

湖区厚大矿体采矿方法优选与应用

高航¹, 刘东锐^{2,3*}, 王有奇¹, 韩春贺¹, 姚逸飞¹

(1. 湖北三鑫金铜股份有限公司; 2. 长沙矿山研究院有限责任公司; 3. 国家金属采矿工程中心)

摘要:采矿方法的选择对于矿山企业的生存与发展至关重要,特别是对于矿体开采技术条件较为复杂的矿山更为关键,其直接关系到安全程度、生产效率及企业效益。根据国内外经验,结合桃花咀矿区开采技术条件、矿山现状等,提出针对厚大矿体技术可行的采矿方法有:盘区机械化上向水平分层充填采矿法、脉内顺路斜坡道上向分层充填采矿法、走向分条分层胶结充填采矿法、脉内采准机械化上向分层充填采矿法、留护壁阶段空场与上向分层联合采矿法。通过工程类比、理论分析及技术经济对比分析,确定最优的采矿方法为留护壁阶段空场与上向分层联合采矿法。现场试验及应用表明,该方法技术经济指标良好,与矿体适用性强,适于在同类型矿体及矿山推广应用,具有良好的借鉴意义。

关键词:湖区;厚大矿体;采矿方法;围岩破碎;阶段空场;上向分层;采矿损失贫化

中图分类号:TD853.2

文章编号:1001-1277(2025)05-0017-06

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250504

引言

采矿方法的选择对于矿山企业的生存与发展至关重要,特别是对于矿体开采技术条件较为复杂的矿山更为关键^[1-5]。适用于厚大矿体的采矿方法有多种,包括崩落采矿法、阶段空场采矿法、分段空场采矿法、上向水平分层充填采矿法等^[4-10],但随着环保安全意识的不断加强,对于地表有水体或其他固定构筑物的矿体开采,必须采用充填采矿法进行回采,且需要保证在回采前,预留足够的保安矿柱,做好相关的排水疏水工作,从而保证地表水体及构筑物的安全^[7-9,11-14]。

在厚大矿体采矿方法选择方面,相关学者提出了层次分析法(AHP)、灰色关联法及多种数学方法联合优选方法,以确定最优的采矿方法^[15-22]。其中,梁耀东等^[18]提出了基于AHP-TOPSIS综合评判的深部厚大矿体采矿方法优选,即在层次分析法和逼近理想解(TOPSIS)综合评判模型的基础上,从技术、经济和安全3个方面共选取11个指标进行综合评价,得出最优采矿方法为分段空场嗣后充填采矿法。吴鹏等^[19]结合青海某矿山的工程实例,运用层次分析法与多目标决策密切值法,进行厚大矿体的采矿方法优选,有效避免了选择过程中的主观性。湖北三鑫金铜股份有限公司桃花咀矿区(下称“桃花咀矿区”)矿体属于湖

区厚大矿体,具有品位高、开采技术条件复杂等特点,在采矿方法的选择上,需保证开采回采率与生产能力,同时,保证回采过程安全性及地表稳定性。因此,通过工程类比、理论分析及技术经济对比,优选适合该矿区厚大矿体的采矿方法,以达到安全高效回采的目的。

1 矿体开采技术条件

1)矿体倾角 $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$,厚度30~40 m,为急倾斜厚大中等稳固到稳固矿体。

2)矿区地处湖区,对地面沉降、位移控制较严,要求不得破坏隔水层,矿区地表不允许陷落。

3)矿区矿石含金、铜等矿物,品位高,原矿价值高达2400元/t。

4)矿体上下盘围岩稳固性差,具有遇水碎化膨胀的特点,揭露后迅速分化,产生巨大变形,破坏脉外巷道工程,增加维护工程量。

2 湖区厚大矿体采矿方法初选

2.1 采矿方法选择原则

1)生产能力大,需要有较好的安全性,可满足矿山生产对于安全高效的需求。

2)处于湖区,兼顾地表不允许陷落,应首先考虑充填采矿法。

收稿日期:2024-11-19; 修回日期:2024-12-08

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFC2907201)

