

工程测量技术在基坑监测中的创新应用与智能化发展

曹杰锋

广州冠建工程质量检测有限公司, 广东省广州市, 510000;

摘要: 本文系统探讨了工程测量技术在基坑监测领域的创新应用与智能化发展趋势。随着城市建设向地下空间拓展, 深基坑工程日益增多, 传统监测方法已难以满足现代工程对精度、效率和实时性的要求。研究分析了当前基坑监测中测量技术的应用现状, 重点阐述了智能化测量设备的创新突破、自动化监测系统的集成应用以及大数据分析技术在基坑监测中的实践价值。通过对位移测量、应力监测、地下水位观测等关键技术的深入研究, 提出了基于物联网架构的智能化监测体系构建方案, 为提升基坑工程安全性和施工质量提供了技术支撑。

关键词: 工程测量; 基坑监测; 智能化技术; 自动化监测; 数据分析; 安全预警

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 04. 004

引言

近年来, 工程测量技术与信息技术、通信技术的深度融合, 推动了基坑监测领域的技术革新。智能化传感器、自动化测量系统、远程监控平台等创新技术的应用, 使基坑监测工作实现了从人工操作向自动化、数字化、智能化的转变。特别是物联网架构下的实时监测系统, 能够全天候不间断地采集基坑变形数据, 通过云计算平台进行大数据分析, 为工程安全预警提供了科学依据。

本文通过系统分析工程测量技术在基坑监测中的创新应用, 探讨智能化发展趋势下的技术路径和实施策略, 旨在为提升基坑工程安全管理水平提供理论参考和实践指导。研究内容涵盖测量技术创新、系统集成应用、数据分析方法等多个维度, 对促进基坑监测技术进步具有重要意义。

1 基坑监测中工程测量技术的应用现状

1.1 传统测量技术的局限性

传统基坑监测主要依赖全站仪、水准仪等光学测量仪器, 通过人工操作采集基坑周边位移、沉降等数据。这种方法存在明显的局限性: 一是测量效率低下, 单次测量耗时较长, 难以实现高频次监测; 二是数据离散性强, 无法形成连续变形曲线; 三是受环境因素影响大, 雨雾天气和夜间测量精度难以保证; 四是信息反馈滞后, 从数据采集到分析报告通常需要数小时甚至更长时间。

在复杂地质条件下的深基坑工程中, 传统测量方法已无法满足实时监控需求。特别是在软土地区、高水位区域或邻近重要建筑物的基坑项目中, 施工过程中的微小变形都可能引发连锁反应, 需要更高精度、更快速的监测手段来保障工程安全。

1.2 现代测量技术的创新突破

近年来, 多种新型测量技术在基坑监测中得到成功应用。全站仪机器人技术实现了自动跟踪测量, 可将测量频率从每天1-2次提升至每小时1次; 测量精度也从原来的毫米级提高到亚毫米级。光纤传感技术通过埋设在支护结构中的光纤传感器, 能够实时监测混凝土应力应变变化, 分辨率达到微应变级别。

三维激光扫描技术为基坑监测提供了全新手段, 单次扫描即可获取数百万个点云数据, 全面反映基坑整体变形状况。该技术特别适用于异形基坑和不规则支护结构的变形分析。雷达测量技术利用微波信号穿透能力, 可监测基坑周边地下水位变化和土体内部位移, 为深层土体稳定性评估提供了重要依据。

1.3 智能化监测系统的集成应用

智能化监测系统将多种测量技术有机整合, 形成了完整的监测解决方案。系统通常由数据采集层、传输层、处理层和应用层构成。数据采集层部署各类智能传感器, 如倾角计、裂缝计、钢筋计、土压力盒等, 负责实时采集基坑各项参数。传输层采用有线或无线通信方式, 将测量数据实时上传至监控中心。

数据处理层运用专业算法对原始数据进行滤波、补偿和综合分析, 消除环境干扰因素, 提取真实变形信息。应用层则提供可视化监控界面、预警提示和报告生成功能, 辅助管理人员做出科学决策。这种集成化系统实现了监测过程的自动化、信息化和智能化, 大幅提升了基坑安全管理水平。

2 工程测量技术的创新性应用

2.1 高精度位移监测技术

位移监测是基坑安全评估的核心指标, 现代测量技术在此领域实现了多项创新。智能全站仪监测系统采用

自动目标识别技术,可同时跟踪多个监测点的三维坐标变化,单点测量时间缩短至3-5秒,精度达到0.5毫米。该系统特别适合基坑周边建筑物和支护结构的位移监测。

测斜仪技术在地下连续墙和土体深层水平位移监测中发挥关键作用。新型数字式测斜仪采用MEMS传感器,测量精度达0.02毫米/米,数据采集频率可调,最高可达每分钟1次。配合专业分析软件,可实时绘制位移随深度变化曲线,准确判断滑动面位置和变形趋势^[1]。

