大冶铁矿两中段接续开采关键工序设备调度和采场布置优化*

王其虎[1],徐天超[1],张增贵[2],张国权[2],张勇[2],丰庆[2]

(1.武汉科技大学 资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081;
2.武钢资源集团大冶铁矿有限公司, 湖北 黄石市 435006)

摘要:大冶铁矿正处于-270 m中段与-360 m中段接续开采阶段,-270 m中段剩余矿量已不足,-360 m中段投产初期将面临采场生产能力不足的问题。根据上向水平分层充填法和分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法的工序特点,基于大冶铁矿-360 m中段各采场分布、回采工序、回采设备现状,建立了回采设备调度优化模型,运用遗传算法模拟出最紧凑的工序排布,基于设备利用率函数求解出最大同时回采的采场数,并提出了单中段、两中段两种开采方案。结果表明,当-270 m中段可同时回采采场数为3、-360 m中段可同时回采采场数为5时,日产能达到最大值4 218 t/d。两中段开采方案的开采效率高,出矿能力稳定,生产能力达到143.7万t。优化后的两种开采方案有助于解决大冶铁矿在两中段接续开采期间产能不足和产量不稳定的问题。

关键词:两中段接续开采;生产能力;设备调度;采场布置;方案优化

中图分类号:TD853.34 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2025)02-0017-08

Optimization of Equipment Scheduling in Key Process and Stope Layout in Two-Section Continuous Mining of Daye Iron Mine

WANG Qihu[1], *XU Tianchao*[1], *ZHANG Zenggui*[2], *ZHANG Guoquan*[2], *ZHANG Yong*[2], *FENG Qing*[2]

(1.Faculty of Resources and Environmental Engineering,
Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430081, China;
2.WISCO Resources Group Daye Iron Mine Mining Co., Ltd., Huangshi, Hubei 435006, China)

Abstract: Daye Iron Ore is in the continuous mining stage of -270 m to -360 m middle section, the remaining ore volume in the -270 m middle section is insufficient, and the stope production capacity will be insufficient in the early stage of -360 m middle section. According to the process characteristics of the upward horizontal layered cut and filling method and sublevel drilling and stage open stoping with subsequent filling, based on the distribution of each stope, the mining process and the current situation of the mining equipment in the -360 m middle section of Daye Iron Mine, the optimization model of stope mining equipment scheduling was established. The genetic algorithm was used to simulate the most compact process arrangement, and the maximum number of simultaneous stopes was solved based on the equipment utilization function. Two schemes of single-section mining and two-section mining were proposed. The results show that when the number of stopes that can be mined simultaneously in the section of -270 m is 3, and the number of stopes that can be mined simultaneously in the section of -360 m is 5, the maximum daily production capacity reaches 4 218 t/d. The scheme of the two-section mining is more efficient, with a more stable ore production and the annual production capacity of 1.437 million tons. The two optimized mining schemes are helpful to solve the problems of insufficient production capacity and unstable production during the two-section continuous mining of Daye Iron Mine.

Key words: Two-section continuous mining, Production capacity, Equipment scheduling, Stope layout, Scheme optimization

* **收稿日期**:2024-03-26
基金项目:国家矿山安全监察局矿山安全生产科研攻关项目(2022206)
作者简介:王其虎(1987—),男,湖北钟祥人,博士,副教授,主要从事矿山安全等方面的研究。E-mail:wangqihu@wust.edu.cn

0 引言

大冶铁矿由－270 m 中段向－360 m 中段延深过程中,面临两个中段同时回采的局面。由于采场布置不合理、开采设备有限、不同采矿方法的开采效率和工序存在差异,多采场同时作业时存在大量时间间隔,没有实现产能最大化[1-3]。

国内外学者在地下矿山深部多中段开采问题研究中,主要从矿山资源分布和采场稳定性角度出发,采用线性规划和数值模拟的方法进行多中段开采规划[4-10]。罗周全等[11]采用泰勒公式确定矿山合理的产能范围,优化矿山生产规模。NHLEKO 等[12]采用粒子群算法和遗传算法优化了地下采场三维布置。徐荃等[13]采用线性规划的方法建立相关数学模型,并对矿山回采方案进行优化。胡建钊[14]依据不同的开采条件,选取不同采矿方法优化采场开采顺序。赵杨等[15]采用数值模拟方法,针对两中段开采稳定性问题对回采顺序进行优选。

