聚焦原子制造：操纵物质世界的最小单元

■本报见习记者 赵婉婷

2500年前，古希腊学者曾猜想，物质由不可再分的“原子”构成，中国古代也有关于物质精微结构的类似思辨。

步入19世纪，近代原子论诞生，随着新技术不断问世，人类从认识原子结构走到了控制原子的技术前沿。如今，科学家通过精准移动、排布原子，从而把材料已有的性能发挥到极致，甚至做出自然界不存在的高性能材料，原子水平的制造业已上升为国家重大需求。

近日，香山科学会议第S79次专题讨论会在京召开。与会专家围绕“原子(级)制造——基础前沿与技术应用”这一主题展开讨论。

“原子制造”与“原子级制造”

科学家是如何控制直径仅0.1纳米的原子，并制造新材料的？

第一步是确认原子位置。20世纪80年代，透射电子显微镜与扫描隧道显微镜的发明，实现了对单个原子的观测。

第二步是对原子施加作用。中国科学院院士、中国科学院物理研究所研究员高鸿钧介绍，其核心原理是将能量精准作用于原子或原子层，实现原子限域去除或有序构筑。

制造路径则分为“自下而上”和“自上而下”两种。其中，“自下而上”类似于从头搭积木，“自上而下”可以理解为对大块材料进行减材雕刻。

对于这类涉及原子层面的制造技术，学界目前有两种描述：“原子制造”和“原子级制造”。一字之差，含义却有很大区别。二者概念界定不清，造成了研究布局分散、技术路线杂乱的困境。

在此次香山科学会议上，与会专家首先就二者的区别达成共识：“原子制造”以功能为导向，指的是直接操控原子及原子基元的精准构筑过程，包括二维材料外延、单原子迁移等技术。

“原子级制造”则偏向工程化产业应用，重在达到原子级精度的加工、表征与控制手段，属于原子制造的重要技术路径和组成部分。对于“原子级水平”，华南师范大学教授赵纪军解释，它包括但不限于薄膜厚度、表面平整度的原子级精度，满足其一即可。

“因此，与原子级制造相比，原子制造是涵盖精度、性质与功能的更广义概念。”中国科学院院士、中国科学院物理研究所研究员方忠指出。

赵纪军补充道，原子制造更具探索性、颠覆性。“严格地说，只有当真正实现了从原子尺度理解、操控和创新物质，并带来产品性能的颠覆性提升，才能被界定为原子制造。”

变革性制造的范式

明确定义后，原子(级)制造的技术与成果就更容易理解了。

自20世纪90年代起，高鸿钧开始探索单原子操控技术。借助扫描隧道显微镜，他与团队在单原子的移动与组装方面取得多项进展。例如开创了基于“折纸术”的原子制造技术，应用扫描探针在原子级尺度精准和反复折叠石墨烯纳米岛。此外，他与团队探索了在笼目金属表面搭建铯原子有序结构的方法，实现了对材料量子物性的原子精准调控。

南京大学物理学院教授宋凤麒从相关仪器入手，主持研制了团簇束流装置。这套装置从气相原子出发，用激光烧蚀等方式产生原子团簇，再把选定原子数的团簇以束流形式定向沉积到衬底上，从而“垒”成新材料、新器件。他介绍，团簇这种人工分子突破了自然状态的化学空间，能获得更多特殊物态，例如亚稳态、过渡态和非平衡态，是原子制造实现按需创制新物质的核心构筑基元。

这些“自下而上”的自组装技术，展现了原子制造精准操纵的特点。

就产业化应用而言，原子(级)制造是支撑信息技术发展与升级的关键。当下，人工智能(AI)的快速发展给算力能效提出越来越高的要求，中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员宋志棠团队探索的相变存储器(PCM)制造，使高速、大容量存储成为可能。

“在光或电操作下，相变原子或基元从不整齐变为整齐，或从整齐变为不整齐的过程，就是信息储存的过程。”宋志棠介绍，PCM依托原子尺度的结构相变，属于原子级制造范畴。面向电网、小卫星、工控等信息安全与国家战略需求，宋志棠团队与企业合作研制嵌入式PCM芯片，目前已实现量产，展现了“自上而下”的规模化优势。

