

将海水“变废为宝”的中国路径

■本报记者 张双虎

海水直接电解制氢、制氯一直被视为能源与化工领域的革命性梦想，但科学家在实验室模拟理想的海水体系统难以解决析氯副反应、催化剂中毒、系统腐蚀等技术难题。更关键的是，真实海洋中海水成分、风浪冲击、盐雾腐蚀等多种难题导致实验室成果与工程应用间存在鸿沟。

日前，中国科学院院士谢和平团队和国家纳米科学中心研究员赵慎龙团队分别在《自然综述：清洁技术》和《自然-合成》发表文章，报道了在海水中直接制氢、制氯领域的突破。两项研究从不同层面为海水资源化利用扫清了障碍，也为全球低碳转型提供了“中国路径”。

为产业化推进提供路线指引

“我们这项研究首次将真实海洋环境多因素耦合作用纳入海水制氢研究体系，构建了涵盖材料性能、界面过程、装置结构、海洋环境因素、可再生能源适配性等全维度的系统认识，打通了直接海水电解领域从微观反应机制到宏观工程放大的认知链条。”谢和平告诉《中国科学报》。

近日，谢和平团队在《自然综述：清洁技术》发表文章，系统梳理了海水制氢行业主流的四类技术路径（电催化剂改性、非对称电解、孔径筛分、相变迁移）的微观作用原理，明确了不同路径抑制海水析氯副反应、抗钙镁沉淀、提升长期稳定性的核心机制。

团队依据多年示范经验，明确了不同技术路线从实验室小试到工业化放大的核心瓶颈，并针对性提出适配真实海洋复杂工况的系统设计和评估框架，为全行业

产业化推进提供了清晰的路线指引。

其中，团队原创的相变迁移海水无淡化直接制氢技术颇具颠覆性。该技术通过界面压差驱动海水自发完成“液-气-液”相变质，从原理上隔绝了海水复杂离子与电解核心部件的接触，一举解决了腐蚀与中毒难题。

目前，该技术已完成从实验室到真实海洋和规模化的跨越。2023年5月，该团队联合东方电气实现全球首个1.2Nm³/h（标准立方米/小时）海上风电耦合海水无淡化原位直接制氢海试；2025年1月，他们在广东南沙建成110Nm³/h（500千瓦级）示范工程，完成百倍规模放大；当前正联合东方电气、国家电投推进200Nm³/h（兆瓦级）规模化海试。

降耗超50%，原料降本超80%

赵慎龙课题组发表于《自然-合成》的研究，从高合金金属材料结构设计、反应机理解析到海水电解系统构建与技术经济评估，系统展示了海水直接电解制氯气的可行技术路线。

“我们这项研究最大的亮点是提出了一种新的反应与工艺耦合路线。”赵慎龙对《中国科学报》说，“与高能耗的传统氯碱工艺依赖高纯盐水不同，该技术直接利用海水作为原料，实现氯气、氢气及氢氧化钠的高效协同生产。”

相较于水电解中的析氧反应（四电子过程），析氯反应为两电子反应，在合理催化剂设计下可实现更快的反应动力学。同时，氯气作为重要的大宗化工原料，比氧气的工业应用价值更高。该研究

为海水资源的高值利用及新型氯碱工艺的发展提供了新的技术路径。

海水取之不尽，用之不竭，但目前利用起来依然困难很多。如海水电解过程中，目标产物选择性差、腐蚀性及电极如何稳定等问题，让海水资源无法利用或利用成本过高。

“选用超细高合金纳米线电极催化电极很好地解决了这一问题，这也是该研究的另一个亮点。”赵慎龙介绍说，研究高合金的灵感来自海洋运输领域。近年来，人们尝试在轮船下面挂高合金材料来抵抗船体腐蚀。受此启发，赵慎龙团队一直在高合金方面寻找突破。他们通过纳米加工技术，将高合金的活性中心暴露出来，让材料既有高效的选择性和催化活性，又具备耐腐蚀性和长时间的服役稳定性。

“这样，未来真正工程化的时候才会更简单。”赵慎龙说，“发文章很重要，但技术研究的最终目标还是希望能真正促进产业发展。”

通过自主构建的海水流动电解体系，赵慎龙团队发现电极能在工业级电流密度10千安每平方米条件下实现超过98%的析氯选择性，并稳定运行超过5500小时。技术经济分析表明，该体系相较传统氯碱工艺可显著降低32.8%的总生产成本，其中高合金电极促使电力消耗降低超50%，海水替代高纯盐水使原料成本降低超80%。

