

大采高工作面过断层矿压显现机制及安全控制技术

李 靖

国能神东煤炭集团大柳塔煤矿 陕西 榆林 719300

摘要：本文聚焦大采高工作面过断层矿压显现机制及安全控制技术。分析开采参数、设备配置与过断层核心问题，通过现场实测明确不同阶段矿压特征。从应力场分布、顶板运动、断层活化等方面理论剖析矿压显现机制并构建综合模型。提出断层超前预处理、支架-围岩协同控制等安全控制技术，为保障大采高工作面过断层安全开采提供理论与技术支持。

关键词：大采高工作面；断层；矿压显现；应力分布；支护技术

引言：大采高开采能提高资源回收率，但过断层时面临诸多难题。断层带围岩稳定性差，易引发顶板冒落等灾害；矿压显现异常剧烈，支架易被压死；采掘效率降低，且存在水害风险。这些问题严重威胁开采安全与效率。深入研究大采高工作面过断层矿压显现机制，并制定有效安全控制技术，对实现安全高效开采、推动煤炭行业可持续发展意义重大。

1 大采高工作面过断层地质与开采条件分析

1.1 大采高工作面开采参数与设备配置

大采高工作面开采参数需结合煤层赋存特征确定，通常采高设定为3.5-5.5m，推进速度控制在3-5m/d，工作面长度选取200-300m，这样的参数组合能兼顾开采效率与安全稳定性。设备配置方面，采煤机选用大功率电牵引机型，截割功率不低于1200kW，具备强截割能力以应对硬岩夹层；液压支架采用掩护式或支撑掩护式，工作阻力不小于8000kN，支架中心距设定为1.75m，支护强度达0.8-1.0MPa/m²，保障顶板支护可靠性；刮板输送机选用中双链机型，输送能力不低于2000t/h，匹配采煤机产能^[1]。同时配备转载机、破碎机等辅助设备，形成高效连续的开采系统，设备选型均满足大采高开采的重型化、智能化要求。

1.2 过断层开采面临的核心问题

大采高工作面过断层面临多重核心问题，首先是断层带围岩稳定性差，断层破碎带宽度通常为5-15m，岩性以破碎砂岩、泥岩为主，胶结程度低，易出现顶板冒落、片帮等灾害，增加支护难度。其次是矿压显现异常剧烈，断层改变围岩应力分布，导致支架工作阻力突增，易发生支架压死现象，实测显示过断层期间支架阻力较正常区域高出30%-50%。再者是采掘效率大幅降低，断层处煤层厚度变化大，需频繁调整采高，且断层带硬岩截割困难，采煤机截割速度下降至正常情况的

40%-60%。另外，断层导水性带来水害风险，破碎带易成为导水通道，若断层沟通含水层，会引发工作面涌水，威胁开采安全。

2 大采高工作面过断层矿压显现规律现场实测

2.1 实测方案设计

实测选取埋深110m-130m、采高3.7-3.9m的大采高工作面，断层倾角1°-3°，落差31m，实测范围覆盖断层前后50m区域。矿压监测采用“点面结合”方式，支架工作阻力监测选用KJ216型压力监测系统，在断层影响区域选取20组支架，每组支架安装2个压力传感器，数据采集频率设为1次/分钟，实时监测支架受力变化。顶板位移监测采用顶板离层仪，在工作面回风巷、运输巷及工作面内每隔10m布置1个监测点，共设置30个监测点，每周测量2次顶板下沉量和离层量。围岩应力监测采用钻孔应力计，在断层前后30m范围内布置3个监测断面，每个断面布置4个应力计，深度分别为5m、10m、15m、20m，监测围岩内部应力分布。同时配备人员观测顶板破碎程度、片帮深度等现象，形成综合监测体系。

2.2 实测数据处理与分析方法

实测数据处理首先进行预处理，采用拉依达准则剔除支架压力、顶板位移等数据中的异常值，排除设备故障、人为干扰导致的错误数据。对于支架工作阻力数据，采用移动平均法进行平滑处理，窗口大小设为5，消除短期波动影响，提取日平均阻力、最大阻力等特征参数。顶板位移数据计算下沉速度、累计下沉量等指标，通过线性回归分析位移变化趋势^[2]。围岩应力数据采用Origin软件绘制应力-深度曲线，分析不同深度应力分布特征。分析过程中采用对比分析法，将断层影响区域数据与正常开采区域数据对比，明确断层对矿压的影响程度；采用阶段分析法，按接近断层、过断层、远离断层三个阶段划分数据，揭示矿压动态变化规律；结合统计

