

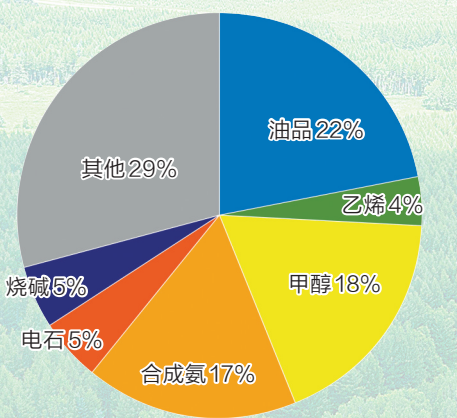
# 我国CCUS产业体系正加快建立

阅读提示

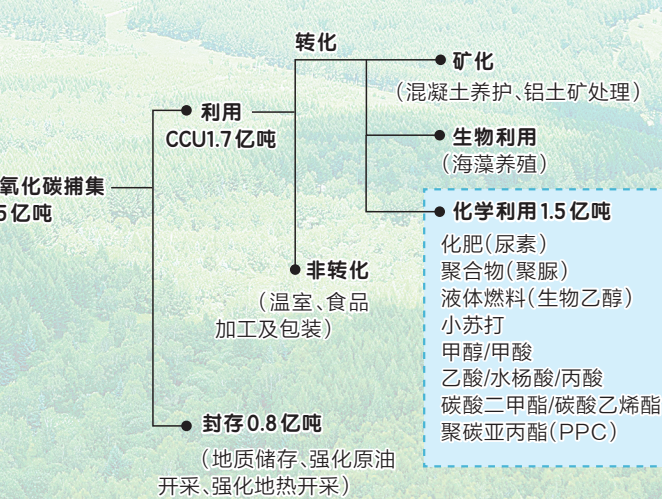
3月9日~10日,2023(第二届)二氧化碳减排与资源化利用技术先锋论坛在成都举办。论坛由中国石油和化工联合会主办,两院院士、业界专家、高校学者就我国CCUS(二氧化碳捕集、利用与封存)产业发展进行深入探讨,认为从二氧化碳捕集到物理、化学和生物利用直至封存的最大制约因素是成本,必须加强科技创新,开发更高效、更低成本的二氧化碳捕集技术与利用技术,加快建立CCUS产业体系。石化行业是我国国民经济的支柱产业,也是主要碳排放源,“结构转型+碳减排”是石化行业发展的重点及难点,面向不远的将来,石化产品将多一个“属性”——碳标签。

本版文字由本报记者程强整理

我国代表性基础石化化工产品碳排放占比(2020年)



全球碳捕集后的利用与封存路径(2020年)



燃煤电厂烟气二氧化碳捕集技术

**胺溶液吸收法** 已有工业化示范装置

**原理:**利用二氧化碳与碱性溶液之间的化学反应,将二氧化碳从烟气中分离出来  
**优点:**二氧化碳吸收能力强、速率高,得到的二氧化碳纯度高,技术成熟  
**缺点:**成本高,溶液再生能耗大

**膜分离法** 实验室研究阶段

**原理:**利用各种气体在不同膜材料中渗透速率的差异来实现分离  
**优点:**对设备要求低,无须耐高温高压的设备,能耗低,可连续操作  
**缺点:**膜成本高、寿命短、可靠性差

**固体吸附法** 一种非常有潜力的低成本二氧化碳捕集技术

**原理:**利用固体吸附剂与混合气中二氧化碳的选择性可逆吸附作用,来分离回收二氧化碳  
**优点:**对设备腐蚀性小、吸附剂再生能耗低、节能效果明显  
**难点:**开发选择理想的吸附剂

## CCUS是碳中和必不可少的技术选择

专家一致认为:依赖传统减排路径无法实现碳减排目标,而CCUS是目前实现化石能源零碳利用的唯一途径,是碳中和必不可少的技术选择。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)预测,2030年和2050年CCUS减排量分别为1亿~4亿吨和30亿~68亿吨。国际能源署(IEA)预测,全球于2070年实现净零排放,CCUS是第四大贡献技术,占累计减排量的15%。国际可再生能源署(IRENA)预测,2050~2060年实现净零排放,2050年CCUS将贡献约6%,即27.9亿吨/年的减排量。而据相关机构预测,到2050年,CCUS对我国减排贡献将达到10亿吨/年的量级,占比10%~15%。

