机械化上向进路充填采矿法在某金矿软弱破碎厚大矿体中的应用*

王宇[1,2,3]，廖九波[1,2,3]，李熙浩[1,2,3]

（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.湖南省矿山地质灾害防治与环境再造技术研究中心， 湖南 长沙 410012）

摘要：针对某金矿软弱破碎厚大矿体的赋存特征，推荐采用机械化上向进路充填采矿法。通过正交试验设置了6组采场结构参数，采用FLAC3D数值模拟软件分析采场稳定性。模拟结果表明，采场所受压应力与拉应力主要集中在采场边帮顶底角位置，且均呈对称分布；采场顶底板和上盘围岩位移值均随进路宽度和进路高度增加而增大，但整体位移值均较小。在确保采场安全稳定的前提下，优先选择较大的回采结构参数，以提高采场技术经济指标，确定方案三（进路宽度、进路高度均为5 m）为最优采场布置方案。现场应用结果表明，采用机械化上向进路充填采矿法进行开采，采场生产能力达220 t/d、采切比为24.5 m^3/kt，矿石损失率为6.2%、贫化率为8.3%，取得了良好的技术经济效益。

关键词：机械化上向进路充填采矿法；回采工艺；采场结构参数；稳定性分析；数值模拟

中图分类号：TD853.34 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-2763(2026)08-0087-09

Application of Mechanized Upward Drift Filling Mining Method in a Soft, Fractured and Thick Large Orebodies of a Gold Mine

Wang Yu[1,2,3], *Liao Jiubo*[1,2,3], *Li Xihao*[1,2,3]

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
2.State Key Laboratory of Safety Technology of Metal Mines, Changsha, Hunan 410012, China;
3.Hunan Research Center of Mine Geological Disaster Prevention and Environmental Recycling Technology, Changsha, Hunan 410012, China)

Abstract: Based on the occurrence characteristics of the soft, fractured, and thick large orebodies in a gold mine, the mechanized upward drift filling mining method was recommended. Six sets of stope structural parameters were designed through an orthogonal experiment, and the FLAC3D numerical simulation software was utilized to analyse the stope stability. The simulation results indicate that the compressive and tensile stresses in the stope are mainly concentrated at the top and bottom corners of the sidewalls, and both exhibit a symmetrical distribution. The displacement values of the stope roof, floor, and hanging wall surrounding rock increase with the increase of the drift width and drift height, but the overall displacement values are relatively small. On the premise of ensuring the safety and stability of the stope, larger stope structural parameters are preferentially selected to improve the technical and economic indicators. Therefore, Scheme 3 (with both the drift width and drift height being 5 m) is determined as the optimal stope layout scheme. The field application results indicate that when the mechanized upward drift filling mining method is adopted for extraction, the stope production capacity reaches 220 t/d, and the development and cutting ratio is 24.5 m^3/kt. Furthermore, the ore loss rate is 6.2%, and the dilution rate is 8.3%, achieving favourable technical and economic benefits.

Key words: Mechanized upward drift filling mining method, Stoping process, Stope structural parameter, Stability analysis, Numerical simulation

0 引言

随着全球工业化进程加快发展，浅部矿产资源日益枯竭，国内外矿山开采作业逐步向深部推进[1-3]。与浅部开采的环境条件不同，深部地质环境呈现“三高一扰动”的显著特征，导致围岩稳定性问

* **收稿日期**：2025-07-15

作者简介：王宇（1987—），男，湖南常德人，博士研究生，高级工程师，主要从事采矿研究、设计及咨询方面的工作。E-mail:396254855@qq.com

题突出、动力灾害频发[4-5],对采矿方法的选择和采场结构参数的设计提出了更高要求[6]。采场结构参数是影响矿山安全运营和经济效益的关键要素,直接决定了采场围岩应力分布、塑性区演化及充填体的承载能力[7-8]。若结构参数设计不合理,可能引发顶板冒落、片帮甚至岩爆等灾害,严重威胁人员安全并造成资源浪费[9]。

充填采矿法因在控制地压、减少地表沉降和提高资源回收率等方面具有显著优势,被广泛应用于深部矿床开采[10-11]。其中,上向进路充填采矿法以其适用范围广、暴露面积可控等优点成为众多矿山的首选方案[12]。高金成等[13]运用盘区机械化上向进路充填采矿方案,成功实现了深部破碎厚大矿体的安全、高效回采。肖欢等[14]研究表明,在上向水平分层进路充填采矿法中,适当增大采场结构参数,将提升回采效率,但结构参数过大将难以保障采场稳定性。国内外学者针对充填采矿法的采场结构参数优化开展了大量研究[15-16]。王文胜等[17]采用FLAC3D数值模拟软件对夏甸金矿上向进路充填采矿法进路宽度进行了参数优化研究,并确定了最优进路宽度,经现场应用验证了其可行性。唐振江等[18]借助ANSYS数值模拟软件,系统分析了一步骤和二步骤开采时进路宽度和分层高度对顶板位移及压力变化的影响,据此确定了最佳的采场结构参数。何鹏等[19]研究发现,采场结构参数变化对采场顶板稳定性影响较大,而对两帮稳定性影响较小。高博等[20]针对山东某金矿4个采场结构参数开展数值模拟分析,并提出了相应的支护方案。

在前人研究的基础上,结合矿山机械装备的快速发展趋势,本文以某金矿软弱破碎厚大矿体为工程背景,通过分析开采技术条件和矿体赋存特征,确定采用机械化上向进路充填采矿法。针对不同采场结构参数开展数值模拟分析,通过分析应力、位移、塑性区分布特征等得到最优采场结构参数,以保障矿山安全高效开采。

