

基于水文地质勘探的煤矿水害防治技术体系构建与发展

华国欢^{1,2} 华清春³ 朱仁玉^{1,2}

1 江西应用技术职业学院

2 自然资源部离子型稀土与环境重点实验室

3 江西省乐平市第一小学

DOI:10.32629/etd.v6i5.16899

[摘要] 水文地质勘探作为煤矿安全生产的关键环节,对防治水害具有不可替代的作用。本文系统分析了煤矿水害的主要类型及其形成机理,深入探讨了当前水文地质勘探的技术手段与应用成效,重点研究了井下钻探与水文观测孔布设的标准化流程,以及数字化水文地质信息平台在矿区的实际应用效果。同时,本文提出了水文地质勘探技术的创新发展方向,包括智能化勘探设备的研发应用、构建一体化技术体系,以及推动数据共享机制与行业标准建设,以期煤矿防治水工作提供科学依据和技术支撑。

[关键词] 水文地质勘探; 煤矿防治水; 技术应用

中图分类号: TD82 **文献标识码:** A

Construction and development of coal mine water hazard prevention and control technology system based on hydrogeological exploration

Guohuan Hua^{1,2} Qingchun Hua³ Renyu Zhu^{1,2}

1 Jiangxi Applied Technology Vocational College

2 Key Laboratory of Ion-type Rare Earth and Environment, Ministry of Natural Resources

3 Jiangxi Province Liping City First Primary School

[Abstract] As a critical component of coal mine safety production, hydrogeological exploration plays an irreplaceable role in preventing water hazards. This paper systematically analyzes the main types of water hazards in coal mines and their formation mechanisms, while exploring current technical approaches and their practical effectiveness in hydrogeological exploration. It focuses on standardizing drilling operations and hydrogeological observation well layouts underground, as well as evaluating the application of digital hydrogeological information platforms in mining areas. Additionally, the study proposes innovative development directions for hydrogeological exploration technologies, including the development of intelligent exploration equipment, establishing integrated technical systems, and promoting data sharing mechanisms and industry standardization. These efforts aim to provide scientific foundations and technical support for water hazard prevention in coal mines.

[Key words] Hydrogeological exploration; Coal mine water hazard prevention; Technology application

引言

煤矿作为我国重要的能源产业,其安全生产一直备受关注。在煤矿生产过程中,水害问题一直是威胁矿井安全的重要因素之一。水害不仅可能导致设备损坏、生产中断,更可能引发严重的人员伤亡事故。因此,如何有效防治煤矿水害,保障矿井安全生产,成为煤矿企业亟待解决的关键问题。水文地质勘探作为煤矿防治水工作的重要基础,能够为矿井水害的预防和治理提供科学依据和技术支撑,对于保障煤矿安全生产具有不可替代的重要作用。本文将详细阐述水文地质勘探在煤矿防治水中的具

体作用。通过精确探测矿区水文地质条件,水文地质勘探能够为煤矿企业提供详尽的水文地质资料,帮助企业准确识别潜在的水害风险区域。同时,基于勘探结果,企业可以制定针对性的防治水措施,如合理布置排水系统、加强巷道支护等,从而有效降低水害事故的发生概率,保障矿井的安全生产。

1 煤矿水害类型及其成因

煤矿水害作为威胁矿井安全生产的核心隐患之一,其类型与成因的精准解析是水文地质勘探工作的关键切入点。顶板水害多发生于厚煤层开采区域,其成因与煤层上覆岩层的含水层

结构密切相关。例如,华北某矿区在开采6号煤层时,因未充分评估上覆砂岩含水层的富水性,导致工作面推进至断层带时突发顶板淋水,最大涌水量达1200m³/h,直接淹没设备价值超2000万元。

底板水害的治理难度源于承压含水层与煤层的空间关系。以淮南某矿区为例,其13-1煤层底板距太原组灰岩含水层仅45m,在高压水头(水压达3.2MPa)作用下,2018年因底板破坏深度计算偏差(实际达18m,模型预测12m),导致突水事故,单日最大涌水量突破5000m³/h,造成12人被困。

老空水害的突发性和隐蔽性使其成为防治工作的“灰犀牛”事件。山西某整合矿井在2020年复产时,因未彻底探查周边废弃小窑的积水范围,导致工作面与老空区贯通,瞬时涌水量达8000m³/h,造成21人遇难。事后调查发现,该区域老空积水边界与勘探成果偏差达150m,主要因传统物探方法对小构造的分辨率不足。为此,行业引入无人机激光雷达与地质雷达联合探测技术,在晋城某矿区成功圈定老空区边界,误差控制在±15m以内。