总体来看,已有的矿山采场布置优化研究主要从采场资源分布和采场稳定性角度优化采场布局和采场回采顺序,忽略了设备利用效率对采场布置的影响,没有最大化发挥设备的产能。为此本文建立了矿山回采调度优化模型,分析了同时回采不同采场数条件下的关键设备利用率,进而优化两中段采场开采布置,以达到提高矿山产能的目的。

1 矿山开采现状

大冶铁矿正在进行－270 m 中段转至－360 m 中段的接续开采工程,该矿山分东、西两个采区,其中－270 m 中段至－360 m 中段东西区矿体分布如图 1 所示。计划年产能为 130 万 t,由于－270 m 中段剩余矿量已经不足,且－360 m 中段采切工程滞后,投产初期将面临采场生产能力不足、矿山产量不平稳等问题,难以完成计划产能。因此矿山需要合理安排中段采场数,充分利用回采设备,提高开采能力。

目前－270 m 中段剩余 7 个采场,整体矿体厚度较薄,－360 m 中段初期计划开采 7 个采场。垂直向分为－270 m 和－360 m 两个中段,水平方向分为东、西两个区域。由东到西对矿块进行编号,采场垂直矿体走向布置,各采场编号和矿量如图 1 所示。

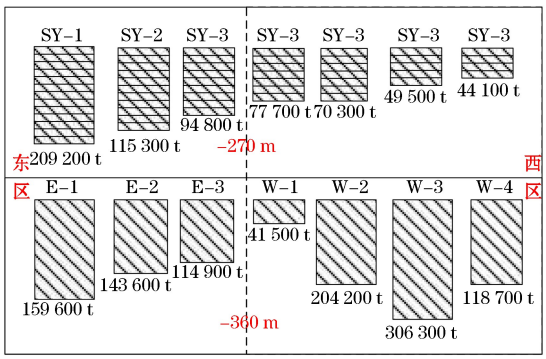


图 1 两中段采场划分

Fig.1 Division of the two-section stopes

2 工序流程分析

大冶铁矿采用的采矿方法主要为上向水平分层充填法和分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法。从工艺流程来看,这两种采矿方法的工序包括凿岩、装药、爆破、通风、搬运出矿、充填等,是一种动态循环工作制,如图 2 所示。区别在于上向水平分层充填法是自下而上分层回采,分层充填处理采空区,而分段空场嗣后充填法则先进行开采,最后对采空区进行充填。

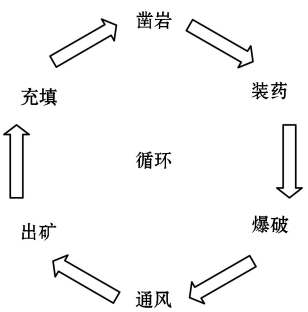


图 2 采矿方法的工序循环

Fig.2 The process cycle of mining method

在回采工艺中,凿岩和出矿工序占用的时间较多,装药和通风工序占据时间较小。同时回采多个采场时,若单一台凿岩台车服务多个采场,则会出现采场等待设备的情况,即凿岩台车由于服务于其他采场,无法及时进行当前采场下一步凿岩工作,导致当前采场出矿结束后不能马上衔接凿岩,需等待凿岩台车完成其他采场凿岩工作,才能进行下一步的凿岩工作,这种情况会降低回采效率。实际循环回采时间为凿岩、装药爆破、通风、出矿以及间隔时间的总和,如图 3 所示。

