

棉花坑矿井分段深孔连续采矿数值模拟及验证研究

刘海洋¹, 谢国森², 付宏宁¹, 宋丽霞², 匡正平¹, 秦旭忠²

(1. 中核韶关锦原铀业有限公司, 广东 韶关 512329;

2. 核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149)

摘要: 针对棉花坑矿井开采中存在的安全性差、效率低等问题, 通过建立矿体三维地质模型, 开展采场结构参数模拟和深孔爆破扰动数值模拟等研究, 获取了采场结构参数和采矿工艺参数, 并通过现场采矿试验对参数进行验证和优化, 最终形成了无间柱分段深孔连续采矿工艺, 该工艺实现了多工序同时作业和采场无人化作业, 使得采场月生产能力较现有的水平分层充填采矿工艺提高约 3 倍, 采矿直接成本降低约 13%, 显著提高了棉花坑矿井的采矿效率和采矿安全性。

关键词: 铀矿; 棉花坑矿井; 无间柱分段采矿; 数值模拟; 深孔爆破; 深孔分段; 采场结构参数

中图分类号: TD868; TL212 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2026)03-0054-09

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2025.12.16

棉花坑矿床位于诸广山岩体南部的中心部位, 主要有 9 号含矿构造带、7 号含矿构造带和 32 号含矿构造带^[1-3]。矿体总体呈现薄、小、散等特点, 裂隙节理发育, 采场顶板稳定性差。目前, 矿体开采主要采用水平分层干式充填法, 该方法回采工艺复杂, 采场内的钻孔、爆破、顶板安全处理、出矿、充填等多道工序必须在同一采空区内按序进行, 导致生产效率低、采矿成本高, 且作业人员长期暴露在采空区顶板下作业, 作业环境恶劣, 安全隐患突出。

深孔爆破采矿具有机械化程度高、回采成本低、爆破效率高等优点, 已在国内外矿山开采中广泛应用^[4-7]。采场结构和爆破参数是控制开采经济效益和采场稳定性的关键变量^[8-9]。通过开展系统研究, 可达到安全与效率协同提升的开采目标。国内外学者从理论分析、现场工业试验及数值模拟等方面对深孔爆破开展了大量研究。胡冰等采用工程类比和理论计算法对中深孔爆破参数进行优化, 最大限度减少了爆破产生的大块率^[10]。Chen 等基于理论分析和数值模拟, 揭示了在多孔微差爆破中爆炸源附近会发生多次爆破振动叠加, 并确定了最优微差时间^[11]。针对急倾斜薄矿脉(与棉花坑矿床薄、小、散矿体特点类似), 国内多家有色金属矿山开展了中深孔爆破模

拟和采矿试验研究^[12-15]。另外, 王泽江等以 MIDAS/GTS 建立试验采场的三维有限元分析模型, 对某铀矿的开采方法开展数值模拟研究, 分析采场开采过程中围岩的位移和应力状态, 确定了最优采矿方法^[16]。

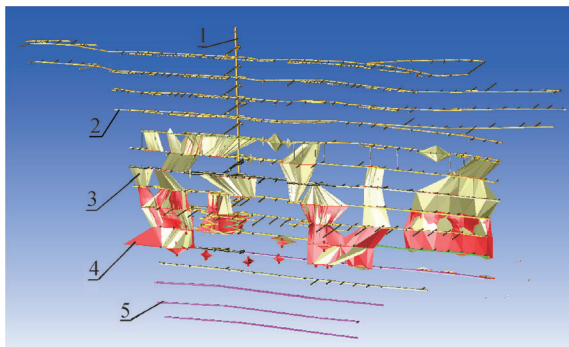
针对棉花坑矿井采矿安全性差、采矿效率低等问题, 谢国森等通过建立矿体和采场三维地质模型, 对选定的试验矿体采场结构参数、深孔爆破与采空区管理进行数值模拟, 获取了采场结构参数和采矿工艺参数^[17-20]。在此基础上, 笔者通过进一步验证、优化采矿试验参数和现场试验, 形成了无间柱分段深孔连续采矿工艺, 旨在提高棉花坑矿井的采矿效率和采矿安全性。

1 棉花坑矿井三维模型建立

根据棉花坑矿区中段地质平面图、矿区地形地质图和采场图等, 采用 Dimine 对井巷工程、矿体、采场和地表开展三维建模。建模过程主要包括文件与数据导入、坐标校对和统一、数据处理和检查、选择建模功能及生成实体模型。在完成模型构建后, 对模型的有效性进行检测和修复, 获得了棉花坑矿井矿体三维模型, 模型走向长 1 500 m, 倾向宽 300 m, 高 750 m(图 1)。

收稿日期: 2025-12-25; 修回日期: 2026-01-30

通信作者: 谢国森



1—竖井;2—已有巷道;3—矿体(品位 $\geq 0.1\%$);
4—矿体(品位 $< 0.1\%$);5—设计巷道。

图 1 井巷工程与矿体三维模型复合图

Fig. 1 Composite diagram of underground engineering and orebody 3D model

2 采场结构参数数值模拟

9-14 试验采场走向长约 140 m,中段高 50 m,留 6 m 顶柱,无底柱;沿垂高布置分段凿岩平巷;矿体总体呈不规则型,顶、底部狭窄,中间宽,矿体厚度为 2.5~7.0 m,矿体倾角为 86.7° 。

