

doi:10.3969/j.issn.2095-1744.2024.08.008

铜冶炼产品碳足迹核算方法与优化路径

徐忆明

(江西铜业集团贵溪冶炼厂,江西 贵溪 335400)

摘要:基于LCA生命周期法与IPCC因子法,提出适用于铜冶炼企业的产品碳足迹核算方法。以贵溪冶炼厂为模版,以矿铜冶炼全流程以及杂铜冶炼短流程为核算对象,以各生产工序为核算单元,对铜冶炼全流程碳足迹进行了核算。分析表明,矿铜冶炼工艺购入电力碳足迹占比高达86.64%,回收铜冶炼工艺购入电力碳足迹占比达53.8%,是铜冶炼产品碳足迹的主要贡献者。基于碳足迹核算结果,提出了铜冶炼企业减排环节与优化路径。

关键词:铜冶炼;产品碳足迹;核算方法;LCA生命周期法;优化路径

中图分类号:TF811

文献标志码:A

文章编号:2095-1744(2024)08-0067-10

Calculation Method and Optimization Path of Carbon Footprint of Copper Smelting Products

XU Yiming

(JCC Guixi Smelter, Guixi 335400, China)

Abstract:Based on LCA life cycle method and IPCC factor method, an accounting method for product carbon footprint of copper smelting enterprises is proposed. Taking Guixi Smelter as the template, the whole process of copper smelting and the short process of miscellaneous copper smelting as the accounting object, and each production process as the accounting unit, the carbon footprint of the whole process of copper smelting is calculated. The analysis result shows that the carbon footprint of purchased electricity from copper smelting process accounts for 86.64%, and the carbon footprint of purchased electricity from recycled copper smelting process accounts for 53.8%, which is the main contributor to the carbon footprint of copper smelting products. Based on the results of carbon footprint calculation, this paper puts forward the emission reduction link and optimization path of copper smelting enterprises.

Key words: copper smelting; Product Carbon Footprint (PCF); accounting method; Life Cycle Assessment (LCA); optimized path

伴随着几个世纪以来人类社会文明的飞跃式发展,全球气候变暖这一由温室气体排放引发的国际环境问题,备受关注。为了降低温室气体排放,缓解全球气候变暖趋势,《联合国气候变化框架公约》、

《京都议定书》、《巴黎协定》等核心文件的发布与实施,不断明确全球气候治理的目标,全球应对气候变化的共识已趋成熟。各国和国际组织纷纷提出了减排目标和碳中和时间,碳中和成为全球关注的

收稿日期:2024-01-31

基金项目:中国工程院战略咨询项目(2022-HY-24)

Fund: Supported by Chinese Academy of Engineering Strategic Consulting Project(2022-HY-24)

作者简介:徐忆明(1990—),男,工程师,从事有色金属火法冶炼。

引用格式:徐忆明. 铜冶炼产品碳足迹核算方法与优化路径[J]. 有色金属工程, 2024, 14(8): 67-76.

XU Yiming. Calculation Method and Optimization Path of Carbon Footprint of Copper Smelting Products[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2024, 14(8): 67-76.

焦点^[1-2]。

作为最早签署《联合国气候变化框架公约》的国家之一,我国政府在应对温室气体排放方面,始终发挥全球表率作用。2022年9月,我国政府明确提出“双碳战略”目标,计划在2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和。另一方面,欧盟作为全球范围内最早实施降碳战略的国家组织,于2021年7月14日正式公布碳边境调整机制(CBAM)的立法提案。

有色金属行业是国民经济的重要基础产业,是建设制造强国的重要支撑,也是我国工业领域碳排放的重点行业。为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和决策部署,切实做好有色金属行业碳达峰工作,根据《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030年前碳达峰行动方案》,结合《工业领域碳达峰实施方案》,工业和信息化部、国家发展和改革委员会、生态环境部联合制定了《有色金属行业碳达峰实施方案》^[3]。铜作为有色金属行业的主要成员之一,是全球竞相竞争的重要战略储备资源。我国作为世界铜生产与消费第一大国,铜冶炼技术经过近二十年发展已达到了世界先进水平,2022年全球精炼铜产量为2 566万t^[4],其中中国精炼铜产量为1 106.2万t,占全球总产量约43.1%。可见铜产品在有色金属行业、原材料工业中具有举足轻重的不可或缺性。

随着欧盟碳边境调整机制(CBAM)2023年10月1日正式进入试运行过渡期,被纳入机制范围内的电力、钢铁、水泥、铝、化肥等行业,特别是钢铁生产企业,在产品销售于下游行业时,已陆续被要求提供产品碳数据或产品碳足迹认证。

为加快推动建立符合国情实际的产品碳足迹管理体系,完善重点产品碳足迹核算方法规则和标准体系,建立产品碳足迹背景数据库,推进产品碳标识认证制度建设,拓展和丰富应用场景,发挥产品碳足迹管理体系对生产生活方式绿色低碳转型的促进作用,为实现碳达峰碳中和提供支撑。2023年11月13日,国家发展改革委等部门联合发布了《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》。

铜冶炼产品尽管目前尚未纳入碳边界调整机制(CBAM)的范围,但近年来,其下游的新能源汽车、锂电池等产品出口增速显著,已引起欧盟的关注,并将之纳入《欧盟电池和废电池法规》进行管理,要求

