

煤矿区水工环地质灾害的监测预警与防治措施

吴进渊

山西省第九地质工程勘察院有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i11.2323

[摘要] 本文系统研究煤矿区水工环地质灾害的成因机制、监测预警技术及防治措施。通过分析地质构造、矿井开采活动和水文地质条件等关键因素,深入探讨煤矿区地质灾害的形成过程。文章重点阐述遥感监测、地下监测等先进技术在灾害监测预警中的应用,并提出包括边坡稳定加固、合理开采规划、生态恢复与重建等系统性防治措施。通过科学监测和综合防治,能够有效预防和控制煤矿区水工环地质灾害的发生,为煤矿安全生产提供重要保障。

[关键词] 煤矿区; 水工环地质灾害; 监测预警; 防治措施

中图分类号: X752 文献标识码: A

Monitoring, Early Warning, and Prevention Measures for Hydro-Geological and Environmental Geological Hazards in Coal Mining Areas

Jinyuan Wu

Shanxi Ninth Geological Engineering Survey Institute Co., Ltd.

[Abstract] This paper systematically studies the genesis mechanisms, monitoring and early warning technologies, and prevention measures for hydro-geological and environmental geological hazards in coal mining areas. By analyzing key factors such as geological structures, mining activities, and hydrogeological conditions, the formation processes of geological hazards in coal mining areas are thoroughly discussed. The article focuses on the application of advanced technologies such as remote sensing monitoring and underground monitoring in disaster monitoring and early warning, and proposes systematic prevention measures including slope stabilization and reinforcement, rational mining planning, ecological restoration and reconstruction. Through scientific monitoring and comprehensive prevention, the occurrence of hydro-geological and environmental geological hazards in coal mining areas can be effectively prevented and controlled, providing important safeguards for the safe production of coal mines.

[Key words] coal mining area; hydro-geological and environmental geological hazards; monitoring and early warning; prevention measures

引言

煤矿开采活动不可避免地破坏地层原有的平衡状态,引发一系列水工环地质灾害。这些灾害不仅威胁矿区安全生产,还对周边生态环境和居民生活造成严重影响。随着采矿技术的进步和环保要求的提高,开展煤矿区水工环地质灾害的监测预警与防治研究具有重要的理论意义和实践价值。本文从灾害成因入手,深入探讨监测预警技术的应用,并提出系统性防治对策,旨在为煤矿区地质灾害防控提供科学依据。

1 煤矿区水工环地质灾害的主要成因

1.1 地质构造与断层活动

地质构造是煤矿区水工环地质灾害发生的重要内在因素。褶皱、断层等构造形态改变地层的空间分布特征,造成岩层应力集

中,形成潜在的破坏面。断层活动加剧地层的不稳定性,特别是在活动断层区域,容易诱发岩层位移、地表沉降等灾害。构造破碎带往往成为地下水通道,增加水害发生的风险。地质构造的复杂性主要表现在断层规模、产状及其组合形式的多样性上,不同类型的断层对煤矿区稳定性的影响程度也不尽相同。走向断层往往导致采掘工作面揭露断层时发生突水,而倾向断层则易造成顶板失稳。此外,褶皱构造使煤层赋存状态发生改变,增加开采难度,同时在背斜构造中易形成地下水富集区,在向斜构造中则可能存在承压水,这些都为水工环地质灾害的发生创造条件。

1.2 矿井开采活动

采矿活动是诱发地质灾害的直接原因。地下采空区的形成导致上覆岩层失去支撑,产生移动变形。采动影响区内的岩层断

裂、错位,形成导水通道,改变原有的水文地质条件。大规模采矿还会引起地应力重分布,诱发地表沉降、山体滑坡等灾害。具体来说,采矿扰动导致煤层顶底板应力重分布,在某些区域形成应力集中,超过岩体强度后产生破坏。采空区上方形成的垮落带、裂隙带和弯曲带,构成地下水串通的通道。不合理的采矿方法,如超强度开采、留设煤柱不足等,加剧地层破坏程度。采掘工作面推进速度过快或过慢,都可能影响顶板管理效果。多煤层开采时,如果层间距选择不当,极易造成上下煤层之间的相互影响,增加地质灾害发生概率。此外,矿区地面基础设施建设和废弃物堆放也会改变地表径流条件,影响地下水补给。

1.3 水文地质条件

复杂的水文地质条件是水工环地质灾害发生的重要因素。地下水的赋存与运移特征、含水层的空间分布关系,直接影响着矿区的水文地质环境。强透水性岩层的存在增加突水风险,而地下水位的季节性变化也会影响地质体的稳定性。地表水体与地下水的水力联系,可能导致采空区充水或地表塌陷。特别是在岩溶发育区,溶洞、暗河等地质现象增加水害防治难度。含水层组织结构的复杂性,表现为多层含水层之间的水力联系和压力传导,造成采矿活动可能引发上覆含水层疏干和地面沉降。在断层破碎带发育区域,地下水沿断层面运移,形成天然的导水通道。季节性降水变化引起的地下水位波动,会影响岩体的物理力学性质,降低其稳定性。此外,矿区地形地貌特征也会影响地表水的汇集与渗流,进而影响地下水的补给与排泄条件。