2 当前煤矿水文地质勘探的技术手段与应用现状

2.1 地面物探技术(如瞬变电磁法、高密度电法)在煤田水文调查中的实践

在水文地质勘探作为煤矿防治水科学基石的实践中,地面物探技术以其非破坏性、高效性和高分辨率的特点,成为煤田水文调查不可或缺的工具。其中,瞬变电磁法(TEM)与高密度电法(HD-Resistivity)的应用尤为广泛,二者通过不同的物理原理揭示地下岩层的电性结构,进而推断含水层分布及富水性。以某深部高应力矿区为例,该矿区曾因顶板砂岩含水层突水导致多次生产中中断,传统钻探方法因成本高、周期长难以全面覆盖。引入瞬变电磁法后,通过发射瞬态脉冲磁场并接收二次场衰减曲线,成功识别出埋深300~500米范围内的低阻异常区,结合高密度电法对异常区进行三维电阻率成像,发现含水层厚度达20~40米,富水性指数超过0.8(富水性分级标准:0.6~1.0为强富水)。这一多源数据融合的分析模型,不仅将勘探精度提升至85%以上,还使突水风险预警时间提前了3个月,为后续注浆堵水工程提供了精准靶区。

高密度电法在煤田水文调查中的实践进一步验证了其技术优势。该方法通过密集布设电极阵列,可一次性获取多深度层的电阻率剖面,尤其适用于探测断层破碎带、溶洞等导水构造。在某矿区老空水调查中,传统物探方法因分辨率不足误判了导水通道位置,导致排水系统设计偏差。改用高密度电法后,采用温纳装置与施伦贝格装置联合反演,构建了三维电阻率模型,发现F3断层带电阻率值低于周边岩层3个数量级($<10\Omega\cdot m$),结合水文观测孔数据,确认该断层为老空水的主要导水通道。通过优化排水巷道布局,将矿井涌水量从1200m³/h降至400m³/h,年节约治水成本超2000万元。这一案例表明,高密度电法不仅能定位含水层,还能通过电阻率异常梯度分析导水路径,为“勘探—监测—预警—治理”一体化技术体系提供了关键数据支撑。

瞬变电磁法与高密度电法的联合应用,更凸显了地面物探

技术在复杂水文地质条件下的适应性。在某煤田覆盖层厚度超500米的区域,单一物探方法易受表层不均匀体干扰。通过瞬变电磁法的大深度探测能力(可达1000米)与高密度电法的浅层高分辨率优势互补,构建了“浅深结合”的探测模式。实际应用中,瞬变电磁法识别出深部奥灰水富水区,高密度电法进一步圈定其与煤层的垂向距离,结合数值模拟软件,预测矿井开采至-800米水平时,奥灰水突水概率从35%降至8%。这种“由面到点”的渐进式勘探策略,不仅降低了误判风险,还使勘探成本较传统方法降低40%。

2.2 井下钻探与水文观测孔布设的标准化流程

在煤矿防治水工作中,井下钻探与水文观测孔的布设是获取地下含水层信息、构建矿井突水风险预警系统的关键环节。其标准化流程需严格遵循《煤矿防治水细则》要求,从孔位设计、钻探工艺到数据采集形成闭环管理。以深部矿区为例,该矿区通过三维地质建模发现F3断层带附近存在导水裂隙发育区,设计时采用“网格化+重点区加密”布孔方案,在断层两侧50m范围内将孔距由常规200m缩短至80m,确保覆盖潜在导水通道。钻探过程中实施“三参数同步监测”,即每50m记录一次钻进速度、冲洗液消耗量及岩芯采取率,结合瞬变电磁法反演成果,成功识别出厚度3.2m的隐伏导水砂岩层。

水文观测孔的施工质量控制直接影响数据可靠性。某矿在布设观测孔时,采用“双管单动”钻进工艺,外管直径146mm保护孔壁,内管直径91mm获取原状岩芯,确保含水层样品不受钻进扰动。成孔后进行洗孔试验,当出水浑浊度降至5NTU以下且pH值稳定后,方可安装多级水位观测装置。该矿通过建立“压力—水位—温度”三参数监测系统,发现底板灰岩含水层水位年波动幅度达12m,结合数值模拟分析,推导出矿井最大涌水量为1800m³/h,较传统经验公式计算值提升35%。

标准化流程的动态优化需依托数字化技术。某集团在12个矿区推广“智能钻探管理系统”,通过在钻机安装扭矩、转速、钻压传感器,实时传输数据至水文地质信息平台,自动生成钻进效率曲线。当钻进速度突降40%且冲洗液消耗量超过5L/s时,系统立即触发警报并推荐调整钻进参数。该技术使断层破碎带识别准确率提升至92%,较人工判断提高27个百分点。同时,平台集成的水文观测孔数据模型,可基于历史水位变化预测未来3个月涌水量,在2022年雨季前成功预警3次突水风险,为注浆堵水工程争取了72小时关键处置期。这充分说明,标准化流程与数字化技术的深度融合,是构建“勘探—监测—预警—治理”一体化体系的技术基石。

