

绿电铝产品碳足迹评价及价值实现研究

刘冰, 吴磊

国家电投集团综合智慧能源有限公司, 北京 100088

DOI:10.61369/ERA.2025090026

摘要 : 中国是世界上最大的原铝生产国, 铝制品及上下游产业是国民经济发展的重要支撑。随着国际绿色贸易壁垒加剧, 国外贸易体系对铝制品及下游产业链提出了更高的要求, 绿电铝是铝产业高质量发展的必由之路, 以生命周期评价碳足迹分析为视角开展研究, 梳理了欧盟绿色新政涉及绿色低碳核心要求, 探讨国内外基于生命周期评价的主要碳足迹核算方法, 就绿电铝产品实现绿色价值突破路径进行分析, 提出构建数据体系、打造核算网络、聚焦终端需求等具体建议。

关键词 : 绿电铝; 生命周期评价; 碳足迹; 绿色价值

Green Electricity Aluminum Product Carbon Footprint Evaluation and Value Realization Research

Liu Bing, Wu Lei

SPIC INTEGRATED SMART ENERGY CO., LTD. Beijing 100088

Abstract : China is the world's largest primary aluminum producer, and aluminum and upstream and downstream industries are an important support for national economic development. With the intensification of international green trade barriers, foreign trade systems have put forward higher requirements for aluminum products and industrial chains. Green electricity aluminum is the only way for the high-quality development of the aluminum industry. Taking the life cycle assessment of carbon footprint analysis as the perspective, this researchbs the core requirements of the European Green New Deal involving green and low-carbon issues, explores the main carbon footprint accounting methods based on life cycle assessment at home and abroad, analy the path of green value breakthrough for green electricity aluminum products, and proposes the construction of a data system, the creation of an accounting network, focusing on terminal demand and other specific.

Keywords : green electricity aluminum; life cycle assessment; carbon footprint; green value

引言

我国是世界最大的原铝生产国, 2022年中国原铝产量达到4021.4万t, 约占世界总产量的58%, 铝工业的CO₂排放量达到了5亿t, 占有色金属行业CO₂放量的4.63%, 占全国CO₂放量的3.45%^[1-3]。中国原铝生产技术总体上已达到世界领先水平, 但仍面临国际层面诸多绿色贸易壁垒, 欧盟于2019年提出绿色新政, 并在后续逐步完善CBAM和CEAP政策体系, 针对铝产业绿色发展提出了更高的要求。

一、国际绿色贸易壁垒政策体系

欧盟于2019年发布《欧洲绿色协议》, 提出2050年实现净零排放目标, 通过顶层设计推动经济转型。核心政策包括碳边境调整机制(CBAM)和循环经济行动计划: CBAM自2026年起对进口高碳产品征税, 覆盖铝、水泥、钢铁等6大行业; 循环经济计划要求产品披露全生命周期碳排放, 设定市场准入门槛。

(一) CBAM政策体系

2023年10月, 欧盟碳边境调节机制(CBAM)过渡期正式开始, 主要覆盖钢铁、水泥、电力、化肥、铝、氢等产业, 是欧洲绿色新政的一项重要衍生工具, 在推动绿色贸易壁垒、保护区域产业、防止碳泄露等方面发挥重要作用。根据欧盟委员会公布的实施条例, 详细列明了将被征收CBAM证书的欧盟海关税则号(CN code), 同时阐明了每类商品涵盖的温室气体。其中, 与铝相

关的商品共计14项，具体覆盖产品详见下表：

表1 CBAM 覆盖的具体铝产品类型

CN 编号	温室气体
7601- 未锻轧铝	二氧化碳和全氟碳化物
7603- 铝粉及片状粉末	二氧化碳和全氟碳化物
7604- 铝条、杆、型材及异型材	二氧化碳和全氟碳化物
7605- 铝丝	二氧化碳和全氟碳化物
7606- 铝板、片及带，厚度 >0.2mm	二氧化碳和全氟碳化物
7607- 铝箔（不论是否印花或用纸、纸板、塑料或类似材料衬背），厚度（不包括任何衬背）≤ 0.2mm	二氧化碳和全氟碳化物
7608- 铝管	二氧化碳和全氟碳化物
7609 00 00- 铝制管子附件（例如，接头、肘管、管套）	二氧化碳和全氟碳化物
7610- 铝结构（不包括品目9406的装配式建筑物）及结构组成（例如，桥梁和桥段、塔、构架杆、屋顶、屋顶框架、门窗及其框架、门槛、栏杆、柱子）；结构用铝板、铝棒、铝型材、铝管等	二氧化碳和全氟碳化物
7611 00 00- 铝贮存器、储罐、储桶及类似容器，用以贮存容量超过300升的物质（压缩或液化气体除外），不论是否内衬或隔热，但未安装机械或热设备	二氧化碳和全氟碳化物
7612- 铝桶、罐、箱及类似容器（包括刚性或可折叠管状容器），用以贮存容量不超过300升的物质（压缩或液化气体除外），不论是否内衬或隔热，但未安装机械或热设备	二氧化碳和全氟碳化物
7613 00 00- 贮存压缩成液化气体的铝容器	二氧化碳和全氟碳化物
7614- 非绝缘铝绞合线、电缆、编带及类似物	二氧化碳和全氟碳化物
7616- 其他铝制品	二氧化碳和全氟碳化物

