

# 铜渣选矿工艺的现状与发展趋势研究

李宗鑫

河南中原黄金冶炼厂有限责任公司 河南 三门峡 472000

**摘要:** 铜渣作为铜冶炼的副产品,其组成复杂多变,但富含多种有价金属和矿物成分,具有显著利用价值。当前铜渣选矿工艺主要包括磁选、浮选、重选等,这些工艺在提高资源回收率方面发挥着重要作用。然而,受铜渣成分、粒度分布、磨矿细度、药剂种类和操作条件等多种因素的影响,选矿效果存在差异。随着技术进步和环保要求的提高,铜渣选矿工艺正朝着技术创新、综合利用、环保要求和经济效益提升的方向发展,以实现更高效、更环保的有价金属回收和资源化利用。

**关键词:** 铜渣;选矿工艺;现状;发展趋势

## 1 铜渣的组成与性质

### 1.1 铜渣的化学成分与矿物组成

铜渣作为铜冶炼过程中的副产品,其化学成分复杂多变,主要取决于冶炼原料、工艺条件及操作方式。一般而言,铜渣主要由铁的氧化物(如 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ )、硅的氧化物( $\text{SiO}_2$ )、铝的氧化物( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、钙的氧化物( $\text{CaO}$ )以及未完全回收的铜(常以 $\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{CuO}$ 形式存在)等组成。此外,还可能含有少量的锌、铅、硫、砷等元素。在矿物组成上,铜渣通常包含磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、硅酸盐矿物(如橄榄石、辉石等)以及少量的铜硫化物矿物。这些化学成分与矿物组成决定了铜渣的物理性质及其在后续处理和利用中的行为特性。

### 1.2 铜渣的物理性质

铜渣的物理性质主要包括颜色、密度、硬度、粒度分布及热稳定性等。新鲜出炉的铜渣通常呈现为黑色或暗红色,冷却后颜色可能变深。密度方面,铜渣的密度因其成分和冷却方式的不同而异,一般在 $3.5\sim 4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。硬度上,铜渣的莫氏硬度通常在 $5\sim 6$ 之间,属于较硬的物质。粒度分布则取决于破碎和磨矿工艺,可用于调节后续选矿或综合利用的适宜粒度。热稳定性方面,铜渣在高温下相对稳定,但在急剧冷却时可能产生裂纹或体积变化,影响其在建筑材料等领域的应用<sup>[1]</sup>。

### 1.3 铜渣的利用价值

铜渣作为一种富含多种元素的固体废弃物,具有显著的利用价值。首先,铜渣中含有一定量的铜、铁等有价金属,通过选矿或湿法冶金技术可有效回收,提高资源利用率。其次,铜渣中的硅酸盐矿物成分使其成为潜在的建筑材料原料,可用于生产水泥、砖块、道路材料等,有助于减少对传统原材料的依赖。此外,铜渣中的

某些组分还具有特定的化学或物理性质,如磁性、吸附性等,使其在废水处理、空气净化等领域具有潜在的应用前景。最后,铜渣的合理利用还能减少环境污染,符合循环经济和可持续发展的理念。因此,深入研究铜渣的组成与性质,探索其高效利用途径,对于促进铜冶炼行业的绿色发展具有重要意义。

