

# Optimization of mining processes and technologies

Zhuofeng He

Zhejiang Jianhui Mining Construction Group Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325800, China

## Abstract

This paper systematically discusses the mining processes and technical optimization paths of metallic and non-metallic ores. Metal mining focuses on large-scale and automated operations, enhancing resource recovery rates and environmental compatibility through intelligent equipment and advanced processes. Non-metallic mineral mining focuses on the protection of the physical and chemical qualities of minerals, emphasizing low-damage processes and customized production. The two develop in a coordinated manner in general technologies such as digital monitoring, and due to the differences in resource attributes and value orientations, they form their own innovative directions, jointly promoting the transformation of the mining industry towards a modern model that is efficient, intensive, green and sustainable.

## Keywords

Metal ore Mining technology; Technical optimization “Process improvement”

# 开采工艺与技术优化

何卓锋

浙江建辉矿建集团有限公司, 中国·浙江温州 325800

## 摘要

本文系统论述了金属矿与非金属矿的开采工艺与技术优化路径。金属矿开采以规模化、自动化为核心,通过智能装备与先进工艺提升资源回收率及环境相容性;非金属矿开采则聚焦矿物物理化学品质保护,强调低损伤工艺与定制化生产。二者在数字化监控等通用技术上协同发展,又因资源属性与价值导向差异形成专属创新方向,共同推动矿业向高效集约、绿色可持续的现代化模式转型。

## 关键词

金属矿; 开采工艺; 技术优化; 工艺提升

## 1 引言

矿业开发作为基础性产业,其开采工艺与技术的持续优化对提升资源利用效率、保障安全生产及促进可持续发展具有核心意义。本文系统剖析金属矿与非金属矿的开采技术体系,深入探讨其差异化优化路径:金属矿聚焦规模化开采与资源综合回收,非金属矿则强调矿物品质保护与低损伤工艺。通过对比分析两类矿产的工艺特性与技术演进趋势,旨在为矿业集约化、智能化与绿色化转型提供系统性参考框架。金属矿产是人类生存和发展的重要物质基础,是国家安全与经济战略资源的重要保证,其中关键金属矿产资源尤为突出,成为当代大国博弈的焦点。

## 2 金属矿开采工艺与技术优化

### 2.1 当前金属矿开采工艺概述

当前金属矿开采工艺主要依据矿床地质条件分为露天

开采与地下开采两大类。露天开采适用于矿体埋藏较浅、覆盖层较薄的矿区,通过大规模剥离表土和围岩,使矿体直接暴露于地表,进而采用台阶式开采方式进行作业。该方法通常利用牙轮钻机或潜孔钻机实施钻孔作业,随后通过精密爆破技术破碎矿岩,再借助大型电铲或液压铲进行装载,最后采用重型卡车或带式输送系统完成运输。露天开采具有生产效率高、成本可控的优点,但易造成土地扰动和生态环境影响。地下开采则针对埋藏较深或地表条件复杂的矿床,通过开拓竖井、斜井或平巷等工程进入矿体,并采用空场法、留矿法或充填法等技术手段。作业过程中,首先使用凿岩台车或手持凿岩机进行钻孔,然后实施控制爆破以破碎矿石,随后利用铲运机或装岩设备将矿石装入矿车,最终通过机车牵引或连续输送系统将矿石运至地表。地下开采需配套通风、排水和地压管理设施,以保障安全生产。总体而言,金属矿开采的核心技术环节涵盖钻孔、爆破、装载与运输。钻孔环节旨在为爆破创造临空面;爆破环节通过能量释放实现矿岩破碎;装载环节利用机械化设备收集松散物料;运输环节则确保矿石高效转移至处理场地<sup>[1]</sup>。这些环节相互衔接,

**【作者简介】**何卓锋(1988-),男,中国河南汝阳人,本科,工程师,从事金属非金属矿山开采施工研究。

形成了金属矿开采的基本工艺流程，为后续技术优化奠定了实践基础。

## 2.2 技术优化方向

金属矿开采工艺的技术优化方向主要体现在三个关键领域：自动化与智能化装备应用、资源回收率提升工艺以及环境影响减缓技术。在自动化与智能化装备应用方面，现代矿山正逐步引入无人驾驶矿车、智能钻机等设备，通过物联网技术实现设备间的协同作业，显著提升开采效率与安全性。例如，基于AI算法的爆破参数优化系统可实时分析岩体结构，动态调整钻孔深度和装药量，使爆破效果提升20%以上。资源回收率提升工艺则聚焦于贫矿资源的高效利用，采用生物浸出、高压辊磨等先进技术，将传统工艺中难以回收的低品位矿石纳入开采范围，部分矿山已实现资源综合利用率达65%到85%的跨越。环境影响减缓技术通过干式除尘、尾矿干堆等创新工艺，有效降低粉尘污染和水资源消耗，同时采用生态修复技术对采空区进行植被恢复，使矿山生态恢复周期缩短30%-40%。这些优化方向共同构成了金属矿开采技术升级的核心路径，为行业可持续发展提供了技术支撑<sup>[2]</sup>。

