

预计2030年CCUS减排需求为0.2亿至4.08亿吨——

“碳捕手”让二氧化碳变好用

本报记者 廖睿灵

大气中的二氧化碳能不能捕捉起来进行再利用？这个曾经的设想如今已成为现实。

6月2日，亚洲最大火电碳捕集利用与封存(CCUS)项目——国家能源集团江苏泰州电厂项目正式投产。该项目每年可捕集50万吨二氧化碳，所捕集到的这些二氧化碳，将广泛应用于工业、食品业等领域，真正实现资源再利用。

看不见、摸不着的二氧化碳如何捕集？这些“被捕”的二氧化碳，又如何来到下游进行再利用？记者前往泰州电厂进行了实地采访。

“捕碳”有必要

——实现“双碳”目标需推动各行业减排，捕捉、封存二氧化碳正是重要手段

走进泰州电厂厂区，三座高耸的作业塔映入眼帘。沿着绵长的蓝、白色管道向前望去，4个巨大的银色球型储气罐与之相连，源源不断输送着经过压缩的液态二氧化碳，等待通过运输车装载送往下游各地。

“这是我们的捕集区，占地面积约1650平方米，和已有的其他CCUS项目相比单位占地面积最小。”国家能源集团新能源技术研究院碳中和中心碳捕集研究室经理杨阳介绍。

CCUS，又叫碳捕集利用与封存，是实现化石能源低碳利用的一项兜底技术，即把生产过程中排放的二氧化碳进行捕集提纯，再投入新的生产过程进行再利用和封存。

“捕碳”，是为了降低碳排放。中国提出“双碳”目标以来，节能降碳已成为社会各行业共识。对于碳排放量较大的火电行业而言，既要保证煤电在能源供应中的兜底作用，又要尽可能降低碳排放造成的环境影响。如何进一步实现减排，保证煤炭清洁高效利用？CCUS被视作关键技术手段之一。

“泰州电厂CCUS项目二氧化碳捕集率超90%，每年可以捕集消纳50万吨二氧化碳，产出干基二氧化碳纯度超99%，既具备环保价值，也有商业示范意义。”国家能源集团江苏泰州电厂碳资源开发专项办公室主任龚海艇说。

二氧化碳看不见又摸不着，怎么“捕捉”？杨阳告诉记者，正是水洗塔、吸收塔、再生塔这三座塔器在下功夫。“火电厂燃烧后排放的是符合国家环保标准的烟气，其中含有10%到15%的二氧化碳。我们正是以泰州电厂4号机组排放的烟气为原料气，进行二氧化碳捕集。”

从烟气的路途看，烟气首先会通过引风机进入水洗塔，进行降温的同时，还能除去其中的硫氧化物、氮氧化物、粉尘等杂质。

紧接着，这些气体又来到吸收塔塔底。50多米高的吸收塔中，用于吸收二氧化碳的胺溶液从塔顶向下喷淋，进而与气体充分发生反应。此时，烟气中九成多的二氧化碳将被胺液吸收，剩余气体达到排放标准，通过烟道回到主机烟囱排入大气。

“吃”足了二氧化碳的胺溶液将进入第三个塔——再生塔。在这里，吸收了二氧化碳的胺溶液经过系列化学反应，分解成纯度超99%的二氧化碳和贫胺液，而后“兵分两路”，前者通过不锈钢管道输送至压缩、干燥、液化系统，将高纯二氧化碳气体转为高压二氧化碳液体，最终送入球型储罐中；后者则回到吸收塔塔顶，等待进行下一轮作业。

“烟气在塔中的停留时间很短，全程不到两分钟时间。换句话说，不到两分钟，我们就能把烟气中的二氧化碳‘捕捉’起来，等待后续利用、封存。”杨阳说。

“用碳”不简单

——对接下游用户，让捕集到的二氧化碳充分发挥商用价值

二氧化碳“被捕”后将如何利用？

业内人士介绍，目前二氧化碳应用主要包括几大领域：一是注入油藏中进行驱油，提高油田采收率，进而生产更多原油；二是化工利用，比如制造尿素、二氧化碳、碳酸钡等无机化工产品以及水杨酸、甲醇、乙醇等有机化工产品。此外，二氧化碳还可应用于食品领域。汽水中的大量气泡，就是食品级的二氧化碳。

实际上，此前国内已有部分CCUS项目落地，但如何实现盈利，始终是困扰行业的普遍难题。中国石化规划总院油



▲国家能源集团江苏泰州电厂，一辆二氧化碳运输车在等待装载二氧化碳。

本报记者 廖睿灵摄

▶6月2日，工作人员在国家能源集团江苏泰州电厂检查二氧化碳捕集装置运行情况。

汤德宏摄（新华社发）



气地面工程规划研究所副所长王念榕告诉本报记者，中国的CCUS项目仍处于商业化发展的初期阶段，CCUS商业应用效益相对较低，主要是由于部分CCUS项目技术和商业模式成熟度不高。“当前低浓度的烟道气二氧化碳捕集成本多在每吨400元以上，百公里二氧化碳运输成本在每吨35元以上，二氧化碳注入地层成本每吨约20元，综合成本明显超过二氧化碳驱油产生的效益。”王念榕说。

