踢好负碳产业化的「临门一脚」

■本报记者 张双虎

“再过两个月，我们就把这个‘集装箱’送到国家工程中心（先进储能材料国家工程研究中心），帮他们完成二氧化碳转化。”近日，在接受采访时，国家纳米科学中心研究员赵慎龙告诉《中国科学报》，“我们一边和化工企业、零碳园区合作进行成果转化，一边孵化一些科技公司，将二氧化碳利用起来，助力实现‘双碳’目标。”

赵慎龙提到的“集装箱”是团队研发的一种负碳（二氧化碳循环、消纳）装置。1台功率10千瓦的负碳装置体积约1立方米，每年可以消纳20吨二氧化碳。从萌生想法到电极材料开发及阐明机理、实验验证，再到小试、中试放大，直到形成这台负碳装置，赵慎龙团队花了近10年时间。

有趣的是，这个从基础研究到转化落地的探索历程，竟始于一次学生食堂里的几句闲聊……

食堂聊天，诞生一个新方向

2012年初，还是硕士研究生的时候，赵慎龙有一天在食堂吃饭，碰到生物学系一位研究“药物运载”的师兄。那时赵慎龙正在做石墨烯相关研究，和师兄的研究方向“八竿子打不着”。

边吃边聊中，师兄随口说了一句：MOFs（金属有机框架化合物）的比表面积大得惊人——1克MOFs展开后，表面积能达到3000平方米，相当于1.3个大型足球场。

赵慎龙愣了一下：“这么大的比表面积，用到催化上不得了啊。”

饭后，赵慎龙去查阅相关文献，发现还没人将MOFs和电催化联系起来，这让他非常兴奋。

“没人触碰的东西，我特别感兴趣。”赵慎龙说，“比表面积大意味着接触面、反应面更大，有利于催化反应。但MOFs既不是传统的铂、镍等贵金属催化剂（纯无机物），也不是有机小分子催化剂，而是有机－无机杂化材料，有特殊的结构，既有有利于催化的一面，也存在不利的因素。”

此后5年，赵慎龙把精力全“砸”在MOFs功能化上：用纳米技术去克服它的缺点，让这个原本“优势明显，缺点也突出”的有机－无机杂化材料，真正成为催化剂的理想载体。

2016年，读博的赵慎龙在《自然－能源》发表论文，提出超薄金属有机框架化合物纳米片用于电催化析氧反应，并通过调控双金属比例，实现高效析氧催化性能。

这是国际上最早将MOFs应用于催化的工作之一，在催化领域引起广泛关注。该论文目前被引超过3000次，让赵慎龙2021年至2025年连续被评为“科睿唯安全球高被引学者”。但文章发表后，质疑之声也接踵而至：比贵金属便宜那么多，凭什么效果这样好？

“现在回头看，我要感谢那些质疑。”赵慎龙说，“它推着我去回答一个更根本的问题：MOFs究竟为什么好？”

2017年，赵慎龙赴澳大利亚新南威尔士大学进行博士后研究。其间，他一刻未停地拆解MOFs电催化机理。2019年，他到澳大利亚悉尼大学独立开展研究，研究范围虽然涉及光催化、电催化、电池、微生物等领域，但他始终没有放弃追问“MOFs究竟为什么好”。

十几年持续深耕MOFs领域，也让他收获颇丰。2020年，赵慎龙在《自然－能源》发表第二篇关于MOFs的论文。这篇被引用超过1000次的文章完美回答了MOFs为什么能很好地用于催化问题。2025年，赵慎龙在《自然－化学工程》发表第三篇关于MOFs应用的论文，阐述了该团队在MOFs电极规模化制备及电解水应用方面取得的突破。

“我们的风格就是深挖。”赵慎龙说，“从MOFs可用于催化到催化机理、解决应用难题，我们基本上5年解决一个问题，一口一口把它‘啃’了下来。”

导师一句话，他开始转向应用

从硕士到博士，赵慎龙在国家纳米科学中心学习和工作了6年，导师是中国科学院院士唐智勇。2022年决定回国时，虽然国内多家高校和研究机构向他抛出橄榄枝，他还是选择回到国家纳米科学中心。

