



阅读提示

我国石化产业碳排放比例高,产业仍处于增长期,有增碳需求,实现“双碳”目标面临重大挑战,必须明确发展思路,积极稳妥推动产业低碳转型和高质量发展。当前,石化产业面临交通领域替代能源快速发展、化工品需求仍将增长、氢能载体作用凸显、“双碳”政策持续发力等形势,需要在推动产业升级、开展节能降碳、推进清洁替代、突出创新引领、加强保障措施等方面持续发力。本文通过对产业结构调整、实施绿氢炼化、与CCUS融合发展等关键路径进行分析和研判,提出碳中和目标下可能的路径组合和趋势展望,分析不同阶段石化产业的发展特征并提出建议,供参考借鉴。

本版文字由 中国石化经济技术研究院 戴宝华 赵祺 提供 图片由 王敬华 朱亚菲 沈志军 张金峰 张龙强 胡慧子 李瑞敏 张志远 提供



我国石化产业碳中和路径展望

石化产业实现“双碳”目标面临的形势

“双碳”目标下,交通领域替代能源快速发展。我国现已成为全球最大的新能源汽车市场。2022年我国新能源车渗透率已达28%,提前3年实现“十四五”规划目标。据预测,2030年前我国将经历燃油车保有量达峰、电动车与燃油车平价阶段,2030年新能源汽车渗透率预计达50%,开启电动交通时代。电动革命对石化产业的冲击巨大,随着新能源汽车销量稳步提升,成品油被替代规模不断扩大,预计2025年被替代比例达23%,2030年将达30%。

化工品需求增长带来能耗增加。石化产业是国民经济支柱产业,未来随着我国城镇化率提高、人均GDP提升、新业态新经济兴起,化工品需求仍将持续增长。根据相关预测,2025年我国乙烯、对二甲苯(PX)产能将分别达到2020年的1.8倍和2.1倍;人均乙烯消费量峰值预计在2035~2040年出现,约为当前的两倍;人均纤维消费量峰值预计在2035年前后出现,约为当前的1.5倍。此外,随着“双循环”新发展格局构建、科技创新引领作用凸显和新能源汽车等新兴产业发展,化工新材料和专用化学品产品将成为石化产业发展和转型的主要驱动力,石化产业链将向高端化、精细化、专用化方向延伸,进一步延链补链强链。根据相关预测,“十四五”期间化工新材料产品年均增长率为6%~8%、高端塑料产品年均增长率约为8%。由于化工品生产能耗普遍较高,化工产能增加和高端化、精细化等发展趋势将进一步增加石化产业能耗总量,亟须通过用能结构电气化、供能结构清洁化等

路径推动能耗与碳排放脱钩。氢能将在能源转型过程中发挥重要作用。氢能作为一种清洁、高效、安全的二次能源,有能量密度高、可存储且无碳的特征,还能与多种能源耦合,为消除可再生能源波动提供储能手段。在能源转型过程中,氢能是最佳的碳中和能源载体。2022年3月,国家发展改革委发布《氢能产业发展中长期规划(2021-2035年)》,将氢能确定为未来国家能源体系的重要组成部分和用能终端实现绿色低碳转型的重要载体,氢能产业也被确定为战略性新兴产业,具有广阔的发展前景。世界能源理事会按氢气来源将氢气分为灰氢、蓝氢和绿氢三类。灰氢由化石能源制氢获得,蓝氢由灰氢配套CCS(碳捕集与封存)获得,绿氢由可再生能源制氢获得。在碳中和推进过程中,绿氢随着生产技术不断进步和规模化应用,将逐步具备经济性,作为零碳能源的重要性将逐步显现。据预测,绿氢产业目前尚处于市场导入期,以建设示范项目为主;2030年氢能产值将达万亿元,加氢站绿氢供氢比例有望增至10%;2050年后,灰氢基本退出氢能消费市场;2060年绿氢在氢能供应中占比预计在75%~80%。

“双碳”政策推动石化产业绿色低碳转型。节能降碳政策持续影响石化产业。随着《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知》两个重要政策文件的出台,碳达峰碳中和工作的总体部署和阶段性目标已明确,“1+N”的政策体系逐渐建立和完善,对石化产业围绕总量控制和产能提质也相继提出了明确要求。



