

# 基于绿色发展的有色金属冶金工程管理模式创新

宋幸智<sup>1,2</sup> 陈 铭<sup>2</sup>

1. 中国瑞林工程技术股份有限公司 江西 南昌 330031

2. 雷省国立科技大学 江西 南昌 330031

**摘要:** 有色金属冶金工程作为现代工业的基础性产业,在工业化、现代化建设中有着举足轻重的地位。但随着资源短缺、环境污染等压力越来越大,粗放的、高消耗、高污染、低水平的管理方式不符合现在的发展需要。在这种形势下,有色金属冶金工程管理基于绿色发展的管理创新模式是行业发展必然的选择。基于绿色发展是坚持把经济活动与生态保护协调发展的思想,即将环境生态意识运用到经济活动中去,达到让经济活动与生态环境相和谐的作用。对于有色金属冶金工程管理创新模式来说,一方面是因为绿色发展是顺应资源环境约束的客观需求;另一方面,发展绿色模式是提高企业的竞争力、促进高质量发展的有益尝试。

**关键词:** 绿色发展;有色金属冶金工程;管理模式创新;循环经济;数字化管控

## 1 引言

有色金属冶金工程作为现代工业的基础性产业,在工业化、现代化建设中有着举足轻重的地位。但随着资源短缺、环境污染等压力越来越大,粗放的、高消耗、高污染、低水平的管理方式不符合现在的发展需要。在这种形势下,有色金属冶金工程管理基于绿色发展的管理创新模式是行业发展必然的选择。基于绿色发展是坚持把经济活动与生态保护协调发展的思想,即将环境生态意识运用到经济活动中去,达到让经济活动与生态环境相和谐的作用。对于有色金属冶金工程管理创新模式来说,一方面是因为绿色发展是顺应资源环境约束的客观需求;另一方面,发展绿色模式是提高企业的竞争力、促进高质量发展的有益尝试。

## 2 有色金属冶金工程现状与绿色发展挑战

### 2.1 资源与环境双重挑战

世界铜、铝、锌等各类金属矿产资源品位品位降低,部分矿山资源采选成本增加30%以上。资源国调整矿业政策,如刚果(金)冶炼要求在该国加工建设等,加大了海外投资风险。中国最大生产者,2023年原生铜产量1200万t,再生铜比例不足35%(发达国家平均为60%)<sup>[1]</sup>。环保治理加大,欧盟要求2012年冶炼厂二氧化硫浓度控制在100mg/m<sup>3</sup>以下,与原标准对比压缩60%;中国2024年冶炼企业要求含铅冶炼配套烟气脱汞,该类改造费用估算超过50亿元。

### 2.2 技术与智能化转型困境

技术路线分化,先进技术推广应用率超过80%的龙头,但也有些中小企业还采用传统落后装备;生物冶金取得突破,南非某实验室微生物浸出技术使铜矿浸出率

可达到92%,节电降能耗成本四成;湿法冶金领域的高压酸浸技术处理红土镍矿降本率高达28%,但由于设备腐蚀问题仍然未能解决;智能转型步伐加快,云南某铜企建成国内第一个5G+AI智能工厂,炼厂综合回收率提高1.2个百分点;江西某钨业引入装备故障预测系统,实现非计划停机时间减少65%,但存在的问题主要是数据孤岛现象明显,行业级工业互联网平台尚未形成,多数中小企业也并愿意进行数字化转型。

### 2.3 循环经济体系矛盾

循环经济存在结构性矛盾。动力电池回收产业产能过剩,2023年建设处理产能200万t,而当年实际回收废旧电池仅85万t,市场不规范、回收渠道不通畅导致废旧电池流入非正常渠道,正规处理企业处理能力利用率低。贵金属二次资源的回收技术有“瓶颈”,手机电路板中贵金属回收率为85%,离子液体萃取技术可提升铂族金属回收纯度至99.99%,但该技术工业化放大遭遇离子液体稳定性差、成本高、腐蚀设备等挑战。

## 3 基于绿色发展的有色金属冶金工程管理模式创新路径

### 3.1 技术创新驱动绿色升级

#### 3.1.1 先进冶炼技术普及

首先,推广应用高效低耗的富氧熔池熔炼、闪速熔炼等先进冶炼技术。江西铜业通过技术输出推动产业绿色升级。以旗下贵溪冶炼厂为例,其自主研发的‘双闪’(闪速熔炼+闪速吹炼)工艺已向安徽铜陵、湖北大冶等5家企业输出。采用该技术后,受援企业铜综合回收率平均提升2.3个百分点(由91.2%增至93.5%,数据源自中国恩菲工程技术有限公司项目验收报告),单位产品综合