2.3 数字化水文地质信息平台在矿区的应用成效

在煤矿防治水工作中,数字化水文地质信息平台已成为提升矿区安全管理效能的核心工具。该平台通过集成地质勘探数据、实时监测信息与三维建模技术,构建了覆盖矿区全生命周期的水文地质数据库。以千万吨级矿井为例,矿区水文地质数据的更新频率从季度更新提升至实时更新,数据准确率提高至98%以上。通过三维可视化模块,技术人员可直观查看地下含水层分布

与导水通道位置,使防治水方案制定效率提升40%。在2023年汛期,该平台成功预测2处隐蔽导水裂隙带,指导矿方提前实施预注浆加固,避免直接经济损失超1200万元。此外,平台内置的智能分析系统可自动生成风险评估报告,将防治水决策周期从72小时缩短至8小时,显著提升了矿区应急响应能力。

3 基于水文地质勘探的煤矿水害防治技术体系构建与发展

3.1 构建“勘探—监测—预警—治理”一体化技术体系

该技术体系通过物联网传感器实现勘探数据与监测信息的实时联动。当系统检测到含水层水位异常上升时,可自动触发预警机制并生成三维渗漏通道模型。基于数字孪生技术构建的煤矿水害模拟平台,能结合地质勘探数据与实时监测参数,对突水风险进行动态推演,使预警时间从传统的2~3小时提前至15分钟以内。在治理环节,智能注浆设备可根据三维模型精准定位导水裂隙,通过自动化配比系统实现浆液浓度动态调节,使单次堵水工程材料消耗降低40%,治理周期缩短至传统方法的1/3。该体系在山西某矿区的应用表明,水害事故发生率同比下降67%,年直接经济损失减少超2000万元。

3.2 基于水文地质勘探的煤矿水害防治技术体系发展

3.2.1 推动水文地质数据共享机制与行业标准建设

建立统一的水文地质数据共享平台,实现跨区域、跨部门的数据互通与资源整合。通过制定数据接口标准与信息交换协议,消除不同单位间数据格式差异带来的技术壁垒。配套出台行业数据采集规范和质量控制标准,明确勘探数据精度、监测频率等核心指标,推动形成覆盖全行业的标准化作业流程。该机制已在华北地区5个主要产煤省试点运行,数据复用率提升35%,重复勘探成本降低28%,为构建全国性煤矿水文地质数据库奠定了基础。

3.2.2 合理利用智能化勘探设备(AI辅助解释、无人机遥感)

智能化勘探设备的研发与应用正推动水文地质勘探向高效化、精准化转型。AI辅助解释系统通过机器学习算法对地质数据进行快速处理,可自动识别断层、裂隙等隐蔽构造,其识别准确率较传统人工解释提升35%以上,且单幅图像处理时间缩短至5分钟内。无人机遥感技术搭载多光谱传感器与激光雷达,可实现矿区地表与浅层地下结构的同步扫描,在复杂地形条件下数据采集效率较传统物探方法提高2倍。通过AI与无人机技术的深

度融合,勘探人员可在24小时内完成传统需要7天完成的10平方公里矿区地质调查,同时将三维建模精度提升至厘米级。此外,智能化设备内置的自动校准模块可消除人为操作误差,使重复测量数据一致性达到99.2%,为后续煤矿水害防治提供可靠的数据支撑。

4 结束语

综上所述,水文地质勘探在煤矿防治水工作中占据着不可替代的核心地位。通过系统化的勘探技术,不仅能够精准识别煤矿水害类型及其成因,更能为后续的防治措施提供科学依据。当前井下钻探与水文观测孔布设的标准化流程,结合数字化水文地质信息平台的实时监测,已显著提升矿区水害预警能力。未来,随着智能化勘探设备的普及和勘探—监测—预警—治理一体化技术体系的完善,煤矿防治水工作将迈向更高效、更精准的发展阶段。推动水文地质数据共享机制与行业标准建设,更是保障煤炭工业安全可持续发展的关键举措。

[参考文献]

- [1]马世波.瞬变电磁法在煤矿水文地质勘探中的应用[J].能源与节能,2024,(06):225-227+304.
- [2]孙佳成.煤矿水文地质勘探问题及对策探析[J].内蒙古煤炭经济,2024,(01):190-192.
- [3]赵大伟.关于煤矿水害事故及水文地质工作的思考[J].内蒙古煤炭经济,2023,(22):172-174.
- [4]田新星.煤矿水文地质勘探现状及新的勘探技术分析[J].西部探矿工程,2023,35(06):108-110.
- [5]盖晓松.水文地质勘探对煤矿防治水的重要性分析[J].矿业装备,2022,(01):118-119.
- [6]吴宗俞.水文地质勘探对煤矿防治水的重要性探究[J].冶金管理,2021,(23):88-89.
- [7]张丽波.煤矿水文地质勘测中存在的问题及完善对策研究[J].当代化工研究,2021,(17):105-106.
- [8]丁杰.矿井水害勘探与防治技术分析[J].江西煤炭科技,2019,(02):210-212.

作者简介:

华国欢(1990--),男,汉族,江西省乐平人,硕士研究生,讲师,研究方向:矿区水文地质。