

矿山地质环境监测技术与方法研究

杜 明

新疆维吾尔自治区地质环境监测研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 矿山地质环境监测对资源开发和环境保护都有着十分重要的意义。介绍了遥感、地理信息系统等常用的监测技术, 说明了这些技术的原理以及优势。研究了各种监测方法, 有地面调查法、传感器监测法等。对各种技术、方法的适用性和局限性进行分析。以提高矿山地质环境监测水平为目标, 为资源合理利用和生态保护提供参考。

[关键词] 矿山地质环境; 监测技术; 监测方法; 适用性

DOI: 10.64635/ja.2026.1262

中图分类号: TD167

文献标识码: A

Research on Monitoring Technologies and Methods for Mine Geological Environment

Du Ming

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Environment Monitoring Institute, Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: Mine geological environment monitoring is of great significance for both resource development and environmental protection. This paper introduces commonly used monitoring technologies such as remote sensing and geographic information systems, and explains their principles and advantages. Various monitoring methods, including ground investigation and sensor-based monitoring, are studied. The applicability and limitations of different technologies and methods are analyzed. With the goal of improving the level of mine geological environment monitoring, this study provides references for the rational utilization of resources and ecological protection.

Keywords: mine geological environment; monitoring technology; monitoring method; applicability

引言

随着经济的发展, 矿山资源的大规模开发促进了社会的进步, 但是也给地质环境带来了许多问题, 比如地面塌陷、山体滑坡、水土流失等。矿山地质环境监测是掌握矿山地质环境变化情况、及时发现潜在地质灾害隐患的有效方法。有效的监测技术、方法可以给矿山地质环境保护、治理提供科学依据。本文主要对矿山地质环境监测技术及方法进行深入研究, 以期给相关领域提供一定的参考。

1 监测技术基础

1.1 遥感监测原理

遥感监测依靠电磁波辐射的相关物理机理来获取大范围矿山地质环境信息, 不同的岩土体、植被水体和矿山开挖扰动区对电磁波的反射吸收特性存在着固有的差别, 航天和航空遥感平台装载多光谱、高光谱传感器去执行对地信号采集任务, 这些传感器依照固定的时序接收地表各种地物反射的电磁信息, 并将其转变为标准影像数据。依靠不同时期遥感影像的光谱特征和空间形态变化对比, 可以准确识别出露天采场扩挖范围、尾矿库堆存面积、植被

破坏、土地荒漠化等环境变化, 原理上用地物波谱数据库作为判别标准, 剔除云层、季节植被自然更替造成的干扰^[1]。

1.2 地理信息系统应用

地理信息系统把空间数据库当作核心载体来完成对矿山大量地质信息的归集和统筹管理, 系统依靠空间拓扑关系创建起矿区地形地层、开采边界、尾矿点位、塌陷隐患区、水系分布等众多专题图层, 把野外实地勘探、遥感解译、点位监测得到的各种地质环境信息全部纳入到空间结构当中。系统在矿山日常监测管理中可完成多图层叠加分析, 得到隐患区域的空间位置, 统计矿山用地面积, 预测地质灾害的影响范围, 利用图层属性联动获得矿山历史环境变化记录, 整理出矿山开采时序和地质灾害发展之间的关系^[2]。

1.3 全球定位系统作用

全球定位依靠空间卫星组网实现地面监测点位高精度空间坐标解算, 在矿山地质环境监测领域主要服务于地表沉降、边坡滑移类动态监测工作, 按照监测布设要求在边坡平台、采场边缘、塌陷易发地段布设固定监测标石,

通过周期性坐标复测获取点位三维空间变化量。系统依靠全天候定位的优势不受昼夜、常规气象条件的影响,可以持续地获取矿山岩土体由于采掘扰动而产生的缓慢位移变化,把分散的监测点位的空间变化转变为连续的形变演化规律,准确地找出边坡失稳的前兆和地面塌陷的萌芽区,给矿山地质灾害的提前预警赋予精确的空间变化依据。

1.4 无人机监测优势

无人机搭载轻量化光学、红外摄像设备可以灵活到达大型露天矿高陡边坡、偏远尾矿库区、人迹罕至的矿山沟壑等常规监测人员无法近距离到达的危险区域,相比卫星遥感具有作业周期灵活、起降约束少、影像分辨率高的明显优势,可以根据单座矿山监测需求灵活设定飞行航线和拍摄高度,按照需要完成局部精细化地质环境航拍作业。单次飞行就可以完成小范围矿区全域实景影像采集,准确获取边坡局部裂隙发育、尾矿堆体形变、零散地表塌陷坑等细微环境变化,机动化作业模式大大减少了野外徒步监测的人力和安全风险,兼顾了宏观区域巡查和局部隐患精细化排查两个方面的需要,很好地弥补了卫星遥感分辨率低、人工巡查可达性差的技术空白,是中微观矿山环境常态化巡检的首选技术手段。

