

铜火法冶炼过程中铜和砷物质流分析

张小雪 赵国华

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,铜与砷的物质流分析揭示了两者在冶炼各阶段的转化与分布规律。原料中的铜进入熔炼阶段,铜主要转化为铜铈和粗铜,而砷则部分挥发进入烟气,部分进入炉渣和冰铜。吹炼和精炼过程中,铜进一步提纯,砷则随杂质脱除。本研究通过优化冶炼工艺、加强废物循环利用和推广清洁生产技术,旨在提高铜资源效率并有效控制砷污染,为铜冶炼行业的可持续发展提供科学依据。

关键词: 铜火法冶炼;铜物质流;砷物质流

1 铜火法冶炼技术概述

铜火法冶炼技术是一种利用高温氧化还原反应将含铜矿石或精矿转化为纯金属铜的传统冶炼方法。其基本原理是在高温条件下,通过向铜矿石或精矿中鼓入空气,使其中的铜硫化物(如 Cu_2S)与氧气反应,生成铜(Cu)和二氧化硫(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。火法炼铜技术主要包括熔炼、吹炼和精炼三个步骤。熔炼主要是造铈熔炼,产出含铜较高的冰铜。吹炼是将冰铜进一步氧化,生产粗铜。精炼则通过氧化造渣进一步脱除杂质元素,生产阳极铜。火法炼铜技术具有悠久的历史,至今仍是铜生产的主要手段之一。随着科技的进步和工业的发展,该技术已实现了机械化、自动化和大型化,大大提高了生产效率和产品质量。

2 铜与砷的化学性质及其在冶炼过程中的行为

2.1 铜和砷的基本化学性质

铜(Cu)是一种过渡金属,具有良好的导电性和导热性,且在许多化学反应中表现出相对稳定的性质。它在自然界中通常以硫化物的形式存在,如黄铜矿(CuFeS_2)。铜与多种元素能形成稳定的化合物,包括氧化物、硫化物和卤化物等^[1]。砷(As)是一种非金属元素,具有类似金属的某些性质,如能与多种金属形成合金。砷在自然界中常以硫化物的形式存在,如毒砂(FeAsS_2)和硫化砷(As_2S_3)。砷在铜中有很大的固溶度,能显著降低铜的导电率和导热性能,砷作为变质剂加入黄铜中,能防止黄

铜脱锌腐蚀,提高黄铜的耐腐蚀性。

2.2 砷在冶炼过程中的转化和分布规律

在铜的火法冶炼过程中,砷主要以硫化物的形式存在于原料中,如黄铜矿中的毒砂。在熔炼和吹炼阶段,砷硫化物在高温下分解,生成三氧化二砷(As_2O_3)和其他气体。三氧化二砷会进一步与氧气反应,生成五氧化二砷(As_2O_5)。砷的氧化物会与炉内的其他氧化物发生反应,生成稳定的砷酸盐,如铜砷酸盐($\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2$),这些砷酸盐会进入阳极铜中。部分砷也会以三氧化二砷的形态挥发进入烟气中。在精炼阶段,通过氧化造渣可以进一步脱除铜中的砷杂质。由于砷在铜中有较大的固溶度,且部分砷会以气体形式挥发,在冶炼过程中,砷的分布和转化会受到多种因素的影响,包括矿石成分、冶炼温度、气氛条件以及冶炼设备的选择等。

3 铜火法冶炼过程中铜的物质流分析

3.1 铜的代谢过程

铜的火法冶炼是一个复杂而精细的过程,它涉及多个阶段,每个阶段都伴随着铜的物质流变化。在冶炼开始前,铜精矿经过预配料,按照比例混合后通过皮带进入炉内,此步骤对于后续的冶炼过程至关重要,它们决定了原料中铜的初始浓度和杂质水平。进入熔炼阶段,精矿与熔剂混合后在高温熔炼炉内进行反应。在 1250°C 至 1350°C 的高温下,精矿中的铜硫化物(如 CuFeS_2)与氧气发生反应,生成铜铈($\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{FeS}$)和炉渣。铜铈是富含铜和铁的硫化物合金,其中还溶解有贵金属如金和银。炉渣则主要由未反应的脉石和熔剂组成,含有少量的铜和其他金属元素。熔炼后的铜铈进入吹炼阶段,通过向铜铈中吹入氧气,将铁和硫等元素氧化并从铜铈中分离出来,得到粗铜。吹炼过程中,铜铈中的铜元素以氧化铜(Cu_2O)的形式存在,并在后续反应中还原为金属铜。粗铜进入精炼阶段,通过氧化造渣进一步脱除

通讯作者: 赵国华, 1990.06, 民族: 蒙古族, 性别: 男, 籍贯: 内蒙古赤峰喀喇沁旗, 单位: 赤峰云铜有色金属有限公司, 职位: 工艺工程师, 职称: 中级工程师, 学历: 硕士研究生, 邮编: 024000, 邮箱: workzgh@163.com

