河南某铁矿崩落法转充填法开采的空区治理与回采方案研究*

张忠传[1]，邢文培[2]，黄培军[2]，尹大业[2]，李彬[2]，刘奇[1]

（1.长沙矿山研究院有限责任公司， 湖南 长沙 410012；
2.舞钢中加矿业发展有限公司， 河南 舞钢市 462500）

摘要：河南某铁矿采用分段崩落法回采后，因未采取强制放顶措施，随着采场向深部推进，上部覆盖岩层厚度不足，导致空区顶板以及-40 m分段原房柱法遗留点柱发生垮塌冒落，严重威胁采场的安全回采。采用Mathews图解法与数值模拟对空区稳定性展开分析研究，发现空区顶板存在大面积垮冒风险，因此建议-72 m分段停止采用崩落采矿法回采，对-72 m以上分段进行封堵，-90 m以上分段改用充填采矿法回采。结合矿体开采条件与矿山产能需求，提出三种技术可行的开采方案，分别为分段空场嗣后充填采矿法、盘区机械化上向水平分层充填采矿法、垂直矿体走向上向水平分层充填采矿法；综合考量生产技术经济指标与回采安全性，推荐该矿山采用盘区机械化上向水平分层充填采矿法回采。该矿山由崩落采矿法转充填采矿法回采后，矿石贫化率降至10%，损失率降至8%，采切比提升至7.47 m/kt，年产值满足矿山设计生产要求，且在剩余服务年限内，矿山经济效益可提升4 947.67万元。

关键词：崩落采矿法转充填采矿法开采；厚大矿体；空区治理；上向水平分层充填采矿法

中图分类号：TD235.33 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-2763(2026)06-0053-09

Study on Goaf Treatment and Mining Scheme of Transition from Caving Method to Filling Method in Henan Province

Zhang Zhongchuan[1], *Xing Wenpei*[2], *Huang Peijun*[2], *Yin Daye*[2], *Li Bin*[2], *Liu Qi*[1]

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
2.Wugang Zhongjia Mining Industry Development Co., Ltd., Wugang, Henan 462500, China)

Abstract: After a certain iron mine in Henan Province was mined by sublevel caving method, due to the lack of forced caving measures, the thickness of the upper overburden strata became insufficient as the stope advanced to depth, resulting in the collapse of the goaf roof and the remaining point pillars from the original room-and-pillar method in the -40 m sublevel, which seriously threatened the safe mining of the stope. Using Mathews stability graph method and numerical simulation, the stability of the goaf was analyzed and studied. It was found that there was a large area of caving risk in the roof of the goaf. Therefore, it was suggested that the -72 m sublevel stop using the caving mining method, that the area above -72 m should be sealed off, and the area above -90 m should be mined by the filling mining method instead. Considering the mining conditions of ore body and the production capacity requirements of the mine, three technically feasible mining schemes were proposed: the sublevel open stoping with subsequent backfill method, the panel mechanized upward horizontal cut-and-fill stoping method, and the upward horizontal cut-and-fill stoping method perpendicular to the orebody strike. Taking into account the technical and economic indicators and mining safety, it was recommended that the mine adopt the panel mechanized upward horizontal cut-and-fill stoping method. After the mine transitioned from the caving mining method to the filling mining method, the ore dilution rate decreased to 10%, the loss rate decreased to 8%, and the development-to-production ratio increased to 7.47 m/kt. The annual output met the mine's design and production requirements, and within the remaining service life, the mine economy benefit could increase by 49.476 7 million yuan.

Key words: Transition from caving mining method to filling mining method, Thick and large ore body, Goaf treatment, Upward horizontal cut-and-fill mining

0 引言

在矿产资源开采领域，采矿方法的合理选择直接关系到资源利用效率、矿山安全及生态环境的可持续性[1-2]。崩落采矿法因工艺简单、成本低，在金属与非金属矿山开采中占据重要地位[3-5]。然而，在开采过程中，该方法不可避免地造成采空区顶板失稳、地表塌陷等地质灾害，同时大量矿石残留在采空区，导致

* **收稿日期**：2025-06-12
作者简介：张忠传(1994—)，男，江西宜春人，硕士，工程师，主要从事金属矿床开采技术研究。E-mail:2594148769@qq.com

资源浪费严重,引发的环境污染,导致生态修复需求日益加剧。随着绿色矿山建设理念的深入贯彻和矿山安全生产标准的不断提高,充填法凭借其在控制地压、减少地表沉降、实现低品位矿石回收及处理矿山废弃物等方面的显著优势,成功替代崩落采矿法[6-9]。充填法通过将尾砂、废石等材料制备成充填料填充至采空区中,不仅能有效保障矿山开采安全,还能实现资源的最大化利用与生态环境的最小扰动[6-9]。

众多学者针对矿山崩落采矿法转充填采矿法开采做出了诸多研究[13-16]。姜维等[17]以大冶铁矿为研究对象,设计采用进路-崩落法联合采矿法对过渡段采场进行回采,在保障产量的同时,实现了崩落法向充填法的平稳过渡。尹胜[7]针对矿山存在的矿石损失贫化率大、尾矿库存不足等难题,提出采用上向进路和上向水平分层充填法,并确定了崩落法转充填法的隔离矿柱厚度、采场结构参数等。徐海[18]采用粗糙模糊集理论,实现了某大型锡矿山崩落转充填采矿方法优选。

