某铜镍矿下向进路充填法工艺优化与产能过渡研究*

冯福康[1,2],朱浪[3],黄发凯[3],刘东锐[1,2],宫元章[3]

(1.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;
2.国家金属采矿工程技术研究中心, 湖南 长沙 410012;
3.新疆亚克斯资源开发股份有限公司, 新疆 哈密市 839000)

摘要:针对某铜镍矿因地质条件变化导致的深部充填法采矿工艺受限、生产能力下降等问题,开展了下向进路充填采矿法工艺优化、生产能力校核以及产能过渡方案研究。结合矿山开采技术条件及采矿方法现状,以实现下向进路充填法连续高效生产为优化研究目标,提出了沿走向布置下向进路、垂直走向布置下向进路和斜交方向布置下向进路3种采矿方法,通过对各方案优缺点及技术经济指标进行综合对比分析,确定沿走向布置下向进路充填法为最佳方案。研究提出了盘区连续出矿条件下的产能计算方法,结合矿山中段矿体赋存特征划分为三类盘区分别进行生产能力计算,在此基础上完成分段生产能力校核计算,制定了新老采矿工艺的产能过渡方案,明确了过渡期的工作部署。研究结果表明,优化后的充填采矿法技术上可行,且安全高效,产能过渡方案可操作性强,可为该矿山的采矿生产与产能过渡提供技术支持。

关键词:深部开采;下向进路充填采矿法;生产能力;产能过渡方案

中图分类号:TD853.343 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2026)02-0048-12

Study on Process Optimization and Capacity Transition of Downward Drift Filling Method in a Copper-Nickel Mine

FENG Fukang[1,2], *ZHU Lang*[3], *HUANG Fakai*[3], *LIU Dongrui*[1,2], *GONG Yuanzhang*[3]

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
2.National Engineering Research Center for Metal Mining, Changsha, Hunan 410012, China;
3.Xinjiang Yakesi Resource Development Co., Ltd., Hami, Xinjiang 839000, China)

Abstract: Aiming at the problems of limited mining process and reduced production capacity of deep filling mining method caused by the change of geological conditions in a copper-nickel mine, the process optimization, production capacity check and capacity transition scheme of downward drift filling mining method were studied. Combined with the technical conditions of mining and the current situation of mining methods, in order to realize the continuous and efficient production of downward drift filling method as the optimization research goal, three mining methods were proposed, including downward drift stoping and filling along the strike, downward drift stoping and filling perpendicular to the strike and downward drift stoping and filling obliquely to the strike. Through the comprehensive comparative analysis of the advantages and disadvantages of each scheme and the technical and economic indicators, it is determined that the scheme of downward drift stoping and filling along the strike is the best scheme. The research proposed a capacity calculation method under the condition of continuous mining in the panel. Combined with the occurrence characteristics of the ore body in the middle section of the mine, the panel was divided into three categories, and the production capacity was calculated respectively. On this basis, the calculation of the production capacity of the section was completed, and the capacity transition scheme of the new and old mining processes was formulated. The work deployment of the transition period was clarified. The results show that the optimized filling mining method is technically feasible, safe and efficient, and the capacity transition scheme is operable, which can provide technical support for the mining production and productivity transition of the mine.

Key words: Deep mining, Downward drift filling mining method, Production capacity, Capacity transition scheme

0 引言

铜镍矿作为重要的有色金属矿产资源,其高效、安全开采对于保障国家资源供给和相关产业发展至关重要[1]。充填采矿法凭借能有效控制地压、减少矿石损失贫化、保护地表环境等显著优势,在国内外

* **收稿日期**:2025-01-22
基金项目:"十四五"国家重点研发计划项目(2022YFC2905102)
作者简介:冯福康(1984—),男,山西临猗人,硕士,高级工程师,主要从事采矿工艺、岩石力学等方面的研究工作。E-mail:346426717@qq.com

矿山地下开采中得到了广泛应用。然而部分矿山的充填法回采工艺暴露出一些问题,如采切工程布置不合理、生产效率偏低、充填成本过高等[2],严重制约了矿山的生产能力。此外,在开采工艺调整或矿山扩能等过程中,若不能及时实现产能的平稳过渡与有效衔接,会导致生产中断、设备闲置、人员调配失衡等问题[3],从而增加企业的经营成本,影响企业的可持续健康发展。

下向进路充填法主要适用于矿石和围岩均不稳固至极不稳固,矿石价值高、品位较高的有色、稀有和贵金属矿床的开采,以及其他采矿方法难以适用的情形[4]。目前在我国的金川铜镍矿区、前河金矿、焦家金矿、武山铜矿、莱芜铁矿等地下矿山均有应用[5-8],其中金川铜镍矿二矿区是我国目前生产规模最大,机械化程度、采场生产能力和劳动生产率最高的矿山[9]。

在具体工艺方面,周述峰等[10]针对嵩县山金矿业公司矿体与破碎带交错分布的开采难题,采用下盘脉外盘区斜坡道-分段运输平巷采准方式,同时每一分段3条分层联络道交错布置,得到了盘区生产能力180 t/d、采矿损失率4.9%、矿石贫化率4.6%的良好技术经济指标。周礼[11]通过对上下分层进路交错布置的下向水平分层进路充填采矿法进行试验研究,取得了采场生产能力180 t/d,采矿损失率8%,矿石贫化率6%的技术经济指标。邢超等[12]针对嵩县山金矿业深部矿岩破坏机理及地压显现问题,采用Rhino+Griddle+FLAC3D快速建模技术,对矿区下向进路开采时的矿岩应力及位移变化规律进行模拟研究。张燕军等[13]通过建立“长锚杆+经纬状钢筋网+上覆充填假顶”力学模型,提出了以“无需留设间柱并确保充填假顶稳定性”为核心的回采工艺,实现了矿体的安全高效开采。张宝等[14]基于盘区卸荷开采理论设计了下向大尺寸进路充填采矿法盘区卸荷回采方案,取得了试验盘区生产能力1 200 t/d,贫化率5.0%,损失率4.5%的良好技术经济指标。综上所述,国内外学者在该领域的研究主要集中在下向进路充填法的采准布置方式、上下分层采场布置、进路采场稳定性、假顶稳定性等方面,对高产能目标的下向进路充填法工艺优化、生产能力校核以及新老工艺的产能过渡方案研究相对较少。

本文针对某铜镍矿因地质条件变化导致的深部充填法采矿工艺受限、生产能力下降等问题,提出了3种下向进路充填采矿法工艺优化方案,通过对方案优缺点、技术经济指标进行综合对比分析,确定了符合矿山生产需求的最佳方案,同时划分3类盘区分别计算盘区生产能力,对采区合理生产能力进行校核。研究提出的稳产过渡衔接方案,不仅为该矿山的采矿生产与产能过渡提供了有力技术支撑,也为类似矿山提供了极具价值的技术参考与借鉴案例。

