

用碳“换”油，国内首个百万吨级CCUS(二氧化碳捕集、利用与封存)项目建成，即将全面投产——

# 中国“碳捕手”来了

本报记者 韩维正

节能降碳，不止靠种树，也要靠技术。如今，二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)技术正日益受到国内外关注。

CCUS是指将二氧化碳从工业或其他碳排放源中捕集，并运输到特定地点加以利用或封存的技术，具有减排规模大、减排效益明显的特点，被形象地称为“碳捕手”。联合国政府间气候变化专门委员会指出，CCUS是确保实现《巴黎协定》气候目标的重要技术支撑，绝大多数气候模式都需要以它实

现深度减排目标。

从全球来看，CCUS项目欧美发达国家布局较早，而中国也已进入工业化示范阶段。今年1月29日，中国石化集团建设的国内首个百万吨级CCUS项目——齐鲁石化-胜利油田CCUS项目建成中交，投产后每年可减排二氧化碳100万吨，相当于植树近900万棵、近60万辆经济型轿车停开1年。

那么，这个中国目前最大的“碳捕手”具体是怎么工作的？CCUS在中国的前景如何？



## “吃”进二氧化碳，“吐”出石油

齐鲁石化-胜利油田CCUS项目由两部分组成：齐鲁石化负责二氧化碳捕集，胜利油田负责二氧化碳驱油与封存。在因CCUS项目走到一起之前，两家企业各有各的“烦恼”。

化工企业是碳排放大户。由于产品特性，即使在改进工艺和优化能源结构后，化工企业仍需要消耗大量化石能源，从而有二氧化碳的刚性排放。因此，在全球低碳时代，化工、水泥、钢铁这些传统行业的减排压力陡增。

对油田来说，如何创新发展大幅提高石油采收率技术，研发新的驱油方式迫在眉睫。要解决这个难题，其中一个思路就是利用高纯度的二氧化碳。

一个想减碳，一个想求碳，双方一拍即合。

“齐鲁石化第二化肥厂煤气化装置排放的尾气属于优质的二氧化碳资源，不仅排放量大，而且提纯后纯度可达99%以上。”齐鲁石化第二化肥厂气体联合车间主任耿涛告诉记者，通过深冷和压缩技术，以及自主研发的捕集设备，齐鲁石化每年可以回收100万吨的二氧化碳。被捕集的这些二氧化碳会由专门的运输车辆运往80公里外的胜利油田。在那里，10余座无人值守的注气站将日夜不停地向附近的注入井加注这种新型“驱油气”。

“将收集的二氧化碳注入油层，可以增加原油流动性，同时‘无孔不入’的二氧化碳也能把岩层缝隙中的原油‘驱赶’出来，从而大幅提高石油采收率。”中国石化高级专家、胜利油田CCUS项目部经理陈军表示，二氧化碳驱油的效率比水高40%，预计未来15年可实现增产近300万吨。

更重要的是，通过置换油气、溶解与矿化作用，注入的二氧化碳实现了地下封存。“一次封存率能达到60%至70%。”胜利油田勘探开发研究院首席专家兼气驱试验室经理张传宝说，小部分二氧化碳会随着原油一块采出，但仍会被胜利油田自主攻关研制的“伴生气捕集回注系统”捕捉，重新注回油井，从而最终使封存率接近100%。由此，既能提高石油产量，还能减少二氧化碳向空气中的排放，兼具生态效益与经济效益的CCUS项目，真正做到了“变废为宝”。

中国石化集团副总工程师兼齐鲁分公司代表、党委书记韩峰介绍说：“齐鲁石化-胜利油田CCUS项目投产后可有力推进化石能源净化、洁净能源规模化、生产过程低碳化，形成可复制、可推广的石化经验。”

