



2021年7月,中石化正式启动建设我国首个百万吨级CCUS项目。

中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2021)发布

建议开展大规模CCUS示范与产业化集群建设

□ 本刊记者 雷英杰

“我国在CCUS技术研发、试验示范和商业化探索方面已开展大量工作,呈现出技术路径多样、项目种类齐全、部署发展良好的格局。在碳达峰碳中和背景下,CCUS技术将具有更高的应用与发展潜力。”近日,在生态环境部环境规划院组织召开的《中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2021)——中国CCUS路径研究》(以下简称《报告》)发布会上,生态环境部环境规划院院长王金南如是说。

据了解,这份《报告》是由国内外CCUS领

域的49名研究人员共同完成,并经过了13名权威专家的评审。《报告》分析了哪些重要内容?作为实现碳达峰碳中和目标不可或缺的关键性技术之一,CCUS的发展路径是怎样的?

我国CCUS技术现状如何?

二氧化碳捕集利用与封存(Carbon Capture Utilization and Storage,简称CCUS),是指将二氧化碳从工业过程、能源利用或者大气中分离出来,直接加以利用或者注入地层,以实现二氧

化碳永久减排的过程。

《报告》指出,我国已经投运或建设中的CCUS示范项目大约为40个,捕集能力300万吨/年,多以石油、煤化工、电力行业小规模捕集驱油示范为主,缺乏大规模的多种技术组合的全流程工业化示范。目前,我国已经具备大规模捕集利用与封存二氧化碳的工程能力,正在积极筹备全流程CCUS产业集群。

例如,中石油吉林油田EOR项目是全球正在运行的21个大型CCUS项目中唯一一个中国项目,也是亚洲最大的EOR项目;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已于2019年开始建设,建成后将成为我国最大的燃煤电厂CCUS示范项目;2021年7月,中石化正式启动建设我国首个百万吨级CCUS项目。

目前,我国的CCUS各技术环节均取得了显著进展,部分技术已经具备商业化应用潜力。

在捕集技术方面,第一代碳捕集技术(燃烧后捕集技术、燃烧前捕集技术、富氧燃烧技术)发展渐趋成熟,主要瓶颈为成本和能耗偏高、缺乏广泛的大规模示范工程经验。其中,燃烧后捕集技术可用于大部分火电厂的脱碳改造,富氧燃烧技术可用于新建燃煤电厂和部分改造后的火电厂。而第二代碳捕集技术(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)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成熟的第一代技术降低30%以上,预计2035年前后有望大规模推广应用。

在输送技术方面,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。管道输送技术尚处于中试阶段,海底管道运输的成本比陆上管道高40%~70%,目前海底管道输送二氧化碳的技术缺乏实践经验,在国内尚处于研究阶段。

在利用与封存技术方面,二氧化碳地浸采铀技术已经达到商业应用阶段,二氧化碳强化石油开采技术已处于工业示范阶段,二氧化碳强化咸水开采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,二氧化碳强化天然气开采技术、二氧化碳强化页岩气开采技术尚处于基础研究阶段。值得一提的是,我国二氧化碳化工利用技术已经实现了较大进展,电催化、光催化等新技术大量涌现,但在燃烧后二氧化碳捕集系统与化工转化利用装置结合方面,仍存在一些技术瓶颈。

发展CCUS技术,谁是“拦路虎”?

《报告》指出,CCUS是目前实现化石能源低碳化利用的唯一技术选择,是碳中和目标下保持电力系统灵活性的主要技术手段,还是钢铁、水泥等行业低碳转型的可行技术选择。此外,CCUS与新能源耦合的负排放技术是实现碳中和目标的重要技术保障。

从实现碳中和目标的减排需求来看,依照现在的技术发展预测,2050年和2060年需要通过CCUS技术实现的减排量分别为6亿吨~14.5亿吨和10亿吨~18.2亿吨。从我国源汇匹配的情况来看,CCUS技术可提供的减排潜力基本可以满足实现碳中和目标的需求。

目前,CCUS技术的成本是影响其大规模应用的重要因素。CCUS技术的成本主要包括经济成本和环境成本。其中,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。

固定成本来自于CCUS项目的前期投资,如设备安装、占地投资等。《报告》指出,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大约为2700万美元。

