

“老工艺”回答“新命题”，绿色燃料如何规模化

■本报见习记者 江庆龄

随着2026年政府工作报告提出培育氢能、绿色燃料等新增长点，绿色燃料被进一步纳入政策布局。

绿色燃料并不是凭空出现的新概念。绿色氢能、绿色甲醇、绿色氨、可持续航空燃料和电转液燃料等，都属于这一范畴。同时，合成氨、甲醇合成、费托合成等反应和工艺已有漫长的发展历史。

在“双碳”大背景下，这些并不“年轻”的反应和工艺，给学术界和产业界带来了哪些新机遇，又提出了哪些新挑战？近日，在中国科学院学部主办的“绿色氢氨醇燃料”科学与技术前沿论坛上，来自能源、化工、材料、交通等领域的120多位专家学者，对此展开了深入讨论。

多能融合的能源体系

“燃料本身没有颜色，关键在于合成原料和合成方法是不是绿色。”中国科学院院士包信和表示，当今能源体系是一个多能融合的体系，化石能源、可再生能源、核能等共同向终端用户提供热、电和液体燃料。

面向未来，可再生能源发电占比将持续提高，但风电、光伏等可再生能源具有波动性。如何高效消纳绿电，并将其转化为热能和绿色燃料，正成为化学、能源和工程技术领域的重要课题。

在此过程中，氢能扮演着关键角色。它兼具能源和原料属性，不仅可以燃烧放热，也能作为还原剂参与化学反应，将可再生能源转化后引入交通、工业、化工等难以直接电气化的领域。“氢能是实现碳中和的关键。”包信和强调。

这正是绿色氢氨醇燃料的基础逻辑，即先把绿电转化为绿氢，再由绿氢与碳源、氮源等结合，形成不同类型的绿色燃料。换言之，氢是中间枢纽，甲醇、二甲醚、合成油、氨等则是不同场景下的能源载体。

其中，甲醇属于碳基燃料，具有较成熟的化工基础和应用场景。从绿色角度看，甲醇不

仅需要绿氢，还需要绿色碳源。碳源从哪里来，是否足够低碳、如何核算和认证，都会影响绿色甲醇的“含绿量”。对此，包信和认为，可以优先考虑“蓝色”碳基燃料，即以煤炭等化石能源燃烧过程中捕集的二氧化碳为碳源。

氨的逻辑则有所不同。由于不含碳，液氨作为燃料具有天然的低碳优势。但在更温和条件下高效合成氨、低能耗分解氨、安全高效燃烧、控制氮氧化物排放等，同样是当前发展面临的挑战。

中国科学院院士徐南平指出：“膜反应器技术有可能在较低温度、较低压力条件下实现氨的工业生产，但仍需攻克膜材料制备、流程优化设计等一系列问题。”

这种多线并行的方式，展现了绿色燃料发展的多种可能路径。具体使用哪种燃料，则应结合发展阶段、资源条件和应用场景作出判断，重点考量含氢量、能量密度、碳排放、成本和终端使用方式等因素。

跨过成本这道门槛

绿色燃料要想大规模应用，成本是绕不开的话题。以绿色甲醇为例，其成本中超过2/3来自制氢过程，而氢气价格又高度依赖于电价。粗略估算，电价乘以50再加5元，约等于每公斤氢气价格。

与会专家认为，跨过成本门槛，并不是简单追求最低价格，而是要在安全、低碳和经济性之间找到可持续的平衡点。同时，还需要通过政策引导、认证体系建设和市场机制设计等方式分担早期成本。

“降低成本不仅是效益问题，更是能源转型的必要条件。”徐南平说，新能源汽车和光伏发电都经历了从补贴推动到成本下降再到市场接手的历程。绿色氢氨醇燃料也必须经历类似过程。

