

“AI科学家”，推动科研范式深刻变革

董楠卿



最近，英国帝国理工学院微生物学专家何塞·佩纳德斯发现并验证了一种全新的细菌基因传播机制：超级细菌（对抗生素具有耐药性的细菌）通过获取病毒尾部结构来实现进化。佩纳德斯和他的团队前后用了10年时间完成这一研究。然而，令他震惊的是，谷歌公司今年2月推出的“AI联合科学家”，仅用了48小时就验证了这一尚未发表成果，并提出多个合理的科学假说，甚至还包含一个佩纳德斯未曾考虑过的方向。佩纳德斯表示，如果能更早知道这一猜想，无疑可以为研究节约数年时间——AI科学家的潜力可见一斑。

所谓“AI科学家”，并非指在实验室操作精密仪器的实体机器人，而是由大语言模型驱动的、具备专业知识知识且具有一定自主性的智能体，它能够自主提出科学猜想和研究方案。近年来，随着大模型推理能力并喷式发展，以及大数据平台、算力基础设施的进步，AI科学家正从概念构想加速迈向实际应用。它们既可以有效模拟人类科学家团队有关研究讨论、文献分析、假设生成、实验设计甚至仪器操作等任务流程，多个智能体之间还能够进行“头脑风暴”，激发出超出单个智能体认知的“群体智能”。

AI科学家的意义远不止于提升科研效率，更在于推动科研范式的深刻变革。当前，全球科研机构竞相开发各具特色的AI科学家系统。按照功能定位，研究方向主要分为两类。

第一类旨在构建辅助人类科学家的“科研助手”。人类科学家仍是研究主体，智能体为研究者提供跨领域的学科知识和研究思路。比如，美国斯坦福大学开发的名为“虚拟实验室”的在线系统，可以根据人类科学家的需求，组建不同学科背景的AI科学家团队展开科研。今年7月，“虚拟实验室”构建了包括“免疫学家”和“计算生物学家”等在内的虚拟联合团队，提出了新的纳米抗体计算框架，成功辅助人类科学家设计了92款抗病毒纳米抗体，相关研究发表在《自然》杂志。

第二类的研究目标则更具挑战性——打造一个完全自主的科学发现系统。这类系统能够依靠多个智能体的协作，在复杂的动态环境中解决具体的科学

问题。在此过程中，人类科学家的主要工作可能就是提出研究目标、验证并反馈实验结果。2024年8月，日本科技公司“鱼AI”开源了“AI科学家”系统，首次实现完全由AI驱动的、从提出科学构想到撰写学术论文的科研过程。今年3月，该系统产出一篇计算机科学论文通过了国际顶级学术会议的专家评审。今年5月，美国AI研究机构“未来之家”宣布，其多智能体系统“知更鸟”自主发现了一款治疗干性黄斑病变（致盲的一大主因）的药物，并通过RNA实验验证了其作用机制。这些创新成果让人们看到，AI科学家技术可能已不再停留于“纸上谈兵”，其在科学研究和产业应用层面已展现出一定实力。