能耗下降11.8%（较GB 21248-2014标准降低18.6%，数据经SGS第三方认证），二氧化硫排放浓度稳定低于50mg/m<sup>3</sup>（优于欧盟排放标准）。其次，政府要出台政策，鼓励企业应用先进冶炼技术，比如给采用先进技术的企业以税收优惠和财政补助，给购置先进冶炼设备的企业一定比例的设备购置补助，降低企业的技术改造成本。

### 3.1.2 生物冶金与湿法冶金突破

生物冶金法与湿法冶金技术的突破为资源短缺问题及生态环境保护提供了解决方案。南非某实验室率先取得在生物冶金技术应用研究重要突破，微生物浸出技术实现了铜矿石浸出率从原来的80%提升到了92%，同时能耗降低了40%，我国企业应加大生物冶金与湿法冶金技术方面的投入，同时与科研单位加强合作<sup>[2]</sup>。例如紫金矿业与中科院过程工程研究所开展生物冶金技术应用研究及技术产业化工作，双方联合成立了研发团队，投入大量研发资金进行实验室实验与小型试验的完成，先后通过多年努力开发出适合国内铜矿的生物冶金工艺并在实际生产中进行了应用，取得了不错的效果。此外，企业也应大力推动生物冶金、湿法冶金技术的产业化推广应用建设生物冶金和湿法冶金示范工程，为后续技术推广提供成功经验。

### 3.1.3 环保技术研发与应用

对于生态环境保护严格的要求，企业应该注重环保技术的研究和应用。在废气治理上，洛阳铝业引进烟气脱硫、烟气脱硝和脱汞技术，对冶炼过程中的废气进行深度治理。采用石灰石-石膏湿法脱硫技术、选择性催化还原（SCR）脱硝技术和活性炭吸附脱汞技术，将二氧化硫排放浓度降到50mg/m<sup>3</sup>以下，氮氧化物排放浓度降到100mg/m<sup>3</sup>以下，汞排放浓度降到0.01mg/m<sup>3</sup>以下，均远小于国家和地方环保指标。在废水治理上，中国铝业引入膜生物反应器（MBR）技术和反渗透（RO）技术，对生产废水进行处理回用。出水达到国家一级A标准，回用于生产中的循环冷却水、冲洗水等，实现废水零排放，年节水几百万吨。

## 3.2 循环经济体系构建

### 3.2.1 再生资源回收利用

增加再生有色金属比重，是构建循环经济发展模式的有力措施。再生铜是我国再生有色金属回收利用比较好的领域之一，格林美也是我国再生资源回收利用行业的龙头企业。其再生铜回收利用业务取得了很大的成果。格林美制定了再生铜回收利用体系，与废旧金属回收企业、拆解电器电子产品企业等进行合作，使其再生铜回收途径更加广泛化。同时格林美致力于再生铜回

收利用技术的研发，采取科学的火法炼铜和电解炼铜技术，以此提高再生铜品质。目前格林美再生铜比例高达50%以上，大大降低了对铜等原生铜资源的依赖度。减少了对能源的消耗和污染物的排出。需要政府部门对再生资源回收利用行业加强规范和监管，从政策角度加大对再生资源回收利用企业的鼓励。如对再生资源回收利用企业减轻税收负担等政策优惠，提高其积极性。

### 3.2.2 危废处置与资源化

危废的处置。赤泥作为氧化铝生产过程中的大宗固体废弃物，其综合利用率仅15%左右。中国铝业集团开展赤泥的综合利用技术研究，并开发出应用于高速公路上的赤泥路基材料，年消纳赤泥300万吨。中国铝业集团开展了用赤泥制备陶瓷材料、制备建筑材料等研究，进一步拓展了赤泥的利用途径。企业应加大对危险废物的处置技术的研发和应用，开展危废的资源化利用。如金川集团开发出冶炼废渣综合利用技术，并应用到有色金属冶炼废渣的利用中，不仅回收了废渣中的有价金属，还将废渣制成建筑材料，实现了危废的减量化和资源化。

### 3.2.3 动力电池与贵金属回收

出现动力电池回收产能过剩迹象，贵金属二次资源回收技术亟待突破。邦普循环是国内专业从事动力电池回收的优势企业，在动力电池回收方面具有较强的技术实力和规模优势，采用物理法与化学法相结合的动力电池回收工艺有效回收动力电池中的锂、钴、镍等有价金属；与汽车厂商、电池厂商等合作建立了稳定的动力电池回收渠道。贵研铂业加大贵金属回收技术突破的研发投入力度，在手机电路板中含金、钯等贵金属的回收方面进行了大量的研发投入，开发的贵金属回收新技术对回收工艺及回收设备进行了创新，回收率可超过90%，并开展了废旧催化剂、废旧电子产品等含贵金属回收研究。

