

铅锌矿选矿工艺流程沿革及技术特点分析

肖治涛

彝良驰宏矿业有限公司 云南 昭通 657600

摘要: 铅锌矿选矿工艺的发展脉络清晰,从早期基于物性差异的初步分选,到浮选技术的应用实现了矿石的高效分离,进而演变为多种工艺协同的联合流程,显著提升了资源综合利用水平。现代选矿工艺在高效浮选药剂、智能化设备、绿色选矿技术等方面创新突破,进一步提升选矿效率与产品质量,降低成本并推动绿色发展。本文梳理工艺流程沿革,分析各阶段技术特点,探讨面向复杂矿石、智能化自动化、绿色选矿及资源循环利用等方向的发展趋势,为铅锌矿选矿行业提供参考。

关键词: 铅锌矿选矿; 工艺流程沿革; 技术特点; 发展趋势; 资源利用

引言: 铅锌作为重要的有色金属,在工业领域应用广泛。随着工业发展,对铅锌金属的需求持续增长,促使铅锌矿选矿工艺不断演进。早期选矿工艺受限于技术认知与设备水平,处理复杂矿石能力有限。浮选工艺的引入打破了传统局限,推动选矿向精细化发展。联合选矿工艺整合多种方法优势,适应更复杂矿石。如今,现代选矿工艺在技术创新驱动下,朝着高效、智能、绿色方向迈进。研究铅锌矿选矿工艺流程沿革及技术特点,对把握行业发展趋势、提升资源利用效率具有重要意义。

1 铅锌矿选矿工艺的起源与早期状况

1.1 铅锌矿资源特性与选矿需求

铅锌矿多以硫化矿、氧化矿及混合矿形式赋存,矿物构成复杂且常与脉石矿物紧密共生,主要含方铅矿、闪锌矿等目标矿物,脉石矿物以石英、方解石为主^[1]。目标矿物与脉石矿物在物理化学特性上存在一定差异,方铅矿具有较高比重和良好的可浮性,闪锌矿比重略低于方铅矿,表面疏水性较弱,氧化矿则因表面性质变化导致分离难度增加。早期工业发展对铅锌金属的需求逐步提升,天然铅锌矿直接开采后无法满足冶炼工艺要求,需通过特定加工手段分离目标矿物与脉石矿物,去除杂质、提高目标矿物富集程度,选矿工艺的产生与发展成为适配工业需求的必然选择。早期对铅锌矿选矿的认知基于矿物物理性质差异,聚焦于通过简单物理方法实现矿物分离,满足初级冶炼对原料纯度的基础要求。

1.2 早期选矿技术的尝试

重选法是早期铅锌矿选矿中应用最广泛的技术手段,依托目标矿物与脉石矿物的比重差异实现分离,是矿物加工领域最早发展的选矿方法之一。摇床、跳汰设备作为早期重选核心设备,被逐步应用于铅锌矿分离作业,摇床通过斜面运动与水流作用,使不同比重的矿物在床面

上实现分层富集,跳汰设备则利用脉动水流带动矿物上下运动,依据矿物沉降速度差异完成分离。重选法对矿石粒度和密度具有明确要求,矿石需经过初步破碎至合适粒度,确保矿物充分解离,同时要求目标矿物与脉石矿物的密度差达到一定范围,否则难以实现有效分离。磁选法在早期也进行了初步探索,主要针对铅锌矿中伴生的磁性矿物,采用简单磁性分离装置,通过磁场作用吸附磁性矿物,实现与非磁性铅锌矿物及脉石矿物的分离。受限于早期技术水平,磁选设备在铅锌矿选矿中存在明显局限,磁场强度较低、分离精度不足,无法处理磁性较弱或嵌布粒度较细的矿物,应用范围较为狭窄。

1.3 早期选矿工艺的特点与不足

早期铅锌矿选矿工艺流程较为简单且粗放,整体流程以物理分离为主,缺乏系统的矿物解离与分选环节,仅能实现目标矿物与脉石矿物的初步分离,无法针对不同嵌布特性、不同类型的铅锌矿进行针对性处理。选矿效率和回收率相对较低,受设备性能和工艺水平限制,矿物解离不充分,部分目标矿物随脉石矿物流失,难以实现资源的有效利用。对矿石性质的适应性和灵活性较差,早期工艺多为固定流程,一旦矿石性质发生变化,如矿物嵌布粒度变细、伴生矿物种类增加,原有工艺无法及时调整,易导致分选效果下降,无法稳定产出合格的铅锌精矿,难以适配工业生产对原料质量和产量的逐步提升需求。

2 浮选工艺引入与铅锌矿选矿变革

2.1 浮选技术的理论基础与发展

浮选技术的理论基础源于矿物表面物理化学特性的研究,随着界面化学、胶体化学等学科的发展逐步建立并完善^[2]。最初基于矿物表面疏水性差异实现分离的基础认知,逐步延伸至气液固三相界面作用机制的系统研究,明

