

# 矿井地质勘探中煤矿井下定向钻进技术的应用

杨志斌<sup>1</sup> 王传勇<sup>2</sup> 邓银海<sup>3</sup>

1. 禹州枣园煤业有限公司 河南 禹州 461670

2. 河南永锦能源有限公司 河南 禹州 461670

3. 永贵能源开发有限责任公司新田煤矿 贵州 毕节 551700

**摘要:** 煤矿井下定向钻进技术是矿井地质勘探的核心技术, 凭借轨迹可控、精度高、适应性强的优势, 可精准控制钻孔轨迹, 获取地质构造、煤层赋存、水文条件等关键信息。本文阐述该技术的理论基础与系统构成, 分析其在多场景的具体应用, 指出应用中存在的技术、设备、施工层面问题, 提出针对性优化措施并验证效果, 为矿井地质勘探高效开展、保障开采安全提供技术参考与实践支撑。

**关键词:** 矿井地质勘探; 煤矿井下; 定向钻进技术; 应用

引言: 矿井地质勘探是保障煤矿安全高效开采的前提, 直接关系到开采方案制定、灾害防控及资源利用效率。传统钻进技术存在轨迹不可控、勘探精度低、覆盖范围有限等弊端, 难以适配井下复杂地质工况。随着煤矿开采向深部延伸, 地质条件愈发复杂, 对勘探技术的精准度和适应性提出更高要求。基于此, 煤矿井下定向钻进技术应运而生, 其在解决传统勘探痛点、提升勘探质量方面作用显著, 探究其应用具有重要现实意义。

## 1 煤矿井下定向钻进技术相关理论基础

### 1.1 定向钻进技术核心概念

(1) 定义: 煤矿井下定向钻进技术, 是指在井下复杂环境中, 通过专用设备与技术手段, 精准控制钻孔的轨迹方向、深度和倾角, 实现向特定目标层位钻进, 进而获取矿井地质构造、水文条件等核心信息, 同时为瓦斯抽采、水害防治等井下作业提供技术支撑的专项钻进技术。(2) 核心特征: 核心在于轨迹可控, 可根据施工需求灵活调整钻孔走向, 突破传统钻进的方向局限; 探测范围广, 能延伸至井下深部及复杂区域, 覆盖常规钻进难以触及的范围; 精度高, 可将钻孔轨迹偏差控制在允许范围内, 保障数据获取的准确性; 适应性强, 能适应井下狭小空间、高低温、高湿度等复杂工况, 满足不同地质条件下的施工需求。

### 1.2 定向钻进技术系统构成

(1) 钻机设备: 主要采用履带式、车载式定向钻机, 其核心要求为扭矩充足, 能应对井下坚硬岩层钻进需求; 稳定性强, 可在井下不平地面保持作业平稳, 避免因震动影响钻孔精度; 同时需适配井下防爆、防潮要求, 确保作业安全。(2) 钻具组合: 是保障钻进效果的关键, 主要包括钻杆、螺杆钻具、钻头、稳定器等部件。钻杆

需具备高强度、抗疲劳性能, 螺杆钻具提供钻进动力并辅助轨迹调整, 钻头根据地层硬度选型, 稳定器则用于抑制钻孔偏斜, 共同影响钻孔轨迹精度与钻进效率。(3) 测量与控制系统: 由随钻测量仪器和地面监控系统组成, 随钻测量仪器实时采集钻孔方位、倾角等数据, 通过传输模块反馈至地面监控系统, 工作人员可实时监测钻孔轨迹, 及时发出调整指令, 实现轨迹的动态控制<sup>[1]</sup>。(4) 冲洗液循环系统: 由泥浆泵、泥浆池、管路等组成, 核心功能是携带钻进过程中产生的岩屑, 避免岩屑堵塞钻孔; 同时冷却钻头, 降低钻进过程中的温度, 防止钻头磨损; 此外还能在孔壁形成泥膜, 稳定孔壁, 预防塌孔事故。