“这是个新成立的研究机构，虽然体量不大，但温馨、开放。”赵慎龙解释说，“中心有很多海外回来的研究人员，大家纯粹、坦诚，科研氛围很好。”

回到国家纳米科学中心不久，唐智勇找到赵慎龙。“年轻人一定要集中自己的方向，如果啥都做，最后可能啥都做不出来。”唐智勇说，“中国科学院的办院方针提出，要解决国家重大创新和发展问题。”

“回国前我做的是纯基础研究，目标就是发文章，而且涉猎广泛，兴趣很多。”赵慎龙说，“唐老师非常了解我，看到我们已经搞清MOFs机理，就提醒我要锁定目标，做些能解决国家需求的应用研究。”

那时国家正在推进“双碳”战略，赵慎龙把研究方向集中到“绿电驱动小分子催化”——一边致力于把工业尾气里的二氧化碳变成一氧化碳、乙烯；一边绕开传统电解海水的“氢氧路线”，以“氢氯”工艺路线解决电解海水难题。

为验证团队的研究，国家纳米科学中心支持赵慎龙团队与上市公司、先进储能材料国家工程研究中心合作，在湖南常德建起年产1万平方米膜电极的中试基地。但他很快发现，实验室里用1厘米×1厘米的电极片做了无数次实验、性能表现无可挑剔的技术搬到中试产线，面对1米×1米规模的电极片时，各种问题都冒了出来。

“同样的条件，实验室里和中试放大合成的材料均匀度完全不同。”赵慎龙说，“理论在那一刻好像失灵了。”

一次次“碰壁”中，赵慎龙团队和合作伙伴研究、讨论、改进、实验。他发现实验室里1厘米规模测试时，热效应几乎可以忽略。一旦做到1米见方，电极两端的散热就成为不能忽略的问题，随之而来的电压、电场分布、热传递情况，表面温度、反应速率都会发生变化，最后导致产品性能不稳定。

“放大绝非简单的增量问题，放大过程中一定会伴随着技术路线的变革。”赵慎龙说，“中试或实际生产会碰到很多意想不到的问题，我们就要抱着小学生心态，去学习、反思、实验、分析，摸着石头过河。”

向前走一步，集装箱里装着“负碳”的未来

从实验室的1厘米电极片到中试产线的1平方米电极片，再到即将交付企业的“集装箱”，赵慎龙团队的技术路线已经完全打通。一个“集装箱”每年可以消纳20吨二氧化碳。如果需要更大规模，企业可根据自己的排放量，像搭积木一样多组合几个“集装箱”，从而实现直接在园区里消纳二氧化碳。

“这项技术能真正做到‘负碳’。”赵慎龙解释说，“它不是减少排放或不排放（零碳），而是将二氧化碳消纳掉——转化为一氧化碳、合成气或乙烯。乙烯是多种工业产品的原料，被称为‘工业之母’，以此实现减排和二氧化碳高值转化。”

2025年，52个国家级零碳园区建设名单发布，赵慎龙团队与合作团队联合拿下了河北保定零碳园区。在他看来，氢能是“零碳”技术，但要真正实现“双碳”目标，必须有“负碳”技术——把已经排到大气里的二氧化碳抓住、转化、高值化。

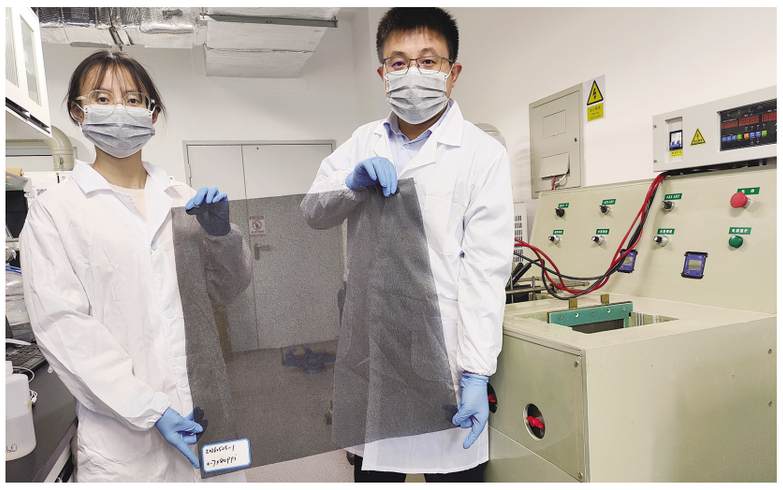
“这套即将入驻工程中心开展工程化放大的负碳装置电极材料性能指标行业领先。”先进储能材料国家工程研究中心主任兼首席科学家、国家级零碳园区创建专家指导委员会主任委员钟发平说，“它能显著降低转化能耗，在常温常压下即可一步将二氧化碳转化为一氧化碳、乙烯等高附加值工业原料，真正实现变废为宝。”

