

变形监测中自动化测量技术的实践与优化

吴海建

130132*****1938

摘要: 随着现代工程向高、大、深、复杂方向发展,变形监测对精度与效率的要求显著提升。自动化测量技术以实时性强、数据连续、人为干扰少等优势,逐步取代传统人工测量,成为变形监测核心手段。本文结合建筑工程实践,分析自动化测量技术应用现状,探讨 GNSS 自动化监测、自动化全站仪监测、InSAR 技术的原理与实践,针对设备稳定性、数据处理、系统集成及成本问题提出优化策略,为提升监测准确性、推动技术应用提供参考。

关键词: 变形监测; 自动化测量技术; GNSS; 自动化全站仪; InSAR; 技术优化

DOI: 10.69979/3029-2727.25.02.064

1 引言

1.1 研究背景

建筑工程中,建筑物、构筑物及周边地质环境的沉降、倾斜等变形是安全关键。高层建筑、桥梁、基坑等在施工与运营阶段,易因地质、荷载、环境因素产生变形,超阈值未处理可能引发结构损坏、坍塌。传统人工测量受天气、人为影响大,精度不稳定且无法 24 小时连续监测,难捕捉突发变形。随着测绘、信息与传感器技术发展,自动化测量技术集成高精度传感器与数据处理系统,实现监测自动化、实时化与智能化,已广泛用于多领域,成为工程安全重要支撑。

1.2 研究意义

理论上,可丰富变形监测理论体系,推动测绘与工程安全监测理论融合,明确技术优劣势,为创新提供方向。实践中,总结应用经验、梳理流程与控制点,为工程人员提供指南;针对问题提优化策略,解决难题、提升数据可靠性,为安全评估与决策提供依据,还能助力智慧建筑、智慧城市建设,支撑工程全生命周期管理。

2 变形监测中常用的自动化测量技术及实践应用

2.1 GNSS 自动化监测技术

2.1.1 技术原理

GNSS 自动化监测基于卫星定位,在监测点布设接收机,实时接收多颗卫星信号,通过 RTK、PPK 等载波相位差分技术计算三维坐标,经数据传输模块传至处理中心,解算位移量与方向,实现实时监测预警。该技术全天候、高精度(毫米级)、大范围,可同步监测平面与高程位移,适用于高层建筑、桥梁、大坝等大型工程。

2.1.2 实践应用案例

某 350m 超高层建筑施工阶段,受风力、温度、地基沉降影响需实时监测。采用 GNSS 技术布设 10 个监测点(8 个于建筑主体每 50m 楼层,2 个于周边稳定区域为基准点),选用高精度双频接收机,15 分钟采样间隔,4G 传输数据。处理中心预处理数据(剔除粗差)后用卡尔曼滤波平滑,监测显示最大水平位移 3.2mm、沉降 2.8mm(均在安全阈值内),并成功捕捉强风导致的 4.5mm 瞬时位移,及时预警并采取防风措施,保障施工安全。

2.2 自动化全站仪监测技术

2.2.1 技术原理

自动化全站仪集成 ATR(自动目标识别)、自动跟踪、测量与数据传输功能,在监测点布设棱镜,设备自动识别锁定目标,按预设周期测角度、距离并计算坐标,传至处理系统分析变形量。其平面精度毫米级、高程精度亚毫米级,不受卫星信号遮挡影响,适用于基坑、隧道、古建筑等小范围高精度监测。

2.2.2 实践应用案例

某 20m 深基坑周边紧邻既有建筑,开挖易致土体位移。因卫星信号遮挡,采用自动化全站仪布设 12 个监测点(6 个于基坑周边 5-10m 土体,6 个于既有建筑基础与墙体),2 个基准点校准。高精度设备 1 小时测量周期,以太网传输数据,终端用最小二乘法平差。监测显示,开挖初期土体最大水平位移 4.1mm、沉降 3.5mm;开挖至设计深度时,位移达 8.3mm、沉降 6.8mm(均低于限值),建筑最大位移 1.2mm,验证支护结构合理性。

2.3 InSAR 技术

2.3.1 技术原理

InSAR(合成孔径雷达干涉测量)基于微波遥感,

通过 SAR 传感器获取同一区域多幅图像,干涉处理提取相位信息,反演地形与变形。其中 PS-InSAR 识别永久散射体(建筑角点、路灯杆),消除大气延迟、地形误差,适用于长时间、大范围监测,覆盖数百平方公里,无需地面布点,支撑区域地质灾害与大型工程宏观变形分析。

