

# 把二氧化碳“锁”回深海

■ 李婕

中国海油近期宣布,中国首个海上二氧化碳封存示范项目——恩平15-1油田碳封存项目累计封存二氧化碳突破1亿立方米。

这是什么概念?据测算,减少的碳排放量相当于植树220万棵,也标志着中国海上二氧化碳封存技术、装备和工程能力已臻成熟。“十四五”以来,中国加速推进海上二氧化碳封存与利用,系列示范项目加速落地,打开绿色发展空间。

## 既实现二氧化碳封存,又驱动原油增产

在海底数千米深的地下岩层中,蕴藏着丰富的油气资源,也潜藏着大量二氧化碳。

恩平15-1油田作为中国南海东部首个高含二氧化碳的油田,若按常规模式开发,二氧化碳将随原油一起被采出地面,不仅对海上平台设施和海底管线造成腐蚀,还将逸散至大气,增加二氧化碳排放量。

今年5月,中国首个海上CCUS(二氧化碳捕集、利用与封存)项目在该油田平台投用。

什么是碳捕集、利用与封存技术?据了解,碳捕集技术是指从排放源捕获二氧化碳并进行收集、压缩的过程;碳利用技术是指通过工程技术手段将捕集的二氧化碳实现资源化利用;碳封存技术是指将捕集的二氧化碳注入于特定地质构造中,实现与大气长期隔绝的技术过程。

中国海油将CCUS示范工程建设确定为“十四五”节能降碳行动的主要举措之一,历时4年开展地质油藏、钻完井、工程一体化等重点课题研究,形成10余项国内首创技术。“推进CCUS示范工程是响应国家碳达峰碳中和目标的要求。”中国海油有关负责人说。

实现过程分两步走:第一步,碳捕集与封存。2023年6月,中国海油率先推动我国海上首个二氧化碳捕集与封存项目投用,实现将产出的油气流中的二氧化碳进行分离、脱水干燥、压缩,然后通过回注井高压注入油田浅部水层中,年二氧化碳封存量超4000万立方米。

第二步,向碳捕集、利用与封存升级。今年5月项目新增二氧化碳利用项目投用,通过将油田开发伴生的二氧化碳加压至超临界状态,精准注入地下油藏,驱动原油增产,开创“以碳驱油、以油固碳”的海洋能源循环利用新模式。

“该项目的成功投用,实现了我国海上二氧化碳捕集、利用、封存装备技术的全链条升级。”中国海油恩平油田作业区总经理万年辉说,项目通过技术手段既驱动原油增产,又实现二氧化碳封存,未来10年将规模化回注二氧化碳超100万吨,并驱动原油增产达20万吨。

据介绍,项目自正式投运以来,已持续安全运行超1.5万小时,高峰日注气量达到21万立方米,以“生态保护与能源开发利用协同推进”的创新模式,为我国海洋油气田绿色低碳开发提供可复制、可推广



位于南海珠江口盆地的中国首个海上二氧化碳捕集、利用与封存项目恩平15-1平台。■ 中国海油供图

的新路径。

## 构建成套工程装备体系,设备国产化率达100%

在茫茫大海,既要采油,又要捕碳,具体是如何实现的?换句话说,如何将开采油气时逸散的二氧化碳“锁”回深海?又如何让其成为提升油田效率的“催化剂”?

据介绍,近年来,我国通过持续攻关技术瓶颈、优化运营管理,已形成一套完整规范的标准操作流程,为我国海上碳封存技术规模化应用提供了重要的实践经验和数据支撑。

恩平15-1油田二氧化碳捕集、利用与封存项目距离深圳西南约200公里,作业水深约90米。同时,油田所在区域发育了多套厚度大、物性好、展布连续的“咸水层”,为封存提供了最佳“储集空间”。

但为了更有效地利用这些二氧化碳,科技人员开展另一项尝试——用二氧化碳“驱油”。将高压二氧化碳打入海底地层,将地下的油“驱赶”到地下井口附近,溶解在原油中的二氧化碳还能使原油流动性更强,从而让更多的原油能够被开采出来。

项目通过“捕集—提纯—加压—注入”全链条技术,将油田开发伴生的二氧化碳转化为超临界状态,以每小时8吨的速度注入地下1200米~1600米的油藏,既提升原油采收率,又实现二氧化碳永久封存。

为实现精准、高效注气驱油,恩平15-1平台在原有的设备基础上,自主研发、增设二氧化碳压缩机、气体处理及冷却系统等装备。同时新增一套气体处理及冷却系统,实现气液分离、杂质过滤、回注温度精准控制等功能,充分保障回

