

# 比钻石还硬，中国科学家合成“陨石钻石”

■本报记者 刘如楠

“金刚石是自然界最硬的物质，通常大家说的金刚石是立方金刚石，我们如今合成出的六方金刚石硬度比立方金刚石更高。”郑州大学物理学院教授杨西贵告诉《中国科学报》。

杨西贵所在的郑州大学金刚石材料与器件团队成功合成出毫米级尺寸的纯相六方金刚石材料，并精确解析了其晶体结构，揭示了全新的相变机制。近日，相关研究结果发表于《自然》。

## 群雄逐鹿，求解六方金刚石合成之谜

金刚石凭借其最高的硬度、优异的热导率、最快的声传输速度等特点，在磨料、珠宝首饰、散热材料、极端环境光学元件及未来半导体等诸多领域中展现出广阔的应用前景，被誉为“工业牙齿”和“终极半导体”。

传统金刚石为立方晶系结构，而在64年前，研究者从理论上预测六方晶系金刚石可能存在。1967年，科学家在陨石中发现了一种六方结构的碳同素异形体，即六方金刚石，又称为“朗斯代尔石”或“陨石钻石”。独特的原子堆积方式赋予它超越立方金刚石的硬度，引起了学界的广泛关注。

在碳材料的研究中，碳原子共有三种杂化轨道类型，即sp<sup>3</sup>、sp<sup>2</sup>、sp<sup>1</sup>，分别代表着碳原子之间不同的连接形态。

杨西贵介绍：“sp<sup>3</sup>家族有碳链、碳环、石墨、石墨烯、富勒烯、碳纳米管，sp<sup>2</sup>家族目前只有立方金刚石被广泛应用。我们猜测，一定还有其他家族成员未被确认，而六方金刚石的可能性最大。”

从2021年起，郑州大学金刚石材料与器件团队便开启了六方金刚石的合成与研究之路。

2025年，就在团队投稿《自然》后审稿返修时，吉林大学和北京高压科学研究中心的科研团队先后合成出了六方金刚石材料，并发表研究论文。

“这相当于近几年来3个独立研究组在求解同一个问题：六方金刚石能否在实验室合成？但在论文发表之前，我们互相都不知道对方的工作。”杨西贵说。

## 开发新技术，迫使六方金刚石“现身”

从研究到发表，这项工作整整经历了5年时间。为什么时间这么久？

杨西贵介绍，这是由于天然六方金刚石的形成源于陨石撞击所产生的极端条件，过程短暂且概率极低。它仅以纳米级颗粒嵌在陨石中，极难分离。而且，六方金刚石在实验条件下的形成能垒高于立方金刚石，导致高温高压合成产物多以立方相为主。因此，六方金刚石能否独立稳定存在，长期以来一直存在争议。

六方金刚石和立方金刚石就像一对“孪生兄弟”，立方金刚石已被人熟知，六方金刚石却不经常“现身”，如果仅拿到六方金刚石模糊的、局部的照片，不足以明确区分二者。科研团队要做的，一是利用外界条件“逼迫”六方金刚石“现身”；二是找到独属于六方金刚石的特征标志，帮助人们精准区分。

基于以往的研究基础，科研团队决定从技术路线突破，以高定向热解石墨为原材料，精准控制压力和温度条件，开发大腔体单轴高压技术，诱导石墨中的碳原子重组组成六方金刚石。

通常高温高压设备通过液压系统实现对样品各个方向的均匀加压，而要想石墨“变身”六方金刚石，仅需要施加轴向上的压力。

“听起来似乎很简单，把前后左右方向上的压力去掉不就行了？但其实这是在原子尺度上‘捏橡皮泥’，‘捏’的力度相当于20万个标准大气压，还要在1300摄氏度的高温下进行。”杨西贵说，“为了实现这一构想，团队开发了大腔体单轴高压技术和合成工艺。在这一技术加持下，高定向热解石墨中的碳原子受限滑移，构成了六方金刚石独特的堆叠结构。”

