

应用技术·非煤矿山·

冬瓜山铜矿高大采场二步骤回采顺序 优选研究

Study on Optimization of Two-step Mining Sequence for Big and
Tall Stope in Dongguashan Copper Mine

毛荐新¹, 汪令辉¹, 杨志国²

(1. 铜陵有色金属集团股份有限公司冬瓜山铜矿, 安徽 铜陵 244031; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要:随着冬瓜山铜矿深部开采的推进,地压显现导致围岩变形严重,空区垮落现象凸显,制约着矿山的安全高效生产。矿山采用阶段空场嗣后充填采矿法,一步骤回采矿房采用单向逐步回采方案,但一步骤回采后空区垮落严重。为验证二步骤回采矿柱时原先回采方案的安全性,本研究在单向逐步回采方案的基础上提出中间向两侧回采、回采一半充填后再回采两种方案,利用FLAC^{3D}模拟不同方案下的回采过程。结合模拟云图分析采场应力、位移情况,优选出最佳的采场回采顺序,对同类型工程地质条件矿山的开采具有一定的借鉴意义。

关键词:深部开采; 高大采场; 空区垮落; 二步骤回采矿柱; 回采顺序

中图分类号: TD852 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)01-0023-05

Abstract: With the advancement of deep mining of Dongguashan Copper Mine, the emergence of ground pressure has resulted in serious deformation of surrounding rocks and prominent gob caving, restricting the safe and efficient production of the mine. The mine adopts mining method of sub-level open stoping with subsequent backfilling, and the one-step room extraction adopts one-way step-by-step extraction scheme, but gob caving is serious after the one-step extraction. To verify the safety of the original mining scheme during the two-step pillar recovery, this study proposes two plans based on the one-way step-by-step mining scheme: extracting from the middle to both sides, and extracting again after backfilling following a half extraction. The finite element simulation software FLAC3D is used to simulate the recovery process under different schemes. By using the simulated cloud map to analyze the stress and displacement of the stope, optimal stope mining sequence is chosen, which still adopts the one-way step-by-step extraction. This has certain reference significance for the exploitation of mines having the same type of engineering geological conditions.

Key words: deep mining; big stope; gob caving; two-step pillar recovery; extracting sequence

1 前言

矿山深部回采往往伴随着地压问题的逐渐显现,主要表现为岩石破坏过程强烈、围岩变形加剧、巷道支护困难等,由于矿山地压导致的动力危害现象强度增大、频率增加,严重影响深部矿体资源的安全开采、制约矿山经济效益的提高^[1]。冬瓜山铜矿矿体埋藏深度大,最深达到1 000 m,高应力问题尤为突出。当前,冬瓜山铜矿60线以北采用大直径深孔落矿技术^[2],采用暂留矿柱连续回采阶段空场嗣

后充填采矿方法,一步骤回采矿房,二步骤回采矿柱。一步骤回采后采场空区垮落严重,增加了二步骤采场的回采难度,为保证矿山安全高效生产,亟待解决空区垮落下二步骤回采的问题。

针对矿山高大采场回采方案优化方法在传统上主要有解析法、工程类比法、模型试验法等^[3-7],但难以及时准确地实现多种结构参数的优化选择,本研究利用数值模拟软件FLAC^{3D}分析二步骤采场不同回采顺序后,采场应力应变情况,优选出最佳的回采方案。

2 矿山采空区及采场垮落现状

1) 采空区垮落现状

目前60线盘区部分采场空区垮落严重,60-24

[作者简介] 毛荐新(1968-),男,高级工程师,主要从事矿山生产、技术、管理研究。

[引用格式] 毛荐新,汪令辉,杨志国.冬瓜山铜矿高大采场二步骤回采顺序优选研究[J].中国矿山工程,2022,51(1):23-27.

