

ICS 07.040

CCS A 78

TB

团 体 标 准

T/CSGPC XXX-202X

城市轨道交通自动化变形监测系统规范

Specification for automatic deformation monitoring system of
urban rail transit

(征求意见稿)

(本稿完成时间: 2025年9月5日)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国测绘学会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 基本要求	2
4.1 一般规定	2
4.2 监测内容	3
4.3 监测精度	3
4.4 监测频率	3
4.5 系统设备	3
5 系统组成	4
5.1 一般规定	4
5.2 监测设备	4
5.3 供电系统	4
5.4 防雷装置	4
5.5 网络通信设备	5
5.6 监测服务器	5
5.7 系统软件	5
6 系统功能与性能	6
6.1 数据采集	6
6.2 数据传输	6
6.3 数据管理	6
6.4 数据分析处理	7
6.5 监测预警	8
6.6 三维可视化	8
6.7 系统管理要求	8
7 监测实施	8
7.1 一般规定	9
7.2 水平位移监测	9
7.3 垂直位移监测	10
7.4 深层水平位移监测	10
7.5 深层竖向位移监测	10
7.6 倾斜监测	11
7.7 裂缝监测	11
7.8 净空收敛监测	11
7.9 锚杆（索）拉力监测	11
7.10 结构应力监测	12
7.11 孔隙水压力监测	12
7.12 地下水位监测	12
7.13 爆破振动监测	12
7.14 岩土压力监测	12
7.15 其他监测	13
7.17 视频巡检	13
8 系统运维	13
8.1 一般规定	13

8.2 安装调试	13
8.3 系统运行	14
8.4 系统维护	14
9 系统检查与验收	15
9.1 检查与验收内容	15
9.2 质量评定方法	15
9.3 系统检查	16
9.4 系统验收	16
附录A（资料性）自动化监测工作流程	17
参考文献	18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX。

本文件起草人：XXX、XXX。

城市轨道交通自动化变形监测系统规范

1 范围

本文件规定了城市轨道交通自动化变形监测系统的基本要求、系统组成、系统功能与性能、监测实施、系统运维、系统检查和验收等内容。

本文件适用于城市轨道交通自动化监测系统的设计、建设、运维。

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 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准
GB/T 13923 基础地理信息要素分类与代码
GB/T 18314 全球导航卫星系统(GNSS)测量规范
GB/T 22240 信息安全技术网络安全等级保护定级指南
GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
GB/T 3785.1 电声学 声级计 第1部分：规范
GB 50057 建筑物防雷设计规范
GB/T 50308 城市轨道交通工程测量规范
GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范
GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
CH/T 6007 城市轨道交通结构变形监测技术规范
CH/T 9015 三维地理信息模型数据产品规范

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

城市轨道交通 urban rail transit

采用专用轨道导向运行的城市公共客运系统,包括地铁、轻轨、单轨、有轨电车、磁悬浮、自动导向轨道、市域快速轨道系统。

[来源: GB/T 50308-2017, 2.1.1]

3.1.2

变形监测 deformation monitoring

对监测对象的形状或位置变化及相关影响因素进行监测,确定监测体随时间变化特征,并进行变形分析的过程。

[来源: GB 50026-2020, 2.1.11]

3.1.3

自动化监测系统 automatic monitoring system

一种集基础软硬件、数据库、监测仪器及传感器、数据采集与处理、信息传输、成果分析展示及预警预报等相关软硬件于一体的监测系统。

3.1.4

监测传感器 monitoring sensor

通过接触方式或非接触方式，将特定的被测量信息（包括环境变化、应变、变形、振动等）按一定的规律（数学函数法则）转换成某种可用信号输出的器件或装置。

3.1.5

回归分析 regression analysis

从数理统计的理论出发，对变形量和各种作用因素的关系，在进行了大量的试验和观测后，建立数学模型研究他们之间一定的规律性，从而预测变形发展的趋势。

3.1.6

实景三维单体模型 realistic 3D Monolithic Model

实景三维单体模型是指利用倾斜摄影三维模型、激光点云等地理场景数据通过切割、重建、矢量叠加等操作处理，将地理实体构建为可量测、具备实景纹理信息和三维形式的独立对象。

3.1.7

监测项目控制值 controlled value for monitoring

为满足工程支护结构安全及环境保护要求，控制监测对象的状态变化，针对个监测项目的监测数据变化量所设定的受力或变形的设计允许值的限值。

[来源：GB 50911-2013, 2.1.15]

3.1.8

监测预警 monitoring and early warning

通过对自动化监测系统获取的监测对象的监测数据和状态信息进行分析，判断工程异常状态和风险征兆，并及时发出不同级别的安全警报信息。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CPU：中央处理器（Central Processing Unit）

GNSS：全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System）

JWT：JSON网络令牌（JSON Web Token）

MTBF：平均故障间隔时间（Mean Time Between Failure）

OAuth：开放授权（Open Authorization）

PM_{2.5}：细颗粒物（2.5-micrometer Particulate Matter）

PM₁₀：可吸入颗粒物（Inhalable Particles）

SPD：浪涌保护器（Surge Protective Device）

SSO：单点登录（Single Sign-On）

TSP：总悬浮微粒（Total Suspended Particulates）

UPS：不间断电源（Uninterruptible Power Supply）

VPN：虚拟专用网络（Virtual Private Network）

4 基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 城市轨道交通自动化监测系统的选型及建设应遵循安全可靠、方案可行、技术先进、经济合理、系统便于扩展和维护的原则。

- 4.1.2 城市轨道交通工程宜开展自动化监测。下列情况应实施自动化监测：
- a) 作业环境危险的工程；
 - b) 无人工监测条件的工程；
 - c) 需要进行高频次监测的工程；
 - d) 其他需要开展自动化监测的情况。
- 4.1.3 自动化监测系统的布置形式可根据建设单位要求、工程规模和特点等情况采用集中式、分布式、混合式或网络集成式监测系统结构。
- 4.1.4 监测系统应能实现数据采集、存储、传输、管理及统计分析、图表输出的自动化，并应具备自动预警功能。
- 4.1.5 监测系统运行期间，在正常维护和更换条件下，系统硬件、系统软件的更换与软件的升级应保障监测数据的衔接与分析的连续性。
- 4.1.6 监测系统应设定监测预警值，监测预警值应满足工程设计及监测对象的控制要求。
- 4.1.7 监测系统的运行维护应制定相应的运行管理、检查与维护制度。
- 4.1.8 自动化变形监测系统应进行检查与验收。
- 4.1.9 自动化监测系统应包含安全物理环境、安全通信网络、安全区域边界、安全计算环境、安全管理制度、安全管理机构、安全管理人员、安全运维管理等。
- 4.1.10 可采用快速连续测试、人工干预物理量和人工监测方法比对等方式，检查测值稳定性和准确性。

4.2 监测内容

- 4.2.1 自动化监测内容应依据监测对象的建设进度、运营情况与常规变形监测项目总体规划实施、统筹安排，适宜进行自动化监测的宜优先使用，以保证监测的连续性。
- 4.2.2 自动化监测对象的选择应在满足工程安全和周边环境保护要求的条件下，针对不同的施工方法，根据设计方案、周围岩土体及周边环境条件综合确定。
- 4.2.3 自动化监测项目应根据监测对象的特点、监测等级、工程影响分区、设计及施工的要求合理确定，并应反映监测对象的变化特征和安全状态。
- 4.2.4 自动化监测项目宜包括水平位移、垂直位移、深层水平位移、深层竖向位移、倾斜、裂缝、净空收敛、锚杆（索）拉力、结构应力、孔隙水压力、地下水位、振动、岩土压力、噪声、扬尘以及视频巡检等内容。
- 4.2.5 自动化监测的方法、测点布设、监测项目控制值等应满足GB 50911的有关规定。