1 工程背景

某铜镍矿采用地下开采方式,开拓系统由主井、副井、辅助提升井(原1#风井)和2#风井组成,现设有530 m、450 m、350 m、250 m、150 m等5个开采中段,设计生产规模为198万t/a。根据生产范围,矿山将开采区域划分为上采区和下采区:

(1)上采区,350 m以上,采用崩落法采矿工艺,生产规模为132万t/a;

(2)下采区,290~150 m,设计采用充填采矿法开采,生产规模为66万t/a;

(3)隔离矿柱,290 m至350 m之间的矿体作为上下采区的水平隔离矿柱,后期在上采区推进至350 m时采用崩落法工艺回采。为确保安全,上下采区之间至少保留40 m厚的隔离层。

矿山开采现状如图1所示。

2 开采技术条件及采矿方法现状

2.1 开采技术条件

某铜镍矿床主要赋存于Ⅰ号基性—超基性岩体底部,以硫化镍工业矿石为主,矿体呈似层状、盆状、透镜状。平面上矿体主要赋存于113~126线之间,矿体走向长80~600 m,宽度35~426 m,延伸130~854 m,最大延伸达1 214 m。主要矿体向北陡倾斜产出,倾向北北西至北北东,倾角50°~85°,个别地段较缓,整体属于急倾斜厚大矿体。矿体上盘围岩为斜长角闪橄榄岩、辉长苏长岩,下盘为角闪辉长岩、辉长苏长岩,局部为斜长角闪橄榄岩。矿区岩体质量属于中等到良好,岩体分类属Ⅱ至Ⅲ类;岩体结构类型大部为块状结构,局部为层状结构。

2.2 采矿方案

根据地质条件和开采技术条件,设计采用进路充填采矿法、上向水平分层充填采矿法、分段空场嗣后充填采矿法等3类采矿方法。进路充填采矿法具体分为上向进路充填采矿法和下向进路充填采矿法,分段空场嗣后充填采矿法具体分为上向分段空场嗣后充填采矿法和下向分段空场嗣后充填采矿法。

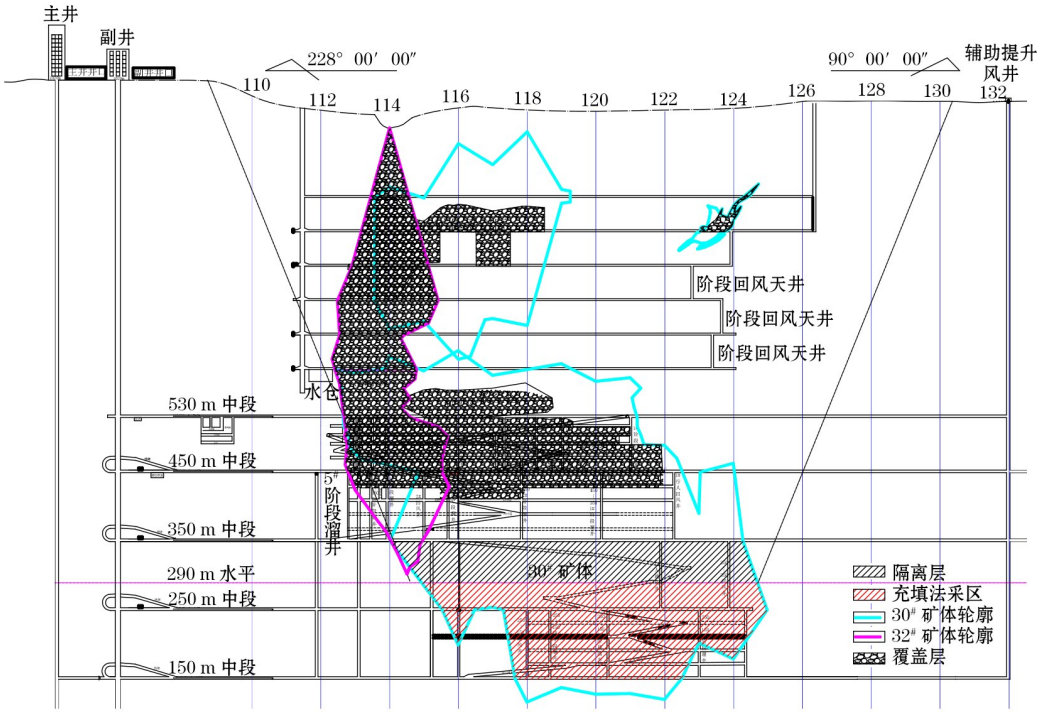


图 1 矿山开采现状纵投影图

Fig.1 Vertical projection diagram of current mining situation

(1) 当矿体极不稳固时采用下向进路充填采矿法,当矿体不稳固时采用上向进路充填采矿法。每 4 条回采进路为一个矿块,进路间距 4 m,矿块宽 16 m,进路长 30～50 m。采场沿走向或垂直矿体走向布置,自下而上或自上而下逐层进路回采和充填。

(2) 对于矿体相对稳固,而围岩不稳固的区域采用上向水平分层充填采矿法。每 4 个采场为一个矿块,矿块宽 24 m、长 30～50 m。采场垂直矿体走向布置,采场宽度为 6 m。

(3) 对于矿体和围岩均属于中等稳固以上的区域,采用分段空场嗣后充填采矿法开采;当矿体中等稳固时,采用下向分段空场嗣后充填采矿法;当矿体稳固时,采用上向分段空场嗣后充填采矿法。每 4 个采场为一个矿块,采场宽 8 m,矿块宽 32 m,采场长 30～50 m,分段高 20 m。

2.3 下向进路充填采矿法的确定

170 m、190 m、250 m 水平的穿脉巷揭露显示,深部采区多数岩体质量较差,节理裂隙发育,岩体质量等级属Ⅲ至Ⅳ类,尤其主矿体下盘及矿脉之间的矿岩接触带位置,岩体节理裂隙十分发育,为层状、碎裂状结构,矿岩极不稳固。针对此类情形,矿山设计采用锚喷网支护,局部采用工字钢进行钢拱架支护,拱架间距为 0.5 m。现场调查发现,局部频繁出现拱架挤压变形破坏现象。这种现象主要是因裂隙岩体揭露后未及时喷浆封闭,遇空气后潮解产生膨胀所导致的[15]。

针对上述情况,结合初步设计确定采用下向进路充填采矿法回采,凿岩作业采用凿岩台车或 YT-28 气腿式凿岩机,铲装出矿采用 3.0 m^3 柴油或电动铲运机。

3 下向进路充填采矿法工艺优化

3.1 下向进路布置方案

为最大程度地提高下向进路充填法的盘区及采区生产能力,结合矿体开采技术条件,以下向进路充填采矿法高产能连续生产为优化目标,研究提出了 3 种技术可行的回采进路布置方案[16-17]:

方案一,沿走向布置下向进路;

方案二,垂直走向布置下向进路;

方案三,倾斜方向布置下向进路。

3.2 沿走向布置下向进路方案

该方案主要适用于矿体厚大,尤其是厚度在 60 m 以上的情形,其标准方案如图 2 所示。

沿矿体走向划分盘区,长度为 40～50 m,宽度为矿体厚度。盘区之间隔一采一。盘区内沿矿体走向布置回采进路,进路规格为 4.0 m×4.0 m。针对下盘接触带岩体质量差的情形,将盘区矿体划分上盘、下盘两部分。主要工艺描述如下:

(1) 对岩体质量较好的上盘部分,每 5 条相邻进路作为一个回采单元,单元内进路采用隔一采一

方式回采，回采单元之间同时推进，凿岩台车凿岩，锚喷网联合支护[18]，施工效率为 3.0 m/d；

(2) 对岩体质量差的下盘部分，每 3 条相邻进路作为一个回采单元，单元内进路依次逐条回采和充填，回采单元之间同时推进，用 YT-28 气腿式凿岩机凿岩，采用预喷浆与钢拱架联合支护，一掘一支，施工效率为 2.0 m/d；

(3) 下盘进路充填前，先在下盘进路底板及侧帮铺设一层防水篷布，以便在充填料浆周围形成隔水层，防止进路矿体长时间浸水造成裂隙岩体膨胀。

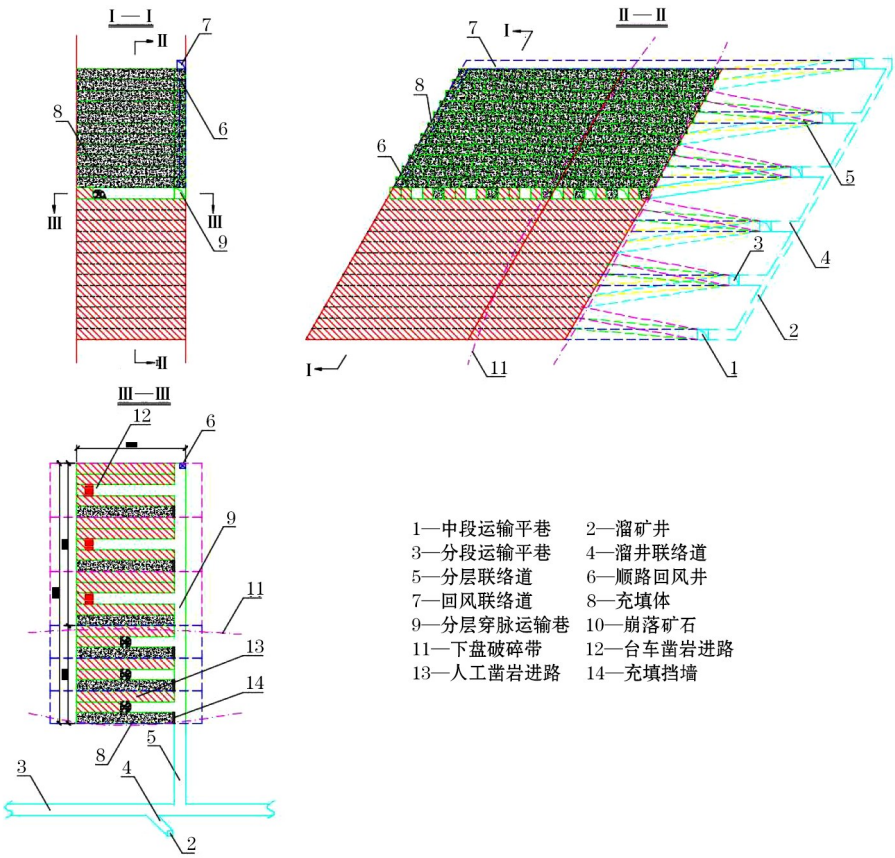


图 2　沿走向布置下向进路的充填采矿方案

Fig.2　Scheme of downward drift stoping and filling along the strike

3.3　垂直走向布置下向进路方案

该方案主要适用于矿体水平厚度为 30～50 m 的情形，但对厚度 60 m 以上情形同样适用，其标准方案如图 3 所示。沿中段矿体走向划分盘区，盘区长度为 60 m，宽度为矿体厚度，盘区之间隔一采一回采或连续回采。盘区内垂直走向布置回采进路，将每 3 条进路作为一个回采单元。为保证回采单元之间的有序接替，一般为半数回采单元同时推进，单元内进路逐条依次回采和充填。

回采过程中，当遇进路岩体质量较好时，采用凿岩台车凿岩作业，施工效率 3.0 m/d；当遇到进路岩体质量差时则采用凿岩台车或 YT-28 气腿凿岩机作业，施工效率 2.0 m/d。对于矿岩质量差的进路部分，回采过程中采用锚喷网联合支护，必要时采用预喷浆与钢拱架联合支护。进路充填铺筋时，预先在进路底板及侧帮铺设一层防水篷布，防止进路矿体长时间浸水造成裂隙岩体膨胀。

3.4　斜交方向布置下向进路方案

该方案适主要用于矿体连续性差、矿脉分散的情形，对大规模厚大矿体同样适用，其标准方案如图 4 所示。盘区布置相对灵活，多以矿体长轴作为盘区长度。盘区之间隔一采一或连续回采。盘区内垂直于长轴方向布置回采进路，每 3 条进路作为一个回采单元。为保证回采单元之间的有序接替，一般为半数回采单元同时推进，单元内进路逐条依次回采和充填。

当进路岩体质量较好时，采用凿岩台车凿岩，施工效率 3.0 m/d；当进路岩体质量差时，采用凿岩台车或 YT-28 气腿式凿岩机凿岩，施工效率 2.0 m/d。回采过程中根据矿岩质量来合理选用锚喷网联合支护或预喷浆与钢拱架联合支护。进路充填铺筋时，预先在进路底板及侧帮铺设一层防水篷布，防止进路矿体长时间浸水造成裂隙岩体膨胀。

