

# 深基坑岩土工程变形监测规律与风险防控技术探讨

胡兴繁

中国冶金地质总局内蒙古地质勘查院 内蒙 呼和浩特 010000

**摘要:** 随着城市地下空间开发加剧,深基坑工程安全管控愈发重要。本文系统探讨深基坑岩土工程变形监测规律与风险防控技术体系。通过明确监测核心内容、优化监测方案,分析不同施工阶段变形特征及影响因素,总结支护结构、岩土体及周边环境三类核心风险类型,构建“前期预防-施工管控-监测预警-应急处置”全流程防控体系。研究表明,变形发展呈“平缓-加速-收敛”规律,地质、施工及环境因素显著影响变形量级,构建的防控体系可有效规避安全隐患。

**关键词:** 深基坑岩土工程;变形监测规律;方案设计;风险类型;风险防控技术

引言:深基坑工程是高层建筑与地下空间开发的核心环节,其岩土体变形具有隐蔽性、渐进性特点,易引发支护失稳、周边建筑损坏等安全事故,严重威胁施工安全与周边环境。当前,深基坑工程地质条件日趋复杂,传统监测与防控技术已难以满足实际需求。基于此,本文结合最新行业规范,围绕变形监测概述、方案设计、规律分析、风险类型及防控体系展开研究,旨在明确变形发展规律,构建科学可行的防控技术体系,解决工程实际中的安全管控难题。

## 1 深基坑岩土工程变形监测概述

深基坑岩土工程变形监测是深基坑施工安全管控的核心环节,主要针对基坑开挖及支护过程中,岩土体、围护结构及周边环境的变形现象开展系统性监测。根据最新《建筑基坑工程监测技术规范》(GB50497-2021),深基坑指开挖深度 $\geq 5\text{m}$ 或地质条件复杂、周边有重要建(构)筑物、地下管线的基坑,其岩土工程变形具有隐蔽性、渐进性特点,易引发安全隐患。监测核心围绕围护结构水平与竖向位移、土体深层位移、坑底隆起、周边地表沉降及地下水位变化等关键指标展开。监测工作需依托岩土体力学特性、基坑开挖时空效应等理论,结合现场实际地质与施工工况,采用精准、可靠的监测方法与仪器,确保监测数据真实有效,为变形规律分析、风险识别及防控措施制定提供基础,全程遵循行业规范,兼顾专业性与实用性,全面覆盖基坑施工全流程监测需求<sup>[1]</sup>。

## 2 深基坑岩土工程变形监测方案设计

### 2.1 监测内容与监测点布设

结合深基坑工程实际施工需求,监测内容聚焦核心变形指标,监测点布设遵循“全面覆盖、重点突出、精准定位”原则。(1)核心监测内容,重点监测4类关键指标:围护结构变形(水平位移、竖向位移)、土体变形(深层土体位移、周边地表沉降)、坑底隆起及地下水位,

均符合最新《建筑基坑工程监测技术规范》要求,覆盖基坑施工全流程风险点。(2)监测点布设,基准点远离基坑影响范围(距基坑边缘 $\geq 30\text{m}$ ),选用稳定岩土体或基岩,布设数量不少于3个;围护结构水平位移监测点间距 $10\text{--}15\text{m}$ ,基坑阳角、受力集中部位加密至 $5\text{--}8\text{m}$ ;周边地表沉降监测点沿基坑周边均匀布设,间距 $8\text{--}12\text{m}$ ,邻近建筑物、地下管线处加密,监测点埋深不小于 $0.5\text{m}$ ,避免外界干扰。

### 2.2 监测方法与仪器选型

结合工程地质条件与监测精度要求,选用成熟可靠的监测方法及仪器,兼顾实用性与专业性。(1)监测方法,围护结构水平位移采用测斜仪法,土体深层位移采用钻孔测斜法,周边地表沉降及围护结构竖向位移采用水准仪法,地下水位采用水位计法,均为现场常用成熟方法,操作便捷、数据精准。(2)仪器选型,严格匹配精度要求:测斜仪选用分辨率 $\leq 0.01\text{mm/m}$ 、量程 $\pm 30^\circ$ 的数字式测斜仪;水准仪选用DS05级精密水准仪,精度 $\leq 0.5\text{mm/km}$ ;水位计选用投入式液位计,精度 $\leq 1\text{mm}$ 、量程 $0\text{--}50\text{m}$ ;所有仪器经校验合格后投入使用,定期复检,确保监测数据准确有效。

### 2.3 监测频率与数据处理要求

结合基坑施工阶段特点,动态调整监测频率,规范处理监测数据。(1)监测频率,开挖初期(开挖深度 $\leq 3\text{m}$ )每2-3天1次;开挖中期(3-5m)每天1次;开挖至设计深度及支护完成后每3-5天1次;变形速率异常( $\geq 2\text{mm/d}$ )时,加密至每4-6小时1次,直至变形稳定。(2)数据处理,现场即时记录采集数据,采用3倍标准差法剔除异常值,通过专业软件滤波、拟合,绘制变形时态曲线;核对仪器校验记录,确保数据可信;每天整理数据形成监测日报,标注变形数值、变化速率,接近预警阈值时立即上报,为施工调整提供数据支撑,全程符