然而,在矿山从崩落采矿法向充填采矿法实际转型过程中,面临着空区稳定性评估、空区治理与新旧采矿方法衔接等一系列复杂问题,现有研究在系统解决方案构建与工程实践优化方面仍存在不足。对此,本文以河南某铁矿为工程背景开展相关研究。该矿现阶段采用分段崩落法回采,对采空区未实施强制放顶,随着开采深度不断增加,空区顶板及原房柱法遗留点柱易发生夸落冒落,严格威胁井下采场的安全回采。因此,亟需在空区治理、保障回采安全的前提下,实现由崩落采矿法向充填采矿法的转型。

1 工程背景

河南某铁矿地表标高为+90 m,首采-90 m中段,该中段分为-40 m、-56 m、-72 m和-90 m 4个分段,-40 m分段采用房柱法开采,遗留大小不等的点柱用来支撑空区,空区顶板标高约为-20 m。-56 m及以下分段改用分段崩落法回采,随着回采界限后退,-40 m点柱出现悬空现象,并发生了多次冒落。目前,-40 m、-56 m分段的矿石回采作业已全部完成,形成了大面积采空区,-72 m分段正在进行采准施工及局部回采,已形成小部分空区。由于上覆岩层厚度不足10 m,-40 m点柱及空区顶板的垮冒对矿山安全生产造成了严重威胁。

井下-40 m分段分为三个区域(见图1),一区(1#溜井以东,蓝色区域,颜色标识见电子版)、二区(1#溜井以西和3-0#进路以东,青色区域)、三区(3-0#进路以西,红色区域)。

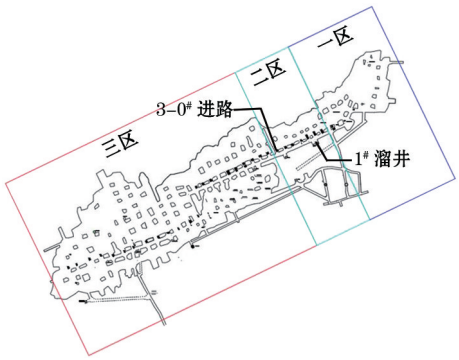


图1 -40 m分段分区示意

Fig.1 Partitioning of the -40 m segment

-40 m分段一区存在2~3个穿脉口,可对空区进行观察。该区域已形成了较大的连通性空区,目测范围约为长100 m,宽50 m,高度不知,空区顶板成拱状;二区保留了部分点柱,点柱留设尺寸偏小,根据点柱形态判断其稳定性等级属于2级;三区、-56 m及-72 m分段穿脉口均已被岩块封堵,无法进入观察。下盘沿脉运输巷矿岩坚硬,节理裂隙发育中等,主要节理面倾角较大,整体稳定性良好,巷道基本为裸巷。

采空区上部地表为农田,目前正在种植农作物。为了保护回风井和措施井工业场地,矿山在井下预留了保安矿柱,产生了压矿问题,主要压矿位置在32线下盘东西两侧各100 m范围内。空区西南部、南部设有矿区自用运矿道路。截至当前,地表未发现地裂缝、沉降塌陷等不良地质现象。

2 采空区稳定性分析

2.1 Mathews图解法

Mathews图解法是一种用于预测采空区稳定性的实用方法[19-20](见图2)。

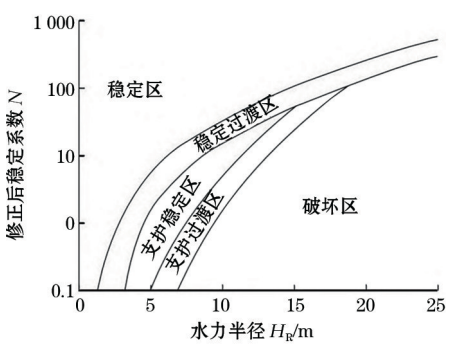


图2 Mathews稳定性图

Fig.2 Mathews stability graph

该方法基于大量工程实践经验,以稳定性系数N和水力半径H_R为基础。其中,N代表岩体在一定应力条件下保持稳定的能力;H_R反映采空区尺

寸及形状对其稳定性的影响。

$$N=Q'\times A\times B\times C \tag{1}$$

$$Q'=\frac{RQD}{J_n}\times\frac{J_r}{J_a}\times\frac{J_w}{S_f} \tag{2}$$

式中:RQD 为岩体质量指标;J_r 为节理粗糙度;J_n 为节理组数;J_a 为节理蚀变、充填体胶结程度;J_w 为地下水折减系数;S_f 为应力折减系数;A 为岩石应力系数;B 为节理产状调整系数,应考虑不连续表面的方向;C 为重力调整系数,反映重力对采场矿岩稳定性的影响,与采场倾角 θ 有关。

水力半径 H_R:

$$H_R=\frac{S}{L} \tag{3}$$

式中:S 为采场面积;L 为采场周长。

根据以上原理,计算矿山空区片麻岩顶板的容许水力半径,结果见表 1。

表 1 容许水力半径计算结果

Table 1 Calculation results of allowable hydraulic radius

位置	岩性	Q'	A	B	C	N	容许水力半径/m			
							稳定区	过渡区	支护区	崩落区
空区顶板	片麻岩	10.40	0.5	1	2	10.40	<6.0	6.0~8.5	11.5~14.0	>14.0