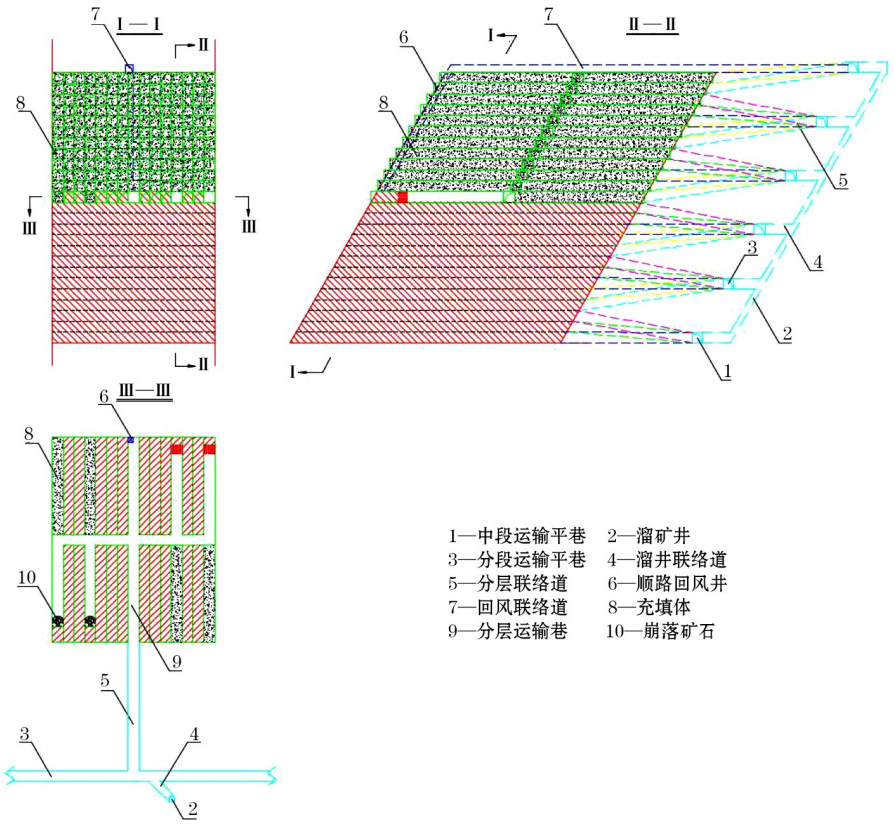


图 3 垂直走向布置下向进路的充填采矿方案

Fig.3 Scheme of downward drift stoping and filling perpendicular to the strike

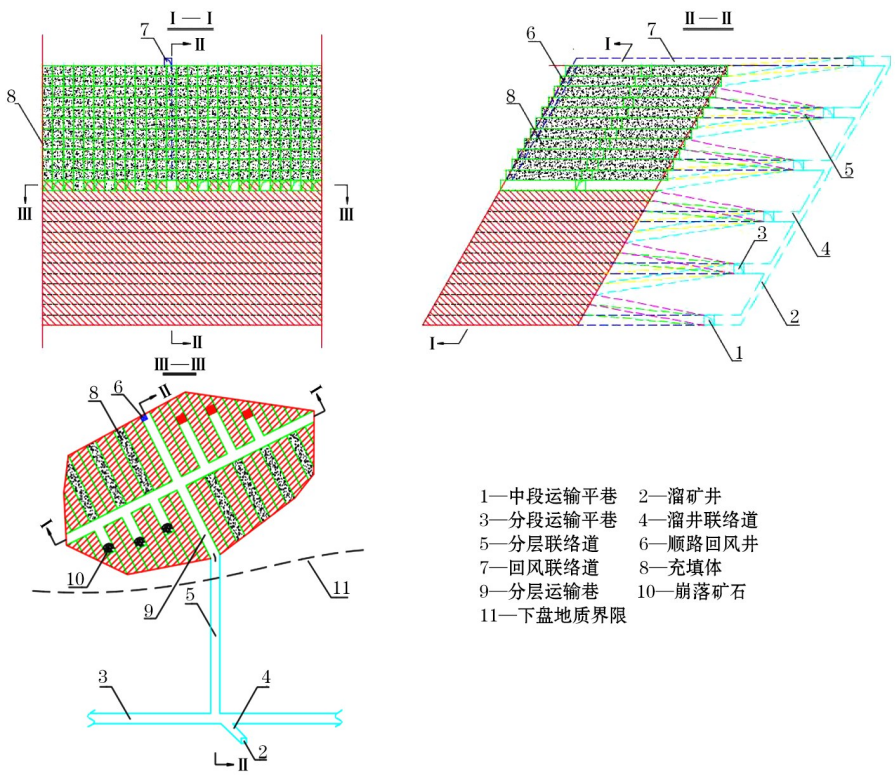


图 4 斜交方向布置下向进路的充填采矿方案

Fig.4 Scheme of downward drift stoping and filling obliquely to the strike

3.5 各采矿方案综合对比分析

(1) 优缺点对比分析。为深入了解各方案的技术优劣,对各方案的回采工艺及技术方面的优缺点进行综合分析与比较,具体见表 1。

表 1 各方案优缺点对比分析

Table 1 Comparative analysis of the advantages and disadvantages of various schemes

方案	优点	缺点
沿走向布置下向进路(方案一)	①运输系统相对独立,转层衔接连续性好; ②进路岩体质量相对均匀,生产连续性好,出矿能力大; ③对矿体适应性好; ④通风条件好,劳动强度低。	①相邻盘区之间贯通点多,安全管理风险大,安全性一般; ②矿岩接触带进路施工管理难度大,贫化损失率较高; ③工艺复杂程度较高。
垂直走向布置下向进路(方案二)	①运输系统相对独立,转层衔接连续性好; ②盘区进路数量相对稳定,人员组织相对稳定; ③矿岩接触带施工管理相对简单,回采贫化损失少; ④对矿体适应性较好; ⑤安全性好。	①进路岩体质量变化大,安全管理难度大,产能波动大; ②同等条件下中段可布矿块数量少,分段生产能力小; ③工艺复杂程度较高; ④通风条件较差,劳动强度高。
斜交方向布置下向进路(方案三)	①盘区备采进路数量多,抗风险能力强,分层生产连续性好; ②矿岩接触带施工管理相对简单,回采贫化损失少; ③盘区进路布置相对集中,生产组织灵活性强; ④矿体适应性好; ⑤工艺复杂程度较低; ⑥安全性好。	①盘区运输系统独立性差,进路出矿作业相互干扰性大,中段生产能力小; ②上下分层之间过渡衔接工程量大,准备时间长,分段生产连续性差; ③通风条件较差,劳动强度高。

(2) 技术经济指标对比分析。各方案的技术经济指标对比见表 2。

表 2 各方案的主要技术经济指标

Table 2 The main technical and economic indicators of various schemes

方案	盘区生产能力/(t/d)	采切比/(m^3/kt)	采矿损失率/%	矿石贫化率/%
方案一	656	171.3	10	10
方案二	486	184.2	6	6
方案三	600	54.3	5	5

从表 1 和表 2 可以看出:方案二虽然具有矿体适应性好、回采贫化损失少、安全状况好,但其采切比大,盘区生产能力较低,不利于矿山及时达产;方案三虽然各项指标均较为优越,但其盘区运输系统独立性差,进路出矿作业相互干扰大,中段生产能力低,同时上下分层之间准备时间过长,分段生产连续性差,不利于矿山稳产达产;方案一虽然采切比偏大,但其他各方面均较为优越,尤其生产能力大、回采连续性好,与矿山当前生产需求较为吻合,因此确定将沿走向布置下向进路的充填采矿法作为最佳方案。

