

自下而上精准“编辑”，打开二维材料家族新大门

■本报记者 张楠

石墨和金刚石同样由碳元素组成，却一个柔软、一个坚硬，这源于碳原子排列结构的差异。因此，科学家一直希望能够掌握材料设计的主动权，让原子按照预期方式组合，从而创造出具有特定功能的新材料。

甬江实验室研究员黄庆团队联合中国科学院宁波材料技术与工程研究所(以下简称宁波材料所)、浙江大学等团队，提出全新的“亚层化学”理念，将镧系元素“嵌入”MXene 晶格，首次造出同时具备半导体特性和铁磁性的新型二维材料，为二维层状材料设计与创制开辟了新的研究方向。相关研究成果近日在线发表于《自然》。

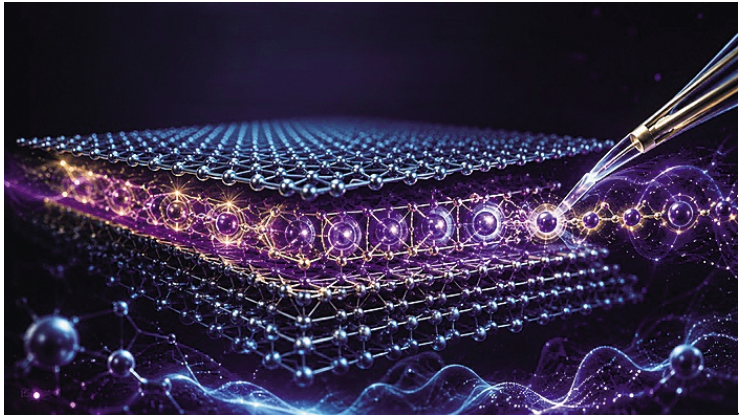
从“发现材料”到“编辑材料”

在材料科学世界，二维材料一直是备受瞩目的“明星”。石墨烯之后，MXene——一类由前过渡金属和碳/氮构成的层状化合物，凭借优异的导电性和可调的表面化学性质，在储能、电磁屏蔽、催化、传感等领域大放异彩。它也是黄庆 10 多年来，一直主动设计、深入研究的重点。然而，这些“明星”也有短板——几乎清一色是金属导体，既缺乏半导体特有的能带结构，也鲜少拥有磁有序性。

论文共同第一作者、宁波材料所博士生方倩向《中国科学报》打了个比方：“这就像一支运动队，跑得快、跳得高，却唯独不会游泳——遇到需要电子器件和自旋电子学的‘水域’，便束手无策。”

如果能将具有独特电子结构的镧系元素引入 MXene，有望突破这一局限。但制备镧系 MXene 绝非易事，传统“自上而下”的刻蚀策略不仅受限于镧系 MAX 相（一类兼具金属与陶瓷特性的三元层状碳/氮化合物陶瓷材料）前驱体的稀缺，刻蚀过程中镧系元素也极易流失。

面对棘手问题，科研人员决定转换思路：



“亚层化学”构筑 MXene 材料过程示意图。
宁波材料所供图

自下而上，“编辑”出镧系 MXene。

黄庆表示，过去材料研发更多依赖“发现”，即将不同元素组合，在一定条件下反应，再从形成的产物中寻找具有优异性能的新材料。而科学家一直希望能够更加主动地设计材料，即在理解材料形成规律的基础上，根据目标性能需求，在原子层面面对材料结构进行主动调控，实现按需创制。

从“化学剪刀”到“亚层化学”

成功从不是一蹴而就的，而是在漫长深耕中厚积薄发。2023 年，黄庆团队在《科学》上首次提出“化学剪刀”策略，利用层状材料不同亚层之间化学性质的差异，在熔盐环境中实现特定原子的敲除、置换与重构，为层状材料精准编辑提供了新的技术路线，也为后来提出“亚层化学”理念奠定了重要基础。

