



化学通讯

CHEMICAL NEWSLETTER

No.4

2026年02月28日



CHINESE
CHEMICAL
SOCIETY



中国化学会 主办
中国科学院长春应用化学研究所



07



新闻快递

- 长沙一中学化学课程获评教育部国家级精品课
教研成果获认可 01
来源：今日头条·全国党媒信息公共平台
- 国家发改委部署 2026 年化肥保供稳价推动化工
农资绿色升级 01
来源：中华人民共和国国家发展和改革委员会官网
- 上海石化年产 3 万吨大丝束碳纤维项目一阶段
机械竣工 01
来源：中国石化报
- 长城钻探自研海水基压裂液助剂实现国产化替代 01
来源：中国石油报
- 中国科学院化学研究所光致变色分子研究取得新
进展 01
来源：中国科学院化学研究所官网

封面文章

- ※ 神奇的蒜瓣：探索大蒜的健康益处与口气清新之道 02
作者：Amier

科技新闻

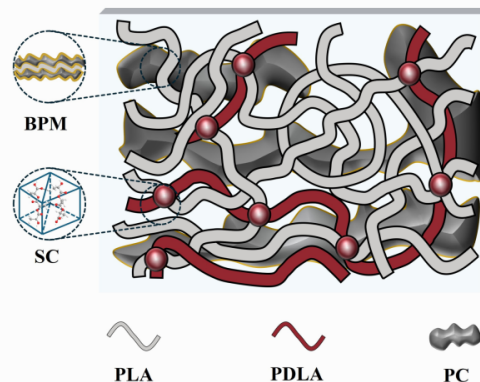
- 国资委发文：科技成果敲不开“市场的大门”... 07
来源：化学与材料科学公众号
- 化学助力冬奥健儿驰骋冰雪赛场 13
来源：C&EN
- 空气污染重塑肠道生化环境，加剧慢性疾病发生 20
来源：chemistryworld
- 中国造！它“吞下”钢厂废气，每年“吐出”50万吨无水酒精 25
来源：中国科学报公众号
- 这个团队“钛”厉害！从深海载人舱到火箭叶轮，锻造重器“骨骼” 29
来源：中国科学报公众号

科普大赛

- ※ 给书本一片“绿叶”——DIY 淀粉基可降解塑料书签 34
作者：徐志文, 彭张博, 陈星池



03



47

科研进展

- 【CCS Chem.】中国科学技术大学张振：视网膜启发的级联范德华异质结用于光电-离子神经形态计算 39
来源：CCS Chemistry 公众号
- PS&T：兼具高耐热、高韧性聚乳酸 / 生物基聚碳酸酯共混材料构筑 45
来源：高分子科学与技术 PS&T 公众号

主办单位：中国化学会 中国科学院长春应用化学研究所

刊 期：半月刊

主 编：杨小牛（中国科学院长春应用化学研究所）

副 主 编：刘正平（北京师范大学）

编辑部主任：王重洋

总 编 辑：孙智权

副总编辑：余婉宁

编 辑：陈雨婷、朱真逸

版面设计：许 霞

联系电话：0431-85262016

电子邮箱：hctx@ciac.ac.cn

公 众 号：Chemical Newsletter

投稿网址：<https://www.scicloudcenter.com/CN/>

电子版网址：<https://www.chemsoc.org.cn/library/newsletters/>

中国化学会秘书处

地 址：北京市中关村北一街2号

联 系 人：郝江涛、王亚茹

联系电话：010-82449177

来源：今日头条·全国党媒信息公共平台

长沙一中学化学课程获评教育部国家级精品课教研成果获认可

2月4日，教育部公布2025年“基础教育精品课”遴选结果，长沙县实验中学的化学课程成功获评部级优质课，该校累计已有多门化学相关课程入选全国精品课，课程设计将生活化学、实验探究与教材知识深度融合，为中学化学创新教学提供了可借鉴的实践范例。

原文链接

https://www.toutiao.com/article/7603293533591618100/?&source=m_redirect

来源：中华人民共和国国家发展和改革委员会官网

国家发改委部署2026年化肥保供稳价推动化工农资绿色升级

2月5日，国家发展和改革委员会发布《关于做好2026年春耕及全年化肥保供稳价工作的通知》，围绕化肥生产、运输和供应全链条部署工作，鼓励化肥企业开展绿色化、智能化技术改造，推广高效缓释肥、生物有机肥等新型化工农资产品，推动化肥化工产业向节能低碳和高效高质转型。

原文链接

https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202602/t20260205_1403612_ext.html

来源：中国石化报

上海石化年产3万吨大丝束碳纤维项目一阶段机械竣工

2月1日，上海石化年产3万吨大丝束碳纤维异地建设项目一阶段完成机械竣工，进入生产准备阶段。该项目由其控股子公司内蒙古新金山碳纤维有限公司承建，2025年7月开工，一阶段含2条生产线，产能6000吨/年，依托自有专利技术和内蒙古绿电资源，主打48K、60K规格产品，全面投产后将成全国产能最大的大丝束碳纤维生产企业，助力国产碳纤维绿色规模化生产。

原文链接

http://www.sinopecnews.com.cn/xnews/content/2026-02/05/content_7142080.html

来源：中国石油报

长城钻探自研海水基压裂液助剂实现国产化替代

2月1日获悉，长城钻探自主研发的高性能海水基压裂液、压驱液助剂2025年销量破千吨，在渤海和南海90余口井成功应用，实现该体系国产化替代。团队攻克海水适配性难题，研发的压裂液挟砂能力达35%，可将支撑剂送至千米裂缝深处；压驱液耐受3.3万毫克/升矿化度海水和160℃高温，解决海上油气开发淡水短缺、成本高的行业痛点。

原文链接

<http://news.cnpc.com.cn/system/2026/02/03/030185087.shtml>

来源：中国科学院化学研究所官网

中国科学院化学研究所光致变色分子研究取得新进展

2月4日，中国科学院化学研究所活体分析化学实验室在光致变色分子研究领域发布最新成果，相关研究为光致变色材料在活体分析、智能响应等领域的应用奠定了分子设计基础，进一步丰富了光功能分子材料的研究体系，为化学新材料研发提供了新方向。

原文链接

https://ic.cas.cn/news/kjyz/202602/t20260204_8122994.html

神奇的蒜瓣



探索大蒜的健康益处与口气清新之道

作者 : Amier; Email: 550074745@qq.com

大蒜标志性的气味源于细胞破碎后，蒜氨酸在蒜氨酸酶作用下生成大蒜素，并迅速分解成多种挥发性硫化物，这是造成持久“蒜味”的根本原因。

1. 餐桌上的“万能钥匙”

从地中海的蒜香面包到中餐的爆炒蒜蓉，从韩国的泡菜到墨西哥的莎莎酱，大蒜以其辛辣而浓郁的独特风味，跨越了文化与地域的界限，成为世界各地厨房中不可或缺的灵魂调料（图1）。大蒜不仅是烹饪艺术中的“万能钥匙”，能为平淡的菜肴注入生命力，更在数千年的历史长河中，被古埃及、古罗马、古希腊和古代中国等文明赋予了药用和神圣的地位。在日常生活中，大蒜的重要性不言而喻，它既是提升美食层次的魔法师，也是民间智慧中守护健康的天然卫士。然而，这位“魔法师”在施展魅力的同时，也常常留下一个令人烦恼的“印记”——持久不散的口气。

2. 大蒜味道的来源和主要成分

很多人会好奇，完整的一颗大蒜闻起来并没有那么刺激，为何一旦被切开或咀嚼，就会释放出如此强烈的气味？这背后是一场迅速的化学反应。大蒜的细胞中含有两种关键物质，它们被分别储存在不同区域：一种是蒜氨酸（Alliin），另一种是蒜氨酸酶（Alliinase）^[1]。在物理结构完整时，它们相安无事。可当大蒜被刀切、压碎或咀嚼时，细胞壁遭到破坏，这两种物质便会瞬间相遇。蒜氨酸酶会立刻催化蒜氨酸，生成一



①【图1】餐桌上的大蒜（图片来源于豆包 AI）

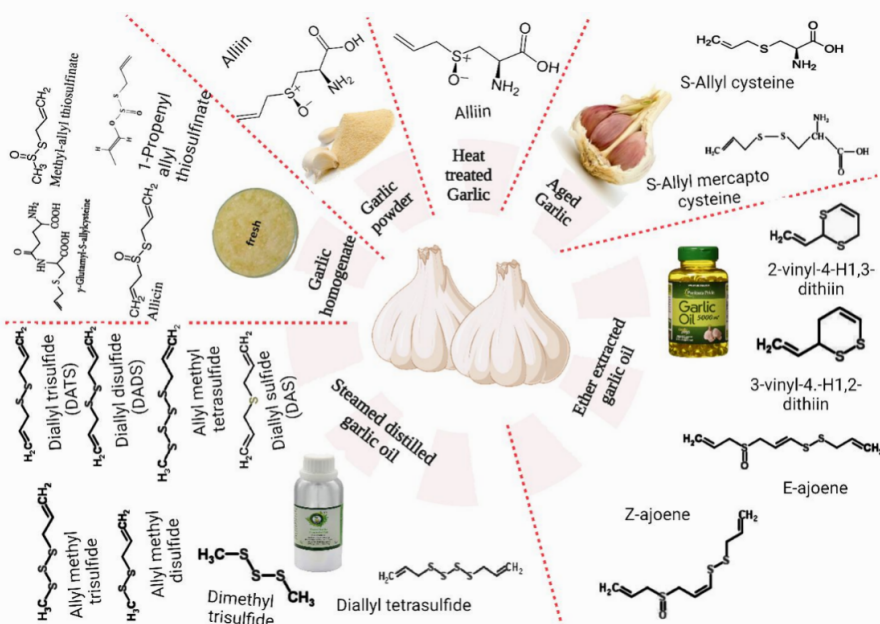
种极不稳定的含硫化合物——大蒜素（Allicin）^[2]。大蒜素是生蒜辛辣风味和刺激性气味的主要来源，但它本身并非导致口气持久的“元凶”。大蒜素的化学性质非常活

泼（图2）^[3]，会迅速分解成一系列更稳定的挥发性硫化物（Volatile sulfur compounds, VSCs），例如二烯丙基二硫醚（Diallyl disulfide）、烯丙基甲基硫醚（Allyl methyl

sulfide, AMS) 等。这些硫化物才是造成“大蒜味”口气的根本原因，特别是 AMS，它难以在消化道被分解，会进入血液，随着血液循环到达肺部和皮肤，通过呼吸和毛孔缓慢释放，这就是为什么蒜味能持续数小时甚至一整天^[4]。

3. 大蒜味道的去除

大蒜味的化学本质是挥发性硫化物，我们就可以“对症下药”，科学地选择去除方法。如表 1 所示，有几类生活中常见的去除大蒜味道的方法，牛奶（特别是全脂牛奶）：这是被科学研究证实最有效的方法之一。牛奶中的脂肪可以溶解亲脂性的硫化物，将其包裹起来，阻止其挥发；同时，牛奶中的蛋白质（尤其是酪蛋白）能够与硫化物结合，形成无味的复合物。因此，餐中或餐后立即饮用一杯全脂牛奶，效果尤为显著^[4]。富含多酚的食物（如苹果、生菜和蘑菇）：新鲜的苹果和生菜等食物中含有的



【图 2】大蒜中发现的主要水溶性和油溶性含硫化合物^[3]

注：Garlic powder：大蒜粉；Heat treated Garlic：热处理大蒜；Aged Garlic：陈蒜；Garlic homogenate：大蒜匀浆；Steamed distilled garlic oil：水蒸气蒸馏大蒜油；Ether extracted garlic oil：乙醚提取大蒜油。

多酚氧化酶，能够催化食物中的多酚类物质与硫化物发生反应，将其分解为无味的物质。吃完大蒜后立即咀嚼几片生苹果，是一种非常有效的方法^[1]。富含叶绿素的植物（如欧芹、薄荷和菠菜）：欧芹（Parsley）和薄荷常被用作餐后清新口气的食物。它们富含

的叶绿素被认为具有一定的吸附和中和异味分子的能力，虽然其机理不如牛奶和苹果清晰，但作为一种遮蔽和辅助方法依然有效。酸性饮品（如柠檬水和绿茶）：柠檬水中的柠檬酸可以中和部分产生异味的酶的活性。绿茶中的儿茶素等抗氧化剂也能与部分硫化物反应，减轻气味^[1]。

表 1. 去味方法的科学对比

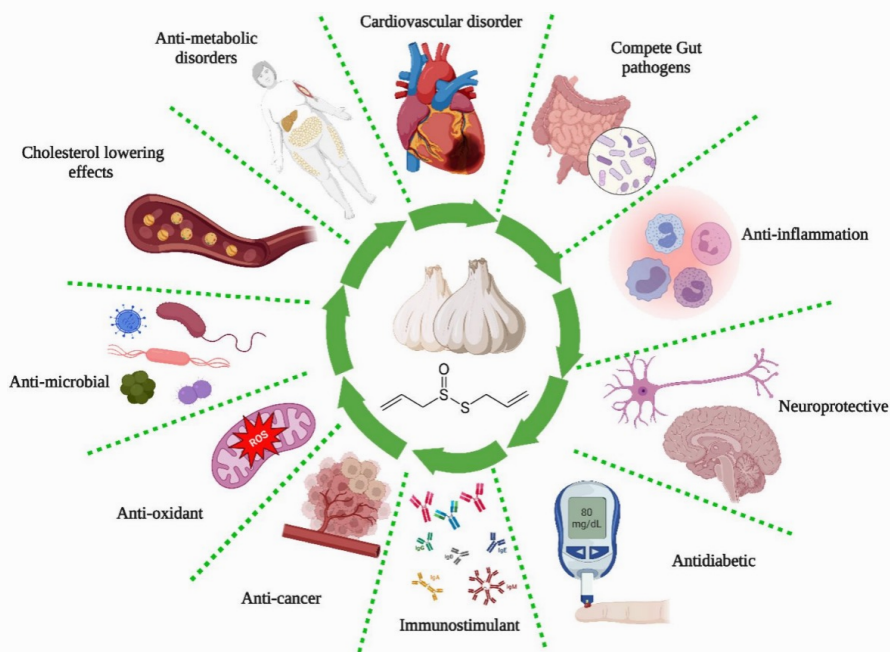
去味方法	作用原理	效果评估
牛奶	脂肪物理吸附 + 酪蛋白化学反应	高效，治标兼治本
酸性物质（柠檬、醋）	暂时改变口腔 pH 值，抑制部分酶的活性	效果有限，无法溶解硫化物
芳香食物（茶叶、薄荷糖）	利用自身更强烈的香味进行掩盖	短暂，治标不治本，气味混合后可能更奇怪
多酚类食物（苹果、生菜）	食物中的多酚氧化酶能与硫化物发生反应，起到一定的中和作用	有一定效果，但效率远低于牛奶的“吸附 + 反应”组合

4. 大蒜对人体的益处

大蒜的价值远不止调味,其强大的药理作用主要归功于核心成分大蒜素及其衍生物(图3)^[3]。大蒜素对人体的益处远不止于此,如在心血管健康卫士方面:多项研究表明,定期食用大蒜有助于降低总胆固醇和低密度脂蛋白(“坏”胆固醇)水平,同时还能帮助舒张血管,从而起到降低血压的作用,对预防动脉粥样硬化和心血管疾病有积极意义^[5]。天然的抗菌剂:大蒜素具有广谱的抗菌、抗病毒和抗真菌能力,被誉为“天然青霉素”。它能有效抑制多种病原微生物的生长,有助于预防感冒及肠道感染等疾病^[6]。强大的抗氧化能力:大蒜富含多种抗氧化剂,能够中和体内有害的自由基,保护细胞免受氧化应激的损害。这有助于延缓衰老过程,并降低多种慢性疾病的风险^[2,6]。潜在的抗癌作用:流行病学研究和实验室研究发现,大蒜中的有机硫化物能够抑制肿瘤细胞的增殖,诱导其凋亡,并阻断致癌物的形成。特别是对于胃癌和结直肠癌等消化系统癌症,显示出了一定的预防潜力^[5,7-9]。

5. 大蒜饮食过程中需要注意和使用小技巧

为了最大化大蒜的益处并减少不适,可根据图4建议。注意事项如:**肠胃刺激**:生吃大蒜对



①【图3】大蒜素的生物活性及功能性^[3]

注: Anti-metabolic disorders: 抗代谢紊乱; Cardiovascular disorder: 心血管疾病; Compete gut pathogens: 对抗肠道病原体; Anti-inflammation: 抗炎; Neuroprotective: 神经保护; Antidiabetic: 抗糖尿病; Immunostimulant: 免疫刺激; Anti-cancer: 抗癌; Anti-oxidant: 抗氧化; Anti-microbial: 抗微生物; Cholesterol lowering effects: 降胆固醇作用。

✅ 要做 (Dos) - 提升益处

💡 **切后静置**: 将大蒜切碎或捣成泥后, 静置10-15分钟再使用。这能让有益的“大蒜素”充分生成^[2]。

🍲 **生食效益最大**: 在制作凉拌菜或蒜泥酱时生吃, 可以最大限度地保留大蒜素的活性, 获取最多健康益处。

🔍 **熟食风味更佳**: 如果追求柔和香甜的风味, 而非营养最大化, 可以将整颗蒜瓣用于烤制或炖煮, 风味更醇厚。

⚠️ 注意 (Don'ts) - 避免风险

🚫 **避免过量生食**: 生蒜对肠胃刺激大, 可能导致不适。胃部敏感者尤其要注意, 不宜空腹生吃。

💊 **警惕药物相互作用**: 如果您正在服用抗凝血药(如华法林), 大量食用大蒜可能增加出血风险, 请务必咨询医生^[5]。

👉 **留意过敏反应**: 虽然罕见, 但仍有少数人可能对大蒜过敏。如出现皮疹、瘙痒等症状, 应立即停止食用。

①【图4】大蒜饮食过程中需要注意和使用小技巧。

肠胃黏膜有较强的刺激性, 过量食用可能引起胃部不适、腹胀或腹泻。胃炎、胃溃疡患者应谨慎食用。**与药物相互作用**: 大蒜具有抗凝血作用, 正在服用华法林等抗凝血药物(“血液稀释剂”)