作者简介:高航(1990—),男,工程师,从事井下生产中段采矿技术管理、井下通风系统技术管理等相关工作;E-mail:530471462@qq.com

*通信作者:刘东锐(1987—),男,高级工程师,硕士,从事矿山采矿与通风设计研究工作;E-mail:leastrui@dingtalk.com

3)矿石品位高,价值高,须遵循“宁贫化,不损失”的原则。

4)回采过程中,保证上下盘围岩稳定,提高采准切割工程的支护强度。

5)首选机械化、自动化、智能化程度高的采矿方法。

2.2 采矿方法与工艺选择

根据国内外经验,结合桃花咀矿区矿体开采技术条件、矿山开采现状等,提出针对厚大矿体技术可行的采矿方法有:盘区机械化上向水平分层充填采矿法、脉内顺路斜坡道上向分层充填采矿法、走向分条分层胶结充填采矿法、脉内采准机械化上向分层充填

采矿法、留护壁阶段空场与上向分层联合采矿法。

1)方案 I ,盘区机械化上向水平分层充填采矿法(如图 1 所示)。沿矿体走向划分为回采盘区,分两步骤回采,一步骤回采采场宽 10~20 m,二步骤回采采场宽 30~40 m,不留顶底间柱。分段高度 10~15 m,分层回采高度 3.5 m,出矿后空顶高度 5 m,充填高度 3.5 m。其中,最上部的 0.5 m 为胶面层,7 d 强度要求在 1.5 MPa 以上,充填后预留 1.5 m 的空顶高度。采用凿岩台车进行水平落矿,铲运机进行出矿,由采场至分段巷后由采场溜井溜至中段运输水平。底部拉底高度为 3.5 m,浇注 0.5~1.0 m 厚的钢筋混凝土假底,替代原生底柱。

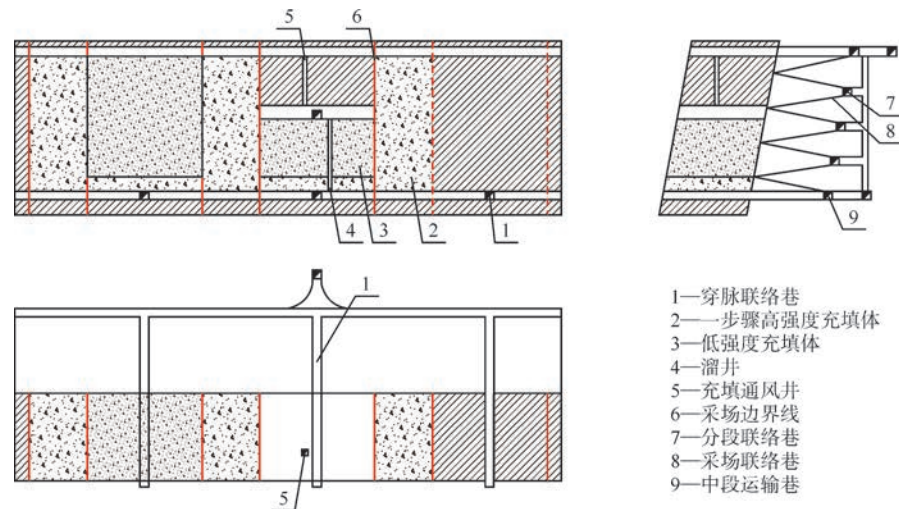


图 1 盘区机械化上向水平分层充填采矿法

Fig. 1 Mechanized upward horizontal slicing and filling mining method for panels

2)方案 II ,脉内顺路斜坡道上向分层充填采矿法(如图 2 所示)。沿矿体走向划分为回采盘区,一步骤回采采场宽 10~20 m,在矿体上盘留下 4~5 m 厚的矿体由二步骤回采;二步骤回采采场宽 30 m,底柱 7 m,不留设顶柱及间柱。回采过程中,脉内形成斜坡