2.1 采场结构参数数值模拟方案设计

2.1.1 采场分段高度设计

分别将试验采场按三分段和两分段开采方案进行数值模拟(图 2),其中三分段方案的各分段高度分别为 15、15、14 m;两分段方案的各分段高度均为 22 m。

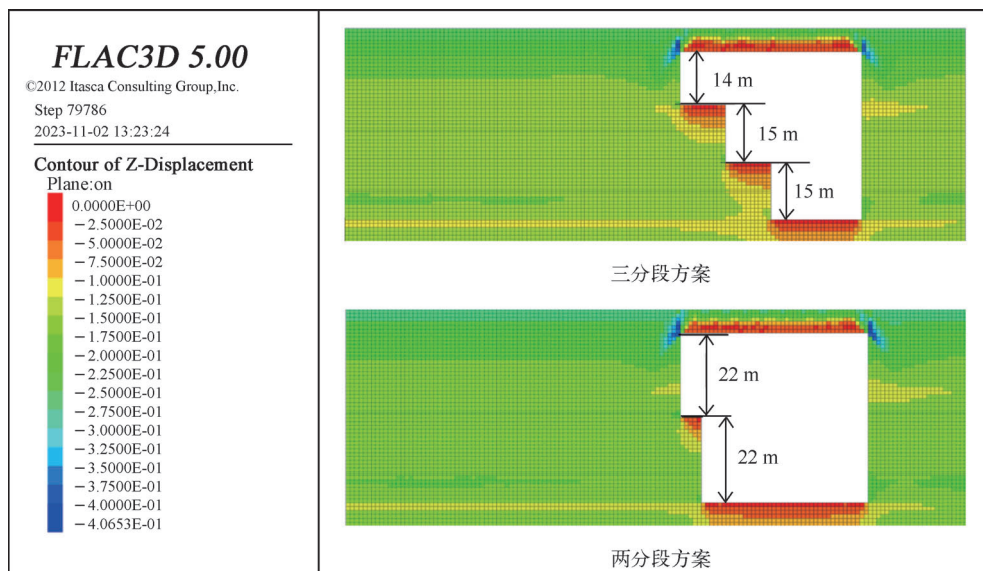


图 2 试验采场分段高度设计方案

Fig. 2 Design scheme for sectional height of the test stope

2.1.2 采场回采爆破步距设计

采矿爆破设计排距分别为 1.3、1.5、1.8 m,单次爆破步距设计炮孔排数为 3 排、5 排和 7 排,反算出相邻分段上爆破步距为 4.0~12.5 m。在不同分段、爆破步距分别为 5、7、9、11、13 m 情况下,对采场围岩最大主应力、最小主应力、顶底板位移及塑性区分布规律进行数值模拟,分析确定最优采切工程布置方案。在爆破步距为 9 m 条件下,两分段和三分段边采边充数值模型计算方案最优(图 3)。根据拟定的回采工艺,本研究设计采矿数值模拟试验方案见表 1。

表 1 采场结构参数数值模拟试验方案

Table 1 Numerical simulation test scheme for stope structure parameters

爆破步距/m	三分段回采	两分段回采
5	试验 1	试验 2
7	试验 3	试验 4
9	试验 5	试验 6
11	试验 7	试验 8
13	试验 9	试验 10

根据表 1 试验方案,采用嗣后充填和边采边充两种工艺,共设置 20 组数值模拟试验。通过分析采矿工艺中的分段高度、采矿进尺对采场结构

应力场、位移场及塑性区分布的影响规律,最终确定合理采切工程方案。

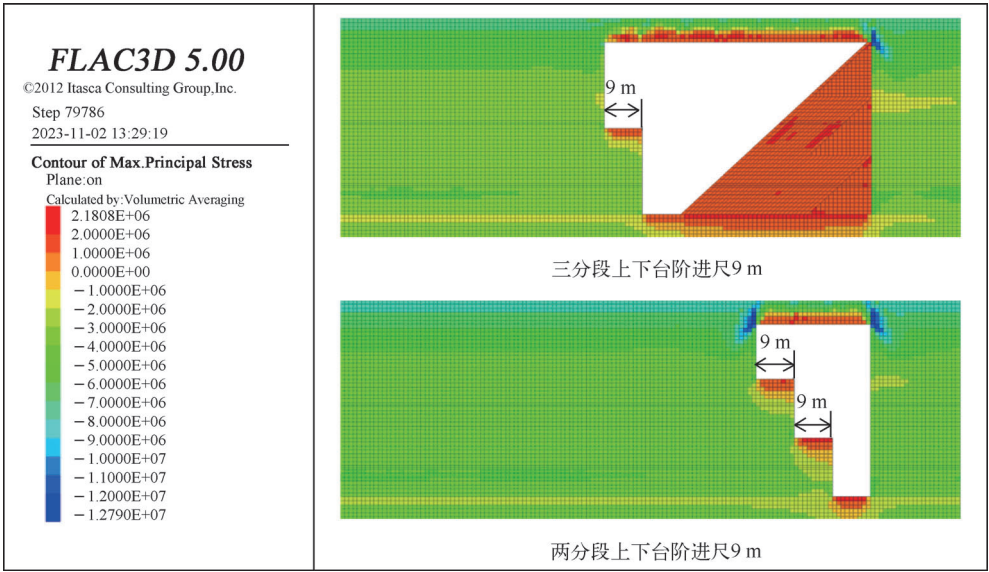


图 3 不同分段 9 m 爆破步距的采矿工艺数值分析模型

Fig. 3 Numerical analysis models of mining processes with 9 m advance in different sections

