

## 聚焦碳排放

# 钢铁产品碳足迹：概念内涵、影响因素与对策建议

刘夏青<sup>1,2</sup>, 张建华<sup>2,3</sup>, 梁思哲<sup>2,3</sup>, 杨本晓<sup>2,3</sup>

(1. 中国社会科学院大学应用经济学院, 北京 102488;

2. 工业和信息化部电子第五研究所服务型制造研究院, 北京 100041;

3. 北京赛宝工业技术研究院有限公司, 北京 100041)

[摘要] 随着全球应对气候变化工作的深入, 产品碳足迹已成为全球贸易供应链的重要竞争力指标, 钢铁单位产品碳足迹高是行业可持续发展的重要挑战。钢铁产品碳足迹研究对中国实现“双碳”目标及应对国际绿色贸易壁垒具有重要价值。本文在解析产品碳足迹概念的基础上, 基于钢铁产品碳足迹指标数据, 分析了钢铁产品碳足迹的主要影响因素, 即产品类型、用能结构、工艺流程和减碳技术应用等, 并针对以上影响因素提出了降低钢铁产品碳足迹的对策建议: 加强钢铁企业的上、下游产业链深度融合, 根据下游产业减少产品全生命周期碳排放的要求, 推动上游产业的产品迭代升级; 优化钢铁冶炼的入炉原料及能源结构, 提高新能源和可再生能源使用占比; 根据国内废钢资源量, 有计划开展短流程工艺推广, 最大化体现短流程炼钢的减碳优势; 加快推广高温高压干熄焦技术、烧结大烟道烟气余热回收及高效发电技术、高炉 TRT 高效发电技术等绿色低碳技术, 同时要积极探索碳捕集利用技术在钢铁行业的应用。

[关键词] 钢铁产品; 碳足迹; “双碳”目标; 降碳技术; 产业链融合; 全生命周期碳排放; 能源结构; 碳捕集利用技术

[中图分类号] TF4; X32 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2023)02-0001-06

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.02.001

## 0 引言

钢铁工业是基础性的原材料行业, 是我国国民经济的重要基础产业, 同时也是我国主要的能源消耗和碳排放部门之一。2020 年我国粗钢产量 10.53 亿 t, 占全球总产量的 56.6%, 全球粗钢产量排名前

50 的企业中, 中国企业达到 30 家, 占全球前 50 家企业总产量的 82%<sup>[1]</sup>。2020 年中国钢铁行业能源消耗为 66 851 万 t 标准煤, 占我国全社会能源消费总量的 13% 以上, 占工业能源消费总量的 20% 左右, 直接消耗了 28 217 万 t 煤炭、40 335 万 t 焦炭、144.49 亿 m<sup>3</sup> 天然气、6 785.56 亿 kW·h 电力。2020 年我国钢铁行业碳排放量占全国碳排放总量的 15% 左右; 中国钢铁行业碳排放量占全球钢铁行业碳排放总量的 60% 以上, 而欧盟占比为 12%, 日本占比为 8%<sup>[2]</sup>。

近年来, 随着依法取缔“地条钢”、淘汰落后产能、不断提升工艺技术装备等的实施, 钢铁行业节能降碳工作取得积极成效。以吨钢综合能耗为例, 重点统计钢铁企业吨钢综合能耗已经由 2012 年的 602.71 kgce/t 下降至 2021 年 549.24 kgce/t, 降幅达 8.87%<sup>[3]</sup>, 低于德国吨钢可比能耗 576 kgce/t<sup>[4]</sup>, 说

[收稿日期] 2022-11-28

[第一作者] 刘夏青(1989—), 女, 山东青岛人, 博士研究生, 主要从事可持续发展经济学相关研究。

[通信作者] 杨本晓(1982—), 男, 河南辉县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事工业节能诊断和绿色制造等方面研究。

[基金项目] 工业和信息化部课题项目“工业节能诊断数据分析”(MIB2277540)。

[引用格式] 刘夏青, 张建华, 梁思哲, 等. 钢铁产品碳足迹: 概念内涵、影响因素与对策建议[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(2): 1-6.

