

巷道与断层破碎带间距对岩体稳定性影响分析

林开森¹, 周 健¹, 李佳建^{2*}

(1. 西藏巨龙铜业有限公司; 2. 北京科技大学土木与资源工程学院)

摘要:通过数值模拟分析了巨龙铜矿平行巷道掘进过程中, 断层破碎带与巷道间距对钻爆法掘进巷道围岩稳定性的影响。建立了不同巷道与断层破碎带间距下数值模拟计算模型, 分析了围岩位移场、应力场及塑性区变化规律。数值模拟结果表明: 巷道与断层破碎带间距为 1 m 和 4 m 时, 断层破碎带对巷道围岩稳定性影响较大, 巷道边帮最大位移值为 6.19 cm 和 1.13 cm; 最大主应力集中在巷道左侧围岩内, 右侧围岩应力较小; 水平方向应力集中在围岩与断层破碎带交界处; 断层破碎带内出现塑性变形。当巷道与断层破碎带间距为 7 m 和 10 m 时, 断层破碎带对巷道围岩稳定性影响较小, 最大主应力与水平方向应力沿巷道中线近似对称分布, 断层破碎带内无塑性变形。

关键词:数值模拟; 断层破碎带; 位移分布; 巷道掘进; 钻爆法; 稳定性

中图分类号: TD32

文献标志码: A

文章编号: 1001-1277(2024)04-0001-04

doi:10.11792/hj20240401

引言

在矿山生产过程中, 地下工程设施建设是矿产资源开发的必备条件, 断层破碎带作为地下工程建设中较为常见的地质构造, 对矿山地下工程建设产生了极大的影响^[1-5]。在长期地质构造和地应力的双重作用下, 断层破碎带表现出明显的非线性特征, 该特征对矿山地下工程的施工, 尤其是巷道工程建设的稳定性具有较大的影响^[6-9]。众多学者针对断层破碎带对巷道工程建设过程中的影响进行了大量研究工作。余一松等^[10]针对断层破碎带倾角对巷道稳定性的影响, 以某矿山平巷施工工程为研究背景, 采用 RFPA 软件对不同倾角的断层破碎带平巷开挖过程进行了数值模拟, 研究结果表明, 断层破碎带对工程施工具有显著影响, 不同断层破碎带倾角对巷道工程围岩稳定性影响程度不同。许金成等^[11]基于松动圈理论对某金矿深部开采巷道围岩大变形和支护大面积失效问题进行了深入研究, 采用钻探手段对岩体内部节理裂隙特征进行测试分析, 根据松动圈范围特征, 对巷道支护方案进行了优化设计, 工程实践后的巷道收敛性和锚杆受力效果均良好, 研究成果可以为同类型矿山生产建设提供借鉴。宗义江等^[12]以某铁矿巷道为工程背景, 综合采用多种超前探测方法对断层破碎带进行探测, 基于探测结果针对性地提出巷道方位角调整—超前注浆—控制爆破—超前预加固—

初次支护—二次支护结合防渗措施的巷道综合掘进支护技术, 工程实践表明, 该技术可以有效解决巷道遇富水断层破碎带掘进支护的工程难题。高悦等^[13]以某矿山斜井巷道为工程背景, 采用 Flac^{3D} 软件建立巷道数值模型, 对巷道注浆加固前后稳定性进行分析, 结果表明, 注浆支护技术可以有效控制巷道的变形, 并且通过监测可知, 该支护方法可以有效维护巷道的长期运营, 可以为同类型工程施工提供借鉴。陈晓祥等^[14]基于某矿山平巷地质概况, 分析总结了巷道在断层破碎带区域的复合变形力学机制, 提出了“超前预注浆+锚网索”的联合支护方法以控制巷道围岩大变形, 通过 Flac^{3D} 软件数值模拟和工程实践对比方案支护效果, 结果表明, 该方案可以有效控制巷道围岩大变形, 支护效果符合实际工程应用。张向东等^[15]以某穿越软岩破碎带的深埋巷道为工程背景, 通过 Matlab 软件和 Flac^{3D} 软件求得模拟计算值, 以模拟计算值与工程实测值确定适应度函数, 基于智能寻优反演得出巷道断层破碎带围岩等效力学参数, 该参数可以有效运用于其他巷道的变形预测。

