

# 煤矿复杂地质条件下过断层技术

刘 泽

准格尔旗永智煤炭有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017100

**摘 要：**煤矿开采常面临复杂地质条件与断层难题，地层褶皱、岩石破碎等加剧开采难度，断层更是易引发顶板垮塌、瓦斯水害等安全事故，严重影响生产效率。本文聚焦煤矿复杂地质条件下过断层技术，先分析常见复杂地质条件及正断层、逆断层、平移断层的特征；再系统研究过断层全阶段核心技术，涵盖断层探测与预测（多方法协同物探、定向钻探等）、开拓设计优化（巷道布置、采区划分等）、掘进控制（超前加固、复合支护等）、回采开采（开采方式选择、设备调试等）；最后提出技术优化与创新方向，包括现有技术参数工艺优化、新兴技术融合及全流程协同创新。研究为煤矿复杂地质过断层提供技术支撑，助力提升开采安全性与效率。

**关键词：**煤矿；复杂地质条件下；过断层技术；创新

引言：当前煤矿开采虽有断层技术应用，但在复杂地质适配性、技术协同性上仍存不足。内蒙古鄂尔多斯等矿区此类问题尤为突出，亟需完善技术体系。本文结合实践，深入研究复杂地质与断层特征，构建过断层全阶段核心技术体系并探索优化创新路径，对保障煤矿安全生产、推动行业技术进步具有重要意义。

## 1 煤矿复杂地质条件与断层类型

### 1.1 复杂地质条件概述

煤矿开采中常见的复杂地质条件，主要包括地层褶皱、岩石破碎、岩层节理发育、地质构造紊乱及不良岩层分布等。地层褶皱会导致煤层埋藏深度和赋存形态发生改变，破坏煤层的连续性，增加开采过程中巷道布置和支护的难度；岩石破碎则使岩体稳定性大幅下降，易引发顶板垮塌、片帮等问题，影响开采作业的正常推进；岩层节理发育会进一步削弱岩体的整体性，导致煤层开采时受力不均，增加开采设备损耗和施工风险；地质构造紊乱与不良岩层分布，会干扰开采规划的实施，降低开采效率，同时提升安全管控的复杂度。

### 1.2 断层类型及特征

煤矿中的断层主要分为正断层、逆断层和平移断层三类。（1）正断层的核心特征是上盘相对下降、下盘相对上升，其断层面通常较为陡峻，在煤矿中多表现为煤层被错断后，上下盘煤层出现明显的垂直位移，易造成煤层开采的中断；（2）逆断层表现为上盘相对上升、下盘相对下降，断层面倾角相对较缓，在煤矿中常导致煤层重叠或缺失，增加煤层探测和开采的难度；（3）平移断层则以两盘沿断层面水平方向相对移动为主要特征，断层面走向与位移方向基本一致，在煤矿中会使煤层走向发生改变，打乱原有的开采布局<sup>[1]</sup>。

## 2 煤矿复杂地质条件下过断层全阶段核心技术

### 2.1 复杂地质条件下断层探测与预测技术

（1）多方法协同物探技术。采用地震勘探技术，通过三维地震数据采集与处理，利用反射波、折射波特征分析地层界面变化，识别断层的大致走向与延伸范围；结合直流电法勘探，通过测量不同岩层的电阻率差异，判断断层破碎带的富水性与发育程度；同时运用地质雷达探测，依托高频电磁波信号的反射特性，对井下巷道周边岩层进行扫描，精准捕捉小尺度断层及裂隙分布，形成多维度探测数据互补体系。（2）定向钻探验证技术。针对物探圈定的断层异常区域，设计定向钻探方案，选用全液压坑道钻机，搭配金刚石钻头，控制钻孔倾角与方位角，确保钻孔精准穿越疑似断层带；在钻探过程中，实时记录钻压、转速、返渣量等参数变化，结合钻孔测井技术，通过声波测井、电阻率测井获取岩层物理力学参数，确定断层的产状、落差、破碎带宽度及充填物性质，验证物探结果的准确性。（3）地质信息建模与动态预测技术。收集井田地质资料、物探数据、钻探成果，构建三维地质模型，通过专业地质建模软件，将断层的空间位置、形态特征与周边岩层分布可视化呈现；基于模型建立断层参数数据库，引入岩体应力分析算法，结合井下微震监测系统采集的岩体振动数据，实时分析断层周边应力变化趋势，预测断层活化风险，动态更新地质模型，为后续开采环节提供实时地质依据。（4）超前探测技术。在掘进工作面迎头及回采工作面超前区域，采用超前钻探与超前物探相结合的方式，实施超前探测；超前钻探采用长钻孔施工，钻孔深度不小于30m，控制钻孔间距在5-8m，确保探测范围覆盖工作面全宽度。