4 生产能力校核

生产能力校核的意义在于确保矿山设计的生产能力与实际开采条件相匹配,以优化资源配置、保障安全生产和实现经济效益最大化。

4.1 基于连续稳定出矿的产能计算

为最大程度地发挥下向进路充填采矿法的产能潜力,在优化方案的基础上提出了盘区连续出矿条件下的产能计算方法,为盘区矿块参数的设置和回采方式、回采顺序的选择提供技术支撑。

(1) 为保证盘区矿块能连续稳定出矿,矿块回采单元交替数量应满足以下条件:

$$N \geqslant \frac{JT}{D}+1 \tag{1}$$

式中:N 为矿块回采单元交替数量,取 2 以上的自然数,即 $N=2,3,4,\cdots$;J 为进路单体采场施工效率,m/d;T 为进路单体采场充填及充填体养护的总时间,d;D 为进路单体长度,m。

(2) 矿块同时回采的进路数的计算公式如下:

$$M=\frac{L}{BFN} \tag{2}$$

式中:M 为矿块同时回采的进路数,条,取计算结果的整数部分;L 为矿块沿走向长度,m;B 为回采进路宽度,m;F 为回采单元进路数量,隔一采一时取 2.5,隔二采一时取 3。

(3) 在矿块尺寸、进路宽度以及进路回采方式一定,N 取最小值时,M 为最大值,即 M 为矿块允许同时回采的最大进路数量,此时推导得到的盘区最大生产能力计算公式(3)即为连续稳定出矿条件下的产能计算公式。

$$q=MBHJ\gamma \tag{3}$$

式中:H 为进路采场高度,m;γ 为矿石容重,t/m^3。

4.2 产能计算依据及参数

(1) 进路施工效率 J。

掌子面生产效率因采矿设备而异。在使用凿岩台车凿岩的情况下,每天完成一个循环,平均进尺

3.0 m/d,进路采场生产能力为 146 t/d;在使用 YT-28 气腿式凿岩机凿岩的情况下,每天完成一个循环,平均进尺 2.0 m/d,进路采场生产能力为 97 t/d。

(2) 进路充填及充填体养护的总时间 T。

进路充填工艺包括底板清理、吊筋施工、底筋拼接、管路架设、挡墙构筑以及下料充填等工序。各工序作业时间具体为:底板清理与底筋铺设时间 1 d,混凝土充填挡墙构筑及其养护的时间 3 d,下料充填及充填体养护时间 4 d,共计 8 d。

(3) 盘区类型划分。

对标高 150~290 m 区段的矿体划分为 3 类盘区进行产能计算。具体为:Ⅰ类,特别厚大矿体,矿体厚度在 60 m 以上;Ⅱ类,较厚大矿体,矿体厚度为 20~60 m;Ⅲ类,一般厚度矿体,矿体厚度为 4~20 m。

此外,还应尽可能地按照连续出矿条件要求设置盘区结构参数。

4.3 Ⅰ类盘区生产能力计算

对于特别厚大(60 m 以上)的矿段,考虑到矿体形态较规则,回采进路沿矿体走向布置,按每班 3 条进路同时回采,每天 2 班作业来组织生产,夜班不进行爆破作业。

据统计,该类盘区矿体的平均厚度为 101 m,为了尽可能地保证盘区连续稳定出矿,按照 96 m×40 m 进行标准盘区参数设计,经计算盘区综合生产能力为 348 t/d,盘区有效生产能力为 656 t/d。计算过程中综合考虑下盘岩体接触带影响,上盘部分每 5 条进路作为一个回采单元,下盘部分每 3 条进路作为一个回采单元,回采单元内各进路同时生产。按关键线路计算总工期及生产能力,结果见表 3。

表 3 下向进路充填采矿法Ⅰ类盘区的综合生产能力计算

Table 3 Calculation for comprehensive production capacity of class Ⅰ mining area with downward drift stoping and filling method

序号	项目名称	工程量/m	日进尺/m	工期/d	备注
1	分层联络道	48	3	16	分层联络道平均值
2	穿脉运输巷	100	3	33	含分层回风联络巷
3	进路①回采出矿	36	2	18	1 天 1 循环作业
4	进路①充填养护			8	
5	进路②回采出矿	36	2	18	1 天 1 循环作业
6	进路②充填养护			8	
7	进路③回采出矿	36	2	18	1 天 1 循环作业
8	进路③充填养护			8	
9	2#、3#回采单元进路③后续养护			2	
10	不可预计时间			5	
11	分层总工期			134	转层+回采+充填
12	分层采矿量	46 694 t			盘区有效出矿能力 656 t/d
13	盘区综合生产能力	348 t/d			

注:盘区规格 96 m×40 m,充填能力 800 m^3/d,每天 6 条进路生产;每个盘区配备 1 台凿岩台车,6 台浅孔凿岩机,1 台 2 m^3 铲运机;每个盘区配备 1 个台车司机,1 个辅助工,6 个钻工,2 个铲车司机。

4.4 Ⅱ类盘区生产能力计算

对于较厚大(20~60 m)的矿段,按每天 3 个进路同时组织生产。经统计得到该类盘区矿体的平均厚度为 40 m,为了保证盘区连续稳定出矿,按照 72 m×40 m 进行标准盘区参数设计,计算得到盘区综合生产能力为 228 t/d,盘区有效出矿能力为 365 t/d。计算过程中综合考虑下盘岩体接触带影响,每 5 条进路作为一个回采单元,单元内进路之间采用隔一采一的方式回采,日进尺按 2.5 m 计算,具体计算见表 4。

表 4 下向进路充填采矿法Ⅱ类盘区的综合生产能力计算

Table 4 Calculation for comprehensive production capacity of class Ⅱ mining area with downward drift stoping and filling method

序号	项目名称	工程量/m	日进尺/m	工期/d	备注
1	分层联络道	48	3	16	分层平均值
2	下盘沿脉运输巷	72	2	36	
3	1#回采单元进路①回采出矿	36	2.5	14	
4	2#回采单元进路①回采出矿	36	2.5	14	
5	1#回采单元进路②回采出矿	36	2.5	14	1 天 1 循环作业
6	2#回采单元进路②回采出矿	36	2.5	14	
7	1#回采单元进路③回采出矿	36	2.5	14	

续表

序号	项目名称	工程量/m	日进尺/m	工期/d	备注
8	2#回采单元进路③回采出矿	36	2.5	14	
9	2#回采单元进路③充填养护			8	
10	4#、6#回采单元进路③后续养护			2	
11	不可预计时间			5	
12	分层总工期			153	转层+回采+充填
13	分层回采矿量	35 021 t			盘区有效出矿能力 365 t/d
14	盘区综合生产能力	228 t/d			

