



江苏油田首座碳中和光电采油项目于扬州建成投产。视觉中国供图

CCUS可将二氧化碳从工业、能源生产等排放源或空气中捕集分离,并加以利用或输送到适宜场地封存,最终实现二氧化碳的减排。过去十年,我国在发展和部署CCUS方面取得显著进展,目前的在运商业和示范项目每年可捕集近300万吨的二氧化碳。

## 示范推进,中国“碳捕手”方兴未艾

◎本报记者 李禾

随着最后100吨二氧化碳注入,作为我国陆上建成的首个页岩油二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)示范区,位于甘肃省庆阳市庆城县三十里铺镇的长庆油田页岩油西233CCUS示范区第一阶段二氧化碳注入试验顺利完成。

长庆油田页岩油开发分公司发布的数据显示,目前长庆油田示范区已累计封存二氧化碳6.2万吨,相当于植树造林56万棵。在项目全周期内,预计可实现封存二氧化碳14.4万吨;采用的二氧化碳地层补能技术,可使油井产量提高3倍以上,预测最终采收率可达20%以上。

CCUS可将二氧化碳从工业、能源生产等排放源或空气中捕集分离,并加以利用或输送到适宜场地封存,最终实现二氧化碳的减排,是实现碳达峰碳中和的重要手段。

### CCUS仍处于工业示范阶段

根据国际能源署的预测,全球利用CCUS技术减排的规模将在2030年、2035年和2050年分别达到16亿吨、40亿吨和76亿吨,分别占2020年全球碳排放总量的4.7%、11.8%和22.4%。欧盟委员会发布的《净零工业法案》提出,到2050年,欧盟要实现5000万吨/年的碳封存能力。

中国21世纪议程管理中心和国际能源署联合发布的《中国CCUS与氢能耦合报告》指出,过去十年,我国在发展和部署CCUS方面取得显著进展,目前的在运商业和示范项目每年可捕集近300万吨的二氧化碳。

“随着CCUS技术的不断发展,国内CCUS示范项目已从2021年底的49个增长到2022年底的104个。”中国21世纪议程管理中心社会事业处处长张贤说。

目前在国内,中国石化集团、中国石油天然气集团有限公司、中国华能集团有限公司等均建有不同规模的CCUS示范项目,碳源主要集中在石油、电力、煤化工、化肥和水泥生产等领域。

2022年6月,科技部等九部门联合印发了《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》,提出以二氧化碳捕集和利用技术为重点,开展CCUS与工业过程的全流程深度耦合技术研发及示范;着眼长远加大

CCUS与清洁能源融合的工程技术研发,开展矿化封存、陆上和海洋地质封存技术研究。

目前,我国34个省级行政区中已有29个发布了与CCUS相关的政策,各地对CCUS的创新技术部署也在持续加码。不过,中国21世纪议程管理中心主任黄晶表示,现阶段全球CCUS技术区域发展不均,行业成熟度参差不齐,其减排潜力仍有待释放,总体捕集能力相比全球温控2℃的目标需求仍有较大差距。我国大部分CCUS技术仍处于工业示范阶段,关键技术亟待突破,大规模全链条技术体系尚待形成。

### 推动CCUS商业化、规模化发展

当前,CCUS产业化发展仍面临着诸多困难和挑战。黄晶说,未来CCUS产业想要进一步发展,还需要强化研发、降低成本、刺激需求,促进技术、市场、政策三大要素深度融合,实现CCUS商业化、规模化应用。

《中国CCUS与氢能耦合报告》指出,在煤炭资源丰富和具备二氧化碳封存条件地区,CCUS可为新增制氢产能提供可行、具有成本效益的选择。

除了高成本外,技术创新也是影响CCUS产业化发展的核心要素。中国石化集团董事长、中国工程院院士戴厚良倡议,各界应合力破解CCUS科学技术难题,形成以先进工艺、高端设备产品为载体的技术体系,重点攻关低浓度二氧化碳低成本捕集技术,加强二氧化碳地质利用、化工利用、生物利用技术的研发,构建我国二氧化碳规模化利用工业体系;打造3至5个百万吨级CCUS全产业链示范工程,推进千万吨级CCUS产业园区建设等。

此外,把CCUS纳入碳市场、碳金融将激发相关企业的绿色减碳主动性。“目前,全国碳市场的激励约束作用初步显现,有效促进了温室气体减排项目的发展,增强了重点排放单位‘排碳有成本、减碳有收益’的低碳发展意愿。”国家应对气候变化战略研究和国际合作中心副主任马爱民表示。