相关企业申报碳足迹数据。与此同时,我国各省市碳市场建设步伐加快,重点排放行业对碳数据、碳资产、组织碳以及产品碳足迹管理的强化已成为必然趋势^[5-6]。因此,研究铜冶炼产品的碳足迹,并在此基础上在行业内形成统一规范的核算方法,具有重要意义。

1 工艺简介

目前,世界精铜产量的约85%是由火法工艺冶炼所得。火法炼铜工艺又分为传统冶炼工艺和现代冶炼工艺。传统冶炼工艺包括鼓风炉、反射炉、电炉工艺,其产量占总产量的1/3左右。现代冶炼工艺根据反应过程原理不同又分为悬浮熔炼工艺和熔池熔炼工艺。该两类工艺生产的铜产量约各占总产量的1/3,其突出特点是由于广泛使用氧气和富氧,使得冶炼过程得到了强化^[7-8]。从生产原料来区分,则可分为铜精矿冶炼长流程以及杂铜冶炼短流程。

贵溪冶炼厂(下简称贵冶)拥有两套生产工艺一致、产能接近的生产系统,其中二系统2007年投产,生产工艺上采取“闪速熔炼+PS转炉吹炼+回转式阳极炉精炼”的火法熔炼、动力波净化+多段转化+两段吸收的烟气净化制酸、永久电极ISA法电解精炼以及磨选+浮选回收渣含铜的工艺(图1)。至2022年,贵冶二系统已形成年产精铜36万t、100%浓硫酸90万t的生产规模,总耗能约8万t标煤。

贵冶同时还拥有一座年处理废铜8万t、生产合格阳极铜7万t的倾动炉。其主要生产工艺是将废铜进行熔化、氧化造渣、还原并浇铸成合格阳极铜,是典型的废铜回收冶炼工艺,其工艺流程图如图2所示。

“碳足迹”来源于“生态足迹”的概念^[9-10]。碳足迹是指企业或个人在生产和生活过程中所排放的温室气体总量,通常以二氧化碳当量(CO₂eq)来表示。产品碳足迹是对温室气体排放在产品层面的量化衡量,亦是达成碳达峰、碳中和、碳减排及碳消除的关键工具。在节能减排、产品制造、金融投资、国际贸易等领域,其影响日益深远,已在国际范围内广泛应用。在我国政策的积极推动与激励下,各行业纷纷依据LCA全生命周期分析,针对具体行业特性开展碳足迹评估,以核算产品碳排放足迹、分析优化改进机会,进而适应未来低碳发展趋势,提升在低碳市场中的竞争力。