注:盘区规格 72 m×40 m,充填能力 800 m^3/d,每天 3 条进路同时生产;两个盘区采场共用 1 台凿岩台车和 1 台 3 m^3 铲运机;两个盘区配备 2 个台车司机,2 个辅助工,2 个铲车司机。

4.5 Ⅲ类盘区生产能力计算

对于一般(4～20 m)厚的矿段,按每天 2 个进路同时组织生产。经过对该类矿体的统计分析得到矿体平均厚度为 12 m,按照 60 m×12 m 盘区规模计算得到盘区综合生产能力为 97 t/d,盘区有效出矿能力 194 t/d。计算过程中综合考虑矿岩条件,按人工凿岩作业组织生产,详细计算见表 5。

4.6 分段生产能力计算

对于下向进路充填采矿法矿山,可按中段可布矿块数对生产能力进行验证[19],其计算公式如下:

$$A=\frac{Nkqt}{1-Z} \tag{4}$$

式中:A 为分段生产能力,t/a;N 为分段可布置的有效矿块数,个;k 为矿块利用系数,%;q 为矿块生产能力,t/d;t 为年工作天数,取 330 d;Z 为副产矿石率,取 10%。具体计算见表 6。

从表 6 可以看出:

(1) 230 m 分段以上单个分段的生产能力均可以达到 66 万 t/a 的设计规模,210 m 分段可以达到 52 万 t/a,190 m 分段可以达到 47 万 t/a,150 m、170 m 分段仅能达到 16 万 t/a;

(2) 在开采至 210 m 分段以下时,应合理协调上下采区的生产能力,以达到矿山稳产发展的要求。

表 5 下向进路充填采矿法Ⅲ类盘区的综合生产能力计算

Table 5 Calculation for comprehensive production capacity of class Ⅲ mining area with downward drift stoping and filling method

序号	项目名称		工程量/m	日进尺/m	工期/d	备注
1	分层联络道		47	3	16	平均值
2	穿脉运输巷		12	2	6	
3		进路①回采出矿	28	2	14	
4		进路③回采出矿	28	2	14	
5	1#回采单元	进路③充填养护			8	含铺设底筋
6		进路②回采出矿	28	2	14	
7		进路②充填养护			5	含铺设底筋
8	穿脉运巷充填养护				6	
9	不可预计时间				2	
10	分层总工期				85	转层+回采+充填
11	分层总矿量		8 755 t			盘区有效出矿能力 194 t/d
12	综合生产能力		103 t/d			

注:盘区规格 60 m×12 m,充填能力 800 m^3/d,每天 2 条进路生产。

表 6 分段矿块同时回采的生产能力计算

Table 6 Calculation of production capacity for simultaneously mining of sublevel ore blocks

分段/m	特别厚度部位盘区(348 t/d)			较厚大部位盘区(228 t/d)			一般部位盘区(103 t/d)			分段生产能力/(万 t/a)
	可布有效矿块数	矿块利用系数	生产能力/(万 t/a)	可布有效矿块数	矿块利用系数	生产能力/(万 t/a)	可布有效矿块数	矿块利用系数	生产能力/(万 t/a)	
270	6	0.8	61.25	2	0.8	13.38				74.6
250	6	0.8	61.25	2	0.8	13.38				74.6
230	6	0.8	61.25	2	0.8	13.38				74.6
210	2	0.8	20.42	4	0.8	26.75	2	0.6	4.53	51.7
190	2	0.8	20.42	4	0.8	26.75				47.2
170				2	0.8	13.38	1	0.6	2.27	15.6
150				2	0.8	13.38	1	0.6	2.27	15.6

5 稳产过渡方案研究

稳产过渡方案研究旨在探索新旧采矿工艺平稳过渡的路径,充分释放采区产能潜力,实现矿山高效稳产[20]。

5.1 采区工程布置现状分析

根据初步设计,充填法采区设计采用斜交方向布置下向进路,首采层工程布置及施工现状如图 5 所示。通过工程量统计可以得出以下结论:

(1) 290 m 环形回风道工程量总计约 2.1 km,扣除已完成量,剩余工程量 1 525 m,其中脉内部分 300 m,副产矿量 12 832 t;

(2) 286 m 分层采准工程量总计 2 667 m,包含分层联络斜坡道、盘区出矿运输巷道、溜井联络道以及回风联络道等工程,其中脉内部分 1 882 m,副产矿量 80 498 t;

(3) 250～290 m 溜矿井工程量总计 108 m,包含 1#、2#、3#矿石溜井,单条溜井长度平均 36 m;

(4) 286 m 分层进路回采矿量总计 43 万 t,其中一步骤 129 761 t,二步骤 130 065 t,三步骤 121 634 t,四步骤 29 875 t,五步骤 19 221 t,其中,四、五步骤进路位于出矿运输巷两侧,需在盘区生产末期方可回采。

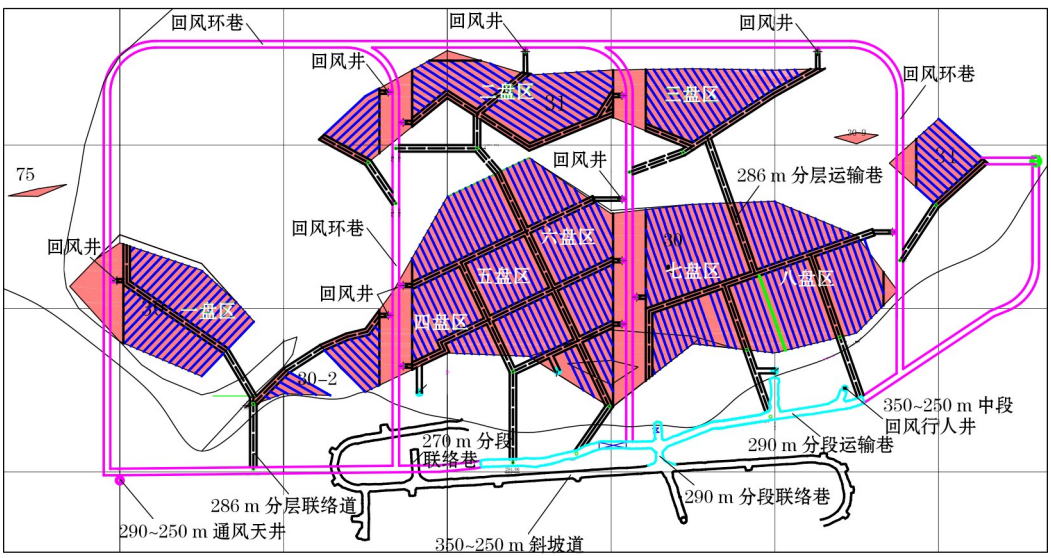


图 5 286～290 m 分层开拓、采准工程布置示意

Fig.5 Schematic diagram of development and mining preparation engineering layout of the layere from 286 to 290 m