合规范及现场管控要求<sup>[2]</sup>。

### 3 深基坑岩土工程变形监测规律分析

#### 3.1 监测数据采集与有效性验证

数据采集与验证是变形规律分析的基础，具体要求如下：（1）数据采集，严格按监测方案执行，采用校验合格的仪器，同步记录监测时间、施工工况（开挖深度、支护进度）及环境条件（气温、降雨），避免遗漏；采集时规范操作仪器，测斜仪匀速下放至预设深度，水准仪多次观测取平均值，保障原始数据真实完整。（2）有效性验证，采用3倍标准差法剔除异常数据，对偏差较大数据复核，确认是否因仪器故障、外界干扰导致；核对监测点位是否移位、仪器是否失准，标注无效数据及原因，保留有效数据用于后续分析，确保结果贴合工程实际。

#### 3.2 不同施工阶段变形规律

深基坑不同施工阶段变形特征差异显著，规律如下：（1）开挖初期（开挖深度 $\leq 3\text{m}$ ），变形以微量侧向位移为主，围护结构水平位移速率 $\leq 0.5\text{mm/d}$ ，周边地表沉降量小，由基坑侧向卸荷引发，变形发展平缓无突变。（2）开挖中期（开挖深度 $3\text{--}5\text{m}$ ），变形速率显著加快，围护结构水平位移速率达 $1.0\text{--}2.0\text{mm/d}$ ，坑底轻微隆起（ $\leq 5\text{mm}$ ），周边地表沉降范围扩大，因岩土体应力重分布、支护受力增加导致，变形呈线性增长。（3）开挖后期及支护完成后，变形速率减缓至 $\leq 0.3\text{mm/d}$ ，坑底隆起趋于稳定，周边地表沉降不再明显增加，变形进入收敛阶段并最终稳定。

#### 3.3 影响变形的关键因素分析

结合现场监测数据，影响深基坑变形的关键因素分为三类：（1）地质条件，粉质黏土、淤泥质土等软土地区，岩土体抗剪强度低、压缩性大，变形量及速率远大于砂土、碎石土地区；地下水位较高时，易引发土体渗透变形，加剧周边沉降。（2）施工因素，开挖顺序混乱、分层厚度超 $1.5\text{m}$ ，会导致岩土体应力集中，加快变形；支护不及时、支撑安装精度不足，会降低支护承载能力，导致变形超标。（3）环境因素，连续降雨降低岩土体强度、增加自重，加剧变形；周边施工荷载、车辆振动扰动周边岩土体，引发附加变形。

#### 3.4 变形规律量化特征

基于有效监测数据，变形规律量化特征如下：（1）时间量化，变形呈“平缓-加速-收敛”三阶段曲线，开挖中期（开挖后 $7\text{--}15\text{天}$ ）为加速关键期，占总变形量的 $60\%\text{--}70\%$ ，支护完成后 $15\text{--}20\text{天}$ 趋于稳定。（2）空间量化，围护结构水平位移最大值出现在基坑阳角及开挖最深部位，向两侧逐渐减小；周边地表沉降呈“中间大、两侧

小”分布，最大值距基坑边缘 $5\text{--}8\text{m}$ ，随距离增加逐渐衰减。（3）数值量化，正常施工下，围护结构总水平位移 $\leq 30\text{mm}$ ，周边地表沉降 $\leq 20\text{mm}$ ，坑底隆起 $\leq 10\text{mm}$ ，超出该范围需警惕安全风险，及时调整施工参数<sup>[3]</sup>。

### 4 深基坑岩土工程主要风险类型

结合深基坑工程施工实际及监测数据反馈，其主要风险类型聚焦于支护结构、岩土体及周边环境三大维度，具体分类如下：（1）支护结构风险，主要包括围护结构失稳、支撑体系失效及接缝渗漏三类。围护结构易出现水平位移超标、墙体开裂，多见于软土地区或受力集中部位；支撑体系可能出现轴力超标、支撑变形、连接件松动，严重时发生支撑断裂；接缝渗漏多发生在地下连续墙、灌注桩接缝处，表现为渗水、涌砂现象。（2）岩土体变形风险，核心为坑壁坍塌与坑底隆起。坑壁坍塌多因岩土体抗剪强度不足、开挖坡度过大或雨水浸泡引发，分为局部坍塌与整体坍塌；坑底隆起主要源于基坑开挖卸荷，软土地区因土体压缩性大，隆起量易超出允许范围，破坏基坑底部结构。（3）周边环境风险，主要影响周边建筑物、地下管线及地下水。周边建筑物易出现墙体开裂、基础沉降，多因基坑周边土体沉降传导导致；地下管线可能发生位移、破损，尤其燃气、给排水管线，易引发次生隐患；地下水流失会导致地下水位下降，引发周边地面附加沉降<sup>[4]</sup>。