## 合成单晶，做大尺寸

由于六方金刚石和立方金刚石的原子结构高度相似，当科研人员让六方金

刚石成功“现身”后，还需要找到它独特的印迹，避免认错。

郑州大学物理学院教授程少博介绍，团队利用同步辐射X射线衍射、球差校正透射电子显微镜及电子能量损失谱等手段，系统解析了六方金刚石的晶体结构与成键特征，获得了清晰的原子级分辨图像。这就像是找到了它的“独特指纹”，清楚地确认了它的身份。

六方金刚石独特的六方晶体对称性，改变了材料内部抵抗应力的方式，使其能更有效地抵御剪切破坏。理论预测显示，在面对特定条件下的极端受力时，六方金刚石的硬度比立方金刚石高58%。

后续的性能测试表明，科研团队制备出的六方金刚石维氏硬度和剪切模量均优于传统的立方金刚石。

这意味着，一种预期性能更为极致的超硬材料，终于走出了理论预测和陨石传说，成为人类可以制备和研究的实体。这一研究也被审稿人评价为“极具说服力，呈现了更完整的研究全貌，解决了六方金刚石存在性这一长期争议的问题”。

“未来，我们一方面希望不断优化合成技术制备出单晶，另一方面希望把样品尺寸做大，推动其在多个领域实际应用。”郑州大学物理学院教授单崇新说。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10212-4>



## 按图索技

# 全声学脑机接口系统有望改善帕金森症状

帕金森等较常见于长者的疾病患者数量日益增加。这类无法根治的神经退行性疾病会损害患者运动能力，目前主要靠药物或外科治疗缓解症状。

近日，记者从香港理工大学（以下简称港理工）获悉，该校科研团队成功开发出了新一代全声学脑机接口系统，运用经颅超声神经调控技术，以超声波实现完全无创、深脑穿透和高精度的神经调控，有望为帕金森、抑郁症等神经和精神疾病患者，带来新的治疗方案。目前，团队已分别与上海华山医院、南方医科大学珠江医院合作，开展临床研究工作。

据介绍，该系统能够利用超声波的物理特性，穿透颅骨，精准聚焦深脑区域，包含了超过128个独立阵元的经颅稀疏超声阵列，配合定制驱动系统，可实现每通道独立控制和声场精确操控。通过动态聚焦与波束定位技术，空间分辨率可精确到4毫米以内，能够对深脑区域进行高精度调控，从而达到缓解帕金森

症状的疗效。

研发团队负责人、港理工无创脑机接口研究中心主任孙雷表示，当前常见的两大脑机接口技术各有局限：一种侵入式技术，需通过开颅手术将电极植入大脑，风险较高且不可逆转；另一种传统非侵入式技术如电刺激，则受限于分辨率不足或穿透深度，难以精准调控深层脑区。“我们的脑机接口系统可通过超声波与大脑海通，以调控大脑功能。团队利用自主研发的头盔状装置，运用超声波调控大脑细胞，以改善帕金森的症状，实现无创治疗。”

在超声神经调控的基础上，团队进一步研发声遗传学技术，大幅提升调控的精准度，实现精准识别并调控特定类型的细胞。

验证实验表明，患有帕金森的小鼠经超声调控后，其身体运动功能显著提升。“虽然帕金森主要是因衰老过程中某些脑细胞过度凋亡所引起，且无法逆转，但通过超声波调控现有细胞的功能，可以显著改善症状。”孙雷表示。

▲自主研发的头盔状装置，运用超声波调控大脑细胞。

▲全声学脑机接口系统。港理工供图

# 让微生物真正“用光造物”

■本报记者 刁雯蕙

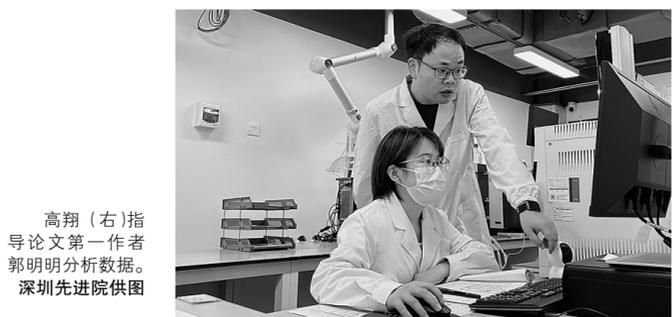
研究发现，如果能够跳过“光合生物中转站”，让工业微生物直接利用太阳能合成化学品，太阳能向生物制造体系的转化效率和产物多样性将实现大幅提升。如何让微生物真正“用光造物”，正成为合成生物学与能源科学交叉领域的重要前沿方向之一。

