

# “做梦都在推导公式”，他们终破百年难题

■本报记者 王昊昊 通讯员 杨煜昕

“最烧脑时根本睡不着，要吃褪黑素助眠，做梦都在推导公式。”“90后”国防科技大学研究员方鑫，最近终于不用靠褪黑素入睡了。他用6年时间破解了一个世界难题。

现有的工程材料无法兼顾高强度和高韧性。要么韧性低，硬而易断，比如陶瓷、金属等；要么强度低，软而易弯，比如橡胶。这是一个百年未解的世界性难题。

相同量的棉麻材料，为何捻成绳子后更结实？绳子打结后，为什么更紧、更牢固？方鑫从拧麻绳的手艺中找到了解决上述问题的灵感。

用扭曲变形替代弯曲变形，方鑫和合作者设计出新的手性超结构，突破了材料与结构的力学性能禁区，并尝试近30种建模解析思路，建立了“手性扭曲理论”。近期，这一成果发表于《自然》。

## 盘碗拧绳得灵感

几乎所有工程结构和装备都需要轻质、高刚度、高强度、高韧性的材料，兼顾这些属性意味着结构具备高弹性（机械能）储能密度、高承载能力、优异的抗冲击力以及轻量化、小型化、运动灵敏度。

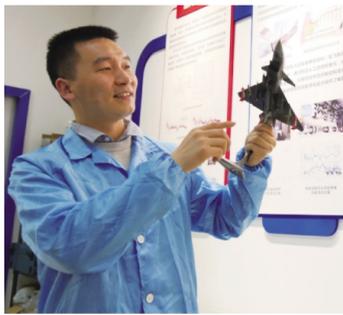
此前，方鑫曾提出一种智能超材料设计方法，实现了金属材料刚度和形状的大范围、连续、快速调节。2023年，相关成果在《自然-材料》封面文章发表后，被《自然》评为当年6月的全球重要科技进展。

这项科研成果的一个重要灵感，正是源于上述研究。

2019年，方鑫正在做抗冲击相关研究。他想知道柔性材料在受挤压后如何变形，便通过3D打印制作了一个带编织结构的柔性碗。

“原本设想的是，挤压会让这个柔性碗瘪下去，但事实上并没有。”方鑫发现，编织的碗在挤压后会呈现扭曲状，类似打结的绳子。

这个意外收获让方鑫产生了兴趣。“我觉得很神奇。”他脑子里充满疑问，为什么碗转起来呈现扭曲状？他随即联想到绳子，碗的扭曲和绳子打结极为相似，软绳拧一下，会变得又紧又坚固。绳子在扭转过程中发生了什么变化？为什么简单的扭曲变形会刚度



方鑫介绍相关研究工作。 王昊昊/摄

大增？

带着这些疑问，方鑫进行了深入研究。他发现，这是近现代力学领域一个一直未得到解决的问题，即结构扭曲。

## 最烧脑时靠褪黑素入眠

紧接着，方鑫发现，不只是材料难以实现强度与韧性兼得，结构也是一样。

“现在的工程材料和结构有成千上万种构型。我查阅了大量文献后发现，这些构型全部基于弯曲和屈曲，材料的抗压能力都基于这些理论。”方鑫表示。

能否通过控制变形模式，解决材料和结构无法兼顾高强度和高韧性的问题？这让方鑫想起他在碗和绳子中获得的灵感：“如果把绳子打结的过程引入材料和结构变形的过程，能否改变材料和结构的强度与韧性？”

然而，让钢筋“打结”进而增加强度，不依靠工具无法轻易完成。为此，方鑫设想加装一个结构让打结的过程自动完成。

基于这些设想，研究人员提出一个新原理，即用压缩扭转屈曲替代压缩弯曲屈曲结构作为桁架结构的单元，构造可自由扭转的手性胞元诱发所需的扭曲模式，据此创造出新的手性超结构，突破基材本身强度与韧性的制约，用扭曲变形替代弯曲变形设计新结构。

大量理论分析与实验测试表明，相比现

有非手性轻质结构，这种手性结构在未优化情况下也能实现高刚度，承受大变形，使承载屈服强度提升5至20倍，将弹性应变能密度提升5至160倍，突破了材料与结构的力学性能禁区。

