

打造“诺亚方舟”，驶向理想中的“零碳未来”

深瞳工作室出品

采写：本报记者 崔爽
策划：刘恕 李坤

“我们是拎着板砖去答辩的。”北京科技大学能源与环境学院、碳中和研究院教授苏伟接受采访时说。

他手里的“板砖”来头不小，“我们每分钟呼出的二氧化碳可以固定在这块砖里”。

苏伟团队被称作“老师队伍里的工程师”。过去一年，他们深入产业一线，用技术把钢铁生产过程中产生的二氧化碳和钢渣结合，做成板砖，变废为宝。

除了苏伟的这个叫作“钢渣选择性调控碳化及资源化一体化技术”的项目，用合成生物技术培养细菌去“吃”二氧化碳、用绿电电解二氧化碳制成绿色航空燃料等项目也参加了“碳寻计划”的角逐。

近日，“碳寻计划”公布终选名单，13个项目从300多个项目中脱颖而出，共获得亿元级资金和资源支持。

“碳寻计划”是由腾讯发起的碳捕集、利用与封存(CCUS)技术资助计划，旨在寻找该领域最前沿技术，帮助其落地工业场景。这些得到支持的项目将进入商业示范阶段，向更大规模、更低成本、更高效能进发。

“国内CCUS技术发展仍处于从研发到工业示范阶段，每种技术路线距离实现规模化、商业化应用都还有较大差距。”中国21世纪议程管理中心全球环境处(气候变化国际合作处)处长张贤直言，“CCUS对于碳中和目标的实现不可或缺，我们必须拥有充足的技术储备和商业化经验，来打造一艘‘诺亚方舟’，载着人类驶向一个理想中的‘零碳未来’。”

“沸腾时代”的“碳捕手”

气候变化正对全球产生持续而深刻的影响。

截至今年6月，全球平均气温已连续12个月比工业化前水平高出1.5℃，创下有记录以来的最高温。

去年7月，联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯就发出警告：全球变暖时代已经结束，全球“沸腾时代”已经到来。

应对全球气候变化，没有人可以置身事外。2022年举办的《联合国气候变化框架公约》第二十七次缔约方大会通过了“沙姆沙伊赫实施计划”，重申了《巴黎协定》“将全球平均气温较工业化前水平上升幅度控制在2℃以内”的长期目标，再次敦促各国逐步减少未加装减排设施的煤电。

根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次气候变化评估报告，要实现这一目标，当前全球二氧化碳排放预算到本世纪末仅剩约1.15亿吨，而2010—2019年间全球二氧化碳排放量约占这一预算的三分之一。在全球变暖不断加剧的情况下，即使做到完全不排放，为了减碳，也需要把之前排放的二氧化碳捕捉回来。

“CCUS是一项‘兜底’技术。”张贤表示，在不可能完全放弃化石能源的前提下，CCUS技术作为碳中和技术体系中不可或缺的组成部分，是实现《巴黎协定》温控目标的关键技术手段和托底技术保障。

这是一项被定义了两次的技术：2011年，科技部发布《中国碳捕集、利用与封存(CCUS)技术发展路线图研究》(以下简称《路线图》)，把CCUS技术定义为“应对气候变化的战略储备技术”；2019年，科技部更新发布《中国碳捕集利用与封存技术发展路线图(2019版)》，将CCUS技术重新定义为“可实现化石能源大规模低碳利用的战略储备技术”。

事实上，CCUS技术体系是相关技术的集合，涵盖二氧化碳捕集、运输、利用以及地质

封存等各项技术。随着技术不断推陈出新，这一技术体系正在逐步完善和丰富，有望为钢铁水泥等难减排行业深度脱碳提供可行技术方案，成为未来支撑碳循环利用的主要技术手段。

据不完全统计，截至2023年底，我国已投运和规划建设中的CCUS示范项目已超过100个，其中已投运项目超过半数，具备二氧化碳捕集能力约600万吨/年，注入能力约400万吨/年。

“从技术上讲，无论是技术成熟度还是技术先进程度，我们跟欧美都是并跑的，整体处于工业化示范阶段，但在数量和规模上欧美更胜一筹。”张贤说。

同时，他表示，CCUS不同技术环节的成熟度也有较大差异。以二氧化碳捕集为例，空气直接捕集技术处于实验室研发阶段，电厂点源排放的二氧化碳捕集技术已达到工业示范阶段。而二氧化碳利用技术的成熟度较高。

跨过CCUS“死亡之谷”

记者在北京科技大学“百年矿业史传承基地”矿石展厅看到，各式各样的石头摆放在其中，既有我们常见的大理石、花岗岩，也有形态各异、璀璨耀眼的珍稀宝石。这些矿石陈列中，有一块另类的“砖”，是由钢铁生产过程中产生的“二废”——二氧化碳和钢渣结合制成的。

