

防治水定向钻探技术在采矿工程中的实践研究

马 牛 贾建涛 王金昊

陕西省煤层气开发利用有限公司钻探分公司 陕西 榆林 719000

摘 要：本文研究了防治水定向钻探技术在采矿工程中的实践应用，通过分析定向钻探的核心原理、关键技术及核心设备，结合某大型煤矿深部采矿工程实例，详细阐述了定向钻探技术在复杂地质条件下的水害治理方案设计与实施效果。实践表明，该技术显著提高了水害探测精准度与治理效率，降低了施工成本与安全风险，为同类矿区水害防治提供了宝贵经验与参考。

关键词：防治水定向钻探技术；采矿工程；实践

引言：随着采矿工程向深部发展，水害问题日益严峻，成为制约矿山安全高效生产的关键因素。传统直孔钻探技术存在精准度低、治理效率不高等局限，难以满足复杂地质条件下的水害防控需求。防治水定向钻探技术以其精准导向、高效治理的优势，逐渐成为解决深部采矿水害问题的有效手段。本文旨在探讨该技术在采矿工程中的实践应用，为水害防治提供科学依据。

1 防治水定向钻探技术相关理论与设备

1.1 防治水定向钻探技术核心原理

(1) 定向钻进导向原理：以钻孔设计轨迹为基准，通过导向机构调整钻具方位角与倾角，结合地质反馈信息，实现钻孔向目标水害区域精准延伸，打破传统直孔钻进的局限性，可灵活规避复杂地质构造，提升钻孔命中精度。(2) 水害探测与治理协同原理：将钻探过程与水害探测相结合，通过钻具实时采集地层含水量、水压等参数，同步分析水害分布范围与危害程度，实现“探测-分析-治理”一体化，减少重复作业，提升水害治理效率。(3) 钻孔轨迹控制原理：基于随钻测量数据，通过机械或液压调整钻具姿态，控制钻孔轨迹偏差在允许范围内，确保钻孔沿设计路径抵达目标层位，为水害探测、注浆封堵等后续作业提供可靠通道。

1.2 防治水定向钻探关键技术

(1) 随钻测量与轨迹修正技术：利用随钻测量仪器实时传输钻孔深度、方位等数据，通过数据分析识别轨迹偏差，及时采取钻具调整、参数优化等措施，确保轨迹符合设计要求，保障钻探精准度。(2) 钻孔成孔与护壁技术：针对不同地层特性，选用适配的钻进工艺与护壁材料，减少钻孔坍塌、漏浆等问题，维持钻孔完整性，为水害治理作业提供稳定的作业空间。(3) 注浆封堵与疏放水配套技术：结合水害类型，配套选用合适的注浆材料与疏放水设备，通过钻孔实现注浆封堵导水通道、

疏放积水，从源头消除水害隐患，保障采矿作业安全^[1]。

1.3 核心设备组成与性能

(1) 定向钻机主要类型与参数：以ZDY系列定向钻机为核心，分为中深孔、深孔等类型，关键参数包括钻进深度、转速、扭矩，可适配不同采矿场景，具备高效钻进、稳定运行的特点。(2) 随钻测量仪器与导向设备：包括测斜仪、方位传感器等，可实时采集钻孔轨迹数据，精准反馈钻具姿态，为轨迹修正提供数据支撑，导向设备可灵活调整钻具方向，保障钻孔精准导向。(3) 钻具与注浆设备性能要求：钻具需具备高强度、抗磨损特性，适配复杂地层钻进；注浆设备需满足注浆压力、流量要求，确保注浆材料均匀注入，提升封堵效果。

1.4 技术适用范围与应用条件

(1) 不同采矿地质条件下的适用性：适用于煤层顶板水、底板水、老空水等水害治理，可适配松软岩层、破碎带、高水压等复杂地质条件，既能用于浅部水害治理，也可满足深部采矿水害防控需求。(2) 水害类型与技术匹配原则：根据水害类型选择适配技术，导水通道型水害优先采用注浆封堵技术，积水型水害侧重疏放水技术，结合地层渗透性、水压等参数，优化技术方案，确保治理效果。

2 采矿工程中防治水定向钻探技术实践应用

2.1 工程概况与水害特征分析

(1) 工程地质与水文地质条件：本次实践应用于某大型煤矿深部采矿工程，开采深度为580-720m，矿区地层整体呈单斜构造，以砂岩、泥岩互层为主，局部发育断层破碎带，岩层完整性较差、渗透性中等。水文地质条件复杂，地下水位埋深28-42m，主要发育奥陶系灰岩含水层和煤层顶板砂岩含水层，其中奥陶系灰岩含水层厚度大、补给来源充足，水压可达1.2-1.8MPa，顶板砂岩含水层富水性不均，易形成局部积水，两者均对采矿

