



T/CECS ***-2020

中国工程建设标准化协会标准

结构健康监测系统施工及验收标准

Standard for construction and acceptance of structural health
monitoring systems

(征求意见稿)

中国建筑工业出版社

中国工程建设标准化协会标准

结构健康监测系统施工及验收标准

Standard for construction and acceptance of structural health
monitoring systems

T/CECS XXX - 2020

主编单位：大连理工大学

中交路建交通科技有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2020 年 X 月 X 日

中国建筑工业出版社

2020 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 号

关于发布《结构健康监测系统施工及验收标准》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2018]030 号）的要求，由大连理工大学和中交路建交通科技有限公司等单位编制的《结构健康监测系统施工及验收标准》，经本协会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS XXX - 2020，自 2020 年 X 月 X 日起施行。

中国工程建设标准化协会

2020 年 X 月 X 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2018]030 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，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，制定了本标准。

本标准共分为 8 章和 5 个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、传感器系统、数据传输系统、采集子站与监控中心、工程质量总体验收、资料归档与系统交接。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑振动专业委员会归口管理，由大连理工大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：辽宁省大连市凌工路 2 号，大连理工大学土木工程学院，邮编：116023），以供今后修订时参考。

主编单位：大连理工大学

中交路建交通科技有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

- 1 总则
- 2 术语
- 3 基本规定
 - 3.1 进场检验与保管
 - 3.2 施工工序与质量管理
- 4 传感器系统
 - 4.1 一般规定
 - 4.2 传感器安装
 - 4.3 分项验收
- 5 数据传输系统
 - 5.1 一般规定
 - 5.2 线缆敷设
 - 5.3 数据传输设备安装
 - 5.4 分项验收
- 6 采集子站与监控中心
 - 6.1 一般规定
 - 6.2 采集子站安装
 - 6.3 监控中心配置
 - 6.4 软件系统调试
 - 6.5 分项验收
- 7 工程质量总体验收
 - 7.1 一般规定
 - 7.2 竣工验收
 - 7.3 性能验收
- 8 资料归档与系统交接
 - 8.1 一般规定
 - 8.2 资料整编与归档

8.3 操作培训与系统交接

附录 A 材料设备进场验收记录表

附录 B 监测系统分项验收表

附录 C 缺陷项目汇总表

附录 D 验收报告编制大纲

附录 E 项目交接验收资料清单

本标准用词说明

附：条文说明

Contents

1	General provisions
2	Terms
3	Basic requirements
3.1	Entering inspection and storage
3.2	Construction procedure and quality management
4	Sensor system
4.1	General requirements
4.2	Installation of sensors
4.3	Acceptance of sub-item project
5	Data transmission system
5.1	General requirements
5.2	Data transmission cable laying
5.3	Installation of data transmission devices
5.4	Acceptance of sub-item project
6	Data acquisition substation and monitoring center
6.1	General requirements
6.2	Installation of data acquisition substation
6.3	Configuration of monitoring center
6.4	Debugging of software system
6.5	Acceptance of sub-item project
7	Acceptance of entire engineering quality
7.1	General requirements
7.2	Completion acceptance
7.3	Performance acceptance
8	Data archive and system handover
8.1	General requirements
8.2	Data compilation and archiving
8.3	Operation training and system handover
Appendix A	Record table for entering materials and equipment
Appendix B	Sub-item acceptance table for monitoring system
Appendix C	Summary table of defective items
Appendix D	Compilation outline of acceptance report
Appendix E	Checklist of project handover and acceptance records
	Explanation of wording in this standard
	Addition: Explanation of provisions

1 总 则

1.01 为提高结构健康监测系统工程施工技术和管理水平，规范工程验收的程序、方法和要求，保证工程质量，制定本标准。

1.02 本标准适用于结构健康监测系统的新建工程，对于维修、改造和升级工程可参照执行。

1.03 对于结构或施工条件有特殊要求的工程，当本标准缺乏适宜的规定时，应视情制定施工措施和质量检验标准，并报主管部门审批。

1.04 结构健康监测系统施工及验收除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 结构健康监测 structural health monitoring

利用现场的、无损的、实时的方式采集环境荷载作用与结构信息，分析结构反应的各种特征，获取结构因环境因素、荷载作用、损伤或退化而造成改变的信息。

2.0.2 传感器 sensor

能感受规定的被测量，并按照一定规律（数学函数法则）转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。

2.0.3 数据传输系统 data transmission system

将传感器获取的各类数据传输到监控中心或用户终端的装备，通常由终端设备、网络互联设备和传输介质组成。

2.0.4 综合布线系统 generic cabling system

开放式网络拓扑结构，能够支持信息电子设备相连的各种缆线、跳线、接插软线和连接器件组成的系统。

2.0.5 采集子站 data acquisition substation

用于安放多种监测参量的数据采集、联动控制、数据传输和供电电源等设备的装置或封闭区域。

2.0.6 监控中心 monitoring center

用于安放监测系统相关的服务器、工作站、存储设备、显示设备等设备的集中场所。

2.0.7 竣工验收 completion acceptance

由建设单位组织，对结构健康监测系统合同约定的内容和工程质量的检验。

2.0.8 性能验收 performance acceptance

由建设单位组织，对结构健康监测系统运行性能的检验。

2.0.9 系统交接 system handover

不同单位或使用者之间，对结构健康监测系统进行移交或接替的工作。

3 基本规定

3.1 进场检验与保管

3.1.1 材料进场检验应符合下列要求：

- 1 品种、规格和数量应符合设计要求。
- 2 性能指标应符合国家现行相关标准的规定。

3.1.2 材料进场保管应符合下列要求：

- 1 搬运过程中应避免机械损伤、沾污、锈蚀或散失。
- 2 应按材质、型号和规格进行分区和分类保管。
- 3 存放时间不应超过产品保质期，对易锈蚀材料的存放不宜超过 6 个月。

