

## 行业视点

# “双碳”背景下有色金属行业绿色低碳发展研究

刘璐<sup>1</sup>, 程晋阳<sup>2</sup>, 羊建波<sup>2</sup>, 常青<sup>2</sup>

(1. 恩菲雄安科技发展有限公司, 河北 雄安 071700; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 有色金属行业作为国民经济的重要基础产业,其绿色转型有助于提高市场竞争力和影响力,也是国家整体绿色发展的战略需要。本文介绍了有色金属行业的金属产量、消费量、能源消费情况和碳排放数据,分析目前有色金属行业存在的问题,并介绍了几项先进典型的绿色低碳技术,最后展望了有色金属行业未来的发展方向和趋势,分析我国有色金属行业绿色低碳发展的机遇和挑战,为推动产业调整、加速绿色转型提供参考。

**[关键词]** 有色金属; 双碳; 绿色低碳; 碳排放; 能源结构; 生态修复

**[中图分类号]** X758; F426.32

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 2097-2423(2025)03-0001-05

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.03.001

## 0 引言

在全球积极应对气候变化,“双碳”目标引领时代发展的大背景下,各行业开始探索绿色转型之路。有色金属作为国民经济的基础性材料产业,对经济发展起着不可替代的支撑作用。因此,从传统高能耗、高碳排的生产模式向低碳、高效的方向迈进是行业发展的关键。深入研究有色金属行业的绿色发展路径,探索节能减排、资源高效利用及可持续发展的新模式,不仅是有色金属行业打破发展困境、实现可持续发展的关键路径,更是实现国家“双碳”目标以及全球生态环境保护的重要支撑。

本文从有色金属行业的绿色发展现状、行业碳排放数据分析、绿色低碳技术以及面临的问题和发展趋势等方面分析了我国有色金属行业绿色低碳发

展面临的机遇和挑战,助力我国有色金属行业高质量绿色发展,为推动产业调整、加速绿色转型、可持续发展提供参考。

## 1 有色金属行业绿色发展现状

### 1.1 政策背景

2022年2月,工业和信息化部、发展改革委、生态环境部、国家能源局发布《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南》,指导有色金属冶炼行业实施节能降碳技术改造,推动铝、铜、铅、锌冶炼能效基准水平以下产能基本清零。

2022年11月,工业和信息化部、发展改革委、生态环境部三部门联合印发《有色金属行业碳达峰实施方案》,提出在“十四五”期间推进有色金属行业深度调整产业结构,加快构建清洁能源体系,研发应用绿色低碳技术,明确了有色金属行业实现“碳达峰”的时间表、路线图,提出了到2030年前,电解铝清洁能源消费占比30%以上,绿色低碳、循环发展的产业体系基本建立,确保2030年前有色金属行业实现“碳达峰”的绿色低碳主要目标。

2024年7月,国务院发布《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》,提出在有色等重点行业开展碳排放核算,对碳排放增长较快的行业领域进行监测预警,并开展温室气体排放环境影响评价,对建设项目温室气体排放量和排放水平进行预测和

**[收稿日期]** 2025-01-25

**[作者简介]** 刘璐(1984—),女,辽宁沈阳人,硕士,工程师,主要从事节能低碳研究。

**[引用格式]** 刘璐,程晋阳,羊建波,等.“双碳”背景下有色金属行业绿色低碳发展研究[J].绿色矿冶,2025,41(3):1-5.

LIU Lu, CHENG Jinyang, YANG Jianbo, et al. Research on green and low-carbon development of non-ferrous metal industry under the background of “dual carbon”[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(3): 1-5.

评价。

2024年9月,生态环境部发布《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案(征求意见稿)》,电解铝行业被纳入履约,2025年底前完成2024年度碳排放履约工作。

2024年10月,中国人民银行等四部门印发的《关于发挥绿色金融作用 服务美丽中国建设的意见》指出,支持实施有色金属等重点行业减污降碳改造、环保装备更新、工艺流程优化等项目,支持退役及报废光伏组件综合利用,支持企业发行绿色债券和转型债券,支持环保基础设施项目合规发行不动产投资信托基金产品。

