

专论与评述(低碳转型与碳管理专题)

碳排放“双控”对石化化工行业的影响与 战略建议

张 华*, 胡家祺, 陈懿楠
(中国化工信息中心有限公司, 北京 100029)

摘要:随着我国能耗双控向碳排放双控转变,2024年国务院办公厅印发的《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》标志着转型正式启动。2026年政府工作报告首次将碳排放强度作为约束性指标。石化化工行业碳排放量占全国的12%~13%,并将于2027年纳入全国碳市场。系统分析了双控政策转变的内涵与逻辑,梳理碳排放总体形势,剖析其对石化化工行业的影响,并从产业格局、能源体系、科技创新与管理体系四个维度提出战略路径,以助力行业把握转型机遇、实现绿色低碳发展。

关键词:石化化工行业;碳排放双控;能耗双控;绿色低碳转型;碳达峰碳中和

中图分类号:X828

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)07-0001-07

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.07.001

Impact and suggestions of the transition from energy dual control to carbon emission dual control on petrochemical and chemical industry

ZHANG Hua*, HU Jia-qi, CHEN Yi-nan

(China National Chemical Information Center Co., Ltd., Beijing 100029, China)

Abstract: The energy management system is undergoing a fundamental shift from dual control of energy consumption to dual control of carbon emissions. In 2024, the General Office of the State Council issued the “Work Plan for Accelerating the Construction of a Dual Control System for Carbon Emissions,” marking the formal commencement of this transition. The 2026 Government Work Report included carbon emission intensity as a binding indicator for the first time. The petrochemical and chemical industry accounts for approximately 12%–13% of national carbon emissions and is scheduled to be included in the national carbon market by 2027. This paper systematically analyzes the policy implications and core logic of the dual control transition, outlines the overall status and trends of carbon emissions in China, delves into the impact of this policy shift on the petrochemical and chemical industry, and proposes strategic response pathways from four dimensions: industrial structure, energy systems, technological innovation, and management frameworks. The findings help the industry seize transformation opportunities and achieve green and low-carbon development.

Key words: petrochemical and chemical industry; carbon emission dual control; energy consumption dual control; green low-carbon transition; carbon peaking and carbon neutrality

当前,我国生态文明建设进入以降碳为重点战略方向的关键时期。2026年政府工作报告明确提出“单位国内生产总值二氧化碳排放降低3.8%左右”的目标,这是我国首次将碳排放强度作为约束性指标纳入政府工作报告。能耗双控向碳排放双控的转变,标志着我国环境治理理念和方式的重大升级,对于推动经济社会发展全面绿色转型、实现“双碳”目标具有深远意义。这一转变不是简单的政策迭代,而是从“管入口”到“管出口”的治理逻辑根本性变革,将深刻影响各行各业的发展路径,特别是对

石化化工等高耗能、高排放行业的影响尤为显著。

1 双控转变趋势解读分析与启示

如表1所示,能耗双控聚焦能源消费总量与强度,旨在提升能源效率;碳排放双控则直接针对碳排放总量和强度,管控范围从能源活动延伸至工业过程等非能源领域,更加直接地导向绿色低碳发展。这一转变不仅是指标调整,更是系统性制度变革,其核心在于以更科学精准的方式引导低碳转型,强化对可再生能源的支持与对化石能源消费的控制导向。

表 1 碳排放双控与能耗双控主要特征对比

特征维度	能耗双控	碳排放双控
控制对象	能源消费总量和强度,涵盖煤炭、石油、天然气、电力等各种能源品类的消耗行为	碳排放总量和强度,针对化石能源燃烧产生的二氧化碳排放,以及工业生产等过程中直接产生的二氧化碳排放,2030 后扩展到非二氧化碳排放
政策导向	节能优先,控制能源消费,主要依靠行政手段,如能源消费总量控制目标、节能考核、淘汰落后产能等	低碳导向,结合市场手段,如碳市场交易、碳税、碳配额等,通过经济激励机制引导企业减少碳排放,同时鼓励可再生能源
行业影响	高能耗行业压力大	高碳排放行业压力大,但为电力、石化、化工等纳入碳市场行业增加了额外的碳资产机遇
弹性机制	相对刚性	新增可再生能源不纳入总量考核