明我国部分企业的吨钢能耗已经达到世界先进水平。但应该认识到,中国钢铁工业碳排放强度大,绿色低碳转型的压力依旧很大。目前国际平均生产每吨粗钢会排放约 2.0 t CO<sub>2</sub>, 欧盟生产者平均为 1.9 t (其中德国为 1.7 t), 中国为 2.2 t<sup>[5]</sup>, 中国钢铁生产碳排放强度高于欧盟。

随着 2019 年欧盟《绿色新政》的提出, 欧盟碳边境调节机制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) 内容渐浮水面, 并很可能于 2023 年正式形成立法, 虽然最后内容还没有确定, 但钢铁产品作为第一批被纳入该机制的产品类型已经确定。钢铁产品碳足迹无论最后是否成为欧盟碳边境调节机制的征收依据, 在未来的国际贸易和全球供应链体系中都将受到越来越广泛的关注。因此, 加快对钢铁产品碳足迹的研究, 对未来可能面临的风险与挑战具有重要意义。

## 1 钢铁产品碳足迹内涵

目前, 产品碳足迹还没有统一的定义, 但存在两种主流观点: 一种是碳足迹代表中和产品生产所产生的 CO<sub>2</sub> 需要的森林面积<sup>[6]</sup>; 另一种是产品生命周期排放的 CO<sub>2</sub> 和其他温室气体 CO<sub>2</sub> 当量<sup>[7]</sup>。目前越来越多的研究采用钢铁产品生命周期中排放的温室气体 CO<sub>2</sub> 当量来表示产品的碳足迹。

碳足迹核算方法主要包括清单因子法 (基于 IPCC 清单)、全生命周期评价法 (Life Cycle Assessment, LCA) 和投入产出分析法 (Input-Output Analysis, IOA)。

随着产品碳排放核算应用需求的增多, 目前已经形成了产品层面的碳足迹核算标准, 主要包括国际标准化组织《产品碳足迹—温室气体量化的要求和指南》(ISO 14067:2018)、世界资源研究所与世界可持续发展工商理事会共同发布的温室气体核算体系 Greenhouse Gas Protocol 以及英国 PAS2050 等基本方法和工具。基于不同的核算方法、边界范围、数据来源等, 碳足迹的核算结果会存在一定差异。

针对钢铁产品碳足迹影响因素, 许多学者从行业层面发现经济活动、能源结构、能源效率以及生产工艺是影响钢铁行业碳排放的主要因素。Wei 等<sup>[8]</sup>用 Malmquist 指数分解法 (MPI) 对 1994—2003 年中国钢铁行业的能源效率进行了研究, 结果表明, 1994—2003 年中国钢铁行业的能源效率提高了

60%, 而技术进步是提升能效的主要因素。Liu 等<sup>[9]</sup>基于过程及投入产出表, 建立层次结构分解分析 (SDA) 模型, 对钢铁企业能耗变化的驱动因素进行了分析, 得出技术改进和钢铁终端用量减少是总能耗下降的两个主要因素。

现有文献多是从钢铁行业宏观层面对碳排放影响因素分析, 较少从产品层面进行探讨。本文从钢铁产品碳足迹角度, 以钢铁产品碳足迹数据作为分析基础, 基于产品“从摇篮到大门”的口径进行分析, 提出降低产品碳足迹的建议。

## 2 钢铁产品碳足迹的主要影响因素

钢铁行业具有生产机理复杂、产业体量大、企业数量多和生产能耗高等特点。根据世界钢铁协会、中国钢铁行业 EPD 平台等已经发布的钢铁产品碳足迹数据, 产品类型、用能结构、工艺流程、减碳技术应用等是影响钢铁产品碳足迹的主要因素。

### 2.1 产品类型对钢铁产品碳足迹的影响

根据形态的不同, 钢材一般分为长材、板材和管材三大类。依据世界钢铁协会及钢铁企业发布的产品碳足迹数据, 统计分析“摇篮到大门”阶段, 即从原材料开采、能源生产与使用、产品制造直至运出工厂大门, 这一过程中钢铁主要产品的碳足迹数据。不同钢铁产品的碳足迹存在明显差距, 如硅钢、不锈钢的碳足迹差异可能超过 3 倍<sup>[10]</sup>。部分钢铁产品碳足迹见表 1。

表 1 钢铁产品碳足迹节选 (“从摇篮到大门”)

Table 1 Carbon footprint of steel products (“from cradle to gate”)

产品类型	生产吨钢铁产品 CO <sub>2</sub> 排放量/t
热轧卷 <sup>[11]</sup>	2.34
热浸镀锌钢 <sup>[11]</sup>	2.67
钢筋 <sup>[11]</sup>	1.97
彩涂 <sup>[11]</sup>	2.89
线材 <sup>[12]</sup>	2.09
板材 <sup>[12]</sup>	2.28