本次研究针对西藏巨龙铜业有限公司(下称“巨龙铜矿”)超长距离排水巷道工程进行了大量的数值模拟工作, 综合分析了巷道与断层破碎带间距对巷道围岩稳定性的影响。研究结果可为相关长距离巷道遇断层破碎带安全稳定施工提供一定的参考依据。

收稿日期: 2024-01-15; 修回日期: 2024-03-08

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2022YFC2905003)

作者简介: 林开森(1981—), 男, 工程师, 从事项目建设管理工作; E-mail: 290143567@qq.com

* 通信作者: 李佳建(1997—), 男, 硕士研究生, 从事金属矿山采矿工艺等方面的研究工作; E-mail: lijiajian0123@163.com

1 工程概况

巨龙铜矿为大型斑岩型铜矿,开采方式为露天开采。目前,巨龙铜矿在建环形排水巷道解决露天采场排水问题。排水巷道围岩以英安岩、千枚岩及凝灰岩为主,岩石风化程度为强风化至微风化。排水巷道施工场地内断层破碎带发育。

排水巷道连通 13 条竖井。其中,12 条竖井用于露天采场排水,K 点布置 1 条竖井作为安全出口。环形排水巷道布置形式如图 1 所示。其中,BC 段和 IJ 段平行巷道间距为 50 m。设计过程中,全段巷道拟采用 TBM 施工。排水巷道由 IJ 段开始掘进。实际施工过程中,为加快施工进度,BC 段巷道采用钻爆法开始掘进。

TBM 施工过程中发现,IJ 段巷道穿断层破碎带较多,断层破碎带内含水量较大。因此,由已施工完的巷道(IJ 段)施工钻孔探测断层破碎带距未施工巷道(BC 段)距离,提前确定断层破碎带与 BC 段巷道

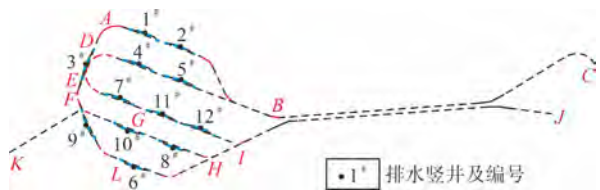


图 1 环形排水巷道布置形式示意图
Fig. 1 Layout of circular drainage roadway

空间位置关系,避免 BC 段巷道爆破掘进过程中发生突水突泥事故。

2 数值模拟方案

采用 Flac^{3D} 软件分析断层破碎带与巷道间距对巷道稳定性的影响。设计 4 种断层破碎带与巷道间距,分别为 1 m、4 m、7 m、10 m,不同间距数值计算模型如图 2 所示。巷道距模型各边界距离不小于巷道宽度或高度的 5 倍。计算过程中巷道围岩及断层破碎带采用莫尔-库仑模型。岩石力学与地应力参数参考相邻地区甲玛铜矿相关研究结果^[16]。

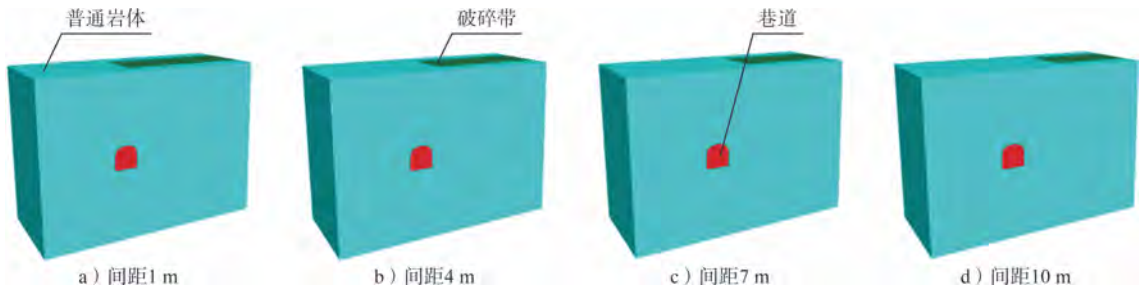


图 2 不同断层破碎带与巷道间距的数值计算模型

Fig. 2 Numerical calculation model of different distances between fault fracture zone and roadway