2.3.2 实践应用案例

某城市因过量开采地下水出现地面沉降,采用 PS-InSAR 技术,以 2018-2023 年 10 景 Sentinel-1SAR 图像为数据源。预处理(配准、滤波等)后识别永久散射体,相位解缠反演沉降量,插值绘制等值线图。结果显示沉降集中于市中心与工业园区,最大年沉降 25mm,且与地下水开采量相关。据此制定管控与回灌方案,有效控制沉降速度。

3 变形监测中自动化测量技术应用存在的问题

在建筑工程变形监测实践中,自动化测量技术凭借实时性与高精度优势,已成为工程安全保障的重要手段,但受技术成熟度、环境适配性与管理模式等多重因素制约,其应用仍面临四大核心问题,不仅影响技术效能的充分发挥,还限制了其在更广泛工程场景中的推广普及。

3.1 设备稳定性不足

自动化测量设备多部署于野外或工程现场,受复杂环境与自身质量影响,稳定性欠佳。环境干扰方面,极端天气影响显著:暴雨易致 GNSS 接收机天线短路、信号中断,曾有深基坑项目因暴雨出现多台 GNSS 离线,停滞监测;高温加速元器件老化,使全站仪角度测量精度漂移,难达工程要求;严寒削弱设备续航,导致数据传输信号衰减。此外,现场粉尘、水汽易污染全站仪镜头,某桥梁项目因扬尘致测量偏差超允许范围,影响分析准确性。

设备质量上,中低端产品缺陷突出:硬件端,低价传输模块在信号遮挡区易中断或延迟,部分 GNSS 主板散热差、易“死机”;软件端,不同品牌兼容性不足,进口 GNSS 数据需人工转换才能导入国产软件,易引误差,且部分软件缺乏错误处理机制,遇异常易崩溃、丢失监测数据,影响工作连续性。

3.2 数据处理效率低

自动化测量技术升级致监测数据量爆炸式增长,传统处理模式难破效率瓶颈。一方面,设备采样频率大幅提升,如 GNSS 缩短采样间隔增加单台日数据量,大型工程监测点多使整体数据量上升,对处理能力要求更高。另一方面,数据处理能力滞后,存在三方面问题:一是

处理模式落后,单机运算预处理海量数据耗时长,难满足“当日数据当日分析”需求;二是核心算法低效,InSAR 传统相位解缠需人工干预,数据平差运算量随监测点增加骤升;三是人工干预多,手动筛选、剔除数据耗人力,还易误判遗漏关键数据,影响分析可靠性。

3.3 系统集成度不高

自动化测量技术存在“数据孤岛”与“系统脱节”问题,集成度低难成技术合力。一方面,GNSS、自动化全站仪、InSAR 多独立运行,各成封闭系统,数据格式、存储路径不统一,无法自动共享关联。如某建筑群项目,GNSS 位移数据存本地、InSAR 沉降数据存云端,需人工提取比对,导致“点监测”高精度与“面监测”大范围优势难结合;且 InSAR 宏观数据缺全站仪单点校准,存系统误差,难满足精密工程要求。

另一方面,测量系统与工程管理系统衔接不足:无标准化接口,监测数据需人工录入管理系统,传输延迟致变形超阈值时难及时预警;管理系统调整监测方案的指令,需现场手动修改参数,如基坑关键阶段调 GNSS 采样间隔,延迟或错过监测节点,增加安全风险。

3.4 成本投入较高

高昂成本是自动化测量技术难向中小型工程普及的关键,压力集中在三环节:一是购置成本高,进口双频 GNSS、高精密全站仪及 InSAR 数据与软件,单价或单次投入远超中小型工程预算;二是安装调试贵,GNSS 基准站选址建站、监测点布设需专业人员,增加前期投入;三是运维成本高,设备需定期检修校准、更换耗材,还需专职人员管理,持续消耗人力财力。正因成本过高,该技术多用于跨江大桥、超高层等大型工程,而民用建筑基坑、乡村道路等中小型工程,因预算限制仍靠人工测量,无法享受自动化技术的高精度、实时性优势,形成“技术应用断层”。

4 变形监测中自动化测量技术的优化策略

4.1 提升设备稳定性

4.1.1 优化设备硬件设计

采用防水、防尘、防腐蚀外壳,密封 GNSS 接收机、全站仪;内置温度控制模块(加热片、散热风扇),适应极端温度;加装防雷器与接地装置,避免雷击。选用高性能元器件,严格质量检测(环境、性能、可靠性测试),确保设备适应工程现场。