## 2.2 开拓设计阶段断层规避与优化技术

(1) 断层影响范围量化评估技术。依据探测获取的断层参数,结合岩层物理力学试验数据,采用数值模拟软件,建立断层周边岩体应力场与位移场计算模型,分析断层破碎带的应力集中区域、影响半径及稳定性;根据模拟结果,划分断层安全开采区域、谨慎开采区域与禁止开采区域,确定不同区域的开拓工程安全距离标准。(2) 巷道布置多方案优化技术。针对断层分布情况,设计多种巷道布置方案,包括绕断层布置、穿断层布置及跨断层布置等;对各方案进行技术可行性分析,计算巷道长度、施工难度、支护成本及后期维护工作量;结合煤矿开采规划、生产能力需求及安全标准,采用层次分析法对各方案进行综合评价,筛选出技术可靠、经济合理的最优方案。(3) 采区划分与工作面参数匹配技术。根据断层切割情况,合理划分采区边界,避免采区被大落差断层分割,确保采区内部开采条件相对稳定;对受中小断层影响的采区,优化工作面长度与推进方向,使工作面推进方向与断层走向尽量平行,减少工作面穿越断层的次数;确定工作面与断层的安全避让距离,当断层落差大于2m时,工作面边界与断层破碎带的距离不小于10m。(4) 辅助系统配套优化技术。结合断层分布与开拓巷道布置,优化矿井运输系统,对穿越断层的运输巷道,采用耐磨轨道与高强度连接件,增强运输系统稳定性;优化通风系统,在断层破碎带区域增设通风构筑物,确保风流稳定,避免瓦斯积聚;优化排水系统,在断层富水区域布置排水泵房与水仓,选用大流量排水泵,设计多通道排水管路,提高断层区域的抗水害能力<sup>[2]</sup>。

## 2.3 掘进阶段过断层核心控制技术

(1) 超前加固预处理技术。掘进工作面距断层破碎带10-15m时,实施超前注浆加固,采用水泥-水玻璃双液注浆材料,通过注浆泵注入岩体裂隙;根据破碎带岩性调整注浆压力与注浆量,松软岩层注浆压力控制在1.5-2.5MPa,注浆量按岩体裂隙率计算,保障浆液充分填充裂隙以提升围岩整体性;断层破碎带范围较大时,采用超前管棚支护,选用 $\Phi 108$ mm无缝钢管,管棚长度不小于15m、环向间距300-500mm,通过钻机打入岩层形成超前支护结构,控制围岩变形。(2) 复合支护体系构建技术。采用“锚杆+金属网+锚索+喷射混凝土+U型钢支架”复合支护方案:锚杆选用 $\Phi 22$ mm高强度螺纹钢锚杆,长度2.4-3.0m、间排距 $800 \times 800$ mm,树脂药卷锚固,锚固力不小于80kN;金属网为 $\Phi 6$ mm钢筋编织网,网孔 $100 \times 100$ mm,铺设时搭接宽度不小于100mm;锚索选用

$\Phi 17.8$ mm钢绞线,长度6-8m、间排距 $1600 \times 1600$ mm,锚固力不小于200kN;喷射混凝土采用C25配比,总厚度不小于100mm,分两次喷射完成;高应力断层区域增设U29或U36型钢支架,间距600-800mm,拉杆连接且支架与围岩间用混凝土充填,增强支护刚度。(3) 掘进施工参数动态调控技术。根据断层破碎带岩性变化调整掘进机截割参数:完整岩层段截割速度3-5m/min、截割深度800-1000mm;破碎岩层段截割速度降至1-2m/min、截割深度缩减至400-600mm,采用“浅截快掘”工艺减少围岩扰动;控制掘进循环进尺不超过1.0m,掘进后及时用单体液压支柱配合金属铰接顶梁完成临时支护,支护强度不小于0.2MPa。(4) 底板治理技术。针对断层区域底板鼓起问题,采用底板注浆加固技术,底板注浆孔深1.5-2.0m、间距 $1000 \times 1000$ mm,注入水泥浆与超细水泥混合浆液提升底板岩体强度;底板松软且富水区域采用反底拱支护,浇筑C30钢筋混凝土底拱,钢筋选用 $\Phi 12$ mm、间距200mm,底拱厚度300mm,与巷道两帮支护结构连接成整体。(5) 瓦斯与水害防控技术。断层掘进中实时监测瓦斯浓度,采用便携式检测仪与固定式传感器相结合的方式,传感器布置在掘进工作面迎头、回风流及巷道中部,每10分钟监测一次,瓦斯浓度超0.8%立即停止掘进并通风稀释;断层富水区域施工超前探水钻孔,钻孔深度不小于20m、超前距不小于5m,探明前方水文地质情况,发现涌水立即启动排水系统,必要时注浆堵水。