杂质元素，如硫、氧、铁、锌、铅、锡和镍等，以提高铜的纯度。精炼过程中，铜液中的杂质元素与氧化铜反应生成相应的氧化物，并通过造渣过程从铜液中分离出来。最终，高品质的阳极铜被生产出来，准备用于电解精炼或其他用途。

3.2 铜的直接回收率分析

铜的直接回收率是指在冶炼过程中，从原料到最终产品的铜元素的有效转化率。原料性质是决定回收率的关键因素之一，高品位、低杂质的原料自然有利于提高回收率，因为它们减少了冶炼过程中的杂质干扰和能耗。在实际操作中，原料的品位和杂质含量往往受到地质条件、采矿方法和选矿技术等多种因素的影响。工艺参数对回收率也有显著影响。冶炼温度、时间、气氛控制等参数的合理设定，对于促进铜的氧化还原反应、减少杂质带入具有关键作用。设备效率也是影响回收率的重要因素。冶炼炉、转炉、电解槽等设备的运行效率与稳定性直接关系到铜的产出质量与回收率。高效、稳定的设备能够减少能耗、降低损失，提高回收率。例如，采用先进的熔炼炉和吹炼设备可以显著提高铜的熔炼效率和吹炼效率，从而减少铜的损失和能耗。根据物质流分析，铜的直接回收率在熔炼、吹炼和精炼单元过程中呈现出不同的水平^[2]。熔炼单元的回收率通常较高，因为在这个阶段铜元素主要以硫化物的形式存在，易于氧化和分离；吹炼单元的回收率也相对较高，因为在这个阶段铜元素以氧化物的形式存在，并可以通过还原反应有效地转化为金属铜；而精炼单元的回收率则更高，因为在这个阶段主要通过氧化造渣进一步脱除杂质元素，以提高铜的纯度。

3.3 铜的资源效率评价

铜的资源效率是指从原料开采到最终产品生产的整个过程中，铜元素的有效利用程度。在铜的火法冶炼过程中，资源效率受到多种因素的影响，包括原料利用率、能耗水平、环境影响和废弃物处理等。高资源效率意味着在冶炼过程中能够最大限度地利用铜元素，同时减少能耗和环境污染。原料利用率是衡量资源效率的重要指标之一，通过优化原料预处理过程，如加强矿石的破碎、磨矿和浮选等环节，可以提高精矿品位和降低杂质含量，从而提高原料利用率和回收率。采用先进的冶炼技术和设备也可以提高原料利用率和减少能耗。能耗水平是影响资源效率的另一个关键因素，铜的火法冶炼过程是一个高能耗的生产过程，因此降低能耗对于提高资源效率具有重要意义。通过采用新材料、新技术进行节能改造，如使用耐高温隔热保温涂料和结焦抑制剂涂

料等，可以显著降低冶炼过程中的能耗和损失。环境影响也是评价资源效率的重要指标之一。铜冶炼过程中产生的废气、废水和固体废弃物等污染物对环境造成了严重的污染和破坏。

4 铜火法冶炼过程中砷的物质流分析

4.1 砷的代谢过程

在铜的火法冶炼过程中，砷作为原料中的一种杂质元素，经历了从原料到冶炼产物的一系列复杂转化和分布过程。在原料阶段，铜精矿、选矿残渣等原料中通常含有一定量的砷元素，这些砷主要以硫化物的形式存在，如毒砂（ FeAsS_2 ）或硫化砷（ As_2S_3 ）。进入熔炼阶段，含砷硫化物在高温熔炼炉内与氧气发生反应，生成砷的氧化物，如三氧化二砷（ As_2O_3 ）。这些氧化物在炉内与其他金属氧化物发生进一步的氧化还原反应，部分砷会转化为五氧化二砷（ As_2O_5 ）或其他砷酸盐。部分砷也会以气态形式挥发进入烟气中，或进入炉渣和冰铜等冶炼产物中。在吹炼和精炼阶段，砷的氧化物继续与其他金属氧化物反应，部分砷会随铜一起被还原为金属铜，部分则进入阳极泥或电解液中。在精炼过程中，通过氧化造渣可以进一步脱除铜中的砷杂质，但仍有部分砷会残留在阳极铜或阴极铜中。最终，在废弃物处理环节，含砷的冶炼渣、烟尘和废水等需要得到妥善处理，以防止砷对环境和人体健康造成危害。

4.2 砷的转化行为分析

在铜火法冶炼过程中，砷的转化行为受到多种因素的影响，包括原料性质、冶炼温度、气氛条件以及冶炼设备的选择等。原料中的砷主要以硫化物的形式存在，这些硫化物在高温下易于分解和氧化。在熔炼阶段，随着温度的升高和氧气的加入，含砷硫化物迅速分解为砷的氧化物，并与其他金属氧化物发生反应。这些反应包括砷的氧化、还原、硫化以及与其他金属元素的结合等^[3]。在吹炼和精炼阶段，砷的转化行为更加复杂。部分砷会随铜一起被还原为金属铜，部分则与其他金属元素结合形成砷酸盐等化合物。由于冶炼过程中存在多种氧化还原反应和酸碱反应，砷的化合价和存在形态也会发生频繁变化。冶炼设备和气氛条件对砷的转化行为也有显著影响。