1 开采技术条件

矿体赋存于上新世金岭火山碎屑岩组,呈厚层状结构,揭露厚度大于569.15 m。浅部风化层厚0~19 m,平均厚度为6.64 m。矿体垂向延伸较大,浅部(标高150 m以上)采用露天开采,深部(标高0~110 m)采用井下开采。主要矿体位于当地最低侵蚀基准面以上,水文地质条件属中等类型,含水层富水性弱,无强导水构造,但断裂发育可能连通水体,疏干排水会引发地面沉降。矿区内地层岩性较简单,均为火山碎屑岩(火山角砾岩、凝灰岩),以厚层状或块状结构为主,但软弱夹层发育,岩体质量中等(*RQD*值大于75%),工程地质条件属中等复杂类型。区域稳定性较差,采矿活动可能加剧地质灾害及环境污染,环境地质质量属中等类型。

该矿深部矿体及围岩岩性均为火山角砾岩和凝灰岩。浅部风化层厚0~19.0 m,平均厚度为6.60 m,对深部矿体及围岩稳定性无影响。风化层以下岩层完整性好,呈厚层状或块状结构,局部为薄层状凝灰岩;岩石大多较致密,凝灰质含量高,饱和抗压强度低,属软岩至较软岩;岩石吸水率较高,软化系数低,属软化岩石,工程力学性质较差;岩层Ⅰ级、Ⅱ级断裂构造不发育,Ⅲ级、Ⅳ级结构面弱发育,但极软的夹层较发育,影响矿体顶、底板的稳定性。矿区内主要矿岩饱和抗压强度为9.11~30.84 MPa,平均为19.17 MPa,黏聚力为1.10~4.72 MPa,平均为2.79 MPa,内摩擦角为41.50°~45.40°,平均为43.63°。整体来看,主要矿体顶、底板的稳定性较差。

2 采矿方法

2.1 采矿方法选择原则

根据矿山实际开采技术条件,并参考国内外同类矿体的开采经验与发展趋势,本文以安全高效、技术先进、工艺可靠、经济合理为准则,进行采矿方法选择。具体遵循以下基本原则:

(1) 以采场安全为首要前提条件,保障作业人员安全,并提供良好的作业环境和条件;

(2) 采矿工艺简单、技术成熟可靠,便于现场实施与管理;

(3) 适应性与灵活性强,能适应矿体形态变化,并具备抵御较大地压的能力;

(4) 矿块生产能力大,劳动生产率高;

(5) 有效降低矿石贫化率与损失率,提高出矿品位,实现矿石资源的充分回收;

(6) 降低能耗与生产成本,提高矿山整体经济效益。

2.2 采矿方法确定

针对该矿床平均厚度达50 m的厚大筒状矿体及矿岩稳固性较差的开采技术条件,基于安全高效、技术先进、工艺可靠、经济合理的设计原则,对初选采矿方法进行详细的技术、经济指标比较,确定采用机械化上向进路充填采矿法。该方法能有效适应矿

岩不稳固的赋存特性，通过控制顶板暴露面积保障作业安全，并兼具矿块生产能力高、矿石贫化损失率低、机械化作业程度高等技术优势。矿山配套全套大型无轨采矿设备，可完成凿岩、装药、出矿、支护等工序，采矿工艺充分契合厚大矿体与软弱围岩的开采需求，在安全管控、开采效率、资源回收及经济效益方面均展现出良好的综合优势。该方法的标准方案如图 1 所示。

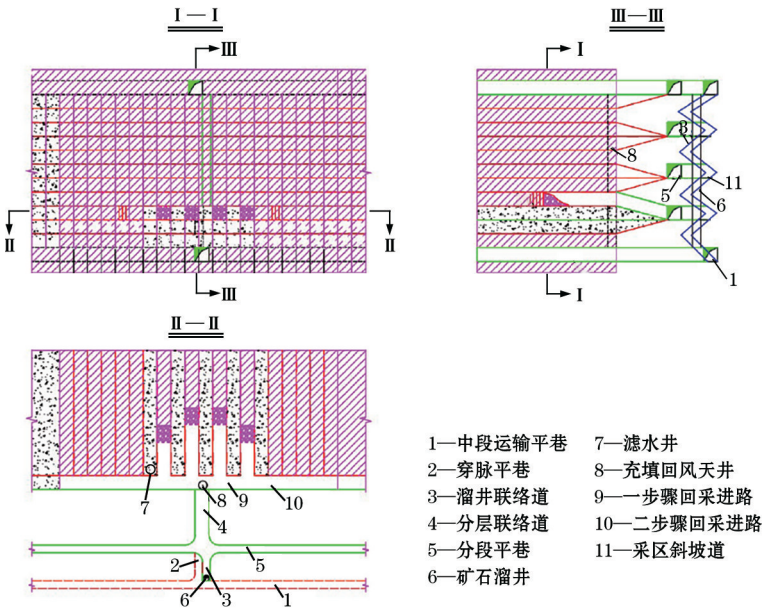


图 1　机械化上向进路充填采矿法标准方案

Fig.1　Standardized scheme of mechanized upward drift filling mining method

2.3　机械化上向进路充填采矿法

(1) 采场布置与结构参数。采场垂直矿体走向布置，隔一采一，采场长度为 50 m(即矿体厚度)。中段高度为 60 m，每个中段划分为 3～4 个分段，分段高度为 15～20 m；每个分段划分为 3～4 个分层回采，分层高度(进路高度)为 5～6 m，进路宽度 4.5～6 m。

