

石油与天然气行业的碳中和目标及实现路径探讨

罗斐¹ 龚伟² 谌濛²

1. 昆仑能源湖北黄冈液化天然气有限公司 湖北黄冈 438000

2. 中石油天然气销售分公司湖北公司 湖北武汉 430000

摘要: 本文分析了全球油气行业的碳排放现状, 梳理了主要国际石油公司和中国企业的碳中和承诺与战略; 研究发现, 碳排放主要集中在开采、运输和炼化环节, 不同企业在碳中和目标上存在显著差异; CCUS技术、清洁能源替代和数字化减排技术是低碳转型的核心, 实现碳中和需要产业链协同减排、政策支持和商业模式变革, 其中CCUS技术应用和向综合能源服务商转型是关键突破口, 本研究为企业制定碳中和策略和政府政策提供了参考。

关键词: 石油天然气; 碳中和; CCUS技术; 能源转型; 低碳发展

引言

《巴黎协定》和全球碳中和承诺推动了能源行业的绿色变革。石油与天然气行业作为主要碳排放源, 其低碳转型对全球气候目标和经济格局有重要影响。面对环境监管、ESG要求和消费者绿色偏好, 传统油气企业需在能源安全与碳中和之间寻求平衡。国际石油巨头正向多元化能源供应商转型, 中国油气企业也在“双碳”目标下加快绿色发展。然而, 技术路径的不确定性、资本投入压力、产业链复杂性和政策环境差异为行业转型带来挑战。研究油气行业碳中和目标、技术路径选择和实现机制, 对推动行业可持续发展和全球气候治理具有重要意义。

一、石油与天然气行业碳排放现状及碳中和目标分析

(一) 全球油气行业碳排放特征与分布

全球油气行业碳排放呈现出明显的环节差异和地域分布特征, 其中上游开采环节的碳排放强度相对较低, 主要来源于钻井设备运行、伴生气燃烧和甲烷泄漏, 约占油气全生命周期排放的15-20%; 中游运输环节通过管道、油轮和卡车等方式产生的排放占比约为5-10%; 而下游炼化环节由于高温高压工艺和大量化学反应, 成为碳排放的集中区域, 占全链条排放的60-70%。从地域分布来看, 中东地区凭借丰富的油气资源和大规模开采活动, 贡献了全球油气行业约35%的碳排放, 北美地区受页岩油气革命推动排放量快速增长至28%, 而亚太地区随着炼化能力扩张其排放占比已达到22%。值得关注的是, 全球前20大石油公司的碳排放总量占据了行业排放

的近60%, 其中沙特阿美、中石油、埃克森美孚等超级石油公司年排放量均超过5000万吨二氧化碳当量。近年来, 随着非常规油气开发技术进步和新兴市场需求增长, 全球油气行业碳排放仍保持年均2-3%的增长态势, 这与全球碳中和目标形成了鲜明对比, 凸显出行业减排的紧迫性和艰巨性。

(二) 国际石油公司碳中和承诺与目标设定

欧美主要石油公司在碳中和目标设定上展现出较为积极的态度, 但在具体时间表和减排范围上存在显著差异。壳牌公司率先提出2050年实现净零排放目标, 涵盖其自身运营和所售能源产品的全生命周期排放, 并承诺到2030年将碳强度降低50%; BP公司同样设定了2050年碳中和目标, 但更加强调从石油公司向综合能源公司的战略转型, 计划到2030年将油气产量减少40%, 可再生能源装机增至50GW; 道达尔能源公司则采用了更为务实的分阶段目标, 承诺2050年实现范围一、二碳中和, 范围三排放到2050年减少30%。相比之下, 美国石油公司的承诺相对保守, 埃克森美孚仅承诺2050年实现运营排放净零, 雪佛龙公司也只针对上游业务设定了碳中和目标, 这些差异反映了不同公司在商业策略、股东压力和监管环境方面的考量差异^[1]。然而, 多数公司的碳中和承诺在可达性方面面临挑战, 特别是范围三排放的减少高度依赖于CCUS技术突破、替代燃料发展和消费行为变化, 而这些因素存在较大不确定性, 使得目标实现路径仍需进一步明确和完善。

