

炼化企业产品碳足迹核算研究进展

万子岸¹, 赵法志², 范明¹, 曹靖¹, 高飞¹, 刘克峰^{1*}

(1. 中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院, 北京 102206;

2. 中国石油天然气股份有限公司独山子石化分公司, 新疆 克拉玛依 833699)

摘要: 尽管近期欧盟在碳边境调节机制 (CBAM) 的实施上有所缓和, 但国际贸易局势复杂多变, 我国炼化下游产品的出口仍面临巨大挑战。在此背景下, 提升炼化企业的碳足迹核算能力, 成为稳定出口态势的重要支撑。炼化行业工艺流程长、产品体系复杂, 核算结果的可靠性高度依赖于模型、核算工具与数据库的本土化适配度。系统梳理了国内外炼化行业碳足迹核算标准制定的进展, 概述了当前主流的碳足迹核算工具, 并结合行业调研, 总结了实际核算中在数据质量与可获得性、系统边界划分等方面存在的问题。通过对比国际大型炼化企业的实践经验, 进一步探讨我国炼化企业在碳足迹核算体系建设方面可借鉴的发展方向。

关键词: 碳足迹; 生命周期评价 (LCA); 炼化企业; 核算工具; LCA 软件; 标准化

中图分类号: TQ08

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2026)07-0013-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.07.003

Research progress on product carbon footprint accounting in refining and chemical enterprises

WAN Zi-an¹, ZHAO Fa-zhi², FAN Ming¹, CAO Jing¹, GAO Fei¹, LIU Ke-feng^{1*}

(1. PetroChina Petrochemical Research Institute, Beijing 102206, China;

2. PetroChina Dushanzi Petrochemical Company, Karamay 833699, China)

Abstract: Although the EU has recently eased its stance on the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), the international trade landscape remains highly volatile, and China's downstream refining and petrochemical products continue to face substantial export challenges. Strengthening the carbon footprint accounting capabilities of domestic refining and petrochemical enterprises is a powerful guarantee for maintaining stable export performance. Given the long process chains and complex product portfolios in the refining and petrochemical sector, the reliability of accounting results depends heavily on the localization and adaptation of models, software, and databases to Chinese conditions. This paper reviews the recent progress in the development of carbon footprint accounting standards for the refining and petrochemical industry, introduces the current mainstream carbon footprint accounting tools, and based on industry surveys, identifies key practical challenges such as data quality and availability, system boundary delineation, and allocation issues. Based on this analysis, we compare the solutions adopted by leading global refining and petrochemical companies and explore directions that China's refining and petrochemical enterprises can draw upon to advance their own carbon footprint accounting systems in the future.

Key words: carbon footprint; life cycle assessment (LCA); refining and chemical enterprises; accounting tools; LCA software; standardization

近两年, 由于地缘政治和全球贸易局势的剧烈变化, 欧盟在碳边境调节机制 (CBAM) 的推进力度有所放缓, 具体表现为规则复杂度的降低与合规要求的简化, 例如 2025 年 10 月 20 日起生效的欧盟 CBAM 简化修正案。中国作为欧盟最大的进口国, 应充分利用这一重要窗口期, 尽快完善国内碳足迹核算体系, 为未来中欧贸易紧密合作打下坚实的基础。虽然炼化企业的碳排放占比并不是最大的, 但炼化企业作为上游供应商, 其产品 (如石油衍生品、

化工原料) 大量嵌入下游出口产品链条中, 若不提供准确的碳排放因子数据, 欧盟进口商将使用默认值 (通常更高) 计算碳关税, 导致出口成本增加。因此, 推进炼化企业的碳足迹核算工作意义重大, 迫切需要大型国企发挥引领作用, 尽快牵头组织实施。

产品碳足迹核算的核心是生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 方法, 即从“摇篮到坟墓” (Cradle-to-Grave) 全程追踪产品引发的温室气体排放与清除量。核算结果的可靠性主要取决于三个要

收稿日期: 2025-11-25; 修回日期: 2026-05-19

基金项目: 中国石油科技专项 (2021ZZ01)

作者简介: 万子岸 (1988-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为流程模拟和碳足迹核算, wanzian@petrochina.com.cn; 刘克峰 (1982-), 男, 博士, 正高级工程师, 研究方向为二氧化碳捕集和含碳小分子催化转化等, 通讯联系人, liukefeng@petrochina.com.cn。