## 2.3 优化实施路径

### 2.3.1 数据驱动决策系统

金属矿开采工艺优化的核心实施路径之一是构建数据驱动决策支持系统。该系统通过整合地质勘探、生产运营、设备状态等多源数据，建立矿山数字孪生模型，实现开采过程的动态模拟与智能决策。具体而言，系统采用物联网技术实时采集钻孔深度、岩体结构、爆破效果等关键参数，通过机器学习算法分析历史数据与实时数据的关联性，自动生成最优开采方案。例如，基于岩体稳定性预测模型，系统可动态调整爆破参数，将矿石块度合格率提升15%-20%。此外，系统还具备资源储量动态评估功能，通过三维地质建模与开采进度数据的融合，实现矿体边界的精准圈定，使资源回收率提高3-5个百分点。该系统的实施不仅降低了人工决策的主观性偏差，还通过数据闭环反馈机制持续优化开采策略，形成“监测-分析-优化”的智能循环<sup>[3]</sup>。

### 2.3.2 参数精细调控

工艺参数精细化调整是金属矿开采技术优化的另一关键路径。该技术通过对钻孔、爆破、破碎等环节的物理参数进行毫米级控制，实现开采效率与资源回收的双重提升。在钻孔环节，基于岩体硬度分布数据，智能钻机可自动调整转速、进给压力等参数，使钻孔垂直度偏差控制在0.5°以内，显著提高爆破效果均匀性。爆破参数优化方面，采用多目标遗传算法计算装药量、起爆时序等变量，在保证安全性的前提下将矿石破碎合格率提升至85%以上。运输环节则通过装载机斗容与卡车载重的动态匹配算法，减少设备空载率，使运输效率提高20%-30%<sup>[4]</sup>。这种参数精细化调整不仅需要高精度传感器网络的支持，更依赖于工艺知识库的持续积

累，通过将专家经验转化为可量化的控制规则，实现开采工艺的持续迭代优化。

## 3 非金属矿开采工艺与技术优化

### 3.1 非金属矿开采工艺特点

非金属矿开采工艺具有独特的技术特点与特殊要求，其核心在于适应不同矿物特性的开采方法以及对矿物完整性和纯度的严格控制。在开采方法上，主要采用机械切割、水力开采等工艺，这些方法能够根据矿物物理特性进行针对性选择。机械切割适用于硬度较高的非金属矿，通过精密刀具实现矿体分离，可有效控制矿物块度；水力开采则适用于松散沉积型矿体，利用高压水流实现矿物采集，能最大限度保持矿物原始形态。与非金属矿开采相比，非金属矿开采更注重矿物完整性保护，需避免开采过程中的结构破坏，确保矿物形态符合后续加工要求。同时，纯度控制是核心工艺指标，开采过程中需通过分级筛选、气流分选等手段有效分离杂质，保证矿物品质满足工业标准。这些特殊性要求决定了非金属矿开采需要采用更为精细化的工艺参数和设备选型，以满足不同矿物的定制化生产需求<sup>[5]</sup>。

### 3.2 技术优化重点

非金属矿开采的技术优化重点集中于低损伤开采工艺创新、能耗与成本控制技术以及废物资源化利用方案。在低损伤开采工艺方面，核心目标是最大限度保护矿物晶体或岩体的天然完整性，研发与应用精密切割技术成为关键，例如采用金刚石串珠锯配合导向系统进行大理石、花岗岩等饰面石材的分离，或应用高压水射流技术进行高纯度矿物开采，以显著提高高价值规格荒料的成材率。与此同时，能耗与成本控制贯穿于开采全过程，通过优化切割路径、改进刀具材料以延长使用寿命、引入变频驱动技术匹配设备负载，实现单位产量能耗的有效降低；并借助集约化生产规划与供应链管理，压缩非生产性开支。对于开采及加工过程中产生的碎屑、边角料等固体废物，则着力发展分类收集与资源化利用方案，如将石材废料加工为人造石骨料或建材填料，将非金属矿尾矿用于土壤改良或环保建材生产，从而变废为宝，减少堆存占地与环境污染，推动产业向循环经济模式转型。这些优化重点共同指向了非金属矿开采在保障矿物品质前提下的精细化、低碳化与可持续发展<sup>[6]</sup>。

### 3.3 优化案例分析

基于公开的行业实践，非金属矿开采的技术优化成效在高效分选技术集成与开采过程数字化监控方面得到具体体现。在高效分选领域，针对非金属矿对矿物纯度的特殊要求，行业正将分选环节前移并与开采过程紧密耦合。例如，在部分石膏、石英或长石矿的开采中，已在现场集成应用基于高光谱成像或X射线透射技术的智能分选系统。该系统对破碎后的原矿进行实时在线检测，快速识别并利用高压气动装置精准剔除含杂质组分，显著提升入选矿石品位，从源

头减少后续加工能耗与废料产出。在开采过程监控方面,数字化系统构建了全面感知网络。通过部署于采场的传感器、无人机巡检及设备嵌入式监测单元,实现了对机械切割轨迹、设备工作状态、能耗数据以及矿石流向的全程动态追踪与集中管理<sup>[7]</sup>。该平台不仅支持生产调度的实时优化与成本精细管控,还能对边坡稳定、岩层位移等安全关键参数进行预警,为评估低损伤开采效果和资源回收率提供了精准的数据基础,成为驱动非金属矿开采提质增效与安全绿色转型的核心支撑。

