

分段凿岩阶段空场嗣后充填采矿法采场跨度的优化*

王玉丁^{1,2}, 林卫星^{1,2}, 欧任泽^{1,2}, 刘奇^{1,2}, 龚永超^{1,2},
万孝衡^{1,2}, 高剑³, 张相焕³, 王亚军^{1,2}, 张海云^{1,2}

(1.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南长沙 410012;
2.金属矿山安全技术国家重点实验室, 湖南长沙 410012;
3.湖南宝山有色金属矿业有限责任公司, 湖南郴州市 424400)

摘要:采场跨度对矿山企业井下生产作业的安全性、经济效益以及开采效率影响重大。为选择合理的采场跨度,以安徽某铁矿为工程背景,运用 FLAC3D 数值分析软件和数学方法对分段凿岩阶段空场嗣后充填采矿法两步骤盘区采场跨度进行了研究。首先依据 Mathews 稳定图法计算结果,设计 6 组盘区两步骤采场跨度方案;然后利用 MIDAS/GTS 和 FLAC3D 构建相应仿真模型进行数值计算;最后基于 Critic 赋权法,引入采动效应参数和充填材料费用作为成本型评价指标,盘区生产能力作为经济型评价指标,对 6 组采场跨度方案进行安全性和经济效益综合评价。结果表明:方案 V (一步骤采场跨度 15 m,二步骤采场跨度 17 m)在综合评价中评分最高,属最优的两步骤采场跨度方案,且在现场工业试验中能够较好地满足矿山生产的安全、高效和经济需求。

关键词:分段凿岩阶段空场嗣后充填采矿法;Critic 赋权法;Mathews 稳定图法;采场跨度;数值模拟

中图分类号:TD853.34 **文献标识码:**A

文章编号:1005-2763(2024)06-0019-07

0 引言

矿山企业在早期开发中,其采矿方法的采场结构参数往往是根据工程经验确立的。随着矿山的不断开发,原有的采场结构参数可能无法满足矿山对开采安全、生产成本、经济效益以及开采效率等方面的需求。因而,生产矿山应根据自身长远发展需要及时开展采场结构参数优化工作。近年来,随着计算机软硬件设备的不断提升和软件开发技术的不断进步,计算机数值模拟技术在采场结构参数优化工作中得到了广泛应用。如王炳文等^[1]采用 FLAC3D 对九仗沟金矿采场结构参数进行优化研究,得到满

足安全要求的较优采场跨度;邹文^[2]选用 3D- σ 有限元分析软件构建采场有限元模型,经计算比选出不同埋深条件下的采场结构参数;邹平等^[3]采用 Bieniawski 矿柱强度设计公式和 MIDAS/GTS 数值模拟分析软件相结合的方式,确定了某铁矿的采场结构参数以及合理的回采顺序。然而,根据数值计算结果主观判别最优采场结构参数可能存在一定的偏差。因此,越来越多的学者将数学方法和数值分析相结合来优选采场结构参数^[4-14]。但这种方式也存在一定的局限性,如评价指标比较单一、未考虑采场结构参数的经济性等。

Critic 赋权法是一种适用于多属性、多目标决策的客观权重赋值法^[15],能够综合考量开采安全、生产成本、经济效益以及开采效率等因素,对采场结构参数做出决策。本文采用 Mathews 稳定图法计算出采场极限安全跨度,利用 MIDAS/GTS 和 FLAC3D 构建 6 组采场跨度模型,以采动效应参数和充填材料费用作为成本型评价指标,以盘区生产能力作为经济型评价指标,基于 Critic 赋权法对 6 组方案进行比选,以期获取最优的盘区两步骤采场跨度参数方案。

1 工程背景

某铁矿矿体平均倾角为 20°,平均厚度为 30 m,采用盘区两步骤分段凿岩阶段空场嗣后充填采矿法回采,采场结构布置如图 1 所示。矿体走向方向每 100 m 划分为一个盘区,盘区矿柱宽为 10~20 m,盘区宽为矿体的水平宽度。每个盘区沿走向布置采

* 收稿日期:2023-09-21

基金项目:湖南省自然资源厅科技项目(2022-40)。

作者简介:王玉丁(1993—),男,湖南隆回人,硕士,工程师,主要从事金属矿山采矿工艺研究工作,E-mail:diwangyuding@163.com。

通信作者:林卫星(1983—),男,湖南怀化人,博士研究生,教授级高工,主要从事金属矿山采矿工艺和科研管理工作,E-mail:418059380@qq.com。

场,分一步骤采场和二步骤采场进行回采,采场宽度为 15~18 m,采场长度为 80~90 m,高度为矿体的视厚度,中段高度为 50 m,分段高度为 12.5 m。依

