

# 某矿运输大巷断层冒顶处理施工技术

马 杰

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 750000

**摘 要：**针对某矿运输大巷断层区域频发的冒顶灾害，本文剖析断层围岩结构特性、地应力分布特征，厘清冒顶裂隙萌生、松动、坍塌的完整演化机理。制定危岩清理、临时封闭、空洞充填、锚网索注浆加固及巷道整形的成套施工技术方案。通过全程监测围岩变形与支护受力，优化施工配比及工艺参数。实践表明，优化后巷道围岩变形量可控，支护体系稳定，有效解决断层破碎带冒顶难题，为同类巷道施工提供技术参考。

**关键词：**运输大巷；断层冒顶处理；施工技术

**引言：**运输大巷是煤矿井下开采的核心通行与运输通道，断层破碎带围岩完整性差、力学性能不均、地应力分布紊乱，巷道掘进施工极易引发顶板冒落事故，严重威胁井下施工安全，制约矿井开采效率。为有效治理该矿运输大巷断层冒顶隐患，本文结合现场地质条件，系统分析冒顶失稳机理，针对性制定专项处置施工技术，通过全过程监测与工艺优化，形成安全高效的冒顶治理体系，保障巷道围岩长期稳定与矿井安全生产。

## 1 运输大巷断层冒顶失稳机理分析

### 1.1 断层区域围岩结构特性分析

(1) 断层破碎带岩体结构特征表现为胶结程度差、完整性低，破碎带内角砾岩与糜棱岩混杂，原生裂隙多组发育、密度大且贯通性强，软弱夹层厚度不均、延展性差，构成围岩结构性薄弱环节，为冒顶孕育提供物质基础。(2) 断层上下盘围岩力学参数差异显著，下盘受构造挤压作用强烈，抗压强度、抗拉强度及弹性模量分别较上盘降低约20%~35%、15%~25%和20%~30%，这种非对称力学特性加剧了巷道两侧变形与破坏的不协调性，是冒顶发生的重要内在因素。(3) 巷道掘进对断层围岩结构的扰动规律表现为施工卸荷打破原始地应力平衡后，围岩由三向受压转为双向或单向受力状态，结构面活化、张开度增大，破裂区从巷道壁面向深部逐步扩展，围岩承载能力持续劣化并形成损伤累积。

### 1.2 冒顶区域地应力分布规律

(1) 原始地应力场以水平构造应力为主，水平主应力约占总应力的60%~70%，垂直应力受上覆岩层自重控制，两者比值随埋深变化而调整，区域最大主应力方向与断层走向呈30°~50°夹角，应力场非均匀性显著。(2) 断层破碎带对应力具有阻隔与富集双重效应：破碎带因强度低、刚度小，阻隔应力传递，一侧形成高应力集中区（峰值可达原始应力的2~3倍），另一侧出现明显卸荷

区，应力沿断层走向发生跳跃式突变，分布极不均匀<sup>[1]</sup>。

(3) 巷道开挖后应力重分布明显，两帮及顶板拐角处形成峰值应力区，其位置与冒顶塌落范围高度吻合，围岩变形破坏程度随距应力集中区距离增大而递减，应力集中系数与顶板下沉量呈正相关关系。

## 1.3 断层巷道冒顶演化全过程机理

(1) 围岩微裂隙萌生扩展阶段，开挖卸荷导致原生裂隙尖端应力集中，翼型裂纹起裂并沿最大主应力方向稳定扩展，新生裂隙与原生裂隙网络相互连通，围岩内部损伤程度逐步累积、劣化加剧。(2) 围岩局部破碎松动阶段，裂隙贯通后形成宏观破裂面，岩体结构完整性丧失，顶板及两帮出现片帮、掉块现象，松动范围持续扩大，围岩自承能力显著下降，局部破坏点逐渐增多并相互联结。(3) 大范围冒顶坍塌阶段，松动区岩体失稳后产生连锁式垮落，顶板暴露跨度增大，应力拱脚向深部转移，直至形成大规模冒落拱，最终导致巷道顶板整体失稳破坏，冒顶范围迅速扩展、危害性急剧增大。

## 2 某矿运输大巷断层冒顶专项处理施工技术方案

### 2.1 冒顶区域预处理施工技术

(1) 危岩清理工艺，制定人工配合机械的松动危岩清理流程，清理范围自冒顶区边缘向外扩展5~8m，顺序遵循自顶板向两帮、自浅部向深部的原则，顶板危岩采用长柄钎杆人工逐块撬落，两帮及底部大块悬矸采用小型破碎锤辅助处理，破碎后粒径控制在300mm以内，作业全程设专职观察员监测顶板动态，发现异常立即撤离，有效规避二次塌落隐患，同时确保清运通道保持畅通。(2) 顶板临时封闭技术，采用喷射C20混凝土配合钢筋网对冒顶空洞周边围岩进行及时封闭，喷射厚度控制在80~100mm，钢筋网网格100mm×100mm、搭接长度不小于100mm，每2m设置一道环形支架作为临时支撑，支架间采用连接筋纵向拉结，形成整体临时承载结构，

