

断层穿过巷道固帮控底稳顶支护

Wall Securing, Floor Control and Roof Stabilization and Support with
Fault Passing through Roadway

冯兴隆¹, 李争荣¹, 者亚雷², 彭 张¹, 魏银鸿¹, 沙文忠¹

(1. 云南迪庆有色金属有限责任公司, 云南 香格里拉 674400; 2. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093)

摘要:普朗铜矿底部结构巷道破坏严重区域主要集中在断层纵横交错地点,采用简单的喷锚网支护不能满足巷道稳定性要求。通过大量现场破坏情况调查,对出矿穿脉的破坏机理进行了阐述,并以此提出固帮控底稳顶支护方案,利用 FLAC^{3D} 数值模拟软件对比分析了现有双层喷锚网支护及固帮控底稳顶支护方案,得出固帮控底稳顶支护方案对断层穿过出矿穿脉时,具有控制围岩协同变形的效果。

关键词:断层; 巷道支护; 破坏机理; 数值模拟

中图分类号: TD353 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)01-0028-05

Abstract:The severely damaged areas of the structural roadway at the bottom of the Pulang Copper Mine is mainly concentrated in the crisscross location of the faults, and the simple bolting and web-shotcreting support cannot meet the roadway stability requirements. Through a great deal of on-site damage investigation, this article has expounded the drawing crosscut failure mechanism, and based on this, proposed a wall securing, floor control and roof stabilization supporting scheme. It also conducted a comparative analysis of the existing double-layer bolting and web-shotcreting support and the wall securing, floor control and roof stabilization supporting scheme by using FLAC^{3D} numerical simulation software. The analysis found that the wall securing, floor control and roof stabilization supporting scheme has the effect of controlling the co-deformation of surrounding rock where fault passes through drawing crosscut.

Key words: fault; roadway support; failure mechanism; numerical simulation

1 前言

普朗铜矿是我国目前采用自然崩落法开采的最大地下矿山之一,由于所有的出矿及运输工程都位于底部结构中,因此底部结构的稳定与否直接决定矿山能否安全、持续的生产。普朗铜矿出矿穿脉位于 3 720 m 水平,距离地表约 200 m,开采区域存在多条纵横交错的断层,当断层穿过出矿穿脉时,采用目前的喷锚网支护,巷道会发生不同程度的破坏,因此有必要对断层穿过出矿穿脉时巷道的破坏机理及支护方案进行研究^[1-5]。

2 巷道破坏机理分析

复杂地层中地下巷道工程环境恶劣,地质构造复杂,通常被众多的地质断层切割,断层破坏了岩体的完整性,降低了岩体强度,成为了巷道结构局部失

稳的主要因素。普朗铜矿底部结构岩层中断层纵横交错,矿区首采区赋存的 5 条断层将矿体纵横切割,断层及附近影响带矿岩破碎,岩石自承载能力差,底部结构容易发生变形破坏。

普朗铜矿底部结构破坏严重区域主要集中在 S3、S4、S5 出矿穿脉,且位于多条断层纵横交错地点,岩体较为破碎,显然断层对巷道的稳定性有较大影响。通过对现场大量破坏情况调查发现,出矿穿脉的主要破坏部位是巷道直墙底部、直墙拱部和直墙中部的的位置出现破坏,现场多个地方表现都较为明显,两帮出现明显的底鼓和片帮,而顶板则保持完整状态未发生破坏,破坏情况如图 1 所示。



图 1 现场破坏情况图

变形经典理论的一个重要标志是变形的协调

[作者简介] 冯兴隆(1980-),男,博士,高级工程师,主要从事数字矿山、三维可视化建设方面研究工作。

[引用格式] 冯兴隆,李争荣,者亚雷,等.断层穿过巷道固帮控底稳顶支护[J].中国矿山工程,2022,51(1):28-32.

