

超前探放水在加强煤矿防治水工作中的应用研究

门宋宋 李启兴 吴周康

国能伊利能源有限责任公司黄玉川煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 017100

摘要: 本文围绕超前探放水技术在煤矿防治水工作中的应用展开研究,梳理了地表水害、老空水害、岩溶水害等常见煤矿水害类型及危害,明确超前探放水技术的核心价值;再解析该技术原理与配套设备特性,分析当前应用现状与现存问题;最后从技术优化、人员管理、设备维护三方面提出应用效果提升策略,并探讨其与疏水降压、防水设施建设、水害应急救援的协同模式。研究表明,科学应用超前探放水技术并与其他防治水措施协同,可有效降低煤矿水害风险,为煤矿安全生产提供关键技术支撑。

关键词: 超前探;防治水;钻探;煤矿安全;技术应用

引言: 煤矿水害作为影响安全生产的关键因素,威胁着井下作业人员生命安全,制约着煤矿经济效益提升与生态环境保护。在众多防治水技术中,超前探放水技术凭借其“先探后掘”的前瞻性优势,成为应对老空水、岩溶水等复杂水害的核心手段。然而,技术应用中仍存在精度不足、协同性差等问题。本文从技术原理、应用现状及优化策略展开研究,探索其与其他防治水措施的协同模式,为煤矿水害防治提供理论支撑。

1 煤矿水害类型及危害分析

1.1 煤矿常见水害类型

1.1.1 地表水害

主要源于大气降水、河流、水库等地表水体,通过井口、裂隙、塌陷坑等通道涌入矿井,多发生于浅部开采矿区。如雨季暴雨时,地表水体水位上涨,若矿井井口标高低于洪水水位或地表防水设施破损,易引发淹井事故,某煤矿曾因暴雨导致地表河水倒灌,24小时内矿井涌水量从500m³/h增至2000m³/h,被迫停工15天。

1.1.2 老空水害

由历史采空区积水形成,积水区域边界模糊、水压不稳定,且水质多呈酸性(pH值2-4),具有突发性强、破坏性大的特点。当采掘作业揭露老空区时,积水瞬间涌出,易导致巷道淹没与设备腐蚀,某煤矿误穿老空区后,瞬时涌水量达1500m³/h,造成3条掘进巷道被淹,直接经济损失超千万元^[2]。

1.1.3 岩溶水害

赋存于灰岩等碳酸盐岩地层的岩溶裂隙与溶洞中,具有水压高(可达3-5MPa)、富水性强、导水通道复杂的特征,是深部煤矿的主要水害威胁。如华北奥灰水矿区,岩溶水通过断层或裂隙导通至采掘工作面,易引发大规模突水,某深部煤矿曾因奥灰水突水,涌水量持续

稳定在3000m³/h,导致整个采区停产整顿。

1.2 煤矿水害的危害

煤矿水害危害广泛,涉及安全、经济、生态三大方面,对煤矿生产运营影响重大。安全上,水害突发会使井下作业人员溺水、被困,酸性积水会腐蚀巷道支护设备,降低支护强度,增加顶板垮塌风险^[3]。而且,积水与煤层、岩石接触可能产生硫化氢、甲烷等有毒有害气体,威胁人员生命健康。近五年,我国因煤矿水害导致的伤亡事故占比达12%;经济方面,水害会导致矿井停工停产,每次重大水害事故平均造成停工20-30天,直接经济损失超千万元。同时,治理水害需投入大量资金用于采购排水设备、修复巷道与疏排积水;生态上,矿井大量排水会造成区域地下水位下降,引发表植被枯萎、土地荒漠化^[1]。部分酸性积水排放还会污染周边土壤与地表水,破坏生态平衡。部分矿区因长期排水,周边地下水位大幅下降,导致农田灌溉困难。

2 超前探放水技术原理与设备

2.1 超前探放水技术原理

超前探放水技术基于“探测-评估-放水-验证”的核心逻辑,通过物探与钻探结合,实现采掘前方水文地质条件的精准探明与水害隐患的提前治理。其技术原理可分为探测与放水两个阶段:探测阶段以“物探圈定异常、钻探验证”为原则,先采用瞬变电磁法、直流电法等物探技术,根据岩层电阻率差异圈定富水异常区域(如低阻区多为含水层或积水区),再通过超前钻探施工探水孔,验证异常区域的实际水文情况,包括含水层富水性(单位涌水量)、水压、水质等参数,确保无探测盲区;放水阶段根据钻探获取的水文参数,制定差异化放水方案,对富水性强、水压高的区域,采用“分级放水、逐步降压”策略,通过在探水孔内安装控水阀门,控制放水流

量(通常初始流量 $\leq 100\text{m}^3/\text{h}$),避免水压骤降引发岩层失稳;对老空积水区,优先施工放水孔将积水疏排至安全水位(低于采掘底板5m以下),再开展采掘作业,确保消除水害隐患。