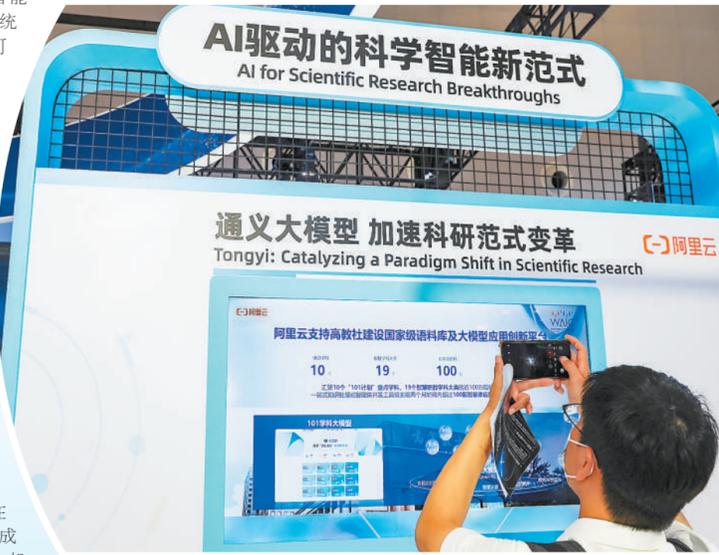
我国也在加快构建AI科学家系统。2024年10月，上海人工智能实验室联合多家单位开源了多智能体科学社群模拟系统——“虚拟科学家”，可以模拟人类科学家的合作过程来研究科技创新规律；2025年7月，联合崖州湾国家实验室和中国农业大学等单位，发布了首个生物育种领域的自主科学发现系统“丰登·基因科学家”。在该系统的辅助下，科研人员在主粮作物中发现了数十个此前未被报道的基因功能，并获得实验证实。

尽管AI科学家在技术上已取得阶段性成果，但在可靠可控、人机关系、科研伦理、合规监管等诸多方面仍有大量问题亟待解决。科学界长久以来关于“AI是否会

取代人类”“AI是否会弱化人类独立思考能力”等问题的争论也在持续。不过可以确定的是，人类社会正不断朝着通用人工智能的时代迈进。未来，AI科学家技术有望与机器人和传感器深度融合，通过传感器感知实验环境并借助机器人执行实验，从而完成从假设提出到实验验证的全自主科学发现闭环。

可以预见，未来将有更多具备实体形态的“AI科学家”辅助人类在复杂环境下开展科学研究：“AI作物遗传学家”在盛夏的稻田中检查水稻生长状况，“AI土壤学家”在月球基地的无氧环境下分析月壤，“AI核物理学家”在辐射环境中操作仪器——这些曾经存在于科幻中的场景，将逐步成为现实。

（作者为上海人工智能实验室研究员）



在2025世界人工智能大会上，阿里巴巴展示通义大模型。

施华摄（影像中国）

一线探访

只需轻点鼠标，航运公司可以在茫茫海域实时优化航线，捕鱼船可以避开大量幼年海龟，度假海岛还可以追溯到沙滩上的塑料垃圾来源。这一拥有多项功能的“数字孪生海洋”（DTO）系统（见下图，本报记者尚凯元摄），正在更新人们对全球海洋治理的认知。

“数字孪生海洋”是欧盟委员会“欧洲海洋协议”的重要成果之一。这一公共数字基础设施，汇聚欧洲前沿科技专业力量，由位于法国的墨卡托海洋国际机构组织实施。“借助DTO，我们能识别出某些特定海域在特定时间的风险状态，向政策制定者提供精确的建议。”墨卡托海洋国际机构的数字海洋部门负责人阿兰·阿尔诺向本报记者介绍。

所谓“数字孪生”，是指在虚拟空间重建与现实系统同步的高精度模型。记者看到，通过操控DTO的主控面板，大屏幕上的信息图层便会瞬间切换：从海温、盐度到渔船热区与塑料漂移路径，都能在同一张海图上无缝融合叠加。如果要在禁渔区开展试验，对某种物种进行重点保护等，只要在界面上输入相关参数和指令，后台就会调用物理、水动力、生物迁徙和社会经济等模型进行计算，即刻生成动态演示地图，并且可以实时对比不同方案的效果。阿尔诺指出：“以往海洋模型只能从单一维度告诉人们海洋未来有什么趋势，而DTO则能告诉人们‘如果你这么做，将会发生什么’。情景模拟能力，正是传统模型与数字孪生系统的根本区别。”