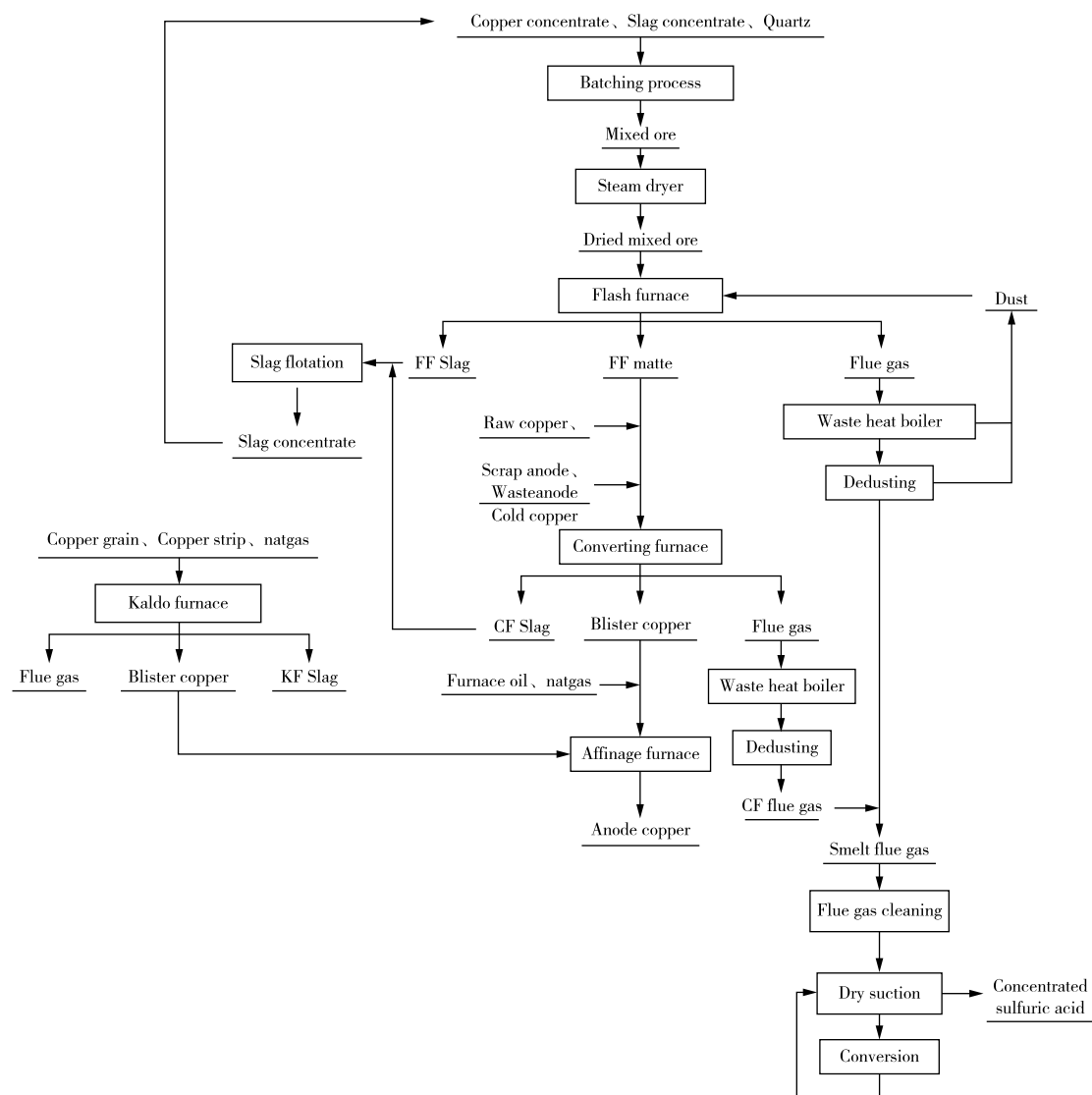


图 1 贵冶二系统全流程生产工艺流程图

Fig. 1 Flowchart of the entire production process for the Guixi Smelter II system

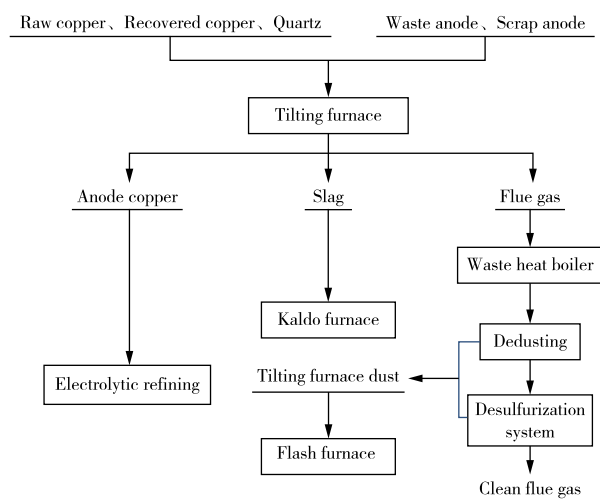


图 2 贵冶倾斜炉生产工艺

Fig. 2 Guixi Smelter tilting furnace production technology

2 铜冶炼产品碳足迹核算方法

2.1 碳足迹核算方法研究背景

虽然有色行业碳足迹核算与评价的相关标准与规范已经有不少,但真正具有指导意义、具有可操作性与典型代表性的研究不多,特别是关于铜冶炼全工艺流程的研究更是凤毛麟角。刘楠楠等^[11]、佟庆等^[12]从宏观角度提出了有色金属碳排放核算与减排策略,对于铜金属的冶炼工艺过程只考虑到了精炼铜,并没有覆盖尾矿选铜,对于铜冶炼企业没有全面的指导性。刘诚等^[13]系统分析了铜冶炼碳排放与综合能耗之间的区别,分别梳理了铜冶炼能耗与碳排放核算的相关标准、核算边界及核算方法,但没有针对典型铜冶炼企业进行核算。佟丽霞等^[14]以

某铜冶炼企业为对象简单粗略地核算了 2019 年温室气体排放情况,但没有分解到各生产工序中,且核算过程不全面,没有包涵过程排放问题。以上研究的对象均是以矿产铜冶炼工艺为对象,没有包涵近年来发展迅猛的回收铜冶炼工艺。本文以贵冶二系统为研究模版,论述矿铜冶炼全流程以及杂铜冶炼短流程碳足迹核算方法。

2.2 碳足迹核算边界

根据 PAS2050 相关标准中的规定,确定系统边界是进行碳排放核算的前提。在目前大部分已完成的碳排放核算的相关研究中,均以产品从摇篮到坟墓的全生命周期(LCA)作为碳足迹核算边界。然而铜冶炼的全生命周期涵盖内容较多,由基础原料石英、铜精矿的开采、运输、磨制浮选,到运输至铜精

矿冶炼企业初步加工成阴极铜,到最终将阴极铜加工成一个成品,其间过程错综复杂,且在时间与空间上跨度较大,难以进行核算,对全生命周期碳足迹核算的准确性有一定的影响,甚至会导致重复或遗漏计算。根据刘成等^[13]在产品制造过程碳足迹核算及优化方法研究中提出的核算边界方法,可以针对铜冶炼全流程的碳足迹核算边界问题,可以将“大门”到“大门”作为核算边界,即将从精矿入厂到阴极铜、成品酸出厂作为核算边界,如图 3 所示。这种核算边界的确定方法既可以精准地获取铜冶炼过程碳足迹原始数据并进行准确的碳足迹核算,又符合铜冶炼企业的工艺特点,同时还可以将铜制品所有相关产品的全生命周期碳足迹核算方法分解为多段,有利于各段碳足迹的精准核算。

