



## 核心阅读:

CCUS是实现碳中和目标不可或缺的关键性技术之一。根据国内外研究结果,碳中和目标下中国CCUS减排需求为:2030年0.2亿~4.08亿吨、2050年6亿~14.5亿吨、2060年10亿~18.2亿吨。其中,火电、钢铁、水泥、石化和化工行业CCUS减排需求巨大,实施CCUS项目须考虑排放源和封存场地的匹配。中国已投运或建设中的CCUS示范项目约为40个,捕集能力300万吨/年,但项目整体规模较小、成本较高。

或建设中的CCUS示范项目约为40个,捕集能力300万吨/年,但项目整体规模较小、成本较高。目前,中国部分CCUS技术具备商业应用潜力,正积极筹建全流程CCUS产业集群,力争在“十四五”期间建成3~5个百万吨级CCUS全链条示范项目,扩大规模、降低成本。

本版文字摘编于生态环境部环境规划院发布的《中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2021)》。本报8月20日5版已刊发全球CCUS发展情况,今日刊发中国CCUS需求及发展情况,敬请关注。

本报记者 程强 摘编

# 中国CCUS:扩大规模 降低成本

## 加快CCUS技术商业化应用 筹建全流程CCUS产业集群

中国已投运或建设中的CCUS示范项目约为40个,捕集能力300万吨/年。目前,中国部分CCUS技术具备商业化应用潜力,正积极筹建全流程CCUS产业集群。

捕集技术方面,目前燃烧前物理吸收法已处于商业应用阶段,燃烧后化学吸附法尚处于中试阶段,其他大部分捕集技术处于工业示范阶段。燃烧后捕集技术是目前最成熟的捕集技术,可用于大部分火电厂的脱碳改造。燃烧前捕集系统相对复杂,整体煤气化联合循环技术是典型技术。富氧燃烧技术是最具潜力的燃煤电厂大规模捕集技术之一,产生的二氧化碳浓度较高(90%~95%),更易于捕集,可用于新建燃煤电厂和部分改

造后的火电厂。

当前,第一代碳捕集技术(上述技术)发展渐趋成熟,主要瓶颈是成本和能耗偏高、缺乏广泛的大规模示范工程经验;第二代技术(如新型膜分离技术、新型吸收技术、新型吸附技术、增压富氧燃烧技术等)仍处于实验室研发或小试阶段,技术成熟后其能耗和成本会比第一代技术降低30%以上,2035年前后有望大规模推广应用。

输送技术方面,罐车运输和船舶运输技术已达到商业应用阶段,主要应用于规模10万吨/年以下的二氧化碳输送。管道输送尚处于中试阶段,吉林油田和齐鲁石化采用陆上管道输送二氧化碳。

利用与封存技术方面,二氧化碳地浸采油技术已达到商业应用阶段,二氧化碳强化石油开采技术处于工业示范阶段,二氧化碳咸水层封存技术已完成先导性试验研究,二氧化碳驱替煤层气技术已完成中试阶段研究,矿化利用处于工业试验阶段,二氧化碳强化天然气、强化页岩气开采技术尚处于基础研究阶段。

其中,国家能源集团鄂尔多斯10万吨/年二氧化碳咸水层封存项目已于2015年实现30万吨注入目标,此后停止注入。国家能源集团国华锦界电厂15万吨/年燃烧后二氧化碳捕集与封存全流程示范项目,拟将捕集的二氧化碳进行咸水层封存,已于2019年开始建设,建成后将成为中国最大的燃煤电厂

CCUS示范项目。2021年7月,中国石化启动建设我国首个百万吨级CCUS项目(齐鲁石化—胜利油田CCUS项目),有望成为国内最大CCUS全产业链示范基地。

此外,中国科学院过程工程研究所在北京开展了5万吨/年钢渣矿化工业验证项目;浙江大学等在河南强耐新材料公司开展了二氧化碳深度矿化养护剂建材万吨级工业试验项目;四川大学联合中国石化等企业在低浓度尾气二氧化碳直接矿化石膏联产硫基复合肥技术研发方面取得进展。中国二氧化碳化工利用技术已实现较大进展,电催化、光催化等新技术大量涌现。生物利用主要集中在微生物固定和气肥利用方面。

