

焦家金矿破碎岩体变形破坏规律研究

刘军晓

(山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿)

摘要:焦家金矿-570~630 m中段矿(岩)体节理裂隙发育,易出现楔形不稳定结构,进而发生岩体冒落。对岩体进行了地质钻孔、结构面条件调查等得出,焦家金矿岩体较为破碎,节理发育,节理产状分布范围广。对开采扰动下巷道收敛变形规律进行研究与总结,并通过雷达测试分析焦家金矿巷道破坏深度,损伤深度基本保持在2 m,存在较多的结构弱面,需及时采取加固措施。此研究对该处矿体的支护等做出合理规划,进一步指导采场结构参数的合理选取,以确保该矿段的安全生产。对类似矿山破碎矿体的治理条件有一定的借鉴意义。

关键词:岩体变形破坏分析;岩体性质;开采扰动;破碎矿体;结构面;雷达测试;采场结构参数
中图分类号:TD32 **文章编号:**1001-1277(2024)07-0022-04
文献标志码:A **doi:**10.11792/hj20240705

引言

岩体结构,包括结构面和结构体2个要素的组合特征。显然,在矿山开采过程中,岩体结构影响着矿山采矿方法的选择和矿山开拓采准工程的设计。矿体开采过程中爆破扰动往往会诱发巷道围岩及采场充填体严重破坏的问题^[1-5],采用现场测试、数值模拟和理论分析相结合的方法,基于收敛变形监测、爆破振动监测和探地雷达技术^[6-8],可以获得爆破扰动引起的巷道变形规律。

受上盘断裂蚀变带的影响,山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿(下称“焦家金矿”)岩体节理裂隙发育。本文对焦家金矿重点巷道区域进行节理裂隙调查,通过统计节理产状分布规律和节理面间距信息,获得焦家金矿上、下盘围岩和矿体的节理信息;并在此基础上,根据现场实地踏勘,选择代表性区域,采用巷道围岩收敛变形监测、爆破振动监测、探地雷达,构建焦家金矿爆破扰动下巷道围岩变形破坏的多源测试系统^[9-14],为现场巷道防护工作提供参考。

1 焦家金矿破碎岩体结构特征

焦家金矿岩体节理裂隙发育,在开采实践中,极易出现楔形不稳定结构,进而发生岩体冒落,特别是矿体上盘为焦家主断裂,且倾角较缓,一经揭露极易发生垮落。因此,开展岩体结构特性调查,对于全面、准确地掌握岩体性质意义重大,可进一步指导采场结构参数的合理选取。

1.1 地质钻孔 RQD 分析

为获得焦家金矿破碎岩体的 RQD 指标,分别在矿体内部、上盘岩体及下盘岩体施工 30 m 左右的地质钻孔。对每个地质钻孔的 RQD 值进行统计,所得结果如表 1 所示。根据每个地质钻孔所处区域的不同,采用统计学方法得到下盘岩体的平均 RQD 值为 31.67%,矿体的平均 RQD 值为 21.94%,上盘岩体的平均 RQD 值为 29.77%,因 6# 钻孔有一部分在矿体内,所以上盘岩体的实际 RQD 值应该小于 29.77%。

表 1 钻孔岩芯的 RQD 值统计

Table 1 Statistical analysis of RQD values of drill cores

岩体	钻孔	RQD 值/%
下盘岩体	1#	23.81
	4#	39.52
矿体	2#	20.68
	3#	23.08
	5#	22.05
上盘岩体	6#	29.77

1.2 破碎岩体结构面调查

针对焦家金矿试验采场的围岩地质条件及开采技术方法,开展破碎岩体结构特征的现场调查工作。

采用 CAE Mining 公司研发的 Sirovision 非接触节理信息采集仪对 -390 m 中段和 -450 m 中段围岩

暴露区域的节理信息进行扫描,对从2D图像获取的图像进行3D合成,绘制岩体结构面,统计岩体结构信息,然后进行岩体稳定性分析。在进行采场暴露面节理裂隙调查时,应对主节理和随机节理进行区分,避免统计结果中随机节理数量过多,影响最终优势节理面的确定。

1.3 破碎岩体结构信息获取

通过现场调查共获得岩面图像1200幅,涵盖上盘岩体、矿体、下盘岩体的不同区域。根据扫描结果建立扫描区域岩体表面的三维模型。基于所建立的三维岩体表面模型,进行岩体结构信息的绘制,统计所绘制节理的倾向、倾角和迹线长度等参数,共获得节理数据331条。