3 不同工况下数值模拟结果及分析

3.1 位移场

不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩总位移云图如图 3 所示,由图 3 可知:当巷道与断层破碎带间距 1 m 时,巷道围岩最大位移出现在靠近断层破碎带边帮位置,最大位移值为 6.19 cm。断层破碎带与

巷道间 1 m 宽岩体均发生较大变形。当巷道与断层破碎带间距 4 m 时,巷道围岩变形分布较均匀,顶底板及靠近断层破碎带一侧边帮出现较大位移,最大位移值为 1.13 cm。当巷道与断层破碎带间距 7 ~ 10 m 时,巷道掘进对巷道与断层破碎带之间的岩体影响较小。2 种工况下巷道围岩最大位移相似,最大位移值为 1.10 cm。

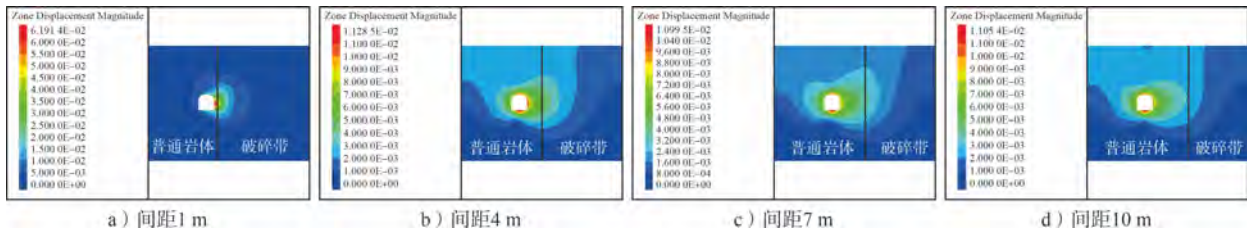


图 3 不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩总位移分布

Fig. 3 Overall displacement distribution under different distances between fault fracture zone and roadway

不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩水平方向位移云图如图 4 所示。由于断层破碎带的影响,巷道两侧围岩位移值相差较大。当巷道与断层破碎带间距 1 m 时,巷道右侧围岩发生大变形,且右侧断层

破碎带发生明显位移。当巷道与断层破碎带间距 4 m 时,巷道右侧围岩变形减小。当巷道与断层破碎带间距继续增大到 7 ~ 10 m 时,巷道右侧围岩最大位移值并未明显减小。

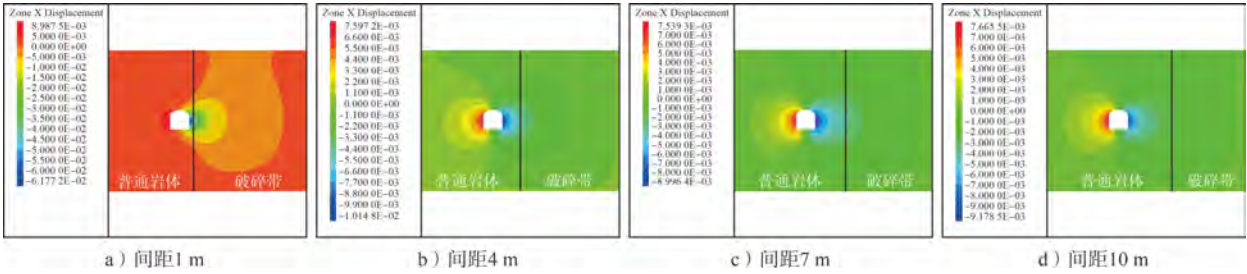


图4 不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩水平方向位移分布

Fig. 4 Horizontal displacement distribution under different distances between fault fracture zone and roadway

