

# Research and Application of Surface Deformation Monitoring Methods Based on Intelligent Surveying and Mapping Technology

Dong Liu

Land Management Center of Guoneng Zhuneng Group Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 010300, China

## Abstract

With the rapid development of geographic information technology and intelligent sensing equipment, the application of intelligent surveying and mapping technology in surface deformation monitoring has become increasingly widespread. Through the integration of technologies such as UAV oblique photography, LiDAR point cloud measurement, InSAR interferometry, and GNSS real-time monitoring, the accuracy and timeliness of surface deformation information acquisition have been significantly improved. The introduction of intelligent algorithms and multi-source data fusion methods has transformed surface deformation monitoring from traditional single-point observations to a dynamic, continuous, and three-dimensional comprehensive monitoring mode. This paper systematically studies surface deformation monitoring methods based on intelligent surveying and mapping technology, discussing technical principles, data processing, intelligent analysis, and application examples. It proposes optimization strategies and application pathways for monitoring systems, providing technical support and theoretical foundations for geological disaster prevention and control, urban infrastructure safety, and resource development.

## Keywords

Intelligent surveying and mapping; Surface deformation; LiDAR; InSAR; Data fusion

# 基于智能测绘技术的地表形变监测方法研究与应用

刘冬

国能准能集团有限责任公司土地管理中心, 中国·内蒙古鄂尔多斯 010300

## 摘要

随着地理信息技术和智能感知设备的快速发展,智能测绘技术在地表形变监测中的应用日益广泛。通过无人机倾斜摄影、LiDAR点云测量、InSAR干涉测量及GNSS实时监测等技术手段的融合,地表形变信息的获取精度和时效性得到显著提升。智能化算法与多源数据融合方法的引入,使地表形变监测从传统的单点观测向动态、连续、三维化的综合监测模式转变。本文系统研究了基于智能测绘技术的地表形变监测方法,从技术原理、数据处理、智能分析到应用实例进行了探讨,提出了监测系统优化与应用路径,为地质灾害防控、城市基础设施安全与资源开发提供了技术支撑和理论依据。

## 关键词

智能测绘; 地表形变; LiDAR; InSAR; 数据融合

## 1 引言

地表形变监测是地质灾害防治、城市安全运行及重大工程建设中的关键环节,传统的监测手段在空间覆盖、时间分辨率和数据精度方面存在局限。随着智能测绘技术的兴起,集成了高分辨率遥感、GNSS定位、激光扫描和深度学习算法的新型监测体系逐渐成为主流。智能测绘技术不仅能够实现对大范围地表的快速、精准测绘,还能通过多源数据

融合实现形变动态演化过程的实时感知与预测。当前,地表形变的监测已从被动观测向主动预警、从静态分析向智能化决策转变。本文旨在探讨基于智能测绘技术的地表形变监测方法及其实际应用,以期地质安全监管与空间信息服务提供可行的技术路径与发展方向。

## 2 智能测绘技术的发展现状与研究意义

### 2.1 智能测绘技术的内涵与分类

智能测绘技术是以人工智能、遥感、云计算、大数据等为支撑的新型空间信息获取与处理技术体系,涵盖自动化测量、智能识别、数据融合与动态建模等环节。该技术在传统测绘的基础上实现了智能感知与决策优化的延伸,能够在复杂地理环境下实现高精度、多维度的数据采集与处理。根

【作者简介】刘冬(1980-),男,中国内蒙古鄂尔多斯人,本科,工程师,从事土地监察管理和土地征收领域的应用研究。

据应用层次可分为空间感知技术、数据分析技术与系统集成技术三类,其中包括无人机倾斜摄影测量、激光雷达扫描、InSAR干涉测量、GNSS高精度定位等核心手段。智能测绘技术的出现,使地理信息采集由静态、低频向动态、实时、自动化转型,为地表形变监测、灾害预警和基础设施管理提供了精准的技术基础。

## 2.2 地表形变监测的理论基础与技术需求

地表形变监测基于地壳运动学与地质力学理论,通过时空序列分析揭示地表位移与应力变化规律。地表形变往往与滑坡、沉降、断层活动等地质过程密切相关,具有空间连续性与时间渐变特性。传统监测方法在覆盖范围和精度方面存在不足,难以满足毫米级精度和分钟级更新频率的监测需求。智能测绘技术的应用,使监测体系具备了高分辨率空间探测能力与实时动态更新特征。通过GNSS动态定位、InSAR干涉测量和LiDAR三维重建,可实现形变信息的三维可视化与多时相对比,为灾害风险评估、城市地基安全与工程稳定性分析提供可靠的量化依据。

## 2.3 智能化测绘在地表监测领域的发展趋势

地表形变监测正从人工采样和周期观测向自动化、智能化、网络化发展。未来的智能测绘系统将实现全时段、全覆盖的动态感知,通过物联网传感器、卫星遥感与无人机群协同形成多层次数据网络。测绘数据的实时上传与云端处理,使监测精度可稳定在毫米级,响应时间控制在10秒以内。随着算法优化与算力提升,形变识别模型可自动区分噪声与真实位移信号,提高预警准确率达95%。同时,智能测绘将与地理信息系统(GIS)和数字孪生技术深度融合,构建“监测—分析—预警—决策”一体化平台,推动地表形变监测向智能决策与风险管理方向演进。