确矿物表面吸附、润湿等作用对分选效果的影响,形成较为完整的浮选理论体系。浮选药剂的研发与应用推动浮选技术发展,早期以天然矿物药剂为主,逐步发展为人工合成药剂体系,捕收剂、起泡剂、调整剂的分类研发不断完善,各类药剂的作用针对性持续提升,通过调控矿物表面性质、优化气泡生成与稳定性,为浮选工艺的工业化应用提供核心支撑。

2.2 浮选工艺在铅锌矿选矿中的应用

浮选法替代传统选矿方法的背景源于传统工艺对复杂铅锌矿的处理局限,随着易选铅锌矿资源日益减少,嵌布粒度细、共生关系复杂的矿石占比提升,传统重选、磁选方法难以实现有效分离,无法满足工业生产对资源利用率的要求。浮选工艺凭借对细粒矿物的高效分选能力,逐步应用于铅锌矿选矿作业,初期主要针对硫化铅锌矿进行分离,通过药剂作用强化目标矿物与脉石矿物的表面性质差异,实现二者高效分离,突破传统工艺的分选瓶颈,推动铅锌矿选矿从粗放分离向精细分选转变。

2.3 浮选工艺的优化发展

浮选流程逐步向细化与多样化方向发展,混合浮选、优先浮选等流程先后提出并投入实践,根据矿石中铅锌矿物的共生特性选择适配流程,优化分选顺序以提升分选精度。浮选设备的改进创新持续推进,机械搅拌式浮选机逐步替代早期简易浮选装置,通过优化搅拌结构、提升气泡分散均匀性增强分选效果,后续浮选柱等新型设备逐步发展,凭借高效的气液接触效率和分选精度,进一步优化浮选工艺的作业效果。浮选药剂的配方优化与新型药剂研发开展,通过调整药剂配比提升作用协同性,新型高效、低污染药剂逐步替代传统药剂,既增强分选效果,又降低对环境的影响。

2.4 浮选工艺带来的影响与变革

浮选工艺的引入使铅锌矿选矿效率和回收率得到显著提高,有效减少目标矿物流失,实现铅锌资源的高效利用,适配工业生产对原料产量和质量的提升需求。浮选工艺对复杂矿石性质的适应和处理能力显著增强,能够处理嵌布粒度细、共生关系复杂的铅锌矿,拓展铅锌矿资源的可利用范围。浮选工艺的工业化应用推动铅锌矿选矿工艺流程向现代化转型,打破传统物理分选的局限,构建起以浮选为主、多种分选方法协同的现代化选矿体系,推动矿物加工行业的技术进步。

3 联合选矿工艺的形成与多元发展

3.1 联合选矿工艺的提出背景与意义

单一选矿方法存在明显局限性,重选难以处理细粒嵌布矿石,浮选对部分高密度脉石矿物分离效果有限,磁

选仅适用于伴生磁性矿物的分离,单一工艺无法兼顾各类矿石的复杂特性,难以实现资源高效回收^[3]。联合选矿工艺整合不同分选方法的核心优势,通过流程搭配弥补单一工艺短板,能够适配更复杂的矿石赋存状态,提升资源回收潜力,其发展成为矿物加工领域应对资源品质变化、提高选矿综合水平的必要路径,对推动铅锌矿资源高效利用具有重要支撑作用。

3.2 常见联合选矿工艺类型

重浮联合流程是应用较广泛的类型,采用重选进行预富集,提前分离大部分低密度脉石矿物,再通过浮选实现目标矿物的精细分离,流程设计注重两段分选的衔接适配,优化破碎磨矿粒度与分选参数,确保预富集与精细分离的高效协同。磁浮联合流程聚焦磁性杂质干扰问题,通过磁选去除矿石中伴生磁性矿物,减少磁性物质对浮选药剂作用的干扰,强化浮选对铅锌矿物的分离效果,针对嵌布复杂、磁性杂质含量高的矿石,在流程衔接处进行针对性创新,提升工艺适配性。电浮联合、化浮联合等其他工艺也逐步开展初步尝试,依托电化学、化学作用辅助浮选分离,拓展联合工艺的应用场景。

3.3 联合选矿工艺的技术特点与优势

联合选矿工艺的核心特点是不同选矿方法优势互补、协同作用,整合重选、浮选、磁选等方法的技术特长,规避单一工艺的应用局限。工艺能够全面适应复杂矿石性质并实现高效处理,无论是细粒嵌布、多伴生矿物还是混合类型矿石,均可通过流程搭配实现针对性分选。工艺流程具有灵活可调整的特点,可根据矿石性质变化,灵活优化分选顺序、调整工艺参数,无需整体重构流程,降低矿石性质波动对分选效果的影响,保障铅锌精矿产出的稳定性。