2.2 采场结构参数数值模型建立

以 9-14 试验采场为对象,基于 FLAC3D 数值分析平台构建采场数值分析模型,其三分段数值模型见图 4。在采场数值模型的顶柱中设置 6 个监测点(图 4b),用于获得在不同参数条件下矿体回采过程中采场顶柱稳定性演化规律和位移变化过程曲线。后续模拟结果所呈现的顶柱竖向沉降变形数据均来源于图中 6 个监测点采集到的数据。在该采场模型基础上,为实现充填体支护效果的模拟,在采空区两侧岩壁上,随回采进度逐步敷设接触面模型(interface),以阻断充填体与采场模型节点的物理连接。分布于充填体边界上的接触面模型见图 5。

2.3 采场结构参数数值模拟结论

在分段进尺分别为 5、7、9、11、13 m 条件下,对两分段嗣后充填、两分段边采边充、三分段嗣后充填、三分段边采边充等 4 种回采工艺的采场顶板沉

降和侧帮水平位移进行了模拟,获得以下结论:1)在相同充填工艺下,顶柱竖向沉降位移的变化规律基本一致,分段高度的回采工艺对顶柱竖向沉降位移控制差异极小,表明采场顶柱稳定性与回采过程中顶柱应力场的扰动程度关系较弱,顶柱稳定性取决于顶柱暴露面积;2)在相同分段工艺与回采爆破步距条件下,边采边充能够降低顶柱竖向沉降位移,但降低程度有限;3)充填回采工艺在控制顶柱竖向沉降位移方面作用不显著,但能有效控制采场两帮水平位移,同时对控制采场顶柱失稳后发生的块石冒落有积极作用;4)采场分段高度可根据矿体厚度合理布置炮孔的条件下,尽可能采用高分段,以减少采准工程量;5)在分段采矿爆破步距满足爆破效果的条件,下,尽可能加大单次回采爆破步距,以提高采矿效率;6)随着工作面的推进,加强底部出矿平巷的出矿进度,采用边采边充连续采矿工艺及时充填采空区。

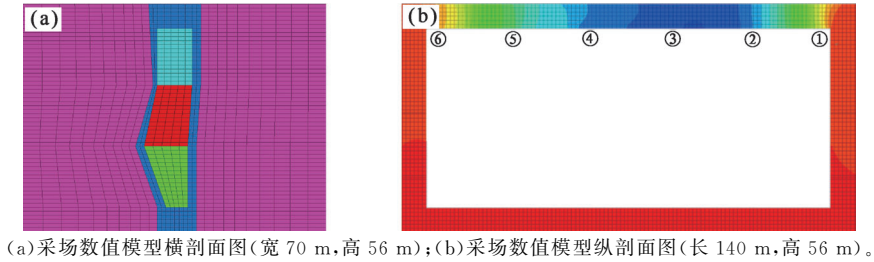


图 4 9-14 采场三分段数值模型分析

Fig. 4 Analysis of three-segment numerical model of stope 9-14

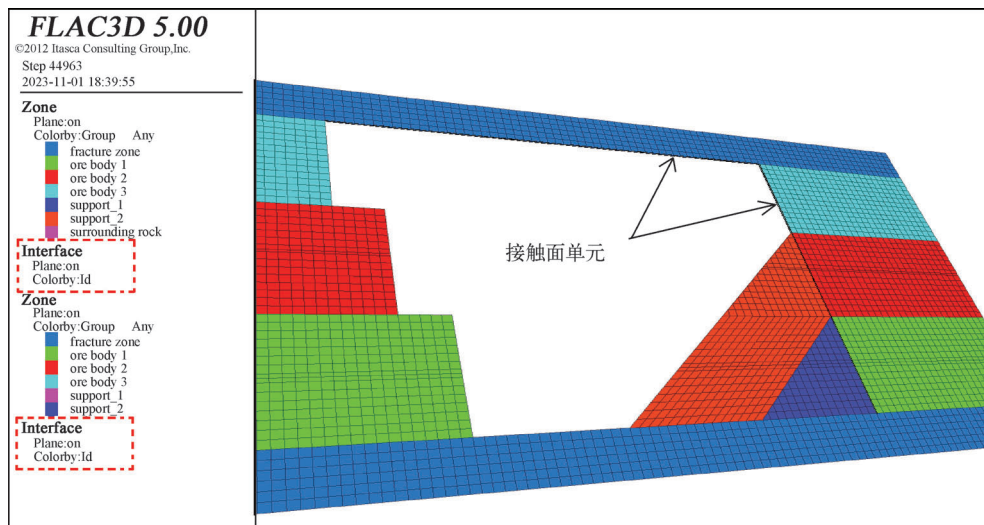


图 5 采场内接触面模型示意图

Fig. 5 Schematic diagram of contact surface model within stope

3 深孔爆破数值模拟

采用 GPE FDEM(基于 GPU 并行计算的增强三维有限元-离散元耦合分析方法)和离散单元法 PFC3D 对 9-14 试验采场深孔爆破开采过程进行模拟,研究爆破过程中的应力、位移和裂隙场的演化规律,分析不同炮孔布置方案的爆破效果。