### 1.3 定向钻进关键技术原理

(1) 高精度导向技术: 以随钻测量数据为基础, 结合智能算法对钻孔轨迹进行精准预测, 实时分析轨迹偏差, 通过调整钻具角度、钻进速度等参数, 实现钻孔轨迹的动态修正, 确保钻孔精准抵达目标层位。(2) 复杂地层钻进技术: 针对井下破碎地层、软硬互层等复杂地质条件, 采用套管护壁技术防止孔壁坍塌, 结合复合钻进工艺, 根据地层硬度实时调整钻进参数, 平衡钻进效率与钻孔稳定性, 保障钻进作业顺利推进。(3) 数据传输与处理技术: 通过有线或无线传输方式, 将随钻测量的轨迹、压力、转速等数据实时传输至地面系统, 结合大数据分析技术对数据进行整理、分析, 优化钻进参数, 为后续施工提供数据支撑, 提升钻进效率与安全性。

## 2 定向钻进技术在矿井地质勘探中的具体应用

### 2.1 地质构造勘查中的应用

(1) 断层探测: 断层是矿井开采中引发塌方、水害等事故的重要隐患, 定向钻进技术凭借轨迹可控、精度

高的优势,成为断层探测的核心手段。施工中,通过精准设计钻孔轨迹,采用多角度、多方位钻孔布局,穿透断层带不同部位,获取断层的具体位置、产状(走向、倾向、倾角)及落差等关键参数,同时采集断层带岩芯样本,分析断层充填物性质、胶结程度,判断断层的活动性和导水性,为矿井巷道布置、防治水方案制定提供精准的地质依据,有效规避断层带来的开采风险。(2)陷落柱探测:陷落柱是矿井地质中的特殊构造,易引发水害、巷道变形等问题,其探测难度较大。定向钻进技术通过实时监测钻进参数(如钻压、转速、扭矩)的变化,结合随钻测量数据,可精准识别陷落柱与正常岩层的界面,进而圈定陷落柱的边界范围、形态及埋深。同时,通过对钻孔返水、岩屑的分析,判断陷落柱的含水性、充填物类型,明确其对矿井开采的影响程度,为陷落柱治理、开采区域调整提供科学支撑<sup>[2]</sup>。(3)褶皱构造勘查:褶皱构造会影响煤层的分布连续性和厚度稳定性,直接关系到开采方案的合理性。利用定向钻进技术,根据褶皱构造的预判方向,设计合理的钻孔轨迹,通过钻进获取褶皱不同部位的地质数据,精准确定褶皱的形态、幅度、轴面位置等核心参数,明确褶皱对煤层赋存的影响,判断煤层在褶皱不同部位的厚度变化规律,为矿井开采范围划定、巷道走向设计提供可靠依据,保障开采作业的顺利推进。

## 2.2 煤层地质勘查中的应用

(1)煤层赋存状态勘查:煤层赋存状态直接决定矿井开采方式和产能规划,定向钻进技术可有效解决传统勘查方式精度低、覆盖范围有限的问题。通过设计主孔加分支孔的钻孔布局,实现对煤层的全方位探测,精准获取煤层的走向、厚度、倾角等参数,同时借助分支孔的灵活布置,构建煤层三维分布模型,清晰呈现煤层的连续性、厚度变化及局部变薄、缺失等情况,为矿井开采分层、工作面布置提供精准数据支撑<sup>[3]</sup>。(2)煤质参数探测:煤质参数是煤炭加工利用、产能核算的核心依据,定向钻进技术可实现煤质的精准探测与取样。施工中,通过定向钻孔精准抵达目标煤层,采用专用取样工具采集不同深度、不同区域的煤层样本,避免取样偏差;对样本进行实验室分析,精准测定煤层的灰分、发热量、含硫量、挥发分等核心煤质参数,明确煤质分布规律,为煤炭分选、销售及开采优先级划分提供科学依据。(3)煤层顶底板勘查:煤层顶底板的稳定性直接关系到矿井开采安全,定向钻进技术可精准探测顶底板的地质条件。通过定向钻孔穿透煤层顶底板,采集岩芯样本,分析顶底板岩石的岩性、厚度、裂隙发育程度及抗压强度等参数,判

