

无人机低空遥感技术在崩塌地质灾害动态监测中的应用

黄磊

长春市测绘院, 吉林 长春 130021

摘要：随着我国城镇化建设快速发展,山区开发活动日益频繁,崩塌地质灾害发生的频率和规模不断增大,给人民生命财产安全带来严重威胁。传统的地质灾害监测方法存在监测效率低、覆盖范围小、实时性差等局限性,难以满足当前崩塌地质灾害动态监测的实际需求。无人机低空遥感技术凭借其机动灵活、获取数据快速、空间分辨率高等优势,为崩塌地质灾害的动态监测提供了新的技术手段。通过建立完善的无人机遥感监测体系,可实现崩塌灾害的快速识别和动态监测,为灾害预警和防治决策提供科学依据,有效降低崩塌地质灾害造成的损失。

关键词：无人机低空遥感技术;崩塌地质灾害;动态监测

Application of UAV Low-Altitude Remote Sensing Technology in the Dynamic Monitoring of Collapse Geological Disasters

Huang Lei

Changchun Institute of Surveying and Mapping, Changchun, Jilin 130021

Abstract： With the rapid development of China's urbanization construction, the development activities in mountainous areas are increasingly frequent, and the frequency and scale of collapse geological disasters are increasing, which brings a serious threat to the safety of people's lives and property. The traditional geological disaster monitoring methods have limitations such as low monitoring efficiency, small coverage and poor real-time performance, which are difficult to meet the actual needs of dynamic monitoring of current collapse disasters. With its advantages of flexible mobility, fast data acquisition and high spatial resolution, UAV low-altitude remote sensing technology provides a new technical means for the dynamic monitoring of collapse geological disasters. Through the establishment of a perfect UAV remote sensing monitoring system, the rapid identification and dynamic monitoring of collapse disaster can be realized, and the scientific basis for disaster early warning and prevention decision, and the loss caused by collapse geological disaster can be effectively reduced.

Keywords： uav low-altitude remote sensing technology; collapse geological disaster; dynamic monitoring

无人机低空遥感技术是一种新型的对地观测手段,通过搭载多光谱相机、激光雷达等传感器,在低空飞行过程中获取地面高精度遥感数据。该技术具有操作简便、机动灵活、成本低廉等特点,能够在复杂地形条件下快速完成数据采集任务。无人机系统主要由飞行平台、任务载荷、地面控制站和数据处理系统组成,可获得高分辨率正射影像、数字表面模型等多源数据。随着无人机技术的不断发展,其搭载设备日益丰富,数据处理方法不断优化,已形成了一套完整的低空遥感数据获取与处理技术体系。这种高效精准的对地观测方式可及时发现潜在危险区域。为崩塌地质灾害动态变化监测提供有力的技术支撑,同时也能够为灾害预警和防治提供决策依据。

一、无人机低空遥感技术的监测系统部署

(一) 无人机航拍设备选型与数据采集方案制定

针对崩塌地质灾害动态监测的特殊要求,多旋翼无人机因其悬停能力强、起降场地要求低的优势成为首选平台,机载搭载23MP以上高分辨率可见光相机能够获取厘米级地面分辨率影像,同时配备热红外相机可探测地表温度异常变化。在实际应用中,选用续航时间不低于45分钟、抗风等级达到6级、具备自动

返航功能的无人机能够确保山区复杂地形条件下的安全作业,搭载RTK定位模块可实现厘米级定位精度,配置千兆数据链路实现图像数据实时回传,机载处理器具备边缘计算能力可对采集数据进行初步分析和筛选,提高数据采集效率。崩塌地质灾害监测数据采集方案需综合考虑地形起伏、监测范围和精度要求等因素,航向重叠度设置为80%、旁向重叠度设置为65%可保证数据处理精度,同时确定航高在150米以下、飞行速度控制在8米/秒以内能够获取清晰的地面影像。此外,在航线规划时采用"井"字形布设

作者简介:黄磊(1987.01-),男,汉族,吉林省长春市,本科,长春市测绘院工程师,研究方向:遥感科学与技术、测绘工程。

方案,确保测区边缘影像质量,并在陡峭区域增加斜飞航线以获取坡面完整信息。为提高数据采集效率,根据地形特征划分监测子区,制定分区域采集策略,建立监测区域三维电子地图,将关键监测点位坐标预先录入系统,实现自动化巡航监测^[1]。地质灾害动态监测要求数据采集具有周期性和规律性,根据崩塌活动特征和季节变化规律制定采集频次,汛期每周至少开展一次常规监测,另外在降雨量超过50毫米时及时增加监测频次。为保证数据质量的一致性,每次航拍任务选择光照条件相近的时段,避免阴影和强光干扰,飞行参数保持统一标准,通过设定定点起降确保每次起飞位置固定。在数据采集过程中,通过机载RTK与地面基站实时差分定位,保证飞行轨迹精度;采用自动曝光和白平衡控制算法,确保图像质量;建立标准化的航飞作业流程和质量控制体系,实现监测数据的可比性和连续性,为后续崩塌地质灾害动态分析提供高质量的基础数据支撑。