## 降低成本、形成商业化模式是关键

对“碳捕手”们来说，成本与商业化问题始终是一个挑战。只有形成各方都“有利可图”的商业模式，才能吸引更多企业采用CCUS技术，推动CCUS产业进入自我良性循环。

以齐鲁石化-胜利油田项目为例，CCUS的经济账该怎么算？

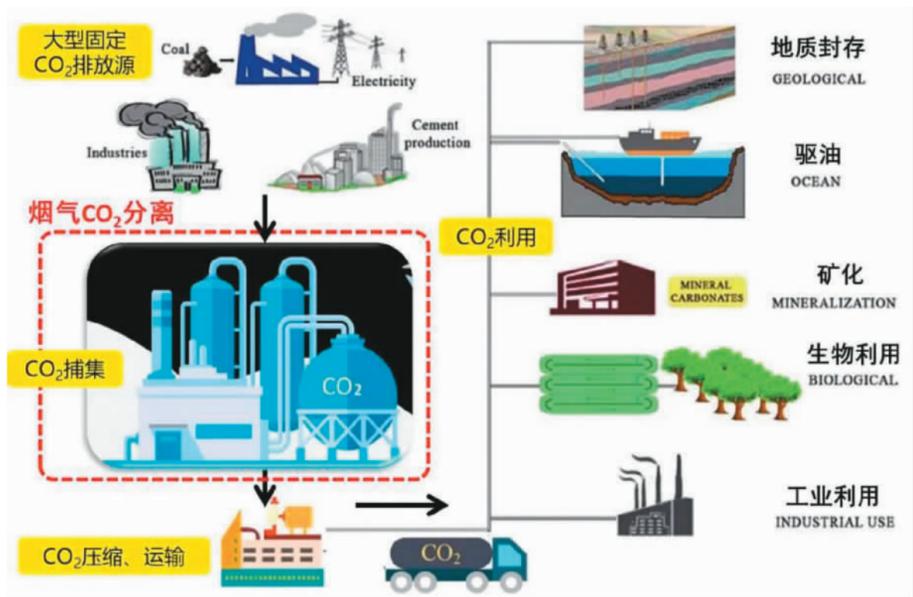
简单来说，如果不考虑其他因素，胜利油田多产的原油，就是这条产业链上最终利润的来源。油田多产原油，有了收益，才愿意拿出一部分向上游齐鲁石化购买二氧化碳。而只有这部分“买碳钱”大于齐鲁石化进行碳捕集和运输的成本，上游企业才有动力继续做这件事。这是“用碳驱油”场景下最基础的商业模式。

然而，原油价格随国际市场有起有落，给整个项目收入带来了不确定性。如何对抗市场风险？无非节流、开源两条路。

节流，就是从各个环节降低经济成本。耿涛告诉记



齐鲁石化第二化肥厂气体联合车间员工正在调控4000立方米二氧化碳球罐达到最佳工作状态。 曹业琦摄



二氧化碳捕集、利用与封存过程示意图。

图表来源于网络

者，比如在运营环节，齐鲁石化充分利用节能新技术，回收各环节余热、余压，提高装置能量利用效率，既降低了运行成本，也避免了“在减碳过程中增加碳排放”。又如，在运输环节，胜利油田高级专家吕广忠估算，目前通过罐车运输，1吨二氧化碳运送1公里需要0.8元—1元，而使用管道运输成本至少能降一半左右。在谈到项

目下一步发展时，胜利油田工程建设管理部经理孙宁松表示：“要按照中国石化统一部署，尽早启动并建成齐鲁石化到胜利油田的二氧化碳输送管道，进一步降低运输成本，打造成可复制可推广的CCUS全产业链示范基地和标杆工程。”

“总体来看，CCUS能够将二氧化碳从排放源头拦

截，称得上减碳的‘强效药’；由于技术环节多、工程复杂，目前还是一种成本很高的‘高价药’。”中国环境学会CCUS专委会副主任彭勃说，“但随着材料化学等领域的技术进步和大规模工业化应用，成本制约有望破除。”

开源方面，除了拓宽二氧化碳市场如应用于建筑材料、农业肥料、工业化学原料等之外，一些业内人士也指出了碳排放交易体系的潜力。中国国际工程咨询有限公司高级工程师张建红建议将碳捕集量核定为碳汇量，纳入全国碳交易市场进行交易，通过碳汇项目补偿机制保障CCUS项目稳定的资金来源。

## 潜力巨大，不可或缺

“碳捕手”之所以重要，主要在于其不可或缺。

据中国工程院预测，2060年中国一次能源消费量将达55.7亿吨吨煤，其中化石能源消费占比约26.8%，将产生27.1亿吨的二氧化碳排放量。通过森林、草原、湿地等抵消16亿—19亿吨后，仍有10亿吨左右的缺口。如果2060年中国要实现碳中和，这个缺口该由谁来填补呢？目前来看，以CCUS为代表的人工减碳固碳技术，是最有可能的候选。

正如清华大学环境学院教授王灿所说：“乐观情景下，可再生能源未来全面替代化石能源，能源系统的碳排放量将非常小，可以用农林碳汇抵消，那么，我们对CCUS的依赖将非常小。但还有另一种情景，考虑能源安全、产业结构、搁浅资产风险、电网稳定性要求等，未来还需要依赖一定的化石能源，此时，要实现碳中和就必须部署相应规模的CCUS项目。”

