

# 南京溧水爱景山锶矿掘进巷道过断层时的支护技术

陆振云, 刘怀, 徐晨\*, 刘新光\*, 陈文银, 王子轩

南京金焰锶业有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2026年1月24日; 录用日期: 2026年4月8日; 发布日期: 2026年5月14日

## 摘要

南京溧水爱景山锶矿控矿断裂构造早期为张性断裂, 晚期不同位置由张性转变为压性断裂构造。前期由于对控矿断裂构造属性变化不明, 在巷道掘进过程中过断层的支护方案产生了一定的安全隐患。针对不同力学属性的断层位置, 经过多次工程实践, 本文提出“张性段优先固岩、压性段加强支挡、溶洞段分层支护”的过断层支护方案。经过监测对比, 该方案在围岩变形量、支护稳定性、施工安全成本等方面取得了较好的效果。该技术可为类似工作面过断层提供经验借鉴。

## 关键词

巷道掘进, 过断层, 支护技术, 溧水爱景山锶矿

# Support Technology for Tunneling Crossing Fault in Aijingshan Strontium Deposit of Lishui, Nanjing

Zhenyun Lu, Huai Liu, Chen Xu\*, Xinguang Liu\*, Wenyin Chen, Zixuan Wang

Nanjing Jinyan Strontium Industry Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

Received: January 24, 2026; accepted: April 8, 2026; published: May 14, 2026

## Abstract

The ore-controlling fault of Aijingshan strontium deposit in Lishui, Nanjing is initially a tensile fault, and later changed from the tensile fault to the compressive fault at different locations. In the early stage, due to the unclear changes of the properties of the ore-controlling fault, there were certain safety hazards for Tunneling Crossing Fault. After multiple engineering practices for fault locations

\*通讯作者。

文章引用: 陆振云, 刘怀, 徐晨, 刘新光, 陈文银, 王子轩. 南京溧水爱景山锶矿掘进巷道过断层时的支护技术[J]. 矿山工程, 2026, 14(3): 581-588. DOI: 10.12677/me.2026.143059

with varying mechanical properties, this paper proposes a fault-crossing support scheme, i.e. “prior solidification for tension zones, enhanced support for compression zones, and layered support for karst cave zones”. Through monitoring and comparison, the scheme has achieved favorable results in the surrounding rock deformation, support stability and safety costs. This technology may provide an experience and reference for similar working faces crossing faults.

## Keywords

Tunneling, Crossing Fault, Support Technology, Aijingshan Strontium Deposit of Lishui

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

巷道担负着物资和矿石运输、人员疏散流动、井下通风等重要作用[1]。但是,当巷道掘进过程中遇到较大型断裂构造时,断裂构造发育范围内的围岩裂隙、节理十分发育,岩石蚀变强烈且十分破碎,还常有地下水渗出,因此围岩强度明显下降,有时还形成较大的空洞,导致岩石整体承载力下降、稳定性变差,为此支护难度加大、支护构件效果变差或局部失效、易发生冒顶片帮、落矸伤人等事故[2],不但严重制约巷道掘进速度和矿井建设进度,而且还会带来意想不到的风险。解决过大型断层的破碎顶板支护方法及施工工艺,对保障矿井建设、提高掘进效率、确保井下人身安全等具有重要意义[3]。

南京溧水爱景山锶矿投入开发以来,该矿床已持续开采数十年,随着开采深度不断增加,井下掘进工程面临的地质条件愈发复杂,矿区内控矿断裂发育,巷道掘进不可避免需要穿越多条不同性质的断层。断层带通常存在岩体破碎、围岩稳定性差、节理裂隙发育等问题,掘进过程中容易出现顶板垮落、片帮甚至突水等安全事故,一直是矿山井下掘进施工的技术难点。针对巷道过断层的支护问题,工程技术人员开展了大量研究,不少成果已经在现场工程中得到应用。不过现有研究大多针对属性稳定的单一断层开展技术设计,很少关注同一断层在不同演化阶段发生力学性质转变,进而导致断层不同位置围岩特性差异较大的情况,针对这类特殊地质条件的适配支护技术研究还比较少,难以给同类矿床的掘进施工提供直接参考。

