

复杂水文地质条件下矿井水害综合防治技术研究

李华甫

中国平煤神马集团梁北二井 河南 平顶山 467000

摘要：本文针对复杂水文地质条件下的矿井水害问题，系统分析了地质构造、含水层与隔水层特征及水害形成机制，构建了以预防为主、防治结合为核心的综合防治技术体系。通过井上下综合物探、钻探验证等探查技术，结合隔水层加固、注浆堵水等预防与治理技术，以及排水系统优化、水害预警等应急技术，实现了防治技术的协同整合与动态优化，为矿井安全生产提供了科学依据和技术支撑。

关键词：复杂水文地质条件；矿井水害；综合防治技术；协同整合；动态优化

引言：随着矿井开采深度与范围扩大，复杂水文地质条件下的水害问题日益突出。断层、褶皱等地质构造破坏地层完整性，含水层与隔水层特征复杂多变，导致水害类型多样且防治难度大。传统单一技术手段难以满足需求，亟需构建多技术协同、全过程管控的综合防治体系，以保障矿井安全生产与可持续发展。

1 复杂水文地质条件特征分析

1.1 地质构造复杂性

地质构造在复杂水文地质条件中扮演关键角色，断层、褶皱、陷落柱等构造对水害影响显著。断层作为岩层的破裂面，破坏了地层的完整性与连续性。当断层切割含水层与矿井采掘空间时，会成为地下水的导水通道，使原本相对独立的含水层相互连通，增大地下水的补给来源和水量，增加矿井突水风险。褶皱构造改变岩层的空间形态，在褶皱核部和翼部，岩层受力不均，裂隙发育程度不同，导致地下水的赋存和运移条件复杂。在向斜构造中，往往是地下水的汇聚区域，水压和水量较大，一旦采掘活动触及，容易引发涌水事故。陷落柱是岩溶发育地区常见的地质构造，其内部岩石破碎，充填物松散，透水性强，犹如地下“漏斗”，可将上部含水层的水迅速导入矿井，是威胁矿井安全的重大隐患。岩层裂隙的发育规律直接关系到导水通道的形成。在构造应力作用下，岩层产生各种裂隙，这些裂隙相互交织，构成复杂的网络系统。张性裂隙开度较大，充填程度低，透水性好，是地下水良好的运移通道；压性裂隙虽开度较小，但在后期地质作用下可能发生破裂，形成新的导水通道。随着矿井开采活动的进行，采动影响会促使岩层裂隙进一步发育和扩展，原本不导水的裂隙可能连通形成导水通道，加剧水害威胁。

1.2 含水层与隔水层特征

含水层的富水性、水头压力及补给条件决定其对矿

井水害的影响程度。富水性强的含水层，储存大量地下水，一旦与矿井采掘空间沟通，将形成持续的涌水。水头压力是衡量含水层能量的重要指标，高水头压力的含水层，在突水时具有强大的冲击力，能够冲破隔水层，造成严重的水害事故。含水层的补给条件影响其水量的动态变化，若含水层与地表水、大气降水或其他含水层存在良好的补给关系，其水量会不断得到补充，使得矿井水害防治难度增大。隔水层的稳定性与抗水能力是保障矿井安全的关键屏障^[1]。稳定的隔水层能够有效阻止地下水向矿井采掘空间渗透。然而，隔水层的抗水能力并非固定不变，其厚度、岩性和结构特征对其抗水能力有重要影响。厚度较薄的隔水层，在高水压作用下，容易发生破裂，失去隔水功能；岩性较差的隔水层，如泥岩中夹杂砂岩透镜体，其抗渗性能会降低。采掘活动产生的采动应力会破坏隔水层的完整性，使其抗水能力下降，增加水害发生的可能性。

1.3 水害类型与形成机制

矿井水害类型多样，底板突水、顶板透水、老空水等各具特点。底板突水通常发生在煤层底板隔水层较薄且承受高水压的区域。在水压和矿压的共同作用下，底板隔水层逐渐被破坏，当应力超过隔水层的极限强度时，地下水突破底板涌入矿井。顶板透水多发生在煤层顶板为含水层或与含水层连通的区域，随着采掘工作面的推进，顶板岩层垮落，与含水层沟通，导致地下水涌出。老空水具有水量大、水压高、酸性强等特点，老空区积水长期积存，形成封闭的水体，一旦采掘活动接近或揭露老空区，积水瞬间涌出，造成突水事故。水害形成是地质与水文因素相互耦合的结果。地质构造改变地层的空间分布和结构，为地下水的赋存和运移创造条件；含水层提供水害的物质基础，其水量和水压是水害发生的动力来源；隔水层的完整性和抗水能力则决定水

