

铜渣中铜金属的高效回收选矿工艺研究

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：铜渣中铜金属的高效回收选矿工艺研究旨在探索铜渣资源的最大化利用途径。本研究通过优化预处理工艺、创新浮选技术、探索联合工艺及强化工艺验证，系统分析了铜渣中铜金属的流失与富集机制。研究结果显示，采用高效破碎、磨矿与磁选预处理，结合新型捕收剂与浮选设备，以及磁选-浮选联合工艺，显著提高铜金属的回收率。本研究不仅为铜渣的高效利用提供科学依据，也为铜冶炼行业的可持续发展奠定技术基础。

关键词：铜渣；铜金属；高效回收；选矿工艺

1 铜渣的组成与性质分析

1.1 铜渣的化学组成

铜渣的化学组成复杂，主要元素包括铁、硅、钙、镁、铝、锌等。具体而言，铜渣中 SiO_2 的含量通常在30-40%之间， CaO 的含量在5-10%， MgO 的含量为1-5%， Al_2O_3 的含量约为2-4%，铁的含量高达27-35%，是铜渣中的主要成分，此外还含有少量的锌（2-3%）以及其他微量元素。从某些具体实例来看，铜渣中的 Fe_2O_3 含量可能高达55.58%-63.41%， SiO_2 的含量则在11.39%-34.91%不等。铜渣中铁的高品位（ TFe 含量在30%-45%之间）使其成为具有较高利用价值的二次资源。

1.2 铜渣的物理性质

铜渣的物理性质独特，其游离含水率小于0.5%，表明其干燥性较好。与石英砂相比，铜渣的吸水率较低，比重较高，生产密度也相对高。铜渣的莫氏硬度、磨损值、骨料冲击值等物理指标也显示出其坚硬、耐磨的特性。铜渣的表面纹理呈层状，致密光滑，无孔隙，这与石英砂表面纹理的粗糙和多孔性形成鲜明对比。这些物理性质使得铜渣在建筑材料等领域具有潜在的替代应用价值。

1.3 铜渣的矿物学特征

铜渣的矿物学特征主要表现为其复杂的矿物组成。主要矿物为铁橄榄石（含90%的 FeSiO_4 ），此外还含有磁铁矿、玻璃体和硫化物等。铁橄榄石通常呈条带状、脉状、小毛刺状或树枝状与非晶态玻璃质紧密结合^[1]。磁铁矿则以椭圆或不规则形状产出，与铁橄榄石、冰铜互相嵌布。冰铜是铜渣中含铜的主要矿物相，以 Cu_5FeS_4 和铜形成的冰铜相状态存在，多嵌布于铁橄榄石上。铜渣中还含有少量的氧化锌、氧化铅、硅酸钙等矿物。铜渣中的这些矿物相互包裹，结构致密，使得其直接利用难度较大，但也为通过特定工艺提取有价值组分提供了可能。

2 铜渣选矿的特殊性与挑战

2.1 铜渣中铜金属的复杂性及难选性

铜渣中铜金属的复杂性主要体现在其矿物组成和嵌布特征上。铜渣中的铜往往以多种形态存在，如硫化铜、氧化铜以及与其他金属元素形成的复杂化合物。这些铜矿物在铜渣中的分布往往不均匀，且与其他矿物紧密共生，使得分离和提取变得尤为困难。铜渣中的铜含量通常较低，且伴随着大量的脉石矿物，进一步增加了选矿的难度。铜渣中铜金属的复杂性和难选性是铜渣选矿面临的首要挑战。

2.2 选矿过程中铜金属的流失与富集机制

在铜渣选矿过程中，铜金属的流失与富集机制是影响回收率的关键因素。一方面，由于铜渣中铜矿物的复杂性和难选性，传统的选矿方法往往难以完全回收其中的铜金属。在破碎、磨矿和浮选等过程中，部分铜矿物可能会因粒度过细、表面性质相似或与其他矿物紧密共生而难以分离，导致铜金属的流失。另一方面，通过优化选矿工艺和采用先进的选矿设备，可以在一定程度上实现铜金属的富集。然而，富集过程中往往伴随着大量的脉石矿物和杂质，需要通过进一步的提纯和精炼才能得到高品位的铜产品。如何有效控制铜金属的流失并提高其富集效率，是铜渣选矿过程中需要解决的重要问题。

2.3 提高铜金属回收率的关键技术难点

提高铜金属回收率是铜渣选矿的核心目标之一，但实现这一目标面临着诸多技术难点。首先，铜渣中铜矿物的复杂性和难选性使得传统的选矿方法难以达到理想的回收效果。其次，选矿过程中铜金属的流失和富集机制复杂多变，难以通过简单的工艺调整来实现回收率的显著提升。另外，铜渣选矿过程中还需要考虑能耗、环保和经济效益等多个方面的因素，这使得提高回收率的技术方案更加复杂和具有挑战性。