性,即每一个物质点变形后在空间都有一个唯一确定的位置。如果对物体的假想微元施加任意变形,一般而言,若不再另加变形,我们不能将这些变形的微元重新拼合成为一个变了形的物体整体。我们说,这种变形是非协调的。只有满足某些限制——“协调条件”,换言之,变形必须是协调的,变形后的微元才能无缝地拼合起来。根据普朗铜矿巷道腰线至墙脚位置可能最先发生变形破坏的现象,结合变形协调理论,巷道开挖空间是一定,先变形的区域所产生的变形空间,若不施加一定的限制措施,势必牵制其余巷道围岩错位以协调变形空间。

巷道的失稳过程是两帮腰线位置首先表现出显著的剪出破坏,继而顶板出现弯曲变形,拱角的圆弧曲线向犄角形过渡,应力集中现象不断加剧导致围岩压碎顶板弯曲下沉,两帮承载力的削弱加上不断下沉顶板所施加的压力增大,继而发生大规模的片帮或垮帮;最终形成“两帮剪切变形→顶板弯曲下沉→两帮受压碎裂→片帮或垮帮→两帮对顶板支撑削弱→顶板弯曲下沉加剧→两帮破裂加剧”的恶性循环。随着周围出矿口的放矿扰动,顶板处于动荷载影响范围及程度变大,形成大量破裂区^[6-8]。

由上述围岩变形破坏特征可知,巷道顶板岩层表现出叠合梁及冒落拱的结构特性,而两帮表现出裂隙体结构属性,且两帮与顶、底间层理发育,故围岩属于强顶弱帮型。所以,针对这类巷道围岩条件,本文提出了固帮控底稳顶支护方案。

3 支护方案

3.1 现有支护方案

设计采用双层喷锚网进行支护:第一次支护采用钢纤维混凝土,砂浆锚杆,金属网联合支护。喷射混凝土厚度 100 mm,强度等级 C25,砂浆锚杆采用灰砂比 2:1 水泥砂浆全长锚固,锚杆体使用 $\phi 22$ mm 二级螺纹钢,间距 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$,锚杆长度均为 2.25 m,托盘为 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 钢板,第一次锚杆支护共 11 根;金属网采用 $\phi 6.5$ mm 钢筋制作,网度 $150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 。

第二次支护采用钢纤维混凝土—砂浆锚杆—金属网—中长锚索支护。锚网支护及钢纤维喷射混凝土支护与第一次相同,第二次支护增加中长锚索支护,拱部 4 根锚索,两帮两根锚索,锚索间距 1.5 m,排距 2.0 m。锚索由 2 根 $\phi 15.20$ mm 的 1×7 标准钢绞线组成,采用灰砂比 2:1 砂浆全长黏结。

3.2 固帮控底稳顶支护方案

通过对巷道破坏机理及破坏区域围岩变形特征分析可知,巷道顶板岩层表现出叠合梁及冒落拱的结构特性,而两帮表现出裂隙体结构属性,且两帮与顶、底间层理发育,故围岩属于强顶弱帮型。所以,针对这类巷道围岩条件,本文提出了固帮控底稳顶支护方案^[9-10]。

设计采用的双层喷锚网支护每层锚杆间距为 1 m,在施工规范理想条件下,锚杆间距为 0.5 m,锚杆间距太小,此时可能会产生“群锚效应”。即锚杆在地层产生的应力场相互重叠,将减小锚杆的抗拔能力并增加位移量。加之,过密的锚杆会使得断层区域的岩体更加破碎,影响岩体的完整性,不能充分发挥锚杆组合梁理论的支护方式。为避免此类现象发生,可以适当增大锚杆间距增加锚杆的长度。固帮控底稳顶支护方案中选用单排锚杆,间距为 1 m,锚杆长度则根据现场松动圈实测结果进行选取。声波测试结果 S4 穿脉最大松动圈范围为 2.4 m,锚杆长度应超出松动圈深度 30 cm,因此选取锚杆长度为 2.7 m。

