急倾斜薄矿体中直径深孔采矿方法研究*

郭云鹏[1]，潘冬[1,2]，刘志军[3]

（1.长沙矿山研究院责任有限公司， 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：为解决铁山垅钨业黄沙矿区原采矿工艺机械化水平低、采准切割工程量大、劳动强度大、贫化损失率较大等问题，提高机械化程度和矿石利用率，根据相似矿山中直径深孔开发经验，结合中深孔拉槽工艺，实现上向中深孔与下向中直径深孔的协同高效落矿，开发了中直径深孔阶段嗣后崩落法开采急倾斜薄矿体，并选择了具有代表性的试验矿块进行工业试验。工业试验结果显示：中直径深孔阶段嗣后崩落法较分段凿岩阶段崩落法炸药单耗降低了36.5%，损失率、贫化率分别降低60%和16.8%，同比矿石量和WO_3金属采出量分别增加了16.7%和19.0%，新增净利润72.95万元。研究结果证实了急倾斜薄矿体中直径深孔采矿工艺的显著经济效益和社会效益，为急倾斜薄矿体的深孔爆破开采提供了可行方案。

关键词：急倾斜薄矿体；中直径深孔；阶段嗣后崩落法；工业试验

中图分类号：TD853 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-2763(2025)05-0027-07

Research on Mining Method of Medium-Diameter Long Hole in Steeply Inclined Thin Ore Body

GUO Yunpeng[1], *PAN Dong*[1,2], *LIU Zhijun*[3]

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

Abstract: Tieshanlong Tungsten Industry Huangsha mining area have the problems of low mechanization level, large quantity of mining preparation and cutting engineering, high labor intensity and large dilution loss rate for original mining technology. In order to solve these problems and improve the mechanization degree and ore utilization rate, according to the development experience of medium-diameter long holes in similar mines, combined with the grooving process of medium-long holes, the coordinated and efficient caving of upward medium-long hole and downward medium-diameter long hole was realized. The medium diameter long hole stage subsequent caving method was developed to mine steeply inclined thin ore body, and representative test blocks were selected for industrial tests. The industrial test results show that compared with the sublevel drilling stage caving method, the medium-diameter long hole stage subsequent caving method reduces the explosive unit consumption by 36.5%, and reduces the loss rate and dilution rate by 60% and 16.8%, respectively. The year-on-year ore volume and WO_3 metal extraction volume increase by 16.7% and 19.0% respectively, and the net profit increases by 729 500 yuan. The results can confirm the significant economic and social benefits of the mining technology of steeply inclined thin ore body, and provide a feasible scheme for long hole blasting mining of steeply inclined thin ore body.

Key words: Steeply inclined thin ore body, Medium-diameter long hole, Stage subsequent caving method, Industrial test

0 引言

近年来，随着我国矿产资源持续开发，优质矿产储量已经逐渐枯竭，急倾斜薄矿体这一常见的复杂赋存条件矿体已经逐渐成为矿业研究的一个重大课题[1]。急倾斜薄矿体的固有经济技术难题以及现有矿山的开采规模导致该类矿体的开采方法较为落后，浅孔留矿法因为其采准工程量少、管理简单等优

* **收稿日期**：2024-06-24
作者简介：郭云鹏(1999—)，男，山东菏泽人，硕士研究生，主要从事金属矿山开采工艺研究。E-mail:2532927703@qq.com

点依旧是相关矿山应用最为广泛的采矿方法,同时削壁充填法等采矿方法也应用较为广泛[2-3]。但上述采矿方法生产效率低、生产安全性差、损失贫化率高、机械化水平低,为解决这些问题,吴礼军等[4]、李永新等[5]、李元辉等[6]、唐学义等[7]、蔡勺钊[8]对浅孔留矿法、削壁充填法进行工艺优化,提出新的采矿方法,但依旧难以从根本上改变其生产效率、安全管理、采矿成本之间的矛盾。随着抛废采选设备技术的发展,急倾斜薄矿体的中深孔乃至于深孔高效开采成为了可能[9]。大直径深孔若直接用于薄矿体中,受夹制作用的影响,爆破参数极难控制。刘志军等[10-11]在某中厚矿体中采用中直径深孔进行全断面落矿,安全性高,并获得了较好的经济效益。为了解决铁山垅钨业黄沙矿区现阶段采矿方法生产能力低、机械化水平低、损失贫化率高等问题,以铁山垅黄沙矿区急倾斜薄矿体为工程背景,结合当前矿业发展高效安全的要求,以中直径深孔工艺为核心,结合矿山实际工程地质,提出全新的中直径深孔阶段嗣后崩落法,并以此方法选取具有代表性的标准矿块开展工业试验。