此外，这套设备的工艺支持间歇式运转，能灵活匹配风光电波动，提高新能源就地消纳率，减少弃风弃光。

“这是一次材料创新与工艺革命的突破，有望打通零碳园区应用的‘最后一公里’，助力‘双碳’目标实现。”钟发平说，“当前国家级零碳园区建设急需这类装备。我们将为其提供真实场景验证和全要素赋能，全力支持装置的工程化迭代与规模化验证，推动负碳装备在更多园区落地。科研与产业的深度协作，才能真正踢好成果产业化的‘临门一脚’。”

赵慎龙认为，真正能落地的成果应该从基础研究开始，没有最基本的原理和“武器库”，后面所有应用都是空中楼阁。他强调，科研成果转化要广泛协作，向国际国内同行、企业合作伙伴学习。

“成果转化中，科学家要再向前走一步。”赵慎龙说，“一项实验室技术完全交给企业，大概率‘做不出来’。研究机构和企业各有所长，双方密切合作才能找到出路。科研人员要拿出一半时间，到工厂、到车间去学习、去‘答题’。”



赵慎龙（右）展示电极材料。 受访者供图

为阿尔茨海默病诊断装上“精准摄像头”

■本报见习记者 金梦婷

从1000多个候选分子中筛出1个候选药物，从实验室的试管走到Ⅲ期临床的400例患者，北京师范大学（以下简称北师大）放射性药物教育部重点实验室教授崔孟超团队花了近20年，终于把一个针对阿尔茨海默病诊断的“精准摄像头”装进了正电子发射断层扫描（PET）显像设备。

这些年来，崔孟超团队围绕Aβ（β－淀粉样蛋白）病理PET成像这一临床需求，开展原创性分子设计与放射性药物研究，并与原子高科股份有限公司（以下简称原子高科）合作研发出新一代Aβ－PET示踪剂氟[18F]贝他嗪，有望实现阿尔茨海默病的早期快速精准诊断。

如今，氟[18F]贝他嗪的Ⅲ期临床进入收尾阶段，即将提交上市申请。届时，这款完全由我国自主研发的阿尔茨海默病早期诊断PET示踪剂，将打破进口产品在该领域的垄断。

筛选上千个分子

据世界卫生组织统计，全球目前约有5500万痴呆患者，其中患阿尔茨海默病的占60%至70%。国家卫生健康委最新数据显示，我国60岁以上人群阿尔茨海默病患者数量已超过1000万。然而，由于早期症状隐匿、缺乏精准的在体诊断手段，大量患者错失了最佳干预窗口期。

“PET影像是目前观测脑内Aβ蛋白沉积最直接的手段。”崔孟超解释说，Aβ沉积是阿尔茨海默病的核心病理特征之一。如果能通过放射性示踪剂在PET影像上看见大脑中Aβ蛋白的分布，就能实现疾病的早期诊断和疗效评估。

