

## 加快构建CCUS零碳/负碳产业链

阅读提示

CCUS(二氧化碳捕集、利用与封存)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。经过多年努力,中国石化打造了化学法捕集、驱油-封存及检测、咸水层封存的试验测试平台,研发形成了二氧化碳捕集、管输、驱油、咸水层封存等全产业链技术,建立了包括捕集、输送、地质利用与封存、化学转化、碳足迹研究等多专业的一体化研究团队。目前,我国首个百万吨级CCUS全流程项目——齐鲁石化—胜利油田CCUS项目已全面建成投产,标志着我国CCUS技术和工程示范进入了一个新的阶段。在中国石化近日举办的科技创新未来发展论坛上,中国工程院院士李阳总结了中国石化CCUS技术进展,展望了我国CCUS技术与产业未来发展趋势。本版整理刊发,敬请关注。

本版文字由本报记者程强整理

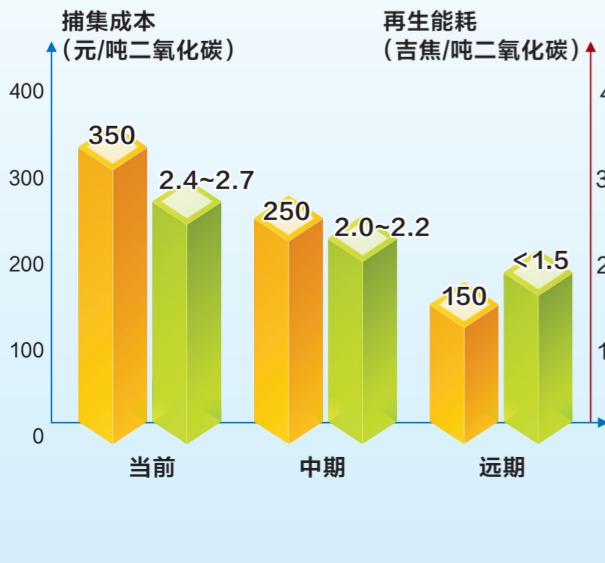
## 中国石化CCUS研究历程

- 早期研究阶段(1990~2007年):小规模化工分离提纯利用,开展提高采收率室内研究及单井试验。
- 技术储备研究阶段(2008~2019年):开展碳捕集和油田驱油利用新技术研究和试验。
- 技术研发及工程示范阶段(2020年至今):CCUS全技术链研发、全流程示范应用。

## 我国CCUS技术潜力



## 二氧化碳捕集成本和再生能耗规划



捕集

利用

封存



国内首套100万吨/年二氧化碳回收利用项目全景。曹业琦 摄

其中,燃煤电厂是我国主要的碳排放源,其特点是二氧化碳浓度低,约为14%,捕集难度大。中国石化开发了Ma-2复合吸收剂,以MEA(乙醇胺,常用作酸性气体,如二氧化碳的吸收剂,具有吸收速率快、价格低等特点)法为主,辅助活性胺、缓蚀剂、抗氧化剂等成分,同时研发了解吸溶液多梯级热能利用节能工艺,有效降低再生能耗和循环水用量。

利用中国石化燃煤电厂烟气二氧化碳捕集技术,示范工程二氧化碳捕集率>80%,二氧化碳纯度≥99.5%,再生能耗为2.4吉焦/吨二氧化碳。

可以相比较的是,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,再生能耗为3.0吉焦/吨二氧化碳;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,再生能耗为2.4吉焦/吨二氧化碳。

二氧化碳可以作为能源载体利用。作为能量输送的物理载体,二氧化碳可以用来开发地热资源,可以作为热力循环发动机的工质。作为化学利用载体,二氧化碳可用于燃料电池。

二氧化碳可以耦合转化利用,还可以多联产碳利用物质转化,构建低碳和零碳产业链。

中国石化南化院完成二氧化碳加氢合成甲醇的中试装置,实现甲醇单程收率>35%。与煤化工耦合后,能效提高10.5%,二氧化碳排放减少85%,甲醇产量增加124%。

中国石化二氧化碳驱油利用主要针对两种类型油藏:低渗透油藏和高含水油藏,都进行了大量的现场试验,并且都见到了好的效果。

近年来,新探明储量中,低渗透储量占到2/3以上,而低渗透油藏注水开发存在“水注不进、油采不出”难题。利用二氧化碳驱油,一方面,二氧化碳分子直径小于水分子,提高了注入能力;另一方面,通过高压注入,可以使二氧化碳与地下原油形成混相,扩大了波及体积,可提高采收率。

10~20个百分点。

华东油气在草舍低渗透油藏实施连续注气混相驱,从2005年7月开始,累计注入液体二氧化碳近18万吨,累计增油近8万吨,换油率2.25,已提高采收率10.2个百分点,预计最终提高采收率15.2个百分点。

我国东部油区经过几十年开采,普遍进入高含水阶段。室内试验发现,二氧化碳在超临界状态下具有亲水性,能够穿透水膜进入油中,油溶解二氧化碳后逐步膨胀,进而排驱水膜,导致水膜被突破。高含水油藏二氧化碳驱油技术在中原油田应用,收到提高采收率6个百分点以上的效果。

