

贫瘠海盆为何富藏稀土？鱼牙化石给出答案

■本报记者 朱汉斌

远离大陆、营养盐匮乏、生物生产力低下的深海海盆，为何反而富集稀土？这一长期困扰学界的“反常”现象，近日获得新的科学解释。

南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）（以下简称广州海洋实验室）海洋地质与深海智能探测团队，创新性地利用鱼牙化石内外不同结构所保存的钕（Nd）同位素信息，重建了鱼牙从原始生活海域到最终埋藏地点的环境变化，揭示了深海底流对富稀土沉积物中稀土载体的搬运、分选与汇聚作用。相关成果发表于《科学进展》。

论文共同通讯作者、中国科学院院士徐义刚告诉《中国科学报》，该研究为认识深海稀土富集机制、预测潜在找矿区提供了新依据。未来，深海稀土勘探有望从主要关注局部生物生产力和稀土来源，转向更加关注深海底流、沉积物搬运路径及其下游汇聚区。

贫瘠海盆的“稀土悖论”

稀土元素是新能源、电子信息、航空航天等领域的重要战略资源。其中，中—重稀土在高性能永磁材料等关键技术中不可替代。近年来，太平洋深海沉积物中发现的富稀土泥，因含量高、分布广、潜在资源规模大，受到国际科学界和资源勘探界的广泛关注。

“深海富稀土泥主要分布在水深约4000至6000米的远洋海盆。”论文第一作者、广州海洋实验室副研究员邹宗琪表示，在富稀土层中，含有鱼牙、鱼骨等

鱼类遗骸的生物磷灰石与自生磷灰石是最主要的稀土载体，稀土含量高达上万微克/克。

按照传统认识，生产力增强被认为是促进深海稀土富集的重要因素。生物生产力越高，鱼类遗骸输入沉积物的数量可能越多。“然而，这一认识难以充分解释一个关键问题：这些富稀土沉积物往往发育在远离大陆、营养物质相对匮乏、生物生产力较低的海域。”邹宗琪说。

研究团队发现，尽管不同沉积层位的鱼牙化石稀土含量差异相对有限，但这意味着，沉积物能否富集稀土，不仅取决于单个矿物颗粒能够吸收多少稀土，还取决于富稀土载体在沉积物中的含量及其空间分布。

“我们的研究重心由此从‘稀土如何进入矿物’转向‘富稀土矿物如何在深海汇聚’。”邹宗琪说。

一颗鱼牙的两重“记忆”

要回答载体如何汇聚，先要弄清沉积物中的鱼牙是本地鱼类的遗骸，还是从别处“漂”来的？

邹宗琪介绍，团队将目光投向鱼牙内部的精细结构。一颗鱼牙虽小，却分内外两层：内部是疏松多孔的牙本质，外部是致密的釉质层，二者对埋藏后成岩作用的响应截然不同。

牙本质孔隙网络发达，如同海绵，易与海水及沉积物孔隙水发生物质交换，在埋藏中快速吸收流体中的稀土，其稀土含量与钕同位素组成会被最终沉积环境“改写”。而外部致密层则不易受成岩流体改

造，较好地保留了鱼类生活环境的原始钕同位素信息。

关键在钕本身的性质：它在海水中的滞留时间短于全球海水混合的时间尺度，因而不同海域的海水保存着各具特色的钕同位素组成，如同天然的“地理指纹”。分别测定内外两层，就能区分鱼牙的“出生地”与“安息地”。同一颗鱼牙，由此成为一份罕见的“双档案”。

据此，团队对西太平洋沉积物钻孔中的鱼牙化石开展了精细结构观察、稀土元素分布和原位钕同位素分析。结果显示，部分鱼牙内部疏松牙本质的 ϵ_{Nd} 值约为-5，与北太平洋海水及共存自生碳氧磷灰石相近；而外部致密层的 ϵ_{Nd} 值可低至-10，呈现与南太平洋海水相似的低放射成因特征。不同海区具有不同的Nd同位素组成， ϵ_{Nd} 值是Nd同位素组成的一种标准化表示，就像地质样品的“同位素身份证”，用来判断矿物来自哪里。