道,分层高度为 3.5 m,出矿后空顶高度 5 m,充填高度 3.5 m。其中,最上部 0.5 m 为胶面层,7 d 强度要求在 1.5 MPa 以上,充填后预留 1.5 m 的空顶高度。为了方便底柱回收,拉底分层回采后,须采用钢筋混凝土构筑 0.5~1.0 m 厚的人工假底。

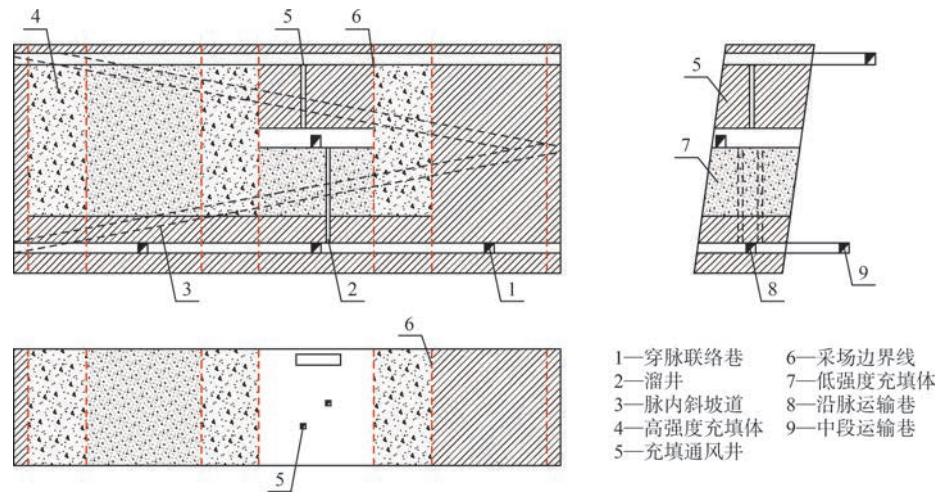


图 2 脉内顺路斜坡道上向分层充填采矿法

Fig. 2 In-vein ramp-along-strike upward slicing and filling mining method

3)方案Ⅲ,脉内采准机械化上向分层充填采矿法(如图3所示)。分条宽度8~10 m,采场长度方向沿矿体走向方向,采场长100~120 m,宽10~20 m,沿矿体走向每隔30~40 m留2 m厚的连续隔离矿柱,底

