

炼油厂 CO₂ 资源化利用与 碳金融协同机制研究

赵 振¹, 孙仁金^{1*}, 周昕洁¹, 雷茗桐¹, 付 楠²

(1. 中国石油大学(北京)经济管理学院, 北京 100100;

2. 哈尔滨工程大学经管学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:在“双碳”目标背景下, 炼油行业面临严峻的碳减排压力, 二氧化碳(CO₂)资源化利用是其低碳转型的重要方向, 但项目普遍面临经济性不足的挑战。首先, 阐述了碳市场、核证自愿减排量(Chinese Certified Emission Reduction, 简称 CCER)、绿色债券等工具对项目融资成本与收益的改善机制; 进而, 结合部分案例分析表明, 碳收益可显著改善项目现金流; 研究进一步提出了项目参与国内 CCER 市场与国际认证的合规路径。最后, 从项目开发、技术优化、资产管理等角度, 构建了一个“政策-金融-技术”协同驱动的效益提升框架, 为炼油厂 CO₂ 利用项目的低碳化、高值化运营提供实践指南。

关键词:CCER; 碳信用; CO₂ 利用; 炼油厂; 效益提升

中图分类号:F426.7; X322

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)07-0008-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.07.002

Collaborative research on the path selection of CO₂ resource utilization in oil refineries and carbon finance mechanism

ZHAO Zhen¹, SUN Ren-jin^{1*}, ZHOU Xin-jie¹, LEI Ming-tong¹, FU Nan²

(1. School of Economics and Management, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 100100, China;

2. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Under the background of the “dual carbon” goals, the oil refining industry is facing severe pressure to reduce carbon emissions. The resource utilization of CO₂ is an important direction for its low-carbon transformation, but projects generally encounter the challenge of insufficient economic viability. Firstly, this paper expounds the improvement mechanisms of tools such as the carbon market, Chinese Certified Emission Reduction (CCER), and green bonds on the financing costs and benefits of projects; Furthermore, combined with the analysis of some cases, it is shown that carbon gains can significantly improve the cash flow of the project; The research further proposed the compliance pathways for the project's participation in the domestic CCER market and international certification. Finally, from the perspectives of project development, technical optimization, and asset management, a “policy-finance-technology” synergistically driven benefit improvement framework was constructed, providing practical guidelines for the low-carbon and high-value operation of CO₂ utilization projects in oil refineries.

Key words: CCER; carbon credit; utilization of CO₂; refinery; efficiency improvement

1 引言

1.1 研究背景与问题提出

在“双碳”目标的引领下, 我国高耗能行业的低碳转型成为实现国家气候承诺的关键环节。炼油作为石油石化产业链的中间环节, 碳排放点源多, 工艺复杂, 低碳减碳面临艰巨挑战, 采取何种手段来应对“双碳”目标亟待探讨^[1]。2022 年我国炼油行业 CO₂ 排放量占工业总排放量的 8%~10%, 其减排进程直接影响全国碳达峰节奏。相较于传统碳捕集封存(CCS)技术, CO₂ 资源化利用, 如将 CO₂ 转化为可

持续航空燃料(SAF)、碳酸二甲酯(DMC)等化工产品既能实现碳减排, 又能创造经济价值, 成为炼油厂低碳转型的重要方向。

然而, 炼油厂 CO₂ 化学利用项目面临显著的经济性挑战: 一方面, 项目初始投资规模大, 以 10 万 t/a CO₂ 制 SAF 项目为例, 设备购置与工程建设成本约需 8 亿~12 亿元, 远超传统炼油装置单位产能投资; 另一方面, 项目运营成本高, CO₂ 捕集纯化成本(约 200~400 元/t)、催化反应能耗成本占总成本的 60% 以上, 而 SAF、DMC 等产品的市场价格尚未形成稳定溢价, 导致项目投资回收期普遍超过 8 年, 远超炼

收稿日期: 2025-11-22; 修回日期: 2026-05-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72273151)

作者简介: 赵振(1995-), 男, 博士研究生, 研究方向为能源与环境工程、环境规制理论与政策, cupz Zhao@163.com; 孙仁金(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向为能源市场与投资决策、低碳经济与投资环境影响评价, 通讯联系人, sunrenjin@cup.edu.cn。