“研究结果表明，高合金材料在复杂严苛的电解环境中具备独特的稳定性与电子调控能力，为开发新一代绿色氯碱及海水电解技术提供关键支撑。”赵慎龙说。

逐步推进商业化落地

“谢院士团队的研究我们也关注了。”赵慎龙告诉记者，“我们的目的一样、概念相似，都聚焦海水资源高值利用，将海水‘变废为宝’，也都涉及电解体系中的关键界面与工程问题，只是技术目标和实现路径不同。”

目前，赵慎龙等人正积极和工业界接触，包括与中东地区的一些公司推进海水利用方面的交流合作，希望该技术尽快应用起来。

“我们一方面做电极制备，另一方面也进行电解水研究。”赵慎龙说，“我们在湖南常德建了一条中试产线，目前已经完成1万平方米的材料放大，接下来会继续扩大产线，但真正量产仍需要整合资源。”

谢和平认为，他们的研究建立了微观反应机制与宏观系统运行之间的关联认识，填补了领域内微观机制与工程应用脱节的空白，但“不同技术路径的产业化进度有所差异”。

“打通从实验室机理研究到工程放大的技术逻辑，给出可落地的实现路径，并不意味着完全成熟到大规模工业化应用。”谢和平说，“目前我们正联合东方电气、国家电投推进200Nm³/h（兆瓦级）规模化海水无淡化直接制氢海试。下一步我们将优先在离岸风电场景下深入开展示范应用，逐步推进商业化落地。”

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s44359-026-00160-7>

<https://doi.org/10.1038/s44160-026-00999-5>

按图索技

特早熟油菜全生育期171天亩产175公斤

本报讯(记者李晨)近日,经湖南省农业农村厅组织专家现场鉴定,湖南省双峰县梓门桥镇3万亩“三熟制”油菜田的特早熟油菜“中油早1号”示范点采用一次性联合机收,亩产达175.63公斤,全生育期仅171天。

在中国农业科学院重大科技任务等项目支持下,该院油料所研究员、中国工程院院士王汉忠团队针对稻油多熟制区域开展技术攻关,培育出早熟性突出、丰产性好、综合抗性强的“中油早1号”等特早熟油菜新品种。

新品种在南方早熟油菜品种试验中平均全生育期173.6天,含油量高达44.37%。2025年其在江西遂川千亩连片种植,实测亩产达177.65公斤,刷新我国“稻-稻-油”三熟制种植模式下油

菜单产纪录,入选2025年国家农作物优良品种推广目录。

双峰县农业农村局副局长贺乐安介绍,双峰县是全国油菜大面积单产提升示范县,因地制宜发展三熟制和两熟制油菜生产。自“中油早1号”等特早熟品种推广应用以来,全县三熟制油菜种植面积持续扩大,核心区平均单产较往年增加40公斤以上,不仅提高了土地利用效率,还增加了农民收入。

当地种植大户胡永贵深有感触地说:“过去由于油菜品种生育期偏长,收获后影响早稻播种,导致晚稻收获后耕地只得冬季闲置,而‘中油早1号’生育期短、产量高,不影响早稻栽插,是个非常好的品种。”



“中油早1号”高产示范片。中国农业科学院供图

细胞培养肉：从“种子”到盘中餐的接力跑

■本报记者 李晨 通讯员 许天颖



第一块细胞培养肉。南京农业大学供图

不用养猪就能吃到猪肉。近日,南京农业大学肉品质量控制中心与南京周子未来食品科技有限公司(以下简称周子未来)建成了国内规模最大的细胞培养肉中试工厂,在全球首次实现细胞培养猪肉2000升生物反应器规模化试生产。

从2009年实验室埋下第一颗细胞培养肉研究的干细胞“种子”到种出第一块肉,再到规模化生产的“盘中餐”,细胞培养肉究竟破解了多少难题?

