分段中深孔嗣后充填采矿法在某多金属矿中的应用及优化*

王亚军[1]，王维[2]，陈寅[3]，廖敦霞[1]，赵海洋[2]，盛佳[1,4]，张海云[1]，李守强[5]

（1.长沙矿山研究院有限责任公司， 湖南 长沙 410012；
2.西藏华泰龙矿业开发有限公司， 西藏 拉萨 850200；
3.新疆喀拉通克矿业有限责任公司， 新疆 阿勒泰地区 836100；
4.金属矿山安全技术国家重点实验室， 湖南 长沙 410012；
5.新疆亚克斯资源开发股份有限公司， 新疆 哈密市 839000）

摘要：针对矿山井下部分采场布置区域位于破碎氧化带范围内，在生产过程中出现的顶板垮落和侧帮垮塌情况，以及分段中深孔采场底部留有落矿堑沟便于出矿，导致采场完成生产后，底部三角矿柱受较差充填体质量影响无法有效回采，造成资源极大浪费等开采技术难题。以某多金属矿为研究对象，通过现场调研、理论分析及参考同类型矿山经验，提出了喷锚网加长锚索注浆联合支护方案，对采场顶板进行预加固支护，以确保破碎氧化带范围内矿石的安全开采；同时优化了中深孔爆破工艺，通过补充浅孔实现无堑沟同排回采底柱的目的。工业试验结果表明：采用“预控顶加固＋补充浅孔同排回采底柱”的优化方案后，采场顶板稳定性及矿石资源回采率得到了显著提升，采场综合生产能力较原方案提高了21.54%，损失率及贫化率降低至8%，可在井下生产区域内推广应用。

关键词：破碎氧化带；分段中深孔嗣后充填采矿法；锚索注浆支护；底柱回采

中图分类号：TD853 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-2763(2026)02-0031-07

Application and Optimization of Sublevel Medium-Deep Hole Subsequent Filling Mining Method in a Polymetallic Mine

WANG Yajun[1], *WANG Wei*[2], *CHEN Yin*[3], *LIAO Dunxia*[1], *ZHAO Haiyang*[2], *SHENG Jia*[1,4], *ZHANG Haiyun*[1], *LI Shouqiang*[5]

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
2.Xizang Huatailong Mining Development Co., Ltd., Lhasa, Xizang 850200, China;
3.Xinjiang Kalatongke Mining Co., Ltd., Altay Prefecture, Xinjiang 836100, China;
4.State Key Laboratory of Safety Technology for Metal Mines, Changsha, Hunan 410012, China;
5.Xinjiang Yakesi Resource Development Co., Ltd., Hami, Xinjiang 839000, China)

Abstract: In view of the following mining technical challenges in underground mine operations: some stopes are laid out within the broken oxidation zone, giving rise to roof caving and sidewall collapse during production, in addition, ore caving trenches are reserved at the bottom of sublevel medium-deep hole stopes to facilitate ore drawing, which results in the failure of effective recovery of the triangular ore pillars at the stope bottom after mining completion due to the poor quality of backfill materials, thus causing enormous waste of mineral resources. A polymetallic mine was selected as the research object, through field investigation, theoretical analysis and reference to the experience of similar mines, a combined support scheme of shotcrete-bolt-mesh with long anchor cable grouting was proposed to pre-reinforce the roof of the stope to ensure the safe mining of ore in the range of broken oxidation zone. Meanwhile, the medium-deep hole blasting technology was optimized, and the goal of non-trench simultaneous row recovery of bottom pillars was achieved by supplementing short holes. The industrial test results show that after the adoption of the optimized scheme of “pre-controlled roof reinforcement + supplementary short-hole simultaneous row recovery of bottom pillars”, the stope roof stability and ore resource recovery rate are significantly improved, the comprehensive production capacity of stopes increases by 21.54% compared with the original scheme, and the loss rate and

* **收稿日期**：2024-11-28
基金项目：西藏自治区科技计划项目(XZ202502ZY0018-02)；深地国家科技重大专项项目(2024ZD1003804)；新疆“天山英才”第二批优秀工程师(陈寅)培养计划
作者简介：王亚军(1991—)，男，湖南岳阳人，硕士，高级工程师，主要从事金属矿山采矿工艺研究工作。E-mail:648324460@qq.com
通信作者：廖敦霞(1997—)，男，湖南隆回人，硕士，工程师，主要从事金属矿山采矿工艺研究工作。E-mail:1300760755@qq.com

dilution rate are reduced to 8%, which can be popularized and applied in the underground production area.