的人群, 大量食用大蒜可能会增加出血风险, 应咨询医生^[6]。**过敏反应**: 极少数人可能对大蒜过敏, 出现皮疹等症状。**使用小技巧**: **先切后放**: 将大蒜切开或捣碎后, 在室温下放置10~15 min

再进行烹饪。这个过程能让蒜氨酸和蒜氨酸酶充分反应，生成更多有益的大蒜素^[2]。生吃效果最佳：大蒜素对热不稳定，长时间高温烹饪会使其活性大大降低。因此，生吃（如制作蒜泥和沙拉酱）是获取其健康益处最大化的方式。**整颗烹饪风味佳：**如果只是为了取其风味而非营养，可以将整颗蒜瓣或轻拍的蒜瓣用于炖

煮或烧烤，这样释放的味道更柔和香甜。

总结

大蒜，这个看似平凡的食材，实则蕴含着强大的化学能量和健康价值。它既能以浓烈的风味点亮我们的餐盘，又能作为天然的保健品守护我们的身体。通过了解其气味的化学来源，我们

可以巧妙地运用牛奶和苹果等日常食物，轻松化解社交中的“口气”尴尬。同时，科学地食用大蒜，充分利用其在心血管保护、抗菌和抗氧化等方面的卓越功效，能为我们的健康生活增添一道有力的保障。正确认识并善用大蒜，将使我们能够毫无负担地享受这份大自然赋予的辛辣馈赠。

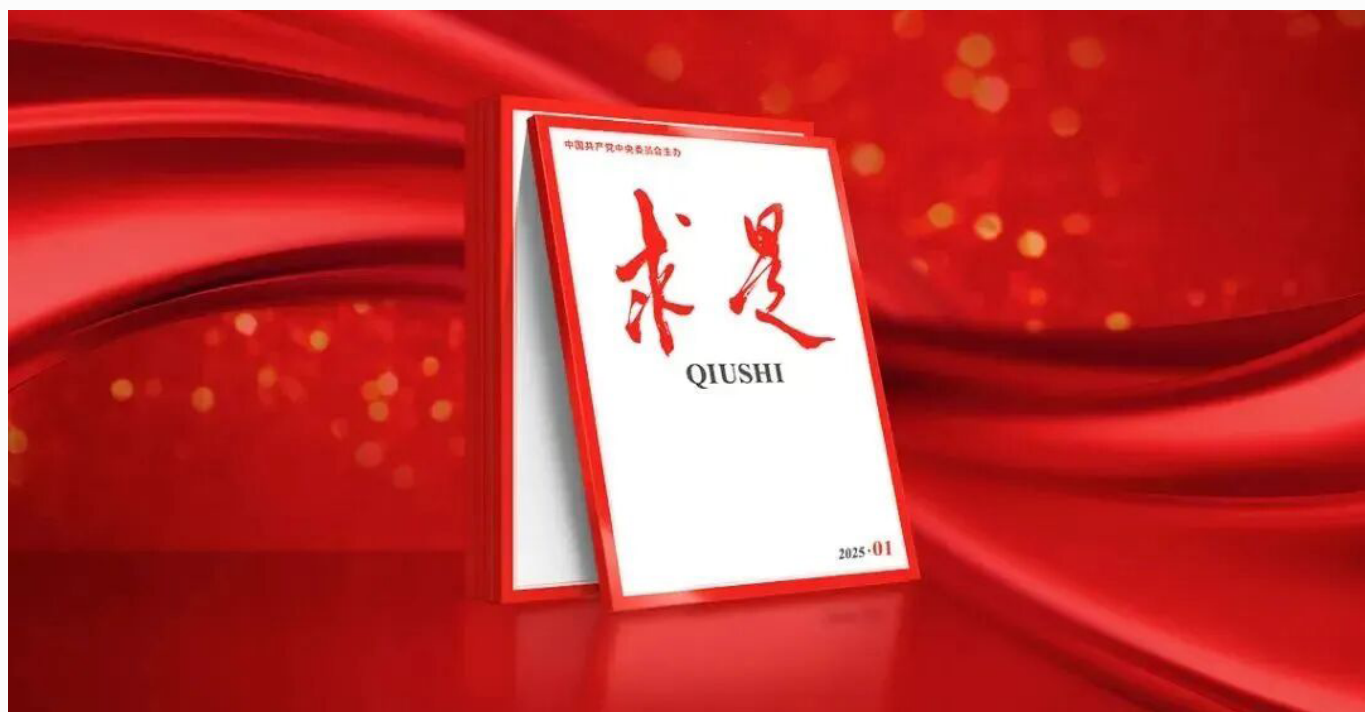
参考文献

- [1] Munch R, Barringer S A. Deodorization of garlic breath by foods, and the role of polyphenol oxidase and phenolic compounds[J]. *J Food Sci*, 2014, 79: 526-533.
- [2] Upadhyay R K. Garlic: a potential source of pharmaceuticals and pesticides: A review[J]. *Int J Green Pharm*, 2016, 10: 1-10.
- [3] El-Saadony M T, Saad A M, Korma S A, et al. Garlic bioactive substances and their therapeutic applications for improving human health: A comprehensive review[J]. *Front Immunol*, 2024, 15: 1277074.
- [4] Mirondo R, Barringer S. Deodorization of garlic breath volatiles by food and food components[J]. *J Food Sci*, 2016, 81: C2425-C2430.
- [5] Ried K. Garlic lowers blood pressure in hypertensive individuals, regulates serum cholesterol, and stimulates immunity: An updated meta-analysis and review[J]. *J Nutr*, 2016, 146: 389S-396S.
- [6] Bayán L, Koulivand P H, Gorji A. Garlic: A review of potential therapeutic effects[J]. *Avicenna J Phytomed*, 2014, 4: 1-9.
- [7] Chen X, Zhou X, Fu K, et al. Allicin-loaded hydrogel enhances viability of multiterritory perforator flap[J]. *Mater Today Bio*, 2025, 33: 102026.
- [8] Gao S, Gao T, Li L, et al. Exploring the therapeutic potential of garlic in alcoholic liver disease: A network pharmacology and experimental validation study[J]. *Genes Nutr*, 2024, 19: 13.
- [9] Tudu C K, Dutta T, Ghorai M, et al. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology of garlic (*Allium sativum*), a storehouse of diverse phytochemicals: A review of research from the last decade focusing on health and nutritional implications[J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 949554.

国资委发文： 科技成果敲不开“市场的大门”...

来源：化学与材料科学公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/-ls0YCs2zHh5Ym0b65DVjQ>

《求是》杂志 2025 年第 1 期刊发国务院国资委党委署名文章《进一步深化国资国企改革 为中国式现代化提供坚实战略支撑》。文章指出，科技成果敲不开“市场的大门”，大量成果被“束之高阁”，是当前制约科技实力转化为现实生产力的关键痛点。国有企业处在国家创新链条的枢纽位置，是推进科技成果转化的重要主体。要切实发挥企业出题人、答题人、阅卷人的作用，着眼推动技术从发明到走向产业化，着力推进高效率创新协同、高水平创新合作，推动企业主导的产学研深度融合，加快建设一批有较强行业带动力的概念验证、中试验证平台，强化技术熟化、工程化放大、可靠性验证等能力，使真正符合产业发展趋势的新技术脱颖而出。健全常态化产学研成果对接机制，推动新技术新产品新场景大规模应用示范，加大首台（套）、首批次、首版次应用力度，着力打通成果转化“最后一公里”。



进一步深化国资国企改革 为中国式现代化提供坚实战略支撑

国务院国资委党委

党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》（以下简称《决定》）对深化国资国企改革作出重要部署，这是以习近平同志为核心的党中央着眼于全面推进中国式现代化、实现第二个百年奋斗目标作出的重要战略安排。中央经济工作会议对高质量完成国有企业改革深化提升行动提出明确要求。国务院国资委党委要坚决扛起推动改革落实的重大责任，紧紧围绕新时代新征程国资国企的新使命新定位，创造性抓好党中央决策部署落地生根，扎实推动国资国企高质量发展，为强国建设、民族复兴伟业作出新贡献。

一、牢牢把握深化国资国企改革的正确方向，持续巩固推进中国式现代化的战略力量

党的十八大以来，在以习近平总书记为核心的党中央坚强领导下，新时代国资国企改革全面发力、多点突破、纵深推进，在重要环节和关键领域取得重要进

展，有力推动国有企业发展方式深刻转变，高质量发展迈出坚实步伐。全国国资系统监管企业资产总额从2012年的71.4万亿元增长到2023年的317.1万亿元，利润总额从2012年的2.0万亿元增长到2023年的4.5万亿元，规模实力和质量效益明显提升。新征程上，必须深入学习贯彻习近平总书记关于国有企业改革发展和党的建设的重要论述精神，深入贯彻落实党的二十届三中全会精神和中央经济工作会议部署，坚持守正创新、先立后破，确保改革沿着正确方向不断向前推进。

始终把坚持党对国有企业的全面领导作为根本政治原则。习近平总书记强调，坚持党的领导、加强党的建设，是我国国有企业的光荣传统，是国有企业的“根”和“魂”，是我国国有企业的独特优势。新时代国资国企改革取得重大成就，最重要的就是始终坚持和加强党的全面领导，有效发挥党总揽全局、协调各方作用。进一步深化国资国企改革，必须

把坚持党的全面领导贯穿改革全过程各方面，持续完善党领导国资国企工作的体制机制，推动党的领导与公司治理有机统一，更好发挥高质量党建引领保障作用，切实把党的政治优势、组织优势转化为发展优势、改革胜势，以实际行动践行“两个维护”。

始终坚守做强做优做大国有资本和国有企业的目标要求。国有企业是中国特色社会主义的重要物质基础和政治基础，是党执政兴国的重要支柱和依靠力量，必须做强做优做大。公有制主体地位、国有经济主导作用，事关党的执政地位，事关我国社会主义制度，事关中国式现代化全局。进一步深化国资国企改革，必须坚持和落实“两个毫不动摇”，坚持和完善社会主义基本经济制度，完整、准确、全面贯彻新发展理念，依靠改革不断破除制约企业高质量发展的体制机制障碍，既坚定不移做大、更意志坚定做强做优，促进各类企业协同发展，共同为中国式现代化提供有力经济支撑。

始终锚定增强核心功能、提升核心竞争力的中心任务。增强国有企业核心功能、提升核心竞争力，是以习近平同志为核心的党中央立足国内国际形势新变化，从中国式现代化全局出发对国资国企工作思路的战略性调整。进一步深化国资国企改革，必须胸怀“国之大者”，紧紧扭住这个中心任务，聚焦提升增加值、功能价值、经济增加值、战略性新兴产业收入和增加值占比、品牌价值“五个价值”，内强质地、外塑功能，不断增强国有企业战略支撑能力和价值创造能力，更好发挥科技创新、产业控制、安全支撑作用。

始终坚持培育和发展新质生产力的鲜明导向。高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务，发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点。当前技术创新成为推动生产力发展的关键因素，新质生产力成为影响产业结构升级和经济动能转换的重要变量。进一步深化国资国企改革，必须打破思维定势、破除路径依赖，不断增强工作的创造性引领性，促进各类先进生产要素顺畅流动、优化配置，以科技创新引领新质生产力发展，打造企业高质量发展的新动能新优势。



党的十八大以来，中央企业在涉及国家安全、国计民生等领域的布局比重超过70%，2023年战略性新兴产业投资同比增长32.1%，收入规模突破10万亿元。图为2024年10月22日下午，神舟十九号载人飞船与长征二号F遥十九运载火箭组合体开始转运。新华社发 汪江波/摄

二、深入推进国有经济布局优化和结构调整，推动加快建设现代化产业体系

党的十八大以来，国有经济布局结构持续优化，在钢铁、船舶、海运、能源、轨道交通等领域重组形成一批具有全球竞争力的大企业大集团，中央企业在涉及国家安全、国计民生等领域的布局比重超过70%，2023年战略性新兴产业投资同比增长32.1%，收入规模突破10万亿元。但目前看，“大而不强”、“全而不精”等问题仍然存在，产业基础不牢、高端供给不足等问题仍较突出，与建设现代化产业体系的要求相比还有差距。《决定》对推进国有经济布局优化和结构

调整作出重大部署。必须立足新使命新定位，紧紧围绕深化供给侧结构性改革，加快调整存量结构、优化增量投向，推动国资国企布局再聚焦、资源再集中、工作再协同，推动新旧动能平稳接续转换，当好现代化产业体系建设排头兵。

加快国有资本“三个集中”。这是推动国有资本和国有企业做强做优做大的内在要求，也是增强国有企业核心功能、提升核心竞争力的关键路径和主攻方向。要进一步明晰不同类型国有企业功能定位，完善主责主业管理，立足比较优势，深入推进战略性重组和专业化整合，持续推

动国有资本向关系国家安全、国民经济命脉的重要行业和关键领域集中，向关系国计民生的公共服务、应急能力、公益性领域等集中，向前瞻性战略性新兴产业集中。充分发挥国有资本投资、运营公司功能，促进存量资产盘活和低效无效资产处置，提升国有资本配置和运行效率。牢固树立战略投资、价值投资理念，打造市场化专业化的创新创业投资机构，支持国资出资成为更有担当的长期资本、耐心资本。

加快产业结构跃迁升级。推动产业升级是建设现代化产业体系、培育发展新质生产力的必然要求。国有企业作为我国实体经济的骨干中坚，必须在产业升级中走在前、作表率，切实发挥引领带动作用。要坚持两端发力，深入实施产业焕新行动和未来产业启航行动。一方面大力发展科技含量高、基础支撑作用大、正向外溢效应强的战略性新兴产业，积极培育孵化未来产业，深耕细作重点领域，引领新赛道新产业融合集群发展；另一方面积极参与“两重”、“两新”，加快以数字技术、绿色技术改造提升传统产业，一体推进设备更新、技术改造、工艺升级，深入实施“AI+”专项行动，加快生产、管理、营销模式变革和流程再造，促进

现代服务业与先进制造业深度融合，加快高端化智能化绿色化转型。

加快打造自主可控产业链供应链。产业大厦不能建立在别人的地基之上，发展主动权必须牢牢掌握在自己手中。国有企业在我国产业链供应链体系中具有举足轻重的地位，必须切实扛起维护产业安全责任，紧紧围绕解决我国产业体系中的卡点、堵点、断点问题，不断增强支撑保障能力。要深入落实制造业重点产业链高质量发展行动，聚焦航空航天、集成电路、工业母机、生物技术等领域迫切需求，扎实推进重大技术装备攻关工程，强化行业共性技术协同攻关，从源头和底层解决我国产业体系“缺基少核”问题。加大战略性能源资源勘探开发投入，加快“沙戈荒”新能源基地等重点项目建设，推进重点矿种投产扩能，扩大我国能源资源安全战略纵深，更好助力提升产业链供应链韧性和安全水平。

三、全面强化创新能力体系建设，促进高水平科技自立自强

近年来国有企业科研投入持续加大，在载人航天、深海深地探测、高端制造、新能源、新材

料等领域取得一批重大成果，但基础前沿研究偏弱、重大原创性成果缺乏、一些关键核心技术受制于人等问题尚未根本解决。《决定》对健全国有企业推进原始创新制度安排、强化企业科技创新主体地位等提出明确要求。国有企业要自觉担负起作为国家战略科技力量的重要使命，坚持技术攻关、成果转化、生态构建一体推进，不断提升创新体系整体效能，打造更多国之重器，为科技强国建设提供更加有力支撑。

提升原创技术供给能力。基础研究、原始创新一旦取得突破，很可能重塑产业和市场竞争格局，对生产力质态带来根本性影响。国有企业作为科技强国建设的骨干中坚，必须把提升原始创新能力摆在更加突出的位置，更好掌握未来发展主动权。要坚持和强化企业科技创新主体地位，加强科技资源统筹，更加积极参与国家级研发平台建设，主动承担国家重大科技任务，打造创新联合体升级版，努力产出一批原创性、颠覆性成果。加强市场导向的应用基础研究，强化技术预见、多线布局，突破和掌握更多“根技术”，推动企业创新从跟踪模仿式向开创引领型转变。健全多元化资金投入机制，建立企业研发准备金制度，在国家和

产业急需但其他企业缺乏意愿或能力的领域坚定投入，加强对基础研究、原始创新的长期稳定支持，提高投入产出效率。

提升成果转化带动能力。科技成果敲不开“市场的大门”，大量成果被“束之高阁”，是当前制约科技实力转化为现实生产力的关键痛点。国有企业处在国家创新链条的枢纽位置，是推进科技成果转化的重要主体。要切实发挥企业出题人、答题人、阅卷人的作用，着眼推动技术从发明到走向产业化，着力推进高效率创新协同、高水平创新合作，推动企业主导的产学研深度融合，加快建设一批有较强行业带动力的概念验证、中试验证平台，强化技术熟化、工程化放大、可靠性验证等能力，使真正符合产业发展趋势的新技术脱颖而出。健全常态化产学研成果对接机制，推动新技术新产品新场景大规模应用示范，加大首台（套）、首批次、首版次应用力度，着力打通成果转化“最后一公里”。

提升创新生态塑造能力。人才是科技创新的第一资源，创新生态对于激发人才创新创造潜能具有重要意义。要优化人才培养、引进、使用、激励各个环节，加大战略科学家、一流科技领军人