素:公认的核算标准、高质量的背景数据库以及高效易用的核算工具。在炼化行业,近几年可供选择的核算工具越来越多,从 SimaPro、GaBi 这类国际主流 LCA 软件,到企业内部自行开发的 Excel 模型甚至简易计算器。然而,在实际应用过程中,不同工具在数据时效性、工艺细节覆盖度及结果可重复性方面存在较大的差异,导致其输出结果的可信度各异。因此,系统评估当前炼化行业常用核算工具的优势与局限性,对于炼化企业在工具选型与方法学确定方面具有重要的指导意义。

本文重点介绍了当前国内炼化行业在碳足迹标准制定方面取得的进展、不同碳足迹核算工具的特点及其实际应用情况,以及国内外发展现状的对比,为国内炼化企业的碳足迹核算工具选型、体系构建与竞争力提升提供参考。

1 碳足迹核算标准体系概述

标准是碳足迹核算的核心,要想达到口径一致、结果能互认,就需要统一的标准来规定核算的方法框架。国际上目前最具权威性的两项标准是 ISO 14040/14044 和 ISO 14067^[1-2],市面上主流的核算工具均遵循此方法框架。

对于炼化工艺,由于其链条长、流程复杂,装置与物流经常交织在一起,且存在大量循环物料流。若系统边界界定稍有偏差,将放大最终核算结果的偏差。国际上广泛采用的行业补充指南为 IPIECA 与 API 联合发布的《石油炼厂温室气体排放核算指南》,该指南对排放范围划分(例如 Scope1、2、3 的界定)、排放源识别与计算方法、排放不确定性评估等规定进行了说明^[3]。在实际操作中,大多数企业将系统边界设定为“从摇篮到大门”(Cradle-to-Gate),即以出炼厂大门为终端边界,从而避免将下游产品使用阶段的排放纳入核算范围,以确保核算边界清晰、结果可比。

近几年,国内在炼化产品碳足迹核算方面明显加大了力度。中国石油和化学工业联合会于 2023 年推出 T/CPCIF 0173 系列团体标准,包括总则及细分产品指南^[4]。2024 年 8 月,发布了通则标准 GB/T 24067—2024(2024 年 10 月正式执行)^[5],方法学框架与 ISO 14067 保持一致。2024 年 6 月,生态环境部等十五部门联合发布了《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》,该方案将天然气、燃油、氢、乙烯、合成氨、甲醇等大宗炼化产品纳入核算范围。2025 年 1 月 2 日,生态环境部等五部门联合发布了《产品

碳足迹核算标准编制工作指引》^[6];2025 年 1 月 15 日,工业和信息化部等四部门联合发布了 15 项工业产品碳足迹核算规则团体标准推荐清单;同年 6 月发布的第二批标准,进一步将聚乙烯、聚丙烯、PTA、PVA 等产品纳入覆盖范围。与此同时,中石化进展更为迅速,已于 2025 年 10 月与巴斯夫就石油化工产品的碳足迹核算方法学签署了互认协议。截至 2025 年 11 月,碳足迹领域已发布 13 项现行国标、100 余项团体标准,为后续对接欧盟 CBAM、向下游客户出具可信碳标签提供了有力支撑。

2 主流碳足迹核算工具及其应用

2.1 国际通用 LCA 专业软件

为应对各行业对产品碳足迹核算的定制化需求,国际上的 LCA 类软件正不断向垂直行业深度拓展。对于炼油化工这类复杂过程,LCA 软件因其内置丰富的背景数据库和影响评价模型,具有显著的应用优势。目前应用较多的 LCA 类软件主要包括:

GaBi (Sphera) 是炼化行业里进行碳足迹核算的主流选择,其数据库里含有丰富的石化原料、能源、运输数据,并提供了大量炼厂常用单元过程模型。在使用中,其建模界面逻辑清晰,能够便捷地搭建如裂解炉、加氢精制、芳烃抽提等复杂耦合的工艺装置模型。可同步完成物料平衡、热联合、副产物分摊,适合做装置级甚至全厂级碳足迹对比。