论文共同通讯作者、广州海洋实验室研究员钱生平告诉《中国科学报》，借助这套方法，团队进一步发现，富稀土层中具有异地来源特征鱼牙化石比例明显升高，超过30%。与此同时，鱼牙碎屑与自生磷灰石颗粒的形态、结构特征，也为沉积物经历水动力搬运和再分选提供了佐证。

“深海富稀土沉积物的形成，未必需要本地出现大规模鱼类繁殖或死亡事件。”钱生平介绍，鱼类遗骸可先在其他海域形成并沉积，再经深海底流侵蚀、搬运、分选，最终在下游海盆集中堆积。换言之，稀土的“财富”不必由本地“创造”，也可以由底流“送达”。

寻找深海稀土汇聚区

在此基础上，团队结合现代海洋环流、海水钕同位素分布与沉积物空间分布特征提出，南极底层水（AABW）及其相关深层环流可能扮演关键的“深海传送带”角色。自晚始新世—渐新世以来，随着南大洋环流体系的发展，向北流动的深层水及相关底流沿途搬运鱼牙化石等颗粒物，并在太平洋深海海盆促进其分选与汇聚。

研究同时指出，这并不意味着所有富稀土沉积物中的鱼牙都来自南大洋，也不意味着不同地质时期的底流路径完全一致。其核心机制在于，持续的底流能够跨越局部沉积环境的限制，把不同来源的稀土载体重新分配，并在适宜的下游沉积区形成物质汇聚。勘探思路因此可从“追生产力”转向“追底流”，即追问稀土载体从哪里来、沿什么路径搬运、最终在哪里汇聚。

钱生平指出，未来可将古海洋环流重建、海底地形分析、沉积物物源示踪与稀土元素地球化学研究相结合，识别深海颗粒物的潜在搬运路径与汇聚中心，进而优化钻探站位布局，提升富稀土沉积物调查与资源评价的针对性。

“这一思路也拓展了鱼牙化石作为古海洋环境记录载体的应用范围。”在徐义刚看来，从寻找稀土的“来源”，到追踪载体的“旅程”，再到识别汇聚的“目的地”，“源—运—聚”的研究范式正在为深海稀土资源调查与找矿预测提供新的科学依据。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aej4446>

2026 年量子 – 宇宙基础物理国际会议在京举行

本报讯（记者韩扬眉）10月24日至26日，2026年量子–宇宙基础物理国际会议（ICFP 2026）在京举行。来自13个国家的170余名基础物理研究专家齐聚一堂，围绕基础物理领域从极小的基本粒子到极大的浩瀚宇宙研究中的前沿问题展开深入探讨。

大会共设置了27个大会报告，涵盖暗物质探测实验合作组、中国锦屏地下实验室、高海拔宇宙线观测站等我国一批重大科学装置和国际合作最新进展，同时来自英国伦敦帝国学院、日本东京大学、韩国高等研究院等机构的国际专家分享了引力波、暗物质、暴胀宇宙学与原初扰动等方向前沿成果。大会还设置了3个平行分会场，与会专家学者围绕引力波物理学、粒子现象学、引力与宇宙学主题举行专题报告。

大会主席、中国科学院理论物理研究所研究员吴岳良院士指出，得益于我国大科学装置的迅猛发展，我国基础物理进入了有能力主导高水平研究的新阶段，在国际交流中拥有更多话语权，尤其在中微子、空间引力波、暗物质等领域具有竞争性优势。未来，借助人工智能为基础物理研究赋能，我国有望取得重要突破。

本次会议由中国科学院理论物理研究所、中国科学院大学国际理论物理中心（亚太地区）等共同主办。

打破垄断，他们在“极境”中创造高分子材料

■本报记者 甘晓

衣物、塑料瓶等寻常高分子材料柔软易加工，却难以承受极端环境。在中国科学院化学研究所（以下简称化学所）极端环境高分子材料实验室，科研团队偏偏要在超高温、超低温、超高压等“极境”中创造新材料。

极端环境高分子材料被誉为高分子材料的“皇冠”，但长期被国外垄断。“历史已经证明，凡是外国能做成的事，不管多么复杂，中国的科学工作者也一定能做成。”曾在该团队工作、亲历建所初期攻关的老研究员谢泽民强调。