经过分析,整体上焦家金矿岩体较为破碎,节理发育,节理产状分布范围广。从倾角上看,焦家金矿大部分岩体节理的倾角大于 45° ,属于倾斜和急倾斜结构面;从倾向上看,焦家金矿大部分岩体节理的倾向大于 245° 。在此基础上,采用赤平投影的方法分别分析焦家金矿上盘岩体、矿体和下盘岩体节理的产状关系,结果如图1~3所示。

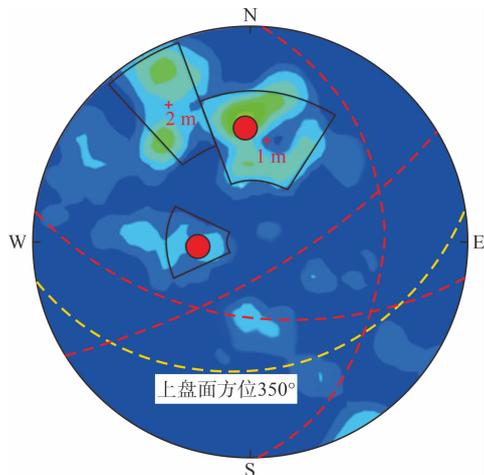


图1 下盘岩体节理的空间分布信息

Fig. 1 Spatial distribution of joints in the footwall rock mass

根据国内外对于结构面分组统计样本数量的研究结果,只有结构面样本达到一定数量,才能保证统计结果的精度,如果样本数量较少,则难以有效反映其统计规律,建立的概率模型可能与实际差别较大。ISRM建议统计样本数量应为80~300,一般情况下可取150。此次针对焦家金矿破碎岩体结构特征调查共获得节理数据331条,满足统计精度要求,因此基于此样本进行的统计分析准确可靠。

2 开采扰动下巷道收敛变形规律

针对焦家金矿破碎岩体条件及开采技术条件,根据现场实地踏勘,选择代表性区域采用巷道围岩收敛

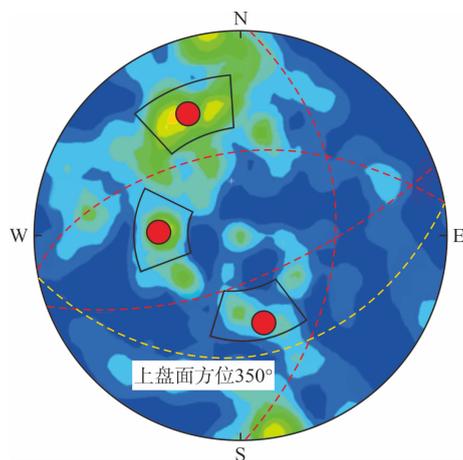


图2 矿体内节理的空间分布信息

Fig. 2 Spatial distribution of joints within the ore body

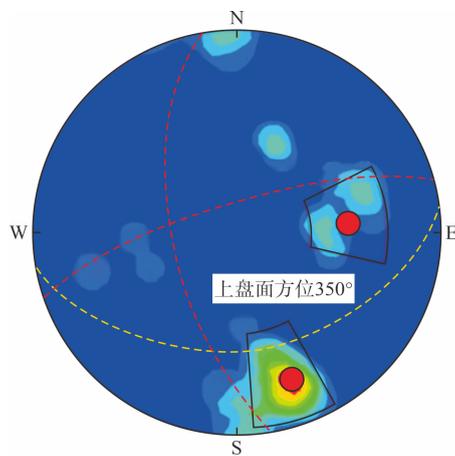


图3 上盘岩体节理的空间分布信息

Fig. 3 Spatial distribution of joints in the hanging wall rock mass

变形监测、爆破振动监测、探地雷达捕捉岩体在开采扰动下的围岩变形、振动和破坏信息,为支护和爆破参数优化提供数据支撑。

2.1 收敛变形连续监测系统与设置

围岩变形测量常用设备有水准仪、顶板离层仪、多点位移计、测斜仪等。采场顶板离层监测通过顶板上向钻孔安装离层仪,设置深基点和浅基点,观测顶板不同层位和高度的深部岩层变形量,依据测试数据分析顶板离层数值,进而判定顶板稳定性。