2 地面监测方法

2.1 水准测量方法

水准测量依靠高程基准布置矿区水准控制网,沿边坡坡脚、采场周边、塌陷规划带等重要监测线路埋设固定水准基点和监测测点,用精密水准仪器逐点测定高程数值,通过多周期复测比较各个测点的高程变化情况,来判断矿山地表沉降的发展趋势。测量作业严格按照国家高程测量相关技术规范进行,从基准点开始逐个向各个监测点位推进观测,合理布置闭合水准线抵消观测系统误差,测量成果可以准确地量出岩土体受到井下采掘、尾矿堆载等竖向沉降的影响程度,多用于井下开采诱发地面沉陷风险矿区的常态化高程监测,是地面竖向形变最基础、可靠性最高的实测手段,长期观测数据可以直观地反映出矿山开采与地表沉降的演化关系^[3]。

2.2 位移监测手段

地表位移监测主要针对矿山边坡、采空塌陷高发区设置实体监测桩,利用全站仪等精密测量仪器定时测定测点平面坐标的变化情况,对边坡横向滑移和纵向收缩这两种位移变化进行区分,对于深部岩土体变形不能直接从地表观察到的矿山,还需要布置深部测斜装置进入地层内部,

获取岩土体深层位移数据。根据矿山开采进度来设置固定的观测周期,开采扰动加剧阶段增加观测频次,利用多期实测数据整理出位移速率变化的规律,及时发现位移突增等灾害预警信号,整套监测手段既对地表浅层又对地下深部进行形变控制,全面覆盖露天边坡和井下采空区两种主要形变发育区域,给边坡支护、采空区治理提供实测数据支持。

2.3 裂缝观测方式

裂缝观测对矿山边坡岩体、工业场地构筑物、塌陷区周边地表发育的裂缝进行定点常态化观测,在裂缝两侧埋设固定观测标识,用专业观测器具定期丈量裂缝张开宽度、延伸长度和错动落差,同时记录裂缝发育走向和环境温湿度、矿山采掘进度等有关条件。根据裂缝发育危险等级来确定观测频次,新生扩张裂缝提高观测密度,老旧稳定裂缝缩短观测间隔,用长时间记录的裂缝发育变化数据来判断岩体稳定性变化趋势,裂缝突然变宽变长往往是边坡滑塌、地面塌陷的前兆,依靠精细观测可以提前发现地质灾害的预警信号,是近距离控制岩体破损演变最直接的实测手段。

2.4 地下水位监测

地下水位监测依靠矿区预先设置好的水文观测井开展常态化的水位采集工作,观测井根据含水层分布、井下采掘巷道布置分区设置,用水位监测仪器定期测定井内水位埋深,跟踪矿山疏干排水、矿体开采对地下水径流的扰动变化,区分自然降水补给和矿山人为排水两种水位波动原因。长时间连续的水位观测数据可以清楚地显示矿区地下水降落漏斗的发展范围,预测地下水流失造成的地面塌陷、岩溶陷落等地质危险的发展过程,并且可以评价矿山开采给周边农田、村镇地下水环境带来的破坏情况,给矿区地下水保护和水环境治理赋予实测支撑。

3 监测数据处理

3.1 数据采集流程

矿山监测数据采集采用外业实测同步分类归集的完整作业流程,外业阶段根据遥感、无人机、地面实测三种监测模式分批次进行信息获取,遥感和无人机成果以数字影像的形式保存,水准、位移、水位等地面实测内容同步记录原始观测台账,野外作业结束后立即剔除由于仪器故障、环境突然发生干扰而产生的无效原始记录,保留具有真实参考价值的有效数据,按照矿山分区、监测项目、观测时序对数据进行基本分类归档,统一规范数据记录格式,防止不同监测人员记录标准不一致造成的数据混乱问题,

为后续统一加工分析奠定原始数据基础,整套采集流程从前置外业管控到初筛归档形成闭环管理。

3.2 数据传输方式

依靠有线传输和无线物联网双通道完成监测数据跨终端流转,布设固定式自动化监测仪器的点位用物联网模块把自动采集的位移、水位数据实时传送到后台处理终端,野外人工实地获取的纸质台账和离线影像资料经数字化录入后通过内网系统汇集到矿山监测数据库,偏远无有线布设条件的矿区用移动通信网络完成数据远程传送,传输过程中设置数据校验机制,防止传输丢包、信息错乱等问题,保证野外一线监测成果快速汇总到管理端,打破监测点位和数据处理中心的空间距离限制,大大缩短数据汇总耗时,保证监测信息传递时效性。

3.3 数据分析方法

数据分析依靠数理统计和地质规律相结合的方式展开深入研判,先对多周期监测数据进行时序梳理,利用变化曲线分析各类监测指标随着矿山开采推进的变化规律,结合矿区地层构造、采掘工艺、降水量等关联因素开展相关性分析,甄别人为采矿扰动和自然环境因素各自对地质环境的影响权重,针对形变增速异常、水位骤变等偏离常规变化的数据开展专项溯源排查,定位异常诱因是采掘扰动还是极端气象作用,根据分析结论划分地质环境风险等级,为矿山隐患分级管控提供量化分析支撑。

