

渣缓冷工艺对铜渣磁选精矿品质的影响研究

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: 本研究聚焦于渣缓冷工艺对铜渣磁选精矿品质的影响。通过系统分析不同缓冷条件下铜渣的矿物组成、微观结构及物理化学性质变化,揭示了缓冷工艺对磁选精矿铁品位、回收率及杂质含量的影响机制。研究结果显示,优化缓冷条件可显著提升磁选精矿品质,具体表现为铁品位提高、回收率增加及杂质含量降低。本研究为铜渣的高效资源化利用提供了理论依据和技术支撑。

关键词: 渣缓冷工艺; 铜渣; 磁选精矿品质

1 铜渣的物理化学性质

铜渣是炼铜过程中产生的渣,属于有色金属渣的一种,其物理化学性质如下:物理性质;铜渣的外观形貌受熔炼工艺类型、炼铜原料、熔剂和添加剂的影响差异较大。典型的铜渣颜色一般为黑色或深棕色,质地坚硬,棱角分明,表面光滑,密度在 $3.2\sim 4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 之间,堆积密度约为 $1.71\text{g}/\text{cm}^3$ 。其形状不规则,由大小不等的颗粒组成,包括个别细针状颗粒和炉渣状多孔颗粒。铜渣的吸水率较低,比重较高,作为砂的替代品时,生产密度也相对高。从微观结构上看,铜渣表面纹理呈层状,致密光滑,无孔隙。以炼铜水淬渣为例,这种铜渣几乎都是玻璃相,只有极少数结晶相(石英、长石)出现。它的细度模数为3.65,孔隙率为49.4%,质量系数为0.189。化学性质;铜渣的化学组成因炼铜原料的产地、成分、组成以及冶炼方法的不同而有较大差别,但通常包含 SiO_2 3040%, CaO 510%, MgO 15%, Al_2O_3 24%,以及大量的铁2735%和少量锌23%。其他元素如Pb、Cu、Cd、As等也存在,但含量不一。水淬铜渣是熔融状态的炼铜炉渣在水淬池中经急冷粒化而成的玻璃质原料,具有一定的火山灰活性。铜渣中的主要矿物包括铁橄榄石(含90%的 FeSiO_4)、磁铁矿、玻璃体和硫化物等。其中,铁主要以 Fe_2SiO_4 和 FeO 两种形式存在,铜主要以金属铜和 CuS 两种形式存在。铜渣中游离含水率小于0.5%,二氧化硅含量约为29%,是可溶性的,因为它是正常浇注操作中使用的天然细集料的成分之一。铜渣的物理化学性质使其在建筑材料、水泥生产、金属回收等多个领域具有广泛的应用潜力。

2 渣缓冷工艺的基本原理

渣缓冷工艺的基本原理是通过控制熔融渣的冷却速率,使其在缓慢冷却的过程中有足够的时间进行晶体的生长和相的转变,从而达到优化渣的微观结构和物理性

能的目的^[1]。在熔融渣被倾倒或排放后,如果立即进行快速冷却(如水淬),渣体会迅速凝固,形成大量细小的、非晶态的玻璃相结构。这种快速冷却方式虽然能迅速固化渣体,但往往导致渣体内部应力大,脆性增加,且不易进一步加工或利用。相比之下,渣缓冷工艺则采用较慢的冷却速度,让熔融渣在较低的温度梯度下逐渐冷却。在这个过程中,渣体中的原子或分子有足够的时间重新排列,形成更为有序的结构,如晶体相。这些晶体相通常具有更低的脆性和更高的强度,由于晶体生长的时间较长,渣体的微观结构也会更加均匀和稳定。缓冷过程还可以促进渣中某些有益成分的析出和富集,如金属元素、矿物相等,这有助于后续的回收利用或进一步加工处理。缓冷渣体的体积稳定性也更好,不易出现因快速冷却而产生的开裂、变形等问题。