巷道收敛变形连续监测系统是根据巷道收敛变形监测技术,利用拉线式位移传感器和角度传感器,在初始相邻监测点距离已知的情况下,测量各点相对位移研制而成。巷道收敛变形连续监测系统由数据采集部分和数据传输、存储部分组成。具体线路连接如图4所示。

目前,巷道收敛变形监测技术分为自动跟踪全站仪观测技术、自动化近景摄影技术和点式直接测量技术3类。这类设备的代表为收敛尺、比赛特收敛系统等,其中,收敛尺是目前巷道收敛变形监测使用最广

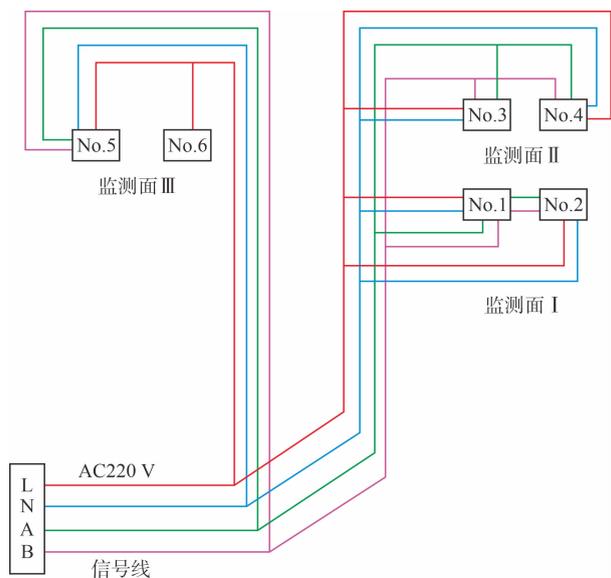


图4 监测系统线路连接示意图

Fig. 4 Schematic diagram of monitoring system circuit connections

泛的监测方法。利用收敛尺测量巷道变形时,需在监测断面测点处安装固定座,常用的测点布置方式有3点式和5点式,每次测量时,需保持收敛尺张力恒定,并测量温度进行误差补偿,将测量数据按照公式进行计算,获得各测点相对位移。此外,通过围岩松动圈的测量也能间接反映出围岩的变形情况。围岩松动圈的测量常常采用声波测试手段。声波测试技术是利用声波在岩体内传播性能进行的一种量测方法,也称声测法,或称弹性波法,这种方法对于预测山体压力的显现、判断地下空间岩体的完整性和破坏程度、进行安全检查是一种切实可行的方法。

2.2 巷道收敛变形分析

在采场回采过程中,各个收敛监测断面的围岩位移呈台阶式增长,且巷道两帮的收缩量远大于两角的收缩量,大于顶板的下沉量。根据围岩位移的变形监测曲线可以将采场回采周期内巷道围岩变形分为开挖后围岩的调整期、受到回采爆破振动影响的爆破影响期及最后的稳定期3个时期(如图5所示)。

爆破是引起巷道围岩变形的主导因素,且爆破的影响呈衰减趋势,即首次爆破对巷道围岩变形的影响最大,其次为第二次爆破,剩余4次爆破对巷道围岩变形的影响较小,巷道围岩基本保持稳定。

3 巷道破坏深度分析

为研究焦家金矿巷道开挖围岩损伤情况,分别对-630 m中段一分巷分段运输巷道和6条穿脉巷道进行了探测。-630 m中段一分巷雷达测试布置情况如图6所示。

依据巷道开挖对巷道围岩造成扰动损伤程度的不同,可将巷道围岩分为损伤区、过渡区和无扰动区

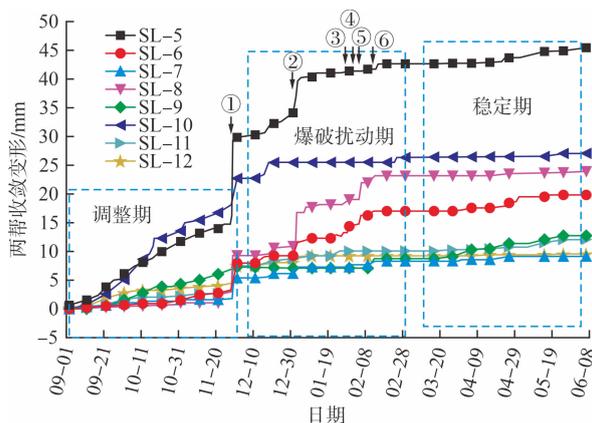


图5 巷道围岩收敛变形分区示意图

Fig. 5 Schematic diagram of zonal convergence deformation in roadway surrounding rock

