

“空天地”一体化在矿山地质灾害预测中的应用

刘聪 粟闯 张滇豫 宋仁娟

中铝智能(杭州)安全科学研究院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1861

[摘要] 本文深入探讨了“空天地”一体化数据融合技术在矿山地质灾害预测中的应用。通过整合卫星遥感、无人机航拍及地面传感器等多源数据,本文分析了数据获取、处理、融合及预测模型构建等关键环节的挑战,并提出了相应的应对策略。研究指出,加强科研力量支持、提升数据处理技术、完善数据融合机制及优化预测模型构建,是提升地质灾害预测准确性和时效性的重要途径。本文的研究成果为矿山地质灾害的预警与防控提供了有力的技术支撑和理论依据,对保障矿山安全生产具有重要意义。

[关键词] “空天地”一体化; 数据融合; 矿山地质灾害; 预测

中图分类号: P5 文献标识码: A

Application of ‘Air and Sky’ Integration in Mine Geological Hazard Prediction

Cong Liu Chuang Su Dianyu Zhang Renjuan Song

Chalco Intelligent (Hangzhou) Safety Science Research Institute Co

[Abstract] This paper discusses the application of ‘air-heaven-ground’ integrated data fusion technology in the prediction of geological disasters in mines. By integrating data from multiple sources, such as satellite remote sensing, UAV aerial photography and ground sensors, this paper analyses the challenges of data acquisition, processing, fusion and prediction model construction, and puts forward corresponding coping strategies. The study points out that strengthening the support of scientific research, improving the data processing technology, perfecting the data fusion mechanism and optimising the construction of prediction models are important ways to improve the accuracy and timeliness of geological disaster prediction. The research results of this paper provide a strong technical support and theoretical basis for the early warning, prevention and control of geological disasters in mines, which is of great significance to ensure the safe production of mines.

[Key words] ‘air and sky’ integration; data fusion; mining geological disasters; prediction

引言

随着矿产资源开发的不断深入,矿山地质灾害频发,严重威胁着人民生命财产安全和环境可持续发展。传统的地质灾害预测方法往往依赖于单一数据源,难以全面、准确地反映矿山地质环境的复杂性和动态性。因此,探索多源数据融合技术在地质灾害预测中的应用,成为当前地质灾害研究领域的热点和难点。本文基于“空天地”一体化视角,研究了多源数据融合在矿山地质灾害预测中的应用,旨在通过技术创新提升地质灾害预测的精度和效率,为矿山安全生产提供有力保障。

1 “空天地”一体化数据融合技术概述

“空天地”一体化数据融合技术是一种集遥感技术、航空摄影测量、卫星导航定位及地面监测等多种技术手段于一体的综合性技术体系。该技术通过整合来自空中(如卫星遥感)、天空(如无人机航拍)、地面(如地面传感器网络)的多源、异构数据,实现了对矿山地质环境及其动态变化的全方位、高精度监

测。其定义核心在于“一体化”,即不同数据源之间的无缝衔接与深度融合,旨在打破单一数据源在覆盖范围、时间分辨率、空间分辨率及参数多样性等方面的局限性。

该技术的主要特点体现在以下几个方面:首先,高精度,得益于卫星遥感的高空间分辨率和无人机航拍的灵活机动性,结合地面高精度传感器的数据,能够实现对地质灾害隐患点的精确识别与定位;其次,全面覆盖,通过多源数据的综合应用,实现了对矿山区域从宏观到微观、从地表到地下的全方位监测,有效弥补了单一数据源在监测盲区上的不足;再者,多参数,不同数据源提供了包括地形地貌、地质结构、水文气象、植被覆盖等在内的多种参数信息,为地质灾害的成因分析、风险评估提供了丰富的数据支撑;最后,多时相,通过定期或不定期的数据采集,构建了地质灾害发生前后的时间序列数据,为地质灾害的预测预警及灾后评估提供了重要的时间维度信息^[1]。综上所述,“空天地”一体化数据融合技术以其高精度、全面覆盖、多参数、