针对顶板下沉量大,其锚杆支护宜选用组合梁理论与悬吊理论相融合的方式,而两帮因具有裂隙体破坏特征,其锚杆支护宜选用挤压加固和整体锚固相融合的方式。固帮控底稳顶支护方案具体为:巷道两帮浇筑厚度为 800 mm 混凝土,强度等级 C25;顶板采用钢拱架及喷射厚 200 mm 钢纤维混凝土进行支护,采用规格为 0.55×30 mm 端钩型钢纤维,掺量 40 kg/m^3 ,底板浇筑 300 mm 混凝土。锚杆体使用 $\phi 22$ mm 二级螺纹钢,间距 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 。巷道两帮及底板打 8 根长 2.7 m 的全长砂浆锚杆,顶板打 6 根长 2.7 m 的预应力锚杆,两边墙脚打长度为 4 m 的扎脚锚杆,拱部打 6 根长度为 8 m 的锚索,支护形式如图 2 所示。

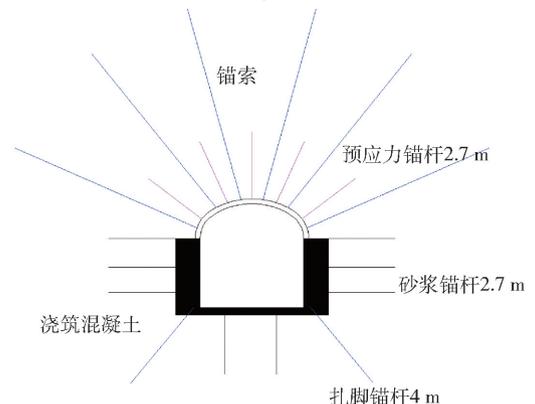


图2 固帮控底稳顶支护示意图

4 数值模拟计算分析

4.1 计算模型

利用FLAC^{3D}软件建立断层穿过巷道顶底板数值模拟,其中巷道尺寸为4.2 m×3.9 m,断层厚度为1 m,在巷道顶底板及两帮布置监测点进行位移、应力测量,建立模型如图3所示。

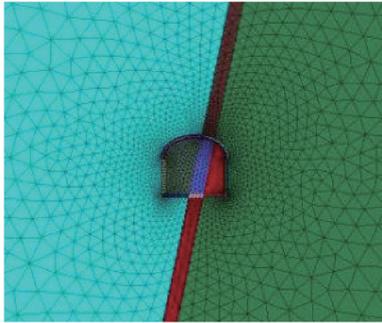


图3 断层穿过巷道建模图

4.2 应变分析

从图4、图5整体位移云图可以看出,巷道开挖采用双层喷锚网进行支护,两帮及顶底板围岩位移变形均较大,最大位移量为1.54 cm;采用固帮控底稳顶支护方案支护后,围岩位移量比采用双层喷锚网进行支护有所减小,其中,巷道两帮位移变形量明显减小,最大为0.6 cm,巷道顶底板最大位移量为0.1 cm。从图6、图7巷道监测点X方向位移趋势图可以看出,采用双层喷锚网进行支护,巷道两帮即断层上下盘围岩变形量差距较大,断层下盘围岩的位移量较断层上盘围岩的位移量大;采用固帮控底稳顶支护方案,断层上下盘围岩形变均匀,未产生两帮变形不一致的现象。说明断层穿过巷道时采用固帮控底稳顶支护方案具有较好的控制形变效果,巷道协同变形。