有效控制围岩持续变形与裂隙扩展,保障后续作业环境安全<sup>[2]</sup>。(3)空洞杂物规整处理,对冒顶堆积矸石、浮煤按照粒径大小分级规整处理,粒径大于200mm的矸石破碎至合格粒径后集中清运,小粒径矸石和浮煤直接装车外运,清运作业按先上后下、先里后外顺序进行,边清理边平整底板,场地平整度控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内,确保施工通道满足设备通行要求,为后续回填施工创造平整场地条件。

## 2.2 冒顶空洞回填充填施工技术

(1)充填材料选型与配比优化,结合断层破碎带围岩松散、吸水性强及地下水渗流等特性,筛选高水速凝充填材料为主材,辅以粉煤灰作为掺合料改善流动性,骨料与胶结料质量比控制在1.0:1.2~1.5:1.0,水灰比控制在0.8:1~1.2:1范围内,添加水泥用量2%~4%的早强剂,浆液初凝时间15~30min,终凝强度不低于3MPa,流动度不小于180mm。(2)分层充填施工工艺,制定由下至上、分层分段充填流程,每层充填厚度控制在300~500mm,相邻两层设置台阶式接茬、宽度不小于200mm,采用高频插入式振捣棒逐点振捣密实,振捣点间距不大于500mm、每点振捣不少于30s,各层间隔时间不超过初凝时间,确保层间结合紧密无冷缝,充填至冒顶空洞顶部时预留200mm注浆空间用于接顶处理。(3)充填密实度控制技术,采用预埋压力传感器实时监测充填体内部压力变化,每层充填完成后采用钻孔取芯法检测密实度,取芯点每 $10\text{m}^2$ 不少于1个,密实度指标不低于90%,对检测发现的空洞、空隙等缺陷采用二次劈裂注浆方式补充处理,注浆压力1.0~2.0MPa,直至排浆口连续出浆且压力稳定后方可结束,消除全部施工缺陷<sup>[3]</sup>。

## 2.3 断层破碎带围岩加固支护技术

(1)超前支护:沿巷道拱部轮廓外扩300mm施作 $\Phi 89\text{mm}$ 管棚,长度15~20m,环向间距300~400mm,外插角 $1^\circ\sim 3^\circ$ ,内插钢筋笼并全孔注浆,压力1.5~2.5MPa;管棚间铺设 $\Phi 42\text{mm}$ 小导管,长度4~6m,环向间距600mm,注入水泥-水玻璃双液浆,形成管棚-导管协同承载的一体化超前固化体系。(2)永久锚网索支护:锚杆采用 $\Phi 22\text{mm}$ 左旋无纵筋螺纹钢锚杆,长2.5m,间排距800mm $\times$ 800mm,锚固长 $\geq 1.2\text{m}$ ,树脂端头锚固,锚固力 $\geq 80\text{kN}$ ;锚索采用 $\Phi 21.6\text{mm}$ 钢绞线,长6~8m,间排距1.5m $\times$ 1.5m,锚固长 $\geq 1.5\text{m}$ ,锚固力 $\geq 200\text{kN}$ ,张拉预紧力 $\geq 120\text{kN}$ ;搭配 $\Phi 6\text{mm}$ 金属网(网格100mm $\times$ 100mm),网片搭接 $\geq 150\text{mm}$ ,14号铁丝双股绑扎,形成锚杆锚索联合承载整体支护。(3)围岩注浆:主注浆材料为水泥-水玻璃双液浆,水

灰比0.8:1~1.0:1,水玻璃掺量3%~5%;浅孔深2~3m、间距1.5m,压力1.0~1.5MPa;深孔深5~8m、间距3.0m,压力2.0~3.0MPa;深浅孔按三角形交错布置,注浆顺序先浅后深、先周边后中部,单孔以压力达终值且吸浆量 $< 5\text{L}/\text{min}$ 持续10min为结束标准。注浆后围岩波速提升 $\geq 20\%$ ,裂隙填充率 $> 85\%$ <sup>[4]</sup>。

## 2.4 巷道轮廓修复与围岩整形技术

(1)变形巷道顶板、巷帮整形修整工艺,采用机械切削配合人工风镐修凿方式进行精准修整,顶板下沉区域修整量控制在200~300mm,巷帮鼓出部位修整量控制在150~200mm,修整顺序先顶后帮、先大后小,每修整2m采用激光断面仪进行测量校核,确保恢复巷道标准断面尺寸,误差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内,修整后裸露岩面立即喷射50mm厚混凝土封闭防风化。(2)局部破损围岩修补技术,针对支护后仍存在局部松散、破损及喷层剥落区域的围岩,实施补打锚杆配合钢纤维喷射混凝土专项修补工艺,锚杆补打参数与原设计一致,钢纤维喷射混凝土厚度80~120mm、强度C25,钢纤维掺量40~60kg/ $\text{m}^3$ ,修补区域边界与原支护搭接宽度不小于200mm,喷射前涂刷界面粘结剂,确保修补层与原支护结构紧密衔接形成整体,围岩完整性得到有效修复完善。