-40 m 分段各分区的采空区顶板水力半径计算结果见表 2。

表 2 -40 m 分段各分区采空区顶板水力半径及分级

Table 2 The hydraulic radius and classification of goal roof in each partition of -40 m section

空区	几何参数		H_R	稳定性	采空区等级
	长/m	宽/m			
一区	119	51.1	17.87	崩落区	Ⅳ
二区	58	54.0	13.98	支护区	Ⅲ
三区	355	92.0	36.50	崩落区	Ⅳ

根据 Mathews 图解法可知,-40 m 分段一区、三区的采空区等级为Ⅳ级,随时可能产生垮冒。其中一区采空区水力半径接近支护临界范围,说明该区域可能发生垮冒并形成拱状,随后趋于稳定;二区采空区等级为Ⅲ级,留有房柱支撑,发生垮冒事故的可能性较低。

2.2 数值模拟

根据现场实际情况,建立采场数值模型,如图 3 所示,空区和矿体模型如图 4 所示。

矿体开挖后西侧空区顶板围岩的最大主应力、最小主应力、位移及塑性区云图分别如图 5 至图 8 所示。由图 5 和图 6 可知,采场回采后,空区附近以拉应力为主,西侧采空区出现明显的拉应力集中,空区顶板拉应力值为 2.01 MPa,已达片麻岩抗拉强度,正经历大面积拉伸破坏;由图 7 可知,矿体开挖后西侧空区顶板围岩的位移量显著大于东侧,且以空区为中心呈“弧状”扩展,最大位移值为 1.54 cm,空区顶板处于稳固状态;由图 8 可知,西侧空区存在大面积以拉伸破坏为主的塑性区,形成了从-20 m 向上至-6 m 左右的自然拱状。综上,空区西侧以拉伸破坏为主,位移变形量较小,但片麻岩岩性较硬,西侧空区顶板存在突发冒落风险,也有可能已形成部分完整的自然冒落拱。

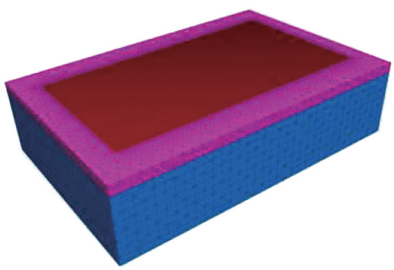


图 3 采场整体数值计算模型

Fig.3 Numerical calculation model of the whole stope

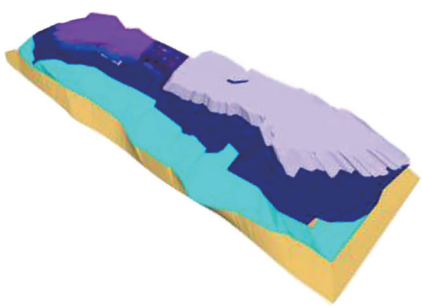


图 4 矿体及采空区单元示意

Fig.4 Schematic of ore body and goaf unit

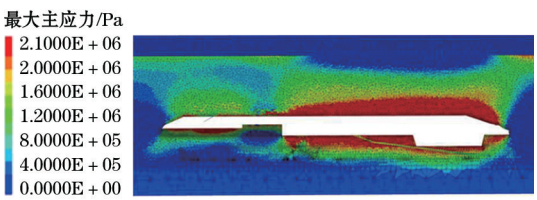


图 5 西侧空区顶板围岩最大主应力云图

Fig.5 Maximum principal stress cloud diagram of roof surrounding rock in western mining area

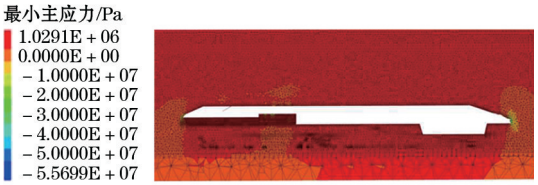


图 6 西侧空区顶板围岩最小主应力云图

Fig.6 Minimal principal stress cloud diagram of roof surrounding rock in western mining area

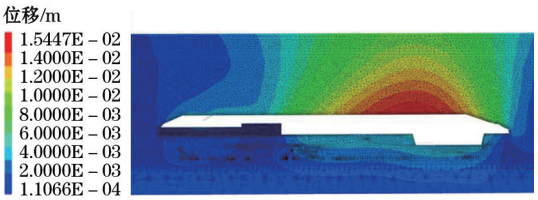


图 7 西侧空区顶板围岩位移云图

Fig.7 Displacement cloud diagram of roof surrounding rock in western mining area

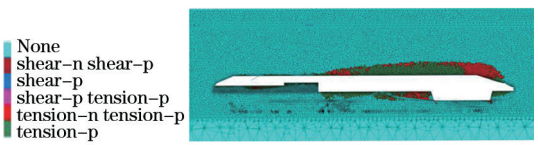


图 8 西侧空区顶板围岩塑性区云图

Fig.8 Plastic zone cloud diagram of roof surrounding rock in western mining area

2.3 稳定性分析结果

基于采空区稳定性分析结果可知,空区顶板的破坏形式以拉伸破坏为主,塑性区大面积分布于空区顶板中心位置,结合空区顶板的拉伸应力分布特征,该区域整体处于失稳状态,存在大面积冒落风险。因此,在采空区得到有效处理前,不建议采用常规回采方法对-72 m 分段进行大面积回采并完成相应封堵,对-90 m 中段改用充填采矿法回采,避免空区范围进一步扩大。

