

铜矿空场法转充填法采矿方法

高志龙¹, 冯明浩²

1. 云南金诚信矿业管理有限公司, 云南 昆明 650501

2. 金诚信矿业管理有限公司南方分公司, 云南 昆明 650501

DOI:10.61369/ETQM.2025080002

摘要： 本文研究目的在于分析铜矿开采阶段如何实现空场法向充填法的有效转换，从而利用充填法解决空场法的弊端，提升生产效率同时提升环保效益。研究阶段，本文基于文献阅读、铜矿开采技术材料分析对空场法、充填法进行技术介绍。随后，指出铜矿开采阶段空场法转充填法的技术缘由，并从采场结构优化等维度入手分析如何实现空场法向充填法的顺利转换。期望本文可为我国金属矿业企业提供技术借鉴与指导价值，在推动生产效益提升同时降低对环境的负面影响，推进绿色生产目标的落实。

关键词： 空场法；充填法；采场结构优化；回采顺序；技术衔接

Mining Method of Copper Ore Empty Field Method to Filling Method

Gao Zhilong¹, Feng Minghao²

1. Yunnan Jinchengxin Mining Management Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650501

2. Southern Branch of Jinchengxin Mining Management Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650501

Abstract： The purpose of this paper is to analyze how to effectively convert the empty field method to the filling method in the copper mining stage, so as to solve the disadvantages of the empty field method by using the filling method, improve production efficiency and improve environmental benefits. In the research stage, this paper introduces the empty field method and filling method based on literature reading and copper mining technology and material analysis. Then, the technical reasons for the empty field method to filling method in the copper mining stage are pointed out, and how to realize the smooth conversion from the empty field method to the filling method is analyzed from the dimensions of stope structure optimization. It is hoped that this paper can provide technical reference and guidance value for our country's metal mining enterprises, promote the improvement of production efficiency while reducing the negative impact on the environment, and promote the implementation of green production goals.

Keywords： empty field method; filling method; stope structure optimization; mining order; technology connection

引言

铜矿开采期间，掌握从空场法向充填法采矿转换技术，对于采矿效率、环境保护而言均十分必要。空场法开采后，矿山内会留下大量采空区，随着开采规模的逐渐扩大，采空区稳定性将逐渐受到影响，容易引发地表塌陷问题，在威胁安全生产同时造成矿石损失，并对周边环境带来消极影响^[1]。对比空场法、充填法可以有效解决这些问题，空场法开采后，对采空区填充砂石、尾砂等材料可有效增强采场围岩的稳定性，减少采空区地表变形概率并提高资源回收率，降低铜矿石贫化率。同时，在国家环保要求、监管工作日益严格的趋势下，对空场法后的采空区使用充填法，可对矿山废弃物实现资源化利用，降低对环境的污染，推动开采单位实现绿色开采目标，助力矿山的可持续发展^[2]。

一、空场法与充填法分析

(一) 空场法

空场法隶属传统金属采矿工艺下的典型代表，该方法的核心逻辑是利用矿岩自身稳定性打造临时的开采空间，随后使用阶段

性回采形成矿房、矿柱交替形式的立体结构，矿房负责承担矿石的采出，矿柱则作为支撑体系负责维持采场的稳定性。

空场法开展金属矿产开采的技术优势在于工艺流程高度简洁，同时机械化程度较高，开采单位可利用凿岩台车、铲运机等机械设备开展高效作业，该方法高度适合矿石、围岩稳固性良

好的矿床^[3]。开采阶段,若节理裂隙发育程度较低、矿体完成,使用空场法能够降低支护结构设置的成本。然而,随着开采深度不断增加,地压活动会逐渐加剧,且在矿柱支撑能力逐渐下降影响下采空区通常会存在大面积垮塌的风险。同时,该开采方式之下矿柱资源往往会永久保留、难以回收,矿石损失率通常可达到10%以上,采空区所残留的矿石在长期氧化背景下容易引发对环境的污染,矿业企业对于采空区后续的处理也需支付高额的施工成本^[4]。

(二) 充填法

相比空场法,充填法作为“置换支撑”作为核心理念的作业方式,其原理是利用人工构建的充填体来代替空场法下的矿柱承载围岩带来的压力,让采场实现“动态平衡”。作业期间,充填法会将采矿流程分解为回采→循环填充的模式,矿石采出后立即使用废石、尾砂等材料对采空区域进行填充,构建侧壁支撑结构与假顶,并且所使用的充填体的力学性能,可以基于配比优化实现精准的调控,如此不仅可以满足采场对稳定性刚提出的要求,亦可降低地表沉降概率,并规避采空区后续可能的环境污染问题^[5]。

二、铜矿空场法转充填法的缘由分析

在铜矿开采领域,空场法使用期间向充填法的转换并非孤立因素所推动,而是多种因素综合作用的矿业企业选择结果。这一转变,其本质除了是技术迭代的体现,同时也是行业应对复杂各维度挑战的主动选择。