若考虑钢铁产品“从摇篮到坟墓”阶段, 即除了原材料开采、能源生产与使用、产品制造等环节, 还要进一步扩大核算边界, 在“摇篮到大门”基础上, 增加市场营销、使用和维护、废弃回收利用等环节。采用生产高性能钢材替代普通钢材, 延长产品使用

寿命,实现减量化、轻量化设计,也可以有效减少产品碳足迹。如某企业利用先进高强钢进行汽车的轻量化设计,可实现车身减重 8.5%。以该企业某年销量为基础计算,每年可节省 14.7 亿升汽油、18.6 亿美元驾驶成本和 316 万 tCO<sub>2</sub> 当量排放<sup>[13]</sup>。

## 2.2 用能结构对钢铁产品碳足迹的影响

钢铁产品生产消耗的能源种类主要为煤炭、电力、石油和天然气,与世界主要产钢国钢铁工业的能源结构相比,中国在生产钢铁产品过程中煤炭消耗比重明显高于德国、日本、美国,而石油和电力的比重明显低于这些国家。同时,钢铁产品生产用煤炭比例(92%)也远高于国内能源消费结构中煤炭所占比例(56%)。由于不同能源种类单位热值碳排放量不同,能耗煤炭比例高成为中国钢铁工业碳排放量高的一个重要因素。此外,在钢铁生产过程中,60%以上煤炭用于还原剂而非燃料<sup>[14]</sup>,因此,如果能将还原剂由煤炭改为天然气等,可以有效降低还原过程中的碳排放水平。各国钢铁行业主要能源消耗占比情况见表 2。

表 2 各国钢铁行业主要能源消耗占比

Table 2 Proportion of main energy consumption in steel industry by country

国家	煤炭/%	石油/%	电力/%
中国	92.00	1.70	6.30
日本	56.40	19.90	23.70
德国	55.80	20.70	15.30
美国	60.00	7.00	16.00

注:中国数据根据《国家统计年鉴》测算得出,日本、德国、美国数据来自 World Steel Association 网站。

同时,中国的电力结构也是以煤炭火力发电为

主,达到 66% 以上,远高于欧盟国家,进一步增加了我国钢铁产品的碳排放强度。

## 2.3 工艺流程对钢铁产品碳足迹的影响

根据世界钢铁协会统计,2019 年 99.6% 的粗钢是通过长流程或短流程生产的<sup>[1]</sup>。长流程主要包括烧结、焦化、炼铁、炼钢、轧钢等主要工序;短流程主要包括电炉炼钢、轧钢等主要工序。长流程与短流程工艺对比见图 1。根据生命周期评价的统计结果,从不同工艺流程看,长流程碳排放为 2.0 ~ 2.4 t CO<sub>2</sub>/t 钢,而短流程碳排放为 0.5 ~ 0.7 t CO<sub>2</sub>/t 钢<sup>[15]</sup>,仅为长流程的 30% 左右。电炉短流程炼钢相比于长流程炼钢具有明显的节能降碳优势。部分钢铁产品的长流程与短流程碳足迹对比见表 3。

一方面,短流程较长流程工序短。目前尚没有钢铁产品碳足迹的国家标准,依据国家发布的钢铁行业能耗限额标准,钢铁长流程生产过程中,炼铁工序能耗最高,转炉炼钢工序能耗最低,各工序节能重点依次为炼铁、焦化、烧结、轧钢、炼钢。铁前各工序的吨钢能耗占企业能耗的 70% 以上。短流程省去了铁前的多个作业环节,因此,其能耗和碳排放量较低。

另一方面,短流程使用能源更清洁。长流程生产企业能源消费结构中,煤的比重在 85% 以上,电 10% 左右,其他 5% 左右。短流程生产企业能源消费结构中,煤的比重在 15% ~ 60%,电 20% ~ 70%,其他 15% ~ 20%<sup>[15]</sup>。中国钢铁生产以长流程占主导,短流程占比仅约 10.4%<sup>[16]</sup>,远低于意大利(短流程占比 81.57%)、美国(短流程占比 68.01%)等发达国家<sup>[11]</sup>。根据工业和信息化部等三部委发布的《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》,随