#60-8#采场,60-12#采场垮落严重,尤其是60-8#采场,最大垮落的厚度超过16 m,几乎垮通60-9#采场。部分高度小的空区(60-26#和60-28#空区)也有轻微的垮落,部分高大的空区(60-4#和60-22#空区)几乎没有垮落。

2) 凿岩硐室破坏情况

60-8#采场空区在充填过程中,大量的充填水通过60-7#采场之间的裂隙流向-825 m中段60-8#采场硐室,现场水流较大,具体如图1a所示。通过现场调查可知,-825 m中段60-6采场硐室靠近60-7#一侧,硐室侧帮有大量矿岩片落,节理较为发育。60-6#采场硐室中间的间柱破坏严重,破坏形式主要为压碎性破坏,具体如图1b所示,60-6#采场地应力非常集中。

60线空区垮落严重影响二步骤采场的安全高效回采,高度小的空区有轻微的垮落,部分高度大的空区也存在没有垮落的。针对空区围岩失稳问题,亟待优选出安全高效的二步骤回采方案。



(a) 现场水流情况 (b) 矿岩片落

图1 凿岩硐室破坏情况

3 二步骤采场回采方案初选

二步骤采场回采过程中,由于矿体两侧均为充填体,采用从两侧向中间回采的方式不适应,因而初选出二步骤回采的方案主要有以下3种。

1) 方案一:采场单向逐步回采

该方案是冬瓜山矿床二步骤采场回采的主要方式,通过二步骤空区破坏现状以及充填体的稳定情况,该方案依然存在较大的可行性,需要进一步的验证,具体如图2所示。

2) 方案二:从采场中间向两侧逐步回采

经过调查和分析,冬瓜山矿段的充填体强度和稳定性较好,能够保障高度较大采场的安全回采,从采场中间向两侧回采,具体如图3所示,有利于对两侧穿脉巷道形成有效的保护。

3) 方案三:采场回采一半充填后再回采

二步骤采场两侧均为充填体,充填体具有一定

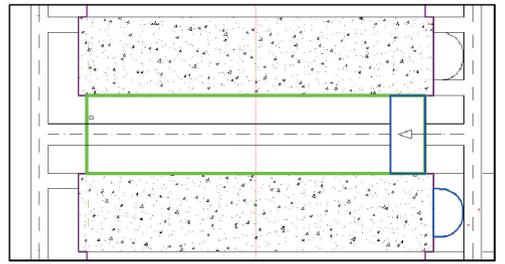


图2 二步骤采场单向回采示意图

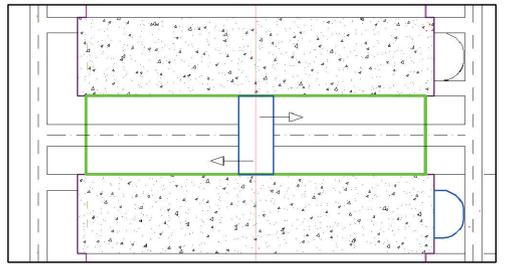


图3 二步骤采场中间向两侧回采示意图

的弹性,二步骤回采后顶板的位移会进一步的加大,采用该方案有利于顶板的稳定以及对相邻充填体形成有效支撑,具体如图4所示。

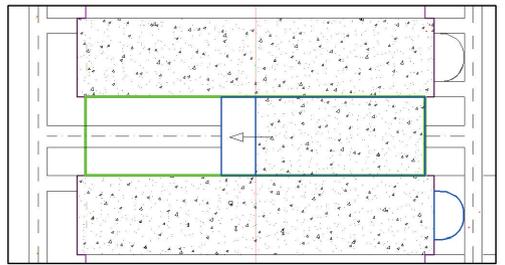


图4 二步骤采场回采一半充填后再回采方案示意图

4 数值模型建立

4.1 围岩岩石力学条件

1) 原岩应力

本文的原岩应力数值采用现场实测的数据,原岩应力结果见表1。为模拟深部回采过程,采用中段-910 m测点的原岩应力。

2) 岩石力学参数

模拟中采用的矿岩及充填的力学参数均采用室内试验值,经过利用Hoek-Brown^[8]公式进行折减,获取相应的力学参数,结果见表2。

4.2 基本假设

(1) 不考虑井巷工程积水、断层等地质构造的直接影响,忽略地震波、爆炸冲击波等因素对岩体稳定性的影响。

(2) 假定矿体、围岩和充填体都为各向同性的连续均匀介质。

表 1 原岩应力测试结果

测点中段/ m	主应力/MPa			主应力倾角/(°)			主应力方位角/(°)		
	σ_1	σ_2	σ_3	α_1	α_2	α_3	β_1	β_2	β_3
-280	19.30	15.60	12.30	18.40	27.10	56.40	247.30	147.60	7.30