3.4 数据可视化呈现

依托地理信息系统平台,将经过分析处理的各种监测数据转换成分层可视化专题图件,根据地表沉降、边坡位移、地下水位、裂缝发育等不同的监测内容分别生成专题图层,将数值变化转化为分级色标、点位标识、动态变化曲线在矿区底图上直观展示,各类隐患点位在图中标注清楚,管理者通过可视化的图纸可以快速掌握全矿区地质环境的整体分布和重点隐患的位置,按照年度、季度生成动态变化图集,直观对比不同时段矿山环境演变态势,把繁杂的海量监测数据转化为直观可读的图文成果,便于矿山管理与治理决策的快速落实。

4 技术方法综合应用

4.1 多技术融合策略

按照宏观巡查加局部精细化监测的总体思路建立多技术融合应用体系,宏观层面依靠卫星遥感和无人机对整个矿区展开大范围的环境普查工作,迅速锁定环境发生变化的可疑区域,针对这些区域实施GPS、水准、裂缝、地下水位等各类地面实测手段的定点精确观测,所有的实测

数据被输入到地理信息系统里并实现空间上的统一管理和综合分析,从而形成起一个从大范围快速筛查到单点精准实测的完整技术链条,各种技术互相取长补短,克服单一监测手段存在的固有缺陷,遥感大范围优势弥补地面监测布点的不足,地面精准实测弥补遥感细节的缺失,构建起全方位矿山环境监测的技术体系^[4]。

4.2 不同矿山类型适用性

露天开采矿山优先采用无人机巡查、边坡位移监测和地表水准观测相结合的方式,露天采场边坡跨度大、裸露岩土多,无人机可以完成全坡面隐患巡检,地面监测定点控制边坡形变;井下开采矿山侧重地下水位观测、采空区周边沉降监测和遥感年度普查,井下采掘容易引发地下水流失和地面塌陷,水位和沉降监测是主要的管控手段;尾矿库矿山重点使用无人机库区巡检加坝体位移、浸润线水位联合监测,根据矿山开采方式的不同,灵活选择技术组合,使监测方案适应矿山自身的地质和生产特点。

4.3 监测方案优化设计

根据矿山开采规模、地层情况、历史地质灾害记录等动态调整监测布设方案,新投产矿山初期依靠遥感和无人机全域踏勘划定高风险分区,在风险区域增加地面监测点位,低风险区域适当减少布点密度;进入稳产开采阶段随着采掘边界的向外延伸同时增补监测测点,开采末期矿山重点对塌陷隐患区加密观测,利用历年监测数据复盘原有布点疏漏,撤销监测价值衰减的老旧测点,持续改善监测线路和仪器布设位置,在控制监测成本的基础上最大可能地提升关键区域的监测覆盖度,从而达成监测资源的科学分配^[5]。

4.4 监测效果评估指标

从隐患预警效果、数据完整性、治理支撑价值三个方面来建立监测效果评价体系,隐患预警方面统计依靠监测数据提前预判的边坡、塌陷类地质灾害数量,数据维度核查全周期监测资料的连续性和真实性,应用层面考核监测成果对矿山生态修复、隐患治理方案编制的实际支撑作用,定期依托多项指标综合复盘整套监测体系运行质量,根据评估结果反向优化监测技术搭配和点位布设,不断改善整套监测工作实用性。

5 结语

矿山地质环境监测技术与方法研究是不断进行的、有重大意义的研究课题。经过对各种监测技术及方法进行研究,确定了各个技术特点及应用范围。实际使用时要根据矿山具体情况选择合适的监测技术、方法,重视多种技术

的结合使用,从而提高监测的准确性、有效性。随着科技的发展,矿山地质环境监测技术、方法也会不断更新、完善,给矿山资源的可持续开发利用以及地质环境保护提供更好的支持。

[参考文献]

- [1]张勇,杨春,鲍思宇,等.乌海及周边地区矿山地质环境空地一体化监测技术研究[J].西部资源,2023,(5):128-129+140.
- [2]游昆鹏,胡高峰,罗才严.矿山地质环境监测数据库管理

系统设计与实现[J].现代矿业,2023,39(10):215-218.

- [3]刘宇潇.高分辨率遥感技术在矿山地质环境监测中的应用[J].安徽地质,2023,33(3):270-273.

[4]迟占东.矿山地质环境监测技术研究现状[J].黑龙江科学,2023,14(6):131-133.

- [5]潘继明.矿山地质环境监测技术方法研究[J].中国资源综合利用,2020,38(8):133-135.

作者简介:杜明(1986.11—),男,汉族,新疆乌鲁木齐市人,本科学历,工程师,研究方向为地质矿产。