同时,全球气候投融资快速增长。据相关机构数据,2021年全球能源转型投资总额达7550亿美元(2020年为5013亿美元),中国投资是美国的2.3倍;2021年全球绿色债券发行规模6210亿美元(2020年为2970亿美元),美国第一,中国第三;2021年全球碳市场交易总额约7594亿欧元(2022年为2878亿欧元),中国位列欧盟、北美、英国、新西兰之后。

世界各国均加快推进CCUS项目。全球首个燃煤电厂百万吨级二氧化碳捕集与封存工程——加拿大边界大坝项目自2014年底运行以来,已累计捕集二氧化碳415万吨,纯度99%,主

要用于强化采油和地质封存。

全球最大燃煤电厂二氧化碳捕集与驱油封存商业化工程——美国佩特拉诺瓦项目2016年12月正式启动商业运行,每吨二氧化碳捕集能耗约2.4吉焦,综合成本在55~60美元。

全球首个百万吨级吸附法二氧化碳捕集与封存商业化工程——美国阿瑟港项目2013年初开始商业运行,每吨二氧化碳捕集能耗约2.5吉焦,捕集后用于提高石油采收率。

全球首个百万吨级生物质碳捕集封存(BECCS)商业项目——美国伊利诺斯乙醇厂捕集封存项目,将乙醇厂生产的二氧化碳捕集后进行地质封存。

全球首个垃圾发电碳捕集封存工程——挪威富海垃圾电厂项目计划2026年建成投运。

全球首个运行的直接空气碳捕集与封存(DACCS)项目——瑞士空气技术企业“气候工厂”和冰岛碳封存技术公司合作的空气碳捕集与封存项目,将从空气中捕集到的二氧化碳与水混合,泵入地下1000米深处,在数年内会变成石头。

全球首个百万吨级DACCS项目——加拿大空气碳捕集封存项目,设计每吨二氧化碳的捕集能耗为8.81吉焦。

目前,全球CCUS减排量超4000万吨/年,我国占比低于5%。我国也已建成约40个

CCUS示范项目,年碳捕集能力超300万吨,设计和在建CCUS工程呈现规模化、全流程、产业集群化趋势。

国家能源集团锦界电厂15万吨/年CCUS示范工程,是国内已投运最大的燃煤电厂燃烧后捕集示范工程,每吨二氧化碳捕集能耗为2.35吉焦,综合成本在250~300元。在泰州电厂建设50万吨/年CCUS示范工程,设计每吨二氧化碳捕集能耗小于2.4吉焦,完全成本低于250元。

中国华能建立了具有自主知识产权的烟气二氧化碳捕集理论和成套技术体系,目前正在华能陇东能源基地建设世界最大燃煤电厂CCS项目,年捕集150万吨,利用3700米深的咸水层封存。

延长石油建成30万吨/年CCUS示范工程,由于煤化工排放二氧化碳浓度高(78%~98%),每吨二氧化碳捕集能耗仅1.37吉焦,成本仅105元。目前我国已完成500万吨/年CCUS项目总体规划编制。

中国石化建成我国首个百万吨级齐鲁石化-胜利油田CCUS项目,示范区动用储量2500多万吨,预计15年累计注气超千万吨,累计增油近300万吨,提高采收率11.6个百分点。中国石化还形成陆相页岩油二氧化碳前置压裂技术,增强压裂效果,补充地层能量,提高单井最终采收量,已在胜利济阳页岩油等全面应用,多口井初期日产油超百吨,正建设陆相页岩油国家级示范区。

中国科学院上海高等研究院研究员孙楠楠说,在碳中和全新情景下,CCUS整体定位发生深刻变化,它是目前实现大规模化石能源零排放利用的唯一选择,是保持电力灵活性的主要手段,是钢铁、有色、化工、水泥等难减排行业的必要方案,是非化石能源“碳元素”获取和循环利用的主要手段,与新能源等耦合的负排放技术是实现碳中和目标的托底保障。