虽然性能卓越的手性超结构已构建出来，但这种结构显著提升材料和结构性能的科学原理，没有人知道。

方鑫带着这个问题与中国科学院外籍院士高华健开展了深入研讨。高华健说：“扭转屈曲是结构力学中极具挑战性的经典难题。长期以来，研究者一直试图寻找大变形条件下扭转屈曲的解析解，但始终未能成功，导致这一研究方向逐渐被冷落。另有学者尝试通过数值模拟研究这一变形过程，却无法揭示完整的力学演化机制。”

听了高华健的解释，方鑫下决心用数学方程把它表示出来。

但这并不容易。“我尝试了很多种建模方法，依然无法准确解析扭曲的科学原理。”方鑫说，“那段时间我很沮丧，不知道问题出在哪里，最烧脑时晚上根本睡不着觉，要吃褪黑素才能入睡。”

直到尝试了近30种建模方法，方鑫才找到了手性扭曲问题的解析答案。

## 4个“工人”协同“作战”

方鑫发现，扭曲的过程由4类变形组合而成。如果将这4类变形比喻成“工人”，那扭曲的过程就是4个“工人”协同“作战”。

这4个“工人”都负责哪些工作？方鑫介绍，它们各司其职、同时工作。弯曲发生过程有两个“工人”，一个负责接受压力，一个负责让材料变弯。扭曲过程中则多了两个“工人”，它们带来了材料性能的极大增量。除了弯曲过程中的两个“工人”，还有一个负责扭转，一个负责产生交叉方向的弯曲从而扩大变形空间。四者同步协作，使材料在强度和弹性（极限变形能力）上实现飞跃。

基于此，研究团队最终找到了手性扭曲问题的解析最优解，建立了“手性扭曲理论”，将这类问题的研究向前推进了一大步。

该团队建立的手性解析模型能在20%变形范围内准确计算结构变形。研究发现，压缩

扭曲包含多种变形模式，可以在几乎不增加基杆应力的前提下，通过扭转和面外变形额外存储1倍以上的能量，从而在相同材料强度约束下大幅提升整体超结构力学性能。

高华健认为，手性扭曲理论揭示了材料和结构高强度特性的产生机理，将为航空、航天、船舶、高铁、汽车等工业系统提供重要解决方案。

## 审稿时“自找苦吃”

从投出到正式发表，论文共经历了3次修改。而让方鑫印象最深的是二审。

其实，二审的审稿人仅提出完善一些细节的意见，这对很多投稿者来说是好消息，意味着成果能尽快发表。但方鑫在二审后却提出再加一部分审稿人未提及的内容。

“手性扭曲理论已经很准确了，但描述过程对一些数学问题的阐述还不够严谨。审稿人可能没有关注这些问题，即使不修改论文也能够发表。”

但方鑫始终觉得理论的数学方程还不够完美。“不甘心如此。如果我搞不好这个研究，以后很多年里可能都不会有人关注和解决这个问题，别人在应用这个理论时，可能会有这样那样的疑问。而且手性扭曲理论是推进力学研究的根本问题，更要打好基础。”

没想到，“自找苦吃”的做法，让方鑫经历了他研究生涯中最煎熬的一个月。

那段时间，方鑫推掉了许多重要会议，基本都“泡”在实验室里，甚至晚上做梦都在推导数学公式。有时候白天想问题入迷，同事跟他打招呼，他都没注意到。

直到收到一审修改意见20多天后，方鑫才找到最优解。“虽然耽搁了一些时日，用了3个多月完成修改，但最终熬出了好结果，没有缺陷，没留遗憾。”他说。

审稿人评价，该研究“为非线性材料力学和具有不同应用的高焓材料提供了新见解”。

方鑫表示，下一步，研究团队将围绕构建的手性超结构和手性扭曲理论在相关领域开展应用研究。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-025-08658-z>

## 发现·进展

中国科学院过程工程研究所

# 研发耐极端环境光热陶瓷纤维膜材料

本报讯(记者甘晓)中国科学院过程工程研究所介科学与工研所国家重点实验室研究员王钰团队研发出一种以一维Ti<sub>3</sub>AlSnC MAX相纳米纤维膜为光热层的光热蒸发器，可在强酸、强碱、高盐度废水等极端环境下高效、稳定地利用太阳能生产淡水。近期，相关研究成果发表于《美国化学会-纳米》。