(2) 采准与切割工程。从分段平巷向矿体掘进分层联络道，再由分层联络道沿垂直矿体走向方向掘进分层进路至采场上盘边界。同时，布置充填回风井与矿石溜井，各分段之间通过斜坡道连通，供铲运机通行。

(3) 凿岩爆破。炮孔按平巷掘进方式布置，采用桶型掏槽与光面爆破。辅助孔孔距为 0.5 m，周边孔孔距为 1.0 m，周边孔距进路边线 0.2 m。凿岩作业选用 Boomer 282 型双臂凿岩台车，钻孔深度为 2.2～2.5 m，孔径为 38 mm。爆破采用工业数码电子雷管实现微差起爆。

(4) 采场通风。新鲜风流由斜坡道进入，经分段平巷和分层联络道送至回采工作面；污风经充填回风井排至上中段回风巷道，最终由回风井排出地表。进路通风采用独头巷道通风方式，配备 JK58-1-NO4 型局扇以压入式通风模式运行。

(5) 采场出矿。采用 Scooptram ST14 铲运机出矿，铲运机经分层联络道、分段平巷将矿石运至矿石溜井，卸入溜井后经沿脉运输平巷，由振动放矿机装矿。

(6) 采场支护。鉴于该矿山地质条件较为复杂，常规巷道采用厚度为 100 mm 的 C20 喷砼支护；围岩稳定性差或破碎发育的特殊地段，采用锚喷网联合支护加强，其中金属网网度为 90 mm×90 mm，管缝式锚杆长度为 1.8 m，直径为 40 mm，间排距为 600～800 mm。

(7) 采空区充填。采用尾砂胶结充填，每条进路完成出矿后进行充填作业。一步骤充填体 28 d 强度应不低于 2.0 MPa，二步骤充填体强度满足无轨设备正常行走要求即可。此外，在各进路充填体顶面浇筑厚度为 0.5 m，强度为 3～5 MPa 的胶结充填层。

3　采场结构参数数值模拟分析

3.1　数值模型构建

采用 FLAC3D 数值模拟软件建立计算模型，为便于计算，对模型进行适当简化，如图 2 所示。模型范围取开挖矿体尺寸的 3～5 倍，模型垂直矿体走向(*X* 方向)、沿矿体走向(*Y* 方向)、竖向(*Z* 方向)上长

度均为 600 m,共划分 232 228 个节点和 929 409 个单元。

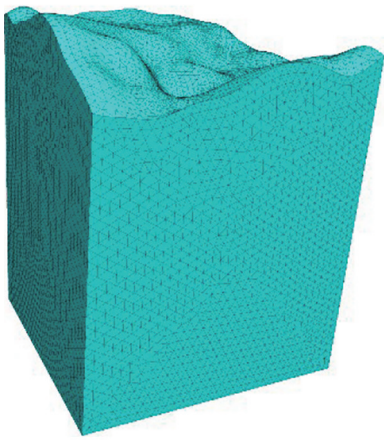


图 2 数值模型及网格划分

Fig.2 Numerical models and mesh generation

3.2 模拟方案设计

模拟采用由下向上的开挖顺序,一步骤与二步骤进路宽度相同,每次开采步骤高度为分层高度(进路高度),开采后立即进行充填,共模拟 12 个分层的开挖和充填过程。通过正交试验设置 6 组采场结构参数,见表 1。

表 1 正交试验方案

Table 1 Orthogonal test schemes

方案	进路宽度/m	进路高度/m
一	4.5	5
二	4.5	6
三	5.0	5
四	5.0	6
五	6.0	5
六	6.0	6

3.3 岩体力学参数

根据矿山专项水工环地质调查报告,采用 RocLab 软件对岩石力学参数进行快速折减计算,并参考类似矿山矿岩属性和充填体力学参数,得到岩体力学参数,见表 2。

表 2 岩体和充填体力学参数

Table 2 Mechanical parameters of rock and backfill

名称	岩体密度/(kg/m³)	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
矿体	2 530	10.10	7.76	5.748	0.541	2.09	34.25
围岩	2 530	10.10	7.76	5.748	0.541	2.09	34.25
胶结充填体	1 850	0.253	0.127	4.000	0.090	0.640	36.40

3.4 数值模拟结果分析

3.4.1 最大主应力分析

各开采方案下采场最大主应力分布特征如图 3 所示。由剖面云图可知,压应力主要集中于采场边帮顶底角位置,呈对称式分布。方案一至方案六的最大压应力分别为 28.57 MPa、35.03 MPa、32.57 MPa、35.46 MPa、34.57 MPa、36.53 MPa。随着进路宽度与进路高度的增大,采场暴露面积相应增加,围岩压应力集中也随之加剧。因此,当进路长度较大时,需关注矿岩的安全稳定性。

3.4.2 最小主应力分析

6 种方案的最小主应力分布如图 4 所示。由剖面云图可知,拉应力主要集中在采场边帮顶底角位置,且呈对称式分布。方案一至方案六的最大拉应力均位于采场顶板位置,应力值分别为 0.533 MPa、0.537 MPa、0.535 MPa、0.541 MPa、0.539 MPa、0.541 MPa,均不超过矿体抗拉强度(0.541 MPa),采场处于稳定状态。