3.1 深孔爆破数值模型建立

采用 PFC3D 软件和 GPE FDEM 构建了简化的采场三维深孔爆破数值模型(图 6)。模型内部的矿体分布、围岩分布均与 9-14 采场的矿体分布、围岩分布一致。矿体总体呈不规则型,顶、底部狭窄,中间宽,矿体厚度为 2.5~7.0 m,矿体倾角为 86.7°。采场模型顶部留有 6 m 的顶柱,采场设置 3 个分段,各分段台阶长度均为 9 m。其中,第一分段岩层、第二分段岩层、第三分段岩层的暴露面距模型前表面分别为 22、13、4 m。采场前端留有 6 m 的围岩。各分段布置脉内凿岩平巷,在凿岩平巷内施工扇形炮孔,炮孔深度为 7~14 m,孔底距为 1.5~2.0 m,排距为 1.2~1.8 m,一次爆破 3~5 排。

采用四面体进行模型网格划分(图 7)。由于本研究重点关注矿体上段爆破开采过程对采场稳定性的影响,因此对矿体上段炮孔范围内岩体和矿体进行网格加密,最小单元尺寸为 0.2 m。最终划分的实体单元数为 820 950,插入的节理单元数为 1 647 102,总单元数为 2 468 052。在模型四

周施加应力边界以维持初始地应力,同时施加吸收边界以使爆炸产生应力波透射,减少边界反射对模拟结果的干扰。

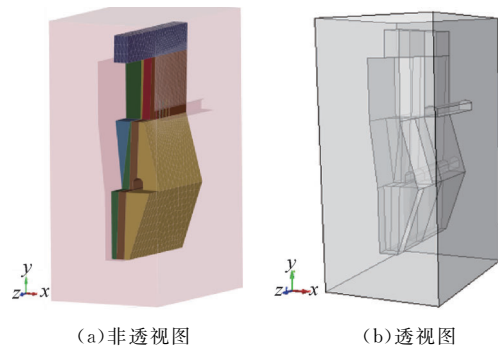


图 6 采场三维深孔爆破数值模型

Fig. 6 Numerical model of three-dimensional deep hole blasting in stope

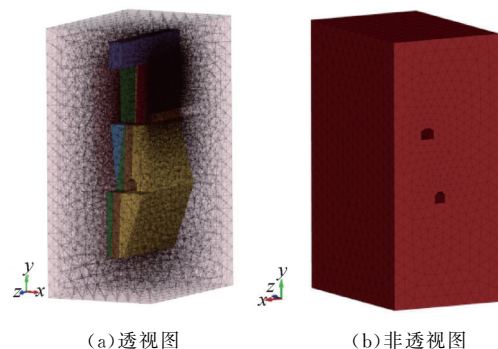


图 7 破碎矿体数值模型网格划分示意图

Fig. 7 Schematic diagram of grid division for numerical model of broken ore body

3.2 爆破模拟参数

爆破模拟主要参数:炮孔排距分别为 1.3、1.5、1.8 m;扇形炮孔孔底距分别为 1.5、1.8、2.0 m;一次爆破炮孔排数分别为 3 排、5 排和 7 排;炮孔直径分别为 55、65、75 mm;毫秒延时为 25 ms。

3.3 深孔爆破数值模拟

根据爆破模拟参数方案开展模拟,对比分析不同爆破条件下速度场、位移场、应力场和裂隙场的演化过程,从爆破效果及孔网损伤特征、爆破质量、爆破振动等方面进行结果分析。模拟试验时考虑不同炮孔排距、孔底距、炮孔排数和钻孔直径对爆破效果的影响,分排起爆,微差爆破延迟时间

25 ms。

图 8 展示了一次爆破 5 排炮孔,在炮孔排距 1.5 m、孔径 65 mm、孔底距 1.8 m 参数条件下,毫秒延时爆破过程周边围岩的损伤破坏典型过程。每爆破一排,其周边就会生成一些新的微裂纹,不同排数产生的微裂纹用不同颜色表示。因此,多排起爆时,可以依据新生成的裂纹颜色、位置确定其有效爆破损伤范围及其对后排炮孔的影响。

图 9 是基于 Fish 命令构建的一套块体分析程序,对已损伤岩体进行了块度分析,展示了爆破执行后某时刻典型的岩体爆破块度分布。

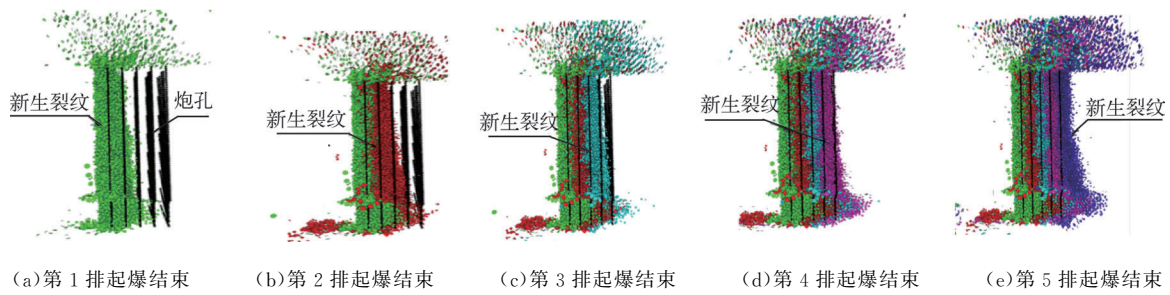


图 8 多排炮孔微差爆破周边围岩损伤过程示意图

Fig. 8 Schematic diagram of the surrounding rock damage process in multi-row blast hole micro-differential blasting