5.2 过渡期工作部署安排

为实现采区产能平稳过渡,对采准及回采工作进行如下部署。

(1) 290 m 环形回风道工程采用 4 个作业面平行推进,基于凿岩台车的凿岩效率,掌子面掘进效率按 3.0 m/d 计,总工期 127 d。扣除每月的系统检修时间 2 d,按 28 d/月计,施工工期为 4.54 个月。

(2) 286 m 分层联络道工程维持 4 个作业面推进,施工工期为 7.94 个月,优先施工与盘区溜矿井关联的联络道,完成后人员转入 282 m 分层盘区采场进行采准作业。

(3) 250～290 m 溜矿井采用天井钻机施工,效率按 2.0 m/d 计,工期为 1.93 个月。天井施工与平巷掘进在空间上可同步作业,分层联络道掘进至相应天井位置时,及时开凿溜矿井。

(4) 286 m 分层在平面上划分为东西两个采区,按隔二采一的方式回采推进,9 条进路同时回采(西采 3 条,东采 6 条),采区生产能力为 1 314 t/d,月产量为 36 792 t,总工期为 11.69 个月(约 1 a)。

(5) 286 m 东采区在一、二、三步骤采场回采完毕且可采进路数量不足时转入西采区作业,待出矿运输巷充填养护后,对剩余四、五步骤进路进行回采,之后转入 282 m 分层东部进行采准作业。

(6) 282 m 及以下分层按沿走向布置的下向进路充填采矿法进行采准工程布置,出矿运输巷垂直矿体走向,通过在穿脉运输巷端部施工回风联络道与上部 290 m 水平回风环巷贯通,形成通风系统,如图 6 所示。

(7) 282 m 及以下分层采准工程主要包括分层联络道、穿脉出矿运输巷、溜井联络道及回风井联络道,按 3 个盘区采准和 3 个盘区回采并行组织生产,凿岩台车施工效率按 3.0 m/d 计,盘区采准时间为 2 个月。

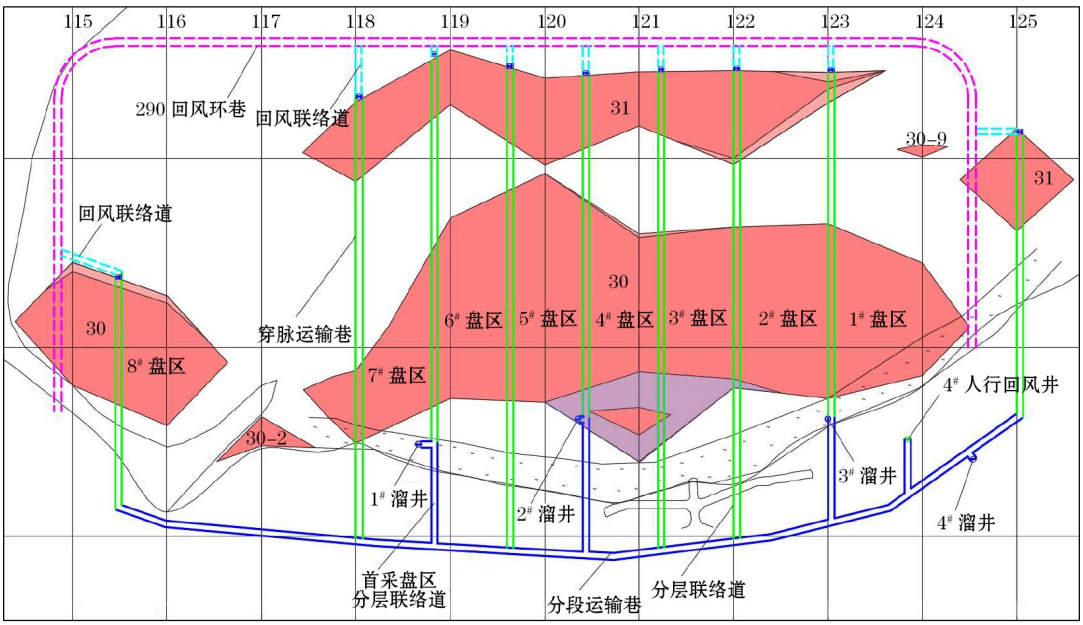


图 6　282 m 以下分层开拓、采准工程布置示意

Fig.6　Schematic diagram of development and mining preparation engineering layout of the layere below 282 m

5.3　过渡衔接规划方案

按照过渡期工作部署安排制定过渡衔接规划方案,见表 7。

从表 7 可以看出,深部充填法采区第一年的生产能力为 31.9 万 t,月出矿量为 2 395～48 292 t;第二年生产能力为 66.4 万 t,月出矿量为 39 181～66 733 t,可以较好地实现新老采矿工艺的稳产过渡衔接,过渡期为 1.5 a。

表 7　深部充填采矿法采区稳产过渡衔接规划方案

Table 7　Transition planning scheme for stable production of the deep mining area by stoping and filling method

工程类型	项目名称	断面规格/m	工程量/m	施工效率/(m/d)	同时掘进作业面(回采进路)数	矿量/t	进路生产能力/(t/d)	工期/月
首采层采准工程	290 m 水平环形巷道	4.3×4.3	1 525	3.0	4			4.54
	286 m 水平分层联络道	4.3×4.3	2 667	3.0	4			7.94
	250～290 m 溜矿井	Φ3.0	108	2.0	1			1.93
286 m 分层盘区回采	一步骤进路	4×4			9	129 761	146	3.53
	二步骤进路	4×4			9	130 065	146	3.54
	三步骤进路	4×4			9	121 634	146	3.31
	四步骤进路	4×4			9	29 875	146	0.81
	五步骤进路	4×4			9	19 221	146	0.52
278～282 m 分层盘区	分层联络道	4.3×3.8	2 000	3.0	2	—	—	11.90
	分层回采				18	934 000	146	12.69
深部采区出矿量	第一年:2 395～48 292 t/月,31.9 万 t/a;第二年:39 181～66 733 t/月,66.4 万 t/a。							

6　结论

(1) 结合某矿山的矿体开采技术条件及生产需求目标,研究提出了沿走向布置下向进路的充填采矿法、垂直走向布置下向进路的充填采矿法、斜交方向布置下向进路的充填采矿法等 3 种技术方案,通过对方案优缺点、技术经济指标进行综合对比分析,确定沿走向布置下向进路充填采矿法为最佳方案,盘区生产能力为 656 t/d。

(2) 研究提出了盘区连续出矿条件下的产能计算方法,分 3 类盘区开展盘区生产能力计算,对分段生产能力进行校核计算,为矿山产能校核与稳产达产提供了数据指导与技术支撑。

(3) 结合新老采矿工艺的开拓、采准工程布置

特征,研究制定了相应的产能过渡方案,明确了过渡期的工作部署,确定过渡期为 1.5 a,为矿山稳产衔接提供了方案指导。

(4) 研究表明,回采工艺优化方案切实可行,产能过渡方案可操作性强,不仅为该矿山的采矿生产与产能过渡提供了有力技术支撑,也为类似情形的矿山提供了借鉴案例。

参考文献(References):

[1] 古德生,李夕兵.现代金属矿床开采科学技术[M].北京:冶金工业出版社,2006.
GU Desheng, LI Xibing. Modern mining science and technology for metal mineral resources [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press,2006.