爱景山锶矿的控矿断裂存在较特殊的演化特征,早期为张性断裂,晚期不同位置产生由张性到压性的属性转变[4][5],同一断层带不同区段的破碎程度、围岩应力分布差异明显,常规统一的支护方案难以适配现场需求,也多次导致施工中出现围岩变形超标、支护失效等问题。本文结合爱景山锶矿过 $F_2$ 主断层的掘进工程实践,针对不同力学属性的断层段分别设计适配的过断层支护方案,并对现场应用效果进行分析总结,以期为国内同类地质条件下的矿山巷道掘进施工提供可借鉴的经验。

## 2. $F_2$ 断层地质特征

$F_2$  断裂构造是溧水爱景山超大型锶矿床成矿构造,其次一级断裂构造是容矿构造,矿体赋存于该断层的上盘凝灰岩中,而矿体下盘为坚硬的砂岩,从南西到北东,为砂岩- $F_2$ 断层-矿体-凝灰岩的顺序。矿区内 $F_2$ 断裂构造规模较大,呈北北西向从矿区中部贯穿整个矿区,走向长大于1600 m,宽一般为5~23 m,主要以断层角砾岩形态产出,走向 $320^\circ\sim 340^\circ$ ,倾向 $50^\circ\sim 70^\circ$ ,倾角 $47^\circ\sim 85^\circ$ ,断层上盘沿断裂面斜落断距局部大于500 m [5]。地表、各采矿中段或巷道所见 $F_2$ 断裂构造,其性质及表现形式有所不同(见表1和图1):以勘探线9线为界,在爱景山地表北部, $F_2$ 断裂构造为张性特征,而在爱景山南部则为压性特征,断层面呈舒缓波状(图1(a));-150 m中段北部的7线附近, $F_2$ 断裂构造呈张性特征,以高约3~6 m、宽约1~3 m、可见延长约10~15

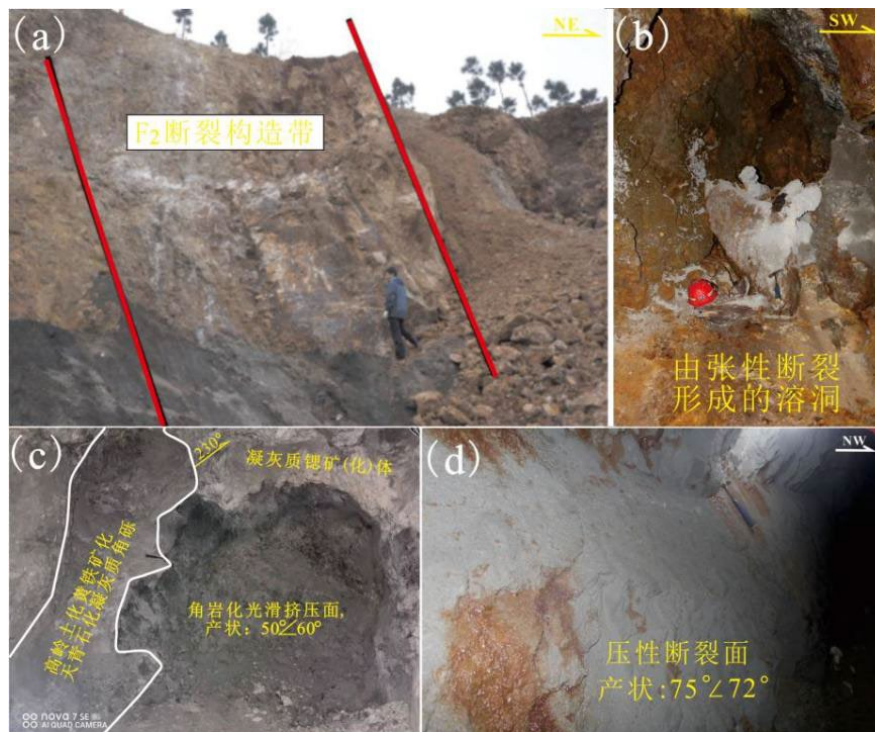
m 的溶洞形式出现(图 1(b)); -150 m 中段南部的 13 线附近,  $F_2$  断裂构造呈现先张性后压性、张性与压性共存的特征(图 1(c)): 见早期张性破碎带长约 5 m, 宽约 1.5 m, 深约 1.5 m, 其内充填了大量高岭土化黄铁矿化天青石化凝灰质角砾(未充满), 而旁侧则为角岩化光滑压性断层面, 倾向  $50^\circ$ , 倾角  $60^\circ$ ; -230 m 中段北部 5 线附近,  $F_2$  断裂构造呈压性特征, 断层倾向  $75^\circ$ , 倾角  $72^\circ$ , 光滑面延长约 12~15 m、斜长约 4 m, 断层面上明显可见擦痕和细小台阶(图 1(d)); -270 m 中段北部,  $F_2$  断裂构造的表现形式为有时呈密集的节理带, 有时溶洞中的透镜状角砾、凝灰质物质呈定向排列, 推测  $F_2$  断裂构造早期为张性、后期则转变为压性。

