

基坑工程自动化监测技术规程

Technical Specification for automatic monitoring of excavation engineering

(征求意见稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

浙江省土木建筑学会 发布

浙江省土木建筑学会标准

基坑工程自动化监测技术规程

Technical Specification for automatic monitoring of excavation engineering

T/ZCEAS 100x-202x

主编单位：浙江省建筑设计研究院

批准部门：浙江省土木建筑学会

施行日期：20xx 年 x 月 x 日

XXXXXX 出版社

202x 浙 江

前 言

根据浙江省土木建筑学会《关于同意学会团体标准〈基坑工程自动化监测技术规程〉立项的通知》（浙土建学〔2024〕32号）的要求，本规程编制组经广泛调查研究，总结实践经验，开展专题研究，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分9章，主要技术内容包括：1、总则；2、术语；3、基本规定；4、自动化监测系统；5、自动化监测的方法和要求；6、数据采集、传输与存储；7、数据处理与分析；8、反演预测；9、信息反馈。

本规程由浙江省土木建筑学会管理，具体技术内容的解释工作由浙江省建筑设计研究院有限公司负责，在执行过程中，请各单位结合工程实践，深入研究，不断总结经验，并将意见和建议寄交：浙江省建筑设计研究院有限公司《浙江省基坑工程自动化监测技术规程》编制组（地址：杭州市安吉路18号，邮编310006，邮箱：86377928@qq.com），以供修订时参考。

本规程主编单位：浙江省建筑设计研究院有限公司
杭州市勘测设计研究院有限公司
浙江省工程物探勘察设计院有限公司

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

1 总 则	6
2 术语	7
3 基本规定	9
4 自动化监测系统	10
4.1 一般规定	10
4.2 自动化监测系统功能要求	10
4.3 监测系统性能要求	11
4.4 系统管理及维护要求	11
5 自动化监测的方法和要求	10
5.1 一般规定	10
5.2 水平位移监测	10
5.3 竖向位移监测	12
5.4 深层水平位移监测	12
5.5 倾斜监测	13
5.6 地下水位监测	14
5.7 裂缝监测	14
5.8 内力监测	14
5.9 振动监测	15
5.10 其他监测	15
5.11 巡视检查	15
6 数据采集、传输与存储	17
6.1 一般规定	17
6.2 数据采集、传输与存储	17
7 数据处理与分析	18
8 反演预测	20
9 信息反馈	22
附录 A 校验方式、校验频率及校验范围	24
附录 B 常用自动化监测内容、监测方法与仪器	25
附录 C 数据库存储字段及格式	26
本标准用词说明	27
引用标准名录	28
条 文 说 明	29

Contents

1	General Provisions	6
2	Terms	7
3	Basic Requirements	9
4	Automatic Monitoring System	10
4.1	General Requirements	10
4.2	Functional Requirements for Automatic Monitoring System	10
4.3	Performance Requirements for Monitoring System	11
4.4	System Management and Maintenance Requirements	11
5	Methods and Requirements for Automatic Monitoring	10
5.1	General Requirements	10
5.2	Horizontal Displacement Monitoring	10
5.3	Vertical Displacement Monitoring	12
5.4	Deep Horizontal Displacement Monitoring	12
5.5	Inclination Monitoring	13
5.6	Groundwater Level Monitoring	14
5.7	Crack Monitoring	14
5.8	Internal Force Monitoring	14
5.9	Vibration Monitoring	15
5.10	Other Monitoring	15
5.11	Patrol Inspection	15
6	Data Collection, Transmission and Storage	17
6.1	General Requirements	17
6.2	Data Collection, Transmission and Storage	17
7	Data Processing and Analysis	18
8	Inversion and Prediction	20
9	Information Feedback	22
Appendix A	Calibration Methods, Calibration Frequencies and Calibration Scopes	24
Appendix B	Common Automatic Monitoring Contents, Monitoring Methods and Instruments	25
Appendix C	Database Storage Fields and Formats	26
	Explanation of Terms in This Standard	27
	List of Quoted Standards	28
	Addition:Explanation of provisions	29

1 总 则

1.0.1 为规范基坑工程自动化监测工作，实现技术先进、成果可靠、安全实用、经济合理的目标，保证监测质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于浙江省房屋建筑、市政基础设施等领域的基坑工程自动化监测。其它领域基坑自动化监测可参照执行。

1.0.3 基坑工程自动化监测应综合考虑建设场地的工程地质和水文地质条件、周边环境条件、基坑围护方案、自动化设备特征等因素，制定合理的技术方案，精心组织和实施。

1.0.4 基坑工程自动化监测除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准以及浙江省地方相关标准的要求。

2 术语

2.0.1 基坑工程 excavation engineering

为挖除建(构)筑物地下结构处的土方,保证主体地下结构的安全施工及保护基坑周边环境而采取的围护、支撑、降水、加固、开挖和监测等工程措施的总称。

2.0.2 自动化监测 automatic monitoring

利用传感器、数据采集设备、通信技术及智能分析算法等组成的系统,对目标对象进行实时、连续、动态的数据采集、传输、分析与反馈的活动。

2.0.3 基坑自动化监测系统 automatic monitoring system of excavation

实现自动化监测功能要求的系统,为基坑工程的实施提供及时准确的数据支持。

2.0.4 监测等级 monitoring level

根据基坑工程及周边环境的风险大小,对基坑监测进行划分的等级。

2.0.5 基准网 control network

为监测基坑及周边环境的变形,由基准点和工作基点组成的专用测量控制网。

2.0.6 智能全站仪 intelligent total station

集成了自动化、数字化和智能化技术的全站测量系统,通过内置的传感器、自动目标识别与照准系统、远程通信模块等,实现测量过程的自动化数据采集的实时性和处理的高效性。

2.0.7 传感器 sensor

能够实时感知、转换并传输基坑及环境物理量的电子设备,通过将变形、应力、位移、渗压等非电量信号转化为电信号,为监测系统提供原始数据支持。

2.0.8 比对测量 comparison measurement

为确保测量结果的可靠性,在满足规范及监测项目测量精度要求的前提下,采用不同测量方法或不同测量设备对同一监测点进行量测,并对比分析测量结果的过程。

2.0.9 数据预处理 data preprocessing

在进行数据处理以前开展的数据清洗、集成、滤波、变换等处理过程。

2.0.10 机器视觉位移测量 computer vision displacement measurement

利用视觉影像，采用图像处理和模式识别等相关理论和技术，对基坑及周边环境水平、竖向位移进行测量的方法。

2.0.11 反演预测 inverse prediction

利用自动化监测系统获取的位移、内力、水位等数据，反向求解岩土物理力学参数、支护结构力学特性及边界条件参数，通过参数动态更新实现基坑全生命周期变形和受力状态预测的技术手段。

3 基本规定

3.0.1 在基坑工程监测中，符合以下情况之一时，宜采用自动化监测：

- 1 需要进行高频次或连续实时监测；
- 2 环境条件不允许或难以实施人工监测的基坑工程；
- 3 基坑监测等级为特级、一级的基坑工程；
- 4 其他按规定需要进行自动化监测的基坑工程。

