

Data fusion of surveying and automation monitoring in foundation pit stability assessment

Shilong Sun

Tianjin Jinkan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300191, China

Abstract

The safety and stability of foundation pit engineering are key factors in ensuring construction quality and the safety of the surrounding environment. As urban underground space development advances to deeper and larger scales, the geological conditions and environmental complexities faced by foundation pit projects have significantly increased. Traditional manual monitoring methods have inherent limitations and cannot meet the real-time, continuous, and high-precision evaluation requirements of modern deep and large foundation pits. Multi-source data fusion methods integrate diverse and heterogeneous data obtained from monitoring equipment, combined with high-density point cloud data acquired through 3D laser scanning technology, to construct a spatiotemporal continuous comprehensive monitoring network. This fusion monitoring model not only improves the accuracy and efficiency of data collection but also eliminates blind spots in single monitoring methods through data complementarity, providing a comprehensive and reliable data foundation for foundation pit stability assessment, enhancing the timeliness and accuracy of safety warnings. This paper discusses the integration of surveying and automated monitoring data in foundation pit stability assessment for reference.

Keywords

foundation pit stability assessment; surveying and automation monitoring; data fusion

基坑稳定性评估中的测绘与自动化监测数据融合

孙世龙

天津市津勘岩土工程股份有限公司, 中国·天津 300191

摘要

基坑工程的安全稳定性是确保施工质量和周边环境安全的关键要素。随着城市地下空间开发向更深、更大规模发展, 基坑工程面临的地质条件和环境复杂性显著增加。传统人工监测方式存在固有缺陷, 难以满足现代深大基坑工程对实时性、连续性和高精度的评估需求。多源数据融合方法通过整合监测设备获取的多元异构数据, 结合三维激光扫描技术获取的高密度点云数据, 构建时空连续的全方位监测网络。融合监测模式不仅提高了数据采集的精度和效率, 更能通过数据互补性消除单一监测手段的盲区, 为基坑稳定性评估提供了全面可靠的数据基础, 提升了安全预警的及时性和准确性。本文对基坑稳定性评估中的测绘与自动化监测数据融合进行了探讨, 以供参考。

关键词

基坑稳定性评估; 测绘与自动化监测; 数据融合

1 引言

测绘技术与自动化监测的深度融合正推动基坑安全评估从经验判断向数据驱动转变。高精度三维激光扫描与实时传感网络相结合, 可获取基坑变形的高频连续数据, 结合机器学习算法分析变形趋势与潜在风险。这种动态化、智能化的监测模式极大提升了基坑稳定性评估的时效性与可靠性, 为复杂地质条件下的施工安全提供保障。

2 测绘数据的来源与类型特点

现代基坑工程测绘数据呈现多源化、多维度的采集特

征, 主要来源于地面测量系统、地下监测设备和遥感技术三大类(如图1所示)。地面测量系统以高精度全站仪、GNSS接收机和三维激光扫描仪为核心设备, 获取基坑周边地表位移、支护结构变形等毫米级精度的空间位置数据, 其特点是采样密度高但受天气、温度等条件限制。地下监测设备包括测斜仪、分层沉降仪、土压力盒和钢筋计等埋入式传感器, 实时采集基坑围护结构内力变化、土体深层水平位移和孔隙水压力等参数, 具有连续监测优势但存在安装复杂、维护困难的局限性。遥感技术通过合成孔径雷达干涉测量(InSAR)和无人机航测实现大范围地表形变监测, 特别适合超大型基坑工程的整体变形趋势分析, 但存在数据更新周期较长的不足。从数据类型看, 既包含点状离散的传感器数据, 也涵盖面状连续的扫描点云和影像数据; 从时间维度看,