SimaPro (PRé) 方法学最透明,每一步都可选取不同的分配规则,而且可以使用 ecoinvent、USLCA 这些大型数据库。然而,该软件缺乏炼化专用工艺的现成模块,需要用户自行构建,因此对用户的专业水平要求较高。这种灵活性同时使得核算过程可追溯与结果可复现。Morales-Mendoza 等^[7]使用 SimaPro 软件,在苯生产与生物柴油精炼过程的碳足迹核算研究中,对比了质量、能量、经济三种分配规则的具体计算公式和结果差异。

openLCA 完全开源,适合具备编程能力的企业使用。该软件已被国内多家炼化研究院采用作为常用工具,结合研究院自主构建的炼化专有数据库和插件,所开发的内部平台成本低且灵活易用。研究表明,通过将 openLCA 与过程模拟平台进行动态耦合,实现了工艺模拟与环境影响评价的数据自动交互,为炼化过程碳足迹与环境影响的实时核算提供了技术路径^[8]。

GREET(阿贡国家实验室)模型是美国交通燃料碳足迹核算的基准模型,适合北美地区从井口到

车轮(Well-to-Wheel)边界内的碳足迹核算,国内在做汽柴油、航煤等燃料油的碳足迹核算时常以其作为基准进行对比分析。但在石化物料(如乙烯、PX、聚烯烃等)路径上覆盖明显不足,数据库基本以北美为主。

2.2 流程模拟软件与 LCA 软件配合使用

工艺流程模拟软件近年来在碳足迹核算中的地位越来越重要。Aspen Plus、HYSYS、Petro-SIM、Pro/II 这几款经典工具,通过严格的物料和能量衡算,可为生命周期评价(LCA)提供装置级,乃至操作条件级的底层数据。相较于传统依赖行业平均排放因子的估算方法,基于流程模拟的结果能够更精准地反映具体工艺路线和运行参数变动带来的排放差异,这一点在炼化场景里尤其明显。

目前,在炼化领域,将 Aspen Plus 或 HYSYS 与 GaBi、SimaPro 或 GREET 进行集成的做法已较为成熟。Jasper 等^[9]通过 Aspen Plus 与 GaBi 的深度集成,先用 Aspen Plus 搭建了一个生物质炼厂的全流程模型,把模拟得到的能耗、原料消耗和直接排放输入 GaBi,完成了生物质燃料从原料种植到燃料使用(Well-to-Wheels)的全生命周期核算。Fu 等^[10]针对焦炉气制甲醇工艺,先通过 Aspen Plus 对甲醇合成和蒸馏过程进行建模,再通过自定义脚本实现模拟数据向 LCA 软件 GREET 的无缝传输;Kalakul 等^[11]开发了一种新型 LCA 软件 LCSOFT,通过自定义脚本可实现与 Aspen Plus 无缝衔接,在模拟如石油裂解或烃类分离过程时,可以将模拟数据自动导入 LCSOFT,同时对接 Ecoinvent 对炼化过程进行碳足迹核算。Morales-Mendoza 等^[7]通过 Excel 作为中间媒介将 Aspen Plus 与 SimaPro 进行集成,针对苯生产和废菜油生物柴油过程进行建模,模拟数据通过 Excel 接口导入 SimaPro,进行了“摇篮到大门”的碳足迹核算。上述研究清晰地展示了“流程模拟+LCA”技术路线的多样性,从深度耦合到轻量级对接,为不同需求的炼化企业提供了多种技术选型可能。

这种流程模拟与 LCA 的集成应用主要优势体现在。

(1) 工艺设计阶段就能实现对碳排放的初步量化评估,为方案比选提供依据。

(2) 对于缺乏实测数据的老旧装置,基于机理模型的模拟结果其可靠性显著高于直接套用平均排放因子。

(3) 能够快速评估工艺参数变动对碳足迹的影响,高效完成多方案比选。

但流程模拟结合 LCA 的方式也有局限。首先,Aspen 或者 HYSYS 本身不含有上游的数据库,原油开采、电力排放这些因子还需要从 Ecoinvent、CLCD 或者其他 LCA 数据库里导入过来,数据匹配过程繁琐;其次,流程模拟软件得到的数据单位并不一致(有时是 t/h,有时是 GJ/批),必须统一功能单位并做分配处理,才能跟 LCA 软件进行匹配;此外,流程模拟软件与 LCA 软件之间缺乏统一、开放的数据接口标准,是目前技术集成的主要障碍之一。有些研究团队通过自研 Aspen-to-GaBi 脚本,或者用 Python 将清单自动映射至 LCA 软件,但目前尚未实现标准化与产品化,其易用性与效率还有提升的空间。

