

轻质吸能类膏体充填采矿法在深部急倾斜薄矿体开采中的应用

吴枝亮¹,姜永恒^{2,3}(1. 中国黄金集团夹皮沟矿业有限公司; 2. 长春黄金研究院有限公司;
3. 深部金属矿采动地压灾害防控国家矿山安全监察局重点实验室)

摘要:针对夹皮沟金矿采用硐室内取料干式充填采矿法开采存在的生产能力低、工人劳动强度大、采场地压显现频繁等问题,根据夹皮沟金矿深部急倾斜薄矿体的赋存特点及开采技术条件,开展了轻质吸能类膏体充填采矿法试验研究,取消了原有的采场内取料硐室,简化了回采工序,降低了回采作业循环,同时轻质吸能类膏体具有一定的强度,可以较好地支撑采场上下盘围岩,确保采场的稳定,提高采场作业安全。现场应用表明:采用该工艺,平均采场生产能力为 20.66 t/d,提高了 47.25%;采矿损失率由 12% 降低到 3.5%,矿石贫化率由 8.6% 降低到 4.2%。效果较好,可供同类型矿山参考借鉴。

关键词:深部开采;急倾斜薄矿体;轻质吸能类材料;膏体充填;充填采矿法;数值模拟;采场稳定性

中图分类号:TD853.34

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)07-0026-05

doi:10.11792/hj20240706

引言

中国黄金集团夹皮沟矿业有限公司(下称“夹皮沟金矿”)采矿历史悠久,是中国最古老的产金地区之一。夹皮沟金矿二道沟矿区已经开采到-1 500 m 中段,进入深部后矿体由厚转薄,矿体属于急倾斜极薄到薄矿体,井下主要采用硐室内取料干式充填采矿法开采。矿块沿矿体走向布置,长 30~50 m,高为中段高度。采场内矿石溜井采用厚度为 6~8 mm 的铁板焊制而成,直径约 1.0 m,单节高度约 0.3 m,在采场内部进行组装连接形成整体溜井,回采工作从切割层开始,自下而上分层进行,分层高度 1.0 m,为减少采矿损失贫化,落矿前在废石充填料上铺设废旧胶带。采场内采用人工小推车出矿形式,由人工将矿石装至推车内,并转运至铁皮溜井内集中放出并装车。该回采工艺主要存在生产能力低、工人劳动强度大、采场地压显现频繁等问题。为解决以上生产难题,亟须寻找适宜夹皮沟金矿深部急倾斜薄矿体开采新工艺,以达到提高生产能力、降低采矿损失贫化、减轻井下作业人员劳动强度的目的,实现矿山井下安全、高效、机械化开采^[1]。

1 地质概况

夹皮沟金矿二道沟矿区地处长白山系威虎岭南端。区内最高标高 694.09 m,最低侵蚀基准面标高

538 m,最大相对高差 156 m,地貌特征属构造剥蚀低山区。夹皮沟河为区内主要河流,发源本区,自东向西流过矿区北部边缘,属老牛沟河支流,其流量 46.29~81.02 L/s。矿区地处的低山地区为斜坡地带,地形标高 520~690 m。矿井最低排泄面标高-600 m。

二道沟矿区-1 500 m 中段 0 勘探线—6 勘探线矿体走向近南北,倾角西倾 72°~81°,厚度 0.2~1.3 m,走向长度约 140 m。矿体呈规则石英条带状分布,矿化物以黄铁矿、方铅矿为主,矿物组分以条带状分布于石英脉内,局部黄铁矿呈团块状分布;方铅矿以颗粒状晶体簇赋存于石英脉中,粒度较大;矿体两侧局部有闪长脉岩,对矿体赋存影响较小。围岩以斜长角闪岩为主,局部钾化现象较明显,地质构造简单,无明显断层等破坏岩体稳固性构造,属于一般稳固岩石;由于矿体赋存深度较大,地压现象较明显。