3 铜渣中铜金属的高效回收选矿工艺的研究

3.1 预处理工艺优化

预处理工艺的优化成为提高铜渣中铜金属回收率的首要环节。预处理工艺主要包括破碎、磨矿和磁选等步骤,旨在将铜渣细化至适宜的粒度,并去除其中的磁性杂质,为后续浮选工艺创造有利条件。在破碎过程中,通过合理调整破碎机的参数,如转速、进料口尺寸和排料口宽度,可以实现铜渣的有效破碎和粒度控制^[2]。破碎后的铜渣需经过磨矿处理,以降低其粒度并增加铜矿物与脉石矿物之间的解离度。磨矿过程中,磨矿机的选择、磨矿介质的种类和配比、磨矿浓度以及磨矿时间等因素均会对磨矿效果产生显著影响。通过优化这些参数,可以获得理想的磨矿细度和解离度,为后续浮选工艺提供优质的入选物料。磁选作为预处理工艺的重要组成部分,主要用于去除铜渣中的磁性杂质,如磁铁矿等。磁选机的选择、磁场强度的调整以及磁选流程的设计均会影响磁选效果。通过采用高梯度磁选机或强磁选机等高效磁选设备,并优化磁选流程,可以显著提高磁性杂质的去除率,降低后续浮选过程中的干扰因素,从而提高铜金属的回收率。预处理工艺中还需注意环保和能耗问题。通过采用先进的除尘设备和废水处理系统,可以减少粉尘和废水的排放,保护生态环境,通过优化设备配置和操作流程,可以降低能耗和生产成本,提高经济效益。

3.2 浮选工艺创新

浮选是铜渣选矿过程中的核心环节,其效果直接影响铜金属的回收率。针对铜渣中铜矿物的复杂性和难选性,浮选工艺的创新成为提高回收率的关键。传统浮选工艺往往难以完全回收铜渣中的铜金属,这主要是因为铜渣中的铜矿物与其他矿物紧密共生,且表面性质相似,导致浮选分离困难。因此需要对浮选药剂和浮选设备进行改进和创新。在浮选药剂方面,通过研发新型捕收剂和起泡剂,可以改善铜矿物与脉石矿物之间的分离效果。新型捕收剂具有更强的选择性和吸附能力,能够更有效地捕集铜矿物;而新型起泡剂则能够产生更稳定、更细腻的泡沫层,有利于铜矿物与脉石矿物的分离,通过优化药剂配比和添加顺序,可以进一步提高浮选效果。在浮选设备方面,通过采用高效浮选机、微泡浮选机等先进设备,可以提高浮选效率和回收率。高效浮选机具有更大的充气量和更强的搅拌能力,能够产生更多的微细气泡,提高铜矿物与气泡的碰撞和附着效率;而微泡浮选机则能够产生更细小、更均匀的气泡,有利于铜矿物与气泡的紧密附着和分离。还可以尝试采

用组合浮选工艺,如正-反浮选、分步浮选等,以进一步提高铜金属的回收率。组合浮选工艺可以根据铜渣中铜矿物的特性和分布规律,设计合理的浮选流程和药剂制度,实现铜矿物与脉石矿物的有效分离。

3.3 联合工艺探索

联合工艺可以根据铜渣的具体特性和选矿要求,灵活组合不同的选矿方法和设备,实现优势互补和效果提升。一种常见的联合工艺是磁选-浮选联合工艺,该工艺首先通过磁选去除铜渣中的磁性杂质,降低后续浮选过程中的干扰因素;然后通过浮选进一步分离铜矿物与脉石矿物。磁选-浮选联合工艺能够充分发挥磁选和浮选各自的优势,提高铜金属的回收率和纯度。另一种联合工艺是火法-湿法联合工艺,该工艺首先将铜渣进行火法处理,如熔炼或吹炼,以回收其中的有价金属元素;然后对火法处理后的残渣进行湿法处理,如浸出或萃取,以进一步回收其中的铜金属。火法-湿法联合工艺能够充分利用铜渣中的有价金属元素,提高资源利用率和经济效益。还可以尝试将物理选矿、化学选矿和生物选矿等多种选矿方法进行联合应用,形成更为复杂的联合工艺。这些联合工艺可以根据铜渣的具体特性和选矿要求,进行灵活的组合和优化,以实现铜金属的高效回收和综合利用。

3.4 工艺优化与验证

在铜渣中铜金属的高效回收选矿工艺研究中,工艺优化与验证是不可或缺的环节。工艺优化主要包括参数优化和设备优化两个方面,参数优化涉及破碎、磨矿、磁选和浮选等各个环节的参数调整和优化,如破碎机的转速和排料口宽度、磨矿机的磨矿介质配比和磨矿浓度、磁选机的磁场强度和磁选流程等。通过采用正交试验、响应面分析等优化方法,可以找到最佳的参数组合,实现工艺效果的最大化。设备优化则涉及设备的选型、配置和升级改造等方面,通过选用高效、节能、环保的设备,并对其进行合理的配置和升级改造,可以提高设备的运行效率和稳定性,降低能耗和生产成本^[3]。在工艺优化过程中,还需要进行大量的实验验证和数据分析。通过实验验证,可以评估优化后的工艺效果是否达到预期目标;通过数据分析,可以深入挖掘工艺过程中的规律和问题,为进一步的优化和改进提供依据。实验验证和数据分析是工艺优化过程中不可或缺的手段和方法。