尽管如此,该技术路线正向设计阶段同时进行碳核算的方向发展。未来若能实现流程模拟与 LCA 数据库的有效集成,炼化企业的数字孪生碳管理将从概念走向实际应用。

2.3 基于 Excel 自开发的模板式核算工具

在一些炼化企业里,基于 Excel 模板的碳足迹核算十分常见。这些模板基本都按照 ISO 14064、GHG Protocol 或者石化行业的《碳排放核算指南》来搭建,企业将能源计量表、原料进出厂台账、装置运行日志里的数据录入模板,化石燃料燃烧、工艺排放、外购电力和蒸汽这些间接排放均可通过内置公式按排放因子法或物料衡算法自动算出来^[12]。炼化企业可以根据自身需要,加上数据透视表,把不同装置、不同分厂甚至不同牌号产品的排放拆开看,绘制对比图找出重点排放环节,最后给出减排建议,企业内部研究部门可以通过这种高效且成本低的方式给各生产单元做技术服务和全厂碳足迹核算。

Excel 工具的主要优势在于其灵活性。通过自定义公式与函数,可快速搭建满足企业特定需求的基础核算模型。通过编辑 VBA 代码,还能使 Excel 表格模型做到一键导入、一键出报告,能满足大多数炼化企业的基本核算需求,而且它跟现有 ERP、LIMS 或者能源计量系统导出来的 CSV 基本都能无缝对接,部署成本极低。

然而,在面对多厂区、全产业链且需频繁更新的复杂场景时,Excel 的局限就凸显出来了。首先,其内嵌公式和数据输入依赖人工维护,这不仅引入了较高的人为错误风险,也为错误的追溯和校正带来困难。一个错误的排放因子即可导致全厂碳排放数据出现重大偏差。此外,其权限控制薄弱,数据可在多个环节被修改,且版本管理混乱,导致核算结果在

面临第三方核查或“双碳”审计时缺乏可信度。此外,当数据量过大时,Excel 计算速度显著下降,甚至出现崩溃,稳定性较差。

综上所述,Excel 工具在炼化企业中主要适用于入门级核算、临时报表或内部快速评估。但若需进一步提升碳核算的精准度、精细度与审计合规性,企业最终仍需将数据迁移至专业的碳管理体系。因此,仅依靠 Excel 难以实现碳足迹的精细化管理。

2.4 中国本土化工工具的探索与实践

为使碳足迹核算符合中国具体情况,近年来碳足迹核算工具的本土化研发进程显著加快。

在数据库层面,过去国内企业做碳足迹核算时,基本使用的是 Ecoinvent 数据库,其数据库中的电力排放因子是基于欧洲电网结构,运输距离是基于海上运输,原油上游数据也主要参考的中东地区,直接用于国内炼厂核算会导致显著偏差。如今,由四川大学、中国科学院过程工程研究所、中国标准化研究院等单位牵头构建的 CLCD(中国生命周期基础数据库)已经陆续发布了多版,里面把全国六大电网的排放因子、各主要油田到港口的管输和船运距离、国内主流催化剂和助剂的生产工艺都分拆得比较细致,为数据库本土化奠定了基础。

在平台层面,仅依靠数据库本土化是不够的,实现高效碳足迹核算更依赖于具备自动化数据采集能力的系统来驱动整个流程。目前,几家领先的石化企业及国有企业自主开发的碳管理平台,普遍采用以下技术路线:把碳核算模块集成至 MES 和 ERP 里去,原料进厂、蒸汽用量、电表读数、装置负荷这些数据可实现自动采集,无需手动录入 Excel,直接从 DCS 或者能源计量系统数据实时获取,可实现日级更新,从而减少了人工录入环节。

3 炼化企业碳足迹核算工具面临的挑战

(1)数据质量与可获得性挑战:炼化装置通常涉及数千条物流、上百个反应器,在真实炼化企业中,许多装置未设置独立计量点,且各装置的计量时间区间并不一定匹配。对于上游原油井口到港口的碳足迹数据、不同电网小时级的碳排放因子、国内助剂厂真实的溶剂消耗,这些关键因子基本只能靠背景数据库或经验值。Ecoinvent 数据库中的中国数据仍停留在五六年前的水平。尽管 CLCD 数据库正在不断完善,但其覆盖范围与更新频率仍滞后于实际需求。比如国内电网的排放因子计算方法就经历了多次更新,而炼化企业用电量较大,不同的计算方