国务院办公厅于 2024 年 8 月印发《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》,明确了转型的总体框架和实施路径:第一阶段(至 2025 年)重点夯实统计核算基础;第二阶段(2026—2030 年)在全国范围实施以强度控制为主、总量控制为辅的制度;第三

阶段(2030 年后)实施以总量控制为主、强度控制为辅的制度^[1]。“双控转变”政策涉及多个层级的政策实施和管理,不同层级的管理内容最终均会传导至企业,成为影响企业需要不断完善低碳核心竞争力的要点,详见表 2。

表 2 《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》要点解析

6 层级	不同层级管控的主要内容	产生的影响要点总结
国家层面——将碳排放指标及相关要求纳入国家规划	推动碳排放管控指标纳入规划;明确“十五五”时期,将碳排放强度降低作为国民经济和社会发展约束性指标。	需积极跟进国家政策制(修)订“十五五”低碳规划及碳达峰行动方案、固定资产投资项目节能审查办法等制度,并纳入碳排放总量与强度控制管理要求。
管理地方层面——建立地方碳排放目标评价考核制度	建立地方碳达峰碳中和综合评价考核制度;制定出台碳达峰碳中和综合评价考核办法,统筹建立评价考核指标体系,以碳排放总量和强度指标为重点。 推动省市两级建立碳排放预算管理制度;按年度开展碳排放情况分析和目标预测,加强与全国碳排放权交易市场的工作协同,明确“十五五”“十六五”实行五年规划期和年度碳排放预算全流程管理。	需积极跟进地方政策,建立应对地方碳达峰碳中和综合评价考核办法,统筹建立评价考核指标体系的公司级考核体系和预算管理制度,将年度碳预算与碳考核形成公司级制度体系并开展月度、季度、年度制定、下发、跟踪与考核的完整闭环体系。
管理重点行业——探索碳排放预警管控机制	以电力、钢铁、石化、化工等工业行业和交通运输等领域为重点开展行业碳排放核算。建立行业领域碳排放监测预警机制,条件成熟时,将重点行业领域碳排放管控要求纳入碳达峰碳中和综合评价考核指标体系。	一是需积极跟进发改委、工信部与生态部等主管部门,参与重点行业(石化、化工、农业)碳排放核算预警与综合评价体系编制工作,二是利用数字化辅助工具开展公司下属重点行业企业碳排放数据核算。
管理企业层面——完善企业节能降碳管理制度	健全重点用能和碳排放单位管理制度;将碳排放管控要求纳入现行重点用能单位管理制度,加强能源和碳排放计量器具配备和检定校准。发挥市场机制调控作用;完善全国碳市场、自愿减排市场、绿证交易市场调控机制,逐步扩大范围。	一是原有节能降碳的落实要求上需加强计量器具的完善、更新与定期校准以保障数据准确性;二是已纳入与即将纳入碳市场的重点企业强化碳资产管理运营与交易能力。提前布局自愿减排项目如可再生能源电解水制氢、农业废弃物处理等;适时增加绿电消费比例。
管理项目层面——开展固定资产投资项目碳排放评价	将碳排放评价有关要求纳入固定资产投资项目节能审查,作为固定资产投资项目开工建设以及竣工验收和运营管理的重要依据。将温室气体排放管控纳入环境影响评价,对建设项目温室气体排放量和排放水平进行预测和评价,在石化、化工等重点行业开展温室气体排放环境影响评价,强化减污降碳协同控制。	一是需严把新增固定资产投产项目碳排放审查,设定新增项目单位产品或单位产值碳排放强度限定值,达到要求项目可投产运营。二是对于存量项目进行全方位摸排审查,严格淘汰后置换高耗能高排放项目。
管理产品层面——加快建立产品碳足迹管理体系	聚焦化肥、氢、乙烯、合成氨、电石、甲醇、煤化工等重点产品,制定发布产品碳足迹核算行业标准或团体标准。加快建设全国温室气体排放因子数据库。鼓励相关企业探索建设细分行业领域产品碳足迹背景数据库。建立产品碳标识认证制度,鼓励企业按照市场化原则开展产品碳标识认证。	需按照政策要求及需求开展产品碳足迹核算与认证、产品碳足迹因子库建设,应尽快搭建优势产品的核算标准并建立数据库以掌握市场话语权。

