。
- 7.3.2 高层和高耸结构、大跨空间结构使用期间监测，宜按照 GB 50982 的有关规定执行。监测项目应根据结构特点按照表 3 选择。

表 3 使用期间监测项目

结构形式	变形监测			应变监测	环境及效应监测			支座位移监测	动力特性	裂缝
	基础沉降	竖向变形	水平变形		风	温湿度	地震			

高层与高耸结构	▲	▲	★	▲	▲	▲	★	-	-	★
网架结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	○	○	-
网壳结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	▲	▲	-
薄壳结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	▲	▲	★
悬索结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	▲	▲	-
膜结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	○	○	-
悬挑钢结构	▲	★	○	▲	○	▲	○	○	○	-
注：★应测项目，▲宜测项目，○可测项目，-不涉及该项目。										

7.3.3 建筑结构使用期间的监测宜为长期实时监测，应为建筑结构的安全使用、结构设计验证、结构模型校验与修正、结构损伤识别、结构养护与维修以及新方法新技术的发展与应用等提供技术支持。

7.3.4 施工期间和使用期间均需进行智能监测的建筑结构，宜在工程设计阶段统筹考虑智能监测方案。使用期间监测应充分利用施工期间监测的数据进行校核。

7.3.5 重要结构使用期间监测宜进行结构分析模型修正，修正后的模型应能反映结构现状。

7.3.6 装配式建筑结构使用期间宜对其整体沉降和倾斜、构件和连接节点的应变和裂缝、地震动及地震响应等项目进行监测。

7.3.7 对于重要结构，当钢筋混凝土构件锈蚀电流检测结果大于 $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 时，宜进行钢筋锈蚀监测。

7.3.8 使用期间的监测预警应根据结构性能，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限值要求和不同的预警值，预警值应满足国家现行相关结构设计标准的要求。

7.3.9 建筑结构使用期间监测数据异常或报警时，应及时对监测系统及结构进行检查或检测。

7.3.10 建筑结构使用期间监测应定期进行巡视检查和系统维护。

8 数据处理与监测预警

8.1 数据处理

8.1.1 智能监测数据处理应结合设计、施工、运维阶段的分析和检测数据进行分析。

8.1.2 智能监测的数据处理宜包括监测数据消噪和滤波、监测数据异常与修复、监测数据统计分析、监测数据专项分析。

8.1.3 监测数据中存在的工频噪声、尖峰噪声、起伏噪声和其他噪声在数据分析前应进行去噪处理。

8.1.4 数据分析前应检测出异常数据，并进行异常原因判别。数据分析时，应剔除或修复监测系统问题引起的异常数据，但不应该剔除或修复结构状态变化与荷载变化引起的异常数据。

8.1.5 监测数据的统计分析包括基本统计分析、概率密度函数估计、极值分析和相关分析，统计分析宜按照 T/CCES 16 的有关规定执行。

8.1.6 监测数据宜根据需要，进行结构模态参数识别、结构损伤识别和结构疲劳分析的专项分析，专项分析宜按照 T/CCES 16 的有关规定执行。

8.2 监测预警

8.2.1 智能监测的安全预警应根据监测数据流和数据分析结果进行实时预警。

- 8.2.2 智能监测预警体系应包括预警指标选择、预警值设定、预警发出、预警应急预案启动、预警升降级与消除。
- 8.2.3 监测预警指标应选取多个能直接反应荷载作用、构件安全和整体结构安全的参数。
- 8.2.4 智能监测应设定监测预警值，监测预警值应满足工程设计及被监测对象的控制要求。
- 8.2.5 监测预警值应以明确、分级的方式，形成多层次的预警等级。
- 8.2.6 预警发出应采取实时、智能、明显的方式通知委托方及相关单位。
- 8.2.7 预警发出后，应立即启动相应级别的预警应急预案，采取相应的措施。
- 8.2.8 智能监测应建立预警升降级与消除的程序。

9 监测成果与安全评估

9.1 监测成果

- 9.1.1 监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、数据和表格、图像和曲线、文字报告等，监测报告应签字盖章齐全。
- 9.1.2 监测数据的初步报告和信息反馈宜由监测系统软件自动生成、报送。
- 9.1.3 监测报告可分为日报、阶段性报告和总结报告等。监测报告应采用文字、表格、图形、照片等形式，内容应真实、准确、完整，结论明确，并及时报送。
- 9.1.4 智能监测的观测记录、计算资料和监测成果等应定期进行归档。
- 9.1.5 监测日报宜包括下列内容：
 - a) 工程概况及现状概况；
 - b) 各监测点的本次测试值、单次变化值、变化速率以及累计值等，必要时绘制有关曲线图；
 - c) 巡视记录；
 - d) 结论与建议。
- 9.1.6 阶段性报告宜包括下列内容：
 - a) 工程概况及本阶段工程现状；
 - b) 该监测阶段的智能监测项目及测点的布置图；
 - c) 本阶段各监测点的测试值、变化值、变化速率以及累计值等，绘制有关过程曲线图；
 - d) 巡查和人工复核方法及结果，各监测项目监测值的变化分析、评价及发展预测；
 - e) 结论与建议。
- 9.1.7 总结报告宜包括下列内容。
 - a) 工程概况及监测过程概况。
 - b) 监测依据、监测目的。
 - c) 监测项目、监测点布置。
 - d) 监测设备和监测方法。
 - e) 监测数据汇总与分析：监测值、累计变化值、变化速率值、时程曲线、断面曲线图、等值线图、监测点平面位置图等，监测预警情况；巡查和人工复核方法及结果。
 - f) 各监测项目发展变化分析及安全评估。
 - g) 结论与建议。