法可能导致同一炼化产品碳足迹数据产生偏差。

(2)分配问题:炼化过程本身就是一个反应和分离的过程,分离过程必然产生多种产品。而公用工程和氢气、蒸汽又全厂共用,同时脱硫单元虽然以环保为目标,但其碳排放量较大,产品却是几乎无价值的硫磺和废水,如何把排放合理分配是一个难题。ISO 14067 要求应当尽可能避免分配,如果无法避免,应当按照物理关系(如质量、能量、热值等)进行分配,仅当物理关系无法反映真实因果时,才可使用其他关系(如经济价值)。欧盟的 PEF/PEFCR 手册要求必须优先采用物理分配(质量、摩尔数、能量、反应程度等),并明确禁止使用经济分配。关于应依据质量、热值还是经济价值进行分配,目前尚未形成统一标准。行业常见的做法是,对于燃料型产品多采用热值分配法,而对于化工产品则可能采用质量或经济价值分配法。

(3)核算边界与标准统一问题:GHG Protocol、ISO 14067、欧盟 PEFCR、中国正在制定的《石化产品碳足迹核算导则》,各方对 Scope 3 子项的界定都不一样,其分歧有:催化剂和助剂生产、员工通勤、塑料最终处置方式等。国内目前还没有强制性的石化产品碳足迹标准,不同企业间对同一产品核算边界的不一致,可能导致不同企业对同一产品的碳足迹核算结果出现较大偏差。

(4)工具的专业性与易用性矛盾:国内大部分炼化企业并不能熟练掌握 LCA 类软件,软件的购买率也很低,GaBi 等付费软件主要在头部国企如中石化试点,但其推广受限于成本高、操作复杂等因素。一旦需要对自身产品进行碳足迹核算,大部分还是委托第三方机构或依靠 Excel 建模计算。若仅依赖 Excel 进行手工填表核算,其结果通常只能作为内部参考。而许多高校或研究所开发的“国产碳管理平台”,目前要么功能简单,要么就是 Excel 加数据库,还不能作为一个具有行业公信力的核算工具。

4 国内外实践对比与我国炼化企业可借鉴的方向

近几年,国际大型石油公司已经把碳足迹核算嵌入了生产系统。BP 通过在 Aspen HYSYS 系统中集成实时碳足迹插件,使生产计划部门能够实时监控每吨原油加工所产生的碳排放,实现了碳排放与生产计划的同步管理;TotalEnergies 使用 GaBi 对乙烯、丙烯、聚丙烯这些大宗产品进行碳足迹核算,公布出来的数字直接写进了年度可持续发展报告,供

下游客户做 Scope 3 核算参考;Shell 和 ExxonMobil 则更倾向于直接购买成熟的商业化平台方案,把公司内所有装置的排放核算、MRV(监测、报告、核查)系统和第三方审计全链条统一到一个平台上。

与国外相比,国内起步较晚,但近两三年发展迅速。中国石油、中国石化几家头部企业都已经把“企业级碳资产管理平台”列进了“十四五”重点项目,核心思路就是实现 MES、LIMS 及能源管理系统之间的数据互通,原料进厂到产品出厂的物流、能流进行自动化采集,碳排放后台日清月结。在顶层设计上,中国石油和化学工业联合会已牵头制定并发布了《石化产品碳足迹量化方法指南》(T/CPCIF 0173.1—2023)系列团体标准,为行业提供了统一的方法学框架。同时,CLCD(中国生命周期基础数据库)的建设也在持续推进,旨在为核心产品提供更符合中国本土情况的背景数据。

国际大型炼化企业已将碳足迹从一项辅助性报告提升为核心生产绩效指标,而国内企业与此目标尚存差距。国内炼化企业追赶国际的关键在于破解“数据孤岛”与“工具割裂”的恶性循环。当务之急是构建国家级的背景数据库,并优先攻克流程模拟与 LCA 软件间的标准化数据接口,这是实现“设计即核算”的基石。

参考文献

- [1] International Organization for Standardization. Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework: ISO 14040:2006[S]. Geneva: ISO, 2006.

