

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的集成

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的应用与研究[J]. 自动化应用, 2019(12): 3. DOI: CNKI:SUN:ZDHT.0.2019-12-004.