据矿山发展规划,需开展采场跨度参数优化工作来实现矿山生产降本增效,即提升盘区生产能力,降低充填成本。

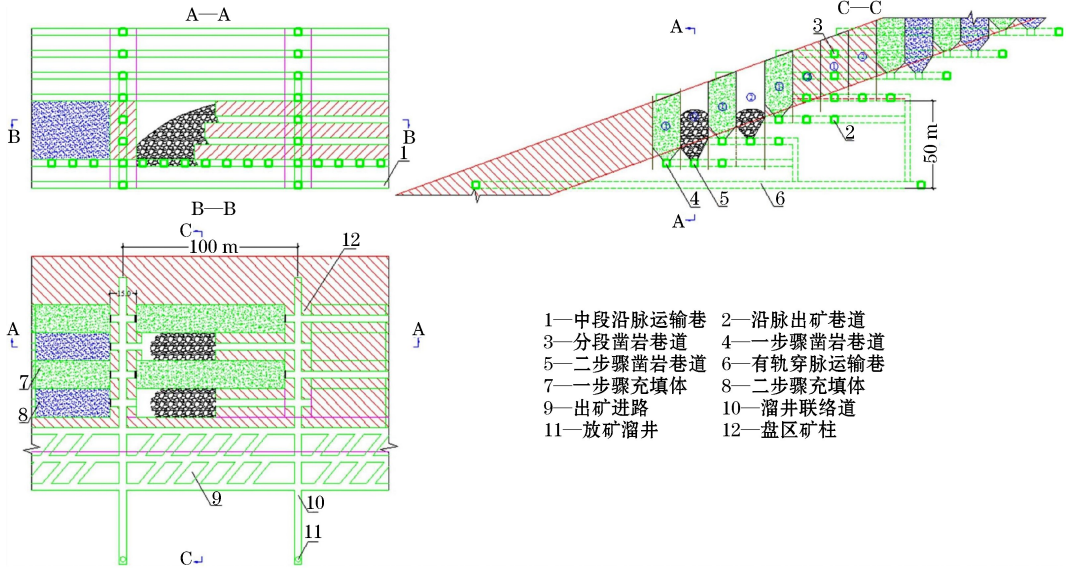


图 1 盘区两步骤分段凿岩阶段空场嗣后充填采矿法

Fig.1 Panel two-step sublevel drilling stage open slope with subsequent filling mining method

2 Mathews 稳定图法采场稳定性分析

Mathews 稳定图法是由 Mathews 等首先提出,并经 Potvin、Trueman 等修正和扩展的一种相对简单、理论上并不严密而基于实践的岩石分类系统。该方法的计算公式如下:

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

$$S = \frac{L \times H}{2 \times (L + H)} \tag{2}$$

式中, N 为稳定性系数; Q' 为修正的 Q 系统分级法值; A 为岩石强度因子,为在待评价的采空面边界

上岩石单轴抗压强度 σ_c 与诱生的压应力 σ_i 之比; B 为节理方向调整参数,取决于关键不连续节理面方向与待分析面方位间的差值; C 为重力调整因子,与重力作用下待分析采空面的破坏模式如上盘冒落、片帮、帮壁下滑等有关; S 为待分析的采场帮壁或采空面的形状因子(安全水力半径); L 为暴露面的长度; H 为暴露面的宽度。

与某矿区采场稳定性密切相关的岩体为粗安岩和磁铁矿体,基于矿区工程地质调查结果,按照采场宽 15 m、长 85 m,计算了两类矿岩的采场暴露面积和极限安全跨度,见表 1。

表 1 矿岩暴露面积与极限安全跨度

Table 1 Exposed area of rock and ultimate safety span

调查区岩性	部位	Q'	A	B	C	稳定性系数 N	安全水力半径 S/m	暴露面积/ m^2	极限安全跨度/ m
粗安岩	顶板	11.72	1	0.85	1.42	14.17	10.17	1650	19
	侧帮	11.72	1	0.50	8.00	46.88	19.56	6200	88
磁铁矿体	顶板	11.79	1	0.85	1.42	14.25	10.20	1660	19
	侧帮	11.79	1	0.50	8.00	47.16	19.62	6250	89

