

矿山地质灾害识别与遥感监测技术研究

黄荣 511028199411105113

摘要

矿山开采活动改变了原有地质结构平衡，极易引发滑坡、崩塌、地面塌陷、泥石流等各类地质灾害，对矿区人员安全、生态环境与周边基础设施造成严重威胁。传统地质灾害监测方法存在覆盖范围小、监测周期长、危险性高等不足，难以满足大规模矿区地质灾害的动态预警需求。遥感技术凭借覆盖范围广、信息获取速度快、非接触监测等优势，在矿山地质灾害识别与监测领域展现出巨大应用潜力。本文梳理了矿山常见地质灾害的类型与成因，分析了不同遥感技术在灾害识别与监测中的应用特点，探讨了当前技术应用存在的问题与未来发展方向，为矿山地质灾害的防治与监测体系建设提供参考。

关键词：矿山地质灾害；灾害识别；遥感监测；地质防治

一、矿山地质灾害的主要类型与成因分析

矿山开采分为露天开采与地下开采两种主要方式，两种开采模式都会对原有的地质环境造成不可逆的扰动，进而诱发不同类型的地质灾害。露天开采过程中，需要剥离山体表层植被与覆盖土层，形成高陡边坡，破坏了原有的应力平衡，在降雨、风化等外界因素作用下，极易发生滑坡与崩塌灾害；地下开采会形成大面积的采空区，采空区上方岩层在重力作用下发生沉降、断裂，最终引发地面塌陷，同时开采过程中产生的大量矿渣废石随意堆砌，在山区强降雨环境下容易形成泥石流灾害。

根据自然资源部发布的地质灾害通报数据，我国每年因矿山开采引发的地质灾害超过百起，占全国地质灾害总量的 8% 左右，造成的直接经济损失超过十亿元。从灾害成因来看，主要可以分为自然因素与人为因素两类：自然因素包括矿区地形地貌条件、岩土体性质、地质构造、降雨强度等，高陡地形、破碎岩层、断裂发育区域本身就是地质灾害高发区，开采活动进一步放大了灾害风险；人为因素则包括开采方式不合理、采空区处理不规范、矿渣堆载不当、排水系统不完善等，多数群发矿山地质灾害都存在人为操作不规范的诱因。准确识别不同类型矿山地质灾害的发育特征与分布规律，是开展监测与防治工作的前提基础。

二、遥感技术在矿山地质灾害识别中的应用

遥感技术通过传感器获取目标区域的电磁波信息，经过处理与解译提取地物特征，实现对地质灾害的识别与圈定。目前常用的遥感技术包括光学遥感、合成孔径雷达（InSAR）、激光雷达（LiDAR）等，不同技术在灾害识别中有着不同的应用场景。

光学遥感是应用最早的遥感技术，通过获取矿区可见光、近红外波段影像，能够直观反映矿区地形地貌变化与地物覆盖特征。对于已经发生的地质灾害，如滑坡、崩塌、塌陷，灾害发生后会在影像上呈现出独特的形态特征：滑坡体通常呈现出半圆形、长条形的滑动轮廓，滑体表面植被覆盖度明显低于周边区域，色调与周边地物存在显著差异；地面塌陷会在影像上形成圆形、椭圆形的凹坑，积水塌陷区会呈现出亮白色的水体特征。通过对比不同时相的光学遥感影像，还可以识别出灾害发育过程中出现的地表变形与植被变化，提前圈定灾害隐患区域。目前随着高分系列、哨兵系列卫星的投入使用，光学遥感的空间分辨率已经达到米级甚至亚米级，能够满足中小尺度矿区地质灾害隐患识别的精度需求，识别准确率可以达到 85%以上。