全世界每年生产18亿吨钢铁，其中我国生产了超10亿吨，如何处理废气、废料等“副产品”，是一个无法回避的问题。

“孩子活泼不是孩子的错，要找到合适的培养方案。”苏伟开玩笑说，他口中的“活泼孩子”就是钢渣中的不安定组分。

苏伟团队把钢渣磨成粉，再把从工业废气中二氧化碳捕集下来固定在粉末中，模拟天然矿物成岩的过程，将钢渣和二氧化碳结合形成碳化微粉、碳化材料，制成质地更加坚硬的建筑材料，用来铺路、盖房、填充矿井，甚至制成工艺品，解决了钢渣资源化利用过程中的安定性难题，同时又固定了二氧化碳。

不过，要让成果从实验室走到生产线，中间横亘着让九成技术折戟沉沙的“死亡之谷”。苏伟谈到，在实验室里，大家关注的是碳化时间、二氧化碳深度调控等核心工艺指标的突破，而到了工业场景，“人、机、料、风、水、电”一系列问题接踵而至。比如，固碳的砖和普通砖一样耐用吗？它是否足够抗压？这些问号都需要高额的试错成本来拉直。

这不光是苏伟团队面临的问题，而是CCUS领域众多创新技术团队面临的共同难题。CCUS技术在从科研试验走向大规模应用的过程中，面临着风险大、成本高、建设周期长、基础数据缺失等一系列挑战，急需资金、技术等方面的支持，以加速规模化落地。

“事实上，许多新兴CCUS技术在国际上仍处于研发阶段，技术前景尚不明朗。”张贤并不讳言，由于CCUS成本高，存在多种技术路线，再加上减排技术本身也需耗能，当前行业对CCUS的价值认知并不统一。

但在腾讯可持续社会价值副总裁许浩看来，之所以在尚存争议时就下决心资助CCUS，一方面，根据国际能源署测算，2050年全球能源系统如果要达到零排放，CCUS的减排量需要达到8%，而目前这个数字只有0.13%。“只有从今天开始做，到2050、2060年这些技术才能成熟到以足够的成本实现规模化。”许浩说。

另一方面，CCUS技术发展处于早期，缺乏

资金支持，就意味着技术从实验室落地工业场景的过程面临巨大的失败风险。

然而，这正是社会资本可以“补位”的地方。作为中国CCUS领域首个由科技企业发起的亿元级资助计划，“碳寻计划”通过灵活的催化性资本，连接研发端和产业端力量，帮助CCUS技术跨过“死亡之谷”。

“评审委员会既有专家，也有产业界和投资界合作伙伴，技术方、应用方和投资方在一起，才能更好地考虑应用场景和未来的商业模式，助推技术走出实验室，加快技术场景落地。”许浩说。

除了资金支持，“碳寻计划”还给苏伟团队与河钢集团“牵线”。这如同一剂催化剂，点燃了团队的热情。

“我们原先设想的是‘百吨碳、千吨渣、万棵数’，也就是捕集100吨二氧化碳，利用1000吨钢渣，相当于种植1万棵树。”苏伟说，现在有了资助，有了众多合作伙伴的紧密合作，产生了意想不到的倍增效应。“我们设想的数字扩大了10倍，今年年底将建成‘千吨碳、万吨渣、十万棵树’的示范项目。”

为产业化“铺路”

针对不同阶段与类别的项目，“碳寻计划”开放试点支持、初创孵化、能力建设三大创新赛道。

试点支持主要聚焦前沿技术的工业场景示范项目，初创孵化偏向于加速有正向经济性的早期创业项目的商业孵化，能力建设则支持构建行业基础能力、数据和标准，如数据库、固碳效益监测工具、数字化能力等，推动前沿技术走向规模化应用。

张贤眼里，入选项目“各有各的故事，让人眼前一亮”。

“碳寻计划”试点支持赛道的技术主要覆盖钢铁和电力两大减排重点领域。“以前企业用的化石燃料越多，那么竞争力就越强，现在是谁能把二氧化碳‘抓’起来，谁就赢得了竞争力。”河钢集团可持续发展研究中心主任、首席研究员田京雷说。

“河钢集团在2021年布局CCUS技术时，因为技术还不成熟，并没有大的投入计划。”田京雷回忆，“如果只有我们自己，可能不会走得这么快，‘碳寻计划’给我们的不仅仅是经费的支持，更坚定了我们要把CCUS技术产业化的信心。”