3 渣缓冷工艺对铜渣性质的影响

3.1 缓冷温度对铜渣矿物组成的影响

缓冷温度是渣缓冷工艺中的关键参数之一,对铜渣的矿物组成具有显著影响。铜渣在熔融状态下包含了多种元素和化合物,这些成分在冷却过程中会根据温度的变化发生相变,从而形成不同的矿物相。在较高的缓冷温度下,铜渣中的熔融液相能够保持较长时间的流动性,有利于元素和化合物之间的充分扩散和反应。这有助于促进某些复杂矿物的形成,如铁橄榄石、磁铁矿等。高温下铜渣中的铜、铁等金属元素可能以金属相或硫化物的形式析出,这些相在后续的回收利用中具有重要价值。随着缓冷温度的降低,铜渣中的液相逐渐凝固,元素的扩散速率减缓,相变过程受到抑制。此时,铜渣中可能形成更多的玻璃相,这些玻璃相结构无序,具有较高的内能和脆性。低温下某些矿物相的形成可能受到抑制,导致铜渣的矿物组成发生变化。值得注意的是,缓冷温度的选择还需考虑铜渣的具体成分和用途。

对于富含特定矿物相的铜渣,通过调整缓冷温度可以优化其矿物组成,提高后续回收利用的效率。缓冷温度的选择还需兼顾生产效率和能耗,以实现经济效益和环境效益的平衡。

3.2 冷却速度对铜渣微观结构的影响

冷却速度的变化会显著改变铜渣中晶体相的生长速率和形态,从而影响其整体性能。在较快的冷却速度下,铜渣中的熔融液相迅速凝固,元素和化合物来不及充分扩散和反应,导致形成大量细小的、非晶态的玻璃相结构。这种微观结构具有较高的内能和脆性,不利于铜渣的后续加工和利用。较快的冷却速度还可能导致铜渣内部产生较大的应力,增加其开裂和变形的风险^[2]。相比之下,较慢的冷却速度允许铜渣中的元素和化合物有更长的时间进行扩散和反应,从而促进晶体相的生长。这些晶体相通常具有更为有序的结构和更低的脆性,有助于提高铜渣的整体性能。较慢的冷却速度还可以使铜渣中的孔隙结构更加均匀和细小,有利于改善其力学性能和耐久性。在渣缓冷工艺中,通过合理控制冷却速度可以优化铜渣的微观结构,提高其性能和使用价值。

3.3 保温时间对铜渣物理性质的影响

保温时间是渣缓冷工艺中不可忽视的一个环节,它对铜渣的物理性质具有重要影响。保温时间的长短决定了铜渣在缓冷过程中元素和化合物扩散和反应的程度,从而影响其最终的性能。较短的保温时间可能导致铜渣中的元素和化合物未能充分扩散和反应,使得其微观结构不够均匀和稳定。这可能导致铜渣的物理性质如密度、硬度、韧性等出现波动,不利于其后续加工和利用。较短的保温时间还可能使铜渣中的孔隙结构不够细小和均匀,影响其力学性能和耐久性。过长的保温时间也可能带来不利影响,长时间的保温可能导致铜渣中的某些有益成分过度挥发或氧化,从而降低其回收利用的价值。过长的保温时间还会增加生产能耗和成本,不利于实现经济效益和环境效益的平衡。

4 渣缓冷工艺对磁选精矿品质的影响

4.1 缓冷工艺对磁选精矿铁品位的影响

渣缓冷工艺在铜渣处理及后续磁选过程中扮演着至关重要的角色,其对磁选精矿的铁品位有着显著的影响。铁品位是衡量磁选精矿质量的重要指标之一,它直接反映了精矿中铁元素的含量和纯度。在缓冷工艺中,通过精确控制冷却速度和温度梯度,可以优化铜渣的微观结构和矿物组成,从而影响磁选过程中铁元素的分离效率和纯度。适当的缓冷条件有助于促进铜渣中铁橄榄石、磁铁矿等含铁矿物的形成和富集。这些矿物在磁选