国内第一块细胞培养肉

“细胞培养肉”是一种人造肉,是依据肉类在动物机体里的生长规律,利用体外培养和生物制造方式培养动物细胞而生产的可食用肉类。

南京农业大学特聘教授、实验室主任周宏说,他们从动物身上提取细胞组织,分离出具有成肌、成脂、生产胶原蛋白的种子细胞,在培养皿中经驯化培养后,依托培养基,在生物反应器中让细胞不断增殖,再利用3D打印等方法大规模生产肌肉、脂肪、胶原蛋白等肉中最重要的组成部分,最后长成“肉”。简而言之,细胞培养肉是用动物细胞“种”出肉。

“不需要养殖、屠宰就可以生产肉,口感、风味可控,还可以人工调节蛋白质、脂肪含量,减少饱和脂肪酸成分。”周宏说。

德国斯塔蒂斯塔调查公司数据显

示,预计到2040年,全球肉制品市场将有40%为常规动物肉,35%为细胞培养肉,25%为植物蛋白肉。

“粗略计算,如果细胞培养肉进入量产阶段,可大幅降低能源消耗,降低78%至96%的温室气体排放量,降低80%至99%的土地使用,减少82%至96%的用水量。”周宏告诉记者。

长期以来,全球细胞培养肉产业面临三大“卡点”:如何获得高纯度且能稳定传代的种子细胞;如何摆脱对动物源成分(血清)的依赖,实现低成本的无血清培养;如何从小试、中试平稳跨越到百升级乃至千升级的规模化生产。

2009年,周宏宏带领团队开始进行以“干细胞肉”为目标的研究工作。摸索整整10年后,2019年实验室团队用第六代肌肉干细胞,经过20天培养出重达5克的国内第一块细胞培养肉。

这“第一块肉”的诞生借助的是高纯度肌肉干细胞的分离纯化技术,突破了“难以获得高纯度单一细胞群”的瓶颈;利用干细胞体外培养干性维持方法,他们也初步解决了传代过程中细胞增殖和分化能力衰减的难题。

从“小皿”培养到“大罐”生产

在阵阵规律的“打印”声中,装有红色和白色“生物墨水”的打印喷头来回移动,白色托盘里方块形状的“猪肉”逐渐变厚,色泽诱人……实验室科研人员正在进行3D生物打印细胞培养肉研究。

然而,真正的考验在于如何将实验

室里的“小皿”培养,放大为生物反应器里的“大罐”生产。

2020年,实验室核心成员孵化成立周子未来,开启了从科研探索向产业化迈进的“接力跑”。这一次,实验室团队不再满足于单项技术的突破,而是启动了“系统性创新”的全面攻关。

在种子细胞层面,团队成功驯化出适应无载体悬浮培养的工业级细胞株,这意味着细胞不再需要贴壁生长,可以在生物反应器里自由悬浮、快速增殖,为大罐生产扫清了首要障碍。

在培养基层面,团队创立了基于高通量筛选与人工智能结合的研发平台,成功开发出低成本食品级无血清培养基。这不仅破解了“卡脖子”难题,更将自主研发的种子细胞倍增时间缩短40%,细胞密度提高5倍,为降本增效奠定了关键基石。

在生产工艺层面,团队首次建立了从125毫升到500升的细胞培养猪肉逐级放大生产工艺。2023年,实验室联合周子未来完成世界首次细胞培养猪肉在500升生物反应器中的中试放大生产。

中试工厂已打通全流程

2025年12月,实验室联合周子未来新建成国内规模最大的细胞培养肉中试工厂。该工厂整合了从种子细胞创制与培养、低成本无血清培养基研制,到2000升生物反应器规模化生产工艺,以及贯穿全程的食品安全保障体系,形成了覆盖核心工艺、规模生产与质量管控的完整技术闭环。

这座年产10至50吨的中试工厂,是一个“工程范本”,为未来万吨级产线设计提供了关键的数据支撑。

周子未来首席执行官丁世杰说:“我们完整验证了中试工厂的运行、种子细胞和培养肉的性能,以及放大生产的工艺,全流程已打通,技术上基本没有什么难

题了。目前,公司已整合细胞培养猪肉的生产工艺及安全性评估成果,正于新加坡推进新食品原料申报工作,国内相关安全性评价工作亦同步开展。”

丁世杰介绍,细胞培养肉是目前所有人造肉中,唯一能够生产哺乳动物细胞、与真正肉中的蛋白质和脂肪风味接近的产品。因此,他们并未止步于生产“肉糜”,而是积极探索细胞培养肉的多元产品形态。

除了大众化食品,团队还联合地方开发创意菜,融合细胞培养肉和创意元素,打造高端产品。新产品如3D打印的五花肉、蜂巢肉、肉清汤嗜喱配肉脆片等都表明细胞培养肉在形态、风味与质构上的高度可塑性。这些创新产品开拓了从大众餐饮到高端料理的多元化落地路径,也让消费者看到了细胞培养肉的更多可能性。