注气体质量。

如今,项目所在的恩平15-1平台是亚洲最大的海上原油钻采平台,集成了钻井、无人化远程操控、自主发电与电力组网、油气水综合处理等众多功能模块。构建的国内海上首套二氧化碳捕集、利用与封存成套工程装备体系,设备国产化率达100%。

在恩平15-1平台下方,一口深达3243米的二氧化碳捕集、利用与封存井承担着二氧化碳回注的核心任务。“我们在狭窄井筒内集成了自主研发的测控一体化系统,可实时监测各层位注气量和气密性,确保二氧化碳‘听从指挥’,既不逃逸也不串层。”中国海油深圳分公司恩平区域钻完井项目工作人员介绍,通过地下油藏精细描述,创新应用海上首个智能液控分层注气工艺,项目实现对地下不同注气层位的精准注气。

为了更细致地掌握井下情况,技术人员在油管外壁敷设了数千米的光纤,这些光纤就像井筒的神经末梢,能够将井下每米的温度变化、流量波动等信息实时传送到平台中控室。

“项目的成功投用为海上原油生产注入动力,并为后续油气田开发以及沿海企业的大规模减排开放提供了‘技术模板’。”项目相关负责人说。

## 形成完整且具有国际竞争力的海上CCUS产业链

海洋作为碳循环的重要载体,正成为二氧化碳治理的关键场景。

另一方面,海洋作为碳封存的“天然宝库”,因远离人口密集区、封存容量大,正成为全球二氧化碳捕集、利用与封存技术的“蓝海”。

据了解,目前全球二氧化碳捕集、利用与封存商业化项目大都集中在陆上,

海上项目较少。这背后是作业难度、成本等方面显著差异。

“十四五”以来,中国加速推进海上二氧化碳封存与利用。系列示范项目加速落地,推动海洋碳封存从试验走向规模化应用。

在渤海,渤中26-6油田二氧化碳捕集利用示范工程于今年2月投产,全生命周期预计埋存二氧化碳150万吨。在珠江口,白云气田群7个气田的二氧化碳回收项目于2024年8月在珠海投运,年生产食品级液态二氧化碳20万吨,实现资源循环利用。此外,惠州32-5平台伴生气回收脱碳项目每年可回收伴生气超500万立方米。

据了解,中国海域地壳稳定性好、沉积盆地分布广、地层厚度大、构造地层圈闭多,二氧化碳地质封存潜力巨大。相关数据显示,我国海域二氧化碳封存潜力达2.58万亿吨,为规模化应用提供广阔空间。随着技术迭代和政策支持,我国海上二氧化碳捕集、利用与封存产业正从单点示范走向集群化发展。

目前,中国海油已在广东惠州启动中国首个千万吨级碳捕集与封存集群项目,将精准捕集大湾区各企业排放的二氧化碳,输送至珠江口盆地海域进行封存,形成完整且具有国际竞争力的海上CCUS产业链。

同时,充分挖掘二氧化碳在提高油气采收率方面的巨大潜力,中国海油计划以渤中19-6气田为中心打造北方二氧化碳驱油中心,依托南海万亿方大气区建设南方二氧化碳驱气中心。

“CCUS技术的稳步发展,将为我国实现‘双碳’目标提供技术支撑,推动能源行业向绿色、低碳、可持续方向转型升级,并为全球气候治理贡献中国方案和中国力量。”中国海油深圳分公司生产部经理吴意明说。

# 40载守护,我国普氏野马种群从濒危走向壮大

普氏野马是国家一级保护动物、全球濒危大型野生动物,珍稀程度堪比大熊猫。

普氏野马原产于我国新疆准噶尔盆地和蒙古国干旱荒漠草原地带,由于气候变化、人为干扰、栖息地碎片化等原因,曾一度消失于中国荒野。

1985年,我国启动实施“野马返乡”计划,并在新疆、甘肃建立繁殖基地。

新疆卡拉麦里山有蹄类野生动物自然保护区(以下简称“卡山保护区”)是国内最大的普氏野马保护基地。众多专家学者四十年如一日,扎根荒漠腹地,从零开始进行科学研究,充分运用先进技术手段,助力普氏野马种群恢复。同时,新疆加快推进普氏野马种群扩繁和扩大放归试验,与甘肃、宁夏、内蒙古等地进行跨区域合作,合力推进普氏野马保护。目前,我国普氏野马种群数量已突破900匹,占全球总量的1/3。