(三) 中国油气企业碳中和战略布局

中国三大石油央企在国家“双碳”战略指引下, 纷

纷制定了雄心勃勃的碳中和规划，体现出明确的政治责任担当和战略前瞻性。中石油集团提出力争2025年实现碳达峰，2050年实现近零排放，并将绿色低碳作为公司转型发展的重要方向，计划到2025年新能源业务收入占比达到10%，甲烷排放强度降至0.25%以下；中石化集团确立了2050年实现碳中和的目标，提出打造“油气氢能”综合能源服务商，规划到2025年地热供暖面积超过1.3亿平方米，光伏发电装机达到3GW；中海油集团立足海洋优势，制定了2028年达峰、2050年中和的时间表，重点发展海上风电和海洋碳封存项目。民营油气企业同样积极响应，新奥集团依托天然气产业链优势加速氢能布局，广汇能源聚焦LNG清洁化发展。整体而言，中国油气行业计划在2028年前后实现碳达峰，较全国碳达峰目标提前2年，显示出行业的减排决心。但在具体实施过程中，仍面临技术储备不足、资金投入巨大、产业链协调困难等挑战，特别是在保障国家能源安全与推进低碳转型之间需要统筹平衡，这要求企业在战略规划中更加注重可操作性和灵活性。

二、油气行业碳中和关键技术路径

（一）碳捕集、利用与封存技术应用

CCUS技术作为油气行业实现碳中和的关键技术路径，正在从实验室走向产业化应用，但仍面临成本高昂和规模化推广的双重挑战。在油气田开发中，CCUS技术主要采用三种应用模式：一是伴生CO₂的直接捕集与回注，如中石油长庆油田的CO₂驱油项目年封存量达到140万吨，实现了减排与增产的双重效益；二是工业废气的集中捕集与地质封存，壳牌在加拿大的Quest项目累计封存CO₂超过600万吨，验证了深部盐水层封存的技术可行性；三是CO₂制化学品的循环利用，通过与氢气反应生产甲醇、合成燃料等高附加值产品。在炼化企业中，CCUS技术的推广前景更加广阔但挑战也更为复杂，炼厂烟气CO₂浓度相对较低且成分复杂，需要开发更加高效的分离纯化技术，目前典型的捕集成本仍高达60-100美元/吨CO₂，远高于碳交易价格^[2]。海上碳封存项目凭借储层条件优越、环境风险可控等优势成为发展重点，挪威国油的北极光项目计划年封存量达到500万吨，为欧洲工业企业提供碳封存服务。

（二）清洁能源替代与能源结构转型

油气企业正通过多元化的清洁能源替代策略推动自身能源结构转型，但这一过程需要平衡技术成熟度、经济可行性和业务协同性等多重因素。可再生能源在油气

开采中的应用主要集中在为生产设施提供绿色电力，沙特阿美计划在油田部署4GW太阳能发电系统，预计每年减少CO₂排放900万吨，而中海油则利用海上风电为海洋平台供电，实现了海上油气开发的绿色化；氢能产业链在石化行业展现出巨大发展潜力，既可作为清洁燃料替代天然气，又可作为化工原料生产绿氨、绿色甲醇等产品，中石化计划到2025年氢气年产能达到35万吨，其中绿氢占比超过30%，BP与沃旭能源合资开发的绿氢项目装机规模将达到1.4GW。生物燃料与合成燃料技术路径选择呈现差异化发展趋势，生物柴油和生物航煤在技术相对成熟但原料供应受限，而电制燃料和氢基合成燃料虽然原料充足但成本仍然偏高，道达尔在法国的生物炼厂年产生物燃料70万吨，成本比传统燃料高出20-40%。值得注意的是，清洁能源替代不仅是技术问题更是商业模式创新，石油公司需要从传统的资源开采商向能源服务商转变，这要求企业重新配置资源、培养人才和构建合作伙伴关系，转型过程中的风险管控和价值创造成为企业面临的核心挑战。

（三）数字化与智能化减排技术

数字化和智能化技术正成为油气行业提升能效、降低碳排放的重要手段，通过数据驱动的精准管控实现了传统减排手段难以达到的效果。数字油田建设通过物联网、大数据和云计算技术的综合应用，实现了油气生产全流程的实时监控和优化调度，中石油大庆油田的智能化改造使单井能耗下降15%，甲烷泄漏检测准确率提升至95%以上；人工智能在油气管网优化中发挥了显著作用，通过机器学习算法优化压缩机运行参数、预测设备故障和规划输送路径，俄气公司的AI系统使管网运行效率提升12%，年节约天然气超过10亿立方米。区块链技术在碳资产管理中展现出独特价值，通过建立不可篡改的碳足迹追踪体系，为碳交易、碳认证和碳中和核算提供可信基础，壳牌与微软合作开发的区块链碳管理平台已覆盖其全球50%的业务单元。数字孪生技术在炼化装置优化中的应用效果尤为突出，通过构建工艺流程的数字化镜像，可以实时仿真不同操作参数对能耗和排放的影响，沙特基础工业公司的数字孪生系统使裂解装置能耗降低8%，CO₂排放减少6%^[3]。然而，数字化减排技术的推广应用仍面临数据标准不统一、网络安全风险和人才短缺等挑战，特别是在数据跨企业共享和国际合作方面还需要建立更加完善的治理机制。