9.2 安全评估

- 9.2.1 智能监测的安全评估应在对监测数据充分识别、分析的基础上，按照各类建筑结构

的相关专业技术要求进行。

9.2.2 结构损伤分析与识别应结合现场检测结果，按照损伤判断、损伤定位、损伤程度、影响评估进行综合分析，判定结构损伤对安全的影响。

9.2.3 大型结构智能监测安全评估应进行模型反演分析，并及时对原安全评估模型进行修正、分析。

9.2.4 智能监测应重视对逐步积累海量数据的挖掘利用。

附录 A

(资料性)

常用传感器的选型及性能要求

- A.1 智能监测传感器及相关设备类型按照待监测参数可分为下列几类：
- a) 荷载与环境类传感器及设备，包括风速风向传感器、风压传感器、地震动传感器、温度传感器、湿度传感器、雨量传感器、土压力计、孔隙水压力计等；
 - b) 结构响应类传感器及设备，包括应变传感器、位移传感器、加速度传感器、内力传感器、裂缝传感器等；
 - c) 结构几何变形类传感器及设备，包括位移传感器、倾斜传感器、测斜仪、测距仪、全站仪、卫星定位系统等；
 - d) 材料性能类传感器及设备，包括锈蚀传感器等。
- A.2 传感器主要性能参数应包括下列内容：
- a) 量程：传感器能测量的物理量的极值范围；
 - b) 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；
 - c) 线性度：传感器的输出与输入成线性关系的程度；
 - d) 灵敏度：传感器在稳态下输出量变化对输入量变化的比值；
 - e) 分辨率：传感器能够感知或检测到的最小输入信号增量；
 - f) 精度：传感器的测量结果与被测真实物理量的接近程度；
 - g) 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；
 - h) 重复性：传感器在输入量按照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；
 - i) 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；
 - j) 供电方式：传感器采用直流电供电或交流电供电；
 - k) 耐久性：传感器有效使用时限。
- A.3 传感器的主要性能参数应满足下列要求。
- a) 传感器的量程宜为预估测量范围值的 2 倍~3 倍。
 - b) 应根据监测参数和传感器类型选择适当的采样频率。当在对结构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，采样频率宜为结构主要频率的 3 倍~4 倍。
 - c) 传感器应具有良好而稳定的线性度，在对结构位移及应变等反应进行监测时需要满足较高的线性度要求。
 - d) 传感器应具有良好而稳定的分辨率，且应比所需监测参数的最小单位量级小一个量级。
 - e) 传感器的精度应满足智能监测的要求，且不大于被监测量允许变化值的 1/10。
 - f) 传感器应具有良好而稳定的重复性。
 - g) 传感器测量值的漂移应严格控制。
 - h) 传感器的防水性好，抗干扰能力强，成活率高。
 - i) 不同类型传感器的供电方式应根据实际情况和监测要求确定。
 - j) 传感器应满足结构实际使用环境的要求。
 - k) 传感器的耐久性应满足结构安全监测持续的时间。

参 考 文 献

- GB/T 7665 传感器通用术语
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 22240 信息安全技术 网络安全等级保护定级指南
- GB/T 38509 滑坡防治设计规范
- GB/T 39610 倾斜数字航空摄影技术规程
- GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范
- GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术规范
- GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
- CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范
- CH/T 3004 低空数字航空摄影测量外业规范
- CH/T 3005 低空数字航空摄影规范
- CJJ/T 73 卫星定位城市测量技术标准
- DL/T 5211 大坝安全监测自动化技术规范
- DZ/T 0283 地面沉降调查与监测规范
- DZ/T 0450 地质灾害监测数据通信技术要求
- JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范
- T/CAGHP 002 地质灾害防治基本术语（试行）
- T/CAGHP 008 地裂缝地质灾害监测规范（试行）
- T/CAGHP 009 地质灾害应力应变监测技术规程（试行）
- T/CAGHP 013 地质灾害 InSAR 监测技术指南（试行）
- T/CAGHP 018 地质灾害地面三维激光扫描监测技术规程（试行）
- T/CAGHP 029 地质灾害地声监测技术指南（试行）
- T/CAGHP 033 地质灾害视频监测技术规程（试行）
- T/CAGHP 051 地质灾害地面倾斜监测技术规程（试行）
- T/CECS 16 结构健康监测海量数据处理标准
- CECS 333 结构健康监测系统设计标准
- T/CECS 652 结构健康监测系统运行维护与管理标准
- T/CSPSTC 43 城市轨道交通地下结构健康检测监测技术规范
- T/CSPSTC 89 地下交通枢纽运营期结构健康监测技术规程
- T/JSTJXH 8 城市轨道交通工程自动化监测技术标准
-