## 火电、钢铁、水泥、石化和化工行业CCUS减排需求巨大

根据国内外研究结果,碳中和目标下中国CCUS减排需求为:2030年0.2亿~4.08亿吨、2050年6亿~14.5亿吨、2060年10亿~18.2亿吨。

火电行业是当前中国CCUS示范的重点。预计到2025年,煤电CCUS减排量将达到600万吨,2040年达到峰值2亿~5亿吨;气电CCUS的部署将逐渐展开,于2035年减排量达到峰值0.2亿~1亿吨。现役先进燃煤机组加装CCUS可捕集90%的碳排放量。在中国目前的装机容量中,到2050年仍将有大约9亿千瓦在运行。技术适用性标准和成本是影响现役燃煤机组加装CCUS的主要因素。

钢铁行业CCUS2030年减排需求为0.02亿~0.05亿吨,2060年为0.9亿~1.1亿吨。中国钢铁生产工艺以排放量较高的高炉-转炉法为主,约89%的能源投入来自煤炭。中国钢铁行业最主流的碳捕集技术是从焦化和高炉的尾气中进行燃烧后二氧化碳捕集。钢铁行业捕集的二氧化碳可直接用于炼钢过程,充

分应用这些技术能减少总排放量的5%~10%。

水泥行业CCUS2030年二氧化碳减排需求为0.1亿~1.52亿吨,2060年减排需求为1.9亿~2.1亿吨。水泥行业石灰石分解产生的二氧化碳排放约占水泥行业总排放量的60%,CCUS是水泥行业脱碳的必要技术手段。

我国石化和化工行业有很多浓度高于70%的二氧化碳排放源,包括天然气加工厂、煤化工厂、氨/化肥生产厂、乙烯生产厂,以及甲醇、乙醇及二甲基乙醚生产厂等,相较于低浓度排放源,其捕集能耗低、投资成本与运行维护成本低,有显著优势。中国早期CCUS示范项目优先采用高浓度排放源与强化石油开采相结合的方式,当市场油价处于高位时,项目收益可完全抵消CCUS成本,并为CCUS相关利益方创造额外利润,即以负成本实现二氧化碳减排。2030年我国石化和化工行业的CCUS减排需求约为5000万吨,到2040年逐渐降至零。

CCUS的成本主要包括经济成本和环境成本。经济成本包括固定成本和运行成本,环境成本包括环境风险与能耗排放。

运行成本主要涉及捕集、运输、封存、利用这四个环节。预计至2030年,二氧化碳捕集成本为90~390元/吨,2060年为20~130元/吨;二氧化碳管道运输是未来大规模示范项目的主要输送方式,预计2030年和2060年管道运输成本分别为0.7~0.4元/吨·千米;预计2030年二氧化碳封存成本为40~50元/吨,2060年封存成本为20~25元/吨。

以火电为例,安装碳捕集装置导致的成本增加为0.26~0.4元/千瓦时。总体而言,装机容量大的电厂各类成本更低。按冷却装置来分,对比空冷电厂,湿冷电厂二氧化碳减排成本和捕集成本更低,但耗水量更大,电厂安装捕集装置后冷却系统总耗水量增加近50%。

在石化和化工行业,CCUS运行成本主

要来自捕集和压缩环节,提高二氧化碳产生浓度是降低CCUS运行总成本的有效方式。

采用CCS和CCU工艺后,煤气化成本分别增加10%和38%,但当碳税高于15美元/吨二氧化碳时,采用CCS和CCU的煤气化工艺在生产成本上更具有优势。在延长石油CCUS综合项目中,其二氧化碳来自煤制气中的预燃烧过程,即煤制气中合成气的生产过程,因此具有较高的纯度和浓度,相较于其他二氧化碳捕集和运输项目,延长石油CCUS综合项目的捕集和运行成本下降了约26.4%,仅为26.55美元/吨二氧化碳,其中,捕集成本为17.52美元/吨二氧化碳、运输成