中国科学院深圳先进技术研究院研究员高翔团队联合南京大学教授王元元团队、上海交通大学教授杨琛团队成功构建出一种人工光合工程细胞，使非光合工业微生物能够直接利用太阳能，驱动废弃碳源向高附加值化学品高效转化，为非粮碳源生物制造和绿色低碳产业转型提供了新的技术路径。近日，相关研究成果发表于《自然-可持续发展》。

## 让工业微生物“直接用光”

光是地球生命最初的能量来源。此前有研究表明，藻类等光合生物虽能通过光合作用转化太阳能，但光能利用率通常不足1%；而工业常用的大肠杆菌、酵母等微生物无法直接利用光能，只能依赖光合生物合成的糖等，整体光能利用率通常低于0.05%。

在“太阳能-光合生物-糖-微生物-产品”的传统路径中，大量能量被层层消耗。若能由工业微生物建立直接利用光能的“接口”，生物制造体系的能源效率有望实现根本性提升。



高翔（右）指导论文第一作者郭明明分析数据。深圳先进院供图

## 提升太阳能生物制造效率

在材料创新基础上，研究团队进一步解析了光电子驱动代谢重构的分子机制。通过代谢组学与转录组学分析，研究团队发现磷酸吡哆素（TPP）相关代谢途径在光照条件下显著上调。进一步试验表明，TPP在光生电子向生物能量分子转化过程中发挥关键“桥梁”作用，促进细胞内关键的能量分子的再生，实现无机光电子与细胞能量分子之间的高效耦合。

这意味着，研究团队不仅为非光合微生物安装了“人工捕光天线”，还重构了胞内“电子流通道”，实现太阳能向生物能量分子的精准转化与高效利用，从

## 提升太阳能生物制造效率

在材料创新基础上，研究团队进一步解析了光电子驱动代谢重构的分子机制。通过代谢组学与转录组学分析，研究团队发现磷酸吡哆素（TPP）相关代谢途径在光照条件下显著上调。进一步试验表明，TPP在光生电子向生物能量分子转化过程中发挥关键“桥梁”作用，促进细胞内关键的能量分子的再生，实现无机光电子与细胞能量分子之间的高效耦合。

这意味着，研究团队不仅为非光合微生物安装了“人工捕光天线”，还重构了胞内“电子流通道”，实现太阳能向生物能量分子的精准转化与高效利用，从

机制层面夯实了太阳能驱动生物制造的技术基础。

在研究试验中，人工光合工程细胞成功合成了多种高附加值产品，包括2,3-丁二醇（BDO）、生物塑料PHB和航空燃料 $\alpha$ -法呢烯等生物基化学品、生物材料和生物燃料，显示出不俗的产品开发潜力。该细胞能利用海藻提取物甘露醇、秸秆水解液等多种废弃物作为碳源。在5升发酵罐中，以工业糖蜜废水为主要原料，BDO的产量达到30.71克/升，验证了该体系在规模化生产和废碳升级转化方面的应用潜力。

“相比传统依赖糖类原料发酵或在体系中自行合成杂合体的生物制造方法，这种新型人工光合工程细胞能够显著减少温室气体排放，降低生产成本，展现出良好的环境可持续性和产业化潜力。”高翔表示。

业内专家认为，该研究在细胞内部建立了太阳能向生物能量分子高效转化的通路，实现太阳能与生物制造的深度融合，为可再生资源驱动绿色化学品生产提供了新范式。

未来，研究团队将进一步融合合成生物学、材料科学与能源化学优势，拓展二氧化碳、废塑料及工业废水等非粮碳源的高值化利用路径，推动太阳能驱动合成生物制造向高效率、可扩展与可持续方向发展。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41893-026-01787-5>