如果设备使用间隔时间过短,将增大设备调度压力,存在安全风险。如果间隔时间过长,可能导致生产过程中断,影响回采的连续性,从而降低整体回

采效率。在矿山实际生产中,需要根据设备特点、生产需求等因素,合理调度设备,在保证安全的前提下,提高整体生产效率。

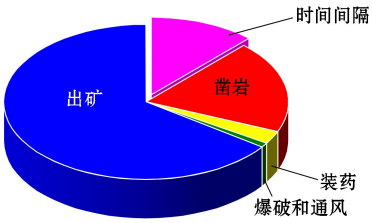


图 3 实际回采工序时间分布

Fig.3 Time distribution of actual mining process

3 大冶铁矿设备调度优化模型的建立

3.1 基本参数

矿山回采工艺主要包括凿岩、装药、爆破、通风和出矿 5 个环节,其对应的开采装备分别是凿岩台车、装药车、通风扇和铲运机。大冶铁矿关键回采设备台效及数量见表 1。

表 1 设备台效及数量

Table 1 The efficiency and quantity of equipments

设备	台效	数量/台
凿岩台车	19 m/h	2
装药车	60 kg/min	2
通风扇	1 h/次	2
铲运机	15 万 t/a	8

上向水平分层充填法的分层高度为 4 m,每分层开采完毕后立即进行充填。分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法的采场垂直矿体走向布置,采场长度为矿体厚度,采场开采完毕后进行充填。以一次爆破矿石量为一个回采单元,根据回采单元尺寸及设备台效得出每个循环工序的具体时间见表 2。

表 2 各流程采矿参数

Table 2 Mining parameters of each process

采矿方法	单次循环时间/h				回采单元尺寸/m	单次循环出矿量/t
	凿岩	装药	通风	出矿		
上向水平分层充填法	12	1	1	24	14×3.6×4	814
分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法	21	3	1	84	15×3.6×15	3 191

3.2 调度优化模型的建立

金属矿地下开采的回采工艺环节和开采装备作业特点符合车间作业调度问题,可以运用遗传算法对最优解进行搜索,得到地下矿山生产接续和设备调度最佳方案。

3.2.1 最小完工时间

利用现有的回采设备,在满足回采工序流程的情况下,使得整体工序排布最紧凑,从而得到最小完工时间,主目标函数为:

$$f=\min(C_{\max}) \tag{1}$$

式中,C 表示单个采场回采总时间。

3.2.2 工序衔接约束

回采过程中各工序之间需满足先后次序关系,前一个工序结束后才能进行下一道工序:

$$ET_{jp}\leqslant ST_{j(p+1)} \tag{2}$$

式中:j 表示采场序号;p 表示工序序号;ET 表示工序结束时间;ST 表示工序开始时间。

3.2.3 工序时间约束

各个工序的起始时间、结束时间以及前后工序之间的时间间隔需满足调度安排。工序结束时间等于开始时间与施工时间之和:

$$ET_{jp}=ST_{jp}+T_{ijp} \tag{3}$$

式中:i 表示机器序号;T_{ijp} 表示第 i 台设备在第 j 个采场第 p 道工序的施工时间。

工序开始时间等于上一道工序结束时间与间隔时间之和:

$$ST_{j(p+1)}=ET_{jp}+NT_{jp} \tag{4}$$

式中,NT_{jp} 为第 j 个采场第 p 道工序与上一道工序的间隔时间。

4 设备利用效率分析

本文结合大冶铁矿实际设备数量以及回采工序参数,采用遗传算法求解上向水平分层充填法和分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法在 1 台凿岩台车的条件下同时回采 1~7 个采场的回采工序排布,并求解了关键设备的利用率。

4.1 设备使用时间间隔

上向水平分层充填法回采工序排布如图 4 所示。从图 4 可以看出,同时回采 1~3 个采场时,整体回采工序衔接平稳,无明显时间间隔。同时回采

4～5 个采场时,出现明显的设备使用时间间隔,同时回采采场数大于 5 时,设备使用时间间隔进一步增大,回采时间大幅度增加。若继续增加同时回采采场的数量,会进一步增大出矿工序之间的时间间隔,难以提高回采效率。

分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法工序排布分布如图 5 所示。同时回采场数为 1～4 时,无明显时间间隔。同时回采场数为 5～6 时,出现明显的设备使用时间间隔,同时回采采场数大于 6 时,设备使用时间间隔进一步增大,回采时间大幅度增加。