此次发表的最新研究，在此前研究成果的基础上实现了进一步突破。团队不再以传统 MAX 相作为前驱体，而是选择一种具有特殊电子结构的层状镧系单卤化物作为基

本结构单元。

研究发现，这类材料属于一种特殊的层状电子化合物，其双金属层之间富集大量电子。同时，它沿 c 轴方向的原子排列方式与目标 MXene 中的关键亚层结构高度相似，就像提前搭好了构筑新材料的骨架，为后续精准构筑镧系 MXene 创造了条件。

反应开始后，这些原本分布在层间的电子首先转移给碳原子，使碳原子带负电。与此同时，双金属层之间的结合随之减弱，层间逐渐“打开”。在静电作用驱动下，带负电的碳原子进入双金属层之间，并占据稳定的位置，最终自下而上重构形成全新的镧系 MXene 晶体结构。

通过这一方法，团队成功获得包含钪、铽、镱、铕、镱等 6 种镧系元素的新型 MXene，实现了对镧系 MXene 的精准构筑。

研究表明，这类材料同时具备半导体特性和本征磁性，实现了传统 MXene 难以兼具的性能组合，为新一代二维功能材料的发展奠定了新的材料基础。

这一突破的意义远不止于实验室。兼具半导体特性和铁磁性的二维材料是自旋电子学

长期瞄准的“目标材料”——电子既能通过电荷传输信息，又能利用自旋态存储数据，有望大幅提升运算速度和存储密度。此外，这类材料在低功耗逻辑器件、高频通信、磁传感器乃至量子计算领域都蕴藏巨大潜力。

更重要的是，该合成策略具有普适性，未来有望推广至其他过渡金属化合物，为二维材料家族打开一扇全新的大门。

创新，从追问“为什么”开始

这项研究历时 5 年，其间经历了无数次实验验证与方案调整。论文投稿期间，审稿人每一次刨根问底都需要提供大量的支持证据，也让团队不断深入审视数据和思考。

很多创新往往源于没有放过“异常”，并多问几个“为什么”。

黄庆讲起团队的一次经历。实验中，学生发现样品并未得到预期结果，却意外出现了一种特殊的层状结构。面对这个“异常现象”，团队没有简单将其视为失败，而是继续追问为什么会这样。正是这种对异常现象背后科学规律的持续探索，推动团队逐步发现新的反应机制，并最终发展出“化学剪刀”“亚层化学”等原创研究思路。

方倩也深有感触：“科研是一条充满艰辛的道路，尤其是具有引领性的研究，可能在很长一段时间里都难以获得正向反馈。正因如此，更需要不断调整心态、更新认知，静下心来把问题钻研得更透彻。”

“材料编辑就是从一个新的视角理解原子如何组合、拆卸和置换。”黄庆表示，层状材料拥有极其丰富的量子限域效应，在新能源、催化、超导、光电等领域前景广阔，希望借此创制出更多过去无法获得的全新体系。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10802-2>



近日，刚满月的雄性西非海牛宝宝“比欣”在广东横琴长隆飞船乐园(以下简称横琴长隆)首次亮相。横琴长隆设有“海牛小小保育员”“海牛学堂”等科普体验活动，游客可深入了解这一珍稀物种的保育知识。

2018 年，横琴长隆成功繁育近 50 年来全球首例人工保育环境下诞生的西非海牛。目前，横琴长隆已建立国内最大、全球少数能稳定扩繁的西非海牛陆地保护种群。图为海牛宝宝“比欣”和海牛妈妈。

本报记者朱汉斌 通讯员邓泳怡报道 横琴长隆供图

青藏高原气候系统模型在京发布

本报讯(记者冯丽妃)近日，青藏高原地球系统科学研讨会在京举办。会上，青藏高原地球系统模型(TPESM)第一阶段成果——青藏高原气候系统模型(TPCSM)发布。这一为青藏高原“量身定制”的区域气候模型，能显著提升高原地区风、雨、雪及地表水热过程的模拟精度，为青藏高原环境变化预测与灾害风险评估提供更具可靠的科学工具。

青藏高原被誉为“世界第三极”和“亚洲水塔”。其冰川、积雪、冻土、湖泊和河流变化，关乎高原及周边地区的水资源、生态环境和灾害风险。由于海拔高、地形起伏剧烈，积雪、冰川、裸岩、土壤、湖泊和植被等地表类型复杂，通用气候模式在青藏高原容易出现降水偏多、气温偏低等偏差。发展具有高原区域特色的地球系统模型，是提高青藏高原环境变化模拟和预测能力的重要基础。