3.4.3 *Z* 方向位移分析

6 种方案的垂直位移分布如图 5 所示。由剖面云图可知,方案一至方案六的垂直位移范围分别为 −39.96～14.58 mm、−39.71～14.55 mm、−40.88～14.56 mm、−40.11～14.52 mm、−41.42～14.90 mm、−40.54～14.87 mm。在开采过程中,上盘围岩、采场顶板及充填体内部均发生沉降,最大沉降位于充填体内部,沉降值分别为 39.96 mm、39.71 mm、40.88 mm、40.11 mm、41.42 mm 和 40.54 mm。采场底板出现底鼓,最大底鼓量分别为 14.10 mm、14.06 mm、14.05 mm、14.03 mm、14.35 mm 和 14.33 mm。顶板沉降是影响采场稳定性的重要因素,顶板沉降值分别为 7.41 mm、7.34 mm、7.43 mm、7.36 mm、7.59 mm 和 7.52 mm。

3.4.4 塑性区分析

塑性区是反映岩体力学状态的综合评价指标,各开采方案下采场塑性区分布特征如图 6 所示。对比各方案可知,在采场左上部区域,方案三的塑性区面积明显小于其他 5 个方案;在采场中上部区域,方案三和方案四的塑性区面积小于其余 4 个方案;在采场右上部区域,各方案塑性区分布差异不大,均未出现塑性区贯通现象。但在开采过程中要注意采场边帮和顶板围岩的稳定性,必要时应采用锚杆或锚网进行加强支护。

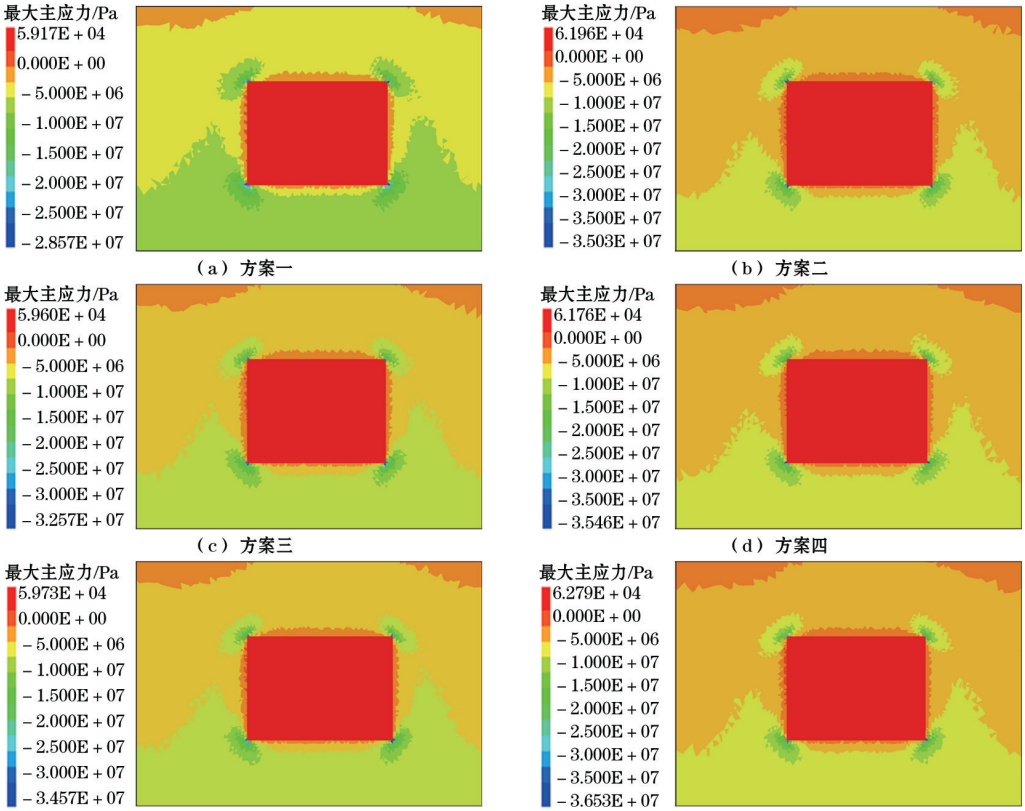


图 3 各方案采场最大主应力分布特征

Fig.3 Distribution characteristics of maximum principal stress in the stope under various schemes