1 开采技术条件

铁山垅黄沙矿区矿体开采标高+800～-100 m,矿体延长一般为 200～300 m,平均为 240 m,一般延深为 100～250 m,平均为 160 m,带宽一般为 1.00～1.50 m,矿体倾角为 65°～85°。其中,规模最大的石英脉带型矿体东西全长 1 500 m,延深为 450 m,带宽一般为 3.00～6.00 m,最大为 8.6 m。总体而言,赋存矿体中薄矿体所占比重较大,故将急倾斜薄矿体作为主要研究对象。现矿区保有矿产 WO_3 平均品位为 0.431%,主要生产方法为浅孔留矿法和分段凿岩阶段崩落法。

矿区岩石由变质砂岩、石英脉石和花岗岩组成,呈致密块状,属坚硬脆性岩组,具较大的承载能力,矿区岩石性质见表 1。

表 1 矿区岩石性质

Table 1 Rock properties of mining area

岩性	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	泊松比	弹性模量/GPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
花岗岩	2.481	0.032	0.197 9	8.35	4.486	35.11
变质砂岩	3.002	0.057	0.263 9	8.51	4.793	31.75
石英脉石	2.035	0.044	0.149 5	6.79	3.119	30.68

矿区及其周围无较大的地表或地下水体,矿区水文地质条件中等。矿山经多年开采形成大量废石堆积,且矿山选矿流程中重选后尾矿经浮选综合回收伴生矿产,浮选废液对矿区及周边环境有一定影响,矿区地质环境质量中等。

综上所述,矿区水文地质、工程地质和环境地质条件中等,属开采技术条件中等的(Ⅱ-4 类型)矿床。

2 采矿方法选择

国内外开采急倾斜薄矿体的方法主要有:浅孔留矿法、阶段矿房法、无底柱分段崩落法、自然崩落法、分段空场嗣后充填法和水平分层充填法等。

石良[12]在新疆某铁矿推广使用了深孔(中深孔)阶段矿房法,降低了采矿成本、提高了经济效益,验证了深孔(中深孔)在薄矿体中应用的可行性。孟庆学等[13]在矿体平均厚度仅为 2.02 m 的急倾斜矿山中进行中深孔阶段矿房法的工业试验,获得了较好的经济效益,证明了深孔采矿工艺在薄矿体中应用的先进性,但也着重强调了其中深孔孔深应严格限制在 15 m 以内,以避免深孔凿岩工艺的炮孔控制难题在薄矿体中更为明显。GUO Yanhui 等[14]通过数值模拟的方式对薄矿体矿山使用房柱法连续开采的参数进行优化,保证了房柱法在薄矿体深部采矿中的安全。

党建东等[15]通过中深孔预裂爆破将矿体与围岩剥离,实现了矿体边界控制良好的矿体自然崩落。张芫涛等[16]针对阶段机械化崩落法与大埋深矿体地应力难控制的矛盾,设计出小分段无底柱崩落法并在某大型深井锰矿进行工业试验,取得较好的经济效益。

YOU L 等[17]针对复杂赋存条件的急倾斜薄矿体提出了以分段空场嗣后充填法替代浅孔留矿法,生产能力均提升近 3 倍,生产成本也显著降低。

杜树浩等[18]、王志惠等[19]、童大志等[20]根据矿山实际工程技术条件设计分层充填法,相较于矿山原有采矿工艺均取得了较好的经济效益,但分层充填法成本较高、生产能力较低的缺点将这种方法的应用限制在高价值矿石矿山。

中直径深孔嗣后崩落法是以阶段空场法与阶段崩落法为基础,适应矿山实际的生产设备,结合长沙矿山研究院有限责任公司专项设计的小断面精细化中直径深孔潜孔钻机及其他智能化采矿设备与工