中国工程院院士李阳说,国外提出的是CCS,我国于2010年提出CCUS,就是强调碳的资源化利用,通过利用实现减排增汇,并与传统产业、新兴产业耦合,重塑工业流程,形成新兴产业。CCUS产业链包括捕集、输送管网、能源化工、工业气体、储存等,产业链复杂,运营周期长,投资大。

当前,我国CCUS产业发展的困境是规模较小、建设和运营成本高昂,受制于消纳利用场景,全产业链有待升级。更重要的是,推动CCUS商业化运行,需要多种政策激励,政策直接影响CCUS成本。如美国45Q法案规定,应用CCUS的企业享受减税35~50美元/吨二氧化碳。

因此,多位专家建议:国家层面应制定激励政策、加大激励力度,同时,开展CCUS标准体系建设,构建CCUS技术体系,开展CCUS减排量核算方法学研究,推进能源核心区CCUS产业化集群建设。

## “结构转型+碳减排”是石化行业发展的重点及难点

石油和化学工业是我国国民经济的支柱产业,行业总产值居世界第二,仅次于美国,2022年,全行业实现营业收入16.56万亿元,占全国规模以上工业企业主营收入12%。同时,石油和化学工业是我国主要的碳排放来源,2020年行业碳排放总量约13.5亿吨,占我国工业排放量的21%、全国碳排放总量的14%。

石化行业碳排放集中度较高,油品、乙烯、甲醇、合成氨、电石、烧碱等产品碳排放量合计占全行业的2/3以上。

中国石化副总经理张方表示,石化行业特点决定了其既是能源资源的消费者,也是创造者;既是碳的排放者,也是利用者。碳是石化化工行业最重要的物质和能源基础,化学品中碳元素质量占比达60%以上,且在相当长时间内,碳基能源仍将是企业的主要能量来源。

我国石化行业零碳转型主要挑战有三方面:从需求端看,行业仍处于上升期,化工产品总需求整体仍将不断增加;从供给端看,中国化工生产对煤依赖度高,而与煤相关的碳强度大大高于其他原料;中国化工生产相关资产仍偏年轻化,快速转型可能带来的搁浅资产风险更高。

石化行业碳排放主要来源于能源利用和工业排放,能效提升及能源结构转型、产业升级、二氧化碳的化工利用等是减排重要途径。

中国石化石油化工科学研究院低碳经济研究中心副主任吴昊说,新发展阶段,“结构转型+碳减排”是石化行业发展的重点及难点,但面临减排时间紧、制约因素多、数据基础弱、转型碳排放高等挑战。

优良的总流程基因是炼厂碳减排的重要因素,在相同的化工品收率下,方案优化后总碳减排在30%左右;在不同总流程下,化工品碳强度相差60%以上,低碳强度化工品在未来低碳产业

链构建中将具有显著竞争力。

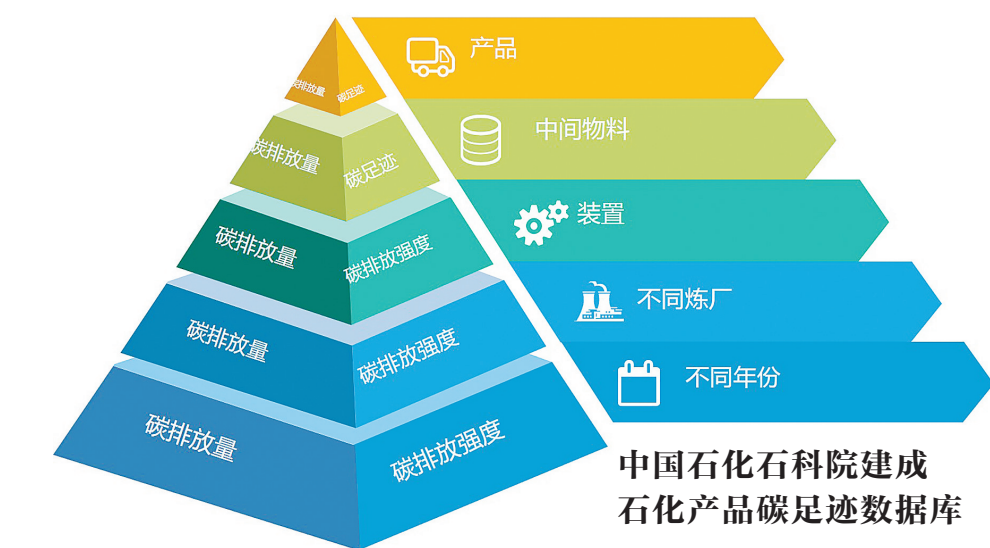
因此,面向不远的将来,石化产品将多一个“性质”——碳标签。目前,已有英国、美国、法国、德国及日本等多个国家建立了“碳标签”认证制度,鼓励各公司自愿推出产品碳标签,引导消费者支持同类产品中的低碳产品。