油行业平均 5 年的投资回报周期,制约了企业的参与积极性。

在此背景下,碳金融作为链接“碳减排”与“经济收益”的重要工具,展现出显著的赋能作用。碳市场通过碳排放权交易为企业提供碳资产收益。2024 年全国碳市场碳价显著上涨,炼油厂若通过合规 CO₂ 利用项目实现年减排 10 万 t,可获得约 918 万至 975 万元的碳配额收益;国家核证自愿减排量(CCER)机制允许项目减排量进入市场交易,进一步拓宽收益渠道;绿色债券、碳基金等工具则能降低项目融资成本,缓解资金压力。但当前炼油厂 CO₂ 利用项目与碳金融机制的协同存在诸多问题:一是碳金融工具对项目的覆盖度不足,仅 30% 的 CO₂ 制化工产品项目参与碳市场交易;二是碳金融收益与项目成本的匹配度低,现有碳价水平仅能覆盖项目 10%~15% 的运营成本;三是政策工具与碳金融市场的衔接不畅,缺乏针对炼油厂 CO₂ 化学利用项目的专项碳金融支持政策。因此,如何通过碳金融市场与政策工具的协同,破解炼油厂 CO₂ 资源化利用项目的经济性困境,提升项目的经济效益与环境效益,成为亟待解决的关键问题。

1.2 相关概念界定

1.2.1 碳金融

碳金融是指为减少温室气体排放、应对气候变化而开展的金融活动总称,其核心是将温室气体排放权转化为可交易的金融资产,通过金融工具与市场机制实现碳减排资源的优化配置。碳金融涵盖碳市场交易、碳融资、碳保险等多种形式,在本研究中特指服务于炼油厂 CO₂ 资源化利用项目的碳市场工具、碳融资工具及相关政策配套工具。国内普遍认为“碳金融”泛指所有服务于限制温室气体排放的金融活动,包括直接投融资、碳指标交易和银行贷款等^[2]。具体而言,碳金融主要是指围绕减少温室气体排放所展开的各种金融制度安排和金融交易活动,核心内容包括碳排放权及其衍生品的交易与投资、低碳项目的开发融资,以及其他与之相关的金融中介服务^[3]。

1.2.2 CCER

我国对 CCER 的官方定义主要来自两个部门:一方面,国家发改委明确指出,经备案减排量称为“核证自愿减排量”,其计量单位是“吨 CO₂ 当量(tCO₂e)”^[4];另一方面,生态环境部的定义则侧重于低碳环保项目所产生的温室气体减排效果进行量化核证,并要求这些减排量必须在国家温室气体自愿

减排交易注册登记系统中完成登记。2023 年 7 月 7 日,生态环境部发布《温室气体自愿减排交易管理办法(试行)》的征求意见稿,进一步明确温室气体自愿减排项目应当来自于可再生能源、林业碳汇、甲烷减排、节能增效等有利于减碳增汇的领域,能够避免、减少温室气体排放,甚至实现温室气体的清除。经注册登记系统登记的项目减排量正式命名为“核证自愿减排量”。这一最新的定义更加精准、全面地体现了 CCER 的技术特性与核心实质。

1.2.3 碳信用

碳信用是由权威机构认证的、代表特定温室气体减排量的凭证,从广义上讲,它包括碳市场配额和自愿减排量。在本研究中,碳信用指与炼油厂 CO₂ 资源化利用项目直接相关的可交易或可用于履约的减排凭证。其价值对项目的经济效益有直接影响,是碳金融机制作用于项目的核心载体。部分学者认为碳信用体系是以碳信用为基础,通过相关部门协同监管和联合惩戒等手段,旨在提高社会主体环保自律和诚信意识的长效机制,也是社会信用体系的重要组成部分^[4]。也有观点进一步提出,高质量碳信用是指符合质量评价标准的碳减排项目所产生的碳信用,其具备两个基本特征:一是碳减排量或抵消量必须真实、准确、有效;二是相关项目应具备良好的环境和社会效益,例如改善自然环境、促进就业、增强社区韧性等^[5]。