2 采矿工艺

根据夹皮沟金矿二道沟矿区矿体赋存条件,对比同类型矿体开采方法,采用轻质吸能类膏体充填采矿法代替原有的硐室内取料干式充填采矿法对采场进行回采,出矿方式采用电耙出矿,出矿结束后采用轻质吸能类膏体充填材料进行采场充填,其回采示意图如图 1 所示。

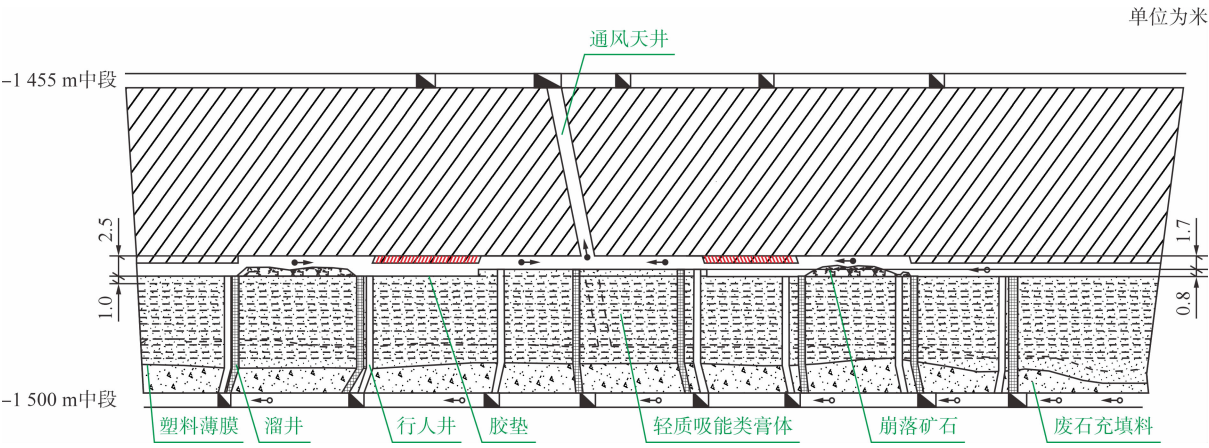


图 1 夹皮沟金矿轻质吸能类膏体充填采矿法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of lightweight energy-absorbing paste filling mining method for Jiapigou Gold Mine

1) 凿岩。采场落矿炮孔采用 YT-28 钻机进行钻凿,炮孔深度控制在 0.8~1.0 m,炮孔排面角为 70°,确保每次落矿的高度约为 0.8 m,掏槽后最大空顶高度不超过 2.5 m。炮孔间距为 0.4~0.5 m,钻孔前要仔细观察判断矿脉倾角及方向,保证炮孔与矿脉倾向平行一致,边孔与矿体边界的距离为 0.2~0.3 m,炮孔采用梅花形布置,如图 2 所示。最终采幅根据矿体的厚度确定,当矿体厚度小于 0.8 m 时,采幅为 0.8 m,当矿体厚度大于 0.8 m 时,采幅为实际矿体厚度^[2-3]。

故^[4]。封堵结束后进行正常的泡沫混凝土充填,达到设计充填高度后停止,并进行充填体正常养护。将横撑顶在上下盘围岩上,并与立柱相互连接,将挡板固定在横撑上,以确保封挡效果,最后在封挡隔板内侧铺上塑料薄膜,以防止跑浆。

采场封堵结束后进行轻质吸能类膏体充填,充填体自然养护 24 h,达到设计要求后方可进行下一循环的落矿。

3 采场稳定性对比分析

采用 Flac^{3D} 软件对夹皮沟金矿急倾斜薄矿体轻质吸能类膏体充填采矿法替代硐室内取料干式充填采矿法回采过程进行模拟,分析回采过程中采场围岩稳定性,并通过数值模拟结果分析采用轻质吸能类膏体和废石充填采空区后采场围岩的稳定性情况。

