

建筑深基坑施工安全监测中的 测绘数据采集与预警管理机制

陈思英¹, 魏峰², 陈述³

(1. 山东龙诚项目管理咨询有限公司, 山东 济宁 272100;

2. 中铁济南工程建设监理有限公司, 山东 济南 250022;

3. 青岛一建集团有限公司, 山东 青岛 265200)

摘要 为保障建筑深基坑施工全过程安全稳定, 本文以测绘监测数据为核心支撑, 系统构建深基坑安全监测的测绘数据采集体系与分级预警管理机制。明确深基坑监测基准控制、测点布设、数据采集方法、精度控制、数据处理与质量核验等关键技术要求, 建立覆盖数据采集、传输、分析、判定、预警、处置、复盘的全流程管理架构, 提出三级预警阈值设定、预警响应流程、应急处置与闭环管控措施, 以期为深基坑工程安全施工与风险管控提供技术参考。结果表明, 标准化测绘数据采集与规范化预警管理协同运行, 可提升变形识别准确率、缩短预警响应时间、降低基坑失稳风险。

关键词 深基坑; 安全监测; 测绘数据采集; 精度控制; 预警机制

中图分类号: TU46; P258

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.008

0 引言

深基坑工程受地质条件、开挖工况、周边环境及施工扰动多重因素影响, 支护结构与周边土体易产生不均匀沉降、水平位移、内力变化等异常响应, 严重时引发边坡失稳、管涌、塌陷及周边建构筑物损坏。测绘数据采集是深基坑安全监测的核心技术手段, 其数据真实性、连续性、精准性直接决定预警判断可靠性与施工决策科学性。本文以深基坑施工全过程为研究对象, 围绕测绘数据采集技术体系、质量控制标准、预警判定规则及管理运行机制展开系统研究, 形成可落地、可追溯、可考核的技术与管理体制, 为基坑工程监测实施、安全管控及应急处置提供统一技术路径。

1 深基坑测绘监测体系构成与控制基准

1.1 监测体系总体构成

深基坑安全监测以测绘技术为核心, 构建平面控制、高程控制、现场测点、采集传输、分析预警五位一体监测体系^[1]。监测对象涵盖支护桩(墙)、冠梁、内支撑、锚杆、基坑边坡、周边地表、建筑物、地下管线及道路等。监测内容主要包括: 顶部水平位移、竖向沉降、深层水平位移(测斜)、支护结构内力、支撑轴力、地下水位、孔隙水压力、周边建构筑物沉

降与倾斜等。体系运行遵循基准统一、测点固定、方法稳定、频次合规、数据可比原则, 确保监测结果可连续对比、可趋势分析、可预警判定。

1.2 平面与高程控制基准

基准体系是测绘数据准确可靠的前提, 基准点应布设于基坑变形影响范围以外, 一般不小于3倍开挖深度, 且置于稳定地层或永久建构筑物上。平面控制采用独立坐标系, 与城市坐标系联测, 布设闭合或附合导线, 导线点不少于3个, 形成稳定校核条件。水平位移监测等级满足二级导线要求, 测角中误差 $\leq \pm 2''$, 边长相对中误差 $\leq 1/10\ 000$ 。高程控制采用二等水准测量, 布设闭合水准路线, 使用电子水准仪与钢瓦尺, 每千米高差中误差 $\leq \pm 0.3\text{ mm}$, 基准点数量不少于3个, 满足相互检核与稳定性判断条件。每次正式监测前, 均应对基准点进行联测复核, 确认基准稳定后方可开展测点数据采集。

1.3 监测点布设原则与要求

监测点布设以关键部位优先、变形敏感区加密、影响范围全覆盖为原则。支护结构顶部水平位移与沉降测点沿基坑周边布设, 间距一般 $10\text{ m} \sim 20\text{ m}$, 阳角、拐点、支撑端部应增设测点; 深层水平位移测点布设于支护桩或连续墙墙体中, 测斜管埋深不小于基坑深

作者简介: 陈思英(1988-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑工程。

度 1.5 倍, 导槽方向垂直于基坑边线^[2]。周边建筑物测点布设于墙角、柱基、楼梯间等敏感部位, 沿高度方向必要时布设倾斜测点; 地下管线测点优先布置于接口、弯头、阀门及材质变化处。地表沉降测点沿基坑侧向布设, 由近及远形成监测剖面, 覆盖主要影响区域。所有测点应安装牢固、标识清晰、保护可靠, 避免施工扰动损坏^[3]。

2 深基坑测绘数据采集技术与方法

2.1 水平位移数据采集

水平位移以全站仪极坐标法为主要采集方式, 采用 0.5" 级高精度全站仪, 固定测站、固定后视、固定观测路径, 每点观测 2 测回, 测回间较差 $\leq 3\text{ mm}$, 取均值作为成果。对重要基坑或超长开挖面, 可结合 GNSS 静态 /RTK 模式实施自动化监测, 静态定位平面精度 $\leq \pm 3\text{ mm}$, 动态监测更新频率可根据工况设置为 10 min/次 $\sim$ 1 h/次。数据采集应避开强光、大风、震动干扰, 仪器严格对中整平, 开机预热稳定后观测, 记录温度、气压等环境参数, 用于观测值修正^[4]。每次采集完成后即时进行闭合差与限差检核, 超差立即重测。