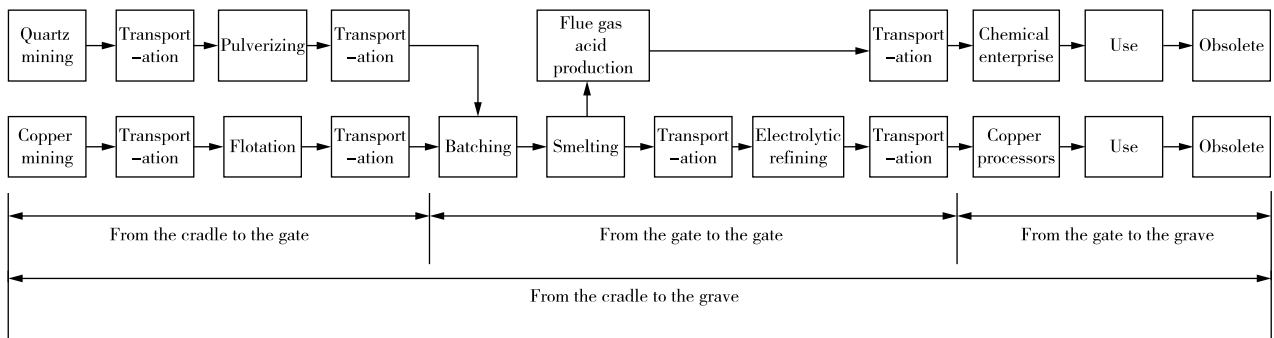


图 3 核算边界

Fig. 3 Accounting boundaries

根据贵冶铜冶炼分工序、分段落式的生产组织与生产工艺特点,为将全工艺流程各工序、各阶段产品的碳足迹进行精确评价与核算,本文在从“大门”到“大门”作为核算边界的基础之上,开创性地提出以工序、产品为划分阶段,进行从“工序”到“工序”的细化核算边界。

贵冶原材料以及产品的采购、运输等过程均由其总公司贸易分公司负责,其行为发生所产生的碳数据大多在不同的运输公司,此部分碳足迹无法核算。同时考虑到同行业其他企业大多同样的模式,因此本项目的核算边界为原料入厂后生产过程、辅助生产过程、中间物料的运输过程,不包括原料、产品的运输过程。根据二系统生产工艺,画出二系统铜冶炼全工艺的核算边界见图 4,各工序的核算边界示例如图 5 所示。

为了减少核算难度,核算过程只考虑外部输入的热力能源,系统内部自产自消的热力(如系统各余热锅炉所产生蒸汽发电降压后用于蒸汽干燥机热

源)不进行核算。中间物料的转运工作由物流公司承担,此部分单独核算,而不融入各工序中。

铜冶炼过程中所需的风、氧、氮、电、水等能源统一由动力车间提供,各生产工序作为用户均有相关计量。因此,本次核算中,将动力车间碳足迹数据转化融入到各生产工序中。而由于动力制氧工艺采取的为空气压缩液化后对不同组分进行物理分离的空分工艺,在制备氧气的过程中,氮气作为附属产品等比例自然产出,因此贵冶在核算过程只将所空分工序所有耗电分解到氧气中,氮气不分配能耗。各工序压缩风、氧用量耗能均由动力生产风、氧设备耗电按用量比例转化而来,最终体现为各工序用电量。动力生产余热锅炉用纯水所消耗外购蒸气则按用户锅炉给水用量按比例分配到各工序。