4.3 监测精度

- 4.3.1 监测精度应根据监测项目、控制值大小、工程监测要求等综合确定，并应满足对监测对象的受力或变形特征分析的要求。
- 4.3.2 自动化监测精度应满足GB 50911与CH/T 6007等相关规范的要求。

4.4 监测频率

- 4.4.1 监测频率应能系统反映监测对象所测项目的重要变化过程及变化时刻。应根据施工方法、施工进度、监测对象、监测项目、地质条件等情况和特点，并结合当地工程经验进行确定。
- 4.4.2 自动化监测频率应满足GB 50911等的有关规定，应突出自动化监测全天候，24h不间断监测特点。
- 4.4.3 在关键工况、特殊天气、监测数据异常或变化速率较大、监测达到预警值等情况下应提高监测频率。

4.5 系统要求

- 4.5.1 自动化监测设备的各项性能指标应满足监测及国家相关现行标准的要求，设备应具有较强的环境适应性，其设计使用寿命宜覆盖监测周期。当监测设备无法满足监测周期时，应制定相应更换方案。
- 4.5.2 监测设备应经过检定或校准；当无法进行检定或校准时，应提供相应的设备满足要求证明性文件。
- 4.5.3 监测系统应确保信息安全自主可控；系统宜通过信息安全等级保护测评，测评等级应符合GB/T 22240中的规定以及建设单位信息安全管理的要求。

4.5.4 监测系统应具有良好的开放性和可扩展性，应能增加不同类型的自动化监测仪器设备，并能处理相应的监测数据。

5 系统组成

5.1 一般规定

5.1.1 自动化监测系统应包括监测设备、供电系统、防雷装置、网络通信设备、监测服务器及系统软件等各项系统组成部分。

5.1.2 自动化监测系统应在当地气候条件下稳定运行。

5.1.3 监测系统软件应符合国家信息安全标准，具备实时数据采集、存储、传输、分析和备份等功能。软件应遵循高内聚、低耦合原则，采用模块化设计。

5.2 监测设备

5.2.1 监测设备应包括传感器、数据采集终端及一体化监测设备。

5.2.2 传感器的量程、采样频率、重复性、分辨率、灵敏度、线性度、抗干扰性、采集信号的信噪比等性能应满足监测项目、监测周期、结构形式、应用条件等要求。传感器性能需符合以下要求：

- a) 传感器应具备高精度测量能力，且精度标准应符合相关国家和行业标准；
- b) 传感器在不同环境条件下应保持稳定，能在恶劣条件下（如高温、低温、高湿度等）长期工作；
- c) 传感器应具备抗电磁干扰能力，能够在高电磁干扰环境下正常工作；
- d) 传感器应具备防尘、防水、防腐蚀等功能，设备防护等级不应低于IP65，适用于城市轨道交通中的多种复杂环境。

5.2.3 数据采集终端应符合以下要求：

- a) 数据采集终端应根据监测需求配置合理的采集频率，实时或定时采集监测数据；
- b) 采集终端应能够整合来自不同类型传感器的数据，实现多源数据的融合处理；
- c) 数据采集终端应支持实时数据传输与本地缓存功能，监测数据应第一时间上传至监测管理系统，并在通信中断时自动缓存数据，通信恢复后及时上传。

5.2.4 监测设备应满足环境与安全要求：

- a) 数据采集系统应集成温湿度、气压、风速等环境监测数据，以便分析环境因素对变形监测结果的影响；
- b) 传感器应具有保护措施，所有传感器应安装活动式保护装置，传感器应具备防盗措施，传感器保护装置应根据现场要求采用316L不锈钢或其他耐腐蚀材料；
- c) 监测设备应设置标识牌，标识牌文字内容宜包括设备型号、编号、责任部门、安装日期。所有数据采集设备应采取适当的物理安全措施，防止设备受到人为破坏或自然灾害影响。宜加装防护栏或设置防护罩，可在设备安装位置配备摄像头监控。

5.3 供电系统

5.3.1 供电系统宜采用普通电源或太阳能供电系统，当采用普通电源时，应配备UPS。

5.3.2 太阳能供电系统应符合以下要求：

- a) 电池板应固定在不受遮挡的区域。对于GNSS监测设备，太阳能电池板不应高于GNSS天线高度角15°以上；
- b) 太阳能供电系统应配备控制器，控制器应具备电流、电压调节、实时监测供电系统状态功能；
- c) 蓄电池容量宜支持15天至30天的无日照供电条件。

5.3.3 应急供电系统应符合以下要求：

- a) 在重要的监测点或市电供应不稳定的区域，应配备备用电源；
- b) 系统应制定应急供电预案，预案应定期测试和演练。

5.4 防雷装置

5.4.1 防雷系统应包括外部雷电防护装置和内部雷电防护装置，应符合GB 50057及相关规范的要求。

5.4.2 外部雷电防护应符合以下要求：

- a) 外部雷电防护装置应安装接闪器。接闪器的高度、安装位置和类型应符合GB 50057及相关标准

要求；

b) 引下线应连接接闪器与接地装置。引下线应采用耐腐蚀、高导电性的材料。引下线的布置应满足最短距离要求；

c) 接地装置由接地体和接地线组成，接地电阻应符合GB 50343的要求。

5.4.3 内部雷电防护应符合以下要求：

a) 系统内部应采用等电位连接措施。所有金属部件及设备外壳应与接地系统进行可靠连接，并进行多点等电位接地；

b) 监测设备应安装SPD。SPD应具备多级保护功能，包括一级电源保护器和二级数据线路保护器。SPD的安装应符合GB 50343的规定；

c) 数据通信线缆和供电线缆应采取屏蔽措施。屏蔽层应与接地装置良好连接，且屏蔽线应在进入设备前进行单端接地。

5.5 网络通信设备

5.5.1 根据监测系统的运行需求和环境条件，数据传输方式可采用有线通信、无线通信或二者结合，具体要求如下：

a) 在可布设有线网络的区域，宜优先采用有线通信方式；

b) 在大型监测系统中，宜采用有线通信和无线通信相结合的混合通信方式。主干网络宜采用光纤或双绞线等有线方式，末端监测设备宜通过无线通信接入主干网络。

5.5.2 监测系统应支持标准化通信协议，确保各类传感器、数据采集设备和服务器之间的通信无缝衔接。

5.5.3 网络通信设备应具有下列安全保障：

a) 对于通过公共网络进行通信的数据，系统应配置VPN技术，VPN设备应支持多种加密算法，并定期更新加密协议；

b) 监测系统的核心网络应部署防火墙，并对各个子系统进行网络隔离。防火墙应具有访问控制、入侵检测、流量监控等功能，数据传输应启用身份验证机制。所有接入设备应通过严格地身份认证和授权控制策略；

c) 系统应采用数据加密传输协议。

5.6 监测服务器

5.6.1 监测服务器的部署宜优先采用云平台服务。当存在数据主权、特定合规性要求、极低延迟需求或特殊硬件依赖等无法采用云平台的情况时，可以选择部署在符合相应安全等级要求的本地机房。