3 采空区封堵研究

3.1 采空区现状

根据当前生产现状,拟对-72 m 分段停止回采作业,并对-72 m 及以上分段进行封堵,后续改用充填法回采-90 m 分段。为实现采空区与作业面的有效隔离,需先对与空区相通的穿脉、竖井等开展现状调研,竖井现状如图 9 所示。

(1) 空区现状:-40 m 和-56 m 分段已回采结束,-72 m 分段回采了 9-2# 进路以西采场;-90 m 分段溜井虽采用振动放矿机或平底结构形式,但目前溜井内均处于堆满状态。

(2) 竖井情况:材料井与-40 m、-72 m 和-90 m 分段联通;措施井与-90 m 和-40 m 分段联通;风井与-40 m、-72 m 和-90 m 分段联通;5# 溜井、5-1-1# 溜井、5-1-2# 溜井、3-1-3# 溜井、3# 溜井、3-2# 溜井、01# 溜井、02# 溜井与-56 m、-72 m 和-90 m 中段联通;6-0# 溜井、5-0# 溜井、5-1-0# 溜井作为临时水仓,与-72 m、-90 m 分段不联通;6# 溜井、5-1-3# 溜井、4-3# 溜井、3-1-0# 溜井、2-2# 溜井、01-1# 溜井以及-72 m 至-56 m 风井 1,与-72 m、-90 m 分段未贯通;5-2# 溜井已过回采位置。

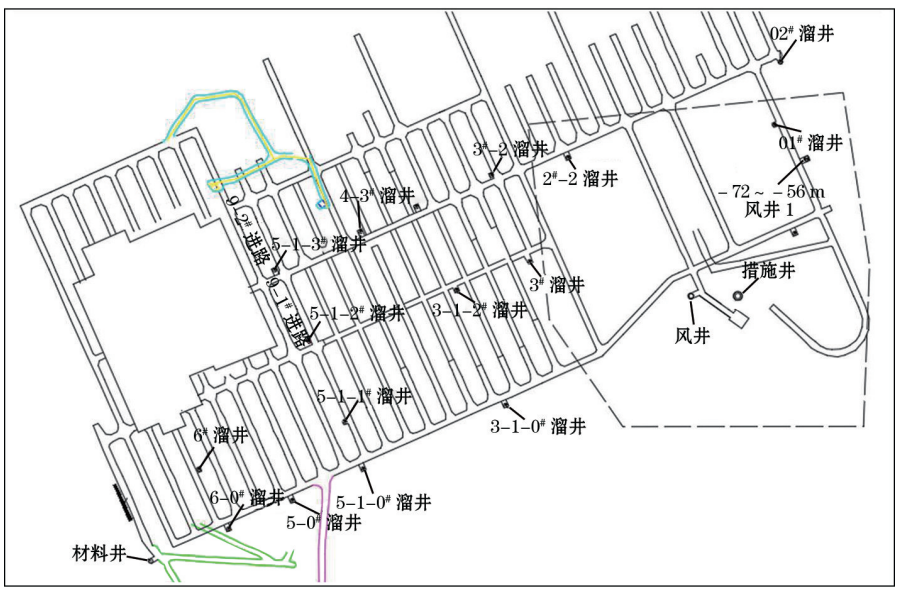


图 9 竖井现状

Fig.9 Shaft status

3.2 封堵现状

根据矿山原设计方案,完成了－56 m 分段的三处封堵:分别在－56 m 分段至该分段马头门的联络巷位置构筑混凝土阻波墙,在－56 m 分段至－40 m 斜坡道位置构筑齿状阻波墙,在－56 m 分段与－56 m 至－40 m 斜坡道岔口位置前构筑混凝土块阻波墙。封堵现状示意如图 10 所示。

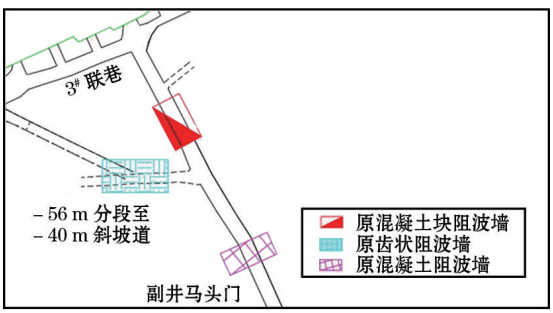


图 10 封堵现状示意

Fig.10 Schematic of blocking status quo

3.3 封堵方案

根据开采现状和封堵现状,对井下进行封堵设计,避免冲击波对－90 m 分段,以及－72 m 分段除已开采区域外其他作业区域的人员产生威胁。

具体的封堵方案如下(见图 11):

(1) 对－72 m 分段已回采区域以外的地段设混凝土阻波墙隔离;

(2) 对－72 m 分段混凝土阻波墙以内的 5# 溜井采用钢板井盖封闭处理;