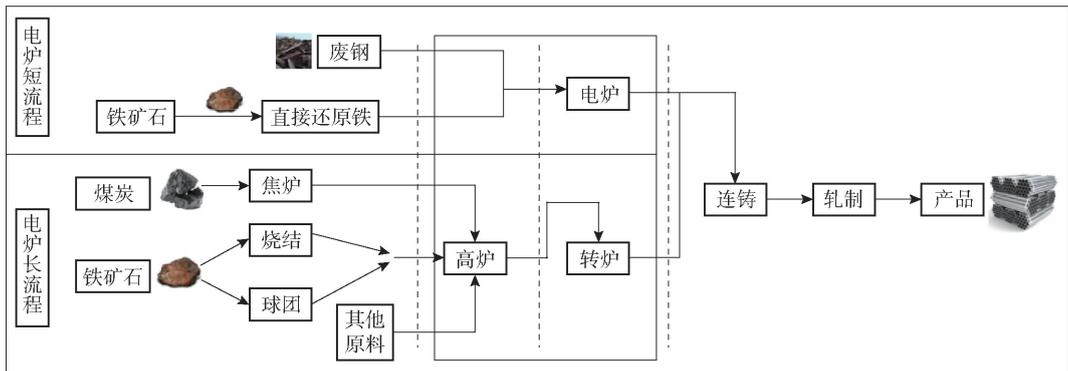


图 1 长流程和短流程工艺对比

Fig. 1 Comparison diagram of long process and short process

表3 中国钢铁产品长流程短流程碳足迹对比  
Table 3 Comparison of carbon footprint of long and short process steel products in China

产品类型	中国钢铁产品碳足迹 (长流程)(tCO <sub>2</sub> /t)	中国钢铁产品碳足迹 (短流程)(tCO <sub>2</sub> /t)
型材 <sup>[11]</sup>	2.18	0.7
热轧卷 <sup>[11]</sup>	2.35	0.87
粗钢 <sup>[11]</sup>	2.1	0.61

着工艺流程的不断优化,到2025年,我国电炉钢产量占比有望提升至15%以上<sup>[16]</sup>。

#### 2.4 减碳技术应用对钢铁产品碳足迹的影响

减碳技术应用是降低钢铁产品碳足迹的主要路径之一。一是改进原料结构,提高炼铁精料水平。采用低硅铁水冶炼、高风温等技术,可以降低燃料比,从而减少碳排放。如宝钢烧结矿的二氧化硅质量分数仅为4.6%,渣量低于260 kg/t,燃料比达到了485 kg/t的国际先进水平<sup>[17]</sup>。二是优化能源结构,加强余能回收利用。采用废旧塑料、轮胎等代碳复合高炉喷吹料技术、清洁煤技术、生物质利用技术等,以新型低碳能源替代煤粉和焦炭;采用烧结蒸汽回收、转炉煤气回收技术等。如武钢实施荒煤气余热回收项目,可减碳约15万t/a<sup>[18]</sup>;梅钢实施高炉喷吹焦炉煤气技术,增加炉内还原气浓度,炉料还原速度加快,焦比降低14.43%,碳排放降低8.61%<sup>[19]</sup>。三是开发工艺减碳技术,实现过程降碳。采用直接还原技术、干熄焦技术、高富氧鼓风技术、加热炉黑体强化辐射传热技术、氢冶金、CCUS技术等。如柳钢实施干熄焦技术,每年回收高温焦炭显热6.15万t标准煤;实施加热炉黑体强化辐射传热技术,吨钢煤气消耗下降7.07%;实施大型链篦机-回转窑赤铁矿氧化球团技术,能耗下降了30.5%<sup>[20]</sup>。四是研究铁钢轧界面节能技术,提升系统能效。通过调整配罐方式、运输组织方案等,应用铁水一罐到底、铸坯热装热送等工艺衔接技术,充分利用上道工序的能量输入,减少频繁的加热、冷却再加热的过程能源损失。五是回收利用产出的废渣。炼铁工艺产生的高炉渣不断堆积,如何对高炉渣更好的利用和资源化回收使用也是钢铁行业面临的主要问题之一<sup>[21]</sup>。目前已有熔渣干式粒化<sup>[22]</sup>等来回收高炉渣中的热能,也有学者提出熔液萃取法<sup>[23]</sup>、硫酸铵熔融反应法<sup>[24]</sup>等来回收其中的钛元素。