4 选矿过程中铜金属的流失与富集机制分析

4.1 铜金属在选矿过程中的流失原因分析

在铜渣选矿过程中,铜金属的流失是一个复杂且难以避免的问题。这种流失不仅降低了铜金属的回收率,

还增加了生产成本和环境负担。首先,铜渣中铜矿物的复杂性和难选性是导致铜金属流失的重要原因,铜渣中的铜往往以多种形态存在,如硫化铜、氧化铜以及与其他金属元素形成的复杂化合物。这些铜矿物在铜渣中的分布往往不均匀,且与其他矿物紧密共生,使得在选矿过程中难以完全分离,导致部分铜金属随尾矿流失。其次,选矿设备的性能限制也是导致铜金属流失的一个重要因素,传统的选矿设备,如破碎机、磨矿机和浮选机等,在处理铜渣时往往难以达到理想的分离效果。这些设备的处理能力、分离效率和稳定性等方面的限制,使得在选矿过程中部分铜矿物未能被有效捕集,从而导致铜金属的流失。选矿过程中的操作参数和工艺条件也会对铜金属的流失产生影响,如果操作参数设置不当,就会导致铜矿物未能充分解离,进而影响后续的浮选效果,使部分铜金属流失。最后,环境因素也是导致铜金属流失的一个不可忽视的原因,选矿过程中产生的粉尘、废水和废渣等污染物,如果处理不当,就会对环境和生态系统造成破坏,同时也会导致铜金属的流失。这些污染物中往往含有一定量的铜金属,如果未能得到有效回收和处理,就会造成资源的浪费和环境的污染。

4.2 铜金属在选矿产品中的富集机制探讨

铜金属在选矿产品中的富集是实现高效回收和资源综合利用的关键。富集机制主要依赖于选矿过程中的物理、化学和生物作用,以及选矿设备的性能和操作参数的优化。在浮选过程中,铜矿物表面性质的改变是实现富集的关键,通过添加适宜的捕收剂和起泡剂,可以改变铜矿物表面的电性、亲水性和吸附性等性质,使其与气泡发生有效碰撞并附着在气泡上,从而实现与脉石矿物的分离和富集。浮选过程中的气泡大小、数量和稳定性等因素也会影响铜金属的富集效果。磁选过程中,铜渣中的磁性矿物可以通过磁场的作用实现分离和富集。虽然铜本身不是磁性矿物,但铜渣中往往含有一定量的磁性杂质,如磁铁矿等。通过磁选可以去除这些磁性杂质,降低后续选矿过程中的干扰因素,也有可能间接促进铜金属的富集。联合工艺的应用也为铜金属的富集提供了新的途径,在火法处理过程中,铜渣中的有价

金属元素可以被还原和挥发出来;在湿法处理过程中,通过浸出、萃取和电解等方法,可以进一步回收和富集铜金属。

4.3 提高铜金属回收率的技术途径

为了提高铜金属的回收率,需要从多个方面入手,采取综合性的技术措施。首先,优化选矿设备的性能和操作参数是提高回收率的关键,通过选用高效、节能、环保的选矿设备,并对其进行合理的配置和升级改造,可以提高设备的处理能力、分离效率和稳定性。通过优化操作参数,如磨矿细度、磨矿浓度、浮选药剂用量和磁选磁场强度等,可以进一步提高铜金属的回收率^[4]。其次,加强选矿过程中的环境监测和污染控制也是提高回收率的重要措施,通过采取有效的粉尘治理、废水处理和废渣综合利用等措施,可以减少铜金属的流失和环境的污染,同时也有利于铜金属的回收和富集。另外,开展选矿新技术和新工艺的研究与应用也是提高回收率的有效途径。通过开发和应用智能化选矿系统和自动化控制技术,也可以实现选矿过程的精准控制和优化调整,从而提高铜金属的回收率。

结束语

综上所述,铜渣中铜金属的高效回收选矿工艺研究取得了显著成果。通过深入探索和优化预处理、浮选及联合工艺,本研究成功提升了铜渣中铜金属的回收率,为铜资源的综合利用开辟了新的途径。未来,将继续致力于选矿技术的创新与优化,推动铜渣资源的高效、环保利用,为铜冶炼行业的绿色发展贡献力量。

参考文献

- [1]于丹盈.铜铅锌矿开发中地质灾害预测与防治措施[J].世界有色金属,2023,(21):229-231.
- [2]杨芳.谢峰.李博.某铜铅锌多金属矿选矿工艺对比研究[J].云南冶金,2023,52(S1):12-19.
- [3]吴承优.某复杂难选多金属硫化矿铜铅浮选分离试验研究[J].矿冶工程,2023,43(04):73-77.
- [4]李新华.铜冶炼炉渣选矿工艺尾矿陶瓷过滤机脱水系统改进实践[J].山西冶金,2022,45(07):116-117.