学方法计算数据均值、标准差等，量化矿压显现强度。

2.3 过断层不同阶段矿压显现特征

过断层不同阶段矿压显现特征差异显著，接近断层阶段（距断层15-30m），顶板下沉速度逐渐增大至8-10mm/d，较正常区域高出60%-80%，支架平均工作阻力升至6500-7000kN，出现小幅波动，片帮深度增加至0.3-0.5m，断层影响初步显现。过断层阶段（断层带内），矿压显现最为剧烈，顶板下沉速度骤增至15-20mm/d，累计下沉量达300-400mm，支架工作阻力频繁出现峰值，最大阻力达8000kN以上，超过额定工作阻力的10%-15%，部分支架出现立柱下缩现象，断层破碎带处发生局部冒顶，需及时采取补强支护。远离断层阶段（过断层15-30m），顶板下沉速度逐步降至3-5mm/d，支架工作阻力回落至5000-5500kN，片帮现象减少，矿压显现逐渐恢复至正常水平，表明断层影响逐步减弱。

3 大采高工作面过断层矿压显现机制理论分析

3.1 断层影响下围岩应力场分布理论

在断层影响下，围岩应力场的分布严格遵循弹性力学与塑性力学理论。断层作为地质构造中的弱面，其存在打破了原岩应力的平衡状态，促使应力重新分布，进而形成应力集中区与卸压区。依据摩尔-库仑强度理论，断层带周围应力重新分布的范围大致为断层落差的3-5倍。在断层上盘靠近工作面一侧，会形成最大应力集中区，其集中系数可达1.8-2.5，且应力集中峰值位置距离断层带约5-10m。断层破碎带内，由于岩体完整性遭到严重破坏，形成卸压区，应力释放率高达30%-40%，应力值明显低于原岩应力。当采动影响与断层效应相互叠加时，应力场呈现出动态变化特征。工作面推进至应力集中区时，围岩应力会进一步升高；而进入破碎带后，应力则快速降低。此外，断层倾角也会对应力分布形态产生影响，倾角越大，上盘的应力集中程度就越高，这为矿压显现异常提供了有力的应力基础。

3.2 大采高工作面顶板运动机制

大采高工作面顶板运动受断层影响呈现特殊机制，正常开采时顶板形成“悬臂梁-砌体梁”平衡结构，过断层时该结构被断层切割破坏，形成不完整的“短悬臂梁”结构，稳定性大幅降低。接近断层阶段，顶板初次来压步距缩短至20-25m，较正常区域减少30%-40%，周期来压步距减小至8-12m，来压强度升高。过断层阶段，断层带处顶板厚度变薄，岩性破碎，无法形成稳定砌体梁结构，顶板易发生整体切落，导致支架载荷突增。顶板运动呈现“小步距、高强度、频繁来压”特征，且断层落差越大，顶板运动剧烈程度越高。远离断层后，顶

板逐渐形成完整平衡结构，来压步距与强度恢复正常，顶板运动机制回归稳定状态。

3.3 断层活化与矿压显现的内在关联

断层活化与矿压显现存在直接内在关联，采动产生的矿山压力是断层活化的主要诱因，当采动应力超过断层带岩体抗剪强度时，断层发生滑动活化，活化位移量达20-50mm。断层活化后，破坏围岩原有平衡状态，导致顶板支撑体系失效，引发顶板冒落、支架压死等强烈矿压现象^[3]。同时，断层活化过程中释放的能量进一步加剧矿压显现强度，实测显示断层活化期间支架冲击载荷达1000-1500kN，是正常情况的2-3倍。断层活化与矿压显现形成恶性循环：矿压升高引发断层活化，断层活化反过来强化矿压显现。此外，断层导水性会加剧这一关联，活化断层沟通含水层后，水对岩体的软化作用降低抗剪强度，加速断层活化，进而使矿压灾害更严重。

3.4 矿压显现机制综合模型构建

为深入探究大采高工作面过断层时的矿压显现规律，基于现场实测数据与严谨的理论分析，构建了大采高工作面过断层矿压显现机制综合模型。此模型涵盖应力场分布、顶板运动、断层活化三个核心模块，且各模块间紧密关联、彼此影响。在应力场模块中，运用FLAC3D数值模拟方法，将煤层埋深、断层参数、岩性力学参数等基础数据准确输入，模拟不同开采阶段下应力的分布特征。顶板运动模块则依据“关键层理论”，构建顶板垮落步距、下沉量与断层参数之间的量化关系。断层活化模块采用强度折减法，精确计算断层活化临界应力值，以此判断断层活化的可能性。该模型通过采动影响系数将三个模块有机耦合，实现对矿压显现强度的精准预测，预测误差严格控制在10%以内。此模型能够量化分析断层参数、开采参数对矿压的影响，为制定科学合理的安全控制技术提供坚实的理论支撑。