太阳能驱动界面蒸发技术是一种利用太阳能进行高效蒸发的新技术，因零碳排、高效及模块化优势，成为可持续生产淡水的有效解决方案。然而，传统光热材料对极端环境适应性不足、化学稳定性差、多功能性缺失等问题会导致蒸发性能迅速下降，严重制约其应用。

针对这一难题，研究团队引入了具有金属与陶瓷双重特性的MAX相材料，该材料兼具陶瓷的高硬度、耐高温、耐腐蚀特性和金属的导电性、导热性和耐辐射性。研究人员通过调控A位元素(Sn/Al)固溶体，合成了一维Ti<sub>3</sub>AlSnC纳米纤维膜。该材料不仅具备超90%的宽光谱吸收率和高效光热转换能力，还展现出卓越的化学稳定性与机械柔韧性。Ti<sub>3</sub>AlSnC纳米纤维的亲水性表面及多孔结构显著降低了水蒸发焓，形成易于蒸发的“中间水”簇，可有效提升蒸发性能。

研究团队基于这一纤维膜，设计出多种蒸发器结构以减少能耗，并结合焦耳加热模块协同调控热管理，进一步摆脱光热蒸发技术对光照条件的依赖。实验中，在低光照或无光条件下，该蒸发器仅需小于3V的低电压输入，即可全天候生产淡水。此外，该蒸发器可有效抑制盐结晶堆积，在20wt%高盐度废水中仍维持高效蒸发性能。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1021/acsnano.5c03189>

华东理工大学

# 开发具有自我调节能力的智能超分子水凝胶

本报讯(见习记者江庆龄)华东理工大学特聘研究员王义明和教授郭旭虹、轩福贞证实了霍夫迈斯特效应可以有效调控分子间作用力以维持分子组装体结构，对理解自然界中特定离子效应具有启示意义，为开发具有自我调节能力的类生命材料提供了新思路。相关研究成果近日发表于《德国应用化学》，并被选为超分子化学领域热点论文。

生命系统中的信号识别与响应过程展现出高度的时空分辨特性与自适应性。作为调控分子间作用力的经典离子特异性理论，霍夫迈斯特效应为构建具备类生命感知特征的智能材料提供了新的理论支撑。然而，如何将该效应与动态化学反应网络有效耦合，实现类生命信息流模式，仍是当前智能传感材料研究中的关键挑战。

研究人员将酶促反应与霍夫迈斯特效应相耦合，构筑出能够动态感知霍夫迈斯特离子序列的智能超分子水凝胶。该水凝胶可模拟生命体对微环境变化的自适应感知行为，在酶催化下，尿素水解产生的碱性氨气和亲液离子诱导凝胶经历从初始凝胶(Gel1)到溶胶(Sol)再到终态凝胶(Gel2)的自主转变，实现对离子信号的实时感知与力学状态的动态演变，将化学信号有效转化为宏观物性变化，为多模态输出和智能反馈奠定了基础。

机理研究表明，亲液离子可破坏凝胶基元分子与水分子间的相互作用，进而激发凝胶基元分子自组装。通过将自组装与尿素酶解反应相耦合，酸性条件下形成的Gel1会因生成碱性氨气而解离为Sol；但随着时间推移，解离的凝胶基元分子因霍夫迈斯特效应被触发自组装形成Gel2，总体展现出自主的“凝胶-溶胶-凝胶”动态演变行为。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/anie.202505417>

中国科学技术大学

# 制备兼具隐身和防护功能的仿生材料

本报讯(记者王敏)中国科学技术大学俞宏院士团队制备出一种结构功能一体化设计的仿珍珠母复合材料，不仅具备独特的颜色可调性和优异的透波性能，还实现了轻量化、高强度、高韧性以及出色的抗冲击性能。该研究为研发兼具隐身与防护性能的仿生材料提供了新思路。近日，相关研究成果发表于《先进材料》。