(二) 地面控制点布设与实时数据传输系统搭建

地面控制点布设作为无人机低空遥感监测的基础性工作,需在崩塌地周边选取稳定性好、可长期保存的特征点作为控制点位置,采用CORS实时动态差分技术进行控制点测量,同时使用全站仪进行辅助校核,确保控制点三维坐标精度优于2厘米。在实际布设中,控制点采用十字型标志漆,规格为60厘米×60厘米,在监测区域内按照“四周密布、中间稀疏”的原则进行布设,控制点间距不超过200米,并在地形突变处适当加密。崩塌地质灾害监测的实时数据传输系统采用“边缘计算+5G网络”的架构设计,同时在监测区域建立微基站实现网络全覆盖,保证数据传输的稳定性和可靠性。此外,搭建现场边缘计算服务器,配置高性能GPU进行实时图像处理,实现监测数据的快速分析和预警信息的及时推送,边缘计算单元具备数据压缩、特征提取和初步分析功能,可有效降低数据传输负载。数据传输系统的核心组件包括现场采集单元、边缘计算节点和云端处理平台,另外配置双链路备份机制确保数据传输的连续性。采用分布式存储架构,在边缘节点部署数据缓存模块,建立数据异步传输机制;通过部署负载均衡器,实现多节点数据分发;采用数据加密传输协议,确保监测数据的安全性;配置网络质量监测模块,实时监控网络状态,当出现网络异常时自动切换备用链路,构建稳定可靠的实时数据传输体系^[2]。

二、崩塌地质灾害动态监测的技术实现

(一) 三维点云模型构建与地形变形分析

基于无人机低空遥感获取的高分辨率影像数据,可采用SfM-MVS三维重建技术进行点云模型构建,通过多视影像匹配算法提取同名特征点,同时结合地面控制点坐标进行空中三角测量平差,并实现厘米级精度的三维点云生成。在点云数据处理过程中,运用RANSAC算法进行噪点过滤,采用八叉树空间索引结构优化点云组织方式,生成高精度数字表面模型(DSM)和正射影像图。通过多尺度特征提取算法,识别崩塌地微地貌特征,建立地表形态参数体系,实现崩塌地地形特征的精细化刻画。崩塌地

形变监测基于多期次点云数据对比分析,同时采用ICP迭代最近点配准算法实现不同时相点云的精确配准。此外,通过计算点云距离场变化,提取地形变形特征,包括坡面位移、体积变化和地表裂缝发育等信息,结合地质结构特征建立崩塌地变形模式,实现崩塌地质灾害的定量化动态监测。在变形分析过程中,采用深度学习方法对点云数据进行语义分割,识别不同地物类型,提取关键监测目标,建立崩塌地三维变形场,实现地表变形的精确量化。点云变形分析采用多尺度分析方法,另外通过构建局部坐标系,计算坡面不同部位的位移矢量场,提取关键变形区域。基于点云密度分析和曲率计算,识别地表破裂带分布;通过时序点云差分计算,获取变形速率和加速度信息;利用点云分类算法提取植被覆盖变化。在此基础上,建立基于无人机低空遥感的崩塌地变形预测模型,结合多源数据融合技术,实现变形趋势分析;通过构建地质灾害预警指标体系,设定分级预警阈值,开展崩塌地灾害风险评估,为灾害防治决策提供科学依据。

(二) 多时相影像对比与位移速率计算

无人机低空遥感获取的多时相正射影像,可采用数字图像相关技术进行位移场分析,通过特征点匹配算法提取稳定地物作为参考点,同时运用子像素匹配技术以实现厘米级位移监测精度。在影像预处理阶段,采用直方图匹配和辐射校正方法消除不同时相影像的光照差异,通过几何校正确保影像配准精度优于0.5像素,建立统一的图像坐标系。崩塌地表位移监测采用基于区域的匹配算法,同时结合SIFT特征提取方法识别特征点,通过构建金字塔影像序列实现多尺度匹配分析。此外,采用最小二乘影像匹配技术提高匹配精度,建立灰度相关系数阈值筛选匹配结果,利用邻域一致性约束剔除误匹配点,形成高精度位移矢量场^[3]。在关键部位设置固定监测窗口,通过模板匹配方法实现局部变形的精确量化,构建崩塌体运动轨迹。位移速率计算基于时间序列分析方法,另外通过建立位移-时间关系曲线,提取崩塌地不同区域的运动特征。采用最小二乘拟合计算平均位移速率,结合核密度估计方法识别位移异常区域;通过速率变化趋势分析,建立加速度预警指标;基于位移矢量场空间分布特征,划分变形分区,确定重点监测区域。利用无人机低空遥感技术的高时空分辨率优势,实现崩塌地质灾害位移场的动态演化分析,为灾害预警提供定量化依据。

