

煤矿老空水探查与防治关键技术应用

王 恒 翁 贵

内蒙古准格尔旗力量煤业有限公司大饭铺煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 010399

摘 要：煤矿老空水探查与防治关键技术涵盖探查、评估、防治三方面。探查采用高密度电阻率法、瞬变电磁法等物探技术，结合钻探验证，精准定位积水区。评估构建量化指标体系与多模型融合评估方法，全面评估危险性。防治则采取主动疏放、注浆堵水、留设防隔水煤柱等措施，并辅以动态监测与应急预案，实现老空水有效防控，保障煤矿安全生产。

关键词：煤矿；老空水探查；防治关键技术；应用

引言：煤矿老空水是采矿活动遗留的隐蔽性灾害源，其突水事故具有突发性强、破坏性大的特点，严重威胁矿井安全。随着我国煤矿开采深度与强度不断增加，老空水问题愈发复杂，传统防治手段已难以满足需求。本文聚焦老空水赋存规律解析、多技术融合探查方法、精准危险性评估体系及综合防治策略，系统阐述地球物理探测、钻探验证、动态监测等关键技术应用，为煤矿老空水灾害防控提供理论支撑与实践指导。

1 煤矿老空水赋存规律与危险性评估

1.1 老空水赋存条件分析

(1) 地质构造：地质构造是老空水赋存的核心控制因素。断层尤其是导水断层，会打破岩层隔水完整性，成为老空水补给、运移的通道，连通不同含水层与采空区；褶皱构造中，向斜部位易汇集地下水，形成老空水富集区，背斜部位裂隙发育，利于地下水渗透补给；采动诱发的裂隙带与天然裂隙贯通，扩大老空水储存空间，增强其流动性。(2) 水文地质参数：渗透系数决定地下水渗透能力，系数越大，老空水补给速度越快、水量越充足；水位标高高于采空区时，易形成水压差，增加突水风险；补给来源分为天然补给（大气降水、地表水渗漏）和人工补给（周边含水层越流），补给越稳定，老空水赋存越持久。(3) 采矿活动影响：垮落式开采易破坏顶板隔水层，形成导水裂隙，利于地下水涌入；采空区形态不规则、体积越大，储存老空水的空间越多；顶板垮落程度决定裂隙发育深度，垮落越彻底，裂隙连通性越好，老空水补给与运移越顺畅^[1]。

1.2 老空水危险性评估方法

(1) 评估指标体系：选取核心量化指标，全面覆盖危险性影响因素。水量反映老空水富集程度，水量越大风险越高；水压直接决定突水动力，水压超标易引发突水事故；突水系数是水压与隔水层厚度的比值，直观体

现突水可能性；隔水层厚度是防控屏障，厚度越小，老空水突破风险越大，三者协同构成完整评估指标体系。

(2) 评估模型构建：层次分析法可梳理指标权重，明确各因素影响优先级；模糊综合评价能解决评估中模糊不确定问题，精准划分危险性等级；数值模拟可模拟老空水运移路径、水压分布，预测不同工况下的突水风险，三者结合可实现老空水危险性的全面、精准评估。

2 煤矿老空水探查关键技术

2.1 地球物理探测技术

(1) 高密度电阻率法：该方法通过布设高密度电极阵列，向地下发射稳定电流，测量不同深度岩层的电阻率值。由于水的电阻率远低于干燥岩层，老空积水区域会呈现明显低阻异常，结合数据反演分析，可精准划分采空区边界、圈定积水范围，明确积水厚度与分布形态，具有操作便捷、探测范围广、成本较低的优势，适用于煤层顶板及浅部老空水的初步探查。(2) 瞬变电磁法：利用电磁感应原理，通过发射脉冲磁场激发地下介质产生感应电流，监测感应磁场的瞬变过程，捕捉低阻地质体信号。该技术穿透能力强，不受地形、岩层风化程度影响，可精准定位地下低阻异常区，有效区分老空积水、断层导水带与富水裂隙带，尤其适用于深部老空水及隐蔽低阻异常的探测，弥补了高密度电阻率法穿透深度不足的短板^[2]。(3) 地震勘探：通过人工激发地震波，监测地震波在地下岩层中的传播速度、反射信号变化，依据波形特征反演地质构造形态。该技术可精准识别断层、陷落柱、裂隙密集带等潜在导水通道，判断其产状、规模及连通性，明确导水通道与老空区、含水层的关联关系，为防控老空水突水提供核心构造参数，是深部复杂地质条件下老空水探查的关键技术。