柱6~8 m。在矿体中间分条内沿矿体走向方向布置折返式采准斜坡道,由斜坡道掘分层联络道进入采场,每分层掘进1条联络道。回采及出矿方式与上述方法相同。

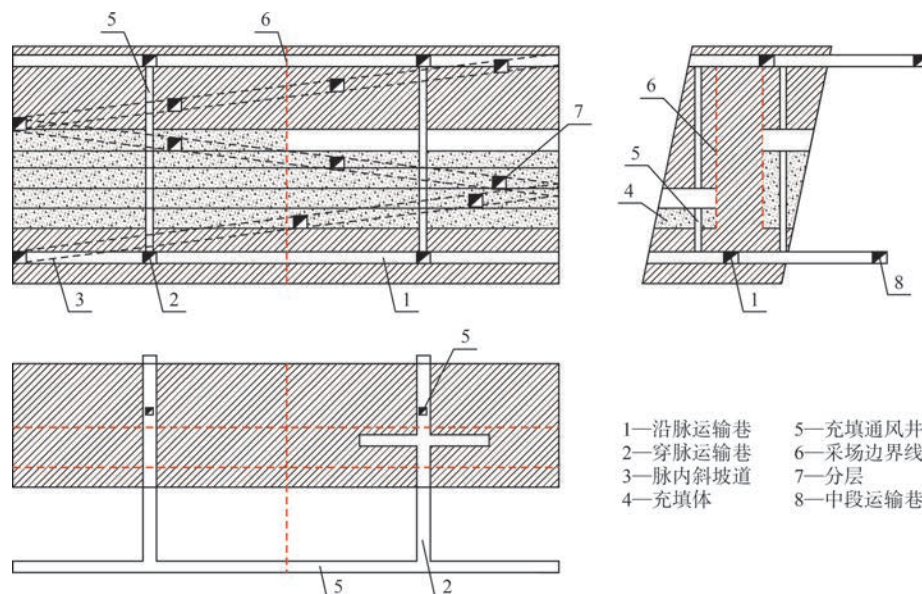


图3 脉内采准机械化上向分层充填采矿法

Fig. 3 Mechanized upward slicing and filling mining method with in-vein preliminary mining

4)方案Ⅳ,留护壁阶段空场与上向分层联合采矿法(如图4所示)。当矿体厚度小于15 m时,采场沿矿体走向布置;当矿体厚度大于15 m时,采场垂直矿体走向布置,分两步骤间隔回采。一步骤回采采场宽12 m,采用分段中深孔凿岩阶段空场采矿法回采,分段高度10~13 m,嗣后胶结充填;二步骤回采采场宽13 m,采用上向水平分层充填采矿法回采。不留顶底间柱。

一步骤采场采用堑沟底部结构,分段凿岩爆破出矿,阶段出矿、充填,在矿体中部施工切割天井及切割巷,待一步骤回采充填后,再进行二步骤回采,回采工艺与前述分层充填采矿方法一致。

3 湖区厚大矿体采矿方法优选

受限于矿体开采技术条件与制约因素,对各方案的主要技术经济指标及优缺点进行分析比较,结果如表1所示。综合各方面的因素,对湖区厚大矿体采矿方法进行优选。

由表1可知:从安全、技术、经济指标来看,方案Ⅳ的矿体适用性最好,生产成本最低,生产能力最大,虽然矿石贫化率略高,但是采矿损失率相较于其他方法并未增加,且设备利用率高,安全性强,对于矿山生产运营有较好的支撑。因此,选择方案Ⅳ,留护壁阶段空场与上向分层联合采矿法进行回采。

4 现场工业试验与应用

结合桃花咀矿区厚大矿体的赋存条件、矿岩质量、施工条件及充填强度^[22],将T-620 m中段T6121采场、T-420 m中段T4103采场和J-370 m中段322-3采场等确定为试验采场,进行采矿方法工业试验。一步骤采场以T6121采场为例说明,二步骤采场以T4103采场为例说明。

4.1 一步骤回采

T6121采场矿块分布于-570~-620 m水平10勘探线—12勘探线。矿体产出于F₁₁和F₁₂断裂所夹持的断裂破碎带中,下盘围岩为矽卡岩破碎带,上盘围岩为矽卡岩和矽卡岩化石英二长闪长玢岩。矿体走向北东,倾向北西,倾角较陡,约85°,上盘下部反倾,倾角70°~85°。平均厚度为46 m,矿体沿北东向和垂向上均呈收缩趋势。

采场垂直矿体走向布置,长40 m,设计采宽12 m,高39 m,采场最大暴露面积为480 m²,采场中央布置切割槽,向两侧爆破回采,底柱10 m,不留顶柱及间柱。T6121采场布置如图5所示。

采场回采施工顺序为:T6121采-609 m水平2#、4#、6#出矿巷—拉底巷—充填井联道—人行通风充填井—一分层三角底柱回采并充填—二分层三角底柱回采并充填—596 m、-583 m凿岩巷、切巷联道及切巷—T6121采583 m断切割天井、T6121采596 m切割天井—