3.1.3 设备进场检验应符合下列要求：

- 1 设备的名称、型号和数量应与设计文件要求一致。
- 2 铭牌标志、备件和附带技术文件应齐全。
- 3 外观应无锈迹或裂痕，各部件连接应牢固，引出线缆应无损坏，安装孔尺寸及安装孔间距应符合技术文件要求。

3.1.4 设备进场保管应符合下列要求：

- 1 应全部登记和编号，相关记录应存档。
- 2 应存放在通风干燥、远离热源、避免电磁干扰或可能遭受腐蚀性物质影响的地方。
- 3 应按设备技术文件的规定分类保管、正确放置，分类标识应明显清晰。

3.1.5 材料设备进场验收，宜按本标准附录 A 记录。

3.2 施工工序与质量管理

3.2.1 结构健康监测系统的施工包括前期准备、现场实施和检查验收三个阶段。

3.2.2 施工前期准备应符合下列规定：

- 1 应组织技术人员进行现场调查，并做好各项准备工作。

2 应组织技术人员对设计资料进行检查，若发现问题应及时按相关规定办理设计变更手续。

3 应组织设计人员对建设、施工和监理单位相关人员进行设计交底。

4 应根据国家有关法律法规、现行标准制定各专项施工方案。

3.2.3 现场实施应符合下列规定：

1 应建立技术和安全交底制度，作业前应对施工人员进行交底。

2 使用的原材料、安全防护用品、机械设备和生产工具等应为合格产品。

3 实施过程中的安全技术、劳动保护、防火措施及环境保护应符合国家现行有关法律法规和有关标准的规定。

4 自主研发的软件应经安全性、可靠性、可恢复性和兼容性等测试合格后方可部署。

5 在已服役结构上实施健康监测系统时，现场实施不应影响结构的正常使用。

6 现场实施中的下脚料、废弃物等垃圾应统一回收，不得对环境造成污染。

3.2.4 检查验收应符合下列规定：

1 工程质量验收应在施工单位自检基础上，按照检验批、分项工程、分部（子分部）工程、单位工程顺序依次进行。

2 应按先主控项目后一般项目的顺序进行检查验收。

3 检查和验收采用的仪器仪表、量具和量器应检定合格且在有效期内。

3.2.5 施工质量管理应符合下列规定：

1 施工现场应有健全的质量管理体系、质量管理制度和施工技术标准。

2 应对施工过程进行质量控制，并按工序和质量控制点进行检验。

3 质量管理应包括监测硬件和软件进场验收、隐蔽工程过程检查验收、工程安装质量检查、系统自检和试运行。

4 硬件安装质量检验的抽检数量应符合下列规定：

1) 应对所有电源设备和数据传输设备的安装质量进行检验；

2) 每类传感器的抽检率不应小于 30%，且不少于 1 个；

3) 每类数据采集设备的抽检率不应小于 10%，且不少于 1 台。

5 软件测试应符合现行国家标准《计算机软件测试标准》GB/T 15532 的规定。

4 传感器系统

4.1 一般规定

4.1.1 安装前应进行施工现场勘查，应根据设计文件、监测需求、传感器要求和现场条件选择合适的传感器安装方式，宜采用内部预埋式、钻孔埋置式或外部固定式对传感器进行安装。

4.1.2 传感器和引出线缆应满足设计技术指标要求，安装前应核查产品的说明书、合格证，并测试传感器的工作性能。

4.1.3 现场施工不应降低结构的安全性、适用性和耐久性，且不得对传感器的外观和使用性能造成影响。

4.1.4 安装传感器使用的预埋件、锚杆、基座、支架、夹具和保护装置应具有足够的强度、刚度和耐久性。

4.1.5 传感器安装应牢固，不应出现滑动和旋转。

4.2 传感器安装

4.2.1 安装前，应处理传感器安装面并符合下列规定：

1 传感器采用钻孔埋置式安装时：

- 1) 应确保钻孔位置无钢筋或其他预埋钢构件；
- 2) 钻孔直径应大于传感器垂直于钻孔方向最大直径的 1.5 倍，且小于传感器垂直于钻孔方向最大直径的 5 倍；
- 3) 应清除钻孔内的杂物和灰尘。

2 传感器直接固定于结构表面时：

- 1) 当安装在混凝土结构表面时，应去除距离传感器安装面边沿大于 30mm 且小于 60mm 区域内的粉刷层和表面灰尘，处理后结构表面应平整；
- 2) 当安装在钢结构表面时，应去除距离传感器安装面边沿大于 20mm 且小于 50mm 区域内的涂装层和锈迹，处理后结构表面应平整无锈。

3) 当安装在缆索表面时, 应去除距离传感器安装面边沿大于 20mm 且小于 50mm 区域内的缆索护套。

3 传感器通过安装基座固定于结构表面时:

- 1) 基座宜采用可焊性好的不锈钢材料制作, 表面应平整无锈;
- 2) 当基座通过支架固定于结构表面时, 支架应与结构牢固连接, 支架的第一阶振动频率应大于所安装传感器采样频率的 4 倍;
- 3) 基座边沿超出传感器安装面边沿距离应大于 20mm, 且应小于 50mm;
- 4) 水平安装传感器时, 基座安装面的坡度应小于 1° ; 竖直安装传感器时, 基座安装面的倾斜度应小于 1° ;
- 5) 基座应与结构或支架牢固连接。

4.2.2 安装前, 应定位传感器并符合下列规定:

1 内部预埋式:

- 1) 安装位置偏差应小于 30mm;
- 2) 对于有测量方向的传感器, 方向角偏差应小于 1° ; 对于有调水平要求的传感器, 倾斜度应小于 1° 。
- 3) 采用钢筋辅助定位时, 钢筋直径应小于 4mm;

