

# 铜火法冶炼中杂质元素脱除路径的剖析与探索

赵国华 张小雪 孙隆坤

赤峰云铜有色金属有限公司 内蒙古 赤峰 024000

**摘要:** 铜火法冶炼过程中, 杂质元素的脱除是确保铜产品质量的关键环节。本文深入探讨了铜火法冶炼过程中杂质元素的来源、影响及脱除方法。通过分析原料成分、冶炼工艺参数对杂质脱除效果的影响, 结合新型物理化学方法、先进设备与技术的应用, 提出了优化杂质脱除策略。研究表明, 综合考虑原料特性与冶炼工艺, 灵活调整冶炼参数, 并引入新技术与设备, 可显著提高杂质脱除效率, 提升铜产品质量, 降低能耗与环境污染。

**关键词:** 铜火法冶炼; 杂质元素; 脱除方法; 工艺优化

## 1 铜火法冶炼过程概述

### 1.1 铜火法冶炼的基本原理

铜火法冶炼是一种通过高温加热含铜矿石, 利用氧化还原反应将铜从其化合物中分离出来的冶炼方法。这种方法的基本原理是在高温条件下, 矿石中的铜化合物(如硫化亚铜 $Cu_2S$ )与氧气发生反应, 生成纯铜(Cu)和其他副产品, 如二氧化硫( $SO_2$ )。这一过程中, 铜的硫化物在高温下被氧化, 同时释放出大量的热能, 促进了反应的进行。主要的化学反应方程式为 $Cu_2S + O_2 = 2Cu + SO_2$ 。此外, 还涉及其他辅助反应, 如 $2CuFeS_2 + 4O_2 = Cu_2S + 3SO_2 + 2FeO$ (炉渣生成)等。火法炼铜作为一种传统的金属冶炼方法, 具有悠久的历史, 并且在现代工业中仍然是铜冶炼的主要方法之一。

### 1.2 杂质元素在冶炼过程中的行为

在铜火法冶炼过程中, 矿石中的杂质元素对冶炼过程和回收率产生重要影响。这些杂质元素在冶炼过程中的行为主要包括以下几个方面: 在冶炼过程中, 矿石中的硅、铝、镁等元素容易形成硅酸盐、氧化铝、氧化镁等化合物, 以渣的形式排出炉外。铁、锌、铅等元素也会进入到渣中, 但其分布规律取决于渣的成分和反应条件<sup>[1]</sup>。矿石中的硫元素也会产生硫酸盐, 进入到渣中。杂质元素对冶炼过程的影响: 某些杂质元素会影响矿石的熔点, 使得冶炼温度升高, 能耗增加, 生产成本提高。部分杂质元素会影响铜的析出过程, 使得铜的纯度降低, 影响产品的质量。杂质元素还会影响炼炉渣的性质, 使得渣的排放难以达到环保要求。

## 2 铜火法冶炼过程中杂质元素对产品质量的影响

在铜火法冶炼过程中, 杂质元素对产品质量具有显著影响。矿石中原本存在的硅、铝、铁、锌、铅、硫等杂质元素, 在高温冶炼环境下, 会与铜元素发生一系列复杂的物理化学反应。这些反应不仅改变了杂质元素自身的状态, 也深刻影响着铜产品的纯度和质量。具体来说, 硅、铝等元素易形成硅酸盐、氧化铝等化合物, 这些化合物往往以炉渣的形式存在, 但若炉渣未能有效分离, 便会混入铜产品中, 导致铜的纯度下降, 影响产品的导电性、耐腐蚀性以及机械性能。铁元素虽然在一定程度上可以作为铜合金的组成部分, 但过量的铁会严重影响铜的色泽和物理性能, 特别是在需要高纯度铜的场合, 如电子、电气行业, 铁杂质的含量必须严格控制。锌、铅等杂质元素则可能在冶炼过程中以金属形态或化合物形态存在, 它们不仅会降低铜的纯度, 还可能形成有害相, 影响铜产品的加工性能和最终用途。硫元素在冶炼过程中主要以二氧化硫的形式释放, 但若矿石中含硫量过高, 未能完全反应的硫会残留在铜产品中, 形成硫化铜等杂质, 影响产品的质量和稳定性。

## 3 铜火法冶炼过程中杂质元素脱除方法

### 3.1 熔炼过程中的杂质脱除

含铜硫化矿主要采用氧化法进行生产提纯, 造钼熔炼是铜火法冶炼的第一道工序, 其主要目的是通过铜精矿与氧气在高温环境下发生复杂的氧化还原反应, 实现铜的富集和与杂质的分离, 生成冰铜、炉渣及烟气的过程。其中熔炼工序的化学反应分为几个部分, 分别为: 1. 在高温条件下, 高价化合物的分解反应, 如二硫化亚铁、黄铜矿、氧化铜、碳酸化合物的分解反应, 生成低价态硫化物、氧化物、单体硫及二氧化碳等物质; 2. 在高度氧化氛围下, 硫化物被氧化的过程, 反应的物质有: 黄铜矿、铜蓝矿、硫化亚铁、硫化锌等与氧气反应, 生成