## 集装箱

# 材料科学领域 AI 智能体升级版幻觉率仅 1.3%

本报讯（记者朱汉斌）近日，由中国科学院东莞材料科学与技术研究所推出的 MatChat 2.0 正式发布。作为国内首个专注于材料科学领域的人工智能（AI）智能体的全新升级版，MatChat 2.0 在知识库规模、推理能力、响应效率以及场景覆盖等核心维度实现了显著提升，可为广大科研工作者提供一种全新的文献检索与知识获取方式。

记者了解到，MatChat 2.0 构建于超过 80 万篇精选学术论文之上，全面覆盖材料科学的各个分支领域，新能源材料、电子信息材料、结构材料、生物医用材料等在其列。其知识库内容均源自学术期刊与会议论文，且经过严格筛选与质量把控，确保检索的可靠性与前沿性。

本次升级主要体现在四个方面：一是知识库从原有的 28 万篇猛增至 80 万篇以上，知识储量增长近 3 倍；二是引入全新的动态路由算法与知识检索优化技术，均响应时间压缩至秒级，实现了即时文献调研支持，节省了科研人员的时间成本；三是学术知识数据库引擎

整合近百万量级的权威文献资源，共同保障复杂研究场景下的连贯交互体验与专业理解；四是应用场景涵盖材料合成与制备、性能表征与测试、学术论文撰写、项目申报等多个科研环节。

长期以来，大模型的“幻觉”问题一直是制约其在学术领域深入应用的核心障碍。AI 生成看似合理但实际上并不存在的论文引用，可能导致研究结论出现偏差，甚至危及科研人员的学术声誉。传统通用大模型在专业领域的幻觉率通常高达 10% 以上，难以满足科学研究对严谨性的要求。而 MatChat 2.0 在这方面取得了突破性进展，其幻觉率仅为 1.3%。

目前，中国科学院东莞材料科学与技术研究所已构建涵盖 Atomy 材料科学数据库、基于深度学习图结构的通用预训练应用平台、MatChat AI 智能体等核心应用平台，以及机器人科学家、科学数据开放平台、智库智能体等系列数字化工具，初步形成材料科学智能研究的一体化闭环机制。

# 900 毫米及以上船用曲轴实现“中国造”

本报讯（见习记者江庆龄）近日，在中国机械工业联合会组织的“920mm 缸径超大型船用低速机曲轴制造技术”项目鉴定会上，中国工程院院士涂善东等 7 位专家一致给出了“技术达到国际先进水平”的评定结论，标志着我国摆脱了 900 毫米及以上缸径船用曲轴只能从国外进口的被动局面。

这项研究由上海电机学院联合上海电气上重铸锻有限公司、上海船用曲轴有限公司、上海中船三井造船柴油机有限公司组成的联合攻关团队完成。920 毫米缸径单段曲轴最大重量达 208.3 吨、曲轴总长 20.19 米，为全球超大型船用曲轴之一。

超大型船用低速机曲轴被誉为“船用柴油发动机的心脏”，是大型液化天然气（LNG）运输船、大型集装箱船等先进船舶的核心部件。而超大型曲轴的制造，是一场集材料科学、精密加工、热工学于一体的全链条攻坚战。

项目团队要做的是让这根重

达 200 多吨、长达 20 多米的“大家伙”，在保证内部“筋骨”足够强韧的同时，把外形尺寸的误差控制在毫米级。但在“大力士”身上做“精细活”的过程中，任何微小的拼接误差都会被成倍放大，最终导致曲轴报废。

为此，项目团队研发了大型低氢氧高洁净下注铸锭制备技术，从源头上保障了材料质量。面对 1240 毫米壁厚的大型曲轴锻件，项目团队开发出大型高强度曲轴锻件强韧性调热处理工艺，使曲轴强度较以往机型提升 14%，韧性提高 25% 以上。