总体上, -150 m 中段以浅直至地表的北部,  $F_2$  断裂构造均表现为张性特征, 而地表南部并延伸至深部(至少达-270 m),  $F_2$  断裂构造表现为早期张性、晚期压性特征[4]-[6]。

**Table 1.** Manifestations and properties of  $F_2$  fault structure

**表 1.**  $F_2$  断裂构造的表现形式及其属性

位置	表现形式	张性特征	压性特征
地表	断层	爱景山山体北部	爱景山山体南坡(图 1(a))
-150 m 中段	溶洞	7 线附近(图 1(b))	
-150 m 中段	破碎带及光滑断层面	13 线附近, 张性与压性共存, 先张后压(图 1(c))	
-230 m 中段	光滑断层面		5 线附近(图 1(d))
-270 m 中段	密集节理带	3 线附近, 早期为张性, 晚期转换成压性	
-270 m 中段	溶洞及充填物	5 线附近, 早期为张性, 晚期转换成压性	



(a) 爱景山南坡  $F_2$  压性断裂构造带(照片); (b) -150 m 中段 7 线附近  $F_2$  张性断裂形成的溶洞(照片); (c) -150 m 中段 13 线附近  $F_2$  断层先张后压特征(照片); (d) -230 m 中段 5 线附近  $F_2$  压性断裂光滑面(照片)

**Figure 1.** The manifestation and properties of  $F_2$  fault structures at different locations [4]-[6]

**图 1.**  $F_2$  断裂构造在不同位置的表现形式及属性[4]-[6]

### 3. 过断层方案

#### 3.1. 施工前的准备

在过断层期间,应做好超前地质勘探工作,采用物探超前、钻探验证措施,对断层参数尤其是倾向和倾角的变化、断层破碎带内岩体破碎和裂隙发育程度、以及带内水文地质等基本特征,应充分掌握并做到心中有数;严格按设计的过断层期间钻孔布置参数进行钻孔施工,防止出现安全事故[7]。在巷道施工及回采掘进过程中,针对 $F_2$ 断裂构造不同位置表现的形式尤其是张性断裂形成的较大溶洞、压性断裂形成的较大破碎带时,需采用不同的过断层技术方法,才能使得施工巷道达到顶板强化、片帮硬化、有效支护、安全畅通的目的。