过程中更容易被磁场吸引,从而提高铁元素的回收率和品位。如果缓冷工艺控制不当,如冷却速度过快或保温时间不足,可能导致铜渣中的铁元素以非晶态或细小颗粒的形式存在,这些形式的铁元素在磁选过程中难以有效分离,从而降低磁选精矿的铁品位。过快的冷却速度还可能引起铜渣内部应力的增加,导致磁选精矿在破碎和筛分过程中产生更多的细粒级和粉末,进一步降低其铁品位。

4.2 缓冷工艺对磁选精矿回收率的影响

缓冷工艺不仅影响磁选精矿的铁品位,还对其回收率产生重要影响。回收率是衡量磁选过程中铁元素被有效回收的比例,它直接关系到磁选作业的经济效益和资源利用率。在缓冷工艺中,通过优化冷却条件和保温时间,可以促进铜渣中铁元素的充分扩散和反应,形成易于磁选的矿物相。这些矿物相在磁选过程中具有更高的磁性和更大的颗粒尺寸,从而更容易被磁场捕捉和分离。适当的缓冷条件有助于提高磁选精矿的回收率。然而如果缓冷工艺控制不当,如冷却速度过快或保温时间过长,可能导致铜渣中的铁元素以复杂矿物相或细小颗粒的形式存在。这些形式的铁元素在磁选过程中难以被有效捕捉和分离,从而降低磁选精矿的回收率。过快的冷却速度还可能引起铜渣内部应力的增加,导致磁选精矿在破碎和筛分过程中产生更多的细粒级和粉末,这些细粒级和粉末在磁选过程中难以回收,进一步降低了回收率。

4.3 缓冷工艺对磁选精矿杂质含量的影响

缓冷工艺对磁选精矿的杂质含量同样具有重要影响。杂质含量是衡量磁选精矿质量的重要指标之一,它直接关系到精矿的后续利用价值和产品质量。在缓冷工艺中,通过优化冷却条件和保温时间,可以促进铜渣中杂质元素的扩散和反应,形成易于分离的矿物相。这些矿物相在磁选过程中可以被有效排除,从而降低磁选精矿的杂质含量^[3]。适当的缓冷条件还可以促进铜渣中铜、锌等有色金属的富集和回收,进一步提高磁选精矿的纯度。如果缓冷工艺控制不当,如冷却速度过慢或保温时间过长,可能导致铜渣中的杂质元素以复杂矿物相或细小颗粒的形式存在。这些形式的杂质元素在磁选过程中难以被有效排除,从而增加磁选精矿的杂质含量。过慢的冷却速度还可能引起铜渣中某些有益元素的挥发或氧化损失,进一步降低磁选精矿的纯度。

5 渣缓冷工艺影响磁选精矿品质的机制探讨

5.1 基于矿物学角度的机制分析

渣缓冷工艺对磁选精矿品质的影响,从矿物学的角

度来看,主要体现在对铜渣中矿物相的形成、转化及分布的影响上。铜渣作为炼铜过程中的副产品,其成分复杂,包含多种矿物相,如铁橄榄石、磁铁矿、硅酸盐玻璃相以及未完全反应的金属硫化物等。这些矿物相的物理化学性质各异,对磁选过程的响应也不同。在渣缓冷工艺中,通过精确控制冷却速度和温度梯度,可以影响铜渣中矿物相的形成和转化过程。缓冷条件下,熔融态的铜渣有足够的时间进行元素扩散和化学反应,促使某些矿物相(如铁橄榄石、磁铁矿)的形成和富集。这些矿物相通常具有较高的磁性和较大的颗粒尺寸,有利于后续的磁选分离。缓冷还可以减少玻璃相的形成,降低磁选过程中的非磁性夹杂物含量,从而提高磁选精矿的品质。渣缓冷工艺还能影响铜渣中矿物相的分布。在快速冷却条件下,铜渣中的矿物相往往以细小、弥散的状态存在,这增加了磁选过程中颗粒间的相互干扰,降低了磁选效率。而缓冷条件下,矿物相更倾向于形成较大的团聚体,减少了颗粒间的相互干扰,有利于磁选过程中颗粒的有效分离。从矿物学的角度来看,渣缓冷工艺通过影响铜渣中矿物相的形成、转化及分布,进而影响磁选精矿的品质。通过优化缓冷条件,可以促进有利矿物相的形成和富集,减少不利矿物相的含量,从而提高磁选精矿的铁品位、回收率和降低杂质含量。