**通讯作者:** 张小雪, 1991.09, 民族: 汉 性别: 女, 籍贯: 内蒙古赤峰市, 单位: 赤峰云铜有色金属有限公司, 职称: 冶金工程师, 学历: 本科, 邮编: 1135460412@qq.com

铜硫、二氧化硫、含杂质元素的氧化物等物质,起到脱除杂质的目的;3.由于矿物中含铜量偏高,铜与氧气接触的概率较大,部分铜可能被氧化为氧化亚铜,又因铜对硫的亲合力大于铁与硫的亲合力,而铁与氧的亲合力又大于铜对氧的亲合力,氧化亚铜被硫化亚铁还原生成铜硫与氧化亚铁,此交互反应促进铁元素的脱除,实现了铜元素的进一步富集提纯;4.生成的杂质氧化物与加入的熔剂等形成炉渣排出炉外,生成的铜硫进入下一道生产工序,完成了熔炼过程。

### 3.2 吹炼过程中的杂质脱除

吹炼过程是铜火法冶炼的中间环节,起到承上启下的作用,关乎着生产稳定与安全,其中吹炼物料铜硫中含有一定量的杂质元素,其杂质的脱除分为几个部分:1.冰铜中的铁元素主要以FeS形式存在,吹炼过程在高温和富氧环境下,硫化亚铁被氧化为铁的氧化物,与熔剂完成造渣反应,形成的炉渣由于密度比粗铜小,会浮在熔体表面而被分离除去,从而实现铁的脱除;2.硫元素在富氧条件的作用下被氧化为二氧化硫,以烟气形式进入制酸系统,这样既减少了环境污染,又实现了资源的综合利用;3.冰铜中的其他杂质元素也会发生一系列复杂的化学反应<sup>[2]</sup>,硅、铝等元素与熔剂中的钙、镁等元素结合,形成硅酸盐、铝酸盐等化合物。通过优化熔剂配比和还原剂种类,可以进一步提高铜的熔出率和杂质的脱除率。还可以采用优化炉窑结构及吹炼渣型等工艺手段,以改善熔炼过程中的传质和传热条件,提高杂质元素的脱除效率。

### 3.3 精炼过程中的杂质脱除

精炼是铜火法冶炼的最后一道工序,其采用氧化精炼和还原精炼等方法去除铜中的杂质元素,实现铜金属的富集与品位的提升。将粗铜加入精炼炉,粗铜来源主要是铜硫吹炼产出的粗铜,其成分复杂含有多种杂质,若为液态粗铜可直接经溜槽加入炉内,固态粗铜则需在炉内升温熔化。氧化精炼通常是在高温下,向铜液中加入氧化剂(如氧气、空气等),氧化剂中的氧首先与铜元素反应生成氧化亚铜,氧化亚铜与铜液中的杂质金属发生氧化还原反应生成复杂的氧化物,由于杂质氧化物在铜熔液中的溶解度小而被除去,在氧化精炼期内,通常还要加入石英砂、石灰和苏打等熔剂,以使铁、铅、砷、锑等杂质氧化后与熔剂反应造渣,生成易于分离的熔渣化合物,再采用排渣方式实现杂质与铜金属的分离;精炼工序还原过程是在高温下,向炉内加入还原剂,将氧化亚铜还原成为金属铜,同时促使氧元素被还原并以化合物的形式被去除,实现铜熔液所含氧量控制

在目标范围内以满足工艺规范要求。精炼过程中,为了更有效地脱除杂质元素,通常会采用一些先进的设备和工艺,实现精炼工艺的不断发展与进步。

### 3.4 新型杂质脱除技术的应用

随着科技的进步和环保要求的提高,铜火法冶炼过程中杂质元素的脱除技术也在不断创新和发展。新型杂质脱除技术的应用不仅提高了铜的纯度,还降低了冶炼过程中的能耗和环境污染。近年来,一些新型的物理化学方法被应用于铜火法冶炼的杂质脱除过程中。例如调整熔体渣型结构、优化炉窑结构、提升工艺控制标准等方式,这些方法具有操作简便、效率高、环保等优点,因此在铜火法冶炼领域得到了广泛的应用。除了上述方法外,还有一些新型的材料和技术也被应用于铜火法冶炼的杂质脱除过程中,这些新型材料和技术为铜火法冶炼过程中杂质元素的脱除提供了新的思路和方法<sup>[3]</sup>。