## 1.2 相关标准规范

为了实现“双碳”目标,按照低碳先行、源头预防、过程控制、末端治理、绿色引导的原则,完善工业节能与绿色标准体系,支撑行业绿色发展。目前,我国有色行业绿色发展标准规范的制定工作正全面推进,并取得了显著进展。“十四五”以来,有色行业发布了多项相关国家标准、行业标准和团体标准,涵盖绿色制造、清洁生产、节能减排、碳足迹量化、绿色产品评价等多个方面,如《有色金属行业绿色低碳标准化三年行动计划(2021—2023)》,GB/T 32151系列《温室气体排放核算与报告要求》,涉及铜、铅、锌、镁、铝、硅企业以及矿山企业和其他有色金属冶炼和压延加工企业。全国首个有色金属行业碳足迹国家标准《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 电解铝》已正式发布,并且第一批15项工业产品碳足迹核算团体标准也已公布,其中包括阴极铜、铅锭、锌锭、工业硅及锂离子电池等产品的碳足迹标准。

## 2 有色金属行业数据

### 2.1 有色金属产量及消费量

国家统计局数据(其中,10种常用有色金属、精炼铜、原铝产量为统计公报数据)显示,2023年,规模以上10种常用有色金属产量为7469.8万吨,比2022年增长7.1%。其中,精炼铜产量为1298.8万吨,增长13.5%;原铝产量为4159.4万吨,增长3.7%。氧化铝产量比2022年增长1.4%,铜材产量增长4.9%;铝材产量由2022年下降1.4%转为增长5.7%。

精炼铜、原铝消费好于预期。2023年我国精炼铜消费量比2022年增长7.8%;原铝消费量比2022年增长4.1%。

2023年有色金属冶炼和压延加工业增加值同比增长8.8%,较工业平均水平高1.7个百分点。产能利用率为79.5%,比2022年上升0.2个百分点,比工业平均水平高4.4个百分点。

### 2.2 能源消费情况

近年来,随着科技的发展和绿色发展要求的不断提高,有色金属行业主要产品能耗稳中有降。2023年,有色金属行业单位产品能耗指标水平进一步提高,接近或达到了世界先进水平:原铝综合交流电耗为13326 kW·h/t,同比下降0.9%;铜冶炼综合能耗(以标煤计)为198.16 kg/t,同比下降3.4%;铅冶炼综合能耗(以标煤计)为310.32 kg/t,同比增长2.4%;电解锌冶炼综合能耗(以标煤计)为843.13 kg/t,同比下降5.8%<sup>[2]</sup>。

### 2.3 碳排放情况

上海有色网数据显示,2023年有色金属行业碳排放总量约6.72亿吨,占全国碳排放总量的4.7%。2023年中国铝行业碳排放为5.3亿吨,其中,电解铝碳排放量为4.2亿吨,约占铝行业碳排放的79.2%,约占全行业的63.5%,是有色行业实现碳达峰的关键。从发展趋势看,未来中国绿电铝产量占比将逐年升高<sup>[2]</sup>,电解铝吨铝电耗与火电排放因子则逐年下降,由此推断,中国电解铝行业碳排放总量也将逐年下降,大概率最迟在2025年实现碳达峰。铜工业碳排放量为0.28亿吨,占全行业中的4.16%<sup>[3]</sup>。

### 2.4 金属再生资源及碳减排

2023年,我国再生有色金属产量为1770万吨,同比增长6.95%。其中,再生铜产量为395万吨,同比增长5.3%;再生铝产量为950万吨,同比增长9.83%。相比原生金属冶炼过程,再生金属预计将节约3881万吨标煤,节水24.6亿t,减少固体废物排放20.7亿t,减少二氧化碳排放量约1.5亿t,节约矿产资源约9亿t<sup>[4]</sup>。

## 3 有色金属行业存在问题

### 3.1 能源结构调整缓慢

我国有色金属行业主要燃料和电力来源目前仍高度依赖化石能源,导致有色金属生产过程中单位产品的碳排放量居高不下。例如,60%以上电解铝产能采用燃煤自备电,产品碳排放强度远高于国外使用清洁能源的同类型产品。由于风电、光伏等清洁能源具有间歇性和不稳定性,在并入电网时存在

较大的技术难度,使得电网消纳清洁能源的能力相对不足,限制了有色金属企业对于清洁能源的大规模应用。

### 3.2 能源利用效率较低

一些中小型有色金属企业的生产设备较为陈旧,例如老式的铜冶炼炉或铝加工设备,在加热、熔炼等过程中,由于设备的隔热性能差、燃烧不充分等问题,大量的能源被浪费,能源利用效率低下。另外,一些企业未建立完善的能源管理体系,无法准确掌握每个车间、每个工序以及每台设备的能源消耗情况,导致未能识别出能源浪费的生产环节,从而难以实现精细化的能源管理。