3.1 数值模拟模型建立

本次数值模拟分析中,对数值模型进行简化,采场分布均匀,采幅 1.2 m,矿体倾角 80°,采场长度 50 m,分段高度 50 m。对于夹皮沟金矿,由于研究范围涉及的矿体和围岩均属弹塑性材料,故采用莫尔-库仑准则^[5]。对矿区采场岩体进行取样,通过室内力学试验得到相关岩石力学参数,对获得的岩石力学参数进行折减^[6],确定主要岩体物理力学参数,结果如表 1 所示。

3.2 开采及充填过程稳定性分析

3.2.1 模拟方案

因采用上向分层开采分层充填的开采形式,为简化模型计算过程,本次模拟对开采形式进行简化,即每次回采 10 m,并对其进行充填,然后再继续回采上一分层的 10 m,依次进行回采和充填,直至采场回采并充填结束,分析采用轻质吸能类膏体和废石充填的效果。其具体分层开采及充填过程如下:①回采一分层(52.5~60 m);②充填一分层,回采二分层(60~

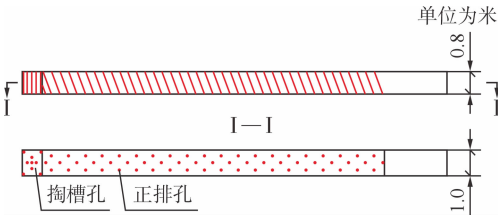


图 2 炮孔布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of blast hole layout

2) 爆破。采用卷装岩石乳化炸药进行爆破,采用孔间微差爆破方式进行引爆,炮孔堵塞长度不小于 300 mm。每一分层由中央通风天井向采场两端进行间隔回采,以保证采场内的正常作业循环。根据采场充填强度所确定的每班充填量,并结合出矿采用 7.5 kW 电耙的最佳耙矿距离,综合确定每段回采长度 15~20 m。当采场内无自由面时,在正排起爆之前须先进行掏槽,获得自由面,以保证爆破效果。

3) 出矿。采场采用 7.5 kW 电耙进行出矿,采场内崩落的矿石通过电耙运到顺路溜井中,并在溜井下部集中进行矿石装车,运出采场。采场内的粉矿及电耙未耙到的矿石须人工进行清扫,倒入溜井。

4) 采场充填。充填前须架设横梁、木板等将充填区域隔开,并使用塑料防渗薄膜对隔板、铁皮溜井、顺路天井等区域进行封堵,防止在充填时发生跑浆事

表 1 主要岩体物理力学参数

Table 1 Main physical and mechanical parameters of the rock mass

岩体	密度/ ($t \cdot m^{-3}$)	抗压强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)	内聚力/ MPa	弹性模量/ GPa	泊松比	剪切模量/ GPa	体积模量/ GPa
围岩	2.6	75.35	0.84	42.35	6.48	28.63	0.36	34.08	10.53
矿体	2.81	28.81	0.27	34.58	6.24	26.27	0.32	24.32	9.95
轻质吸能类膏体充填体	0.6	2	0.1	22.46	0.38	1.45	0.28	0.57	1.65
废石充填体	1.8		0	15	0			0.01	0.11

70 m);③充填二分层,回采三分层(70 ~ 80 m);④充填三分层,回采四分层(80 ~ 90 m);⑤充填四分层,回采五分层(90 ~ 100 m);⑥充填五分层。

3.2.2 模拟结果及分析

采场回采后,因采场开挖导致采场的应力重新分

布,采场开挖后上下盘围岩达到了新的应力平衡。采用废石充填和轻质吸能类膏体充填时,采场 x 方向位移云图如图 3 所示。整个采场回采过程中采用废石充填与轻质吸能类膏体充填时对上下盘围岩的约束作用进行数值模拟计算,结果如表 2 所示。