3.4 联合选矿工艺的发展趋势与挑战

未来联合选矿工艺将向进一步优化和集成化方向发展,简化流程环节、提升参数协同性,实现分选效率与资源利用率的双重提升。行业将持续探索和实践新型联合工艺,结合新型分选技术,拓展联合工艺的应用边界^[4]。当前工艺面临低品位、难选矿石的处理挑战,应对策略聚焦于优化流程适配性,研发高效辅助药剂与新型设备,强化低品位矿石的预富集效果,突破难选矿石的分选瓶颈,推动联合工艺向高效、节能方向升级。

4 现代铅锌矿选矿工艺创新与未来展望

4.1 现代选矿工艺的技术创新点

高效浮选药剂的研发应用是工艺创新核心方向之一,依托矿物表面物理化学性质研究与分子设计理念,新型捕收剂、起泡剂、调控剂的性能得到显著提升,强化对

目标矿物的选择性吸附能力,优化浮选体系稳定性,助力提高有用矿物回收效率。智能化选矿设备的引入发展推动工艺升级,自动化控制系统逐步融入选矿全流程,实现对碎磨、浮选等关键环节的精准调控,减少人为操作误差。智能选矿设备的研发和试验持续推进,半自磨机、高压辊磨机等新型设备的技术成熟度不断提高,为工艺优化提供设备支撑。绿色选矿技术的探索实践逐步深化,围绕节能减排与资源综合利用开展选矿工艺设计,简化流程并降低能耗,提升伴生有用组分回收水平。环保型选矿药剂的研发应用稳步推进,替代传统高污染药剂,减少污染物产生,兼顾选别效果与环保要求,契合清洁生产理念。

4.2 现代选矿工艺带来的影响与改变

现代选矿工艺的创新应用进一步提升选矿效率和产品质量,通过高效药剂与智能设备的协同作用,强化矿物解离与分选效果,减少目标矿物流失,提升铅锌精矿品位,满足后续冶炼工艺对原料质量的更高要求。工艺优化有效降低选矿成本、提高经济效益,智能控制系统减少人力投入与能耗损耗,高效药剂降低药剂使用量,资源综合利用提升资源附加值,多重因素共同推动选矿行业盈利水平的提升。绿色选矿技术的应用为环境保护和可持续发展做出重要贡献,节能减排措施降低选矿过程中的环境负荷,环保型药剂与废弃物资源化处理减少污染物排放,推动铅锌矿选矿行业从传统高耗能、高污染模式向绿色低碳模式转型,契合矿产资源可持续开发的发展理念。

4.3 铅锌矿选矿工艺的未来发展趋势

面向复杂矿石的选矿工艺创新将成为未来发展的重点方向,低品位、细粒嵌布、多金属共生等复杂矿石的选矿技术研究持续深化,依托矿物学研究与工艺优化,突破复杂矿石分选难题,提升资源利用率^[5]。智能化、自动

化选矿系统的普及应用是行业发展的必然趋势,选矿流程的智能化监控与优化调整技术不断完善,通过大数据与人工智能技术实现流程参数的动态优化,无人化选矿厂的探索实践逐步推进,推动选矿生产向高效、低耗、安全转型。绿色选矿技术的深入发展与推广持续发力,选矿工艺的环保性能将得到进一步提升,资源循环利用与废弃物资源化的选矿技术不断突破,实现选矿废弃物的减量化、资源化利用,推动铅锌矿业向绿色可持续方向高质量发展。

结束语

铅锌矿选矿工艺的发展是一部不断适应资源特性与工业需求的技术革新史。从早期简单的物理分选,到浮选工艺带来的精细分离突破,再到联合选矿工艺对复杂矿石的有效处理,每一次进步都显著提升了资源回收效率。现代选矿工艺在高效浮选药剂、智能化设备及绿色选矿技术等方面的创新,为行业可持续发展注入新动力。面对复杂矿石开发等挑战,持续深化技术研究、优化工艺流程、融合先进技术,是实现铅锌矿资源高效利用、推动行业高质量发展的必由之路。

参考文献

- [1]汤德益.铅锌矿选矿工艺流程沿革及技术特点分析[J].冶金与材料,2024,44(8):166-168.
- [2]张国林,何翔,张国祥,等.四川某铅锌矿选矿工艺试验[J].现代矿业,2026,42(1):130-133,138.
- [3]谢浪.安徽某高硫富含金银硫化铅锌矿选矿试验研究[J].湖南有色金属,2023,39(5):20-24,39.
- [4]刘勇,何翔.四川某难选铅锌矿提高铅回收率选矿试验[J].现代矿业,2023,39(7):188-191.
- [5]赵志富.某低品位硫化铅锌矿选矿工艺优化分析[J].世界有色金属,2023(24):217-219.