3.0.2 条件受限时，基坑工程自动化监测可与人工监测相结合，人工监测数据应纳入自动化监测系统。

3.0.3 应由具备相应资质的第三方监测单位承担基坑自动化监测工作。

3.0.4 实施自动化监测的工程，宜具备比对测量的条件，并根据要求定期进行校验，确保监测数据的可靠性。宜参照附录 A 选择校验方式、校验频率及校验范围。

3.0.5 实施自动化监测的基坑工程，监测频率、监测精度及监测预警值指标应满足基坑支护设计文件及现行有关标准、规定的要求。

3.0.6 现行标准中未明确精度指标的新技术、新方法，可按照监测控制值的 $1/10\sim 1/20$ 作为监测精度指标。

3.0.7 采用自动化监测的基坑工程，监测单位应在施工前编制自动化监测方案。自动化监测方案应根据工程特点，在分析研究工程风险及影响工程安全的关键部位、关键工序的基础上，有针对性地进行编制。

3.0.8 基坑自动化监测系统安装、调试完毕后，监测单位应提交安装竣工报告，建设单位应组织验收并出具验收报告。

3.0.9 自动化监测实施期间，应做好自动化监测设施、设备的保护工作。

3.0.10 自动化监测系统应定期检查、维护，保证系统正常运行。

3.0.11 自动化监测初始值采集，应在施工开始前且自动化监测系统已运行稳定后进行，初始值应取不少于连续观测 3 次的稳定值的平均值。并应采集对比测量数据。

3.0.12 符合以下情况之一时，宜进行反演预测：

- 1 特级监测等级的基坑工程；

- 2 采用伺服系统主动控制变形的基坑工程；
- 3 采用新技术、新工艺、新材料的基坑工程；
- 4 其他有特殊要求的基坑工程。

4 自动化监测系统

4.1 一般规定

4.1.1 自动化监测系统应具备监测数据自动采集与处理、数据分析与查询、自动监测信息交换与预警、系统维护与管理等基本功能，并实现监测成果可视化。

4.1.2 自动化监测系统应包括数据采集系统、供电防雷系统、软件平台及移动终端。

4.1.3 自动化监测系统数据采集传感器等软硬件设备，应采用可靠的技术和符合国家及行业标准技术指标要求且易维护的产品。

4.1.4 系统电源、系统防雷设计应满足工程需要及相关安全管理要求。数据自动采集装置、网络通信、系统电源等宜独立设置防雷、抗电磁干扰等装置，并可靠接地。

4.1.5 自动化监测平台宜采用云服务或专用服务器，宜具有用户管理、用户加密认证机制、数据丢失恢复、数据防窃取和篡改、防病毒、数据溯源等功能。

4.2 自动化监测系统功能要求

4.2.1 自动化监测系统应具备以下数据采集与处理功能：

- 1 可根据工程需要设置自动采样间隔及频率；
- 2 应兼容人工监测数据录入；
- 3 应具有数据可靠性判断与粗差剔除功能，实现对异常数据的识别与处理；
- 4 对各类数据检核并进行相关计算及成果处理，生成监测数据的时空特征等各类要素曲线及分布图；
- 5 数据查询、数据共享和推送上报。

4.2.2 自动化监测系统应具备以下监测设备运行状态判别及预警功能：

- 1 采集设备、电源、防雷、通信等硬件的工作状态进行自动监测和诊断，异常状态自动预警；
- 2 自动判断监测值是否达到预警值，可实现自动预警；
- 3 增减预警接收人、更改预警信息模板；
- 4 应具有支持施工巡查记录的功能和对巡查异常情况进行预警的功能。

4.2.3 自动化监测系统应具备以下信息交换功能：

- 1 数据采集装置与系统平台之间进行双向数据通信；
- 2 在系统中预留相应的接口与其他系统进行信息交换；
- 3 按基坑自动化监测方案确定的信息反馈要求，反馈监测信息。

4.2.4 自动化监测系统应具备以下系统维护和管理功能：

- 1 权限分级管理、增减用户、口令更改等用户管理功能；
- 2 监测模块参数扩充和删减；
- 3 计算模型调整；
- 4 传感器设置和调整；
- 5 对工程项目及其监测项进行增、删、改、查操作。

4.2.5 自动化监测系统应具备数据定期自动备份和手动备份功能，且应具有网络安全防护功能，可及时更新系统。

4.3 监测系统性能要求

4.3.1 监测系统应具有较好的可靠性、稳定性和可扩展性。

4.3.2 监测系统应具有良好的防雷、防火、防潮、防寒、防锈、防侵入、抗振、抗电磁干扰等性能。

4.3.3 系统硬件设施应方便维护。

4.3.4 系统软件应能及时更新，软件用户界面规范，使用便捷。

4.3.5 在被测物理量基本不变的条件下，自动化监测系统采集数据的中误差应与设备标称精度相符。

4.4 系统管理及维护要求

4.4.1 自动化监测管理系统维护应满足以下要求：

- 1 应指派专人负责自动化监测系统的运行、管理、维护；
- 2 仪器设备按相关要求进行检测；
- 3 定期对系统的设备、设施、网络通讯等进行巡查校验，巡查校验频率不少于每月 1 次，地震、暴雨等特殊情况后应进行全面检查、维护。

4.4.2 自动化监测系统安装调试完成后应进行试运行，系统稳定后方可正式投入

使用。调试时自动化监测数据应与人工测量数据进行同时段比测。系统维修或改造时，应重新进行系统调试，系统调试应包括下列内容：

- 1 监测设备的参数标定；
- 2 监测指标初始值确定；
- 3 数据采集、传输、处理等软硬件设备的功能测试；
- 4 监测指标、监测频次及预警阈值的设定；
- 5 系统运行的稳定性和可靠性测试。

4.4.3 应定期对监测系统运行状况进行评估，根据需要及时对监测系统进行调整。

5 自动化监测的方法和要求

5.1 一般规定

5.1.1 应根据监测等级、监测类型、精度要求和现场作业条件选择相应的设备和方法。可参照附录 B 选择监测方法及设备，并可组合使用多种监测方法，以便相互验证、校验数据。

5.1.2 除使用本规程所述的各种监测方法外，亦可采用能达到现行有关标准规定精度的新技术、新方法。

5.1.3 地铁、隧道等其他基坑周边环境的监测方法和监测精度尚应符合相关标准的规定以及主管部门的要求。

5.1.4 监测基准网的布设及测量要求应按照现行有关标准规定要求执行。

5.1.5 监测设备应符合下列要求：

- 1 应有识别码；
- 2 测量精度应满足相关标准的规定，测量量程及使用寿命应满足工程需要；
- 3 设备能够连续、准确、可靠的工作，在使用寿命期能适应工作环境；
- 4 断电或异常情况下，数据不失真或丢失；
- 5 接入自动化系统的监测设备，其输入输出信号标准应开放。

5.1.6 传感器应具有良好的稳定性和抗干扰能力，采集信号的信噪比应满足实际监测需要。

5.1.7 监测标志、警示牌应稳固、明显、结构合理，并应方便检查与维护。

5.2 水平位移监测

5.2.1 基坑水平位移自动化监测应根据现场作业条件选择合适的设备，可选择智能全站仪、激光位移计、GNSS 等。

5.2.2 采用智能全站仪进行水平位移监测时应符合以下规定：

- 1 基准点应设置在基坑施工次要影响区以外的稳定区域，并定期对其进行人工校准并修正；监测点宜采用观测棱镜。
- 2 工作基点宜设置观测墩或观测站房，配置防护装置，满足对仪器的防护要求；并配备强制对中装置；选点时应综合考虑施工对工作基点的扰动和对视线