带着这份跨越半个多世纪的信念，面对物理性能极限与技术封锁“无人区”的双重挑战，近年来，团队瞄准国家最迫切的需求，研制出30余种先进材料，在80多项国家重大任务中得到应用。

“我们团队始终秉承科学报国、甘当铺路石，潜心研究、永做先行者的精神传统，把‘国家事’真正当成了‘心头事’。”接受《中国科学报》采访时，化学所研究员、极端环境高分子材料党总支书记张宗波说。

向“极限”要答案

过去很长一段时间里，张宗波一直在与一些肉眼看不见的气泡对抗。“我满脑子都是气泡、气泡，每天凌晨四五点就醒了，大脑里疯狂搜索着解决方案。”

张宗波主攻一种高分子材料，目标是创造一种特殊的液态高分子前驱体，让其注入纳米级的孔洞中，最终转变成目标产物。

这一过程面临着多重矛盾。“在纳米孔

洞的限域空间内，强烈的界面对作用让液体浸润与填充变得异常艰难。同时，化学转化又伴随着剧烈的体积收缩，让辅助流动的活性稀释剂等物质难以在加热时顺利排出。”张宗波介绍，材料内部很容易留下微小气泡，对其整体性能有决定性影响。

为此，团队经历了长时间的反复迭代，有时一天就要完成四五轮测试，甚至在核磁共振仪前完成上百个样品的检测。

整个方向的攻关历经六七年时间，累计实验数千次。最近，张宗波的实验看到了曙光，预计在不久的将来就会取得突破。

面对国家高端制造的紧迫需求，单枪匹马的科研早已无法应对。2022年以来，团队着手建制化建设。他们突破以往课题组为单元的限制，重新组建队伍并开展有组织的协同攻关。

新攻关团队划分为四支分队。团队中，45周岁以下人员占比90%以上，党员人数占比80%，都冲在关键任务的一线。

近年来，团队发展了新一代产品体系，突破了极端环境应用特种材料的结构设计、合成制备、性能调控、批量制备等关键技术，实现了关键领域核心材料“从有到优”的跨越提升，系列关键材料实现工程化应用与产业化。

把论文写在生产线上

化学所博士后王立哲至今记得刚进组时对研究方向产生的迷茫。当时，实验室老一辈研究员语重心长地开导他：“要结合应用场景全面权衡材料性能，别在单一指标

上钻牛角尖。”

“学以致用”的引导让王立哲读懂了团队的科研底色：科研不仅要讲清科学问题，更要让成果真正落地应用。“把论文写在生产线上”已成为团队的共识。

在高端制造和重大工程中，极端环境高分子材料往往是幕后英雄。它们嵌在芯片的封装中，用户看不见、摸不着。为了这个看不见的主角，团队一直努力让科研成果从实验室走向中试和产业化，力争每一批产品都达到100分。

在张宗波看来，当科研成果融入国家发展的宏大叙事，这份成就感早已超越了发表论文本身。

团队还把科研根系扎根产学研用全流程，推动多项自主成果从实验室样品变为生产线产品。例如，在显示材料领域，团队研发的关键材料在头部企业产线上经受严苛验证，逐步替代进口产品，为我国电子及显示产业自主发展筑牢材料防线。

把“国家事”刻进科研基因

2023年11月，化学所一间报告厅里，副所长郑企雨以“臻于至善，润物无声”为题，深情讲述中国科学院院士黄志镡的科研往事。老一辈科学家在艰苦条件下自觉将研究兴趣与国家需要相结合，默默奉献数十载的故事，让在场青年科研人员红了眼眶。