2024年11月22日，由铁建重工、水电六局联合打造的“江汉新石器号”隧道掘进机在长沙下线，这是迄今中国最大直径敞开式岩石隧道掘进机。图为当日，在铁建重工长沙第一产业园，工人在调试“江汉新石器号”隧道掘进机。新华社记者 陈思汗 / 摄

才和创新团队的引进培养力度，深入实施中央企业人才高地专项行动，加快建设国家战略人才力量。健全以创新价值、能力、贡献为导向的人才评价体系，赋予科学家更大技术路线决定权、更大经费支配权、更大资源调度权，以创新创造为导向，在科研人员中开展多种形式的中长期激励，深化职务科技成果赋权改革，充分调动人才积极性主动性创造性。尊重科研规律，对创新活动给予足够的包容支持，持续为科研人员松绑减负，保障科研人员以“十年磨一剑”的精神潜心攻关。

四、着力破除体制机制障碍，构建同新征程国资国企战略使命更相适应的制度体系

以制度建设为主线推进改革，是新时代全面深化改革的宝贵经验。科技和产业“硬实力”的竞争，一定程度也是制度“软实力”的比拼。近年来，国有企业改革三年行动和国有企业改革深化提升行动接续推进，一些深层次体制机制障碍得到有力破除，但还有不少影响和制约企业发展活力动力的顽瘴痼疾尚未完全解决，支撑国有企业履行新征程新使命的体制机制还有不少短板和薄弱环节。《决定》对完

善管理监督体制机制、完善中国特色现代企业制度等专门作出部署。国有企业要加快推进治理结构、监管体制、管理机制等改革，推动标志性改革举措落地见效，从整体上提升制度竞争力引领力。

完善中国特色国有企业现代公司治理。中国特色现代企业制度是我国经济体制改革的重要成果，必须在进一步全面深化改革中继续完善和发展。要进一步厘清各治理主体的权责边界，健全在完善公司治理中加强党的领导的体制机制，建设科学规范高效的董事会，推动中国特色现代企业制度更加“形神兼备”。健全更加精准规范高效的收入分配机制，深化国有企业工资决定机制改革，推动企业薪酬结构更加合理合规。深入推进企业组织形

态变革，着力去行政化、机关化，压缩管理层级、减少法人户数、优化管理流程，不断提高资源要素利用效率和经营管理水平。

健全中国特色国有资产监管体制。国有企业改革要先加强监管、防止国有资产流失，这一条不做好，国有企业其他改革难以取得预期成效。要坚持政企分开、政资分开，健全经营性国有资产出资人制度和集中统一监管制度，打造专责专业的国有资产监管机构，推进专业化体系法治化高效化监管。完善出资人监督约束机制，用好信息化、智能化等方式，在“三重一大”等重点领域探索推进穿透式监管，强化实时监测，增强监督刚性，有效防范化解风险。坚持“放得活”与“管得住”相统一，增强各有

关管理部门的战略协同，该管的坚决管住、不该管的坚决不管，充分尊重企业法人财产权和经营自主权。

构建弘扬优秀企业家精神有效机制。企业家是企业发展的决策主体，企业家精神是企业发展活力动力的重要源泉。要树立崇尚实干、实绩、实效的选人用人鲜明导向，完善领导人员培养、选拔、考核、评价、任用制度，把敢抓改革、善抓改革的高素质干部选出来用起来，充分激发干事创业的内生动力。深入贯彻落实“三个区分开来”，健全尽职免责机制，着力消除妨碍党员干部担当作为的各种因素，强化正向激励，支持企业各级领导人员争做优秀企业家，以企业领导人员敢为带动企业敢干、员工敢首创。

从高科技装备到无全氟烷基物质蜡质、精准制冰技术，材料与化学创新成就米兰科尔蒂纳冬奥会

化学助力冬奥健儿驰骋冰雪赛场

来源：C&EN；作者：Prachi Patel；翻译：余婉宁

原文链接：<https://cen.acs.org/physical-chemistry/Winter-Olympic-athletes-sports-pfas/104/web/2026/02>



❶ 昔日的滑雪运动员依靠羊毛、尼龙和皮革材质的衣物保暖，而如今的滑雪运动员则身着由高端合成面料制成的贴合身形的空气动力学竞赛服。左图：弗里达·丹策尔（Frieda Dänzer）在1956年意大利科尔蒂纳丹佩佐冬奥会上，参加高山速降项目并斩获银牌的比赛画面。右图：2022年2月17日周四，瑞士选手米歇尔·吉桑（Michelle Gisin）在2022年冬奥会女子全能高山速降项目中完成转弯动作的瞬间。图片来源：RDB/ 乌尔施泰因图片社 供图 / 盖蒂图片社（丹策尔）；美联社（吉桑）

意大利科尔蒂纳丹佩佐（Cortina d'Ampezzo）坐落于白云石山脉（Dolomites）锯齿状山峰环绕的高山峡谷之中，全镇人口6000人。这座滑雪胜地小镇与米

兰联合承办2026年2月的冬奥会，也曾在1956年首次举办冬奥会赛事。

70年间，冬奥会的举办条件

发生了翻天覆地的变化。彼时，速滑选手在结冰的湖面上展开竞速，露天溜冰场则承办花样滑冰和冰球赛事。如今，制冰技术人员通过精准把控水质、冰面温度

与厚度，在室内溜冰场打造出近乎完美的冰面。化学与材料领域的创新，已然成为改变冬奥赛事格局的关键因素。以高端特种材料制成、经精密工程设计的滑雪靴、滑雪板、竞赛服及各类涂层，能将运动员的比赛成绩缩短数分之一秒。

本届冬奥会新增了滑雪登山这一耐力项目，该项目亦被简称为滑雪登山赛（skimo）。另一项新举措，则是明令禁止使用含氟滑雪蜡。数十年来，这类涂抹于滑雪板板底、用以减少摩擦和污垢堆积的滑雪蜡，均添加了全氟和多氟烷基物质（PFAS），而该类物质会对人体健康和自然环境造成危害。

各参赛队伍依托丰富的实操经验改进装备，以求赛场制胜；而若要实现装备的极致优化，他们则需寻求化学家与材料科学家的专业助力。

吕勒奥理工大学(Luleå University of Technology) 体育与性能技术中心主任安德烈亚斯·阿尔姆奎斯特(Andreas Almqvist)长期为瑞典冬奥队开展相关研究，他表示：“我们的研究涵盖运动员与装备的互动，以及装备与冰面、雪面的相互作用。滑雪技术人员积累的实证经验十分丰富，令



2025年2月14日，美国运动员科琳·斯托达德（Corinne Stoddard）在米兰举办的米兰科尔蒂纳冬奥会测试赛中，参加女子1500 m项目四分之一决赛的角逐。现代速滑竞赛服堪称工程杰作，由数块不同材料、不同纹理的裁片制作而成，其设计均以空气动力学性能为核心。图片来源：美联社

人叹服。我们所能做的微小贡献，只是降低大家在装备选择上做出错误判断的概率。”

第二层肌肤

在冬季运动领域，鲜有装备能像速滑竞赛服这般充满未来科技感。奎克斯金茨公司(Qwixskinz)首席执行官及创始人迪安娜·潘廷(Deanna Panting)称，速滑竞赛服是一个“独特的小众研究领域”。该公司自2011年起，便为安德玛公司(Under Armour)打造专业竞赛服。潘廷在行业内被称作埃德娜(Edna)，这一昵称源自动画

电影《超人总动员》中一位虚构的超级英雄战服天才设计师。

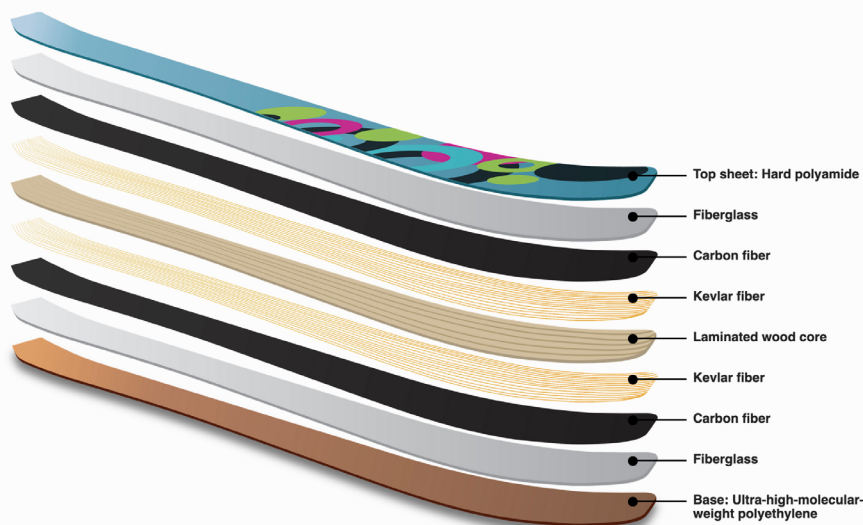
潘廷表示，速滑竞赛服的核心作用是调控气流，最大限度地减少摩擦与空气阻力。这款空气动力学竞赛服贴身如第二层肌肤，却并非由单一的简易面料制成。每套竞赛服，均由多种材料打造的不同功能裁片拼接而成。其中，覆盖躯干及大腿上部的超顺滑裁片，由涂覆聚氯乙烯(PVC)的氨纶纤维编织而成。氨纶也被称作莱卡(Lycra)或斯潘德克斯(spandex)，是一种聚醚-聚脲共聚物，能让面料

兼具拉伸、压缩与透气的特性。而袖子、大腿及小腿部位的裁片则带有凸纹结构，可有效减少气流紊流。

潘廷称，奎克斯金茨公司目前已推出第三代聚氯乙烯涂层氨纶面料。通过调整涂层工艺、编织方式并优化层叠组合结构，该公司研发的这款面料具备了更强的四面弹性能。“这能让竞赛服更贴合运动员的身形，同时为其肢体运动提供更优质的支撑。”

她与其团队开展了一系列风洞测试，针对数百种不同面料、纹理及设计方案，在男女运动员身上模拟不同运动姿态和滑行速度的场景逐一验证。潘廷表示：“我们会精准分析各类关键气流点位——何处需对气流进行控滞引导，何处需让气流紧密贴附人体，何处则要最大限度降低气流紊流。”“只要置身于满是图表、数据和面料样本的工作间，我就感到无比满足。”

雪道之上，昔日的木质与金属滑雪板早已被淘汰。如今的滑雪板坚固又轻便，是结构复杂的多层复合制品，其玻璃纤维、碳纤维及芳纶纤维（通用名凯夫拉，Kevlar）层体，包裹着由层压木材、泡沫材料或铝钛钒合金制成的板芯。滑雪板板底由超高



现代滑雪板由多层高科技材料复合制成，兼具坚固与轻便的特性。图片来源：Yang Ku/《化学与工程新闻》（C&EN），改编自 OGSO 山地装备品牌；滚动动画由凯·尹（Kay Youn）制作

相对分子质量聚乙烯（UHMWPE）制成，这是一种疏水性聚合物，具备耐磨、低摩擦系数的特性。克拉克森大学的机械与航空航天工程师阿瑟·米哈莱克（Arthur Michalek）表示，部分企业会在板底中添加沸石黏土，以提升其对滑雪蜡的吸附能力。

滑雪技术人员凭借专业的实操直觉，为运动员选配适配赛场雪况与天气条件的最优滑雪板。这项工作的核心，便是精准调控滑雪板与雪面之间的摩擦力。阿尔姆奎斯特表示，让雪面硬度与滑雪板板底硬度相匹配，便能形成近乎无摩擦的滑行系统，助力运动员滑出更快的速度。

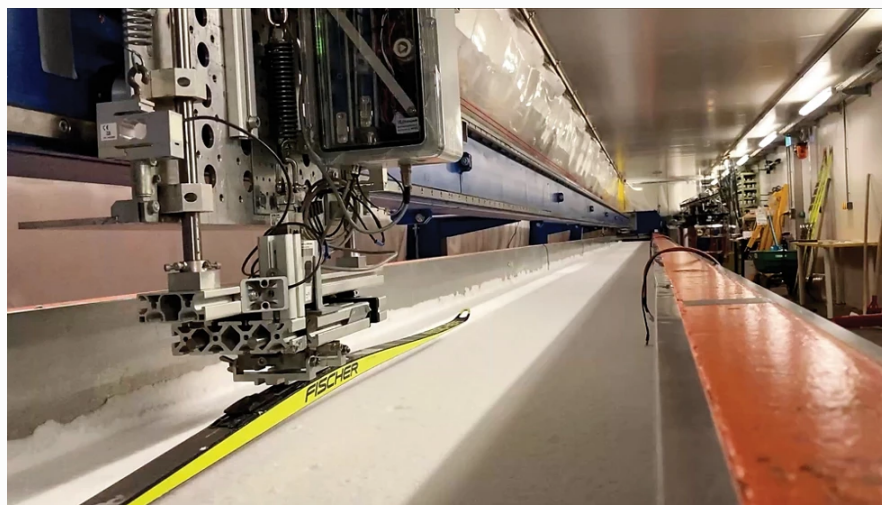
在微观层面，滑雪板板底表面与雪粒的接触角度是摩擦力的决定因素。米哈莱克表示：“需让板底表面发生适度形变，从而借助雪粒实现滑行时的蹬推与借力。”寒干环境及新雪条件下的雪粒粒径更小，因此板底无需发生大幅形变，硬度也应更高，他补充道。而在雪质偏老或环境温度较高的情况下，“雪粒会在反复融冻后凝结成团”，他说，此时则需要硬度更低的板底，以贴合体积更大的雪粒团。高温环境下，技术人员会选用质地更软的透明聚乙烯板底；低温环境下，板底则需添加炭黑、石墨等助剂，这类助剂能提升板底硬度并降低其导热性。

技术人员还会对板底进行打磨处理，使其形成与赛场雪况相适配的微观粗糙面。阿尔姆奎斯特表示：“我们会使用磨石机作业，其原理看似十分原始，却配备了计算机数字控制（CNC）操作界面。”“但仅靠打磨无法达到理想的滑行效果，还需通过涂抹滑雪蜡或其他化学制剂，改变板底的表面化学性质。”

滑雪蜡的匠心研发——且不含全氟烷基物质

滑雪蜡能助力运动员在雪面实现抓雪与滑走的平衡，从而发挥最佳竞技状态。传统石蜡基滑雪蜡的形态与成分各有不同，从短链烃制成的蜂蜜状胶状物，到中链烃构成的黄油状膏体，再到长链烃形成的硬质鳞片状固体，品类十分丰富。

20世纪80年代，挪威冬季运动装备品牌斯维克斯（Swix）的化学家为滑雪蜡添加了碳氟化合物，以此提升其疏水性。他们的设计思路是，让滑雪蜡排斥滑雪板板底与雪面之间的一层薄水膜，进而减少摩擦、提升滑行速度。此后多家企业纷纷效仿这一做法，其中多数企业会选用碳链长度为6~14个碳原子的全氟羧酸类物质，全氟辛酸便是这类物质中最具代表性的一种。



① 犹他大学的研究人员对经打磨处理并涂抹滑雪蜡的滑雪板板底，开展了摩擦力与磨损性能的测试。图片来源：杰弗里·贝茨 / 犹他大学

犹他大学材料科学与工程学家杰弗里·贝茨（Jeffrey Bates）表示，国际滑雪和单板滑雪联合会于2023~2024赛季首次出台的含氟滑雪蜡严格禁用令，具备充分的实施依据。一方面，涂抹含氟滑雪蜡会让滑雪技术人员直接接触到碳氟化合物；另一方面，这类化合物会从滑雪板上脱落至雪面，进而渗入当地的水系。贝茨还指出：“我们研究发现，全氟和多氟烷基物质会与微塑料产生结合亲和力，二者会一同从滑雪板板底脱落，并在自然环境中同步迁移。”

而本届冬奥会是该禁令实施后的首届冬奥会，贝茨称，各参赛队伍都陷入了“焦虑状态”。“他们对此感到极度担忧。”

禁令出台后不久，美国滑雪和单板滑雪队便向贝茨寻求专业帮助，希望其协助筛选出适配赛事的替代滑雪蜡。目前行业内已逐步转向无氟材料和生物基材料研发滑雪蜡，但相关产品的具体化学配方，仍是各企业严格保密的核心信息。贝茨与其团队针对来自多个品牌的100款滑雪蜡开展了化学成分分析，这些滑雪蜡涵盖固体、液体、粉末3种形态，类型则包括含氟、无氟及生物基三类。