[2] 周礼.黄山南铜镍矿深部采矿方法及生产系统优化研究[J].矿业研究与开发,2020,40(10):1-7.
ZHOU Li. Optimization of mining method and production system in deep development of Huangshannan copper-nickel mine[J]. Mining Research and Development,2020,40(10):1-7.

[3] 赵增山,张舟,金爱兵,等.张家洼铁矿崩落转充填采矿工艺及结构参数研究[J].金属矿山,2021(8):1-9.
ZHAO Zengshan, ZHANG Zhou, JIN Aibing, et al. Study on the mining technology and structure parameters of Zhangjiawa iron mine from caving to filling[J]. Metal Mine, 2021(8):1-9.

[4] 张贵银,韩春,颜秉超,等.下向水平进路充填采矿法的研究与应用[J].矿业研究与开发,2015,35(8):12-14.
ZHANG Guiyin, HAN Chun, YAN Bingchao, et al. Research and application on downward horizontal drift with backfilling mining method [J]. Mining Research and Development,2015,35(8):12-14.

[5] 杨志芳,王小春,付文姜.下向分层胶结充填采矿法在前河公司的应用[J].黄金,2011,32(3):33-37.
YANG Zhifang, WANG Xiaochun, FU Wenjiang. Application of downward slicing cemented backfill mining method in Qianhe gold mine[J]. Gold,2011,32(3):33-37.

[6] 李湘洋,宋卫东,杨勇,等.焦家金矿下向进路充填采矿法人工假顶优化设计及应用[J].黄金,2020,41(1):30-33.
LI Xiangyang, SONG Weidong, YANG Yong, et al. Design and application of artificial roof in underhand cut and fill mining method in Jiaojia gold mine[J]. Gold,2020,41(1):30-33.

[7] 陈智宏,彭小刚.武山铜矿下向分级尾砂胶结充填采矿实践[J].采矿技术,2013,13(3):3-5.
CHEN Zhihong, PENG Xiaogang. Practice of downward drift stoping with cemented classified tailings filling in Wushan copper mine[J]. Mining Technology,2013,13(3):3-5.

[8] 盛利涛,盛佳,江飞飞,等.急倾斜软弱破碎薄矿脉的采矿方法选择及优化[J].采矿技术,2016,16(2):6-9.
SHENG Litao, SHENG Jia, JIANG Feifei, et al. Selection and optimization of mining methods for steeply dipping, weak, broken and thin ore veins[J]. Mining Technology, 2016,16(2):6-9.

[9] 王怀勇,于润沧,束国才.机械化进路式下向充填采矿法的应用与发展[J].中国矿山工程,2013,42(1):4-8.
WANG Huaiyong, YU Runcang, SHU Guocai. Application and development of the mechanized downward drift filling mining method[J]. China Mine Engineering,2013,42(1):4-8.

[10] 周述峰,公培森,宋恩祥,等.下向进路充填采矿法在嵩县山金的应用[J].黄金,2020,41(5):36-39.
ZHOU Shufeng, GONG Peisen, SONG Enxiang, et al. Application of downward approach filling mining method in Songxian Shanjin Mining Co., Ltd.[J].Gold,2020,41(5):36-39.

[11] 周礼.下向水平分层进路充填采矿法在某铜矿的应用[J].黄金,2019,40(10):39-43.
ZHOU Li. Application of downward horizontal slicing approach and backfilling method in a copper mine[J]. Gold, 2019,40(10):39-43.

[12] 邢超,高铭阳,邱洋洋,等.下向进路充填采矿法深部矿岩破坏机理数值模拟研究[J].黄金,2024,45(8):58-63.
XING Chao, GAO Mingyang, QIU Yangyang, et al. Study of deep-mine ore rock failure mechanism using downward approach filling mining method by numerical simulation[J]. Gold,2024,45(8):58-63.

[13] 张燕军,姜文峰,曹国华,等.新型无间柱下向进路充填回采工艺优化研究[J].采矿技术,2024,24(3):248-252.
ZHANG Yanjun, JIANG Wenfeng, CAO Guohua, et al. Research on optimization of a new underhand drift stoping and filling technology without intermediate pillars [J]. Mining Technology,2024,24(3):248-252.

[14] 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.

[15] 陈金刚,徐平,张奘,等.膨胀性充填裂隙峰前本构关系实验研究[J].岩土力学,2011,32(10):2998-3002.
CHEN Jingang, XU Ping, ZHANG Yan, et al. Experimental research on pre-peak constitutive relation of filled fracture with expansive medium[J]. Rock and Soil Mechanics,2011,32(10):2998-3002.

[16] 邹勇.金川二矿区深部采矿回采进路布置与回采顺序优化研究[D].长沙:中南大学,2007.
ZOU Yong. Optimization research on stope drifts layout and mining sequence of deep mining in No. 2 mining area of Jinchuan[D]. Changsha:Central South University,2007.

[17] 张志贵,谭宝会,钟敏,等.下向分层进路式胶结充填法采场稳定性判断方法及应用[J].金属矿山,2021(4):27-34.
ZHANG Zhigui, TAN Baohui, ZHONG Min, et al. Determination method and application of stope stability in downdirection slicing drift cemented filling mining method [J]. Metal Mine,2021(4):27-34.

[18] 张小刚,于少峰,周发陆,等.拜什塔木铜矿破碎软岩巷道的锚喷支护技术[J].金属矿山,2017(11):52-56.
ZHANG Xiaogang, YU Shaofeng, ZHOU Falu, et al. Bolting and shotcreting technique for fractured-soft roadway support technology in Baishitamu copper mine[J]. Metal Mine,2017(11):52-56.

[19] 王运敏.现代采矿手册[M].北京:冶金工业出版社,2012.
WANG Yunmin. Modern mining handbook[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press,2012.

[20] 金凤英,崔松,周玉成.某矿山露天-地下联合开采产能衔接方案研究[J].中国矿业,2021,30(增刊2):246-250.
JIN Fengying, CUI Song, ZHOU Yucheng. Study on capacity connection scheme of open-pit underground combined mining in a mine[J]. China Mining Magazine, 2021,30(Suppl.2):246-250.