### 3.3 环保问题突出

有色金属的采选往往伴随着大量的土地占用、植被破坏以及尾矿废渣产生,尾矿库的管理不善也可能导致溃坝等环境灾难。冶炼是有色金属行业中能耗和碳排放的主要环节,传统的冶炼工艺需要消耗大量的煤炭等化石燃料,产生大量的二氧化碳等温室气体,并且还会产生大量的废渣和废水,对环境造成严重污染。

### 3.4 资源综合利用率偏低

赤泥是铝工业产生量和堆存量最大的固体副产物,也是有色金属行业最难处理的大宗固体废物之一。2024年,我国赤泥综合利用量1380万t,利用率为12%,实现了新的突破,但赤泥综合利用仍存在区域发展不均衡、企业利用情况差异大,赤泥利用路径仍较少、跨行业利用存在壁垒,部分地区新增氧化铝项目缺乏赤泥综合利用配套能力的难题<sup>[5]</sup>。近年来,再生金属产量持续增长,但回收体系尚不完善,致使资源回收分散,难以实现规模化、集约化的资源整合与利用;此外,再生金属的相关标准规范体系不健全,严重影响到再生金属的综合利用率以及产品质量的稳定性与可靠性。

## 4 绿色低碳技术

在深入剖析有色金属行业绿色低碳现状,梳理相关行业数据,并且明确当前存在的诸多问题之后,以下列举几项先进且具有变革潜力的绿色低碳技术<sup>[6]</sup>,为有色行业绿色转型提供参考。

### 4.1 矿山高陡边坡及尾矿库(排土场)生态恢复治理技术

该技术的核心是“类壤土”基质,其主要由腐殖质层和淋溶层组成。“类壤土”基质为植物提供了

生长扎根必需的营养和水分,肥沃的土壤腐殖质层是种子发芽扎根的基础,具备贮存养分和缓释养分的淋溶层是嫩苗强壮生长不断汲取养分的保障。“类壤土”基质技术的配方是基于前期的矿山地质环境、植被环境、大气环境、土壤质量、植物种类等调研结果,经过一系列的物化试验数据系数分析,以及植物生长指标制定的最优配比。

该项工艺技术包括基于“类壤土”基质的矿山生态环境综合治理技术以及高性能植物垫技术。该技术可使高陡边坡矿山的生态治理综合成本降低31%~49%,具有治理成本低、无二次污染、可同时处理多种重金属污染物等优点,具有很高的推广应用前景。该技术可以改善生态环境,如新增碳汇、水土保持、改善气候、提高生物多样性,还可以发展生态农业、生态旅游等产业,使生态、经济、社会效益三者协调平衡发展。

### 4.2 固废高值化生态化梯级集成利用技术

该技术采用矿石智能抛废、尾矿中金属和非金属有价组分的有效分离和富集、细粒级尾矿充填和生态修复、充填富余尾矿和抛选废石制作建材集成技术,将离散化、孤岛化的传统固废利用方式转变为基于“物料流”“价值流”的全过程一体化集成利用模式,提供固废高值化、生态化梯级协同集成利用整体解决方案,实现固废全利用,取消尾矿库,彻底化解固废堆存安全和环保风险。

该技术具体包括原矿预先智能抛废技术、尾矿有价非金属组分再选技术、采空区高浓度尾矿充填技术、尾矿资源化高值利用技术、尾矿脱水干堆与生态修复技术。该技术总体达到世界先进水平,技术成果以产品市场为导向,以减量化、高值化和生态化为目标,能够实现大宗尾矿梯级分解消纳,为尾矿综合利用提供一体化综合解决方案。

### 4.3 硫化矿矿山废弃地原位阻隔生态修复技术

该技术采用原位阻隔等措施有效抑制氧化,充分利用矿山固体废弃物“以废治废”进行土壤基质改良,提升土壤保水保肥能力,通过耐性植物复绿和经济植物复垦实现硫化矿废弃地生态修复。具体包括硫化矿矿山废弃地酸硫化物污染源源头控制技术、绿色高效原位阻隔控制酸铁技术、固体废弃物土壤基质改良技术、耐性植物复绿和经济植物复垦技术。