的阻挡；

3 基准点、工作基点的测量宜采用边角测量法；测定监测点任意方向的水平位移时，可采用极坐标法、交会法和自由设站法等；

4 基准点与监测点宜同步进行观测，并应同时观测至少 3 个基准点；

5 定期检查仪器的整平状态，并及时校正；

6 设备架设处宜配置电子气温气压计、控制系统、通讯系统及不间断供电系统等配套设备，并注意防护，每六个月进行交叉校准，温差超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时需进行实时补偿修正。

7 智能全站仪的测角精度指标不应低于 $\pm 1''$ 、测距精度指标不应低于 $\pm (1\text{mm}+2\times 10^{-6}\times d)$ 。

5.2.3 采用激光位移计进行水平位移监测时应符合以下规定：

1 基准点设备应设置在基坑施工次要影响区以外的稳定区域，并定期对其进行人工校准并修正；

2 激光装置应配备平衡装置，确保激光光路不受结构倾斜的干扰；整个光路上应无障碍物，光路附近应设立安全警示标志；激光光路应高于地面的距离不应小于 200mm；

3 重要施工节点或特殊施工方法实施时，应根据需要增加对工作基点的人工校准频率，并及时进行校准修正；

4 自动监测应符合 GB50026 的有关规定，可采用直接测量法和累计联测法进行监测；

5 激光位移计在 30V/m 场强干扰下误差 $\leq 0.1\%\text{F.S}$ ，无线传输模块应具备跳频扩频功能，在-20dB 信噪比时丢包率 $\leq 0.1\%$ 。

5.2.4 采用 GNSS 进行水平位移监测时应符合以下规定：

1 基准点设备应设置在基坑施工次要影响区以外的稳定区域，无高度角超过 15° 的障碍物，离大功率无线发射源的距离不应小于 200m，离高压输电线和微波无线信号传输通道的距离不应小于 50m，附近不应有强烈反射卫星信号的大面积水域、大型建筑以及热源；

2 测量设备的选用应符合《建筑变形测量规范》JGJ8 位移观测等级二等及以上的要求；

3 应采用零相位天线，削弱多路径误差，并采用强制对中器安置接收机天线，对中误差不应大于 0.5mm，天线应统一指向正北；

4 GNSS 设备的静态解算平面精度指标不应低于 $\pm(2.5\text{mm}+1\times 10^{-6}\times D)$ 。

5.3 竖向位移监测

5.3.1 基坑竖向位移自动化监测设备可采用静力水准仪、智能全站仪、激光位移计等设备进行量测。

5.3.2 土体分层竖向位移自动化监测宜采用多点位移计、分层沉降仪进行量测。

5.3.3 采用静力水准仪进行竖向位移监测时应符合以下规定：

- 1 基准点的选择应避开较大振动干扰源；
- 2 选定基点位置及安装高度为同一条路线中的基准点及监测点设备液面高差应小于设备量程的 1/2；
- 3 工作基点应采用水准仪测量方法定期与基准点联测；
- 4 储液筒通液前应排空管内空气，定期检查储液桶及连接管中液体是否蒸发；
- 5 在 0℃ 以下寒冷环境下，应对连通管液体加注防冻液；
- 6 安装在室外的静力水准系统，应采取措施保证全部联通管管路稳定均匀，避免阳光直射；
- 7 管线铺设时应避免打折、扭曲和划伤，完成后应配置保护装置；
- 8 观测时间应选在气温最稳定的时段，观测读数应在液体完全呈静态下进行。

5.3.4 采用智能全站仪进行竖向位移监测时应符合以下规定：

- 1 进行竖向位移自动化监测时，应与水平位移同步进行；
- 2 进行竖向位移自动化监测时监测点的布设、视线高度、测量方法均应满足《建筑变形测量规范》JGJ8 相关要求。

5.4 深层水平位移监测

5.4.1 围护桩（墙）深层水平位移、土体深层水平位移等的自动化监测可采用滑动式智能测斜仪、固定式测斜仪或光纤式传感器等设备进行量测。

5.4.2 当采用智能式滑动测斜仪时，沿竖向测点间隔不宜大于 0.5m；当采用固定式智能测斜仪时，测斜仪探头应合理布置，监测数据能够反应监测深度范围内管形变化要求，测斜仪探头的最小布置间距不得大于 2m。

5.4.3 深层水平位移宜以底部作为起算点；当底部不满足起算点条件时，可将上部管口作为起算点，且每次监测均应测定起算点的坐标并进行修正。

5.4.4 深层水平位移监测点宜在地表处制作专用保护装置加以保护及固定，更换、检修等工作导致测斜传感器位置发生变化时，应重新校正。

5.4.5 采用光纤传感器进行深层水平位移监测时，应符合以下规定：

- 1 光纤传感器宜布设形成 U 型回路，并布设温度感测光缆进行环境温度补偿；
- 2 光纤传感器的布设应符合工程实际需求，保证监测数据的准确性和完整性；
- 3 光纤传感器 U 型回路底部及顶部光缆应加强保护，防止破坏，应避开电焊、氧割等易对传感器产生破坏的位置。

5.4.6 深层水平位移自动化监测的点位埋设应符合以下规定：

- 1 选用的测斜管材质应满足基坑施工条件要求；
- 2 成孔深度宜比安装传感器深度深 0.5m；
- 3 应对孔底及接头进行密封处理；
- 4 测斜管下放到位后应及时回填测斜管与孔壁之间的空隙并确保密实；
- 5 预埋测斜管时应保证十字导槽与基坑边垂直；
- 6 测斜仪安装前需用测试探头对测斜管安装质量进行测试。

5.5 倾斜监测

5.5.1 倾斜自动化监测可采用倾角计、智能全站仪、静力水准等设备进行量测。

5.5.2 倾角计可选用两单轴正交或双轴的传感器进行监测。

5.5.3 安装倾角计应明确安装方向，并详细记录相关信息属性信息数据，包括测点间距、监测对象高度等有关属性特征数据。

5.5.4 使用智能全站仪、静力水准仪进行倾斜观测时，按《建筑变形测量规范》JGJ8 实施。

5.5.5 倾角计动态精度不宜低于 $\pm 0.1^\circ$ ，分辨率不宜低于 0.002° 。

5.6 地下水位监测

5.6.1 地下水位自动化监测可采用智能水位计、渗压计进行量测。

5.6.2 水位观测管埋设稳定后，应测定孔口高程并计算水位高度。

5.6.3 宜采用专用水位观测管，管径不宜小于 50mm，饱和软土中管径不宜小于 70mm。

5.6.4 量程和滤管长度应满足地下水控制要求。

5.6.5 水位管埋设时间应根据工程地质、水文地质条件确定，且应在基坑降水 1 周前埋设。

5.6.6 承压水位监测时应在监测孔所在的含水层与其他含水层之间采取隔水措施。

5.6.7 设备的最大量程应满足地下水位的变化需要，压阻式智能渗压计精度不宜低于量程的 0.5%，分辨率不宜低于量程的 0.2%。

5.7 裂缝监测

5.7.1 裂缝宽度监测可采用裂缝计或位移计进行量测。

5.7.2 设备的最大量程应满足监测对象的变化需要。

5.7.3 设备安装时应综合考虑裂缝收缩或扩张两种情况。

5.7.4 设备应安装在裂缝的法线方向。

5.7.5 裂缝计或位移计的选型应考虑裂缝的变化方向，避免因测杆或测线变形导致的数据不确定或设备损坏。

5.7.6 裂缝宽度监测精度不应低于 0.1mm。

5.8 内力监测

5.8.1 基坑围护结构内力自动化监测可采用钢筋计、混凝土应变计、表面应变计等进行量测。

5.8.2 钢支撑内力自动化监测可采用轴力计、表面应变计等进行量测。

5.8.3 土压力自动化监测宜采用土压力盒。

5.8.4 锚杆和土钉的内力自动化监测宜采用应变计,锚索的内力自动化监测宜采用锚索计。

5.8.5 内力监测设备宜具有量测温度功能并可进行温度修正。

5.8.6 传感器安装前应进行检定或校准,最大量程不宜小于设计值的 2 倍,精度应满足相关规范及设计要求。

5.9 振动监测

5.9.1 被测对象振动速度和振动加速度宜采用智能测振仪进行量测。

5.9.2 智能测振仪频率宜高于被测对象振动频率两倍。

5.9.3 智能测振仪技术参数和使用要求应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB6722 和《测振仪检定规程》JJG676 的相关规定。