(3) 对－72 m 分段混凝土阻波墙以外,联通－40 m、－52 m 和－90 m 分段的井巷(材料井、5-1-1# 溜井、5-1-2# 溜井、3-1-3# 溜井、3# 溜井、3-2# 溜井、01# 溜井、02# 溜井)采用斜钢板井盖封堵;

(4) 对－72 m 分段联通至－56 m 分段的东西两侧斜坡道采用矿用防爆门或齿状混凝土阻波墙进行封闭(具体支护方式根据施工难度确定);

(5) 对－56 m 分段保持原矿山设计方案不变。

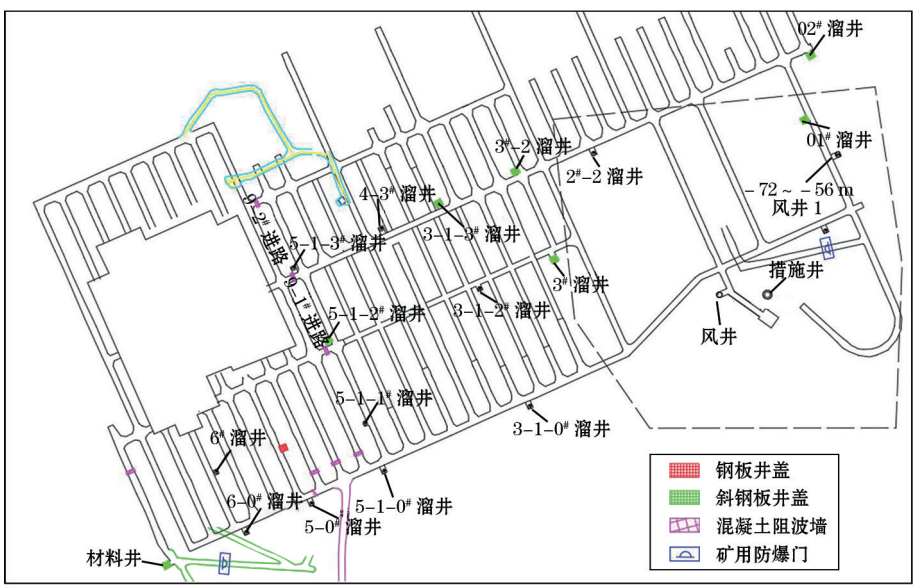


图 11 －72 m 分段封堵设计方案

Fig.11 －72 m segmented plugging design schemes

4 回采方案研究

该区域矿体属于典型的倾斜厚大矿体,矿岩整体稳固性好,前期一直采用分段崩落法开采,现拟改用充填法对－90 m 分段进行回采。由于矿体中常含有大理岩夹层,以往采用的崩落采矿法对大理岩夹层无法剔除,导致矿石贫化率达 20%。结合目前矿山产能需求较小的实际条件,初选出以下三种采矿方法作为矿区开采的初步方案。

方案一:分段空场嗣后充填采矿法。

方案二:沿矿体走向上向水平分层充填采矿法(盘区机械化上向水平分层充填采矿法)。

方案三:垂直矿体走向上向水平分层充填采矿法。

4.1 分段空场嗣后充填采矿法

采场沿矿体走向布置,分步骤回采,一步骤和二步骤采场宽度均为 10 m,盘区长度 50 m,采场长度 37 m,盘区间柱宽 13 m,采场高度 18 m。利用－90

m 盘区穿脉施工规格为 3.6 m×3.4 m 的凿岩巷连通两侧穿脉,在采场中部施工直径为 1.8 m 的切割天井,在－72 m 分段施工规格为 3.6 m×3.4 m 的充填回风联络巷,从上部贯通天井。凿岩使用 CKY50 型台车,施工上向扇形中深孔,使用多孔粒状铵油炸药配合非电导爆系统实施微差爆破,出矿前期采用 WJ-2 铲运机和 UK-20 矿卡,后期改用遥控铲运机出矿。在采场端部设置挡墙,从－72 m 分段经充填回风巷完成充填,一步骤和二步骤采场充填体 28 d 强度分别达到 1.5～2.0 MPa 和 0.5～0.7 MPa 以上,顶部 0.5 m 浇面层 7 d 内强度需达到 1.0 MPa 以上。

4.2 盘区机械化上向水平分层充填采矿法

－90 m 分段盘区穿脉间距 50 m,采场沿走向分步骤回采,一步骤、二步骤采场宽度均为 10 m,回采长度 37 m,盘区间柱宽 13 m,分段高度为 18 m,分 6 层回采(回采高度 3 m、挑顶 5 m、预留 2 m 作业空间),下部 4 层的出矿运输由－90 m 中段运输平巷负责,上部 2 层由－72 m 分段联络道负责。采准切割工程含斜坡道、下盘运输巷等,通过 4.5 m×4.0 m 的斜坡道连接两个分段,坡度小于 10%,1.5 m 直径的充填回风井布置在采场内侧,通过在采场底层布置 3.6 m×3.4 m 的拉底巷道并扩帮,形成回采作业空间。采用 DW2-50 双臂台车施工水平浅孔,配合微差爆破,爆破完成后通风 40 min 以上并清理松石,采用 WJ-2 铲运机和 UK-20 矿卡出矿,一步骤采场经盘区联巷出矿,二步骤采场与邻盘区一步骤采场同时回采,盘区间柱在一步骤采场充填养护后回收。在采场一端设置挡墙,从－72 m 分段经充填回风巷充填,充填高度 3 m,一步骤、二步骤采场充填体底部 2.5 m 范围内 28 d 强度分别达 1.0 MPa 和 0.5～0.7 MPa 以上,顶部 0.5 m 浇面层 7 d 内强度达 1.0 MPa 以上。采场沿走向布置的机械化上向水平分层充填采矿法如图 12 所示。