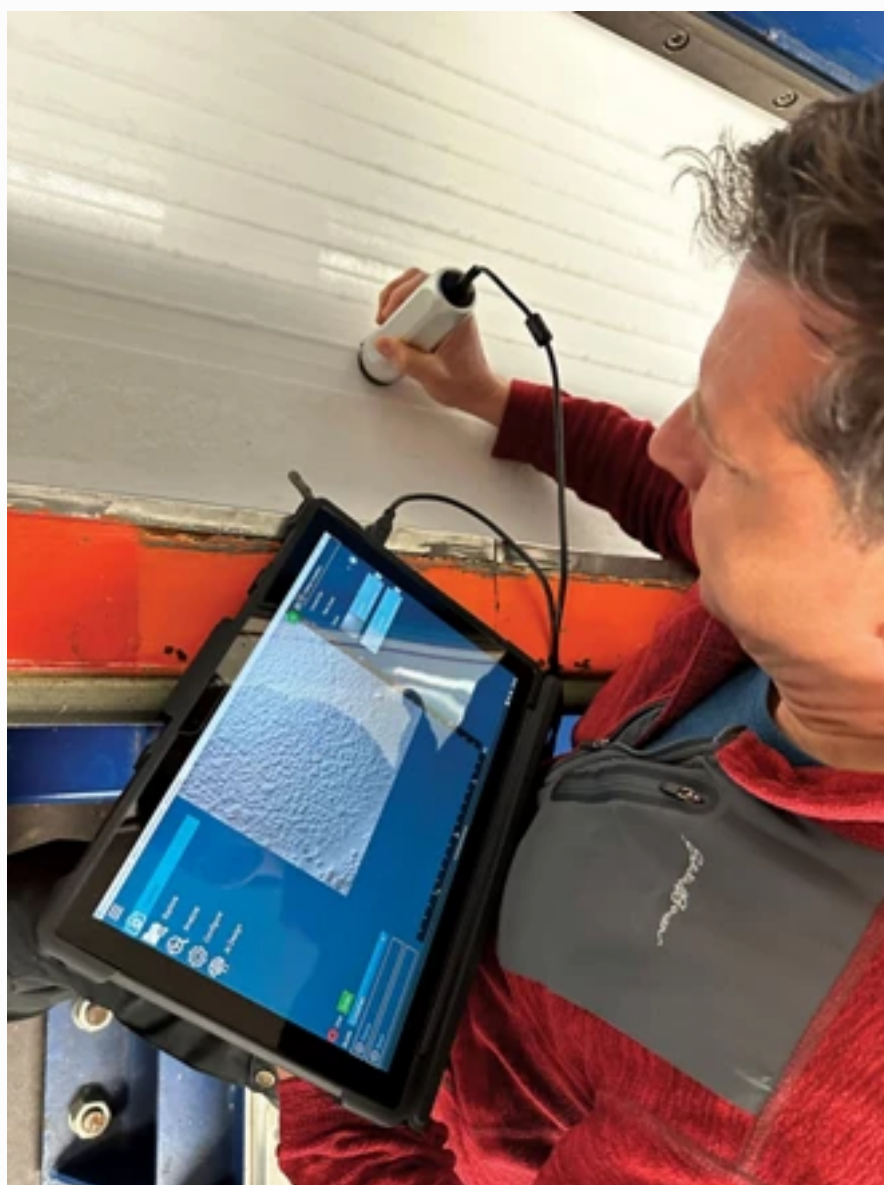
他们发现，固体滑雪蜡的主要成分为烷烃，这类烷烃既可来源于石蜡，也可取自蜂蜡、大豆蜡和荷荷巴蜡等天然蜡质。贝茨表示，行业内还会采用从椰子油、棕榈仁油和红花籽油中提取的脂

肪酸作为滑雪蜡的原料。

无氟滑雪蜡通常会添加硅酮以提升疏水性，部分产品还含有镁、铝等胶体金属，这类物质能增加滑雪蜡的硬度并进一步提升其疏水性。他称，瑞典有一家企业正将石墨烯加入滑雪蜡配方中：“这一领域已涌现出诸多创新成果。”

但贝茨对滑雪蜡的实际效用持怀疑态度。其团队在滑雪板上对各类滑雪蜡开展测试时，研究人员意外发现，仅经磨石打磨出纹理的空白对照组滑雪板，滑行表现反而最佳。他表示：“就滑雪板的滑行表现而言，板底的表面粗糙度与磨石打磨纹理带来的影响，远大于滑雪蜡的作用。”

滑雪蜡实则是历史的产物。过去人们为木质滑雪板打蜡是为了防水，为金属滑雪板打蜡则是为了防止积雪附着。他表示：“当滑雪板板底材质换成超高相对分子质量聚乙烯后，人们依旧坚持打蜡，这一做法并无合理依据，只是延续了长久以来的习惯。”“从化学层面来看，石蜡基滑雪蜡与超高相对分子质量聚乙烯的成分本质一致，但超高相对分子质量聚乙烯的相对分子质量要高得多，硬度也远超前者。那么，一种在室温下几乎难



犹他大学的贾斯汀·兹西罗斯 (Justin Zsiros) 使用盖尔赛特相机 (GelSight camera)，在一条用于检测滑雪板与雪面间摩擦力的测试赛道上，对雪面的表面粗糙度进行测定。图片来源：杰弗里·贝茨 / 犹他大学

以保持固态的蜡质，又怎能让滑雪板板底变硬呢？”

但阿尔姆奎斯特则认为，打蜡能在纳米尺度上微调板底的表面能与硬度，进而起到辅助滑行的作用。他还表示，传统的石蜡

基滑雪蜡其实是最优选择。“我会避免使用添加了新型助剂的无氟滑雪蜡，我认为这类新型无氟滑雪蜡会释放有害气体。在相关安全性研究得出明确结论前，我会长期避开这类产品。”



❶ 滑雪登山竞赛靴需在轻量化、灵活性与刚性之间实现平衡——因运动员既要脚踩滑雪板爬坡，又要徒步穿越雪地，还要滑降下山。图片来源：拉斯波蒂瓦（La Sportiva）

列的聚醚链段与聚酰胺链段，二者分别为材料赋予弹性与强度。

格纳乌尔表示，碳纤维靴壳在固化过程中定型为最终形态，每一双靴子均需通过精密复合材料制造工艺手工打造，该工艺会借助先进高压釜精准控制温度与压力。“工作人员将碳纤维层铺入模具，经固化处理后，得到具备最终几何形态的靴壳与靴筒。”

冰面的科技奥秘

冰雪项目中光洁雪白的冰面，实则是一项技术杰作。冰面与冰刀之间的相互作用，能为运动员带来的竞技优势，丝毫不亚于冰刀本身。因此，制冰技术人员会密切监控冰面的温度、湿度与表面质量。

加拿大杰特制冰公司（Jet Ice）为本届冬奥会打造速滑、冰球、花样滑冰及冰壶项目的比赛冰面，该公司首席运营官格雷格泰勒（Greg Taylor）表示，想要制作理想的比赛冰面，需通过反渗透技术将水纯化至合适的纯度。“不同地域的水中，含有的阴阳离子元素组成存在差异，这些溶解固形物会干扰冰分子的有序排列。”

总溶解固体（TDS）会增

新晋冬奥赛事——滑雪登山

滑雪登山作为冬奥会正式比赛项目首次亮相，成为各滑雪小镇热议的话题。该项目的运动员需脚踩滑雪板攀登数百垂直英尺的雪坡，随后卸下滑雪板在雪地地形中冲刺，接着重新穿上滑雪板，以惊险的高速从陡峭且地形复杂的雪道疾驰而下。

这一赛事不仅对运动员的竞技能力提出了极高要求，对其装备的性能也有着严苛标准。拉斯波蒂瓦北美分公司（La Sportiva North America）产品与规划总监迈克尔·格纳乌尔（Michael

Genauer）表示，该项目的竞赛滑雪靴需兼顾三大核心性能：为高效爬坡实现极致轻量化，为平地冲刺保证充足的活动幅度，为下坡滑行提供高刚性以保障稳定性。该公司同时也是美国国家滑雪登山队的官方服装及队服赞助商。

该公司生产的高端滑雪登山竞赛靴，通体采用先进碳纤维复合材料制成。碳纤维作为增强相，与聚合物树脂基体复合成型；这类基体既可以是高性能聚酰胺，也可选用蓖麻油衍生的聚醚嵌段酰胺——该物质含交替排

加冰面摩擦，同时降低冰的硬度。泰勒称，冰壶项目需要使用近乎纯水制作的冰面，其总溶解固体含量需控制在 0~10 ppm，以此形成硬度极高的冰面，“因为冰壶滑行时，我们需要尽可能减小摩擦，且冰面不能因冰壶滑行留下划痕”。花样滑冰项目的冰面总溶解固体含量则需控制在 120~150 ppm，冰面硬度更低、更具韧性，“这样运动员完成跳跃动作时，冰面能产生一定的缓冲性”。速滑与冰球项目的冰面总溶解固体含量，则介于上述二者之间。

杰特制冰公司打造的冰面厚度为 1.5 英寸（约 38 mm），采用分层浇筑工艺制作，每层冰的厚度仅为 1/16 或 1/32 英寸（约 1.6 mm 或 0.8 mm），如同叠纸一般，冰面通常浇筑在混凝土基底之上。基底内部嵌有管道，乙二醇制冷剂在管道中循环流动，为冰面控温。米兰赛区搭建的临时冰场，则采用了内置管道的新型冷却垫进行控温。



📍 2025 年 12 月 5 日，在意大利罗镇的一座体育场内，工作人员正往冰面上洒水。米兰科尔蒂纳冬奥会的部分冰球赛事将在这座罗镇场馆举办。图片来源：美联社

一台 3 m 宽的喷杆配有 12 个喷嘴，通过喷洒水雾使其冻结，完成每层冰面的浇筑。泰勒表示，分层薄浇的工艺能避免二氧化碳气泡被困在冰体中，防止冰面透明度降低。在混凝土基底上浇筑完第一层冰后，工作人员会在冰面喷涂三层二氧化钛基超白漆，待漆面定型后，再绘制赛事标识与冰面标线。“制作一块完整的比赛冰面，通常需要全天

候连续施工约 3 天。”

无论你是痴迷地关注某位运动员的赛场表现，零散观看各类冬季赛事，还是仅偶尔浏览冬奥新闻头条，都请记住：当运动员们在赛场上奋力拼搏、彰显实力的同时，这届冬奥会也成为了检验各类材料与化学技术的绝佳平台，而正是这些融入运动装备的技术，助力运动员们向着荣耀奋勇前行。

空气污染重塑肠道生化环境，加剧慢性疾病发生

来源: chemistryworld; 作者: SANKET JAIN; 翻译: 余婉宁

原文链接: <https://www.chemistryworld.com/news/how-air-pollution-is-rewiring-gut-chemistry-and-fuelling-chronic-disease/4022807.article>

农场工人沙兰·钦德 (Shalan Chinde) 在自责了八年之后才得知，她不断恶化的健康状况并非自己的过错。最初，她出现持续性胃酸反流和胸口灼痛的症状，手脚时常酸痛，有时清晨醒来时还会头晕乏力。即便只食用清淡的家常饭菜，她的腹胀也愈发严重，还会伴随剧烈头痛。

最终接受医学检查后，她被确诊为 2 型糖尿病。这位 49 岁的患者决心查明背后的原因：“我一直保持健康的生活方式，可身体的不适却逐年加重。”随着用药剂量不断增加，她开始记录症状加重的时间。她发现，在空气污染严重的日子里，气喘症状会加剧，眼睛刺痛，胃酸反流也会剧烈发作且疼痛难忍，进而引发头痛，只有服用止痛药或抗酸剂



印度农场工人沙兰·钦德发现，在村庄周边空气弥漫烟雾的日子里，她的症状会有所加重。医生随后告知她，空气污染可能是导致其病情加重的原因之一。来源：© 桑凯特·贾因 (Sanket Jain)

才能缓解。当她把这些观察结果告知医生时，医生表示，空气污染是导致其症状加重的重要因素。

15 年来，沙兰·钦德一直在印

度马哈拉施特拉邦 (Maharashtra) 家乡的一座甘蔗苗圃工作。这类苗圃在该地区数量激增，堆积的剩余甘蔗秆经常被焚烧，释放出浓密的烟雾。

沙兰·钦德的经历，如今与越来越多的国际研究结论相呼应——世界卫生组织（World Health Organization, WHO）称，全球 99% 的人口呼吸着不安全的空气，而空气污染的影响，远不止一个村庄。科学家发现，空气污染并非止步于肺部，它还能深入人体内部，干扰肠道内数万亿个细菌^[1]。这些微生物对消化、代谢和免疫功能至关重要。当污染干扰这些微生物时，会引发与糖尿病、肥胖症、胃肠道疾病、心血管疾病及其他慢性疾病相关的生物变化。

新的危害路径

沙兰·钦德的故事，只是解开这一重大科学谜题的一个窗口。精确定义空气污染对肠道的影响颇具难度，因为存在诸多变量。但乌干达（Uganda）的一项随机试验，提供了迄今为止最明确的线索之一^[2]。研究人员用清洁的太阳能灯替换了烟雾弥漫的煤油灯以减少空气污染，随后收集了更换前后的粪便样本，对肠道细菌和肠道病毒进行分析。

他们发现，最大的变化并非发生在肠道细菌上，而是发生在感染细菌及其他肠道微生物的病毒——即噬菌体（phages）上。领导这项乌干达试验的哈佛医学院（Harvard Medical School）的佩



煤油炉会产生与健康不良相关的室内空气污染。来源：©Aldiyanshot27/Shutterstock

吉·赖（Peggy Lai）表示，最显著的变化出现在肠道病毒组（virome）中，这是生物体的病毒生态系统。该试验显示，在空气污染暴露减少后，噬菌体群落发生了广泛的重组。改用太阳能灯后，研究团队还发现，有益的、喜纤维细菌数量有所增加，这类细菌与丁酸盐（butyrate）的产生有关，丁酸盐是一种已知能缓解炎症的化合物。与此同时，与炎症相关的细菌数量有所减少。

改用太阳能灯的女性报告称，呼吸问题有所减少，尽管在研究期间肺功能并未发生变化。佩吉·赖表示，这一研究结论表

明，更清洁的空气有助于肠道健康，而更健康的肠道可能对肺部有益。

“可以把鼻子和嘴巴看作通往同一条走廊的两扇门，”佩吉·赖说，“当我们呼吸污染空气时，一些最微小的颗粒不会停留在肺部；我们最终会将它们吞咽下去。一旦这些颗粒到达肠道，就会刺激肠道内壁——即肠道的保护性内壁，并推动免疫系统变化，从而改变哪些微生物能够生长。即使是感染肠道细菌的病毒，也能通过杀死某些细菌，让其他细菌得以繁殖，来重塑微生物平衡。这些因素共同作

用，能够改变肠道微生物群落的平衡。”

这种影响并不仅限于室内空气污染。在意大利，与交通相关的空气污染水平较高，改变了儿童的肠道细菌组成^[3]。交通污染物（包括车辆排放的细颗粒物（fine particulate matter））通常会与交通释放的活性化学物质混合，一旦被吸入，就会在体内引发反应，产生有害分子，这些分子会损害肠道细菌并扰乱代谢。尽管该研究并未关注疾病，但它发现的变化与之前发现的、与代谢问题相关的变化相似^[4]。

特蕾莎·托马斯（Treesa Thomas）是一名环境健康研究员，她发表过关于空气污染与肠道微生物组（gut microbiome）紊乱之间关联的研究。她解释说，细尘颗粒等污染物会在全身引发炎症和应激反应。污染还会削弱肠道的保护壁，使其“更易渗漏”，让有害物质得以穿透。

“而且由于肺、肝、脑和肠道都是相互关联的，污染会向肠道发送炎症信号或颗粒物，进一步扰乱其生态系统。”她补充道，此外，细颗粒物（fine particulate matter）等污染物还会通过改变肠道细菌，干扰血糖调节，可能增加胰岛素抵抗（insulin



沙兰·钦德就在这样一家甘蔗苗圃工作，她认为现场产生的细颗粒物污染导致了自己生病。来源：© 桑凯特·贾因

resistance) 和糖尿病的患病风险。

多年来，许多研究都试图揭示空气污染与代谢功能障碍之间的关联。例如，在中国，科学家追踪了老年人的 PM2.5 暴露情况——PM2.5 是直径小于 2.5 μm、易进入血液的细颗粒物^[5]。他们发现，污染水平越高，与血液化学指标的变化和胰岛素抵抗程度越高相关，而胰岛素抵抗是 2 型糖尿病的早期预警信号。

全球范围内，有 21 亿人使用低效炉灶烹饪，由于清洁能源难以获取，家庭暴露在危险水平的空气污染中。钦德说，她使用传统炉灶烹饪已有 30 多年。意

识到这些风险后，她正在采取措施减少暴露，每当进入空气污染严重的区域时都会戴上口罩。

未知的健康代价

虽然空气污染与代谢疾病或呼吸系统疾病之间的关联已得到充分证实，但研究人员现在发现，其影响可能更为深远。托马斯说：“肠道微生物组的改变可能通过肠-脑轴（gut-brain axis）影响大脑功能，可能会影响神经发育，或导致焦虑和认知能力下降等疾病，不过目前这方面的证据还处于初步阶段。”一项针对 1000 多名中国老年人的研究发现，长期暴露在空气污染中会以可测量的方式改变肠道微生物。污染水平越高，与某些有

益细菌的流失、微生物能量代谢途径的紊乱以及血液代谢物的变化相关，而这些变化反过来又与认知能力下降的高风险相关^[6]。

此外，托马斯警告说，暴露在空气污染中的儿童可能会经历肠道微生物组的长期紊乱，这可能会增加其晚年患慢性疾病的风险。

“目前最明确的结论是关于症状的；除此之外，与特定疾病的关联前景良好，但尚未完全确定，”赖补充道。

就在科学家继续研究这些关联的同时，像马兰·巴瓦德 (Malan Barwade) 这样的人正在承受其后果。过去八年来，这位 60 岁的马哈拉施特拉邦 (Maharashtra) 居民一直受严重胃酸反流困扰。她非常担心反流引发的头痛，因此总是随身携带抗酸剂。

“我吃家常饭菜，也很注意健康，但还是会胃酸发作，”她说，并补充说，在空气污染严重的日子里，症状会加剧。和钦德一样，她住在一家甘蔗苗圃附近，苗圃有时会让她的家被烟雾笼罩。“如果你看看房子附近的植物，几乎所有植物都因为煤烟 (soot) 变成了灰色，”她说。由于空气污染加剧了她的健康问题，她被迫辞去了唯一的生计——农活。



① 在印度西部马哈拉施特拉邦的一座甘蔗苗圃里，甘蔗残渣被焚烧时浓烟四起，加剧了当地的空气污染。来源：© 桑凯特·贾因

保护肠道

对于沙兰·钦德和马兰·巴瓦德这样的人来说，避免暴露在污染中往往是不现实的。“我们或许无法总是逃离污染的空气，但有一些方法可以保护或重新平衡肠道，”特蕾莎·托马斯说。高纤维、富含植物的食物会滋养有益肠道细菌，尤其是那些产生短链脂肪酸 (short-chain fatty acids) 的细菌，这种物质有助于减轻炎症并强化肠道屏障。多样化的植物性饮食可以抵消污染造成的损害。益生菌 (probiotics) 和益生元 (prebiotics) 等补充剂也可能有助于恢复微生物多样性。她指出，虽然相关人体研究还很有限，但它们是一种低风险