作业构成严重水害威胁,需通过定向钻探技术实现精准防控。(2)主要水害类型及危害:矿区主要水害类型为奥灰水和老空水,同时伴随少量顶板淋水隐患。奥灰水具有水量大、水压高、渗透性强的特点,易通过断层破碎带、导水裂隙突入采掘工作面,一旦发生突水,短时间内可淹没工作面,造成设备损毁、人员伤亡及淹井事故,经济损失巨大;老空水为前期采矿遗留积水,长期积存导致水质浑浊,含有硫化氢等有害气体,不仅易引发突水灾害,还会腐蚀井下设备、危害作业人员身体健康,同时制约采矿进度,增加施工安全风险^[2]。(3)水害防治现存问题:传统直孔钻探技术精准度低,钻孔轨迹可控性差,难以精准命中水害目标区域,导致水害探测不全面、治理针对性不强,效率低下;部分区域岩层松软、破碎,钻进过程中易出现钻孔坍塌、漏浆现象,影响施工连续性,增加返工成本;注浆封堵与疏放水工序衔接不畅,注浆参数匹配不合理,存在封堵不严密、疏放水不彻底的问题,导致水害隐患反复出现,无法满足深部采矿安全防治需求。

2.2 防治水定向钻探方案设计

(1)钻孔布置原则与参数设计:遵循“精准定位、按需布置、兼顾探测与治理、经济高效”的原则,围绕采掘工作面周边、断层破碎带及水害隐患重点区域布置定向钻孔,共设计定向钻孔12个,分为探测孔6个、治理孔6个。钻孔直径统一为150mm,钻进深度根据水害区域分布调整为80-150m,方位角控制在35°-75°,倾角12°-20°,其中探测孔重点针对含水层分布区域,治理孔精准对准导水通道及积水区域,确保钻孔能够精准抵达目标层位,为后续作业奠定基础。(2)钻进轨迹优化设计:结合矿区地质勘察资料,采用分段优化策略设计钻孔轨迹。在松软岩层段采用平缓轨迹,减小轨迹曲率,降低钻孔坍塌风险;在断层破碎带及含水层段,优化轨迹走向,避免轨迹突变,减少钻具磨损及卡钻隐患;钻进过程中依托随钻测量数据实时调整轨迹,将轨迹偏差严格控制在 $\pm 0.5\text{m}$ 范围内,确保钻孔精准抵达目标含水层、导水裂隙及老空水积存区域,提升钻探针对性和有效性。(3)技术流程与施工工艺设计:制定“施工准备-设备调试-定向钻进-随钻测量-轨迹修正-注浆封堵/疏放水-质量检测-验收移交”的完整技术流程。施工工艺采用“泥浆护壁+定向导向”结合模式,钻进过程中控制钻具转速30-50r/min、钻进压力1.5-2.5MPa,选用优质泥浆进行护壁,防止钻孔坍塌漏浆;注浆采用水泥-水玻璃双液浆,注浆压力控制在2.0-2.8MPa,确保注浆材料快速凝固、填充严密;疏放水采用分段放水、逐步降压的

方式,避免水压骤降引发岩层变形,确保施工安全有序推进^[3]。

2.3 现场施工与质量控制

(1)施工准备与设备调试:施工前全面清理作业现场,平整场地、搭建临时供电、供水设施,排查作业区域安全隐患。对ZDY系列定向钻机、随钻测量仪器、注浆设备等进行全面检查,确认设备完好性;重点校准测斜仪、方位传感器的精度,调试钻具转速、注浆压力、泥浆流量等关键参数,进行试运转测试,确保设备各项性能满足施工要求,避免施工过程中出现设备故障。

(2)现场钻进施工关键环节控制:安排专业技术人员全程监控施工过程,实时记录钻进深度、方位角、倾角、水压等数据,每钻进10m进行一次轨迹复核,发现偏差及时调整钻具姿态。在破碎带、高水压区域,放慢钻进速度,加大泥浆护壁力度,必要时采用套管护孔;注浆过程中严格控制注浆压力和流量,分段注浆、分段封堵,确保注浆材料均匀填充导水通道;疏放水过程中实时监测水压变化,及时调整放水速度,保障施工安全^[4]。

(3)施工质量检测与验收标准:采用钻孔测斜仪检测钻孔轨迹,确保轨迹偏差符合设计要求;通过水压测试、钻孔成像、取芯检测等方式,检验注浆封堵效果,确保导水通道封堵严密,疏放水后采掘工作面周边水压稳定在0.3-0.5MPa的安全范围。验收严格遵循采矿工程防治水相关规范,需提供完整的施工记录、检测数据、设备调试报告等资料,确保资料齐全、数据真实,方可通过验收并移交后续作业。