综上,碳排放双控相比能耗双控要求更为严格,其在一定程度上包含了能耗控制要求。控制碳排放不仅要控制由能源排放的温室气体,也要控制非能源导致的温室气体排放,如工业过程产生的碳排放、农业生产导致的碳排放等,碳排放双控的形成对于国家“双碳”战略目标的实现具有决定性意义,将有效推动经济社会发展全面绿色转型。

2 中国碳排放总体情况与走势

基于国家权威监测数据、行业研究报告,系统梳理中国碳排放总现状与发展走势,拆解石化化工行业碳排放核心数据,并结合碳排放双控政策实施背景,预测 2030 年碳达峰、2060 年碳中和节点下石化化工行业的排放演变趋势,是把握双控转型背景下的石化化工行业定位与发展方向的重要依据。

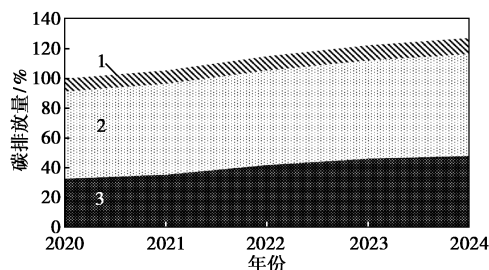
2.1 总量与强度:增幅收窄,降碳成效显著

中国作为全球最大的碳排放国,近年来在控制碳排放总量增长和降低碳排放强度方面取得了显著成效。从碳排放总量来看,2022 年中国碳排放总量约为 127.16 亿 t 二氧化碳,占全球排放总量的 26% 左右^[2]。2024 年,中国碳排放增幅显著收窄,根据《2024 年全球碳预算》报告,2024 年中国碳排放仅小幅增加 0.2%;而根据中国气象局发布的《中国温室气体公报(2024 年)》,2024 年中国碳排放同比增长 0.6%,低于全球 0.8% 的平均增幅。这表明中国碳排放增速已进入平台期,正逐步向达峰目标迈进^[3]。

在碳排放强度方面,成效更为突出。截至 2022 年,中国单位 GDP 二氧化碳排放量较 2005 年累计降低超过 51%,已超额完成向国际社会承诺的 2020 年碳强度下降 40%~45% 的目标^[4]。2024 年,万元 GDP 二氧化碳排放进一步下降 3.4%,显示出经济增长与碳排放脱钩的趋势日益明显。碳排放强度的持续下降,得益于能源结构的优化调整和产业转型升级的协同推进。从能源结构变化来看,煤炭消费占能源消费总量比重已从 2005 年的 72.4% 下降至 2024 年的 53.2%,累计下降 19.2 个百分点。清洁能源消费占比则从 2005 年的 7.4% 提升至 2024 年的 28.6%,清洁能源发电量达 37126 亿 kWh,同比增长 16.4%^[5]。风电和太阳能发电装机容量在 2024 年达到 14.5 亿 kW,稳居全球第一,为碳减排提供了坚实的清洁能源基础^[6]。

2.2 排放结构:工业排放为核心来源,能源活动占主导

中国碳排放呈现明显的结构性特征。从排放来源看,能源活动产生的碳排放占全国排放总量的 80% 以上,其中约 70% 来自工业生产活动^[7]。石化化工行业作为重点排放行业,2023 年碳排放量超过 15 亿 t,占全国排放的 12%~13%,占工业排放的 18% 左右^[8],详见图 1。



1—石化化工;2—其他工业;3—非工业

图 1 中国碳排放结构(石化化工及其他)
(2020—2024 年)

从能源类型划分,煤炭消费产生的碳排放占全国总排放的 75%~78%,石油消费排放占 14%,天然气消费排放占 7%^[9]。煤炭作为中国能源消费的主体,其清洁高效利用是实现碳减排目标的关键。石化化工行业的碳排放具有工艺流程复杂、排放源多样的特点。该行业既面临化石燃料燃烧的直接排放,也面临工艺过程排放,同时还承担外购电力消耗的间接排放。2021 年我国石化化工行业能源消费总量达 7.2 亿 t 标准煤,其中原料用能约 2.2 亿 t 标准煤^[10]。作为八大高耗能行业中排放总量第四、强度中等的行业,石化化工行业排放呈现“细分领域分化显著”特征:煤化工(煤制甲醇、煤制烯烃)单位产品碳排放强度是石化的 3~5 倍,是行业减排重中之重;盐化工、氟化工排放高度依赖电力能源结构,绿电替代可实现减排效率最大化;化工新材料领域排放强度显著低于传统基础化工,是低碳转型核心方向^[11]。