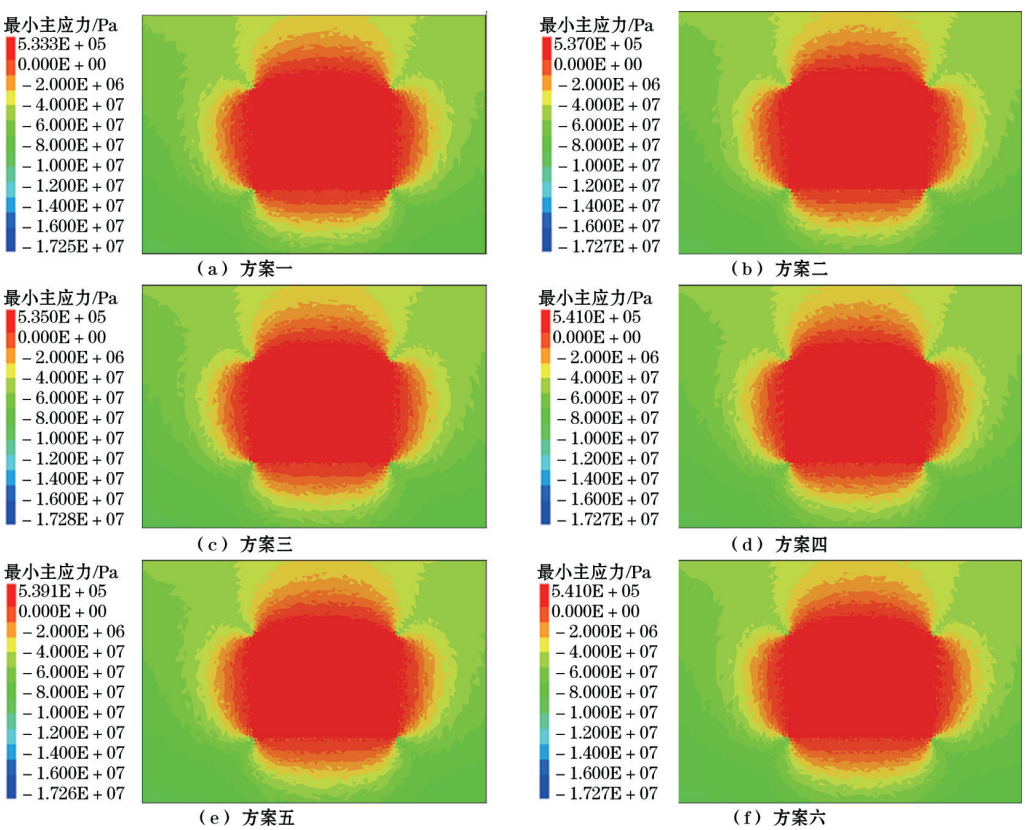


图 4 各方案采场最小主应力分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of minimum principal stress in the stope under various schemes

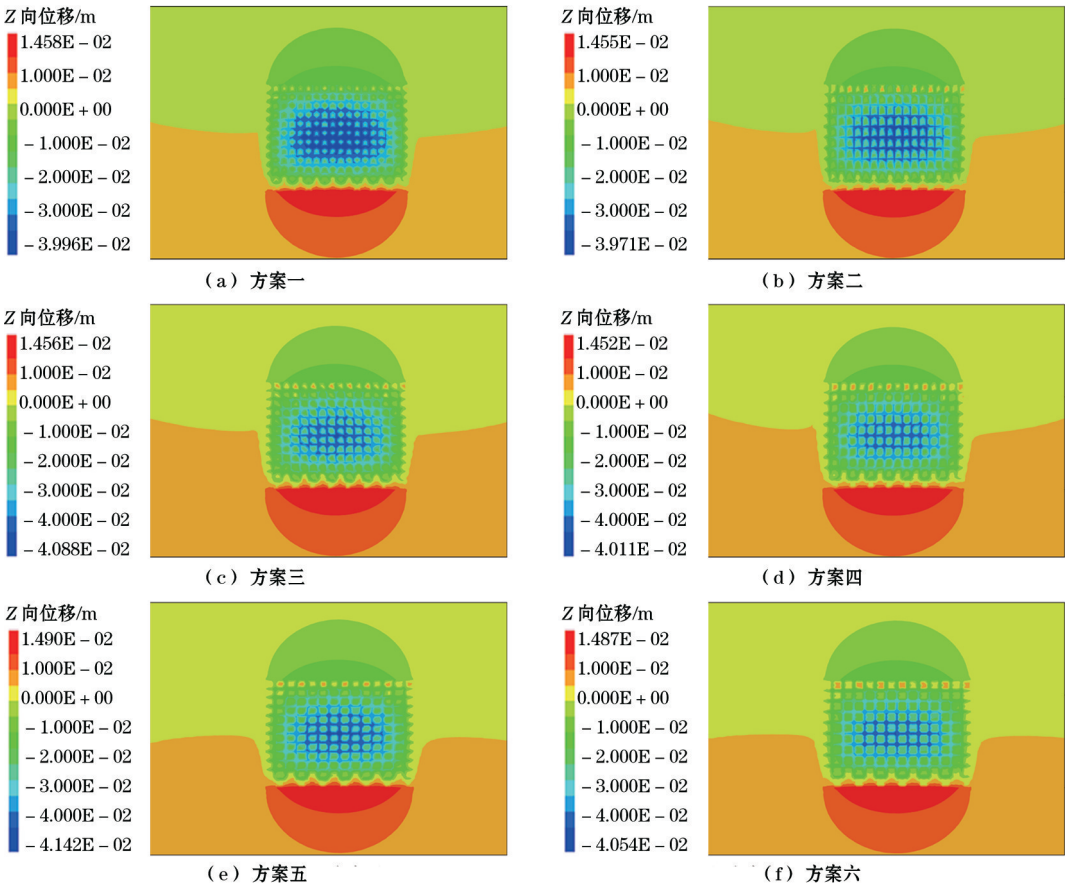


图 5 各方案采场垂直位移分布特征

Fig.5 Distribution characteristics of vertical displacement in the stope under various schemes