的选择，值得考虑。

“解决办法是通过改用更清洁的燃料、使用空气净化器或在空气污染严重时段避免户外活动来减少暴露，”特蕾莎·托马斯说。她补充道，抗氧化剂 (antioxidants)、规律的体育锻炼和减轻压力，都有助于维持肠道的保护内壁和免疫平衡。

马兰·巴瓦德患慢性胃酸过多 (chronic hyperacidity) 已有近十年时间。她说，当附近甘蔗苗圃的烟雾弥漫在空气中时，她的症状会加剧。

杨博艺 (Bo-Yi Yang) 指出，有证据表明，居住绿地 (residential

greenspace) 还能改变室内灰尘 (indoor dust) 中的微生物群。因此, 暴露在更绿意盎然的环境中, 可能会增加环境微生物通过呼吸、皮肤接触或摄入进入人体的机会。

绿化更好的区域, 空气污染水平通常也更低——而空气污染已知会影响人体肠道微生物的多样性和丰度。此外, 许多研究已证实, 规律的体育锻炼能影响肠道微生物组成, 有益于肠道代谢和健康^[7]。绿地会鼓励人们进行体育锻炼, 而体育锻炼本身就有助于肠道健康, 并缓解心理压力——心理压力是影响微生物组的另一个因素。

不过, 专家表示, 仅靠实际措施还不够, 因为人们对污染与肠道之间的相互作用仍普遍存在误解。最常见的看法是, 污染只影响肺部。“人们认为肠道是内部器官, 因此受到保护,” 托马斯说, 但吸入的污染物会从肺部



来源: © 桑凯特·贾因

转移到肠道。

另一个误解是, 肠道一旦受损就无法恢复。她指出, 微生物组具有极强的韧性。通过良好的饮食和生活方式, 肠道微生物组可以重新恢复平衡。

对钦德来说, 这些研究提供了更多背景信息, 而非直接答

案。多年的病痛让她一直在寻找原因, 虽然很难确定单一的致病因素, 但科学已开始揭示环境暴露如何随着时间的推移悄然影响健康。如今, 她会更加关注自己呼吸的空气, 在污染水平升高时调整日常作息。“我不知道未来会怎样,” 她说, “但我想尽可能保持健康。”

参考文献

1. X Yu *et al*, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2025, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2025.119423
2. C Huang *et al*, *Environ. Health Perspect.*, 2025, DOI: journal in transition to a new publisher
3. S Filardo, *et al*, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2025, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2025.118801
4. T Li *et al*, *The Innovation*, 2022, DOI: 10.1016/j.xinn.2022.100213
5. L Zhao *et al*, *Environ. Health Perspect.*, 2022, DOI: journal in transition to a new publisher
6. W Qi *et al*, *Environ. Health Perspect.*, 2025, DOI: journal in transition to a new publisher
7. S Varghese *et al*, *Nutrients*, 2024, DOI: 10.3390/nu16213663

中国造！

它“吞下”钢厂废气，每年“吐出” 50万吨无水酒精

来源：中国科学报公众号；文 | 《中国科学报》记者：孙丹宁；

原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/j1NwOYpLT8Zk6OlQg1BA-Q>

2025年2月，在山东一家企业厂区内，随着最后一道阀门的精准调节，无水乙醇从管道终端源源流出——年产50万吨钢厂煤气制乙醇项目正式投产。它“吞下”的是钢厂排放的废气，“吐出”的却是被誉为“清洁燃料”的无水乙醇，为国内焦化、煤气化和甲醇的产业升级注入了新动力。



榆神 50 万吨 / 年煤基乙醇装置。

这一切的背后，源于中国科学院大连化学物理研究所（以下简称大连化物所）研究员朱文良与中国工程院院士刘中民带领的团队，历时十余年攻克二甲醚经乙酸甲酯制乙醇技术。近期，该技术荣获2025年中国科学院技术发明类杰出科技成就奖。而其意义远超获奖本身，是一条关乎国家粮食安全、能源自主与产业低碳转型的创新之路。

“我们开辟了煤炭、钢厂尾气清洁高效利用新路线，还推动了乙醇新兴战略产业的快速形成，为煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展打造了一条全新技术路线。”朱文良说。

一条“绕开”粮食的新路径

乙醇俗称酒精，既是重要的基础化学品，也是公认的清洁汽油添加剂，广泛存在于人们的生活中。然而在中国，乙醇汽油的推广却面临着一个窘境。

“关键在于需求大，产量根本不够。”刘中民一语道破症结。长久以来，全球乙醇生产严重依赖“粮食路线”，即通过玉米、蔗糖等发酵制备。对于人多地少的中国来说，这条路径容易引发“与人争粮、与粮争地”的矛盾，直接关系国家粮食安全。因此，发展非粮乙醇技术，成为学术界与工业界共同追求的目标。

在此背景下，刘中民团队立足我国化石能源富煤、贫油、少气的特征，旨在开发出具有自主知识产权的煤基乙醇成套技术。

煤制乙醇在国际上有两条主流技术路径，却各有瓶颈：煤经合成气直接制乙醇，不仅需要用到贵金属催化剂铑，还会造成设备腐蚀，从而导致生产成本较高；煤经乙酸制乙醇在乙酸产能过剩时才有可能实现，同时因反应体系腐蚀性强，必须采用高

价特种材料，装置投资巨大。

基于上述限制，团队最终确定以煤基合成气为原料，先制取甲醇和二甲醚，再让二甲醚通过羰基化反应生成乙酸甲酯，最后加氢得到纯净乙醇。随后，他们成功开发出具有高活性、高稳定性的分子筛羰基化催化剂，在二甲醚羰基化研究中取得重大突破，并联合陕西延长石油集团展开工业示范。

2017年1月11日，全球首套10万吨/年煤基乙醇工业示范项目一次开车成功，顺利产出优质无水乙醇，实现了全球首次工业示范。

从“一棵树”到“一片森林”

首套示范装置的成功并非终点，而是新起点。刘中民团队深知，技术的生命力在于大规模工业应用和不断优化升级。随即，团队着手二甲醚经乙酸甲酯制乙醇技术“从1到100”的推广应用。

全球首套50万吨/年煤制乙醇项目，是团队锚定的下一个目标。而从10万吨/年的规模直接跨越到50万吨/年，所面临的挑战不仅是工艺与反应器规模的简单放大，更是对催化剂性能提出了更高要求。而团队面临的首要课题，是如何在借鉴第一代催化剂成功经验的同时，开发出活性更高、稳定性更强的新一代工业催化剂。

“我们选择从基础科学问题出发，比如分子筛铝精准合成、反应选择性的调控机理等，并结合工业示范中观察到的全新现象，持续开展新一代核心催化剂研制。”大连化物所研究员刘红超介绍。

经过无数轮“合成-验证-再合成-再验证”的循环，历时4年，团队终于成功开发出新一代二甲醚羰基化催化剂。其活性提升至原来的1.7倍，使用寿命也从6400小时大幅延长至16400小时。2022年

8月，该催化剂首次应用于10万吨/年工业示范装置，性能得到充分验证，为后续项目的成功投产奠定了基础。

2022年10月20日，50万吨/年煤制乙醇项目一次投产成功，充分验证了技术的先进性和可靠性。

按照3吨粮食生产1吨乙醇测算，项目建成投产后，每年可节约生物乙醇原料粮约150万吨。在缓解我国乙醇对粮食依赖的同时，项目每年还可转化低阶煤约160万吨，为煤炭的清洁高效利用提供了强有力的技术支撑。

“这标志着乙醇技术正式进入大规模工业化生产时代。”朱文良介绍。

与此同时，团队也在不断拓展技术原料来源，让技术适配更多场景。“我国是世界上最大的钢铁生产国，每年副产的焦炉气、高炉气和转炉气中富含大量一氧化碳、氢气和甲烷。当前大部分钢厂煤气仅用于燃烧发电等，经济性不高，不仅浪费了宝贵的

碳、氢资源，还产生了大量二氧化碳。”刘红超介绍。

团队将目光继续瞄准核心催化剂，并优化反应工艺，进一步提高了技术指标，为大规模工业化奠定了坚实基础。

2023年底，安徽淮北全球最大60万吨/年乙醇装置试产成功，2024年2月28日一次性开车成功产出合格乙醇，实现了20个月建成项目、两个月全流程开车。该装置采用焦炉煤气制取乙醇，为二甲醚经乙酸甲酯制乙醇技术打开了更广阔的应用天地。

“该项目对煤炭进行深度加工，并且最大限度回收利用焦炉煤气，实现了煤炭与工业废气的协同利用。”安徽碳鑫科技有限公司党委书记、董事长张平说。

“如果大量钢厂尾气利用该技术生成乙醇，将会促进清洁燃料乙醇大规模生产，满足社会对乙醇的需求，带动一个新产业。”刘中民描绘了一幅绿色循环的蓝图：钢铁厂的碳排放废料，变成了能源化



60万吨/年乙醇装置。大连化物所供图

工的宝贵原料，直接推动了钢铁、能源、环境等多个高碳行业的低碳化融合发展。

中国技术走出国门

“二甲醚经乙酸甲酯制乙醇技术”的成功开发与推广应用，不仅为相关产业注入了新的发展动能，也为国家清洁能源发展提供了坚实的技术支撑。2024年，其价值获得行业认可，荣膺中国石油和化学工业联合会技术发明奖特等奖。

如今，二甲醚经乙酸甲酯制乙醇技术的影响力已走出了国门。

团队构建了严密的全球知识产权网络，在欧洲、伊朗、沙特等20多个国家和地区获得专利授权。截至目前，该项技术已签订15项技术实施许可合同，产能达515万吨/年；已投产7项，产能达265万吨/年，拉动直接投资超300亿元。其中，两套装置技术已经许可给“一带一路”国家，实现了中国原创化工成套技术的输出。2024年，该技术获评共建“一带一路”绿色专利技术，并于2025年入选中国在共建“一带一路”国家和地区发明专利十大优秀案例。

从保障粮食安全，到优化能源结构，再到助力“双碳”目标，这项技术为我国粮食安全、能源安全与化工产业链稳定提供了坚实支撑，也为能源产业结构低碳转型注入了强劲动力。

与此同时，人工智能的快速发展给传统研究领域带来了新的机遇与挑战。刘中民团队积极推动相关研究，通过构建突破逐级放大的化学工程新方法体系，打造“实验室小试-虚拟工厂-实际工厂”的化工新技术研发范式，创新性提出“1+1+N”人工智能石化化工新范式，以全链条大数据中心为基础、行业大模型为桥梁、智能体为应用载体，构建新的“人工智能+化工”生态。

回望来时路，从实验室克级催化剂的反复试错，到控制屏幕上数十万吨级装置的数据奔流；从“与人争粮”的困局，到“点化废气为清洁能源”的畅想成真，这条中国“醇”新之路，每一步都刻印着自主创新的执着与智慧。

“未来，我们将聚焦煤化工、石油化工等融合发展方向，为推动清洁能源可持续化发展带来更多可能。”刘中民表示。

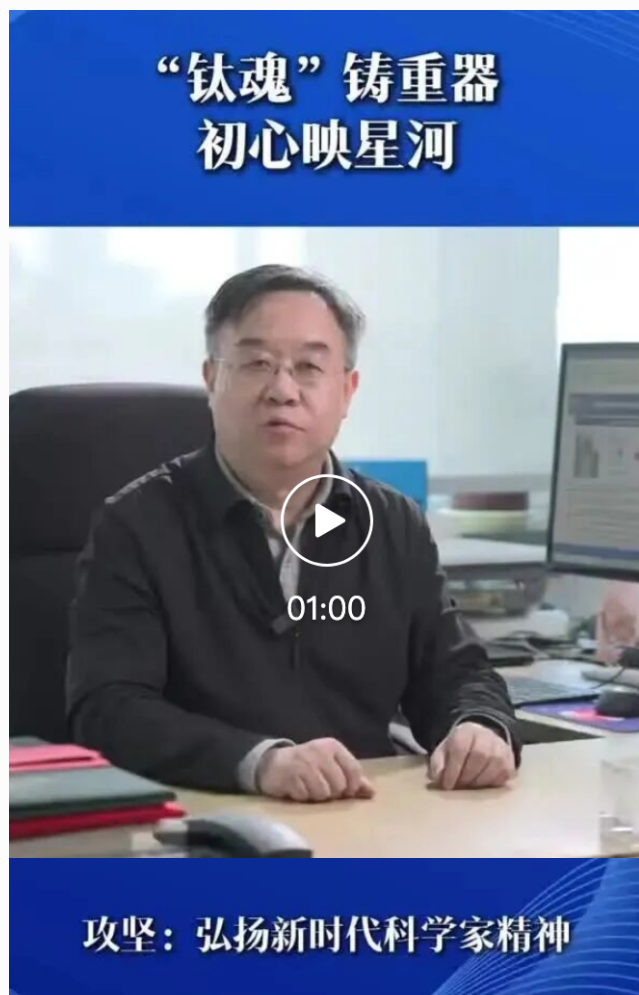


《中国科学报》(2026-02-13 第1版 要闻)

这个团队“钛”厉害！ 从深海载人舱到火箭叶轮， 锻造重器“骨骼”

来源：中国科学报公众号；文|《中国科学报》记者：张楠

原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/SDRvOtfS4r3AERgPXVH50A>



从马里亚纳海沟万米深处的“奋斗者”号载人舱，到托举“嫦娥”探月的长征五号火箭氢泵叶轮，再到国产大飞机发动机的涡轮叶片，中国科学院金属研究所（以下简称金属所）钛合金研究部团队，将钛这种材料锻造成支撑大国重器的坚强骨骼。

他们的研究成果屡次突破极限，如同新中国高端材料发展史的生动缩影。

支撑这些辉煌成就的，是一种如钛合金般独特的科研品格——轻盈而能承千钧，坚韧可行至远方，在星辰大海处闪耀光芒。这种以“开拓之勇、实践之诚、奉献之志、求真之执”熔炼而成的“钛魂”，正是这支 200 余人队伍的集体气质。

开拓之勇：于无人区踏出新路

2012 年，我国“蛟龙”号成功突破 7000 米下潜深度后，万米载人深潜关键技术攻关正式启动。作为深海探测器的“生命舱”，载人舱材料成为首要攻克

当时，国际上的4大万米深潜计划均不约而同采用透明玻璃载人舱方案。这一选择迅速成为国际热点，国内不少专家也担忧钛合金方案会落后。

钛合金研究部时任主任杨锐作为万米载人舱材料与制造技术攻关负责人，当时承受着巨大压力。他带领团队回归科学本质，详细搜集各类数据，从断裂力学的基本原理出发开展精准计算。结果清晰显示，以当时掌握的材料性能，钛合金的承压能力约为玻璃的84倍。

杨锐果断拍板，彻底放弃玻璃方案，坚定选择钛合金路径。事实则印证了这一决策的远见——那4个曾备受瞩目的玻璃载人舱方案至今仍停留在图纸与设想阶段，而中国的钛合金载人舱已伴随“奋斗者”号多次潜入万米深渊。

然而，选定方向仅是闯过第一道观念关。当时国际通用的Ti64钛合金仅能勉强制造承载两人的舱体，且存在焊接后韧性大幅下降的致命风险。而我国的目标是可承载三人、耐受万米深度的载人舱。这是一条无人走过的路。

“Ti64的路走不通，就走一条新路。”杨锐的声音不高，却



① “奋斗者”号载人舱球壳。

为团队指明了方向。这意味着要从合金设计的源头重新出发。

实验室化作“冶金厨房”，钛、铝、钒、钼、锆等元素如同食材，在真空熔炼炉中被反复配比、冶炼。每一道“新菜”出炉，都要经历拉伸、冲击、疲劳等一系列苛刻的“品鉴测试”。而最核心的考验，在于载人舱焊缝韧性是否与舱体材料浑然一体。

失败是常态。团队常围坐在一起，对着扫描电镜下的断口照片，剖析微观组织的“症结”。每当有人气馁，总会有同伴鼓劲：“怕什么？这次我们知道这个成分比例不行，那离‘行’的那个点又近了一步。”

历经12轮艰难的摸索，一种名为Ti62A的新型钛合金终于

诞生。其焊接接头性能曲线完美覆盖所有设计指标。一位博士生在实验记录本上郑重画上一个略微颤抖的感叹号。

实验室的成功，仅仅是攻关的上半场。

团队成员立即携带核心数据和工艺方案，扎进协作工厂的焊接车间。在电弧与电子束的光芒中，在工人师傅将信将疑的目光下，团队用上千次的工艺试板，将实验室的“最佳参数”固化为工人手中可稳定复现的“操作规程”。

勇气的真谛，在于看清前路险阻后依然选择前行。最终，由Ti62A打造的载人舱成为“奋斗者”号潜入马里亚纳海沟万米深处的坚强“生命堡垒”。

实践之诚：扎进生产的土壤

在钛合金研究部，科研成果的终点不是鉴定会上的掌声，而是生产线上稳定、可靠的轰鸣声。研究部副主任徐磊对此感受深刻。他长期从事粉末冶金研究，主攻长征五号运载火箭氢泵叶轮的精密制造。

这种叶轮是火箭发动机“心脏中的心脏”，必须在 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的液氢环境中以每秒550米的速度旋转——比音速还快，对材料性能和制造精度要求达到极致。更棘手的是，叶轮内部复杂的空腔流道无法机械加工，必须一次成形。