## 3 某矿运输大巷断层冒顶处理施工效果监测与技术优化

### 3.1 施工监测方案布设

(1)监测点位布置,在冒顶处理区域及前后各30m围岩稳定区域,按断面形式布设监测点,断面间距5m,每断面设顶板沉降点2个(距帮各1m)、巷帮收敛点4个(两帮各设上下两个),监测点采用深基固定方式确保点位稳定,前后稳定区各设2个对照断面,共计布设监测断面14个、测点56个。(2)监测设备选型与安装,顶板沉降采用大量程机械式多点位移计,量程200mm、精度0.1mm;巷帮收敛选用数显收敛计,精度0.01mm;锚杆锚索受力选用振弦式测力计,量程300kN。设备安装严格按规范操作,位移计孔深不小于锚固深度、孔径与设备匹配,测力计安装于锚杆锚索外露端并施加初始预紧力,安装完成后进行初始值标定<sup>[5]</sup>。(3)监测周期与数据采集方式,施工期每日监测2次(早班、中班各一次),充填及支护完成后7d内每日监测1次,7~28d每3d监测1次,28d后每周监测1次,持续监测3个月。数据采集采用人工读数与自动采集仪并行,每断面测量读数3次取平均值,原始数据逐项记录于专用表格,确保可追溯。

### 3.2 核心监测数据结果分析

(1)顶板沉降变形数据分析,统计施工期、竣工后

不同时段顶板累计沉降量与沉降速率，施工前期沉降速率较大（日均1.5~2.0mm），随充填体强度增长逐步衰减，28d后趋于稳定（日均小于0.1mm），累计沉降量控制在25mm以内，表明顶板围岩处于稳定状态。（2）巷帮收敛变形规律分析，对比两帮收敛数据，最大累计收敛量约18mm，变形主要集中在施工后前7d（占比约75%），两帮收敛基本对称、差异小于3mm，表明巷

帮围岩整体稳定性良好，变形收敛趋势与顶板沉降规律一致。（3）支护结构受力状态分析，锚杆受力范围60~120kN、平均值85kN，锚索受力范围150~230kN、平均值195kN，均处于设计锚固力范围内且分布较均匀，未出现超限或异常突变，验证支护体系承载能力满足要求、与围岩条件适配性良好。如表1。

表1 监测数据汇总表

| 监测指标         | 施工期（0~7d） | 稳定期（8~28d） | 长期监测（>28d） | 控制标准    |
|--------------|-----------|------------|------------|---------|
| 顶板累计沉降量（mm）  | 18~25     | 25~27      | 27~28      | ≤50     |
| 顶板沉降速率（mm/d） | 1.5~2.2   | 0.3~0.5    | <0.08      | ≤0.5    |
| 巷帮累计收敛量（mm）  | 13~18     | 18~19.5    | 19.5~20    | ≤40     |
| 锚杆受力（kN）     | 60~100    | 80~120     | 85~125     | 80~150  |
| 锚索受力（kN）     | 150~200   | 170~230    | 180~240    | 150~280 |

3.3 施工技术工艺优化改进

（1）基于监测数据的工艺缺陷梳理，充填体早期强度增长偏缓导致前期顶板沉降速率偏高，局部区域锚杆受力偏低（50~60kN）、锚固效果不理想，注浆压力局部波动较大、裂隙填充均匀性欠佳，需针对性改进。（2）关键施工参数优化调整，充填配比水灰比由1.0:1调整至0.9:1、早强剂掺量由2%增至3%；锚杆锚固方式由端头锚固改为全长锚固，锚固剂由2支增至3支；注浆压力控制由人工调节改为稳压阀自动控制，注浆终压稳定在2.0~2.5MPa。（3）优化后技术方案适配性提升分析，优化后顶板累计沉降量降低约20%，锚杆受力均匀性提高、超限率归零，注浆裂隙填充率由78%提升至89%，施工工期缩短15%，技术改进效果显著，方案与断层破碎带围岩条件适配性明显增强。

结束语

本文通过探究断层巷道冒顶失稳核心机理，配套实施预处理、充填加固、围岩支护、巷道修复一体化施工

工艺，结合现场动态监测完成参数优化。治理后巷道顶板沉降、巷帮收敛均远低于管控标准，支护结构受力均匀稳定，围岩加固效果显著。此次施工技术整改有效攻克了断层破碎带巷道冒顶治理难点，工艺实用性与适配性较强，可为矿区及同类地质条件下巷道灾害治理提供可靠的工程借鉴。

参考文献

[1]王帅.过断层巷道围岩失稳破坏机理及控制技术研究[J].煤炭与化工,2024,47(04):125-131.  
[2]刘浩,张勇.深部矿井运输大巷断层破碎带围岩变形规律及支护技术[J].煤矿安全,2023,54(08):189-194.  
[3]赵志强,李建军.断层破碎带巷道冒顶诱因及分步治理施工技术[J].煤炭科学技术,2022,50(11):102-108.  
[4]丁永红.掘进巷道过断层破碎带联合支护技术实践[J].煤矿现代化,2025,33(05):57-67.  
[5]孙文龙.基于断层破碎带稳定控制的运输顺槽协同支护技术研究[J].山东煤炭科技,2024,16(11):36-39.