2 煤矿区水工环地质灾害监测预警技术

2.1 遥感监测

遥感技术为大范围地质灾害监测提供有效手段。卫星遥感影像实时监测系统可全天候、大范围、高精度地监测地表变形、地裂缝发育等现象。特别是合成孔径雷达干涉测量技术(InSAR),能够实现毫米级地表形变监测精度,为预测地质灾害提供早期预警信息。多时相遥感数据的对比分析,有助于掌握灾害发展趋势。高分辨率光学遥感影像可用于识别地质构造和水文特征,为灾害防治提供基础数据。通过雷达差分干涉技术(D-InSAR)和永久散射体干涉技术(PS-InSAR),可以获取煤矿区地表沉降的时空演化特征。激光雷达技术(LiDAR)则能够快速获取高精度地形数据,探测地表微地貌变化。多源遥感数据融合技术的应用,提高监测结果的可靠性。此外,无人机遥感系统具有机动灵活、成本低等优势,可用于重点区域的精细化监测。遥感大数据与人工智能技术相结合,实现地质灾害自动识别和风险评估,显著提高监测效率。

2.2 地下监测

地下监测系统在掌握矿区地质环境变化中发挥着关键作用。其中,微地震监测网络依托布设的高灵敏度传感器,可实时捕捉岩层破裂信息,为预测冒顶片帮等灾害提供重要依据。为准确把握水文地质条件的动态变化,矿区建立地下水位观测井网系统,配备自动化监测设备,对水位、水压、水温等参数进行连续记录。在深部位移监测方面,通过多点位移计、深层基准仪等

设备,实现对岩层变形特征的精确监测。同时,应力监测系统借助应力计、应变计等仪器,系统测量采动应力场的变化规律。

为提高监测数据的可靠性和预警准确性,多参数综合监测系统实现各类监测数据的有效集成。随着技术进步,新型光纤传感技术在地下监测领域得到广泛应用,成功实现分布式应力应变监测。在探测采空区范围和含水地质构造方面,地质雷达探测系统发挥着重要作用。此外,瞬变电磁法和地电阻法等物探技术的应用,使地下水富集区和导水通道的探测成为可能。通过建立三维地质模型并结合监测数据进行动态更新,最终实现矿区地质环境的精细化监测。

2.3 数据处理与分析

监测数据的科学处理构成精准预警的基石。通过构建地质灾害预警模型,系统整合各类监测数据,从而实现灾害风险等级的精确评估。随着大数据分析技术的深入应用,海量监测数据的处理效率得到显著提升。在具体分析方法上,时序数据分析能够有效识别监测参数的演变规律,为预测模型的建立提供依据;而空间分析技术与GIS平台的结合,则实现地质灾害风险区域的直观可视化表达。

在智能分析领域,机器学习算法正在发挥越来越重要的作用。支持向量机(SVM)可用于地质灾害的精准分类,深度学习网络则在形变预测方面表现出色。通过数据挖掘技术,能够从海量历史监测数据中捕捉潜在的灾害征兆。与此同时,完善的数据库管理系统为数据的标准化存储和高效检索提供保障,云计算平台则有效解决大规模数据处理的算力需求。在确保数据质量方面,建立严格的质量控制体系,配套开发专业分析软件,不仅提供直观的分析界面,还实现多源数据的智能融合,从而全面提升预警结果的准确性。

2.4 制定预警应急响应预案

科学的预警机制离不开配套完善的应急响应预案。基于监测数据,预警系统建立科学的分级预警标准,将灾害风险细化为不同等级,并为每个等级设定明确的预警阈值。针对地质灾害的多样性特征,预案设计完整的预警指标体系,既包含单一指标预警,也涵盖综合指标预警,确保预警的全面性和准确性。

在预案框架设计上,系统构建应急组织体系、处置流程和人员疏散方案,并明确规定各部门的职责分工与协调机制。专家咨询系统的建立为预警决策提供有力的技术支撑。通过定期开展应急演练,不断检验预案的实际操作性,并根据演练反馈及时优化完善。在信息传递方面,预警信息发布系统实现全员覆盖,跨部门信息共享平台的搭建则确保预警信息的统一管理和快速响应。同时,科学制定应急物资储备计划,建立健全灾后评估机制,并通过加强应急队伍建设和技术培训,持续提升应急处置团队的专业水平,从而构建起一个完整的预警应急保障体系。

3 煤矿区水工环地质灾害防治措施

3.1 边坡稳定加固

边坡失稳是煤矿区常见的地质灾害类型,需要采取综合治理措施确保边坡稳定性。工程加固措施包括修建挡土墙、护坡、

锚索支护等工程设施,根据边坡地质条件和失稳机理,选择合适的支护结构形式和参数。挡土墙可采用重力式、扶壁式或悬臂式等多种形式,并进行抗滑、抗倾覆验算。锚索支护系统需要科学设计锚索长度、间距和预应力值,确保支护效果。科学设计的排水系统是确保边坡稳定的关键,包括设置截水沟、排水沟、降水井等设施,有效控制地表水和地下水对边坡的影响。