## 2.4 回采阶段过断层高效开采技术

(1) 开采方式科学选择技术。根据断层落差、影响范围及岩层硬度确定回采方式:断层落差小于工作面采高1/2、岩层硬度系数 $f < 8$ 且影响范围20m以内时,采用直接过断层方式;落差为采高1/2-2/3、 $f = 8-12$ 且影响范围20-50m时,通过逐步调整工作面采高,使采煤机沿断层倾向穿越;落差大于采高2/3、 $f > 12$ 或影响范围超50m时,采用搬家跳采方式,在断层前方50-100m处掘进新切眼,完成设备迁移安装后继续回采。(2) 采煤设备参数适配与调试技术。依据断层区域岩层硬度选用采煤机: $f < 10$ 时选用截割功率800-1000kW机型; $f \geq 10$ 时选用1200-1500kW大功率采煤机,配备耐磨截齿与强化滚筒;调整采煤机截割参数,硬岩段截割速度2-3m/min、深度300-400mm,软岩段速度4-5m/min、深度500-600mm;根据断层区域顶板压力调试液压支架,初撑力不小于25MPa,工作阻力按顶板压力计算,确保对顶板的支撑强度。(3) 顶板动态控制技术。工作面距断层15-20m时启动超前支护,采用超前液压支架或单体液压支柱配合金属铰接顶梁,支护长度不小于20m、支架间距800mm、

初撑力不小于20MPa；过断层期间将液压支架间距由1500mm缩小至1200mm，增强支护密度；用护帮板及时支护煤壁防片帮，护帮板伸出长度不小于500mm；在支架顶梁布置位移传感器，每小时监测顶板下沉量，下沉速度超5mm/h时增设锚索或加密支架以增强支护强度。

(4) 辅助破岩与清矸技术。岩层硬度系数 $f \geq 10$ 的断层区域，实施松动爆破预处理，在工作面两巷或工作面内布置爆破孔，孔深1.5-2.0m、间距1000×1000mm，选用2#岩石硝铵炸药，单孔装药量300-500g，采用毫秒延期雷管分段爆破，避免过度扰动周边岩体；爆破后用采煤机滚筒或破碎锤对大块岩石二次破碎，确保岩石块度小于300mm，便于刮板输送机输送<sup>[3]</sup>。

### 3 煤矿复杂地质条件下过断层技术优化与创新

#### 3.1 现有过断层技术的针对性优化

针对传统技术局限，从两方面优化：参数上，依托断层动态探测数据建支护参数与地质条件匹配模型，实时调整锚杆锚索长度、注浆压力等，规避安全风险与成本浪费；工艺上，将掘进阶段“注浆-等待-支护”间断工艺改为“同步注浆+即时支护”连续作业，缩短工序间隔；回采阶段依岩层硬度调采煤机截割与辅助破岩时序，减少设备空转。

#### 3.2 新兴技术与过断层技术的融合创新

推动智能化、新材料技术与过断层技术的深度融合。在智能化融合方面，将井下物联网监测系统与过断层作业设备联动，通过布置在断层区域的应力、位移、瓦斯传感器，实时向掘进机、采煤机传输数据，实现设备截割速度、支护力度的自动调节；引入数字孪生技术，构建过断层作业场景的虚拟模型，模拟不同地质条件下的技术应用效果，提前优化施工方案。在新材料应

用方面，采用高强度轻质合金材料制作超前管棚与支护支架，降低设备自重的同时提升承载能力。

#### 3.3 过断层技术体系的协同创新

打破各阶段技术孤立应用的局限，构建“探测-设计-施工-回采”全流程协同的技术体系。在数据协同上，建立统一的地质数据平台，将断层探测数据实时共享至开拓设计、掘进施工、回采作业各环节，确保各阶段技术应用基于一致的地质依据；在工艺协同上，设计掘进与回采的衔接技术方案，提前在掘进阶段预留回采所需的设备安装空间与支护基础，减少回采前的准备工序；在管理协同上，制定跨阶段技术标准，明确各环节技术参数的传递规则与质量管控要求，形成从技术设计到现场应用的闭环管理，提升过断层技术体系的整体适配性与可靠性<sup>[4]</sup>。

结束语：本文围绕煤矿复杂地质条件下过断层技术展开系统研究，明确了复杂地质与断层的影响及特征，构建的全阶段核心技术体系，覆盖探测、设计、掘进、回采各环节，可有效应对过断层难题。技术优化与创新方向也为后续发展提供思路。该研究成果能为煤矿现场过断层作业提供切实指导，降低安全风险、提升开采效率。

#### 参考文献

- [1]朱中朋.复杂地质条件下巷道过断层的支护技术[J].内蒙古煤炭经济,2023(3):169-171.
- [2]李亨.复杂地质条件下巷道过断层的支护技术[J].化工管理,2020(16):104-105.
- [3]闫耀华.复杂条件下掘进巷道过断层破碎带支护技术[J].石化技术,2025,32(9):417-418.
- [4]胡锁云.煤矿复杂地质条件软岩巷道过断层技术[J].当代化工研究,2020(20):59-60.