矿房采场跨度关乎到采场顶板稳定性、矿房生产能力以及充填成本等。基于 Mathews 稳定图法计算结果和矿山生产实际,设计了 6 组两步骤采场跨度方案,见表 2。

3 盘区两步骤采场跨度模拟计算

3.1 模型构建

回采工作主要是模拟一个盘区的采场回采,盘

区内部共计 8 个采场。采场长度为 85 m,采场跨度对应其设计方案,采场高度由矿体厚度、所处分段或中段以及采场跨度决定。三维网格模型如图 2 所示。

表 2 盘区两步骤采场跨度设计方案

Table 2 Design schemes of two-step stope span in panel

设计方案	一步骤采场跨度/m	二步骤采场跨度/m
方案 I	13	15
方案 II	13	17
方案 III	13	19
方案 IV	15	15
方案 V	15	17
方案 VI	15	19

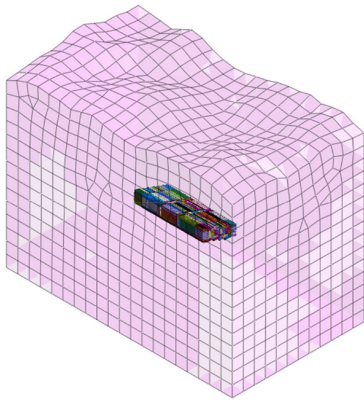


图 2 三维网格模型

Fig.2 Three-dimensional mesh model

回采分 4 个时步进行:时步 1 回采一步骤矿房;时步 2 充填一步骤矿房;时步 3 回采二步骤矿房;时步 4 充填二步骤矿房。盘区采场布置如图 3 所示。

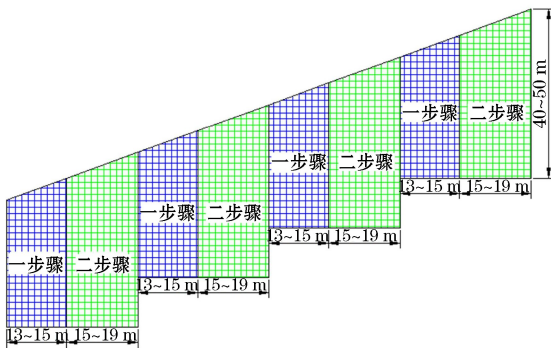


图 3 盘区两步骤采场布置

Fig.3 Two-step stope layout in panel

3.2 矿岩物理力学参数

三维数值模型岩体均为弹塑性材料,故选择摩尔-库伦本构模型。经 Hoek-Brown 准则折减后的矿岩体及充填体的力学参数见表 3。

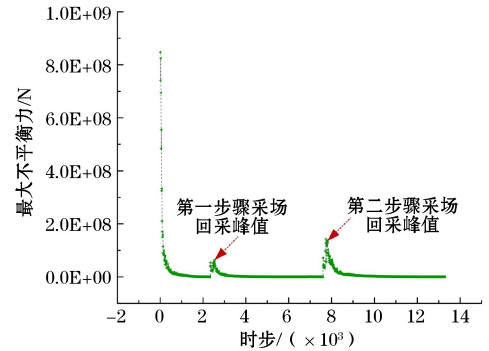
表 3 模型材料的物理力学参数

Table 3 Physical and mechanical parameters of model materials

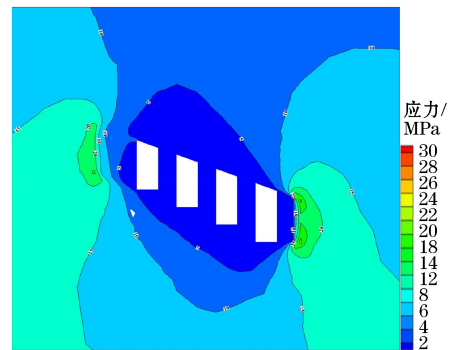
模型材料	容重/ (kN/m ³)	内聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)	弹性模量/ GPa	泊松比	抗拉强度/ MPa	抗压强度/ MPa
矿体	38.8	5.70	38.2	49.50	0.26	0.62	15.10
粗安岩	26.1	8.30	41.3	46.82	0.25	1.76	20.48
充填体 1	16.7	0.53	37.5	0.65	0.28	0.10	2.00
充填体 2	16.7	0.12	27.0	0.32	0.32	0.04	0.50