2.2 竖向沉降数据采集

竖向沉降采用二等电子水准测量, 按后-前-前-后观测顺序, 闭合或附合路线施测, 视线高度不低于 0.3 m, 基辅分划读数差 $\leq 0.4\text{ mm}$, 往返测高差不符值满足规范要求。同一测点两次观测差值 $\leq 0.5\text{ mm}$, 确保沉降数据精准稳定。对自动化监测需求较高的项目, 可采用静力水准系统实现不间断采集, 传感器分辨率达 0.01 mm, 通过 RS485 总线与无线模块传输, 实现沉降变化连续记录。深层沉降与分层沉降通过专用磁环式沉降仪实施, 沿测杆定点测读, 反映不同深度土体沉降规律。

2.3 深层水平位移数据采集

深层水平位移采用数字式测斜仪实施, 探头精度不低于 $\pm 0.02\text{ mm}/0.5\text{ m}$, 沿测斜管由下至上每 0.5 m 测读一次, 正反两向观测, 双向差值 $\leq 0.5\text{ mm}$, 消除仪器系统偏差。初始值在基坑开挖前连续测量 3 次, 取均值作为基准。采集时探头匀速下放, 避免冲击与卡滞, 管内可注入清水减小摩擦。数据结果用于绘制位移-深度曲线, 判断墙体或土体深层变形形态, 识别滑移面与潜在失稳区域, 为支护安全性评价提供关键依据。

2.4 自动化采集与数据传输

自动化采集系统由传感器、采集仪、通信模块、云平台组成, 支持振弦式、光纤光栅、MEMS 等多类型传感器接入, 可实现位移、应力、水位、渗压等多参数同步采集。采集频率按工况可调, 正常施工期一般 30 min/次 $\sim$ 1 h/次, 开挖与降雨等关键期加密

至 10 min/次 $\sim$ 15 min/次。数据传输采用 4G/5G、NB IoT、LoRa 等无线方式, 关键数据低延迟实时上传, 平台具备断点续传、本地缓存、异常补采功能, 保证数据连续不丢失。人工巡检与自动化采集形成互补, 对裂缝、渗水、掉块、隆起等现场状况同步记录, 实现数据与现象联合研判。

3 测绘数据处理与质量控制体系

3.1 数据预处理与误差修正

原始观测数据需进行标准化预处理, 包括粗差剔除、系统误差修正、时空对齐、平滑滤波。采用 3 σ 准则识别并剔除异常值, 对温度、气压、仪器漂移等进行修正; 统一时间戳与坐标系, 确保多测点、多项目数据时序一致、空间可比。对高频采集数据采用滑动平均、卡尔曼滤波等方法降噪, 提升曲线平滑度与趋势可读性, 避免噪声干扰导致误预警。

3.2 数据质量核验规则

数据质量实行四重校核: 一是现场校核, 观测完成即时复核限差, 不合格重测; 二是内业校核, 检查闭合差、较差、重复精度; 三是趋势校核, 对比前次数据, 判断变化速率是否合理; 四是交叉校核, 对比位移、内力、水位等关联项目, 确保变化逻辑一致。凡出现突变、跳变、超差、反向不合理变化等情况, 必须立即现场复核测点、仪器与采集流程, 排除故障后方可采用^[5]。

3.3 监测频次与阶段控制

监测频次严格按基坑安全等级与施工阶段执行: 开挖与支撑安装阶段加密监测, 一般每天 1 次至 2 次; 降雨、周边堆载、邻近施工等特殊工况提高频次, 必要时连续实时监测; 底板浇筑完成并趋于稳定后可降低频次。监测工作贯穿开挖前、开挖中、支撑期、回筑期、移交稳定期全过程, 任何工况不得擅自中断或漏测。

4 深基坑监测预警管理机制构建

4.1 三级预警阈值设定

预警阈值以设计文件为依据, 结合地质条件、安全等级、周边环境风险综合确定, 实行三级预警管理: (1) 黄色预警(关注): 累计值达控制值的 60% $\sim$ 80%, 或日变化速率达预警速率。(2) 橙色预警(预警): 累计值达控制值的 80% $\sim$ 100%, 或速率持续增大且无收敛趋势。(3) 红色预警(险情): 累计值超控制值, 或出现突变、管涌、裂缝、渗漏加剧、支护异响等直接险情。阈值设定应明确位移、沉降、倾斜、内力、水位等关键项目, 统一判定标准, 避免多口径解释。