（二）循环经济行动计划（CEAP）

欧盟于2020年3月发布《循环经济行动计划》（CEAP），作为《欧洲绿色协议》核心政策，旨在推动经济向循环经济转型，减少资源消耗和碳排放。CEAP以“使可持续产品成为欧盟规范”为目标，通过全生命周期管理（设计、生产、消费、回收）和环境足迹评估，覆盖电池、纺织、建筑、包装、塑料、电子通信及食品等七大高环境影响行业。其核心措施聚焦在立法、行业要求等层面。在立法与政策框架上，提出35项立法建议，涵盖可持续产品政策（如《生态设计指令》升级）、废弃物管理（如《塑料战略》）、循环经济服务及全球合作；在关键行业要求上，电池行业要求2024年起强制披露碳足迹，2027年要求可拆卸设计。同时创新数字化工具，推出数字产品护照（DPP），通过区块链记录产品全生命周期数据，强化供应链透明度，并在市场机制层面予以支持，如推动绿色公共采购（GPP），赋予消费者“维修权”，并建立碳足迹信息披露标准。其中，欧盟电池和废电池法规对电动汽车电池等产品的碳足迹量化、等级和阈值提出了明确要求，涉及镍、钴、锂等能源金属材料。以电动汽车电池为例，欧盟于2024年5月1日发布了《电动汽车电池碳足迹的计算和验证方法》授权法案草案；2026年8月18日前开展产品碳足迹分级；2028年2月18日前设定产品碳足迹阈值。据中国有色金属工业协会统计，2023年我国“新三样”领域消费原铝约770万吨，占总消费的18%。

二、产品生命周期评价

（一）ISO14067:2018《温室气体 产品碳足迹 量化要求及指南》

ISO14067:2018《温室气体 产品碳足迹 量化要求及指南》是国际标准化组织制定的用于量化产品碳足迹的重要顶层通用框架标准，其核心内容围绕产品碳足迹的量化、报告和验证等方面展开，为企业评估产品碳排放提供统一规范。核算基础：采用生命周期评价方法（符合 ISO14040 和 ISO14044 标准），从产品的整个生命周期出发，综合考虑各个阶段的温室气体排放和移除情况。

数据收集：收集有关产品生命周期各个阶段的数据，如原辅材料消耗、供应商到工厂的运输距离、生产能源消耗、包装材料消耗、产品使用阶段能源和温室气体消耗、产品回收和废弃过程的能源消耗、废弃处理的量等。核算模型：建立产品碳足迹核算模型，将收集到的数据录入模型进行温室气体排放的计算和分析，最终得出产品碳足迹结果，以二氧化碳当量表示。

系统边界：从摇篮到大门（Cradle-to-Gate）；覆盖全链条：从铝土矿开采开始，经氧化铝生产、预焙阳极制备、铝电解、铝液铸造，至产品离开制造商厂门终止。关键纳入环节：

直接排放包括各生产阶段的工艺排放（如电解槽 PFCs 排放）、燃料燃烧排放，间接排放包括外购电 / 热力、原辅材料上游排放（含运输）、废弃物处理排放。取舍准则为单个环节排放贡献 < 1% 可忽略，但总忽略量 ≤ 碳足迹的5%（如铝电解槽大修材料）。

（二）国际铝业协会（IAI）《原铝和前体产品碳足迹核算良好做法指南》

在铝温室气体排放（即碳排放）研究方面，国际铝业协会、欧洲铝业协会和北美铝业协会等机构一直跟踪和发布区域性的温室气体排放情况报告^[3-5]。《原铝和前体产品碳足迹核算良好做法指南》基于 ISO14067:2018《温室气体 产品碳足迹 量化要求及指南》通用标准，为铝产业计算产品碳足迹提供了推荐算法。IAI指定了从“摇篮到门”的核算方法，该方法评估产品从原材料提取到出厂过程的碳排放。其计算累计过程类似搭“乐高”积木，各模块包括产品生产过程的直接和间接排放，以及投入物料的相关排放，文件进一步明确了气候变化影响类别特征因子、排放清单、建模参数和假设、分配问题。

