

# 矿物洗选加工技术在矿石资源综合利用中的应用研究

敖建东

山东枣庄市滕州市西岗镇蒋庄煤矿选煤厂

DOI:10.12238/gmsm.v8i4.2235

**[摘要]** 随着全球矿石资源供需矛盾加剧与生态环保要求提升,矿石资源综合利用成为破解资源短缺、减少环境污染的关键路径,而矿物洗选加工技术作为资源高效利用的核心支撑,其创新与应用直接决定资源综合利用的质量与效率。本文从矿物洗选加工技术的内涵出发,系统梳理该技术的核心范畴,深入分析当前矿石资源综合利用在缓解资源压力、降低环境负荷、提升经济价值等方面的必要性。在此基础上,结合行业实践与技术创新趋势,从多组分协同回收、低品位矿石高效利用、尾矿与废石资源化、智能化与绿色化升级等方面,提出矿物洗选加工技术的具体应用策略,旨在为矿石资源综合利用实践提供技术参考,推动矿业行业向资源高效化、生产绿色化、效益最大化转型,助力实现矿业可持续发展。

**[关键词]** 矿物洗选加工技术; 矿石资源; 综合利用; 多组分回收; 绿色矿业; 智能化升级

中图分类号: X751 文献标识码: A

## Research on the Application of Mineral Washing and Processing Technology in the Comprehensive Utilization of Ore Resources

Jiandong Ao

Jiangzhuang Coal Preparation Plant, Xigang Town, Tengzhou City, Zaozhuang City, Shandong Province, China

**[Abstract]** As global supply-demand imbalances in mineral resources intensify and environmental protection requirements rise, comprehensive utilization of mineral resources has become a critical pathway to address resource shortages and reduce environmental pollution. As the core support for efficient resource utilization, the innovation and application of mineral washing and processing technologies directly determine the quality and efficiency of comprehensive resource utilization. This paper begins with the connotation of mineral washing and processing technologies, systematically reviews their core categories, and conducts an in-depth analysis of the necessity of comprehensive mineral resource utilization in alleviating resource pressure, reducing environmental burdens, and enhancing economic value. Building on this foundation, it proposes specific application strategies for mineral washing and processing technologies from the perspectives of multi-component synergistic recovery, efficient utilization of low-grade ores, resource recycling of tailings and waste rock, as well as intelligent and green upgrades. The aim is to provide technical references for comprehensive mineral resource utilization practices, promote the transformation of the mining industry toward resource efficiency, green production, and maximized benefits, and contribute to achieving sustainable development in the mining sector.

**[Key words]** Mineral washing and processing technology; Ore resources; Comprehensive utilization; Multi-component recovery; Green mining; Intelligent upgrading

### 前言

近年来,我国先后出台《矿产资源综合利用示范工程管理办法》《关于加快推进工业领域资源全面节约和循环利用的指导意见》等政策,明确将矿物洗选加工技术创新作为推动矿石资源综合利用的重点任务。然而,当前行业实践中仍存在技术瓶颈,如低品位矿石洗选效率低、共伴生矿物分离难度大、智能化水平不足等问题,制约了资源综合利用的规模化推进。因此,深入研

究矿物洗选加工技术的内涵与特征,结合行业需求提出针对性应用策略,对突破技术瓶颈、提升矿石资源综合利用水平具有重要的理论与实践意义。本文基于当前矿业发展现状与技术趋势,系统分析矿物洗选加工技术在矿石资源综合利用中的应用路径,为行业实践提供可借鉴的方案。

### 1 矿物洗选加工技术的内涵

矿物洗选加工技术是指根据矿石中有用矿物与脉石的物理

性质,如密度、磁性、导电性、颜色、形状、表面化学特性、溶解性等化学性质或物理化学性质差异,采用一系列工艺方法与设备,实现有用矿物分离、提纯、富集,同时回收共伴生资源、减少固废排放的技术体系。其核心目标是最大化提取有用组分、最小化产生环境负荷,涵盖预处理、分选、提纯、固废处理的全流程,具有针对性强、多技术融合、绿色化导向的显著特征。

## 2 矿石资源综合利用的必要性

### 2.1 缓解资源供需矛盾,保障资源安全供给

全球矿石资源储量分布不均,高品位、易选冶矿石储量持续下降,低品位、共伴生矿石成为主要开采对象,若仍然采用传统的粗放式利用方式,将会造成大量的有用资源流失,加剧资源供需矛盾<sup>[1]</sup>。如果不通过矿物洗选加工技术提高低品位矿石的利用效率、回收共伴生资源,容易造成大量资源闲置浪费,进一步加大对外依赖度。通过矿石资源综合利用,可大幅提升资源利用率。一方面,利用洗选加工技术处理低品位矿石,可将原本无法利用的低品位资源转化为可利用的精矿产品。另一方面,通过多组分协同回收技术,可从共伴生矿石中回收多种有用资源。