本为9.03美元/吨二氧化碳。

经济成本的另一个构成要素是固定成本。固定成本是CCUS技术的前期投资,如设备安装、占地投资等。一家钢铁厂安装年产能为10万吨的二氧化碳捕集和封存设施的成本约为2700万美元。在宝钢湛江工厂启动一个CCUS项目,二氧化碳年捕集能力为50万吨,封存场地在北部湾盆地,距离工厂100千米以内,需要投资5200万美元。评估显示,该项目总减排成本为65美元/吨二氧化碳,与日本54美元/吨二氧化碳和澳大利亚60~193美元/吨二氧化碳的成本相似。

环境成本方面,二氧化碳在捕集、运输、

利用与封存等环节都可能有泄漏。大部分CCUS技术会额外增加能耗,主要集中在捕集阶段,对成本及环境的影响显著。如醇胺吸收剂是目前从燃煤烟气中捕集二氧化碳应用最广泛的吸收剂,但运行能耗过高(可达4~6兆焦/千克二氧化碳)导致推广受限。

中国CCUS示范项目整体规模较小,成本较高。中国CCUS年度报告因此建议,开展大规模CCUS示范与产业化集群建设,突破大规模CCUS全流程工程相关技术瓶颈,力争在“十四五”期间建成3~5个百万吨级CCUS全链条示范项目,同时加速突破高性价比的核心技术,促进CCUS产业集群建设。

世界主要国家地区CCUS地质封存潜力与CO<sub>2</sub>排放量

国家/地区	理论封存容量(百亿吨)	2019年排放量(亿吨/年)	至2060年累计排放量(百亿吨)
中国	121~413	98	40
亚洲(除中国)	49~55	74	30
北美	230~2153	60	25
欧洲	50	41	17
澳大利亚	22~41	4	1.6

## CCUS项目实施须考虑排放源和封存场地的匹配

二氧化碳咸水层封存可实现大规模二氧化碳深度减排,理论封存容量高达2.4万亿吨。二氧化碳强化石油开采潜力大,渤海湾盆地、松辽盆地是CCUS项目实施的优先区域。

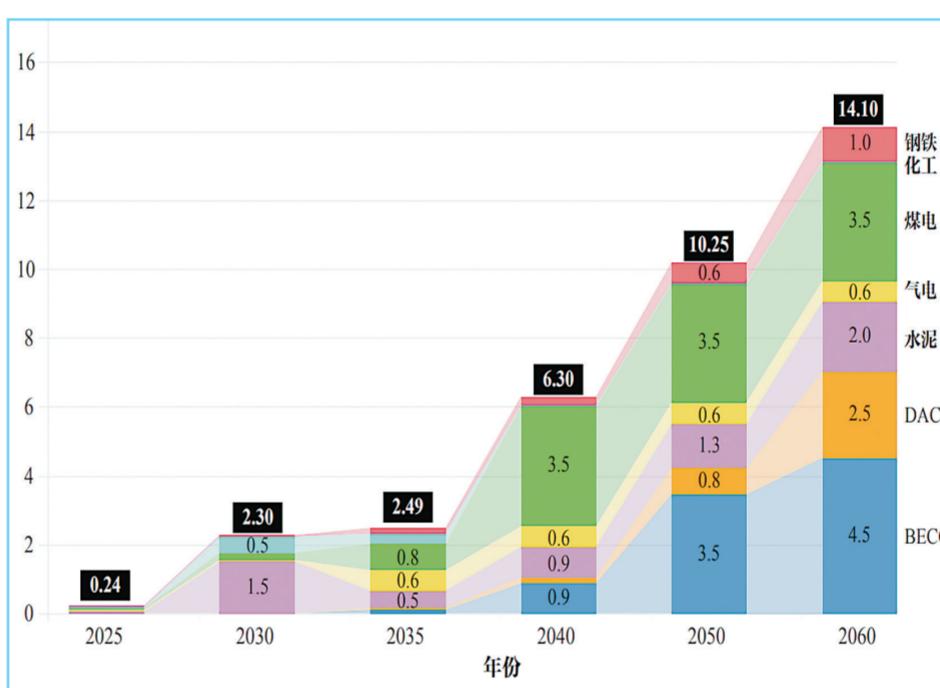
中国东部、北部沉积盆地与碳源分布空间匹配相对较好,如渤海湾、鄂尔多斯和松辽等地;西北地区封存地质条件相对较好,塔里木、准噶尔等地地质封存潜力巨大,但碳源分布相对较少。南方及沿海的碳源集中地区,能开展封存的沉积盆地面积小、分布零散,地质条件相对较差,海上封存潜力非常有限;在近海沉积盆地实施离岸地质封存可作为重要备选。

