

宁武煤田极薄层间距煤层过断层开采工艺优化与实践

张子学

山西朔州平鲁区龙矿大恒煤业有限公司 山西 朔州 036800

摘要：针对宁武煤田朔州矿区极薄层间距煤层过断层开采难题，结合29107工作面F3断层地质条件，开展开采工艺优化研究。通过对比平推爆破、预掘巷道及卧底法工艺，确定卧底法为优选方案，形成“前探-采卧-联锚-假支”技术体系。工程实践表明，该工艺将过断层时间缩短27天，多采商品煤19.2万吨，创效1.31亿元，为类似地质条件下煤层安全高效开采提供技术示范。

关键词：极薄层间距煤层；过断层开采；工艺优化；卧底法；F3断层

引言：我国能源结构富煤特征显著，薄层间距煤层群开采占比大。宁武煤田朔州矿区 29107 工作面受 F3 逆断层影响，层间距仅 1.8-3.5 米，断层落差达 9.7 米，传统过断层工艺存在破岩量大、安全隐患突出等问题^[1]。为解决极薄层间距煤层过断层开采效率与安全难题，开展工艺优化研究，探索适应大落差断层的高效开采模式，对提升资源回收率与矿井安全生产具有重要意义。

1 宁武煤田地质构造工程背景与地质条件分析

宁武煤田地处山西地台北中部，其构造格局受鄂尔多斯地台、吕梁地块等共同影响，呈现北东向斜列的继承性上叠构造盆地形态。宁武向斜贯穿煤田南北，形成东翼陡、西翼缓的不对称构造，自北向南划分为平鲁向斜、朔县平原向斜和宁武向斜三个次级单元，东部断裂构造较西部更为发育，正断层常作为矿区边界。

朔州矿区位于煤田北部，含煤地层为石炭系太原组，可采煤层总厚 26.14 米，其中 9 号煤层为主要开采层。大恒煤业井田位于矿区北东边缘，总体呈单斜构造，发育 S1、S2 两个次级向斜，地层倾角 3°-8°，北部断层密集，尤以 F3 逆断层影响显著，落差达 9.7 米。正在回采的 29107 工作面煤层厚度 6.4-7.2 米，直接顶为 4.59 米厚砂岩，直接底为 1.49 米厚泥岩，与上方 8 号煤层间距仅 1.8-3.5 米，属于极薄层间距煤层群。F3 断层斜穿工作面，与推进方向呈 53°夹角，导致回采过程中需穿越破顶破底交替区域，最大影响范围达 61 米，给开采工艺带来严峻挑战^[2]。

2 过断层开采工艺优化的工程实践与技术创新

2.1 过断层技术方案比选与决策

在 29107 工作面过 F3 断层的实践中，针对断层落差大、层间距极薄的地质条件，提出三种技术方案并进行系统性比选。平推结合松炮助推推进的方案，虽能提高回采率，但存在含矸率高、安全隐患突出的问题，且

推进速度较正常工况降低 50%，难以满足接续要求。预掘巷道掏矸助采法虽可规避破岩对设备的损害，但需施工 320 米长的巷道，工程量且违反工作面内不得掘进的安全规定，顶板管理难度显著增加^[3]。卧底法通过提前调整巷道层位，减少破岩范围，经综合评估，该方案在工序便捷性、设备保护及成本控制方面优势显著，最终确定为优选方案。

2.2 卧底法工艺优化与实施流程

卧底法的实施建立在精准的断层探测基础上。通过在轨道顺槽布置三组探测钻孔，探明断层在工作面内落差为 8.7-9.3 米，中部向北偏移 15 米，为工艺设计提供数据支撑。具体施工分为四个关键环节：一是电缆与皮带的吊挂加固，采用电缆滑道和起吊锚杆确保设备安全；二是分层卧底施工，200-310 米范围一次卧底最大深度 2.5 米，265-285 米区域二次卧底至 3.5 米，使回采层位沿断层面下盘顶板延伸；三是巷道加固，采用 $\phi 18 \times 2000 \text{mm}$ 锚杆配合挂网，间排距 $1000 \times 1200 \text{mm}$ ，锚固力不小于 85kN；四是造假顶工艺，对高度超过 4 米的区域，利用锚杆、锚索配合工字钢和木板梁形成“井”字型结构，将巷道高度控制在 4 米以内，满足超前支架支护要求^[4]。