2 钻孔埋置式:

- 1) 安装位置偏差应小于 10mm;
- 2) 对于有测量方向的传感器, 方向角偏差应小于 1° ; 对于有调水平要求的传感器, 倾斜度应小于 1° 。

3 外部固定式:

- 1) 安装位置偏差应小于 10mm;
- 2) 对于有测量方向要求的传感器, 方向角偏差应小于 0.5° ; 对于有调水平要求的传感器, 倾斜度应小于 0.5° 。

4.2.3 安装传感器应符合下列规定:

- 1 传感器安装应与结构施工相协调, 不宜影响结构施工进度。
- 2 安装传感器应轻拿轻放, 并应避免施工工具碰撞和刮擦传感器。
- 3 对于有安全接地和防雷接地要求的传感器, 安全接地电阻应小于 4Ω , 防雷接地电阻应小于 10Ω 。

4 当采用内部预埋式安装传感器时：

1) 应采用有效的措施对传感器进行保护，防止结构施工造成传感器损坏和移位；

2) 采用传感器预埋入小试块的保护方式时，试块的设计强度应与周边混凝土的设计强度相同。

5 当采用钻孔埋置式安装传感器时：

1) 应采用细石混凝土或砂浆填实钻孔空隙；

2) 应采用有效的措施养护细石混凝土或砂浆，养护时间不应少于 7 天；

3) 应采用有效的措施防止细石混凝土或砂浆在硬化前被破坏，并应采用有效的措施防止传感器在细石混凝土或砂浆硬化前被移位。

6 当采用胶结材料固定传感器时：

1) 应采用有效的措施防止胶结材料渗入传感器内部；

2) 胶结材料固化前，应及时清除多余的胶结材料，并应采用有效的措施防止粉尘和异物侵入未硬化的胶结材料；

3) 胶结材料固化前，应采用有效的辅助装置固定传感器，且固定时间不应小于 1 天；

4) 当采用加热方式加速胶结材料固化时，应避免传感器过热；

5) 胶结材料固化后，应及时拆除辅助装置。

7 当采用焊接固定传感器时：

1) 传感元件不应通过焊接电流；

2) 宜采用绝热材料隔绝传感器温敏构件与焊接点之间的热交换，避免过热导致传感器损坏；

3) 焊接完成后，应及时去除焊渣。

8 当采用螺栓连接固定传感器时，螺栓应拧紧，并应采用有效的措施防止螺栓因振动而松脱。

9 当采用夹具和抱箍固定传感器时，夹具和抱箍不应损坏传感器，且不应影响传感器的正常工作。

4.2.4 安装传感器保护装置应符合下列规定：

1 保护装置应可靠有效，且不应影响传感器的正常工作。

2 宜采用方便拆卸的螺栓、夹具或抱箍固定保护装置。

3 保护装置内壁不宜接触传感器。

4 保护装置开口处宜有防止生物侵害的措施。

4.2.5 安装引出线缆应符合下列规定：

1 对于内部预埋式和钻孔埋置式安装的传感器，当线缆端部有可插接接头时，引出线缆露出结构表面的长度应大于 0.5m；当线缆端部没有可插接接头时，引出线缆露出结构表面的长度应大于 1m。

2 对于外部固定式安装的传感器，当线缆端部有可插接接头时，引出线缆露出保护装置的长度应大于 0.5m；当线缆端部没有可插接接头时，引出线缆露出保护装置的长度应大于 1m。

3 引出线缆端部应设置清晰、牢固的编号牌。

4 引出线缆应采用有效的措施固定在结构或支架上，固定点之间的距离应小于 0.8m。

5 引出线缆不得缠绕和扭绞，硬质线缆最小弯曲半径应大于线缆外径的 20 倍，软质线缆最小弯曲半径应大于线缆外径的 10 倍。

6 线缆端部插接接头应有防止破坏和粉尘进入的措施。

4.2.6 安装传感器后整理现场应符合下列规定：

1 应设置包括传感器类型、型号和编号的固定标识牌。

2 应创建包括传感器类型、型号、数量、编号和通道的安装信息文档。

3 传感器初始数据的读取应在 24h 内完成。

4 应在传感器安装后的 7 天内恢复结构表面被去除的粉刷层或涂装层。

4.3 分项验收

4.3.1 传感器和配件的类型、型号、数量和安装位置应满足设计文件要求。

4.3.2 传感器附近应有牢固、字迹清晰、内容完整的固定标识牌，且安装信息文档的内容应完整、清晰、准确。

4.3.3 传感器及配件安装应牢固和端正，应无明显的破损、变形、划伤、刻痕、

剥落和锈蚀，引出线缆和插接接头应有有效的保护。

4.3.4 细石混凝土或砂浆应无肉眼可见的裂纹、凹陷和鼓胀，胶结材料内部应无异物，焊缝或焊点应光滑且无明显缺陷，安装传感器的结构表面应恢复平整。

4.3.5 传感器工作性能应正常，安装位置偏差、安装角度偏差、安全接地电阻和防雷接地电阻应符合安装要求。

5 数据传输系统

5.1 一般规定

5.1.1 线缆敷设应包括支架、桥架和线缆三部分的安装，支架、桥架应进行防腐处理。

5.1.2 线缆敷设应满足设计要求，并按最短路径原则集中安装、敷设，且敷设线路不应影响结构的正常使用和维修。

5.1.3 线缆应具有一定的冗余度，安装过程中应避免发生破损，各部分连接应牢固可靠。

5.1.4 数据传输设备安装包括机柜安装和终端设备安装，应在线缆敷设完成后进行，。

5.1.5 应建立包括线缆和设备类型、型号、编号和接口的安装信息文档，并在两段装设统一、清晰的标签，线缆和设备的保护装置应可靠有效。

5.1.6 数据传输系统安装完成后，工作性能应正常，数据传输应稳定可靠。

5.2 线缆敷设

5.2.1 支架安装应满足以下规定：

- 1 安装坡度和弧度应与结构的坡度和弧度相同。
- 2 当采用焊接安装时，不应出现漏焊、欠焊、裂纹或咬边缺陷；当采用栓接时，钻孔应避开结构内部钢筋，安装后应采用适宜措施填塞孔洞。
- 3 支架间距应整齐美观并符合设计规定，当设计无规定时，间距宜为 1.5 m ~ 3 m 并均匀布置。