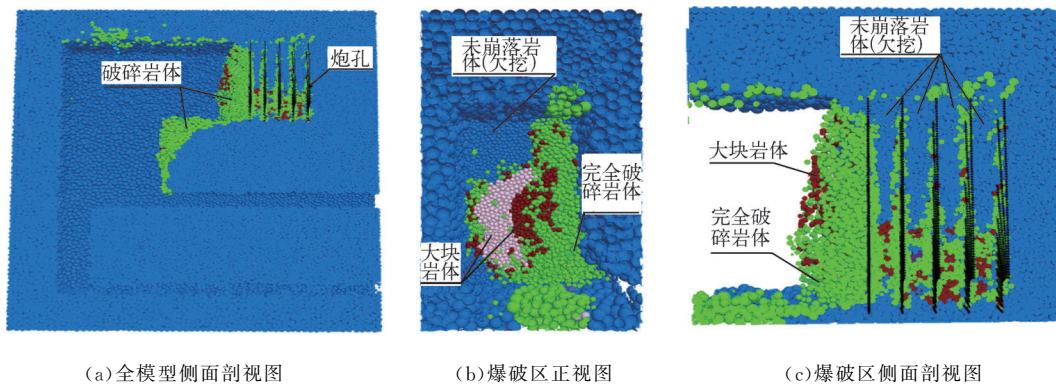


图 9 岩体爆破块度示意图

Fig. 9 Schematic diagram of rock mass blasting block size

3.4 深孔爆破数值模拟主要结论

通过 GPE FDEM 及 PFC3D,在 LS-DYNA 爆破分析参数基础上,对深孔爆破扰动进行了模拟,分析了不同炮孔排距、排数和孔底距爆破过程采场速度场、位移场、应力场和裂隙场的变化规律(图 10)。

具体结论如下:1)当炮孔排距较小时,爆破对

矿体破碎程度更充分,且破碎区向内延伸范围更广;当炮孔排距较大时,爆破能量更趋向于排间内矿体破碎,破碎区向内扩展范围减小。2)随着炮孔排距的增加,空区临空面破碎块体的速度略微减小,而巷道内弹射块体速度呈现出较明显的减小趋势,空区临空面炮孔附近矿体应力释放范围(红色区域)逐渐较小,空区临空面炮孔附近矿体破

裂范围有一定的增加。3)在选定工况条件下,分别对单排爆破和双排爆破进行模拟,炮孔附近单元节点的速度会随爆破能量急剧增加而增加,随后呈现减小的趋势,随着爆破的持续进行,破碎矿体位移增加、破碎范围逐渐增大。两种爆破方式形成的位移场、应力场和裂隙场的变化规律相似,而双排爆破条件下应力释放区域会更小、空区临空面破碎矿体的速度较大。通过对比分析设置监测点的速度与应力随时间变化的曲线,发现爆破对顶板、底板单元节点速度与应力的变化规律相似,但对底板的影响更大;同时双排爆破的爆破能量更大,造成的影响会更明显。4)根据模拟爆破效果分析,建议爆破孔深不大于20 m,孔径65 mm,一次爆破排数5排,炮孔排距1.5 m、炮孔孔底距1.8~2.0 m。