1.2.4 EPD

环境产品声明(EPD)即Ⅲ型环境声明,是一种基于定量生命周期评价(LCA)分析方法的国际认证工具,它通过第三方验证,科学地展示产品从摇篮到坟墓的全生命周期中对环境的综合影响,涵盖碳足迹、酸化效应、水体富营养化、资源枯竭以及能源消耗等多个维度。EPD 鼓励企业设计和生产环境友好型产品与服务,展现企业对环境改善的决心,凸显产品环保绿色的特性,契合可持续发展战略,提升企业市场核心竞争力^[6]。同时,原料方面,EPD 为材料选择提供数据支撑,其结果为采购人员提供环境影响方面的参考。产品方面,消费者将环境影响纳入选购标准,从而推动绿色消费。对于炼油厂 CO₂ 利用项目生产的可持续航空燃料(SAF)、碳酸二甲酯(DMC)等产品,EPD 直观地展现了低碳属性,是产品获得市场溢价、进入碳金融市场的重要依据,也是衡量项目环境效益的关键指标。

1.3 文献综述

在全球积极应对气候变化和推动低碳转型的背

景下,绿色技术项目的研发与应用已成为实现“双碳”目标的关键驱动力。然而,绿色技术项目普遍具有前期投资大、回报周期长、技术风险高等特点,面临严重的融资约束。碳金融作为一种将碳排放权转化为经济价值、市场化解决环境问题的金融创新,为破解绿色技术项目的融资困境提供了新的思路 and 工具。国内外学者围绕碳金融对绿色技术项目的支持作用展开了广泛研究,本文将从以下三个方面对现有文献进行梳理与述评。

1.3.1 碳金融市场机制对绿色技术创新的激励效应研究

多数研究认为,碳交易市场为核心的碳金融机制能够有效为绿色技术创造市场需求和价格信号,从而激励企业进行技术创新。

学者们普遍关注碳定价的作用。谢婷婷等的研究指出,碳交易价格对促进企业绿色创新具有显著的正向作用,碳交易价格显著提高了重污染企业以及国有企业的绿色创新水平^[7]。姜洪殿等人通过对全国碳市场初期运行数据的分析也证实,碳价信号已经开始对电力行业的清洁发电技术升级和能效提升产生初步的引导作用^[8]。

除了价格信号,市场机制的完善程度也至关重要。刘芸的研究也说明,一个具备流动性充足、透明度高、监管严格特征的碳市场,能够稳定投资者和技术研发者的长期预期,从而鼓励对周期长、风险大的颠覆性绿色技术(如 CCUS、氢能)进行投资^[9]。

1.3.2 碳金融工具对绿色技术项目的融资支持研究

碳金融不仅是一个市场,更是一系列金融工具和服务的集合。文献表明,各类碳金融工具能直接为绿色技术项目拓宽融资渠道、优化融资结构。

首先是碳配额抵押融资和碳债券。冶晓东等的研究发现,将未来稳定的碳配额收益或 CERs(核证减排量)收益作为质押或还款来源,能够帮助轻资产但拥有良好减排潜力的科技型企业获得银行贷款,有效盘活了企业的碳资产^[10]。张令威等(2024)则分析了我国发行的绿色债券,发现明确将“碳减排项目”作为支持方向的债券规模逐年上升,为大型可再生能源项目和工业节能改造提供了宝贵的中长期资金^[11]。

其次是碳基金和碳保险。研究指出,政府引导碳基金或市场化碳基金可以通过股权或债权投资,填补绿色技术项目早期发展的资金缺口。例如,贺晔平等探讨了碳保险产品在规定碳价波动风险、项目减排量核证风险等方面的作用,认为其能增强金

融机构对绿色技术项目放贷和投资的信心,降低融资成本^[12]。

1.3.3 政策协同与区域异质性的相关研究

学者们也注意到,碳金融对绿色技术项目的支持效果并非孤立存在,而是深受宏观政策、区域发展水平等因素的影响。

一方面,碳金融需要与财政政策、产业政策形成协同效应。徐毅等的研究表明,在碳市场提供持续市场化激励的同时,若配套相应的绿色技术研发补贴、税收优惠等政策,能形成“市场+政府”的双轮驱动,更大程度地激发企业的创新活力^[13]。