艺,最终设计出的高效采矿方法。

通过对国内外相似矿山采矿方法进行研究,经过采矿方法经济技术指标初选(见表 2)以及变权重理论改进模糊数学优选采矿方法,最终得出铁山垅黄沙矿区最优采矿方法为中直径深孔阶段嗣后崩落法。

表 2 采矿方法初选经济技术指标

Table 2 Primary selection of economic and technical indicators for mining methods

采矿方法	采场生产能力/(t/d)	采矿工效/(t/工班)	采切比/(m^3/kt)	矿石损失率/%	矿石贫化率/%	采矿生产成本/(元/t)
中直径深孔阶段崩落法	300	100	77.50	9.5	7.9	37.8
分段凿岩阶段崩落法	200	70	143.68	23.8	9.5	88.4
分段充填法	120	80	201.79	12.0	12.0	103.6
上向进路充填法	100	60	259.15	6.0	6.0	124.3

3 中直径深孔阶段嗣后崩落法试验方案

为使工业试验采场具有足够的代表性,根据黄沙矿区实际生产情况,尽量选择对矿山目前生产影响小、便于无轨设备行走的地段作为深孔阶段嗣后崩落法试验采场。经现场踏勘交流,选择位于黄沙矿区平面 175 线至 177 线之间,立面在 14 中段至 15 中段水平(192～142 m 水平)作为中直径深孔阶段嗣后崩落法试验采场。试验采场上方为分段凿岩阶段崩落法采空区,四周及下方均是尚未开采的矿岩实体。中直径深孔阶段嗣后崩落法标准矿块图如图 1 所示。

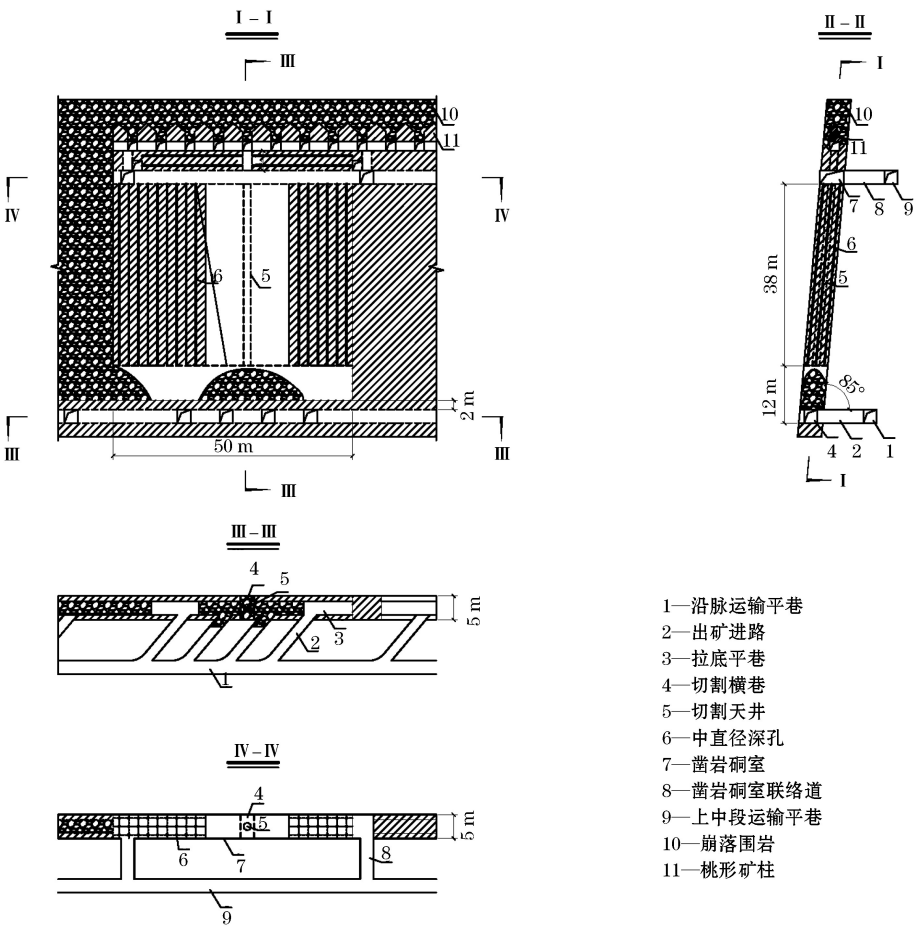


图 1 中直径深孔阶段嗣后崩落法标准矿块图

Fig.1 Standard block diagram of medium diameter long hole stage subsequent caving method