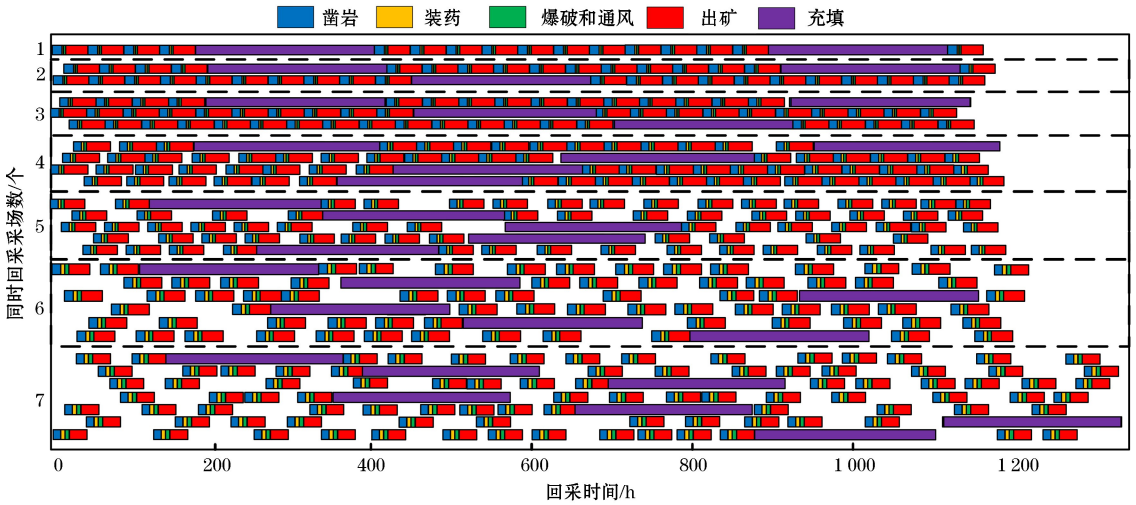


图 4 上向水平分层充填法工序排布

Fig.4 Process arrangement of upward horizontal layered cut and filling method

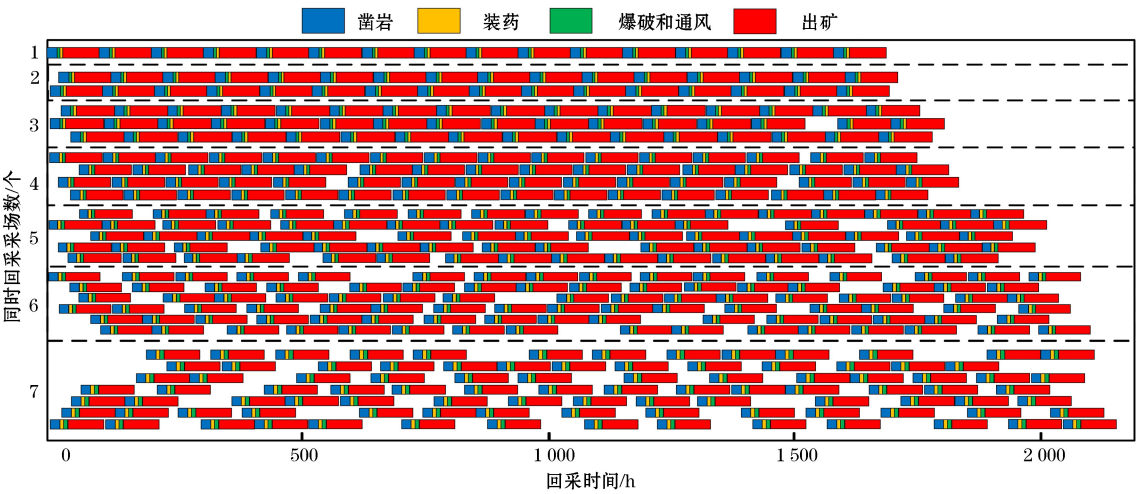


图 5 分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法工序排布

Fig.5 Process arrangement of sublevel drilling and stage open stoping with subsequent filling

同时回采多个采场可以提高地下矿山的生产效率,多个采场并行作业,可以充分利用矿山的生产能力,缩短矿山开采周期,提高矿石产量。但同时设备的调度压力和使用间隔会增加,增加的时间间隔会削弱多个采场同时回采带来的回采效率提升,当某道工序达到设备调度极限时,将难以提升回采效率。