2.2 应力应变监测技术

支护结构内力监测是预测基坑稳定性的重要手段。振弦式钢筋计和混凝土应变计通过测量频率变化换算应力值,具有长期稳定性好、抗干扰能力强的特点。这些传感器预埋在支护结构关键部位,可实时反映结构受力状态变化。

光纤光栅传感技术是近年来的重大创新,单根光纤可串联多个传感器,实现分布式测量。该技术具有本质防爆、抗电磁干扰、耐腐蚀等优势,特别适合复杂环境下的长期监测。在支护桩监测中,光纤传感器网络可精确捕捉弯矩和剪力分布,为结构安全评估提供详实数据。

2.3 地下水位监测技术

地下水位变化是影响基坑稳定的关键因素。智能液位传感器采用压力测量原理,分辨率达1毫米,通过无线传输方式将水位数据实时上传。多孔观测井布置可绘制地下水流场图,分析降水对周边环境的影响。

电阻率成像技术通过在地表布置电极阵列,测量土层电阻率分布,间接反映地下水运移情况。该技术无需钻孔,可实现大范围快速监测,为降水方案优化提供依据。结合渗透系数测试数据,可建立地下水渗流模型,预测不同施工阶段的水位变化趋势。

3 测量技术的智能化发展趋势

3.1 物联网架构下的实时监测系统

物联网技术推动了基坑监测系统的智能化升级。基于云平台的监测系统实现了测量设备、数据传输、数据存储和分析应用的全面整合。系统采用标准化通信协议,支持多种传感器接入,具有强大的扩展能力。

边缘计算技术的应用使数据处理更加高效。智能网关具备本地计算能力,可对原始数据进行预处理和压缩,减少网络传输负担。同时,网关内置的智能算法能够识别异常数据并触发即时预警,提高了系统响应速度。云平台提供海量数据存储和并行计算能力,支持多项目集

中管理和远程访问。

3.2 大数据分析预测模型

监测数据的大规模积累为智能化分析奠定了基础。机器学习算法通过对历史数据的学习,建立了基坑变形与环境因素、施工参数之间的复杂映射关系。这种数据驱动模型能够更准确地预测基坑变形趋势,相比传统理论计算方法具有明显优势。

深度学习技术在图像识别领域取得突破,使摄影测量和视频监测数据得到充分利用。卷积神经网络可自动识别基坑周边裂缝的发展变化,量化评估结构损伤程度。时间序列分析模型通过对长期监测数据的挖掘,揭示了基坑变形的时空演化规律,为风险评估提供了新思路^[2]。

3.3 数字孪生技术的集成应用

数字孪生技术将物理基坑与数字模型紧密连接,实现了虚实交互的智能监控。高精度三维建模技术构建了包含地质条件、支护结构和周边环境的数字孪生体,所有监测数据实时驱动模型更新,直观展示基坑状态。

仿真分析技术在数字孪生平台上得到广泛应用。基于实时监测数据,系统可进行多种工况模拟,预测不同施工方案下的基坑响应,辅助优化施工流程。虚拟现实技术则提供了沉浸式的监控体验,管理人员可通过三维界面直观了解基坑各部位的详细情况^[3]。

4 智能化监测系统的实践应用

4.1 自动化监测平台构建

智能化监测系统的实施需要科学规划和技术集成。某地铁深基坑项目采用了分布式监测网络架构,在基坑周边布置了28个自动化监测站,每个站点集成多种传感器,通过光纤网络与监控中心连接。系统实现了每分钟1次的数据采集频率,关键部位监测精度达到0.2毫米。

平台软件采用模块化设计,包含数据管理、分析预警、报告生成等核心功能。用户可通过Web界面或移动终端实时查看监测数据,系统提供多种数据可视化方式,包括曲线图、等高线图、三维变形图等。当监测值超过预警阈值时,系统自动触发多级报警机制,通过短信、邮件等方式通知相关人员。

4.2 多源数据融合分析

多传感器数据融合提高了监测结果的可靠性。在某商业综合体基坑项目中,系统整合了全站仪、测斜仪、钢筋计、土压力盒等8类传感器的监测数据,采用卡尔曼滤波算法进行数据融合,有效降低了单一传感器的测