-460	26.08	9.92	9.72	6.13	5.22	81.81	241.20	150.63	20.47
	22.44	12.91	10.99	3.08	83.56	5.08	53.81	172.17	323.50
-730	32.75	12.23	8.49	2.25	25.81	64.08	48.31	317.22	142.95
	34.33	16.47	13.84	6.37	44.39	44.90	248.42	152.13	344.81
-910	38.10	33.10	31.10	22.70	19.90	59.00	249.60	150.90	23.70

表 2 冬瓜山矿体和围岩数值模拟物理力学参数

矿岩种类	密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	内聚力 c/MPa	内摩擦角 $\phi/(\text{°})$	抗拉强度/MPa	体积模量/GPa	剪切模量/GPa
围岩	2 710	2.61	34.5	2.82	9.64	4.25
含铜矿体	3 970	3.89	41.1	3.62	13.2	6.72
充填体	1 820	0.32	31.7	0.26	0.21	0.15

(3) 假定充填体是接顶的,即充填体与岩体之间没有间隙。

4.3 数值模型

模拟模型取得太小容易偏离矿山开采实际,影响计算结果的可靠性;而如果取得太大,则使单元划分太多,影响计算速度,甚至计算机无法进行计算^[9]。根据本次研究对象,选择 60 线区域矿体作为研究对象,并建立数值模型。

本文所建模型的尺寸 $X \times Y \times Z = 900 \text{ m} \times 400 \text{ m} \times 1\,000 \text{ m}$,采场模型的长度为 80 m,采场宽度为 18 m,采场高度根据采场的实际情况而定。采场矿体整体数值模型以及矿体模型如图 5 所示。

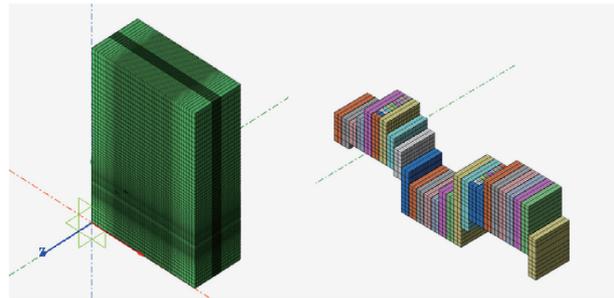


图 5 数值模型以及 60 线采场模型

5 计算结果分析

经过数值模拟计算,从三种回采方案中依次选取部分模拟结果云图,具体如图 6 至图 8 所示,自左到右、从上到下依次为最大(小)主应力云图、采场顶板(两侧充填体)位移云图。图 9 所示为方案一模拟结果应力、位移变化图。

对于二步骤采场的主要从以下两方面进行分析:从沿采场方面剖面图分析最大压应力的变化情况,压应力最大位置从沿采场方向的剖面容易发现变化的规律;垂直于采场方向看空区两侧充填体的位移的变化规律。

1) 方案一模拟结果分析

根据模拟结果可知,采场在初步开挖后,采场内部矿体受到拉应力的作用,拉应力较小,且拉应力范围也不大,基本不足以破坏矿岩。最大拉应力呈现先减小后增大,最后迅速下降的趋势,拉应力最大值为 0.5 MPa,且拉应力范围很小,主要位于采场矿体一侧,总体看对矿岩的影响较小。从最大压应力的变化趋势来看,最大压应力呈现不断减小的趋势,由最初的 37 MPa 降低到回采完成后的 30 MPa,表明随着回采的不断推进,应力也在逐步的释放,尤其在回采的后半段,应力释放的速度在提升。