对于以倾动炉为对象的典型废铜回收冶炼工艺,其核算边界主要以外输入系统的能源,以及阴极铜转运过程的燃烧消耗,其核算边界图如图 6 所示。

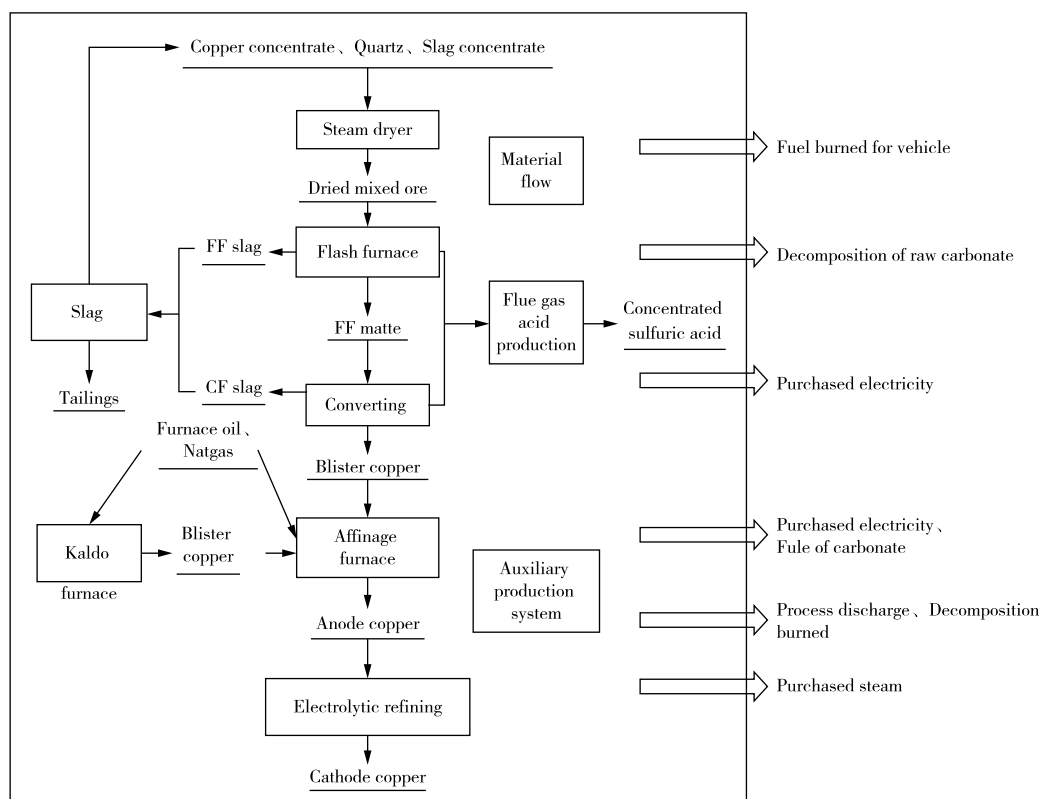


图 4 矿铜冶炼核算边界

Fig. 4 Calculation boundaries of copper smelting

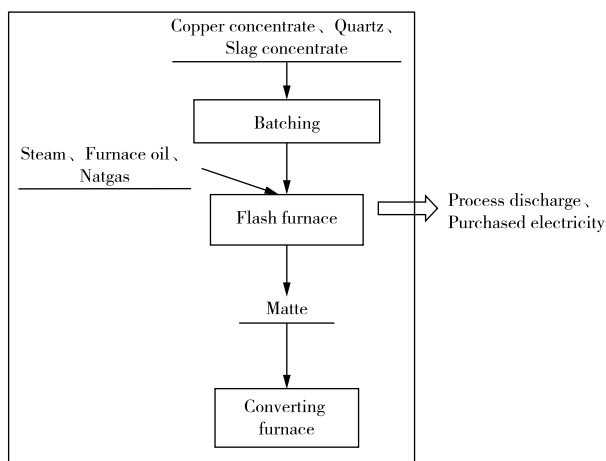


图 5 以工序划分的核算边界示例

Fig. 5 Example of an accounting boundary divided by process

2.3 核算方法

本项目首先针对全球减排降碳的背景、国内外各行业对碳足迹的研究进行了充分调研。通过广泛查找文献,确定了铜冶炼行业全工艺流程碳足迹核算评价研究的必要性。同时根据国内外、各省市已发行的碳足迹核算标准,针对贵溪冶炼厂的生产工艺、生产组织方式特点,结合 IPCC 排放因子法与

LCA 全生命周期法,开创式地提出了具有铜冶炼特色、多维度的包涵矿铜冶炼全工艺流程以及短流程的回收铜冶炼方式的碳足迹核算评价方法。基于世界最大单体炼铜工厂——江西铜业股份有限公司贵溪冶炼厂为调查对象,对其矿铜冶炼全工艺流程、废铜回收工艺流程进行了全方位的碳足迹原始数据的收集,并以此为基础,形成了铜冶炼行业全工艺流程的碳足迹核算模版。

核算方法计算公式如(1)、(2)所示。

$$E_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

$$E_i = \sum_{ij=1}^n AD_{ij} \times EF_{ij} \quad (2)$$

式中, $E_{\text{总}}$ 为全生产工艺碳足迹,单位为吨二氧化碳(tCO_2); E_i 为第 i 种工序碳足迹,单位为吨二氧化碳(tCO_2); AD_{ij} 为第 i 种工序中能源 j 的活动数据,单位为百万千焦(GJ); EF_{ij} 为第 i 种工序中能源 j 的排放因子,单位为吨二氧化碳/百万千焦(tCO_2/GJ)(或 t 或 万 Nm^3)。

各生产工序碳足迹核算按式(3)进行核算。

$$E_i = \sum_{ij=1}^n AD_{ij} \times EF_{ij} \quad (3)$$

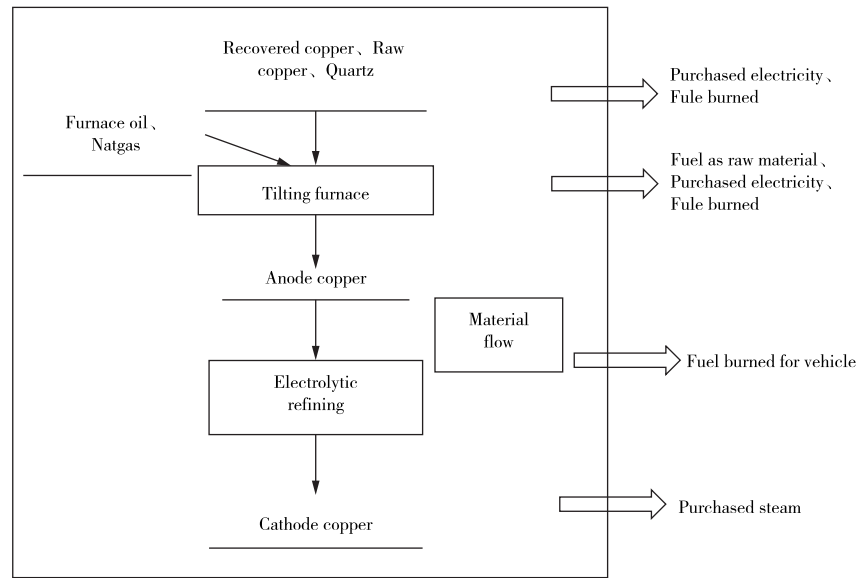


图 6 废铜回收冶炼工艺核算边界

Fig. 6 Calculation boundaries of scrap copper recovery and smelting process

2.4 活动数据来源以及排放因子选择

2.4.1 活动数据来源

本项目的核算对象主要为以二系统为对象的矿铜冶炼全工艺流程以及以倾动炉为对象的典型废铜回收冶炼工艺。活动数据主要包括：原料精矿中碳酸盐过程排放、重油天然气等燃料燃烧排放、天然气作还原剂的过程排放、购入电力隐性排放、购入低压蒸汽热力隐性排放、废酸处理过程石灰石化学反应过程排放以及物质转运过程车辆燃油作为移动源排放(表 1)。