Key words: Broken oxidation zone, Sublevel medium-deep hole subsequent filling mining method, Anchor cable grouting support, Bottom pillar mining

0 引言

某多金属矿赋存矿体属近水平极厚大矿体,现阶段基本采用分段中深孔嗣后充填采矿法,该方法在稳固矿岩条件下应用效果较好,采场生产能力大、机械化程度高、安全性好、劳动强度低,能够满足现阶段生产需求。但是井下一部分矿石资源在破碎氧化带范围内,破碎氧化带区域以矽卡岩为主,矿岩较为破碎,该区域布置的分段中深孔采场采准巷道工程需进行锚杆+金属网+喷浆的支护措施才能够进行机械设备及人员施工作业,且中深孔穿孔后孔内易掉入碎屑,影响装药爆破进程。破碎氧化带区域采场生产完成后形成空场,受较差矿岩条件及生产过程中爆破扰动影响,空区顶板有一定程度垮冒,破坏了上分段采场底部结构,影响其顺利投产,空区侧帮也有一定程度的垮落,造成采场形态不规整,影响相邻两侧采场后续正常生产,造成井下采场整体生产过程中贫损指标增加。

该矿石井下分段中深孔采场均留有堑沟底部结构,有助于提高出矿效率。按照政策要求,矿山地表不允许塌陷,井下不能留有较多的采空区,因此,大部分采场生产完后都会进行充填处理。而矿山充填设备较为老旧,充填料浆运输距离长,且易受高寒高海拔地区的其他不利因素影响,导致采场充填质量不佳,影响后续矿柱回采,易造成矿柱资源损失,不利于矿山长远发展。

在破碎矿岩开采及支护方面,王亚军等[1]针对甲玛铜多金属矿破碎氧化带的开采技术难点,提出了下向大直径中深孔与上向扇形孔联合的空场嗣后充填采矿法,能有效控制采场顶板及侧帮垮落,优化采场作业环境。黄敏等[2]针对倾斜中厚矿体开采中存在的地表塌陷、贫损指标大、顶底板垮塌严重等难题,提出了采场内不留间柱的分段凿岩阶段空场嗣后充填采矿法,经现场应用,开采难题得到了有效缓解,效果良好,可在同类矿山中推广应用。郭鸿德等[3]针对破碎矿体或深部高地应力坚硬矿体进行了采场的数值模拟及理论分析研究,并设计了一种"分次成井+单次侧向爆破"的切割槽形成方法。李元辉等[4]针对急倾斜薄矿脉生产效率低、作业环境差、矿石贫损指标大等问题,提出了薄矿脉井下"采-选-充"协同开采的新模式,并采用中深孔落矿形式,降低了贫化指标,节约了运输成本。在底柱回采方面,林尧[5]以贵州紫金矿业簸箕田1金矿遗留的底部矿柱资源开采为工程背景,提出采用浅孔钻机对底部凿岩巷两侧进行优化炮孔设计,并与原方案进行对比分析,工业试验结果表明,该优化方案能明显改善底部矿柱回采平整度,采矿出矿效率也随之提高。

针对破碎矿岩开采条件,支护技术应用与矿柱回采直接影响矿山开采安全性及矿石贫损指标。对此,需采用工艺安全、经济合理的支护技术和工艺保障生产安全,制定技术可行的矿柱回采方案,以提高矿石资源回采率,为矿山可持续发展提供技术支撑。

1 现有采矿方法

根据某多金属矿井下矿体赋存情况和现有开采技术条件,结合矿山产能要求,经过研究和论证后确定采用分段中深孔嗣后充填采矿法,该采矿方法具有采场生产能力大、机械化程度高、安全性好、劳动强度低、综合成本较低等优点,适合该矿井下矿体厚大且吨矿价值不高的情况,分段中深孔嗣后充填采矿法示意如图1所示。

