

选矿技术分析及其未来发展方向研究

刘 健

河北大白阳金矿有限公司 河北 张家口 075100

摘要：本文围绕选矿技术展开研究，阐述其基本概念、目的任务、分类依据及常见技术，分析当前面临资源综合利用水平低、能耗与环境污染突出、技术创新能力不足等问题。进而探讨未来发展方向，包括资源综合利用技术创新、绿色环保选矿技术发展、智能化与自动化技术应用及前沿技术交叉融合，旨在推动选矿技术可持续发展，提高矿产资源利用效率。

关键词：选矿技术；资源综合利用；未来趋势

引言：矿产资源作为经济社会发展的重要物质基础，其高效利用至关重要。选矿技术作为矿产资源开发利用的关键环节，对提升矿石品位、保障资源供应意义重大。然而当前选矿技术在实际应用中面临诸多问题。深入研究选矿技术，剖析其现状、问题并探寻未来发展方向，不仅有助于提高资源综合利用水平，还能减少能耗与环境污染，对实现选矿行业可持续发展具有迫切的现实需求。

1 选矿技术相关理论概述

选矿技术是一门综合性应用技术，基于矿物物理、化学性质差异，采用特定方法和设备将矿石中有用矿物与脉石分离，富集有用矿物，提升矿石品位与质量。广义上，选矿不仅处理原生矿石，还涵盖尾矿、废渣等二次资源的处理与综合利用。选矿涉及多学科知识，矿物学为选矿提供矿物基础信息，物理学原理用于重力、磁力、电选等方法，化学知识在浮游选矿中起关键作用，机械工程为选矿设备研发、制造和维护提供技术支持。选矿的主要目的是提高有用矿物品位和回收率，降低杂质含量，为后续加工提供优质原料^[1]。据统计，通过选矿可使铜矿石品位从1%提升至25%，金矿石回收率提高30%-50%。具体任务包括开展矿石可选性研究，确定选矿方法和流程；综合考虑矿石性质、有用矿物嵌布粒度、选矿厂规模及技术、经济、环境要求，确定最佳选矿方案；研发制造高效选矿设备，提高选矿效果和生产效率；控制选矿过程，实时监测和调整参数，保证产品质量稳定。

选矿技术分类多样。按选矿原理，分为物理选矿（如重力、磁力、电选）和化学选矿（主要是浮游选矿）；按选矿过程，分为破碎筛分、磨矿分级、选别和脱水等作业；按选矿对象，分为金属矿选矿和非金属矿选矿，分别针对不同矿石提取有用成分。

2 常见选矿技术分析

2.1 重力选矿技术

重力选矿是利用矿物密度的差异，在重力场或离心力场中使矿物分离的方法。其基本原理是在运动的介质中，密度大的矿物颗粒所受的重力或离心力较大，运动速度较快，而密度小的矿物颗粒运动速度较慢，从而实现矿物的分层和分离。重力选矿设备主要有摇床、跳汰机、螺旋溜槽等。摇床是一种常用的重力选矿设备，在处理钨锡矿时，精矿品位可达65%，回收率超80%。跳汰机则是利用垂直交变水流使矿粒在水中产生不规则的跳跃运动，从而实现矿物的分层和分离，在处理粗粒金矿时，回收率可达75%。螺旋溜槽是一种依靠矿浆在螺旋槽面上的流动和重力分选作用，使不同密度的矿物颗粒在槽面上分带的设备，其处理能力可达5-20吨/小时。

2.2 浮游选矿技术

浮游选矿又称浮选，是利用矿物表面的物理化学性质差异，通过添加浮选药剂，使有用矿物选择性地附着于气泡上浮而实现分离的方法。浮选药剂主要包括捕收剂、起泡剂和调整剂。捕收剂能够选择性地吸附在有用矿物表面，使其具有疏水性；起泡剂则能在溶液中形成稳定的气泡，为矿物颗粒的附着提供载体；调整剂用于调整矿浆的酸碱度、矿物表面的电性等，以改善浮选效果。浮选设备主要有浮选机，浮选机通过搅拌和充气作用，使矿浆中的矿物颗粒与气泡充分接触，实现矿物的浮选分离。在铜锌多金属矿浮选实践中，采用新型捕收剂后，铜回收率从82%提升至88%，锌回收率提高10%。浮选过程一般包括磨矿、调浆、加药、充气搅拌、泡沫产品处理和尾矿排出等步骤^[2]。

2.3 磁力选矿技术

磁力选矿是利用矿物磁性的不同，通过磁场的作用将磁性矿物与非磁性矿物分开的方法。根据磁场强度的

不同,磁力选矿可分为弱磁选和强磁选。弱磁选主要用于分选强磁性矿物,如磁铁矿等;强磁选则用于分选弱磁性矿物,如赤铁矿、褐铁矿等。磁力选矿设备有磁选机,磁选机的种类很多,如永磁筒式磁选机、电磁磁选机等。永磁筒式磁选机具有结构简单、操作方便、能耗低等优点,广泛应用于选矿厂中。