在青藏高原地球系统卓越研究群体项目的支持下，中国科学院青藏高原研究所与清华大学的科研人员经过多年攻关，成功构建了 TPCSM。通过改进复杂地形对气流和水汽输送的影响，以及积雪覆盖、裸土热量

交换、土壤有机质、裸露基岩和高寒湖泊冻融等关键过程，模型能够更真实地模拟高原地区的风、雨、雪、土壤和湖泊变化。

研究表明，TPCSM 明显改善了以往评估中青藏高原降水偏多和气温偏低等问题。该模型还参加了 CORDEX-CPTP 和 GEWEX-LS4P 等国际模式比较计划，为开展青藏高原未来变化预测奠定了更可靠的模型基础。

此次模型发布标志着青藏高原地球系统模型的研发由区域气候模拟迈向多圈层地球系统模拟。团队将以 TPCSM 为气候核心，在大气—陆面耦合模拟基础上，持续完善冰冻圈、水圈、生物圈以及岩石圈的关键模拟能力，并探索放牧、灌溉等人类活动对地球系统演变的影响。未来团队还将融合地面观测、卫星遥感、数据同化和人工智能技术，不断提升模型的模拟、预测和情景分析能力。随着相关模块逐步完善，TPESM 有望为研究冰川、积雪、冻土和水循环变化及其生态环境影响提供模拟支撑，并服务于“亚洲水塔”变化预测、水资源管理和灾害风险评估。

谢聪鑫：向下扎根，向上突破

■本报记者 孙丹宁

在中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)储能技术研究部的实验室里，一排排液流电池测试装置正安静地运转。电解液在管路中缓缓循环，电化学反应悄然发生。

这是大连化物所副研究员谢聪鑫再熟悉不过的场景。过去 10 余年，他大部分时间都在与这些瓶瓶罐罐和电化学工作站打交道。但就是在这看似平静的实验室里，他和团队接连突破了多项高能量密度液流电池的关键技术。

当被问到对好的研究工作的判断标准时，谢聪鑫给出了自己的答案：创新性——突破现有认知或技术瓶颈；实用性——契合行业需求，具备实际应用价值；严谨性——实验数据扎实，逻辑论证严密，经得起同行检验。“我的梦想就是攻克储能领域关键技术，推动我国液流电池技术走在国际前列，为国家能源转型和‘双碳’事业贡献力量。”

沃土滋养的科研初心

最初选择液流电池作为研究方向，是因为谢聪鑫看准了储能技术是国家能源转型的关键方向。“当时行业正处于起步探索期，国家重视新能源发展，迫切需要稳定可靠的储能技术支撑，这让我坚定了深耕这个领域的想法。”

随着研究的深入，谢聪鑫发现了传统液流电池能量密度偏低的短板，于是主动转向更具挑战性的高能量密度新体系。

谢聪鑫的第一次液流电池研究，是从最

基础的电解液配制、电池组装开始的。没有惊天动地的发现，有的只是反复的称量、溶解、测试。“过程很扎实也很充实。”他说，“虽然没有取得重大突破，但掌握了核心实验技能，熟悉了基本原理，更重要的是培养了严谨的科研思维。”

正是这种从点滴做起的思路，为他日后攻克多电子转移难题奠定了基础。

谢聪鑫之所以能静下心来深耕液流电池研究，与大连化物所的“软件”“硬件”分不开。

“当初选择大连化物所，是被这里顶尖的科研平台吸引。”谢聪鑫回忆道。而让他最终选择留下的，不仅是硬件条件。“多年来，所里前辈的悉心指导、团队的凝聚力，以及实验室的支持，让我能心无旁骛做研究。”

啃下多电子转移这块“硬骨头”

多电子转移反应是什么？通俗地说，液流电池的能量密度，很大程度上取决于每个离子能够携带多少个电子参与反应。可转移的电子多，能量密度就能成倍跃升。但问题是电子转移越多，反应动力学越慢、可逆性越差。