## 4 金属矿与非金属矿优化策略比较

### 4.1 工艺优化侧重点差异

金属矿与非金属矿由于资源禀赋、产品价值导向及下游需求的不同,其工艺优化的战略侧重点存在显著差异。金属矿开采的核心目标在于实现规模经济效益与金属元素的高效回收。优化策略通常围绕扩大单套系统生产能力、提升装备大型化与自动化水平展开,旨在通过集约化生产降低单位矿石的采选成本。技术研发重点集中于如何通过先进爆破、高效磨选及湿法冶金等技术,从低品位、复杂共伴生矿体中最大限度地提取目标金属元素,提高综合回收率<sup>[8]</sup>。

而非金属矿的开采优化则更侧重于保障矿物产品的物理化学品质与满足客户的定制化需求。许多非金属矿物的价值直接取决于其晶体结构完整性、块度、白度或化学成分稳定性。因此,工艺优化首要目标是创新应用机械切割、水力开采等低损伤方法,最大限度保护矿物天然属性,避免因爆破等剧烈手段导致价值贬损。同时,生产流程需具备高度灵活性,能够根据订单要求精确控制产品的粒度、纯度等指标,实现从标准原料到高附加值专用材料的定制化生产<sup>[9]</sup>。这种差异本质上是资源导向型开采与市场导向型开采在不同产业领域的鲜明体现。

### 4.2 技术协同与差异化应用

在技术协同与差异化应用层面,金属矿与非金属矿开采既存在共性技术需求,又衍生出各自独特的创新方向。通用性技术,如遥感监测、地理信息系统及物联网平台,在不同矿种的开采中均发挥着重要作用,但其具体应用需根据行业特点进行适应性调整。例如,遥感监测在金属矿领域更侧重于大范围的地质构造识别与矿区沉降监测,而在非金属矿开采中则更注重高精度地物分类以监控开采边界与复垦效果。

行业专属创新方向呈现出明显差异。金属矿开采的技术创新高度聚焦于深部资源安全高效开采、难处理矿石的经

济选别以及多金属综合回收等挑战,旨在突破资源禀赋的制约。其研发重点包括智能岩爆预警、高压辊磨节能粉碎以及生物冶金等技术。非金属矿开采的创新则更集中于矿物物理属性的保护与提升,致力于开发定制化产品。专属技术方向包括高精度无损切割、矿物表面改性修饰以及针对特定用途的粒度与形状控制技术等<sup>[10]</sup>。这种基于行业本质需求的技术发展路径,既体现了共性基础技术的支撑作用,也凸显了差异化创新在推动各自产业升级中的核心价值。

## 5 结论

综上所述,金属矿与非金属矿的开采工艺与技术优化虽因资源属性与价值导向不同而各有侧重,但均共同趋向于智能化、精细化与绿色化的发展路径。金属矿优化重在通过自动化装备与先进回收工艺实现规模效益与资源高效提取;非金属矿则聚焦于低损伤开采与品质控制以满足定制化需求。未来,以数据驱动为核心的决策支持系统与精准工艺调控将成为共性关键技术,推动矿业整体向安全、高效、环境友好的可持续方向纵深发展。

### 参考文献

- [1] 郭超.深部金属矿地质资源勘探的关键技术突破与实践[J].冶金与材料,2024,5(5):6-65.
- [2] 陆玉根;肖益盖;杨家冕;罗润泽;王星.基于超临界CO<sub>2</sub>射流破岩的地下硬岩矿山非爆连续开采模式研究与展望[J].中国矿业,2023,2(4):57-75.
- [3] 郝雪弟;杨建;鲁自横;葛世荣;唐硕.大规模地下金属矿装备智能调度数字孪生关键技术[J].金属矿山,2022,4(6):57-85.
- [4] 刘军.矿山采矿技术优化与金属矿开采效率提升策略研究[J].世界有色金属,2023,7(5):4-84.
- [5] 王小刚;陈子豪.露天金属矿多阶段联合开采技术研究[J].冶金与材料,2022,3(5):63-72.
- [6] 王连成;邵安林;曲福明;岳星彤;王怀远.金属矿山开采技术发展现状与展望[J].工程科学学报,2024,2(78):36-632.
- [7] 黄爽.地下金属矿采场设备作业计划多目标优化模型及应用研究[J].中南大学,2023,26(5):52-56.
- [8] 杨天鸿;孙东东;胥孝川;刘洪林;解联库.新疆大型露天矿绿色安全高效开采存在问题及对策[J].采矿与安全工程学报,2022,4(7):73-722.
- [9] 魏慧.三山岛金矿-645m中段无人采矿试验采场开采工艺研究[J].东北大学,2023,4(9):53-325.
- [10] 陈泉.建国以来我国金属矿采矿技术的进展与未来展望[J].科学技术创新,2024,3(17):84-286.