首先,安全风险是驱动开采技术转换的首要因素。空场法开采后会形成铜矿大面积采空区,随着使用空场法的开采深度增加以及时间推移,顶板、侧壁稳定性均会逐渐恶化,冒顶、片帮等各类安全事故的风险指数会随之上升。此刻转换为充填法,能够有效控制开采区域的地压,为后续继续的开采作业打造一道安全屏障,降低灾难性事故概率^[6]。

其次,资源回收效率的提升也是技术转换的关键硬线各因素。早期使用空场法开采的形式,对于矿岩稳固性要求十分严苛,部分复杂地质条件下的矿体往往难以支持空场法的作业。此刻根据地质条件的变换转换为充填法,利用支撑结构来代替自然矿岩承载,可以对空场法下难以触及的薄矿脉、低品位矿段实现有效,推动资源回收率的提升,从而延长矿山的服务年限,充分释放矿山的潜在经济价值。

最后,成本效益的动态变化也是推动开采技术转换的动因。铜矿早期使用空场法,可以凭借该技术较低成本、施工便捷的优势占据主导。然而随着开采规模的不断扩张,矿山企业需要面临采空区治理、安全防护等隐性成本攀升带来的压力。这一背景下将空场法转换为充填法,在实现技术革新基础上可以利用优化充填料配比、创新输送工艺来有效控制开采生产成本,并且将废石、尾砂进行井下回填亦可以显著减少地表堆存成本以及面向废料的环保处理成本,形成铜矿全新经济优势^[7]。

三、铜矿空场法转充填法采矿的技术策略

铜矿开采生产期间,空场法转充填法采矿的技术策略,集中于对采场结构的优化、充填系统的建设、回采顺序调控以及注重对技术衔接的过渡。

(一) 采场结构优化

在铜矿开采期间,空场法向充填法转型阶段采场结构优化为首要关键环节。这一过程,矿业企业技术单位需根据矿体的具体赋存条件、矿石物理力学性质以及当前企业拥有的开采设备规格对采场参数重新进行设计^[8]。

针对倾斜中厚矿体,技术单位可将传统空场法开采模式下的的大跨度矿房向小分段分条回采结构调整,设计阶段可将分段高度控制在8m~12m,分条宽度则应严格依据矿体的稳定性设置,通常为3m~5m,此举可有效减少采场暴露的面积,降低地压活动的风险。在矿柱设计阶段,技术单位可摒弃空场法内永久性矿柱的形式,使用“间隔式矿柱”结合“人工假顶”的组合模式。矿柱宽度可从空场法模式下8m~10m缩减到4m~6m,矿柱间距应增大至15m~20m,充分利用充填体对采空区进行及时支撑,如此既可保证采场的稳定性,亦可达到提高矿石回采率的功效。与此同时,技术单位应优化采准工程的布置,将脉外巷道、脉内巷道融合,其中脉外巷道用于通风、行走以及运输,脉内巷道则作为回采作业的通道,如此可有效缩短矿石的运输距离。

此外,设计阶段,技术单位可创新型引入三维建模技术,专门针对采场结构开展动态模拟分析,利用FLAC3D数值计算软件对不同采场结构参数下的应力分布、变形情况进行数字化模拟,帮助生产单位确定最优的采场结构方案。特别是对于复杂地质条件的区域,更应基于数字化模拟的形式对矿体破碎带等区域适当缩小分段高度、分条宽度,进一步提升采场的稳定性。

(二) 建设充填系统

建设高效、可靠充填系统是实现空场法转充填法的技术核心。首先,企业应根据矿山的实际情况来合理选择充填材料,具体必选阶段应优先采用尾砂为主要骨料,在此基础上合理添加水泥、凝胶以及粉煤灰等,确保充填后可以形成稳固的胶结充填体。这一过程下,为确保提高尾砂的利用率,增强充填体强度,应通过试验的形式来确定最佳配比。通常,推荐尾砂:水泥比例为8:1~10:1,水灰比推荐控制在0.6~0.8范围。

设计充填系统工艺流程阶段,需注重系统的自动化水平与连续性。设计期间,可采用全尾砂管道输送的形式,构建尾砂储存→搅拌→输送→采场充填的完整生产线。其中,尾砂储存环节配置高效浓密机实现尾砂脱水处理,提升尾砂浓度至65%~75%水平,降低尾砂输送过程中对管道、设备的磨损以及作业能耗。搅拌环节,使用双轴强制式搅拌机来充填材料均匀混合,有效提高充填体的质量。输送管道推荐采用耐磨陶瓷复合管材料,管径可根据输送流量、浓度合理选择,通常推荐位150mm~200mm,保证充填材料可以顺利向采场输送。在此基础上,引入智能化充填控制系统,以传感器获取数据形式实时监测充填材料的流量、压力、浓度参数,且基于总线技术同中央控制

系统相连,实现系统化的自动调节、预警,一旦充填材料输送阶段出现管道堵塞、浓度异常,系统可以及时调整设备的运行参数或快速发出警报。

(三) 调控回采顺序

合理调控回采顺序,是保证技术转型周期下矿山维持安全生产、资源高效回收的技术举措。这一过程,可采用“隔一采一,自下而上”的回采顺序,对下部矿体优先开采,从而为上部矿体的回采作业提供良好应力环境。每个分段中,要求生产队伍按照分条顺序开展间隔回采,先采中间分条,后采两侧分条,确保充填体有充足的时间到达预期设计强度,实现对低压活动的有效抑制^[9]。