三、监测预警信息处理与应用

(一) 监测数据快速处理与灾害预警阈值确定

无人机低空遥感监测数据的快速处理采用分布式计算架构,通过GPU并行计算技术提升数据处理效率,同时运用深度学习算法实现影像自动配准和变形特征提取。在边缘计算节点部署轻量级深度学习模型,实现监测数据的实时分析;采用增量处理策略,仅对变化区域进行重点分析,显著提高处理效率;建立标准化的数据处理流程,包括影像预处理、特征提取、变形分析等环节,确保处理结果的可靠性。崩塌地质灾害预警阈值的确定基于历史监测数据统计分析,同时结合地质条件和致灾因素建立多层

次预警指标体系。此外，通过分析崩塌灾害演化规律，建立基于位移速率、加速度和累积变形量的预警模型，采用模糊综合评判方法确定预警等级划分标准。在预警阈值设定过程中，考虑季节性影响因素，建立动态预警阈值，提高预警准确性。预警指标体系包含地表位移、地形变形和环境因素三个层次，另外通过建立指标权重体系，实现多因素综合预警。基于无人机低空遥感监测数据，计算坡面位移速率、地表裂缝发育程度、植被覆盖度变化等关键指标；结合降雨量、地下水位等诱发因素，建立多源数据融合的预警模型。

（二）预警信息推送与应急响应措施落实

预警信息推送系统采用多级分发架构，基于无人机低空遥感监测数据实时分析结果，通过智能预警平台自动生成预警信息，同时建立分级授权的信息发布机制，确保预警信息及时、准确送达各级管理部门和相关责任人。在信息推送过程中，采用短信、移动 APP、应急广播等多种渠道并行推送，实现预警信息的全覆盖；建立信息接收确认机制，跟踪预警信息送达状态。针对不同预警等级，制定差异化的信息发布策略，建立预警信息溯源机制，实现预警信息全过程可追溯；构建预警信息反馈系统，收集各层级用户对预警信息的响应情况，持续优化信息推送机制。应急响应措施的落实采用分级响应机制，同时建立应急指挥决策支持系统，基于预警

等级自动生成应急处置建议。此外，通过地理信息系统展示灾害风险区域分布，结合人口分布和重要设施分布信息，制定差异化的应急疏散方案；建立应急物资调度系统，实现救援力量和物资的快速调配；构建应急响应专家决策支持系统，为现场处置提供专业指导。在应急响应过程中，要建立跨部门协调机制，明确各单位职责分工；设置应急指挥中心，统筹协调各方资源；建立应急通信保障系统，确保信息畅通。应急响应过程要实行全程跟踪记录，另外通过移动终端实时上传现场处置情况，实现应急响应过程的可视化管理。此外，还需要建立应急处置效果评估体系，对响应措施的及时性和有效性进行评估^[4]；通过无人机低空遥感技术对灾害发展态势进行实时监控，及时调整应急处置策略；并构建应急响应知识库，总结积累处置经验，持续优化应急预案。

四、结束语

随着无人机低空遥感技术的不断发展，崩塌地质灾害监测预警技术将向智能化、精准化和自动化方向发展。通过深度学习算法优化、多源数据融合分析和智能预警模型构建，提升监测预警能力，实现地质灾害防治由被动响应向主动预防转变，为山区工程建设和居民安全提供可靠保障。

参考文献

- [1] 王方青. 无人机遥感技术在地质灾害监测与评估中的应用 [J]. 中国高科技, 2024, (08): 133-135.
- [2] 周升宇. 遥感技术在地质灾害监测和治理中的应用 [J]. 西部资源, 2023, (04): 160-161+171.
- [3] 张庚丽, 刘伟. 遥感技术在地质灾害监测防治中的应用 [J]. 中阿科技论坛 (中英文), 2023, (07): 112-116.
- [4] 姚鑫, 吴付英. 无人机遥感技术在地质灾害监测中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2022, (07): 160-163.