4.2 关键设备利用率

地下矿开采计划优化的目的是提高设备的利用效率,增大产能。设定多采场回采的设备利用率 K 为:

$$K=\frac{\sum_{m=1}^{n}at}{bT} \tag{5}$$

式中:t 为单次回采循环使用时间;m 为循环开采次数,$m=1,2,3,\cdots,n$;a 为同时回采采场数,$a=1,2,3,\cdots,n$;b 为平行作业的设备数,$b=1,2,3,\cdots,n$;T 为总回采时间。

利用式(5)可以计算同时回采不同采场数时各设备的利用率。从图 6 可以看出,随着同时回采采场数增多,凿岩设备利用率呈现增加趋势。采用上向水平

分层充填法时，若同时回采 6 个采场，凿岩设备利用率达到 0.850。采用分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法时，若同时回采 5 个采场，凿岩设备利用率达到 0.824，继续增加回采采场数会造成设备调度压力过大，从而易产生安全风险。因此，推荐采用上向进路充填法时，最大可同时回采 6 个采场，采用分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法时，最大可同时回采 5 个采场。

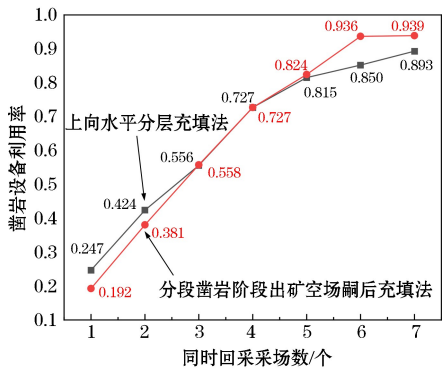


图 6　凿岩设备利用率

Fig.6　Utilization rate of rock drilling equipment

从图 7 可以看出，随着同时回采采场数增多，出矿设备的利用系数呈现降低趋势。凿岩调度压力增大，不能及时进行凿岩工作，进而导致出矿设备等待时间间隔过长。从整体利用率可看出，在同时回采采场数相同的条件下，采用分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法时的出矿设备利用率要高于采用上向水平分层充填法时出矿设备利用率，说明多采用分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法进行开采有利于提高矿井产能。

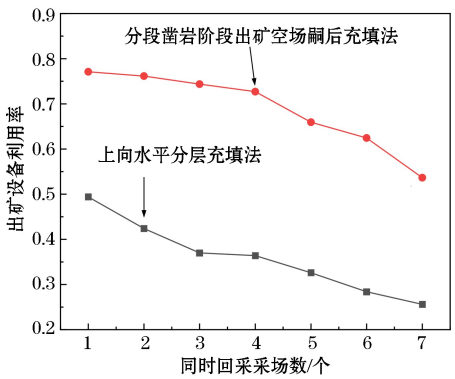


图 7　出矿设备利用率

Fig.7　Utilization rate of ore extraction equipment

综上所述，尽可能布置多个采场有利于提高回采效率。采用上向水平分层充填法，同时回采采场数不宜超过 6 个；采用分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法，同时回采采场数不宜超过 5 个；推荐－360 m 中段采用分段空场嗣后充填法开采。

5　采场布置优化

5.1　开采方案及关键设备分配

－270 m 中段整体上矿体厚度较薄，计划采用上向水平分层充填法。为了提高开采效率，计划－360 m 中段采用分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法。在两中段衔接过程中，存在两种开采方案。两种开采方案初期对应设备参数见表 3。

(1) 方案一：单中段开采。首先集中设备快速完成－270 m 中段剩余采场开采，待－270 m 中段开采完成后，转入－360 m 中段开采阶段。该方案的核心是多布置单中段采场数，集中设备实现单中段快速回采。

(2) 方案二：两中段同时开采。－360 m 中段采用分段空场嗣后充填法。初期分配大部分设备在－270 m 中段，随着－360 m 中段采切的进行，将－270 m 中段的设备逐渐调度到－360 m 中段，该方案的核心是根据分段开采特点合理分配设备，实现两中段设备利用效率最大化。

表 3　不同开采方案初期关键设备分配

Table 3　Allocation of key equipment at the initial stage for different mining schemes

开采方案	设备种类	设备台数/台	单个设备作业时间/h
单中段开采	4	2,2,2,8	12,1,1,24
两中段开采	4	1,1,1,6	12,1,1,24
		1,1,1,2	21,3,1,84