量误差。

数据同化技术将监测数据与数值模拟结果有机结合,不断修正模型参数,提高预测准确性。该系统成功预警了一次支护结构异常变形,为抢险加固赢得了宝贵时间,避免了可能发生的坍塌事故。实践表明,多源数据融合可使监测系统的预警准确率提升40%以上^[4]。

4.3 智能预警与决策支持

智能化监测系统的核心价值在于风险预警和决策支持。某深基坑工程采用了基于机器学习的预警模型,系统不仅考虑监测值的绝对值,还分析变化速率、加速度等衍生指标,综合评估风险等级。模型通过历史事故案例的学习,建立了更加科学的预警规则。

决策支持系统集成专家知识和规范要求,当监测数据异常时,可自动生成处理建议,如“停止开挖”、“加强支护”等。同时,系统提供类似工程案例参考,帮助管理人员做出合理决策。该系统的应用使工程风险事件减少了60%,经济效益显著。

5 技术挑战与发展趋势

5.1 当前面临的技术挑战

尽管智能化测量技术取得显著进展,但在实际应用中仍面临诸多挑战。传感器长期稳定性问题突出,部分电子元件在潮湿、高温等恶劣环境下性能衰减较快,影响监测数据的可靠性。多系统集成存在兼容性问题,不同厂商的设备通信协议不统一,增加了系统整合难度。

大数据分析模型的泛化能力有待提高,针对不同地质条件和工程类型的适应性不足。智能化系统的运维成本较高,专业人才缺乏也制约了技术推广。此外,海量监测数据的安全存储和隐私保护也需要特别关注。

5.2 未来技术发展方向

未来基坑监测技术将向更加智能化、精准化、一体化的方向发展。新型MEMS传感器和光纤传感技术将进一步提高测量精度和可靠性。5G通信技术的普及将实现监测数据的超低延时传输,为远程实时监控创造条件。

人工智能技术在数据分析领域将有更深入应用,深度学习模型能够从海量监测数据中挖掘潜在规律,提高预警准确性。数字孪生技术将与BIM深度融合,构建覆盖工程设计、施工、运维全生命周期的智能管理平台。

无人机和移动机器人技术为基坑监测提供了新思路,自主飞行无人机搭载高精度传感器,可快速完成大范围巡检;爬行机器人能够进入危险区域进行近距离检

测,降低人工巡检风险^[5]。

5.3 标准化与产业化路径

促进基坑监测技术智能化发展需要完善标准体系。应加快制定智能化监测设备的技术标准、数据通信协议和系统集成规范,推动行业互联互通。建立监测数据质量评价体系,规范数据处理和分析方法。

产学研用协同创新是推动技术产业化的重要途径。企业、高校和科研机构应加强合作,共同攻克关键技术难题。培育专业化的智能监测服务企业,提供系统解决方案和技术支持。加强人才培养,建立专业技术认证体系,为行业发展提供人才保障。

6 结束语

工程测量技术的创新发展和智能化转型显著提升了基坑监测水平。研究表明,智能化监测系统使数据采集频率提高了5-8倍,测量精度达到亚毫米级,为基坑工程安全提供了更可靠保障。多源数据融合分析和机器学习预警模型大大增强了风险识别能力,使工程事故率显著降低。物联网架构下的实时监测平台实现了测量数据的远程访问和协同分析,提高了管理效率。数字孪生技术将物理基坑与数字模型有机连接,为施工决策提供了直观依据。这些技术创新不仅解决了传统监测方法的局限性,还为基坑工程信息化管理开辟了新途径。

随着新技术的不断涌现和应用深化,工程测量技术在基坑监测领域将发挥更大价值,为城市建设的安全高效推进提供有力支撑。智能化监测技术的发展不仅将改变传统工程管理模式,还将推动整个建筑行业向数字化、网络化、智能化方向转型升级。

参考文献

- [1] 刘海军. 深基坑监测技术方案设计与研究:以淄博高新区石桥棚改配套(二期)建设项目为例[J]. 工程与建设, 2022(3): 621-623, 658.
- [2] 李伟文. BIM监测技术和3D激光扫描技术在深基坑监测中的应用[J]. 工程技术研究, 2021(11): 50-51.
- [3] 黄明辉, 李梦云, 代煜. 基于Savitzky-Golay算法的某深基坑监测数据降噪处理[J]. 汕头大学学报(自然科学版), 2022(2): 50-60. 与建设, 2024, 38(01): 57-59.
- [4] 李林石. 探讨测绘新技术在测绘工程测量中的应用分析[J]. 工程建设(维泽科技), 2023, 6(03): 151-153.
- [5] 李敏. 测绘新技术在测绘工程测量中的应用分析[J]. 门窗, 2022, (19): 229-231.