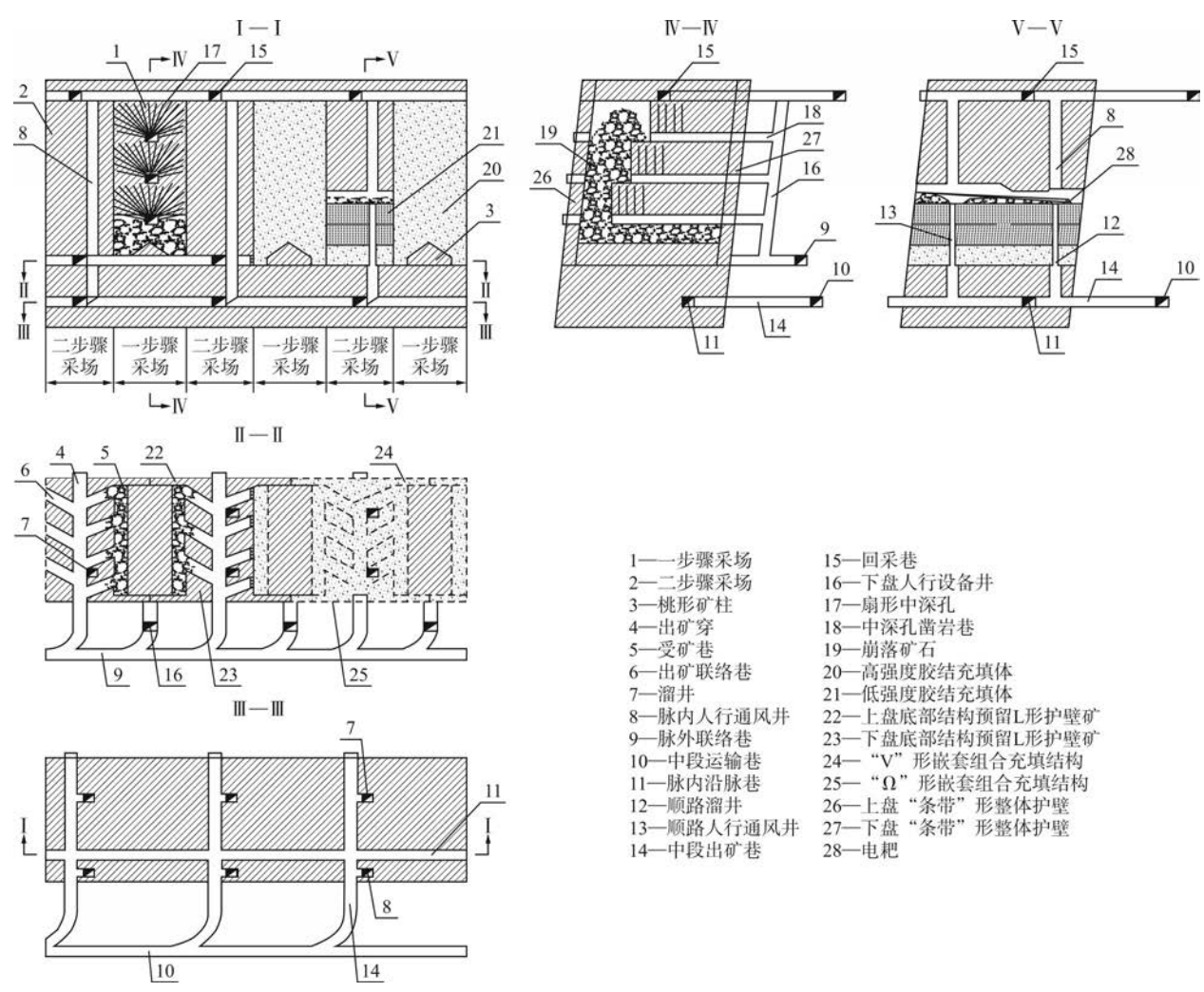


图4 留护壁阶段空场与上向分层联合采矿法

Fig. 4 Integrated mining method of staged open stoping with reserved protective walls and upward slicing