#### 3.2. 施工方案

1) 压性断层(图 1(a)和图 1(d))。压性断层包括逆断层和具有压性特征的平移断层。地表及浅部,压性断裂带较宽,带内岩石较破碎多呈角砾状,岩石局部高岭土化、糜棱岩化发育;深部压性断层的断裂面多呈舒缓状,由 1~3 条同向断裂构成断层带,宽度一般 1~2 m,带内岩石较破碎多呈角砾状,但高岭土化、糜棱岩化一般不发育。压性断层带内溶洞不发育,很少含裂隙水,可见少量裂隙水淋滤。因此过断层期间,应视断层落差、影响长度、与工作面的夹角等情况[8],提高支架初撑力以有效支护顶板,防止断层带片帮冒顶。

2) 张性正断层(图 1(b)和图 1(c))。张性正断层内,多为角砾充填,凝灰质或方解石胶结,局部为较大溶洞,断层壁或充填物表面自生长方解石或天青石细小晶簇集合体。断层上盘岩石较为破碎,节理、裂隙较为发育。断层内多含裂隙水,少量溶洞中充满了岩溶水。施工前,应先充分排除溶洞中的积水,防止突水事故,然后进行支护。由于顶板、断层上盘岩石破碎,极易造成空顶冒落、片帮,导致支护失稳而出现歪架、倒架事故,在对支护两侧和顶部加固的同时,需要进行注浆固化[9]-[12]。必要时(如溶洞高度较大),应尝试上下楼层式支护,即在底部支护前,在上层进行优先支护加固,形成一定数量的撑帮柱,确保两帮的安全。建造撑帮柱时,要严格地控制两个柱子之间的距离,避免出现间距过大、存在空顶的现象,防止出现塌方。

本次掘进施工实际场景,按不同断层属性分别确定了具体的支护参数。

1) 压性断层段 U 型钢可缩性支架支护。采用 11 号矿用工字钢加工,顶梁采用弧形结构,梁长设计为 3.2 m,棚腿斜长设计为 2.8 m,每架支架之间设置 4 道 $\phi 16$  mm 圆钢拉杆,拉杆间距控制在 0.8 m,架间背帮背顶采用规格为 1200 × 100 × 50 mm 的木质背板,背板与围岩之间的空隙采用碎石充填严实。支架棚距设置按围岩破碎程度调整:断层带边缘围岩完整性较好的区域,棚距为 0.7 m;断层核心破碎区域,棚距缩小为 0.5 m。支架安装完成后,采用 ZY-200 型液压千斤顶提供初撑力,初撑力要求不低于 28 MPa,确保支架能够紧密贴合顶板,避免顶板出现离层。

2) 压性断层段锚杆锚索加强支护。在 U 型钢支架顶部增设锚杆锚索加强,锚杆采用 $\phi 22$  mm 左旋无纵筋螺纹钢锚杆,长度 2.4 m,每架支架顶部布置 3 根锚杆,间排距 1.0 × 0.6 m,锚杆配套规格为 150 × 150 × 10 mm 的方形拱形钢托盘,锚杆预紧力要求不低于 200 N·m,锚固段长度不小于 0.8 m,采用 Z2350 型树脂药卷锚固。锚索采用 $\phi 17.8$  mm 低松弛预应力钢绞线,长度设计为 6.3 m,每两架支架布置 1 根锚索,锚索间排距 1.4 × 1.2 m,锚索配套规格为 300 × 300 × 16 mm 的方形钢托盘,锚索预紧力要求不低于 100 kN,锚固段长度不小于 1.5 m。

3) 张性断层破碎段注浆加固参数。针对张性断层破碎带,注浆采用普通硅酸盐水泥加水玻璃配制的双液浆,水泥标号为 P.O 42.5,水灰比控制在 1:0.8~1:1.2,水玻璃掺量为水泥质量的 3%~5%,浆液初

凝时间控制在 5~8 分钟, 既保证注浆扩散范围, 又能快速固化围岩。注浆钻孔采用“梅花形”布置, 钻孔间距为 1.0 m, 排距为 1.2 m, 钻孔深度为 2.5~3.0 m, 终孔压力控制在 2.0~2.5 MPa, 注浆顺序采用从两侧帮部向顶部逐排施工, 间隔跳注避免串浆, 确保破碎围岩充分胶结固化。