2.4 其他选矿技术

除了上述常见的选矿技术外,还有电选、化学选矿、细菌选矿等其他选矿技术。电选是利用矿物导电性的差异进行分选的方法,适用于处理导电性差异较大的矿物,如锡石、锆英石等。化学选矿除了浮游选矿外,还包括浸出、萃取、离子交换等方法,主要用于处理一些难选矿石和稀有金属矿石。细菌选矿则是利用某些细菌的生物化学作用,对矿物进行浸出、氧化或还原等处理,实现矿物的分选,具有环保、高效等优点,但目前仍处于研究和开发阶段。

3 选矿技术发展面临的问题

3.1 资源综合利用水平低

目前,我国选矿行业的资源综合利用水平普遍较低。数据显示,我国多金属矿伴生元素平均回收率不足65%,部分金矿伴生银回收率仅40%。尾矿综合利用率仅38%,每年新增尾矿超15亿吨,累计堆存量超200亿吨,占用土地超200万亩。造成资源综合利用水平低的原因主要有以下几点:一是选矿技术相对落后,对复杂多金属矿石的分选能力不足;二是选矿厂对资源综合利用的重视程度不够,缺乏相应的技术和设备投入;三是资源综合利用的政策和法规不够完善,缺乏有效的激励机制。

3.2 能耗与环境污染问题突出

选矿过程是一个能耗较高的过程,主要包括破碎、磨矿、选别等环节的能耗。我国选矿厂平均吨矿能耗比国际先进水平高20%-30%,其中磨矿能耗占总能耗60%以上。选矿过程中还会产生大量的废水、废气和废渣,对环境造成严重的污染。我国选矿行业每年排放废水超20亿吨,其中重金属超标率达35%;废气排放超1000亿立方米,粉尘排放量占工业总排放量的15%;废渣(尾矿)年产生量超15亿吨,部分尾矿库存在溃坝风险。

3.3 技术创新能力不足

我国选矿技术与国际先进水平相比,仍存在一定的差距,技术创新能力不足是制约我国选矿技术发展的关键因素之一。我国选矿行业科研投入占主营业务收入仅0.8%,不足国际平均水平的一半。选矿企业自主研发专利数量仅占全球的12%,高端选矿设备进口依赖度超60%。另外,选矿行业的人才短缺也是影响技术创新的重要因

素。目前,我国选矿专业人才缺口达10万人,高校相关专业招生人数年均下降5%,人才培养体系亟待完善^[3]。

4 选矿技术未来发展方向

4.1 资源综合利用技术创新

在当今矿产资源日益紧张且对资源利用效率要求越来越高的背景下,提高资源综合利用水平已成为选矿技术发展的核心任务之一。从多金属矿石分选技术层面来看,研发高效的技术以提高伴生有用元素的回收率是关键所在。据相关数据显示,我国复杂多金属矿石中伴生有用元素的平均回收率目前仅为30%-40%,而传统分选方法难以实现这些元素的高效分离和回收。创新的选别工艺能够优化分选流程,减少元素之间的相互干扰,实现复杂多金属矿石中各种有用矿物的有效分离。通过创新工艺,有望将伴生有用元素的回收率提高至50%-60%,这不仅有助于提高矿产资源的综合利用率,还能降低尾矿中有用元素的含量,减少资源浪费。尾矿和废渣的综合利用技术研究也不容忽视。目前,大量的尾矿和废渣被堆积在尾矿库中,据统计,我国尾矿库数量已超过1.2万座,尾矿和废渣堆存量高达数百亿吨,不仅占用了大量的土地资源,还可能对周边环境造成潜在危害。因此加强对尾矿和废渣的综合利用,将其转化为有价值的建筑材料、肥料等产品,是实现资源二次利用的重要途径。例如,将尾矿用于生产水泥、砖块等建筑材料,不仅可以消耗大量尾矿,还能降低建筑材料的生产成本。

4.2 绿色环保选矿技术发展

在节能方面,研发高效的破碎、磨矿设备是提高能源利用效率的关键。破碎和磨矿是选矿过程中的重要环节,也是能耗较高的环节,据测算,这两个环节的能耗占选矿总能耗的60%-70%。采用新型的破碎原理和磨矿介质,可以有效降低破碎和磨矿过程中的能耗。例如,采用高压辊磨机进行破碎,能耗可比传统破碎设备降低20%-30%。优化破碎和磨矿工艺流程,实现设备的合理配置和协同运行,也能进一步提高能源利用效率;在环保方面,加强对选矿废水、废气和废渣的处理技术研究至关重要。选矿废水含有大量的重金属离子、悬浮物和化学药剂,如果未经处理直接排放,会对水体和土壤造成严重污染。据监测,未经处理的选矿废水中重金属离子浓度往往超过国家排放标准的数倍甚至数十倍。开发高效的废水处理技术,如化学沉淀法、离子交换法、膜分离法等,实现废水的达标排放或回用,是减少水污染的重要措施。通过处理,废水中的重金属离子去除率可达90%以上,悬浮物去除率可达95%以上。选矿废气主要产生于破碎、筛分、磨矿等作业,其中含有大量的粉