5.6.2 云平台应选择具有高可用性、高安全性的数据中心，具备弹性扩展能力。云平台应确保数据安全，应符合GB/T 22240的要求。

5.6.3 现有机房资源或自建机房服务器环境应满足供电、防雷、抗干扰、信息安全防护等要求。机房应具备温度、湿度控制系统。

5.6.4 自建监测服务器应符合以下性能要求：

a) 服务器的CPU活跃负荷应不超过50%，内存占用量应控制在50%以内；

b) 监测服务器应具备快速的数据处理能力。对于实时数据传输，系统应确保在10分钟内完成数据的传输与处理；

c) 存储设备应具备高可靠性和冗余设计，硬盘存储器的容量应能存储不少于2年的自动化采集和常规变形监测数据；

d) 应定期将监测数据进行本地或异地容灾备份，宜采用自动化备份机制。

5.6.5 监测服务器应通过安全的方式接入互联网，网络连接应具备防火墙和入侵检测功能。服务器的数据传输应采用加密协议。所有接入服务器的用户和设备应通过多重身份验证。

5.7 系统软件

5.7.1 自动化变形监测系统软件应具备自动化数据采集、数据处理、预警管理、支持本地和云端存储自动备份、数据查询、数据分析和权限控制等基本功能。

5.7.2 系统软件结构应根据需要选择客户端/服务器（C/S）结构或浏览器/服务器（B/S）结构，并具备兼容性。

- 5.7.3 系统应具备分布式架构支持,实现多个节点的并行处理和数据存储,具备大数据量情况下数据处理与存储能力。
- 5.7.4 系统软件宜兼容不同厂商的监测设备,支持HTTP/HTTPS、FTP/SFTP、MQTT、WebSocket等通信协议和CSV、JSON、XML等数据格式。
- 5.7.5 系统软件应提供分级权限控制,访问控制,安全审计等方式保障其安全性。
- 5.7.6 系统API接口应满足其他系统对接和集成的需求。

6 系统功能与性能

6.1 数据采集

- 6.1.1 系统应具备连续自动数据采集与记录能力,应支持7×24小时不间断运行。
- 6.1.2 系统应支持数据采样频率的灵活调整。
- 6.1.3 系统应支持故障隔离功能,故障时应及时采取措施。
- 6.1.4 系统应支持监测点的灵活配置与管理,宜根据具体的监测任务和目标,进行适应性调整和优化设置。
- 6.1.5 系统应支持双向通信功能,保证采集数据的完整性和准确性。
- 6.1.6 系统应支持监测数据的人工录入。
- 6.1.7 系统应支持多种传感器类型的数据无缝集成。应提供数据格式转换功能,确保不同来源的数据兼容,并支持多种数据接口标准。

6.2 数据传输

- 6.2.1 数据传输系统应支持设定时间间隔的定时传输和实时传输功能,并具备数据优先级管理功能。
- 6.2.2 数据传输应支持HTTP/HTTPS、FTP/SFTP、MQTT、WebSocket等标准通信协议,并应根据监测需求允许使用具有可扩展性的自定义传输协议。
- 6.2.3 数据传输应进行数据加密与安全设计,并满足以下要求:
 - a) 数据传输应采用加密协议,支持端到端加密;
 - b) 数据传输双方应采用多因素身份验证,支持OAuth、JWT等认证机制;
 - c) 系统应基于角色和策略的访问控制,限制数据传输权限;
 - d) 系统应记录详细的传输日志,包括时间戳、传输内容摘要、状态等,支持事后审计和问题追溯。
- 6.2.4 系统数据完整性方面应采用校验算法对传输数据进行校验,异常数据应自动标识,并触发报警机制。针对传输失败情况,应具备自动重传功能和数据到达确认机制。
- 6.2.5 系统传输性能应满足轨道交通变形监测的高速传输要求,在数据量大的场景下保持传输稳定性,同时应具备低延迟传输能力。
- 6.2.6 系统应支持数据双向同步,确保中央控制系统与前端采集终端的数据一致性,提供双向同步状态监控。

6.3 数据管理

- 6.3.1 系统应提供监测项目信息的全面管理,包括立项时间、项目地点、建设单位、承建单位、监测单位、监理单位、运维单位及相关负责人等信息。
- 6.3.2 系统应管理监测设备的详细信息,包括编号、位置、埋设安装日期、基准值、初始值、现场照片、设备型号、规格、技术参数、厂商、使用说明书、合格证、生产日期、购置日期、检验率定、设备维修、检修和更换等信息。
- 6.3.3 系统应记录测点的编码、空间位置、关联设备及维护记录信息,并应支持实时采集和实时更新测点的监测数据的功能。
- 6.3.4 系统应支持监测内容的分类与定义。并提供实时与历史数据的快速查询及导出功能,支持数据的长期留存与追溯。
- 6.3.5 系统应实时采集传感器数据,并自动存储所获取的信息。系统应能够保留全部原始数据记录。
- 6.3.6 监测数据的入库应满足下列条件:
 - a) 应支持自动化采集和人工录入等多种格式数据导入;
 - b) 支持对导入数据进行格式验证及内容校验,自动清洗异常值及错误数据。

6.3.7 监测数据的查询与展示要求:

- a) 提供按时间、测点、测项、设备等多维度的条件查询, 并支持历史数据比对;
- b) 支持数据的分页显示、排序及可视化展示, 包括折线图、柱状图等常见图表形式。

6.3.8 系统应具备CSV、PDF、Excel等数据格式导出功能, 并支持报告模板的自定义与自动生成。

6.3.9 系统宜支持数字线划图信息的管理, 并应符合以下规定:

- a) 等高距宜采用0.5 m (平地)、1.0 m (丘陵);
- b) 平面位置中误差不宜大于0.30 m, 高程注记点、等高线中误差不宜大于0.20 m、0.25 m;
- c) 要素分类与代码应符合GB/T 13923中的规定;
- d) 数据格式应支持“.DWG”、“.DXF”及Shapefile文件。

6.3.10 系统宜具备实景三维模型的加载展示功能, 三维模型应符合以下规定:

- a) 实景三维模型宜采用单体三维模型;
- b) 实景三维模型地面分辨率不宜低于0.05 m, 平面精度、高程精度分别不宜低于0.3 m、0.5 m;
- c) 建筑要素、交通要素和水系要素等与监测对象相关的模型精细度应符合CH/T 9015中 I 级精细度表现的要求, 其他要素模型精细度不应低于 II 级精细度表现要求;
- d) 纹理精细度应符合CH/T 9015中 I 级精细度的要求;
- e) 实景三维模型存储格式应符合表1的规定。

表1 实景三维模型存储格式

数据类型		数据格式
几何数据		.3DS、.3DMAX、.3DM、.FLT、.OBJ、.X、.WRL、.KML、.DAE、.KMZ等
纹理数据	不带Alpha通道	.JPG、.TIFF、.PNG等
	带Alpha通道	.DDS、.TGA、.TIFF、.PNG等
	动画数据	.AVI、.MPG等
属性数据		.XLS、.DBF、.TXT、.KML、.SHP等
元数据		.XLS、.DBF、.TXT、.KML、.SHP等

6.3.11 系统应制定明确的地理数据更新策略, 要求如下:

- a) 轨道交通建设期间, 地理数据的更新周期不宜超过6个月;
- b) 在运营期内, 每次更新间隔不宜超过3年。

6.4 数据分析处理

6.4.1 监测系统应具有初步的数据整理和分析功能, 宜包括下列内容:

- a) 绘制监测物理量过程变化图;
- b) 绘制各监测物理量在时间和空间上的分布特征图;
- c) 绘制各物理量之间的相关关系图。

6.4.2 系统的的分析应综合考虑自然环境、地质条件及施工工况, 并采用以下方法:

- a) 对比自动化监测与人工监测数据, 评估数据一致性;
- b) 确保监测数据的准确性及科学性;
- c) 分析数据的累计值、日变化速率、峰值及特征频率;
- d) 包括最大值、最小值、年平均值、变幅及年变化率等统计分析;
- e) 基于历史数据建立数学模型, 通过回归分析、灰色系统分析或时间序列分析进行变形预测。

6.4.3 系统应根据轨道交通的建设与运营需求, 灵活调整数据分析周期:

- a) 分析水平和竖向位移监测基准点与工作基点的稳定性;
- b) 建设期内不宜超过1天, 试运营或初期运营期内不宜超过3个月, 运营期不宜超过6个月;
- c) 当监测数据达到预警标准后, 应加密分析周期;
- d) 在重大自然灾害、建筑物异常变化或损坏情况下, 应立即进行数据分析。

6.4.4 系统应根据项目管理信息、数据分析及生成的图表, 自动生成阶段性和总体变形监测报告。

6.4.5 监测报告应包括阶段性报告和总报告, 主要包括工程概述、监测项目、监测点布置、监测方法、监测成果及分析、结论、建议、附图、附表等内容。

6.5 监测预警

6.5.1 预警类别应包括系统故障预警、监测数据预警以及变形趋势性预警。

6.5.2 监测系统应具备针对各类监测数据类型配置预警规则的功能：

a) 自动化变形监测系统应根据工程设计、监测项目控制值、当地施工经验等制定预警等级及预警值；

b) 监测预警值的设定应依据监测项目的性质进行区分；

c) 变形监测预警值应包括变形监测数据的累计变化值 and 变化速率值；力学监测预警值宜包括力学监测数据的最大值和最小值；

d) 预警区域设置应支持设置不同监测区域的预警参数，支持分区域的预警管理。

6.5.3 系统应具有自动预警和自动调整监测频率的功能：

a) 自动化监测系统应根据监测预警类别和预警标准建立预警管理制度，包括不同预警类别的警情报送对象、方式和流程等内容；

b) 预警信息宜包括工程名称、预警区域、测点编号、监测类型、预警值、预警等级、预警时间等信息；

c) 当监测数据达到预警标准时，系统应自动推送预警信息；

d) 预警方式可采用短信预警或电子邮件预警等方式；

e) 检测到数据缺损、设备异常或通信故障时，系统应通过短信等形式及时通知维护人员；

f) 监测数据达到预警标准或预测总变形值已接近控制值时，应视变形发展情况增加监测点数量，提高相应监测点及周边各监测项目的监测频率，加强人工巡查。

6.5.4 系统应具有消警、重置功能。

6.6 三维可视化

6.6.1 系统宜集成高效的地图可视化技术。

6.6.2 系统宜支持在三维模型中展示监测点的空间位置和属性信息，并实现数据的实时更新，动态可视化实际变形量。

6.6.3 系统宜具备二维地图与三维场景的切换和对比功能，并支持同时展示二维与三维窗口，保持数据与站点位置的同步。

6.6.4 系统宜具备水平距离、垂直高度、空间距离和面积测量等三维场景测量功能。

6.6.5 系统宜具备空间分析能力，支持对监测区域变化及潜在风险进行分析，包括底层结构受力状态、水位动态预测及基于监测数据生成的热力图。

6.6.6 系统宜直观呈现监测点的空间位置、属性信息、实时数据及预测数据，具备播放控制功能，支持特定时间段内数据叠加分析。

6.6.7 系统宜在地图上展示预警信息，包括预警点位置、预警等级及时间，宜采用不同颜色和符号标识预警等级；系统应实现预警与监测数据的联动展示，当监测数据达到预警值时，自动高亮相关区域并标注预警信息。

6.7 系统管理要求

6.7.1 系统应提供灵活的用户角色定义和分级权限管理功能，分级权限管理应包括数据访问控制、模块访问权限、操作权限等多层级权限体系。

6.7.2 系统应支持用户名密码登录、手机验证码登录及SSO等多种登录方式，应提供用户注册、登录、密码找回、密码修改、启用或冻结用户等功能。

6.7.3 系统应提供记录用户的登录、登出及其他关键操作活动日志的系统日志功能。

6.7.4 系统应支持自动备份功能，备份数据应包括关键业务数据和系统配置文件，并支持手动触发备份操作。

6.7.5 系统应具有运行日志、故障日志记录，分类查询日志、导出日志功能。

6.7.6 系统宜支持在线更新和升级。

7 监测实施

7.1 一般规定

7.1.1 自动化监测方法宜根据监测对象和监测项目的特点、工程监测等级、设计要求、精度要求、场地条件和当地工程经验等综合确定。

7.1.2 自动化监测方法的选择，除本规范所述的各种监测方法外，亦可采用能满足现行有关标准要求的新技术、新方法，监测精度不应低于控制值的 $1/20\sim 1/10$ ，并应与传统监测方法进行比测。

7.1.3 同一工程的同一监测项目宜选择同类型、规格的传感器。同一工程的同一监测项目选择不同类型、规格传感器时应针对不同传感器进行比对测试。

7.1.4 监测传感器应满足以下要求：

- a) 监测传感器应满足监测精度和量程的要求，并应稳定、可靠；
- b) 监测传感器应按相应法规或项目要求定期进行检定或校准；
- c) 监测过程中应定期进行监测传感器的核查、比对、维护、保养。

7.1.5 监测传感器安装埋设应结合设计要求、现场环境及监测对象特征，确定安装工艺。

7.1.6 自动化监测系统的仪器设备及配套供电通讯防护等附件应安装牢固，并应不影响监测对象的安全运营，使用期间应定期维护设备，发现异常时应及时修复。

7.2 水平位移监测

7.2.1 水平位移监测可采用GNSS、全站仪自动监测系统、激光测距仪或机器视觉位移监测系统等。

7.2.2 采用GNSS进行水平位移监测应符合以下规定：

a) 接收机与天线的选型和防护措施应考虑防水、防尘、防雷、耐受高低温等恶劣环境与天气下传感器的稳定运行；

b) GNSS动态变形监测应至少设置1个参考站，必要时可增加1个参考站，参考点应选在变形区域范围影响范围之外，距离监测点的距离不应超过3km；

c) 卫星定位测量的选点、天线墩埋设等要求应符合GB/T 18314的规定；

d) 参考点与监测点的观测墩施工完成后稳定时间应不少于7天。GNSS设备安装且正常工作后，应取至少连续3次稳定观测值的平均值作为监测初始值。

7.2.3 采用全站仪自动监测系统监测应符合以下规定：

a) 全站仪自动化监测应根据观测精度要求、全站仪精度等级、监测点到仪器测站点的视线长度，进行观测方法设计和精度估算，水平监测基准网与监测网的布设与测量应满足GB 50308和GB 50911的有关要求；