4) 大型溶洞段上下楼层式支护参数。当溶洞高度超过 4 m 时, 采用上下分层楼层式支护: 下层支护为本次掘进巷道, 仍然采用 11 号 U 型钢支架, 棚距 0.5 m, 帮部每侧布置 3 根  $\phi 22$  mm 锚杆, 锚杆长度 2.0 m, 间排距  $0.8 \times 0.5$  m, 锚杆锚固后安装撑帮背板, 确保帮部围岩稳定。上层溶洞顶部采用锚网喷支护, 钢筋网采用  $\phi 6$  mm 钢筋焊接而成, 网格尺寸  $100 \times 100$  mm, 锚杆采用  $\phi 20$  mm 砂浆锚杆, 长度 3.0 m, 间排距  $1.0 \times 1.0$  m, 锚杆安装后挂网喷射 C20 混凝土, 喷层厚度控制在 100~120 mm, 同时在上层下层支护之间施工间距为 1.5 m 的木点柱, 点柱采用直径不小于 20 cm 的实木, 顶部和底部均垫设木板扩稳, 防止上层破碎围岩垮落冲击下层支架。

### 3.3. 施工设计参数

结合溧水爱景山锑矿  $F_2$  断层不同位置的围岩破碎情况, 对早期施工设计和目前施工设计进行对比(表 2), 分别比较了 U 型钢支架、锚杆支护和喷射混凝土支护的具体参数, 便于后续不同地质条件下直接参照选用。

**Table 2.** Support design parameters in the different surrounding rocks on both sides of the fault  
**表 2.** 断层两侧不同围岩条件下的支护设计参数

项目	早期施工设计	目前施工设计	
	9 号矿用工字钢	11 号矿用工字钢	
U 型钢	型号		
	间距(m)	1.0	破碎带: 0.5, 边缘带: 0.7
	初撑力(Pa)	$\geq 20$	$\geq 28$
锚杆	材料	普通圆钢锚杆	左旋无纵筋螺纹钢锚杆
	长度(m)	1.8~2.0	顶锚杆: 2.4, 帮锚杆: 2.0
	直径(mm)	18	22
	间距(m)	$1.2 \times 1.2$	顶锚杆: $1.0 \times 0.6$ , 帮锚杆: $0.8 \times 0.5$
	预紧力(KPa)	$\geq 80$	$\geq 200$
	喷射混凝土	厚度(mm)	80
	强度(Pa)	C15	C20
注浆料	注浆压力(Pa)	/	2.0~2.5
	止浆标准参数	/	压力达到设计值后稳压 5 分钟, 且吸浆量小于 5 L/分

除表 2 中明确的核心参数外, 针对锚索、背帮背顶、拉杆等配套构件, 实际施工设计也补充了部分参数: 锚索采用  $\phi 17.8$  mm 低松弛预应力钢绞线, 长度统一设计为 6.3 m, 每两架支架布置 1 根, 间排距为  $1.4 \times 1.2$  m, 预紧力要求不低于 100 kN, 锚固段长度不小于 1.5 m; 背帮背顶采用废弃钢轨、钢板等材料二次利用, 背板与围岩之间的空隙全部采用碎石充填严实, 避免出现空隙导致围岩二次松动; 每架 U 型钢支架之间设置 4 道  $\phi 16$  mm 圆钢拉杆, 拉杆间距严格控制在 0.8 m, 保证支架整体稳定性, 防止单架支架失稳引发连锁倾倒。针对溶洞段上下层支护的补充参数中, 上层锚网喷使用的钢筋网为  $\phi 6$  mm 钢筋焊接而成, 网格尺寸统一为  $100 \times 100$  mm; 上下层之间设置的支撑木点柱直径不小于 20 cm, 点柱间距控制在 1.5 m, 顶部和底部均垫设厚度不小于 50 mm 的实木垫板扩大受力面积, 避免点柱刺顶压底。