三、油气行业碳中和实现路径与保障措施

(一) 产业链协同减排机制构建

建立覆盖全产业链的协同减排机制是油气行业实现碳中和的基础。通过标准制定、平台搭建和利益分配,上下游企业可实现碳足迹协同管理。例如,沙特阿美通过统一的碳核算体系,实现了全链条碳足迹追踪,整体碳强度降低25%;中石化绿色供应链联盟推动供应商采用清洁生产技术,已有超过200家企业加入。尽管面临技术复杂性和利益协调难题,跨行业合作平台如挪威北极光CCUS项目展示了多行业合作的潜力。然而,信息不对称、标准不统一等问题仍需政府引导和激励机制解决。

(二) 政策支持与市场机制创新

政策工具和市场机制的创新设计对于引导油气行业低碳转型发挥着关键作用,但需要在环境效果与经济影响之间寻求平衡点。碳税和碳交易等政策工具对油气行业产生了深远影响,挪威碳税制度使海上油气开发成本增加15-20%,但也促使企业加大CCUS技术投入,目前挪威海上CO₂封存量占全球总量的40%;欧盟碳市场价格从2020年的25欧元/吨上涨至2022年的80欧元/吨,显著提高了炼油企业运营成本,推动其加快向生物燃料和氢能转型。绿色金融在油气企业低碳转型中发挥着重要的资源配置作用,绿色债券、转型债券和可持续发展挂钩贷款等创新金融产品为企业提供了低成本资金支持,道达尔发行的35亿美元可持续发展债券专门用于可再生资源和CCUS项目投资,利率比普通债券低30-50个基点。国际碳边境调节机制对油气贸易的冲击正在显现,欧盟CBAM机制虽暂未涵盖石油产品,但其示范效应已促使其他发达国家考虑类似政策,这将增加高碳强度油气产品的出口难度^[4]。政策机制创新也面临国际协调困难、技术标准争议和贸易保护主义风险等挑战,需要通过多边对话和利益共享机制化解矛盾。

(三) 商业模式创新与投资策略调整

油气企业通过商业模式创新和投资组合优化应对能源转型。壳牌采用“石油+”策略,发展电力和氢能;BP计划将可再生能源装机增至50GW,减少石油产量40%。多数企业将CCUS、氢能和生物燃料作为投资重点,但在地热、核能和储能领域存在分化。碳资产开发

和碳汇项目商业化运作模式逐渐成熟,如微软与油气企业合作的碳移除采购项目。商业模式创新需应对技术不确定性、政策风险和市场接受度等挑战,企业需在财务稳健前提下稳步推进转型^[5]。

结论

通过对石油与天然气行业碳中和目标及实现路径的深入探讨,本研究表明全球油气行业碳排放呈现环节集中化和地域差异化特征,下游炼化环节是减排重点,国际石油公司碳中和承诺在时间表和覆盖范围上存在显著差异,中国油气企业展现出更为积极的减排态度。CCUS技术、清洁能源替代和数字化减排技术构成了行业碳中和的核心技术路径,但在成本控制、规模化应用和技术集成方面仍面临挑战。实现碳中和需要构建产业链协同减排机制、创新政策支持与市场机制、推动商业模式变革,这要求政府、企业和社会各界形成合力,统筹处理能源安全与环境保护的关系。油气行业碳中和是一项系统工程,既需要技术突破,也需要制度创新;既要立足当前实际,也要着眼长远发展。随着全球气候治理进程加速和能源转型深入推进,油气企业必须抓住历史机遇,加快向综合能源服务商转型,在为社会提供清洁可靠能源的同时,实现自身的可持续发展,为构建人类命运共同体和建设清洁美丽世界贡献应有力量。

参考文献

- [1] 仲冰, 张博, 唐旭, 等. 碳中和目标下我国天然气行业甲烷排放控制及相关科学问题[J]. 中国矿业, 2021, 30(4): 9.
- [2] 黄维和, 王军, 黄夔, 等. “碳中和”下我国油气行业转型对策研究[J]. 石油规划设计, 2021, 033(002): 1-5.
- [3] 隋朝霞, 孙曼丽, 张丹. 碳中和目标对我国天然气行业影响分析及对策思考[J]. 天然气技术与经济, 2021, 15(3): 5.
- [4] 周淑慧, 王军, 梁严. 碳中和背景下中国“十四五”天然气行业发展[J]. 天然气工业, 2021, 41(2): 12.
- [5] 崔翔宇, 刘光全, 薛明, 等. “碳中和”目标下我国油气行业甲烷管控的挑战与应对[J]. 石油规划设计, 2021, 033(002): 43-45.