2.2 超前探放水设备

超前探放水设备主要包括探测设备与放水配套设备,各类设备需根据矿区水文地质条件与开采需求适配选型。探测设备分为物探设备与钻探设备:物探设备常用瞬变电磁仪(如YCS5000型),可探测深度达200m,分辨率 $\leq 1\text{m}$,适用于圈定深部富水区域;钻探设备以全液压坑道钻机为主,如ZDY4000LD型履带式钻机,最大钻孔深度达300m,钻孔直径89-133mm,具备自动推进与定位功能,适配井下复杂空间作业,某煤矿使用该型钻机施工探水孔,钻孔效率较传统钻机提升40%。放水配套设备包括控水装置与排水设备:控水装置采用防水闸门与孔口管(长度 $\geq 5\text{m}$,壁厚 $\geq 10\text{mm}$),孔口管与岩层间采用水泥注浆封堵,确保耐压强度 ≥ 2 倍最大水压,防止放水时漏水;排水设备根据涌水量选型,常用移动式离心泵(如ISG型),流量50-500 m^3/h ,扬程50-200m,可快速疏排探放出的积水,部分高风险矿区还配备应急排水系统,采用多台水泵并联,确保排水能力冗余,应对突发涌水^[2]。

3 超前探放水在煤矿防治水工作中的应用现状

当前,超前探放水技术在我国煤矿防治水工作中应用广泛,是老空水害、岩溶水害高发矿区保障采掘安全的核心手段,但成效与问题并存。成效显著:其一,水害事故发生率大幅下降,规范应用该技术的煤矿,水害事故发生率较未应用矿区降超60%,部分老空水害高发矿区全面推行后,连续5年无重大水害事故;其二,采掘效率提高,提前探明水文条件可避免因突发水害停工,如某煤矿精准疏排老空积水,月掘进进度从150m提至200m;其三,防治水成本优化,超前探放水能减少后期治理投入,如某煤矿提前疏排岩溶水,节约成本超2000万元。

然而,现存问题不容忽视:技术应用不规范,部分煤矿“重钻探、轻物探”,钻孔间距大形成盲区;设备适配性差,中小型煤矿钻机老旧,难以满足深部开采需求;数据利用率低,未建统一数据库;部分煤矿为赶进度简化流程,违背“先探后掘”原则。

4 提高超前探放水技术应用效果的策略

4.1 技术优化策略

技术优化需从探测精度提升、放水方案精准化、数据智能化三个方向入手,强化超前探放水技术的科学性

与适用性。探测精度提升方面,推广“物探+钻探+孔内成像”多技术融合模式,在传统物探与钻探基础上,增加孔内成像仪(如JDS-III型),实时观察钻孔岩壁裂隙发育与涌水情况,精准定位导水通道,某煤矿通过该模式,成功发现钻探未探明的2条岩溶裂隙,避免突水风险;同时优化钻孔布置方案,根据水害类型调整钻孔间距,老空水害区域钻孔间距控制在10-15m,岩溶水害区域加密至5-10m,确保无盲区。放水方案精准化方面,基于水文数据建立放水参数计算模型,根据含水层水压、富水性确定放水流量与降压速率,如水压 $\geq 2\text{MPa}$ 时,降压速率控制在0.1MPa/d以内,避免岩层应力突变;对复杂水文条件区域,采用数值模拟软件(如FLAC3D)模拟放水过程,预测水位变化与岩层变形,优化放水顺序,某矿区通过模拟优化,将放水工期从15天缩短至10天。数据智能化方面,构建超前探放水数据管理平台,整合物探、钻探、放水过程中的各类数据(如钻孔参数、涌水量、水压),通过大数据分析识别水文规律,为后续探放水方案制定提供参考,同时实现数据可视化展示,便于管理人员实时掌握探放水进度^[3]。

4.2 人员培训与管理策略

人员培训采用“理论+实操”双轨模式,理论培训内容涵盖煤矿水文地质基础、超前探放水技术规范(如《煤矿防治水细则》)、设备操作规程,邀请行业专家授课,每季度培训时长不少于24学时;实操培训在模拟巷道或现场开展,重点训练钻机操作、物探仪器使用、放水参数调整等技能,考核合格后方可上岗,某煤矿通过培训,操作人员钻机操作失误率从20%降至5%。人员管理方面,建立“岗位责任制+考核机制”,明确探放水作业各环节责任人(如物探负责人、钻探班长、放水监测员),签订安全责任书,将探放水质量与个人绩效挂钩;实行“作业前交底、作业中检查、作业后验收”流程管理,作业前技术人员向施工人员交底水文情况与安全注意事项,作业中管理人员每2小时巡查一次,检查钻孔参数与放水数据记录,作业后组织验收,核查探放水效果,确保每个环节可追溯、可管控。

