

高效清洁 优势拉满

这么好用的氢能，我们还要等多久

院士讲科普 未来产业

氢能是“十四五”规划纲要提出的未来发展重点领域之一。氢既是重要的工业原料，也是具备大规模、长周期、跨季节储能能力重要介质，还可以在电能、热能和化学能之间灵活转换，是连接可再生能源与工业、交通、建筑等终端用能领域的重要载体。本期“院士讲科普”，邀请中国科学院院士马丁、中国工程院院士丁文江、中国工程院院士谢和平，深入解读氢气制备、储运和应用的全过程，解读氢能能在能源绿色低碳转型和未来产业培育中的重要意义。

——编者

绿色制氢，夯实氢能产业地基

马 丁

制氢处于氢能产业链源头。加快绿色制氢科技创新，是培育氢能产业的基础性工作。发展绿氢，可以为可再生能源跨区域、跨周期利用开辟新的路径，使氢能能源体系中发挥“缓冲器”作用，也有助于把国内资源优势转化为更加稳定、便于调配的能源和工业原料，增强能源供应体系韧性。

要实现这一目标，首先要解决氢气的绿色来源问题。我国是氢气生产和消费大国，已经形成较完整的产业基础。但现有氢源仍以煤炭、天然气等化石资源制氢为主，碳排放压力较大。近年来，可再生能源制氢项目加快布局，电解水制氢装备制造能力不断提升，但绿氢在整体供给中的比重仍然有限，部分项目还面临资源地与消费地相距较远、利用水平不高、下游需求不足等难点。

制氢技术路线多元，需要根据资源条件和应用场景科学选择。煤制氢、天然气制氢技术成熟，现阶段仍承担主要供给任务，应持续提高能源利用效率、降低过程排放，具备条件的可探索与碳捕集利用和封存技术协同。可再生能源电解水制氢是绿色制氢的重点方向。我国碱性电解装备已具备较好的产业基础，下一步需要在风光电力波动工况下的运行效率和稳定性。质子交换膜电解水制氢动态响应较快，在与风光电力耦合方面具有优势，但对贵金属和关键材料的依赖性较强。太阳能直接制氢、热化学循环和生物制氢等前沿路线，仍面临转化效率、材料稳定性和规模制造等方面的问题，需要保持稳定投入和战略耐心。沿海地区还可依托海上风电，稳妥探索海上制氢、制氢、制醇等一体化利用。

固态储氢，把氢气“锁”进镁合金

丁文江

氢气烧完只“留下”水，从环保角度讲是绝佳的清洁能源。但它有致命弱点——氢气在常温下密度很低，同等能量体积是汽油的2700多倍；遇明火容易发生爆炸，防爆要求格外严格。

如何储运氢气、用好氢气？目前有两条主流路径：用200—300个标准大气压把氢气“压进”钢瓶里，一辆49吨长管拖车满载才能运输250—300公斤氢气，效率低且有泄漏、燃爆风险；低温液态储氢须降至零下253摄氏度，能耗高、绝热密封难。储运环节往往吃掉氢能产业链总成本的30%—50%，是氢气大规模应用的瓶颈。

近年来，我们从镁合金上找到了固态储氢这条路。镁基固态储氢材料储氢，像海绵吸水。把氢气“吃”进镁合金内部的品格间隙，变成稳定的氢化镁，把氢气“锁”在里面，常温常压就能安安稳稳待着，不用高压和低温。需要时稍微加热，镁合金再把氢气慢慢“吐”出来，这个过程可以反复循环。我们研发的镁基储氢材料，实测吸氢量超过6.8%，循环寿命突破3000次；更重要的是，这种固态储氢方式安全有保证，罐体即便磕碰破损，氢气只会缓慢逸出，不会像高压气瓶那样瞬间喷射爆炸。

我国发展镁基固态储氢具有得天独厚的优势。镁主要来自镁矿冶炼，我国镁矿、盐湖镁等综合储量占全球70%以上，原镁产量占全球90%左右，在镁材料的制备上，资源完全自主可控。但是镁

绿色制氢走向规模应用，离不开基础研究突破。近年来，我们从金属—载体催化界面调控入手，探索解决制氢催化活性与稳定性难以兼顾的问题。在甲醇—水重整制氢中，通过纳米覆盖层保护关键界面，实现低贵金属用量下的长期稳定运行；在生物乙醇制氢中，通过调控催化界面改变反应路径，在制取氢气时联产乙酸，使原料中的碳更多转化为有用化学品。这些研究说明，绿色制氢不能只关注单项性能，还要统筹长期稳定性、资源利用效率和全过程减排，从反应源头探索更加高效、低碳的技术路径。

未来5至10年，是绿色制氢由示范验证向规模应用迈进的关键时期。首先要提高制氢系统在波动工况下的效率、寿命和安全性，加强基础研究，中试验证和工程示范的衔接，使新技术经受真实工况和长期运行检验。还应以炼化、合成氨、甲醇等现有需求为牵引，稳步拓展氢冶金等应用，推动绿电、绿氢与下游产业协同布局。