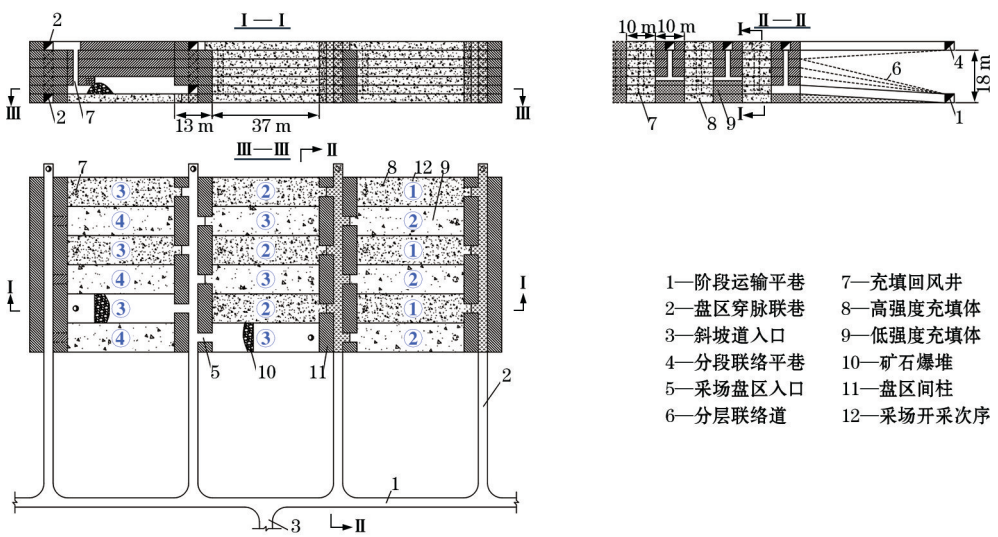


图 12 机械化上向水平分层充填采矿法(沿走向布置)示意

Fig.12 Mechanized upward horizontal layered filling mining method (arranged along strike)

4.3 垂直矿体走向上向水平分层充填采矿法

矿体厚度约 200 m,采场垂直矿体走向布置,两侧采场长约 100 m,上下盘设斜坡道、脉外运输巷及分层联络巷,分步骤回采,一步骤、二步骤采场宽度均为 10 m,分段高度为 18 m,分 6 层回采(挑顶高 5 m、回采 3 m、留 2 m 作业空间),下部 4 层的出矿运输由－90 m 中段运输平巷、上部 2 层由－72 m 分段联络道负责。采准切割工程涵盖上下盘斜坡道、运输巷等,4.5 m×4.0 m 斜坡道连接两分段,3.6 m×3.2 m 分层联络巷间距 10 m,直径为 1.5 m 的充填回风井设于采场远端,通过在底层中部布置 3.6 m×3.4 m 拉底巷道并扩帮,完成切割;采用 DW2-50 双臂台车钻凿水平浅孔,配合微差起爆,爆破后通风并清理碎石,由 WJ-2 铲运机配合 UK-20 矿卡出矿。在采场近联络巷端设置挡墙,从－72 m 分段经回风巷完成充填,充填高度 3 m,一步骤、二步骤采场底部 2.5 m 范围内充填体强度分别达 1.0 MPa 和0.5～0.7 MPa 以上,顶部 0.5 m 浇面层 7 d 内强度达 1.0 MPa 以上。

4.4 采矿方法对比分析

(1) 技术经济指标对比分析。

根据矿山的生产技术条件和其他类似矿山的生产经验,综合对比了三种采矿方法的采场生产能力、

采矿工效、采切比、贫化率和损失率,对比结果见表3。由表3可知,分段空场嗣后充填采矿法采场生产能力相对于上向水平分层充填采矿法更大;由于矿体内多含小夹层,中深孔和浅孔的夹层剔除厚度不同,导致分段空场嗣后充填采矿法的贫化率较高。盘区机械化上向水平分层充填采矿法和垂直矿体走向上向水平分层充填采矿法的矿石贫化率、损失率相近,但是后者的采场生产能力和采切工程量更大。由于采区的设计产能只有35万t,且主要用于露天采场的配矿需求,仅对贫化率需求较高,因此,上向水平分层充填法优势明显。

表3 主要技术经济指标对比

Table 3 Comparison of main technical and economic indicators

采矿方法	采场生产能力/(t/d)	采切比/(m/kt)	矿石贫化率/%	矿石损失率/%
分段空场嗣后充填采矿法	293.00	3.62	14	10
盘区机械化上向水平分层充填采矿法	196.23	7.47	10	8
垂直矿体走向上向水平分层充填采矿法	245.00	10.59	9	8