### 2.2 减轻矿业环境负担,促进绿色矿业发展

矿石资源综合利用通过减量化、资源化、无害化处理,可以大幅降低矿业的环境负荷。一是通过洗选加工技术提高资源回收率,减少固废产生量;二是通过尾矿、废石资源化技术,把固废转化为有用产品;三是通过绿色洗选技术,如废水循环利用、低毒药剂,减少新鲜水消耗和污染物排放,大幅降低对水资源的依赖和环境的污染。矿石资源综合利用是矿业由高消耗、高污染、高排放向低消耗、低污染、低排放转变,实现绿色矿业发展的主要途径<sup>[2]</sup>。

### 2.3 提升矿业经济价值,促进产业转型升级

矿石资源综合利用通过深加工和多组分回收,能够显著提高矿业的经济价值。一方面,通过洗选加工把原矿变成高品位精矿,提高产品附加值,同时降低后续冶炼环节的能耗和成本,主要原因在于高品位精矿冶炼时还原剂用量少、能耗低、杂质去除难度小。另一方面,通过回收共伴生资源,形成主矿产和伴生矿产结合的多元化产品体系,拓展收入来源,降低市场风险。此外,通过尾矿、废石资源化利用,可以创造新的经济增长点。增加经济价值能给矿业公司带来更多资金推动技术创新和产业升级,促使矿业由粗放式开采向精细化加工和高效利用转型,促使矿业产业向价值链高端发展<sup>[3]</sup>。而资源综合利用所引发的产业升级又能推动上下游企业生产活动发展,使洗选设备制造、固废资源化产品加工等相关企业的创造能力得到加强,促使整个产业生态链条发展,进而为区域经济发展注入新力量,从而更加突出矿石资源综合利用的经济必要性。

## 3 矿物洗选加工技术在矿石资源综合利用中的应用策略

### 3.1 多组分协同回收策略

共伴生矿石含有多种有用组分,若只回收主矿产而忽略伴生资源,会造成资源浪费和经济损失,多组分协同回收策略通过

技术优化和流程重构实现主矿产和伴生资源同步高效回收,提高资源利用的全面性、经济性。首先,要加强矿石特性精准分析,用先进检测技术,如X射线荧光光谱分析、扫描电子显微镜分析等,确定矿石中主矿产与伴生资源的赋存状态、嵌布特征、元素组成,为协同回收流程设计提供科学依据。在此基础上改进预处理工艺,在破碎粒度、磨矿细度上精确控制,保证主矿产和伴生资源都能达到理想的单体解离度,避免由于解离不足造成的资源浪费<sup>[3]</sup>。其次,构建分段分选和梯级回收的协同流程,根据不同组分的物理、化学性质差异,合理选择分选技术组合,在回收主矿产的同时,同步提取伴生资源。针对物理性质差异显著的组分,可采用物理分选技术分段分离;针对物理性质相似但化学性质差异较大的组分,可引入化学分选或生物分选技术进行梯级回收,确保各有用组分均得到有效提取。最后,加强协同回收工艺参数优化,通过实验研究与数值模拟,确定各分选环节的最佳工艺参数,如分选设备转速、药剂用量、温度、pH值等,平衡主矿产与伴生资源的回收效率,避免因参数失衡导致某一组分回收效果不佳。同时,建立协同回收效果评价体系,从资源回收率、产品品位、能耗、成本等多维度进行综合评估,持续优化工艺流程,提升协同回收的稳定性与经济性。

### 3.2 低品位矿石的高效利用策略

低品位矿石因有用组分含量低、杂质含量高、解离难度大,传统洗选技术难以实现高效利用,低品位矿石高效利用策略需围绕强化解离效率与提升分选精度两大核心,通过技术创新与设备升级,将低品位矿石转化为可利用资源,缓解资源供需矛盾。解离效率的提高需要研发新型破碎磨矿技术、设备,优化破碎磨矿工艺,在降低能耗的同时提高有用组分单体解离度。采用多段破碎、阶段磨矿模式,根据矿石硬度、嵌布特征合理分配各段破碎、磨矿粒度目标,避免过磨、欠磨;引入高效磨矿设备,提高磨矿效率和均匀性,使有用组分充分解离,为后续分选创造条件<sup>[4]</sup>。在分选精度提高方面需要根据低品位矿石的特点,开发专用分选技术及设备,增强对低含量有用组分的捕获能力。对物理性质相差较小、品位较低的矿石,可以研发高梯度、高灵敏度的物理分选设备,提高分选选择性;对难选冶低品位矿石,可以发展高效的化学分选或生物分选技术,通过改善反应条件、改良药剂配方或筛选高效微生物菌种,提高有用组分的浸出率和回收率。另外,要加强对低品位矿石洗选过程的能耗和成本控制,通过工艺优化、设备节能改造等方式降低单位矿石处理能耗;同时开发低成本药剂和辅料减少药剂消耗成本,提高低品位矿石利用的经济性,促进低品位矿石的规模化利用。