5.2.2 桥架安装应满足以下规定：

- 1 桥架底部应高于地面并不应小于 2.2m，顶部距离建筑物不宜小于 0.3m。
- 2 桥架转弯半径不应小于槽内线缆的最小允许半径，直角弯处最小弯曲半径不应小于槽内最粗线缆外径的 10 倍。

3 桥架垂直段大于 2 m 时，应在垂直段上端和下端槽内增设固定线缆的支架；当桥架垂直段大于 4 m 时，应在中部增设支架。

4 应选用平滑的半圆头螺栓连接，螺母应在线缆槽外侧；对易受环境振动影响的桥架，应对螺母采取防滑措施或选用防松螺栓。

5.2.3 线缆安装应满足以下规定：

1 敷设前应按设计和实际路径计算每根线缆的长度，合理安排每盘线缆，减少线缆接头。

2 电缆和数据信号线缆应分隔布设，在同一桥架内时，应利用金属板进行隔离；布设应横平竖直、整齐美观，无扭绞现象。

3 应根据线缆的类别、数量、缆径、线缆芯数分束绑扎。绑扎间距不宜大于 1.5m，间距应均匀，松紧应适度。垂直布放线缆应在线缆支架上每隔 1.5m 固定。

4 不宜有中间接头，当无法避免时应在接线箱或拉线盒内接线，接头宜采用压接；对金属线缆，应选用无腐蚀性的助焊剂焊接；对光缆，应选用专用熔接机进行熔接；接头应采用有效防水措施。