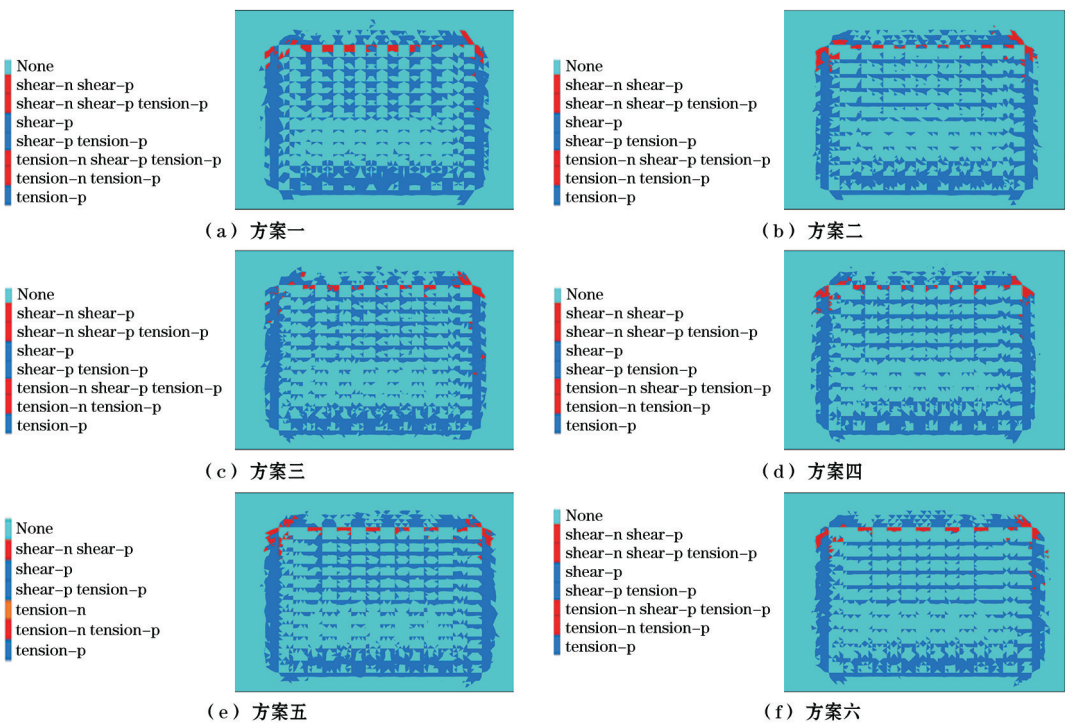
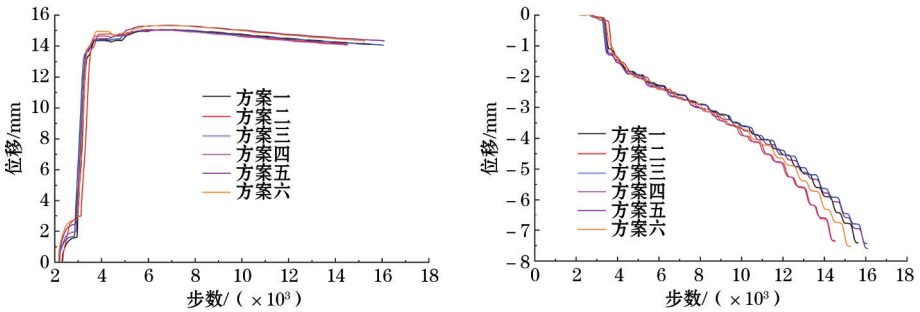


图 6 各方案采场塑性区分布特征

Fig.6 Distribution characteristics of plastic zone in the stope under various schemes

3.4.5 顶底板监测分析

为进一步确定最优采场结构参数,在 6 种方案的采场顶底板中间区域布置监测点,对其位移变化进行连续监测,结果如图 7 所示。



(a) 底板底鼓量位移变化 (b) 顶板沉降量位移变化

图 7 顶底板监测点位移变化

Fig.7 Displacement change of top and bottom plate monitoring points

由图 7 可知,各方案底鼓量为 14.03～14.35 mm、顶板沉降量为 7.34～7.59 mm,各方案间差异不大。从图 7(a)可以看出,各方案在第一分层回采时底鼓量的变化幅度最大,随后增长趋缓并进入平缓阶段;此后,底鼓量经历小幅波动转为持续缓慢下降,直至采场全部回采并充填完成。其中,方案五与方案六的底鼓量变化最为显著,且在充填作业结束时底鼓量达到最大值。从图 7(b)可以看出,各方案第一分层回采时顶板沉降量变化幅度同样最为显著,回采前半段顶板沉降量变化幅度逐渐减小,而后又逐渐增大。