为此,中国石化石油化工科学研究院建立了石化行业“双碳”平台,碳足迹数据库涵盖40+家炼厂、400+套装置、150+种中间物料、100+种最终产品、1600+碳排放数据;建立了炼厂资源与碳排放优化系统与产品碳足迹管理系统;面向碳减排及碳足迹的源头低碳、过程降碳、末端治理三类低碳技术。

源头低碳方面,典型技术有废塑料化学循环技术和生物航煤技术。中国每年有9000万吨新生塑料,碳排放约1.8亿吨,如果按照20%为再生塑料计算,可减少二氧化碳1800万吨。废塑料化学循环是降低聚烯烃碳足迹的重要途径,将发挥“碳标签”重大资产价值。另外,采用餐饮废油生产生物液体燃料全生命周期碳排放比石油基产品低80%左右。

过程降碳方面,对于千万吨级炼厂来说,应用换热网络集成优化技术,可减少碳排放2万~5万吨/年,能效提升1~3千克标准油/吨,增效1500万~3000万元/年;应用蒸汽动力系统优化技术,可实现节能13~19千克标准油/吨蒸汽,减少碳排放2.5万~6万吨/年;应用低温余热高效利用技术,在提高低温热回收利用率10%的情况下,可减少碳排放4万吨/年;应用氢气资源高效利用技术,可实现碳减排2万~3万吨/年。此外,还有分离系统智能优化、低碳排放的催化裂化、组分炼油实现流程再造等技术可实现碳减排。

末端治理方面,除各机构都在研究的二氧化碳加氢制甲醇技术外,二氧化碳加氢直接制备喷



中国石化石科院建成石化产品碳足迹数据库

气燃料是一项颠覆性战略技术,相比石油基航煤,每吨航煤全生命周期碳减排近3吨,国际能源署预测2050年全球航煤需求6.49亿吨,即使实现20%的替代,全球每年碳减排仍在近4亿吨。

石化企业所在的工业园区,则是降碳减排的主战场。据中国工程院院士贺斌团队的调研,全国国家级省级园区数量2543个,50%的工业企业集中在园区,园区产值占全国比例50%,园区碳排放占全国31%。

工业园区复杂性体现在:多空间多系统叠加,多利益相关方集中;多样化物质能量流动过程;系统优化需统筹供应链、产业链、价值链。该团队认为:中国工业园区碳排放脱钩路径是

资源增效减排、工业过程减排、结构调整减排。

张方指出,石化行业与其他产业交叉度高,超过96%的工业过程直接涉及化工品,下游应用包括汽车、医疗、电子及快消品等,加之“双碳”政策推动新能源、绿色建筑等领域快速发展,催生化工新材料业务大量新的发展机会,因此,通过创新技术,石化企业除了自身减碳,还可以通过化工方案促进其他产业链低碳转型。

如制造轻量化内外饰材料及非化石替代能源减少交通碳排放,其中,碳纤维增强塑料替代金属可使汽车减重30%~60%,降低汽车24%~48%的碳排放。再如,通过制造保温材料减少建筑热损耗,新型保温材料可降低建筑运行碳排放10%以上。