5 线缆终端接线处和经过伸缩缝或沉降缝的位置处，应留有变形余度或采取适宜的构造措施避免线缆受拉断裂。

6 线缆应具有阻燃、绝缘、屏蔽性能。

7 应避免布置在易受雨淋、太阳直射、有腐蚀性和强电磁干扰的区域，当无法避免时，应采取防护和屏蔽措施。

8 线缆端头与设备之间的屏蔽层应保持连续并应可靠接地。

9 电缆独立采用金属线槽或钢管独立敷设时，线槽或钢管应保持连续的电气连接，并应有不少于两点的良好接地。

5.3 数据传输设备安装

5.3.1 机柜安装应满足以下规定：

1 安装应端正牢固，垂直偏差不应大于其高度的 1‰。

2 应采用膨胀螺栓对地加固，柜顶应采用夹板与列槽道上梁加固。

3 内部分配架、配线架及子架的安装应牢固、排列整齐、插接件接触良好；机柜内立柱的垂直度不应超过 2mm/m，任意相邻两块平板之间的不平度不应超过 2mm。

4 机柜内走线应强电、弱电分别在机柜两侧走线，并用扎带理顺扎好，整齐有序。

5 机柜内的配电模块和串接用电设备，应装在机柜正面顶部或背面下部，柜内不应使用电源插座。

6 散热良好，柜顶应有风扇强排散热。

7 进、出线孔应进行防水处理；机柜应有可靠接地措施。

5.3.2 终端设备安装应满足以下规定：

1 数据传输终端设备，除监控中心的显示屏外，其它数据传输设备均应安装在机柜内；

2 机柜内设备安装应具有一定的间隔，满足设备散热要求。

3 应在机柜内设备安装架上用螺丝将设备固定，且应加垫片。

4 设备的安装方式应便于连接线缆的进线和出线需求，并留有足够的安装和维修空间。

5 数据传输终端设备应通过接地线与等电位网连接，机柜内宜配置防静电手环。

6 应对设备和接线孔进行编号和标识。

7 设备的各级熔丝规格应满足设计文件要求。

5.4 分项验收

5.4.1 线缆验收一般项目

1 线缆敷设图纸材料、归档资料齐全，符合设计规定。

2 支架、桥架安装端正、稳固，配件齐全，无锈蚀，螺栓连接牢靠；支架安装间距均匀，且间距为 1.5 m ~ 3 m 之间。

3 支架、桥架的安装坡度和弧度与结构的坡度和弧度一致，无焊接缺陷。

4 桥架底部应高于地面 2.2m，顶部距离建筑物应大于 0.3m。

5 电缆和数据信号线缆分隔布设；线缆排列整齐、有序，绑扎牢固，无机械损伤，线缆两段标签应装设齐全、正确、清晰。

6 机柜内走线强电、弱电分离，并用扎带理顺扎好，整齐有序。

5.4.2 线缆验收主控项目

1 中间接头满足本标准要求，并采用有效防水措施。

2 线缆接口可靠，连通性正常。

3 线缆满足阻燃、绝缘、屏蔽性能要求。

4 桥架、线缆的防水和接地措施良好。

5 桥架转弯半径不小于槽内线缆的最小允许半径，直角弯处最小弯曲半径不小于槽内最粗线缆外径的 10 倍。

6 线缆终端接线处和经过伸缩缝或沉降缝的位置处，留有足够变形余度或采取构造措施。

5.4.3 终端设备验收一般项目

1 设备的合格证书、产品说明书和操作说明书齐全；设备的设计文档、接线方式，以及安装记录齐全；设备标识整齐清楚。

2 机柜安装牢固，垂直偏差不大于其高度的 1‰，机柜强度满足规范要求，有可靠接地措施。

3 机柜内配架、配线架及子架的安装牢固、排列整齐、插接件接触良好；机柜内立柱的垂直度不超过 2mm/m，任意相邻两块平板之间的不平度不超过 2mm。

4 机柜内的配电模块和串接用电设备安装正确。

5 机柜散热性能良好，设备内风扇装置应运转良好。

6 终端设备的安装牢固，进、出线孔防水处理有效，机柜内有足够的安装和维修空间。

7 设备通电后，各设备的供电正常；设备的各级熔丝规格满足设计文件要求。

5.4.4 终端设备验收主控项目

1 数据传输的路由功能、容错功能、网络管理功能和局域网功能正常，且满足设计文件要求。

2 对数据传输的网络连通性进行检测，并能对网络故障发出告警信息。

3 对设备进行测试检查，确认硬件系统无故障，并提供测试报告。

4 对设备进行试运行测试，数据传输应稳定可靠，数据传输响应时延性时间应满足设计要求。

5 设备的网络安全性应满足设计要求。

6 采集子站与监控中心

6.1 一般规定

6.1.1 采集子站安装和监控中心配置前应进行施工现场勘查，根据设计要求和现场情况选择适宜的施工工艺和安装方法。

6.1.2 采集子站和监控中心的设备及缆线应满足设计技术指标要求，安装前应检查产品的说明书、合格证和工作性能。

6.1.3 采集子站和监控中心自身结构的强度、稳固性以及质量应满足要求，且内部设备安装牢固、接头连接可靠。

6.1.4 采集子站和监控中心的施工和调试过程应有详细记录，验收后应建立施工和调试文档。

6.1.5 采集子站安装和监控中心配置完成后应满足下列要求：

- 1 硬件设备正常工作。
- 2 软件工作性能良好。
- 3 设备和线缆接头处应有清晰明显的标识。

6.2 采集子站安装

6.2.1 采集子站安装应满足以下规定：

1 安装位置偏差应小于 30 mm，垂直度偏差应小于子站高度 1‰，站门的最大开启角度应小于 90°。

2 应安装牢固，宜采取减振措施，设备停机时子站底部表面垂直及水平向的振动加速度值应小于 50 mm/s²。

3 孔洞应密封，管线及门洞处宜有防止生物侵害的措施。

4 应安装火灾报警系统，子站外部尚应设置二氧化碳、卤代烷 1211 或卤代烷 1301 灭火器并配备绝缘鞋及手套。

6.2.2 采集子站内部设备安装应满足以下规定：

1 内部电缆线间及对地绝缘值应大于 $0.5\text{ M}\Omega$ ；当无设计规定时，宜优先布置在机柜下部空间并排列整齐；

2 应安装温度、湿度调节装置，且应避免对其他设备的干扰，控制站内的温度在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间，温度变化率应小于 $15\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 且不应有凝露，相对湿度在 $20\% \sim 80\%$ 之间。

3 应安装防尘设备，保证静态测试条件下站内每升空气中大于或等于 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 的尘粒数少于 18000 粒/m^3 。

4 应配置备用电源或电池，控制站内交流电电压在 $200\text{ V} \sim 240\text{ V}$ 之间，频率在 $49\text{ Hz} \sim 51\text{ Hz}$ 之间。

5 设备及管线应合理布设安装，应满足防静电和电磁干扰要求，保证设备之间静电电位不大于 1 kV ，避免强电设备及开关的强电干扰，设备之间的无线电干扰场强不大于 126 dB ，设备周边磁场干扰环境场强不大于 800 A/m 。

6 应设置防雷和接地措施，满足设计要求，当设计文件无要求时：接地系统的工作交流接地不大于 $3\text{ }\Omega$ ，安全保护接地不大于 $3\text{ }\Omega$ ，防雷接地采用接地电阻小于 $2\text{ }\Omega$ 的联合接地。

6.3 监控中心配置

6.3.1 监控中心应满足以下规定：

1 应安装温度、湿度调节装置且应避免对其他设备的干扰，控制监控中心的温度在 $15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间，温度变化率应小于 $15\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 且不宜有凝露，相对湿度在 $30\% \sim 80\%$ 之间。

2 宜采取减振降噪措施，保证设备停机时，监控中心地板表面垂直及水平方向的振动加速度值应不大于 50 mm/s^2 ，监控中心主操作员位置的噪声值应小于 65 dB 。

3 应配置照明和应急照明系统，保证监控中心内正常情况下的照度不低于 300 Lx ，应急照明情况下的照度应不低于 50 Lx 。

4 应安装防尘设备，保证静态测试条件下站内每升空气中大于或等于 0.5

μm 的尘粒数少于 18000 粒/ m^3 。

5 监测中心内设备及管线应合理布设安装，应能满足防静电和电磁干扰要求；保证设备之间静电电位不应大于 1 kV，避免强电设备及开关的强电干扰，设备之间的无线电干扰场强不应大于 126 dB，设备周边磁场干扰环境场强不应大于 800 A/m。

6 监测中心设备之间的净距和通道的净宽应满足设计要求；当设计文件无要求时，相向布置的设备之间的净距应不小于 1.2 m，相对布置的设备之间的净距应不小于 1 m，用于设备搬运的通道的净宽应不小于 1.5 m，用于维修测试的通道的净宽应不小于 1.2 m，次通道上不应小于 0.8 m。

7 应设置防雷和接地措施，满足设计要求，当设计文件无要求时：接地系统的工作交流接地不大于 $3\ \Omega$ ，安全保护接地不大于 $3\ \Omega$ ，防雷接地采用接地电阻小于 $2\ \Omega$ 的联合接地。