### 3.4. 施工效果对比

针对爱景山锑矿掘进巷道过  $F_2$  断层方案, 对采用新支护方案的过断层巷道进行了为期 12 个月的持续监测, 同时调取了早期支护方案过断层巷道的同期监测数据, 从围岩变形量、支护稳定性、施工安全成本三个维度进行对比分析。

1) 围岩变形。原设计方案在压性断层破碎段施工完成后 1 个月, 顶底板累计位移量平均达到 182 mm, 最大位移量出现在断层核心破碎段, 达到 276 mm; 两帮收敛量平均达到 137 mm, 最大收敛量 214 mm, 且在施工完成 6 个月后, 围岩变形仍未稳定, 每月仍有平均 3~5 mm 的持续变形量, 部分区域已经出现背板压碎、支架轻微歪斜的情况。而采用优化后的新支护方案, 施工完成 1 个月后, 顶底板累计位移量平均仅为 58 mm, 最大位移量仅出现在-150 m 中段 7 线溶洞支护段, 为 97 mm; 两帮收敛量平均为 42 mm, 最大收敛量 71 mm; 施工完成 3 个月后, 围岩变形已经基本稳定, 6 个月后监测到的累计变形增量平均不足 2 mm, 12 个月监测周期内未出现超过允许变形量的测点, 所有测点的最终变形量均控制在 100 mm 以内, 远低于矿山规定的 300 mm 允许变形阈值。从监测数据可以直观看到, 优化后的新支护方案对围岩变形的控制效果提升非常明显, 对  $F_2$  断层复杂结构的适配性远优于原方案。

2) 支护稳定性。早期支护方案施工的过断层巷道, 投用 1 年后的返修率达到 32%, 主要问题包括支架歪斜倒架、锚杆拉断失效、片帮冒顶清理等, 返修维护费用高, 且每次返修都需要中断巷道通行, 影响采矿作业的正常推进。而新支护方案施工的过断层巷道, 投用 1 年后仅发现 2 处局部小范围注浆层开裂, 没有出现支架失稳、锚杆锚索失效等严重问题, 整体返修率仅为 3% 左右, 总维护费用仅几千元, 支护稳定性提升十分显著, 也大幅降低了巷道的全生命周期维护成本。

3) 施工安全维护。原方案过断层施工期间, 具有片帮冒顶事故风险; 新方案施工针对性强, 参数更加合理, 安全风险得到控制。

从岩石力学作用机制分析, 优化后的支护体系, 是根据  $F_2$  断层不同位置的张压属性匹配了差异化的支护方式: 对于压性断层破碎带, 通过缩小 U 型钢棚距、提高初撑力, 搭配顶锚锚索的加强支护, 主动给破碎围岩提供足够的支撑反力, 限制了围岩早期的松动变形, 避免了破碎围岩因应力释放出现持续离层垮落; 对于张性断层破碎带和溶洞段, 先通过双液浆注浆把松散破碎的围岩胶结成整体, 提高了破碎岩体的内聚力和内摩擦角, 改善了围岩自身的承载能力, 再结合锚网喷和上下分层支护, 把上部溶洞的自重荷载均匀传递到巷道稳固帮底, 避免了局部应力集中导致的支护失稳, 这种“先固围岩、再做支护”的思路, 正好匹配了张性断层松散破碎的岩体特性, 因此能取得更好的支护效果。

如图 2, 早期过正断层时, 由于顶部、侧面槽钢型号偏小且间距过大、锚杆加固数量不足、间距过大且长度偏短, 顶部支护出现弯曲变形, 顶板出现冒落并产生空洞, 侧部出现片帮局部垮塌(图 2(a)); 由于未进行防锈防腐处理, 受地下水裂隙水的淋滤作用及围岩中有害物质的腐蚀作用, 整体支护架构出现严重锈蚀现象, 支护强度不断降低, 也加剧了支护弯曲、顶板冒落和片帮的发生, 因此存在着较大的风险隐患。新方案支护后的巷道(图 2(b)), 顶板平整, 帮部没有明显片帮, 支架排列整齐, 没有出现歪架倒架问题, 与早期方案施工后巷道变形明显、需要频繁返修的状态形成了鲜明对比。