## 2 铜渣选矿工艺现状

### 2.1 选矿方法概述

铜渣作为铜冶炼过程中产生的主要固体废弃物,其合理利用和选矿回收已成为当前矿业和冶金领域的重要研究方向。铜渣选矿工艺的主要目的是回收其中的有价金属,如铜、铁等,同时实现废弃物的资源化利用。随着技术的发展,铜渣选矿方法逐渐多样化,主要包括破碎与筛分、磁选、浮选、重选以及其他新型选矿技术等。这些方法的综合运用,旨在提高铜渣中有价金属的回收率,降低生产成本,同时减少环境污染。铜渣选矿工艺的一般流程包括原料准备、破碎与筛分、磨矿、分级、调浆、选别(包括磁选、浮选等)、精矿与尾矿的处理等环节。原料准备阶段,铜渣需经过干燥、去杂等预处理,以保证后续工艺的顺利进行。破碎与筛分是将铜渣破碎至适宜粒度,便于后续的磨矿和选别作业。磨矿则是通过球磨机等设备将铜渣进一步研磨至更细的粒度,以提高选别效率。分级则是根据粒度大小将物料分为不同的级别,以便后续选别作业。调浆则是通过添加适量的水和药剂,使矿浆达到适宜的浓度和粘度,为后续选别创造良好条件。

### 2.2 磁选工艺

磁选工艺是铜渣选矿中的重要环节之一,主要用于回收铜渣中的铁矿物。铜渣中的铁主要以磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )以及铁橄榄石等形式存在。

其中,磁铁矿具有磁性,可通过磁选机进行回收。磁选机根据磁场强度的不同,可分为弱磁选机和强磁选机。弱磁选机主要用于回收强磁性矿物,如磁铁矿;而强磁选机则可用于回收弱磁性矿物,如赤铁矿和部分硅酸盐矿物中的铁。磁选过程中,铜渣经过磨矿和分级后,进入磁选机。在磁场的作用下,磁性矿粒发生磁聚而形成“磁团”或“磁链”,并向磁极运动,被吸附在滚筒上。随着滚筒的旋转,磁团或磁链中的脉石等非磁性矿物在翻动中脱落,而铁精矿则随滚筒转到磁系边缘,在卸矿水管喷出的冲洗水流作用下被卸到精矿槽中<sup>[2]</sup>。磁选工艺具有操作简单、处理量大、能耗低等优点,但在实际应用中,受铜渣成分、粒度分布、磁场强度等因素的影响,磁选效果会有所差异;为提高磁选效率,研究者们不断对磁选工艺进行优化和改进。例如,采用干式磁选与湿式磁选相结合的方式,先通过干式磁选回收强磁性矿物,再通过湿式磁选回收弱磁性矿物;或者采用联合磁选工艺,即将磁选与其他选矿方法(如浮选)相结合,以实现铜渣中有价金属的综合回收。

### 2.3 浮选工艺

浮选工艺是铜渣选矿中的另一种重要方法,主要用于回收铜渣中的铜矿物和其他有价金属硫化物。浮选过程中,需向矿浆中添加适量的捕收剂、起泡剂等药剂,使目的矿物表面疏水性增强,易于附着在气泡上随水流上升,从而实现与脉石矿物的分离。浮选工艺具有适应性强、回收率高、选别效果好等优点,但同时也存在药剂消耗量大、生产成本高等问题。铜渣浮选工艺根据矿石性质、浮选药剂的种类和用量、浮选机的类型等因素的不同,可分为多种类型。如优先浮选、混合浮选、部分优先浮选等。优先浮选是指先浮选出一种或几种目的矿物,然后再浮选出其他矿物;混合浮选则是将多种目的矿物一起浮选出来,再通过后续作业进行分离;部分优先浮选则是介于两者之间的一种折中方案;在浮选过程中,药剂的选择和操作条件对浮选效果具有重要影响。常用的浮选药剂包括捕收剂(如黄药、黑药等)、起泡剂(如松醇油、2#油等)、抑制剂(如水玻璃、硫酸锌等)、活化剂(如硫化钠、硫酸铜等)等。操作条件则包括磨矿细度、矿浆浓度、pH值、充气量、搅拌强度等。这些参数的优化调整,对于提高浮选效率、降低生产成本具有重要意义。为了提高铜渣浮选工艺的效果,近年来研究人员不断探索新的浮选药剂和浮选技术。例如,采用新型高效的捕收剂,如硫氢酯类捕收剂、螯合剂类捕收剂等,以提高铜矿物的浮选选择性;或者采用生物浮选技术,利用微生物的代谢活动产生的