2.3 政策驱动下的长期走势:强度先控、总量后控,分阶段有序达峰

在“双碳”目标引领下,中国碳排放将经历“十四五”期间强度管控为主、“十五五”期间向总量管控过渡、2030 年后全面实施总量管控的阶段性特征。全国、工业及石化化工行业的碳排放走势呈现差异化特征,但总体方向一致。

2026—2030 年:强度管控为主,高碳行业排放

逐步达峰。这一阶段的核心特征是以碳排放强度管控为主,通过单位 GDP 碳排放约束推动经济低碳转型,同时推动重点行业碳排放陆续达峰^[12]。根据中国工程院发布的《中国碳达峰碳中和战略及路径》,中国碳排放预计将于 2027 年前后达峰,峰值约为 122 亿 t 二氧化碳。全球能源互联网发展合作组织预测,中国全社会碳排放将于 2028 年达峰,峰值约 109 亿 t。清华大学气候变化研究院预测,在努力情景下,中国碳排放有望在 2025 年左右达峰^[13],各机构预测数据见表 3。

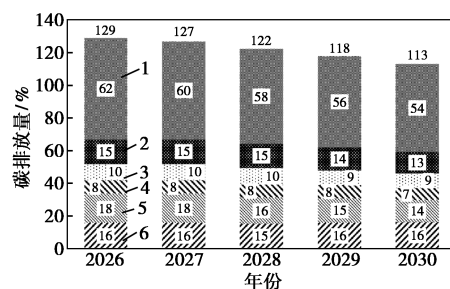
表 3 全国碳排放达峰预测对比

预测机构	达峰时间	峰值/亿 t	预测模型
中国工程院	2027 年前后	约 122	综合评估模型
全球能源互联网发展合作组织	2028 年	109	能源系统优化模型
清华大学气候变化研究院	2025 年左右	—	China TIMES 模型
DNV	2026 年	—	能源转型模型

根据工信部发布的《工业领域碳达峰实施方案》,工业领域将在 2030 年前实现碳达峰^[14]。各重点行业将陆续达峰,呈现“先易后难”的达峰顺序。根据全球能源互联网发展合作组织、清华大学碳中和研究院等机构的预测,电力行业已于 2025 年率先达峰,峰值约 45 亿~52 亿 t;钢铁行业将于 2025 年前达峰,峰值约 17 亿~18 亿 t;水泥行业已于 2020 年达峰,峰值约 12.3 亿 t;石化化工行业预计于 2030 年前达峰,峰值约 14 亿~15 亿 t;交通运输行业预计于 2030 年前后达峰,峰值约 13.3 亿 t;建筑行业预计于 2027—2039 年达峰,峰值约 24 亿~25 亿 t^[15]。

从图 2 可以看出,2026—2030 年期间,全国碳排放总量将从 126.7 亿 t 下降至 113.1 亿 t,降幅约 10.7%^[16]。各行业呈现差异化走势:电力行业作为最大单一排放源,2026—2030 年排放量从 48.0 亿 t 降至 38.0 亿 t,降幅 20.8%,是减排贡献最大的行业。减排主要来自风电、太阳能装机快速增长,预计 2030 年风光装机达 31 亿 kW^[17]。钢铁行业排放从 17.5 亿 t 降至 15.6 亿 t,降幅 10.9%。减排路径包括粗钢产量控制、能效提升、氢冶金技术示范应用等。水泥行业排放从 10.5 亿 t 降至 8.0 亿 t,降幅 23.8%。作为最早达峰的行业,水泥行业通过熟料产量控制、燃料替代、低碳水泥技术实现持续减排。石化化工行业排放从 14.2 亿 t 增至 14.5 亿 t 后回