【作者简介】孙世龙(1977-), 男, 中国辽宁庄河人, 本科, 高级工程师, 从事工程测绘和岩土工程研究。

既有周期性的人工测量数据，也有实时传输的自动化监测数据。这些多源异构数据通过统一时空基准进行融合处理，形

成涵盖空间位置、变形量、力学参数等多维特征的综合性监测数据集，为基坑稳定性分析提供全方位的数据支撑^[1]。

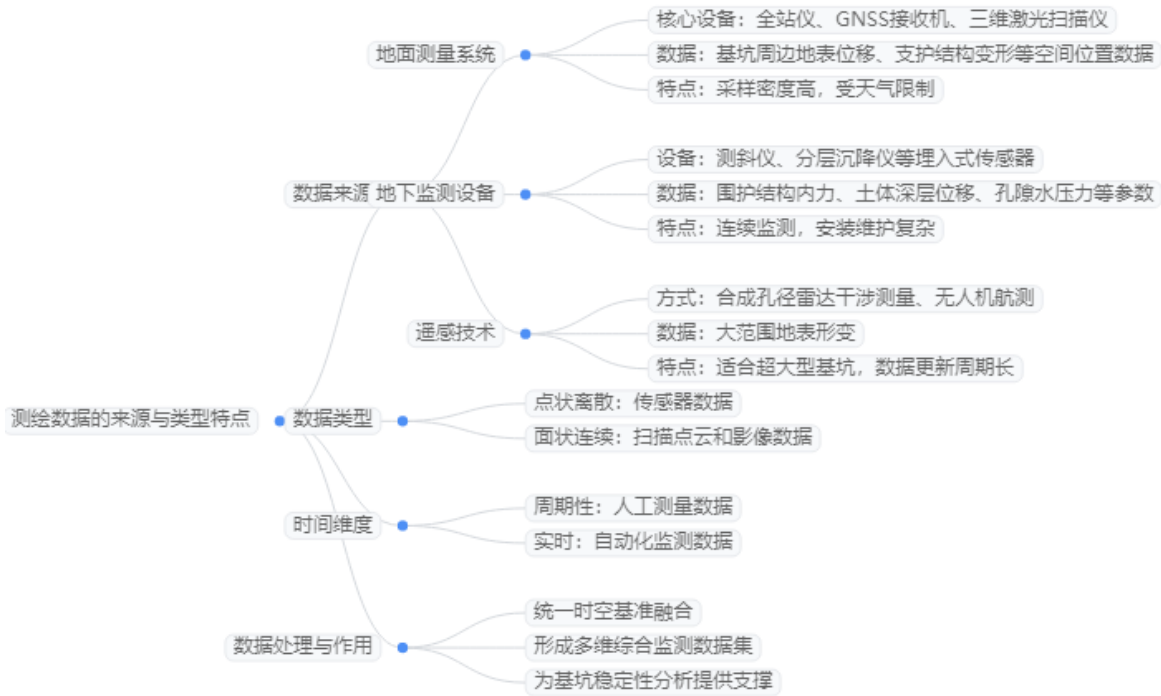


图 1 现代基坑工程测绘数据图

3 基坑稳定性的工程意义

3.1 确保施工安全的核心保障

基坑稳定性直接关系到施工人员的生命安全和工程工期正常推进（如图 2 所示）。在深基坑开挖过程中，土体应力状态发生显著改变，可能引发支护结构失稳、坑底隆起或周边土体滑移等工程事故。通过实时监测和分析基坑变形数据，可以及时发现潜在危险征兆，采取加固措施避免坍塌事故发生。稳定性评估还能优化施工工序，确定合理的开挖步骤和支撑时机，避免因施工不当导致的应力集中现象。同时，准确的稳定性判断为应急预案制定提供科学依据，当监测数据超过预警阈值时，可立即启动应急响应程序，最大限度降低事故损失。

3.2 保护周边环境的重要措施

基坑工程往往位于城市建成区，其稳定性直接影响周边建筑物、地下管线和市政设施的安全（表 1 所示）。土体位移可能引起邻近建筑基础不均匀沉降，导致结构开裂甚至

倾覆。通过稳定性监测可以预测影响范围，采取隔离桩、注浆加固等保护措施。对地铁隧道、地下综合管廊等敏感设施，需要建立专项监测方案，控制变形在允许范围内。稳定性评估还能减少施工振动、噪声对周边环境的影响，通过优化支护设计降低地下水位的波动幅度^[2]。



图 2 基坑稳定性

保护对象	潜在影响	应对措施
周边建筑物	土体位移可能致基础不均匀沉降、结构开裂甚至倾覆	通过稳定性监测预测影响范围，采取隔离桩、注浆加固等措施
地铁隧道、地下综合管廊等敏感设施	可能受基坑工程影响产生变形	建立专项监测方案，控制变形在允许范围
周边环境	施工振动、噪声及地下水波动影响	通过稳定性评估优化支护设计，减少影响

表 1 基坑稳定性

3.3 影响工程经济效益的关键因素

基坑稳定性状况直接影响工程造价和工期控制。合理的稳定性评估可以避免过度设计,节省支护结构材料用量,降低工程成本。通过实时监测数据指导动态设计,能够及时调整支护参数,避免资源浪费。稳定性问题导致的工程事故会造成巨额经济损失,包括事故处理费用、工期延误赔偿和声誉损失等。科学的稳定性管理能有效控制工程风险,减少不可预见费用支出。稳定性监测数据为工程保险提供重要依据,有助于合理确定保险费率。在工程结算阶段,系统的稳定性监测记录是处理工程变更和索赔的重要凭证。