绿色制氢是一项需要长期积累的系统工程，只有坚持科学论证、因地制宜、稳妥推进，才能把科技创新优势转化为产业发展优势。绿色制氢的中国方案，应立足我国资源禀赋和产业基础，贯通原始创新、装备制造与应用需求。要发挥可再生能源和制造体系优势，补齐关键材料、核心部件和系统集成短板，推动成熟技术持续降本增效，同时为基础研究和前沿探索保持稳定投入。

（作者为中国科学院院士、北京大学化学与分子工程学院教授，本报记者吴丹整理）

材料是有“性格”的，它活泼易氧化，吸放氢气时伴随着体积膨胀，曾被认为无法工程化。我们团队通过多元合金化降反应温度、设计多孔块体缓冲胀缩、建立氢—热耦合模型优化能源效率等路径，一步步将镁基储氢从实验室推向工程应用。镁基固态储运氢气技术，我国已处于国际领先水平。

当然，氢气固态储运尚未达到随意铺开的程度。镁—氢键较强，理想放氢温区仍在300摄氏度上下，虽然经合金化已大幅降低操作温区，但随车快速启停场景下紧凑高效供热撤热，系统轻量化仍有待突破。现阶段更适合固定储能、远距运氢、加氢站缓存，直接装车有待进一步减重。此外，产业链上游需配套风光电解水制“绿氢”才能实现真正的零碳，加氢站、标准规范、安全认证也要同步跟上。

“双碳”目标下，绿氢制取、固态储运、多元应用是能源转型的重要抓手。我国镁资源禀赋、材料积累和装备制造三者叠加，有条件把镁基固态储氢做成有自主知识产权的优势产业。镁基储氢从想法到样机花了20多年，从样机到产业还要再走一程。把最轻的氢气“锁进”镁金属里，把清洁能源高效安全送达千家万户，是我们的梦想。

（作者为中国工程院院士、上海交通大学氢科学中心主任，本报记者黄晓慧采访整理）

原位直接电解制氢海试。现在正进一步将真实海洋环境多因素耦合作用纳入海水直接电解制氢的工程技术示范体系。

随着海水原位直接电解制氢技术的发展，未来有望实现在大海“就地发电、就地取水、就地制氢”的一体化模式。在深远海，海上风电、光伏和海水直接制氢可以构成多能互补系统。制取的氢气既可通过管道或船舶输送到陆地，也可原位转化为氨、甲醇等更便于储运的产品，还可直接为海上平台、远洋船舶、邮轮与海岛供能。由此形成的“海上新能源—海水制氢—氢基燃料”全链条体系，不仅能够减少远距离输电压力，还可能催生从海上新能源开发、海水制氢到氢基燃料生产和运输的完整产业链，拓展海洋能源开发空间。

随着海洋开发不断向深远海延伸，海基氢动力无人机还可依托风电平台和海上制氢设施形成网络化作业节点，开展高频次、自动化的设备巡检、海事监管、环境监测和搜救任务。这种能源供给与低空装备协同发展的模式，有望降低传统船舶长距离往返的时间和成本，提升深远海基础设施运行维护与突发事件响应能力。

相信通过基础研究、装备制造和应用场景协同创新，我国将不断完善从海水直接制氢到氢基燃料利用的完整产业链，为保障国家能源安全、推动绿色低碳转型和构建新型能源体系提供有力战略支撑。

（作者为中国工程院院士、四川大学学术委员会主任，本报记者宋豪新采访整理）

说起牡蛎，你会想到什么？不少人可能首先会想到餐桌上的美味，但在海洋生态系统中，它可是名副其实的“防护专家”和“生态修复师”。

海洋里的跨海大桥桥墩、防波堤，这些看似坚固的结构，其实每时每刻都在承受海浪冲刷、海水侵蚀，还有微生物和钻孔生物的不断侵袭。倘若维护不当，用不了几年，它们就可能出现裂缝、锈蚀，不仅维修成本高，还可能破坏海洋生态。

有研究发现，不起眼的牡蛎或许能成为保护海洋工程的得力助手。牡蛎喜欢在硬质表面安家，通过分泌特殊生物胶，把自己牢牢固定在礁石或混凝土表面，逐渐形成坚硬的贝壳层。更神奇的是，它们附着后能与混凝土融为一体，形成一道致密的生物保护层，就像给海洋工程披上了一件铠甲。

通过诱导牡蛎附着技术，我们给海洋工程穿上了一层生物“金钟罩”，既延长了工程寿命，也修复了生态环境。牡蛎附着后形成的结构，相当于建造了一座小型“人工牡蛎礁”，吸引鱼、虾、蟹类等来栖息，逐步形成完整的生态链，让单一的混凝土结构变成生机勃勃的“生物乐园”。