- [2] International Organization for Standardization. Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification: ISO 14067:2018[S]. Geneva: ISO, 2018.
- [3] IPIECA, API, IOGP. Petroleum industry guidelines for greenhouse gas reporting[R]. London: IPIECA, 2011.
- [4] 中国石油和化学工业联合会. T/CPCIF 0173.1—2023 石化产品碳足迹量化方法指南 第 1 部分:总则[S]. 北京:中国标准出版社, 2023.
- [5] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 24067—2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南[S]. 北京:中国标准出版社, 2024.
- [6] 生态环境部, 国家发展和改革委员会, 国家市场监督管理总局, 交通运输部, 国家数据局. 产品碳足迹核算标准编制工作指引[Z]. 2025.
- [7] Morales-Mendoza L F, Azzaro-Pantel C, Belaud J P, et al. Coupling life cycle assessment with process simulation for ecodesign of chemical processes[J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2018, 37(2): 777–796.
- [8] Miyoshi S C, Secchi A R. Simultaneous life cycle assessment and process simulation for sustainable process design[J]. Processes, 2024, 12(7): 1285.
- [9] Jasper M, Rafati N, Schimmel K, et al. Carbon negative transportation fuels—A techno-economic-environmental analysis of biomass pathways for transportation[J]. Energy Conversion and Management: X, 2022, 14: 100208.
- [10] Fu Y, Wang B, Shuai S. Life-cycle analysis of methanol production from coke oven gas in China[C]. Energy & Propulsion Conference & Exhibition. SAE Technical Paper, 2023.
- [11] Kalakul S, Malakul P, Siemanond K, et al. Integration of life cycle assessment software with tools for economic and sustainability analyses and process simulation for sustainable process design[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 71: 98–109.
- [12] 万子岸, 张振莉, 王正元, 等. 炼化一体化型企业产品碳足迹核算研究[J]. 现代化工, 2024, 44(9): 13–16. ■

(上接第 12 页)

参考文献

- [1] 胡启迪, 孙仁金, 邓钰暄, 等. 典型炼油企业碳减排方式与潜力研究[J]. 现代化工, 2023, 43(3): 6–12.
- [2] 陈柳钦. 低碳经济: 国外发展的动向及中国的选择[J]. 甘肃行政学院学报, 2009, (6): 83–89, 127.
- [3] 袁鹰. 碳金融: 不仅仅是机会[J]. 金融博览(银行客户), 2008, (8): 21–22.
- [4] 杨钧, 张晓东, 唐黎军, 等. “双碳”目标下企业碳信用体系的构建与金融领域应用研究[J]. 西部金融, 2024, (9): 46–52.
- [5] 钟芳芳, 危俊. 高质量碳信用的评价与应用研究[J]. 金融纵横, 2024, (8): 88–95.
- [6] 黄隐. 生命周期评价和环境产品声明在照明产品中的应用[J]. 上海轻工业, 2023, (6): 117–119.
- [7] 谢婷婷, 董慧敏. 碳交易价格对企业绿色技术创新的影响: 政府环保补助的调节作用[J]. 石河子大学学报(哲学社会科学

版), 2025, 39(1): 52–60.

- [8] 姜洪殿, 杨倩如, 董康银. 中国电力行业低碳转型政策的经济—能源—环境影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(6): 30–40.
- [9] 刘芸, 苏玲. 碳排放权交易与企业绿色技术创新文献综述[J]. 财务管理研究, 2025, (6): 4–10.
- [10] 中国人民银行青海省分行课题组, 冶晓东. 我国碳资产质押融资实践探析[J]. 青海金融, 2025, (8): 37–43.
- [11] 张令威, 刘思怡. 绿色金融的区域碳减排效应研究[J]. 河南财政税务高等专科学校学报, 2024, 38(2): 19–32.
- [12] 贺晔平, 刘芳, 马亚园. 碳金融发展中的碳风险与碳金融风险治理研究[J]. 商业经济, 2025, (2): 155–158.
- [13] 徐毅, 宋杰, 崔文慧, 等. 减污降碳协同增效的内涵、政策困境与完善路径研究[J]. 绿色中国, 2025, (9): 157–159.
- [14] 赫国胜, 刘融冰. 中国绿色金融发展的区域差异及影响因素研究[J]. 广西大学学报(哲学社会科学版), 2024, 46(5): 100–112. ■