5.10 其他监测

5.10.1 孔隙水压力自动化监测宜采用孔隙水压力计结合数据采集传输模块进行量测。

5.10.2 土体分层竖向位移自动化监测宜采用多点位移计结合数据采集传输模块进行量测。

5.10.3 自动化水平位移、沉降观测、裂缝、挠度监测等也可用视觉位移测量。

5.11 巡视检查

5.11.1 基坑工程施工和使用期内,在进行自动化监测的同时,应进行巡视检查。

5.11.2 基坑工程巡视检查内容、特殊土基坑工程巡视检查内容应满足现行有关标准规定的要求,可参照《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 规范执行。

5.11.3 巡视检查宜以目测为主,可辅以锤、钎、量尺、放大镜等工器具以及摄像、摄影等设备进行。

5.11.4 巡查过程中,应对自然条件、支护结构、施工工况、周边环境、监测设施等的巡检情况应做好记录。检查记录应及时整理,并与自动化监测仪器的监测数据进行比拟及综合分析。

5.11.5 如巡视检查发现异常和危险情况，应及时通知建设单位、施工单位等相关单位。

6 数据采集、传输与存储

6.1 一般规定

6.1.1 数据的采集、预处理应由系统自动进行。

6.1.2 自动化监测设备应能够准确、连续地自动采集被测对象，并通过专用网络或其他可靠方式实时传输至系统。

6.1.3 数据采集和传输过程中，应确保数据的真实性、完整性和准确性。

6.1.4 数据自动化采集过程包括传感器采集、信号转换和数据传输等环节。

6.2 数据采集、传输与存储

6.2.1 数据采集装置的平均维修时间不应超过 2 小时。

6.2.2 数据采集宜采用传感器采集、外部设备接口输入或传输网络等方法。

6.2.3 数据传输过程中应采取校验技术、密码技术、安全传输通道或者安全传输协议等措施，进行数据加密并满足保密规定。

6.2.4 数据上传至服务器或从服务器下载数据，宜采用非对称加密算法对数据进行加密处理，密钥长度不得少于 8 位字符。

6.2.5 通信传输组网应遵循标准化、模块化和向下兼容的原则，并符合有关通信技术标准。

6.2.6 传感器数据的通信传输宜采用以下方式：

- 1 有线通信传输，包括 RS232、RS485、光纤、双绞线、公用电话网等；
- 2 无线通信传输，包括 4G/5G、Wifi、微波、卫星、Lora 等；
- 3 综合应用有线、无线通信传输方式进行数据通信。用有线通信网络时应

预防雷电感应对系统可能产生的影响，线缆应有防护接地。

6.2.7 字符型、数字型数据宜采用数据库进行数据管理，文档型文件宜采用文件形式进行管理存储。

6.2.8 数据库数据表表名、字段名采用下划线命名法，数据存储格式设计示例见附录 C。

7 数据处理与分析

7.0.1 监测数据的存储与备份、计算处理、数据分析及预警宜由自动化监测系统自动完成。

7.0.2 监测数据分析宜结合场地工程地质和水文条件、周边建（构）筑物情况、基坑设计与施工情况及现场实际工况进行综合分析，以精准判断基坑安全状态。

7.0.3 监测数据预处理宜包括原始数据滤波、异常数据的标识及复核、温度、气压、湿度、大气折光改正等。

7.0.4 监测数据处理宜包括以下内容：

- 1 监测数据格式转换；
- 2 监测数据的检核；
- 3 基准点、监测点观测数据平差计算、精度评定；
- 4 变化量计算；
- 5 监测数据、计算数据、成果数据库的建立。

7.0.5 当监测数据受温度、周边其它外部环境等影响较大时，数据处理应符合以下规定：

- 1 选取外部环境影响扰动相对小的时段采集的观测数据；
- 2 遇数据异常等突发情况及时进行校验，不得随意修改。

7.0.6 采用智能全站仪进行自动化监测时，数据处理尚宜符合下列要求：

- 1 应利用稳定的基准点作为起算点，监测基准网平差的起算点应为经过稳定性检验合格；
- 2 监测基准网宜进行严密平差，待平差计算成果合格后再进行监测点的变形计算；
- 3 测量的斜距应经过气象改正和一起的加、乘常数改正后进行水平距离计算；
- 4 电磁波测距三角高程测量应进行地球曲率和大气折光差的改正。

7.0.7 采用 GNSS 测量进行自动化监测，数据处理尚宜符合下列要求：

- 1 控制网宜采用高精度解算软件和精密星历进行数据处理，基线解算宜采用双差固定解；

- 2 同一时段采用同一卫星系统的数据采用率宜大于 85%;
- 3 GNSS 平面测量的平差计算应满足 CJJ/T73 要求;
- 4 采用 GNSS 高程测量应利用区域似大地水准面精化成果获当地的重力大地水准面模型、资料, 宜采用平面拟合模型, 且拟合高程计算不应超出拟合高程模型所覆盖的范围。

8 反演预测

8.0.1 反演预测方法的选择宜符合下列规定：

- 1 对于地质条件明确、监测数据完整的基坑，宜采用基于经典算法的反演方法；
- 2 对于复杂环境基坑（如邻近既有建筑、地下管线密集），或监测数据具有高维度时序特征时，宜采用基于人工智能的反演方法；
- 3 当需兼顾计算效率与精度时，可采用混合反演方法，其技术路线应在专项方案中明确。