2.4.2 排放因子选择

按照排放因子选择的来源明确性、公证性、适用性以及及时性要求,依据《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》、《其他有色金属冶炼和压延加工业企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》、《中国化工生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》和《2011—2012 年中国区域电网平均 CO₂ 排放因子》、《省级温室气体清单编制指南》等国家标准得出碳足迹核算所需排放因子和计算系数如表 2、表 3 所示。

表 1 活动数据来源

Table 1 Activity data source

Activity data class	Data level	Source	Descr
Carbonate in copper concentrate	Secondary data	Calculated value	Physical aggregate * ratio
Furnace oil	Primary data	Flowmeter	
Natgas(fuel)	Primary data	Flowmeter	
Natgas(reductant)	Primary data	Flowmeter	
Purchased electricity	Primary data	Electric meter	
Purchased steam	Primary data	Flowmeter	
Limestone for acid waste treatment	Secondary data	Calculated value	Physical aggregate * ratio
Diesel(for vehicle)	Primary data	Flowmeter	
Gasoline(for vehicle)	Primary data	Flowmeter	

表 2 因子库选择表

Table 2 Factor library selection

Factor types	Value	Factor source	Selection basis
Purchased electricity	0.525 7tCO ₂ /MWh	《Average CO ₂ emission factors of regional power grids in China in 2011—2012》	Jiangxi Province is divided into Central China according to power grid region
Purchased steam	0.297 47 tCO ₂ /GJ	《Guidelines on Accounting Methods and Reporting of Greenhouse Gas Emissions of Other Non-Ferrous Metal Smelting and Rolling Processing Enterprises (Trial)》 《General guideline of the greenhouse gas emissions accounting and reporting for industrial enterprises》	Steam enthalpy * thermal emission factor
Natgas(fuel)	21.622 18× 10 ⁻⁴ tCO ₂ /m ³	《Guidelines on Accounting Methods and Reporting of Greenhouse Gas Emissions of Other Non-Ferrous Metal Smelting and Rolling Processing Enterprises(Trial)》	Natural gas burns as fuel
Natgas(reductant)	21.622× 10 ⁻⁴ tCO ₂ /m ³		Natural gas reducing agent is involved in anode furnace reduction process
Furnace oil	3.170 46 tCO ₂ /t		furnace oil as fuel
Diesel for fuel	3.177 2 tCO ₂ /t		diesel as fuel
Carbonate in copper concentrate	0.405 tCO ₂ /t		Calcium carbonate in copper concentrate directly participates in the decomposition reaction in the reaction tower
Limestone for acid waste treatment	0.439 7 tCO ₂ /t	《Accounting Methods and Reporting Guidelines for Greenhouse Gas Emissions of Chemical Production Enterprises in China(Trial)》	Calcium carbonate is used to neutralize dilute acids and belongs to the chemical production process

表 3 物流运输因子库选择

Table 3 Logistics transportation factor library selection

Factor types	Lower eating value/(GJ·t ⁻¹)	Carbon content per unit calorific value/(tC·GJ ⁻¹)	Carbon oxidation rate/%	Data sources
Diesel(for vehicle)	43.33	0.020 2	99	《Guidelines on Accounting Methods and Reporting of Greenhouse Gas Emissions of Enterprises in Other Sectors of Industry (Trial)》《Accounting methods and Reporting guidelines for greenhouse gas emissions of land transport enterprises》
Gasoline(for vehicle)	44.80	0.018 9	98	

2.5 核算结果

以贵冶二系统为代表的矿铜冶炼全工艺流程以及以贵冶倾动炉杂铜冶炼工艺流程碳足迹核算结果见表 4、表 5(为保护企业数据安全,本文相应数据有加工,但能在一定程度上反映企业情况)。

从表 4 可以看到,典型的矿铜冶炼工艺中,生产过程中的购入电力消耗碳足迹占比高达 86.63%。因此,生产过程中的电力消耗是影响产品碳足迹的关键要素,也是降低产品碳足迹的关键环节。通过

分析各生产工序的能耗占比以及购入电力排放在各工序中的占比情况,可以看到电解精炼电力消耗占 23.11%,制氧机购入电力占比合计 16.50%,烟气制酸 14.52%,是电力挖潜优化的关键工序。

从表 5 可以看出,对于回收铜冶炼短流程工艺,用于加热融化废铜的燃料燃烧造成的碳排放和电解精炼过程的电力排放是主要因素,就整体工艺流程各能源排放而言,外购电力排放占比达 56.39%。因此电力挖潜以及清洁燃料的替代是优化方向。