3.3 计算结果分析

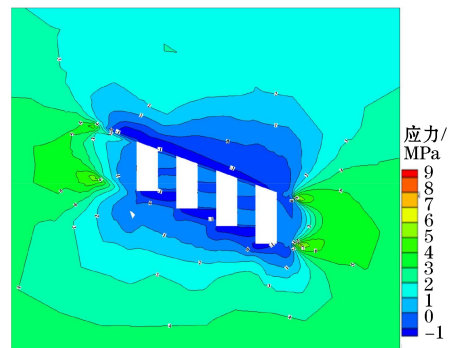
共有 6 组不同采场跨度的盘区数值模型,且每个模型计算有 4 个时步,考虑到采场稳定性重点研究区(二步骤采场回采)和篇幅限制,仅列出方案 I 对应的盘区模型时步 3 回采时的最大不平衡力、应力和位移云图,如图 4 所示。6 组方案时步 3 的采动效应指标见表 4。



(a) 最大不平衡力



(b) 第一主应力场



(c) 第三主应力场

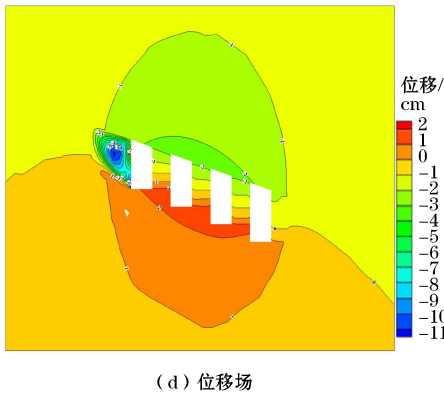


图 4 方案 I 中时步 3 的采动效应

Fig.4 Mining effect of time step 3 in scheme I

图 4 显示:时步 3 采场开采后,盘区顶板发生整体应力释放,采空区顶板发生明显沉降,并显现出拉伸荷载,同时相邻中段盘区接壤区域发生应力积聚。

表 4 6 组方案时步 3 的采动效应指标值

Table 4 Index values of mining effect for time step 3 of 6 groups of schemes

方案编号	不平衡力峰值增幅/%	压应力峰值/MPa	拉应力峰值/MPa	顶板沉降量峰值/cm
I	121.36	32.17	1.756	2.32
II	149.77	32.97	1.756	2.31
III	186.91	33.21	1.759	2.41
IV	144.94	32.75	1.751	2.45
V	170.93	33.30	1.755	2.60
VI	195.52	34.02	1.759	2.71

由表 4 可得出如下结论。

(1) 不平衡力峰值反映了开采扰动所引发的地应力活动情况,其增幅是相较于时步 1 开采时的不平衡力峰值而言,目的在于排除模型网格单元影响。6 组方案的不平衡力峰值增幅从小到大依次为:方案 I、方案 IV、方案 II、方案 V、方案 III、方案 VI,表明地应力活动剧烈程度整体与盘区采场开挖量成正相关分布,同时在同等开挖量的情况下又受到盘区整体结构影响。

(2) 压应力峰值反映了原岩应力场“再平衡”过程中引发的采空区周边矿岩的压应力积聚程度,从数值来看,6 组方案的压应力峰值均超过矿岩体的极限抗压强度,极易引发矿岩发生剪切破坏,但从压应力积聚的区域来看,容易发生剪切破坏的区域相对较小。此外,6 组方案中,方案 I 和方案 IV 的压应力积聚强度相对较低。

(3) 拉应力峰值显示,方案 III 和方案 VI 的拉应

力极值十分接近矿岩的极值承拉强度,方案 I 和方案 IV 的拉应力峰值相对较低。

(4) 6 组方案采空区顶板的最大沉降量均未超过 5 cm,根据容许极限位移量判据可知,采空区顶板较大程度上能够维持稳定。

综上所述,方案 I 的采动效应指标相对最优,采场相对最为稳定,但其盘区生产能力相对最低,而方案 III 和方案 VI 的采场安全性相对最低,但其盘区生产能力较大。同时,在生产实际中还需考虑盘区充填成本因素影响,故无法直接依据数值模拟结果判断最优方案。因此采用 Critic 赋权法,分别引入成本型指标“充填材料成本”和效益型指标“盘区生产能力”进行盘区采场跨度优选。