目前,实验室已开展细胞培养肉风味与营养的系统研究。南京农业大学食品科学与技术学院院长李春保教授介绍,细胞培养猪肉可作为核心肉香前体物质,添加至植物肉中能显著提升风味,使其更接近真实猪肉;同时,培养猪肉蛋白的胃消化率达76.77%,肠消化率达88.33%,显著优于传统猪肉、大豆蛋白、蛋清、乳清及酪蛋白,营养品质突出,是优质的新型肉类食材。

或许不少消费者对细胞培养肉的安全性仍有担忧。“细胞培养肉是养殖肉的补充,安全标准只会更高。”丁世杰说,公司开发了细胞培养猪肉潜在风险物残留检测方法等技术,生产全程监控,而且在封闭的生物反应器进行培养,可以杜绝动物疫病和食源性疾病传播。

周宏说,随着技术不断优化,产业规模不断扩大,细胞培养肉的生产成本将进一步降低。2013年国外首次发布的细胞培养肉汉堡成本达33万美元,现在已降到每公斤千元人民币以内,并有望进一步下降,助力肉类产品稳产保供。

集装箱

新型锂离子吸附剂项目通过成果评价

本报讯(记者甘晓)近日,由中国科学院过程工程研究所牵头,联手上海意定新材料科技有限公司、西藏国能矿业发展有限公司合作完成的“新型锂离子吸附剂及提锂技术”项目,通过中国有色金属工业协会组织的科学技术成果评价。科技成果评价委员会一致认为,项目整体技术达到国际领先水平。

我国西藏地区拥有丰富的碳酸盐型碱性盐湖资源,但盐湖中大量的碳酸根严重干扰了传统技术的有效实施,导致锂提取困难,成为此类盐湖资源高效开发利用的技术瓶颈。

研发团队基于极性-非极性协同作用机制,发明并批量生产了耦合有活性功能基团的新型Li⁺吸附剂,具有高选择性和稳定性;开发了二氧化碳气-液-固三相解

吸工艺,构建了连续移动床吸附-二氧化碳解吸绿色短流程提锂技术路线,实现了碳酸盐型盐湖卤水锂资源的短流程、高效率、低成本提取,并于2024年在西藏海拔4600米结则茶卡盐湖矿区建成百吨级中试装置。

成果评价会上,项目团队负责人齐涛介绍,该项目突破了碳酸盐型盐湖提锂核心技术瓶颈,破解了传统工艺“选择性差、溶损率高、环保压力大”等关键痛点。运行结果表明,新型锂离子吸附剂平均回收率>90%,热解生产的碳酸锂产品含量>98.5%,严格控制条件可达电池级标准。四个月运行周期内,吸附容量保持稳定。淡水消耗由传统吸附-膜法百吨级降至52吨/吨,生产过程绿色、无废水排放,技术经济指标先进。

生物基呋喃二甲酸技术中试装置顺利开车

本报讯(记者孙丹宁)近日,中国科学院大连化学物理研究所研究员高进、石松团队开发的生物基呋喃二甲酸技术中试装置,在湖北兴发化工集团股份有限公司(以下简称兴发集团)顺利开车并实现稳定运行。该装置全流程打通该技术的工艺路线,制备出高纯度5-羟甲基糠醛(HMF)、2,5-呋喃二甲酸(DFF)及2,5-呋喃二甲酸(FDCA)等产品。

在生物基新材料领域,FDCA被认为是最具应用前景的生物基替代单体之一。当前,FDCA规模化生产面临流程长、工艺复杂、提纯难度大、生产成本高等问题。其中,关键中间体HMF稳定性较差、分离提纯难。开发HMF快速转化为稳定的中间体,可为FDCA的规模化制备提供新的技术路径。

近年来,团队对生物基呋喃二甲酸产业化攻关取得系列进展,先后突破了HMF高效制备及其衍生转化关键技术,构建了“六碳糖-HME-DFF-FDCA”绿色高效合成全链条转化工艺和技术,并与兴发集团开展合作,推进中试放大与工程验证。

经过中试装置建设与调试,项目取得阶段性重要进展:2025年11月中试装置投料调试;今年2月打通HMF制备流程,产出纯度99%的HMF产品;3月实现DFF制备工艺贯通,产品纯度达到99%;4月产出首批FDCA中试产品,纯度达到99.9%。目前该装置已实现连续稳定运行2000余小时。中试运行达到预期目标,获得催化剂及其应用的关键工艺操作参数,为工业应用提供了关键基础数据和技术支撑。