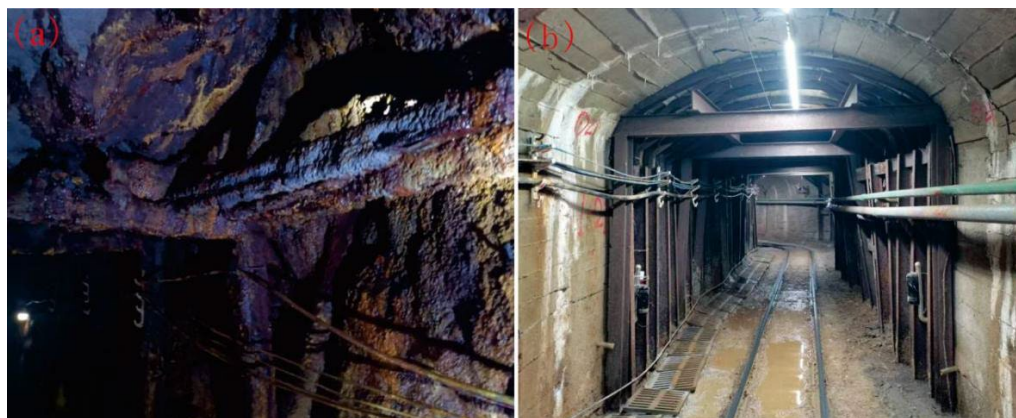
### 3.5. 注意事项

#### 1) 防腐

由于张性断层尤其是上盘裂隙较丰富, 为防止裂隙水、地下水对支架的腐蚀, 注浆前应对支护进行防腐处理。

#### 2) 注浆

在工作面空顶支架附近选择顶板完好地段, 采用锚杆钻机打眼布置注浆孔, 钻孔角度及方位可根据



(a) -150 m 中段 5 线附近; (b) -230 m 中段 9 线附近

**Figure 2.** Support comparison for crossing faults in the past and present (Photo, View Width 3 m)

**图 2.** 以前及现在过断层的支护效果对比(照片, 视域宽度 3 m)

现场实际情况进行调整。注浆时, 注浆孔的前方及其附近严禁站人, 以防伤人。根据顶帮裂隙及实际注浆效果调整注浆料, 施工时严格控制注浆压力, 当出现大面积漏浆(漏浆量 = 泵的注入量)时, 即可换孔注浆或停止注浆[13]。

### 3) 安全管理

对顶板加固处理后, 为防止断层尤其是压性断层的后期蠕动而破坏支护, 为此应对过断层的支护进行定期观察, 记录位移量。

由于断层带岩体破碎、裂隙发育, 为裂隙水的积存与运移创造了条件, 容易造成积水或透水事故。因此要在工作面揭露断层前做好断层地质调查、预测预报工作, 制订防透水安全技术措施[9]。

在掘进施工过程中, 必须严格执行“敲帮问顶”制度, 严禁在未检查顶板的情况下盲目施工, 做到“无撬查不作业”、“无支护不作业”。针对掘进爆破作业, 要严格控制装药量, 采用多打眼、少装药的光面爆破工艺, 减少爆破震动对断层破碎围岩的扰动, 避免爆破冲击力导致破碎围岩提前松动垮落。

过断层施工期间要安排专门的监测人员, 按预定监测方案对巷道围岩变形、支架受力情况进行测量记录, 一旦发现变形量超过预警值、支架变形异响、锚杆锚索拉力异常等情况, 必须立即停止作业, 撤出所有作业人员到安全区域, 待技术人员排查完隐患并制定补强方案后, 才能恢复施工。针对大型溶洞段施工, 溶洞内部往往积存有害气体, 施工前必须提前用通风机对溶洞进行不少于 30 分钟的通风, 检测瓦斯、一氧化碳、硫化氢等有害气体浓度符合安全标准后, 才能进入溶洞开展支护作业, 作业期间也要持续通风, 定期检测气体浓度, 防止有毒有害气体溢出引发中毒窒息事故。