粉末冶金成形技术面临的一个巨大障碍是，材料经成形工艺后尺寸收缩率高达33%，而最终产品尺寸误差需控制在0.1毫米内，仅相当于3根头发丝的直径。

攻克理论瓶颈后，徐磊马不停蹄带领课题组进驻协作工厂，与工人师傅同吃同住，将实验室的“参数组合”转化为生产线上的“工艺文件”。为调试工艺，他们曾深夜进入车间待命，既能在产线停下的那一刻马上开始调试，又能最大限度减少对企业生产节奏的影响。

有一段经历让徐磊记忆犹新。2014年，他携带53支昂贵的钛合金样品前往检测单位。用



钛合金团队在生产车间。

户代表原本只要求随机检测2支，如果不合格则翻倍复检。“结果一测，2支样品性能全部达标。”徐磊回忆，用户代表惊讶之余，又提议把其他51支样品都测了。最终检测结果显示，只有3支样品性能处于合格线边缘，其余全部优异。“材料确实很稳定。”徐磊感叹。

这份“稳定”的背后，是无数次工艺优化和对生产细节的极致把控。例如，团队将材料氧含量精准控制在900~1100 ppm（百万分之一）的狭窄区间内——这是一个微妙平衡点，氧含量太低或太高都会影响材料性能。杨锐曾打趣道：“氧是个‘坏分子’，策反它就好了。”

团队的“实践之诚”更体现在

装备自主创新上。由于许多关键设备没有现成的“货架产品”，他们不得不自己动手研制。2006年，团队引进国内第一台价值千万元级别的洁净制粉设备，但投入使用后却问题频发。“当时一项指标采用激光法检测，就会对材料造成损伤。”徐磊回忆。

为此，他们联合所内分析检测部门的同事，对进口设备进行改造，并开发出适合自身需求的检测方法。“买来的进口设备测不了，我们就用‘土办法’改造。”徐磊说。

更大的挑战出现在2012年。团队发现制造过程中存在氩气泄漏问题，但当时缺乏有效的检测手段——氩气与氮气的检测峰重叠，难以区分。这一问题困扰了

团队4年，直至2016年才彻底攻克。

如今，团队不仅建立了完善的氦气检测方法和标准，还实现了所有产品100%强制检测。“很多外部机构也来找我们检测。”徐磊自豪地说，这些自研设备和标准已成为行业的重要参考。

这种扎根生产一线的实践精神，让科研成果真正接了地气。

他们带来的不仅是一个高性能合金配方，更是一整套基于深度理解的工艺“说明书”：从海绵钛熔炼的电流曲线，到锻压时的变形速率，再到热处理炉内热电偶的布点建议，均细致、详细。团队坚持将实验室中探明的“为什么”——为什么这个温度下韧性最好、为什么那个变形量下组织最均匀，用最直白的语言

和更丰富的图表转化为工厂可落地的“怎么办”。

奉献之志：功成不必在我

材料研究，尤其是关乎国家重大装备的材料研究，往往意味着选择了一条漫长而寂寞的道路。一个合金体系从概念提出到成熟应用，10年是常事，20年也不罕见。在钛合金研究部，近30年如一日地坚守国家最急需、最基础的“硬骨头”领域，已成为一种集体追求。

“70后”研究员王玉敏是团队“元老”之一。他的故事颇具传奇色彩——大学毕业后当了5年高中物理老师，出于对科学研究的喜爱，1999年考上金属所研究生，成为杨锐的早期硕士生，研究方向是当时国内几乎空白的钛基复合材料。

“我来的时候，所里连设备都没有，我就坐在研究生工位上看了半年文献。”王玉敏回忆道。当时，钛基复合材料在国际上只有少数国家掌握，国内还处于纤维研发的起步阶段。杨锐则对他说：“你要耐得住寂寞。”

这一“耐”便是20余年。王玉敏一边进行纤维研究，一边探索构件制造。2005年博士毕业时，他已取得不错的研究成果，当时有其他单位伸出橄榄枝，还承诺为其家属解决工作。但犹豫之际，他意识到自己若离开了，这个方向的研究就要断了。如今，他领导的课题组已有24名职工、14名研究生，建成了自主的批量生产线。

对王玉敏最严峻的考验出现在2013年。在一个重大项目中，课题组耗时1年研制出的两件高性能叶环，检测时却发现内部的纤维全部断裂。“当天晚上，我和课题组两位核心成员一起吃饭时，那两个小伙子都哭了。”王玉敏回忆说。

通过深入分析，他们发现问题根源是内径膨胀和外径屈曲的匹配。这次失败反而催生了新技术思路。“所以，我们现在做叶环是国内数一数二的水平。”王玉敏说。

这种“奉献之志”在团队中代代相传。钛合金研究部主任马



① 长征五号火箭氢泵叶轮。金属所供图

英杰提到，他们目前应用的一项发动机高温钛合金材料技术，始于上世纪80年代，由杨锐的导师开创。对于杨锐的学生们来说，“导师的导师去世多年后，其自主研发的高温钛合金才获得实际应用”。这种“功成不必在我”的胸怀，支撑着团队在长周期研究中坚守初心。

团队成员都清楚，国家重大需求就是没有退路的使命。“我们生活在多样化的社会，也尊重青年科研人员及研究生的个人选择。”在感慨科研使命时，马英杰特别提及团队精神的传承，“希望‘90后’‘00后’科研人员能够认同这种理念，在国家重大任务中找到使命认同感。”

求真之执：敢立科学言

面对工程实践中的棘手难题，团队有一个重要法宝：不满足于经验试错，而是深入机理、探寻本质。

长征五号运载火箭氢氧发动机机泵叶轮的研制初期，曾遇到巨大困难——采用传统精密铸造的叶轮在试验中爆裂，研制工作陷入停滞。美国航天飞机曾因类似部件攻关受阻，导致整个计划拖延3年。但用户单位“等米下锅”，迫切希望尽快攻克技术瓶颈。

面对巨大的时间压力，团队没有盲目投入试错循环。杨锐叫停了无目标的尝试，引导大家将目光从具体的工艺参数上暂时移开，投向更本质的科学问题——粉末颗粒在高温高压下究竟是怎么运动、怎么致密化的？这个过程能否用数学语言描述清楚？

方向就此扭转。团队组织理论功底深厚的青年骨干与计算模拟专家协作，开始构建粉末致密化过程的多尺度模型。这是一段更为抽象和枯燥的征程，屏幕上不再是具体的零件，而是流动的颗粒群、演化的温度场和应力场。有人曾觉得这“不接地气”，但杨锐异常坚持，“只有看清了内在的‘理’，才能找到控制‘工’的钥匙”。

模型的建立与修正耗费了大量心血。团队需要将复杂的物理过程转化为数学模型，再通过实验数据反复校准。当模型终于能够较为准确地预测叶轮变形趋势时，之前的迷雾豁然开朗。

团队从盲目的“试”转变为有目的的“调”。他们根据模型预测，有针对性地调整工艺参数，观察实际结果与预测的差异，再反馈修正模型。最终攻关成功的路径，与最初的模拟预测曲线惊人地吻合。

凭借这条以理论计算引领的“新路”，团队仅用1年就攻克关键技术，18个月便交付合格产品，不仅保障了发动机研制进度，更使制造精度比国际产品提升1倍，氢泵效率也从国外的75.0%提升至76.5%，彻底破解这一“卡脖子”难题。

对“理”的执着，已成为团队的科研文化。1969年，金属所参与的“两弹”攻关任务结束后，部分人员根据时任所长李薰的部署启动钛合金研究，几代科研人员薪火相传，团队从早期不足10人的研究小组发展成为如今200余人的“国家队”，还入选科技部重点领域创新团队。面向国家重大需求，团队形成了7个创新研究方向并行发展的格局。

从万米深海到寰宇太空，从火箭心脏到大国翼骨，团队的研究成果如繁星般点缀在国家科技崛起的宏伟画卷上。“钛魂”从来不是口号，而是熔炼在每一次实验、每一份数据、每一道工序中的行动准则。

今天，钛合金团队的目光已投向更远的未来。新一代耐高温钛基材料的初步数据正在演算，目标是挑战1200℃极限，支撑未来更高速度的飞行梦想。



作者：徐志文, 彭张博, 陈星池; Email: 2310183184@qq.com

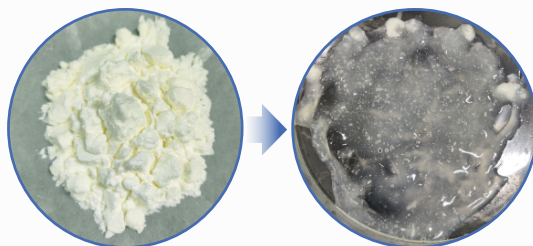
引言

白色污染依然是本世纪最严峻的环境挑战之一(图1)。据统计,全球每年产生的塑料垃圾已经超过了3.8亿吨,年增长率也将近4%^[1]。普通的塑料在自然环境中往往需要几百年才能完全降解,这不仅会直接影响自然环境,塑料降解时还会产生微塑料颗粒,这些微塑料会通过食物链最终富集在人体内,从而危害身体健康^[2]。那么,有没有一种方法,可以既让我们享受到使用塑料带来的便捷,又能缓解塑料造成的白色污染呢?那自然是有的,而且我们大多已经用上了,比如我们喝奶茶用的吸管,从2021年开始就必须使用聚乳酸材料,再如现在超市里卖的塑料袋,大多数也都是聚乳酸或者聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯制成的。像这些塑料都被称为可降解塑料,近年来,可降解塑料的研发为缓解白色污染提供了新方向^[3]。



①【图1】塑料垃圾(图片来源于网易)

这些新型的可降解塑料听上去离我们挺遥远的,研究它们应该是实验室里该做的,事实上也确实如此,比如聚乳酸——合成条件不算特别简单,而且原料在生活中也不常见。但是,总有例外。比如淀粉基塑料,合成它所需要的原料如淀粉和甘油等在日常生活中十分常见,制备过程也不算复杂^[4]。今天,我们将亲手带你制作一个简单的淀粉基塑料书签,让你在动手过程中感受到“绿色化学”的魅力(图2)。



①【图2】淀粉→淀粉基可降解塑料

1. 制作方法

1.1 实验原理

淀粉是一种天然高分子聚合物,其中一般含有大量的羟基,分子间相互作用力强,难以熔融加工^[5]。但是,可以通过如酯化、醚化、接枝、交联等化学

方法对淀粉进行改性,通过减少淀粉的羟基数目的方法改变其原有结构,从而使其具有热塑性,转化为淀粉基塑料^[6]。

我们将主要利用淀粉的交联反应来制作淀粉基可降解塑料,

将水、淀粉、甘油和白醋混合加热。其中,水作为溶剂,淀粉作为原料,甘油作为增塑剂,白醋作为酸以催化反应的进行(图3)。加热一段时间后,可继续加入如琼脂等材料改善其性能和可加工

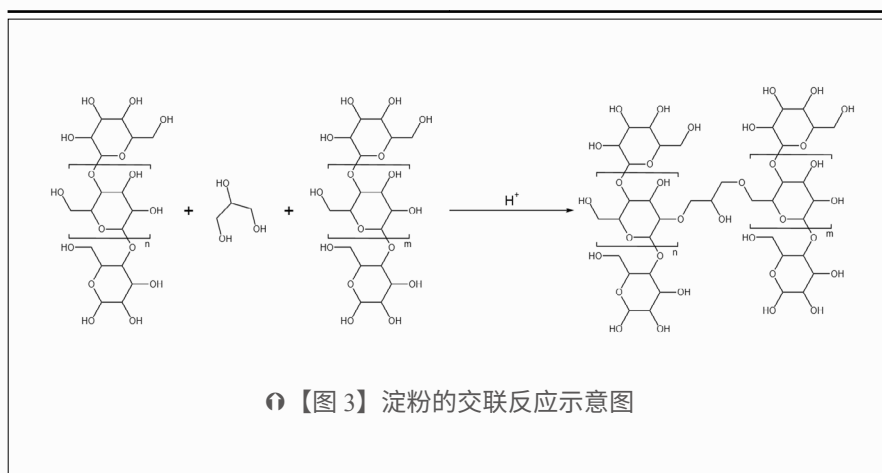
性。反应一段时间产生的胶状物，经冷却后可定型。

本实验所需要的材料均可在厨房或者医药箱内找到，淀粉用土豆淀粉或者玉米淀粉均可。如果你家里的医药箱里没有甘油，可以加一些牙膏来代替（牙膏里一般会加入山梨醇作为保湿剂，在本实验中可以代替甘油作为交联剂，当然，这会不可避免地使制得的书签带上牙膏的味道）。加入琼脂粉、明胶和海藻酸钠等都可以用来改善书签的制作过程。如果需要染色，可以加入各种食用色素来染色，比如加入柠檬酸钠可以使书签染上绿色。如需进行设计，可使用更复杂的模具。

1.2 实验步骤

使用 100 mL 量筒量取 50 mL 纯净水（约小半碗），加入至 250 mL 烧杯中，或者其他玻璃容器与不锈钢容器中（不建议使用陶瓷容器！！）。使用 10 mL 量筒量取 8 mL 甘油（约半勺）加入烧杯中。将烧杯置于 60 °C 水浴锅中，边加热边搅拌均匀，如果没有控温设备的话，找一个盆或者电饭锅内胆，将烧杯放入后，往容器与盆 / 内胆的空隙中倒开水，温度降低后换水（图 4）。

保持 60 °C，加入 8 mL 白



醋（约半勺）后，边搅拌边往烧杯中分批次加入总计 10 g 的淀粉（1~2 勺），继续保持 60 °C 搅拌约 20 min，直至烧杯内混合物呈半透明状。

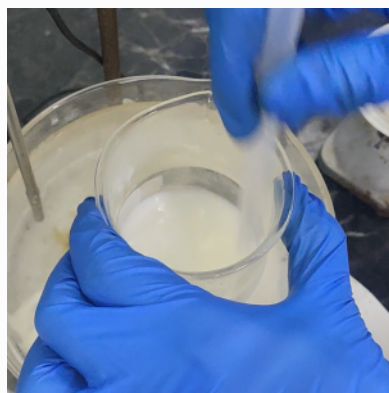
加入 2 g 海藻酸钠 / 琼脂粉 / 明胶（约 1 小勺），继续保持 60 °C 搅拌 10 min，混合物变得更为透明和黏稠。将烧杯内胶状物质倒入模具铺平，室温干燥，干燥后脱模制得淀粉基可降解塑料，一

般呈半透明白色。

1.3 注意事项

虽然本实验所使用的材料大多是食品级和医用级的，但还是请勿在实验过程中食用。如果使用强酸代替白醋，需注意防护，加热时也请注意用火用电安全。

此外，如果需要使用本实验开展科普课堂或者社区活动，由于实验周期较长，可以先制作好



① 【图 4】 搅拌成半透明状的混合物与加入模具中的胶状物质

一批书签便于讲解与宣传，也可以对实验方案进行进一步改良（图5）。

2. 探索淀粉基塑料可降解的奥秘

现在我们成功制得了一片淀粉基塑料书签，当然它在材质上与我们日常生活中可能见到的淀粉基塑料袋有所差别，这是因为制作工艺不同，所制得的虽然都叫淀粉基塑料，但它们的结构却不尽相同，所以我们摸上去的感觉也不一样。至于为什么淀粉基塑料可以降解，而传统塑料不易降解的原因也在于此。所谓结构决定性质，它们的结构不同，化学性质自然也就不同。

像淀粉基塑料这种可降解塑料的降解一般是通过生物、化学与环境因素（光照、温度）等的共同作用，将高分子链断裂为小分子化合物的过程。根据降解机制的不同，主要分为生物降解、光降解和热氧降解等类型，其中生物降解是最主要的途径^[7]。



①【图5】制得的书签

生物降解主要依赖于微生物所分泌酶的催化作用。对于淀粉基可降解塑料，聚合物分子中含有的 α -1,4糖苷键和 α -1,6糖苷键会被微生物分泌的淀粉水解酶分解为葡萄糖单体，随后通过微生物代谢转化为能量、水和二氧化碳。对于聚酯类可降解塑料，其分子链中的酯键在微生物酯酶作用下断裂，生成小分子酸和醇，并最终被微生物代谢^[8]。而传统的塑

料比如聚乙烯和聚丙烯，它们里面只有碳—碳键和碳—氢键，一般情况下，微生物以及微生物所分泌的酶并不能使这些化学键断裂，那这些传统塑料自然也无法很快地降解了。

塑料的降解速率除了受材料组成影响，环境条件和处理方式对于降解快慢也同样重要。表1对比了几种常见塑料的降解时间及降解机制：

表1 塑料降解比较

塑料类型	典型降解条件	降解时间	主要降解机制	降解产物	环境影响特征
淀粉基塑料	土壤 / 堆肥	3~6个月	淀粉酶水解	CO ₂ , H ₂ O	酶解彻底，无塑料残留
聚乙烯	自然环境	>400年	光氧化断裂	微塑料颗粒	污染持久，难以降解
聚丙烯	自然环境	>500年	光氧化断裂	微塑料颗粒	污染持久，难以降解
聚乳酸	工业堆肥	2~6个月	水解 / 微生物降解	CO ₂ , H ₂ O	依赖于工业堆肥条件

可以看出,传统石油基塑料由于分子结构稳定且缺乏可水解基团,极难自然降解^[9]。在可降解塑料中,因天然淀粉可较快水解的特性,淀粉基塑料在堆肥条件下降解速率也较快,而聚乳酸则需依赖特定温湿度与微生物活性,工业堆肥可显著缩短其降解周期,其在自然土壤中降解需2~5年,而在高温堆肥中仅需数月^[10]。

3. 绿色化学与我们的未来

通过亲手来制作这枚“绿叶”书签,这不仅仅只是让我们收获了乐趣和得到一个可能有用的物件,更是一次深刻的体验:原来

所谓的“高科技”环保材料,其制作方法可以如此贴近我们的日常生活!哪怕只是使用厨房里的材料,也可以来模拟科学家们在实验室里所进行的“绿色化学”探索。

当然,像这样只是制作一两个书签对于治理白色污染以及改进可降解塑料的质量与制作工艺并无太大帮助。但请相信,在这个实验中更重要的是让我们意识到环境问题的痛点所在。少用一个塑料袋,少用一个打包盒,将垃圾正确地分类投放……从这些点滴小事做起,聚沙成塔,一步一步地为保护我们的生态环境、缓解白色污染贡献更切实的力

量。这同样也是我们设计这个科普实验的目的——与大家共同学习环保材料的科学原理,并将其转化为生活化场景教育,让环保科技走出实验室,深刻理解环保问题同我们息息相关,从而进一步参与到绿色实践之中。

4. 结语

这枚小小的、可能并不那么完美的淀粉基可降解塑料书签,不仅可以是你泛舟书海的风帆,也能够记录你所谱写的绿色生活的篇章。当科学走出实验室,每个人都可以是绿色未来的设计师,动手试试吧,给书本一片“绿叶”,也给地球一个更美好的未来!