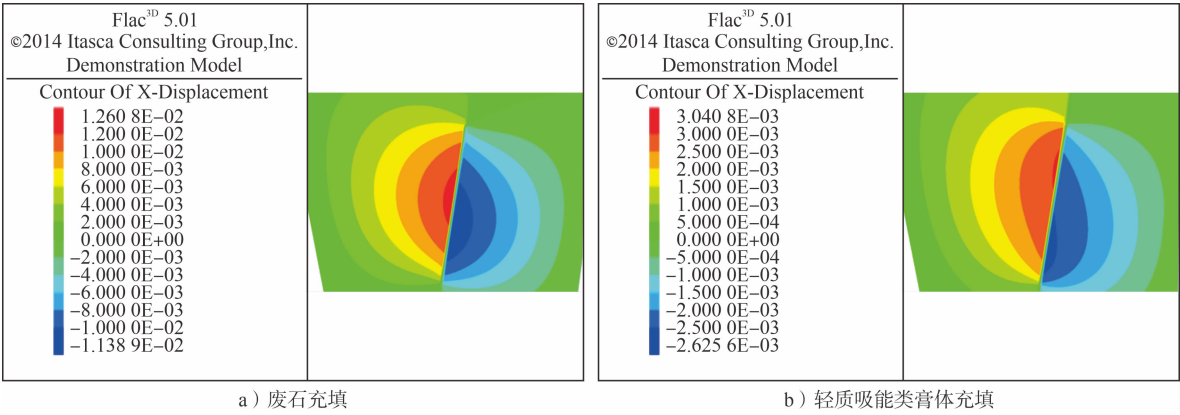


图 3 整个采场充填后 x 方向位移云图

Fig. 3 Displacement cloud chart in the x -direction after filling the entire stope

表 2 模拟计算结果对比

Table 2 Comparison of simulation calculation results

回采过程	充填方式	最大主应力/MPa	最小主应力/MPa	上盘最大水平位移/mm	下盘最大水平位移/mm
回采一分层	采空区	49.96	18.00	4.2	4.04
充填一分层,回采二分层	废石充填	57.84	22.22	21.38	8.68
	轻质吸能类膏体充填	55.00	21.46	20.28	7.71
充填二分层,回采三分层	废石充填	61.80	24.25	31.65	10.82
	轻质吸能类膏体充填	58.47	21.82	21.78	7.81
充填三分层,回采四分层	废石充填	65.51	25.58	35.08	11.45
	轻质吸能类膏体充填	59.19	21.92	21.63	7.66
充填四分层,回采五分层	废石充填	67.86	26.22	33.45	11.56
	轻质吸能类膏体充填	57.84	21.49	20.93	6.77
整个采场	采空区	66.99	25.09	21.34	18.94
	废石充填	65.00	25.95	12.61	11.39
	轻质吸能类膏体充填	50.38	19.12	3.04	2.63

由图 3 和表 2 可知:采用废石充填和轻质吸能类膏体充填对采场应力影响相对不大,但对于采场变形量的控制相对较大。整个采场回采结束后,采用废石充填时,采场的最大主应力为 65.00 MPa;废石充填采场上盘围岩最大水平位移约 12.61 mm,主要位于

采场中部,上盘整体的水平位移为 8 ~ 12 mm;采场下盘围岩最大水平位移为 11.39 mm,主要位于采场中下部,采场下盘整体位移为 4 ~ 8 mm。采用轻质吸能类膏体充填时,采场最大主应力为 50.38 MPa,主要位于采场的顶底角处;采场上盘围岩最大水平位移为

3.04 mm,上盘围岩整体位移为 2.5~3.0 mm;采场下盘围岩最大水平位移为 2.63 mm,整体位移为 2.0~2.5 mm。

由表 2 可知:采空区采用废石充填,在受力状态方面变化不大,采场围岩的变形量略微降低;但采用轻质吸能类膏体充填采空区不但可以有效控制采场受力状态,而且可以大大降低采场变形量。因此,相对于废石充填,轻质吸能类膏体充填可以有效减少采场应力集中现象的发生,大幅度降低采场围岩的变形量,维持采场的稳定。