## 4 铜火法冶炼过程中杂质元素脱除方法的优化策略

### 4.1 综合考虑原料成分与冶炼工艺

在铜火法冶炼过程中,原料成分与冶炼工艺的匹配度直接关系到杂质元素的脱除效果。优化杂质元素脱除方法的首要策略是综合考虑原料成分与冶炼工艺。原料成分的差异直接影响到冶炼过程中杂质的种类和含量。例如,高硫矿石在冶炼过程中会产生大量的二氧化硫,而高硅矿石则可能形成难以分离的硅酸盐炉渣。在冶炼前,应对原料进行详细的分析和测试,了解其成分特点,从而制定针对性的冶炼工艺和杂质脱除方案。冶炼工艺的选择也至关重要。不同的冶炼工艺对杂质元素的脱除效果有着显著的影响。例如,传统的鼓风炉熔炼工艺适用于处理含硫量较高的矿石,而闪速熔炼工艺则更适用于处理含铜量较高的精矿。在选择冶炼工艺时,应充分考虑原料成分、冶炼规模、能耗、环保要求等因素,以确保冶炼过程的高效、稳定和环保。原料的预处理也是提高杂质脱除效果的关键环节。通过破碎、磨矿、浮选等预处理手段,可以有效地降低原料中的杂质含量,提高冶炼过程中铜的回收率和纯度。

### 4.2 灵活调整冶炼参数与脱除条件

冶炼参数与脱除条件的优化是提高杂质元素脱除效率的重要手段。在冶炼过程中,应密切关注冶炼参数(如温度、压力、气氛等)的变化,并根据实际情况进行灵活调整,以确保冶炼过程的稳定性和高效性。温度是影响杂质元素脱除效果的关键因素之一。在熔炼过程中,适当的提高温度可以促进杂质的转化和分离,但过高的温度可能导致炉渣的粘度增加,不利于杂质的脱除。因此应根据原料成分和冶炼工艺的特点,合理设定

和调整熔炼温度。气氛的控制也是提高杂质脱除效率的重要手段。在冶炼过程中，通过控制气氛中的氧气含量和还原性气体（如一氧化碳、氢气等）的比例，可以优化杂质的转化路径和分离效果。例如，在熔炼高硫矿石时，应保持适当的氧化气氛以促进硫的氧化和脱除；而在精炼过程中，则应保持还原气氛以避免铜的二次氧化和杂质的引入。炉渣的组成和性质对杂质元素的脱除效果也有重要影响。通过调整炉渣的成分和性质（如碱度、粘度等），可以有效地促进杂质的分离和脱除。例如，在熔炼过程中加入适量的熔剂可以优化炉渣的组成和性质，提高杂质的脱除效率。

#### 4.3 引入新技术与设备提高脱除效率

随着科技的不断进步和环保要求的日益提高，引入新技术与设备成为提高杂质元素脱除效率的重要途径。近年来，一些先进的工艺技术被广泛应用于铜火法冶炼的杂质脱除过程中，其中赤峰双炉连续炼铜技术具有高效、环保、易于操作等优点，可以有效地去除铜熔液中的杂质元素，实现了工艺生产的连续性，综合冶炼工艺指标优良。先进技术的引入不仅提高了杂质元素的脱除效率，还降低了冶炼过程中的能耗和环境污染<sup>[4]</sup>。一些新型的设备也被应用于铜火法冶炼的杂质脱除过程中，包括以侧吹熔炉与顶吹炉相配合的方式冶炼生产，可以显著提高杂质元素的脱除效率和冶炼过程的稳定性。在

引入新技术与设备时，应注重技术的可行性和经济性评估。通过对新技术的原理、工艺、成本等方面进行全面分析，确保其在实际应用中的可行性和经济性。还应加强新技术与设备的研发和推广工作，推动铜火法冶炼技术的不断创新和发展。

#### 结束语

铜火法冶炼过程中杂质元素的脱除是一项复杂而重要的任务。通过本文的探讨，不仅了解了杂质元素对铜产品质量的影响及其脱除方法的现状，还认识到优化策略在提升杂质脱除效率中的重要性。未来，随着科技的不断进步和环保要求的日益提高，铜火法冶炼过程中杂质元素的脱除方法将继续向更高效、更环保的方向发展，为铜冶炼行业的可持续发展贡献力量。

#### 参考文献

- [1]谢钿生,李帅伟.铜冶炼炉渣回收选铁的实践和探索[J].铜业工程,2022(02):50-55.
- [2]樊有琪,蔡兵,罗永春,杨晓艳.铜冶炼烟尘与废酸协同处理工艺技术探索[J].云南冶金,2022,51(03):110-115.
- [3]周开敏.于跃,张云鹏.铅冶炼烟气净化污酸砷汞去除工艺应用实践[J].硫酸工业,2022(02):38-41.
- [4]孙航宇,杨洪英,王志鹏,等.铜冶炼烟尘中有价金属回收研究现状[J].中国有色冶金:综合利用与环保,2021(6):66-71.