表1 各采矿方法主要技术经济指标及优缺点对比

Table 1 Advantages and disadvantages as well as of major technical and economic metrics of each mining method

指标	方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV
生产能力/(t·d ⁻¹)	300	200	300	350
采切比/(m·kt ⁻¹)	2.30	0.74	1.82	4.07
采矿损失率/%	5	5	5	<5
矿石贫化率/%	5	5	5	<8
直接成本/(元·t ⁻¹)	25.63	23.79	25.39	21.84
优点	作业安全,工艺简单,具有应用基础。采场跨度小,采区之间相互影响小,便于生产管理			
缺点	采切工程量大;脉外采准受强塑性围岩的影响,维护工作量大			

T6121 采-583 m、-596 m 水平中深孔—609 m 水平凿岩巷—609 m 水平中深孔一回采结束并充填接顶。要求三角底柱采用强度 5 MPa 的充填体进行充填,达到强度后,方可进行矿体的回采。

4.2 二步骤回采

T4103 采场矿块分布于-380~-410 m 水平 0 勘探线—3 勘探线。矿体位于 T4101 采场和 T4102 采场充填体中间,上下盘围岩均为矽卡岩和大理岩。矿体

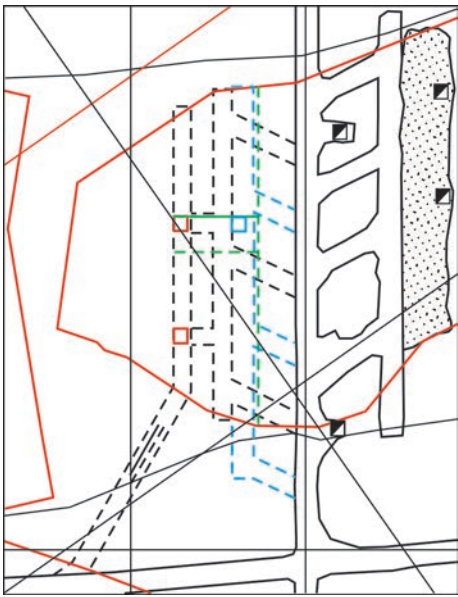


图5 T6121 采场布置示意图
Fig. 5 Layout schematic of Stope T6121

走向北北东,倾向北西,倾角较陡,约80°。-410 m 水平和-400 m 水平矿体厚度较为稳定,平均厚度为30 m,向-390 m 水平矿体逐渐收缩,-380 m 尖灭。

矿块上下盘T4101采场和T4102采场,都已回采并充填,矿体受断裂控制。上盘是矽卡岩或大理岩,下盘是石英正长闪长玢岩、矽卡岩和矽卡岩化石英正长闪长玢岩,稳定性较差。采场垂直矿体走向布置,划分5个采场,长度25~50 m,平均宽度7 m,分层高度5 m,采空区最大暴露面积450 m²。

表2 各采场主要技术经济指标

Table 2 Major technical and economic metrics of each stope

采场名称	地质矿量/t	出矿矿量/t	品位		采矿损失率/%	矿石贫化率/%	出矿金属量	
			Au/(g·t ⁻¹)	Cu/%			Au/kg	Cu/t
T4103	56 500	55 518	1.89	2.13	9.1	8.1	96.43	1 086.74
T6121	73 000	70 890	3.97	3.78	10.0	7.9	258.63	2 467.95
322-3	38 400	36 373	3.52	1.62	12.7	8.5	117.66	539.15
Ⅱ 3-6	74 200	73 896	2.57	0.94	2.5	2.1	174.53	680.03
Ⅱ 3-8(二步骤)								
T5142(二步骤)	45 215	44 650	4.47	4.12	3.7	2.5	183.42	1 793.59
T5143(二步骤)	37 631	35 850	1.67	1.67	6.2	1.5	55.02	589.71
合计/平均	324 946	317 177	3.03	2.39	7.13	4.19	885.69	7 157.17