在边坡表面采用生态防护技术,如植草护坡、植物纤维毯覆盖等,既能增强表层稳定性,又能实现生态修复^[1]。采用三维激光扫描技术定期进行边坡地形测量,结合数值模拟分析,评估边坡稳定性。对于采空区上方的边坡,需考虑采动影响,采取加强支护或充填处理等措施。建立边坡监测系统,包括位移监测、应力监测和水文监测等,实现边坡状态的实时监控。定期开展边坡安全评估,及时发现潜在风险并采取补充加固措施。

3.2 合理开采规划

科学的开采规划是防治地质灾害的基础和前提。在优化采矿设计过程中,需要全面考量地质构造、水文地质条件和地形地貌特征,从而科学合理地确定采区布局和开采顺序。为避免采动影响的叠加和放大,采矿过程严格遵循“由浅入深、由简到繁”的开采原则。在安全保护方面,对建筑物下、水体下和重要构筑物周边等关键位置,通过理论计算和数值模拟确定合理的安全煤柱尺寸。同时,积极采用膏体充填、废石充填等充填开采技术,有效控制地表沉降,实现地表建筑和水资源的有效保护。

为确保采掘工作面安全,建立采空区动态监测系统,实时掌握采空区变化情况。水害防治专项方案中融入探放水、帷幕注浆、地面预注浆等多项措施。在采矿方法选择上,推广应用条带开采、分段开采等先进工艺,有效控制采动影响范围。此外,通过建立采矿活动数据库,系统记录开采过程中的地质信息和灾害信息,为后续开采提供重要参考。在开采设计中,合理预留保护带和隔离带,防止灾害影响范围扩大。通过定期评估开采方案的合理性,根据实际情况及时进行动态调整,确保开采活动的安全性和科学性。

3.3 生态恢复与重建

生态恢复作为矿区可持续发展的重要保障措施,需要制定系统性的恢复策略^[2]。其中,土地复垦构成生态恢复的核心,主要包括地形重塑、土壤改良和植被重建三个关键环节。在具体实施过程中,地形重塑需充分考虑区域地貌特征,科学设计坡度和平台,确保地形稳定性,有效防控水土流失。土壤改良阶段着重添加有机质和生物菌肥,全面改善土壤理化性质,为植被恢复创造良好条件。植被恢复选择抗逆性强的本土植物品种,构建稳定的乔灌草复合生态系统,增强水土保持能力。

为改善区域水文环境,系统重建地表水系统,通过布设调节池、人工湿地等设施,优化区域水循环。同时,通过建设排土场生态园区,采用边坡生态防护、生态护岸等技术,实现工程措施与生态保护的统一。建立生态监测系统对恢复效果进行动态评估,通过完善的管护机制确保修复成效。设立生态修复基金开展生态补偿,加强科研合作探索新型修复技术,持续提升矿区生态系统的稳定性和可持续性。

3.4 科技创新与应用

科技创新为水工环地质灾害防治提供坚实的技术支撑。在监测预警方面,重点研发智能传感器、物联网监测系统等新型设备,同时开发基于人工智能的灾害识别和预测系统,显著提升监测精度和预警效率^[3]。在工程防治领域,积极推广高性能锚杆、新型注浆材料等支护技术,研发智能化采矿装备,实现精准开采和远程控制,有效降低地质灾害风险。开发的矿区地质灾害防治信息管理平台,整合监测、预警、防治等功能,实现灾害防治的智能化管理。通过虚拟仿真系统,可模拟灾害发生过程和防治措施效果,为方案优化提供科学依据。

在技术创新体系建设方面,通过产学研合作建立技术创新联盟,设立科技创新基金支持关键技术攻关。加强技术交流与培训,建立科技成果评价体系,促进先进适用技术的推广应用。通过示范工程建设验证新技术效果,开展标准化研究制定技术规范,为水工环地质灾害防治提供规范指导。

4 结束语

煤矿区水工环地质灾害的防治是一项系统工程,需要从成因机制、监测预警到防治措施等多个方面开展研究。随着科技进步,新技术、新方法不断涌现,为提高防治水平提供有力支撑。通过建立健全监测预警体系,采取综合防治措施,煤矿区水工环地质灾害防治工作必将取得新的进展,为煤矿安全生产和生态文明建设作出积极贡献。

【参考文献】

- [1] 王恒.贵州某煤矿区崩塌地质灾害成因分析及治理措施浅析[J].冶金与材料,2024,44(01):109-111.
- [2] 曾繁富,韩鑫.煤矿区地质灾害治理及综合利用对策研究[J].中国煤炭地质,2022,34(S2):44-46.
- [3] 何玉蝶,殷维,胡程亮.湖南某锑煤矿区生态修复治理实践与思考[J].湖南有色金属,2022,38(04):65-68.

作者简介:

吴进渊(1987--),男,汉族,河南登封人,本科,水工环地质工程师,研究方向:水工环调查及报告编制。