## 科技助力种群恢复

在天山脚下的昭苏湿地公园,成群的

马匹在平缓的河水中奔跑。与这些常见的家马相比,普氏野马喜欢离群索居,在外形和基因上,二者均有区别。

新疆野马繁殖研究中心工程师薛剑楠介绍道,普氏野马头大颈粗、全身呈土黄色,耳短小而圆,无长鬃毛,鬃毛短而直立,背部中央有一条黑褐色脊线。

普氏野马有66条染色体,比家马多出两条。作为地球上唯一现存的野生马种,普氏野马仍保留着6000万年前的原始基因图谱,被称为“生物基因的活化石”,对生态链修复意义重大。

2024年起,新疆野马繁殖研究中心开始探索利用新技术强化野马分群和繁殖管理,并与新疆师范大学教授张永军团队制定合作计划,对圈舍、动物园及保护区的普氏野马进行组织采集,开展基因组测序,建立精确的DNA分子谱系数据库。

“分子水平的DNA检测技术,让我们能通过一撮毛,一粒粪精准识别野马基因,有效避免近亲繁殖。”新疆野马繁殖研究中心高级工程师张赫凡说。

新疆野马繁殖研究中心负责人杨建明介绍,随着科技进步,保护区不断应用新技术、新设备,有效提升了保护管理效能。

卡山保护区目前已构建了包括重载云台、无人机、卫星定位项圈以及红外相机在内的“天空地一体化”监测网络,实现了对普氏野马种群24小时全天候追踪,使研究人员能够精准地掌握其活动轨迹和健康状况。

在科技助力下,截至2024年底,普氏野马在新疆已成功繁殖6代,数量达546匹。

## 分布区域不断扩大

2001年8月28日,卡拉麦里山北部,27匹普氏野马告别围栏,冲向旷野。放归的野马群在卡山保护区经历了严寒、饥饿、缺水、天敌等重重考验,逐渐适应周围环境,并于2003年4月在野外顺利产驹。

这是我国首次进行普氏野马野化放归。在此后的20多年里,18批146匹普氏野马从卡拉麦里山放归,在准噶尔盆地形成28个野外种群。

普氏野马保护区的分布范围也在不断扩大。

近年来,新疆已成功向甘肃、宁夏、内蒙古三地输送普氏野马37匹,这些野马在迁入地顺利适应环境并成功繁育后代。

甘肃濒危动物保护中心自1987年起

从国外引进普氏野马进行繁育保护,并于2010年、2012年、2023年及2024年分4批将80匹普氏野马成功野化放归至甘肃敦煌西湖国家级自然保护区。为提升野马种群基因多样性,甘肃濒危动物保护中心还从新疆引进了7匹普氏野马。

今年,宁夏贺兰山国家级自然保护区频传好消息:短短几个月,多匹“贺兰山籍”小马驹相继降生。据了解,贺兰山的地形、植被和气候条件与普氏野马在新疆的生活环境相似,近年来通过持续生态修复,当地为野马提供了优质栖息地。2024年12月以来,宁夏先后从新疆引入3批次18匹普氏野马,经过适应性训练后全部放归野外,目前放归种群规模增至23匹。

杨建明认为,普氏野马在新的环境中成长繁育,有助于维持物种基因多样性,避免单一群体因近亲繁殖导致的遗传衰退。同时,种群扩繁可重建荒漠草原生态系统物种完整性,帮助恢复区域生态平衡,促进生物多样性,实现普氏野马区域化保护协同目标。

“普氏野马保护是一项长期事业,未来应加强跨区域合作、优化种群遗传管理、加大栖息地保护修复力度、深化保护教育。”北京林业大学教授胡德夫说。

梁乐

■ 武卫政

各地情况不同,建设“无废城市”也需因地制宜,但认准了,就要坚定不移干下去,直到干出成效、达到既定目标。

既能回收再生资源,也能供社区居民休息,还能应急供电,在天津港保税区,由中资源循环集团有限公司旗下企业打造的首批20个“资源驿站”前不久建成投运。这些“神奇小屋”,集“资源循环+社区服务+微能网”多功能于一体,有利于畅通城市废弃物前端回收渠道,为打造“无废城市”提供助力。

变废为宝,循环生金。近年来,各地积极探索具有地方特色的“无废城市”建设经验模式。“无废”并不是说不产生或者是杜绝固体废物,而是一种理念,旨在持续推进固体废物源头减量和资源化再利用。“无废城市”建设,蕴含推动绿色发展的内核。

推动绿色发展,应善于打通堵点,找到“资源变资产”的路径。我们常说,垃圾是放错位置的资源。问题在于,如何在实践中真正实现资源化再利用?