### 创新实践在多领域展开

自然资源部中国地质调查局于今年1月发布了中国海域二氧化碳地质封存潜力评价结果,中国海域二氧化碳地质封存潜力巨大,预测潜力达2.58万亿吨。中国地

质调查局局长李金发说,自然资源部将继续细化全国主要沉积盆地二氧化碳地质封存潜力评价,开展二氧化碳地质封存空间安全性评价,推广适应地质空间持续用于二氧化碳利用和封存技术,全力保障碳达峰碳中和目标如期实现。

海底封存是目前国际上最成熟的二氧化碳负排放技术之一。2022年,我国首个海上二氧化碳封存示范工程设备在青岛全部建造完成,布设在我国南海珠江口盆地的恩平15-1油田,预计今年6月份进行二氧化碳灌注。该项目是将海上油田伴生的二氧化碳分离和脱水后,回注至地下咸水层,永久封存于地层深处,预计每年可封存二氧化碳约30万吨,累计封存二氧化碳146万吨以上。

“在2030年碳达峰之前,我国肯定会有一批海底封存示范工程推进实施。估计到2035年左右,我国将形成一批规模化的海底封存商业项目。”我国海域二氧化碳地质封存潜力评价工作牵头负责人、中国地质调查局青岛海洋地质研究所研究员陈建文说。

除了海底封存示范工程推进实施外,我国首艘应用CCUS技术的新船项目也于近日落地。中国船舶集团有限公司旗下第七一研究所(以下简称七一一所)与山东海洋集团有限公司所属山东华宸融资租赁股份有限公司签署战略合作框架协议,双方将共同实施我国首艘新造船碳捕集系统试点工程。

针对船舶高碳减排率、低能耗和体积空间等应用需求,七一一所聚焦高效吸收、低能耗分离、高密度低温存储等技术,开发了船用CCUS系统样机,并完成试验验证。目前,七一一所已获得中国船级社(CCS)、法国船级社(BV)等颁发的原则性认可(AIP)证书,形成了具有自主知识产权的CCUS中国技术方案。

由福建龙净环保股份有限公司牵头研发,垃圾焚烧烟气胺法碳捕集国内首套工程示范项目在平湖垃圾焚烧发电厂开展。项目运行结果显示,在垃圾焚烧烟气二氧化碳含量约8%的条件下,系统二氧化碳捕集效率可达95%以上,每年可实现二氧化碳减排4.4万吨。

福建龙净环保股份有限公司首席研发总监庄焯说,该碳捕集工艺系统实现了烟气系统、有机胺吸收液循环系统、冷却换热系统高效集成,大幅减少系统占地面积,配套自主研发的烟气碳捕集高精度自动控制控制系统,可提高二氧化碳吸收效率和运行可靠性。“该CCUS技术示范工程的成功投运,为下一步常规污染物、二氧化碳均实现超低排放的‘双超低’提供了技术储备。”庄焯说。

## 国家能源集团不断攻关、持续探索

# 交出CCUS技术成果亮眼成绩单

◎本报记者 陆成宽

建成国内已投产最大规模的15万吨/年二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)示范项目及首套化学链矿化CCUS示范项目;研究开发了一批CCUS关键共性技术;国内在建最大规模的江苏泰州CCUS项目即将建成投产……近年来,国家能源集团持续开展CCUS关键技术攻关,交出了一份亮眼的成绩单。

4月14日,国家能源集团专题发布了该集团CCUS技术研究应用情况,集团新闻发言人黄清介绍,坚持问题导向,国家能源集团正在面向前沿科技,大力发展CCUS技术,并取得系列成果,力争解决制约煤炭、煤电发展的二氧化碳问题。

### 实现“双碳”目标的重要路径

当前,我国高度重视CCUS技术发展。在国家能源集团新能源技术研究院碳中和中心主任徐冬看来,CCUS技术是我国未来缓解减排压力、应对气候变化、深入贯彻可持续发展战略的重要抓手。

“我国的工业化历程较短,过去20年兴建的各类大型发电、钢铁、化工产业装置,仍处于初期运行状态,其正常服役期将

超过2050年,未来累计排放量巨大,需要通过CCUS技术进行末端处置实现零碳排放。同时,CCUS是在推进燃煤火电以及水泥、钢铁等难减排行业深度脱碳中,可供选择的为数不多的可行技术方案。所以,发展CCUS是战略性的选择。”徐冬说。