贫化率为4.19%,取得了较为良好的技术经济指标。

5 结 论

通过对桃花咀矿区厚大矿体开采技术条件的分析,依据工程类比及经验分析,对矿区的采矿方法进行优选。通过现场工业试验,验证了方法的可用性,并取得以下结论:

1)针对围岩破碎、矿体稳固的矿体,切割井的位置应布置在矿体中央,以保证回采过程的稳定性。

T4103采场采准切割工程布置如图6所示。延长-420 m 水平3勘探线穿脉,施工废石溜井,与原3勘探线溜井联合使用,做好矿废分流;各分层脉外布置斜坡道及铲运巷,-403 m 水平补打拉底巷,-400 m 水平以上采场回采时视回采边界补打探矿巷。

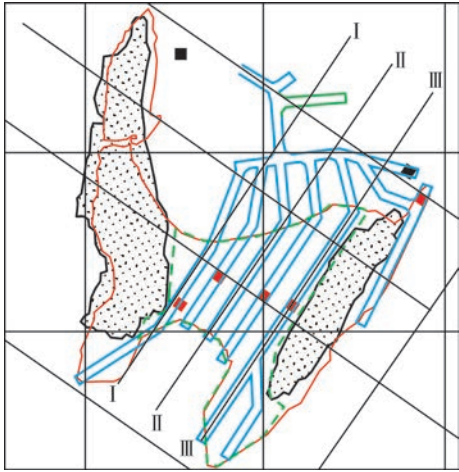


图6 T4103 采场采准切割工程布置示意图
Fig. 6 Layout schematic for preliminary mining and cutting project in Stope T4103

4.3 主要技术经济指标

在工业试验的基础上,对采矿方法进行了推广应用,并统计分析了各个采场的主要技术经济指标,结果如表2所示。

由表2可知:工业试验期间,采场生产能力稳定在350 t/d左右,平均采矿损失率为7.13%,平均矿石

2)湖区高品位厚大矿体的地下开采,须在保证开采回采率的基础上,保证开采的强度与产能,则需要融合浅孔回采与中深孔回采的优势,达到高强度、低采矿损失贫化回采的目的。

3)现场试验表明,留护壁阶段空场与上向分层联合采矿法可较好地适用于围岩破碎高品位厚大矿体的开采,采场生产能力为350 t/d,平均采矿损失率为7.13%,平均矿石贫化率为4.19%,技术经济指标较为良好。

[参考文献]