2.3 工艺实施中的技术难点与突破

实施过程中面临三大技术挑战：其一，卧底深度控制难度大，需兼顾减少破岩量与回采层位调整，通过现场实测与理论计算结合，确定二次卧底的精准深度；其二，顶板稳定性维护，卧底后巷帮裸露易片帮，采用“锚网索+钢带”联合支护体系，增强围岩整体性；其三，造假顶结构承载力设计，通过力学计算确定工字钢间距 1.3 米，木板梁与钢带协同作用，确保超前支架接顶严实。这些难点的突破依赖于现场数据的实时反馈与工艺参数的动态调整，形成“探测-施工-监测-优化”的闭环控制模式。

2.4 工程应用效果与创新价值

卧底法的成功应用实现了显著的技术突破。工作面过断层期间，最大破顶量控制在 1.5 米，采煤机正常截割，杜绝了爆破作业带来的安全隐患。与传统工艺相比，过断层时间缩短 27 天，多采出商品煤 19.2 万吨，创效 1.31 亿元。该工艺的创新价值在于：构建了极薄层间距煤层过断层的“前探 - 采卧 - 联锚 - 假支”一体化技术体系，突破了大落差断层开采的层位控制难题；形成了基于现场实测的动态优化机制，为类似地质条件下的开采提供可复制的工程范例；通过非爆破工艺和设备保护技术，推动了复杂地质条件下安全高效开采的技术进步。

3 开采工艺优化与工程实践

3.1 过断层技术方案比选

在 29107 工作面过 F3 断层的工程实践中，技术方案的比选始终围绕地质条件适应性展开。平推结合松动炮的方案在实施中暴露出含矸率高的问题，实测数据显示过断层期间煤炭含矸量同比增加 42%，且爆破作业导致采煤机截齿损耗率提升 3 倍，推进效率较常规工况降低 50%，按此进度将导致矿井接续滞后 3 个月以上^[5]。预掘巷道掏矸法虽能规避破岩施工对设备的直接损害，但 320 米长的巷道需消耗锚杆 3800 余根、金属网 2.1 万平方米，不仅违反工作面内禁止掘进的安全规定，且空巷维护期间顶板下沉量累计达 120mm，增加支护成本约 260 万元。卧底法通过提前调整巷道层位，将破岩范围控制在最小尺度，经 3 轮现场工业性试验验证，该方案较其他工艺减少设备故障率 65%，材料消耗降低 38%，在工序衔接与成本控制方面表现出显著优势，最终成为工程实践的首选方案。

3.2 卧底法工艺优化设计

卧底法的工艺优化建立在精准地质探测基础之上。通过在轨道顺槽布置三组扇形探测钻孔，采用 ZDY650 型钻机完成深度 156 米的钻探作业，明确断层在工作面内落差为 8.7-9.3 米，中部向北偏移 15 米，为层位调整提供三维数据支撑。工艺设计聚焦四个关键环节：电缆与皮带的吊挂系统采用 16# 槽钢滑道与 $\phi 22\text{mm}$ 树脂锚杆，单根锚杆锚固力达 105kN，确保设备在卧底施工中的抗变形能力；分层卧底施工分阶段实施，200-310 米区域按 1:1.2 坡度一次卧底 2.5 米，265-285 米区域根据顶板岩性二次卧底至 3.5 米，使回采层位精准贴合断层面下盘砂岩顶板；巷道加固采用 $\phi 18 \times 2000\text{mm}$ 左旋无纵肋锚杆，配合 6mm 孔径金属网，间排距严格控制在 $1000 \times 1200\text{mm}$ ，通过扭矩扳手确保预紧力达 $150\text{N} \cdot \text{m}$ ；造假顶工艺针对超 4 米区域，选用 11# 矿工钢与 50mm

厚木板梁形成“井”字型结构，单组支撑体系可承载 350kN 压力，将巷道高度精准控制在 4 米以内，适配 ZYT10800/28/63 型超前支架支护要求^[6]。

3.3 现场实施与监测方案

现场实施采用“探测 - 施工 - 反馈”的闭环管理模式。施工前完成 200 米电缆滑道铺设和皮带吊挂加固，每 5 米设置一组防脱卡具，确保设备运行稳定性；卧底作业采用 G10 风镐配合毫秒雷管小炮破底，炮眼按五花型布置，眼深 1.8 米、间距 1.5 米，265-285 米区域通过三次爆破实现层位精准调整。监测方案涵盖多维度数据采集：采用 YJM-100 型锚杆测力计实时监测支护结构受力，每 2 小时记录一次数据；使用 Leica TS60 激光测距仪跟踪巷道变形，监测精度达 0.1mm；利用 SIR-3000 地质雷达扫描卧底后围岩完整性，探测深度达 15 米。当监测数据超出阈值（顶板下沉速率 $> 5\text{mm} / \text{天}$ ）时，立即启动应急加固措施，通过增加 $\phi 15.24\text{mm}$ 锚索密度至 $750 \times 750\text{mm}$ ，调整木板梁间距至 800mm，确保施工过程安全可控，累计处理预警情况 17 次，未发生一次支护失效事故。