在DTO的数据整合视图中，有五颜六色的数据源，包括遥感卫星、海洋剖面浮标、潮位计，还有佩戴传感器的海洋动物数据等。平台还汇聚了渔船航迹、港口日志、物种分布等信息。“很多信息以前可能也有，但分散在不同系统，彼此并不兼容。DTO实现了它们之间‘相互对话’。”阿尔诺表示，所有信息在同一个平台上，拥有相同的参考体系，这样才能做到真正的交叉分析与实景推演。

在数字世界“重建”海洋，可以更直观地理解其复杂机制并实现高效管理。譬如，模拟濒危物种的迁徙路线，快速测试禁渔区划定方案；预测马尾藻在赤道大西洋等海域的漂移，为海岸规划和资源调度提供预警；虚拟“种植”海草床或红树林等自然防护带，测试其拦浪固沙效果并与传统防波堤方案对比，选出最经济环保的组合；在多种气候和极端天气情景下量化沿海人口与财产风险；追踪塑料垃圾的漂移路径、暴露强度与停留时长，评估减排效果。

要实现这些功能，需要多学科的深度融合，也离不开数据的共享与协作。“今天的海洋研究，已进入高度复杂、多学科交叉的新时代。”阿尔诺认为，DTO平台的一大进步，就是让来自物理海洋学、海洋化学、生态生物学甚至行为学等不同领域的专家协同工作。团队中还有专门负责数据处理与分析的数据科学家，他们将各类观测、遥感与社会经济数据融会贯通。

DTO平台的另一大特点是对人工智能的深度应用。平台整合了来自哥白尼海洋服务、欧洲海洋观测与数据网络等多源数据，提供从季节到年代级尺度的多维度海洋状态监测与预测。借助最新的GPU计算架构，AI算法能够在几秒内生成高精度预测，速度较传统超级计算方式大幅提升。数据显示，AI已将海流预测的准确性提高了20%以上，尤其是在近海等动力过程更为复杂的区域，AI的引入使得模拟结果更精细、更实时。

“我们的目标是建设一个更强大、开放的系统，让全球科学家和机构都可以上传自己设计的模型或情景模拟，在平台上测试、共享。”阿尔诺介绍，未来DTO将持续引入更多高质量数据，强化人工智能算法，提升模型精度，建立完善审核机制，以免准确度不高的模拟误导决策。同时，逐步开放更多面向公众的互动功能，打造更全面的“海洋数字分身”。

（本报法国尼斯电）



新研究：木质素具有广谱抗病毒抗菌作用

据新华社赫鲁辛基电（记者朱昊晨、徐谦）木质素是一种广泛存在于陆地植物细胞壁中的复杂聚合物，也是木材工业的重要副产品。芬兰一项新研究显示，木质素具有广谱抗病毒和抗菌作用，并有望成为涂料、包装材料或消毒产品等领域合成抗菌剂的绿色替代品。

芬兰于韦斯莱亚大学近日发布新闻公报说，该校研究人员领衔的团队采用简便的水基提取法，从桦木屑、麦秸和燕麦壳中分离出高纯度木质素。实验结果表明，木质素不仅对无包膜的肠道病毒表现出显著的抗病毒能力，对一些有包膜的病毒以及金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等多种细菌也具有良好的抑制作用。

肠道病毒是一类常见病原体，包括脊髓灰质炎病毒、柯萨奇病毒、埃可病毒等，可能引发人类脑膜炎、心肌炎、脊髓灰质炎、手足口病等。研究人员说，木质素对肠道病毒的作用机制是通过稳定病毒结构并导致病毒颗粒聚集来削弱其活性，经木质素处理的肠道病毒仍能结合和入侵宿主细胞，但难以在细胞内复制。而针对细菌，木质素的活性化学基团可侵入细菌细胞，导致细菌功能受损。

相关论文已发表在新一期学术期刊《国际生物大分子杂志》上。研究团队认为，木质素有潜力成为合成抗菌剂的绿色环保替代方案，以更安全、可持续的方式应用于涂料、包装材料及消毒产品等领域。

