

国内铜火法冶炼技术现状及展望

赵国良

赤峰云铜有色金属有限公司 内蒙古 赤峰 024000

摘 要：国内铜火法冶炼技术现状表现为技术不断创新与升级，富氧强化熔炼等技术逐渐普及，提高了冶炼效率并降低了能耗。火法冶炼依旧占据主导地位，但面临原料紧张和环保压力等挑战。随着全球铜需求的增长和新能源领域的快速发展，国内铜火法冶炼行业将迎来新的发展机遇。未来，需进一步加大技术创新力度，优化冶炼工艺，提高资源利用率，以实现可持续发展。

关键词：铜火法冶炼技术；现状分析；技术展望

引言：铜作为一种重要的工业金属，在电气、建筑、交通运输等领域具有广泛应用。火法冶炼作为铜冶炼的主要方法之一，在国内铜生产中占据重要地位。本文旨在探讨国内铜火法冶炼技术的现状及未来发展趋势，分析当前面临的挑战与机遇，为铜冶炼行业的可持续发展提供参考。

1 铜火法冶炼的定义与基本原理

铜火法冶炼是一种历史悠久的金属提取工艺，其核心在于利用高温条件下的氧化还原反应，从铜矿石或含铜精矿中提炼出金属铜。该工艺基于冶金学的基本原理，通过一系列物理化学反应，将铜元素从其天然矿物形态转化为金属形态。基本原理简述如下：首先，将铜矿石或精矿与适量的助燃剂（如焦炭、煤或天然气）以及熔剂（如石灰石）混合，送入冶炼炉中。在高温下，矿石中的铜硫化物（如黄铜矿 CuFeS_2 ）与氧气发生反应，生成铜锍（主要由铜、铁和硫组成）和炉渣。这一过程称为熔炼。随后，铜锍经过吹炼阶段，通过向熔体鼓入空气或富氧气体，进一步氧化其中的硫、铁和其他杂质。吹炼产物分为粗铜（含铜约98.5%）和炉渣。最后，粗铜经过火法精炼电解精炼，进一步去除杂质，得到纯度高达99.9%以上的电解铜。铜火法冶炼技术以其高效、适应性强等特点，在全球铜生产中占据主导地位。

2 铜火法冶炼的主要技术类型

2.1 闪速熔炼技术

闪速熔炼技术作为铜火法冶炼中的一颗璀璨明珠，以其高效、节能、环保的特性而备受瞩目。该技术通过精密的预处理工艺，将铜精矿与适量的熔剂混合均匀，形成具有一定粒度和流动性的物料。随后，这些物料在高压空气或富氧空气的推动下，以极高的速度喷入闪速炉的反应塔内^[1]。在反应塔内，物料与高温氧化性气体发生剧烈的接触和反应，硫化铜矿物迅速氧化，并释放出

大量的热能。这种快速的氧化反应不仅提高生产效率，还有效降低能耗。闪速熔炼技术还采用先进的烟气收集和除尘系统，确保生产过程中的环保性能。因此闪速熔炼技术以其卓越的性能，成为了现代铜冶炼工业中的重要支柱。

2.2 顶吹熔炼技术

顶吹熔炼技术，作为铜火法冶炼领域中的另一种主流方法，凭借其独特的工艺优势和广泛的应用前景，赢得了业界的广泛赞誉。该技术通过在熔池的上方巧妙地安装特制的吹氧装置，向熔池内部精准地吹入空气或富氧空气。这些气体在熔池内与铜精矿和熔剂发生剧烈的混合，触发了一系列复杂的氧化反应。在这些氧化反应的推动下，铜精矿中的硫化铜矿物被有效地氧化成铜锍，同时伴随着炉渣的生成。炉渣和铜锍由于物理性质的显著差异，特别是密度的不同，实现了自然的分离。这一过程不仅确保了铜金属的高效提取，还大大提高冶炼的效率和质量。顶吹熔炼技术不仅工艺成熟稳定，操作简便，更展现出强大的适应性。它能够轻松应对各种不同类型的铜精矿，灵活调整工艺参数，确保冶炼过程的顺利进行，该技术还具备较高的生产效率，完全能够满足大规模工业化生产的需求，为铜火法冶炼行业注入了新的活力。

2.3 其他熔炼技术

在铜火法冶炼的广阔天地中，除了闪速熔炼和顶吹熔炼技术外，还涌现出了许多其他具有特色的熔炼技术。其中，电炉熔炼技术以其灵活性高、易于控制的特点而备受青睐。该技术利用电能产生的热量对铜精矿进行熔炼，通过精确控制电炉的温度和气氛条件，可以实现铜精矿的高效熔炼和提取。而鼓风炉熔炼技术则是一种历史悠久的传统方法，它通过向熔炉内鼓入空气，使铜精矿在高温下发生氧化反应，生成铜锍和炉渣。虽然

鼓风炉熔炼技术的工艺相对复杂,但在某些特定条件下,如处理低品位铜精矿或含硫量较高的铜精矿时,仍具有不可替代的应用价值。这些多样化的熔炼技术共同构成了铜火法冶炼的丰富体系,为铜金属的提取提供了更多的选择和可能性。