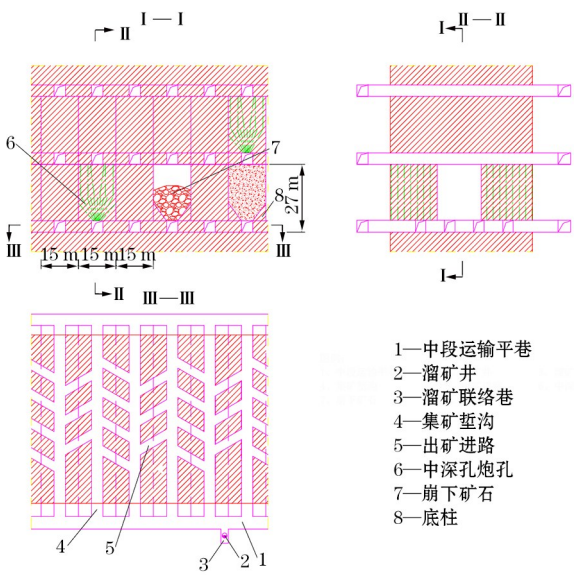


图1 分段中深孔嗣后充填采矿法示意

Fig.1 Schematic of sublevel medium-deep hole subsequent filling mining method

结构参数：采场长 50 m，宽 15 m，高 20～27 m，盘区间柱宽 8 m，不留顶柱，底部留有落矿堑沟。

采准切割：采场采准切割工程包括布置于采场正中间的凿岩巷道、联通相邻两侧采场的出矿进路、设于采场中间的切割横巷、位于切割横巷端头的切割天井，以及采场上方的充填联巷。

矿石回采工艺：在凿岩巷道内使用 simba1354 凿岩台车施工上向扇形中深孔，实际边孔角为30°～35°(小于矿石自然安息角)，确保崩落矿石可顺利铲装。中深孔炮孔距顶板 0.5～1 m，距侧帮 0.8～1.5 m，炮孔孔径为 80 mm，炮孔排距为 2.0～2.2 m，孔底距为 2.2～2.4 m，使用装药台车填装粉状乳化炸药，装药系数为 0.75。回采作业从采场中间向两侧后退式回采。

支护：破碎氧化带区域的采准巷道均采用喷锚网支护，以保障人员和设备安全。

采场充填：在上分段采场两端的充填联巷内布置充填管路，一步骤采场底部用 1∶4 充填料浆充填 4 m 高度，中间用 1∶6 充填料浆，顶部浇面用 1∶4 充填料浆，浇面高度为 1 m；1∶4 充填料浆凝固后的峰值强度为 0.8 MPa，1∶6 充填料浆凝固后的峰值强度为 0.5 MPa，充填体质量差，二步骤采场充填体强度更低。

主要技术经济指标：采场生产能力为 650 t/d，损失率为 15%，贫化率为 10%，炸药单耗为 0.6 kg/t，采切比为 2.84 m/kt，采矿综合成本为 239.60 元/t。

2　现有采矿方法生产过程中存在的问题

采用分段中深孔嗣后充填采矿法进行回采时存在以下主要问题。

(1) 充填体强度不高，揭露后空场均有垮塌情况，具体表现为顶板垮落和侧帮垮塌。现场实测结果表明，侧帮垮塌情况尤为严重，主要归结于爆破扰动次数多，空场空置时间较长；受较差矿岩条件、中深孔炮孔超深、上分段凿岩巷道等因素影响，尽管已预留了一定距离的顶柱，但一步骤采场顶板大部分区域还是存在一定程度的垮冒。

(2) 底柱留设导致 10%的资源浪费，该矿山井下采场尺寸为长 50 m、宽 15 m、高 20～25 m(与分段高度一致)，采场中间凿岩巷道断角规格为 4.2 m×3.9 m，中深孔炮孔边孔角均 35°。根据现有分段中深孔采场开采现状，计算可得留存底柱的结构参数为：中心高度为 7.5 m，宽度为 10.8 m，两侧边高度为 3 m，底柱赋存现状如图 2 所示。

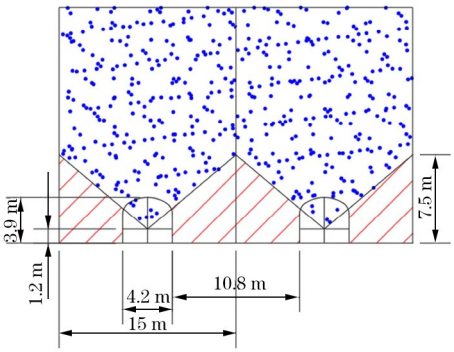


图 2　底柱赋存现状

Fig.2　Occurrence status of bottom pillar

3　采矿方案优化研究

针对上述采矿方法存在的问题，结合国内外类似矿山的采矿方法实践经验，在该铜多金属矿的井下开采现状、地质条件与开采技术的基础上，以切实解决矿山现存难题、满足实际生产需求为目标，同时考虑技术经济性、矿岩稳固性中等至较差等特点，提出两种有效的解决途径。