初创孵化赛道里，终选项目聚焦二氧化碳利用领域。这些技术用十八般武艺让二氧化碳上演“变形记”，让它变成低成本的衣服、食品、燃料等。天津费曼动力科技有限公司用绿电电解二氧化碳，制成便宜的绿色航空燃油(SAF)，而SAF是一个国际性的千亿级市场；南京食气生化科技公司利用微生物编辑技术，让细菌去“吃”二氧化碳形成乙醇后，做成衣服或者食品。

“我们的技术是把二氧化碳‘吃’掉。”南京食气生化科技有限公司负责人介绍，“一些高碳排工厂排放的大量尾气被收集过来用于培养微生物，采用微生物法高效碳转化技术，将富碳工业尾气转化为化学品。”

简单来说，这是一个“变废为宝”的过程，二氧化碳变成长链的化合物，再把化合物分离出来。“这个生产过程安全，并且能耗低、污染少。”他说。

这位负责人在当了7年大学老师后，选择从高校副教授的岗位上离职，全身心投入CCUS产业的探索。

在他的描述里，这项技术未来可期：不用多久，日常衣食住行中用到的化工材料很多都是由工业废气“变废为宝”。

能力建设赛道旨在为CCUS技术“打地基”。“碳寻计划”终选名单包括中国地质调查局搭建的模型。“该研究致力于对碳排放和减排量的数据模型进行优化，考察适宜的二氧化碳封存地，并优化碳源和碳汇的匹配等。这样的能力建设有助于实现现有技术组合1+1>2的效应。”张贤说。

自去年3月启动以来，“碳寻计划”收到300多个项目申请。评审总体要求是项目的技术路线在规模化后可以带来每年1亿吨减碳量的应用潜力，且通过资金、场景等支持能实现成本的显著下降。

“进入终选名单项目的技术水平和国际上最顶尖的CCUS技术相当。”腾讯碳中和高级顾问翟永平表示。

在中国科学院院士金红光看来，CCUS技术从商业上来说还在启动阶段，从科学上说也非常复杂，腾讯能够从国际视野支持这些前沿新技术，对实现“双碳”目标有非常重要的意义。

但在热情、雄心之外，许浩坦言，其实做好了只有部分甚至个别项目成功的心理准备。

“走出实验室是前沿技术成果转化的第一步，只要让这个环节成功率提升一点儿，就可能产生巨大的影响。”许浩说。

打通“最后一公里”

我国当前阶段的CCUS项目大多处于工业示范阶段，距离大规模商业应用仍有一段距离。“CCUS技术的进一步发展，亟待政、产、学、研、金协作，高校、科研机构和初创公司携手助推CCUS的应用场景和规模。”翟永平认为。

“成本是制约CCUS商业化发展的最大障碍。”张贤多次讲到，考虑当前成本，业内普遍认为，在当前技术发展水平不成熟的条件下，2030年前大规模推广CCUS技术面临较大技术锁定风险。比如，按照当前技术成本核算，以电厂和水泥厂为例，加装CCUS技术设备之后，每度电和每吨水泥成本涨幅可能超过50%；钢铁厂加装CCUS之后，每吨钢成本可能上涨超15%。

他强调，降低成本最关键的还是要加快技术研发示范，加速CCUS技术迭代，“比如第二代捕集技术成本有望比第一代捕集技术降低超30%”。

记者在采访中发现，成本是大家普遍谈及的问题。气候变暖是事关人类未来的命运，然而，再宏大的愿景落到每家企业、每个项目上，都是一笔具体的经济账。

据测算，目前国内大多数CCUS示范项目的捕集成本在每吨100元到500元，化工行业捕集成本相对较低，电力、水泥等行业由于烟气二氧化碳浓度相对较低，捕集成本偏高。

2022年国内碳市场碳交易总量为5088.95万吨，总成交额28.14亿元，挂牌协议交易成交均价58.08元/吨。而根据张贤团队的研究，当碳价格上升到350—380元/吨时，预投资的电厂将满足执行CCUS改造的条件，可以达到收支平衡。

“通过制定激励政策把节约的减排成本给予企业，补贴终端产品，惠及消费者，打通这个传导机制是激活CCUS产业链的关键。”张贤说。

除了成本高企不下，影响国内CCUS发展的因素是多方面的。张贤说

图① 2024年1月，江苏南通启东海工船舶工业园华滋能源码头举行全球首套散货船碳捕集改装项目完工交付仪式，改装后的散货船“ALKIMOS”轮投运后，可有效降低船舶尾气中的二氧化碳排放。

图② 无人机航拍的位于江苏省扬州市江都区的江苏油田CCUS-EOR项目联38示范区风貌。

图③ 全国首个百万吨级CCUS示范工程胜利油田二氧化碳5号注入站。

图④ 全国首个百万吨级CCUS示范工程胜利油田高89处理站。

本版图片由视觉中国提供