8.0.2 反演预测流程可按以下流程进行设计，如图 8.0.2 所示：

- 1 数据收集与预处理；
- 2 模型选择与建立；
- 3 模型训练与验证；
- 4 反演预测与结果分析；
- 5 模型更新与优化。

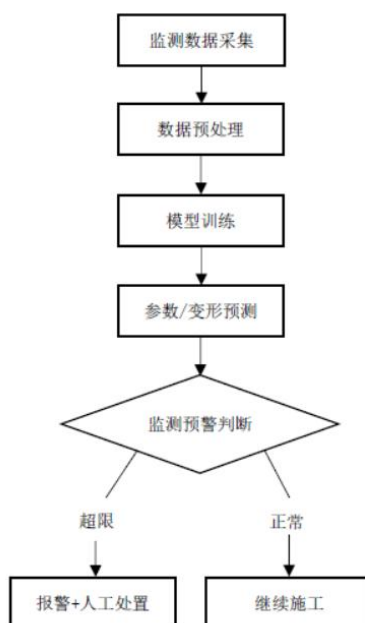


图 8.0.2 反演预测流程

8.0.3 伺服轴力主动控制的反演预测可按以下流程进行设计，如图 8.0.3 所示：

- 1 实时数据采集 ；

- 2 参数反演；
- 3 变形预测 ；
- 4 动态调整轴力；
- 5 闭环反馈 。

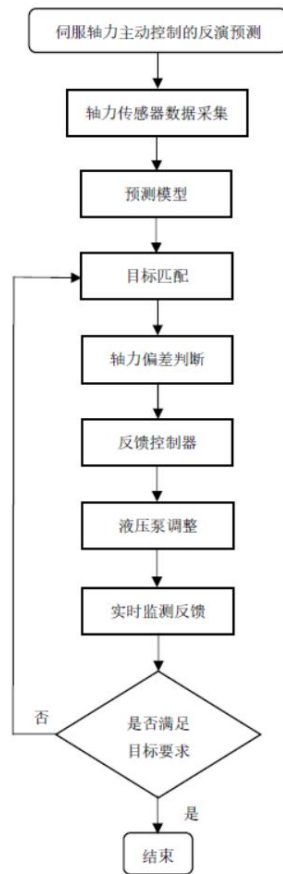


图 8.0.3 伺服轴力主动控制的反演预测流程

8.0.4 为确保反演预测结果满足工程预警要求，需对反演精度进行控制与校验，应包括下列内容：

- 1 误差分析 ：确定各类反演预测模型中的关键参数对预测目标的影响；
- 2 模型校验：通过交叉验证、现场实测数据对比提升预测可靠性。

9 信息反馈

9.0.1 自动化监测系统应依据不同层级、权限，向相关人员精准推送监测信息，确保信息传递及时、准确。

9.0.2 当基坑工程监测项目的累计变化量达到监测预警值，或变化速率连续 3 天超过速率报警值时，宜自动加密监测频率，且系统应立即启动监测预警机制，并及时通知有关各方。

9.0.3 预警及监测成果的形式可采用监测平台、移动 APP、电话、短信、微信等，以满足不同场景需求为目标。预警信息宜包括工程名称、预警项目、测点编号、当前值及预警值、预警时间等。

9.0.4 监测单位应按要求及时反馈监测技术成果，反馈的内容应真实、准确、完整，自动化监测的技术成果包括日报、阶段性报告和总结报告。监测单位应对整个项目监测成果的真实性、可靠性负责，最终监测成果应有相关责任人签字确认。

9.0.5 日报宜包括下列内容：

- 1 当日的天气情况和施工现场的工况；
- 2 仪器监测项目各监测点的本次测试值、单次变化值、变化速率、累计值，及相关曲线图；
- 3 对监测项目应有正常或异常的判断性结论；
- 4 对达到或超过监测预警值的监测点应有预警标示，并有分析和建议；
- 5 对巡视检查发现的异常情况应有详细描述，危险情况应有报警标示并有分析和建议；
- 6 其它建设单位、设计单位等的明确要求。

9.0.6 阶段性报告宜包括下列内容：

- 1 对应监测阶段的工程、气象及周边环境概况；
- 2 对应监测阶段的自动化监测项目及测点的布置图；
- 3 对应阶段完成的主要工作内容；
- 4 各项监测数据的整理、统计及监测成果的过程曲线；
- 5 各监测项目监测值的变化分析、评价及发展预测；
- 6 比对测量方法及结果；

7 相关的设计和施工建议。

9.0.7 总结报告的内容宜包括：

- 1 工程概况；
- 2 自动化监测依据；
- 3 自动化监测项目；
- 4 监测点布置；
- 5 自动化监测设备和监测方法；
- 6 监测频率；
- 7 监测数据精度、监测结果及预警情况；
- 8 比对测量方法及结果；
- 9 各监测项目全过程的发展变化分析及整体评述；
- 10 自动化监测工作结论与建议。

附录 A 校验方式、校验频率及校验范围

校验类型	适用监测项目	常规周期维护	数据突变	系统硬件故障	其它情况
		实施要求			
比对测量	水平、竖向位移等具有基准的监测项目、深层水平位移监测、地下水位监测、裂缝监测、振动监测等可采用人工比对的监测项目	特级监测等级工程 频率：每月 1 次 范围：不少于总点数 10%且不少于 3 个	频率：24 小时内 范围：突变点所在位置	频率：立即 范围：故障位置	根据实际情况
		其它工程 频率：监测总周期内不少于 1 次 范围：不少于总点数 10%且不少于 3 个			
多传感器交叉验证	倾斜、内力等采用传感器的监测项目	特级监测等级工程 频率：每月 1 次 范围：不少于总点数 10%且不少于 3 个 采用不同传感器进行数据校验	频率：24 小时内 范围：突变点所在位置	频率：立即 范围：故障位置	根据实际情况
		其它工程 频率：监测总周期内不少于 1 次 范围：不少于总点数 10%且不少于 3 个			
抽样点校验	深层水平位移监测（无比对测量条件或有特殊要求的宜在旁侧增设对比孔，可使用滑动式测斜仪进行对比测量） 抽样点不少于总孔位 10%且不宜少于 3 个	频率： 频率：每月 1 次	/	/	根据实际情况

注：1、对于深层水平位移监测，除特殊情况需抽样点校验，其余情况采用不同原理测斜仪进行比对测量。

附录 B 常用自动化监测内容、监测方法与仪器

监测内容			监测方法与仪器
变形	深层水平位移	围护墙及岩土体	滑动式智能测斜仪、固定式测斜仪、光纤传感器等
	水平位移	围护墙顶	智能全站仪、激光位移计、GNSS 等
		周边建筑	
		周边管线	
		周边地表	
	竖向位移	围护墙顶	自动化全站仪、静力水准仪、激光位移计等
		周边地表	
		周边建筑	
		周边道路、管线	
		立柱	
		基坑隆起	
	倾斜	周边建筑	倾角仪、自动化全站仪、静力水准仪、激光位移计、激光垂准仪
	裂缝	周边建筑	裂缝计、位移计
		围护桩墙	
应力应变	内力	围护桩墙内力	应力计、应变计、轴力计
		立柱内力	
		支持轴力	
		锚索轴力	锚杆测力计、应力计、锚索计
		土压力	土压力计
		孔隙水压力	孔隙水压计、渗压计
环境量	水位	地下水位	水位计、渗压计
其他	震动速度或加速度	爆破或振动影响范围	测振仪
		围内建（构）筑物、	

		管线	
--	--	----	--

附录 C 数据库存储字段及格式

类型	数据	字段名称	存储类型
文本类	项目名称	prj_name	varchar
	工程地点	prj_location	varchar
	设备名称	device_name	varchar
	测点名称	point_name	varchar
	监测类型	monitor_type	varchar
数值类	北坐标	data_x	decimal
	东坐标	data_y	decimal
	高程	data_z	decimal
	角度	data_angle	decimal
	速度	data_velocity	decimal
	距离	data_distance	decimal
	力	data_force	decimal
	数据维数	data_dim	int
时间类	测量时间	obs_time	datetime
	创建时间	gmt_create	datetime
标识类	记录 id	id	bigint/varchar
	是否合格	is_correct	tinyint
	预警等级	warn_level	tinyint
	是否删除	is_del	tinyint
	项目 id	prj_id	int

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，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”。