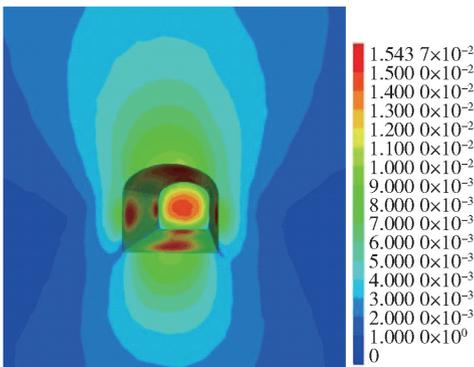


图4 双层喷锚网支护整体位移云图

4.3 应力分析

从图8、图9可以看出,巷道开挖采用双层喷锚

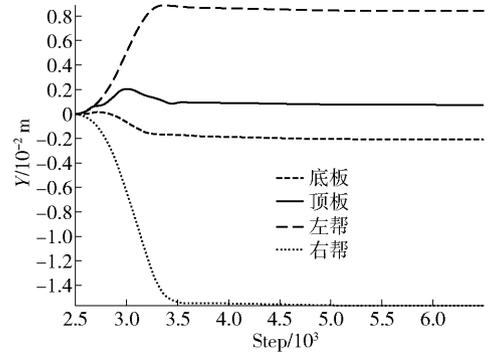


图5 双层喷锚网支护X方向位移趋势图

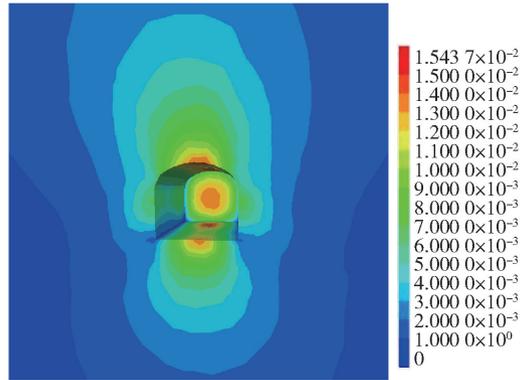


图6 固帮控底稳顶支护整体位移云图

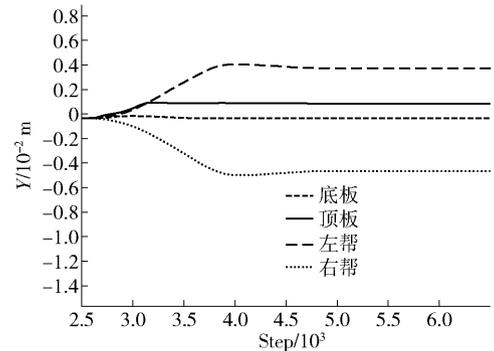


图7 固帮控底稳顶支护X方向位移趋势图

网进行支护后,围岩有拉应力出现,最大拉应力值为0.2 MPa,且拱角位置有明显的应力集中现象发生,应力集中最大值为3.11 MPa,断层上下盘围岩受力不相同,断层上盘巷帮围岩以压应力为主,断层下盘巷帮围岩应力释放明显,表现为以拉应力为主,断层下盘围岩容易发生由拉应力导致的变形破坏。采用固帮控底稳顶支护方案进行支护,拉应力及应力集中现象消失,与采用双层喷锚网支持相比,巷道顶板应力减小,而巷道两帮应力则增大,具体如图10、11所示。这是由于顶板长锚索和预应力锚杆将巷道顶板断层围岩释放压力部分的转移到固帮后稳定的巷道两帮,将内应力场中的支承压力部分的转移到支护体外应力场中,有效地减轻了顶板压力。说明断