表 4 贵冶矿铜全工艺以及各工序排放强度核算情况
Table 4 Accounting status of copper smelting process and emission intensity of each process

Process sections	Activity type	Carbon emission/ tCO ₂	Proportion of whole process/%	Total/ tCO ₂	Process ratio/%	Product segment total/tCO ₂	Product segment ratio/%
Smelting furnace	Purchased electricity	14 000	4.62	66 625	21.99	81 825	27.01
	Compressed gas Divides electricity	6 000	1.98				
	Purchased steam	1 500	0.50				
	Furnace oil	45	0.01				
	Oxygen divides electricity	40 000	13.20				
	Diesel(fuel)	50	0.02				
	Carbonate in copperconcentrate	5 000	1.65				
	Natgas(fuel)	30	0.01				
Converting furnace	Purchased electricity	10 000	3.30	15 200	5.02		
	Purchased steam	0	0.00				
	Natgas(fuel)	200	0.07				
	Oxygen divides electricity	5 000	1.65				
Kaldo furnace	purchased electricity	2 000	0.66	14 000	4.62	14 000	4.62
	Compressed gas divides electricity	3 000	0.99				
	Natgas(fuel)	7 000	2.31				
	Oxygen divides electricity	2 000	0.66				
Affinage furnace	Purchased electricity	2 000	0.66	26 300	8.68	26 300	8.68
	Compressed gas divides electricity	4 000	1.32				
	Purchased steam	300	0.10				
	Natgas(fuel)	1 000	0.33				
	Natgas(reductant)	4 000	1.32				
	Oxygen divides electricity	3 000	0.99				
	Furnace oil	12 000	3.96				
Flue gas desulfurization	Purchased electricity	9 000	2.97	9 000	2.97		
Flue gas acid production	Purchased electricity	44 000	14.52	47 010	15.52	56 010	18.49
	Compressed gas divides electricity	200	0.07				
	Purchased steam	800	0.26				
	Natgas(fuel)	10	0.00				
	Limestone for acid waste treatment	2 000	0.66				
Electrolytic refining	purchased electricity	70 000	23.11	75 200	24.82	75 200	24.82
	Compressed gas divides electricity	200	0.07				
	Purchased steam	5 000	1.65				
Slag separation	Purchased electricity	48 000	15.84	48 050	15.86	48 050	15.86
	Compressed gas divides electricity	50	0.02				
Logistics transportation	Diesel(for vehicle)	50	0.02	1 550	0.51	1 550	0.51
	Gasoline(for vehicle)	1 500	0.50				
Total		302 935	100.0	302 935	100.0	302 935	100.0

表 5 短流程铜冶炼核算结果
Table 5 Accounting results of short process copper smelting

Process sections	Activity type	Carbon emission/tCO ₂	Process ratio/%
Tilting furnace	Purchased electricity	3 000	57.34
	Compressed gas divides electricity	500	
	Natgas(fuel)	250	
	Natgas(reductant)	2 000	
	Oxygen divides electricity	3 000	
	Furnace oil	18 000	
	Diesel(for vehicle)	400	
Electrolytic refining	Purchased electricity	19 000	42.66
	Purchased steam	1 200	
Total		47 350	

3 优化路径

通过对产品碳足迹构成进行分析,可以看出生产电力消耗、生产热力消耗和运输燃料消耗是铜冶炼产品碳足迹的主要贡献者,也体现出其潜在的减排环节。

1)提高产品生产过程中的电效效率。通过设备和系统的节能改造,优化工艺流程,降低生产过程中的电耗。采用先进的工艺技术、能效高的耗能设备以及结合数字化手段,形成 EMS 管理平台。

2)对关键耗电设备的先进低能耗技术改造(如变频控制、时控、温控改造,永磁悬浮等低能耗技术应用)可以有效地降低购入电力总量。加强生产全过程的管理。优良的生产管理,可以有效降低生产过程中的电耗,减少能源使用,降低碳排放。

3)铜火法冶炼、烟气制酸等过程中,存在许多低位余热回收难,一方面热量浪费,另一方面其他工序又需要购入热力补充。因此,可以依靠先进低位余热回收技术(如 MVR 技术),进一步降低购入热力碳排放量。例如制酸车间干吸工序浓酸低位余热回收,此部分潜力非常可观。若可实现,不但可解决外购热力补充问题,还会有大量蒸汽富余,进一步可用于发电,一方面可降低购入热力排放,另一方面冲抵电力购入排放。

4)绿色清洁能源替代。对比单位同等热值水平,天然气碳排放量较燃料油低,可以进一步推进燃料油的替代。

5)由于夏冬两季,生产工序对于购入热力的需求量存在很大差异,导致夏季系统自产蒸汽富余、冬季自产蒸汽不足的现象,需要采用先进的储能技术、优化各工序用量等手段进行碳足迹管理优化。

6)光伏绿电技术的应用。利用企业地域优势,发展太阳能发电装置应用场景,提高企业自发电量,从而降低外购电力带来的隐性碳排。

7)碳足迹占比来看,购入电力在矿铜冶炼中占比 86.55%,因此可进一步推进部分蒸汽动力驱动机对大功率电机的应用,进而降低碳排放。

4 结语

在碳税、碳交易市场建设过程中,碳数据核查、国家自有因子库建立、碳足迹核算标准是重要且基础的一项工作。虽然对于铜冶炼产品而言,碳排放总量、排放强度以及生产规模相较钢铁、铝、水泥等产品明显要低,且也未纳入欧盟 CBAM 协议