另一方面,碳金融的支持效果存在明显的区域异质性。赫国胜等的研究发现,在经济发展水平高、金融市场成熟、环境规制严格的东部地区,碳金融工具的应用更广泛,对绿色技术的促进作用也更显著;而在中西部地区,其效果则受限于金融机构认知、专业人才匮乏等因素^[14]。这表明碳金融政策的实施需要结合地方实际情况,采取差异化策略。

2 碳金融工具及其对 CO₂ 利用项目的价值

碳金融工具通过市场化机制推动 CO₂ 利用项目发展,其核心价值体现在优化资源配置、降低融资成本及提升项目经济性。以全国碳市场、CCER 机制、绿色债券及碳资产回购为研究对象,结合部分项目案例,量化分析碳减排量与潜在收益,碳金融工具可显著提升项目财务可行性,为低碳技术商业化提供关键支撑。以下为主要碳金融工具介绍。

2.1 全国碳市场:配额交易的核心平台

全国碳市场自 2021 年启动以来,覆盖电力、钢铁、水泥等高排放行业,2024 年纳入铝冶炼行业后,年覆盖碳排放量超 50 亿 t。其核心机制为“总量控制+配额分配”,企业需在履约期前提交与实际排放量等量的配额,超额排放需通过市场购买配额或 CCER 抵消。例如,湖北宜化集团通过 4 000 万元碳配额质押贷款盘活存量资产,上海宝碳公司以 CCER 质押获得 500 万元融资,均体现了碳配额的金融属性。

2.2 CCER 机制:自愿减排市场的补充工具

CCER(中国核证自愿减排量)作为全国碳市场的补充机制,允许企业通过开发可再生能源、碳捕集与封存(CCUS)等项目产生减排量,经国家备案后用于履约抵消。截至 2025 年,CCER 市场累计备案项目超 3 000 个,年减排量供给能力达 1.5 亿 t。以东营 CCUS 示范项目为例,其捕集的 CO₂ 用于驱油

增产,每 1 t CO₂ 可提升原油采收率 0.2 t,同时减少大气排放,项目年减排量约 50 万 t,按当前 CCER 市场价 60 元/t 计算,年潜在收入达 3 000 万元。

2.3 绿色债券:低碳项目的长期资金支持

绿色债券是专项用于低碳项目融资的债务工具,其利率通常与项目碳收益挂钩。2014 年,浦发银行发行首单碳债券,为中广核风电项目融资 10 亿元,债券利率由固定利率(4%)与浮动利率(与项目 CCER 收益挂钩)组成,浮动部分占比达 30%。此类结构化设计降低了企业融资成本,同时吸引社会资本参与低碳投资。截至 2024 年末,深交所累计发行绿色债券 375 只,规模合计 1 883.74 亿元,其中 CCUS、可再生能源等项目占比超 40%。

2.4 碳资产回购:短期资金融通的创新模式

企业开展碳资产回购业务,即将自身持有的碳配额或 CCER 转让给金融机构,并约定在未来特定时间以既定价格将其购回,借此获取短期资金支持。2023 年,中信证券与北京华远意通公司完成首单 1 330 万元配额回购业务,回购期限 6 个月,年化融资成本 5%,低于同期银行贷款基准利率。该模式通过盘活存量碳资产,缓解了企业资金压力,同时为金融机构提供了低风险收益来源。