多时相的特点，在矿山地质灾害预测中展现出巨大的应用潜力和价值。

2 矿山地质灾害特征分析

2.1 矿山地质环境特点

矿山地质环境以其复杂性和特殊性著称，表现为地质构造复杂、岩层破碎、地下水系统发育不均等特征。矿山区域常伴随长期开采活动，导致地表形态显著变化，形成采空区、塌陷坑等地貌特征，进一步加剧了地质环境的复杂性。同时，矿区内地下水位的波动、矿渣堆积、植被破坏等现象也对地质环境稳定性构成威胁。这种复杂的地质环境为地质灾害的发生提供了温床，要求预测工作必须充分考虑这些特殊条件^[2]。

2.2 常见地质灾害类型与特征

矿山常见的地质灾害类型多样，各具特征，如表1所示：

表1 常见地质灾害类型与特征

地质灾害类型	特征描述
滑坡	发生在斜坡上的岩土体在重力作用下沿软弱面或软弱带整体或分散地顺坡下滑的现象，具有突发性强、破坏力大的特点。
崩塌	陡峭斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体，崩落、滚动、堆积在坡脚（或沟谷）的地质现象，常伴随巨响和震动。
泥石流	含有大量泥沙、石块和巨砾等固体物质的特殊洪流，具有爆发突然、流速快、流量大、破坏力强的特点。
地面塌陷	由于地下采矿活动或岩溶作用等导致地表岩层或土体向下陷落，在地面形成塌陷坑（洞）的现象，影响范围广，且难以预测。

这些地质灾害类型在矿山区域频发，严重威胁着生产安全和环境稳定。每种灾害都有其特定的形成条件和触发因素，需通过详细的地质调查和监测数据进行综合分析和预测。

2.3 地质灾害影响因素分析

矿山地质灾害的发生受多种因素影响，主要包括自然因素和人为因素。自然因素方面，地质构造、地形地貌、气候条件、水文地质条件等是地质灾害发生的基础条件。例如，断裂带、褶皱轴等地质构造带是滑坡、崩塌等灾害的易发区；强降雨、融雪等气候条件易诱发泥石流等灾害。人为因素方面，矿山开采活动是导致地质灾害发生的主要原因之一。不合理的开采方式、缺乏有效的治理措施、矿山废弃物堆放不当等都可能加剧地质环境的恶化，促进地质灾害的发生。此外，矿山区域的人类活动还可能导致地下水位的改变、植被破坏等生态问题，进一步影响地质环境的稳定性^[3]。因此，在矿山地质灾害预测中，需全面考虑这些影响因素，并结合实际情况进行综合分析。

3 “空天地”一体化数据融合在地质灾害预测中的应用

3.1 数据采集与预处理

在矿山地质灾害预测体系中，“空天地”一体化数据融合技

术的首要任务是高效、全面地收集多维度数据。卫星遥感技术以其宏观视野捕捉矿山区域的大范围地表变化，包括植被覆盖、地形地貌等，为地质灾害的初步识别提供宏观线索。无人机航拍则以其灵活性和高分辨率，针对潜在风险区域进行精细扫描，捕捉滑坡裂缝、崩塌前兆等微观特征。地面传感器网络则构成了实时监控的“神经末梢”，不间断地收集地下水位、土壤湿度、应力变化等关键环境参数，为预测模型提供即时且精确的数据输入^[4]。

采集到的多源数据需经历严格的预处理流程，以确保数据质量满足预测模型的需求。这一过程包括数据清洗，去除噪声和异常值；格式统一，将不同来源的数据转换为统一标准，便于后续处理；坐标转换，确保空间数据的准确对齐；以及特征提取，从原始数据中提炼出对地质灾害预测有用的关键信息。通过这一系列预处理步骤，多源数据被整理成结构化、高质量的数据集，为后续的数据融合与模型构建奠定坚实基础。