破解CCUS项目发展瓶颈，实现二氧化碳商业化利用并确保盈利很关键。如今，泰州电厂CCUS项目已做出有效尝试。“目前泰州电厂CCUS项目捕集到的二氧化碳主要应用于工业和食品业等领域。我们有4个球型二氧化碳储罐，其中2个储存的是工业级二氧化碳，另外2个储存食品级二氧化碳。”龚海艇透露，在项目设计初期，团队就已同步在长三角地区开展了大量市场调研，锁定了焊接制造、食品级干冰、高新机械清洗等方面用户。

“我们电厂附近不仅有油田，还有部分制船企业，他们对二氧化碳都有较大需求，这意味着项目存在稳定的客户。”龚海艇说，“从目前市场反馈来看，食品级干冰、冷链运输市场发展空间较大，客户对我们产出的二氧化碳品质反馈也很好。正是有了充分的市场调研，确保所捕集二氧化碳具备商用价值，我们的项目能够保证捕集二氧化碳的100%消纳，即每年50万吨的足额消纳，具备稳定盈利能力，也为煤电CCUS项目长期可持续运营提供了样本。”

有市场，还得有“好价”。龚海艇告诉记者，通过技术创新、优化工艺路线、合理设备布局等手段，该项目投资成本控制在相对较低水平，二氧化碳单位生产成本也较为理想，保证了该项目的可持续运营。

技术革新强

——加强科技攻关，实现CCUS项目大规模、可持续发展

CCUS项目是个新事物，既要保证产出大量高纯度的

二氧化碳以供市场，也要降低成本。这背后的关键，还得靠技术革新。

以泰州电厂为例，为了确保项目综合性能，降低设备损耗，项目团队自主研发了新型低能耗、大容量、高稳定性三元复配吸收剂，再生热耗较传统吸收剂下降超35%。

“虽然我们此前已有每年捕集15万吨二氧化碳的CCUS项目经验，但从15万吨到50万吨并非简单的数量叠加，而要在技术上革新创造。”国家能源集团新能源技术研究院碳中和中心主任徐冬说，“吸收剂是CCUS项目技术工艺的‘心脏’，确定了吸收剂的指标和方案，才能进行后续的设备选型等工作。光是为了调整吸收剂配比方案，我们就做了超千次实验，才找到最优解。”

采用循环水直流供水冷却系统，减少投资并降低捕集每吨二氧化碳电耗约6千瓦时；选用变频可调离心式引风机，经济调节负荷范围可达60%到100%；使用的新型材质板式换热器，可保障设备检修时间缩短二三天……一项项技术创新应用，不仅成为泰州电厂CCUS项目可持续运营的坚强保障，也为国内CCUS推广应用提供了参照。

业内人士分析，在“双碳”目标指引下，中国CCUS行业具备广阔的发展空间。《中共中央 国务院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》提出，“推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用”。《中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2021)》预计，2030年CCUS减排需求为0.2亿至4.08亿吨，到2050年CCUS产值有望实现3300亿元以上。

“煤炭、煤电作为能源供应‘压舱石’的兜底保障作用依旧突出，CCUS是煤炭产业低碳化利用的经济可行选择，也是保障电力系统灵活性的重要技术手段。未来，应继续加大技术攻关，推进CCUS商业化利用，推动建立完善的碳资产交易体系，进而为国内CCUS推广应用提供更有利的发展空间，为实现‘双碳’目标提供坚强技术保障。”王念榕说。

中国工业绿色发展取得长足进步。6月1日举办的2023工业绿色发展大会发布《工业绿色发展白皮书》显示，近年来中国稳步推动工业用能绿色转型，加大绿色低碳技术、产品、装备供给，积极培育绿色低碳产业，全面构建绿色制造体系，推动减污降碳协同增效，绿色生产方式加快形成。

产业结构高端化加速推进。瞄准高端化、智能化、绿色化发展方向，中国力推先进制造业集聚发展，着力打造能源资源消耗低、环境污染少、附加值高、市场需求旺盛的产业新引擎。2022年，已在新一代信息技术、高端装备、新材料、新能源及智能网联汽车等多领域建成45个国家先进制造业集群，主导产业总产值达到20万亿元，成为引领带动制造业高质量发展、提升产业竞争力的重要力量。

工业能源消费低碳化成效显著。2012年至2021年，全国规模以上工业单位增加值能耗累计下降约36.2%。工业用能结构持续优化，绿电交易成交量96.9亿千瓦时，其中工业和通信业企业是绿电交易的主要购买方，煤炭清洁高效利用稳步提升。据初步测算，中国工业领域用作原料、材料的煤炭年转化量超过1亿吨标准煤。