“从经济性与技术可行性综合考量，氢经济将沿着工业脱碳、低碳交通和长时储能这三大路径协同发展。”中国科学院院士郑南峰认为，绿氢成本正逼近规模化应用的关键拐

点，应进一步从全生命周期制氢成本的角度进行剖析。

他特别提醒，并非所有环节的成本都越低越好。在实际工程中，不能只盯着催化剂、膜电极或单台设备价格，而要看整个系统能否长期稳定运行。“比如，电解槽在绿氢生产成本中占比不高，但直接影响工艺放大过程中的效率和可靠性。”

中国科学院院士孙立成把绿氢成本问题指向了更具体的技术环节。“阴离子交换膜电脱水制氢有望摆脱对贵金属催化剂的依赖，从而降低成本。但前提是进一步攻克膜的传导性、稳定性和机械强度等关键难题。”

中国科学院院士徐桐文对此表示赞同并补充指出，阴离子交换膜材料的稳定性应在真实应用场景下考察。“一些膜材料在实验条件下可以保持较长稳定性。但进入电堆后，除了膜本身的性能，催化剂、电极界面等都会影响膜的实际使用寿命。”

中国科学院院士袁红介绍，航空煤油短期内难以被电或氢直接替代，生物航煤是航空业减碳的重要途径。但随着未来用量增加，必须持续降低成本。目前，全球已开发多条可持续航空燃料技术路线，中国也在多路线并行。但无论采取哪条路线，最终都要回到原料可获得性、技术成熟度、产品收率和经济性的判断。

从技术优势走向规则主动

如果说成本决定了绿色燃料能否落地，那么，规则和标准则决定了中国能不能在未来产业竞争中占据主动。

“发展绿色氢氨醇燃料，首先要掌握话语权，制定相关标准，在此基础上规划发展路线图。”活动现场，中国科学院院士段雪的观点得到不少专家响应。

近年来，我国围绕未来能源开展了一系列工作，在基础研究、产业布局和市场培育等方面均已具备一定基础。但在部分领域，相关工作仍主要参照欧洲标准体系推进。

包信和认为，欧洲在碳捕集路径上强调直接空气捕集方案，但中国完全可以结合自身能源结构和产业实际，在煤炭燃烧等过程中直接捕集二氧化碳。

中国科学院院士丁文江也提到，国内长期存在一种崇尚欧美标准和先例的评价惯性。“我曾在多个场合介绍我们团队的工作，但不少人得知欧美及日本均无先例后，便对这款产品失去了兴趣。”丁文江表示，“由中国主导的标准体系建设十分重要，但标准真正站稳脚跟，还要依靠市场反馈、供需关系调整和实践验证。”

某种程度上，谁定义“绿色”、谁制定认证规则，谁掌握碳足迹核算方法，谁就可能在未来绿色燃料产业竞争和国际贸易中占据主动。

“绿色燃料发展不仅靠生产技术，还需要储运、加注、安全环保等配套标准。比如，上海港想建设未来用于船舶燃料加注的氨罐和库区，但由于缺少相应标准，实际推进受到了制约。”为此，中国科学院院士黄震呼吁，“应加快建设适合我国国情的绿色燃料标准与认证体系，包括生产技术规范、储运、加注、安全、环保标准等。”

当然，成本要降下来，规则要立起来，最终仍要回到科学问题和工程问题。低温电解体系制氢、廉价且规模化的绿色碳源获取、低成本高效率电催化合成氨等来自产业界的问题，正是当前能源领域基础研究需要重点发力的方向。

目前，包信和正在推动长三角绿色燃料（绿氨）科技和产业创新示范区建设。示范区瞄准航运绿色燃料和数据中心绿色电源，聚焦可再生能源高效制氢、生物质制绿色燃料、高效氨合成与利用、直接氨燃料电池及碳足迹标准建设等方向，联合高校、研究机构和企业力量，破解当前产业发展瓶颈。

中国科学院院士谢在库提醒，发展绿色燃料必须从系统工程角度考虑。“科学家是重中之重，但只有科学家是不够的。”他说，科学家、政府、企业、资本和政策环境需要形成“五位一体”的合力。