既然缺口如此大，中国的“碳捕手”们能担此重任吗？答案是：中国二氧化碳地质封存的潜力巨大，且具备大规模捕集利用与封存的工程能力。由生态环境部环境规划院牵头编写的《中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2021)》显示，中国通过“用碳驱油”与“用碳换气”技术，可分别封存二氧化碳约51亿吨、90亿吨，利用枯竭气藏可封存约153亿吨。

正是看到了“碳捕手”的可观前景，世界各国纷纷上马CCUS项目，美国、英国、日本、澳大利亚等国家纷纷制定政策鼓励CCUS发展。据《剑桥能源论坛》杂志的数据，目前全球正在运行中的CCUS装置接近30座，碳捕集超过4000万吨/年。国际能源署预测，全球利用CCUS减碳在2030、2035、2050年将分别达到16亿吨、40亿吨、76亿吨，占2020年全球碳排放总量的4.7%、11.8%、22.4%，CCUS技术在未来全球减排降碳中将扮演重要角色。

在中国，CCUS行业也愈发受到重视。2021年，中国首次将开展CCUS重大项目示范纳入国家“十四五”规划；同年发布的《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》，CCUS被列入绿色低碳重大科技，并提出“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”；人民银行推出的碳减排支持工具也为CCUS提供金融支持……

更多“碳捕手”正在如火如荼地建设：中国石化在今年2月启动300万吨CCUS重大工程示范项目；广汇能源300万吨CCUS项目在今年3月正式开工建设；中海油海上千万吨CCUS集群项目已签署谅解备忘录……

“近两年来，各个渠道围绕碳中和在全民范围内做了很大的政策和科学普及，碳捕集利用与封存对于实现碳中和的重要性已被更广泛地认识到。”中国环境学会CCUS专委会秘书长张九天说，“相信未来会有更多的激励措施出台。”

题图：2021年11月4日，位于山东省东营市东营区的胜利油田菜113区块，员工在进行二氧化碳注入作业。 刘智峰摄(人民视觉)

在全球变暖影响、极端天气频发的背景下，碳中和已成为世界各国的共识。中国主动承担应对气候变化的国际责任，向世界作出力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的承诺。而要实现“双碳”目标，科技进步的作用需要得到更充分地重视与释放。

实现碳中和，总的来说就是构建起能源供应端、能源消费端、人为固碳端的“三端发力”体系。无论是哪一端，都离不开科技力量。

能源供应端，科技助力绿电越来越多——目前，中国的风电、光伏发电等绿色电力的装机容量位居世界第一，大到风机叶片的安装与检修、维护，小到光伏电池的升级迭代，科技进步让中国始终在全球新能源电力市场保有一席之地。

能源消费端，科技助力效率越来越高——碳中和不是不排放碳，而是要尽可能少排放碳，通过发挥科技的作用，提高资源利用效率，也对实现“双碳”目标大有裨益。当下，大数据、云计算、人工智能等科技手段，让中国许多工厂更加智能，也更加节能；智慧建筑不断涌现，路上的新能源车日渐增多，智能红绿灯等先进技术提高了通行效率，减少了能源消耗……

人为固碳端，科技助力手段越来越丰

富——近年来，中国人工林面积稳居世界第一，吸收了大量的二氧化碳，但在那些生态条件恶劣的地区，植树造林更需要科技的帮助。比如，在库布其沙漠，当地探索并已长期使用过水气植树法，如今植树队伍里又多了一架架无人机；除了吸收碳，中国也在不断探索碳捕集、碳封存技术，像齐鲁石化-胜利油田CCUS项目，为中国减污降碳、绿色发展提供了有益尝试、有力支撑。

刘发为

## 碳中和离不开科技助力

提到碳中和，除了关注人为排放和减排，地球系统本身的动态变化也应得到重视。这就需要我们搭建起“天空地一体化”观测系统，综合规划碳中和路径，充分利用卫星探测与地面探测相结合，这对于我们摸清“碳底数”、捕捉“碳足迹”大有帮助。这些无不需要科技进步的大力支持才能实现。

实现碳中和，绝非一朝一夕就能完成，需要久久为功，科技创新同样需要千

万次的坚持与尝试。无论是实现碳中和还是科技进步，都要有长远规划、系统考量。

在当前和可预见的未来，科技对于实现碳中和方面都在并将继续发挥举足轻重的作用。碳中和不仅是中国发展的方向，而且是世界各国转型发展的重大机遇。实现碳中和的技术不能等靠要，而是需要有自己的核心技术，我们要借助这一东风，切实推动中国的科技进步，让中国在相关领域拥有更多的核心竞争力，在为碳中和装上“中国芯”的同时，实现碳中和与中国科技进步的并驾齐驱。

品牌论