3.1 采场布置与结构参数

经过理论分析及 FLAC3D 数值模拟分析,结合试验采场实际工程技术条件,本试验采场沿矿体走向布置,倾向为 25°,倾角约为 85°,走向长 56 m,平均宽 5 m。采场东西两侧均留 4 m 厚的间柱,回采走向长约 48 m;因矿山实际生产状况及技术水平,采场底部结构确定为人工漏斗底部结构,试验采场留 12 m 厚的底柱。

3.2 采准切割

采准切割工程主要有凿岩联络巷、凿岩硐室、人行通风天井、回风联络道、矿石溜井、出矿进路、切割平巷、切割天井等工程。

在下部中段设单侧堑沟出矿底部结构,拉底高 12 m,堑沟式底部结构如图 2 所示。先沿矿块掘进东西向沿脉拉底平巷;后垂直拉底平巷在采场中部布置南北向切割横巷,使其穿透矿体 1.0 m 以上。自切割横巷顶板至上部中段,竖直向上施工切割天井。在采场另一侧穿脉顶板至凿岩硐室水平,竖直向上施工溜井(溜井仅用于采准施工时出渣,矿房回采时不出渣,只承担回风任务)。平行拉底平巷在矿体脉外 10 m 处掘进铲运机出矿平巷。沿出矿平巷每隔 10 m 掘进 3～4 条装矿进路至采场的拉底平巷,其与拉底平巷夹角为 45°。

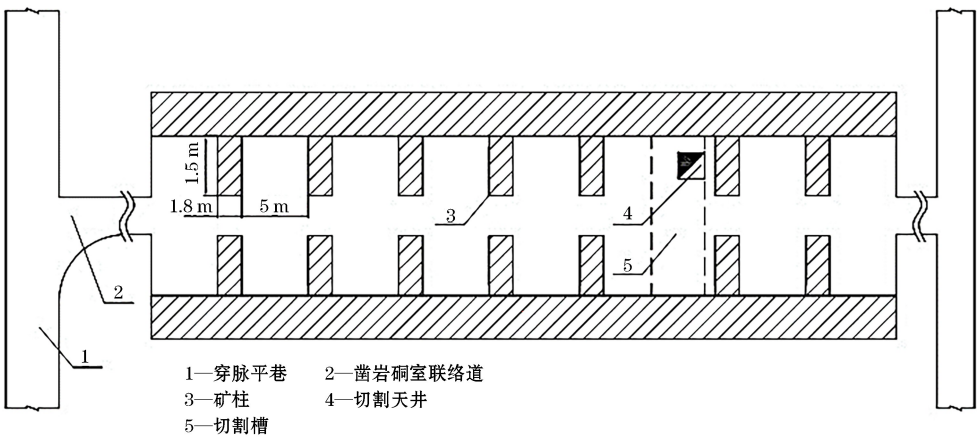


图 2 堑沟式底部结构

Fig.2 Trench bottom structure

上中段脉内运输巷利旧扩刷作为深孔凿岩硐室,如不可利用,则应在采准斜坡道至上中段以下 8～12 m 构造布置深孔凿岩硐室,用于中直径深孔凿岩装药和爆破作业。深孔凿岩硐室规格为 5.0 m×2.8 m 矩形断面,为确保凿岩硐室安全稳定,掘进宜采用光面爆破技术,在凿岩硐室两帮每隔 5 m 左右,留设 1 个 2～2.5 m 宽的点状矿柱支撑硐室顶板,并视硐室围岩特性采取喷锚网等支护措施。采准斜坡道采用 3.0 m×2.8 m 三心拱断面,直线坡度控制在－14%以内,弯道段坡度控制在－3%以内,直线段每隔 30 m 至少布置 1 个躲避硐室,弯道段每隔 15 m 至少布置 1 个躲避硐室,躲避硐室进深 1.5 m,采用 2.0 m×2.1 m 三心拱断面。采准斜坡道主要承担凿岩设备行走和进风任务,切割天井承担采场回风任务,人行通风天井主要承担人员上下及采场回风任务。