8 应安装火灾报警系统，尚应设置二氧化碳、卤代烷 1211 或卤代烷 1301 灭火器并配备绝缘鞋及手套。

9 孔洞应密封，管线及门窗处宜有防止生物侵害的措施，内部设备的进线孔宜用防火泥进行封堵。

6.3.2 显示大屏幕安装应满足以下要求：

1 大屏幕显示墙组装应牢固，显示墙底部应与地面牢固连接。

2 显示墙到固定墙面的净距离应满足通风检修要求，如未规定应不小于 800 mm。

3 显示大屏幕的垂直度和水平度应满足设计要求：垂直度应 $\leq 1^\circ$ ；显示单元矩阵的层数不大于 2 层或列数不大于 5 时，屏幕上边缘的水平度应不大于 3 mm；显示单元矩阵的层数大于 2 且不大于 5 或列数不小于 5 时，屏幕上边缘的水平度应不大于 6 mm。

4 显示单元拼接处应均匀平整，投影显示单元物理拼接的缝宽应不大于 1 mm，LCD 显示单元物理拼接的缝宽应不大于 6 mm；十字拼接缝处应无明显错位和凹凸感，相邻显示单元平面度应不大于 1 mm。

5 显示单元应整洁且无划痕，显示单元三基色的色度和亮度应相同。

6 显示大屏幕的四周应进行收口，防止漏光。

7 现场安装前应提前运行安装点的空调和换风系统，清除管道内的粉尘。

8 温度、湿度调节装置宜远离显示大屏幕 3 m 左右，调整出口角度避免直吹设备及管线。

6.3.3 不间断电源（UPS）系统安装应满足以下要求：

1 UPS 设备机柜底座的水平度和不平度应满足设计要求，安装定位孔道位置正确。

2 UPS 进出线及电缆的铺设应满足设计要求，所有接线应有明确标识，电缆连接顺序合理，连接紧固。

3 UPS 电缆线间及对地绝缘值应大于 $0.5\text{ M}\Omega$ 。

4 电池组距墙壁和其他设备应大于 0.5 m，电池间的间隔应不小于 10 mm，保证周围空气的自由流动。

5 通电测试前应根据施工图、设备安装说明书检查系统回路，UPS 系统与主接地端子间的直流电阻应不大于 $10\text{ m}\Omega$ 。

6.4 软件系统调试

6.4.1 软件系统调试应包括以下内容：

1 供电调试：

1) 电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻应满足产品设计要求，用 500 V 兆欧表测量时不应小于 $5\text{ M}\Omega$ ；

2) 60 V 以上的直流电源电压波动不应超过 $\pm 10\%$ ，60 V 以下的直流电源电压波动不应超过 $\pm 5\%$ ；

3) 不间断电源宜进行自行切换性能试验，切换时间和切换电压值应符合招标文件规定。

2 信号调试：

1) 各传感器采集参数设置应满足招标文件要求；

2) 单个传感器采集数据的响应时间应满足招标文件要求；

3) 调试过程中应测试传感器返回信号的准确性。

3 数据调试:

- 1) 数据库中传感器的编号和数据应与现场传感器对应;
- 2) 各传感器的测量数据应不超过传感器的量程;
- 3) 数据存储精度应不低于传感器的测量精度。

6.5 分项验收

6.5.1 采集子站验收应符合下列规定:

- 1) 机柜门的最大开启角度不应小于 90° , 室外机柜门开启时, 应能防止外部积水进入机柜;
- 2) 室外机柜门应配置门锁, 防盗功能应满足设计要求;
- 3) 机柜安装位置与招标文件的偏差应小于 30 mm;
- 4) 机柜的防火措施应符合招标文件的规定;
- 5) 机柜内设备与机柜应连接牢固, 铆钉或锚固落幕应排列整齐, 铆接面无下凹、变形和破损;
- 6) 数据采集和传输设备应安装整齐美观;
- 7) 电线铺设应无绞拧、护层断裂和表面严重划伤。

6.5.2 监控中心验收应符合下列规定:

- 1) 线缆设备标签应完整清晰, 各种设备连接双绞线绑扎应结实整齐;
- 2) 电源线缆接地应符合防雷标准, 电源防水和绝缘应安全可靠;
- 3) 照明、地暖和供水功能应满足招标文件和实际工作环境的要求;
- 4) 硬件设备的电气接线应无松动、短路和断路;
- 5) 硬件设备应正常运行, 无损坏故障;
- 6) 显示器应画面清晰流畅, 色彩均匀, 无延时和闪烁;
- 7) 监控系统应正常运行;
- 8) 监控中心的防火防盗等级应符合招标文件要求。

6.5.3 软件系统验收应符合下列规定:

- 1) 软件调试、部署过程中的文档齐全，文档编写应符合招标文件的要求；
- 2) 软件系统界面应布局合理、层次清晰、界面美观，软件窗口、菜单、图标、按钮具有良好的容错能力；
- 3) 所有传感器应能正常返回数据到系统，动态同步采集的同步精度应小于 10 ms，静态同步采集的同步精度应小于 30 s；
- 4) 系统验证抽样传感器的误差应符合招标文件的要求；
- 5) 系统自动采集数据每日的数据完整率应不小于 95%；
- 6) 系统试运行的时间期限应符合招标文件规定，应不少于 3 个月；
- 7) 系统试运行期间平均无故障工作时间应不小于每月总时长的 95%。