5.2　单中段开采模拟分析

－270 m 单中段开采日产量随时间变化趋势如图 8 所示。由图 8 可以看出，初始阶段可同时回采的采场数为 7，随着开采时间的增长，可同时回采的采场数减少，日产能下降趋势较大，整体－270 m 剩余矿量约在第 17 个月开采完毕。

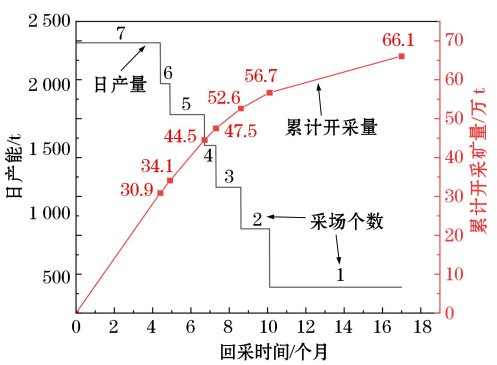


图 8　－270 m 单中段日产能和累计矿量的变化

Fig.8　The changes of daily production capacity and cumulative ore volume in the －270 m level under single level mining

综上所述,若采用单中段开采方案,－270 m 中段至少需要 17 个月才能开采完毕,难以实现快速开采,且随着可同时回采采场数的减少,日产能下降的趋势较大,不能保证接续开采过渡期内的产能达到均衡稳定。

5.3 两中段开采模拟分析

若采用两中段开采方案,需要根据各个中段同时回采的采场数来分配设备,实现两中段的总体设备利用效率最大化。

5.3.1 两中段同时回采采场的合理布置

设定－270 m 中段布置同时回采的采场数为 A,－360 m 中段布置同时回采的采场数为 B,由于铲运机数为 8 台,因此两中段同时回采的最大采场数为 8 个,即($A+B\leqslant 8$)。那么在两中段开采过程中,随着－270 m 中段同时回采采场数的减少,及－360 m 中段采场采切的进行,将－270 m 中段铲运机调配至－360 m 中段,这个过程中会出现多种采场布置。

不同采场布置条件下的日产能统计如图 9 所示,其中数字代表同时回采的采场数。当两中段采场数布置分别为 3 和 5 时,两中段叠加开采效率较高,其中日产能最大值达到 4 218 t/d。

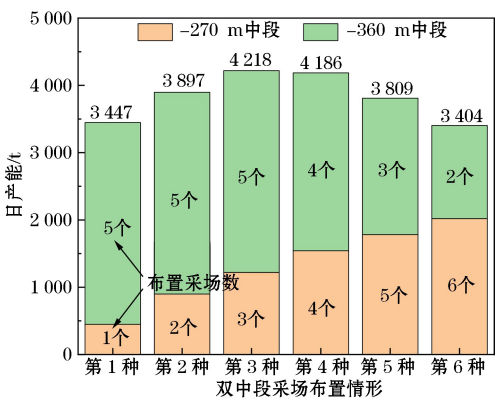


图 9 不同采场数布置条件下日产能统计

Fig.9 Statistics of daily production capacity under different arrangement numbers of stopes

受开拓进度滞后的影响,－360 m 中段初期仅可布置 2 个采场(E-1、W-1)进行出矿,－270 m 中段可布置 7 个采场,为了实现高效开采,需要加快－360 m 中段的采场采切进度。

大冶铁矿采用分段凿岩阶段出矿空场嗣后充填法时,平均采切比为 35 m^3/kt,共有 8 个采切工作队,每个采切工作队每月的采切能力为 800 m^3,为了平衡－360 m 中段东、西区采切进度,在东、西区各分配 4 个采切工作队。根据－360 m 中段各采场待采矿量求解出各个采场采切时间:

$$T_c=\frac{G\cdot q}{1\ 000vN} \tag{6}$$

式中:T_c为采场采切工作时间,月;G 为采场待采矿量,t;q 为采切比,m^3/kt;v 为采切工作队的采切能力,m^3/月;N 为采切工作队数。

根据式(6)解算出－360 m 中段各个采场的采切时间分别为 0,1.6,1.3,0,2.2,3.4,1.3 个月。

当－360 m 中段有采场采切完毕的,则从－270 m 中段调配 1 台铲运机至－360 m 中段,根据此原则布置两中段采场开采数。

5.3.2 结果分析

两中段开采日产量随时间的变化如图 10 所示。由图 10 给出的模拟结果可知,最快可在 3.8 个月时在两个中段各布置 4 个采场同时开采 ,在 6.4 个月时可在两个中段各布置 5 个采场同时开采,且两中段总体能保持较长时间的高效率开采。