生物活性物质作为浮选药剂,实现铜渣中有价金属的绿色高效回收。此外,还有研究者将浮选与其他选矿方法相结合,如磁浮联合工艺、重力浮选联合工艺等,以实现铜渣中有价金属的综合回收利用。

### 2.4 其他选矿技术

除了磁选和浮选工艺外,铜渣选矿中还有其他一些选矿技术,如重选、电选、化学浸出等。重选工艺主要是利用矿物密度的差异进行分离,适用于处理粒度较粗的铜渣。电选工艺则是利用矿物导电性的差异进行分离,适用于处理含有磁性矿物较少的铜渣。化学浸出工艺则是通过化学试剂与铜渣中的有价金属发生化学反应,将其溶解出来,再通过后续作业进行回收。这些选矿技术各有优缺点,适用于不同性质的铜渣处理。重选工艺在铜渣选矿中的应用相对较少,主要是因为铜渣中的有价金属矿物密度与脉石矿物密度相近,难以实现有效分离。但随着重力选矿设备的发展,如离心选矿机、溜槽等设备的出现,重选工艺在铜渣选矿中的应用前景逐渐广阔。电选工艺则因其对环境要求较低、操作简便等优点,在一些特定条件下具有一定的应用价值。化学浸出工艺虽然能够实现铜渣中有价金属的高效回收,但因其能耗高、环境污染大等问题,在实际应用中受到一定限制。因此,研究者们正在不断探索新的化学浸出工艺和设备,以降低能耗和环境污染,提高铜渣中有价金属的回收率。

### 2.5 选矿效果与影响因素

铜渣选矿工艺的效果受到多种因素的影响,包括铜渣成分、粒度分布、磨矿细度、药剂种类和用量、操作条件等。这些因素之间相互关联、相互影响,共同决定了铜渣选矿工艺的效果。铜渣中铜、铁等有价金属的含量及其赋存状态决定了选矿工艺的难易程度。例如,当铜渣中铜矿物以细粒或微细粒形式存在时,难以实现有效回收;而当铜矿物以粗粒形式存在时,则有利于选矿工艺的进行。此外,铜渣中脉石矿物的种类和含量也会影响选矿效果。脉石矿物与有价金属矿物的物理化学性质差异越大,越有利于选矿工艺的进行;粒度分布是影响选矿效果的另一个重要因素,粒度分布决定了铜渣中有价金属矿物的解离程度和选别效果。当粒度分布较宽时,难以实现有价金属矿物与脉石矿物的有效分离;而当粒度分布较窄时,则有利于提高选矿效率<sup>[3]</sup>。

磨矿细度决定了铜渣中有价金属矿物的解离程度,磨矿过细会增加能耗和生产成本,同时也会影响选矿效率;而磨矿过粗则难以实现有价金属矿物与脉石矿物的有效分离。因此,在铜渣选矿过程中,需要根据铜渣成

分和粒度分布等因素,合理确定磨矿细度;药剂的选择需要根据铜渣成分、粒度分布等因素进行综合考虑。药剂用量则需要根据试验结果和生产经验进行合理调整,以保证选矿效果和生产成本的平衡。操作条件也是影响选矿效果的重要因素之一,包括矿浆浓度、pH值、充气量、搅拌强度等参数的优化调整,对于提高选矿效率、降低生产成本具有重要意义。

### 3 铜渣选矿工艺发展趋势

#### 3.1 技术创新

随着科技的进步和资源的日益紧张,铜渣选矿工艺的技术创新成为推动行业发展的关键。新型选矿设备的研发与应用,如高性能磁选机、高效浮选机、智能磨矿设备等,将大幅提高选矿效率和资源回收率。这些设备不仅具有更高的处理能力,还能在降低能耗的同时实现更精细的矿物分离;在药剂方面,高效选矿药剂的研发是推动铜渣选矿工艺创新的另一重要方向。传统药剂在选矿过程中往往存在用量大、污染严重等问题,而新型药剂如生物制剂、绿色化学药剂等,则能在保证选矿效果的同时,减少对环境的影响。另外,自动化控制系统的引入,如智能检测、自动调控等,将使得铜渣选矿过程更加精准、高效,减少人为因素的干扰,提高生产稳定性和产品质量。