4 现场应用及效果

夹皮沟金矿二道沟矿区采场为由硐室内取料干式充填更改为轻质吸能类膏体充填,采场内部充填废石间隙较大,为防止跑浆事故的发生,其首次回采顺序为:采场废石层表面铺垫→轻质吸能类膏体充填→充填体养护→回采落矿→采场通风→采场支护→采场出矿→采场封堵及铺垫→轻质吸能类膏体充填→充填体养护。

1)回采落矿。采场落矿炮孔采用 YT-28 钻机进行钻凿,炮孔深度为 1.0 m,炮孔排面角为 70°,平均每次落矿的高度为 0.8 m,掏槽后最大空顶高度不超过 2.5 m,炮孔间排距为 0.6~0.7 m,炮孔采用梅花形布置形式。

爆破采用卷装岩石乳化炸药,非电导爆管雷管起爆形式。采场内采用分区段的形式对每一分层进行回采,每一区段长度为 20 m,每一区段交替进行作业,以保证采场内正常的作业循环。

2)采场支护。采场支护主要采用原木横撑、斜撑及立柱对顶板和上下盘围岩进行支撑。每次落矿结束后,首先对采场进行撬毛,将采场内的浮石等清理干净后,采用原木对采场内围岩进行支撑,采场支护形式如图 4 所示。

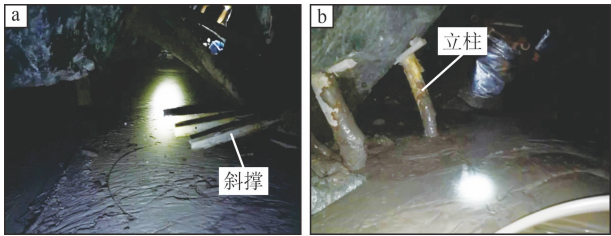


图 4 采场支护形式
Fig. 4 Stope support forms

3)采场封堵。采场集中出矿结束,对工作面进行粉矿清扫,在进行轻质吸能类膏体充填之前,先采用塑料薄膜对铁皮溜井连接处进行封堵,以防止充填料浆通过铁皮溜井连接处泄漏,采场内的封堵状态如图 5 所示。

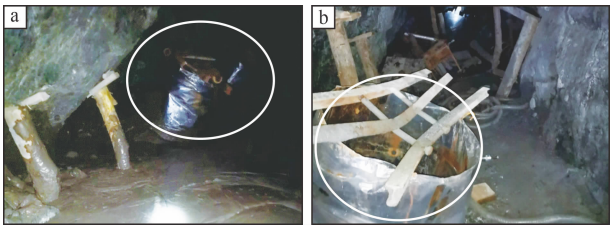


图 5 铁皮溜井封堵
Fig. 5 Blocking of iron sheet ore pass

轻质吸能类膏体充填后进行自然养护 24 h,采场充填体具有一定强度可以正常行人后进行爆破作业,经爆破冲击后的充填体表面规整,未出现大的破坏,如图 6 所示。

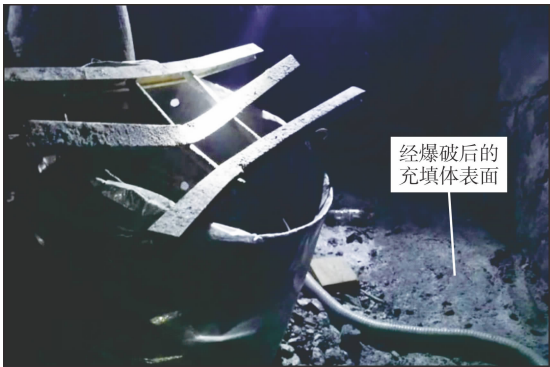


图 6 爆破后充填体表面状态
Fig. 6 Surface condition of filling body after blasting

4)主要技术经济指标。夹皮沟金矿采用硐室内取料干式充填采矿法回采时,平均采场生产能力 14.03 t/d。采用轻质吸能类膏体充填采矿法回采后,平均采场生产能力约 20.66 t/d,采场生产能力提高了 47.25 %。采矿损失率由 12 %降低到 3.5 %,矿石贫化率由 8.6 %降低到 4.2 %。