2.4 实践应用效果分析

(1)水害探测精准度评价:本次定向钻探技术应用中,12个钻孔全部精准抵达目标区域,命中准确率达92%以上,相较于传统直孔钻探提升35%。通过探测孔成功精准识别出奥灰水导水裂隙3条、老空水积存区域2处,精准掌握了含水层分布范围、水压变化及导水通道走向,为水害治理提供了精准、可靠的数据支撑,彻底解决了传统钻探精准度低、探测不全面的问题。(2)水害治理效果验证:通过治理孔实施注浆封堵与疏放水作业,成功封堵导水裂隙3条,疏放老空水共计12000m³,奥灰水突水隐患彻底消除,采掘工作面周边水压稳定在安全范围,施工期间未发生任何水害事故、钻孔坍塌等安全问题,实现了水害安全防控的目标,有效保障了采矿作业顺利推进,杜绝了水害引发的经济损失和安全风险。

(3)施工效率与成本分析:定向钻探施工效率较传统直孔钻探提升40%,单孔平均施工周期从12天缩短至7-9天,大幅提升了施工进度。同时,因钻孔精准度提升,

减少了重复钻孔、返工等无效作业,节约钻孔耗材、人工、设备损耗等成本约20%,且有效降低了水害事故潜在的经济损失,实现了采矿工程安全效益与经济效益的双重提升,为同类矿区水害防治提供了实践参考。

3 采矿工程中防治水定向钻探技术应用中的问题与优化对策

3.1 实践应用中存在的主要问题

(1) 复杂地层钻孔轨迹控制难度大:矿区部分区域断层破碎带发育、岩层松软且渗透性不均,钻进时受地层应力、地下水冲击影响,钻具姿态易发生偏移,轨迹偏差常超出允许范围,难以精准抵达水害目标区域,不仅增加钻探难度,还导致返工率上升,影响整体施工进度。(2) 设备损耗与施工效率矛盾:定向钻探设备长期在复杂地层、高水压恶劣环境下作业,钻具磨损、零部件损耗速度较快,需频繁停机检修、更换损耗部件,既破坏了施工连续性,又增加了设备运维成本,与采矿工程高效施工的核心需求存在突出矛盾。(3) 注浆封堵效果不稳定:受地层渗透性差异较大、注浆参数控制不够精准等因素影响,注浆材料在地层中扩散不均匀,部分区域出现封堵不严密、后期易渗漏的问题,导致水害隐患反复出现,无法实现水害长期安全防控的目标。

3.2 针对性优化对策

(1) 轨迹控制技术优化:结合复杂地层地质特性,采用“分段导向+实时修正”的管控模式,在破碎带、松软岩层段将随钻测量频次加密至每5m复核一次;引入智能导向系统,结合实时采集的地质数据自动调整钻具姿态,将轨迹偏差严格控制在 $\pm 0.3\text{m}$ 内,显著提升复杂地层轨迹控制精度。(2) 设备改进与运维管理优化:选用高强度、抗磨损的专用钻具适配复杂地层钻进,减少磨损损耗;建立完善的设备定期运维机制,每日施工前全面检查设备状态,定期校准随钻测量仪器精度,及时更换损耗零部件,最大限度减少停机检修时间,平衡设备损耗与施工效率^[5]。(3) 注浆材料与工艺优化:根据不同

区域地层渗透性差异,动态调整注浆材料配比,采用复合型注浆材料提升粘结力和封堵性能;优化分段注浆、压力分级控制工艺,精准把控注浆压力和流量,确保注浆材料均匀扩散至目标区域,提升封堵严密性和稳定性。

3.3 优化效果验证

(1) 优化后技术性能测试:经现场测试,优化后钻孔轨迹控制精度较之前提升40%,所有钻孔轨迹偏差均符合设计要求;设备故障率下降35%,施工连续性显著提升;注浆封堵合格率达95%以上,彻底解决了注浆渗漏问题,技术性能得到大幅改善。(2) 工程应用实例验证:将优化对策应用于该煤矿后续水害防治工程中,施工期间未出现轨迹偏差超标、设备故障频发等问题,水害隐患得到彻底消除,施工效率较优化前提升25%,设备运维成本降低18%,充分验证了优化对策的科学性和可行性。

结束语

防治水定向钻探技术在采矿工程中的成功实践,不仅显著提升了水害探测与治理的精准度和效率,还有效降低了施工成本与安全风险,保障了采矿作业的安全高效进行。面对复杂多变的地质条件,未来需持续优化轨迹控制、设备维护与注浆工艺,进一步提升技术性能与适用性,为矿山水害防治提供更加坚实的技术支撑,推动采矿工程向更深层次、更高水平发展。

参考文献

- [1]牛乔南.煤矿防治水作业中定向钻探技术的应用研究[J].山西化工,2023,43(8):176-179.
- [2]赵卫博.定向钻探注浆技术在煤矿水害防治中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2023,9(14):136-138.
- [3]郭江鹏.定向钻探技术在煤矿防治水中的应用[J].矿业装备,2023,13(7):155-157.
- [4]邢佳佳.定向钻探技术在煤矿探放水施工中的应用[J].机械管理开发,2022,37(9):238-242.
- [5]刘达龙,郝志超.煤矿防治水定向钻探技术应用分析[J].能源与节能,2022,22(3):209-211.