3 CO₂ 利用项目参与碳市场的路径分析

3.1 参与国内 CCER 市场的路径与方法学

CCER 是对我国境内的可再生能源、甲烷利用、碳汇等项目的温室气体减排效果进行量化,并在国家温室气体自愿减排交易注册登记系统中完成登记的温室气体减排量。CCER 的核心是通过项目开发和核证,将减排量转化为可交易的碳资产,从而激励企业和社会力量参与温室气体减排。企业可以通过参与国际碳信用认证项目以及国内 CCER 机制来提升其碳效益。在项目开发与认证过程中,企业应精心挑选适合自身特点的碳信用认证体系。例如,可以选择国际上的 VCS、GS4GG、ISCC 或国内的 CCER 项目,并严格遵循相关标准和流程,确保项目在设计、实施、监测、报告与验证等环节的规范性和准确性。项目产生的减排量需经过具有资质的第三方核证机构的核证,以确保数据的真实性和可靠性。核证后的减排量需登记后再进入市场交易。必要时,开发新的方法学以精准核算 CO₂ 减排量,从而提升项目的国际竞争力和市场认可度。

在 CCER 项目开发过程中,炼油厂需深入了解国家相关政策法规,确保项目符合国家的温室气体

减排目标和要求。同时,炼油厂应积极参与行业协会和专业组织的活动,获取最新的行业动态和技术支持。通过与同行的交流和合作,共同解决项目开发过程中遇到的问题;除此之外,炼油厂还应加强与政府部门沟通协调,争取政策支持和资源倾斜,为项目创造良好的政策环境;在项目实施过程中,应建立完善的监测、报告和验证(MRV)体系,确保减排量的准确核算和透明披露。通过有效的 MRV 体系,炼油厂不仅可以提高项目的可信度和市场认可度,还为未来的碳市场交易提供可靠的数据支持。

3.2 获取国际碳信用认证的流程与价值

碳信用认证是通过生命周期评价(LCA)和环境产品声明(EPD)等工具,对产品和服务在生产、运输、使用和废弃处理等全生命周期内的碳排放进行量化和评估。这是满足欧盟等地区市场准入要求的必要条件,也是提升企业竞争力、增强品牌影响力的重要手段。企业需要选择具有资质的第三方核查机构,对其碳排放数据进行核查。核查机构会按照国际标准和欧盟要求,对企业的碳排放核算过程进行评估,并出具核查报告。欧盟碳市场于 2024 年开始纳入航运业,要求 5 000 总吨以上的商用船舶,按照 2024 年排放量的 40%、2025 年排放量的 70%、2026 年后排放量的 100%逐步纳入配额管理。

获取国际碳信用认证的流程包括多个关键步骤。炼油厂首先应进行内部碳排放核算,建立完整的碳排放数据管理体系,确保数据的准确性和完整性;选择具备国际认可的资质第三方核查机构,对企业碳排放数据进行严格的审查和评估,便于及时整改,符合国际标准;炼油厂还需要关注国际碳市场的动态和政策变化,及时调整碳信用认证策略,以应对不断变化的市场环境。

3.3 推进环境产品声明的编制与应用

环境产品声明(EPD)是基于 LCA 的标准化环境信息披露工具,能够为产品提供全生命周期的碳排放数据。其认证需要遵循国际标准(如 ISO 14040 和 ISO 14044),并由第三方机构进行核查和认证。欧盟要求进入其市场的部分产品必须提供 EPD 认证,以证明其符合低碳标准。EPD 认证不仅有助于突破贸易壁垒,还能提升炼油厂产品市场竞争力。

EPD 的编制过程要求企业对产品的全生命周期进行详细的环境影响评估,涵盖原材料采购、生产加工、运输、使用和废弃处理等各个环节。这一过程要求企业具备专业的技术团队和先进的评估工具,以确保评估结果的科学性和准确性;在 EPD 认证过

程中,炼油厂应与第三方认证机构紧密合作,按照国际标准的要求,完成认证所需的各项准备工作,确保其产品符合国际标准的要求;通过 EPD 认证,产品在进入欧盟等市场时可以避免因不符合低碳标准而面临的贸易壁垒,还可以促进炼油厂自身环境管理改进,推动其不断优化生产流程,降低环境影响,实现可持续发展。