在回采生产过程中,要求生产单位严格控制一次回采暴露的面积与时间。面对稳定性较好的矿体,应控制单次回采距离在15m之内,暴露时间应在7天之内。在面对稳定性较差矿体期间,则应控制单次回采距离在8m~10m,暴露时间不可超过5天,并且需保证充填作业的及时性,以充填体强度增长的规律为依据来确定合理的充填间隔时间。通常,建议在充填后3~5天开展下一分条的回采作业,保证充填体的强度可以有效支撑采场的围岩。具体分析,对于不同矿体稳固条件下的关键参数,应参照表1调控回采方案:

表1 不同矿体稳固条件下的回采参数

技术参数	不稳固矿体	稳固矿体	中等稳固矿体
单次回采距离/m	≤8	≤15	10~12
暴露面积/m ²	≤40	75~100	50~70
暴露时间/day	≤3	≤7	≤5
相邻分条作业前充填体强度要求/%	70	70	70

(四) 技术衔接的过渡

实现铜矿空场法与充填法的技术的无缝衔接过渡,矿业企业需制定科学、合理的过渡技术方案。

首先,过渡期内,需要保留部分空场法采场并继续开展回采作业,与此同时,逐步开展充填法采场的建设工作,形成空场法、充填法并行作业的局面。针对即将结束空场法开采的采场,

再利用充填法进行矿柱回收、空区处理,这一过程核心思路在于避免空区长期存在而引发安全隐患。

其次,设备配置期间,应结合两种采矿方法各自的需求来合理调配设备资源。操作阶段,可将空场法应用的凿岩台车、电耙等设备逐步向适合充填法的设备进行改造或更换,例如遥控铲运机、锚杆钻机。这一过程也需建设充填专用设备,如充填泵、搅拌机,保证采场设备配套齐全,满足充填法采矿工艺提出的要求。

再次,技术转换过渡期间的人员培训,同样是技术衔接过渡之重要环节。矿业企业应组织矿山技术人员、生产队伍操作人员参与充填法采矿技术专项培训,确保人员充分掌握充填系统操作方法、采场结构设计原则、回采顺序控制等一系列专业知识、技能,提高设计、参与者对全新采矿方法的适应能力。

最后,矿业企业应建立完善的技术转换管理体系。例如,可制定充填法采矿技术规范、操作规程,高度明确各个工作岗位的职责、技术操作流程。同时,在转型之前,在明确转型计划后应进一步加强技术创新、研发,针对转型过程中可能出现的技术难题,提前组织技术团队就企业当前技术水平、设备情况、矿山环境进行多维度分析,不断优化采矿工艺以及技术参数,保证铜矿空场法向充填法转型工程的顺利推进^[10]。

四、结束语

综上所述,本文聚焦于铜矿开采阶段空场法向充填法的转换技术研究。在对两项开采技术、技术转化缘由进行分析后,贯穿空场法转充填法的整个工艺流程,深度探讨采场结构优化策略、建设充填系统策略、调控回采顺序策略以及技术衔接的过渡要点。参照本文,可对我国铜矿开采企业生产期间的技术转换作出有效指导,充分发挥充填法替代空场法的优势,即提升开采效率,促进安全生产以及降低环境污染,为矿业企业的可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 鲍敏,常德才,刘鹏鹏,等.丰山铜矿分段空场嗣后充填采矿法采场充填体稳定性研究[J].采矿技术,2025,25(2):69-73.
- [2] 王正奇,李广涛,廉柏栋.拉拉铜矿“蟹沟式”分段空场嗣后充填采矿法及胶结矿柱结构参数研究[J].采矿技术,2023,23(3):34-37.
- [3] 陈志强,王红心.低分段空场小步距嗣后充填法在某铜矿的应用[J].采矿技术,2023,23(4):193-195.
- [4] 李云飞.有底柱分段崩落法转充填采矿法在胡家峪铜矿的应用[J].能源与节能,2023(12):97-101.
- [5] 黄德铺,贾子月,吕世玮,等.基于正交设计试验方案的云南某铜矿采场结构参数优化研究[J].有色金属工程,2023,13(4):111-119.
- [6] 赵兴东,周鑫,田斌,等.西藏帮中铜矿采场结构参数优化[J].矿冶工程,2023,43(4):12-15.
- [7] 胡建钊.某铜矿采场结构参数优化[J].采矿技术,2023,23(1):7-11.
- [8] 张纯锋,付琛,杜双成,等.丰山铜矿中深孔爆破参数优化研究[J].采矿技术,2024,24(5):157-161.
- [9] 高进.基于均匀实验的萨热克铜矿嗣后充填参数数值模拟研究[J].中国矿山工程,2023,52(1):16-21.
- [10] 莫静,曹易恒,田长林,等.不同矿体厚度二步骤空场嗣后充填采场宽度优化研究[J].采矿技术,2023,23(6):180-186.