不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩垂直方向位移云图如图5所示。断层破碎带对巷道围岩垂直方向位移影响较小。仅当巷道与断层破碎带间距1 m时,垂直方向最大位移出现在巷道围岩

与断层破碎带交界处。当巷道与断层破碎带间距增加至4 m时,围岩最大位移出现在巷道顶板,且巷道与断层破碎带间距继续增大,巷道顶板位移未明显降低。

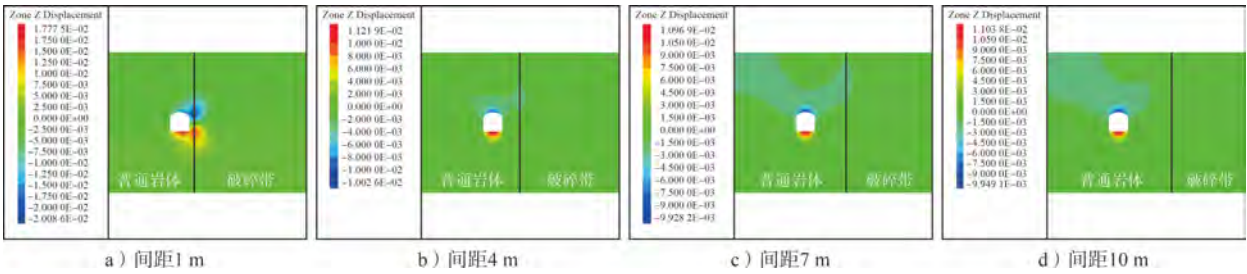


图5 不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩垂直方向位移分布

Fig. 5 Vertical displacement distribution under different distances between fault fracture zone and roadway

3.2 应力场

不同断层破碎带与巷道间距条件下应力分布如图6、图7所示。当巷道与断层破碎带间距1 m时,围岩最大主应力和水平方向应力受断层破碎带影响较大。最大主应力集中在巷道左侧围岩内,右侧围岩应力较小。水平方向应力集中在围岩与断层破碎带

交界处。当巷道与断层破碎带间距4 m时,最大主应力与水平方向应力沿巷道中线近似对称分布。此时断层破碎带对巷道围岩应力分布影响较小。巷道与断层破碎带间距继续增大,断层破碎带对巷道围岩应力分布几乎无影响。

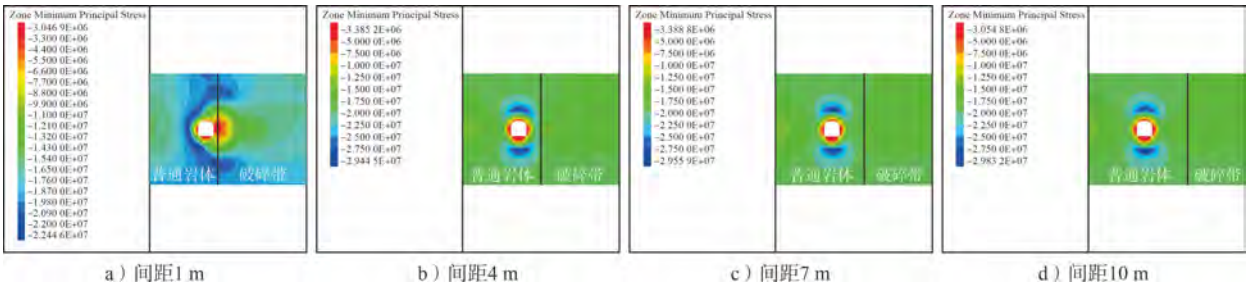


图6 不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩最大主应力分布

Fig. 6 Maxium major stress distribution under different distances between fault fracture zone and roadway