轻质吸能类膏体充填采矿法相对于硐室内取料干式充填采矿法,采矿成本有所增加,但降低了采矿损失率和矿石贫化率,提高了采场回采效率,增加了回收金属量,且轻质吸能类膏体充填可以有效控制采场地压,维持采场稳定,消除了安全隐患,因此无论是经济方面还是安全方面,轻质吸能类膏体充填都具有较大的优势。

5 结 论

1)夹皮沟金矿已经进入到深部开采阶段,地压显现明显,通过采用轻质吸能类膏体充填采矿法代替硐室内取料干式充填采矿法可以有效控制采场地压,同时可保护矿体上下盘围岩不发生破坏,维持采场上下盘围岩的稳定,进而缓解采场的支护压力,保证采场作业安全。

2)通过对轻质吸能类膏体充填采矿现场施工及技术经济指标标定可得,该工艺提高了采场生产能

力,有效降低了采矿损失率和矿石贫化率,改善了采场作业环境,使得矿山能够更好地利用资源,为矿山均衡发展提供了技术支撑。

[参 考 文 献]

[1] 周佳琦,任玉东. 黄金矿山急倾斜薄矿脉开采工艺及发展趋势[J]. 黄金,2022,43(9):35-38.

[2] 姚泽春,杨红军,刘盛,等. 急倾斜薄矿脉机械化采矿方案优选及应用[J]. 现代矿业,2023,39(6):129-132.

[3] 张庆旭,刘东锐,李士超. 典型急倾斜薄矿脉浅孔回采工艺优化[J]. 有色金属(矿山部分),2023,75(5):22-25,75.

[4] 车明,周明. 破碎矿段分层回采嗣后充填方案[J]. 内蒙古煤炭经济,2024(3):27-29.

[5] 侯俊,张小瑞,易观胜. 轻质吸能材料在地下矿山巷道让压支护中的数值模拟研究[J]. 黄金,2023,44(5):8-11.

[6] 罗鼎,熊浩凯,王磊,等. 废石干式充填压实力学特征及影响因素研究[J]. 有色金属(矿山部分),2023,75(5):1-10.

Application of lightweight energy-absorbing paste filling mining method
in deep steeply inclined thin ore body mining

Wu Zhiliang¹, Jiang Yongheng^{2,3}

(1. China National Gold Group Corporation Jiapigou; 2. Changchun Gold Research Institute Co., Ltd.;
3. Key Laboratory of Ground Control Management Plan in Deep Metal Mines, National Mine Safety Administration)

Abstract: Addressing issues such as low production capacity, high labor intensity, and frequent ground pressure manifestations in the chamber-based dry filling mining method at Jiapigou Gold Mine, this study conducted experimental research on the lightweight energy-absorbing paste filling mining method. Given the characteristics of the deep steeply inclined thin ore bodies and mining technical conditions at Jiapigou Gold Mine, the original chamber for material extraction within the stope was eliminated, simplifying the extraction process and reducing the operation cycle time. The lightweight energy-absorbing paste possesses sufficient strength to effectively support the hanging wall and footwall of the stope, ensuring stope stability and enhancing operational safety. Field application results indicate that using this method, average stope production capacity reached 20.66 t/d, an increase of 47.25%. The mining loss rate decreased from 12% to 3.5%, and the ore dilution rate dropped from 8.6% to 4.2%. The results are promising and provide a valuable reference for similar mines.

Keywords: deep mining; steeply inclined thin ore body; lightweight energy-absorbing materials; paste filling; filling mining method; numerical simulation; stope stability