### 3.3 尾矿废石资源化策略

尾矿与废石作为矿业生产的主要固废,其资源化利用是实现矿石资源综合利用的重要环节,尾矿与废石资源化策略需遵循减量化、资源化、无害化原则,通过技术创新与路径拓展,实现固废从废弃物向资源的转化,构建矿业循环经济体系。其中,尾矿资源化要先开展尾矿特性分析,明确尾矿中残留有用组分含量、粒度分布、化学成分等特征,针对性地制定资源化途径。

残留有用组分含量较高的尾矿可以采用高效的分选技术进行再选回收,进一步提取出其中的有用矿物;残留有用组分含量较低但是具有建材原料特性的尾矿可以通过加工处理变成建筑用砂、水泥掺合料、陶瓷原料等建材产品;具有土壤改良潜力的尾矿可以经过无害化处理,如酸碱度调节、重金属稳定化,用于矿山复垦或土壤改良,达到生态化利用的目的。在废石资源化方面,需根据废石的物理力学性质与化学成分,拓展多元化利用路径。对于硬度较高、强度符合要求的废石,可破碎加工为建筑骨料、道路基层材料等,用于基础设施建设;对于含有益元素或矿物的废石,可通过分选技术回收其中的有用组分;同时,可将废石用于矿山采空区充填,减少采空区塌陷风险,实现以废治废,降低固废堆存压力。另外,还需要建立尾矿、废石资源化利用标准体系,确定资源化产品品质标准、生产工艺要求和应用范围,保证资源化产品安全可靠;同时加强政策引导和市场培育,鼓励企业参与固废资源化利用,形成矿业生产、固废产生、资源化利用的循环模式,实现固废全量利用。

### 3.4 智能化绿色化升级策略

智能化与绿色化是矿物洗选加工技术发展的必然趋势,也是推动矿石资源综合利用提质增效的关键支撑,智能化与绿色化升级策略需通过技术融合与体系构建,实现洗选加工过程的高效、低耗、环保,提升资源综合利用的现代化水平。智能化升级要建立洗选全流程的智能化系统,融合物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术,实现洗选过程的实时监测、智能调节、最优决策<sup>[5]</sup>。在关键设备和环节安装传感器,实时采集粒度、浓度、流量、品位等工艺参数和设备运行状态数据,上传到大数据平台进行处理分析;用人工智能算法建立工艺参数优化模型,自动调节设备运行参数,提高洗选指标的稳定性;创建数字孪生系统,模拟不同的工艺条件下洗选的效果,给工艺优化和设备维护提供决策支持,实现洗选过程的精准化、高效化管理。绿色化升级方面要从节水、节能、减排、降毒四个方面推进技术创新和应用。节水方面开发洗选废水循环利用技术,用高效处理工艺净化废水、循环使用,减少新鲜水消耗和废水排放;节能方面推广高效节能设备,如节能球磨机、高效浮选机等,优化工艺流程,

降低单位矿石处理能耗;减排方面研发低污染、低排放的洗选技术,减少粉尘、废气排放,同时加强固废资源化利用,降低固废排放量;降毒方面开发低毒、无毒的选矿药剂,替代传统高毒药剂,减少药剂对环境的危害,实现洗选加工过程的绿色环保。此外,还要加强智能化与绿色化技术的集成应用,打造出智能感知、绿色处理、循环利用结合起来的一体化洗选体系,以更好地发挥资源综合利用的整体优势,助力矿业工业向着绿色、智能、可持续方向转化。

### 4 结束语

总之,矿物洗选加工技术是矿石资源综合利用的核心支撑,其创新和应用对缓解资源供需矛盾、降低矿业环境负荷、提高矿业经济价值有重大意义。本文通过分析矿物洗选加工技术的内涵特点和矿石资源综合利用的必要性,从多组分协同回收、低品位矿石高效利用、尾矿与废石资源化、智能化与绿色化升级四个方面给出应对策略,为行业实践提供理论依据。现阶段矿业行业的转型大环境下,对矿石资源综合利用起着至关重要的作用,但是面临着多重机遇和挑战。未来,在提升技术的经济性、成熟度的基础上需要进一步展开矿物洗选加工技术的基础研究以及技术创新,以此克服关键技术难题。

### 【参考文献】

- [1]王亚平.我国煤炭企业洗选加工技术及其应用探讨[J].石化技术,2020(12):139-140.
- [2]黄子常.矿物洗选加工技术在矿石资源综合利用中的应用研究[J].中国金属通报,2023(10):86-88.
- [3]邵伟华,刘广学,刘磊,等.云南省某石英砂岩矿提纯及尾矿综合利用研究[J].中国矿业,2025(7):106-114.
- [4]陈海涛.河南杨岗矿区饰面用花岗岩矿地质特征及资源综合利用研究[J].中国非金属矿工业导刊,2025(3):11-15,36.
- [5]张航飞,韩晓影,竹合林,等.四川峨边县玄武岩矿综合开发利用探讨[J].地质论评,2022(02):605-606+614.

### 作者简介:

敖建东(1987--),男,满族,山东省滕州市人,大学本科,助理工程师,研究方向:洗选加工。