## 3 降低钢铁产品碳足迹对策建议

### 3.1 协调产业链,推动产品升级

加强钢铁冶炼企业与建筑、化工、机械等上、下游产业深度融合,增加韧性高、强度大、耐腐蚀、耐摩擦、耐疲劳、长寿命等钢铁产品的研发和生产。从钢铁产品生产、使用、废弃到循环利用的生命周期全过程综合考虑下游企业使用要求,鼓励下游企业通过高性能钢材替代普通钢材,实现产品结构轻量化设计、制造;同时,提升产品使用年限,提高资源、能源利用效率,减少产品全生命周期碳排放。如在建筑行业,推广高强钢结构和装配式钢结构,加大高强钢筋的使用,推动新型建筑绿色低碳发展。此外,建立“产城融合”的资源利用模式,将钢铁生产的副产品如煤气、蒸汽、氧气等提供给周边工业企业、居民及商业用户,实现能源资源互供,可以推动区域能源、环境资源协同优化。

### 3.2 优化原料及能源结构

一方面优化原料结构。鼓励钢铁企业采取精料方针,稳定原料质量,优化配煤配矿,提高炼铁炉料球团矿配比等。另一方面优化能源结构,提高新能源和可再生能源在生产过程中的使用占比,积极推进清洁能源替代,实现多能互补。引导企业以自建或租赁方式投资建设光伏机组,充分利用钢铁企业大面积优质屋顶资源,结合国家可再生能源电力消纳保障政策,打造分布式屋顶光伏发电示范项目,加大对钢铁行业储能储热技术、氢能制取和利用技术的研发和应用。

### 3.3 积极推广短流程工艺

短流程炼钢减碳优势明显,应积极引导鼓励电炉短流程炼钢的发展,解决长流程改建短流程在成本控制、品种结构、生产效率和废钢资源保障等诸多方面限制。一方面加快建立完善的废钢铁加工配送体系,构建有效促进废钢资源回收利用、发展电炉全废钢冶炼的政策引导机制。另一方面积极通过产能置换、废钢加工配送退税等政策,推动重点钢铁企业转型发展短流程炼钢工艺。到2025年,钢铁工业利用废钢资源量达到3亿t以上,电炉钢比达到15%以上,废钢比达到30%<sup>[16]</sup>。

### 3.4 加强低碳技术推广和创新

一方面加快淘汰落后工艺和设备,另一方面加快高温高压干熄焦技术、烧结大烟道烟气余热回收

及高效发电技术、高炉 TRT 高效发电技术、高炉煤气干法除尘技术、转炉煤气干法高效回收技术、钢坯热装热送技术等绿色低碳技术。同时,要积极探索碳捕集利用技术,目前钢铁行业开展的碳捕集和封存技术还处于试验阶段,主要包括:将钢渣制品放于海洋促进植物光合作用、采用钢渣颗粒过滤床吸收 CO<sub>2</sub>、用氨吸收法分离 CO<sub>2</sub>、用氢氧化镁吸收 CO<sub>2</sub> 等。积极开展 CO<sub>2</sub> 资源化利用试点项目工程,引导企业开展石灰窑尾气回收 CO<sub>2</sub>、转炉喷吹 CO<sub>2</sub> 炼钢等碳捕集、利用技术的示范性应用,加快实现规模化推广应用。此外,加强产业的系统节能减碳,建立智慧能源管控中心,发展能源信息化管理技术。