- [1] 曾令义. 低品位倾斜中厚矿体充填采矿法优选[J]. 黄金, 2023, 44(2): 22-26.
- [2] 杜树浩, 王苹. 柴胡栏子金矿急倾斜破碎薄矿体采矿方法选择与应用[J]. 黄金, 2021, 42(9): 52-56.
- [3] 贾彦州. 鑫泰矿业公司薄至中厚复杂难采矿体采矿方法优化及应用[J]. 黄金, 2020, 41(2): 38-42.
- [4] 王征, 李闯. 大白阳金矿缓倾斜中厚矿体采矿方法优化选择及应用[J]. 黄金, 2019, 40(8): 37-40.
- [5] 高鹏举, 周礼. 黄山南铜镍矿采矿方法优化选择及应用[J]. 黄金, 2019, 40(6): 35-39.
- [6] 韦华南, 古德生. 某矿分段凿岩阶段矿房嗣后联合充填采矿法试验研究[J]. 黄金, 2010, 31(6): 23-28.
- [7] 李向东. 湖区厚大矿体高效开采技术[R]. 长沙: 长沙矿山研究院, 2012.
- [8] 满东辉, 张鹏, 陈勇, 等. 白象山铁矿采矿方法优化研究[J]. 现代矿业, 2023, 39(11): 59-62.
- [9] 严佳龙. 厚大含水层下缓倾斜中厚矿体采矿方法设计[J]. 现代矿业, 2020, 36(10): 48-51.
- [10] 缙昆贞, 徐明, 赵勇, 等. 厚大矿体采矿方法研究[J]. 现代矿业, 2013, 29(5): 163, 167.
- [11] 吴浩. 三山岛金矿海下开采合理开采上限的确定[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [12] 刘方求, 冯壹, 郑剑洪. 黄金洞金矿厚大破碎矿体开采的研究与实践[J]. 现代矿业, 2011, 27(11): 56-57, 74.
- [13] 卢央泽. 金属矿山“三下”矿体开采[J]. 现代矿业, 2015, 31(5): 27-28, 40.
- [14] 玄祖普, 宋召法, 张永波, 等. 黄屯硫铁矿“三下”矿床开采方法[J]. 现代矿业, 2014, 30(8): 183, 186.
- [15] 李官兵, 李正灿, 于向波, 等. 基于层次分析法的鑫汇金矿深部采矿方法优选及应用[J]. 黄金, 2023, 44(7): 90-95, 100.
- [16] 陈博宇, 宋卫东, 江国建, 等. 基于AHP-CTODIM评判模型的大尹格庄金矿采矿方法优选[J]. 黄金, 2015, 36(10): 35-39.
- [17] 陈东, 周传波, 李超人, 等. 基于灰关联与层次分析的地下开采采矿方法优选[J]. 黄金, 2015, 36(8): 28-31.
- [18] 梁耀东, 高峰, 李新, 等. 基于AHP-TOPSIS综合评判的深部厚大矿体采矿方法优选[J]. 现代矿业, 2022, 38(10): 85-88.
- [19] 吴鹏, 苏建军, 卢央泽, 等. 基于层次分析法与密切值法的采矿方法优选[J]. 现代矿业, 2014, 30(6): 23-25.
- [20] 杨宁. 软破厚大矿体安全高效采矿工艺优化研究[D]. 长沙: 长沙矿山研究院, 2017.
- [21] 尹旭岩. 急倾斜极厚大矿体开采方法研究及应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- [22] 李电辉, 孙德胜. 三鑫矿业公司充填体强度与采矿方法匹配研究[J]. 黄金, 2013, 34(6): 39-42.

Optimized selection and application of mining methods for large and thick orebodies in lake areas

Gao Hang¹, Liu Dongrui^{2,3}, Wang Youqi¹, Han Chunhe¹, Yao Yifei¹

(1. Hubei Sanxin Gold Copper Limited Company; 2. Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd.;
3. National Metal Mining Engineering Center)

Abstract: The selection of an appropriate mining method is critical to the survival and development of mining enterprises, directly impacting safety, production efficiency, and economic benefits. This is particularly important for mines with complex technical conditions for orebody extraction. Drawing on domestic and international experience and taking into account the mining conditions and current situation of the Taohuazui mining district, several technically feasible mining methods for thick and large orebodies are proposed: mechanized upward horizontal slicing and filling mining method for panels, in-vein ramp-along-strike upward slicing and filling mining method, strip and slicing along strike mining method and filling with cemented backfills, mechanized upward slicing and filling mining method with in-vein preliminary mining, and integrated mining method of staged open stoping with reserved protective walls and upward slicing. Through engineering analogy, theoretical analysis, and technical and economic comparison, the optimal mining method was identified as the integrated mining method of staged open stoping with reserved protective walls and upward slicing. Field tests and application results indicate that this method has favorable technical and economic metrics, is highly compatible with the orebody conditions, and is suitable for promotion and application in similar orebodies and mines, offering valuable references.

Keywords: lake area; large and thick orebody; mining method; fractured surrounding rock; staged open stoping; upward slicing; mining loss and dilution