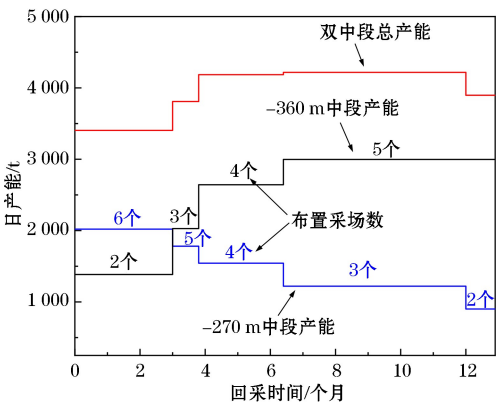


图 10 两中段开采日产能随时间的变化

Fig.10 The variations of daily production capacity with time under two-level mining

两中段的累计开采矿量随时间的变化如图 11 所示。由图 11 可知,总体矿量增长平稳,第 6 个月至第 12 个月回采速度最快,到第 12 个月累计开采矿量约 143.7 万 t,超出目标年产能(130 万 t)10.5%。

综上所述,两中段开采方案的开采效率更高,出矿更稳定,且当－270 m 中段同时回采采场数为 3、－360 m 中段同时回采采场数为 5 时,日产能达到最大值 4 218 t。结合－360 m 中段采切进度提出了两中段开采采场顺序优化方案,优化后的年开采矿量约为 143.7 万 t,超出目标年产能(130 万 t)

10.5%,有助于解决大冶铁矿－360 m 中段采切工程滞后,投产初期面临的采场生产能力不足的问题。

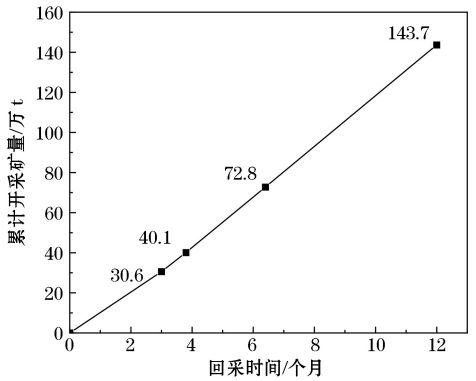


图 11　两中段的累计开采矿量随时间变化

Fig.11　The variations of cumulative mining volume with time under two-level mining

6　结论

(1) 建立了大冶铁矿设备调度优化模型,模拟了同时回采不同采场数条件下的设备利用率。结果表明,当－270 m 中段可同时回采采场数为 3、－360 m 中段可同时回采采场数为 5 时,两中段的设备总体利用率最高,日产能达到最大值 4 218 t/d。

(2) 两中段开采方案的开采效率高,出矿稳定,优化采场布置后的年开采矿量约为 143.7 万 t,超出目标年产能(130 万 t)10.5%。

(3) 两中段开采时,井下通风、运输、地压管理、人员管理等变得复杂,安全风险相对较大。合理的两中段接续开采规划,不仅要充分考虑回采效率,还须兼顾现实生产中面临的诸多安全问题。

参考文献(References):

[1] 林昭云,刘仕强,李贤功.露天矿生产和运输设备管理研究进展[J].矿业研究与开发,2022,42(12):192-199.
LIN Zhaoyun, LIU Shiqiang, LI Xiangong. Research progress on production and transportation equipment management of open-pit mines[J]. Mining Research and Development,2022,42(12):192-199.

[2] 侯杰,李国清,修国林,等.金属地下矿山深部转产过程中的产能接续优化[J].工程科学学报,2023,45(5):693-700.
HOU Jie, LI Guoqing, XIU Guolin, et al. Capacity continuity optimization in the process of deep conversion of metal underground mine [J]. Chinese Journal of Engineering,2023,45(5):693-700.