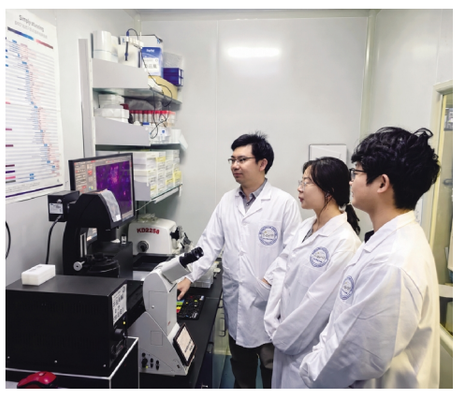
崔孟超团队的研究思路很明确：现有Aβ－PET示踪剂虽然能实现脑内Aβ显像，但普遍存在脑白质非特异性摄取偏高的问题，影响图像判读的准确性。“我们的目标就是设计出一个新的分子，在保证Aβ靶向性的同时，大幅降低脑白质的非特异摄取，提高临床诊断的灵敏度。”崔孟超告诉《中国科学报》。

北师大在核科学领域有多年的学术积淀。放射性药物教育部重点实验室的前身是1958年成立的北师大放辐化教研室，20世纪70年代中期，中国工程院院士刘伯里便领衔开展了放射性药物的基础研究，为我国核医学事业奠定了重要基础。

在此基础上，崔孟超从读研究生起就走上了阿尔茨海默病示踪剂的研究道路。2006年，在导师刘伯里的推荐下，他把阿尔茨海默病早期诊断作为自己的主攻方向。“那时候美国也没有上市的药物，我们就是跟着国外文献做一些积累性的工作，一边学一边做。”崔孟超回忆。

然而，神经系统PET药物研发的难度，远超崔孟超的想象。“大脑有一道血脑屏障，会把98%以上的分子都挡在外面。”崔孟超说，想做脑部诊断，分子必须能跨过这道屏障。什么样的分子能过去、什么样的不行，没有现成的公式，只能靠长期的试错和经验积累。

更难的是，动物模型和真实人脑之间的差距很大。“很多分子在转基因老鼠模型身上效果很好，到人体上就完全发挥不了作用。”为了解决这个问题，崔孟超团队花了很多年，和全国各大脑库、医院病理科建立合作，收集患者去世后捐赠的人脑样本，用真实的病理样本来筛选分子，准确度大幅提高。



崔孟超（左一）和学生在实验室。 受访者供图

“从我2006年读研究生开始，我们实验室前前后后筛选了1000多个分子。”崔孟超说，最终走到临床的一类新药氟[18F]贝他嗪，只是这1000多个分子中双脘系列的第92号。“这里面有前面的积累，也有运气。”

主动上门

2017年，崔孟超团队终于选定了一个比较好的分子母核（骨架结构）。第二年，他们基于这个骨架做了114个分子，从中筛出4个目标化合物。这时候，原子高科主动找上了门。

“我们不能等成果，要主动出击。”原子高科研发部经理温凯直言，企业必须主动找市场需要的东西，主动从高校和科研院所挖掘好的成果。“在国内核药这个圈子里，我们常年关注最新的研究，也一直与高校和科研院所保持着长期合作。”

北师大与原子高科在创新放射性药物研发和成果转化上的合作，并非偶然的产业对接，而是两家单位在我国放射化学、同位素技术和放射性药物领域多年交流合作的延续与深化。

原子高科的前身可以追溯到中国原子能科学研究院同位素研究所，其创始人中国科学院院士肖伦是我国同位素事业的奠基人之一。1958年，刘伯里由北师大选送至中国原子能科学研究院，师从冯锡璋教授学习放射化学。当时，肖伦已是同位素与放射化学领域的重要学术带头人。此后，刘伯里与肖伦不仅在学术上保持密切交流，还曾共同开展研究。

温凯表示：“两家单位渊源深厚，两位院士之间良好的合作关系，是我们双方几十年保持联系的根基。”时间来到2018年底，原子高科与北师大化学学院签订了校企合作框架协议。2019年，原子高科看中了崔孟超团队的项目，投入了第一笔早期研发经费。

“那时候我们只在老鼠和人脑样本上做过实验，还没有真正进入人体。”崔孟超坦言，企业在这个阶段就敢投入，是需要魄力的。“现在很多企业得看到一些临床数据才肯出手。”