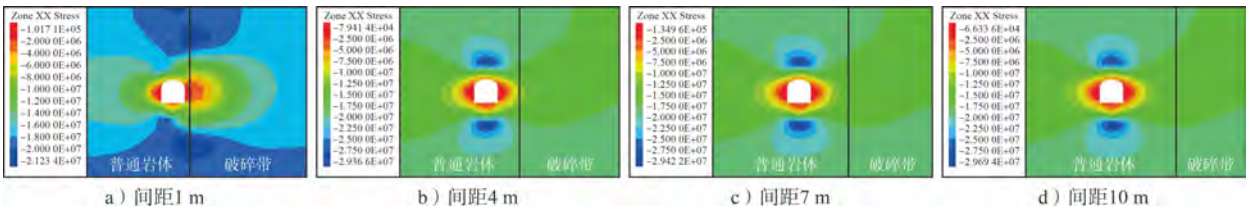


图7 不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩水平方向应力分布

Fig. 7 Horizontal stress distribution under different distances between fault fracture zone and roadway

3.3 塑性区

不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩塑性区分布如图8所示。巷道掘进后,围岩塑性变形以剪切

变形为主,同时存在拉伸变形。当巷道与断层破碎带间距1 m时,断层破碎带内发生大量塑性变形,巷道围岩塑性区向断层破碎带方向扩展,且与断层破碎带

内塑性变形贯通。当巷道与断层破碎带间距 4 m 时，断层破碎带与围岩交界处发生少量塑性变形，巷道围

岩塑性变形在四周分布较均匀。巷道与断层破碎带间距继续增大，断层破碎带内无塑性变形。

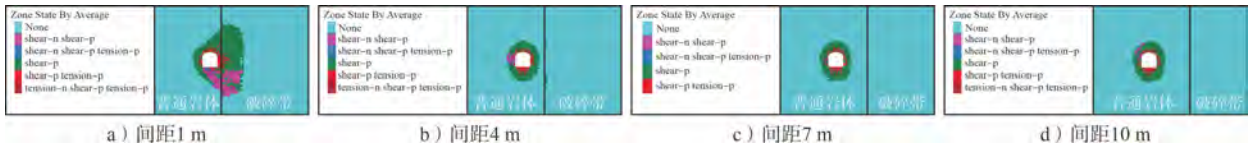


图 8 不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩塑性区分布

Fig. 8 Plastic zone distribution under different distances between fault fracture zone and roadway

综上所述，当断层破碎带与巷道间距大于等于 7 m 时，巷道不受断层破碎带影响。因此，当断层破碎带与巷道间距小于 7 m 时，应加强巷道围岩支护，对巷道围岩进行监测，避免发生突水突泥事故。

4 结 论

以巨龙铜矿环行排水巷道施工为工程背景，探究了巷道与断层破碎带间距对巷道稳定性的影响，主要结论如下：

- 1) 构建了不同巷道与断层破碎带间距的有限元模型，实现了不同断层破碎带与巷道间距条件下围岩位移场、应力场及塑性区等变化过程的模拟。
- 2) 巷道与断层破碎带间距小于等于 4 m 时，断层破碎带对巷道围岩稳定性影响较大，巷道边帮最大位移值为 6.19 cm 和 1.13 cm。当巷道与断层破碎带间距大于 4 m 时，断层破碎带对巷道围岩稳定性影响较小。
- 3) 巷道与断层破碎带间距 1 m 时，围岩最大主应力和水平方向应力受断层破碎带影响较大。最大主应力集中在巷道左侧围岩内，右侧围岩应力较小。水平方向应力集中在围岩与断层破碎带交界处。巷道与断层破碎带间距大于 4 m 时，最大主应力与水平方向应力沿巷道中线近似对称分布。此时断层破碎带对巷道围岩应力分布影响较小或无影响。
- 4) 巷道与断层破碎带间距 1 m 时，断层破碎带对

巷道围岩塑性变形影响较大，巷道围岩塑性区与断层破碎带内塑性区贯通。巷道与断层破碎带间距 4 m 时，断层破碎带内发生少量塑性变形。巷道与断层破碎带间距继续增大，断层破碎带对围岩塑性区无影响。

[参 考 文 献]

[1] 郭剑. 新寨隧道富水断层破碎带塌方机理及处治技术研究[J/OL]. 铁道建筑技术, 1-4[2024-01-13].