4 Critic 赋权法采场跨度优选

4.1 Critic 赋权法简介

Critic 赋权法是由 DIAKOULAKI 提出的一种客观权重赋值法,该方法主要适用于多属性、多目标的决策,其主要思路是基于决策矩阵信息,建立数学模型计算权值。Critic 客观赋权法综合模型构建步骤如下。

(1) 构建评估矩阵 Y 。评估矩阵 Y 由 k 个评估对象和 m 个评估指标构成。

$$Y = [y_{ij}]_{k \times m} = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{k1} & \cdots & y_{km} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, y_{ij} 为第 i 种采场跨度方案第 j 个评价指标。

(2) 原始指标数据处理。评估矩阵原始指标数据经归一化处理,得到矩阵 $Z = [z_{ij}]_{k \times m}$ 。

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{y_{ij} - \min(y_{ij})}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} & \text{(效益型指标)} \\ \frac{\max(y_{ij}) - y_{ij}}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} & \text{(成本型指标)} \end{cases} \quad (4)$$

式中, z_{ij} 为归一化处理后的第 i 种采场跨度方案第 j 个评价指标。

(3) 构建相关系数矩阵 P 。

$$P = [p_{ij}]_{m \times m} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, p_{ij} 为指标 i 和 j 之间的相关性系数。

(4) 相关性系数计算。

$$p_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (z_{im} - \bar{z}_i)(z_{jm} - \bar{z}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (z_{im} - \bar{z}_i)^2 \sum_{k=1}^n (z_{jm} - \bar{z}_j)^2}} \quad (6)$$

(5) 确定评价指标变异性和冲突性系数。标准差 σ_j 是评价指标变异性的表征量,冲突性系数计算公式为:

$$c_j = \sum_{m=1}^n (1 - p_{mj}) \quad (7)$$

式中, c_j 为评价指标冲突性系数, $j \in [1, n]$ 。

(6) 构建权重系数矩阵 W 。各评价指标的客观权重确定是以指标内的变异性和冲突性来综合表征的,其计算公式为:

$$w_i = \frac{\sigma_j \times c_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j \times c_j} \quad (8)$$

根据评价指标的权重系数,可获得权重系数矩阵 W :

$$W = [w_1 \quad w_2 \quad w_3 \quad \dots \quad w_n] \quad (9)$$

(7) 计算综合评价模型矩阵 S 。

$$S^T = Z \times W^T \quad (10)$$

式中, S^T 和 W^T 分别为 S 和 W 的转置矩阵。

4.2 跨度参数优选

依据两步骤采场跨度方案,可计算出盘区成本型指标“充填材料成本”和效益型指标“盘区生产能力”,同时结合数值模拟结果,得到各方案的评价指标,见表 5。

表 5 各方案评价指标

Table 5 Evaluation indexes of each scheme

方案编号	不平衡力峰值增幅/%	压应力峰值/MPa	拉应力峰值/MPa	顶板沉降量峰值/cm	充填材料成本/(元/t)	盘区生产能力/(t/d)
I	121.36	32.17	1.751	2.30	10.81	1228
II	149.77	32.97	1.756	2.31	10.63	1284
III	186.91	33.21	1.759	2.41	10.47	1349
IV	144.94	32.75	1.751	2.45	11.01	1296
V	170.93	33.30	1.755	2.60	10.62	1352
VI	195.52	34.02	1.759	2.71	10.66	1426

利用式(4)先对表 5 中的数据进行归一化处理,得到评估矩阵:

$$Z = \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & 0.37 & 0.98 & 0.41 & 0.00 \\ 0.62 & 0.57 & 0.37 & 1.00 & 0.78 & 0.28 \\ 0.12 & 0.44 & 0.00 & 0.25 & 1.00 & 0.61 \\ 0.68 & 0.69 & 1.00 & 0.43 & 0.00 & 0.34 \\ 0.33 & 0.39 & 0.50 & 0.50 & 0.80 & 0.63 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.74 & 1.00 \end{bmatrix}$$