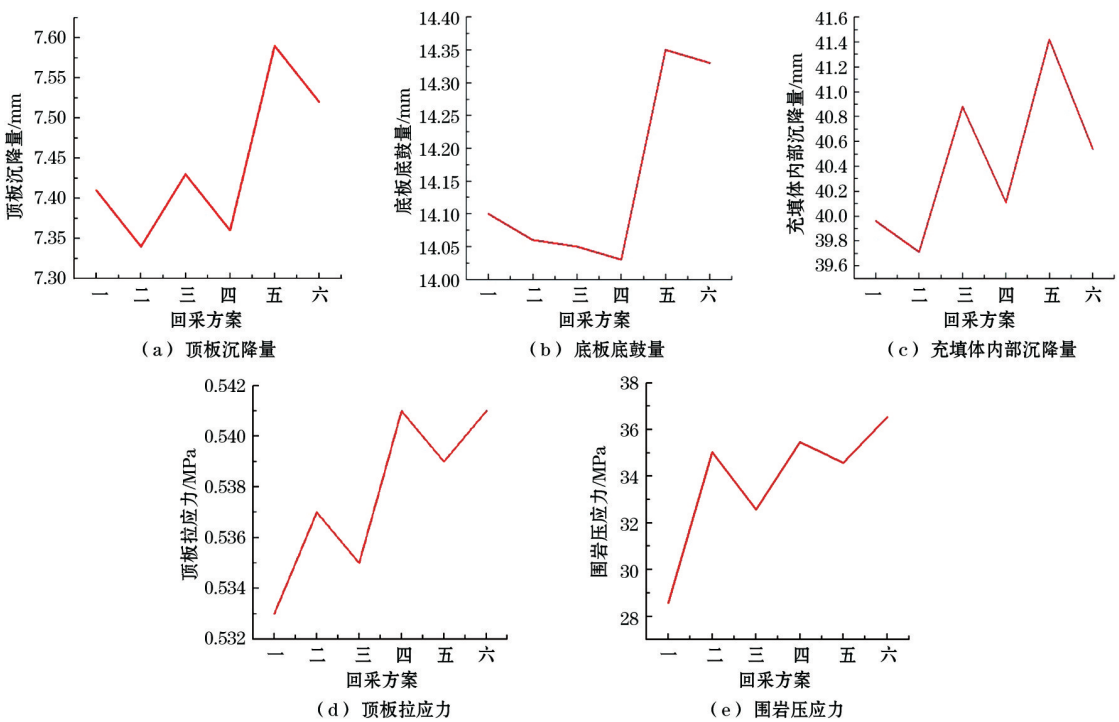
3.4.6 最优方案分析

统计上述数值模拟结果,见表 3,根据相关计算结果绘制不同开采方案下监测参数特征曲线,如图 8 所示。

表 3 数值模拟结果统计

Table 3 Statistics of numerical simulation results

方案	顶板沉降量/mm	底板底鼓量/mm	充填体内部沉降量/mm	顶板拉应力/MPa	围岩压应力/MPa
一	7.41	14.10	39.96	0.533	28.57
二	7.34	14.06	39.71	0.537	35.03
三	7.43	14.05	40.88	0.535	32.57
四	7.36	14.03	40.11	0.541	35.46
五	7.59	14.35	41.42	0.539	34.57
六	7.52	14.33	40.54	0.541	36.53



(a) 顶板沉降量 (b) 底板底鼓量 (c) 充填体内部沉降量

(d) 顶板拉应力 (e) 围岩压应力

图 8 不同开采方案下监测参数特征曲线

Fig.8 Characteristic curves of monitoring parameters under different mining schemes

由表 3 与图 8 可知,各方案顶板沉降量处于 7.34～7.59 mm 之间,相差仅 0.25 mm;底鼓量介于 14.03～14.35 mm 之间,相差仅 0.32 mm。方案五和方案六的顶板沉降量、底板底鼓量及充填体内部沉降量等指标显著高于其余 4 个方案,可预先排除。进一步比较方案一至方案四的顶板拉应力与围岩压应力,其大小排序为方案一＜方案三＜方案二＜方案四,但该排序与顶板沉降量等指标的比较结果并不完全一致。

为更准确判断各方案的优劣,对各方案数值模拟云图进行综合分析。由云图分析可知,各开采方案下采场最大拉应力、Z 方向位移均较为接近,其中方案一和方案三的最大压应力最低;同时,方案三的塑性区面积最小。究其原因,相较于方案一,方案三虽然进路宽度略大,但同时开挖的采场个数更少,且采场整体宽度略小;与方案四相比,方案三在回采时的暴露面积更小。在稳定性相近且保障采场安全的前提下,为提高开采效率,宜优先选取较大的采场结构参数。综合上述分析,最终确定方案三(进路宽度 5.0 m,进路高度 5.0 m)作为最优开采方案。

4 现场应用情况

在现场试验采场采用机械化上向进路充填采矿法进行开采,开采技术参数:中段高度为 60 m,划分为 4 个分段,分段高度为 15 m,每个分段回采 3 个分层,分层高度(进路高度)为 5 m,采场进路宽度为 5 m。

经过实际生产验证,采场展现出良好的技术经济指标,生产能力稳定达到 220 t/d,采切比为 24.5 m^3/kt,采场稳定性较好,反映出该采矿方案在工程布置上具有较好的合理性与经济性。通过优化采场结构参数,在保障开采安全的同时显著提升了生产效率,满足了矿山的生产规模需求。在资源回收方面,矿石损失率为 6.2 %,贫化率为 8.3 %,与行业同类矿山及设计预期相比,资源回收率处于较高水平,整体应用效果较好。此外,进路回采结束后需及时封闭采空区并进行接顶充填,在各进路充填体面浇面厚度为 0.5 m,强度为 3～5 MPa 的胶结充填层,以满足无轨设备正常行走的需求。

5 结论

(1) 对不同结构参数下的采场垂直位移、最大及最小主应力、塑性区分布和顶底板位移进行了模拟分析。各方案最大主应力范围为 28.57～36.53 MPa,最小主应力范围为 0.533～0.541 MPa,底板底鼓量为 14.03～14.35 mm、顶板沉降量为 7.34～7.59 mm。采场所受压应力与拉应力主要集中在采场边帮顶底角位置,呈对称分布。随着进路宽度和进路高度的增大,采场暴露面积增加,围岩压应力、顶底板及上盘围岩位移值均增大,但采场整体位移值均较小。

(2) 数值模拟结果表明,方案三(进路宽度、进路高度均为 5 m)为最优采场布置方案,此时采场塑性区面积最小,且在各方案采场稳定性相近的前提下,从提高开采效率的角度出发,优先选择较大的回采结构参数。

(3) 现场工业试验表明,采用机械化上向进路充填采矿法进行开采,采场生产能力达 220 t/d、采切比为 24.5 m^3/kt,矿石损失率为 6.2%、贫化率为 8.3%。该采矿方法有效提高了采场机械化程度,取得了较好的技术经济指标。

参考文献(References):

[1] 郭利杰,刘光生,马青海,等.金属矿山充填采矿技术应用研究进展[J].煤炭学报,2022,47(12):4182-4200.
Guo Lijie, Liu Guangsheng, Ma Qinghai, et al. Research progress on mining with backfill technology of underground metalliferous mine[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(12):4182-4200.

[2] 李国清,王浩,侯杰,等.地下金属矿山智能化技术进展[J].金属矿山,2021(11):1-12.
Li Guoqing, Wang Hao, Hou Jie, et al. Progress of intelligent technology in underground metal mines[J]. Metal Mine, 2021(11):1-12.