(1) 针对生产采场矿岩条件较差、节理裂隙发育且爆破扰动大，导致上分段凿岩巷道两侧三角矿柱位置存在一定程度垮落现象的问题，在采场顶部布置扇形炮孔，留设一定厚度的顶柱，利用其自然冒落成拱的特性来提高采场矿石回采率，从而改善顶板围岩应力，防止侧帮垮塌、顶板冒落等现象的发生。同时，为进一步保障上分段凿岩巷道的完整性及作业人员的安全，对部分极破碎矿岩的上分段底部和凿岩巷设计采用预控顶支护方案。

(2) 针对中深孔采矿底柱留设资源浪费问题，若采用中深孔回采底柱，可能导致充填体垮落，风险较大；若采用进路法回采底柱矿石资源，经过经济效益测算，现存底柱回采时只可产生 26 219.5 元的净利润，且该方法回采底柱矿石资源时的作业效率较低，不建议采用该方法对现存底柱资源进行回采。综合考虑后采用底柱同排同采的方案。

3.1　预控顶支护方案

针对破碎氧化带区域内采用分段中深孔嗣后充填采矿法开采的采场，在开采过程中上分段凿岩巷道两侧存在一定程度垮落的情况，该方案提出在现有采矿方法应用的基础上，对采场顶部凿岩巷道周边施工锚索注浆预先加固，确保下分段采场开采过程中，采场顶板不会出现大范围的垮塌，从而保障生

产安全。预控顶分段中深孔嗣后充填采矿法示意如图 3 所示。

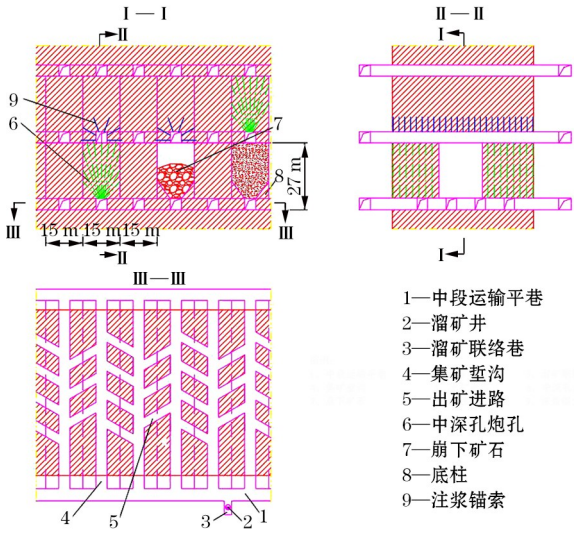
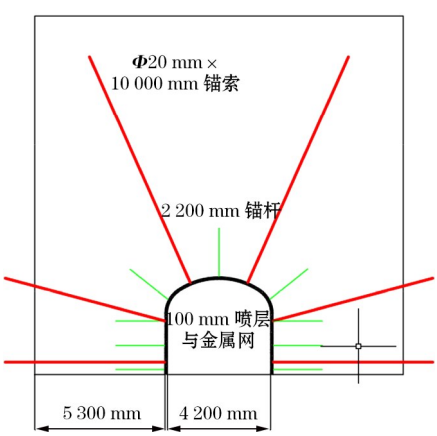


图 3　预控顶分段中深孔嗣后充填采矿法示意

Fig.3　Schematic of pre-controlled roof sublevel medium-deep hole subsequent filling mining method

3.1.1　预控顶支护工艺

采准和切割工程施工完毕后，需对采场顶板实施预先加固措施，以保障采场全生产周期的人员及设备安全。下分段采场作业前，上分段采场底部凿岩巷道已进行喷锚网支护处理，但受限于井下采场大部分生产区域矿岩条件较差，上分段采场凿岩巷道两侧三角矿柱区域在下分段采场生产过程中容易出现垮落，导致部分喷锚网支护失效、脱落。考虑到矿山实际生产情况，在现有喷锚网支护基础上，提出增设注浆锚索方案，重点加强凿岩巷道顶部及两侧三角矿柱区域的支护强度，以保障下分段采场的作业安全。顶板注浆锚索参数为：长度 8～10 m(向相邻采场施工长度为 6～7 m 的锚素)，直径 20 mm，间距 2.35 m。喷锚网联合锚索支护设计如图 4 所示。