2.2 钻探验证与动态监测技术

(1) 定向钻探技术：该技术通过调控钻孔方位角、

倾角,实现钻孔轨迹精准控制,可针对性穿透老空异常区、导水断层等关键部位,获取岩芯样本、测定地下水位、水压及水量等核心参数,验证地球物理探测结果的准确性。相较于传统钻探,定向钻探具有钻孔利用率高、探测精度高、对煤层破坏小的优势,可实现对隐蔽老空水的精准探查与验证。(2)分布式光纤传感监测:利用光纤传感的分布式感知特性,将传感光纤布设至老空区、导水通道及周边岩层,实时监测老空水水位、水温、水压的动态变化,捕捉异常波动信号并及时预警。该技术监测范围广、响应速度快、数据连续性强,可实现老空水动态变化的全天候、无死角监测,为老空水风险防控提供实时数据支撑。

2.3 多源数据融合与三维建模技术

(1) GIS+BIM技术集成:整合GIS地理空间数据与BIM三维建模技术,将老空区形态、地质构造、导水通道、积水范围及监测点等多源数据融入三维模型,清晰呈现老空水赋存状态、地质构造分布及各要素的空间关联关系,实现老空区地质条件的可视化呈现,为老空水探查方案制定、风险评估提供直观的三维支撑。(2)探查数据可视化分析:通过数据可视化技术,将多源探查数据转化为直观的图表、曲线及空间分布图,清晰呈现老空水水量、水压、水位等参数的变化规律,分析老空水突水风险隐患。同时,结合数据挖掘技术,预判老空水动态变化趋势,为老空水防控方案优化、风险预警及应急处置提供科学决策依据,提升老空水探查与防控的智能化水平^[3]。

3 煤矿老空水防治关键技术

3.1 主动疏放技术

(1)疏放钻孔优化布置:结合老空区三维地质模型与水动力模型,分析老空水流动规律、水压分布特征,优化疏放钻孔的布置位置、数量、深度及倾角。优先在老空水富集区、水压较高区域布置钻孔,确保钻孔能精准穿透积水区核心部位,实现高效疏放;同时避开断层、裂隙密集带及地面建筑物保护区,减少钻孔施工对岩层稳定性的破坏,提升疏放效率与安全性。(2)疏放水量与时间控制:根据老空区容积、岩层抗压强度及地下水补给能力,科学计算合理疏放水量与疏放周期,采用“分期、分段、匀速”的疏放方式,避免短时间内大量疏放导致地下水位急剧下降,引发岩层变形、地面塌陷等次生灾害。疏放过程中实时监测水量、水压变化,动态调整疏放参数,确保疏放效果达到防控要求的同时,最大限度保护周边地质环境。

3.2 被动隔离技术

(1)隔水煤柱设计:结合岩层性质、水压大小、断层产状及采掘进度,通过力学计算与数值模拟,确定隔水煤柱的合理宽度,确保煤柱具备足够的抗压强度与隔水能力,能有效阻挡老空水渗透。同时开展煤柱稳定性长期监测,及时发现煤柱变形、裂隙发育等异常情况,采取加固措施,防止煤柱失效引发突水事故。(2)注浆堵水技术:针对导水断层、裂隙带及老空区连通通道,采用注浆技术构建隔水帷幕。根据封堵部位的地质条件、水压大小,选择适配的注浆材料,优先选用凝结速度快、抗压强度高、渗透性好的高分子注浆材料或水泥基复合材料;优化注浆压力、注浆量、注浆速度等工艺参数,确保注浆液能充分填充裂隙、封堵通道,形成致密的隔水层,实现老空水有效隔离^[4]。

3.3 应急处置技术

(1)突水预警系统构建:整合水位、水压、流量等各类传感器,构建全方位、多层次的突水预警传感器网络,实现老空水关键参数的实时采集、传输与分析。结合矿井实际设定预警阈值,当监测参数超出阈值时,系统自动发出声光预警,同步推送预警信息至相关岗位,为应急处置争取时间;同时完善预警联动机制,明确各岗位应急职责,确保预警信号快速响应。(2)快速封堵材料研发:针对突水事故快速封堵需求,研发适配不同突水强度的高分子化学堵水剂,此类材料具有凝结速度快、遇水膨胀、封堵强度高、适应性强等优势,可快速填充突水通道,阻断水流扩散。优化封堵施工工艺,采用“先堵后固、分层封堵”的方式,结合现场突水情况灵活调整材料用量与施工方法,实现突水事故快速控制。

3.4 防治效果评价方法

(1)评价指标:选取核心量化评价指标,全面、精准评价老空水防治效果。水量减少率直观反映主动疏放与注浆封堵的有效性,体现老空区积水排出程度;水压下降值反映突水风险降低幅度,确保水压控制在安全范围内;隔水层完整性通过钻孔探测、物探验证、渗水量监测等多种方式综合判定,确保隔水屏障可靠有效。明确各指标的评价标准与合格阈值,采用量化分析与定性评价相结合的方式,确保评价结果科学、客观、精准。(2)长期跟踪监测方案:建立老空水防治长期跟踪监测机制,结合矿井采掘进度、地质条件变化及防治工程运行情况,定期开展水量、水压、隔水层完整性、煤柱稳定性等指标的检测与核查。安排专人负责监测数据的整理、分析与归档,建立完整的监测档案,及时发现防治工作中的不足与隐患;对评价不合格的环节,深入分析问题成因,优化防治方案,调整疏放、注浆或隔离措施,实