镉元素从 I⁺ 到 IO₃⁻，理论上可以转移 6 个电子。但在常规条件下，这个反应又慢又不可逆。谢聪鑫和团队在大量文献和实验中发现，镉离子(Br⁻)对碘的反应路径有奇特的调控作用。他们尝试在含 I⁻ 的电解液中引入 Br⁻，充放电过程中形成了溴单质(Br₂)等中间态，像一座座桥梁，让电子能够快速、有序地跨越。

结果令人十分振奋：电解液的电子转移数超过 30 摩尔，电池能量密度超过 1200 瓦时每升。“目前主流水系液流电池的能量密度通常在几十瓦时每升量级。1200 瓦时每升，相当于一次性把能量密度提升了一个数量级以上，这是水系电池报道的最高值。”谢聪鑫说。

这一突破给了团队极大信心，他们随即着手解决另一个问题。传统溴基液流电池的痛点在于充放电过程中生成的 Br₂ 腐蚀性强、易挥发。谢聪鑫提出了一个颇具“跨界”色彩的想法：能不能不让溴单质出现，直接让溴离子跳到更高的氧化态？

他们引入氨基化合物，让 Br⁻ 直接转化为溴氨化物(Br⁺)，实现了双电子转移，完全避开了 Br₂ 的生成路径。“这个思路是跨学科融合的成果，借鉴了有机与配位化学的相关理念。”谢聪鑫说，这样不仅使电解液的腐蚀性和挥发性大幅降低，电池能量密度也提高了一倍。

破解了一道难题后，团队迎来了从实验室小装置放大到 5 千瓦系统的考验。

“实验室想不到”的问题一个个冒了出来：系统长时间运行后材料出现蠕变，工况波动下中间产物积累导致效率下降……谢聪鑫和同事只能驻扎一线现场排查、反复优化，最终实现了超过 1400 小时的稳定运行。

在谢聪鑫看来，成果发表远不是终点。

“从实验室成果到规模化应用，仍需稳步推进工程化验证、成本优化等工作，这是一个循序渐进的过程。”谢聪鑫坦言，当前最大的工程化障碍，是实验室技术与工业化生产的适



大连化物所供图

配性问题。“在实验室里，我们可以用高纯试剂、精确控制温度；到了工厂，原料批次差异、长期运行稳定性、维护成本等都是新课题。”

从求学到工作，谢聪鑫在大连化物所度过了 10 余年，向下扎根，向上突破。他在这里完成了从科研新手到青年骨干的蜕变，也在这里找到了愿意为之奋斗的方向。当被问及最大的心愿时，谢聪鑫想了想：“希望有一天，我们开发的高能量密度液流电池能够在电网调峰、新能源并网、工业园区储能等场景中大规模应用。能看到自己多年的研究实实在在地为社会创造了价值，所有的辛苦都将得到回报。”



发现·进展

中国科学院合肥物质科学研究院

趋磁细菌可延长生物体健康寿命

本报讯(记者王敏)中国科学院合肥物质科学研究院强磁场科学中心磁共振与环境健康团队以秀丽隐杆线虫为模式生物，发现了趋磁细菌 AMB-1 在延长生物体健康寿命方面的显著优势，并揭示了其通过抑制铁死亡来延寿的关键机制。相关研究成果近日发表于《自由微生物学》。

衰老是以多器官功能进行性衰退为核心特征，并与多种慢性疾病密切相关的生物学过程。现阶段抗衰老干预主要包括小分子药物干预与遗传调控，但两类方式均存在安全性争议突出、临床转化难度大等短板，亟待开发高效且安全的衰老干预新策略。

趋磁细菌是大自然中精通“生物冶金”的一类独特的原核微生物，它们可以富集环境中的铁离子，进而在自身体内合成纳米磁小体。趋磁细菌凭借独特的胞内磁小体结构和优良的生物相容性，已被广泛应用于药物递送、肿瘤治疗等生物医学领域。然而，趋磁细菌菌体本身是否具有调控衰老进程、延长健康寿命的潜力，此前尚无相关研究予以证实。