害是否发生。在采掘活动影响下,这种地质-水文的平衡被打破,地下水沿着导水通道进入矿井,形成水害。例如,断层切断隔水层,使含水层与矿井连通,采掘活动破坏了隔水层的稳定性,在水压作用下,最终引发突水事故。

2 矿井水害综合防治技术体系

2.1 防治技术原则

预防为主、防治结合是矿井水害综合防治的核心准则。将预防措施贯穿于矿井建设和开采全过程,通过前期精准的水文地质勘察、科学的开采设计,提前规避水害风险。在开采过程中,持续监测水文地质变化,一旦发现潜在威胁,及时采取防治手段,避免水害扩大。预防与防治相辅相成,以预防减少水害发生概率,以治理降低水害危害程度,保障矿井安全生产。地面与井下协同、当前与长远兼顾的原则,强调防治技术的系统性和持续性。地面防治通过治理地表水系、加固塌陷区等措施,减少地表水向地下渗透;井下防治则针对采掘空间采取探查、封堵等手段,阻止地下水涌入。两者相互配合,形成立体防护。在制定防治方案时,既考虑当前开采面临的水害问题,采取有效措施保障当前开采安全,又着眼长远规划,为后续开采预留安全空间,确保矿井长期稳定运营。

2.2 关键防治技术

2.2.1 探查技术

井上下综合物探、钻探验证技术是精准掌握矿井水文地质条件的重要手段。地面物探利用地球物理场差异,对大面积区域进行探测,快速获取地下地质构造、含水层分布等信息,确定可疑区域。井下物探则在采掘工作面附近,采用电磁波、弹性波等技术,精细探测前方岩体结构和富水情况。物探结果存在多解性,需通过钻探验证。钻探获取岩芯样本,直观分析岩层结构、裂隙发育程度及含水层特征,明确地下水赋存状态,为防治提供准确依据。动态水文观测与突水通道识别方法通过构建监测网络,实时掌握地下水动态^[2]。在矿井关键位置布置水位、水压、水质监测点,收集数据并分析变化趋势。当水位异常上升、水压突变时,结合地质资料和开采情况,利用数值模拟等技术,推断突水通道位置和规模。通过对地下水流动规律的研究,识别潜在导水通道,提前采取防治措施,避免水害发生。

2.2.2 预防技术

隔水层加固与导水构造封堵技术旨在增强隔水能力,切断导水路径。针对隔水层较薄区域,采用注浆加固方式,将水泥、化学浆液等注入岩层裂隙,填充空

隙,提高隔水层密实度和强度。对于断层、裂隙等导水构造,通过注浆封堵,形成隔水帷幕,阻止地下水流动。在注浆过程中,根据地质条件选择合适的浆液材料和注浆参数,确保加固和封堵效果。防水煤柱留设与采动影响控制是保障矿井安全开采的重要措施。根据水文地质条件和开采技术要求,合理确定防水煤柱尺寸,留设足够宽度和高度的煤柱,阻挡地下水渗透。在开采过程中,优化开采工艺,控制采动影响范围。采用充填开采、条带开采等技术,减少顶板和底板岩层变形,降低隔水层破坏风险,避免因采动导致水害发生。

2.2.3 治理技术

注浆堵水与帷幕截流技术是治理矿井水害的有效手段。注浆堵水针对突水点和导水通道,注入浆液形成封堵体,截断水流。帷幕截流则在矿井周边或突水水源上游,通过钻孔注浆形成连续的隔水帷幕,截断地下水补给通道,降低矿井涌水量。在实施过程中,需对注浆压力、流量等参数进行精确控制,确保帷幕的完整性和密实性,达到治理目的。疏水降压与带压开采技术根据矿井实际情况灵活应用。疏水降压通过排水系统降低含水层水位和水压,减少水害威胁。在具备条件的区域,提前进行疏水降压,使隔水层承受的水压降低到安全范围内。带压开采则在无法完全疏水降压的情况下,通过加强监测和防护措施,在含水层水压存在的条件下进行开采。开采过程中,实时监测隔水层稳定性,确保安全开采。

2.2.4 应急技术

矿井排水系统优化与强排能力提升是应对突发水害的关键。对现有排水系统进行评估,根据矿井涌水量预测和水害风险,优化排水设备选型和布局。增加排水泵数量,提高排水能力,确保在突水时能够及时排出积水。应建设应急排水设施,配备备用电源和排水管路,保障排水系统在极端情况下正常运行。水害预警与应急抢险预案为矿井应对水害提供行动指南。建立水害预警指标体系,结合水文监测数据和开采情况,设置不同级别的预警阈值^[3]。当监测数据达到阈值时,及时发出预警信息。制定详细的应急抢险预案,明确各部门职责和抢险流程,定期组织演练,确保在水害发生时,能够迅速响应,有效开展抢险救援工作,减少人员伤亡和财产损失。