氢能公交车在广西南宁石油新阳综合加能站加油。

石化产业实现“双碳”目标的重要路径

路径1: 适应能源转型需要,推进产业结构调整

布局低碳化。“双碳”目标下,石化产业产能整合进程加速,布局低碳化将成为高质量发展的重要路径。通过稳妥推进落后产能淘汰、发展具有竞争力的先进产能、改造提升存量产能等举措,石化产业将逐步完成布局低碳化。一要通过上大压小、淘汰落后等措施,有序推动炼油和化工产能整合;二要通过推广应用当前较为成熟且具备经济性的节能降碳技术,对存量产能进行全面提升挖潜。根据研究,我国炼油20%以上产能未达基准水平,乙烯、对二甲苯有20%~30%产能未达基准水平,仍有较大节能潜力。随着低碳化布局推进,石化产业平均能耗将持续下降,预计2030年能耗强度较2020年下降30%左右,2060年下降50%以上。

流程低碳化。炼化工艺总流程不

仅决定企业竞争力,而且是石化产业绿色低碳转型的关键。相关研究表明,石化企业碳排放强度对技术路线的敏感度高于对规模的敏感度,打造优良的低碳流程基因可以从根本上降低企业碳排放,所以推动石化产业流程低碳化是实现“双碳”目标的必由之路。随着市场需求变化,炼化总流程将向炼化一体化、短加工流程、生产特色产品、能源高效利用和实现低碳排放等方向转变。对于存量产能,可采用加氢/催化裂解组合技术路线增产化工品,重构总流程。对于新建产能,按照“一体化、集约化、大型化、高端化、清洁化”的设计思路,采用短流程路线,如原油直接裂解/催化裂解,在原油资源匹配方面考虑适度轻质化,实现原油资源高效利用。

原料低碳化。乙烯原料轻质化有

利于提高烯烃收率,从而降低单位产品碳排放。基于对全国十余套在运乙烯装置的碳排放数据分析,百万吨级石脑油蒸汽裂解装置采用轻烃为原料比采用石脑油为原料的单位碳排放低20%以上,原料轻质化减排效果显著。此外,采用乙烷为原料裂解生产乙烯的路线,乙烯收率可提高至70%,和传统石脑油基制乙烯路线相比,能耗下降约1/3。未来,石化产业应结合资源供应变化统筹优化轻质化资源,推动烯烃原料向轻质化、多元化方向发展。

发展生物燃料产能有利于实现能源多元化供应。生物燃料技术相对成熟,但当前生产成本较高,制约了产能发展,预计随着碳价走高,2030年生物燃料消费将达500万吨,2060年将达1000万吨,对石化产业来说是良好的转型机遇。

废旧塑料回收再利用是循环经济的重要组成部分。我国废旧塑料体量庞大,但当前回收率仅15%。据预测,2060年我国将建立全产业链回收体系,回收率有望提升至40%以上,将对一次塑料产能产生深远影响。目前主要的回收方式包括物理回收和化学回收,化学回收具有更广泛的原料来源和产品应用场景,更具发展前景。中国石化石科院开发的废塑料化学循环技术可针对不同废塑料原料灵活选择不同的预处理技术路线,热解油收率大于80%。从全生命周期角度来看,废旧塑料回收再利用路径减碳效果明显,但当前经济性不佳,需要更强的政策支持。石化产业应结合技术进步和经济成本合理发展再生塑料产能,推动原料多元化,降低原油对外依存度。

路径2: 推进绿氢绿电耦合,实施绿氢炼化工程

“双碳”目标下,随着绿电制绿氢技术不断发展,未来氢能与电能的关联性将不断增强。绿氢与绿电协同耦合替代化石能源,重构炼化业务能源供给体系(简称:“绿氢炼化”)将成为实现“双碳”目标的重要解决方案。绿氢炼化的内涵有四个方面:一是在氢气生产环节,绿氢逐步替代灰氢、蓝氢;二是利用绿电绿氢能源属性,减少用能环节碳排放;三是对工艺流程进行适应绿电绿氢的改造;四是利用氢的属性生产更少碳排放的产品。

绿电成本下降推动绿氢发展。实施绿氢炼化的重要保障和必要前提是稳步推动可再生能源利用。新能源发电渗透率近中期将稳步提高,远期将加快提升并成为发电量主体。2022年底,我国可再生能源装机规模已突破12亿千瓦大关,占全国发电总装机容量的