3 国内铜火法冶炼技术的现状分析

3.1 主要冶炼企业的技术特点与产能规模

在我国铜冶炼行业中,火法冶炼技术占据主导地位,其产能规模和技术特点各具特色。主要冶炼企业凭借先进的技术和大规模的产能,在全球铜市场中扮演着重要角色。我国铜冶炼企业的火法冶炼技术主要包括闪速熔炼、顶吹熔炼等多种工艺。其中,闪速熔炼技术以其高效、连续、自动化的特点被广泛应用。例如,江西铜业贵溪冶炼厂引进的奥托昆普闪速炉,以及后续发展的“双闪”工艺(闪速熔炼+双速吹炼),显著提高了生产效率和产品质量。顶吹熔炼技术,如奥斯麦特熔炼法和艾萨熔炼法,也在国内多家冶炼企业中得到应用,这些技术通过强化冶炼过程,实现了铜品位和回收率的提升^[2]。在技术创新方面,我国铜冶炼企业不断自主研发新技术,以应对日益复杂的原料和环保要求。例如,我国恩菲和金川集团联合开发的金川铜合成炉,结合闪速炉和电炉技术,将渣含铜降低到0.7%以下,提高资源利用效率。一些企业还在吹炼技术上进行创新,如采用闪速吹炼、多枪顶吹吹炼等连续吹炼技术,以提高生产效率和环保水平。我国铜冶炼企业的产能规模庞大,且呈现出集中化、大型化的趋势。主要冶炼企业如江西铜业、铜陵有色、云南铜业等,均拥有数十万吨级的铜冶炼产能。这些企业通过规模化生产,降低生产成本,提高市场竞争力。

3.2 技术装备的现代化水平

我国铜冶炼行业的技术装备现代化水平不断提高,主要体现在自动化、数字化、智能化等方面。随着自动化技术的广泛应用,我国铜冶炼企业的生产流程实现了高度自动化。从原料准备、熔炼、吹炼到精炼,各个环节均采用了先进的自动化设备。例如,闪速炉和顶吹炉的自动化控制系统,能够实时监测炉内温度、压力等参数,并根据生产需求自动调节喷枪位置、氧气流量等,确保了生产过程的稳定性和高效性。数字化技术在我国铜冶炼行业中的应用也日益广泛。主要冶炼企业通过建立数字化工厂,实现生产数据的实时采集、分析和处理。这些数据为企业的生产管理、决策支持提供重要依据,数字化技术还促进企业之间的信息共享和协同作业,提高整个产业链的运作效率。在智能化方面,我国

铜冶炼企业也取得显著进展。一些企业通过开展智能工厂建设,初步建成了具有自动化、数字化、模型化、集成化和智能化等特征的铜冶炼智能工厂。这些智能工厂通过引入人工智能、大数据等先进技术,实现生产过程的精细化控制和优化调度,提高了生产效率和产品质量。

3.3 节能环保技术的应用情况

面对日益严峻的环保形势和“双碳”目标的提出,我国铜冶炼企业高度重视节能环保技术的应用和推广。在节能方面,我国铜冶炼企业主要采用了余热回收、能源管理系统等技术。例如,通过余热锅炉回收闪速炉和顶吹炉的烟气余热,用于发电或预热原料,显著提高了能源利用效率。能源管理系统能够实时监测企业的能源消耗情况,并根据生产需求进行智能调度和优化配置,降低能源消耗和成本。在环保方面,我国铜冶炼企业主要采用了烟气脱硫脱硝、废水处理回用、固废资源化利用等技术。例如,通过采用先进的烟气脱硫脱硝装置,有效降低烟气中的二氧化硫和氮氧化物排放浓度;通过废水处理回用系统,实现废水的零排放;通过固废资源化利用技术,将冶炼过程中产生的废渣、烟尘等转化为有价值的资源或产品,实现资源的循环利用和环境的保护。

4 国内铜火法冶炼技术的未来展望

4.1 高效、节能、环保技术的持续研发

在未来,国内铜火法冶炼技术的持续进步将紧密围绕高效、节能、环保三大核心目标展开。高效技术的研发将聚焦于提升冶炼过程的反应速率和转化率,通过优化炉型结构、改进吹炼工艺、引入新型催化剂等手段,实现生产效率和铜回收率的双重提升^[3]。节能方面,将加大对余热回收、能源梯级利用、高效燃烧等技术的研发力度,力求在保障生产需求的同时,最大限度地减少能源消耗。环保技术的研发则更加注重源头减排和末端治理的结合,推动烟气脱硫脱硝、废水零排放、固废资源化利用等技术的迭代升级,以实现铜冶炼行业的绿色可持续发展。高效、节能、环保技术的持续研发,不仅有助于提升国内铜冶炼企业的核心竞争力,还能积极响应国家节能减排和生态文明建设的号召,为铜冶炼行业的可持续发展奠定坚实基础。随着科技的不断进步和政策的持续引导,这些先进技术将逐步成为行业标配,推动整个行业向更加高效、环保、可持续的方向发展。