不过，想让牡蛎“上岗”并不容易。随着海洋生态环境变化，牡蛎可以附着的天然硬质表面越来越少。这导致它们要么扎堆附着于天然硬质表面，要么难以生存。我们团队研发的水泥基诱导材料技术，正解决了这一难题——为牡蛎定制“专属安居环境”，把混凝土表面变成牡蛎乐于安家的场所。

这种特殊水泥的化学成分、表面颜色和纹理都经过精心设计，铺设在海洋工程表面后，能精准吸引牡蛎幼虫前来附着。通过调控材料配方和施工工艺，还能控制附着的密度，既避免过于密集而影响生长，也不会因过于稀疏而降低防护效果。并且这种材料与混凝土协同性好，还能进一步保护主体结构。

别小看这层“牡蛎铠甲”，它的防护能力不亚于目前主流的防护措施。而且，这层生物保护层完全是自然产物，零污染、能自我修复，如果表面出现细微裂缝，牡蛎分泌的生物胶和新附着个体可以慢慢将其填补。在我国某海湾的防波堤试点工程中，使用诱导材料仅3个月，牡蛎附着覆盖率就超过95%；5年后，这些区域的混凝土腐蚀速率下降了70%以上。

海洋生态修复一直是世界级难题，全球每年因海洋腐蚀造成的经济损失巨大。我国这项创新技术，既解决了工程防护的需要，还为推动实现“双碳”目标贡献了力量，生动诠释了人与自然和谐共生的理念。

小小的牡蛎，不仅满足着我们的味蕾和营养需求，还是守护海洋工程、修复海洋生态的“功臣”。这让我们看到了科技与自然携手的巨大潜力——当人类学会向大自然“借力”，就能在保护环境的同时，实现可持续发展。相信未来会有更多新技术涌现，让海洋更洁净，让蓝色家园更美丽。

（作者为哈尔滨工程大学航空航天学院教授，本报记者郭晓龙采访整理）

我国科学家发现银河系外气体盘呈波纹状褶皱结构

本报南京电（记者姚雪青）中国科学院紫金山天文台“银河画卷”研究团队利用我国13.7米口径毫米波望远镜的一氧化碳分子巡天数据，首次在银河系分子气体外盘中发现了广泛分布的波纹状褶皱结构。这些褶皱叠加在已知的大尺度翘曲之上，意味着银河系外盘并非仅平滑弯曲，而是一个由翘曲与多尺度垂直起伏共同构成的复杂系统。这项研究成果近日发表于《自然·天文学》。

研究团队从巡天数据中证认了3万多个分子云样本，先定量构建了外盘的翘曲模型，并扣除了这个大尺度的弯曲背景，残差图中浮现出清晰的波纹状起伏——褶皱。这些褶皱广泛存在于分子外盘中，径向波长约3.9千秒到7.9千秒差距，垂直振幅约100到200秒差距。

科学家分析认为，如此大尺度的垂直起伏，可能来源于外部引力扰动所激发的“弯曲波”。这意味着银河系外盘在其演化历史中，可能经历过更多样的内外相互作用，比如矮星系等卫星星系的扰动。银河系自身的旋臂结构，可能进一步调制这些波纹的形态，并在冷分子气体中留下了结构性痕迹。

“这项研究的重要价值在于，首次从整体尺度揭示了银河系外盘冷分子气体的精细结构特征，对深入理解银河系旋臂结构、盘面动力学演化以及外部扰动历史具有重要意义。”中国科学院紫金山天文台研究员杨敏说。

科学家发现虎耳草目首个食虫植物物种

本报昆明电（记者张驰）记者近日从中国科学院昆明植物研究所获悉：该所孙航院士团队联合国内外科研人员，证实分布于青藏高原东南缘横断山区的灯架虎耳草具有吸引、捕获昆虫，消化并吸收昆虫营养的完整食虫功能。这是目前在被子植物虎耳草目中确认的首个食虫植物物种。

灯架虎耳草主要分布于我国川西南和滇北的高亚山环境，常生长在养分贫乏的岩石缝隙中，其全株密布黏性腺毛，常见小型昆虫黏附于植株表面。研究团队通过气味和视觉阻隔实验发现，灯架虎耳草的花部气味信号参与了吸引昆虫的过程。昆虫接近植株后，密布于花序的黏性腺毛构成了类似“粘纸”的黏捕型陷阱。研究发现，被捕获的昆虫主要是摇蚊科等小型昆虫。

研究团队还完成了灯架虎耳草染色体水平基因组组装，并将其与茅膏菜、猪笼草等食虫植物进行比较。结果显示，多个彼此独立演化的食虫植物谱系，在黏液分泌、猎物消化和营养处理等功能相关的基因中呈现趋同演化信号，为灯架虎耳草食虫性演化提供了基因组层面的证据。

本版责编：肖 遥 陈世涵 银 燕
版式设计：汪哲平 张丹峰