引用标准名录

- 1 《工程测量通用规范》 GB55018
- 2 《工程测量规范》 GB 50026
- 3 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB 50497
- 4 《建筑变形测量规范》 JGJ8
- 5 《建筑基坑支护技术规范》 JGJ120
- 6 《测振仪检定规程》 JJG676
- 7 《卫星定位城市测量技术标准》 CJJ/T73
- 8 《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》 GB 50169
- 9 《自动化仪表工程施工及质量验收规范》 GB50093
- 10 《爆破安全规程》 GB6722
- 11 《城市地下工程施工与运行监测技术规程》 DB33/T 1266-2021
- 12 《基坑工程自动化监测技术规范》 DBJT 15-185-2020

团体标准

基坑工程自动化监测技术规程 Technical Specification for automatic monitoring of excavation engineering

条文说明

目 次

1 总 则.....	31
3 基本规定.....	32
4 自动化监测系统.....	35
4.1 一般规定.....	35
4.2 监测系统功能要求.....	35
4.3 监测系统性能要求.....	36
4.4 系统管理及维护要求.....	37
5 自动化监测的方法和要求.....	38
5.1 一般规定.....	38
5.2 水平位移监测.....	38
5.3 竖向位移监测.....	39
5.4 深层水平位移监测.....	39
5.7 裂缝监测.....	39
5.8 内力监测.....	40
6 数据采集、传输与存储.....	41
6.2 数据采集.....	41
7 数据处理与分析.....	42
8 反演预测.....	43
9 信息反馈.....	45

1 总 则

条文说明 **1.0.1** 随着基坑工程因自身及周边环境影响愈发复杂性，对自动化监测提出更高要求。为规范本省基坑工程自动化监测工作，保障监测质量，达成技术先进、成果可靠、安全实用且经济合理的目标，结合浙江实际工程场景，建立、应用并推广基坑工程自动化监测标准，填补现有规程空白，助力行业高质量发展，特制定本规程。

3 基本规定

3.0.1 基坑监测等级及基坑工程施工影响分区按照现行浙江省工程建设标准《城市地下工程施工与运行监测技术规程》DB33/T1266 的有关规定确定。采用自动化监测的基坑工程，监测项目是否采用自动化应根据基坑监测等级，可按表 3.0.1-1 确定。

表 3.0.1-1 自动化监测基坑工程的自动化监测项目

自动化监测项目	基坑监测等级			
	特级	一级	二级	三级
水平位移	宜采用	可采用	可采用	可采用
竖向位移	宜采用	可采用	可采用	可采用
深层水平位移	应采用	应采用	应采用	宜采用
倾斜监测	应采用	应采用	应采用	宜采用
地下水位	应采用	应采用	应采用	宜采用
裂缝监测	宜采用	可采用	可采用	可采用
内力监测	应采用	应采用	应采用	宜采用
振动监测	宜采用	可采用	可采用	可采用

3.0.2 条件受限时，自动化监测可与人工监测相结合。组合方式可包括：采用人工外业监测、自动化处理原始数据、自动分析数据和预警的组合方式；采用部分监测项（点）自动化监测、部分监测项（点）人工监测的组合方式。

3.0.3 基坑自动化监测工作应由具备相应资质的单位承担。监测单位应具备相应的技术能力和数据管理能力，确保数据准确可靠，以便分析、反演；反演预测模型应定期进行验证和更新，以适应基坑工程的动态变化；鼓励监测单位在条件允许的情况下，积极采用基于人工智能的反演预测技术，提高监测的智能化水平和预警能力。

3.0.4 因自动化监测技术及其软硬件系统尚处于不断发展中，为了保证自动化监测成果的可靠性，本条规定自动化监测项目宜具备比对测量的条件，以便在监测

实施时根据要求定期对自动化监测数据结果进行校验。

下列情况时宜进行校验：

- 1、常规周期维护校验；
- 2、同一测点连续 3 次及以上数据突变等异常情况；
- 3、系统硬件故障报警且无法消除故障；
- 4、其它重要施工节点或特殊施工方法实施时。

校验方式包括但不限于：

- 1、比对测量；
- 2、多传感器交叉验证；
- 3、抽样点校验。

具体校验方案宜根据监测等级及现场条件专项设计。

3.0.5 监测点的监测频率、监测精度等指标按照《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 中有关要求执行。自动化监测频率可参考表 3.0.5-1 规定，且自动化监测项目的监测频率不应低于人工监测方式最低监测频率的 2 倍。

表 3.0.5-1 自动化监测频率

监测等级	监测工况	监测频率
特级、一级	普通工况	4 次/d
	重要工况	1 次/2~4h
	关键工况	1 次/0.5~1h
二级、三级	普通工况	2 次/d
	重要工况	1 次/4~6h
	关键工况	1 次/1~2h

注：1、关键工况：伺服轴力加载和卸载阶段、土方开挖到底至底板垫层施工完成前；重要工况：土方开挖阶段、内支撑施工阶段、基础垫层施工至底板混凝土浇筑完成一周内、各道支撑拆除过程；普通工况：其余地下室基坑施工阶段；

- 2、监测预警后，监测频率宜加密；
- 3、当工程发生异常情况时，监测频率应加密。

3.0.12 本条给出了宜进行反演预测的基坑工程，对于监测等级为特级的基坑工

程，考虑基坑自身的安全性及对周边环境、保护对象的保护，建议该种情况宜进行反演预测，以预测基坑变形风险点。采用伺服系统主动控制变形的基坑工程可通过对支撑轴力、围护结构位移等监测数据的实时采集和分析，利用反演算法预测支撑结构在后续施工过程中的围护变形和受力情况。基于预测结果，系统自动多次调整支撑伺服轴力，使其与基坑的实际受力需求相匹配，以实现轴力与变形的动态平衡，满足基坑围护结构变形的精准控制。其他如采用新技术、新工艺、新材料的基坑工程，或建设单位、设计单位明确特殊要求的基坑工程，宜进行反演预测，以优化施工参数等。反演预测可通过对当前和历史监测数据的分析，反推岩土物理力学参数、围护结构参数，并预测基坑后续工况的变形趋势和状态。这一过程能为基坑工程的安全性评判提供前瞻性依据，帮助及时调整施工方案和优化支护措施，保障基坑及周边环境的安全。

4 自动化监测系统

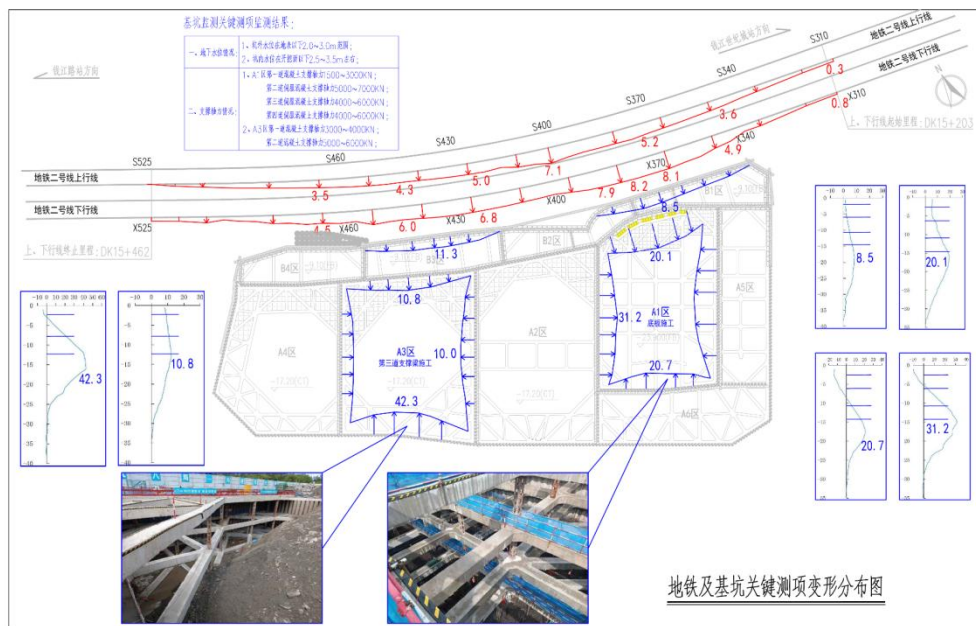
4.1 一般规定

4.1.3 自动化监测所采用的关键技术及软硬件设备，有国家标准或行业标准的应满足其相应要求；暂无国家标准或行业标准的仪器设备及采用新技术、新方法的仪器设备，通过鉴定或测试能满足精度要求、运行可靠，亦可使用。