4.1.2 完善设备软件功能

采用模块化软件架构,降低复杂度;加强错误处理

(自动报警、故障恢复), 避免程序崩溃; 优化数据处理算法, 提升精度与效率; 开展设备软件兼容性测试, 保障通信协同。

4.2 提高数据处理效率

4.2.1 采用分布式数据处理技术

利用 Hadoop、Spark 等框架, 组建多计算机处理集群, 分割海量数据并行处理, 提升速度; 分布式存储数据, 保障安全与访问效率。

4.2.2 优化数据处理算法

研发深度学习相位解缠算法, 提升 InSAR 数据处理速度与精度; 优化最小二乘法、卡尔曼滤波算法, 减少运算量; 引入聚类分析、关联规则挖掘等数据挖掘技术, 实现数据自动筛选与趋势分析, 减少人工干预。

4.3 提高系统集成度

4.3.1 构建多源数据融合平台

通过统一接口接入 GNSS、全站仪、InSAR 数据, 采用加权平均、卡尔曼滤波、神经网络等算法融合数据, 消除冗余矛盾。如融合 GNSS 单点高精度数据与 InSAR 大范围数据, 实现“点-面”全面监测。

4.3.2 加强与工程管理系统集成

开发 API、数据库等标准化接口, 实现测量系统与工程管理系统实时数据交互; 监测数据传至安全预警系统, 超阈值自动预警(短信、APP、声光)并同步至施工管理系统; 管理系统依工程进度调整监测参数。构建云端平台, 集中存储共享数据, 支持远程访问与监控, 提升管理智能化。

4.4 降低成本投入

4.4.1 推动设备国产化与性价比提升

鼓励国内厂商研发, 通过技术创新与规模化生产降低成本, 针对中小型工程开发低成本高精度设备(如毫米级 GNSS 接收机); 加强校企合作攻克核心技术, 减少进口依赖。建立设备租赁市场, 提供安装运维一站式服务, 降低中小型工程应用门槛。

4.4.2 优化运行维护成本

开发远程诊断维护系统, 物联网实时监测设备状态(电压、温度等), 远程定位修复故障; 制定维护标准, 定期清洁、检查、校准设备, 延长寿命。加强人员培训, 提升操作与维护能力, 减少人为故障。

5 变形监测中自动化测量技术的未来发展趋势

5.1 智能化水平进一步提升

人工智能深度融入数据处理, 深度学习实现数据自

动分类、异常识别与趋势预测, 无需人工干预输出报告; 智能化设备可依环境(天气、地形)自动调整参数, 实现自适应监测; 智能预警系统融合多源数据与地质数据, 构建预测模型, 提前预警。

5.2 多技术融合趋势更加明显

单一技术将被多技术融合取代: GNSS 与 InSAR 融合, 用 GNSS 校准 InSAR 数据、InSAR 扩展 GNSS 范围; 全站仪与激光扫描融合, 结合坐标与三维点云实现精细化可视化监测; 测量技术与物联网、大数据、云计算融合, 构建智慧监测生态, 支撑工程全生命周期管理。

5.3 绿色化与可持续发展

“双碳”目标下, 研发低功耗设备(太阳能供电 GNSS、全站仪), 减少传统电力依赖; 优化监测方案, 多技术融合减少布点与占地, 降低生态破坏; 建立设备回收体系, 提高资源利用率, 减少污染。

6 结论

GNSS、自动化全站仪、InSAR 等自动化测量技术, 凭借高精度、实时性、自动化优势, 成为建筑工程变形监测核心手段, 在超高层、深基坑、城市沉降监测中成效显著, 保障工程安全。但应用中存在设备稳定性不足、数据处理效率低、系统集成度不高、成本高的问题, 需优化软硬件、提升数据效率、增强协同性、降低成本以助力中小型工程。未来, 该技术将向智能化、多技术融合、绿色化发展, 结合人工智能、物联网构建智慧监测体系。

参考文献

- [1] 王磊, 曲方帅. 隧道变形监测自动化技术的发展与理论探讨[J]. 大众科学, 2025(3).
- [2] 张文, 黄声享, 李洋洋, 等. 基于测量机器人的自动化变形监测系统设计与实现[J]. 测绘工程, 2018, 27(2): 5. DOI: CNKI: SUN: CHGC. 0. 2018-02-007.
- [3] 刘渭东, 张开朗. 测量机器人自动化监测系统在地铁结构变形监测中的应用[J]. 水电施工技术, 2019(2): 2.
- [4] 王祺, 孙瑞. 自动化技术在变形监测中的应用综述[J]. 四川建材, 2018, 44(9): 2. DOI: CNKI: SUN: SCJZ. 0. 2018-09-031.
- [5] 任利江, 张秀宏, 郭永禧, 等. 外部变形监测自动化系统的应用与研究[J]. 自动化应用, 2019(12): 3. DOI: CNKI: SUN: ZDHT. 0. 2019-12-004.