落至 13.5 亿 t,呈现平台期特征。

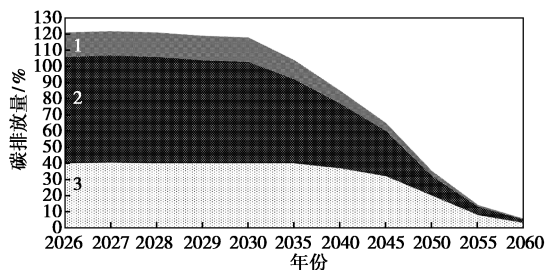


1—电力;2—石化化工;3—钢铁;4—交通;5—水泥;6—建筑

图 2 2026—2030 年重点行业碳排放累加柱状图与总量趋势折线图

2031—2060 年:总量管控为主,全行业排放总量进一步下降。这一阶段的核心特征是以碳排放总量管控为主,通过碳配额约束、碳汇补偿、碳移除技术等多措并举,推动全行业碳排放持续下降,最终实现碳中和目标^[18]。根据清华大学碳中和研究院研究,2060 年中国将实现二氧化碳净零排放,温室气体排放量较峰值减少 90%^[13]。中国工程院预测,2040 年全国碳排放将较峰值下降约 30%,2060 年实现碳中和。全球能源互联网发展合作组织预测,2050 年中国全社会碳排放将降至 14 亿 t^[15]。

根据清华大学碳中和研究院《2024 全球碳中和年度进展报告》,2060 年工业碳排放将降至 4.5 亿 t,较 2025 年下降约 95%^[13]。工业碳中和技术将撬动约 42 万亿元投资,占碳中和总投资的 15%~20%。石化化工行业在达峰后,将通过原料结构调整、工艺技术革新、电气化改造、氢能替代、碳捕集利用与封存(CCUS)等技术路径实现深度减排,如图 3 所示^[19]。行业预计在 2040 年前后实现碳排放较峰值下降 50%,2060 年实现近零排放。



1—石化化工;2—其他工业;3—非工业

图 3 石化化工行业未来排放走势

3 “双控转变”对石化化工行业影响分析与战略应对

“双控转变”即从能耗双控向碳排放总量和强

度双控转变,正从政策合规层面上升为石化化工企业核心战略变量。2023 年 7 月,中央深改委二次会议审议通过《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》;2024 年 8 月,国务院办公厅印发《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》。2027 年石化化工行业将正式纳入全国碳市场^[20]。这一系列政策变革将深刻影响石化化工行业的运营逻辑和发展路径,需系统评估其对产业组合、技术路线及价值创造模式的系统性影响。

3.1 影响分析

“双控转变”不是简单的政策迭代,而是深刻改变石化化工行业运营逻辑和发展路径的分水岭。根据中国碳排放趋势预判,石化化工行业需在 2030 年前实现达峰,此后进入快速下降通道。其影响是长期的、深远的,需从挑战(负向)与机遇(正向)两个维度进行系统性审视。

3.1.1 正向影响

绿色产业扩张与新增长极培育。碳排放双控政策为石化化工行业的绿色转型提供了明确的市场信号和政策激励。一是低碳材料市场需求爆发式增长。下游新能源、电子、航空等领域对低碳材料的迫切需求,为电子信息材料、绿色航空轮胎、可降解材料等高端产品提供了广阔市场空间^[21]。预计到 2030 年,新能源相关化工材料市场规模将超过 5 000 亿元。二是“绿电-化工”一体化项目迎来战略窗口。碳排放双控政策明确,新增可再生能源消费不再计入碳排放考核。盐化工、硅化工等行业的碳排放强度直接取决于所用电力碳排放因子。通过布局“绿电-电解”一体化项目,可打造成本竞争优势显著的“低碳氯碱”和“绿色硅基材料”,成为市场新标杆。以新疆库车绿氢示范项目为例,该项目年产绿氢 2 万 t,年减排 CO₂ 约 50 万 t,为石化化工行业提供了可复制的低碳转型路径。三是氟化工绿色产品技术领先优势强化。政策倒逼氟化工行业淘汰高 GWP(全球变暖潜势)产品,为企业加速低 GWP 制冷剂、含氟新能源材料等绿色产品的研发与市场化提供了强大动力。根据预测,2060 年石化化工行业排放将较峰值下降 97% 以上,绿色产品将成为行业竞争的核心要素^[22]。

3.1.2 负向影响:合规压力与转型风险

根据石化化工行业碳排放预测,行业需在 2030 年前达峰并在此后快速下降,这一转型过程将带来多重挑战。一是全局性合规成本攀升。2027 年石化化工行业将纳入全国碳市场,碳排放数据核算、监