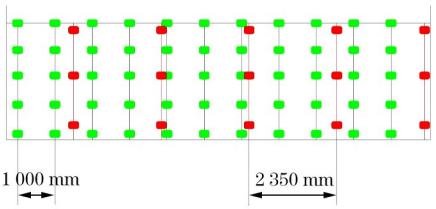


图 4　喷锚网联合锚索支护设计

Fig.4　Support design of sprag anchor net combined anchor cable

待预控顶支护工程完工后，进行采场凿岩爆破工作，喷锚网联合锚索支护施工流程如图 5 所示。

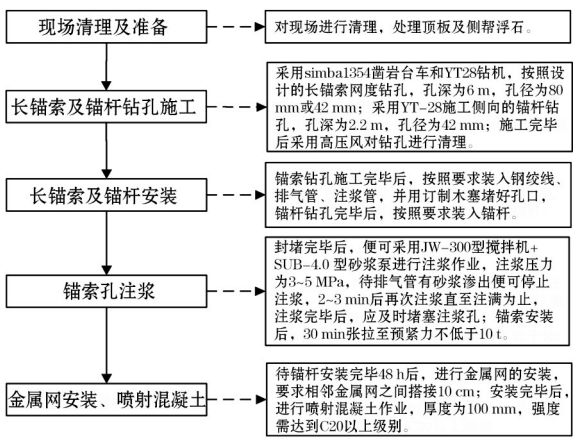


图 5　喷锚网联合锚索支护流程

Fig.5　Support process of spray anchor net combined anchor cable

3.1.2　矿石回采工艺

(1) 切割槽形成。利用 simba1354 凿岩台车，在凿岩巷道内施工上向扇形中深孔。钻头规格为 Φ76 mm，排距为 1.5 m，孔底距为 1.0 m。首排炮孔与切割天井保持 1 m 的距离，利用该天井作为爆破的自由面与补偿空间。通过装药台车将炸药装填至中深孔内，并确保每次使用炮泥堵塞孔口，封堵长度不少于 50 cm。采用孔底起爆的方式，每孔底部装入两发导爆管雷管。首次爆破以切割天井为自由面，一次爆破两排，后续视情况一次爆破 2～3 排。为避免一次爆破药量过大，采用微差爆破技术，爆破后迅速清理矿石，确保后续爆破有充足空间。切割槽形成后，采用后退式回采工艺，以切割槽为自由面向采场两端推进。再次使用 simba1354 型凿岩台车进行上向扇形中深孔施工。根据需要调整钻头直径与排距、孔底距参数，确保采场内炮孔施工的连续性。炸药装填与封堵操作同前述流程一致。首次爆破以切割槽为自由面，仅爆破一排，后续根据矿岩特

性和供矿需求,灵活调整爆破排数。同样采用微差爆破技术控制药量,爆破后及时清理矿石。

(2) 采场出矿。矿石出矿工作通过 ACY-4H 及 WJ-4 型遥控铲运机完成。该设备可灵活进出各巷道,实现矿石的高效运输。崩落矿石通过盘区溜井、有轨运输或卡车等多种方式运送至地表。

(3) 采场通风。新鲜风流通过 4450 平硐口、斜坡道及联络巷道,最终进入凿岩巷道和采场。污风则经探矿巷道或上分段凿岩巷道进入回风巷,最终排出至地表。

(4) 采场充填。在竖直方向按高度分区设定充填体配比,一步骤采场底板以上 7 m 区域采用 1∶4 配比充填体,保障底部高强度与快速凝结性能;中部区域采用 1∶6 配比充填体,确保充填体整体稳定自立,避免二步骤采场揭露时垮落;顶板以下 3 m 区域采用 1∶4 配比充填体,保障后续设备及人员作业安全,防范陷落风险。二步骤采场底板以上 7 m 区域采用 1∶6 配比充填体,满足基础承载需求;中部区域采用 1∶8 或 1∶10 配比充填体,确保充填体自凝成型,无明显沉降;顶板以下 3 m 区域采用 1∶6 配比充填体,保障作业面安全稳定,杜绝陷落隐患。此外,要求 1∶4 配比充填体 28 d 抗压强度≥2 MPa;1∶6 配比充填体 28 d 抗压强度≥1.5 MPa。充填管路布置于采场上分段凿岩巷道(巷道高度为 4.2 m),两端各设 1 个下料口,保障充填作业效率。在充填过程中需注意控制充填速度与高度,确保充填挡墙的稳固性及安全性。

(5) 主要技术经济指标。采场综合生产能力为 750 t/d(计充填综合生产能力),采场开采损失率为 8%,贫化率为 8%,采切比为 2.81 m/kt,采矿综合成本为 242.29 元/t。