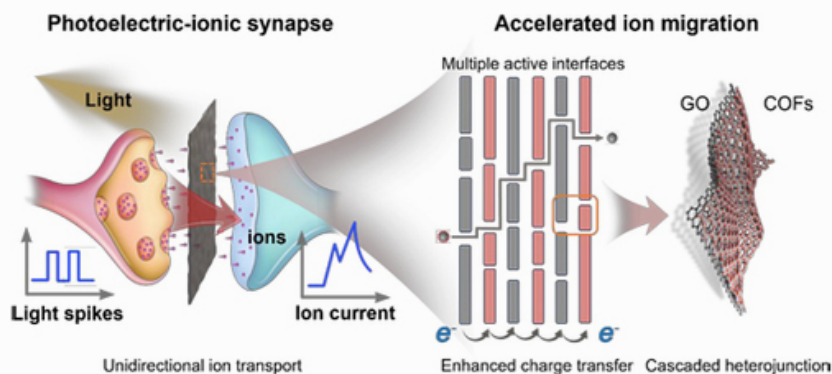
参考文献

- [1] Raghav P, Nipu D, Niranjana K. A mechanically robust biodegradable bioplastic of citric acid modified plasticized yam starch with anthocyanin as a fish spoilage auto-detecting smart film[J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 242: 125020.
- [2] Kieran D C, Garth A C, Hailey L D, et al. Human consumption of microplastics[J]. *Environ Sci Technol*, 2019, 53(12): 7068-7074.
- [3] Ritesh K, Kambiz S, Jaeyoung J, et al. Mechanical, chemical, and bio-recycling of biodegradable plastics: A review[J]. *Sci Total Environ*, 2023, 882: 163446.
- [4] Zhu Y B, Hayati S, Mohd F Y. Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films[J]. *Europ Polym J*, 2022, 175: 111377.
- [5] Zhang Y, Rempel C, Liu Q. Thermoplastic starch processing and characteristics-A review[J]. *Critical Rev Food Sci Nutr*, 2014, 54(10): 1353-1370.
- [6] 唐黎明, 虞新林. 高分子化学(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 314-335.
- [7] Larissa V S, Carla I L F A, Bianca C M, et al. Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives[J]. *Current Opinion Food Sci*, 2021, 38: 122-130.
- [8] Chen G, Li J, Sun Y, et al. Replacing traditional plastics with biodegradable plastics: Impact on carbon emissions[J]. *Engineering*, 2024, 32: 152-162.
- [9] Elvis D O, Erica D, Steve P M, et al. Plastics in biosolids from 1950 to 2016: A function of global plastic production and consumption[J]. *Water Res*, 2021, 201: 117367.
- [10] Christian M, Lorie H, Line G J, et al. Cradle-to-grave life cycle assessment of single-use cups made from PLA, PP and PET[J]. *Resources, Conserv Recycling*, 2021, 169: 105508.

【CCS Chem.】 中国科学技术大学张振： 视网膜启发的级联范德华异质结用于 光电 - 离子神经形态计算

来源：CCS Chemistry 公众号；原文链接：https://mp.weixin.qq.com/s/_b938yijA7bG55VeQ1-pOw

近日，中国科学技术大学仿生界面材料科学全国重点实验室张振课题组提出并构建基于级联范德华异质结二维纳米流体膜的神经形态计算体系，实现光驱动电子 - 离子耦合，从而模拟神经信号传递和神经形态视觉信息处理。



背景介绍

生物神经系统通过离子动态迁移感知光信号，实现高效、多维的信息处理。受此启发，能够感知光并自适应调节电荷传输的神经形态器件，正成为人工视觉、脑机接口和智能传感的研究热点。然而，传统器件以电子为载流子，仅在功能上模拟神经行为，难以复现生物离子介导的复杂信号处理。仿生

纳米流体技术通过纳米尺度精确调控离子迁移，为高效离子信号传导提供了新平台。然而，传统二维膜结构通常由微米级厚度的单一组件构成，且仅包含一个活性界面，这在一定程度上限制了光生电荷分离效率和离子迁移路径的调控能力，也凸显了精细界面工程在新型神经形态器件设计中的关键作用。

>>> 本文亮点 <<<

生物神经系统依靠离子在神经网络中的动态迁移，实现信息的高效处理和自适应调控。受此启发，研究团队构建了级联 GO-COFs 纳米流体膜，在光刺激下实现光电 - 离子耦合，为类脑器件提供了全新的材料平台。本研究首次将原子级精确的范德华异质结构集成到纳米流体膜中，形成“级联

设计”。在纳米流体体系中，高效的离子 - 电子耦合得以实现。这种“乐高式”范德华结构打造了高度可调的光电 - 离子通道，突破了传统异质结界面活性低的限制，建立了连续、空间可控的离子传输网络，实现了光驱动电荷分离与原子级质子迁移的显著增强。

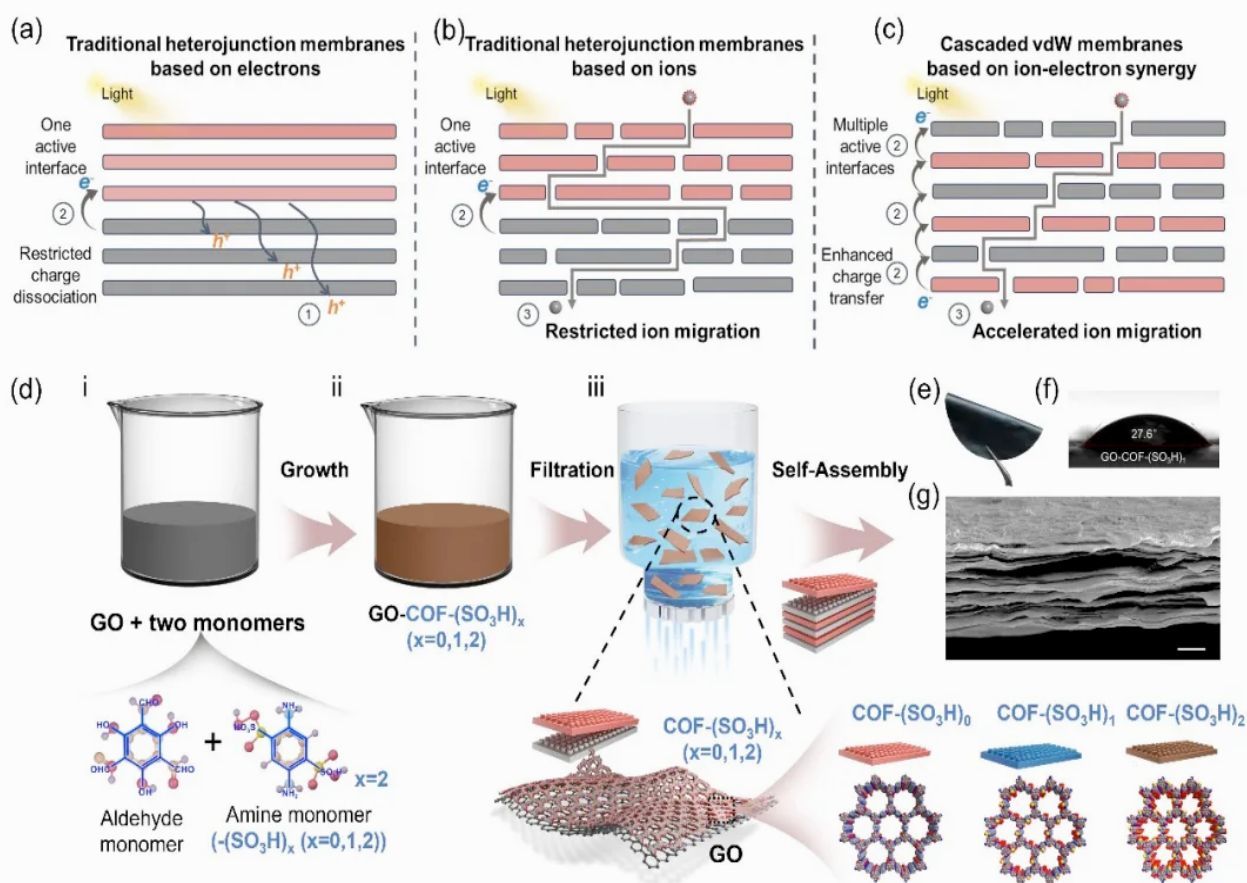
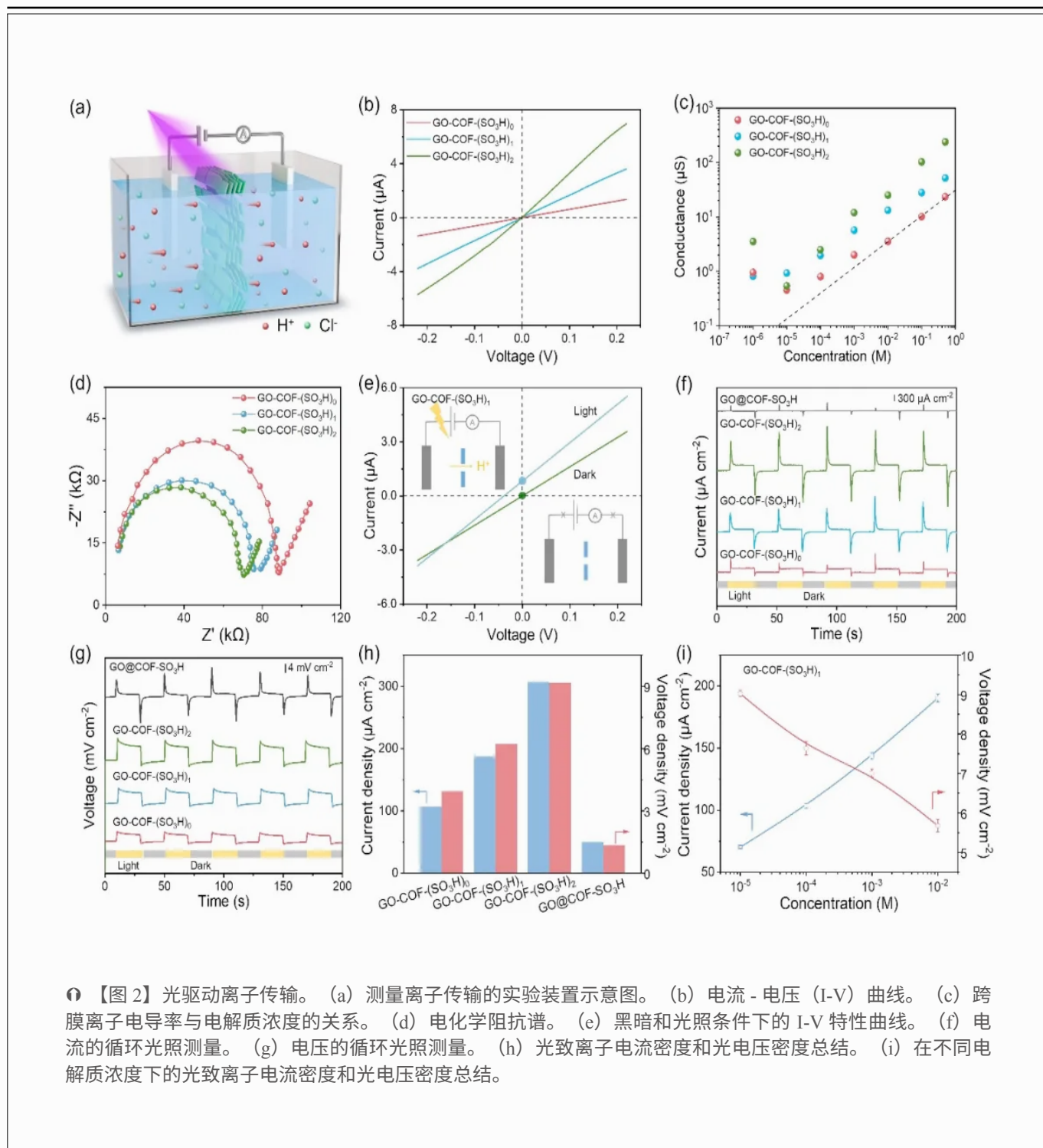


图 1 级联范德华 GO-COFs 异质结膜的结构设计及制备策略。(a-c) 传统的异质结膜与级联结异质结膜的区别。(d) 合成示意图。(e) 膜的光学照片。(f) 接触角测量。(g) 横截面的扫描电镜图像。

研究表明, 级联 GO-COFs 纳米流体膜在光照下展现出显著增强的光电 - 离子转换能力。随着 COFs 中磺酸基数量的增加, 膜的亲水性和质子

传输通道连续性同步提升, 使光生离子电流和光电势持续增强。



【图2】光驱动离子传输。(a) 测量离子传输的实验装置示意图。(b) 电流 - 电压 (I-V) 曲线。(c) 跨膜离子电导率与电解质浓度的关系。(d) 电化学阻抗谱。(e) 黑暗和光照条件下的 I-V 特性曲线。(f) 电流的循环光照测量。(g) 电压的循环光照测量。(h) 光致离子电流密度和光电压密度总结。(i) 在不同电解质浓度下的光致离子电流密度和光电压密度总结。