尘和有害气体。研发高效的废气净化设备,如布袋除尘器、湿式除尘器、脱硫脱硝设备等,可以有效减少废气中有害物质的排放,改善空气质量。例如,采用布袋除尘器处理选矿废气,粉尘去除率可达99%以上。对于尾矿废渣,应采用安全堆存和生态修复技术。通过合理设计尾矿库,确保尾矿库的安全稳定;同时在尾矿库表面进行植被恢复和生态修复,减少尾矿库对周边环境的影响。

4.3 智能化与自动化选矿技术应用

随着信息技术和自动化技术的飞速发展,智能化与自动化选矿技术将成为未来选矿技术的发展方向。传感器在选矿过程中发挥着重要作用,通过在选矿设备上安装各种传感器,如压力传感器、温度传感器、流量传感器等,可以实时监测选矿设备的运行状态、矿浆的浓度和粒度等参数。这些传感器将采集到的数据传输到监控系统中,为选矿过程的优化调整提供数据支持。据统计,采用传感器技术后,选矿设备的故障诊断准确率可提高至80%以上。物联网技术可以实现选矿设备之间的互联互通,形成一个智能化的选矿网络。通过物联网平台,选矿企业可以实现对选矿设备的远程监控和管理,及时发现设备故障和异常情况,并进行远程诊断和维修。这不仅提高设备的运行效率,还降低设备的维护成本。例如,某选矿企业采用物联网技术后,设备维护成本降低了20%-30%。大数据和人工智能技术在选矿过程中的应用也具有巨大潜力,通过对大量的选矿数据进行分析和挖掘,利用人工智能算法建立选矿过程的数学模型,可以实现对选矿过程的优化调整。同时人工智能技术还可以实现选矿过程的故障诊断和预警,提前发现潜在的问题,避免生产事故的发生^[4]。

4.4 前沿技术交叉融合

未来选矿技术的发展将呈现出前沿技术交叉融合的趋势。生物技术在选矿中的应用具有广阔的前景,矿石的生物浸出和生物浮选是生物技术在选矿中的重要应用方向。生物浸出是利用微生物的代谢作用,将矿石中的有用金属溶解出来,具有成本低、环保等优点。据研究,生物浸出技术可使某些低品位矿石中有用金属的浸出率达到70%-80%,而传统化学浸出法的浸出率仅为

50%-60%。生物浮选则是利用微生物或其代谢产物作为浮选药剂,提高矿物的浮选性能。生物技术的应用不仅可以提高选矿效率,还能减少化学药剂的使用,降低对环境的污染。纳米技术在选矿技术中的应用也具有巨大的潜力,纳米技术可以用于研发新型的浮选药剂和吸附材料。纳米颗粒具有独特的物理和化学性质,如比表面积大、表面活性高等,可以提高浮选药剂的选择性和吸附能力,从而提高矿物的分选精度。纳米吸附材料可以高效地吸附矿石中的有用成分或有害物质,实现矿石的预富集或净化。例如,纳米氧化铁颗粒对某些重金属离子具有极高的吸附能力,吸附率可达99%以上。材料科学在选矿技术中的应用主要体现在制造高性能的选矿设备耐磨件方面。选矿设备在运行过程中会受到矿石的磨损和冲击,导致设备的使用寿命缩短。采用新型的材料,如陶瓷材料、复合材料等,制造选矿设备的耐磨件,可以提高设备的耐磨性能,延长设备的使用寿命。据测试,采用陶瓷材料制造的耐磨件,其使用寿命可比传统耐磨件提高3-5倍。

结束语

选矿技术在矿产资源开发利用中占据核心地位。尽管目前面临资源综合利用水平低、能耗与污染问题以及技术创新能力不足等挑战,但通过资源综合利用技术创新、绿色环保选矿技术发展、智能化与自动化技术应用以及前沿技术交叉融合等方向的努力,选矿技术有望迎来新的发展机遇。未来,选矿技术将不断提升,为矿产资源的高效利用和行业的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]金旭东,潘民康,钱芳.智能仓储的关键技术发展及应用分析[J].科教导刊-电子版(下旬),2021(7):277-278.
- [2]韩跃新,张小龙,高鹏,等.中国铁矿石选矿技术发展及展望[J].金属矿山,2024(02):1-24.
- [3]张晓华.选矿技术分析及其未来发展方向研究[J].世界有色金属,2023(19):175-177.
- [4]魏立军,夏敬源,刘鑫,等.光电选矿技术在中低品位胶磷矿选别中的应用研究[J].矿业研究与开发,2023,43(07):217-222.