b) 全站仪应安装在强制对中装置上，应具备倾斜自动补偿和超限提醒功能；

c) 在室外安装的全站仪应安装温湿度计、气压计进行大气改正补偿计算，并为全站仪的安全保护、恶劣环境与天气防护配置相应措施；

d) 全站仪控制程序应能按预定顺序逐点观测，数据不正常时应能补测或重测，并应能保存所有原始观测记录；

e) 每次观测时均应先进行基准点联测、稳定性判断和观测精度评定，然后再进行监测点数据计算；

f) 多台全站仪联合组网观测时，相邻测站之间重叠的观测目标不应少于2个，且空间分布上应与相邻测站构成足够的图形强度；

g) 多台全站仪联合组网观测时，应对多台全站仪、基准点和所有监测点组成的监测网进行整网平差和精度评定后再进行监测点数据计算。

7.2.4 水平位移监测采用激光测距仪时，应符合下列规定：

a) 测量精度不应低于1.0mm；

b) 激光测距仪应与接收靶配合使用，并保证两者的有效距离和稳定性；

c) 激光测距仪应设置在施工影响范围以外的稳定区域。

7.2.5 采用机器视觉位移监测系统应符合以下规定：

a) 机器视觉位移监测系统应由相机、相机镜头、靶标、照明光源等组成，并应根据监测要求、现场条件进行设备方案设计；

b) 机器视觉位移监测系统宜优先选择红外波段敏感靶标与补光光源；

c) 机器视觉位移监测系统应具备遥测功能，可通过指令获取现场图片或视频；

d) 机器视觉位移监测系统应根据景深、物方视场、视场角、精度、最小靶标尺寸、位置测点等技术参数设计相机的安装位置；

- e) 机器视觉位移监测点在相机视场范围内宜沿景深方向布设,当单台相机景深不满足测量要求时,应增设相机;
- f) 在相机景深范围内,宜选取稳固的位置布设不少于1个参照点;
- g) 监测点和参照点靶图案、标识或光源应清晰无破损,监测点标靶尺寸宜不超过100mm,在道床安装时应加装防护罩及反光标识;
- h) 多台相机联合组网观测时,相邻相机之间重叠的观测目标不应少于2个,且空间分布上应与相邻测站构成足够的图形强度;
- i) 多台相机联合组网观测时,应对多台相机、基准点和所有监测点组成的监测网进行整网平差和精度评定后再进行监测点数据计算。

7.3 垂直位移监测

- 7.3.1 垂直位移监测可采用静力水准仪监测系统、全站仪自动监测系统、机器视觉位移监测系统等。
- 7.3.2 采用静力水准仪监测时,静力水准仪应符合以下规定:
 - a) 静力水准仪精度和量程,应根据精度要求和预计最大沉降量选择;
 - b) 静力水准仪各部件应采用耐腐蚀的材质,仪器本体应有读数字装置;
 - c) 测量液体应做防腐处理,环境温度在0°C以下时应添加防冻液并混合均匀,防冻液添加量应根据工程当地的极端气候条件试验确定。
- 7.3.3 静力水准测量系统安装应符合下列规定:
 - a) 静力水准仪与安装底座之间应可靠连接,安装底座应与监测对象牢固连接,连通管路及接头应可靠连接,无渗漏;
 - b) 单条静力水准线路长度不宜超过200m,超过时,应增设转接点;
 - c) 静力水准安装底座应调整水平,同一条静力水准线路中的静力水准仪应处于同一高程,高差不大于其量程的20%,连通管路应平顺,管路内应充满测量液体,无气泡;
 - d) 液位式静力水准仪安装完成后,储液罐液位宜保持在储液罐2/3位置左右。
- 7.3.4 静力水准测量系统的运行维护应符合下列要求:
 - a) 静力水准线路起算点应采用水准测量法定期联测校核,校核周期不宜大于3个月;
 - b) 液位式静力水准仪应定期检查储液罐的液位,当液位下降时,应检查现场是否漏液并及时补液;压差式静力水准仪应定期检查传感器检查窗是否漏气进入气泡;静力水准仪检查周期不宜大于1个月;
 - c) 应定期查看静力水准仪内的液体情况,如出现结冰、变质等情况应及时更换液体,检查周期不宜大于1个月。
- 7.3.5 静力水准测量系统在进行数据处理时,应选取温度稳定、外界扰动小的时段采集数据。
- 7.3.6 采用全站仪自动监测时,宜与水平位移监测同步进行监测,且监测技术要求应符合7.2.3的规定。
- 7.3.7 采用机器视觉位移监测,监测技术要求应符合7.2.5的规定。

7.4 深层水平位移监测

- 7.4.1 深层水平位移监测可采用固定式测斜仪、滑动式测斜仪和阵列式位移计等设备。
- 7.4.2 测斜仪系统精度不宜低于0.25mm/m,传感器分辨率不宜低于0.02mm/500mm。
- 7.4.3 采用固定式测斜仪进行深层水平位移监测时,传感器布设应覆盖测斜孔深度要求,传感器间距宜为0.5m或1.0m。
- 7.4.4 采用滑动式测斜仪进行深层水平位移监测时,采集间隔应与滑动式测斜仪上下轮距保持一致并确保每次测量探头放置位置一致。
- 7.4.5 采用阵列式位移计进行深层水平位移监测时,传感器应安装于预埋固定的测斜管内,确保每节柔性关节和测斜管内部紧密贴合。
- 7.4.6 深层水平位移计算时,应确定固定起算点;固定起算点宜以测斜管底部为起算点。当测斜管底部未进入稳定岩土体或已发生位移时,应以管顶为起算点,并测量管顶平面坐标进行水平位移修正。

7.5 深层竖向位移监测

- 7.5.1 深层竖向位移监测根据监测需要可选择单点沉降仪法或分层沉降仪法。
- 7.5.2 单点沉降仪法和分层沉降仪法宜使用磁致式单点沉降仪和分层沉降仪。每套分层沉降仪装置可

含2个~8个测点。沉降仪量程应依据预估沉降量选择，但不宜小于200 mm。

7.5.3 沉降管和沉降磁环宜采用预埋方式，已建成监测对象应采用钻孔埋设方式。

7.5.4 采用单点沉降仪监测，沉降管钻孔直径宜为90 mm~110 mm；采用分层沉降仪监测，钻孔直径不宜小于110 mm。钻孔深度应深入基岩或稳定地层0.5 m~1 m。钻孔应垂直，倾角最大不应超过 $\pm 1^\circ$ 。

7.5.5 分层沉降监测点的点位数量与深度应根据分层土的分布情况确定，每土层应至少布设1个监测点，最浅的点位埋深不应小于0.5 m。

7.5.6 沉降管和沉降仪安装完成后，沉降管与钻孔孔壁之间应使用细沙回填密实。

7.6 倾斜监测

7.6.1 倾斜监测宜选择倾角计、全站仪自动化监测系统和静力水准仪等设备。

7.6.2 采用倾角计时，传感器的安装应明确记录安装的方向，并详细记录测点位置、间距、监测对象高度等特征信息。

7.6.3 倾角传感器的安装，应符合以下规定：

- a) 倾角传感器安装面应与被测量面完全贴合；
- b) 倾角传感器安装面应与被测量面固定紧密，避免传感器移位及受到振动影响；
- c) 双轴倾角传感器宜水平安装，安装时应保持传感器底边线与被测建筑轴线平行或垂直，不应存在夹角。