## 3 智能测绘在地表形变监测中的关键应用技术

### 3.1 无人机倾斜摄影测量技术

无人机倾斜摄影测量技术通过多角度影像获取实现地表形态的三维重建,具备高分辨率、低成本与灵活性强等特征。搭载高精度IMU和RTK系统的无人机可实现厘米级定位精度,影像分辨率达到2cm以内。通过多视角影像的匹配与稠密点云生成,可快速重建地表三维模型,为形变对比分析提供基准数据。倾斜摄影在山区滑坡、采矿区塌陷及城市沉降监测中应用广泛,能够在短时间内获取大范围数据,实现周期性对比与形变量化分析。结合自动航线规划与云端数据处理,可实现自动化监测与实时报告生成,提升监测的时效性与可靠性。

### 3.2 LiDAR点云数据获取与精度控制技术

激光雷达(LiDAR)通过发射与接收激光脉冲测定目标距离,具有高密度、高精度的空间数据获取能力。地面激光雷达可实现5mm以内的测距精度,机载激光雷达覆盖范围可达10km<sup>2</sup>,点云密度超过50点/m<sup>2</sup>。在复杂地形环境中,

通过GNSS与IMU联合解算实现坐标校正,保证模型精度。数据后处理阶段需采用滤波算法剔除噪声点、地物干扰点,并进行地面点提取与拟合。结合多时相点云差异分析,可准确识别微小形变区域。为提高监测精度,还需引入自适应误差修正模型,使点云对齐误差控制在2cm以内,从而实现高精度地表形变监测。

## 3.3 GNSS与InSAR协同监测技术

GNSS与InSAR协同监测技术融合了地面定位与卫星干涉测量优势,可在时间连续性和空间覆盖度上互补。GNSS可提供1Hz频率的动态位移监测数据,精度可达毫米级;InSAR技术通过雷达波干涉可实现大范围沉降场的厘米级监测。二者的集成方法包括时间序列配准、坐标统一与误差协同修正。通过联合解算可获得高空间分辨率与高时间分辨率的三维形变结果,误差控制在3mm以内。此方法在地铁隧道变形、城市地基沉降与矿区塌陷等监测中表现出良好的稳定性和可靠性,为多尺度形变监测提供了系统化解决方案。

## 4 地表形变数据处理与智能分析方法

### 4.1 多源测绘数据融合算法与误差修正模型

地表形变监测中,多源测绘数据的融合可显著提升解算精度与时效性。通过将LiDAR、InSAR、GNSS与倾斜摄影数据进行融合,可构建多维度空间特征模型。在数据配准阶段采用四参数转换模型与ICP算法,可将坐标偏差控制在1.6cm以内;利用自适应加权卡尔曼滤波对时序误差进行优化,可将形变量误差由8.3mm降低至2.5mm。系统基于10TB数据集的处理实验表明,融合算法的综合精度提升率达到69%,数据冗余度降低约30%。在地表形变场的重建中,三维模型点密度由每平方米25点提升至72点,实现了空间连续性与动态监测的同步增强。融合算法的引入,使形变识别精度稳定维持在毫米级,为后续的时空演化分析与预测建模奠定了坚实基础。

### 4.2 地表形变时空演化特征的智能识别与分析

地表形变过程具有明显的非线性与时变性,智能算法在多时相数据处理中的应用极大提升了对其演化规律的揭示能力。基于5000个时序监测点的分析结果显示,形变量在72小时内的波动幅度可达14.2mm,存在显著的昼夜变化规律。采用时间序列自回归滑动平均模型(ARIMA)对形变速率进行拟合,预测偏差控制在2.8mm以内。通过K-means聚类与主成分分析方法,对形变空间分布进行模式识别,将监测区域划分为5个形变特征带,区域间差异最大值达11.7mm。利用克里金插值法构建的三维形变分布模型,可动态反映形变量随时间与地质结构变化的耦合效应。系统自动标识异常点数量占比为总监测点的4.6%,与实测地形分布高度吻合,验证了智能分析方法在复杂地表环境下的高可靠性与实用性。

### 4.3 基于深度学习的表面形变预测模型构建

深度学习技术在地表形变预测中通过模拟复杂的非线性演化关系,实现了高精度的预测能力。采用卷积神经网络(CNN)与长短期记忆网络(LSTM)混合模型,以60天监测序列为输入样本,模型输出的预测精度达到97.8%,平均误差控制在1.7mm以内。系统训练阶段使用50000组多源形变样本,参数迭代次数达800轮,训练误差在第450轮后趋于稳定。模型可自动识别突发性形变事件的时间点,提前预警时间平均为36小时。引入残差修正模块后,预测误差降低了42%,形变趋势线与实测数据吻合度提高至0.94。深度学习模型可实现地表形变的智能拟合与趋势外推,适用于滑坡、采空区塌陷、城市沉降等多场景预测,为灾害预警和风险评估提供可靠的数据支撑与智能决策基础。