通过相应的设计策略，自然界中的生物铠甲既保持防御所需的机械强度，又能实现与周围环境色度匹配的伪装效果。其中，珍珠母凭借精密的多级微观结构，展现出远超组分的断裂韧性，为人工材料设计提供了重要的仿生启示。然而，如何将这种自然界结构设计有效应用于工程材料体系，特别是在具有优异力学性能的前提下实现功能集成，仍是亟待突破的瓶颈。

研究团队提出一种双氧化物界面设计策略，通过自蒸发组装与高温烧结方式，制备出新型仿珍珠母氧化铝陶瓷基复合材料。该设计策略通过构建氧化铝铝微米片之间的矿物桥结构，显著提升了机械强度和韧性，同时利用固相反应调控组装微米片界面化学成分，实现了可控着色。结果表明，这种仿生复合材料的断裂韧性是商用氧化铝陶瓷的3倍以上，吸收的冲击能量达到商用氧化铝陶瓷的4倍以上。

研究团队基于珍珠母结构的启发，进一步提出一种电磁波传输设计理念，其高效透波性能来源于层状陶瓷框架与低介电常数聚合物形成的微米级透波通道、无定形二氧化硅矿物桥以及单晶氧化铝微米片的光轴垂直取向。该结构设计实现了力学性能与透波性能的协同增强。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/adma.202416535>

## 公里级气候数值模拟“马拉松”启动

本报讯(记者高雅丽)5月12日，由世界气候研究计划(WCRP)委员会发起、中国科学院大气物理研究所牵头举办的“全球公里级气候数值模拟黑客马拉松”北京节点活动启动。

作为全球九大节点之一，北京节点活动组织全球科学家协同分析多个全球公里级大气环流及海-气耦合模式的模拟数据，揭示极端天气机理、提升气候预测精度，为气候变化研究提供科学依据。

本次活动共设九大科学议题，涵盖2020年亚洲季风进程、2020年梅雨期极端降水等方向。通过分析2020—2021年全球公里级模拟数据，科学家还深入探究了中尺度对流系统、陆气相互作用等对极端气候事件的调制机理，助力提升东亚地区气候灾害预警能力。



图片来源：王甲乙

5月13日，《自然》公布了2025年“工作中的科学家”摄影大赛的6件获奖作品。中国地质大学(北京)2023级博士研究生王甲乙拍摄的一张照片入选。在这张照片中，中国地质大学(北京)副教授于皓在黑暗、繁星点点的夜色中走进小屋。

“工作中的科学家”摄影大赛邀请《自然》读者分享全球科学家的工作照片，展现他们多样、有趣、充满挑战、令人震撼的工作，迄今已举办六届，今年共有200多件参赛作品。

本报记者冯丽娟报道

## 科学时评

# 中国期刊咋起飞？“论文仓库”要变“科学客厅”

■冯丽娟

中国科学界早就尝够了没有国产一流期刊的苦头——重要科研成果被国外期刊“卡脖子”，遭遇不公平审稿……更有甚者，有的关键研究被延迟，成果反被国际同行抢先发表；有人被要求作出妥协，否则论文就无法发表。

最近，笔者在一次采访中就遇到了后一种情况。国内某研究团队在一个关键问题上取得颠覆性突破，他们将论文投给国际某顶刊，却因结论太过重要，触动了一位同行评审人的敏感神经，受到无端排挤。同行评审人一方面“酸溜溜”地承认，中国科学家的这项突破性研究“代表了一个非常重要的进步”；另一方面又提出，论文若想发表，作者必须“作出妥协”——淡化研究主张，把原本基于确凿证据得出的明确结论，改为模棱两可的“不确定性”表述。

面对如此无理要求，论文作者愤然撤稿，转投国内期刊，很快顺利发表。后续采访中，这位科学家满是遗憾地向笔者感慨：“我们中国现在有这么优秀的研究成果，为啥就没有公认的顶刊呢？”

在笔者看来，要建设高水平的国产期刊，除了保证内容“硬核”外，还要填平科普这个“死亡之谷”。

《中国科技期刊发展蓝皮书(2024)》数据显示，2023年，我国科技期刊总量达5211种，总被引频次和影响因子年均增长率分别达到4%和8%。这说明我国科技期刊

的整体学术影响力在提升，其中也涌现出一些在国际上崭露头角的英文期刊，一些期刊影响力因子突破“50分”，堪称“国产之光”。但整体而言，我国科技期刊在激烈的国际竞争中仍显得有些“不扛打”。一些知名国产期刊的影响力因子忽高忽低，像过山车一样不稳定。