靠着这笔经费，崔孟超团队在医院做了两个分子、12例人体试验，最终验证了现在的氟[18F]贝他嗪具有成药性。

吸引原子高科的正是这个放射性药物的临床优势。“放射性药物有一个独特的优势就是‘所见即所得，所得即所见’。”原子高科研究员李洪玉解释，示踪剂打到体内以后，通过PET或单光子发射计算机断层扫描（SPECT）显像设备就能直接看到它在体内的分布、摄取情况。“这和造影剂之外的其他药物不一样，其他药物无法获得直观的显像图，需要通过各种指标进行推断；但放药不一样，它是可以直接看得见的。”

正是因为这个特点，诊断类型的放药在转化之前就能获得较为明确的临床参考信息。崔孟超团队前期与医院合作开展了多项临床研究，积累了大量人体数据。这些数据显示，氟[18F]贝他嗪的脑白质非特异性摄取显著低于已上市的同类产品，图像对比度更高，诊断灵敏度比进口产品提高了近两倍。

然而，从实验室走向产业化的路，并非一帆风顺。

“最大的坎，是大规模生产时药品不稳定。”崔孟超回忆，实验室里做的量很小，药品很稳定。但到了转化阶段，要给几十家医院供应，产量放大了上百倍。在这种高活度条件下，药品会分解，如果量产不稳定，这个药就没有商业化价值。

“当时一个多月里，我们团队几乎天天跟原子高科在一起尝试各种处方、各种方法，最后终于把这个问题解决了。”崔孟超说。

成果落地

2025年底，北师大与原子高科正式签署科技成果转化协议。根据协议，氟[18F]贝他嗪项目以“专利权转让＋产学研合作”的形式落地。

2019年至今，原子高科全程参与了该项目药学研究、非临床研究、向国家药品监督管理局提出新药临床试验申请、获得临床批件，以及开展Ⅰ期、Ⅱ期、Ⅲ期临床试验的全部环节。“企业牵头做全工艺流程设计，联合高校和行业专家完成工艺包论证，同时对接装备制造企业，定制适配新工艺的专用设备。”温凯说。

这种分工模式，恰好对应了高校和企业各自的优势。“在医药领域，高校最大的痛点是药品不可能从实验室推上市场。”温凯直言，高校擅长做技术前端的分子设计和基础研究，但从实验室到产业化之间，隔着药学研究、临床试验、注册申报、产品运营等一整套产业体系。“这些事情，只能由企业来做。我们将实验室里的成果从技术端推到临床端，推到市场上。”

“这是互相成就。”崔孟超说，“对于做应用基础研究的老师来说，看到自己的研究成果走到市场、真正造福患者，比发高水平论文都开心。”

如今，氟[18F]贝他嗪的Ⅲ期临床已进入收尾阶段。同时，这款国产新药价格优势明显。目前市面的Aβ诊断剂，一针药品接近万元，加上PET扫描和量表评估等，患者整个诊断做下来花费1.3万元左右。

对于北师大与原子高科来说，氟[18F]贝他嗪技术转移和成果转化的合作只是一个开始。双方共建的“放射性药物工程技术北京市重点实验室”已经于今年2月获批成立，未来将搭建校企联合研究平台，开展更多原创新型放射性药物攻关，同时构建“高校育才、企业用才”的双向人才流动机制。

资讯

京津冀绿色氢能技术前沿交流活动举办

本报讯（记者沈春蕾）10月29日至30日，由中国科协、全国工商联主办的2026产创协同创新·京津冀绿色氢能技术前沿交流活动在北京举办。活动围绕绿色氢能制储输用全链条关键技术开展交流对接，推动绿色氢能创新成果从实验室走向生产线，服务京津冀绿色氢能产业协同和“双碳”目标。

项目路演聚焦电解制氢、储氢、燃料电池、低碳替代燃料等赛道，15个创新项目覆盖阴离子交换膜电解水制氢关键材料与装备、固态储氢等氢能核心方向，以及生物质耦合绿色航煤、生物天然气替代、甲醇增程矿用车辆等延伸低碳技术。来自高校和企业的项目代表依次推介技术方案、产业化进展与融资合作需求，与到场投资机构、产业方代表面对面交流对接。

参会代表先后走进华北电力大学国家储能技术产教融合创新平台开展实地参观交流，近距离观摩储能、氢能相关科研试验设施，与科研团队面对面沟通技术瓶颈、联合研发、成果转化等合作事宜。