断顶底板的稳定性,评估巷道支护的可行性和支护方案的合理性,预防顶底板垮落、片帮等事故,保障井下开采作业安全。

## 2.3 矿井水文地质勘探中的应用

(1)探放水作业:水害是矿井开采的重大安全隐患,定向钻进技术凭借精准定位优势,成为探放水作业的关键技术。施工中,根据水文地质预判,精准设计钻孔轨迹,钻至采空区、含水层等富水区域,构建安全的排水通道,将地下水提前排出,降低井下水位,消除水害隐患;同时,通过钻孔监测地下水的涌出量、水压变化,实时掌握水文动态,为探放水作业调整提供依据,保障作业安全。(2)水文参数测定:水文参数是矿井防治水、水资源利用的核心数据,定向钻进技术可实现水文参数的精准测定。通过定向钻孔抵达目标含水层,利用专用测量仪器,实时获取地下水的水位、水压、渗透系数、导水系数等关键参数,结合钻孔返水数据,分析含水层的富水性和分布规律,为矿井防治水方案制定、地下水合理利用提供精准的数据支撑,实现水资源与矿产资源的协同开发。(3)底板注浆加固:针对煤层底板含水层发育、裂隙较多的情况,定向钻进技术可高效完成底板注浆加固作业。通过定向钻孔精准抵达底板裂隙发育区域,采用高压注浆工艺,将注浆材料注入底板裂隙,填补裂隙空隙,形成完整的防水隔离层,提升底板的防水能力和抗压强度,有效预防底板突水事故,保障矿井开采安全<sup>[4]</sup>。

## 2.4 其他地质勘探场景中的应用

(1)瓦斯抽采勘探:瓦斯是矿井开采中的易燃易爆隐患,定向钻进技术可大幅提升瓦斯抽采效率。施工中,根据煤层瓦斯分布规律,布设集束型、梳状定向钻孔,实现对瓦斯富集区域的全方位覆盖,构建高效的瓦斯抽采网络;通过精准控制钻孔深度和间距,让钻孔直达瓦斯富集层,加速瓦斯解析与抽采,降低井下瓦斯浓度,消除瓦斯安全隐患,同时实现瓦斯资源的回收利用。(2)采空区勘查:采空区易引发地面塌陷、巷道变形等问题,精准勘查其分布情况至关重要。定向钻进技术可精准钻至采空区,通过实时监测钻进参数、分析岩屑和返水数据,精准获取采空区的位置、范围、埋深及内部充填物性质、压实程度等地质条件,明确采空区的稳定性,为采空区治理、地面沉降防控及矿井后续开采规划提供可靠支撑,规避采空区带来的安全风险。