### 5 深基坑岩土工程风险防控技术体系构建

#### 5.1 前期预防技术

前期预防是风险防控的基础，聚焦勘察、设计及前期准备环节，具体技术如下：（1）精细化地质勘察与环境调查技术，采用物探与坑探相结合的方式，精准查明基坑周边岩土体分布、水文地质条件，重点排查软土、地下水富集区等风险点；同步建立周边建筑物、地下管线详细台账，明确管线走向、埋深及建筑物基础类型，标注重点保护对象。（2）优化设计技术，结合勘察结果，合理选型围护结构，软土地区优先采用地下连续墙或排桩+止水帷幕组合形式，严控设计参数，优化基坑开挖坡度、分层厚度及支护间距；同步验算支护结构承载力、抗倾覆及抗滑移能力，避免设计缺陷引发风险。（3）前期准备技术，施工前对现场施工人员进行专业培训，明确防控技术要点及操作规范；对监测仪器、施工设备进行全面校验，确保设备性能达标；提前布设排水系统，做好基坑周边临时防护，避免施工前出现安全隐患。

#### 5.2 施工过程防控技术

施工过程是风险防控的关键环节，核心围绕支护施工、开挖管控及现场管控展开，具体技术如下：（1）支

护结构施工防控,严格按设计方案施工,严控围护结构成孔、浇筑质量,避免出现墙体垂直度偏差、接缝渗漏等问题;支撑体系安装及时,确保支撑定位精准、连接牢固,浇筑完成后及时养护,达到设计强度后方可承受荷载。(2)开挖施工防控,采用分层分段、限时支护的开挖方式,软土地区分层厚度控制在1.0-1.5m,分段长度不超过15m,开挖后24小时内完成支护;严控开挖坡度,避免陡坡开挖,基坑边缘严禁堆放重物,控制施工荷载不超过设计限值。(3)现场管控技术,施工期间定期检查基坑周边土体及支护结构,及时清理坑底积水、浮土;雨天暂停开挖作业,对坑壁进行覆盖防护,疏通排水沟,防止雨水浸泡软化土体;合理安排施工工序,避免交叉作业引发的施工干扰。

### 5.3 监测预警防控技术

监测预警是动态防控的核心,依托监测数据实现风险早发现、早处置,具体技术如下:(1)监测系统优化技术,结合工程实际优化监测点位布设,重点部位加密监测点,采用自动化监测设备,实现数据实时采集、无线传输,减少人工干预,提高监测效率。(2)数据研判与预警技术,建立监测数据常态化分析机制,采用专业软件对数据进行滤波、拟合,对比分析变形趋势;设定分级预警阈值,一级预警(变形速率 $\geq 2\text{mm/d}$ )、二级预警( $1-2\text{mm/d}$ )、三级预警( $\leq 1\text{mm/d}$ ),明确各级预警响应流程。(3)预警处置技术,监测到异常数据后,立即复核监测数据,确认预警等级,第一时间上报相关单位;根据预警等级调整施工工况,一级预警立即停工,加密监测频率,排查风险原因并采取防控措施,待变形稳定后再恢复施工。

### 5.4 应急防控技术

应急防控聚焦突发风险处置,依托应急方案与专项技术,快速控制风险扩大,具体技术如下:(1)应急准备技术,制定针对性应急处置方案,明确不同风险类型(坍塌、渗漏、管线破损等)的处置流程、责任分工;配备

充足应急物资,包括双液注浆设备、临时支撑、沙袋、水泵等,定期检查物资完好性,组织应急演练。(2)突发风险处置技术,基坑局部坍塌时,立即停止施工,撤离现场人员,采用沙袋回填坍塌部位,布设临时支撑,防止坍塌扩大;围护结构接缝渗漏时,采用双液注浆封堵,同步布设排水孔,降低渗水压力;地下管线破损时,立即关闭相关管线阀门,组织专业人员抢修,防止次生灾害。(3)应急后续管控技术,风险处置完成后,加密监测频率,持续跟踪变形数据,确认风险完全控制;对处置过程进行复盘,优化防控技术,避免同类风险再次发生<sup>[9]</sup>。

结束语:本文围绕深基坑岩土工程变形监测与风险防控展开全面研究,通过理论结合实际的方式,完善了监测方案设计要点,揭示了不同施工阶段变形规律,明确了核心风险类型,构建了全流程防控技术体系。研究成果贴合工程实际,可直接指导深基坑施工安全管控工作。未来可结合智能化监测技术,深化变形规律量化研究,优化防控技术细节,为各类复杂地质条件下深基坑工程安全施工提供更具针对性的技术支持。

### 参考文献:

- [1]徐浩川.软土地区地铁深基坑变形监测技术与预警体系研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(3):155-158.
- [2]刘嘉文.复杂环境下岩土工程深基坑开挖监测和变形预警技术探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(8):088-091.
- [3]贺庭伟.深基坑支护结构变形实时监测与调控技术[J].四川建材,2025,51(5):119-121.
- [4]刘鑫泽.深基坑变形智能监测与协同加固技术研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(10):041-044.
- [5]姚飞翔,王越,陈先岳,陈泽虎.深基坑工程施工过程中岩土相互作用机理与风险管控研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(1):089-092.