同时,徐冬认为,我国具有发展CCUS技术的天然优势。“我国地域辽阔、资源禀赋丰富、产业门类齐全、区域特征明显,可为CCUS技术与现有工业技术的深度融合创造绝佳机会,有利于充分发挥CCUS的减排潜力和对经济的拉动作用,从而实现高碳产业的低碳转型升级。”徐冬解释道。

2019年,科技部社会发展科技司和中国21世纪议程管理中心发布《中国碳捕集、利用与封存(CCUS)技术发展路线图研究》,预测CCUS技术有望在2030年后在构建形成的化石能源与可再生能源协同互补的多元供能体系中发挥重要作用,届时其利用封存能力将达到每年2000万吨二氧化碳,到2050年将达到每年8亿吨二氧化碳。

作为国家重点能源骨干企业,国家能源集团积极践行“能源供应压舱石,能源革命排头兵”企业使命,强化煤炭清洁高效开发利用,大力推进CCUS技术研发。

“为此,我们组建了低碳清洁能源研究院、新能源技术研究院、技术经济研究

院等研究机构,积极参与CCUS领域技术攻关,成功开发多项关键共性技术。”黄清说,通过产学研相结合,国家能源集团成功探索出多学科、多领域、多行业交叉管理的CCUS产业化发展模式。

### 将二氧化碳变废为宝

国家能源集团一直致力于变废为宝,将二氧化碳“用起来”。比如,2021年,该集团在国能锦界电厂建成国内已投产最大规模的15万吨/年CCUS示范项目,可日捕集二氧化碳450吨。

“一天捕集的二氧化碳转换成液体的话,可装满90万瓶500毫升的塑料瓶。年捕集二氧化碳15万吨,相当于每年植树11万亩,可装满3亿瓶500毫升塑料瓶。”徐冬说,这一项目安全运行600天以来,已连续生产出纯度99.5%的工业级合格液态二氧化碳产品。这些产品主要用于油田开采和制备小苏打、碳酸二甲酯等化工产品。

2022年底,国家能源集团又在国电电力大同公司建成了国内首套化学链矿化CCUS技术示范项目。“这个项目可以实现以工业尾气中的二氧化碳和含钙的工业固废如电石渣、钢渣等为原料,通过构建化学链矿化反应,得到具有经济价值的微米级碳酸钙产品,年产微米级

碳酸钙可达2300吨。”黄清说,这些碳酸钙可广泛应用于造纸、橡胶、医药等行业。

事实上,国家能源集团的CCUS技术研发之路并非一帆风顺,遇到技术难题是常有的事。

“比如,大型碳捕集塔设备在工程放大的过程中,我们就遇到了传质效率下降的问题。为此,我们和清华大学联合开发了低压降、高传质效率的小齿顶角填料等。”徐冬介绍。

与此同时,针对目前碳捕集吸收剂普遍存在能耗高的问题,企业借助自身实验室的平台优势,联合浙江大学完成了新一代高容量、低能耗、长寿命三元复配吸收剂的开发。

“通过一系列联合攻关,我们在碳捕集关键材料、设备及工艺方面取得不少突破,大幅提高了CCUS技术自主创新水平、技术支持服务和产业承载能力。”徐冬说。

黄清表示,下一步国家能源集团将继续全面开展CCUS关键核心技术和前沿技术布局,持续研发低能耗低成本的二氧化碳吸收剂,探索吸附法/膜法碳捕集技术、设备放大和性能改进方法,开展先进二氧化碳捕集工艺、过程强化途径、系统优化配置方案,规划筹建两百万吨级燃煤电厂CCUS关键技术开发及示范项目。

## 环保时空

### 智慧“水管家” 推动长江沿岸城市“去污清浊”

◎本报记者 何亮

雨季来临,安徽省六安市龙井沟路上的行人却比往年多了一份从容。曾经,路面下的排水管网雨污混流,汛期过水量大时,路面积水严重。如今,通过雨污分流改造,让龙井沟路不再“内涝”。周围居民笑道:“下雨天再也不用踮脚跳了。”

这样的改变源于“水管家”的到来。去年9月,由三峡集团牵头建设的六安“智慧水管家调度平台”正式上线,可对六安市所有涉水基础设施进行集约化管理。今年4月21日至22日,为全面贯彻党中央大兴调查研究决策部署,科技日报记者跟随三峡集团来到安徽六安,探究三峡集团如何借助“水管家”模式,推动长江大保护“去污清浊”。