运行成本主要涉及捕集、运输、封存、利用四个主要环节。《报告》指出,预计到2030年,二氧化碳捕集成本为90~390元/吨,二氧化碳封存成本为40~50元/吨;预计到2060年,二氧化碳捕集成本为20~130元/吨,二氧化碳封存成本为20~25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年二氧化碳管道运输成本分别为0.7元/(吨·公里)和0.4元/(吨·公里)。

表 1 2025 年至 2060 年 CCUS 各技术环节成本

年份		2025 年	2030 年	2035 年	2040 年	2050 年	2060 年
捕集成本 (元/吨)	燃烧前	100 ~ 180	90 ~ 130	70 ~ 80	50 ~ 70	30 ~ 50	20 ~ 40
	燃烧后	230 ~ 310	190 ~ 280	160 ~ 220	100 ~ 180	80 ~ 150	70 ~ 120
	富氧燃烧	300 ~ 480	160 ~ 390	130 ~ 320	110 ~ 230	90 ~ 150	80 ~ 130
运输成本 (元/吨·公里)	罐车运输	0.9 ~ 1.4	0.8 ~ 1.3	0.7 ~ 1.2	0.6 ~ 1.1	0.5 ~ 1.1	0.5 ~ 1
	管道运输	0.8	0.7	0.6	0.5	0.45	0.4
封存成本(元/吨)		50 ~ 60	40 ~ 50	35 ~ 40	30 ~ 35	25 ~ 30	20 ~ 25

数据来源于《报告》。(注:成本包括固定成本和运行成本。)

我们再来看看环境成本,它主要由 CCUS 技术可能产生的环境影响和环境风险所致。比如,二氧化碳在捕集、运输、利用与封存等环节可能会发生泄漏,对附近的生态环境、人身安全等造成一定的影响;再如,大部分 CCUS 技术具有额外增加能耗的特点,这必然会涉及污染物的排放问题。

《报告》以醇胺吸收剂为例,它是目前从燃煤烟气中捕集二氧化碳应用最广泛的吸收剂,但是基于醇胺吸收剂的化学吸收法在商业大规模推广应用中仍存在明显的限制,其中最主要的原因之一就是运行能耗过高。

大规模应用还须补齐哪些短板?

针对 CCUS 的战略定位、发展路径,《报告》提出了未来发展 CCUS 技术的政策建议。

首先,明确面向碳中和目标的 CCUS 发展路径。充分考虑碳中和目标下的产业格局和重点排放行业的排放路径,从减排需求出发,研判火电、钢铁、水泥等重点排放行业以及生物质能的碳捕集与封存和直接空气捕集的技术减排贡献,预测 2020 年至 2060 年的 CCUS 发展路径和空间布局,为行业乃至全社会碳中和路径确定锚点。

其次,完善 CCUS 政策支持与标准规范体系。加速推动 CCUS 商业化步伐,将 CCUS 纳

入产业和发展目录,打通金融融资渠道,为 CCUS 项目优先授信和提供优惠贷款;充分借鉴国外政策经验,探索制定符合我国国情的 CCUS 税收优惠和补贴激励政策,形成投融资增加和成本降低的良性循环;完善优化法律法规体系,制定科学合理的建设、运营、监管、终止等标准体系。

再次,规划布局 CCUS 基础设施建设。加大二氧化碳输送与封存等基础设施的投资力度与建设规模,优化技术设施管理水平,建立相关基础设施合作共享机制;注重已有资源的优化整合,推动现有装置设备改良升级,逐步提高现有基础设施性能水平;建设二氧化碳运输与封存共享网络,不断形成新的 CCUS 产业促进中心。

最后,开展大规模的 CCUS 示范与产业化集群建设。针对捕集、压缩、运输、注入、封存等全链条技术单元之间的兼容性与集成优化,突破大规模 CCUS 全流程工程相关技术瓶颈,在“十四五”期间建成 3 项至 5 项百万吨级 CCUS 全链条示范项目;加速突破高性价比的二氧化碳吸收/吸附材料开发、大型反应器设计、长距离二氧化碳管道运输等核心技术;把握 2030 年至 2035 年燃煤电厂 CCUS 技术改造的最佳窗口期,在电力行业超前部署新一代低成本、低能耗 CCUS 技术示范项目,推进 CCUS 技术代际更替,从而避免技术锁定,争取最大的减排效益。E