本版责编：王慧 黄发红 李墨
版式设计：沈亦伶

创新汇

“空”中取氨，打开清洁能源新世界

周笛儿

空气和水，再平常不过。但在科学家的巧思下，它们有望成为打开清洁能源世界的一把新钥匙。近日，日本东京大学工学院研究团队研发出一种在常温常压条件下，利用氮气（空气中含量最多的气体）和水合成为氨的新方法。未来，这一成果如得到广泛运用，不仅有助于打破制氨传统工艺对高温高压及化石能源的依赖，也为构建一个“氨循环社会”提供了可能。

作为一种基础化工原料，氨的身影遍布现代工业与农业，从化肥生产到药品制造，从冷却剂到金属加工，都离不开它的参与。氨不仅与氢气一样在燃烧过程中不产生二氧化碳，还在存储和运输上具有更高的稳定性和经济性，因此被认为有望成为推动能源转型的重要载体。不过，目前合成氨主要仍使用20世纪初德国化学家哈伯发明的“循环法”，即通过加入催化剂使氮气和氢气在高温高压下合成氨。这一传统工艺存在高能耗、高碳排放等问题，并且高度依赖从煤和天然气等化石资源中提取氢气。

为应对传统合成氨工艺面临的瓶颈，东京大学研究团队此前开发出一套热能驱动体系，跳过了氢气这个“中间站”，通过选用在有机化学中常见的碘化钨作为还

原剂，只需将氮气、水与碘化钨、钨催化剂混合，即可在温和条件下完成氨的合成。相比传统高能耗方法，新工艺效率提高近100倍，且原料的利用率更高。不过，目前碘化钨在反应后无法循环使用，未来研究仍需攻克这一难题。

在此基础上，该团队此次构建出一套由光驱动的新型合成氨体系。他们采用一种可高效捕获光能的钨基化合物，利用太阳光中的可见光部分为反应注入动力。在光照驱动下，配合钨催化剂和提供必需电子的叔胺，最终实现了以氮气和水为原料、在光照条件下直接合成氨分子的突破。该研究团队负责人西林仁昭介绍，若催化剂进一步优化，合成效率有望提升至原来的200倍。这一过程不仅条件温和，且不产生二氧化碳，进一步拓展了绿色合成氨的技术路径。

“我相信我们可以从自然中寻找答案。”西林仁昭在接受采访时表示，他的灵感来源于自然界的“固氮奇迹”：某些植物如豆科作物，能与根瘤菌共生，通过体内的固氮酶，将空气中的氮转化为可供植物吸收的氨。他们希望开发出一种人工固氮酶，用清洁能源驱动氨的合成。目前，该团队的新方法虽已在实验中获得初步成

功，但如何实现规模化、持续稳定的合成仍是重要挑战。“我们需要进一步提高反应效率、优化材料选择，并构建完整的系统集成方案。”西林仁昭表示，团队正与相关企业合作以推动实际应用。

中国科学院大连化学物理研究所研究员郭建平介绍，直接用太阳光驱动氮气和水分成氨，是科学家长久以来的梦想。在全球范围内，围绕氨合成的技术也在加速演进，不论是热催化、仿生催化、光催化还是电催化，都在试图突破“绿色固氮”的关键瓶颈。日本团队的这项研究成果通过组合光能转化技术，实现了温和条件下利用光能合成氨，具有一定的突破意义。但是，目前这个“阳光转化器”的效率还比较低，核心材料成本也偏高，系统的耐用性和循环使用能力还需要科学家们继续攻关。

在郭建平看来，在21世纪的清洁能源布局中，氢能被广泛视为理想的二次能源载体，但目前还存在氢气储运难、成本高等难题。相比之下，氨在常温下只需轻度冷却和加压即可液化，更适合船运与长时间储存。通过氨的热解，还可以在终端重新释放出氢气，实现“氨的搬运”。这使得氨不仅是能源载体，还是氢能的重要中转站，为未来氢能的广泛运用提供了更便捷的路径。当空气和水成为新的“原材料”，当阳光照射就能驱动反应，也许下一个能源时代正悄然降临。