此外,二氧化碳还可以用来自前置压裂,助力我国陆相页岩油高效开发。矿场试验表明,济阳页岩油前置二氧化碳可以降低破裂压力9兆帕。超临界二氧化碳压裂制造的缝比滑溜水压裂制造的缝窄,因此更易诱发层理面剪切破坏,使人工裂缝转向,从而增加裂缝复杂程度。现场应用表明,裂缝复杂程度翻了一番多。



华东石油局员工操作压裂车向地层注入二氧化碳。周剑 摄

在二氧化碳地层利用和封存过程中,长期封存安全性是影响封存项目的核心问题。对此,中国石化形成了封存安全评价与监测技术。地质方面,可监测与评价断层的发育及封存安全性,储层、盖层的地质及岩石力学特征。工程方面,可监测与评价井筒完整性、应力变化、地面工程。整个封存可实现空中、地面、地下三个层次,气体、液体、固体三种介质,以及事前、事中、事后三个维度的全方位监测与评价。

目前,中国石化已形成包括油藏筛选评价、数值模拟与实时跟踪调整、化学辅助、注采工艺、防腐、产出气回收等技术在内的二氧化碳驱油利用与封存全流程技术体系。

特别是产出气回收方面,中国石化针对驱油过程中不同开发阶段采出气的规模和二氧化碳含量,形成了不同的产出气回收再注入利用模式,开发了变压吸附脱碳、低温液化精馏、直接增压回注等技术,研制了超临界压缩机等装备,具有流程简单、设备少、能耗低的特点,将产出的二氧化碳全部利用。



国内首口万吨级二氧化碳压裂吞沙堵漏井。沈志军 摄

产业

技术

输送

负碳产业链,助力“双碳”目标实现。

我国含油气盆地分布范围广,有多个油气藏及大量咸水层,具有万亿吨级的二氧化碳封存潜力,兼具良好的“源-汇”匹配性。通过“源-汇”优化,建设“驱油封存中心”,形成二氧化碳捕集、输送、利用、封存产业集群,可推动CCUS规模化、产业化、集群化、经济化发展。

二氧化碳地质封存可利用的地下空间类型多样,因此要进行地下空间的优化,开展安全性及降低成本的研究,攻关关键技术,推动产业发展。

二氧化碳捕集和利用有很多场景,应建立不同场景下的碳足迹评价模型,进行碳排放核算与核查,加快建设碳交易体系,实现碳利用的价值化。

当前阶段,应注重CCUS技术与产业发展生态建设,包括技术链创新、技术与产业融合、创新人才培养、完善政策法规、开展国际合作等,推动形成国家创新高地。

在CCUS全流程中,捕集成本占总成本的65%~70%,而目前捕集能耗高,成本高,因此要研发形成低能耗、低成本的捕集技术。二氧化碳浓度小于15%的低浓度排放源,碳排放量占总量的85%,因此,重点是研发新一代吸收剂,包括复合胺、离子液体、相变吸收剂等,以及膜分离和膜吸收等捕集技术。

目前使用的技术,再生能耗在2.4~2.7吉焦/吨二氧化碳。近年来,中国石化经过研发,形成基本成熟的新技术,再生能耗可以降低为2.0~2.2吉焦/吨二氧化碳,准备开展示范应用。同时,中国石化也着手研究再生能耗低于1.5吉焦/吨二氧化碳的CCUS技术体系。

CCUS技术的研发要突出捕集-转化一体化,加强技术的交叉融合,特别是化学转化与生物转化的融合,前者效率高,后者选择性好,二者融合可实现高品质液体燃料及化学品可持续绿色制造,这也是目前国际上的发展趋势。

2021年7月5日,中国石化正式启动建设我国首个百万吨级CCUS全流程项目——齐鲁石化—胜利油田CCUS项目。该项目是目前我国规模最大的CCUS全流程项目,也是石化行业零碳产业链构建示范项目,标志着我国CCUS技术和工程示范进入了一个新的阶段。该项目目前已全面建成投产。

该项目还建成了我国首条大规模二氧化碳输送管道,全长109公里,起自齐鲁石化首站,终至高青末站,后经支线输往各注入站。

此前,我国二氧化碳输送管道以小规模、气相输送为主。该管道规模达百万吨/年,输送超临界状态二氧化碳。二氧化碳要想保持超临界状态,压力须高于7.3兆帕,该管道设计压力12兆帕,实现高压常温密相输送。

中国石化研发了二氧化碳管道工艺动态仿真软件,建立了基于压力控制的管输工艺孪生仿真平台,研制了低温增压泵、40兆帕高压注入泵等首台(套)设备,实现二氧化碳从捕集端到注入井口“泵到泵”连续注入,极大提高了二氧化碳输送和注入效率及产能的利用,补齐了我国CCUS全链条规模发展的技术短板。

该示范工程动用储量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。