该研究以兼具铁生物矿化能力及潜在抗氧化特性的趋磁细菌 AMB-1 为研究对象，利用秀丽隐杆线虫模型系统，探究了趋磁细菌对生物体寿命与健康寿命的调控效应及机制。研究结果显示，喂食 AMB-1 可将秀丽隐杆线虫的平均寿命从 17.17 ± 1.25 天延长至 24.62 ± 1.44 天，增幅达 43.39%。同时，AMB-1 还可修复衰老线虫的神经功能，维持肠道结构完整性，显著延长健康寿命。

机制研究发现，能正常合成磁小体的野生型 AMB-1 延寿效果最好，体内不含磁小体但具备产磁能力的 AMB-1 延寿效果次之，而无产磁能力的 AMB-1 则不具备延寿能力，表明 AMB-1 的磁小体生成能力对于其发挥延寿作用至关重要。铁死亡是一种由铁离子过载、脂质过氧化诱发的程序性细胞死亡，与衰老的发生发展密切相关。与喂食普通大肠杆菌的对照组相比，AMB-1 处理可使线虫体内亚铁离子含量下降 34.11%，脂质过氧化水平降低 52.19%，显著抑制衰老相关的铁死亡进程。由此可见，AMB-1 一方面增加了线虫体内铁蛋白的表达，帮助线虫封存体内多余的游离铁；另一方面降低脂质过氧化水平，从而实现双管齐下，抑制铁死亡的发生。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2026.06.050>

中国农业科学院作物科学研究所等

“育种工厂”构想为未来农业提供思路

本报讯(记者刁雯蕙)近日，由中国农业科学院作物科学研究所、华大万物等多家单位组成的国际合作团队，在《分子植物》上发表观点文章，提出了植物“育种工厂”的构想，给未来农业发展提供了新思路。

传统育种以自然变异和杂交重组为主，存在周期长、效率低等特点，培育一个优良品种至少需要 5 至 10 年的时间，且难以精准筛选隐性优良基因。加之天气变化导致的病害等不可控因素，难以满足现代高效、优质的育种需求。

该文章提出了“育种工厂”的构想。“育种工厂”配备现代育种技术和环境组学技术，可在目标田间评估工作之前执行大部分的育种流程。这样的平台具备三大核心能力，一是分子育种平台集成标记辅助选择、基因组选择等技术，播种前筛选出优良品质的种子；二是加速生育体系，在人工环境下让作物“快进”生长；三是精准设计育种，根据目标产区的气候规律，在工厂内模拟筛选，预判育种在真实田间的表现。

文章把“育种工厂”分为 5 个发展阶段：第一阶段，实现作物提前开花；第二阶段，实现从播种到成熟全周期缩短；第三阶段，引入环境组学技术，在工厂内设置不同温度、光照、水分等条件，找出环境适应基因再进行田间验证；第四阶段，引入大数据和人工智能技术，整合基因型、表型、环境数据建模，实现真正的设计育种；第五阶段，理论构想阶段，在工厂内完成作物从头到尾的合成式培育，田间的概念或将被颠覆。

那么，如何推动“育种工厂”运转？研究团队提出了一套技术“组合拳”。首先进行种子无损检测，在种子播种前进行基因型鉴定，筛选出种子“优等生”；随后采用双单倍体技术，获取纯系育种；结合编辑基因、植株再生、基因型确认、表型采集、材料循环等基因编辑技术，以及调控染色体重组技术，使大田作物的年繁育世代从传统的 2 代提升到 4 至 6 代，大幅缩短品种选育周期。

文章明确了三类适合搬进“育种工厂”的作物场景，分别是叶菜、短周期蔬菜等室内栽培作物、水稻、小麦、玉米、大豆等大田粮食作物，以及苹果树等多年生的木本植物。在成本方面，文章初步测算，一座标准“育种工厂”年运营成本约 50 万到 85 万美元，实现单世代育种约为 12.5 万到 21.5 万美元。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.molp.2026.07.017>



温室培育中处于开花和成熟阶段的代表性作物。
研究团队供图