3.2 底柱同排回采方案

底柱同排回采方案是在现有分段中深孔采场排面炮孔布置的基础上,在采场底部三角矿柱区域补充施工中深孔和浅孔炮孔。中深孔炮孔施工采用 simba1354 型凿岩台车,凿岩中心高度为 1.9 m,钻头直径为 76 mm,炮孔排面左右两侧边孔仰角约 6°。三角矿柱其他区域则采用水平浅孔爆破,选用 YT-28 钻机,钻头直径为 38 mm。采场爆破采用中深孔逐排爆破方式,每次爆破一排中深孔及对应排面范围内浅孔,中深孔排面采用排间微差爆破,分两段起爆,浅孔与中深孔第二段同步爆破。爆破完成后,采场底板形成平底结构,采用遥控铲运机进行出矿,出矿进路和凿岩巷道均作为出矿通道。底柱同排回采标准方案示意如图 6 所示,采场排面炮孔布置如图 7 所示。

底柱同排回采的主要优势为:

(1) 回采率高,新的排面炮孔布置形式能够实现采场三角矿柱的高效回采,凿岩巷道及出矿进路均可作为出矿通道供遥控铲运机出矿,避免了采场充填后再对三角矿柱进行回采的难题;

(2) 中深孔与浅孔联合的施工作业形式,其施工组织管理难度低,现场作业人员对中深孔及浅孔施工工艺较为熟悉,因而施工效率较高。

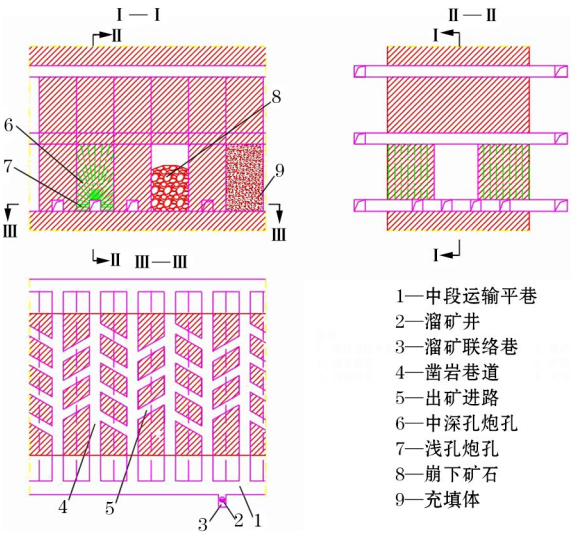


图 6 底柱同排回采标准方案示意

Fig.6 Schematic of the standard scheme of the same row mining of the bottom column

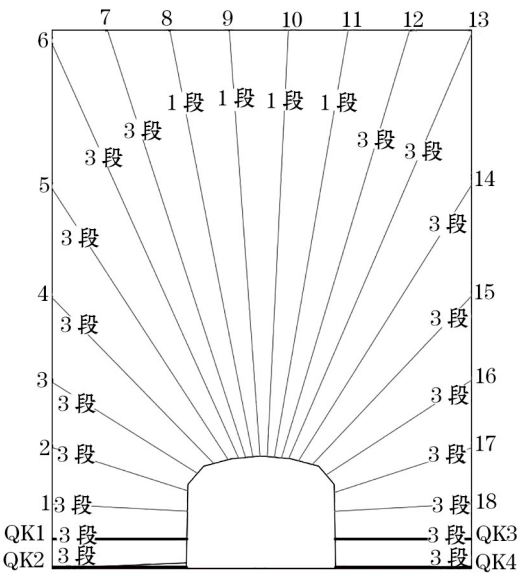


图 7 底柱同排回采排面炮孔布置

Fig.7 The blasthole layout of the same row mining face of the bottom column

除底柱区域采用 YT-28 钻机施工水平浅孔外,切割槽形成、采场出矿、通风及充填等工艺均与前述预控顶方案一致。浅孔钻头直径为 38 mm,浅孔排距分别为 0.64～1.10 m,孔底距为 1.0 m,采场内所有中深孔炮孔可一次性连续凿设完成,浅孔按单次爆破范围分段施工,仅施工当期爆破所需浅孔。装药台车中深孔采用装填炸药,装药完成后用炮泥封堵孔口,堵塞长度不小于 50 cm,浅孔采用手工装卷方式装药。采用孔底起爆方式,中深孔炮孔孔底装入 2 发导爆管雷管,雷管置于起爆弹内,浅孔内装入 1 发导爆管雷管。