4.3 砷的环境影响评价

砷是一种有毒有害元素，对环境和人体健康具有潜在的危害。在铜火法冶炼过程中，砷主要以气态、固态和液态等形式存在，并通过冶炼废气、废水和固体废弃物等途径进入环境。冶炼废气中的砷主要以气态氧化物的形式存在，如三氧化二砷和五氧化二砷等。这些气态氧化物在大气中易于扩散和沉降，对周围环境和生态系

统造成污染。长期暴露于高浓度砷污染的环境中,人体健康可能会受到严重影响,如导致皮肤病变、呼吸系统疾病和神经系统损伤等。冶炼废水和固体废弃物中的砷主要以溶解态和固态形式存在。废水中的砷可以通过水体扩散和生物累积等途径对水生生态系统和人体健康造成危害。固体废弃物中的砷则可能通过淋溶、渗滤和扬尘等途径进入土壤和地下水系统,对土壤肥力和地下水水质造成污染。

5 提高铜资源效率和砷污染控制的建议

5.1 优化冶炼工艺

为提高铜资源效率和加强砷污染控制,优化冶炼工艺是首要措施,应加强对原料的预处理,通过提高精矿品位和降低杂质含量,为后续的冶炼过程奠定良好基础。在熔炼阶段,应探索更高效的熔炼技术和设备,如采用富氧熔炼或闪速熔炼等技术,以提高熔炼效率和铜的回收率。应优化熔炼过程中的气氛控制,减少砷等有害元素的挥发和损失。在吹炼和精炼阶段,应加强对吹炼炉和精炼设备的升级改造,提高设备的稳定性和运行效率。通过精确控制吹炼和精炼过程中的温度、时间和气氛条件,可以减少铜的损失和能耗,同时提高砷等杂质的脱除效率。还应加强对冶炼过程中产生的废气、废水和固体废弃物的处理,通过应用先进的环保技术和设备,降低砷等污染物的排放浓度和总量。

5.2 加强废物循环利用

加强废物循环利用是提高铜资源效率和减少砷污染的重要途径。在冶炼过程中产生的各种废弃物,如冶炼渣、烟尘和废水等,都蕴含着丰富的铜资源和可能含有砷等有害元素。加强对冶炼渣的综合利用,通过采用先进的提取和分离技术,将冶炼渣中的铜和其他有价值元素进行回收。这不仅可以提高铜资源的利用效率,还可以减少对新资源的开采需求。对于冶炼过程中产生的烟尘,应通过除尘设备和除尘技术将其捕集下来,并进行无害化处理^[4]。对于含有较高铜和砷含量的烟尘,可以进一步进行资源化利用,如作为冶炼原料的补充或用于生产其他有价值的产品。对于冶炼废水,应通过废水处理技术和设备将其中的铜和砷等污染物去除或降低至安全

浓度以下,然后进行回用或排放。通过加强废水处理过程中的监测和管理,可以确保废水处理效果达到相关标准和要求。

5.3 推广清洁生产技术

推广清洁生产技术是提高铜资源效率和加强砷污染控制的有效手段。清洁生产技术是指在生产过程中采用先进的工艺和设备,减少能源消耗和污染物排放,同时提高产品质量和生产效率的技术。在铜火法冶炼过程中,应积极推广和应用清洁生产技术,如采用低能耗、高效率的冶炼设备和工艺,优化冶炼过程中的能源利用和物料平衡,减少能源消耗和废弃物产生。还应加强对冶炼过程中产生的污染物的治理和回收,通过应用先进的环保技术和设备,将污染物转化为无害物质或资源化利用。还应加强清洁生产技术的研发和创新,不断推动冶炼技术的进步和升级,以适应日益严格的环保要求和资源节约的需求。通过加强技术研发和创新,可以开发出更加高效、环保的冶炼技术和设备,为提高铜资源效率和加强砷污染控制提供更加有力的支撑。

结束语

综上所述,铜火法冶炼过程中铜与砷的物质流分析对于提高资源效率和环境保护具有重要意义。通过深入研究铜与砷在冶炼过程中的转化行为,可以更好地理解其分布规律,并据此制定有效的控制策略。未来,随着冶炼技术的不断进步和环保要求的日益严格,铜冶炼行业将更加注重资源的高效利用和污染物的严格控制,以实现更加绿色、可持续发展。

参考文献

- [1]范晓霞;武霞.铜冶炼物料中铜的分析及其质量控制[J].石化技术,2020,27(12):39-40.
- [2]李彦军.关于铜冶炼炉渣工作的研究[J].冶金与材料,2020,40(05):17+19.
- [3]傅饶;杨林;周婷;杨炳红;喻星.铜冶炼产物中金属铜量测定方法的探讨[J].世界有色金属,2020,(18):14-16.
- [4]廖文江;余小华.铜冶炼节能减排现状与发展[J].世界有色金属,2019,(23):22+25.