从顶板的最大位移来看,顶板的位移呈现逐渐转增加的趋势,由回采初期的 9.55 cm,最后增加到 14.2 cm。充填体位移在初始回采时增加了 1 cm,当回采至第 3 步后,充填体位移一直为 4 cm,随着空区暴露面积越来越大,充填体位移没有任何的改变,因此在保证充填体强度的条件下,充填体的稳定性较好。

2) 方案二模拟结果分析

采场在从中间开始回采的过程中,空区两侧均受到一定范围内拉应力的作用,但是拉应力比较小,且范围不大。随着回采的不断推进,拉应力位置逐

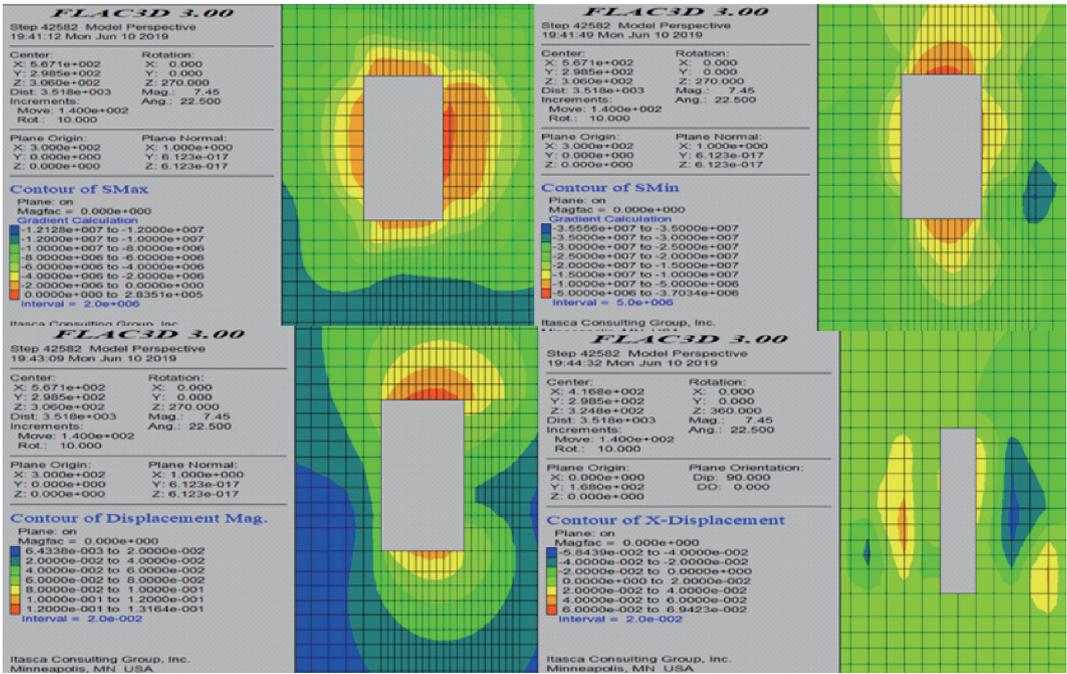


图6 方案一数值模拟回采结果云图