#### 3.2 综合利用

铜渣作为一种富含多种元素的固体废弃物,其综合利用价值巨大。在建筑材料领域,铜渣可以作为水泥、砖块、道路材料等的原材料,不仅能够降低生产成本,还能减少对传统原材料的依赖,实现资源的循环利用。铜渣中的特定成分,如磁性物质、硅酸盐矿物等,使得其在功能材料领域也展现出广阔的应用前景,如磁性材料、吸附材料、催化材料等。为了推动铜渣的综合利用,清洁工艺的研发与应用至关重要。传统的铜渣处理工艺往往存在能耗高、污染重等问题,而清洁工艺则能在保证产品质量的同时,实现节能减排和资源高效利用。例如,采用生物处理、湿法冶金等清洁工艺处理铜渣,不仅能有效回收其中的有价金属,还能减少对环境的影响,实现经济与环境的双赢。

#### 3.3 环保要求

随着全球环保意识的提高和法规的日益严格,铜渣选矿过程中的节能减排、环境保护及资源化利用已成为行业发展的必然趋势。在节能减排方面,通过优化选矿

工艺、提高设备能效、采用清洁能源等措施,可以有效降低能耗和减少碳排放。在环境保护方面,加强废水、废气、废渣等污染物的治理和回收利用,实现“三废”的达标排放和资源化利用,是铜渣选矿行业实现可持续发展的关键<sup>[4]</sup>。为了推动环保要求的落实,政策支持和市场机制的引导至关重要。政府应出台相关政策,鼓励企业采用环保技术和设备,对节能减排和资源化利用效果显著的企业给予奖励和补贴。建立健全市场机制,推动铜渣等固体废弃物的资源化利用和产业发展,形成良性循环的经济体系。

#### 3.4 经济效益

铜渣选矿工艺的经济效益是衡量其可行性和市场竞争力的重要指标。通过优化选矿流程、提高设备利用率、降低生产成本等措施,可以显著提高铜渣选矿工艺的经济效益。同时,提高资源回收率也是增加经济效益的重要途径。通过采用高效选矿药剂、新型选矿设备等措施,可以有效提高铜渣中有价金属的回收率,从而增加企业的经济收益<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

综上所述,铜渣选矿工艺的发展对于促进铜冶炼行业的绿色发展和资源高效利用具有重要意义。未来,随着新型选矿设备、高效药剂和清洁工艺的不断研发与应用,铜渣选矿工艺将更加高效、环保。同时,加强铜渣的综合利用和产业化发展,将推动铜渣从废弃物向资源的转变,为循环经济和可持续发展做出贡献。政府和企业应共同努力,加大研发投入和政策支持,推动铜渣选矿工艺的不断创新发展。

#### 参考文献

- [1]杨利平,王子涛,柴垣民.针对某铜冶炼渣选矿工艺流程的探讨研究[J].山西冶金,2022,45(03):142-144.
- [2]冉银华,张志明,郭强,韩晓熠,周亮,李云鹏.某铜冶炼炉渣回收铜的选矿工艺试验[J].矿业研究与开发,2019,39(03):63-66.
- [3]樊小娟,赵冰.有色金属矿选矿工艺及优化管理策略研究[J].世界有色金属,2023(15):46-48.
- [4]赵旭会.我国选矿工艺发展存在的问题及改进措施[J].世界有色金属,2020(03):61-62.
- [5]罗杰,刘惠中,罗升.某铅锌矿选矿厂技术改造的特点浅析[J].世界有色金属,2023(09):52-54.