这场讲座只是极端环境高分子材料党总支“高技术材料论坛”的一个寻常片段。作为该党总支传统特色品牌活动，论坛已举办十余期，邀请所内外专家交流前沿动



▲ 中国农业科学院蔬菜花卉研究所展示的黄瓜采摘机器人。
◀ 观众在农业高新科技成果展农业新质生产力展馆新疆展区前了解西瓜新品种。

主办方供图

第三十三届杨凌农高会和 2026 上合组织农博会召开

本报讯（记者李媛）10月25日至29日，第三十三届中国杨凌农业高新科技成果博览会（以下简称农高会）在陕西西杨凌示范区召开。本届农高会以“新质生产力·农业新未来”为主题，宁夏回族自治区担任主题省份、陕西省榆林市担任主题市，由中国农业展览协会、中国农业技术推广协会、中国农业科技国际交流协会、中国农业国际交流协会和杨凌会展集团联合主办。

本届农高会设置室内展、田间展、云上展、海外展4个板块，总展览面积14万平方米；设置农业高新科技成果展区、国际农业交流合作展区、陕西特色现代农业展区等9个特色展区；重点举办种业创新论坛、农业科技论坛、乡村振兴论坛等活动；发布《2026中国旱区农业技术发展报告》《2026中国农业产业投资报告》，邀请企业发布新技术、新产品、新装备、新模式，同时

配套举办投资贸易、赛事评奖、农文旅融合等活动。

同期举办的2026上合组织农业博览会以“深化务实合作·共绘发展蓝图”为主题，埃及担任主题国，首设独立展馆，27个上合组织国家全部参展，设置上合组织国家农业展、农业高新科技成果展、跨境商品消费体验展等专题展览，举办上合组织现代农业发展圆桌会议、农业合作与发展大会等9项活动。

发现·进展

中国科学院深圳先进技术研究院

提出超声“开路”活细菌声动力疗法

本报讯（记者刁雯蕙）近日，中国科学院深圳先进技术研究院研究员蔡林涛团队提出“活体声敏剂+超声机械重塑”协同策略，解决了深部肿瘤声动力治疗渗透难的痛点，为肿瘤精准治疗开辟了新方向。相关研究发表于《先进功能材料》。

声动力治疗作为一种非侵入性肿瘤治疗手段，凭借超声优异的深层组织穿透能力，在深部肿瘤治疗中展现出巨大潜力。然而，传统声敏剂在肿瘤组织中的富集效率低、渗透深度有限，严重影响临床疗效。如何让声敏剂“进得去、留得住、杀得死”，是声动力治疗领域亟待突破的核心难题。

针对这一挑战，团队以沼泽红假单胞菌（R.P.）为“活体声敏剂”，巧妙利用其天然的缺氧趋化能力和自主运动特性靶向肿瘤深部，同时借助超声的机械效应“疏通”肿瘤血管屏障，实现了声敏剂的高效富集和深度渗透，显著提升了声动力治疗的抗肿瘤效果。R.P.具有天然的缺氧趋化能力，可感知氧梯度并向肿瘤低氧区主动迁移。研究人员发现，R.P.随时间定向迁移并持续向球体核心渗透，穿透指数逐步升高。

研究揭示，超声除激活声敏剂外，还具备机械重塑作用。活体成像显示，超声照射后肿瘤血管快速可逆扩张，血管内皮连接被暂时打开，通透性提升。分子动力学模拟进一步显示，周期性超声力促使脂质膜发生周期性拉伸与松弛，膜厚度和面积同步振荡，为声敏剂跨越血管屏障、深入肿瘤组织提供物理基础。声光成像与组织学分析显示，超声辅助可显著促进活菌在肿瘤深部的富集与渗透，联合治疗在体外和动物模型中均展现出明显的肿瘤杀伤效果，且具备良好的生物安全性。

该研究将细菌的自主缺氧靶向、超声的深层穿透与声动力活性氧杀伤有机整合，为突破传统声动力治疗中声敏剂富集不足、渗透深度有限的核心瓶颈提供了新思路，也拓展了活体微生物在肿瘤精准治疗领域的应用潜力。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/adfm.78305>

浙江农林大学

毛竹基因资源能让水稻“降镉增锰”

本报讯（记者崔雪芹 通讯员陈胜伟）让水稻“少吸镉”有个难解悖论：许多负责吸收镉的转运蛋白，同时也负责转运植物必需的铁、锰、锌等微量元素。降镉与保营养难以两全。浙江农林大学教授邵继锋课题组经过多年研究，从毛竹中找到突破口。他们发现，毛竹中的一个金属离子转运蛋白基因PeNRAMP5，异源表达后能够显著减少水稻和拟南芥地上部分的镉含量，同时不影响锰营养。转基因水稻籽粒中的镉含量，仅为野生型的14.4%~21.0%。近日，相关研究成果发表于《危险材料期刊》。