比重超过47%;预计到2030年和2060年,我国可再生能源装机规模将分别达到26亿千瓦和77亿千瓦,占全国发电总装机容量的比重将分别达68%和96%。电价是制约绿氢发展的关键,根据研究,目前电价在绿氢总成本中占比70%~85%。未来随着绿氢生产规模化和绿电电价下降,预计2030年前绿氢有望与灰氢平价,经济性逐步显现。据国际可再生能源署预测,2050年全球绿氢平均成本将比目前下降80%左右,绿氢将进入大规模应用和快速发展时期。

做好核能技术储备。2021年,我国核电装机容量达5326万千瓦,占总装机容量2.2%,发电量4071.4亿千瓦时,占总发电量的5.02%。目前我国核电已形成“三代为主、四代为辅”的发展

格局,但由于核电技术安全投入大、度电成本高,核乏燃料处理体系仍不完善,公众对安全性的担忧持续存在,影响了核电的建设发展。我国对核电的发展思路是在确保安全前提下适度发展,积极发展模块化小堆,如高温气冷堆等。2030年核电规划装机容量达1.08亿千瓦,2060年达2.5亿千瓦。建议近期持续跟踪技术进展,做好技术储备,跟进示范项目成果;中长期实施核能制氢、供热、供电多联产项目。

推动热电业务转型。实施绿氢炼化的重要保障是推动传统热电业务转型。为满足生产环节热能需求,石化产业利用化石燃料自产热力,大多以汽轮机、生产热产生大量的碳排放。此外,石化产业热电业务单机规模小、能耗高、设备老化严重,且受政策限制,新建燃煤锅炉难度大,传统煤电未来将大

幅压减。预计2025年前,主要通过“凝改背”“通流改造”等措施进行达标改造,实现CCS示范;2030年前,对设计寿命到期的燃煤锅炉全部实行燃气升级改造,燃气锅炉比例提高;2060年前,化石燃料仅按供热负荷的20%~30%作为保底和调峰保障资源。

不断提高工艺装置电气化率,实现用能结构变革。电气化是实现碳达峰、碳中和的有效途径。电能替代其他能源可大幅降低单位产值的能耗,节约能源;发展电能是新能源广泛应用和建立可持续发展能源系统的必然结果。在电气化加速情景下,电能占终端能源消费比重将稳步提升,2030年、2060年我国电气化率将分别提高到35.7%、66.4%。随着绿电发电量增加,推进电气化改造是有效利用绿电的重要前提。

路径3: 推进CCUS与石化产业融合发展

以CCUS为主的负碳手段是实现碳中和的重要保障。碳捕集和石化行业的关联度高,需要早谋划、早发展。截至2022年底,我国已投运及规划建设的CCUS示范项目近百个,已投运项目捕集能力约400万吨/年。因捕集过程能耗高,捕集成本约占总成本的70%~80%。当前第一代碳捕集技术发展渐趋成熟,而第二代技术仍处于实验室研发及小试阶段,技术成熟后,其

能耗和成本会比成熟的第一代技术降低30%以上,2035年前有望大规模推广应用,CCUS与石化产业融合发展可能性增强。

融合发展应聚焦三个方面:一是聚焦石化产业高碳浓度生产环节,在排放端部署碳捕集项目;二是聚焦二氧化碳利用,密切关注地质、生物、化工新材料等领域利用技术进展,推动二氧化碳资源化利用;三是衔接好上游捕集和下游

利用,同步推进储运、输送等配套能力建设。

2023年7月11日,“齐鲁石化-胜利油田百万吨级CCUS项目”二氧化碳输送管道投运,打通二氧化碳捕集、驱油与封存一体化流程,为推进CCUS规模化发展提供了应用示范案例。中国石化成立碳科公司,为打造二氧化碳全产业链作出积极探索与实践。

结合绿氢产能发展预期,石化产业

利用二氧化碳和绿氢制甲醇可能是碳利用关键路线之一。当前,高昂的绿氢成本是主要限制因素。考虑到未来煤制甲醇增加碳排放成本,2040年后绿氢制甲醇路线经济性将逐步显现。炼厂干气资源丰富,目前主要用于装置工艺燃料,碳排放较高。未来随着企业装置电气化改造,燃料气自用量将逐步下降,但炼厂气市场需求有限,需要提前谋划增值利用方式。