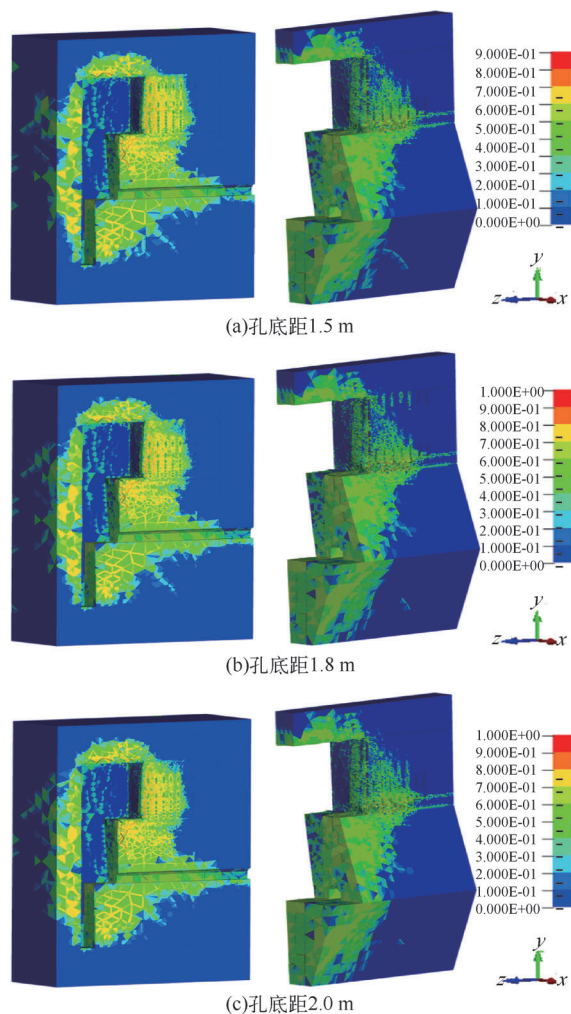


图10 不同炮孔孔底距爆破位移分布云图

Fig. 10 Blasting displacement cloud map for various hole bottom spacings

4 现场采矿工业性试验

4.1 试验方案制定和采切工程施工

为验证前述数值模拟取得的采场结构参数和爆破工艺参数,选择9-14采场开展现场采矿工业性试验,试验采场矿石量8.8万t。试验采场采矿方法见图11。

4.2 现场采矿试验

现场采矿爆破试验依次在3个分段内进行,共实施了12次爆破落矿试验。设计炮孔总数784个,设计炮孔总长8 018 m,施工炮孔总长7 513 m。设计装药长度约4 893 m,设计装药量15.69 t,实际装药总量约12.86 t。爆破矿岩量约2.4万t。在脉内凿岩平巷施工扇形炮孔(图12),采用多组参数开展交叉试验:炮孔直径分别选用55、65、75 mm,排间距分别选用1.0、1.2、1.5 m。每次爆破5~6排,爆破采用多孔颗粒铵油炸药。根据工艺要求,首先爆破30 m分段一定距离后,再爆破16 m分段,最后爆破0 m分段,使其形成“正台阶形”的采场作业面。

4.3 现场试验结果

在炮孔直径分别为55、65、75 mm,排间距分别为1.0、1.2、1.5 m条件下,开展深孔凿岩及爆破参数优化、爆破落矿方法及控制爆破技术、爆破安全技术等现场试验研究,爆破后初步得出如下结论:1)当炮孔直径为55 mm时,炮孔成孔率不足50%,后续装药难度大,导致爆破效果较差。2)当炮孔直径为65 mm时,成孔率可达70%,装药施工顺利。当排间距为1.2 m时,爆破块度过小(图13 a);当排间距为1.5 m时,爆破块度适宜(图13 b)。3)当爆破毫秒延时为25 ms时,能充分发挥毫秒延时爆破挤压形成的多重作用效果,爆堆块度较小。4)当爆破用药总质量为1 500 kg时,爆破振动和空气冲击波对距爆区中心50 m范围外的主要巷道、天井、压风机、主通风机等设备设施未造成明显破坏。5)分段深孔开采方法的采矿效率达14.76 t/工班,采场月生产能力达6 200 t,采矿直接成本52.01元/t。与现有水平分层充填采矿方法(采矿效率9.50 t/工班,采场月生产能力1 680 t,采矿直接成本59.47元/t)相比,其采场月生产能力提高约3倍,采矿直接成本降低约13%。

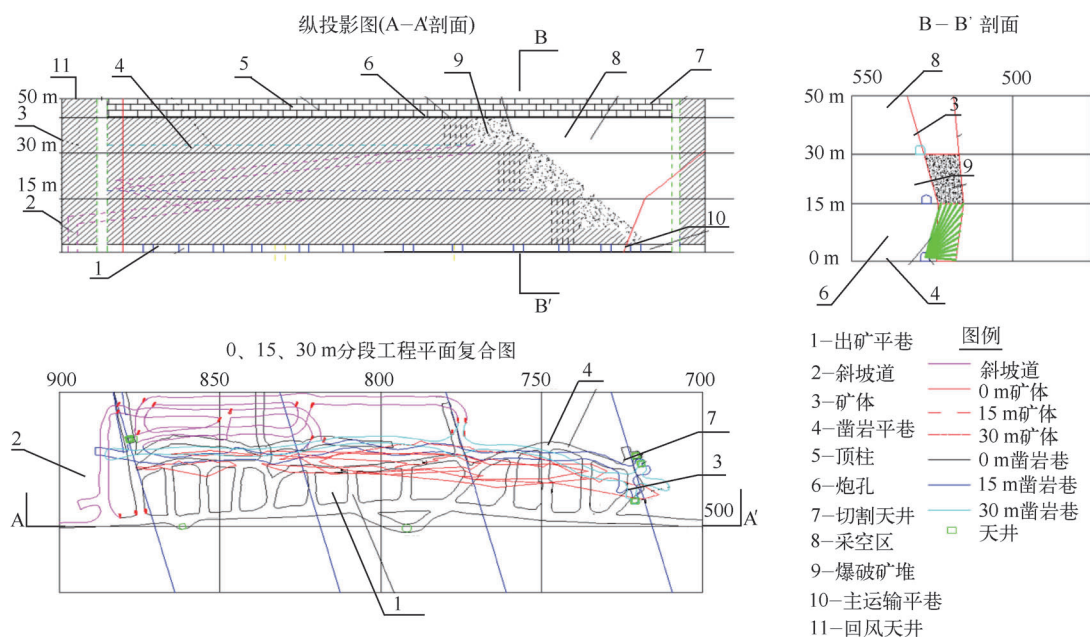


Fig. 11 Mining method diagram of the test stope 9-14

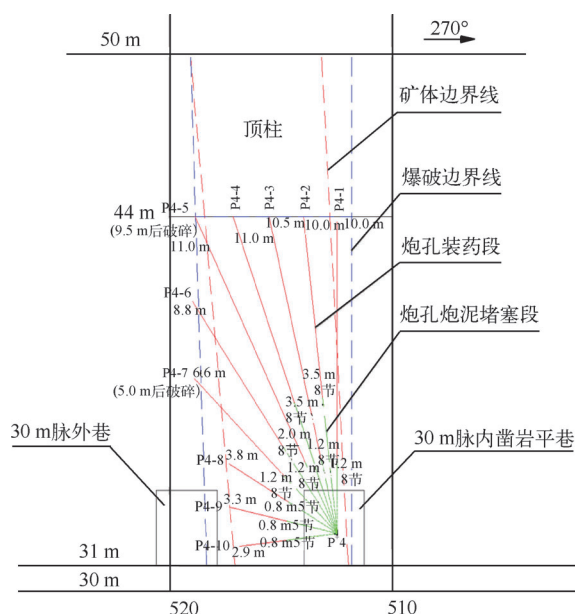


Fig. 12 Schematic diagram of charging at the 4th row of gun holes in the 30 m section