### [参考文献]

- [1] World Steel Association. 2020 life cycle inventory study report [R]. Brussels: The World Steel Association, 2020.
- [2] YANG Wei, ABU Munai, SHA Jiemin. Research on optimization of carbon emission reduction of coal supply chain system in iron and steel industry[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 687: 012178.
- [3] 邢奕, 耿孟达, 叶凯航, 等. 钢铁企业高能效低碳发展分析[J]. 能源环境保护, 2023, 37(1): 102-114.  
XING Yi, GENG Mengda, YE Kaihang, et al. Analysis on the development of high energy efficiency and low carbon in iron and steel enterprises [J]. Energy Environmental Protection, 2023, 37(1): 102-114.
- [4] 国家统计局. 中国能源统计年鉴(2019) [M]. 中国统计出版社, 2020.  
National Bureau of Statistics. China energy statistical yearbook (2019) [M]. China Statistics Press, 2020.
- [5] 邢奕, 崔永康, 田京雷, 等. 钢铁行业低碳技术应用现状与展望[J]. 工程科学学报, 2022, 44(4): 801-811.  
XING Yi, CUI Yongkang, TIAN Jinglei, et al. Application status and prospect of low carbon technology in iron and steel industry [J]. Chinese Journal of Engineering, 2022, 44(4): 801-811.
- [6] 张琦峰, 方恺, 徐明, 等. 基于投入产出分析的碳足迹研究进展[J]. 自然资源学报, 2018, 33(4): 696-708.  
ZHANG Qifeng, FANG Kai, XU Ming, et al. Review of carbon footprint research based on input-output analysis [J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(4): 696-708.
- [7] FANG Kai, HEIJUNGS Reinout, DE SNOO Geert. Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints; Overview of a footprint family [J]. Ecological Indicators, 2014, 36: 508-518.
- [8] WEI Yiming, LIAO Hua, FAN Ying. An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector [J]. Energy, 2007, 32(12): 2262-2270.
- [9] LIU Xiaojun, LIAO Shengming, RAO Zhenghua, et al. A process-level hierarchical structural decomposition analysis (SDA) of energy consumption in an integrated steel plant [J]. Journal of Central South University, 2017, 24(2): 402-412.
- [10] 刘涛, 刘颖昊, 周焯. 生命周期评价方法在钢铁企业低碳发展规划中的应用[J]. 中国冶金, 2021, 31(9): 130-134.  
LIU Tao, LIU Yinghao, ZHOU Ye. Application of life cycle assessment in low-carbon planning of iron and steel company [J]. China Metallurgy, 2021, 31(9): 130-134.
- [11] REN Lei, ZHOU Sheng, PENG Tianduo, et al. A review of CO<sub>2</sub> emissions reduction technologies and low-carbon development in the iron and steel industry focusing on China [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, 143: 110846.
- [12] 钢铁行业 EPD 平台宝钢企业数据 [EB/OL]. <https://www.cisa-epd.com/>. The data of Baowu group in iron and steel industry EPD programme [EB/OL]. <https://www.cisa-epd.com/>.
- [13] World Steel Association. STEELIE AWARDS 2016 [EB/OL]. <https://www.worldsteel.org/zh/about-us/steelie-awards/2016-steelie-awards.html>, 2016-10-10.
- [14] 刘涛, 刘颖昊. 从生命周期评价视角看钢铁企业“煤改天然气” [J]. 冶金能源, 2019, 38(3): 3-6.  
LIU Tao, LIU Yinghao. Evaluation on the “coal to natural gas” in iron and steel enterprises from the perspectives of life cycle assessment [J]. Energy for Metallurgical Industry, 2019, 38(3): 3-6.
- [15] 张琦, 沈佳林, 籍杨梅. 典型钢铁制造流程碳排放及碳中和实施路径 [J]. 钢铁, 2023, 58(2): 173-187.  
ZHANG Qi, SHEN Jialin, JI Yangmei. Analysis of carbon emissions in typical iron-and steelmaking process and implementation path research of carbon neutrality [J]. Iron and Steel, 2023, 58(2): 173-187.
- [16] 刘夏青, 赵立华. 欧盟碳边境调节机制对中国钢铁行业的影响——基于产品碳足迹视角 [J]. 中国冶金, 2023, 33(2): 135-140.  
LIU Xiaqing, ZHAO Lihua. Impact of EU carbon border adjustment mechanism on China's steel industry——based on product carbon footprint perspective [J]. China Metallurgy, 2023, 33(2): 135-140.
- [17] 李然. 关于中国钢铁企业炼铁系统减碳路线的思考 [J]. 中国冶金, 2012, 22(10): 40-46.  
LI Ran. Analysis of carbon reduction ways in China's ironmaking system [J]. China Metallurgy, 2012, 22(10): 40-46.
- [18] 易祥. 全流程钢铁企业碳排放核查分析及减碳路径研究 [J]. 第十三届中国钢铁年会论文集, 2022: 1-5.  
YI Xiang. The verification and analysis for the whole process of steel enterprises carbon emission, and the research of carbon reduction path [J]. Proceedings of the 13th China Steel Annual Conference, 2022: 1-5.
- [19] 毕传光, 唐钰, 储满生. 梅钢 2 号高炉喷吹焦炉煤气数值模拟 [J]. 钢铁, 2018, 53(4): 89-96.  
BI Chuanguang, TANG Jue, CHU Mansheng. Mathematical