3 综合防治技术的协同应用与优化路径

3.1 防治技术的协同整合

综合防治技术协同整合,是复杂水文地质条件下矿井水害治理的核心要点。各项关键防治技术间存在紧密关联,需通过有机结合,形成完整的防治链条。探查技术为预防与治理技术提供基础支撑。井上下综合物探

与钻探验证,能够精确定地质构造、含水层分布及导水通道位置。这些信息可直接应用于预防技术,明确需要加固的隔水层区域与需要封堵的导水构造。比如通过物探发现富含水的断层区域,经钻探验证后,立即采用注浆加固隔水层与封堵断层等预防手段,从源头降低水害发生可能性。探查技术获取的数据也是治理技术实施的重要依据,为注浆堵水、帷幕截流等操作提供精确目标。预防技术与治理技术相互配合,实现对水害的全程管控。防水煤柱留设、采动影响控制等预防措施,可减少开采活动对隔水层的破坏,降低突水概率,减轻治理技术压力。一旦水害发生,注浆堵水、帷幕截流等治理技术迅速发挥作用,截断水流、降低矿井涌水量。两者协同,既能防患于未然,又能在灾害发生时有效应对。应急技术与其他防治技术形成闭环体系。日常排水系统优化、水害预警体系建设,均依赖于探查、预防和治理技术提供的数据成果。矿井排水系统依据水文地质条件和开采情况布局,水害预警指标体系根据动态水文观测结果设定。当水害突发时,应急技术即刻启动,排水系统强排积水,应急抢险预案有序指导救援工作,同时应急过程中收集的信息反馈至其他防治技术环节,为后续方案优化提供重要参考。

3.2 管理体系的强化完善

完善的管理体系是综合防治技术有效实施的保障。需建立多部门协同的防治管理机制,打破信息壁垒,实现地质、采掘、机电等部门高效协作。明确各部门在水害防治中的职责,制定严格考核标准,确保防治措施落实到位。加强防治工程全周期管理,从设计、施工到验收严格把控。设计阶段,结合水文地质条件与开采计划,制定科学合理的防治方案;施工过程中,规范操作流程,确保注浆加固、帷幕截流等工程质量;验收环节,采用多种检测手段,对工程效果进行评估,不合格工程及时返工整改^[4]。建立防治技术应用效果评估机制。定期对各项防治技术实施效果进行分析,对比实际防治效果与预期目标,总结经验教训。根据评估结果,对防治技术进行调整改进,优化技术参数与实施流程,提升

综合防治水平。

3.3 防治技术的动态优化升级

矿井开采过程中,水文地质条件不断变化,需对综合防治技术进行动态优化。引入先进的数值模拟技术,结合开采进度与地质条件变化,对不同防治方案进行预演分析。通过模拟结果对比,选择最优防治方案,确保技术措施适应矿井实际需求。推动防治技术创新升级。在材料研发方面,探索新型注浆材料,提升其在复杂地质条件下的封堵性能与耐久性;在设备应用上,推广智能化物探设备,提高水文地质探查精度与效率;在工艺改进中,优化注浆工艺、排水技术等,增强防治技术实际效果。构建智能化监测预警网络。融合物联网、大数据与人工智能技术,实现对矿井水文地质参数实时精准监测。利用算法深度分析监测数据,及时发现异常变化,提高水害预警准确性与及时性。通过可视化平台展示矿井水文地质状态与水害风险分布,为决策提供直观依据,推动矿井水害防治向智能化、精准化方向发展。

结束语

复杂水文地质条件下的矿井水害防治是一项系统工程,需要综合运用多种防治技术,实现探查、预防、治理与应急的有机结合。通过协同整合各项防治技术,强化完善管理体系,动态优化升级防治技术,可以有效提高矿井水害防治能力,保障矿井安全生产。未来,随着科技的不断进步,矿井水害防治技术将向智能化、精准化方向发展,为煤矿行业的可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1]张伟,李强.水文地质条件下煤矿开采水害防治技术研究[J].煤炭科学技术,2023,51(7):182-188.
- [2]王志勇,陈华.基于水文地质特征的煤矿开采水害预防与控制策略[J].矿业安全与环保,2022,49(6):102-107.
- [3]刘红霞,陈晓红.煤矿开采水害防治策略在水文地质条件复杂区域的应用研究[J].中国安全生产科学技术,2021,17(5):156-161.
- [4]徐少勤,唐凡迎.煤矿水文地质条件分析及矿井水害防治技术[J].内蒙古煤炭经济,2023,(19):187-189.