中,但作为重点排放行业,在国家“双碳”战略施行以及国内各省市碳市场逐步推行的大背景下,铜冶炼头部也必须积极推动碳足迹核算工作,积极参与行业核算标准的建立。本文以典型铜冶炼企业为模版,以矿铜冶炼全流程以及杂铜冶炼短流程为核算对象,以各生产工序为核算单元,对铜冶炼全流程碳足迹进行了核算,具有典型的示范参考作用。

参考文献:

- [1] 刘璐,胡学平,王怀,等.国际碳排放相关主要标准及文件体系概述[J].有色冶金节能,2023,39(1):8-16,52.
LIU Lu, HU Xueping, WANG Huai, et al. Overview of main international standards and document systems related to carbon emissions[J]. Energy Saving of Non-ferrous Metallurgy, 2023, 39(1): 8-16, 52.
- [2] 杨继.二氧化碳产品碳足迹计算及减排策略[J].能源化工,2022,43(6):12-17.
YANG Ji. Carbon footprint calculation and emission reduction strategy of liquid carbon dioxide[J]. Energy Chemical Industry, 2022, 43(6): 12-17.
- [3] 工业和信息化部.政策解读:《有色金属行业碳达峰实施方案》[J].稀土信息,2022(12):26-28.
Ministry of Industry and Information Technology. Policy Interpretation: "Non-ferrous Metal Industry carbon peak Implementation Plan" [J]. Rare Earth Information, 2022(12): 26-28.
- [4] 中国有色金属工业协会.2022年中国有色金属工业经济运行报告[R/OL].<http://lwzb.stats.gov.cn/pub/lwzb/fbjd/202306/W020230605413586355947.pdf>.
China Nonferrous Metals Industry Association. Report on the economic operation of China's non-ferrous metals industry in 2022 [R/OL]. <http://lwzb.stats.gov.cn/pub/lwzb/fbjd/202306/W020230605413586355947.pdf>.
- [5] 于春梅,曹明汇,徐润生.高炉烟气碳捕集吸收剂性能影响分析[J].有色金属(冶炼部分),2024(4):178-183.
YU Chunmei, CAO Minghui, XU Runsheng. Analysis of influence on performance of carbon capture absorbent for blast furnace flue gas [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2024(4): 178-183.
- [6] 陶天凤,王洪才,刘志强.关于我国开展有色金属行业碳标签认证的思考[J].有色金属(冶炼部分),2023(7):1-4.
TAO Tianfeng, WANG Hongcai, LIU Zhiqiang. Reflections on carbon labeling certification in China's nonferrous metals industry [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2023(7): 1-4.
- [7] 包洪光,吴晓松,杨强.粗铜富氧火法熔炼工艺技术研

- 究[J]. 资源信息与工程, 2022, 37(3): 98-101.
- BAO Hongguang, WU Xiaosong, YANG Qiang. Research on techniques of blister copper oxygen-enriched pyrometallurgy[J]. Resource information and Engineering, 2022, 37(3): 98-101.
- [8] 涂建华, 罗铜. “双闪”铜冶炼工艺技术的发展[J]. 有色金属(冶炼部分), 2022(3): 1-9.
- TU Jianhua, LUO Tong. Development of “Double Flash” copper smelting technology [J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 2022(3): 1-9.
- [9] REES W E. Ecological foot prints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 2: 121-130.
- [10] WACKERNAGEL M. Our ecological foot print: reducing human impact on the earth[M]. [S. l.]: New Society Publishers, 1996.
- [11] 刘楠楠, 杨晓松, 楚敬龙, 等. 有色金属冶炼企业碳排放核算与减排策略[J]. 矿冶, 2021, 30(3): 1-6.
- LIU Nannan, YANG Xiaosong, CHU Jinglong, et al. Carbon emission analysis and emission reduction strategy of nonferrous metal metallurgy[J]. Mining and Metallurgy, 2021, 30(3): 1-6.
- [12] 佟庆, 吉日格图, 秦旭映. 有色行业控制温室气体排放的前沿探索—其他有色金属冶炼及压延加工工业企业温室气体排放核算方法研究[J]. 中国经贸导刊, 2015(31): 68-69, 70.
- TONG Qing, JIRIGETU, QIN Xuying. Frontier exploration of greenhouse gas emission control in non-ferrous industry: research on greenhouse gas emission accounting methods of other non-ferrous metal smelting and rolling industry enterprises [J]. China Economic & Trade Herald, 2015(31): 68-69, 70.
- [13] 刘诚, 陈瑞英, 王满仓, 等. 铜冶炼能耗核算与碳排放量核算差异性和相关性分析[J]. 中国有色冶金, 2021, 50(4): 1-6.
- LIU Cheng, CHEN Ruiying, WANG Mancang, et al. Difference and correlation analysis between energy consumption accounting and carbon emission accounting in copper smelting [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2021, 50(4): 1-6.
- [14] 佟丽霞, 单亚志. 某铜冶炼企业 2019 年温室气体的核算分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2021(11): 74-75.
- TONG Lixia, SHAN Yazhi. Accounting and analysis of greenhouse gases in a copper smelting enterprise in 2019 [J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2021(11): 74-75.