同时分别结合式(5)至式(8),计算出评价指标的变异系数、相关性系数、冲突性系数、权重系数以及各方案综合评分,见表 6 至表 10。

表 6 评价指标变异系数

Table 6 Variation coefficient of evaluation indexes

不平衡力峰值增幅	压应力峰值	拉应力峰值	顶板沉降量峰值	充填材料成本	盘区生产能力
0.344	0.304	0.339	0.364	0.329	0.315

表 7 评价指标相关性系数

Table 7 Correlation coefficient of evaluation indexes

指标	不平衡力峰值增幅	压应力峰值	拉应力峰值	顶板沉降量峰值	充填材料成本	盘区生产能力
不平衡力峰值增幅	1.000	0.936	0.606	0.836	-0.645	-0.957
压应力峰值	0.936	1.000	0.508	0.778	-0.529	-0.979
拉应力峰值	0.606	0.508	1.000	0.296	-0.830	-0.486
顶板沉降量峰值	0.836	0.778	0.296	1.000	-0.160	-0.879
充填材料成本	-0.645	-0.529	-0.830	-0.160	1.000	0.475
盘区生产能力	-0.957	-0.979	-0.486	-0.879	0.475	1.000

表 8 评价指标冲突性系数

Table 8 Conflict coefficient of evaluation indexes

不平衡力峰值增幅	压应力峰值	拉应力峰值	顶板沉降量峰值	充填材料成本	盘区生产能力
4.22	4.29	4.91	4.13	6.69	7.82

表 9 评价指标权重系数

Table 9 Weight coefficient of evaluation indexes

不平衡力峰值增幅	压应力峰值	拉应力峰值	顶板沉降量峰值	充填材料成本	盘区生产能力
0.137	0.123	0.157	0.142	0.208	0.233

表 10 6 组方案最终评分

Table 10 Final score of 6 groups of schemes

方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV	方案 V	方案 VI
0.542	0.460	0.455	0.472	0.554	0.387

表 10 中的数据显示,方案 I 和方案 V 评分结果接近,且均在 0.5 以上,其中方案 V 评分最高,即最优的两步骤采场跨度方案为:一步骤采场跨度 15 m,二步骤采场跨度 17 m。

5 工程应用

为检验优选出的采场跨度设计方案的安全性,在研究矿区西侧 -420 m 中段开展工业试验,如图 5 所示。盘区一步骤采场跨度为 15 m,二步骤采场跨度为 17 m。利用三维空区扫描设备分别对回采完成后的一、二步骤采场进行空区扫描,并构建原位三维几何模型,如图 6 所示。

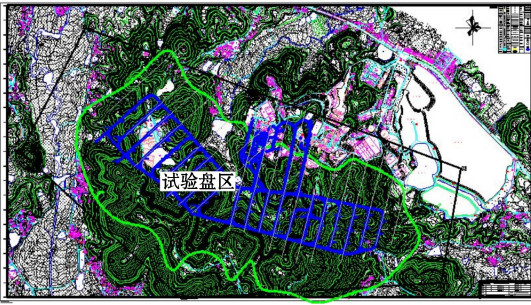


图5 试验盘区井上井下位置

Fig.5 Downhole and uphole location of test panel

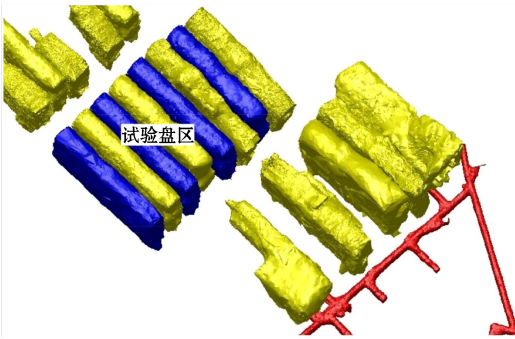


图6 试验盘区采场空区扫描模型

Fig.6 Stope empty area scanning model of test panel

由图5可知,盘区一、二步骤采场回采完成后,采场空区在充填之前均保持比较规整的三维空间形态,通过对二步骤采空区扫描模型进行水平剖面切割,可观测出临近一步填充体的分布状态,如图7所示。图7显示,尽管受二步骤采场矿体采动影响,一步采场的充填体整体仍保持良好状态,仅在临近采场边界处有小范围的充填体混入采场,且整体水平厚度控制在0.30 m范围内。同时,现场统计数据 displays,试验盘区的实际生产能力为1339 t/d,充填材料成本为10.64元/t。因此,依据优选结果布置的盘区二步骤采场回采后,采空区顶板和侧帮稳定性较好,并未发生较大范围的变形和破坏,同时在盘区生产能力和充填材料成本控制方面也达到了矿山预期,验证了Critic赋权法在盘区采场跨度方案优选方面的适用性及可行性。