4.2 预警判定与信息发布

预警实行系统自动判定+人工复核双轨制。平台实时比对监测值与阈值, 达到预警条件即时弹窗提示,

并通过短信、APP、语音等多渠道推送至项目负责人、技术负责人、监理、建设单位及安全管理部门。预警信息必须包含：项目名称、测点编号、监测项目、当前值、阈值、预警等级、时间、位置示意图及建议措施。发布前由专业人员完成数据复核与现场排查，排除仪器故障、采集错误等非真实险情，确保预警准确。

4.3 分级响应与处置流程

1. 黄色预警：加密监测频次，加强现场巡查，分析变形趋势，优化施工参数，放缓开挖速度，必要时调整支撑时序。

2. 橙色预警：立即暂停相关区域开挖作业，组织技术、监理、设计等专项研判，采取临时加固、回填反压、注浆止水、卸载减荷等措施，监测转为高频或连续采集。

3. 红色预警：立即启动应急预案，停止基坑施工，疏散危险区域人员与设备，设置警戒区，迅速采取回填反压、增设支撑、堵漏注浆、锚索张拉等应急处置，同步上报建设主管部门与安全监督机构。

4.4 闭环管理与复盘机制

所有预警均执行闭环管理：预警发布—现场核查—处置实施—跟踪监测—稳定判定—销号归档。处置后持续监测，指标连续稳定回落并保持3天以上方可解除预警。险情处置完成后组织专项复盘，分析诱因、处置过程、措施有效性及经验教训，优化监测方案与施工工艺，形成可复用的风险防控清单，实现持续改进。

5 监测管理保障体系

5.1 人员与仪器管理

监测人员应具备专业资质与上岗条件，熟悉规范、仪器操作、数据处理及预警判定。仪器设备必须经检定/校准合格并在有效期内使用，定期维护保养、期间核查，确保性能稳定。采集作业实行五固定：固定人员、固定仪器、固定测站、固定路线、固定方法，最大限度减小系统误差。同时建立仪器使用台账，对每次采集前后的设备状态、电池电量、通信质量进行登记，避免因设备问题造成数据缺失或失真。

5.2 制度与资料管理

建立监测岗位责任制、仪器管理制度、数据审核制度、预警响应制度、应急处置制度及资料归档制度。监测资料包括：方案、基准成果、原始记录、计算书、曲线图表、周报、月报、预警单、处置记录、复盘报告等，全过程可追溯、可核查、可复盘。资料签字齐全、格式规范，满足竣工验收与安全追溯要求。所有电子数据实行本地与云端双备份，定期刻录归档，防止数据丢失或被篡改。

5.3 信息化平台管控

依托云平台实现数据一图展示、曲线实时生成、阈值自动比对、预警多级推送、流程线上闭环。平台支持PC端与移动端协同，具备历史查询、趋势分析、风险分级、报表自动生成等功能，提升管理效率与决策科学性，实现基坑安全监测数字化、可视化、智能化^[6]。平台可对接施工管理系统、监理管控系统与政府监管平台，实现数据互联互通，提升多方协同处置效率。

5.4 现场测点保护与运维保障

测点保护是数据连续可靠的重要前提，应对所有测点安装刚性保护罩，设置醒目警示标识，避免机械碰撞、碾压、焊接烧损等人为破坏。施工过程中安排专人对测点进行日常巡检，发现松动、破损、偏移等问题立即修复校正。对自动化监测设备做好防雷、防潮、防尘处理，定期检查供电与通信状态，确保极端天气下仍可稳定运行，为测绘数据采集提供持续可靠的硬件保障。

6 结束语

深基坑施工安全监测以测绘数据采集为核心支撑，以预警管理机制为运行保障，是防范基坑失稳、保障工程与周边环境安全的关键技术体系。标准化测绘采集能够提供真实、精准、连续的变形与受力数据，为安全状态判断提供科学依据；分级预警与闭环管理能够实现风险早识别、早预警、早处置，最大限度降低事故概率。未来应进一步推动北斗高精度定位、物联网传感、边缘计算、数字孪生与深基坑监测深度融合，提升数据自动化采集、智能化分析、精准化预警水平，完善多部门协同、多层级响应的预警管理机制，推动深基坑安全管控向数字化、智能化、标准化方向持续升级，为建筑工程深基坑施工安全提供更加坚实可靠的技术保障。

参考文献：

- [1] 司徒伊俐. 智能建造技术在施工现场安全管理的应用和探究[J]. 建筑机械化, 2025(06):15-19.
- [2] 朱渊. 深基坑安全监测数据分析及数值模拟研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2021.
- [3] 彭紫麟. 智能化施工监测系统在深基坑工程安全管理中的集成应用[J]. 砖瓦世界, 2025(21):160-162.
- [4] 徐爽, 徐深祁, 李艳琼, 等. 深基坑智慧监测系统开发及应用研究[J]. 土木工程与绿色建筑, 2025, 01(03):150-154.
- [5] 张明栋, 张明智, 王水清. 深基坑安全监测信息管理系统设计研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(09):98-100.
- [6] 杨旭东, 孙康娴. BIM技术在基坑工程施工中的应用[J]. 建筑安全, 2023, 38(07):9-12.