本次活动以产创协同为核心，搭建了京津冀氢能领域交流对接平台，推动绿色氢能技术迭代、产业链协同与创新成果产业化。

2026年广州科技创新创业大赛全球赛举行

本报讯（记者朱汉斌 通讯员谭尚琨）近日，2026年广州科技创新创业大赛全球赛暨香港科技大学百万奖金创业大赛广州赛（以下简称大赛）决赛在广州南沙举行。

本届大赛由广州市科技局、香港科技大学联合主办，广州市香港科大霍英东研究院、广州科技进步基金会共同承办。2022年广州科技创新创业大赛港澳台赛启动；2024年该赛事与香港科技大学百万奖金创业大赛广州赛开启融合办赛；今年赛事进一步升级为全球赛。

本届大赛共征集科创项目441个，较上届增长20.8%，涵盖人工智能、高端装备制造、生物医疗科技、新材料等广州重点布局的战略性新兴产业领域。其中，港澳台赛道261个（香港214个、澳门28个、台湾19个），首次开设的海外赛道吸引来自美国、新加坡、澳大利亚、英国等30多个国家和地区的180个项目。超八成项目来自成立未满3年的初创企业或尚未注册公司主体的创业团队。

自2022年起，赛事累计吸引近1300家港澳台优质科创企业踊跃参赛，助力参赛企业斩获4.2亿元投融资支持。本届赛事现金奖励总额达200万元，获奖团队还可获得云算力资源、工商财税服务、知识产权与政策申报等综合配套支持；排名靠前的项目将晋级全国总决赛，竞逐100万元现金大奖。

决赛现场，从港澳台赛道及海外赛道晋级的25个参赛项目依次完成7分钟项目介绍与3分钟答辩，由投资机构、产业及技术专家组成的评审团现场打分。最终，“高性能仿人五指灵巧手”项目获一等奖，该项目专注机器人末端执行器，为具身智能机器人提供高可靠、高性能的操作与数据闭环解决方案。

风云卫星科技成果中试平台发布

本报讯（记者高雅丽）10月29日，风云精工·风云卫星科技成果中试平台（以下简称平台）在湖南长沙召开的2026年风云卫星用户大会上正式发布。平台由国家卫星气象中心（国家空间天气监测预警中心）建设，面向风云卫星科研原型算法业务转化需求，通过开展中间测试和试运行评估，推动更多科技成果从实验室算法走向稳定业务应用。

此次发布的平台，将补齐风云气象卫星科研算法从原型研发到业务应用的中间链条，对科技成果开展系统化测试、工程化迭代和标准化评估，遴选成熟可靠的技术成果。

据悉，平台构建了轻量化中试业务链路，用户完成申请受理、算法上传和调试后，即可开展全流程中试验证。目前，平台可支撑在轨风云卫星20余种载荷观测数据接口，兼容多种开发语言运行环境，并内置10余种要素检验评估方法。围绕算法注册提交、版本管控、任务调度、原型效能评测等环节，平台形成一体化业务闭环，兼顾算法精度与运行效能，可自动生成标准化中试结论报告，并对上传代码等开展自动化安全检测，实现全过程操作留痕。

平台面向社会开放，科研院所、高校、企业和业务单位均可申请开展相关算法中试。试运行以来，平台已测试30多种算法，支持10余种产品业务上线。其中，基于平台测试后的全天候地表温度遥感算法，利用风云卫星被动微波遥感观测数据，已研发形成全国5公里、逐日无缝的全天候地表温度产品。

此外，经平台测试的全天空陆海一体化水汽总量遥感算法、主被动多源融合降水遥感算法已投入业务试运行，由此研发形成的风云卫星全天空水汽总量、降水率产品，已在汛期台风、强降雨等高影响天气业务服务中得以应用，为“白海豚”等台风风雨影响研判提供支撑。

社址：北京市海淀区中关村南一条乙3号 邮政编码：100190 新闻热线：010－62580621 广告热线：010－62580726 发行热线：010－62580707 广告经营许可证：京海工商广登字20170236号 零售价：1.00元 年价：218元 工人日报社印刷厂印刷 印厂地址：北京市东城区安德路甲61号