现防治工作的动态优化,持续提升老空水防治水平。

4 煤矿老空水防治技术保障措施

4.1 技术保障措施

(1) 标准化作业流程:围绕老空水“探查-设计-施工-验收”全流程,制定统一、规范的作业标准,明确各环节的操作要求、技术参数、质量管控要点。探查环节严格遵循物探与钻探结合的原则,确保探查数据真实准确;设计环节结合探查结果,科学优化疏放、注浆、隔离等方案;施工环节严格按照设计方案执行,规范操作流程,严控施工质量;验收环节建立多级验收机制,对防治工程的质量、效果进行全面核查,不合格工程严禁投入使用,确保全流程闭环管理。(2) 智能化装备研发:加大智能化装备研发与投入力度,提升老空水防治的自动化、智能化水平。推广使用自动化钻机,实现钻孔轨迹精准控制、钻进参数实时监测,减少人为操作误差,提升钻探效率与施工安全性;运用无人机巡检技术,对矿井地表、采空区上方及边坡区域进行全方位巡检,快速发现地面塌陷、裂隙发育等异常情况,及时排查老空水补给通道隐患,弥补人工巡检范围有限、效率低下的短板。

4.2 管理保障措施

(1) 动态数据库建设:构建煤矿老空水动态信息数据库,整合老空区形态、水文地质参数、探查数据、防治工程信息、监测数据等各类资料,实现信息的集中管理与实时更新。安排专人负责数据库维护,及时录入新的探查结果、监测数据及防治工作进展,同步更新老空水赋存状态、风险等级等信息,为防治方案优化、风险评估、决策制定提供精准的数据支撑,确保管理工作有据可依。(2) 多部门协同机制:建立地质、测量、通风、安全等多部门协同联动机制,明确各部门的职责分工,打破部门壁垒,实现信息共享、协同发力。地质部门负责老空水探查与赋存规律分析,测量部门精准标定采空区、断层等关键位置,通风部门配合管控防治过程中的通风安全,安全部门全程监督防治工作落实、排查安全隐患,定期召开协同会议,协调解决防治工作中的跨部门难题,形成全方位的防治管理合力^[5]。

4.3 人员培训与应急演练

(1) 透水事故应急预案制定与演练:结合矿井老空水赋存特点、突水风险等级,制定科学完善的透水事故应急预案,明确应急组织机构、应急响应流程、应急处置措施、人员疏散路线及物资调配方案。定期组织全员应急演练,模拟不同强度的透水事故场景,锻炼应急队伍的快速响应、协同配合与应急处置能力,及时发现应急预案中的不足并优化完善,确保突发透水事故时能快速启动、科学处置,最大限度减少人员伤亡与财产损失。(2) 一线工人技术培训:聚焦一线作业人员,开展针对性的技术培训,提升其老空水防治专业能力与操作水平。培训内容涵盖物探数据解译、智能化防治设备操作、标准化作业流程、突水隐患识别及应急处置技能等,采用“理论讲解+现场实操”的方式,确保一线工人能熟练掌握物探异常信号识别方法、正确操作钻探、注浆等设备,精准排查作业现场老空水隐患,规范开展防治作业,从源头规避人为操作失误引发的突水风险。

结束语

煤矿老空水探查与防治是保障矿井安全生产的重中之重。通过系统应用地球物理探测、多源数据融合建模等先进探查技术,可精准定位老空水赋存区域;结合主动疏放、注浆堵水及应急隔离等综合防治措施,能有效降低突水风险。未来需持续强化技术创新与动态监测,完善多部门协同管理机制,提升从业人员应急处置能力,从而构建“探查-防治-应急”全流程安全体系,推动煤矿安全生产向智能化、精细化方向发展。

参考文献

- [1]赵永忠,张虎,刘辉.煤矿老空水防治技术分析[与实施[J].江西煤炭科技,2024(2):119-121.
- [2]宋金鹏.煤矿井下老空水的防治措施分析[J].能源与节能,2024(2):290-293.
- [3]邵轩,张万鹏.关闭煤矿老空水危害与防治对策[J].中州煤炭,2021,43(08):37-39.
- [4]李明,张伟.复杂地质条件下老空水害防治技术研究[J].煤炭工程,2020,48(1):61-64.
- [5]高宇,张倩.小煤柱沿空掘巷老空水防治技术研究与应用[J].江西煤炭科技,2024,(03):191-194.