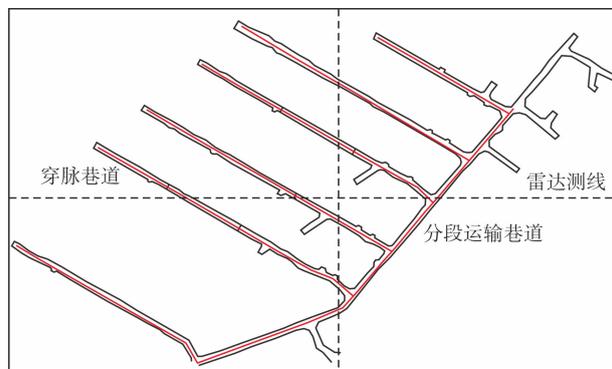


图6 -630 m中段一分巷雷达测试布置示意图

Fig. 6 Schematic diagram of radar survey layout of Branch Roadway 1 on Level -630 m

3个区域,得到雷达测试结果如图7~9所示。这些结果综合考虑了巷道岩体岩性、地质构造、岩体埋藏深度、爆破扰动及其他工程因素。

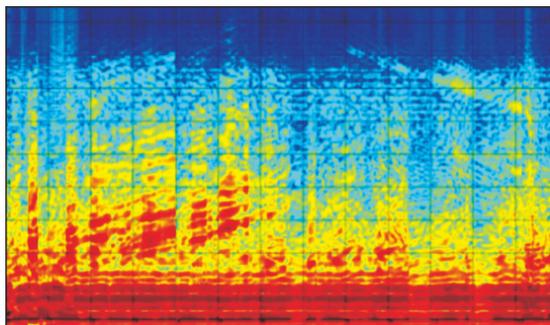


图7 -630 m中段一分巷雷达测试结果(网格密度1 m x 1 m)

Fig. 7 Results of radar survey of Branch Roadway 1 on Level -630 m (grid density 1 m x 1 m)

由图7可知:焦家金矿-630 m中段一分巷损伤深度明显增大,为1.4~2.0 m。部分区域分布有较多的节理裂隙,深度最大可达6 m。同样的现象在-630 m中段一分巷116勘探线连巷雷达测试数据中也可以观察到(如图8所示)。-630 m中段一分巷116勘探线连巷围岩中节理裂隙面的分布,使得该

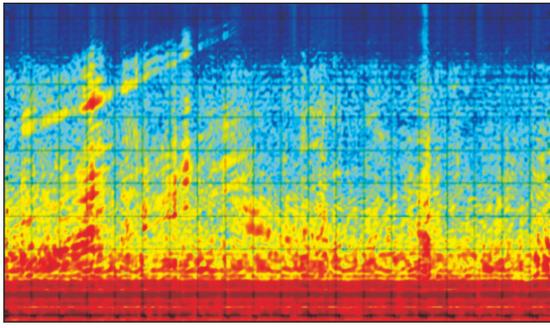


图8 -630 m中段一分巷116勘探线连巷雷达测试结果
(网格密度1 m×1 m)

Fig. 8 Results of roadway-connecting radar survey of Exploration Line 116 of Branch Roadway 1 on Level -630 m (grid density 1 m×1 m)

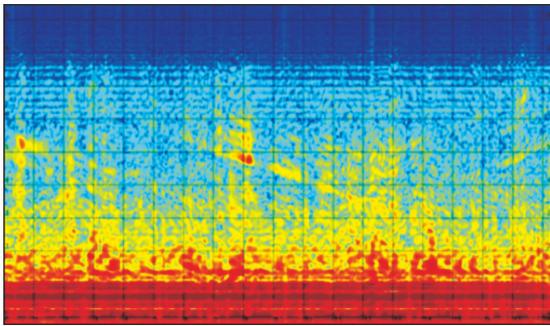


图9 -630 m中段一分巷100联络巷雷达测试结果
(网格密度1 m×1 m)

Fig. 9 Results of radar survey of Crossheading 100 of Branch Roadway 1 on Level -630 m (grid density 1 m×1 m)

处巷道损伤深度骤增,因此,应对此区域加强观测或支护,防止边帮片落或塌方。-630 m中段一分巷100联络巷虽有少量节理裂隙面分布,但巷道围岩损伤深度相对较稳定,基本保持在2 m。

4 结论

综合-630 m中段一分巷雷达探测结果可以得出以下结论:

Study on the deformation and failure patterns of fractured rock mass in Jiaojia Gold Mine

Liu Junxiao

(Jiaojia Gold Mine, Shandong Gold Mining (Laizhou) Co., Ltd.)