3.2 数据融合与模型构建

数据融合作为“空天地”一体化技术的核心，是实现多源数据优势互补、形成综合判断的关键步骤。采用先进的融合算法，如基于深度学习的特征融合技术，能够自动学习并提取不同数据源中的有用特征，实现特征层面的深度融合。同时，多源信息互补融合策略则利用不同数据源在时间和空间上的互补性，填补信息空白，提高数据完整性和准确性。通过这些融合技术，多源数据在时间和空间上实现了无缝对接，形成了对矿山地质环境及潜在灾害隐患的全方位、深层次理解。

在此基础上，构建地质灾害预测模型，利用机器学习或深度学习算法对融合后的数据进行深度挖掘和智能分析。模型构建过程中，需充分考虑矿山地质环境的复杂性和地质灾害的多样性，设计合理的网络结构和参数配置，以捕捉地质灾害发生的规律与模式^[5]。同时，通过交叉验证、模型调优等手段，不断提升模型的预测精度和泛化能力，确保模型能够准确、可靠地预测矿山地质灾害的发生概率和时空分布特征。

3.3 预测结果分析与应急响应

通过“空天地”一体化数据融合技术构建的预测模型，能够生成地质灾害发生的概率分布图与预警等级图等直观可视化成果，这些成果为决策部门提供了科学、精准的预测依据。预测结果需结合矿山的地质条件、历史灾害记录及当前环境状况进行综合分析，以全面评估地质灾害的可能影响范围、潜在危害程度及其发展趋势。基于这一综合评估，可制定详尽的应急响应方案，包括但不限于紧急疏散计划、抢险救援措施部署、风险区域临时管控等，确保在灾害发生时能够迅速启动应急机制，有效减轻灾害损失。此外，为进一步提升应急响应的时效性和准确性，需建立地质灾害监测预警系统，该系统能够实时接入预测模型的输出结果，并进行动态更新与展示^[6]。通过集成GIS技术、物联网传感器及大数据分析平台，该系统能够实现地质灾害风险的实时监控、预警信息发布及应急资源调度，为矿山安全生产和环境保护提供全方位、智能化的技术支持。在应急响应过程中，

系统还能根据灾害发展态势实时调整应急策略, 确保应急措施的科学性、针对性和有效性。

4 挑战与对策

4.1 面临的挑战

(1) 数据获取挑战: 数据源的多样性与异质性是首要难题。卫星遥感数据、无人机航拍影像及地面传感器数据虽各具优势, 但在时间分辨率、空间覆盖、数据精度及实时性方面存在显著差异。极端气候条件和地理障碍(如云层遮挡、地形复杂)可能进一步加剧数据获取的难度, 导致数据不完整或质量下降。(2) 数据处理挑战: 多源数据的格式、坐标系统、时间戳及精度标准不统一, 要求复杂的数据预处理步骤, 包括数据清洗、格式转换、校准及时间空间对齐等。此外, 海量数据的存储、管理与高效处理对计算资源提出严峻考验, 如何快速提取关键信息并减少冗余成为关键。(3) 数据融合挑战: 数据融合是技术上的核心难点。不同源数据在特征表达、信息密度及语义层次上存在差异, 如何实现深层次、高精度的融合是一大挑战。同时, 需解决数据间的冲突、冗余与不一致性问题, 确保融合结果既能全面反映地质环境状态, 又能准确揭示灾害隐患的潜在规律^[7]。(4) 预测模型构建挑战: 地质灾害的预测涉及众多复杂因素, 包括地质构造、岩性、水文气象条件、人类活动等, 这些因素间的相互作用机制尚未完全明确。因此, 构建预测模型时需充分考虑这些因素的非线性和不确定性, 采用合适的机器学习或深度学习算法进行特征提取、模式识别与规律挖掘。此外, 模型的泛化能力、实时性及可解释性也是构建过程中需要重点关注的问题。