该技术通过建造人工植被群落,从源头上减少了酸性矿山废水产生,生态修复效果明显,对促进矿产资源保护和合理利用效果明显,有一定推广价值。

#### 4.4 含砷物料资源化、无害化处置新工艺

针对含砷物料浸出液(或有价金属回收后液)或含砷废水(如污酸等),采用石灰石进行预中和降酸,获得副产品石膏;预中和后液加入铁源,采用双氧水或  $\text{SO}_2 + \text{O}_2$  将低价砷和低价铁氧化成  $\text{As}^{5+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$ ,之后在  $90 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$  条件下控制过饱和度(pH值和晶种),使砷以臭葱石的形式沉淀,最后将其进行填埋。沉砷后液的酸度和砷含量大大降低,可采用离子交换等工艺回收镓、铜、锌等有价金属,实现有价金属综合回收。具体包括绿色短流程高效固砷关键技术(臭葱石固砷技术)、低价砷和铁协同常压高效氧化及终点判断关键技术、矿石废弃铁渣再利用技术、固砷渣砷含量控制关键技术、污酸中有价金属回收技术、含砷物料(黑铜泥、烟尘等)浸出处理后液晶型砷酸铁固砷技术。

该技术具有成本低、工艺简单、固砷渣稳定等优点,可以实现铜、铅、锌冶炼产品无害化处置,降低砷处置成本,大幅降低固砷渣对环境的潜在危险,减少含砷物料运输风险,同时实现有价金属的综合回收,推广应用前景广阔。

#### 4.5 矿山粗骨料高浓度充填关键技术

该技术利用级配指数法进行矿山单一粗粒级充填骨料的级配分析和优化,通过提高骨料粒径,降低水泥的使用单耗。具体包括戈壁粗骨料高浓度高流态管输自流充填新技术、破碎废石管输自流(或泵送)充填新技术。

该技术从理论上可完全实现废石的回填,达到零排放目标,减少大量固体废料排放地表引起的环境污染、泥石流、占地等一系列问题,实现绿色采矿。同时由于采用粗粒级骨料,可大幅降低充填成本,可以在国内绝大多数地下矿山推广应用。

#### 4.6 铅锌选矿废水处理与回用技术

该技术通过对铅锌选矿流程废水开展阶段性分质回用、集中归流预处理软化、反调酸除铅、混凝沉降及臭氧曝气等工艺快速处理,使处理后的水体满足铅锌选矿浮选用水要求,实现选矿废水的全流程回用选矿,杜绝外排废水,有效降低铅锌选矿作业对区域水资源的占用,避免了废水对区域生态环境的污染。具体包括一体式调节池废水预处理软化除钙技术、选矿废水快速均衡综合处理的一体式原水调节、反调酸除铅离子技术、臭氧氧化降 COD 技术、自动化调节控制技术。

该技术适用于铅锌选矿行业选矿废水的处理与

循环利用,促进节能减排、发展循环经济,社会效益、环境效益及经济效益显著,同时可为其他类选矿行业废水处理循环利用提供借鉴,推广应用前景广阔。

#### 4.7 矿山低浓度酸性废水低成本无害化处理技术

针对含铜酸性废水水量大、来源广、性质差异大的特点,以及传统石灰中和工艺无法回收铜的不足,成功开发了含铜酸性废水资源化利用成套关键技术,实现了酸性废水中铜金属的高效、低成本、资源化回收。对于高铜浓度( $\text{Cu} > 600 \text{ mg/L}$ )酸性废水,采用萃取-电积工艺生产阴极铜,对于中等铜浓度( $100 \text{ mg/L} < \text{Cu} < 600 \text{ mg/L}$ )酸性废水,采用硫化沉淀工艺生产硫化铜产品,对于低铜浓度( $\text{Cu} < 100 \text{ mg/L}$ )酸性废水,进行环保中和处理,使得不同浓度酸性废水按照梯度分类进行综合回收,按照工艺适配性实现资源经济社会效益最大化。具体包括高硫铜比铜矿生物堆浸技术、高铜酸性废水深度萃取回收铜技术、中铜浓度酸性废水硫化法回收铜技术、低铜浓度酸性废水石灰 HDS 中和及两段法中和工艺无害化处理技术。

该技术投资省、成本低、流程短、易操作、反应温和、对环境友好、能耗低、产品附加值高,建厂规模可大可小,所需建厂条件简单。不论含铜酸性废水量是大是小、位置是否偏远、交通是否发达,均可以进行推广应用。