4 工业试验

对上述提出的优化方案进行工业试验,试验采场垂直矿体走向布置,矿房长 50.8 m,宽 13.0 m,高 27.0 m,共布置有 7 个采场预控顶进行矿石回采试验。井下实施效果表明,增加“注浆锚索+喷锚网”联合支护后,上分段采场凿岩巷道两侧三角矿柱区域在下分段采场生产过程中均未出现垮塌、冒落等情况,凿岩巷道内喷锚网也未出现掉落现象,预控顶效果较好;同时对现场底柱进行浅孔爆破同排回采试验,上盘加固后,围岩基本保持稳定,未出现冒落情况,采用遥控铲运机出矿,有效保障了采场作业人员安全。综上可知,在该铜多金属矿开采破碎矿体时,预控顶及底柱同排回采方案既能保证采场顶板的稳定性,又能提高矿石资源的回采率,延长矿山服务年限。现场统计的 7 个试验采场的主要经济技术指标见表 1。

表 1 主要技术经济指标

Table 1 Main technical and economic indexes

方案	综合生产能力(计充填)/(t/d)	损失率/%	贫化率/%	采切比/(m/kt)	采矿直接成本/(元/t)	采矿综合成本/(元/t)
优化方案	790	8	8	2.81	43.54	242.29
原方案	650	15	10	2.84	40.85	239.60

由表 1 可知,现场实施预控顶方案后,采场生产能力提高至 790 t/d,较原方案提高了 21.54%,损失率及贫化率仅为 8%,较原方案大幅降低,采矿综合成本为 242.29 元/t,虽较原方案略有上升,但相较于其他技术经济指标的显著优势,其影响可忽略不计。综上分析认为,该优化方案具有良好的经济效益,可作为高海拔破碎矿体大规模开采的有效技术路径。

5 结论

(1) 针对现场破碎矿体开采困难的问题,提出了喷锚网加长锚索注浆联合支护方案对采场顶板进行预加固的支护措施,该方案确保了顶板预加固支护条件下的作业安全性,提高了机械化程度,降低了施工作业人员的劳动强度,使矿山生产能力提升,采切比降低,通风条件有所改善。

(2) 针对中深孔底柱资源无法回采造成浪费的问题,提出了底柱同排回采方案。该方案通过改变分段中深孔采场炮孔排面布置,采用中深孔与浅孔联合的布孔方式,不仅降低了施工组织管理难度,还提高了矿山生产效率,有效回采了三角矿柱矿石资源,建议在该矿山井下开采区域推广应用。

(3) 现场工业试验结果表明,采用该优化方案后,采场综合生产能力提高至 790 t/d,相比原方案提高了 21.54%,损失率及贫化率大幅降低,采矿综合成本达 242.29 元/t,较原方案提高了 2.69 元/t。可在高海拔破碎矿体的大规模井下开采生产区域推广应用。

参考文献(References):

[1] 王亚军,李向东,李强,等.高海拔大型铜多金属矿采矿方法优化及生产设备配套选择[J].矿业研究与开发,2022,42(8):14-18.
WANG Yajun, LI Xiangdong, LI Qiang, et al. Optimization of underground mining methods and selection of supporting production equipment in high-altitude large copper polymetallic mine[J]. Mining Research and Development, 2022,42(8):14-18.

[2] 黄敏,王晓军,邱纪香,等.倾斜中厚矿体阶段空场嗣后充填采矿工艺优化研究[J].矿业科学学报,2024,9(4):483-492.
HUANG Min, WANG Xiaojun, QIU Jixiang, et al. Optimization of mining method for stage open-stoping with backfill ofinclined medium-thick orebody[J]. Journal of Mining Science and Technology,2024,9(4):483-492.

[3] 郭鸿德,万串串,刘立顺,等.充填体下高分段中深孔采场一次成槽技术研究与应用[J].有色金属(矿山部分),2024,76(4):59-66+80.
GUO Hongde, WAN Chuanchuan, LIU Lishun, et al. Research and application of one-step slotting technology for high sublevel medium-deep hole stoping under backfill[J]. Nonferrous Metals (Mining Section),2024,76(4):59-66+80.

[4] 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 situation of mining technology of sharply inclined thin veins and new model for “mining-selection-filling” synergistic mining[J].Metal Mine,2025(1):27-36.