发现·进展

西北工业大学

“生物大脑”让机器人“带着思考走路”

本报讯(记者李媛)西北工业大学教授刘志文、郭斌团队从动物导航的生物学机制出发，提出了面向具身智能体的认知导航框架。该框架旨在赋予机器人超越简单移动的能力，使其能像动物一样在未知环境中理解空间、调用经验并作出灵活决策。近日，相关成果发表于《自然综述·电气工程》。

机器人的导航方式大多遵循“建图-定位-规划-控制”的固定流程，这种导航方式在高度结构化的稳定场景中适用，一旦进入开放、动态、未知的真实世界，便会暴露出致命弱点：一是泛化能力差，即环境发生改变，机器人便会因为地图对不上而瞬间“失智”；二是为了维持高精度，需要消耗巨大的算力和能源，耗能耗时、响应迟滞。

研究团队从认知神经科学角度拆解动物导航机理，提出一套类脑具身认知导航框架。简单来说，就是给机器人装上一个“生物大脑”，让它们不再依赖外部的地图数据，而是通过内部的认知机理来理解空间，进而在动态环境中实时感知、灵活避障。

这一框架的核心可概括为四个关键词——多模态感知、预测式表征、记忆复用、分层规划。多模态感知打破了传统机器人“只靠眼睛看”的局限，使其能结合运动、姿态、环境信号，更精准地判断自己在环境中的状态；预测式表征不只知道“我在哪儿”，还能预判“前面会有什么”，提前作出反应；记忆复用把经验变成可迁移知识，使机器人快速适应陌生场景并“举一反三”；分层规划则先定大方向，再走小步子。由此，机器人导航不再是“执行指令”，而是真正“带着思考走路”。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s44287-026-00294-7>

中国科学院青岛生物能源与过程研究所等

新技术实现12分钟“看清”多项关键指标

本报讯(记者廖洋 通讯员刘阳、孔凤茹)中国科学院青岛生物能源与过程研究所联合清华大学、中国科学院等单位，开发出一种名为“过程拉曼组”的新技术，在12分钟内即可同时获取单细胞精度的“正在合成什么聚合物、含量多少、单体比例如何”等多项关键指标。近日，相关成果发表于《生物技术趋势》。

聚羟基脂肪酸酯(PHA)是一类可生物合成的聚酯类聚合物。作为重要的生物可降解材料，PHA广泛应用于包装材料、医疗器械等领域。工业生产中，PHA的种类及单体的含量与比例影响材料的强度与韧性，这对实时监测提出了极高要求。

研究团队建立了“过程拉曼组”技术平台，实现了PHA生产过程单细胞精度、免荧光标记的代谢表型组监测。“‘过程拉曼组’相当于给发酵罐装上了一双‘眼睛’，而且是能看到单个细胞的显微镜‘眼睛’。”中国科学院青岛生物能源与过程研究所副研究员张佳解释称，它利用单细胞拉曼光谱，无需荧光标记，在12分钟内就能同步读出每个细胞合成了什么聚合物、含量多少、单体比例如何。其区分聚羟基脂肪酸酯细胞与3-羟基丁酸-4-羟基丁酸共聚酯细胞的准确率达99.75%，单细胞水平定量总PHA含量及单体组成的精度与传统气相色谱相当。

目前，该技术已在酿酒酵母合成蛋白、红球菌合成油脂等体系中完成验证，具备广泛应用潜力。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2026.03.017>

高校星火馆地图上线

可一键查询全国高校科普资源

本报讯(记者高雅丽)5月25日，中国科协青少年科技中心联合高德地图正式发布高校星火馆高德地图。

地图首批重点推送全国百余所“双一流”高校、省部共建高校的700余个星火馆点位资源，既涵盖场馆地理位置、开放时间、预约渠道等基础信息，又同步纳入依托星火馆开展的科学营、科普研学、科创实践等各类特色资源。公众可一键搜索、精准定位、智能导航，便捷查找身边的高校星火馆。