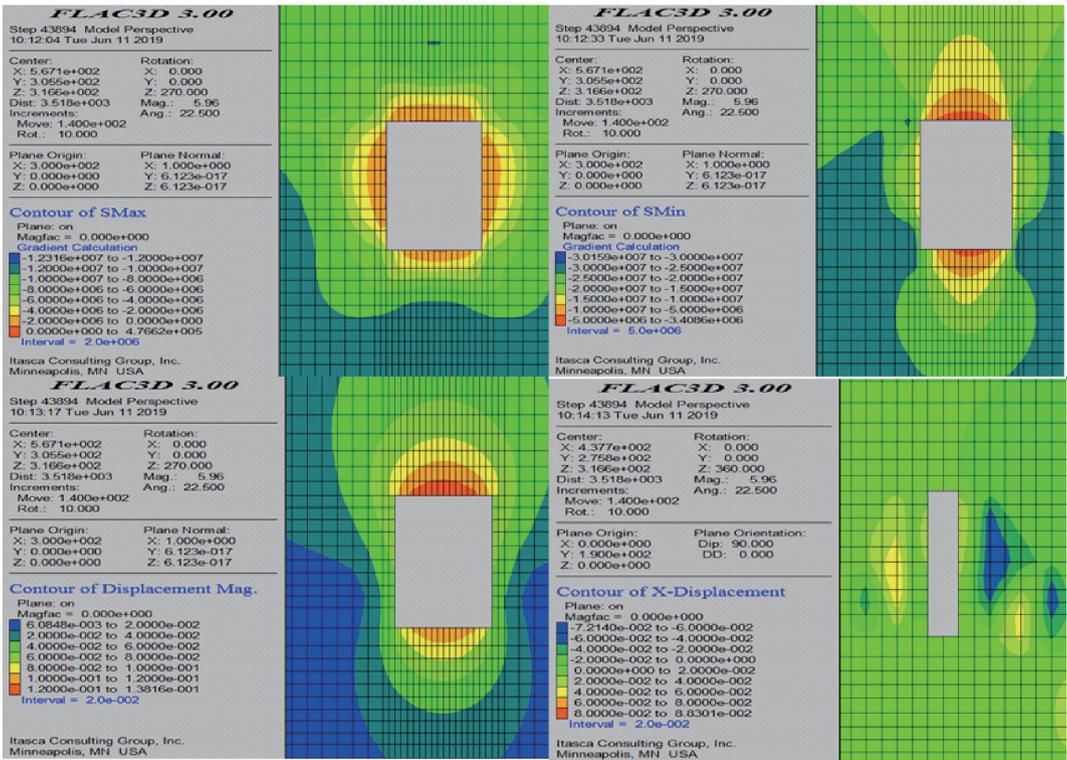


图7 方案二数值模拟回采结果云图

渐改变,回采接近完成后,空区顶板受到一定单位的拉应力,但是拉应力较小。最大压应力主要位于采场两侧底部和穿脉巷道的交界处。

空区顶板位移随着回采的不断推进位移量也在不断增加。充填体位移在回采初期由于先回采中间,充填体的位移偏大,最大位移量为6 cm,随着回

采的推进,位移量到4 cm以后也不再变化。

3) 方案三模拟结果分析

在采场回采一半后,拉应力很小,仅为0.21 MPa;最大压应力位于未回采采场和穿脉巷道交界处的底部区域,最大压应力为36.4 MPa,但是范围不大。空区顶板的最大位移为12.6 cm,空区两侧