## 3 矿井地质勘探中煤矿井下定向钻进技术应用中的问题及优化措施

### 3.1 应用过程中存在的主要问题

(1) 技术层面: 煤矿井下地质条件复杂, 破碎地层、软硬互层等区域易导致钻孔轨迹出现偏差, 难以精准抵达目标层位, 影响勘探数据的准确性; 钻进效率受岩性影响显著, 在坚硬岩层中钻进速度缓慢, 在松软地层中易出现塌孔、埋钻等问题, 制约施工进度; 井下环境存在强电磁干扰, 导致随钻数据传输稳定性不足, 部分关键数据丢失或延迟, 影响轨迹调整的及时性。(2) 设备层面: 部分矿井仍使用传统定向钻机, 自动化程度低, 需人工频繁调整钻进参数, 不仅增加劳动强度, 还易因人为操作失误影响施工质量; 钻具长期在复杂地层中作业, 受摩擦、冲击影响, 磨损速度快, 更换频繁, 增加施工成本; 针对深部复杂地层的专用设备性能不足, 扭矩、抗压能力无法满足施工需求, 易出现设备故障, 影响勘探作业连续性。(3) 施工层面: 操作人员技术水平参差不齐, 部分人员缺乏专业的定向钻进操作技能, 对设备操作、轨迹控制、数据解读能力不足, 易引发施工失误; 施工流程缺乏统一规范, 钻孔设计、钻具选型、钻进参数调整等环节存在随意性, 影响施工标准化水平; 安全管控存在漏洞, 对井下钻进过程中的风险预判不足, 安全防护措施不到位, 易引发安全事故。

### 3.2 针对性优化措施

(1) 技术优化: 完善高精度导向技术, 结合智能算法与随钻测量数据, 实现钻孔轨迹的实时预测与动态修正, 降低复杂地层轨迹偏差; 优化复杂地层钻进工艺, 针对不同岩性调整钻进速度、钻压等参数, 采用套管护壁、复合钻进等技术, 提升钻进效率与钻孔稳定性; 采用抗干扰传输技术, 优化数据传输线路, 提升数据传输的稳定性与及时性, 避免关键数据丢失。(2) 设备优化: 加大技术研发投入, 研发适配深部复杂地层的智能化定向钻机, 实现钻进参数自动调整、故障自动报警等功能, 提升自动化水平; 改进钻具材质, 采用高强度、抗磨损合金材料, 延长钻具使用寿命, 降低更换频率与施工成本; 对现有设备进行升级改造, 提升设备扭矩、抗压能力, 增强设备对复杂地层的适配性, 减少设备故障<sup>[5]</sup>。(3) 施工优化: 建立完善的操作人员专业培训体系, 定期开展定向钻进技术、设备操作、安全防护等内容的培训, 考核合

格后方可上岗, 提升操作人员专业素养; 制定统一的施工规范, 明确钻孔设计、钻具选型、钻进作业、数据处理等各环节的操作标准, 实现施工标准化; 建立全流程安全管控体系, 加强施工前风险预判、施工中实时监测、施工后复盘总结, 落实安全防护措施, 杜绝安全隐患。

### 3.3 优化效果验证

(1) 理论验证: 采用数值模拟技术, 构建井下复杂地质环境与定向钻进施工模型, 模拟优化方案的应用过程, 分析优化后导向精度、钻进效率、数据传输稳定性等指标的提升情况, 验证优化方案的科学性与可行性, 为实际施工应用提供理论支撑。(2) 案例验证: 选取不同地质条件的矿井作为试点, 将优化措施应用于定向钻进勘探作业, 对比优化前后的施工参数、勘探质量与施工效率, 分析优化措施对解决现存问题的实际效果, 总结应用经验, 为优化方案的全面推广提供实践依据, 确保优化措施能够切实提升定向钻进技术的应用水平。

### 结束语

煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中发挥着不可替代的作用, 有效突破传统勘探技术局限, 在地质构造勘查、煤层探测、水害防治等多场景实现精准应用, 为煤矿安全开采提供可靠地质数据支撑。虽目前应用仍存在技术、设备、施工等不足, 但通过针对性优化可显著提升效能, 未来需推进技术创新与设备升级, 推动其向智能化发展, 助力煤矿绿色安全高效开采。

### 参考文献

- [1]牛小龙,季伟.煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中的应用[J].科技创新与应用,2021,11(17):148-150.
- [2]周科.煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021,20(7):185-187.
- [3]马明辉.煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中的应用探讨[J].内蒙古煤炭经济,2023,7(18):160-163.
- [4]武杰.煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2022,9(2):46-49.
- [5]付勇涛.矿井地质勘探中煤矿井下定向钻进技术的应用[J].黑龙江科技信息,2023,24(17):123-127.