

# 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/m<sup>2</sup>，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<sup>[1]</sup>。同时配备转载机、破碎机辅助设备等，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<sup>[2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。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/m<sup>2</sup>,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<sup>[4]</sup>。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及效率。

#### 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.