Fig. 13 Muck pile condition with 65 mm blast holes at draw point

从采矿效率、爆破效果及生产成本等方面分析,现场试验取得的最佳爆破参数与爆破模拟提供的参数基本一致。深孔爆破模拟结果显示,在采用炮孔直径 65 mm,每次爆破 5 排炮孔以上,炮孔排距 1.5 ~ 1.8 m,炮孔孔底距 1.8 ~ 2.0 m 等条件下,矿石块度大于 2.5 m³ 的产率小于 3%,对围岩的损伤破坏较小。采矿试验最终采用孔径 65 mm,一次爆破 5 ~ 8 排,炮孔排距 1.5 m、炮孔孔底距 1.8 ~ 2.0 m,共实施了 12 次爆破落矿试验,块度小于 0.09 m³ 的矿石产率达 90%,与爆破模拟结果拟合度较高,显示采用的深孔爆破模拟方法具有较高的可靠性和优越性。

5 结论和建议

1)将数值模拟方法应用于深孔爆破采矿现场试验和生产应用,为确定采场结构和深孔爆破参数与采空区管理措施等提供了切实可行的技术支持,具有显著的先进性和实用性。

2)在采场结构参数方面,三分段较两分段在控制顶柱竖向位移方面更有优势,但是差异不大。从回采效率和降低生产成本上综合分析,在满足矿体厚度允许条件和炮孔合理布置的条件下,两分段方案优于三分段方案,应优先考虑提高采场分段高度。

3)建议后续生产中炮孔参数取:排距 1.5 m, 孔底距 1.8~2.0 m,孔径 65 mm,每次爆破排数

5~8排。

4)采用边采边充回采工艺时,废石充填对顶柱竖向沉降的控制效果不佳,但对采场周边应力场的演化过程有积极的作用,可使采场周边应力集中现象更小,对承接顶柱块石冒落也有积极作用。因此,随着采场回采爆破步距的推进,应及时出矿并同步跟进充填,以利于采场两帮围岩的稳定。

参考文献:

- [1] 段海城,谭忠银,唐平,等.某硬岩型铀矿井充填法采矿工艺的优化改进及应用[C]//中国核学会2019年学术年会论文集:第2册.北京:中国核学会,2019:194-201.
- [2] 伏顺成,罗强.粤北棉花坑与书楼丘矿床衔接地段找矿潜力分析[J].科技视界,2019(12):101-102.
Fu Shuncheng, Luo Qiang. Analysis of prospecting potential in the junction area of the Mianhuakeng pit and Shulouqiu deposits in North Guangdong, China [J]. Science & Technology Vision, 2019 (12): 101-102.
- [3] 肖冠雄.粤北棉花坑矿床9号矿带蚀变地球化学特征与成矿物质源示踪[D].南昌:东华理工大学,2019.
- [4] 殷锦训,王维,游喻豪,等.湖北三鑫金铜矿扇形中深孔爆破参数优化数值模拟研究[J].爆破,2022,39(2):85-93.
Yin Jinxun, Wang Wei, You Yuhao, et al. Numerical simulation of Sanxin gold and copper mine in Hubei Province blasting parameters [J]. Blasting, 2022, 39 (2): 85-93.
- [5] 姜永恒,雷恒永,杨杰,等.镇沅金矿中深孔爆破参数数值模拟研究[J].爆破,2019,36(1):77-83.
Jiang Yongheng, Lei Hengyong, Yang Jie, et al. Numerical simulation of Zhenyuan gold mine blasting parameters [J]. Blasting, 2019, 36(1): 77-83.
- [6] 陈帮洪,栗登峰,陈星明,等.地应力效应下某矿中深孔爆破参数优化研究[J].矿业研究与开发,2023,43(4):42-49.
Chen Banghong, Su Dengfeng, Chen Xingming, et al. Optimization research on blasting parameters for medium-deep holes in a mine under the effect of in-situ stress [J]. Mining Research and Development, 2023, 43(4): 42-49.
- [7] 罗正良.保山金厂河缓倾斜厚大矿体采矿方法优化[J].世界有色金属,2019,34(20):74-76.
Luo Zhengliang. Optimization of mining method for gently inclined thick-large orebody in Baoshan Jinchanghe [J]. World Nonferrous Metals, 2019, 34 (20): 74-76.
- [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. 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] 骆浩浩,杨仁树,马鑫民,等.石碌铁矿扇形中深孔爆破块度分布特征研究[J].采矿与安全工程学报,2023,40(2):371-378.
Luo Haohao, Yang Renshu, Ma Xinmin, et al. Study on the distribution characteristics of deep hole blasting in the fan-shaped hole of Shilu iron mine [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2023, 40 (2): 371-378.
- [10] 胡冰,刘继发,顾新宇.向上扇形中深孔爆破参数研究与应用[J].山东煤炭科技,2012,30(5):123-124.
Hu Bing, Liu Jifa, Gu Xinyu. Research and application on the up sector medium-length hole blasting [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2012, 30(5): 123-124.
- [11] Chen S H, Wu J, Zhang Z H. Influence of millisecond time, charge length and detonation velocity on blasting vibration [J]. Journal of Central South University, 2015, 22(12): 4787-4796.
- [12] 安龙,张家华,李元辉,等.急倾斜薄矿脉夹制作用下中深孔爆破模拟与参数优化[J].东北大学学报(自然科学版),2022,43(4):113-120.
An Long, Zhang Jiahua, Li Yuanhui, et al. Simulation and parameters optimization of medium deep hole blasting in steeply narrow vein mine under confinement [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2022, 43(4): 113-120.
- [13] 戚伟,曹帅,宋卫东.中深孔嗣后废石充填采矿法在急倾斜薄矿脉开采中的试验应用[J].黄金,2017,38(2):30-33.
Qi Wei, Cao Shuai, Song Weidong. Application of medium long-hole blasting and subsequent waste rock filling method in the extraction of steeply inclined thin orebody [J]. Gold, 2017, 38(2): 30-33.
- [14] 冯壹,刘方求,郑剑洪,等.难采厚大破碎矿体采矿方法试验研究[J].采矿技术,2011,11(6):9-10.