[3] 黄麟淇,陈江湛,周健,等.未来有色金属采矿可持续发展实践与思考[J].中国有色金属学报,2021,31(11):3436-3449.
Huang Linqi, Chen Jiangzhan, Zhou Jian, et al. Practice and thought on sustainable development of nonferrous metal mining[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021,31(11):3436-3449.

[4] 王少锋,吴毓萌,周子龙."三深"复杂环境下岩石钻进与机械化开挖技术发展与展望[J].中南大学学报(自然科学版),2023,54(3):819-836.
Wang Shaofeng, Wu Yumeng, Zhou Zilong. Development and prospects of drilling and mechanical excavation of rock under complex deep underground/sea/space conditions[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2023,54(3):819-836.

[5] 王勇,吴爱祥,杨军,等.深部金属矿开采关键理论技术进展与展望[J].工程科学学报,2023,45(8):1281-1292.
Wang Yong, Wu Aixiang, Yang Jun, et al. Progress and prospective of the mining key technology for deep metal mines[J]. Chinese Journal of Engineering, 2023, 45(8): 1281-1292.

[6] 黄明清,陈霖,李兵磊,等.长走向平行钒铁矿体协同开采方案研究[J].金属矿山,2020(5):55-60.
Huang Mingqing, Chen Lin, Li Binglei, et al. Synergetic mining scheme of parallel long-strike vanadium and iron orebodies[J]. Metal Mine,2020(5):55-60.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 周科平,苟国刚,罗佳,等.基于 Mathew 与数值模拟法的采场结构参数优化及稳定性研究[J].科技导报,2013,31(30):34-38.
Zhou Keping, Gou Guogang, Luo Jia, et al. Optimization of structural parameters and stability of stope based on Mathew method and numerical simulation method [J]. Science & Technology Review,2013,31(30):34-38.

[10] 廖九波,曾令义,王宇.机械化上向水平分层充填采矿法在缓倾斜薄矿体中的应用[J].矿业研究与开发,2025,45(1):24-31.
Liao Jiubo, Zeng Lingyi, Wang Yu. Application of mechanized upward horizontal layered filling mining method in gently inclined thin ore body[J]. Mining Research and Development,2025,45(1):24-31.

[11] 张宝,李永辉,盛佳.深部高应力破碎矿床下向进路充填采矿法盘区卸荷回采应用研究[J].矿业研究与开发,2023,43(11):6-11.
Zhang Bao, Li Yonghui, Sheng Jia. Application research on panel unloading mining of downward drift filling mining method in deep broken deposit under high stress[J]. Mining Research and Development,2023,43(11):6-11.

[12] 邱景平,郭镇邦,陈聪,等.上向进路充填采矿法充填体强度设计[J].中国矿业,2018,27(11):104-108.
Qiu Jingping, Guo Zhenbang, Chen Cong, et al. Filling body strength design of the upward drift stoping and filling method[J]. China Mining Magazine,2018,27(11):104-108.

[13] 高金成,李士超,刘玉桥,等.盘区机械化上向进路充填采矿法应用研究[J].采矿技术,2023,23(5):56-59.
Gao Jincheng, Li Shichao, Liu Yuqiao, et al. Application research on panel mechanized upward drift cut-and-fill mining method[J]. Mining Technology,2023,23(5):56-59.

[14] 肖欢,李绍斌,刘银,等.某采场上向水平分层进路充填采矿法结构参数研究[J].云南冶金,2024,53(1):42-50.
Xiao Huan, Li Shaobin, Liu Yin, et al. Structure parameter study of upward horizontal sub-level drift fill stoping method of one stope[J]. Yunnan Metallurgy,2024,53(1):42-50.

[15] 罗来和,夏国进,王沉,等.基于 FLAC3D 的采矿方法优选及采场结构参数优化[J].矿冶工程,2021,41(6):129-133.
Luo Laihe, Xia Guojin, Wang Chen, et al. Optimization of mining method and stope structure parameters based on FLAC3D[J]. Mining and Metallurgical Engineering,2021,41(6):129-133.

[16] 张金来,王建栋,韩斌,等.金川三矿区下向进路胶结充填采矿法采场结构参数优化[J].矿业研究与开发,2022,42(11):1-7.
Zhang Jinlai, Wang Jiandong, Han Bin, et al. Optimization on stope structure parameters of downward drift cemented filling mining method in the third mining area of Jinchuan [J]. Mining Research and Development,2022,42(11):1-7.

[17] 王文胜,张忠传,秦秀合,等.上向进路充填采矿法采场结构参数优化研究[J].采矿技术,2023,23(5):22-28.
Wang Wensheng, Zhang Zhongchuan, Qin Xiuhe, et al. Optimization research on stope structure parameters of upward drift backfill mining method [J]. Mining Technology,2023,23(5):22-28.

[18] 唐振江,王文茂,李施庆,等.嵩县金矿上向进路充填采矿法采场结构参数优化及应用[J].黄金,2019,40(7):38-42.
Tang Zhenjiang, Wang Wenmao, Li Shiqing, et al. Study on stope structural parameters optimization of upward approach and filling mining method in Songxian Gold Mine and its application[J]. Gold,2019,40(7):38-42.

[19] 何鹏,钟周颖.上向水平分层充填采矿法采场结构参数优化研究[J].采矿技术,2024,24(5):21-26.
He Peng, Zhong Zhouying. Optimization study on stope structural parameters of upward horizontal slicing backfill mining method[J]. Mining Technology,2024,24(5):21-26.

[20] 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.