7 工程质量总体验收

7.1 一般规定

7.1.1 结构健康监测系統具备验收条件时，应及时组织验收，未经验收或验收不合格的工程不应交付使用。

7.1.2 验收工作应由专业技术人员组成验收委员会（组）负责，验收委员会（组）成员应在验收成果文件上签字，验收委员（组员）的意见应在验收鉴定书或签证中明确记载。

7.1.3 验收应按分项工程验收、竣工验收和性能验收的次序进行，应满足以下规定：

1 分项工程验收应分为传感器系统验收、数据传输系统验收、采集子站与监控中心验收以及软件系统验收，验收表宜按本标准附录 B 填写。

2 竣工验收应分为各分项工程验收、系统试运行确认以及竣工资料文件验收。

3 性能验收应分为传感器系统性能验收、数据传输系统性能验收、采集子站与监控中心性能验收以及软件系统性能验收。结构健康监测系统的总性能验收应在各系统性能验收完成并达到要求后进行。

7.2 竣工验收

7.2.1 竣工验收宜在监测系统试运行完成后 3 个月内进行。

7.2.2 竣工验收应具备以下条件：

1 结构健康监测系統已按设计文件规定完成建设。

2 传感器系统、数据传输系统、采集子站和监控中心以及软件系统的分项验收满足要求。

3 监测系统试运行正常。

4 参建各方的工作报告已完成。

5 归档资料符合工程档案资料管理的有关规定。

7.2.3 竣工验收文件应包括以下内容：

- 1 结构健康监测系统竣工验收报告。
- 2 结构健康监测系统设计说明、竣工图、设计变更记录。
- 3 监测系统设备出厂合格证、说明书等技术文件以及检验记录。
- 4 分项工程质量验收记录。
- 5 监测系统异常事故发生和处理记录。
- 6 结构健康监测系统试运行报告。
- 7 缺陷项目汇总表，宜按本标准附录 C 填写。
- 8 竣工验收资料清单，宜按本标准附录 F 的表 F.0.1 填写。

7.3 性能验收

7.3.1 性能验收宜在竣工验收后 1 个月内进行。

7.3.2 传感器系统的性能验收应满足下列要求：

- 1 传感器工作性能应满足招标文件规定。
- 2 保护装置应可靠有效，对于埋入式传感器引出线缆的长度不应小于 1 m。
- 3 应设置包括传感器类型、型号和编号的固定标识牌。
- 4 应建立包括传感器类型、型号、数量、编号和通道的安装信息文档。

7.3.3 数据传输系统的性能验收应满足下列要求：

- 1 数据传输系统工作性能应满足招标文件规定，数据传输应稳定可靠。
- 2 保护装置应可靠有效。
- 3 应建立包括线缆和设备类型、型号、编号和接口的安装信息文档。

7.3.4 采集子站和监控中心的性能验收应满足下列要求：

- 1 硬件设备工作性能应满足招标文件规定。
- 2 软件工作性能良好。
- 3 设备和线缆接头处应有清晰明显的标识。

7.3.5 软件系统的性能验收应满足下列要求：

- 1 系统采集和储存数据的功能应满足招标文件规定；
- 2 系统数据显示、统计、调取功能应满足招标文件规定；
- 3 系统报警和预警功能应满足招标文件规定；
- 4 系统专项结构安全评估功能应满足招标文件规定；
- 5 系统数据安全性和防入侵能力应满足招标文件规定；
- 6 系统数据恢复功能应满足招标文件规定。

7.3.6 结构健康监测系统总性能验收应具备以下条件：

- 1 结构健康监测系统建设内容已按设计完成。
- 2 传感器系统、数据传输系统、采集子站和监控中心以及软件系统的性能验收满足要求。
- 3 结构健康监测系统运营维护单位已配备专业人员团队进行系统正常运营管理。
- 4 结构健康监测系统运营单位已根据相关标准规范要求制定各类设备、软件系统的日常养护手册。

7.3.7 性能验收文件应包括以下内容：

- 1 结构健康监测系统性能验收报告。
- 2 监测系统设备主要参数与运行状况报告。
- 3 数据存储与分析软件的运行记录。
- 4 性能测试与调试过程记录。
- 5 监测系统各类设备、软件系统的日常养护记录。
- 6 性能验收资料清单，宜按本标准附录 F 的表 F.0.2 填写。

8 资料归档与系统交接

8.1 一般规定

8.1.1 资料整编与归档，应以电子版和纸质版形式保存，包括传感器、数据采集设备、数据存储设备、数据传输设备、数据显示设备、系统软件和验收文件。

8.1.2 结构健康监测系统施工与验收完成后，应对监测系统使用单位的人员进行操作培训与系统交接。

8.2 资料整编与归档

8.2.1 传感器的资料整编与归档应包括下列内容：

- 1 类型、型号、性能参数、数量和编号。
- 2 数据存储格式和编号规则。
- 3 布置图与走线图。
- 4 埋设安装施工资料，宜辅以安装示意图或现场实拍图片。
- 5 对应的数据采集设备编号和数据采集通道编号。
- 6 采集的初始值、采集时间及其相应的施工阶段与荷载工况。
- 7 采集信号与对应物理量的换算方法。

8.2.2 数据传输设备的资料整编与归档应包括下列内容：

- 1 型号、出厂性能参数、安装环境要求和产品使用说明。
- 2 敷设要求和走线图。

8.2.3 数据采集设备的资料整编与归档应包括下列内容：

- 1 型号、出厂性能参数、安装环境要求和产品使用说明。
- 2 安放位置，宜辅以现场实拍图片。

8.2.4 数据存储设备的资料整编与归档应包括下列内容：

- 1 型号、出厂性能参数、安装环境要求和产品使用说明。
- 2 数据存储格式说明。

3 数据存储路径。

8.2.5 数据显示设备的资料整编与归档应包括数据显示设备的型号、出厂性能参数、运行环境要求和产品使用说明。

8.2.6 系统软件的资料整编与归档应包括下列内容：

- 1 基本参数设置。
- 2 测试内容、过程与结果，系统软件试运行记录。
- 3 功能模块与操作手册。
- 4 登录方式。
- 5 故障排除与恢复方法。

8.2.7 验收文件的资料整编与归档应包括下列内容：

- 1 传感器系统分项验收文件，应满足本标准条文4.5的要求。
- 2 数据传输系统分项验收文件，应满足本标准条文5.4的要求。
- 3 综合布线系统分项验收文件，应满足本标准条文6.3的要求。
- 4 采集子站与监控中心分项验收文件，应满足本标准条文7.5的要求。
- 5 监测系统竣工验收文件，应满足本标准条文8.2.3的要求。
- 6 监测系统性能验收文件，应满足本标准条文8.3.3的要求。