4.1.4 系统电源作为整个监测系统的动力，是监测系统稳定运行的保障，必须进行可靠的设计；根据实施经验，雷击对监测系统破坏威胁性较大，如对监测系统设备损毁、线缆熔断、传感器短路等故障，还可能造成人身伤害或火灾爆炸事故，因此系统的防雷设计也十分重要。埋入式采集装置不需要配备防雷装置，离地高度超过 1.5m 的数据采集装置、通讯设备等需配备防雷装置。

4.2 监测系统功能要求

4.2.1 当某些数据无法实现自动化监测时，可采取人工监测输入录入的方式，保证数据采集的完整性。对传感器采集的数据进行转换，是指将传感器采集到的振弦信号、电压信号等原始信号转换为模数、频率或是角度、力等形式的物理量。对监测设备采集的数据进行计算是指对采集的角度、距离、高差等数据进行数据预处理、平差计算、精度评定。变形的时空特征是指基坑变形的空间分布、变形随工况及时间的发展态势等，监测成果及变形特征等各类要素曲线应力求直观、可视化，便于分析，如下图：



4.2.3 监测系统能实现既定规则情况下的信息自动反馈,也能实现平台间的数据共享。为满足各个系统平台之间的数据传输,不造成数据孤岛,系统平台可采取预留数据对接接口的形式,以方便实现平台间的数据共享。

4.2.5 监测系统网络安全防护的重点是防范网络攻击,为保护数据的安全性、连续性,可采取数据保护措施有条件的监测机构可设立专用的监测数据服务器,对监测数据进行保护。

4.3 监测系统性能要求

4.3.1 ~4.3.5 自动化监测系统的性能是自动化监测工作的重要保障,也是自动化监测技术推广的关键, **4.3.1~4.3.5** 条对系统稳定性、可靠性、可扩展性、使用便捷性等方面做了基本规定,以适应基坑监测复杂的现场环境,保证自动化监测项

目能顺利实施。

4.4 系统管理及维护要求

4.4.1 本条规定基坑自动化监测系统的维护和管理工作应由监测单位派专人负责，保障监测系统的运行稳定，并对自动化监测系统检查频率提出具体要求。

4.4.2 本条提出系统调试时，可进行比对测量以保证数据有效性和准确性，调试完成后监测系统试运行时间不少于 72h（3 天）。参考《自动化仪表工程施工及质量验收规范》（GB50093-2013）“13.1.3 仪表工程应连续开通投入运行 48h，并应运行正常”和《基坑工程自动化监测技术规范》（DBJT 15-185-2020）“4.4.4 自动化监测系统安装调试完成后应进行试运行，稳定运行 72h 后正式投入使用”规定“稳定运行 72 小时后正式投入使用”。

4.4.4 本条侧重从系统的软件平台考虑，软件平台最初设计时对接入平台的数据量必定有一定的上限，相关指标参数可能会有所遗漏。当数据量达到设计上限要求时，系统运行稳定性和流畅性就会受到影响。因此应根据实际平台的使用情况，及时予以完善和升级。

5 自动化监测的方法和要求

5.1 一般规定

5.1.1~5.1.2 基坑监测方法的选择应综合考虑各种因素，简便易行且利于适应施工现场条件的变化和施工进度的要求。根据基坑类别明确监测项目，在满足监测精度要求的前提下，兼顾经济及技术的可行性，选择合理的监测方法。同一监测项目，实施时可根据具体环境组合多种监测手段和方法。目前传感器及物联网技术发展日新月异，监测仪器及监测传感器发展速度很快。本规范对新技术、新方法的采用持积极的态度，所用设备通过检定、率定或测试，只要能满足精度要求、运行可靠，均可纳入本规范使用范围。附录 B 中所列方法可供参考。

5.1.4 监测基准网的布设、测量及检核要求参照《工程测量标准》GB50026、《建筑变形测量规范》JGJ8、《建筑基坑工程监测技术标准》GB50497 有关明确规定，遵照执行。

5.1.5 监测设备应在检定有效期内。设备识别码可以实现采集设备的严监管、可追溯要求，也可以在信号线被破坏后查找到传感器编号。选择合适的通信技术实现数据无障碍传输，选择适应监测项目需求的移动端等监测预警方式。尽量做到在不中断监测的情况下进行维护维修，在维护维修后监测工作仍能正常衔接，监测数据应连续记录存储。本条对于监测设备的选择原则作出基本要求。

5.2 水平位移监测

5.2.2 基准点的选位对于整个监测结果有直接影响，选位须设置于基坑施工次要影响区以外的稳定区域。基准点的埋设应符合相关规范要求。水平位移观测宜采用后方交会的自由设站方式，观测时应同时观测至少 3 个基准点。受制于监测现场环境，仪器架站位置很难同时观测到 3 个基准点，此时基准点也可以采用工作基点。当选用基准点有工作基点参与时，应及时对监测网进行人工复测。基坑施工次要影响区的规定参照《城市地下工程施工与运行监测技术规范》（DB33/T 1266）。

5.3 竖向位移监测

5.3.1 基坑竖向位移一般采用智能型全站仪进行观测,可采用三角高程测量方法。在具备安装条件及经济允许的情况下,也可采用静力水准进行量测。

5.4 深层水平位移监测

5.4.1 通过总结自动化监测的案例,测斜孔埋设质量对监测误差有较大影响。对于桩(墙)体的监测,一般情况下测斜孔埋设质量较好,滑动式智能测斜仪、固定式测斜仪或光纤式传感器等设备均适用。对于土体的监测,测斜孔外填料密实度较难控制,采用滑动式智能测斜仪时监测深度不宜过大,故对于较深的土体测斜孔建议采用孔底注浆以确保埋设质量。

5.4.2 当采用滑动式智能测斜仪时,每次测量前自动校准测量总步长,沿竖向测点间隔不大于 0.5m,逐段测量的间隔误差应不大于 20mm。当采用固定式智能测斜仪时,分析表明在基坑开挖深度范围内测量间隔为 1m~2m 时,监测数据能够反应监测深度范围内管形变化;对于计算挠度较大部位,适当减小测点布置间距。

5.4.3 当测斜管嵌固在稳定岩土中,可以测斜管底部为位移起算点;当测斜管底部欠稳定时,应以测斜管上部管口为起算点,且每次监测均应测测点管口位移,并对深层水平位移值进行修正。考虑孔口修正投入较大,建议有条件时宜适当加深测斜管,以底部作为起算点。