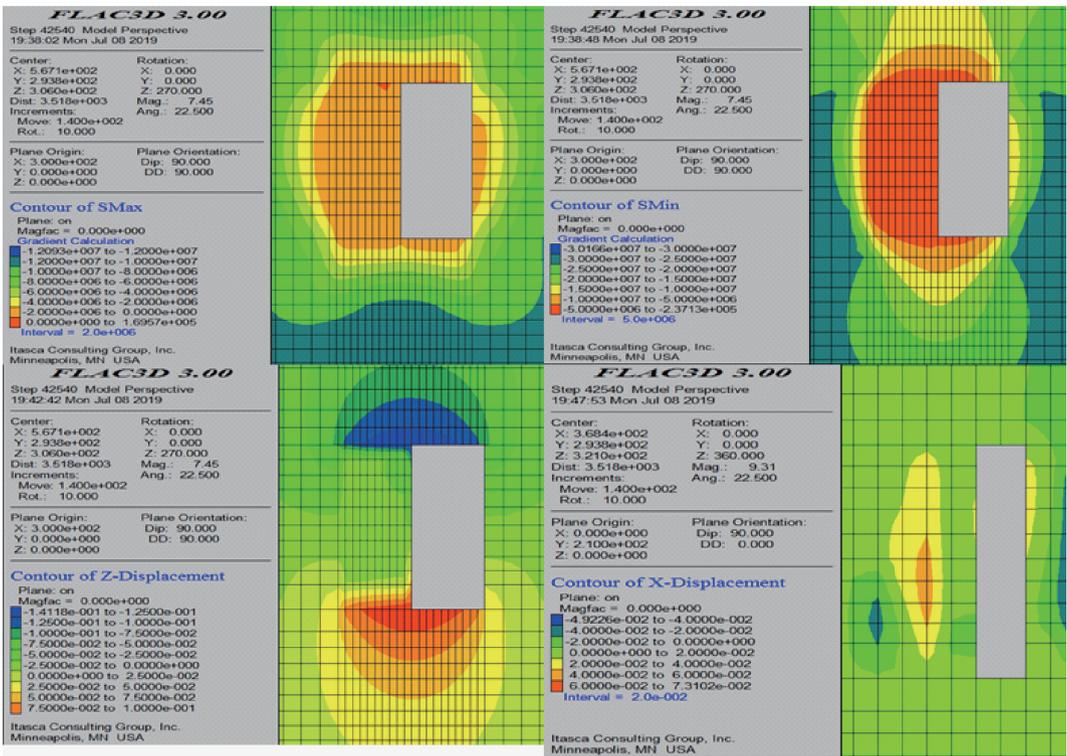


图 8 方案三数值模拟回采结果云图

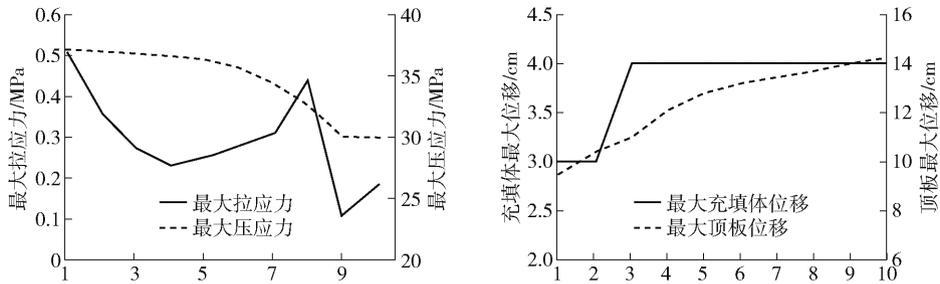


图 9 方案一数值模拟结果相关应力、位移变化趋势图

充填体最大位移为 4 cm。

采场回采后充填,然后在进行回采,空区周边基本不受到拉应力的作用,空区周边的最大压应力下降,顶板的最大位移为 14.1 cm,空区两侧充填体的位移为 2 cm。

从以上的分析可知,按照充填方案模拟计算后,和二步骤原来的回采方案相比,没有明显的差别,而且该方案需要进行两次充填,一方面增加了封闭工程量,另外也会使充填工序更加繁琐,因此不建议采用该方案。

4) 综合对比分析

采用从中间向两侧逐步回采时,顶板以及充填体的初始位移较大,采场空区中部区域是容易垮落的部位,因此不建议采用该方案。采用回采-充填-回采的方案时,尽管充填体不能够转移应力,但可以

有效减轻顶板和充填体的变形,因此从保护空区的角度考虑具有较好的作用,但是该方案采用两次充填,充填工序复杂,采空区封闭工程量增加。因此,采用从采场单向侧逐步回采的方案。

6 结论

综合数值模拟计算结果,可得出以下结论:

(1) 二步骤采场在回采过程中,应力已经得到释放,基本不存在应力集中现象,采场空区顶板没有发生加大面积的垮落,因此可以认为顶板在可控的范围,优选出二步骤回采方案为单向逐步回采,安全高效。

(2) 利用 FLAC^{3D}有限元模拟软件为优化高大采场回采方案提供理论支持,对空区垮落严重的矿山开采具有一定的借鉴意义。

(下转第 40 页)