[3] 谭丽龙,于德宁,陈成,等.阶段空场嗣后充填采矿法生产能力分析与研究[J].采矿技术,2023,23(5):211-214.
TAN Lilong, YU Dening, CHEN Cheng, et al. Analysis and study on the production capacity of the post-fill mining method of the stage empty field[J]. Mining Technology, 2023,23(5):211-214.

[4] HOU Jie, XU Chaoshui. Integrated optimisation of stope boundary and access layout for underground mining operations[J]. Mining Technology,2019,128(4):193-205.

[5] LI N, FENG S Z, YE H W, et al. Dispatch optimization model for haulage equipment between stopes based on mine short-term resource planning [J]. Metals, 2021, 11 (11):1848.

[6] TOLOUEI Kamyar, MOOSAVI Ehsan, BANGIAN TABRIZI Amir Hossein, et al. Improving performance of open-pit mine production scheduling problem under grade uncertainty by hybrid algorithms[J]. Journal of Central South University,2020,27(9):2479-2493.

[7] 李国清,侯杰,胡乃联.地下矿山生产接续与设备调度集成优化模型[J].工程科学学报,2018,40(9):1050-1057.
LI Guoqing, HOU Jie, HU Nailian. Integrated optimization model of production connection and equipment scheduling in underground mine[J]. Chinese Journal of Engineering, 2018,40(9):1050-1057.

[8] 叶海旺,欧阳枧,李宁,等.矿山短期生产计划优化的多目标遗传粒子群算法[J].金属矿山,2018(11):25-30.
YE Haiwang, OUYANG Jian, LI Ning, et al. Multi-objective genetic particle swarm optimization for short-term production planning in mines[J]. Metal Mine,2018(11): 25-30.

[9] 陈俊杰,同淑荣,叶正梗,等.资源受限多项目调度问题的两阶段算法[J].控制与决策,2020,35(8):2013-2020.
CHEN Junjie, TONG Shurong, YE Zhenggeng, et al. Two-stage algorithm for resource-constrained multi-project scheduling problem[J]. Control and Decision,2020,35(8): 2013-2020.

[10] 张瑞明,魏丁一,杜翠凤,等.阶段空场嗣后充填采矿法采场跨度及回采顺序优化研究[J].矿业研究与开发,2022,42 (3):10-14.
ZHANG Ruiming, WEI Dingyi, DU Cuifeng, et al. Study on stope span and mining sequence optimization of phased empty field followed by fill mining method[J]. Mining Research and Development,2022,42(3):10-14.

[11] 罗周全,管佳林,王益伟,等.地下金属矿山生产规模优化确定方法[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(7): 2875-2880.
LUO Zhouquan, GUAN Jialin, WANG Yiwei, et al. Optimization and determination method of production scale of underground metal mines[J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2013, 44 (7): 2875-2880.

[12] NHLEKO Adeodatus S, MUSINGWINi Cuthbert. Optimisation of three-dimensional stope layouts using a dual interchange algorithm for improved value creation[J]. Minerals,2022,12(5):501.

[13] 徐荃,吴志波,陈小伟,等.基于修正 Mathews 图表法与 FLAC3D 对某金矿回采方案的优化研究[J].中国矿山工程,2021,50(1):29-35.
XU Quan, WU Zhibo, CHEN Xiaowei, et al. Ore recovery optimization study based on FLAC3D software and modified Mathews stability graph method in a gold mine[J]. China Mining Engineering,2021,50(1):29-35.

[14] 胡建钊.某铅锌矿采矿方法的优化与应用[J].矿业研究与开发,2023,43(3):8-12.
HU Jianzhao. Optimization and application of mining method in a lead-zinc mine[J]. Mining Research and Development,2023,43(3):8-12.

[15] 赵杨,李向东,朱远乐,等.基于 FLAC3D 金川二矿区双中段充填法开采回采顺序研究[J].华中师范大学学报(自然科学版),2022,56(2):270-279.
ZHAO Yang, LI Xiangdong, ZHU Yuanle, et al. Mining sequence research of backfill mining in double middle sections of Jinchuan No.2 mining area[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences),2022,56(2):270-279.