为确保低矮型 CS150H 潜孔钻机(3 364 mm×1 200 mm×1 825 mm)的凿岩精度,凿岩硐室的底板和顶板要尽量水平,避免出现弧形或凹凸不平。为便于在切割天井周边凿岩,将切割天井东西 3 m 范围内凿岩硐室断面扩刷。试验采场采切工程量见表 3。

表 3 试验采场采切工程量

Table 3 Quantity of cutting works in test stope

名称	断面规格/m	断面面积/m^2	长度/m	工程量/m^3
凿岩巷	2.2×2.4	4.94	76.0	375.44
人行通风天井进路	2.2×2.4	4.94	9.2	45.45
人行通风天井	3×1.5	3.87	7.5	29.03
联络巷	2×2	4.00	6.5	26.00
耙道	2×2	4.00	62.5	250.00
斗穿硐室	2×2	4.00	32.0	128.00
斗穿	2.5×2.5	6.25	40.0	250.00
拉底巷	3.2×2.5	7.24	56.0	405.44
回风斗联络巷	2×2	4.00	12.0	48.00
回风斗	2×2	4.00	4.0	16.00
合计			305.7	1 573.36

3.3 凿岩爆破

中深孔拉底凿岩采用 YGZ-90 型钻机配 Φ70 mm 钻头。自中深孔拉底巷中央切割井处开始拉槽爆破,在切割槽布置垂直向上中深孔,排距 1.5 m,间距 1.2 m,孔深 15 m,爆破形成切割立槽。以切割立槽为自由面由中央向两翼实施上向平行中深孔全断面侧向拉槽,孔间距 1.0～1.2 m,排间距 1.5 m。

中直径深孔凿岩选用低矮型 CS150H 潜孔钻机配 Φ90 mm 钻头,在凿岩硐室内凿下向垂直平行深孔,孔间距 1.5 m、孔排距 2.0 m,炮孔排面角 90°,炮孔倾角与矿体倾角一致,孔深约 21 m。先以孔间距 1.5 m、孔排距 2.0 m 在切割天井附近凿 4 排下向平行深孔,作为深孔切割拉槽炮孔。水孔采用 Φ70 mm 卷装乳化炸药,干孔采用多孔粒状铵油炸药。孔底设铁丝悬吊 Φ80 mm 堵头堵塞炮孔后灌砂 1.5 m 长;装完药后,孔口堵塞 2.0 m。孔内中部装双发毫秒延时导爆管雷(配孔底起爆具)起爆,自采场中央向两端,实行逐孔分段延时复式起爆。

3.4 采场出矿

除最初试验采场利旧采用电耙出矿外,后续试验采场采用铲运机出矿:每次爆破 2～3 排中直径深孔或 6～10 排中深孔。爆下的矿石集中在 V 形堑沟,采用 WJD-1 型 1 m^3 电动铲运机装矿,经出矿进路、出矿平巷(局部装矿点需刷大)后装 0.75 m^3 矿车,经主运输巷运输至地表选矿厂。

3.5 采场通风

爆破后掘进面通风时间大于等于 30 min,采场通风时间大于等于 2 h,经检查确定安全后方可进入爆破区作业。148 m 水平电耙道施工时,在回风天井形成通风回路前,其掘进作业面为独头巷道,为保证足够新鲜风流供给,需按要求布置局扇加强通风。14 中段深孔凿岩硐室是由原巷道扩刷而成,施工过程中不存在独头作业面情况,通风条件良好,但也应执行通风时间规定。

3.6 采场支护

凿岩硐室、出矿底部结构一般不需要支护,若遇局部不稳固地段,一般采用锚杆、锚网或锚喷网支护;防止上部采空区因爆破振动产生片帮、冒顶或落石的伤人事故。如现场揭露围岩极不稳定,普通支护手段不能确保巷道稳定时,应根据实际采取中钢支架、锚注、砌碹等支护手段。