高校星火馆是2025年起中国科协打造的高校科普品牌示范工程，分为场馆类和实验室类。场馆类包含博物馆、标本馆、校史馆等，主要开展通识科普，适合规模化面向公众开展科学传播；实验室类包含重点实验室、工程研究中心等科研平台，主要开展前沿科技体验，公众在此可以进行沉浸式科研实践学习。



这株野生刺楸自1954年被发现以来首次开花实景。 周翔宇/摄

近日，湖南省南岳树木园科研团队在例行监测中发现，树龄最老的一株野生刺楸进入盛花期。这是该树自1954年被发现以来首次开花。

刺楸是南岳特有种，被《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》列为“极危”等级，被称为植物界的“熊猫树”。目前，南岳发现和保存全球唯一自然分布的野生刺楸成年株仅10株。该树是当地目前发现的最古老的野生刺楸，树龄有310多年，过去几十年只长叶子、不见花果。

今年首次开花，证明了其生殖功能的恢复与激活，意味着这一极小种群的保护工作进入了重建种群繁衍能力的全新阶段。

本报记者王昊昊 通讯员周翔宇 报道

6.4万人研究证实，身体越差的老人，从运动中获益越大

■本报记者 冯丽妃

健康老龄化是很多人的梦想，然而，这条路上却有两个绕不开的“拦路虎”：肌少症和日常生活能力下降。两个问题看似独立，却常常相伴出现，形成一种危险的循环——肌肉流失让老年人“手无缚鸡之力”，进而让洗澡、做饭、上下楼梯等日常活动都变得困难，甚至基本生活难以自理，死亡风险增加。

如何打破这一恶性循环？上海交通大学医学院附属瑞金医院研究员王天歌、教授毕宇芳和中国工程院院士宁光团队合作，通过对国内外超过6.4万名老年人的长期追踪发现，运动能大幅抵消肌少症和功能残疾带来的死亡风险，而且身体越差的老人，从运动中的获益越



AI制图

大。相关研究成果近日发表于《交叉科学》。

“隐形杀手”

肌肉不仅是运动系统的核心，更是物质基础和能量代谢的重要调控器官。肌肉流失与功能衰退是自然衰老的一部分，也是老年人健康的“隐形杀手”。

能否改变这一自然进程？为回答这一问题，研究团队利用中国健康与养老追踪调查(CHARLS)、美国健康与退休调查(HRS)以及欧洲健康、老龄化和退休调查(SHARE)三大权威数据库，纳入64146名研究对象，构建了一个跨越不同种族、文化和收入水平的研究图谱。

40岁至70岁的人，其肌肉量以每10年减少8%~15%的速度流失，即为肌少症。肌少症主要表现为虚弱、四肢无力、步履缓慢、平衡障碍等。研究显示，在长达9~10年的中位随访期间，不同队列中确诊肌少症的老年人，其死亡风险比健康同龄人高出2.82倍至3.76倍。受此影响，那些连穿衣、如厕等基本日常生活和做饭等工具性日常生活都存在困难的老人，死亡风险分别飙升69%~123%和71%~144%。

“肌肉力量和自理能力下降，是比许多慢性病更直观的‘生命倒计时’信号。”论文共同通讯作者王天歌说。

并非“回天乏术”

肌无力和功能衰退的后果如此严重，是否“回天乏术”？恰恰相反，这项研究发现，打

破恶性循环的关键在于“动起来”。

按照是否达到世界卫生组织(WHO)的推荐标准，研究人员将研究对象的休闲活动状态分为“不活跃组”和“规律活跃组”。他们发现，只要达到WHO推荐的每周150分钟中等强度或75分钟高强度有氧运动的要求，就能显著降低功能衰退带来的死亡风险。

规律运动会让肌无力和功能衰退风险“砍半”。研究发现，在不活跃组的老人中，肌少症相关死亡率飙升2.70至3.88倍。而在坚持规律运动的老人中，肌少症的死亡率虽然依然高于健康人，但其风险增加的程度显著削弱。