CCUS源汇匹配主要考虑排放源和封存场地的地理位置关系和环境适宜性。250千米是不需要二氧化碳中继压缩站的最长管道距离,建设成本较低,因此常常作为中国源汇匹配分析中的距离限制,超过250千米一般不作考虑。

火电行业方面,2020年中国现役火电厂分布在798个50千米网格内。其中,二氧化碳年排放量大于2000万吨的网格共51个,主要分布在华中和东部沿海一带,封存场地适宜性以中、低为主。尤其是东部沿海一带几乎无没有适宜封存的场地。二氧化碳年排放量在1000万~2000万吨的网格数量为99个,主要分布在吐鲁番-哈密、鄂尔多斯、准噶尔、松辽、柴达木等盆地,具有中、高封存适宜性。南部内陆省份,如贵州、江西、安徽等局部火电排放量大的区域,不存在匹配的封存场地。湖南、湖北两省分别在洞庭、江汉盆地仅有分散的中、低适宜性场地。

钢铁行业方面,研究发现,在250千米范围内,79%以上的钢铁厂可以找到适宜的地质利用与封存场地。钢铁厂开展全流程CCUS项目,平准化成本较低,甚至一些项目可以盈利。分布于渤海湾、准噶尔、江汉、鄂尔多斯等地及附近的钢铁厂数量多、二氧化碳排放量大、封存场地的适宜性较高,源汇匹配较好。相较而言,南方、沿海及其他区域的钢铁厂项目平准化成本较高的原因是运输距离较长、评估的二氧化碳排放量较少。

**业界视点**  
Industry Vision



## 中国CCUS示范项目整体规模较小成本较高

CCUS的成本主要包括经济成本和环境成本。经济成本包括固定成本和运行成本,环境成本包括环境风险与能耗排放。

运行成本主要涉及捕集、运输、封存、利用这四个环节。预计至2030年,二氧化碳捕集成本为90~390元/吨,2060年为20~130元/吨;

二氧化碳管道运输是未来大规模示范项目的主要输送方式,预计2030年和2060年管道运输成本分别为0.7~0.4元/吨·千米;预计2030年二氧化碳封存成本为40~50元/吨,2060年封存成本为20~25元/吨。

以火电为例,安装碳捕集装置导致的成本增加为0.26~0.4元/千瓦时。总体而言,装机容量大的电厂各类成本更低。按冷却装置来分,对比空冷电厂,湿冷电厂二氧化碳减排成本和捕集成本更低,但耗水量更大,电厂安装捕集装置后冷却系统总耗水量增加近50%。

在石化和化工行业,CCUS运行成本主



石化员工团购网



石化美京东旗舰店



团购网服务号



团购网订阅号

为美好生活加油  
百万石化员工专属优惠购物平台  
客服专线:4000-700-838

广告

石化员工团购网  
www.sinopectg.com

生活至美

## 石化员工汽车节

石化员工购买以上品牌汽车,在4S店优惠活动基础上,再享受大客户专项优惠。  
优惠政策、购车流程详见石化员工团购网。