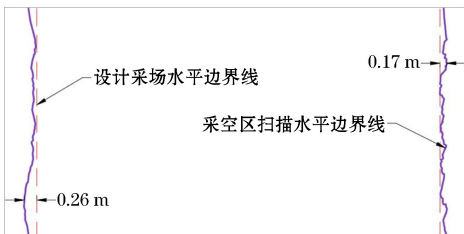


图7 二步骤采空区扫描模型典型水平剖面图(局部)

Fig.7 Typical horizontal section of two-step goaf scanning model (local)

6 结论

(1) 利用 Mathews 稳定图法,结合矿岩工程地质情况,初步计算出盘区采场的极限跨度尺寸为19 m,为盘区二步骤采场跨度方案设计提供了依据。

(2) 采用数值分析方法对盘区二步骤采场跨度方案进行采充仿真计算,获取了不平衡力峰值增幅、拉应力峰值、压应力峰值以及顶板沉降量峰值等多个采动效应评价指标。

(3) 引入 Critic 赋权法,以不平衡力峰值增幅、压应力峰值、拉应力峰值、顶板沉降量峰值、充填材料成本以及盘区生产能力作为评价指标,构建了盘区二步骤采场跨度评价模型,并比选出最优的采场跨度方案为方案V,即一步采场跨度15 m,二步骤采场跨度17 m。现场工业试验结果表明,优选方案能够兼顾矿山对生产安全性、经济效益以及开采效率等方面的需求。

参考文献(References):

[1] 王炳文,熊庭永,崔向宇,等.九仗沟金矿上向进路采场结构参数优化[J].中国矿业,2019,28(7):110-113.
WANG Bingwen, XIONG Tingyong, CUI Xiangyu, et al. Optimization of structural parameters of upper approach mining field in Jiuzhanggou Gold Mine[J]. China Mining Magazine,2019,28(7):110-113.

[2] 邹文.黑牛洞铜矿地应力分布规律及采场结构参数优化研究[J].采矿技术,2022,22(2):33-39.
ZOU Wen. Study on the distribution law of ground stress and the optimization of stope structure parameters in Heiniudong Copper Mine[J]. Mining Technology,2022,22(2):33-39.

[3] 邹平,贺超,李爱兵,等.某缓倾斜铁矿采场结构参数与开采顺序优化研究[J].矿冶工程,2020,40(2):37-42.
ZOU Ping, HE Chao, LI Aibing, et al. Optimization of stope structural parameters and mining sequence of a slightly inclined iron mine [J]. Mining and Metallurgical Engineering,2020,40(2):37-42.

[4] 赵国彦,李振阳,代俊成.基于 Vague-RSM-AFSA 模型的采场结构参数优化研究[J].黄金科学技术,2019,27(4):497-504.
ZHAO Guoyan, LI Zhenyang, DAI Juncheng. Optimization research on stope structural parameters based on Vague-RSM-AFSA model [J]. Gold Science and Technology, 2019,27(4):497-504.

[5] 李加州,马俊杰.基于 AHP-TOPSIS 模型的某矿采场结构参数优选[J].金属矿山,2023(8):189-195.
LI Jiazhou, MA Junjie. Optimization of stope structure parameters based on AHP-TOPSIS model of a mine [J]. Metal Mine,2023(8):189-195.

[6] 黄德镛,贾子月,吕世玮,等.基于正交设计试验方案的云南某铜矿采场结构参数优化研究[J].有色金属工程,2023,13(4):111-119.