测、报告与核查(MRV)要求趋严,碳市场履约成本将直接增加企业运营支出。初期碳配额将有 1%~3% 实行有偿分配,预计 2030 年后有偿分配比例逐步提高^[23]。以行业年排放量 15 亿 t 计,若碳价按 100 元/t 计算,仅 1% 有偿分配即涉及 15 亿元额外成本。二是高碳业务生存空间收窄。煤化工受冲击最为直接,其高碳的“原料基因”使其在碳排放总量和强度双重约束下,面临生存红线。根据预测,石化化工行业 2060 年排放需降至 0.4 亿 t 左右,若不配套绿氢耦合技术或 CCUS 技术,煤化工业务将极度受限^[24]。传统石油化工中,炼化等业务虽可通过节能和流程优化部分减排,但过程排放和能源排放基数大,在碳成本内部化后,竞争力将受到严峻考验。三是供应链与市场竞争加剧。下游客户对低碳原材料的需求倒逼上游供应商进行碳足迹管理。欧盟碳边境调节机制(CBAM)等国际规则叠加,未能提供低碳产品的供应商将逐步失去市场份额。根据预测,石化化工行业 2030 年后将进入快速下降通道,2040 年排放需降至 5 亿 t 左右,行业竞争格局将发生根本性重塑^[22]。

3.2 应对建议

“双控转变”既对石化化工传统产业构成严峻挑战,也为转型产业提供了新的机遇。根据石化化工行业碳排放预测,行业需在 2030 年前实现达峰(峰值 14 亿~15 亿 t),2040 年降至 5 亿 t,2050 年降至 1.5 亿 t,2060 年实现近零排放(0.4 亿 t 左右)^[22]。这要求行业从战略高度审视产业格局、能源体系、创新范式与管理模式的根本性重塑。

3.2.1 驱动产业格局向绿色高端跃迁,产业管理与布局需高端化与低碳化并重

碳排放双控将推动石化化工行业竞争要素从“规模扩张”转向“碳效优先”。根据行业排放预测,石化化工行业 2030 年后需以年均约 4% 的速度减排,高碳资产若未配套深度脱碳措施将面临“碳锁定”与价值折损风险^[20]。行业需前瞻布局绿色化工材料、生物基材料等新兴赛道,推动产业生态从“资源依赖”向“技术驱动”转型。

(1) 石油化工全产业链面临“碳成本”重塑。石化行业是能源消费和碳排放的重点领域。根据预测,石化化工行业排放需从 2023 年的 15 亿 t 降至 2060 年的 0.4 亿 t,降幅达 97%。“碳排放双控”与国内碳市场深化、欧盟 CBAM 等国际规则叠加,将使碳排放成为核心财务成本。炼化一体化业务需进行深度脱碳规划,加速电气化、绿氢耦合、CCUS 等

技术应用。根据 IEA 预测,绿氢替代可覆盖石化行业 48% 的用氢需求(约 210 万 t),潜在市场规模超过 420 亿元^[25]。

(2) 基础原材料各细分领域步入系统性重塑。煤化工受冲击最为直接,其高碳“原料基因”使其面临生存红线,必须与绿氢耦合或 CCUS 技术强制绑定^[26]。盐化工(以氯碱为代表)行业碳排放强度直接取决于所用电力碳排放因子,可积极布局“绿电-电解”一体化项目,打造“低碳氯碱”产品。硅化工作为新能源产业链基础,拥有清洁能源配套的产能将获优势,应以“绿色电力保障”为核心打造“绿色价值链”硅基材料。氟化工行业需集中资源加速低 GWP 制冷剂、含氟新能源材料等绿色产品的开发。

(3) 化工新材料领域迎来发展机遇。根据预测,2060 年各重点行业将实现深度脱碳,其中电力行业降幅 98.7%,钢铁行业降幅 96.8%,交通行业降幅 96.2%,这些下游行业的低碳转型将催生对低碳材料的巨大需求^[27]。电子信息材料领域可突破六氟丁二烯电子气体制备关键技术,降低集成电路产业碳足迹;民用航空材料领域可开发低碳民航轮胎生产线,打造全球领先的绿色航空材料供应商。产品碳足迹管理将成为新材料竞争力的关键要素。