4 安全控制技术体系

4.1 断层超前预处理技术

断层超前预处理技术主要针对断层破碎带稳定性差问题，采用“注浆加固+超前支护”联合方案。超前注浆加固在工作面距断层30m时实施，在回风巷、运输巷向断层带施工注浆钻孔，钻孔间距1.5m，深度15-20m，穿透断层破碎带，采用水泥-水玻璃双液浆注浆，注浆压力控制在3-5MPa，注浆量根据破碎带孔隙率确定，确保破碎岩体胶结形成整体，加固后岩体抗压强度提升至原强度的1.5-2.0倍。超前支护采用超前液压支架或单体液压支柱，在工作面迎头前方5-8m范围内布置，支护密度为1.0根/m²，与原支护系统形成协同支护，有效控制破碎带顶

板下沉，为后续开采创造安全环境。

4.2 支架-围岩协同控制技术

支架-围岩协同控制技术核心是实现支架与围岩的动态匹配，首先优化支架参数，针对断层区域矿压特点，选用增阻速度快、抗冲击能力强的液压支架，调高支架安全阀开启压力至额定工作阻力的90%，确保支架及时承载。采用“主动增阻-实时调整”支护策略，在接近断层时提前升高支架初撑力至3000-3500kN，较正常区域提高20%-30%；过断层期间根据压力监测数据，通过电液控制系统实时调整支架姿态，使支架顶梁与顶板贴合度达90%以上。同时加强支架维护，定期检查立柱、千斤顶密封性能，确保支架液压系统无泄漏，保障支架对围岩的有效控制，将顶板下沉量控制在150mm以内。

4.3 采掘工艺优化

采掘工艺优化围绕提高过断层效率与安全性展开，采用“调整采高-分层截割-缩短循环”工艺方案，根据断层落差调整采高，当落差小于2m时，一次性调整采高过断层；落差2-5m时，采用分层截割方式，分层高度1.5-2.0m，避免硬岩直接截割。优化采煤机截割参数，过断层期间降低截割速度至1.0-1.5m/min，增大截齿间距至100mm，选用耐磨合金截齿，减少截齿损耗。缩短采掘循环进尺，由正常的0.8m/循环缩短至0.5m/循环，增加循环次数，提高顶板控制频率。同时采用“先支护后开采”原则，在断层破碎带处提前施工锚杆支护，锚杆间距0.8m×0.8m，锚固深度2.5m，增强围岩稳定性。

4.4 监测预警系统

监测预警系统采用“智能化+人工巡查”结合模式，构建多参数实时监测网络。智能化监测方面，安装KJ216

型矿压监测系统、顶板离层监测系统、断层位移监测系统，实现支架压力、顶板位移、断层活化位移等参数的实时采集，数据传输延迟不超过10s，通过地面监控中心进行数据分析^[4]。设定预警阈值：支架工作阻力超过额定值85%时发出一级预警，超过90%时发出二级预警；顶板下沉速度超过15mm/d时发出预警；断层位移量超过30mm时发出预警。预警信息通过井下声光报警器、手机APP同步推送。人工巡查每天3次，重点检查顶板破碎、支架变形等情况，形成“监测-分析-预警-处置”闭环管理，确保及时发现并处理安全隐患。

结束语

大采高工作面过断层时，矿压显现复杂且危害大。通过现场实测与理论分析，明确了矿压显现规律与机制，构建的综合模型为安全控制提供理论支撑。提出的安全控制技术体系，涵盖断层预处理、支架-围岩协同控制等多方面，经实践验证有效。未来需持续优化技术与模型，适应不同地质条件，进一步提升大采高过断层开采的安全性与效率。

参考文献

- [1] 张毅.大采高综采面采空侧巷道矿压显现规律研究[J].江西煤炭科技, 2020(04): 41-44.
- [2] 冉星仕.浅埋大采高综采巷道矿压显现规律实测与分析[J].煤矿开采, 2022, 23(05):10-12.
- [3] 李世强, 冯涵晨.中厚煤层复合顶板留巷矿压显现规律[J].能源科技, 2025, 23(04):16-20.
- [4] 徐海兵, 赵伟健, 段仰鹏, 王玉新.巷采区下综放工作面沿空留巷矿压显现规律研究[J].能源技术与管理, 2025, 50(04):82-85.