层穿过巷道时采用固帮控底稳顶支护方案能够减轻顶板下沉量并防止了断裂顶板的台阶下沉和切顶现象的发生。

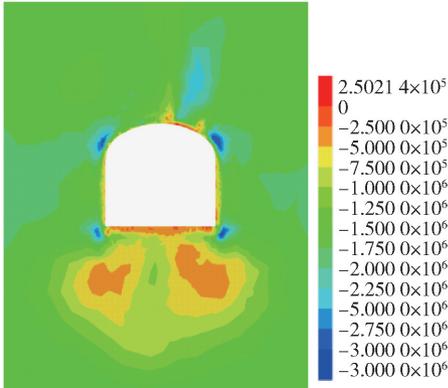


图 8 双层喷锚网支护应力云图

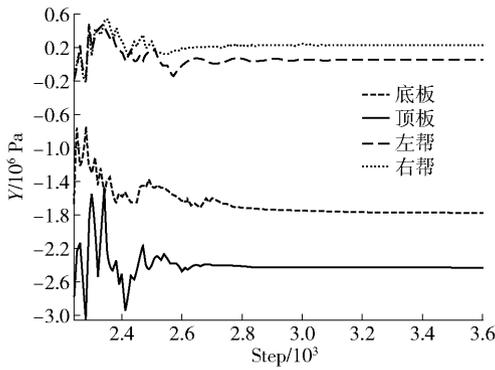


图 9 双层喷锚网支护 X 方向应力趋势图

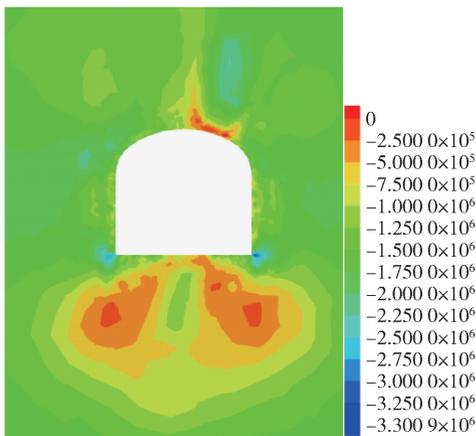


图 10 固帮控底稳顶支护应力云图

4.4 塑性区分析

从图 12、图 13 可以看出,采用双层喷锚网对巷道支护后,塑性区分布范围及塑性区体积明显比不支护时减小,在断层下盘附近区域有小范围的塑性区出现,而采用固帮控底稳顶支护方案对巷道支护后,巷道围岩基本上没有塑性区,表现出

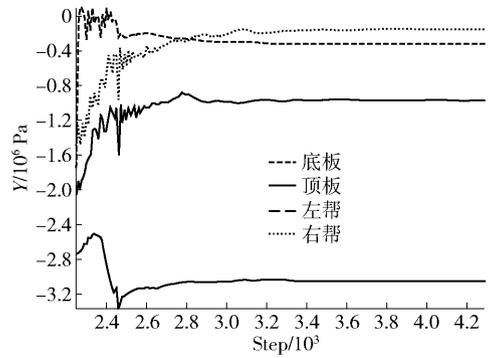


图 11 固帮控底稳顶支护 X 方向应力趋势图

v_shear_now	1.462 225×10 ¹
v_shear_past	9.185 056×10 ²
v_tension_now	4.217 617×10 ⁻¹
v_tension_past	7.888 652×10 ¹

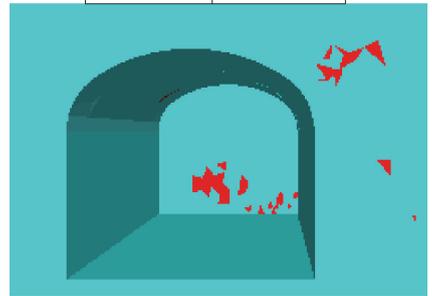


图 12 双层喷锚网支护塑性区图

v_shear_now	1.943 050×10 ⁰
v_shear_past	8.694 319×10 ²
v_tension_now	2.113 210×10 ⁻¹
v_tension_past	5.569 375×10 ¹

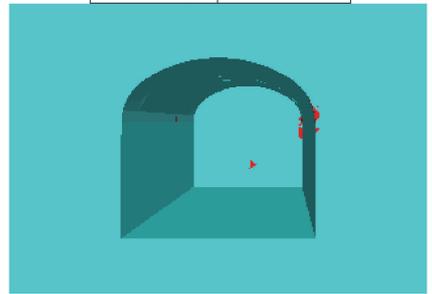


图 13 固帮控底稳顶支护塑性区图

较好的稳定性。

4.5 锚杆安设位置对固帮控底稳顶支护方案影响分析

上述计算方案中,锚杆位置是安设于巷道围岩上,现考虑对混凝土支护结构采用后锚固技术(在混凝土浇筑体上打孔安设锚杆并与巷道围岩连接)进行计算分析,计算结果如图 14 所示。