### “大脑”聪颖“身手”敏捷

“水管家”管水,非头痛医头、脚痛医脚,而是采取系统治理的方法,以管网为重点,对城市涉水系统及附属设施进行全周期统一运营、统一管理、统一调度。

雨季,城市最怕内涝。很多城市无法做到雨污分流,相对干净的雨水在流入管道后与污水混流,受污染的水量就会迅速增加,从而给污水处理厂造成较大压力,因此精准调控进入污水处理厂的管道流量成为关键。

三峡集团牵头研发“智慧水管家调度平台”,可对六安所有涉水设施进行集中监视、远程控制和一体化调度。基于涉水资产全域一体化的布局,以及智能传感、监测等信息化技术的赋能,使运筹帷幄的调度成为可能。

“水管家”不仅“大脑”聪颖,还“身手”敏捷。在六安的街头小巷,一个浑身长满“触角”的银色灯架定时“出没”,给道路下方的排水管网做“微创手术”。

城市排水管网,肩负着城市污水、雨水排放等重要功能,是城市“地下生命线”。但由于年久失修导致管道出现老化、破损、腐蚀、渗漏等问题,成为城镇排水系统的短板弱项。

借助“水管家”的监测功能,工作人员采用紫外光固化修复技术对老化破损管道实施“微创手术”,将浸渍了光敏性树脂的软管拖入待修复的管道内,再向软管内注入压缩空气,使软管紧贴管道内壁,最后放入紫外光架照射,使树脂在管道内部固化,形成一段高强度内衬管。施工结束后,管道滴水不漏,路面干净整洁。

只需借用管道两端的检查井,就能在破损的管网内“做”一根新管,不用开挖路面,一天内可完成大约100米的修复施工。六安水管家公司集控中心主任赵高利介绍,尤其是直线型管网,很适合采用这种修复方式。

### 正在长江沿线复制推广

均河是六安市的一条市内河道。这里碧波荡漾、风光旖旎,不时有市民沿着河道散步。可曾经市民们最不愿意来的就是这里。“之前这里就是一条收集污水的排洪沟,隔老远就能闻见臭味,现在大变样了,水清了,风景也好了。”长江生态环保集团有限公司安徽区域公司执行总经理黄荣敬说。

自从来了“水管家”,六安的污水处理能力得到扩容增效,包括均河在内的14条黑臭水体通过了生态环境部等相关部委的专项核查,合格率100%。空气清新、水清岸绿,当地居民享受到了实实在在的“绿色”福利。

从城镇生活污水治理切入的“水管家”,不断追溯治污源头,通过雨污管网的诊断、修复,构建起覆盖全城污水流通的“高速网络”,力争实现污水的100%收集、治理。

在湖南岳阳,传统管理模式下的雨水、污水、河流水、湖泊水、水库水均由不同单位负责调度,缺乏统一管理主体。

两年前,“水管家”一期平台在岳阳东江湖上线,蓝色大屏幕上,以东江湖片区为试点,水务资产、管网现状、实时监控、调度情况等尽收眼底,可实现区域内一体化管理。

“水管家”将从水源地到水厂的原水输送、水厂到用水端的自来水供应、用水端到污水厂的污水收集处理,以及处理达标后的尾水排放、河湖生态治理、城市防洪排涝等,纳入全过程全周期管控。“长江生态环保集团有限公司湖南区域公司副总经理李智林解释,“如此,岳阳城里的‘每一滴水’,便都在‘水管家’的监管范围内。”

这样的景象,在长江沿岸的九江、芜湖、武汉等城市正在不断复制、上演。黄荣敬介绍,目前,长江生态环保集团有限公司与23座城市签订“水管家”合作协议,在6座城市正式成立“水管家”城市公司,开展实质性运作。

“水管家”是推动生态环境治理体系和治理能力现代化的有益探索,能够解决水环境治理的痛点和难点问题,实现可持续发展。“长江生态环保集团有限公司董事长王殿常说。

“目前,这一模式已经具备了可推广的客观条件,具有很强的系统性和适用性。”王殿常告诉科技日报记者,在复制推广“水管家”模式的过程中,要把新技术和首台套设备的应用作为重要抓手,依靠科技创新推进水环境治理,推动长江生态环境保护和长江经济带高质量发展。



图为工作人员通过“水管家”监测数据信息。

本报记者 周海博