(2) 回采安全性对比。

从回采安全性来看,矿山崩落法转充填法开采后,-56 m以上矿体均已采空,且上覆岩层厚度较小。若采用分段空场嗣后充填采矿法开采,形成空区后,空区上部矿层顶板厚度仅为16 m,且相较于浅孔,中深孔的爆破振动更大。此外,由于矿体厚度较大,相较于沿矿体走向布置采场,垂直矿体走向布置采场的开采风险更大。综上,盘区机械化上向水平分层充填采矿法在安全性方面更具优势。

(3) 综合对比分析结果。

综合考虑生产技术指标和回采安全性,推荐矿山采用盘区机械化上向水平分层充填采矿法开采。

5 现场应用效果

经现场应用,采用分段崩落采矿法和盘区机械法上向水平分层充填采矿法后的技术经济指标对比见表4。由表4可知,河南某铁矿崩落采矿法转充填采矿法开采后,单采场贫化损失指标改善显著,多采场同时生产可满足设计生产需求。充填采矿法和崩落采矿法的效益计算结果见表5和表6,相比沿用崩落法,改用充填采矿法回采后,矿山经济效益提高了4 947.67万元。

表4 技术经济指标对比

Table 4 Comparison of technical and economic indicators

采矿方法	单采场生产能力/(t/d)	采切比/(m/kt)	贫化率/%	损失率/%
分段崩落法	400~500	3.62	15	20
盘区机械化上向水平分层充填采矿法	180~200	7.47	10	8

表5 充填采矿法效益计算结果

Table 5 Calculation results of benefits of filling mining method 万元

精矿总价值	采矿成本	选厂精矿加工费	充填系统建设费用	采空区巷道封堵费用	采空区充填费用	费用总和	效益
125 667.64	73 929.54	27 767.47	2 000.00	100.00	8 290.95	112 087.96	13 579.68

表6 崩落采矿法效益计算结果

Table 6 Calculation results of benefits of caving mining method 万元

精矿总价值	采矿成本	选厂吨精矿加工费	马河改道费用	强制放顶费用	地表塌陷区租地费用	土地复垦回填塌陷区费用	尾矿库排放尾矿或压滤费用	费用总和	效益
102 091.96	53 589.88	22 558.20	800.00	1 000.00	1 600.00	11 557.55	2 354.32	93 459.95	8 632.01

6 结论

(1) 运用FLAC3D数值模拟软件开展空区稳定性研究,结合应力、位移和塑性区的分析结果可知,空区西侧以拉伸破坏为主,位移量较小,结合研究区域片麻岩硬度较高的特性分析,西侧空区顶板存在两种可能:一是发生突发性冒落,二是空区顶部已经形成完整的自然冒落拱;而东侧空区顶板位移值较小,整体稳定性较好。

(2) 针对矿山空区顶板冒落引发的安全风险,建议-72 m分段停止沿用崩落采矿法开采,对-72 m以上分段进行封堵,-90 m分段改用充填采矿法回采。提出分段空场嗣后充填采矿法、盘区机械化上向水平分层充填采矿法、垂直矿体走向上向水平分层充填采矿法三种技术可行的开采方案,综合考量生产技术经济指标与回采安全性,推荐该矿山采

用盘区机械化上向水平分层充填采矿法回采,盘区间留设 13 m 宽间柱,挑顶高度为 5 m,回采高度为 3 m,并留设 2 m 回采作业空间。

(3) 经矿山现场应用,改用盘区机械化上向水平分层充填采矿法后,矿石贫化率由分段崩落采矿法时的 15%降至 10%,损失率由分段崩落采矿法时的 20%降至 8%,采切比提升至 7.47 m/kt,年产值满足矿山设计生产要求,且在剩余服务年限内,矿山经济效益可提升 4 947.67 万元。表明采用充填采矿法对采区矿体进行回采更为合理,能够产生更大的环境和经济效益。

参考文献(References):

[1] 张建伟,李宇泽,吕镇,等.基于 Mathews 法的红岭铅锌矿柱回收方法优选研究[J].有色金属(矿山部分),2025,77(2):80-85.
Zhang Jianwei, Li Yuze, Lyu Zhen, et al. Optimization of pillar mining method based on Mathews method in Hongling lead-zinc mine[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2025,77(2):80-85.

[2] 李要东,段伟.金属矿地下开采采矿方法优选[J].采矿技术,2025,25(1):48-53.
Li Yaodong, Duan Wei. Optimization of underground mining methods for metal mines[J]. Mining Technology, 2025, 25(1):48-53.

[3] 梅林芳,邓朋,何志义,等.某铁矿床充填采矿方案优选及采场结构参数优化[J].矿业研究与开发,2025,45(2):25-32.
Mei Linfang, Deng Peng, He Zhiyi, et al. Selection of filling mining scheme and optimization of stope structure parameters of an iron deposit[J]. Mining Research and Development, 2025, 45(2):25-32.

[4] 潘健.地下矿山崩落法处理采空区研究与应用[J].现代矿业,2025,41(1):57-61.
Pan Jian. Research and application of underground mine caving method in goaf treatment[J]. Modern Mining, 2025, 41(1):57-61.

[5] 马帅,刘文连,钟志勇,等.放矿过程中某铜矿冰碛物细颗粒运移特性研究[J].地下空间与工程学报,2024,20(增刊 2):741-748.
Ma Shuai, Liu Wenlian, Zhong Zhiyong, et al. Characterization on fine particle migration of moraine in a copper mine during ore release process[J].Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2024, 20(Suppl. 2): 741-748.