此外，曲轴并非一体成型，需要将多个部件通过“红套”工艺组装起来。项目团队研发了非对称结构红套孔加热变形控制工艺，通过精准控制加热温度，将非均匀型结构的红套孔变形控制在严格公差范围内，实现了毫米级变形精度。

据了解，该项目研发的全球最大的船用曲轴产品已应用于 24000TEU 超大型甲醇双燃料集装箱船等船舶。

# 高血压智能管理平台 文元智能医生 1.0 版本发布

本报讯（记者朱汉斌 通讯员王丽君）3 月 14 日，在第七个国际数学日（ $\pi$  Day）上，由香港医学工程研究院创始人、广东医科大学特聘首席科学家张元亨团队牵头研发的文元智能医生（Dr.PAI）1.0 版本在北京发布。Dr.PAI 是首个融合可穿戴连续血压监测设备、医生人工智能（AI）分身与大语言模型的高血压智能管理平台，可广泛应用于家庭健康管理、社区医疗服务、居家养老及慢病管理等多个场景。

“高血压的可怕之处在于因‘没人管’和‘不知道’而成为无声杀手。”心血管疾病专家、中国高血压联盟前任主席刘力生表示，Dr.PAI 的出现，让无论身处城市还是乡村的患者，都能拥有 24 小时的 AI 私人医生，助力实现包括高血压病等重大疾病的早检测、早发现、早预防、早诊断、早干预、早康复。她期待该平台在高血压等慢性病防治中发挥更大作用，守护更多人的健康。

张元亨介绍，Dr.PAI 项目历经

3 年研发，由其团队牵头，联合中国高血压联盟、中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会、香港联感医疗科技有限公司及广东医科大学共同打造。该系统构建了覆盖“监测-预警-诊断-干预-预测”的高血压健康管理闭环。系统内置系统化医学知识库，包含《高血压筛查与防治 3000 问》。同时，系统引入“医生 AI 分身”技术，将临床专家的诊疗逻辑、风险识别原则与规范化诊疗流程结构化嵌入系统，使 AI 回答用户咨询时更贴近真实医生的临床思维。

“目前，我国心血管疾病人数已超过 3 亿，慢病管理需求持续增长。Dr.PAI 以高血压管理为切入点，未来将逐步拓展至糖尿病、心血管疾病、睡眠障碍等更多慢病领域。”张元亨表示，随着 AI 与数字健康技术的发展，Dr.PAI 将持续迭代升级，推动健康管理从“被动就医”向“主动预防”转变，让智慧医疗技术更好服务公众健康。

# 第五届中国（婺源）油菜花经济研讨会召开

本报讯（记者李晨）近日，中国农业科学院油料研究所（以下简称油料所）联合蜜蜂研究所等单位在江西婺源召开第五届中国（婺源）油菜花经济研讨会。

与会代表考察了婺源秋口镇石门村乡村振兴和油菜花文旅融合示范点，观摩了思口镇油菜品种示范基地、婺源现代生态农业示范园，围绕油菜、蜂蜜、文旅等产业发展现状和技术需求等进行了交流研讨。特邀专家还围绕科技支撑乡村振兴、油菜产品高值化加工与应用、乡村文旅产业最新政策解读等作了经验分享。

油料所自 2019 年与婺源县开展共建乡村振兴科技示范县以

来，发挥全产业链技术优势，集成应用多功能油菜新品种，研发出高效栽培、菜油两用、7D 产地绿色加工、四季油菜花海和大地艺术景观定制等关键技术，助力婺源打造全域旅游布局、全产业链开发、全价值链挖掘的“三全高效”模式，促进油菜一二三产融合发展。

如今，油菜产业已成为婺源支柱产业和亮丽名片。油料所培育的“中油杂 501”“中油 909”等高产优质油菜品种占有率达 80%。依托油料所科技赋能，婺源油菜产业综合产值占婺源生产总值比重超过三成，稳居全国油菜花旅游目的地首位。婺源也因此入选国家乡村振兴示范县创建名单。