“自下而上擅长造新物质，自上而下擅长规模化制备。精准操纵与可扩展制造的融合，是走向应用的关键路径。”高鸿钧总结道。

基于此，他指出一条原子制造的全链条布局：从单原子操纵、原子层材料构筑、单原子测控，到超高真空原子刻蚀与图案化器件制备。

“原子制造已成为变革性制造的范式。”高鸿钧说。

人类的终极梦想

当下，原子制造仍面临诸多挑战。赵纪军指出，原子并不“听话”，精细控制它很困难，现有的计算仿真软件对电子束能场和能量束的描述不够精准。与此同时，制造要求“规模化”“一致化”，这样的原理性矛盾引申出一系列难题。

“现有技术虽已实现多原子人工结构的构筑，但实验可精准构筑的材料种类少，难以构筑复杂和异质的人工原子结构。”高鸿钧总结说。

以光学芯片的制造为例，北京大学物理学院教授刘开辉介绍，二维晶体光学芯片被视为突破能耗与带宽瓶颈的重要技术。然而，二维晶体的厚度极薄，其原子级的厚度使光与物质作用长度过短，会大大降低光转换效率。

高鸿钧同时指出，尽管现有技术已实现原子成像和高电子能量分辨的测量，但在原位表征方面，单原子尺度的单电子、单自旋、阿秒层次的物理性质精准测量和研究尚待突破；在器件集成方面，复杂单原子/分子尺度的原理性器件仍难以构筑。

对于原子制造的功能突破，方忠表示，从微纳尺度到原子，制造体系正从经典物理走向全量子物理，器件从经典输运转向弹道输运等量子行为，必须更多依托量子效应实现功能突破，而非简单追求精度提升。

除了对原子操控、材料制造技术的探索与升级，赵纪军呼吁把握AI浪潮，及时开发针对原子制造的数据库，支撑设计仿真软件和AI模型的开发。

“原子级制造是人类的终极梦想。未来，我们会真正实现从性能到材料的逆向设计，在不同的限制空间里利用不同的物理场或物质流创制任意材料。”宋凤麒展望道。

发现·进展

中国科学院云南天文台等

确认已知自转最快近地小行星

本报讯(记者袁一雪)近日，中国科学院云南天文台的科研团队联合国内外学者，确认了目前已知自转最快的近地小行星。相关成果发表于《天文学杂志》。

据介绍，人类迄今成功预警的近地小行星撞击事件共13次，目标均为米级小行星，预警时长集中在2~21小时。此次研究的观测对象2024 XA1，曾是一次成功预报撞击事件的主角。北京时间2024年12月4日凌晨，这颗小行星闯入地球大气层，在西伯利亚东部上空解体坠落。从它被发现到最终坠入大气层，全程仅约10小时，是人类第11次成功预报的近地小行星撞击事件。

科研团队依托丽江2.4米望远镜观测数据，结合2024 XA1快速运动的特征，创新采用“守株待兔”的观测策略，在小行星进入大气层前最后1小时的宝贵窗口期成功捕捉到它坠落前的观测图像。

小行星自转速度与其自身结构强度紧密相关。自转越快，天体自身需要承受的离心力越大，一旦离心力超过自身材料的结合强度，小行星就会解体分裂。研究人员表示，2024 XA1如此极端的自转状态，说明它拥有极高的结构强度，更可能是致密的单块岩石天体，而非松散碎石堆。

近地小行星指近日点距离小于1.3天文单位(AU)，即距离太阳最近的位置不超过地球到太阳距离1.3倍的小行星。其中一类被单独标记为潜在危险小行星。这类小行星直径大于140米、与地球最小轨道交会距离小于0.05AU，一旦撞击地球，破坏力不容小觑。国际天文学联合会小行星中心(MPC/IAU)统计数据显示，截至2026年10月10日，人类已确认的近地小行星约42752颗，其中潜在危险小行星约2542颗。它们不仅尺寸偏小，而且亮度微弱、在轨运动速度快，为地球观测者提前捕获目标、精准评估撞击能量带来巨大挑战。

在这项研究中，科研团队不仅确认2024 XA1为已知自转最快的近地小行星，还自主开发了一套适配拖迹图像的小行星光变曲线重构方法，能够高效从拖迹图像中解析近地小行星的自转周期、形状和结构等特性信息，为研究米级、快速自转和快速移动近地小行星的内部物质结构提供了机会，同时提升了短临预警小行星物理特性的获取能力。