[6] 陈浩南.基于无底柱分段崩落法的矿山地压规律与采场结构参数优化研究[D].淮南:安徽理工大学,2024.
Chen Haonan. Study on mine ground pressure law and stope structure parameter optimization based on non-pillar sublevel caving method[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2024.

[7] 尹胜.长安金矿崩落法转充填法隔离矿柱留设及参数研究[D].昆明:昆明理工大学,2024.
Yin Sheng. Study on isolation pillar setting and parameters of caving method to filling method in Chang'an Gold Mine [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2024.

[8] 郭进平,卢皎旭,张文革,等.四方金矿崩落法转嗣后充填关键隔离层厚度研究[J].金属矿山,2023(6):51-60.
Guo Jinping, Lu Jiaoxu, Zhang Wen'ge, et al. Study on the thickness of the key isolation layer for the mining mode of caving followed by filling of Sifang Gold Mine[J]. Metal Mine, 2023(6):51-60.

[9] 张金来,汪光鑫,叶光祥,等.急倾斜薄脉群采空区处理及深部矿体协同开采技术[J].矿业研究与开发,2025,45(5):1-7.
Zhang Jinlai, Wang Guangxin, Ye Guangxiang, et al. Treatment to the goaf in steeply inclined thin vein group and synergistic mining technology for deep ore body[J]. Mining Research and Development, 2025, 45(5):1-7.

[10] 赵增山,张舟,金爱兵,等.张家洼铁矿崩落转充填采矿工艺及结构参数研究[J].金属矿山,2021(8):1-9.
Zhao Zengshan, Zhang Zhou, Jin Aibing, et al. Study on the mining technology and structure parameters of Zhangjiawa Iron Mine from caving to filling[J]. Metal Mine, 2021(8): 1-9.

[11] 李臣,陈团团,刘伟,等.未来矿山绿色高质量发展顶层规划设计研究[J].矿业安全与环保,2024,51(5):168-174.
Li Chen, Chen Tuantuan, Liu Wei, et al. Study on top-level planning and design of green and high-quality development of future mines [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2024, 51(5):168-174.

[12] 刘雨行,李国清,侯杰,等.采充协同作用下地下矿山短期计划优化[J].中国有色金属学报,2024,34(11):3887-3898.
Liu Yuxing, Li Guoqing, Hou Jie, et al. Short-term plan optimization of underground mine under the synergistic effect of mining and filling[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(11):3887-3898.

[13] 吕慧.黄金矿山高质量发展模式探析:以内蒙古太平矿业有限公司为例[J].黄金,2024,45(8):68-71.
Lyu Hui. Analysis of high-quality development mode for gold mines: a case study of Inner Mongolia Pacific Mining Co., Ltd[J]. Gold, 2024, 45(8):68-71.

[14] 龚永超,欧任泽,林卫星,等.深部硬岩地下矿山大规模回采并行充填及连续出矿工艺研究[J].矿业研究与开发,2025,45(3):1-9.
Gong Yongchao, Ou Renze, Lin Weixing, et al. Study on large-scale mining parallel filling and continuous ore drawing technology in deep hard rock underground mine[J]. Mining Research and Development, 2025, 45(3):1-9.

[15] 万林海.香炉山钨矿分层充填采矿工艺技术改进与实践[J].采矿技术,2025,25(1):195-200.

Wan Linhai. Technical improvement and practice of layered filling mining technology in Xianglushan tungsten mine[J]. Mining Technology,2025,25(1):195-200.

[16] 王旭,李闯,法源,等.复杂地形条件下充填工艺研究及应用[J].中国矿业,2024,33(2):168-174.
Wang Xu, Li Chuang, Fa Yuan, et al. Research and application of filling technology under complex terrain conditions[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(2): 168-174.

[17] 姜维,郝益民,张凯,等.崩落转充填过渡分段安全回采工艺及实践[J].矿业研究与开发,2020,40(3):24-27.
Jiang Wei, Hao Yimin, Zhang Kai, et al. Sublevel safe mining technology in the transition from caving to filling and its practice[J]. Mining Research and Development,2020,40(3):24-27.

[18] 徐海.崩落转充填采矿方法粗糙模糊集理论优选[J].中国矿业,2020,29(3):110-114.
Xu Hai. Optimization from caving to filling method based on rough fuzzy set theory[J]. China Mining Magazine,2020,29(3):110-114.

[19] 杨立新,陈俊智,任春芳,等.基于拓展的 Mathews 稳定图法和数值模拟的采空区稳定性分析[J].有色金属(矿山部分),2024,76(1):40-46.
Yang Lixin, Chen Junzhi, Ren Chunfang, et al. Stability analysis of goaf based on extended Mathews stability map method and numerical simulation[J]. Nonferrous Metals (Mining Section),2024,76(1):40-46.

[20] 舒帆,张敏思,林才泽,等.改进的 Mathews 稳定图法在新城金矿－530 m 中段采场设计中的应用[J].中国矿业,2024,33(10):185-192.
Shu Fan, Zhang Minsi, Lin Caize, et al. Application of improved Mathews stability diagram method in stopedesign of －530 m middle section of Xincheng Gold Mine[J].China Mining Magazine,2024,33(10):185-192.