4 基坑稳定性评估中的测绘与自动化监测数据融合策略

4.1 自动化监测数据的异常检测与预处理

自动化监测系统产生的海量数据存在传感器故障、环境干扰等导致的异常值问题。针对这一问题,需要建立系统的数据清洗流程。采用滑动窗口法结合 3σ 准则进行初步异常识别,通过小波变换分解监测数据时序特征,区分真实变形信号与噪声干扰。对于缺失数据,基于 ARIMA 时间序列模型进行合理插补。预处理阶段重点解决不同传感器采样频率差异问题,通过时间对齐算法建立统一时间基准^[3]。同时开发数据质量评估指标,包括完整性、一致性和准确性三个维度,为后续融合分析提供可靠数据基础。预处理过程中保留原始数据副本,确保数据处理过程的可追溯性(图3所示)。

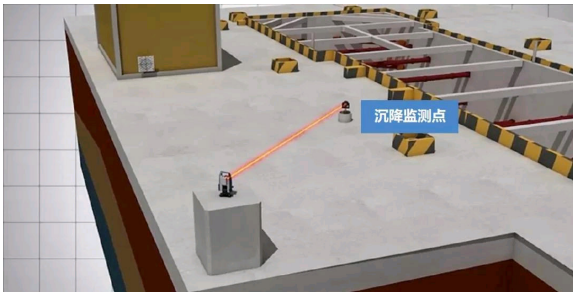


图3 自动化监测系统

4.2 基于统计学的融合算法应用

统计学方法为多源监测数据融合提供了理论基础。卡尔曼滤波算法通过状态方程和观测方程实现动态数据的递推融合,特别适合处理具有时序特征的变形监测数据。贝叶斯估计理论将先验知识与观测数据相结合,量化不同数据源的不确定性。主成分分析(PCA)可提取多维度监测数据的主要特征分量,降低数据维度同时保留关键信息。变异函数分析用于研究空间相关性,确定不同监测点之间的影响范围。统计融合算法需要根据基坑工程特点进行参数优化,如调整卡尔曼滤波的过程噪声矩阵,使其适应不同施工阶段的数据特征。统计方法具有计算效率高、物理意义明确的优势,

是数据融合的基础工具^[4]。

4.3 机器学习在数据融合中的实践

机器学习算法为复杂非线性关系的建模提供了新思路(图4所示)。随机森林算法通过构建多棵决策树,综合评估各监测指标的重要性。支持向量回归(SVR)利用核函数处理高维特征空间中的非线性回归问题。深度学习中的LSTM网络擅长捕捉监测数据中的长期依赖关系,预测变形发展趋势。无监督学习中的聚类分析可以发现监测数据中的异常模式,辅助风险识别。在实际应用中,需要平衡模型复杂度与泛化能力,通过交叉验证防止过拟合。特别注意将物理模型与数据驱动方法相结合,如将有限元分析结果作为神经网络的约束条件,提升模型的可解释性^[5]。

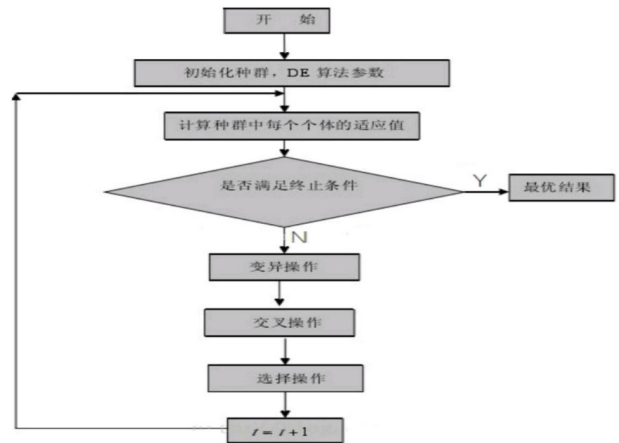


图4 机器学习算法

5 结语

测绘与自动化监测数据的融合应用显著提升了基坑稳定性评估的精度与效率。未来应进一步优化多源数据融合算法,开发智能预警平台,实现基坑变形的实时诊断与风险预判,为地下工程的安全施工提供更可靠的技术支撑,推动岩土工程监测向数字化、智能化方向发展。

参考文献

- [1] 何合建.城市基坑工程中监测数据分析与基坑稳定性判别研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(02):189-191.
- [2] 李志文,孙豫,韩鹏远,等.抢险工况中基坑稳定性研究及应对措施[J].建筑技术,2024,55(24):3028-3031.
- [3] 蒋梦楚.深基坑变形监测及位移分析方法研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(32):78-80.
- [4] 王博男.房建深基坑边坡安全稳定性评估方法对比研究[J].宜春学院学报,2024,46(06):43-46.
- [5] 程海涛,卜发东,米春荣,等.超期服役基坑稳定性评估及风险源分析[C]//中国建筑业协会深基础与地下空间工程分会,中国工程机械工业协会桩工机械分会,中国工程机械学会桩工机械分会,中国土木工程学会土力学及岩土工程分会,;2021:10-17.