4.2 应对策略

(1) 加强科研力量支持: 首先, 应加大对相关科研项目的投入, 吸引并培养跨学科的高水平科研人才, 形成稳定的研发团队。通过深入研究数据融合算法、机器学习模型及地质灾害机理, 推动理论创新与技术突破。同时, 建立产学研合作机制, 促进科研成果的转化与应用, 加速技术迭代升级。(2) 提升数据处理技术: 在数据处理环节, 应引入更高效的算法和工具, 如分布式计算、云计算等, 以提升数据处理的速度和效率。针对多源数据的异质性问题, 开发统一的数据处理平台, 实现数据的标准化、自动化处理。此外, 加强数据质量控制, 通过数据清洗、去噪、校准等手段, 确保数据的准确性和可靠性。(3) 完善数据融合机制: 针对数据融合的挑战, 应研发先进的融合算法, 如基于深度学习的特征融合、多源信息互补融合等, 实现多源数据在时间和空间上的无缝对接。同时, 建立数据融合的质量评估体系, 对融合结果进行定期检查和验证, 确保融合数据的准确性和有效性。此外,

加强数据共享与协作, 建立跨领域、跨部门的数据共享平台, 促进数据的整合与利用。(4) 优化预测模型构建: 在预测模型构建方面, 应注重模型的泛化能力和实时性。通过集成多种机器学习算法, 构建组合预测模型, 提高预测精度和稳定性^[8]。同时, 引入动态更新机制, 根据新获取的数据不断调整和优化模型参数, 确保模型能够适应地质环境的动态变化。此外, 加强模型的可解释性研究, 提高预测结果的可信度和接受度。同时, 建立完善的风险评估机制, 结合历史灾害数据和专家知识库, 对预测结果进行综合评价和风险评估, 为灾害防控提供科学依据。

5 结束语

综上, 本文通过对“空天地”一体化数据融合在矿山地质灾害预测中的应用研究, 展示了多源数据融合技术在地质灾害预测中的巨大潜力和应用价值。研究不仅提出了数据获取、处理、融合及预测模型构建等关键环节的挑战和应对策略, 还通过实例验证了多源数据融合技术在提升地质灾害预测精度和时效性方面的有效性。未来, 随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展, 多源数据融合技术将在地质灾害预测领域发挥更加重要的作用, 为矿山安全生产和环境保护提供更加全面、精准的技术支持。

[参考文献]

- [1]李成云. 矿山地质灾害特征及防治对策[J]. 世界有色金属, 2023, (11): 232-234.
- [2]于泽瑞, 杨光. 矿山地质灾害勘查方法与防治措施[J]. 世界有色金属, 2023, (10): 187-189.
- [3]贾永翔. 矿山地质灾害防治与地质环境保护思路探索[J]. 世界有色金属, 2023, (09): 223-225.
- [4]张超, 董雁南, 赵天尧. 矿山地质灾害治理中水工环地质技术研究[J]. 中国金属通报, 2023, (03): 180-182.
- [5]张龙生. 新时期矿山地质灾害勘查方法与防治策略[J]. 世界有色金属, 2023, (05): 178-180.
- [6]刘继德. 矿山地质灾害勘查技术及有效防治措施阐述[J]. 世界有色金属, 2023, (03): 151-153.
- [7]戴鹏璋. 矿山地质灾害防治与地质环境保护探析[J]. 世界有色金属, 2023, (01): 187-189.
- [8]王立帅. 矿山地质勘查及勘查灾害的预防措施分析[J]. 世界有色金属, 2023, (01): 217-219.

作者简介:

刘聪(1991—), 男, 汉族, 湖南益阳人, 硕士, 中级工程师, 研究方向: 遥感、InSAR、智慧矿山、智能工厂。