Abstract: The ore (rock) bodies between the -570 m and -630 m levels in Jiaojia Gold Mine are characterized by well-developed joints and fissures, prone to forming wedge-shaped unstable structures, leading to rock mass collapse. Geological drilling and structural surface condition surveys indicate that the rock mass in Jiaojia Gold Mine is relatively fractured, with well-developed joints and a wide range of joint occurrence distributions. This study investigates and summarizes the convergence deformation patterns of roadways under mining disturbances. Radar testing and analysis reveal that the damage depth of the roadways in Jiaojia Gold Mine generally remains at about 2 m, with many weak structural surfaces present, necessitating timely reinforcement measures. This research provides a rational plan for the support of the ore body and guides the reasonable selection of stope structural parameters to ensure safe production in this mining section. It offers valuable insights for managing fractured rock mass in similar mines.

Keywords: rock mass deformation and failure analysis; rock mass properties; mining disturbance; fractured ore body; structural plane; radar testing; stope structure parameter

1)整体上看,岩体较为破碎,节理发育,节理产状分布范围广。从倾角上看,焦家金矿大部分岩体节理的倾角大于45°,属于倾斜和急倾斜结构面。

2) -630 m中段一分巷巷道围岩损伤深度较大,并且存在较多的结构弱面,在后续的中深孔开采时,应密切关注剧烈的中深孔爆破扰动对结构弱面处巷道变形的影响,必要时及时采取加固措施。

[参考文献]

- [1] 薛锦春,李夕兵,刘志祥.基于混沌理论的矿山边坡岩体变形规律与安全预警系统[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(6):2476-2481.
- [2] 李光,马凤山,郭捷,等.金川二矿区地应力特征及其对巷道变形破坏的影响研究[J].黄金科学技术,2021,29(6):817-825.
- [3] 高永春,王从雨,范文亮,等.凌源日兴金矿岩体结构面调查及特征分析[J].黄金,2020,41(4):42-45.
- [4] 席宝顺,高银贵,杨斌,等.西部山区某矿开采扰动下地形变化特征及致灾点分析[J].金属矿山,2021(7):172-178.
- [5] 范顺刚,姜永恒,赵桥波,等.镇沅金矿松软破碎岩体巷道稳定性分析及支护技术[J].黄金,2021,42(2):41-47.
- [6] 崔魏,崔峰,潘夏辉,等.近断层深埋巷道掘进变形破坏规律[J].河南理工大学学报(自然科学版),2022,41(4):21-29.
- [7] 陆晓东,荣鹏,左宇军,等.开采扰动下底板巷道应力演化规律及围岩稳定性研究[J].矿业研究与开发,2022,42(11):102-106.
- [8] 姜阔胜,李良和,韩刘帮,等.基于激光雷达技术的矿井巷道变形在线监测[J].北京信息科技大学学报(自然科学版),2020,35(5):1-4.
- [9] 褚吉祥,于庆磊,曹永胜,等.安徽太平矿业有限公司井下巷道砂卡岩体力学参数反演[J].黄金,2022,43(8):37-40.
- [10] 赵晨阳,雷明锋,贾朝军,等.含软弱结构面岩体蠕变力学模型[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(10):3541-3549.
- [11] PENG K, LIU Z M, ZHANG Y L, et al. Determination of isolation layer thickness for undersea mine based on differential cubature solution to irregular Mindlin plate [J]. Journal of Central South University, 2017, 24(3): 708-719.
- [12] PENG K, YIN X Y, YIN G Z, et al. Galerkin solution of Winkler foundation-based irregular Kirchhoff plate model and its application in crown pillar optimization [J]. Journal of Central South University, 2016, 23(5): 1253-1263.
- [13] 彭康,李夕兵,彭述权,等.基于响应面法的海下框架式采场结构优化选择[J].中南大学学报(自然科学版),2011,42(8):2417-2421.
- [14] 彭康,李夕兵,彭述权,等.海底下框架式分层充填法开采中矿岩稳定性分析[J].中南大学学报(自然科学版),2011,42(1):3452-3458.