4 政策与金融驱动下的效益提升综合策略

4.1 项目层面:优化碳资产管理策略,积极申请政策与金融支持

优化碳资产管理策略是企业实现可持续发展的重要手段。炼油厂需建立一套完善的碳资产管理体系,涵盖碳排放核算、碳信用管理、碳市场交易等多个方面。以精细化管理为手段,减少运营成本,提升资源利用效率,增强项目盈利能力。同时,企业还可以通过参与碳市场交易,将多余的碳信用出售,实现资产增值;企业需要密切关注国家和地方的政策动态,积极争取财政、税收等支持政策。降低开发成本和风险,提高项目的可行性和盈利能力;此外,应积极参与碳市场交易,将减排量转化为经济收益。优化碳资产管理策略是企业在政策与金融驱动下提升效益的重要途径,炼油厂应在项目管理、政策支持和市场交易等多个层面进行综合布局,以实现可持续发展。

4.2 技术层面:以碳效益为导向,加强技术创新与工艺优化

以碳效益为导向进行技术创新是企业提升竞争力和实现可持续发展的关键。企业需要持续投入研发资源,提高 CO₂ 转化效率,转化为高附加值的产品,如生物燃料、化工原料等,从而提高项目的盈利能力和资源化利用价值;引入先进的监测技术,为碳信用核算提供可靠的数据支持;政府和相关部门应重点支持 CO₂ 资源化利用技术创新项目建设,充分发挥科技成果转化引导基金的作用,支持创新开发与应用转化,实现经济效益和环境效益的双赢。总之,以碳效益为导向进行技术创新是企业在政策与金融驱动下提升效益的重要策略,企业需要在技术研发、应用转化和政策支持等多个方面进行综合布局,以实现可持续发展。

4.3 战略层面:将碳金融纳入企业长期绿色发展战略

企业应将成本优化与长期战略相结合,通过市场拓展、品牌建设、战略合作等手段,提高产品的市场竞争力和品牌影响力,实现可持续发展。通过与

供应商和客户合作,建立绿色供应链,降低整个供应链的碳排放;同时,通过品牌建设,提升自身的品牌形象,增强消费者的认可度。政策方面,应鼓励跨行业合作,促进资源共享和优势互补;此外,企业还需要关注碳金融市场的动态,积极参与碳金融产品的创新和应用。利用金融工具进行风险管理和资产配置,实现碳金融与企业战略的深度融合。总之,将碳金融纳入企业长期绿色发展战略是企业在政策与金融驱动下提升效益的重要举措,企业需要在战略规划、跨行业合作和碳金融市场等多个方面进行综合布局,以实现可持续发展。

5 结论

本文围绕炼油厂 CO₂ 资源化利用项目的经济性挑战,系统探讨了碳金融机制在提升项目效益方面的协同路径与作用机制。通过分析碳金融市场工具,并结合 CO₂ 资源化利用项目的应用场景,得出以下主要结论。

(1)碳金融工具能够有效改善炼油厂 CO₂ 利用项目的经济可行性。研究表明,通过参与碳市场交易获取配额收益、开发 CCER 项目获得自愿减排收入,以及利用绿色债券等低成本融资工具,可显著提升项目现金流。

(2)炼油厂 CO₂ 利用项目参与碳市场的路径日益多元,但需注重方法学合规与国际接轨。国内方面,项目应积极申请 CCER 备案,优先选择或开发适用于 CO₂ 化工利用的方法学,建立完善的 MRV 体系;国际方面,可探索 VCS、ISCC 等认证,并提前布局 EPD 声明,以应对 CBAM 等贸易机制,提升产品国际竞争力。

(3)“政策-金融-技术”协同是实现 CO₂ 资源化利用项目长效发展的关键。在项目层面,企业需建立专业碳资产管理体系,优化碳资产配置与交易策略;在技术层面,应以碳效益为导向,持续推动 CO₂ 转化效率提升与能耗降低;在战略层面,应将碳金融纳入企业绿色转型顶层设计,通过跨行业合作与绿色供应链构建,实现环境效益与经济效益的双重提升。

综上所述,碳金融机制为炼油厂 CO₂ 资源化利用提供了重要的市场化支撑,但其效能发挥仍依赖于政策持续完善、技术创新迭代与企业战略协同。未来,随着全国碳市场扩容、CCER 方法学体系细化以及国际碳关税机制的落地,碳金融在推动炼油行业低碳转型中的角色将更加凸显。

(下转第 17 页)

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. ■