4.2 自动化、智能化水平的进一步提升

在自动化、智能化技术日新月异的今天,国内铜火法冶炼行业也将迎来智能化转型的浪潮。未来,自动化水平的提升将主要体现在生产流程的精细化控制和智能化调度上。通过引入先进的传感器、执行机构和控制

系统,实现对冶炼过程中温度、压力、流量等关键参数的实时监测和自动调节,确保生产过程的稳定性和高效性。智能化技术的应用则更加注重数据的挖掘和分析,利用大数据、云计算、人工智能等技术手段,对生产数据进行深度挖掘和智能分析,为企业的生产管理、决策支持提供科学依据。随着物联网、5G通信等技术的快速发展,国内铜火法冶炼行业还将迎来远程监控、故障预警、智能诊断等智能化服务的广泛应用。这些服务的引入,将进一步提升企业的生产效率和安全性,降低运维成本,为企业的数字化转型和智能化升级提供有力支撑。

4.3 多元化原料处理技术的探索与应用

面对全球铜矿资源的日益紧张和原料结构的多样化趋势,国内铜火法冶炼行业将积极探索多元化原料处理技术的研发与应用。一方面,将加强对低品位铜矿、难选铜矿等复杂原料的处理技术研究,通过选冶联合、生物冶金等先进技术,提高这些原料的利用率和铜回收率。另一方面,将加大对废旧铜材、铜渣等二次资源的回收利用力度,通过火法-湿法联合处理、熔融盐电解等先进技术,实现这些资源的循环利用和价值提升。多元化原料处理技术的探索与应用,不仅有助于缓解国内铜矿资源的紧张局面,还能促进铜冶炼行业的循环经济发展和资源节约型社会建设。随着这些技术的不断成熟和推广,国内铜火法冶炼行业将实现从“依赖原生矿”向“原生矿与二次资源并重”的转变,为行业的可持续发展注入新的活力。

4.4 产业发展方向

4.4.1 产能扩张与结构优化并重

在未来,国内铜火法冶炼行业将坚持产能扩张与结构优化并重的原则。一方面,将继续推进大型化、集约化、现代化的冶炼基地建设,通过规模效应和协同效应降低生产成本,提高市场竞争力。另一方面,将加大对老旧产能的淘汰和改造力度,推动冶炼技术的升级换代和产能结构的优化调整。通过实施严格的环保标准和能耗限额,淘汰落后产能,促进产业向更加高效、环保、可持续的方向发展。

4.4.2 国际市场布局与资源获取策略

随着全球化的深入发展,国内铜火法冶炼企业将积极拓展国际市场布局和资源获取策略。一方面,将加强与海外铜矿企业的合作与交流,通过海外投资、并购等

方式获取更多的铜矿资源,保障原料供应的稳定性和安全性^[4]。另一方面,将积极参与国际铜冶炼市场的竞争与合作,通过技术输出、品牌建设等手段提升国际影响力,推动国内铜冶炼行业走向世界舞台的中央。在国际市场布局与资源获取策略的实施过程中,国内铜火法冶炼企业将注重本土化运营和风险管理,加强与当地政府和企业的沟通与合作,确保项目的顺利实施和可持续发展。还将积极应对国际贸易摩擦和技术壁垒等挑战,通过技术创新和品牌建设提升国际竞争力。

4.4.3 产业链延伸与协同发展

未来,国内铜火法冶炼行业将更加注重产业链延伸与协同发展。将向上游延伸,加强与铜矿开采、选矿等企业的合作与交流,推动产业链的整合与优化;将向下游延伸,加强与铜加工、铜材制造等企业的合作与协同,推动产业链的延伸与拓展。通过产业链上下游企业的紧密合作与协同发展,实现资源共享、优势互补和互利共赢。在产业链延伸与协同发展的过程中,国内铜火法冶炼企业将注重技术创新和品牌建设,通过提升产品附加值和市场竞争力来推动整个产业链的升级与发展。还将积极应对市场风险和政策变化等挑战,通过多元化经营和风险管理来保障企业的稳健发展。

结束语

综上所述,国内铜火法冶炼技术在高效、节能、环保等方面取得了显著进展,但仍面临原料短缺、环保要求提高等挑战。未来,随着科技的进步和政策的引导,铜火法冶炼技术将更加注重技术创新和绿色发展,实现更高效、更环保的生产模式。同时加强国际合作,拓展海外市场,也将是国内铜火法冶炼行业的重要发展方向。有理由相信,国内铜火法冶炼技术将迎来更加广阔的发展前景。

参考文献

- [1]蒋继穆.连续炼铜杂谈[J].我国有色冶金,2020,49(5):1-8.
- [2]张楠.我国铜铅锌工业现状及发展趋势[J].硫酸工业,2021(4):1-5.
- [3]段绍甫.新起航在高质量发展中赢得主动[N].我国有色金属报,2022-01-01(2).
- [4]檀冰.铜冶炼企业发展趋势探讨[J].低碳世界,2020(3):73-74.