- modeling of Mei Steel No. 2 BF with coke oven gas injection[J]. Iron and steel, 2018, 53(4): 89–96.
- [20] 吴庆翻, 冯祖强. 科技创新引领钢铁行业实现能源绿色低碳转型——以广西柳州钢铁集团有限公司为例[J]. 广西节能, 2022, 150(2): 52–54.
- WU Qingxuan, FENG Zuqiang. Scientific and technological innovation leads the steel industry to achieve green and low-carbon transformation of energy——Taking Guangxi Liuzhou Iron and Steel Group Co., Ltd. as an example[J]. Guangxi Jieneng, 2022, 150(2): 52–54.
- [21] 张帅, 李慧, 梁精龙, 等. 高炉渣的综合回收利用[J]. 中国有色冶金, 2019, 48(1): 68–70, 73.
- ZHANG Shuai, LI Hui, LIANG Jinglong, et al. Recycling and utilization of blast furnace slag[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2019, 48(1): 68–70, 73.
- [22] Sharif Jahanshahi, Dongsheng Xie, Yuhua Pan, 等. 熔渣干式粒化与集成热能回收[J]. 世界钢铁, 2012, 12(4): 66–72.
- SHARIF Jahanshahi, XIE Dongsheng, PAN Yuhua, et al. Dry slag granulation with integrated heat recovery[J]. World Iron and Steel, 2012, 12(4): 66–72.
- [23] 张卫东, 朱萍, 王良有, 等. 从含钛高炉渣中回收钛的研究[J]. 中国资源综合利用, 2012, 30(12): 18–21.
- ZHANG Weidong, ZHU Ping, WANG Liangyou, et al. Study on recovery of titanium from titanium-bearing blast furnace slag[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2012, 30(12): 18–21.
- [24] 王思佳, 张悦, 薛向欣, 等. 硫酸铵熔融反应法从含钛高炉渣中回收钛[J]. 化工学报, 2012, 63(3): 991–995.
- WANG Sijia, ZHANG Yue, XUE Xiangxin, et al. Recovery of titanium from titanium-bearing blast furnace slag by ammonium sulfate melting method[J]. CIESC Journal, 2012, 63(3): 991–995.

## Carbon footprint of steel products: conceptual connotation, influencing factors and countermeasures

LIU Xiaqing<sup>1,2</sup>, ZHANG Jianhua<sup>2,3</sup>, LIANG Sizhe<sup>2,3</sup>, YANG Benxiao<sup>2,3</sup>

(1. School of Applied Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488, China;

2. ISOM, The Fifth Institute of Electronics of Ministry of Industry and Information Technology, Beijing 100041, China;

3. CEPREI (Beijing) Industrial Technology Research Institute Co. Ltd, Beijing 100041, China)

**Abstract:** With the deepening of the global response to climate change, the carbon footprint of products has become an important competitiveness indicator of the global trade supply chain, and the high carbon footprint of steel per unit product is an important challenge for the sustainable development of the steel industry. Research on the carbon footprint of steel products has important value for China to achieve the “dual carbon” goal and the response to international green trade barriers. After the analysis of the concept of product carbon footprint, this paper uses practice data to analyze the main factors affecting the carbon footprint of steel products, including product type, energy structure, technological process and the use of carbon reduction technology, countermeasures and suggestions for reducing carbon footprint of steel products are proposed based on the above influencing factors; strengthen the deep integration of the upstream and downstream industrial chains of steel enterprises, promote the iterative upgrading of products in the upstream industry according to the requirements of the downstream industry to reduce carbon emissions throughout the product life cycle; optimize the composition of incoming raw materials and energy for steel smelting, increase the proportion of new and renewable energy used; According to the domestic scrap resources, there are plans to carry out the promotion of short process steelmaking to maximize the carbon reduction advantages of short process steelmaking; Accelerate the promotion of green and low-carbon technologies such as high-temperature and high-pressure dry quenching technology, waste heat recovery and efficient power generation technology from sintering flue gas, and high efficiency power generation technology from blast furnace TRT, explore the application of carbon capture and utilization technology in the steel industry.

**Key words:** steel products; carbon footprint; “carbon peaking and carbon neutrality”; carbon reduction technology; industrial chain integration; life cycle carbon emissions; energy structure; carbon capture and utilization technology