- HUANG Deyong, JIA Ziyue, LYU Shiwei, et al. Study on optimization of stope structure parameters of a copper mine in Yunnan based on orthogonal design test scheme [J]. *Nonferrous Metals Engineering*, 2023, 13(4): 111-119.
- [7] 姚高辉,张金钟,吴松平,等.深部高应力条件下采场结构参数优化研究[J].*中国有色金属*, 2023(增刊1): 78-83.
- YAO Gaohui, ZHANG Jinzhong, WU Songping, et al. Study on optimization of stope structure parameters under deep high stress conditions [J]. *China Nonferrous Metals*, 2023(S1): 78-83.
- [8] 姜琳婧.金鼎铁矿嗣后充填采场稳定性及结构参数优化研究[D].北京:北京科技大学, 2023.
- JIANG Linjing. Study on stope stability and optimization of structure parameters in Jinding Iron Mine [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2023.
- [9] 龚原,郭忠林,柳群荣,等.基于熵权-理想点的采场结构参数优化研究[J].*矿冶*, 2019, 28(6): 10-14.
- GONG Yuan, GUO Zhonglin, LIU Qunrong, et al. Optimization of stope structure parameters based on entropy weight ideal points [J]. *Mining & Metallurgy*, 2019, 28(6): 10-14.
- [10] 廖九波,王筱添.基于响应曲面法的采场结构参数优化[J].*矿业研究与开发*, 2022, 42(4): 5-9.
- LIAO Jiubo, WANG Xiaotian. Optimization of stope structure parameters based on response surface method [J]. *Mining Research and Development*, 2022, 42(4): 5-9.
- [11] 魏超城,张明,罗瑞,等.基于 Mathews 图解法的空场嗣后充填采场结构参数优化研究[J].*中国矿业*, 2022, 31(7): 137-142.
- WEI Chaocheng, ZHANG Ming, LUO Rui, et al. Optimization of structure parameters of empty field subsequent filling stope based on Mathews graphical method [J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(7): 137-142.
- [12] 孟凡明,匡鑫,王祯,等.基于正交试验与数值模拟的马郡城铁矿采场结构参数优化[J].*有色金属(矿山部分)*, 2022, 74(4): 45-51.
- MENG Fanming, KUANG Xin, WANG Zhen, et al. Optimization of stope structure parameters of Majuncheng Iron Mine based on orthogonal test and numerical simulation [J]. *Nonferrous Metals (Mining Section)*, 2022, 74(4): 45-51.
- [13] 高博,李佳建.上向水平分层充填法采场结构参数优化的数值模拟研究[J].*矿业研究与开发*, 2023, 43(8): 19-25.
- GAO Bo, LI Jiajian. Numerical simulation study on optimization of stope structure parameters of upward horizontal layered filling mining method [J]. *Mining Research and Development*, 2023, 43(8): 19-25.
- [14] 安东亮,王廷飞,龚原.基于数值模拟及组合赋权法的某锡矿采场结构参数优化[J].*现代矿业*, 2021, 37(11): 56-60.
- AN Dongliang, WANG Tingfei, GONG Yuan. Optimization of stope structure parameters of a Tin Mine based on numerical simulation and combined weighting method [J]. *Modern Mining*, 2021, 37(11): 56-60.
- [15] 龙林健,陈星明,刘传举,等.基于 Critic 赋权法的隔离矿柱安全厚度优选研究[J].*化工矿物与加工*, 2021, 50(3): 1-5.
- LONG Linjian, CHEN Xingming, LIU Chuanju, et al. Research on optimization of safety thickness of isolation pillar based on Critic weighting method [J]. *Industrial Minerals & Processing*, 2021, 50(3): 1-5.

Optimization of Stope Span for Sublevel Drilling Stage Open Stope with Subsequent Filling Mining Method

WANG Yuding^{1,2}, LIN Weixing^{1,2}, OU Renze^{1,2}, LIU Qi^{1,2}, GONG Yongchao^{1,2},
WAN Xiaoheng^{1,2}, GAO Jian³, ZHANG Xianghuan³, WANG Yajun^{1,2}, ZHANG Haiyun^{1,2}

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;

2.State Key Laboratory of Metal Mine Safety Technology, Changsha, Hunan 410012, China;

3.Hunan Baoshan Nonferrous Metals Mining Co., Ltd., Chenzhou, Hunan 424400, China)

Abstract: The stope span has a significant impact on the safety, economic benefits, and mining efficiency of underground production operations in mining enterprises. In order to select a reasonable stope span, taking a certain iron mine in Anhui as the engineering background, FLAC3D numerical analysis software and mathematical methods were used to study the two-step stope span in panel of the sublevel drilling stage open stope with subsequent filling mining method. Firstly, according to the calculation results of Mathews stability diagram method, six groups of two-step stope span schemes were designed in panel. Then, corresponding simulation models were constructed using MIDAS/GTS and FLAC3D for numerical calculations. Finally, based on the Critical weighting method, mining effect parameters and filling material costs were introduced as cost-based evaluation indicators, and panel production capacity was used as economic evaluation indicators. The safety and economic efficiency of the six groups of stope span schemes were comprehensively evaluated. The results indicate that scheme V (that the span of one-step stope is 15 m and the span of two-step stope is 17 m) has the highest score in the comprehensive evaluation, which belongs to the optimal two-step stope span scheme, and can better meet the safety, efficiency, and economic needs of mining production in on-site industrial test.

Key words: Sublevel drilling stage open stope with subsequent filling mining method, Critical weighting method, Mathews stability diagram method, Stope span, Numerical simulation