3.7 采空区处理及矿柱回采

采空区处理方案可采用胶结充填法、尾石非胶结或废石充填法,因矿区充填系统暂未恢复,故暂时采用强制崩落围岩的方式对采空区进行处理。在这种采空区处理方式的基础下,矿柱回采采用崩落法后退回采。具体实施方案为待中直径深孔爆破完成后,在 14 中段电耙道中采用 YGZ-90 钻机施工上向扇形中深孔,在回风天井中施工水平深孔,炮孔排距为 1.0～1.2 m。中深孔和深孔推荐采用装药台车进行连续耦合装药,若不具备台车装药条件,亦可采用 BQF-100 装药器装药。爆破时采用孔底起爆,孔内双发毫秒微差导爆管雷管(配孔底起爆具),孔口用炮泥堵塞,填塞长度不小于 1.0 m。爆破时以中直径深孔采空区为自由面分 1～2 次完成全断面下向崩矿。

4 主要经济技术指标

试验采场主要经济技术指标见表 4。试验采场共崩落矿石 19 947.34 t,综合炸药单耗约为 0.80 kg/t,比原有的分段凿岩阶段崩落法炸药单耗 1.26 kg/t 低 36.5%;矿石平均损失率为 9.5%,与原有的分段凿岩阶段崩落法 23.8%相比,降低了 60%;试验采场矿石平均贫化率为 7.9%,与原有的分段凿岩阶段崩落法 9.5%相比,降低了 16.8%。试验采场的平均采切比为 77.50 m^3/kt,原有分段凿岩阶段崩落法的采切比为 143.68 m^3/kt,两相比较,降低了 46.1%。

表 4 试验采场主要经济技术指标

Table 4 Main economic and technical indicators of test stope

采矿方法	地质矿量/t	WO_3 品位/%	采矿损失率/%	采矿贫化率/%	采出矿量/t	采出 WO_3 品位/%	采出 WO_3 金属量/t	WO_3 回收率/%	选矿回收 WO_3 金属量/t	WO_3 精矿产量/t
中直径深孔阶段嗣后崩落法	20 300.00	0.43	9.50	7.90	19 947.34	0.40	79.18	78.00	61.76	95.02
分段凿岩阶段崩落法	20 300.00	0.43	23.80	9.50	17 092.38	0.39	66.51	78.00	51.88	79.82

采矿方法	采矿生产成本/(元/t)	选矿生产成本/(元/t)	管理费用/万元	营业费用/万元	总成本费用/万元	营业收入/万元	WO_3 精矿价格(不含税)/(万元/t)	利润总额/万元	净利润/万元	吨矿净利润/(元/t)
中直径深孔阶段嗣后崩落法	104.98	78.00	164.33	27.49	556.80	1 200.07	12.63	549.65	412.24	206.67
分段凿岩阶段崩落法	104.96	78.00	140.81	23.55	477.08	1 008.10	12.63	452.39	339.29	198.51

相较于分段凿岩阶段崩落法,采用中直径深孔阶段嗣后崩落法开采,试验采场多采出矿石量2 854.96 t,增加了16.7%,多采出WO_3金属量12.67 t,增加了19.0%;采场安全顺利出矿14 195 t,新增利润总额97.26万元,新增净利润72.95万元。

5 结论

经过接近两年的现场调研以及工业试验,基本验证了中直径深孔阶段嗣后崩落法在急倾斜薄矿体矿山使用的先进性和安全性,主要经济技术指标总结以及问题反思如下。

(1) 试验采场所采用的中直径深孔阶段嗣后崩落法具有安全高效、技术可靠、机械化程度高、劳动强度低、炸药单耗低的优点,为急倾斜薄矿体的高效开采提出了一个可行方案。

(2) 为解决中直径深孔采矿方法在薄矿体、岩石质量较差环境中的钻孔质量控制能力不足、钻孔成本较高的问题,将浅孔拉底技术变更为协同中深孔拉底技术,下向中直径深孔炮孔深度缩小为21 m,相较于浅孔拉底技术直接采矿成本降低了15%。试验采场矿石平均损失率为9.5%,与原有的分段凿岩阶段崩落法23.8%相比,降低了60%;试验采场矿石平均贫化率为7.9%,与原有的分段凿岩阶段崩落法9.5%相比,降低了16.8%。