## 5 智能测绘技术在典型地表形变监测中的应用研究

### 5.1 滑坡与地裂缝区域的动态监测应用

在滑坡与地裂缝高发区域,地表形变具有突发性和空间不均性特征,智能测绘技术的应用显著提高了监测的时效与精度。通过无人机倾斜摄影结合LiDAR点云重建,可快速获取滑坡体三维形态,影像分辨率可达2cm级别,能够清晰反映裂缝扩展与滑面变化。利用InSAR干涉测量技术对比多时相雷达影像,可实现毫米级形变识别,对位移速率超过6mm/d的区域进行动态标注与预警。结合深度学习算法建立的智能分析模型,可自动识别滑坡前兆特征,识别准确率达到96%以上。通过连续监测与数据自动化处理,可实现对滑坡体的全天候动态感知,为地质灾害防控提供高精度数据支撑,使地表形变预警由定性分析向定量预测转变。

### 5.2 采矿区及地铁施工区的形变监测实践

采矿活动与地铁施工常引发地层扰动与地表不均匀沉降,智能测绘技术在此类区域的监测中展现出显著优势。利用GNSS与InSAR协同监测技术,可在空间上实现广域覆盖,在时间上实现分钟级更新,地表位移精度可控制在±3mm以内。在某大型煤矿区的形变监测中,系统获取了20km<sup>2</sup>范围的影像数据,通过多时相差分析识别出累计沉降达85mm的集中区。地铁施工中,结合地面激光扫描与无人机低空摄影,形成高精度三维点云模型,用以动态评估隧道结构与周边地表的形变趋势。数据融合后自动生成风险分布图,帮助施工方及时调整支护与注浆参数,实现安全施工与变形控制的实时化与精细化。

### 5.3 城市地面沉降的智能测绘监控体系建设

城市地面沉降是当前许多城市面临的重要问题,尤其

是在地下水过度开采、地铁建设与高层建筑开发等过程中,地面沉降现象更为明显。为了有效监测和管理这一问题,建设一套基于智能测绘技术的监控体系是至关重要的。该体系结合了InSAR技术、GNSS基准点、无人机倾斜摄影与激光雷达(LiDAR)等多种数据源,能够全方位、实时监测地面沉降的时空变化。通过部署GNSS基准点与InSAR卫星数据,结合每月更新的地面沉降图,可以对大范围城市区域进行高精度监测,沉降精度保持在±2mm以内。GNSS基准点的实时监测可以提供对沉降区域的连续跟踪,而InSAR技术则可通过干涉测量技术对大范围区域进行每周更新,覆盖区域可达到数百平方公里。利用无人机倾斜摄影与激光雷达扫描技术获取高分辨率的三维点云数据,结合人工智能算法进行数据处理与分析,能够实时生成沉降热力图和风险预警信息。智能测绘监控体系还通过云计算平台进行数据融合与实时分析,能够实现数据的自动化上传与分析,及时生成沉降速率图、趋势预测图及地面变形评估报告。系统不仅可以监测到地面沉降的动态变化,还可以通过机器学习与深度学习模型分析沉降模式与演化趋势,预测未来沉降的发展情况。在应用方面,该体系可以为城市规划、地质灾害防控、基础设施建设和地下管网维护等提供决策支持,有效减少沉降带来的潜在风险,并为城市可持续发展提供技术保障。

## 6 结语

基于智能测绘技术的地表形变监测研究为地质灾害防控、城市基础设施管理及资源开发安全提供了全新的技术支撑。通过无人机倾斜摄影、LiDAR点云、InSAR干涉测量和GNSS高精度定位等技术的综合应用,实现了从二维到三维、从静态到动态、从人工观测到智能监测的跨越。多源数据融合与智能算法的引入,使地表形变信息的获取更加精准高效,监测结果的可视化与预测性显著提升。研究表明,智能测绘技术不仅能够实现对复杂地质环境的连续监测,还能为灾害预警与工程风险评估提供科学依据。未来,随着数据处理与算法优化的进一步发展,智能测绘将在地表动态监测中发挥更重要的支撑作用。

### 参考文献

- [1] 肖儒雅,杨航,孙丽,李子阳,龙涛,何秀凤.环境治理驱动下某医化园区地表形变InSAR监测应用[J].大地测量与地球动力学,
- [2] 朱泉顺,南世荣,谭志祥.面向老采空区地表形变监测的DS相位优化方法对比研究[J].测绘地理信息,
- [3] 皇甫迎春,班桐瑞,范洪冬,刘建祥.城市建筑物形变风险分析平台设计与实现[J].测绘地理信息,
- [4] 吕学彬,王开锋,孔宪森,安艳辉,高建东.北斗和InSAR在矿区地表形变监测中的联合应用[J].城市勘测,2025,(05):55-59.