资源利用循环化水平稳步提升。与2012年相比，2022年10种重要再生资源综合利用总量提高约1.4倍，推动创建60个工业资源综合利用基地。水资源节约利用水平持续加强，2022年万元工业增加值用水量较2012年下降60.4%，规模以上工业重复用水率连续10年提高。

产品装备供给绿色化优势加快形成。绿色低碳产品供给持续加强，累计推广近3万种绿色产品，新能源汽车产销连续8年居全球第一，光伏行业总产值突破1.4万亿元，产业链各环节产品产量再创历史新高，全球风电整机制造商前10名中，中国企业占6家。

数字化赋能作用持续凸显。目前5G基站单站址能耗已比2019年商用初期降低了20%以上，全国规划在建的大型以上数据中心平均设计电能利用比值已降到1.3。数字化智能化绿色化加速融合，截至2022年底，全国工业企业关键工序数控化率、数字化研发设计工具普及率分别达到58.6%、77%，比2012年分别提高了34.28、2.0个百分点。

绿色制造和服务体系建设加快推进。标杆梯级培育机制基本建立，今年4月底，国家层面共创建绿色工厂3616家、绿色工业园区267家、绿色供应链管理企业403家。绿色工厂能耗水平整体优于能效标杆水平，绿色工业园区平均固废处置利用率超过95%。绿色制造服务能力不断增强，培育了180余家绿色制造服务供应商，为工业企业提供绿色制造系统解决方案。

工业绿色发展政策机制逐步完善。围绕工业节能、节水、低碳、资源综合利用及绿色制造等重点领域，中国制修订相关标准500多项。截至2022年底，本外币绿色贷款余额达22.03万亿元，绿色债券存量规模达1.5万亿元。绿色发展氛围加快形成，绿色制造、能效提升、资源节约等领域国际合作持续深化。

工业和信息化部副部长辛国斌在2023工业绿色发展大会上表示：“加快工业绿色发展是完整、准确、全面贯彻新发展理念的战略要求，是推进新型工业化的应有之义，是促进全球可持续发展的大势所趋。”他透露，工信部将坚持降碳、减污、扩绿、增长协同推进，把绿色发展理念贯穿工业生产全过程、全链条、全领域，着力推动产业结构高端化、能源消费低碳化、资源利用循环化、生产过程清洁化、产品供给绿色化、制造流程数字化转型。深化绿色技术、装备、标准等方面国际交流合作，分享创新经验、共享市场机遇，同走绿色发展之路，为维护全球可持续发展作出贡献。

能源消费低碳化成效显著，资源利用循环化水平提升——

中国工业发展“绿”意更浓

本报记者 徐佩玉

民用无人机领域首项强制性国标发布

本报北京6月5日电（记者孔德晨）国家市场监督管理总局(标准委)日前发布《民用无人驾驶航空器系统安全要求》强制性国家标准，该标准将于2024年6月1日实施。

近年来，全球民用无人驾驶航空器(俗称民用无人机)产业高速发展，由于其操作简便、快速灵活，广泛应用于农业、林业、电力、气象、海洋监测、遥感测绘、物流、应急救援等领域，但同时由于其易改装、难防范，容易出现“黑飞”“乱飞”现象，给国家安全、公共安全造成一定的影响。此前，民用无人机产品

缺少统一的质量安全标准，少数企业的产品设计不合理，带来一定的安全风险。

此次发布的标准是中国民用无人机领域首项强制性国家标准，适用于除航模之外的微型、轻型和小型民用无人机。标准提出了电子围栏、远程识别、应急处置、结构强度、机体结构、整机跌落、动力能源系统、可控性、防差错、感知和避让、数据链保护、电磁兼容性、抗风性、噪声、灯光、标识、使用说明书等17个方面的强制性技术要求和相应的试验方法。作为《无人驾驶航空器飞行管理

暂行条例》的配套支撑标准，该标准可以有效指导研制单位设计生产、规范检测机构合规检测和保障使用者安全使用，有利于进一步筑牢民用无人机产品安全底线，贯彻民用无人机管理要求，促进民用无人机产业健康发展。

中国民用无人驾驶航空器市场正进入快速发展期。为促进产业健康发展，2018年起，工业和信息化部会同国家标准委组织研究制定《无人驾驶航空器系统标准体系建设指南》并定期更新，最新版指南于2021年发布。该指南规划了包括《民用无人驾驶航空器系统安全要求》在内的国际标准13项、国家标准37项、行业标准24项，目前已发布国际标准5项、国家标准22项、行业标准13项。



百合花海 助增收

湖南省湘西土家族苗族自治州龙山县打造1000亩百合花海，单日订单超8000枝，已成为当地增收致富的重要途径。图为游客在龙山县洗洛镇欧溪村百合基地游玩。

曾祥辉摄(人民视觉)