(3) 试验采场的平均采切比为77.50 m^3/kt,与原有分段凿岩阶段崩落法的采切比143.68 m^3/k相比,降低了46.1%,采切比降低的原因主要是减少了大量的分段凿岩巷等巷道工程。

(4) 试验采场地质储量20 300 t,中直径深孔阶段嗣后崩落法采出矿石量19 947.34 t,相较于原分段凿岩阶段崩落法采出矿石量17 092.4 t,多采出矿石量2 854.96 t,增加了16.7%,多采出WO_3金属量12.67 t,增加了19.0%,试验采场进行工业试验期间,采场安全顺利出矿14 195 t,试验采场新增净利润72.95万元。

(5) 中直径深孔阶段嗣后崩落法在试验采场的工业试验成果证实了深孔爆破在急倾斜薄矿体中应用的可能性和前景。同时本次工业试验中也存在较多的不足,深孔凿岩过程中的钻孔控制难度较大,试验采场的底部结构的选择有待优化,出矿方式受条件限制使用电耙出矿,这些问题需要在后续的试验与反馈中优化改进,以实现中直径深孔采矿工艺在急倾斜薄矿体中的推广与应用。

参考文献(References):

[1] 甄彦龙,杨青峰,郅欣,等.自然资源技术标准在支撑"双碳"标准体系建设中的作用与挑战分析[J].中国标准化,2024(7):41-45.
ZHEN Yanlong, YANG Qingfeng, QIE Xin, et al. Analysis on the role and challenges of technical standards on natural resources in supporting the construction of standards system for China's dual carbon goals[J]. China Standardization, 2024(7):41-45.

[2] 王士强.金厂沟梁金矿井下削壁充填采矿场凿采合一作业组织研究[J].中国矿山工程,2020,49(2):15-20+28.
WANG Shiqiang. Study on the organization of the combined operation of cutting and mining in the lower wall cutting and filling stope of Jinchanggou Liang gold mine[J]. China Mine Engineering,2020,49(2):15-20+28.

[3] 杜鑫,王春龙.玲珑金矿急倾斜薄矿体开采工艺研究[J].中国矿山工程,2018,47(5):60-63.
DU Xin, WANG Chunlong. Study on mining technology of steeply inclined thin orebody in Linglong gold mine[J]. China Mine Engineering,2018,47(5):60-63.

[4] 吴礼军,韩晓亮,刘白璞.某钨矿急倾斜薄矿体采矿方法优选[J].金属矿山,2018(12):34-38.
WU Lijun, HAN Xiaoliang, LIU Baipu. Mining method optimization of sharply-inclined thin orebody of a tungsten mine[J]. Metal Mine,2018(12):34-38.

[5] 李永新,赵兴东,王庆磊,等.呼伦贝尔山金矿业极薄矿脉采矿工艺研究[J].有色矿冶,2021,37(3):19-22.
LI Yongxin, ZHAO Xingdong, WANG Qinglei, et al. Study on mining technology of extra-thin vein of shandong gold mining industry in Hulunbuir[J]. Non-ferrous Mining and Metallurgy,2021,37(3):19-22.

[6] 李元辉,丁跃跃,孔伟中,等.急倾斜薄矿脉开采技术现状与"采-选-充"协同开采新模式[J].金属矿山,2025(1):27-36.
LI Yuanhui, DING Yueyue, KONG Weizhong, et al. Current mining technology of steeply inclined thin vein and new cooperative mining model of "mining, selecting and charging"[J]. Metal Mines,2025(1):27-36.

[7] 唐学义,严鹏,汪志国,等.混凝土垫层削壁充填法在急倾斜极薄矿脉中的应用[J].现代矿业,2017,33(10):52-54+63.
TANG Xueyi, YAN Peng, WANG Zhiguo, et al. Application of the resuing stoping with concrete pad in steeply-inclined and extremely-thin veins[J]. Modern Mining,2017,33(10):52-54+63.

[8] 蔡勺钊.混凝土垫层削壁充填法在急倾斜极薄矿脉中的应用[J].世界有色金属,2018(6):259+261.
CAI Shaozhao. Concrete cushion resuing method in steeply inclined thin vein in application[J]. World Nonferrous Metals,2018(6):259+261.