科技大观

塑料也能存储信息吗？

席正

近年来，随着通信技术快速发展，人类社会产生的信息量爆炸式增长，对数据存储的需求与日俱增。除了光盘、硬盘等传统存储设备外，新型存储介质和存储方式也不断涌现。

前不久，美国得克萨斯大学奥斯汀分校研究团队在国际期刊《化学》上发表研究成果，他们开发了一种新的信息编码和解码方法，通过合成聚合物分子实现数据存储。这是科学界首次尝试将信息写入塑料，并使用电信号读取这些信息，这使得在塑料聚合物材料中存储信息成为可能。

我们知道，在分子生物学领域，大分子脱氧核糖核酸（DNA）是一种天然的“存储载体”，它通过腺嘌呤（A）、胸腺嘧啶（T）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）这4种核苷酸按特定顺序排列，即“四进制编码”，编织出生命的遗传密码。在信息技术领域，我们用0和1进行二进制编码。这种方式不仅具有更高的信息密度，还可以很简便地转换成二进制数据，方便计算机系统进行处理。理论上，只要能通过合成生物学技术将信息用A、T、G、C四种核苷酸编码进DNA分子，再用DNA测序技术读取存储的DNA序列，就能实现信息的编码和

解码过程。不过，目前DNA存储存在成本高昂、读写效率低等问题，想要实现大规模推广还需从技术上解决很多问题。

得克萨斯大学研究团队此次在一种塑料分子的低聚物中使用的编码方式，也借鉴了DNA存储的思路。团队使用4种不同的单体（对应于DNA中的A、T、G、C四种核苷酸），按照一定顺序进行编码，构建起链状聚合物，随后基于这些分子的电学性质，对其进行读取解码。具体来说，通过这4种单体的不同组合构建一个“字符字母表”，总共能表示256个不同的字符。为了验证该方法的有效性，研究人员用这个“字符字母表”合成拥有11个字符密码的链状聚合物，并依据电化学谱学分析对其进行成功解码。由于每个单体都有独特的电学信号，因此在逐步降解过程中产生的电信号可以用来解读单体的顺序。

不过，目前该技术的解码过程必须将聚合物分子进行降解，所以只能进行一次性读取。而且，解码速度很慢，仅仅这11个字符的读取就花费了2.5个小时。研究人员正在努力改进解码速度，并使数据可以进行重复读写。

聚合物数据存储的突破，拓展了存储介质的范围，在未来拥有无限可能。它具有重量轻、成本低、容量大、能耗低、绿色环保等优势，在电磁环境和强辐射环境具有更好的数据稳定性。例如，在柔性电子设备和物联网领域，如果采用某些特定的塑料低聚物存储，在适合的条件下可以比磁介质、光介质拥有更长的数据保存期，在使用寿命结束后也可进行回收或生物降解，减少电子垃圾的产生。

在信息存储领域，科学家们正在研究更多新技术。去年11月，中国科学技术大学的研究团队基于金刚石发光点缺陷，开发出一种新型四维信息存储技术，具备高密度、超长寿命、快速读写等关键特性，有望为新一代绿色大容量信息存储提供解决方案。玻璃作为一种常温下物理、化学性能稳定的物质，近年来也是信息存储领域的重要研究对象，华中科技大学今年3月研制出容量达现有光盘10倍的玻璃硬盘样品。在英国南安普敦大学光学研究中心的最新成果中，通过多维光存储技术可以在光介质存储器中实现多层存储，目前已达到100层的无损数据存储，未来甚至可以达到1000层……我们相信，随着存储技术的不断发展，未来一定能找到更多更好的存储方式，满足超大容量、读写速度、数据安全、存储时间等方面的多样化需求。

（作者为中国科学技术大学科技传播系副研究员）