从图 14 可以看出,采用混凝土后锚固技术进行支护,整体位移比锚杆锚固于围岩上时明显减小。这是由于采用混凝土后锚固技术,将混凝土支护体与围岩紧密联系成为整体共同发挥作用。

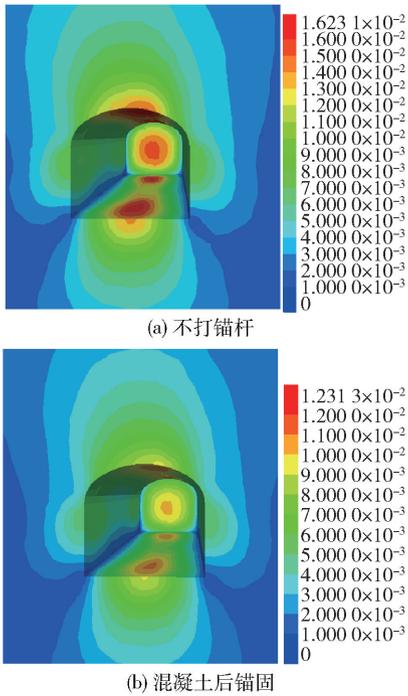


图 14 整体位移图

5 结论

通过现场破坏调查分析,以及采用 FLAC^{3D} 采用数值软件对矿山现行设计的双层喷锚网支护与固帮控底稳顶支护进行分析比较,得出以下结论:

(1) 普朗铜矿断层穿过底部结构时,出矿穿脉的失稳过程是两帮腰线位置首先表现出显著的剪出破坏,继而顶板出现弯曲变形。

(2) 采用双层喷锚网支护,巷道顶底板的位移量较巷道两帮的位移量大,断层下盘围岩的位移量较断层上盘围岩的位移量大。断层上下盘围岩受力

不相同,断层上盘巷帮围岩以压应力为主,断层下盘巷帮围岩应力释放明显,表现为以拉应力为主,断层下盘围岩更容易发生变形破坏。

(3) 采用固帮控底稳顶支护方案,能够有效控制巷道围岩的不均匀变形,减轻顶板下沉量并防止了断裂顶板的台阶下沉现象发生,对巷道变形破坏具有较好的控制效果。

[参考文献]

- [1] 曾宪涛. 普朗铜矿自然崩落法采矿底部结构稳定性研究[J]. 中国矿山工程, 2019, 48(1): 1-7.
- [2] 刘华武, 冯兴隆, 梁江波, 等. 普朗铜矿大规模开采关键技术应用研究[J]. 矿业研究与开发, 2016, 36(7): 1-5.
- [3] 郭林宁, 侯克鹏, 冯兴隆, 等. 基于 FSE-ANP 的普朗铜矿自然崩落法采矿工艺风险评估[J]. 工业安全与环保, 2020, 46(1): 9-12, 87.
- [4] 朱忠华, 代碧波, 陶干强, 等. 自然崩落采矿法研究及应用[J]. 金属矿山, 2019(12): 1-11.
- [5] 夏志远, 谭卓英, 裴青彦, 等. 高水平地应力下自然崩落法底部结构灾变机理[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52(4): 142-149.
- [6] 谢俊. 高应力穿断层群巷道围岩破坏机理及控制技术研究[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(12): 45-48, 53.
- [7] 李文彪. 断层活化诱导大巷变形机理及修复加固技术研究[J]. 能源技术与管理, 2019, 44(5): 41-43.
- [8] 任东凯. 巷道过断层破碎带支护技术分析[J]. 江西煤炭科技, 2019(3): 172-174.
- [9] 郑选荣. 基于 FLAC3D 分析的巷道“固帮顶控底鼓”支护方案[J]. 金属矿山, 2014(8): 120-124.
- [10] 孟祥阁. 赵楼煤矿沿空巷道锚网索支护技术研究及工程实践[J]. 采矿技术, 2016, 16(4): 27-30.