8.3 操作培训与系统交接

8.3.1 操作培训应包括下列内容：

- 1 数据采集设备的硬件连接和参数设置方法。
- 2 数据传输设备的通道连接和调试方法。
- 3 数据存储设备的数据保存路径和参数设置方法。
- 4 数据显示设备的使用和参数设置方法。
- 5 结构健康监测系统软件安装、调试与使用方法。

8.3.2 系统交接应包括下列内容：

- 1 结构健康监测系统整编与归档的资料。
- 2 结构健康监测系统软件的安装、登录方式与使用方法，宜辅以操作视频。

3 操作培训的内容，宜辅以操作视频。

附录 A 材料设备进场验收记录表

A.0.1 材料设备进场的验收情况宜按表 A.0.1 的样式进行记录。

表 A.0.1 设备材料进场验收记录表

工程名称：

施工单位：

监理单位：

序号	名称	规格型号	进场数量	生产厂家/ 合格证号	是否正常	问题描述	验收人	验收日期
1	传感器				☐ 是 ☐ 否			
2	线缆				☐ 是 ☐ 否			
3	设备				☐ 是 ☐ 否			

验收负责人：

专业质检员：

复核人：

年 月 日

附录 B 监测系统分项验收表

B.0.1 传感器系统的验收情况应按表 B.0.1 的样式进行记录。

表 B.0.1 传感器系统验收表

工程名称： 传感器类型： 施工单位： 监理单位：

传感器编号	检查项目	是否正常	问题描述
1	☐ 基本要求 ☐ 外观目测 ☐ 仪器检测	☐ 是 ☐ 否	
2	☐ 基本要求 ☐ 外观目测 ☐ 仪器检测	☐ 是 ☐ 否	

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

B.0.2 数据传输系统的验收情况应按表 B.0.2 的样式进行记录。

表 B.0.2 数据传输系统验收表

工程名称： 线缆及设备类型： 施工单位： 监理单位：

线缆/设备编号	检查项目	是否正常	问题描述
1	☐ 一般项目 ☐ 主控项目	☐ 是 ☐ 否	
2	☐ 一般项目 ☐ 主控项目	☐ 是 ☐ 否	

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

B.0.3 健康监测系统采集子站和监控中心的验收情况应按表 B.0.3 的样式进行记录。

表 B.0.3 采集子站和监控中心验收表

工程名称： 采集子站/监测中心编号： 施工单位： 监理单位：

验收对象	是否正常	问题描述
采集子站	☐ 是 ☐ 否	
监控中心	☐ 是 ☐ 否	
软件系统	☐ 是 ☐ 否	

验收负责人： 验收人： 记录人： 复核人： 年 月 日

附录 C 缺陷项目汇总表

C.0.1 缺陷项目汇总情况宜按表 C.0.1 的样式进行汇总。

表 C.0.1 缺陷项目汇总表

工程名称:

施工单位:

监理单位:

序号	缺陷项目	缺陷描述	位置	处理情况
1				
2				

汇总人:

复核人:

年 月 日

附录 D 验收报告编制大纲

D.0.1 验收报告编制大纲宜包括下面几项内容：

- 1 工程概况：项目情况介绍、相关单位、施工涵盖内容。
- 2 验收工作情况：验收流程、验收涵盖内容。
- 3 验收时发现的主要问题及处理意见：指出主要问题和处理方式。
- 4 竣工验收总结。
- 5 验收工作组成员签字。

附录 E 项目交接验收资料清单

E.0.1 项目交接验收资料清单宜按表 E.0.1 的样式进行记录。

表 E.0.1 项目交接验收资料清单

工程名称:

施工单位:

监理单位:

序号	资料名称	份数	是否正常	问题描述	验收人
1	系统设计说明、图纸、变更记录		☐ 是 ☐ 否		
2	设备材料进场验收记录表		☐ 是 ☐ 否		
3	监测系统分项验收表		☐ 是 ☐ 否		
4	缺陷项目汇总表		☐ 是 ☐ 否		
5	验收报告		☐ 是 ☐ 否		

验收负责人:

复核人:

年 月 日

本标准用词说明

1 为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，在条件许可时应首先应这样做的：

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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中国工程建设标准化协会标准

结构健康监测系统施工及验收标准

T/CECS XXX-2020

条文说明

目 次

- 4 传感器系统
 - 4.1 一般规定
 - 4.2 传感器安装

4 传感器系统

4.1 一般规定

4.1.1 内部预埋式是指在混凝土施工时，将传感器埋入混凝土内部。钻孔埋置式是指在混凝土结构施工完成后，在构件上钻孔，将传感器埋入孔内，最后采用砂浆或细石混凝土将孔填实。外部固定式是指将传感器通过粘贴、焊接、栓接、夹具或抱箍等方式固定于结构表面、基座或支架上。

4.2 传感器安装

4.2.1 传感器安装面是指在传感器安装时，传感器与结构接触的面。基座是指用于安装传感器的平面，包括通过预埋、螺栓、焊接或者粘贴固定于结构表面的钢板、采用混凝土浇筑的专门用于传感器安装的平台以及通过支架与结构表面连接的钢板。支架是指为了降低结构对被测物理量的干扰而在基座和结构安装面之间设置的连接架，主要用于安装风荷载传感器和环境温湿度传感器。