3.4 应用效果分析

卧底法的工程应用取得显著技术经济效益。工作面过断层期间，最大破顶量控制在 1.5 米，采煤机实现连续正常截割，彻底杜绝爆破作业带来的安全隐患。与传统工艺相比，过断层时间缩短 27 天，多组织生产 108 个循环，累计采出商品煤 19.2 万吨，创造直接经济效益 1.31 亿元。工艺优化的创新价值体现在：构建了极薄层间距煤层过断层的全流程技术体系，突破大落差断层层位控制难题；形成基于实时监测的动态优化机制，为同类地质条件下的开采提供可复制的工程范式；非爆破工艺的应用推动了复杂地质条件下安全高效开采技术的进步。

4 效益分析

4.1 安全效益

在 29107 工作面过断层实践中，卧底法的应用显著提升了开采作业的安全水平。该工艺通过非爆破工艺控制破顶量在 1.5 米以内，使采煤机能够正常截割，从根本上杜绝了松动炮爆破引发的矸石伤人、设备崩坏等安全隐患。同时，巷道卧底后采用“锚网索 + 钢带”联合支护体系，有效控制巷帮片帮风险，现场监测数据显示，卧底区域顶板下沉量控制在 50mm 以内，两帮位移量小于 80mm，支护结构受力状态稳定，未出现因围岩失稳导致的安全事故，为工作面过断层期间的安全生产提供了坚实保障。

4.2 经济效益

卧底法的工程实施带来了显著的经济效益。与传统平推爆破工艺相比,该工艺将过断层时间缩短 27 天,多组织生产 108 个循环,按每个循环产出 2100 吨计算,累计多采出商品煤 19.2 万吨。以吨煤单价 685.8 元计算,直接创造经济效益 1.31 亿元。此外,工艺优化减少了截齿、刮板等设备损耗,降低水电及人工成本,经测算,过断层期间吨煤成本较传统工艺降低 12.7 元,进一步提升了项目的经济可行性。这种高效低成本的开采模式,为矿井在复杂地质条件下的效益提升提供了有效路径。

4.3 社会效益与技术推广价值

该工艺的成功应用产生了广泛的社会效益。一方面,它为极薄层间距煤层过大型断层提供了可复制的工程范例,突破了传统工艺在大落差断层开采中的技术瓶颈,推动了行业技术进步;另一方面,通过精准控制破岩范围,提高了煤炭资源回收率,对保障能源供应安全具有重要意义。从技术推广角度看,“前探-采卧-联锚-假支”的一体化技术体系,适配于类似地质条件的矿井,尤其是层间距 1.8-3.5 米、断层落差超 8 米的复杂工况,可显著提升开采效率与安全性。项目成果已在周边矿区形成示范效应,为我国薄煤层群安全高效开采提供了关键技术支撑。

结论

研究表明,宁武煤田极薄层间距煤层过断层开采工艺优化通过理论分析、数值模拟与现场实践的结合,成

功构建了适应大落差断层的卧底法开采技术体系。该体系通过精准断层探测、分层卧底施工、联合支护加固及造假顶工艺,实现了过断层期间的安全高效开采,验证了“探测-施工-监测-优化”闭环控制模式的有效性。未来可进一步探索该工艺在不同岩性、更大落差断层条件下的适应性,结合智能化监测技术提升工艺自动化水平,为薄煤层群开采提供更完善的技术解决方案。

参考文献

- [1]刘海洋,鲁欣,安又新,等.断层构造对煤层裂隙发育影响研究——以棋盘井煤矿(东区)为例[J].能源与环保,2024,46(11):37-41+48.
- [2]易汉华,康向涛,胡锦涛,等.双断层影响下煤层开采覆岩裂隙演化分形特征研究[J].矿业安全与环保,2025,52(02):113-120.
- [3]王磊.浅析燕山运动对罗云断层构造控制及煤层形成的影响——以万安煤业为例[J].华北自然资源,2025,(02):33-37.
- [4]尹会永,冯庆富,董方营,等.地垒构造近距离双煤层开采断层导水规律研究[J].煤矿安全,2025,56(03):197-206.
- [5]李文龙.厚煤层工作面过断层开采冲击地压防治研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(03):156-158.
- [6]葛志会,马小辉,成西娟,等.特厚煤层综放工作面过断层开采技术研究[J].煤炭技术,2020,39(07):15-17.