此外, 要针对过断层可能发生的片帮冒顶、透水等事故编制专项应急救援预案, 定期组织作业人员开展应急演练, 确保所有作业人员熟悉逃生路线和应急处置流程, 一旦发生突发事件能快速响应、有序撤离, 最大程度降低事故风险, 保障施工人员生命安全。

## 4. 结语

对南京溧水爱景山锆矿  $F_2$  断层掘进巷道支护的优化研究, 清晰验证了断裂性质转变对过断层支护策略的决定性影响:  $F_2$  断层由压性核心破碎带向两侧张性破碎带过渡, 岩体破碎形式、应力分布特征存在明显差异, 单一标准化的支护方案无法适配不同段落的地质条件, 只有针对不同性质的断层段匹配差异化支护设计, 才能有效控制围岩变形, 保障巷道长期稳定。

优化形成的“压性段加强支挡、张性段优先固岩、溶洞段分层支护”组合方案, 经过现场 12 个月的

监测验证,对中小型金属矿类似地质条件下的过断层掘进支护具备良好的参考价值,尤其适用于落差5~12 m、围岩节理裂隙发育、伴有小型溶洞发育的过断层施工场景。该技术可为类似工作面过断层提供经验借鉴。

未来针对金属矿山过断层支护的研究,可以进一步围绕高地应力条件下破碎围岩的应力演化规律、富水断层带支护与治水的协同设计、智能化监测预警系统在过断层施工中的应用等方向展开,不断完善复杂地质条件下的巷道支护技术体系,为金属矿山深部安全开采提供更可靠的技术支撑。

## 基金项目

南京金焰锶业有限公司“爱景山锶矿地下开采延深工程”(编号:JYSY2019001)(内控)项目资助。

## 参考文献

- [1] 康红普. 我国煤矿巷道围岩控制技术发展70年及展望[J]. 岩石力学与工程学, 2021, 40(1): 1-30.
- [2] 任俊. 火成岩侵入区域巷道新型锚注支护技术应用[J]. 江西煤炭科技, 2024(4): 20-24.
- [3] 廖文句. 掘进巷道破碎顶板支护工艺技术应用研究[J]. 煤炭新视界, 2025(1): 140-142.
- [4] 刘新光, 陆振云, 刘雯雨, 等. 溧水爱景山超大型锶矿控矿断裂构造性质及转换机制[J]. 矿山工程, 2025, 13(6): 1186-1196.
- [5] 陈冬, 李鑫, 缪柏虎, 等. 江苏溧水卧龙山锶矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿床地质, 2016, 35(4): 709-723.
- [6] 刘新光, 陆振云, 刘雯雨, 等. 江苏溧水爱景山锶矿隐伏断裂构造对矿体形态的控制[J]. 矿山工程, 2025, 13(1): 102-112.
- [7] 神雷雷, 霍晓林. 综采工作面过断层技术分析与实践[J]. 企业科技与发展, 2019(2): 184-185.
- [8] 徐立志. 工作面回采期间快速过断层技术应用实践[J]. 江西煤炭科技, 2023(1): 57-60.
- [9] 赵长红. 大采高综采工作面过断层技术实践[J]. 中州煤炭, 2010(7): 59-60.
- [10] 李虎. 煤矿巷道掘进过断层破碎带围岩支护技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(6): 37-39.
- [11] 徐亚洲. 巷道掘进过断层破碎带围岩支护技术研究[J]. 矿业装备, 2024(11): 28-30.
- [12] 陈飞. 巷道掘进过断层破碎带围岩支护技术研究[J]. 石油石化物资采购, 2023(19): 103-105.
- [13] 杨阳. 浅谈综采工作面过断层技术实践[J]. 江西煤炭科技, 2018(2): 149-6150.