7.6.4 采用静力水准自动化监测系统时，应通过差异沉降法计算倾斜量。

7.6.5 采用全站仪自动化监测系统时，应通过监测点的三维坐标计算倾斜量。

7.7 裂缝监测

7.7.1 裂缝监测除可根据监测精度和量程、现场特点等采用差动电阻式、振弦式和电容式等不同测量原理测缝传感器外，还可以根据裂缝分布特点采用双向测缝计或三向测缝计等不同形式测缝传感器。

7.7.2 结构裂缝监测的内容应包括裂缝的位置、走向、长度和宽度，必要时可增加深度监测项。裂缝监测传感器布设数量应依据监测的目的和要求及裂缝特征和变化趋势确定。

7.7.3 每条裂缝宜安装不少于3组测缝计，其中1组安装在裂缝的最宽处，另外2组安装在裂缝的末端，并视裂缝的发展情况适时增设测缝计。

7.7.4 传感器的最大量程应能满足被测对象的变化范围，裂缝宽度测量精度应不低于 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

7.7.5 传感器应沿裂缝法线方向布设，且应考虑裂缝收缩和扩张两种状态。

7.8 净空收敛监测

7.8.1 净空收敛监测宜采用全站仪或激光测距仪等仪器。

7.8.2 采用全站仪进行监测时应符合下列规定：

- a) 全站仪宜安装在稳固的基座上，固定测线两端宜采用固定棱镜或反射片等观测标志；
- b) 全站仪测距精度应不低于 $\pm (1.0\text{mm}+1.0\text{ppm}\times D)$ ，其中 D 为实测距离值，单位为 km ；
- c) 净空收敛值宜采用收敛测线两端监测点距离变化进行计算。

7.8.3 采用激光收敛仪监测时，应将收敛仪固定牢固；反射靶安装角度应与激光方向垂直，垂直度不应超过 5° 。

7.8.4 应取至少连续观测3次稳定测量值的平均值作为初始值。

7.9 锚杆（索）拉力监测

7.9.1 锚杆（索）拉力监测宜采用安装锚杆应力计、锚索测力计法。

7.9.2 锚杆应力计、锚索测力计法可采用差动电阻式、振弦式等锚杆应力计、锚索测力计，传感器量程宜为对应设计值的2倍。

7.9.3 锚杆应力计、锚索测力计的安装应满足仪器使用说明的要求。

7.9.4 锚孔施工、锚杆（索）安装及锚杆应力计、锚索测力计安装完成后应对应力计、测力计进行检查测试。首期观测应在安装完成不少于7d后进行，应取至少连续观测3次的稳定平均值作为初始值。

7.10 结构应力监测

7.10.1 结构应力可通过安装在结构内部或表面的应变计或应力计进行自动化监测。

7.10.2 混凝土构件可采用混凝土应变计、钢筋应力计、光纤传感器等进行监测，钢构件可采用轴力计或应变计等进行监测。

7.10.3 应变计或应力计的量测精度不宜低于 $0.25\%F \cdot S$ ，其量程宜为设计应力值的2倍。

7.10.4 结构应力监测数据处理应修正温度变化等因素的影响，且钢筋混凝土结构应修正混凝土收缩、徐变以及裂缝的影响。

7.11 孔隙水压力监测

7.11.1 孔隙水压力宜采用振弦式渗压计、光纤光栅渗压计和电阻式渗压计等传感器进行自动化监测。

7.11.2 孔隙水压力计的量程应满足被测压力范围的要求，可取静水压力与超孔隙水压力之和的2倍，量测精度应不低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率应不低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

7.11.3 孔隙水压力计的埋设可采用钻孔埋设法、压入埋设法、填埋法等。

7.11.4 孔隙水压力计应在施工前埋设。埋设前，传感器透水石应在清水中浸泡饱和24h，排除透气石中的气泡。埋设后，应记录探头编号、位置并测读初始读数，且宜逐日量测一周以上获得稳定初始值。

7.11.5 孔隙水压力监测的同时，应测量孔隙水压力计埋设位置的地下水位。

7.12 地下水位监测

7.12.1 地下水位监测宜通过钻孔设置水位观测管，采用振弦式、电容式、激光静压式和光纤式水位计等进行自动化监测。

7.12.2 地下水位监测设备精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，且地下水位量测精度不宜低于10mm。

7.12.3 地下水位应分层观测，水位观测管的滤管位置和长度应与被测含水层的位置和厚度一致，被测含水层与其他含水层之间应采取有效的隔水措施。

7.12.4 水位观测管宜至少在工程开始降水前1周埋设，且宜逐日连续观测水位并取得稳定初始值，设备重新安装时应重新采集初始值并校准计算参数。

7.13 爆破振动监测

7.13.1 爆破振动监测系统应由速度传感器或加速度传感器、数据采集仪及数据分析软件组成，速度传感器或加速度传感器宜采用三矢量一体传感器。

7.13.2 爆破振动监测系统应具有测量峰值振动速度和主振频率的功能，峰值振动速度测量精度应达到 0.1cm/s ，主振频率测量精度应达到 0.1Hz 。

7.13.3 爆破振动监测传感器应与被测对象之间刚性粘结，宜采用螺栓连接、环氧砂浆、环氧树脂胶、石膏或其他高强度粘合剂等连接方式，安装时应注意传感器径向采集方向对准振动源方向。

7.13.4 爆破振动监测系统宜采用无线传输方式，系统能设定阈值自动筛选有效数据上传。

7.14 岩土压力监测

7.14.1 基坑支护桩(墙)侧向土压力、盾构法及矿山法隧道围岩压力宜采用振弦式、光纤光栅式和电阻式土压力计等传感器进行自动化监测。

7.14.2 土压力传感器量程应满足被测土压力的要求，其最大量程宜取设计压力值的2倍。土压力传感器量测精度应不低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率应不低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

7.14.3 土压力计的埋设可采用埋入式，埋设时应符合下列规定：

- a) 埋设前应对土压力计进行稳定性、密封性检验和压力、温度标定；
- b) 受力面与所监测的压力方向应垂直，并紧贴被监测对象；
- c) 采取土压力膜保护措施；
- d) 采用钻孔法埋设时，回填应均匀密实，且回填材料宜与周围岩土体一致。

7.14.4 基坑工程开挖前，应至少经过1周时间的监测并取得稳定初始值；隧道工程土压力计埋设后应立即进行检查测试，并读取初始值。

7.15 其他监测

7.15.1 施工噪声宜采用噪声在线监测仪进行自动化监测,其能应符合 GB/T 3785.1 对 2 级或者 2 级以上声学计的要求,仪器时间计权特性设为快(F)档。

7.15.2 噪声自动监测仪应具备音视频数据和气象参数的同步采集功能,可配置声源类型识别、声源方向识别等声源自动识别功能。

7.15.3 施工噪声监测点点位、测量时段、测量气候条件等要求应符合 GB 12523 的相关规定。

7.15.4 施工扬尘宜采用可实时获取 PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 质量浓度的扬尘在线监测仪进行自动化监测。

7.15.5 每个工地应至少设置 1 个监测点,宜选择在主要的施工车辆出入口,设置 2 个及以上点位的,其中至少一个监测点应设置在施工车辆的主出入口。

7.15.6 扬尘在线监测仪的数据采集频率应不大于 1 分钟,每小时监测时间应不少于 45 分钟,采用本小时内所有正常输出一次值计算的算数平均值作为该小时平均值。采用不少于 18 个有效小时平均值的算术平均值为有效日均值。