- Feng Yi, Liu Fangqiu, Zheng Jianhong, et al. Experimental study on mining methods for difficult-to-mine thick and large broken ore bodies[J]. Mining Technology, 2011, 11(6):9-10.
- [15] 徐帅, 彭建宇, 李元辉, 等. 急倾斜薄矿脉中深孔落矿爆破参数优化[J]. 爆炸与冲击, 2015, 35(5): 682-688.
- Xu Shuai, Peng Jianyu, Li Yuanhui, et al. Blasting parameter optimization of medium-depth hole caving for steeply inclined thin veins[J]. Explosion and Shock Waves, 2015, 35(5): 682-688.
- [16] 王泽江, 邵磊昌, 李秦, 等. 地下铀矿开采方法的数值模拟技术研究[J]. 铀矿冶, 2017, 36(2):73-80.
- Wang Zejiang, Shao Leichang, Li Qin, et al. Study on numerical modeling technology for underground mining method[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2017, 36(2):73-80.
- [17] 秦旭忠, 孙刚友, 侯志永, 等. 棉花坑矿井破碎矿体回采方案研究[J]. 铀矿冶, 2024, 43(3):25-34.
- Qin Xuzhong, Sun Gangyou, Hou Zhiyong, et al. Research on stoping scheme of broken orebody in Mianhuakeng mine[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2024, 43(3):25-34.
- [18] 谢国森, 付宏宁, 宋丽霞, 等. 棉花坑矿井地应力测量及其应力状态分析[J]. 铀矿冶, 2023, 42(4):1-7.
- Xie Guosen, Fu Hongning, Song Lixia, et al. Geostress measurement and state analysis of Mianhuakeng mine[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2023, 42(4):1-7.
- [19] 谢国森, 罗春梧, 宋丽霞, 等. 棉花坑矿床破碎矿体深孔连续采矿工艺研究[J]. 铀矿冶, 2022, 41(4): 394-400.
- Xie Guosen, Luo Chunwu, Song Lixia, et al. Study on deep hole continuous mining technology of broken ore body in Mianhuakeng deposit[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2022, 41(4): 394-400.
- [20] 姚小伟, 谢国森, 蒲成志, 等. 某铀矿山中深孔爆破参数优化数值模拟[J]. 南华大学学报(自然科学版), 2025, 39(1):26-34.
- Yao Xiaowei, Xie Guosen, Pu Chengzhi, et al. Numerical simulation on parameter optimization of medium-deep hole blasting in a uranium mine[J]. Journal of University of South China: Science and Technology, 2025, 39(1):26-34.

Numerical Simulation and Verification of Sublevel Deep-hole Continuous Mining in Mianhuakeng Mine

LIU Haiyang¹, XIE Guosen², FU Hongning¹, SONG Lixia², KUANG Zhengping¹, QIN Xuzhong²

(1. Shaoguan Jinyuan Uranium Co., Ltd., CNNC, Shaoguan 512329, China;

2. Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China)

Abstract: Aiming at the safety and inefficiency issues existing in the mining of Mianhuakeng mine, this study established a three-dimensional geological model of the ore body and conducted research such as stope structure parameter simulation and numerical simulation of deep-hole blasting disturbance, then obtained stope structure parameters and mining process parameters. Through on-site mining tests to verify and optimize these parameters, a pillarless sublevel deep-hole continuous mining technology was developed. This technology enables simultaneous operation of multiple processes and unmanned operation in the stope, resulting in the monthly production capacity of the stope approximately three times that of the existing horizontal slicing backfill mining technology, and a reduction in the direct mining cost of about 13%, significantly improving the mining efficiency and safety of Mianhuakeng mine.

Key words: uranium mine; Mianhuakeng mine; pillarless sublevel stoping; numerical simulation; deep-hole blasting; deep-hole segmentation; stope structure parameter