（三）落基山研究所《铝产品碳足迹核算及报告方法学 —— 基于国际实践》

落基山研究所对比并研究了国际上较为主流的铝产品层面碳足迹核算及报告方法，在此基础上编写了《铝产品碳足迹核算及报告方法学 —— 基于国际实践》，同时联合国内中汽碳（北京）数字技术中心有限公司、中国有色金属工业协会绿色产品评价中心开展讨论交流^[6-8]。

产品碳足迹核算：报告主体按单个生产场所核算产品碳排放，以铝熔铸产品和半加工铝合金制品展示碳足迹信息，数据随产品流转累计。固定核算边界：涵盖从采矿到最终熔铸（或进一

步加工)的生产活动排放,分为固定比较边界和完整系统边界,运输排放暂不计入,以此解决企业碳可比性问题。供应链碳排放透明度:铝生产包括原铝和再生铝,二者碳排放强度差异大。企业应报告原铝相关排放强度和废铝使用情况,提高碳排放透明度。原始数据来源:报告主体尽量用原始数据计算碳绩效指标,并明确原始数据在总碳足迹核算中的比例。

三、绿电铝产品绿色价值实现建议

(一)开展数据库建设,构建全链条数据基础设施

国内碳足迹标准现阶段总体偏少^[9],需尽快建立国家级绿电铝数据中枢,构建覆盖“矿山-电解-加工-回收”全生命周期数据库,实现碳排放因子动态校准,探索引入区块链技术确保数据可追溯性,实现数据互联互通。推动国际标准兼容性,满足 ILCD 数据格式要求;减少国际认证摩擦。

(二)激活绿色供应链产业链价值

搭建分级认证对接平台建立“基础级(绿电铝)-进阶级(绿

电+再生铝)-定制级(零碳铝)”认证体系,满足产业链下游个性化产品需求;对接 ASI 等国际知名机构,拓展国际高端买家客户,构建供应链与价值链生态,形成国际品牌影响力。

(三)探索绿电直供模式

电力是原铝生产过程的主要能源消耗,也是温室气体排放的主要来源^[10]。在青海、云南等可再生能源富集区域大力开展绿电直供探索,进一步降低铝制品碳足迹,并逐步构建国内绿电铝区域品牌,以绿电直供模式赋能铝产业上下游绿色低碳高质量发展。

参考文献

- [1] 刘智,李泽森. 2023 年政府工作报告解读:关注有色金属行业绿色转型机会 [EB/OL]. (2023-03-09) [2023-03-24].
- [2] 张伟伟. 有色金属工业碳排放现状与实现碳中和的途径 [J]. 有色冶金节能, 2021, 37(2): 1-3.
- [3] 严刚,郑逸璇,王雪松. 基于重点行业/领域的我国碳排放达峰路径研究 [J]. 环境科学研究, 2022, 35(2): 309-319.
- [4] European Aluminium. Environmental profile report 2018[EB/OL]. 2018. <https://www.european-aluminium.eu/resource-hub/environmental-profile-report-2018/>.
- [5] The Aluminum Association. The environmental footprint of semi finished aluminum products in North America[EB/OL]. 2013-12. https://www.aluminum.org/sites/default/files/LCA_Report_Aluminum_Association_12_13.pdf.
- [6] The International Aluminium Institute. GHG emissions data for the aluminium sector (2005-2019) (2020)[EB/OL]. <https://www.world-aluminium.org/publications/>.
- [7] The International Aluminium Institute. IAI statistical survey forms: Life cycle inventory (2020) [EB/OL]. <https://www.world-aluminium.org/publications/>.
- [8] The International Aluminium Institute. Report on the aluminium industry's global perfluoro carbon gases emissions[EB/OL]. 202-08. https://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2020/08/28/2019_anode_effect_survey_result_2020.pdf.s.
- [9] 刘志英,李明茂,陈嫖嫖,孔锋. 我国有色金属行业产品碳足迹评价标准现状及思考 [J]. 绿色矿冶, 2024, 40(1): 1-5.
- [10] 李明阳,高峰,孙博学,聂祚仁. 基于目标情景的中国铝生产碳减排与碳达峰分析 [J]. 中国有色金属学报, 2022, 32(1): 148-157.