相关论文信息：

https://doi.org/10.3847/1538-3881/aeaa5d

大白菜来了『爆米花』香味的



研究人员通过基因编辑创制爆米花香味大白菜新种质。

中国农业科学院供图

本报讯(记者李晨)近日，中国农业科学院蔬菜花卉研究所白菜课题组通过CRISPR/Cas9基因编辑技术，首次从头创制出具有“爆米花”香味的大白菜新种质，证实了甜菜碱醛脱氢酶2(BADH2)基因在十字花科蔬菜中的保守功能，同时敲除该基因不会对农艺性状产生负面影响，为未来十字花科蔬菜风味改良和新种质创制开辟了新道路。相关研究成果在线发表于《园艺学研究》。

香气作为关键感官性状日益受到育种研究人员的关注。2-乙酰基-1-吡咯啉(2-AP)是赋予作物爆米花香的挥发性物质，BADH2是该合成通路重要负调控因子，BADH2功能缺失突变是水稻、高粱、油菜、番茄、花椰菜等多种作物产生芳香性状的直接原因。尽管BADH2在不同物种间催化功能较为保守，但白菜中BADH2同源基因的变异能否诱导2-AP积累，进而创制芳香白菜种质，目前仍缺乏明确证据。

该研究在白菜A06染色体上鉴定得到BraBADH2，系统发育分析证实其与十字花科其他BADH2同源基因高度保守。该基因在幼芽表达量最高。借助CRISPR/Cas9基因编辑技术，研究者获得3个无脱靶的纯合移码突变株系，突变体生长表型无显著异常，叶片积累2-AP并呈现“爆米花”香气。

此外，GABA作为重要的信号分子与营养组分，其代谢调控的改变也为研究植物应激响应与人类健康提供了新素材。这项研究为培育“更好吃、更营养”的大白菜新品种提供了坚实的材料基础。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1093/hr/uhag437/8917284

首届粤港澳大湾区十大科技成果新闻揭晓

本报讯(记者朱汉斌)10月31日，2026大湾区科学论坛“支撑粤港澳大湾区国际科技创新中心建设科技成果展示对接专场活动(广州站)”在广州南沙举行。论坛上，由大湾区科学论坛秘书处主办，中国科学报社、香港大公文汇传媒集团、澳门日报社承办的首届粤港澳大湾区十大科技成果新闻正式揭晓。十大成果新闻涵盖基础研究、科学仪器、空天科技、新材料和生物医药等领域，展现了粤港澳三地在多个领域取得的科研进展。

首届粤港澳大湾区十大科技成果新闻分别是：我国首台高能直接几何非弹性中子谱仪投入科研应用，月面智能机器人关键技术助力太空探索，常压镍基高温超导的实验发现及电子结构研究，世界首套水下焊接原位中子衍射研究装置正式投用，“澳科一号”卫星推进地磁模型与导航技术应用，科研人员发现可中和多种致癌孢疹病毒的广谱抗体，准纯MOF膜规模化制备新策略有望为高效节能产业带来突破，科研人员破解三角形“热点猜想”关键难题，“神经蠕虫”脑机接口电极在动物体内实现移动监测，科研人员绘制小鼠胚胎血管内皮细胞发育图谱。

其中，在科学仪器和高端装备方面，中山大学与中国科学院高能物理研究所合作研制出我国首台高能直接几何非弹性中子散射飞行时间谱仪。该谱仪于2025年11月通过验收并投入科研应用，可用于研究物质的微观动力学。在新材料领域，香港科技大学(广州)与华南理工大学、清华大学等单位合作，首次提出金属有机骨架(MOF)-聚合物“融合相”构建策略，将MOF晶体制成高度取向的超薄纳米片，利用分子锚定在表面动态接枝超薄聚合物冠层，使其在极限固含量条件下形成流变可调的絮凝网络，获得良好的溶液加工性。该策略可制得MOF体积分数超过90%的准纯MOF膜，其气体分离性能接近纯MOF膜的本征水平。

据悉，此次新闻征集范围为2025年9月1日至2026年8月31日间在国内主流媒体正式公开报道的科技成果新闻，成果牵头单位或第一完成人在粤港澳大湾区“9+2”城市群，或成果由大湾区机构、科研人员主导完成。

“手搓”滑板飞越长江 这个少年火了

■本报记者 李思辉 通讯员 安嘉欣

一块闪烁着蓝光的滑板，时而贴着长江江面掠过，时而钻进巴人河峡谷的雾气里，时而流星般划过山峦上空。日前，网络博主“神奇阿宇”(本名宋兴宇)在网上发布了一组横穿峡江的飞行视频，一夜刷屏。评论区纷纷赞叹：“中国少年真的会飞！”