打造高水平科技期刊，让已经积累一定影响力的科技期刊走得更稳，科普的作用至关重要。往小处说，优质的科普就像一座桥梁，能拉近科学和大众的距离，避免科学期刊沦为小圈子里的自娱自乐，失去社会根基。往大处说，现在大多数国产期刊都面临“约稿难”的困境，很难吸引高质量论文。而出色的科普能让更多优秀研究成果为大众所知，在期刊与投稿人之间形成良性互动，有效改变期刊“叫好不叫座”的尴尬局面。

实际上，国际三大科学顶刊都有一套成熟的科普“打法”。在论文正式发表前，这些期刊会要求作者撰写或者自己组织创作科普文章。论文一发表，相关科普文章也会同步推出。更重要的是，它们不仅在自有平台发表这些科普文章，还面向全球媒体大力推广。这样一来，就会产生“蝴蝶效应”，公众关注度、论文阅读量和引用量都会大幅提升。不得不承认，科普对于维系这些期刊的影响力起到了关键作用。

反观国内的科研期刊，大多数仍因在

“学术深井”里。虽说不少期刊开发了客户端，但内容往往通篇都是晦涩的专业术语，人为筑起一道道学术壁垒，根本不考虑普通读者看不看得懂。这类“传播”不能用大白话把研究成果讲清楚，也缺少把科技突破转化成生动故事的能力，致使科学研究成了“小圈子”里的游戏，毫无生命力。

建设一流期刊，到底该怎么跨过科普这道坎？笔者认为，首先要打破“重专业、轻科普”的思想观念。这主要有两种表现：一种是过于保守谨慎，只想一门心思把专业内容“做硬做强”，觉得搞科普是“追逐名利”，不愿尝试；另一种则是傲慢自大，故意用晦涩的表述彰显“专业性”。笔者就曾听人说：“写的每个字你都认识，连起来读的啥，你就不懂。”

其次，要在科学传播上多下功夫。在传播语言上，不能总沉迷于专业“八股文”，要用通俗易懂、生动有趣的科普语言取代晦涩的专业术语。在传播渠道上，不能光守着自有平台“自嗨”，还应主动与国内外媒体合作，扩大影响力，别让期刊变成冷冰冰的“论文仓库”。在传播链条上，要充分调动作者、期刊编辑、社交媒体等各方力量，搭建起从源头到大众的传播通道，做出既有深度又有温度的科普内容，这样才能扩大期刊的“朋友圈”，激发期刊的生命力。

正如中国科学院院士高福所说：“科学期刊不能只当‘论文仓库’，还得扛起更大的社会责任。”

诚然，把学术期刊从“论文仓库”变成大家愿意光顾的“科学客厅”，绝非一日之功。除了提升科普能力，还需深化体制机制改革，加大政策支持力度。以人员配置为例，2023年，我国科技期刊从业人员总数为3.76万，平均每本期刊配备编辑7名。但实际上，受编制、晋升等问题影响，很多期刊都缺乏专业、稳定的编辑队伍。一些领域内的知名期刊，甚至只有一名专业编辑在苦苦支撑，“流水的博士生”换了一茬又一茬。

知名组学期刊《基因组蛋白质组与生物信息学报(英文)》创刊人兼主编、中国科学院北京基因组研究所研究员于军曾告诉记者：“现在，国内英文科技期刊发展势头不错，但专业英文文字编辑严重短缺，得赶紧加强专业队伍队伍建设。”

一直以来，学术发表能力的积弱，导致我国很多高质量研究只能发表在西方主导的期刊上，不仅要交高昂的版面费，使优质论文严重“外流”，研究成果的传播也受制于人，导致国际学术话语权缺失，甚至科研评价体系也长期依赖西方标准。

要扭转这一局面，实现高水平国产期刊的起飞，科研与科普两手都要硬。抢占“学术高地”与搭建“科普桥梁”齐头并进，是中国学术期刊迈向一流的必经之路。