更为关键的是，身体越脆弱的老人，获益越大。与不运动相比，规律运动的健康老年人死亡率降低约13%~34%；在肌少症老人中，运动使得死亡率降低了34%~50%；在生活自理能力受损的老人中，运动带来的死亡风险降幅更是高达51%~57%。

“平时不动的老人，功能衰退的‘毒性’被放大；而规律运动的老人，相当于给自己的身体穿上了一件‘防弹衣’。这件‘防弹衣’对于本就虚弱的老人，防护效果甚至更好。”毕宇芳说。

“动则受益”

为什么运动能带来如此大的好处？研究发现，从生理机制上看，举小哑铃、拉弹力带等力量训练能直接刺激肌肉蛋白质合成，对抗肌少症。而有氧运动则改善心肺功能，降低

炎症水平，延缓全身功能衰退。更重要的是，运动打破了“因病卧床-肌肉萎缩-能力更差-更不敢动”的恶性循环。

“哪怕只是坚持散步、做家务，也能维持关节灵活性和神经肌肉协调性，‘保住’宝贵的自理能力。”毕宇芳说。

“这项研究最核心的启示是动则受益。受益与基础状态无关，甚至状态越差越该动。”王天歌说，很多老人和家人有一个误区，觉得“身体都这样了，再动就伤着了”。但这项研究表明，即使是已经出现肌少症或轻度失能的老人，规律运动带来的生存获益依然巨大。

研究认为，运动是一种“广谱”干预措施，对于不同的功能衰退指标，运动都表现出一致的正向调节作用。“当然，我们强调的是‘安全和适度’。”王天歌建议，对于没有严重心血管疾病等禁忌证的老人，目标是每周累计150分钟的中等强度运动，比如快走、打太极拳、跳广场舞等。在此基础上，如果能每周做2至3次抗阻训练，比如弹力带拉伸、坐姿抬腿、靠墙静蹲，效果更好。

同时，研究人员表示，家务劳动虽然消耗能量，但通常强度不足且模式单一，提升心肺耐力和肌肉力量的“剂量”往往不够。他们鼓励老年人把“专门抽时间出去走走”当成和吃饭、吃药一样重要的日常任务。

“运动不仅是为了延寿，更是为了维持独立生活的能力。”王天歌说。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.isci.2026.115665>

清华大学深圳国际研究生院等

提出具有自组织临界性的水生机器人集群系统

本报讯(记者刁雯蕙)清华大学深圳国际研究生院教授胜利团队与深圳清华大学研究院副研究员黄嘉骥团队合作，提出了一种基于光场吸引与流体排斥耦合的水生机器人集群系统。近日，相关研究成果发表于《科学进展》。

自然界中有一种数学规律——幂律分布。这种看似无序却在有序的现象，背后隐藏着被称为“自组织临界性”的普遍原理，使得处于临界状态的系统能在稳定与失稳的边缘自发维持动态平衡，既保持整体秩序，又孕育丰富的局域行为。然而，在人工物理系统中主动构建这种临界特性，一直是一个难题。

在该研究中，每个机器人通过可见光信号相互吸引，同时利用振动薄膜产生的水波形成流体反馈式排斥。两种物理场的非线性耦合，使系统在无需外部精细调控的条件下，自发演化出具有幂律分布特征的“相关簇”，在流体环境中的机器人集群展示了可复现的自组织临界状态。

研究团队分析了集群中“相关簇”的规模与持续时间。结果显示，二者均遵循幂律分布，且存在幂律关系，展现出典型的时空尺度不变性。研究显示，即使大幅改变个体光强或集群密度，该系统仍能自发演化至稳定临界态，其香农熵与幂律指数基本保持不变，体现了自组织临界系统的核心特征——无需参数精细调节即可进入稳态。此外，该系统还具备从局部交互中涌现全局功能的潜力。

该研究为理解复杂系统中的临界现象提供了可控实验平台，也为发展低编程依赖、强环境适应性的自主群体智能系统提供了新思路。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aac6153>