3.2.2 倒逼能源体系实现结构性变革,能源结构需结构性调整与绿色转型

政策明确鼓励可再生能源消费,并将碳排放强度作为核心约束指标。碳排放双控政策规定,新增可再生能源消费不再计入碳排放考核,原料用能约占石化化工行业能耗总量的 29.5%,这一政策突破为行业能源结构转型提供了重大机遇。根据预测,电力行业 2060 年排放将降至 0.5 亿 t,降幅 98.7%,将为石化化工行业电气化转型提供清洁电力支撑。石化化工行业能源供给方式需从“化石能源主导”转向“多元零碳耦合”,加速绿电、绿氢等清洁能源占比提升。

(1) 绿氢应用迎来战略机遇期。根据库车绿氢示范项目数据,当前绿氢成本已降至 18 元/kg,预计 2030 年将降至 10 元/kg 以下^[28]。石化化工行业可替代氢气量约 210 万 t,占目前用氢总规模 48%。通过“绿电-绿氢-绿色化工”链条可实现深度减排,为行业 2060 年近零排放目标提供技术支撑。

(2) CCUS 技术成为托底关键。根据预测,2060 年石化化工行业仍将有约 0.4 亿 t 残余排放,CCUS

技术将为这些难以减排的工艺过程排放提供托底解决方案^[29]。预计 2030 年 CCUS 减排需求 0.2 亿~4.08 亿 t,2060 年达 10 亿~18.2 亿 t。近期具备商业化条件的技术包括二氧化碳制甲醇、矿化建材、微藻饲料等。

3.2.3 重塑科技创新范式与价值导向,科技创新需聚焦技术攻关强化数智赋能

“双控转变”将显著提升低碳技术创新的战略优先级。根据预测,石化化工行业 2030—2040 年间需实现约 64% 的减排量(从 13.5 亿 t 降至 5 亿 t),这一阶段是技术突破的关键窗口期^[30]。

(1) 加大低碳技术攻关与产业应用。研发重点需从传统工艺优化转向颠覆性低碳技术突破。在绿氢领域,碱性电解槽效率提升、质子交换膜催化剂寿命延长等关键技术仍需攻关,可联合清华大学、大连化物所等机构开展低成本非贵金属催化剂、耐腐蚀隔膜材料的联合研发。在 CCUS 领域,需突破捕集能耗和成本瓶颈,预计 2030 年全流程成本 90~390 元/t,2060 年降至 20~130 元/t^[29]。在生物合成领域,需加强合成生物学底层技术布局,实现生物基丁二酸、PHA 等产品的低成本量产。

(2) 加快数字化转型与智慧碳管理。数字技术是实现碳排放精细化管理的关键赋能工具。需开发碳排放在线监测、智能核算、预警预测等数字化工具,实现碳排放的实时可视化和精准管控,为行业 2030 年达峰和后续快速下降提供数据支撑。

3.2.4 重塑战略组织健全制度体系,推动管理体系向可持续发展转型

碳排放双控要求石化化工企业将碳约束全面融入战略决策、投资评估、生产运营与绩效考核体系。2027 年石化化工行业将纳入全国碳市场,2026 年 10 月需公布重点排放单位名录,时间窗口紧迫。

(1) 发展战略重塑与核心功能调整。需将碳减排作为核心战略要素,全面融入各项业务决策和投资流程。根据行业排放预测,高碳排放业务需制定明确的转型或退出路径,低碳新兴产业需加大资源投入。战略定位应从传统的能源化工企业向绿色低碳的综合性化工企业转型。

(2) 推进治理结构与评价体系变革。需建立健全碳管理体系,明确各层级碳管理职责,形成从总部到基层企业的碳管理网络。制定公司级碳排放双控管理办法、碳预算管理制度、碳考核与评价体系,补齐“双碳”管理办法与细则,制定产品碳足迹管理办法及配套核算细则、绿色供应链管理办法及配套供