目前，许多研究已鉴定出多个参与植物镉吸收与转运的关键基因，NRAMP5是其中首个被报道主要负责水稻根系镉吸收的基因。但邵继锋表示，这类转运蛋白往往同时承担铁、锰、锌等必需元素的转运。敲除水稻NRAMP5虽然能降低镉吸收，却会造成锰吸收缺陷等后果。于是，研究组将目光投向毛竹中的PeNRAMP5-1/2基因，并把它们转入镉、锰吸收缺陷型水稻突变体中进行异源表达。结果发现，转基因水稻恢复了根系对镉和锰的吸收能力，地上部和籽粒的锰积累也得到恢复，但镉向地上部的转运被显著抑制。最终，转基因株系籽粒镉含量仅为突变体的37.1%至53.9%，为野生型的14.4%至21.0%。

为什么毛竹的PeNRAMP5能做到水稻OsNRAMP5做不到的事？研究团队进一步解析蛋白的组织定位和元素分布后发现，水稻OsNRAMP5蛋白在根部呈极性分布——只分布在细胞的某一侧，而毛竹PeNRAMP5蛋白在毛竹和水稻根部各类细胞的质膜上呈非极性分布——分布在细胞各个方向。正是这种“站位”的不同，改变了镉和锰的命运。非极性分布促使根系吸收的镉大量滞留于根细胞液中，减少了镉向木质部的装载和向地上部的转运；而锰则可能借助水稻自身的外排转运蛋白，比如金属耐受蛋白9，完成向中柱的转运，经木质部输送至地上组织，最终实现了“地上降镉、增锰”的双重效果。

研究人员表示，该研究成果将为低镉农作物育种提供宝贵的基因资源。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2026.143779>

大连理工大学

开发出仿沙堡蠕虫水下黏合剂

本报讯（记者孙丹宁）近日，大连理工大学教授王华楠团队开发出基于液—液相分离（LLPS）与自催化网络强化的仿沙堡蠕虫水下黏合剂。相关成果发表于《先进材料》。

水下黏合剂在海洋工程、生物医用植入、水下传感与基础设施修复等领域具有广泛应用，但界面水层的持续干扰和黏合剂内聚力不足长期制约其性能。现有仿生黏合策略多依赖复杂微纳加工、预交联网络或pH值、温度、光照等外部触发条件，难以同时兼顾对不规则湿表面的形状自适应与强韧的水下黏附，开发无需外部触发即可实现稳健水下黏附的通用材料体系仍是重要挑战。

针对这一挑战，研究团队受沙堡蠕虫“有机—无机分步组装”策略启发，提出LLPS凝聚层与无机纳米黏土协同增强的新机制。以单宁酸与聚乙二醇为原料，通过氢键与疏水相互作用驱动LLPS自发形成动态凝聚层基质，实现界面水排斥与不规则表面的共形铺展。在此基础上，团队引入Laponite纳米黏土作为“一石二鸟”的功能填料，一方面组装成无机渗透网络提供额外物理增强，另一方面以其弱碱性催化TA多酚氧化交联实现自固化，使材料可从注射、可塑形的动态软凝胶逐步转变为高强固体。

基于该机制构建的复合黏合剂展现出均衡的高性能水下黏附。该黏合剂对铜、玻璃、陶瓷、木材等多种基材均保持>400千帕的水下黏附强度，并可通过配方定制为粉末、涂层、腻子等多种形态，在急性止血、湿沙固结、防腐阻燃及水下工程修补等场景展现出巨大的应用潜力。

该研究建立了“先自适应排水铺展，后自催化固化增强”的仿生水下黏附新范式，在不依赖外部触发和复杂合成的条件下实现了超强、长效、多基材适应的水下黏附，为高性能水下黏合剂的理性设计提供了新思路，并为多场景、多功能应用奠定了基础。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/adma.74695>