## 5 有色金属行业未来发展方向和趋势

### 5.1 顺应政策导向加速转型

随着“双碳”目标的持续推进,政策法规将进一步趋严。有色金属行业会面临更严格的碳排放限制与能耗标准,对于未能达标的企业,或将面临更为严格的处罚措施,如限制产能、征收高额碳税,甚至限制市场准入等。在此形势下,有色金属企业需敏锐洞察政策走向,积极主动地调整战略布局,加速推动产业结构的优化升级。

### 5.2 研发推广节能降碳技术

聚焦于碳减排的关键环节和瓶颈问题,加快推进节能降耗新装备、新工艺的研发及应用。通过智能采矿技术和自动化设备,提高矿产资源开采效率,减少资源浪费和环境破坏。与此同时,加速研发无碳或低碳冶炼工艺,降低生产过程中的碳排放。

### 5.3 提升非化石能源占比

政府运用补贴与税收优惠等政策工具,加大对采用清洁能源、先进低碳技术的企业的政策扶持力

度,引导企业调整能源结构,加大消纳绿色能源,提高水电、风电、光伏、核电等清洁能源的使用比例,降低对传统化石能源的依赖程度。

#### 5.4 助推有色行业绿色循环发展

以“减量化、资源化、无害化”为原则,探索完善新型有色金属资源回收和综合利用体系,企业应重视废旧产品中有色金属的回收再利用,形成“资源-产品-再生资源”的闭环产业链。加强有色金属行业与电子、汽车等上下游行业的协同发展,整合各方资源,共同推动废旧产品的回收与资源再利用,有效降低原生矿产资源的开采需求,减轻对生态环境的压力。

#### 5.5 加快产业数字化转型

统筹推进重点领域矿山和智能工厂建设,企业充分利用数字化平台的强大功能,对生产过程中的能源消耗、碳排放、污染物排放等关键数据进行实时采集与精准分析,基于数据分析结果,制定更具科学性和针对性的节能减排策略,打造集工艺流程优化、动态排产、能耗管理、碳排放管理、质量优化等功能于一体的智能生产系统,构建数字智能制造体系,提

升行业企业整体竞争力。

#### [参考文献]

- [1] 董明. 有色金属行业推进绿色低碳发展的思考[J]. 绿色矿冶, 2023, 39(4): 1-5.
- [2] 中国有色金属工业协会. 2023年有色金属工业经济运行报告[R/OL]. <https://www.199it.com/archives/1705838.html>.
- [3] 上海有色网. 以新质生产力推动铜工业高质量发展(SMM铜峰会)[R/OL]. <https://news.smm.cn/news/102719860>.
- [4] 中国有色金属报. 有色金属工业稳中向好态势日趋明显[R/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/0ZcFt-QRS3UTzU5gbadgXQ>.
- [5] 中国有色金属报. 赤泥综合利用现场会[R/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/mBZMaWXH5C9Aj2sC4moPmg>.
- [6] 中华人民共和国自然资源部. 矿产资源节约和综合利用先进适用技术目录(2022年版)[R/OL]. [https://m.mnr.gov.cn/gk/tzgg/202209/t20220905\\_2758387.html](https://m.mnr.gov.cn/gk/tzgg/202209/t20220905_2758387.html).

## Research on Green and Low-carbon Development of Non-ferrous Metal Industry under the Background of “Dual Carbon”

LIU Lu<sup>1</sup>, CHENG Jinyang<sup>2</sup>, YANG Jianbo<sup>2</sup>, CHANG Qing<sup>2</sup>

(1. ENFI Xiong'an Technology Development Co., Ltd., Xiong'an 071700, China;

2. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

**Abstract:** As an important basic industry of the national economy, the green transformation of the non-ferrous metal industry is conducive to improving market competitiveness and influence, and is also a strategic need for the overall green development of the country. This paper introduces the metal production, consumption, energy consumption and carbon emission data of the non-ferrous metal industry, analyzes the existing problems in the non-ferrous metal industry, and introduces several advanced typical green low-carbon technologies. Finally, it looks forward to the future development direction and trend of the non-ferrous metal industry, analyzes the opportunities and challenges of green low-carbon development in China's non-ferrous metal industry, which provides reference for promoting industrial adjustment, accelerating green transformation.

**Key words:** non-ferrous metals; dual carbon; green low carbon; carbon emissions; energy structure; ecological restoration