可以靠技术创新。山东烟台冰轮环保科技有限公司,将废气中的二氧化碳捕集率提升至97%以上,产出的高纯度二氧化碳可用在食品等领域。

将废物转化为资源,将消耗提升为增值,依靠创新实现“点废成金”,不仅能实现资源高效利用,还能为企业开辟新的增长空间。

也可以靠场景创新。在重庆贝思远新能源有限公司,经过电池健康程度测试、拆解、再制造等环节,废旧动力电池能被加工成符合标准的各类电池包,运用在通信基站、智能路灯等场景。“边角料”看似无用,换个应用场景,可能就是实用的“宝贝”。

从技术到场景,以物尽其用为导向,以持续创新为支点,就能让更多闲置的、低效的资源,发挥出更高价值、创造更大效益。

推动绿色发展,既需要通过创新开路,也需要强化制度政策的支撑作用。广东深圳制定再生资源回收网点建设指引,鼓励回收企业高标准建设、改造一批再生资源分拣中心和回收中转站,让再生资源“收得到、收得了、处理得好”。用好制度政策,能有效激发市场活力,让资源循环利用从政府推动向市场驱动转变。

事实上,制度政策不仅能发挥保障作用,也能起到引导效果。上海出台《上海市无废城市建设条例》,引导更多人参与“无废生活”,生活垃圾分类达标率稳定在95%以上,回收利用率达43%。用好制度政策,可以引导更多人认同绿色化、践行绿色低碳生活方式。

推动绿色发展,还需加强协同。行政有界限,但生态环境治理不能仅靠单打独斗。就拿建筑垃圾处理来说,一地管得严,另一地管得松,就可能出现异地倾倒的问题。从建设全域“无废城市”,到跨区域共建共治,坚持系统思维,注重部门协同、区域协同、政策协同,“无废城市”建设水平才能不断踏上新台阶。

各地情况不同,建设“无废城市”也需因地制宜,但认准了,就要坚定不移干下去,直到干出成效、达到既定目标。加大创新力度,用好制度政策,注重加强协同,就能把建设“无废城市”的过程,变成培育和壮大绿色生产力、提升群众获得感的过程。

## 《全球矿业发展报告2025》发布

科学导报讯 10月24日,在2025(第二十七届)中国国际矿业大会“一带一路”地学合作与矿业投资论坛上,自然资源部中国地质调查局国际矿业研究中心发布了《全球矿业发展报告2025》(以下简称《报告》)。《报告》全景展示了2024年以来的全球矿业发展态势,是我国研究机构持续服务全球矿业高质量发展的品牌成果之一。

《报告》显示,在世界经济“低常态”增长背景下,全球矿业产业链重构加深,供需结构性矛盾不断加剧,而科技创新、全球治理和绿色可持续又为矿业高质量发展注入新动能。全球矿业向绿色化、智能化、全产业链整合等趋势加速转型。

《报告》预计,随着新能源等矿产需求持续扩大,矿业领域大博弈将进一步深化,韧性导向将取代效率至上。科技创新驱动下全球矿业发展范式革新,推动全球矿业从“劳动密集型”蜕变“数据驱动、智能主导、绿色可持续”的技术密集型产业。百年变局将重塑全球资源治理合作格局,治理主体将更加多元,治理规则将加速演进,治理效能将大幅提升。《报告》呼吁,各国应加强关键矿产领域互利合作,共同维护产业链供应链稳定畅通,携手构建矿业命运共同体,破解全球资源困境,实现可持续发展,为世界经济增长贡献力量。

邵康

## 北京花园城市研究中心挂牌成立

科学导报讯 10月23日,北京花园城市研究中心挂牌成立,该中心将针对首都花园城市建设的重大理论与实践问题开展系统性研究。

北京花园城市研究中心是由背景市园林绿化局、市委党校(北京行政学院)发起,联合市发改委、市规自委、市生态环境局、市水务局、市农业农村局共同成立的理论研究平台,重点围绕花园城市建设面临的重大理论和实践问题,系统开展研究与创新。该中心还同时邀请了园林绿化、环境保护、节能环保等花园城市建设核心领域的高校学者、行业领军人才及实务部门专家共同参与研究,旨在打造集教学、科研、决策咨询三位一体的高水平创新平台。

市委党校相关负责人介绍,中心将对花园城市建设进行体系化研究和学理化阐释,探索“花园城市”的科学内涵、理论体系、评价标准和建设规律,补齐系统性研究缺失的短板。同时,中心还将围绕北京花园城市建设关键产业的需求,对接相关领域的企业,建立常态化合作机制,推动企业参与科研项目攻关、实践案例开发、技术成果转化等工作。

朱松梅