[2] 吴波, 刘兆春, 刘聪. 断层破碎带区域贯通施工的富水隧洞力学特性分析[J]. 河北地质大学学报, 2023, 46(6): 59-67.

[3] 王禹淇, 李忠义, 王可, 等. 穿越近平行断层系的公路隧道开挖围岩变形特性研究[J]. 北方交通, 2023(12): 78-82.

[4] 杨江峰. 隧道穿越软弱破碎带超前支护加固效果分析[J]. 建筑机械, 2023(12): 67-72.

[5] 宋洋, 于英杰, 杨辉, 等. 富水软岩隧道破碎带围岩稳定性及预留变形量优化研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(10): 100-105.

[6] 李翔, 陈自由, 栾波, 等. 基于 Voronoi 块体模型的深部断层破碎带巷道大变形机制研究[J]. 煤炭科技, 2023, 44(6): 1-7, 11.

[7] 刘红旗, 张志明. 巷道过陷落柱破碎带支护技术研究[J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(11): 66-69, 74.

[8] 张青杰. 掘进巷道过断层破碎带支护设计优化[J]. 机械管理开发, 2023, 38(10): 123-125.

[9] 任育荣, 张进, 石海军. 巷道破碎带区域人工假顶下支护在深部铜矿的应用[J]. 甘肃冶金, 2023, 45(5): 1-4.

[10] 余一松, 李华华, 朱志根, 等. 软弱破碎带巷道开挖围岩破裂演化规律及支护技术研究[J]. 黄金, 2023, 44(2): 14-18.

[11] 许金成, 张绍江, 李岗, 等. 金属矿破碎带巷道围岩支护优化设计[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(6): 92-96.

[12] 宗义江, 朱栋, 黄小忠, 等. 富水断层破碎带巷道合理掘进与支护技术[J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2021, 21(3): 1-5.

[13] 高悦, 刘风华, 苏永军, 等. 破碎带巷道稳定性数值模拟分析及变形监测[J]. 化工矿物与加工, 2018, 47(12): 37-40.

[14] 陈晓祥, 吴俊鹏. 断层破碎带中巷道围岩大变形机理及控制技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2018, 35(5): 885-892.

[15] 张向东, 袁升礼, 殷增光, 等. 基于遗传算法的软岩破碎带巷道围岩参数反分析[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2018, 37(2): 285-289.

[16] 刘建东, 于世波. 高海拔矿区地应力测量和岩爆倾向性评价[J]. 中国矿业, 2022, 31(1): 140-145.

Analysis of the influence of distance between roadway and fault fracture zone on rock mass stability

Lin Kaisen¹, Zhou Jian¹, Li Jiajian²
(1. Xizang Julong Copper Industry Co., Ltd.;

2. School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing)

Abstract: This study conducts numerical simulations to analyze the influence of the distance between roadway and fault fracture zone on the stability of excavation roadway surrounding rock during parallel roadway excavation with using the drilling and blasting method in the Julong Copper Mine. Numerical simulation models are established for different distances between roadway and fault fracture zone, and the variations in the displacement field, stress field, and plastic zone are analyzed. The numerical simulation results show that when the distance between roadway and fault fracture zone is 1 m and 4 m, the fault fracture zone has a significant impact on the stability of the surrounding rock of the roadway, with the maximum displacement values of the roadway side wall being 6.19 cm and 1.13 cm respectively. The maximum principal stress is concentrated in the left side surrounding rock of the roadway, with lesser stress in the right side surrounding rock. Horizontal stress is concentrated at the intersection of the surrounding rock and the fault fracture zone, and plastic deformation occurs within the fault fracture zone. When the distance between the roadway and the fault fracture zone is 7 m and 10 m, the influence of the fault fracture zone on the stability of the surrounding rock of the roadway is minor, with the maximum principal stress and horizontal stress approximately symmetrically distributed along the centerline of the influence, and no plastic deformation occurs within the fault fracture zone.

Keywords: numerical simulation; fault fracture zone; displacement distribution; roadway excavation; drilling and blasting method; stability