合成孔径雷达干涉测量技术（InSAR）则具备全天时、全天候监测的能力，不受云雨天气影响，能够获取毫米级的地表形变信息，对于采矿引发的地表沉降、滑坡缓慢变形等隐患具有突出的识别能力。传统差分 InSAR 容易受时空失相干与大气相位延迟影响，在植被覆盖度较高的矿区精度受限，而目前发展起来的小基线集合成孔径雷达干涉测量（SBAS-InSAR）技术，通过对多幅小基线距离的影像进行处理，有效降低了失相干影响，能够提取长时间序列的地表形变信息，精准识别出缓慢发育的地质灾害隐患。

激光雷达（LiDAR）技术通过发射激光脉冲获取地面三维点云数据，能够穿透植被覆盖直接获取地表真实地形，在植被覆盖度高的山区矿区具有独特优势。对于被植被掩盖的小型滑坡、崩塌隐患，光学遥感难以识别，而 LiDAR 通过去除植被点云生成的数字高程模型（DEM），可以清晰显示出地表的微地形变化，准确圈定灾害隐患的范围与边界。

三、遥感技术在矿山地质灾害动态监测中的应用

矿山地质灾害多数属于渐变型灾害，从隐患发育到最终发生需要经历较长时间的变形过程，遥感技术可以实现对灾害隐患的长时间动态监测，捕捉变形过程中的异常变化，为灾害预警提供数据支撑。

卫星遥感技术适合开展大尺度矿区的区域性监测，通过定期获取同一区域的

遥感影像，分析地表形变、地物覆盖的变化趋势，实现对区域内地质灾害的整体监控。例如，利用时间序列 InSAR 技术对整个矿区的地表沉降速率进行监测，绘制沉降等值线图，圈定沉降风险等级区，针对高风险区域开展重点防控。对于露天矿边坡，通过每隔一段时间获取一次高分辨率光学影像，结合 DEM 数据对比，可以计算出边坡的剥蚀量与变形量，判断边坡的稳定性。

无人机遥感则凭借机动性强、成本低、分辨率高等特点，适合开展小范围重点隐患区域的精细化监测。对于已经识别出的滑坡、高陡边坡隐患，利用无人机定期航测，生成高精度 DOM 与 DEM，通过配准对比可以获取厘米级的变形信息，监测隐患的发展过程。与传统人工边坡监测相比，无人机遥感不需要在边坡上布设监测点，避免了监测过程中人员遇险的风险，同时能够获取整个边坡的变形信息，而非少数点的数据，更有利于整体稳定性评价。

多源遥感数据融合是当前矿山地质灾害监测的发展趋势，将光学遥感的地物识别能力、InSAR 的高精度形变监测能力、LiDAR 的高精度地形获取能力相结合，能够实现优势互补，提升监测的准确性与可靠性。例如，利用光学遥感识别出灾害隐患范围，再利用 InSAR 获取大范围的形变数据，最后利用无人机 LiDAR 对重点隐患开展精细化监测，形成从区域到点的多层次监测体系，大幅提升地质灾害监测预警的效率。

四、结论

矿山地质灾害是我国矿山安全生产与生态环境保护面临的重要问题，遥感技术作为一种非接触、大范围的监测技术，为矿山地质灾害的识别与监测提供了有效的技术手段。不同遥感技术具有不同的应用特点，光学遥感适合大范围快速隐患识别，InSAR 适合获取高精度地表形变信息，LiDAR 适合复杂植被覆盖区的地形提取，无人机遥感适合重点隐患的精细化监测。通过构建多源遥感融合的监测体系，结合人工智能技术提升数据处理智能化水平，能够有效提升矿山地质灾害识别与监测的精度与效率，为矿山地质灾害防治提供科学支撑，保障矿山生产安全与周边群众生命财产安全。

参考文献

- [1] 李德仁, 廖明生, 王汉阳. 雷达卫星干涉测量及其在地表形变监测中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2000, 25(1): 1-6.
- [2] 范青松, 汤达祯, 许浩, 等. 遥感技术在矿山地质灾害调查与监测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(3): 38-43.

[3] 葛大庆, 王毅, 李曼, 等. 时间序列 InSAR 技术应用于矿区地面沉降监测的研究[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(5): 20-23.