应商管理细则。将碳排放强度指标纳入企业负责人年度绩效考核,确保行业 2030 年达峰目标的实现。

参考文献

- [1] 国务院办公厅.加快构建碳排放双控制度体系工作方案[EB/OL].(2024-08-02).<https://www.gov.cn/>.
- [2] Global Carbon Project. Global Carbon Budget 2024 [R]. Baku: Global Carbon Project, 2024.
- [3] 中国气象局.中国温室气体公报(2024 年)[R].北京:中国气象局,2024.
- [4] 生态环境部.中国应对气候变化的政策与行动 2024 年度报告[R].北京:生态环境部,2024.
- [5] 国家能源局.全国电力工业统计数据(2024 年)[R].北京:国家能源局,2025.
- [6] International Renewable Energy Agency. Renewable Capacity Statistics 2024[R]. Abu Dhabi: IRENA, 2024.
- [7] Liu Z, Guan D, Wei W, *et al.* Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China[J]. *Nature*, 2015, 524(7565): 335-338.
- [8] 中国石油和化学工业联合会.石油和化工行业发展年度报告(2024)[R].北京:中国石油和化学工业联合会,2024.
- [9] Shan Y, Guan D, Zheng H, *et al.* China CO₂ emission accounts 1997-2015[J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 170201.
- [10] 工业和信息化部.石化化工行业能源消费统计[R].北京:工业和信息化部,2022.
- [11] 中国化工节能技术协会.化工行业能效指南[M].北京:化学工业出版社,2023.
- [12] 中国工程院.中国碳达峰碳中和战略及路径研究[R].北京:中国工程院,2022.
- [13] 清华大学碳中和研究院,清华大学气候变化与可持续发展研究院.2024 全球碳中和年度进展报告[R].北京:清华大学,2024.
- [14] 工业和信息化部.工业领域碳达峰实施方案[EB/OL].(2022-08-01).<https://www.miit.gov.cn/>.
- [15] 全球能源互联网发展合作组织.中国 2060 年前碳中和研究报告[R].北京:全球能源互联网发展合作组织,2021.
- [16] Friedlingstein P, O'Sullivan M, Jones M W, *et al.* Global Carbon Budget 2024[J]. *Earth System Science Data*, 2025, 17(3): 965-1039.
- [17] International Energy Agency. Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030[R]. Paris: IEA, 2024.
- [18] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report[R]. Geneva: IPCC, 2023.
- [19] International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2024 [R]. Paris: IEA, 2024.
- [20] 生态环境部.碳排放权交易管理办法[EB/OL].(2024-12-20).<https://www.mee.gov.cn/>.
- [21] Bloomberg NEF. Transition Metals Outlook 2024 [R]. New York: Bloomberg NEF, 2024.
- [22] McKinsey & Company. Petrochemicals review: Where we are now and where we're going [R]. New York: McKinsey & Company, 2024.
- [23] 中华人民共和国生态环境部.全国碳市场发展报告(2024)[R].北京:生态环境部,2024.
- [24] International Energy Agency. The Future of Petrochemicals [R]. Paris: IEA, 2018.
- [25] IEA. Global Hydrogen Review 2024[R]. Paris: International Energy Agency, 2024.
- [26] 2024 煤炭行业发展年度报告[R].北京:中国煤炭工业协会,2025.
- [27] WEF. Net-Zero Industry Tracker 2024[R]. Geneva: World Economic Forum, 2024.
- [28] IRENA. International co-operation to accelerate green hydrogen deployment[R]. Abu Dhabi: IRENA, 2024.
- [29] Global CCS Institute. Global status of CCS 2024: Collaborating for a Net-Zero future[R]. Melbourne: Global CCS Institute, 2024.
- [30] 中国石油和化学工业联合会.石化行业绿色低碳技术发展白皮书[R].北京:中国石油和化学工业联合会,2024. ■

单次绿色甲醇交付量纪录刷新

近日,由申能集团牵头建设的上海 10 万 t 级绿色甲醇项目交付给中国船燃超 6 000 t 绿色甲醇,刷新国内单次绿色甲醇交付量纪录。

据介绍,本次交付实现了上海绿色甲醇“沪产沪加”。上海 10 万 t 级绿色甲醇项目由申能集团牵头,以城投集团老港生态环保基地、区属湿垃圾处置中心、申能投资建设的金山禽畜粪污处理项目等产生的生物天然气作为原料,分散并入申能上海天然气管网,由申能委托华谊集团在上海化工区集中制备甲醇,申能上海

化工区码头交付给上港集团和其他持牌企业旗下加注船完成集装箱船燃料加注。

该项目高效整合市属国企资源,工期仅 361 d,实现“当年开工、当年投产”,快速形成本地绿色甲醇供应产能,可有力支撑上海国际航运绿色燃料加注中心和交易中心建设。与此同时,项目创新性地将城市废弃物转化为国际航运领域急需的绿色甲醇燃料,实现了“变废为宝”。

(中国化工报)