全国大学生计算机系统能力大赛先导杯赛启动

本报讯(记者赵广立)日前,由教育部高等学校计算机类专业教学指导委员会、系统能力培养研究专家组主办的第十届全国高校计算机类专业系统能力培养高峰论坛在湖南长沙举行。同期,全国大学生计算机系统能力大赛正式启动。

作为大赛的智能计算创新设计赛道,第七届先导杯全国性赛事预先启动。该赛事由中科曙光与同济大学联合承办,旨在围绕国产算力与智能计算技术,加速推动高水平人工智能(AI)人才培养体系落地。

在赛题设计上,第七届先导杯进一步聚焦AI落地的关键方向,参赛团队可基于两大方向择一申报:其一是基于国产算力平台的千问大

模型推理赛题,重点关注大语言模型、多模态模型在国产算力环境下的部署优化与推理加速;其二是基于OneScience的科学智能代码生成与优化赛题,面向物理、化学、生物、气象、材料等科学计算场景,探索AI与科学仿真的深度融合。

论坛现场,先导杯赛事秘书处系统介绍了国产算力资源在高校教学与科研场景中的落地路径。围绕课程建设、实践教学与竞赛体系,中科曙光正推进“国产GPU加速卡+AI”产教融合模式,将国产算力平台深度引入人才培养全过程,通过联合高校开发课程体系、共建实验环境,使学生在真实算力环境中完成从理论学习到工程实践的转化。

长三角首台“华龙一号”核电机组投产发电

本报讯(记者朱汉斌 通讯员朱丹)记者从中国广核集团有限公司(以下简称中广核)获悉,近日,随着168小时试运行试验圆满完成,我国首个民营资本参股项目、长三角地区首台“华龙一号”核电机组——中广核浙江三澳核电项目1号机组正式具备商业运行条件。至此,中广核在运核电机组达到30台,在运装机容量达3424.8万千瓦。

三澳核电项目一期工程于2020年9月2日获国家核准,1号机组主体工程于2020年12月31日开工建设。中广核南核有限公司董事长杜延辉介绍,目前1号机组各项参数稳定可控,整体状态良好,按2025年内核电平均利用小时数测算,预计年发电量超90亿千瓦时,能够满足超100万居民的

年度生产生活用电需求。

三澳核电项目是我国首个引人民营资本参与建设的核电项目,一期工程吉利科技集团有限公司持股2%,为民间资本参与国家重大能源基础设施投资建设树立了典范。

截至目前,三澳核电一期工程已累计梳理13926个经验反馈项,完成冷源改进、大修再供电改造、5G专网建设等260余项设计优化和改进,实现堆芯监测系统、主蒸汽释放调节阀、电动主给水泵(APA)泵组液力耦合器、核级压力/温度开关等24台核心主设备首次国产化落地应用。

记者了解到,三澳核电项目规划建设6台“华龙一号”核电机组,分三期建设,目前已核准4台,整体建设工作正按计划稳步推进。

石化行业首个工业智能体发布

本报讯(记者计红梅)近日,中国石化发布石油化工行业首个数字专家——“烽火”工业智能体。该智能体是可参与生产作业、具有“行动”能力的执行者,能够分析生产数据、调用工业软件、产出科研成果,相当于石化员工工的“数字同事”。

据介绍,“烽火”工业智能体基于中国石化“长城大模型”实现三项突破,一是深厚的领域知识积累,整合超10亿条专家知识经验,相当于每次执行任务时自带“一整个石油化工图书馆”,并可持续学习、自主迭代。二是精准调用专业工具链和企业数据,能操作工业仿真、流程模拟等系统完成生产过程。三是在较长时间内稳定执行复杂任务,自

主拆解多步骤工业流程,保持数小时连续作业。

目前,该智能体第一批上线烽火科学家、烽火工程师、烽火程序员、烽火助理等四类角色。其中,科学家和工程师是核心生产力角色,可自主分析任务、调用工业软件,开展油田开发动态分析、炼化流程优化等专业任务;烽火助理可帮助员工进行数据整理、撰写报告等工作,提升日常办公效率。

近年来,中国石化持续推进“数智中国石化”建设,下一步将以“烽火”工业智能体为新的起点,持续推动人工智能在石油化工产业链的深度融合与迭代进化,为我国能源化工行业高质量发展不断注入数智活力。