4.3 设备维护与管理策略

设备性能对超前探放水技术应用效果影响重大,需构建全生命周期设备维护与管理,确保设备稳定运行。设备维护上,要制定差异化计划。物探设备(如瞬变电磁仪)每使用3次后校准,检查传感器灵敏度与数据传输稳定性,防止设备误差使探测结果出现偏差。钻探设备(如坑道钻机)每次作业后清洁机身,每周检查液压系统与钻杆磨损情况,钻杆磨损量超10%及时更换,定

期维护可使钻机故障率显著降低。放水设备（如防水闸门）每月进行密封性测试，用水压试验检查闸门是否漏水，保障紧急时有效控水；设备管理方面，建立设备台账，记录设备型号、采购时间、使用次数、维护记录等信息，实现“一机一档”。依据煤矿开采深度与水文条件，适时更新设备，深部开采矿区需淘汰浅孔钻机，配备深孔全液压钻机。同时建立设备应急备用机制，为主钻机、应急水泵等关键设备配备1-2台备用设备，避免因设备故障中断探放水作业，保障探放水作业正常推进，不延误采掘计划。

5 超前探放水技术与煤矿其他防治水措施的协同应用

5.1 与疏水降压措施的协同

超前探放水与疏水降压协同，形成“先探后疏、精准降压”模式，适用于岩溶水害、高压含水层水害治理。协同逻辑是先利用超前探放水技术探明含水层分布、水压、富水性等参数，确定疏水降压的目标区域和降压值（一般降至采掘底板以下安全水头）。接着依据探放水数据设计疏水钻孔布置方案，把疏水钻孔与探放水钻孔结合，部分探放水钻孔探测完成后改造为长期疏水孔，减少重复施工。比如某岩溶水矿区，探明奥灰含水层水压3.2MPa后，将8个探水孔改为疏水孔，搭配流量1000m³/h的专用疏水水泵，持续疏水60天，使水压降至1.0MPa，满足开采安全要求。协同过程中要注意动态监测，借助水位传感器实时监测含水层水位变化，根据水位数据调整疏水流量，防止过度疏水影响周边水资源与生态环境。

5.2 与防水设施建设的协同

超前探放水与防水设施建设协同，构建“主动探放+被动防护”双重防治体系，提升煤矿防治水全面性与可靠性。协同体现在两方面：一是设施选址协同，通过超前探放水探明采掘区域水文地质条件，为防水设施（如防水闸门、水闸墙）选址提供依据，避免建在富水裂隙带或断层附近，保证设施基础稳定。如一煤矿建设防水闸门时，先通过超前探放水排除选址区域富水隐患，闸门建成后未出现渗水问题^[4]。二是功能互补协同，超前探放水主动消除水害隐患，防水设施在突发涌水时拦截。

如在探放水区域后方建防水闸门，若探放水不彻底引发涌水，可及时关闭闸门保护后方。协同应用要重视设施与探放水参数匹配，根据最大涌水量确定防水设施承载能力。

5.3 与水害应急救援的协同

超前探放水与水害应急救援协同，实现“隐患排查-风险预警-应急处置”无缝衔接，提升煤矿应对水害事故快速反应能力。协同机制包括：预警数据协同，将超前探放水采集的水文数据（如涌水量、水压变化趋势）接入应急预警系统，数据异常（如涌水量骤增）时自动触发预警，通知管理人员核查。如一煤矿借此提前12小时发现探水孔涌水量异常，及时控水避免事故扩大。应急预案协同，根据探明的水害风险类型与规模制定针对性预案，明确应急排水设备选型、人员撤离路线、救援流程。如针对老空水害，预案明确启用流量2000m³/h的移动式应急水泵，撤离路线避开积水区^[4]。

结束语

超前探放水技术作为煤矿防治水工作的核心技术手段，其科学应用对降低水害风险、保障煤矿安全具有不可替代的作用。本文通过分析煤矿水害类型与危害，解析超前探放水技术原理与设备特性，梳理应用现状与优化策略，探讨其与其他防治水措施的协同模式，明确了该技术在煤矿防治水体系中的关键地位。通过持续创新与完善，超前探放水技术将在煤矿防治水工作中发挥更大作用，助力煤矿行业实现安全、高效、绿色发展。

参考文献

- [1]孟远亮.探放水在煤矿防治水工作中的实践应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(23):175-177.
- [2]郭小同,牛成虎,王生庆.超前探放水在加强煤矿防治水工作中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(03):72-74.
- [3]栗炜.煤矿超前探放水施工技术应用实践[J].山东煤炭科技,2021,39(5):3.
- [4]黄冲.超前探放水在加强煤矿防治水工作中的应用研究[J].能源与节能,2021(12):191-192.