5.2 基于物理化学角度的机制分析

从物理化学的角度来看,渣缓冷工艺对磁选精矿品质的影响主要体现在对铜渣冷却过程中热力学和动力学因素的调控上。铜渣在熔融状态下具有较高的能量和混乱度,冷却过程中伴随着能量的释放和有序度的增加。这一过程不仅涉及热量的传递和散失,还涉及元素间的扩散、化学反应以及相变等复杂过程。渣缓冷工艺通过控制冷却速度和温度梯度,影响了铜渣冷却过程中的热力学平衡和动力学过程。在缓冷条件下,铜渣中的元素和化合物有足够的时间进行扩散和反应,趋向于形成能量较低、结构更为稳定的矿物相。这些矿物相在磁选过程中表现出更好的分离性能,有利于提高磁选精矿的品质^[4]。缓冷工艺还影响了铜渣冷却过程中的相变动力

学,快速冷却条件下,相变过程受到抑制,铜渣中可能形成大量的非晶态结构或细小颗粒,这些结构在磁选过程中难以有效分离。而缓冷条件下,相变过程得以充分进行,形成了较大的矿物相颗粒,有利于磁选过程中的颗粒分离。渣缓冷工艺还通过影响铜渣中的应力状态和微观结构,进而影响了磁选精矿的品质。快速冷却可能导致铜渣内部产生较大的应力和缺陷,这些应力和缺陷在磁选过程中可能引起颗粒的破碎和团聚,降低磁选效率。而缓冷条件下,铜渣内部的应力和缺陷得到释放和减少,形成了更为均匀和稳定的微观结构,有利于磁选过程中颗粒的有效分离和回收。从物理化学的角度来看,渣缓冷工艺通过调控铜渣冷却过程中的热力学平衡、动力学过程以及应力状态和微观结构,进而影响了磁选精矿的品质。通过优化缓冷条件,可以实现铜渣中元素和化合物的有效扩散和反应,促进有利矿物相的形成和富集,减少不利矿物相的含量,从而提高磁选精矿的铁品位、回收率和降低杂质含量。

结束语

综上所述,渣缓冷工艺对铜渣磁选精矿品质具有显著影响。通过精确控制缓冷条件,可以有效优化铜渣的矿物组成和微观结构,从而提高磁选精矿的铁品位和回收率,并降低杂质含量。本研究不仅丰富铜渣资源化利用的理论体系,还为工业实践提供可行的技术路径。未来,将进一步探索渣缓冷工艺与其他处理技术的联合应用,以实现铜渣资源的高效、高值化利用。

参考文献

- [1]肖瑶.关于铜渣缓冷过程的数值仿真研究[J].科技创新,2021,(07):31-32.
- [2]袁伟杰.一种渣选矿缓冷控制系统[J].有色冶金设计与研究,2020,41(S1):20-22+28.
- [3]张恒星,袁水平,陈杭,王俊娥,吴星琳,石瑀.不同工况下铜渣缓冷热场仿真研究[J].有色金属(冶炼部分),2020,(06):12-18+36.
- [4]刘新,傅振南,张志辉.铜冶炼炉渣选矿降低尾矿含铜工艺控制的实践[J].矿冶,2022,31(01):19-24.