5.4.6 通过总结监测案例,部分测斜管长期使用后会出现孔底淤积泥沙现象,导致监测深度发生变化。测斜管埋设时应做好密封处理以防止泥沙进入管内淤积。十字导槽未与基坑边垂直时,应对变形数据进行换算。

测斜孔埋设质量对自动化监测数据稳定有较大影响,埋设质量主要受孔外填料的选择及密实程度影响。建议埋设时选择粗砂、黏土球等优质填料;同时应在监测前提前埋设并补充回填,稳定后方可采集数据。

5.7 裂缝监测

5.7.3 裂缝计或位移计应能准确测量裂缝的宽度,必要时设置多个传感器对不同裂缝发展方向进行测量。

5.7.5 因裂缝发展的不确定性,有开合位移计沿裂缝的切向位移等情况,裂缝计

或位移计的安装支架应设计具有可旋转的装置，避免传感器受裂缝剪切变形影响而导致测量的数据不准确和传感器直接损坏。

5.8 内力监测

5.8.5 测试表明，内力监测设备监测受温度影响较大，具有量测温度功能可进行温度修正。

6 数据采集、传输与存储

6.2 数据采集

6.2.2 数据采集方法包括：传感器采集、外部设备接口、数据传输网络。

传感器是自动化系统中常用的数据采集设备之一，它们能够将物理量转化为电信号，并传送给控制系统。例如，温度传感器可测量环境温度，加速度传感器可测量物体的加速度。通过传感器采集的数据可以直接用于后续的分析或者存储。

自动化系统还可以通过与外部设备建立接口，直接获取相关数据。这种方式能够减少人工干预，并提高数据采集的准确性和实时性。

通过网络传输数据是现代自动化系统常用的数据采集方法之一。数据可以通过有线或者无线网络传输到云端或者中央服务器，实现数据集中存储和实时监控。

7 数据处理与分析

7.0.6 采用智能全站仪进行自动化监测时，稳定性检验可采用下列方法进行：
采用最小二乘平差的检验方法，复测的平差值与首次观测的平差值较差 Δ 在满足下式要求时，可认为点位稳定。

$$\Delta < 2\mu\sqrt{2Q} \quad (7.0.6)$$

式中： Δ ——较差的中误差；

μ ——单位权中误差；

Q ——权系数。

8 反演预测

8.0.1 基于经典算法的反演方法的算法包括最小二乘法、有限元法等。最小二乘法通过最小化监测数据与理论计算数据之间的误差平方和，来确定岩土物理力学参数。有限元法结合有限元模型，将监测数据作为约束条件，反演求解模型中的参数。基于人工智能的反演预测方法包括如神经网络、支持向量机等，能够自动学习监测数据中的复杂模式和规律。神经网络通过构建多层神经元结构，对大量历史监测数据进行训练，从而建立监测数据与岩土物理力学参数、基坑变形之间的映射关系。支持向量机则基于统计学习理论，在高维空间中寻找最优分类超平面，实现对监测数据的准确分类和预测。深度学习模型，如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）及其变体（如 LSTM、GRU），在处理复杂的监测数据时表现出独特优势。CNN 能够自动提取数据中的空间特征，适用于处理图像化的监测数据；RNN 及其变体则擅长处理时间序列数据，能够捕捉基坑变形随时间的动态变化规律。LSTM 和 GRU 作为 RNN 的变体，同样适用于时序数据（如基坑变形监测），擅长捕捉长期依赖关系。GRU 结构更简洁，适合数据量较小或实时性要求高的场景；LSTM 则对复杂时序模式建模更精准。LSTM 和 GRU 适用于高频率、强时序关联的监测数据，如伺服系统轴力动态调整场景。通过对长时间序列的监测数据进行学习，这些模型可以更准确地预测未来的变形趋势。混合反演方法是将经典算法与人工智能算法相结合，可以充分发挥两者的优势。例如，先利用经典算法初步反演岩土物理力学参数，再将这些参数作为初始值输入到神经网络中进行进一步优化训练，从而提高反演预测的精度和可靠性。

8.0.2 1、数据收集与预处理：收集基坑工程的地质勘察报告、设计文件、施工记录以及监测系统获取的位移、应力、地下水位等监测数据。对收集到的数据进行预处理，包括数据清洗、去噪、填补缺失值等，确保数据的准确性和完整性。监测数据预处理需包含传感器标定补偿、时频域滤波（如小波去噪），监测数据若部分缺失，缺失数据填补宜采用监测系统历史数据相关性分析。2、模型选择与建立：根据基坑的特点、监测数据的类型和数量，选择合适的反演预测模型。建立模型时，需确定模型的结构、参数和训练方法。3、模型训练与验证：使用预处理后的数据对选定的模型进行训练，调整模型的参数，使其能够准确地反映

监测数据与岩土物理力学参数、基坑变形之间的关系。训练完成后，利用独立的验证数据集对模型进行验证，评估模型的预测精度和可靠性。常用的评估指标包括均方误差（MSE）、均方根误差（RMSE）、平均绝对误差（MAE）等。

4、反演预测与结果分析：将实时监测数据输入训练好的模型中，进行反演预测，得到岩土物理力学参数和基坑变形预测值。对预测结果进行分析，判断基坑的安全性，并与预警值进行比较。若预测结果接近或超过预警值，及时发出预警信号，并制定相应的处理措施。

5、模型更新与优化：随着基坑施工的推进和监测数据的不断积累，定期对反演预测模型进行更新和优化。通过重新训练模型，使其能够更好地适应基坑工程的变化，提高预测的准确性。

8.0.3 伺服轴力主动控制的反演预测流程具体包括：

1、实时数据采集：支撑轴力、围护结构位移、土压力等，采样频率 ≥ 1 次/分钟；

2、参数反演：基于有限元模型或机器学习算法（如 LSTM，其他具备时序建模能力的算法经验证后亦可采用），反演土体弹性模量、黏聚力、内摩擦角等；

3、变形预测：计算下一施工阶段围护结构位移及支撑轴力阈值；

4、控制指令生成：通过 PID 算法动态调整伺服系统输出轴力；

5、闭环反馈：根据实时监测反馈确认是否满足变形目标要求。若满足目标要求，并每隔一定时间更新反演模型参数；若未满足目标要求，重新生成控制指令。为保证预测精度，采用具备时序建模能力的算法网络时，需对输入的时序监测数据量、轴力调整响应时间、位移控制精度要求、轴力控制安全冗余度等进行设置。轴力调整需与基坑土方开挖、支撑布置等施工工序联动，每次调整后需进行数据稳定性校验。

8.0.4 误差分析需结合监测数据波动范围设定容差带，模型校验宜对比至少 3 组独立监测数据。反演预测方案中应明确反演模型校验未达成目标要求时的应急措施，如模型校验不通过时采用备用算法切换流程。

9 信息反馈

9.0.2 监测单位在预警前，需排除系统错误或者工作失误造成的数据异常，以免发生误报。

9.0.7 总结报告是基坑工程监测工作全部完成后，监测单位对监测技术方案、技术标准、规范等的执行情况，技术方案实施中出现的主要技术问题、处理方法，基准点稳定状况、监测过程资料、监测成果质量等进行分析 and 总结，对监测工作作出客观描述和评价、并提出结论及建议。总结报告是自动化监测成果的重要组成部分，必不可少。总结的经验与教训，可以为自动化监测系统的升级和完善提供工程实践依据，也可为类似的基坑工程设计、施工和监测提供参考。