[9] 张婷,邱廷省,李平,等.预选抛尾技术在钨选矿中应用的研究进展[J/OL].矿产综合利用:1-13[2024-06-19].http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1251.TD.20231020.1314.004.html.

ZHANG Ting, QIU Tingsheng, LI Ping, et al. Research progress on the application of pre-separation and tail dumping technology in tungsten beneficiation [J/OL]. Comprehensive Utilization of mineral Resources:1-13[2024-06-19]. http: kns. cnki. net/kcms/detail/51. 1251. TD. 20231020.1314.004.html.

[10] 刘志军,廖九波,蔡富春,等.复杂条件下急倾斜中厚矿体安全高效采矿方法研究[J].矿业研究与开发,2023,43(11):1-5.
LIU Zhijun, LIAO Jiubo, CAI Fuchun, et al. Research on safe and efficient mining method of steeply inclined medium thick orebody under complex conditions [J]. Mining Research and Development,2023,43(11):1-5.

[11] 刘志军,郭云鹏,谢火林,等.某钨矿中直径深孔采矿工艺试验采场爆破参数研究[J].中国锰业,2024,42(2):50-55.
LIU Zhijun, GUO Yunpeng, XIE Huolin, et al. Research on blasting parameters of a tungsten mine with medium diameter and long hole mining process test[J]. Manganese Industry of China,2024,42(2):50-55.

[12] 石良.深孔(中深孔)阶段矿房采矿法在金属矿床薄矿体中的应用[J].中国金属通报,2019(2):27+29.
SHI Liang. Application of long hole (Medium and long hole) stage house mining method in thin ore bodies of metal deposits[J]. China Metal Bulletin,2019(2):27+29.

[13] 孟庆学,宋德林,李朝民.中深孔阶段矿房采矿法在急倾斜薄矿体中的应用[J].黄金,2022,43(3):36-39.
MENG Qingxue, SONG Delin, LI Chaomin. Application of medium long hole staged ore room mining method to steeply inclined thin ore body[J]. Gold,202,43(3):36-39.

[14] GUO Yanhui, MIAO Yichen. Study on stope stability in continuous mining of long-dip, thin orebody by room-pillar method[J]. Sustainability,2022,14(15):9601-9601.

[15] 党建东,阚忠辉,董凯程,等.急倾斜薄矿体中深孔预裂爆破开采技术研究[J].有色金属(矿山部分),2022,74(1):1-4+25.
DANG Jiandong, KAN Zhonghui, DONG Kaicheng, et al. Study on long hole pre-splitting blasting mining technology in steeply inclined thin ore body[J]. Nonferrous Metals (Mine Section),2022,74(1):1-4+25.

[16] 张芫涛,林卫星,欧任泽,等.深埋复杂倾斜薄矿体高效回采方案研究[J].矿业研究与开发,2023,43(10):1-5.
ZHANG Yuantao, LIN Weixing, OU Renze, et al. Study on efficient mining scheme for deep-buried complex inclined thin orebody[J]. Mining Research and Development,2023,43(10):1-5.

[17] YOU L. Research on mining technology of steeply inclined thin ore body in high-grade content mine[J].IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 632(2):022038.

[18] 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.
DU Shuhao, WANG Ping. Selection and application of mining methods for steeply inclined broken and thin ore bodies in Chaihulanzi Gold Mine[J]. Gold, 2021, 42(9): 52-56.

[19] 王志惠,张传柱,朱明坤.上向水平分层干式充填采矿法在黑岚沟金矿的应用[J].黄金,2019,40(11):39-42.
WANG Zhihui, ZHANG Chuanzhu, ZHU Mingkun. Application of upward horizontal slicing dry filling mining method in Heilan'gou Gold Mine[J]. Gold, 2019, 40(11): 39-42.

[20] 童大志,朱根鹏,任国顺,等.红岭铅锌矿南西翼残留急倾斜薄矿体采矿方法优选及应用[J].黄金,2021,42(12):29-32.
TONG Dazhi, ZHU Genpeng, REN Guoshun, et al. Optimized selection and application of the mining method for the remaining steeply inclined thin ore bodies in southwest wing of Hongling Lead-Zinc Mine[J]. Gold, 2021, 42(12): 29-32.