进一步分析发现, 级联异质结构有效促进光生载流子的空间分离, 在膜内构建不对称内建电场, 从而降低质子迁移能垒并驱动其定向快速传

输。该协同机制不仅显著提升了光驱动离子传输效率, 也为后续神经形态离子信号调控奠定了物理基础。

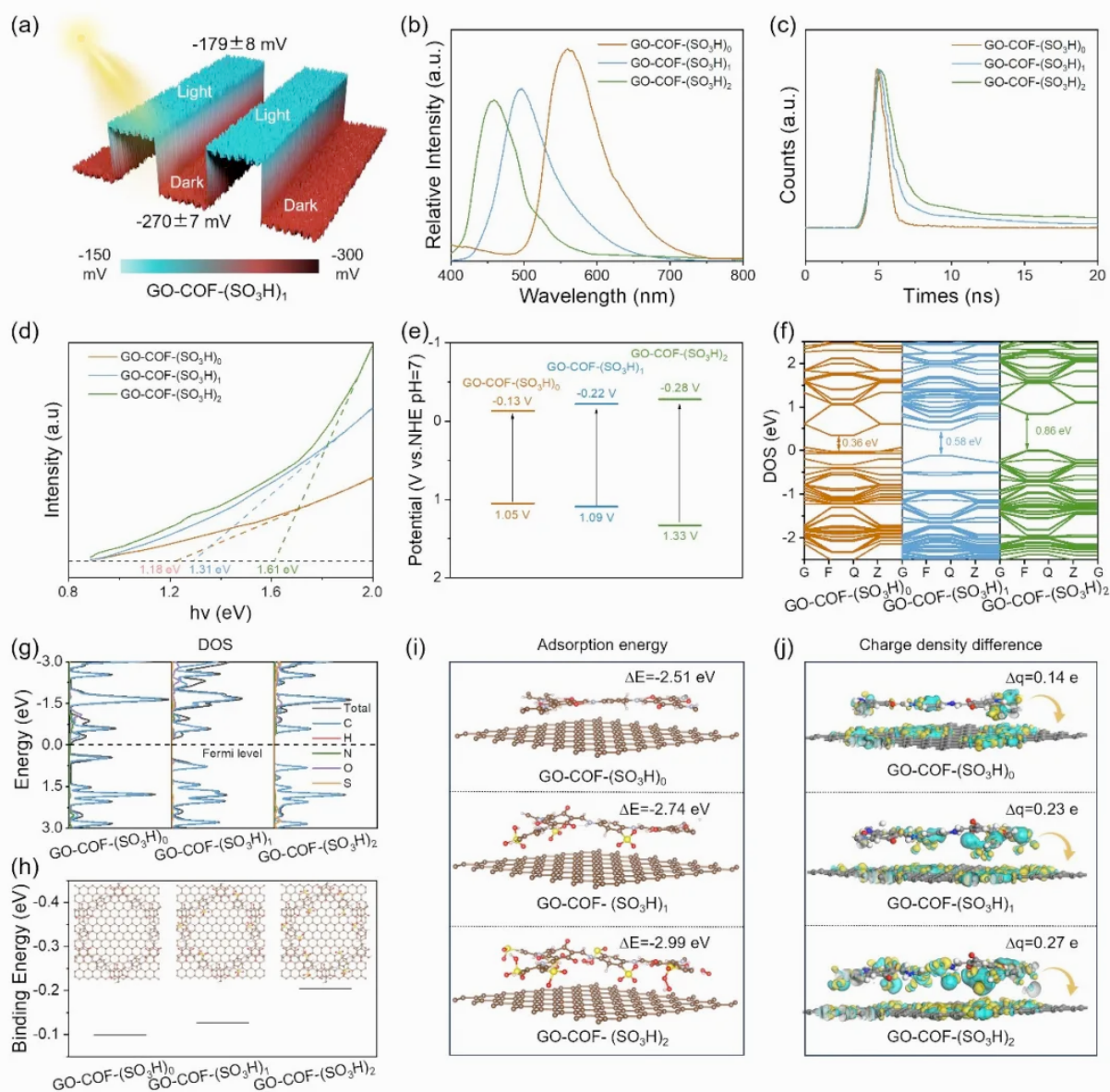
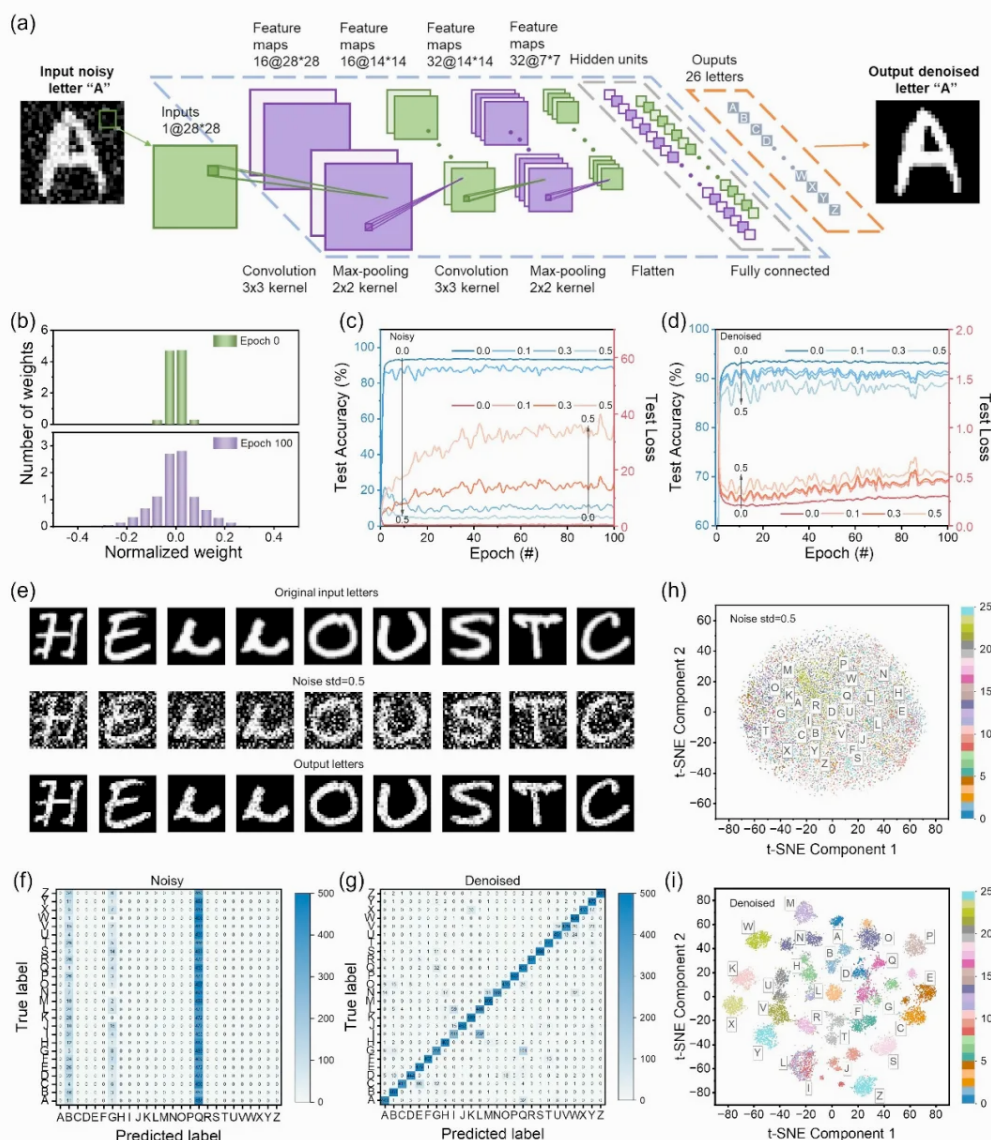


图 3 光电化学性质分析。(a) 黑暗和光照条件下的三维开尔文探针力显微镜 (KPFM) 电势图。(b) 光致发光 (PL) 光谱。(c) 归一化时间分辨 PL 衰减曲线。(d) 漫反射光谱。(e) 能带结构示意图。(f) 态密度。(g) 分波态密度。(h) 质子结合能。(i) 质子吸附能。(j) 差分电荷分布图, 可视化了质子吸附后的局部电荷重新分布, 证实了异质结构对于静电相互作用和电荷转移的增强 (电子积累: 黄色区域, 电子耗尽: 青色区域)。

在此基础上, 我们进一步拓展了二维纳米流体膜的应用边界。尽管该类材料长期在能量转换、储能及环境技术领域受到广泛关注, 其在神经形态计算中的潜力仍有待挖掘。本工作首次基于二维纳米流体膜实现了光调制的光电-离子耦

合, 赋予器件类突触的可塑性和神经信号处理能力。该离子计算平台为构建高效、可扩展且具自适应特性的类脑系统提供了新的物理机制和材料路径, 在智能信息处理与类脑视觉器件等方向展现出广阔应用前景。



④【图4】抗噪图像识别。(a) MNIST数据集的模拟NVS架构示意图。(b)训练100个周期前后突触权重的分布。(c和d)模式识别准确率随训练迭代次数的变化,每个周期使用300张图像的批次。(e)噪声输入图像($\sigma=0.5$)及其对应的NVS预处理字母(“H”、“E”、“L”、“O”、“U”、“S”、“T”和“C”)的代表性示例。训练100个周期后所有26个字母的混淆矩阵,分别显示了去噪前(f)和去噪后(g)的分类结果。t-SNE可视化最后一层神经激活,显示噪声输入(h)和去噪输出(i)的聚类图,表明NVS预处理后类别分离得到改善。

>>> 总结与展望 <<<

本研究概述了一种基于级联范德华异质结膜的新型策略，用于集成光信号和离子信号转导，推动神经形态计算系统向高效、高适应性和高抗噪性方向发展，并凸显了级联范德华异质结膜在人工智能视觉和智能信息处理方面的巨大潜力。

该文章以 Research Article 形式发表在中国化学会旗舰期刊 *CCS Chemistry*。中国科学技术大学张振

教授为该论文的通讯作者，中国科学技术大学化学与材料科学学院 2022 级博士研究生郭一帆和王奚为该论文的第一作者，中国科学技术大学苏州高等研究院仿生界面材料科学全国重点实验室为论文通讯单位。该工作得到了国家自然科学基金、中国科学技术大学苏州高等研究院启动基金和姑苏领军人才项目的支持。同时也得到了中国科学技术大学苏州高等研究院理化分析中心的支持。

文章详情:

Retina-inspired Photoelectric-Ionic Nanofluidic Computing Based on Cascaded van der Waals Heterojunction Membranes

Yifan Guo¹, Xi Wang¹, Xinyu Chen, Kai Chen, Liwen Xie, Zhe Li, Tianyun Jing, Xinyan Jiang, Yixiang Wang, Shuqi Wang, Naijia Zhao, Zhen Zhang* & Lei Jiang

Cite this by DOI: 10.31635/ccschem.025.202506841

文章链接: <https://doi.org/10.31635/ccschem.025.202506841>



扫码或长按二维码在线阅读 ▶



PS&T: 兼具高耐热、高韧性聚乳酸 / 生物基聚碳酸酯共混材料构筑

来源：高分子科学与技术 PS&T 公众号；

原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/fwBVOUw5MgpSaCBT6guM7Q>

»» 一、研究背景 ««

聚乳酸 (PLA) 作为目前产业化程度最高的生物基聚合物之一，具有原料可再生、可降解性良好及加工适应性强等优势，已在包装、消费品及一次性制品等领域得到广泛应用。然而，PLA 本身存在耐热性差、脆性严重等缺陷，在工程结构件及耐热应用场景中受到极大地制约。传统用于提升聚乳酸耐热性的途径主要包括提高结晶度或引入刚性填料，但上述方法往往以牺牲材料韧性为代价，难以实现力学性能与热稳定性的协同优化。

聚碳酸酯 (PC) 是一类成熟的工程塑料，具有优异的耐热性、尺寸稳定性及机械强度，将其引入聚乳酸体系被认为是一种潜在的耐热增强策略。近年来，随着可持续材料技术的发展，生物基聚碳酸酯



(Bio-PC) 在保持传统 PC 性能优势的同时, 兼具可再生来源和较低碳足迹, 在高性能可持续材料领域展现出良好应用前景。然而, 现有研究主要集中于 Bio-PC 的合成与本体性能, 其在 PLA 共混体系中的结构调控与性能协同研究仍相对有限, 相容性受限问题, 尤其是生物基聚碳酸酯与聚乳酸之间的相容性问题, 其在共混体系中的结构演化行为及其对性能的影响机制尚未得到充分阐明。

另一方面, PLA 的对映体聚合物之间可通过立构共结晶形成立构复合晶体 (SC), 其熔融温度显著高于 PLA 同构晶体, 被认为是提升 PLA 耐热性能的有效途径之一。但单独依赖 SC, 往往难以在提升耐热性能的同时兼顾材料的整体韧性。

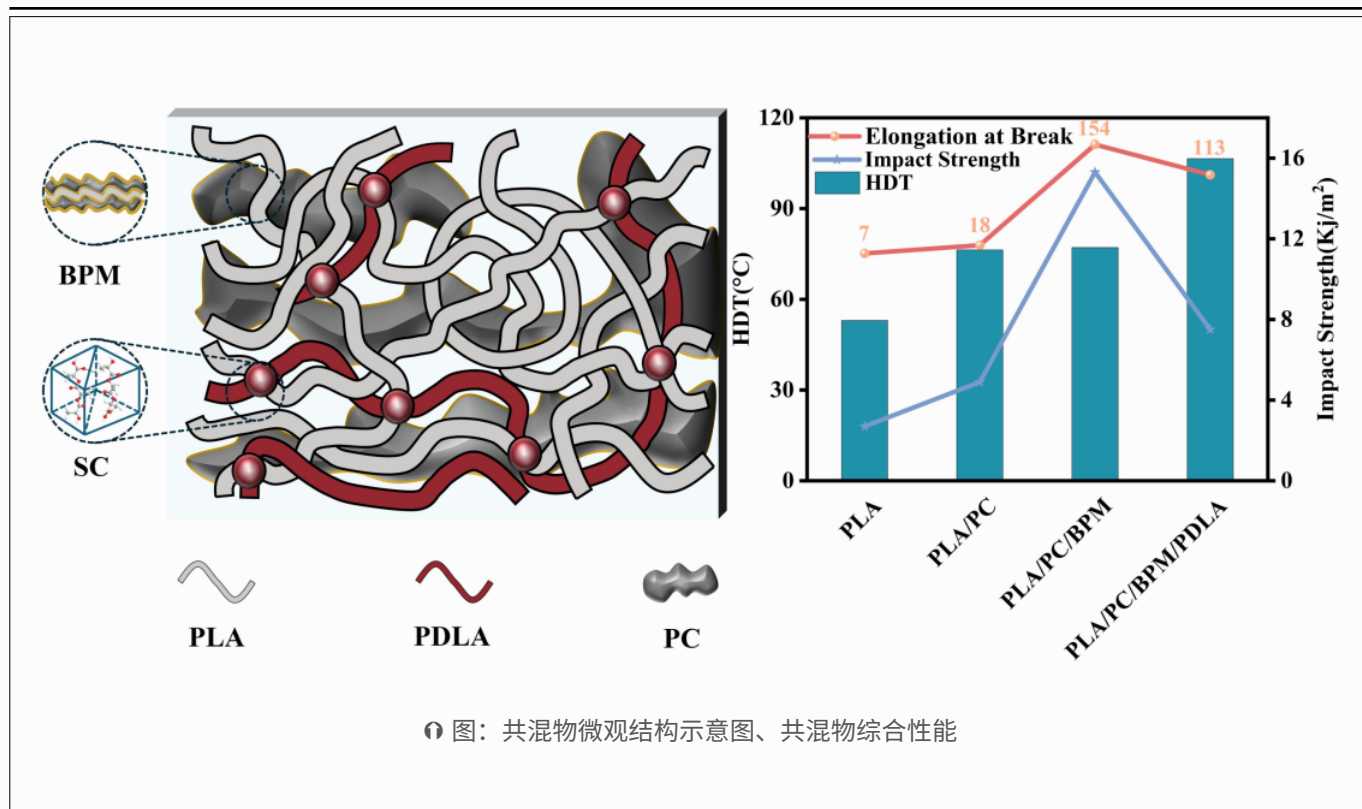
在此背景下, 如何通过共混体系构筑与相结构调控, 实现 PLA 共混物耐热性与韧性的协同提升, 成为生物基高分子材料领域亟需突破的关键科学与工程问题。

二、文章简介

针对 PLA 耐热性与韧性难以兼顾的核心矛盾, 中国石油石油化工研究院生物基聚酯团队提出了一种“Bio-PC 连续相与 SC 三维网络协同构筑”的设计思路, 构建了 PLA/Bio-PC 多组分共混体系。研究采用了一种源自异山梨醇的 Bio-PC, 通过引入核壳结构的相容增韧剂 (BPM), 在改善 PLA 与 Bio-PC 两相界面相容性的同时, 对共混体系的相形貌与应力传递行为产生显著影响。BPM 的引入在细化分散相、增强界面黏结的同时, 也改变了体系在受热载荷下的承载方式, 使材料的耐热性能对 BPM 含量表现出明显的响应特征。在此基础上, 通过协同调控 BPM 与 PC 含量, 明确了相结构演化对耐热性与韧性的共同作用规律, 并据此确定了兼顾热变形性能与冲击韧性的最优配方区间。同时, 在 PLA/Bio-PC 共混物中引入 SC 后, 体系中形成的高熔点 SC 网络在较高

温度下仍能保持稳定存在, 对 PLA 无定形链段的运动起到显著约束作用, 并与 Bio-PC 相协同提高材料的热变形性能。

通过系统调控 Bio-PC、BPM、SC 组分比例, 研究明确了各组分在调控共混物微观结构与宏观性能中的作用, 并据此确定了兼顾耐热性与韧性的最优材料配比。实验结果表明, 在特定配比条件下, 该体系可形成稳定的 Bio-PC 连续相与 SC 三维网络, 材料热变形温度显著提升, 同时保持较高的冲击强度和延伸性能。通过协同调控共混体系组成与相结构, PLA/Bio-PC 共混材料的热变形温度可提升至 $106.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 同时缺口冲击强度达到 16.1 kJ/m^2 、断裂伸长率提高至 214.2% , 较未改性聚乳酸体系实现了显著提升, 体现出优良的耐热性与韧性综合水平。



该成果以“Sustainable and High-Performance Polylactide/Polycarbonate Blends with Enhanced Toughness and Thermal Stability via Stereocomplexation and Phase Continuity”（《基于立构复合晶与相连续协同调控的高耐热、高韧性聚乳酸 / 聚碳酸酯共混材料》）为题，于2026年1月2日发表在中国科学院长春应用化学研究所与美国化学会共同出版的期刊 *Polymer Science & Technology* 上。



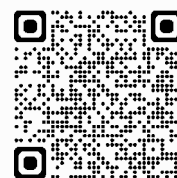
三、论文信息

Sustainable and High-Performance Polylactide/Polycarbonate Blends with Enhanced Toughness and Thermal Stability via Stereocomplexation and Phase Continuity

Weisheng Xiao, Xiangjian Chen, Huaxiang Chen, Yu Cheng, Ziheng Zhao, Xiaohui Niu, Yongli Wang, Liang Tang, Chunxiao Ren*, Kunyu Zhang*, Li Pan

通讯作者：中国石油石油化工研究院，新材料研究所，张坤玉、任春晓

原文链接：<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/polymcitech.5c00126>



扫码阅读原文

四、作者团队



张坤玉，本文通讯作者

1979年5月出生，博士，中国石油石油化工研究院技术专家。

长期从事可持续高分子、前沿高分子材料等方面的研究，近年来致力于生物基聚酯及其功能化、结构色新材料等研究，参与高端环烯烃聚合物CYD项目、国家重点研发计划项目、集团科技部国际合作项目、生物制造等一系列重大项目，取得了一系列成果：发表论文40余篇，他引2200余次，作为主编出版英文学术专著1本，申请PCT专利3项、20多项国家发明专利。研究成果获加拿大AUTO项目一等奖1项。



任春晓，本文通讯作者

1982年1月出生，博士，高级工程师，中国石油石油化工研究院新材料研究所副主任。

主要从事化工新材料、缩聚功能高分子的研究。先后承担或参加了国家级、集团公司级科研项目7项，荣获2022年第一届青春中国青年碳中和创新创业大赛全国金奖、2025年第三届碳中和创新创业大赛全国金奖。发表科技论文10余篇，申请发明专利10余项。

《化学通讯》

科普教育类

编委会成员



编委：莫尊理
西北师范大学



编委：陶胜洋
大连理工大学



编委：姜雪峰
华东师范大学



编委：薛斌
上海海洋大学



编委：宋卫国
中国科学院化学研究所



编委：李艳梅
清华大学



编委：徐海
中南大学



主编：杨小牛
中国科学院长春应用化学研究所



副主编：刘正平
北京师范大学



编委：戴伟
北京化工大学



编委：邱晓航
南开大学



编委：杨天林
中国科普作家协会会员
宁夏作家协会会员



编委：胡文兵
南京大学



编委：卞江
北京大学



编委：欧阳瑞镯
上海理工大学
材料与化学学院



编委：朱平平
中国科学技术大学



编委：董川
山西大学



编委：蒋尚达
华南理工大学



编委：孙亚飞
中国科学院自然
科学史研究所