7.16 视频巡检

7.16.1 视频巡检系统宜包括视频监控系统与无人机巡检系统。

7.16.2 视频监控系统应包括摄像、传输、显示、控制等部分,应通过管理平台进行管理、存储、流媒体转发等操作,宜结合施工现场智慧化工地同步建设。

7.16.3 视频监控系统应 24 小时连续自动运行。监控摄像机宜采用配备云台的枪式摄像机和球形摄像机。摄像机应具备在低照度环境下捕影的功能,聚焦后的画面清晰度应不小于 480 线,拍摄图像的垂直分辨率应不小于 720 像素、水平分辨率应不小于 1280 像素。

7.16.5 在需要监控固定场景的位置,宜安装固定式枪机;在需要监控大范围场景的位置,宜安装匀速球机;监控部位应无监控盲区。

7.16.6 无人机巡检系统应包括无人机机场、无人机、高清摄像头、通信系统、无人机控制平台和数据分析与管理应用平台等部分。

7.16.7 无人机机场应具有足够的无人机停放空间,具备无人机充电、起飞和降落以及无人机状态监测等功能。

7.16.8 无人机应能够在复杂环境下自主稳定飞行,应具备自主避障、飞行姿态控制、紧急返航等功能。

7.16.9 视频巡检管理平台应具备下列功能:

- a) 应具备视频图像、声音和文字相结合的提示功能;
- b) 应具备对无人机机场、无人机、云台、镜头等设备的远程管理和遥控功能;
- c) 应具备现场视频录像的快照、检索和回放功能;
- d) 应具备多级权限管理功能,可以增加、删除、编辑用户,并支持单个用户的权限设置;
- e) 应具备日志查询功能,可以在指定的时间内查询用户信息、设备状态、报警信息等;
- f) 宜支持手机浏览方式,将监控视频图像发给指定用户的手机,满足移动监控的需要;
- g) 宜具备图像识别技术,实现对现场人员、设备异常等场景进行自动识别并报警。

8 系统运维

8.1 一般规定

8.1.1 监测系统安装部署、调试完成后,应进行试运行。试运行通过后才能投入正式运行。

8.1.2 监测系统所收集的运行数据必须准确无误,同时需与人工数据进行严格对比验证。

8.1.3 监测系统的运行维护应制定相应的运行管理、检查和维护制度及运行维护应急预案,应配备专门人员对系统进行管理、检查和维护,并应将历次检查维护记录录入系统。

8.2 安装调试

8.2.1 系统安装准备应包括下列内容:

a) 进行现场考察,掌握地形特征、地貌概况及气候条件等环境因素,了解并评估电源供应、网络配置等基础设施的现状;

b) 应根据设计文件的要求对系统中全部设备的规格、型号及数量进行核对;

- c) 应检查设备的外观是否保持良好的，有无损坏或缺陷；
 - d) 对安装人员进行培训。
- 8.2.2 监测设备安装应严格按照设计要求进行，安装高度、角度应精确调整，确保数据采集的准确性和一致性。具体的安装要求如下：
- a) 应根据变形监测的目标结构布设合理的传感器位置；
 - b) 传感器的安装应避开机械震动、日晒雨淋等干扰源；
 - c) 应选择适当的安装高度和角度，宜保持其水平或垂直的安装姿态，对于特定设备，则需根据其独特性质及实际应用需求进行相应的调整；
 - d) 预埋传感器安装时应进行调校，埋入式设备应采取防水、防腐措施；
 - e) 非预埋传感器可采用可调节支架或固定装置。
- 8.2.3 系统基础参数设置应符合以下要求：
- a) 基础参数的调试工作应包括监测设备的参数校准以及监测指标初始值的测定。
 - b) 应设定监测指标、监测频次以及监测预警值。
 - c) 对于具备条件的项目和监测点，应进行人工比对测量。
- 8.2.4 系统调试应包含下列内容：
- a) 应核实网络协议的配置准确无误，检查软件的运行状态。
 - b) 网络环境中运行时，应确保系统的安全性和稳定性。
 - c) 应检查设备与系统之间的通信状态是否良好。
 - d) 应进行掉电测试和系统自诊断功能测试。
 - e) 应对系统进行稳定性和可靠性运行测试。
- 8.2.5 系统改造或扩展后应重新进行系统调试。

8.3 系统运行

8.3.1 系统运行应满足以下要求：

- a) 全天候24小时不间断地持续稳定运行；
- b) 连续无故障运行的时间不低于30d；
- c) 故障排除的响应时间应控制在7d以内；
- d) MTBF应大于6300h；
- e) 应能进行在线率统计，自动采集数据缺损率不应大于3%。

8.3.2 系统运行数据检验应符合以下标准：

- a) 确保监测数据的完整性，数据无遗漏且不丢失；
- b) 确保其监测数据的准确性符合设计要求；
- c) 人工备份监测数据的操作不应超过30d/次，同时每年应至少进行一次全面的光盘备份工作；
- d) 每年至少进行1次人工比测，结果超出预先设定误差范围时，应启动全面检查。

8.3.3 系统改造扩展应遵循以下要求：

- a) 在进行系统改造或扩展时，应保障已投入使用的系统能够维持其连续性和稳定性；
- b) 对于改造或扩容的部分，必须经过严格的试运行测试，且通过全面的验收程序，才能正式整合到系统的运行中去。

8.4 系统维护

8.4.1 试运行及运行维护期间，每月应对通信网络、数据接收进行检查，检查内容应包括：

- a) 网络连接检验；
- b) 网络延迟与丢包率检测；
- c) 防火墙、入侵检测系统等安全设施的运行状况；
- d) 数据接收设备的运行状态；
- e) 数据传输链路的稳定性和可靠性；
- f) 数据存储设备的容量情况及运行状态。

8.4.2 运行维护期间，每季度应对全部监测设备设施进行巡检，并形成巡视检查报告。巡视检查内容应包括：

- a) 设备的外观完整性；

- b) 设备标识和铭牌清晰度及信息准确性;
 - c) 设备的运行状态;
 - d) 设备的指示灯和显示屏的显示状态;
 - e) 测量精确度;
 - f) 测试设备的响应时间;
 - g) 设备所在环境的温湿度条件;
 - h) 针对需防尘防水的设备, 应验证其采取的防尘防水措施。
- 8.4.3 监测系统采集的数据出现异常时, 应对系统及时进行检查, 并对相关传感器进行人工比测。比测要求如下:
- a) 选取能够真实反映出监测区域的数据状况的比测点;
 - b) 使用的工具必须经过校准;
 - c) 在指定的测点, 应同步运用监测系统和标准测量工具进行数据采集, 期间应严格保持各项测量条件的一致性, 并详细记录两者的测量结果。
- 8.4.4 试运行及运行维护期间, 在重大灾害性天气过后, 应进行巡视检查。

9 系统检查与验收

9.1 检查与验收内容

9.1.1 检查与验收工作的主要依据包括:

- a) 系统建设依据的标准;
- b) 经批准的技术规格书或技术设计书及补充技术文件;
- c) 项目委托书、合同书、任务书等;
- d) 系统检查验收委托文件。

9.1.2 系统检查与验收的质量元素包括系统功能、系统性能、系统安全性、数据质量和资料质量, 具体内容如下:

- a) 系统功能主要检查系统软硬件是否按设计要求成功部署;
- b) 系统性能主要检查系统稳定性, 以及系统易用性和软硬件的兼容性等;
- c) 系统安全性主要包括系统物理安全、逻辑安全和数据安全等;
- d) 数据质量主要检查监测基准的稳定性, 各监测项目数据采集质量和数学精度的符合性, 计算分析方法和计算分析结果的正确性等;
- e) 资料质量主要包括系统建设技术文档、系统使用说明书、系统运行维护记录和系统日志的完整性、合理性和规范性。

9.2 质量评定方法

9.2.1 系统质量按A、B、C、D四类错漏类型进行扣分, 具体按照GB/T 24356的要求执行。

9.2.2 A类错漏是对系统质量和系统使用有决定性影响的缺陷, 包括但不限于:

- a) 仪器设备不合格或不能满足监测要求;
- b) 监测点位数量明显不足或分布不均, 无法全面覆盖监测区域, 造成监测盲区;
- c) 仪器设备的安装没有按照规范进行, 严重影响监测数据的准确性;
- d) 供电系统、防雷电感应装置、通讯网络存在严重安全隐患;
- e) 预警值设置不合理或未设置预警值;
- f) 数据传输过程中易受干扰或中断, 导致数据丢失或延迟;
- g) 计算分析方法不满足要求或计算分析成果错误;
- h) 系统缺乏必要的用户手册、开发文档或维护指南等;
- i) 系统缺重要功能项, 或重要功能项输出结果不正确;
- j) 系统运行不稳定, 系统安全性严重不符合设计要求, 无备份与恢复方案;
- k) 系统缺少必须的防篡改能力, 缺少必需的日志管理功能;
- l) 其他严重影响系统运行和系统安全的错漏。

9.3 系统检查

9.3.1 系统检查包括过程检查和最终检查，最终检查应编写最终检查报告。

9.3.2 过程检查由承建单位作业部门承担，承建单位作业部门应对系统进行全面检查，并形成过程检查记录，检查发现的问题修改无误后方可提交最终检查。

9.3.3 最终检查由承建单位质量管理部门组织实施，检查发现的问题修改无误后方可提交验收。

9.4 系统验收

9.4.1 验收前系统应按照建设单位技术要求完成全部建设、系统调试和系统检查，并经试运行确认系统各项指标满足要求后，方可提交验收

9.4.2 系统验收提交的成果应包含下列内容：

- a) 系统建设工作依据文件；
- b) 系统建设利用的已有资料；
- c) 作业单位检查报告及相关的检查记录、运维记录等；
- d) 系统建设技术报告、系统使用说明书等。

9.4.3 城市轨道交通自动化变形监测系统验收应符合下列要求：

- a) 应由建设单位组织验收或由建设单位委托具有资质的质量检验机构承担验收检验；
- b) 各类监测设备应具备所必须的检定或校准记录、各项质量检查记录齐全；
- c) 系统建设技术资料齐全，能反映系统建设的全貌；
- d) 验收时应对承建单位的系统检查结果进行核验；
- e) 验收可采用抽样检验，抽样按照GB/T 24356的要求执行。

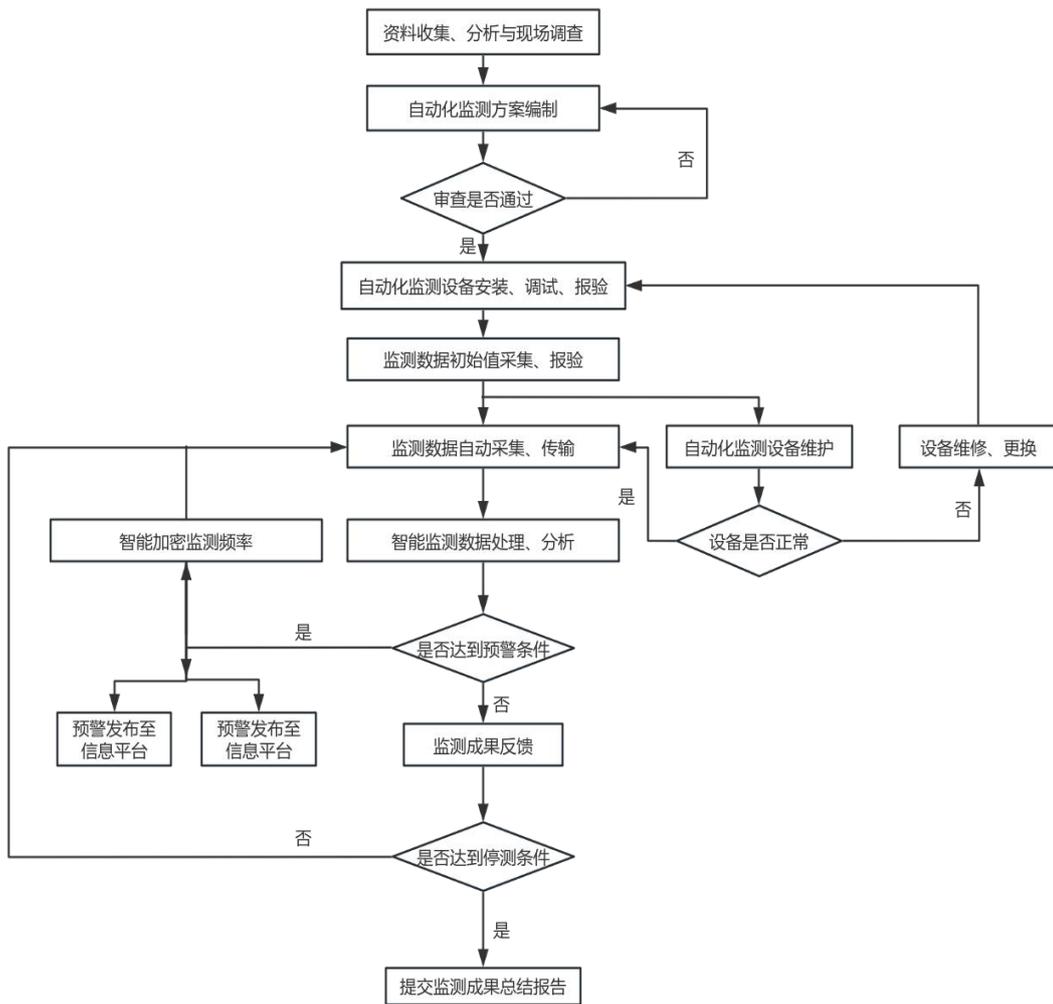
9.4.4 承建方对验收检验发现的问题修改无误后，验收方应编制验收报告，验收报告一般包括系统概况、验收工作概况、验收依据、检验内容与方法、主要质量问题及处理、质量综述、附图、附表等。

附录 A

(资料性)

自动化监测工作流程

自动化监测主要包括资料收集、方案编制、监测设备安装调试、监测数据采集与处理、监测成果反馈等工作，自动化监测具体工作流程见图 A.1。



图A.1 自动化监测工作流程图

参考文献

- [1] GB 50026 《工程测量标准》
 - [2] GB 50497-2019 《建筑基坑工程监测技术标准》
 - [3] GB 50982-2014 《建筑与桥梁结构监测技术规范》
 - [4] GB 51108-2015 《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》
 - [5] CJJ/T 202-2013 《城市轨道交通结构安全保护技术规范》
 - [6] HJ/T 193-2005 《环境空气质量自动监测技术规范》
 - [7] HJ 194-2017 《环境空气质量手工监测技术规范》
 - [8] JGJ 8-2016 《建筑变形测量规范》
 - [9] JGJ/T 292-2012 《建筑工程施工现场视频监控技术规范》
-