## 3.3 数字化管控与智能化转型

### 3.3.1 工业互联网平台建设

行业级工业互联网平台，作为企业进行数字化管理和智能转型升级的前提。中国有色金属工业协会牵头联合企业和科研机构共同打造了有色金属行业工业互联网平台。有色金属行业工业互联网平台汇聚行业设备、数据、技术等资源，实现设备联网、数据共享与协同制造<sup>[3]</sup>。例如，江西铜业企业生产管理中心运用工业互联网平台实现了全国多个基地的集中管理、集中控制，将制造单元进行虚拟化的集成，聚焦整体管控的协同和创新模式的变革。同时工业互联网平台也为跨行业企业间的合作提供了发展的前提。

### 3.3.2 数字孪生与设备预测维护

数字孪生将物理设备与数字模型有机结合,在不影响设备使用的基础上,实现对设备的实时监控和预测性维护。在云南铜业冶炼产线上引进数字孪生技术,通过构建设备数字孪生模型,对设备运行状态进行实时模拟分析,一旦设备出现运行异常,系统可发出预警,并提出解决方案。通过数字孪生技术,云南铜业的冶炼回收率提升1.2%,同时降低了设备的检修成本以及设备停机时间。设备故障预测系统在江西钨业得到广泛应用。对设备的运行数据进行实时监控及分析,通过对数据的机器学习训练,对于设备的故障情况予以预测,当设备可能出现故障时,系统提前通知维修人员进行维修、保养,避免了设备故障对生产的影响。应用设备故障预测系统后,江西钨业非计划停机时间降低65%,生产效率提高明显。

### 3.3.3 大数据分析决策优化

大数据分析可以为企业的决策提供科学依据。中铝国际通过对生产数据、市场数据、能源数据等进行大数据分析,建立了生产优化模型和市场预测模型。在生产优化方面,通过对生产数据的分析,中铝国际能够找出生产过程中的瓶颈环节和能耗高的工序,进行针对性的优化和改进。例如,通过调整生产工艺参数、优化设备运行方式等措施,降低了生产成本,提高了生产效率。在市场预测方面,通过对市场数据的分析,中铝国际能够及时了解市场需求的变化趋势,调整产品结构和生产计划,提高市场竞争力。同时,大数据分析还可以帮助企业发现潜在的风险和机会,为企业的战略决策提供支持。

## 3.4 政策协同与市场机制创新

### 3.4.1 环保与产业政策协同

发挥政府加强环保和工业产业政策引导的作用。工信部门《有色金属行业智能制造标准体系建设指南》提出,至2025年,30%规上有色金属企业开展智能化改造,政府用专项资金、财政补贴等引导,如某一省份出台文件,为完成改造的企业按项目投资额的15%最高给予不超过500万元补助。碳排放权交易市场扩容影响的企业,如金川集团利用能效提升项目实施,年碳配额收益5000多万元。政府出台政策支持绿色技术企业、限排关闭高污

染高能耗企业。

### 3.4.2 碳边境调节机制应对

欧盟CBAM推动冶炼企业进一步加快研发低碳技术,如中国铝业集团的氢基直接还原炼铅技术减碳65%,用氢气代替焦炭排放减量以及开发可再生能源利用、碳捕获与封存等<sup>[4]</sup>。冶炼企业要加快自身低碳技术研发应用,政府应该加强国际合作,参与谈判国家碳定价机制的制定,争取得到公平的竞争环境。

### 3.4.3 供应链金融与商业模式创新

创新供应链金融产品,“远期原料锁定+期货套保”使冶炼企业的风险损失率有望在原有基础上下降到60%左右,江西铜业使用。市场风险激发出新的盈利模式,上海有色金属网“共享熔炼”平台让小型的加工商用云服务平台预约大型的冶炼熔炼设备,可降低企业的熔炼使用设备的成本,增加盈利。企业也可以寻求创新,增强抗风险能力和竞争力。

## 结语

有色金属冶炼行业绿色发展应积极开展研究创新型、循环型、数字化的生产工艺和管理等模式,以追求经济发展效益的同时,提高资源综合利用率、减少环境污染,提高企业竞争力。有色金属冶炼行业在今后要加大绿色发展理念的推广力度,积极和世界各国开展产业绿色发展模式的学习交流,以更好地携手共进克服资源环境的问题和挑战,国家、企业和社会要共同出台政策,积极促进技术创新加大推广应用力度,加强对绿色发展管理运营工作的引导和监督。

## 参考文献

- [1]李世禧.绿色节能在冶金行业经济发展中的作用分析[J].冶金与材料,2025,45(03):184-186.
- [2]刘何美,谢朝明.绿色冶金技术创新影响因素识别研究[J].工程建设,2025,57(01):80-86.
- [3]杜一鸣,郭豪,游高,等.绿色低碳氢冶金技术研究进展[J].矿业工程,2024,22(02):62-65+69.
- [4]唐绍其.绿色冶金技术在冶金中应用与措施[J].有色金属(冶炼部分),2024,(03):157.