[5] 林尧.浅孔平底结构在中深孔采场底柱回收中的应用[J].采矿技术,2024,24(3):61-64.
LIN Yao. Application of shallow hole and flat bottom structure in bottom column recovery of medium-deep hole stope[J]. Mining Technology,2024,24(3):61-64.

[6] 席政,湛娇,席德美,等.中深孔房柱开采嗣后充填采矿法采场安全稳定性研究[J].采矿技术,2023,23(3):61-65.
XI Zheng, ZHAN Jiao, XI Demei, et al. Research on stope safety and stability of medium and long hole chamber and pillar mining with subsequent filling mining method[J]. Mining Technology,2023,23(3):61-65.

[7] 张宝,吴亚飞,王玉丁,等.基于老尾矿再选的采空区协同治理与矿柱资源回采研究[J].矿业研究与开发,2023,43(9):1-6.
ZHANG Bao, WU Yafe, WANG Yuding, et al. Research on collaborative management of goaf based on old tailings reconcentration and extraction of pillar resource[J]. Mining Research and Development,2023,43(9):1-6.

[8] 黄德镛,高聪,贾子月,等.多中段空区稳定性分析及间柱回采顺序优选[J].有色金属工程,2023,13(6):105-114.
HUANG Deyong, GAO Cong, JIA Ziyue, et al. Stability analysis of multiple mid-section goaf areas of a mine and optimization of the order of inter-column recovery[J]. Nonferrous Metals Engineering,2023,13(6):105-114.

[9] 朱斌,张柏春,李晓辉,等,东塘子铅锌矿矿柱回采方案研究及应用[J].矿业研究与开发,2022,42(6):5-8.
ZHU Bin, ZHANG Baichun, LI Xiaohui, et al. Study and application of pillar recovery scheme in Dongtangzi lead-zinc mine[J].Mining Research and Development,2022,42(6):5-8.

[10] 陈祉颖,刘志祥,李夕兵,等.残矿矿柱回采方案数值模拟与优化研究[J].中南大学学报(自然科学版),2022,54(6):2150-2161.
CHEN Zhiying, LIU Zhixiang, LI Xibing, et al. Numerical simulation and optimization of recovery scheme for residual ore pillars[J].Journal of Central South University(Science and Technology),2022,54(6):2150-2161.

[11] 朱晨迪,朱胜利,江科,等.某钼矿矿柱回采方案及采场结构参数优化研究[J].矿业研究与开发,2024,44(5):1-8.
ZHU Chendi, ZHU Shengli, JIANG Ke, et al. Pillar recovery scheme and stope structure parameter optimization of a molybdenum mine[J]. Mining Research and Development,2024,44(5):1-8.

[12] 龙卫国,何建元,谭宝会,等.无底柱分段崩落法采场下盘残留矿石回采方式研究及应用[J].矿业研究与开发,2023,43(12):1-7.
LONG Weiguo, HE Jianyuan, TAN Baohui, et al. Research and application of recovery method of footwall residual ore of stope with non-pillar sublevel caving method[J]. Mining Research and Development,2023,43(12):1-7.

[13] 程超,孙远江,万孝衡,等.大规模采空区矿柱回采方法研究[J].采矿技术,2023,23(5):1-5.
CHENG Chao, SUN Yuanjiang, WAN Xiaoheng, et al. Research on pillar mining method in large-scale goaf[J]. Mining Technology,2023,23(5):1-5.

[14] 张庆旭,李士超,黄海,等.中深孔回采工艺在珊瑚钨矿极薄破碎矿脉组开采中的应用[J].采矿技术,2023,23(5):60-62.
ZHANG Qingxu, LI Shichao, HUANG Hai, et al. Application of medium-deep hole mining technology in the mining of extremely thin broken vein group in Shanhu Tungsten Mine[J].Mining Technology,2023,23(5):60-62.

[15] 代涵,张金钟,邢鹏,等.缓倾斜中厚破碎矿体上向中深孔分条空场嗣后充填法[J].中国有色金属,2023(增刊1):136-139.
DAI Han, ZHANG Jinzhong, XING Peng, et al. Upper middle-deep hole division open-stope subsequent filling method for gently inclined medium-thick broken ore body[J]. China Nonferrous Metals,2023(Suppl.1):136-139.

[16] 马凯,徐海波,孙唯衡,等.某磷矿采矿方法优选研究与实践[J].矿业研究与开发,2024,44(2):6-13.
MA Kai, XU Haibo, SUN Weiheng, et al. Research and practice on mining method optimization of a phosphate mine[J]. Mining Research and Development,2024,44(2):6-13.