爆红之后，宋兴宇变得忙了起来。他告诉《中国科学报》记者：“最近生活变化很大，很多地方都在联系我。我的微信账号已经被加爆了。”这个突然被推到聚光灯下的年轻人，似乎还没完全做好成为“公众人物”的准备。

飞跃长江的年轻人

10月22日，湖北宜昌一家工厂的仓库里，宋兴宇站在一块白色滑板上。黑色紧身服包裹着他的身体，滑板两侧和前后分布着10个电动螺旋桨。几秒钟后，滑板离开地面，在空中悬停。他身体微微前倾，滑板随即向前移动；身体向一侧倾斜，飞行器完成转向。穿过仓库大门后，飞行滑板在室外飞行一圈，随后平稳落回地面。

这不是人工智能(AI)特效，也不是地面人员遥控的表演。按照宋兴宇的设计，这块飞行滑板总推力约300公斤，续航时间约16分钟。电池、电机等采用成熟制品，造型和结构部件则由他自行设计，通过3D打印、数控加工和激光切割完成。宜昌周边的加工厂最快两三个小时就能把他的设计图纸变成可安装零件。

今年国庆假期，宋兴宇曾踩着这块滑板飞越长江巴东段，穿过县城街道。10月6日，他又在当地巴人河景区完成一次峡谷飞行，整个过程持续两分多钟，飞行距离超过300米。他把飞行的视频分享到网上，陡然爆火，抖音点赞量已超620万。

评论区里，有网友留言：“孙悟空的筋斗云实现了。”也有人说，这是“今年最酷的发明”。一名加拿大网友称，这是“中国的新未来”。肯尼亚的网友感慨：“从飞行汽车到个人飞行器，21世纪太疯狂了。”

其实，在飞行滑板之前，宋兴宇已经做过不少把想象变成现实的尝试。

2024年5月，他自制了一架遥控航天飞机“回声一号”，并驱车2000公里前往西北无人区，尝试用探空气球将其送上约4万米的高空。项目虽没有按照预期完成，但机载相机拍下了4万米高空地球弧线的影像。

同年11月，宋兴宇背着自制喷气飞翼，从约5000米高空的直升机上跃下，下降过程中时速达到340公里。飞行途中，主伞一度出现故障，直至接近地面时才打开备用伞。最终，他完成了高空跳跃和滑翔的极限载人项目，平安落地。

2025年9月，他还用热气球把一套带家具的“客厅”吊到约2000米高空，在云层之上煎蛋、制作三明治。

从“回声一号”到喷气飞行翼，从热气球上的空中客厅到手搓飞行滑板穿越峡谷，它们构成了一个年轻人“异想天开的发明轨迹”。

草根逆袭，用生命拍视频

令人惊叹的是，这些“发明”并非出自高校科研团队之手，而是来自一个初中就辍学的少年。

14岁那年，宋兴宇因故辍学，进入父亲的木材厂帮工。但离开校园并没有让他停止学习。一位朋友送给他的旧平板电脑，让他第一次接触到国外的飞行测试视频。后来，论坛、航模群、网络教程和技术资料，逐渐成了他的“线上课堂”。

缺少电子元件，他就在航模群里寻找旧配件；遇到看不懂的机械结构，他就反复查资料、拆解和模仿。没有完整的理论基础，他就先把东西做出来，再根据每一次试飞的结果，回头补课、修改。



宋兴宇驾驶飞行滑板。 **图片来源：宋兴宇视频号**

2022年，创业失败的他回到巴东老家，向父亲借款，又申请贷款，把一间闲置烤漆房改造成实验室。

在这个简陋的起点背后，是这个家庭沉默的托举。父亲宋先生原本是个木匠，那间烤漆房原本是他赖以谋生的手艺空间。儿子回来做实验后，他就把烤漆房让了出来。

母亲的支持，则融进了一粥一饭的生活里。那几年，她常常跟着儿子辗转各地，做饭、打下手，陪他经历设备损毁，也陪他等候一次次试飞的结果。儿子从直升机上跳下来的画面，是她在视频里偶然看到的。儿子平安落地后，她只是紧紧抱住了儿子。

飞行滑板火了之后，母亲谭女士说：“我最担心他的安全，他是在用生命拍视频。每次他拍完视频回到家，我的心才算落地。”

知识不再被大学垄断

从张雪的国货机车到宋兴宇的“手搓飞行滑板”，人们看到了民间科创蕴藏的力量。

对于“神奇阿宇”的爆火出圈，四川大学文化产业研究中心主任蔡尚伟在接受《中国科学报》采访时表示：“最打动人的，是他敢想敢干的创新精神。没有专业科研平台依托，凭着一腔热爱反复试错，把想法一步步做成可以试飞的原型，这股劲头很有感染力。”

“神奇阿宇的出圈，很大程度上来自草根身份与奇妙科创之间的鲜明反差。”蔡尚伟认为，一个没有实验室、没有经费、没有学位的人，竟然做出了许多人以为只有知名大学或大公司才能做的事。这说明，AI时代让获取知识变得更加“平权”了——当知识不再被大学垄断、AI可以充当24小时的私人助教时，那些被传统评价体系漏掉的人，有了被看见的可能性。正是社会对奇思妙想的包容、对非常规路径的接纳，才让更多人把内心热爱演变成真实生活。

然而蔡尚伟指出，民间科创的短板同样突出，比如遇到需要大型设备、巨额经费、多学科团队协作、严格资质认证的项目，个人或小团队往往难以承担。AI降低了仿真、数据分析环节的门槛，但无法替代实体试验。

“民间科创的真正意义，或许不在于替代什么，而在于提供一种参照。”蔡尚伟认为，民间科研和体制内科研之间不是替代关系，而是互补格局。体制内科研主攻重大硬核系统性攻关，为民间创意试错留出空间；民间科创则守住安全与合规底线，守护创新热情，充分释放科创活力。二者有机互补，整个社会的科创活力才有望更充分地迸发。

与此同时，蔡尚伟提醒，高空徒手飞行有较高危险性，一旦设备出现故障或遇到极端天气，极易引发重大安全事故，年轻人不宜盲目模仿。此外，此类飞行活动必须严格遵守相关法律法规，在有关部门批准下开展操作和试验，以免危害公共空域安全。

广东省科学院动物研究所等

揭示鸟类混合群社会网络的季节性差异

本报讯（记者朱汉斌 通讯员沈勇）近日，广东省科学院动物研究所研究员张强团队与合作者，以“季节-性状-环境-种间互作”的综合视角，揭示物种性状与环境过滤共同塑造了鸟类混合群社会网络结构的季节效应。相关成果发表于英国《皇家学会学报B辑：生物科学》。

混合群是森林鸟类常见的社会系统，不同物种通过集群共享信息、提升觅食效率并降低被捕食风险。然而，季节更替如何影响不同鸟种之间的关联，物种性状和环境因素又如何共同驱动混合群网络变化，此前尚缺乏系统认识。

研究团队联合广东车八岭国家级自然保护区、哥伦比亚罗萨里奥大学、西交利物浦大学、美国路易斯安那州立大学等国内外机构，以广东车八岭国家级自然保护区为研究区域，在全域网格开展繁殖季和非繁殖季调查，构建鸟类混合群种间关系网络，并结合物种性状与环境因子分析其形成机制。

研究发现，非繁殖季混合群规模更大、网络联系更紧密。非繁殖季共记录31种鸟、4286个个体参与混合群，繁殖季为29种鸟、3121个个体；非繁殖季网络的连通性和凝聚性均更高，表明鸟类在该时期可能更依赖多物种协同行为。不同季节驱动混合群网络的关键性状存在差异：繁殖季网络主要与繁殖性状相关，窝卵数较大的物种种间关联更强；非繁殖季则更多受形态性状影响，体形较小的鸟类更容易形成紧密网络。

环境因素的影响同样呈现季节性差异。繁殖季网络连通性与海拔、森林和冠层覆盖度相关；非繁殖季则更多受海拔、乔木物种丰富度和植被生产力影响。研究表明，鸟类混合群并非全年采用相同的社会合作模式，而是能够随季节变动的环境条件、自身性状动态调整种间关系。

该研究从“季节-性状-环境-种间互作”的综合视角，解析了鸟类混合群社会网络的季节性变化及其驱动因素，深化了学界对鸟类社会行为和群落构建过程的认知。研究同时提示，维持山地森林的完整性、连续性及植被结构多样性，有助于为鸟类混合群提供适宜的生境条件，相关成果可为保护区森林生境管理和鸟类多样性保护提供科学依据。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1098/rspb.2026.1365