



打破封锁！

## “黑色黄金”T1000 级碳纤维实现全流程自主可控

■本报记者 倪思洁

“由于技术封锁，我们每一步都是在摸着石头过河。”1 月 10 日，中国科学院山西煤炭化学研究所(以下简称山西煤化所)副所长、研究员张寿春在回忆 T1000 级碳纤维国产化历程时说。

从 2024 年起，瞄准 T1000 级碳纤维，山西煤化所和华阳碳材科技有限公司，在山西大同建设了“千吨级高性能碳纤维一期 200 吨 / 年示范产业线”。目前，该产业线已于 2025 年 11 月正式投产，关键装备全部国产化，实现了 T1000 级碳纤维全流程的自主可控，在高端碳纤维制备领域打破了国外技术封锁与市场垄断。

“该成果解决了又一项高端材料‘卡脖子’问题，为航空航天、新能源、低空经济等领域提供了自主可控的材料基石。”张寿春说。

### 被禁运的“黑色黄金”

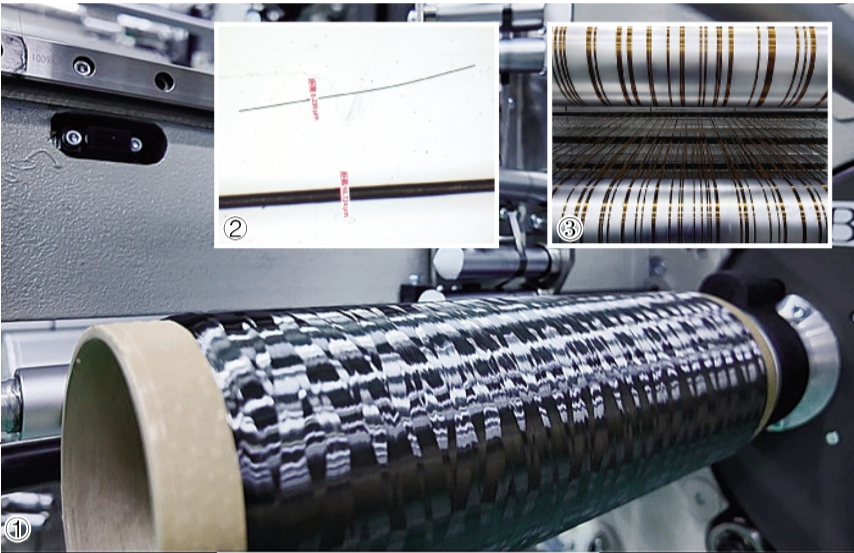
碳纤维被称为材料界的“黑色黄金”。它比同样粗细的钢铁强好几倍，一根铅笔芯粗细的碳纤维，能轻松吊起一辆小汽车，而它的重量却只有钢铁的 1/4 左右。

在航空航天领域，飞机、卫星、火箭、空间站需要它；在民用工业领域，高端跑车、风力发电叶片、建筑、机器人等都要靠它来提升性能；在体育休闲和医疗健康领域，自行车、球拍、骨科植入材料、手术器械等也要用到它。

碳纤维家族，包含 T 系列、M 系列等成员。T 系列是高强度碳纤维，“T”后面的数字越大，抗拉的能力越强，有 T300、T800、T1000 等；M 系列是高模量碳纤维，“M”后面的数字越大，抗变形的能力越强，有 M40、M55J、M60J 等。

“高性能碳纤维是航空航天装备升级换代急需的战略关键材料，日本、美国等国家始终对我国进行产品禁运和技术封锁。”张寿春说。

2005 年起，日本、美国等国加紧了对我国碳纤维技术的封锁和产品的禁运，致使我国高端领域用碳纤维陷入“断粮”境地，不少国家重要尖端装备



①工厂车间里的 T1000 级碳纤维。  
②T1000 级碳纤维单丝(上)与头发丝的对比。  
③原丝逐渐变成金黄色。

倪思洁 / 摄  
山西煤化所供图  
倪思洁 / 摄

“无米下炊”。

张寿春记得，2005 年前后，他曾去国外参加一个展会，当时日本碳纤维公司的展台上，摆满了各类碳纤维产品。张寿春想凑上前去看一看，参展方一看他们戴着中国的胸牌，立刻阻止了他们。

也正是从那年春天起，山西煤化所面临受命，承担国家急需的宇航级 T300 碳纤维生产任务。此后，随着我国高性能碳纤维技术获得突破，T300、T700、T800 等碳纤维逐渐实现量产。

### 关键装备全部国产化

T1000 级碳纤维是碳纤维领域的高端产品，一直以来，我国未能形成稳定的规模化生产技术。

2016 年，在完成湿法 T300、T700、T800 碳纤维的研制任务后，张寿春团队瞄准了 T1000。他们决定用第二代碳纤维技术——干喷湿法碳纤维技术研发 T1000。

短短几年间，团队在基础原理、核心工艺、国产化设备方面持续发力，研发出具有自主知识产权的 T1000、T1100 级碳纤维等关键技术，为千吨级高性能碳纤维示范项目打下了基础。

2024 年，山西煤化所联合华阳碳材科技有限公司，在山西大同启动建设千吨级高性能碳纤维一期 200 吨 / 年示范产业线。

山西煤化所正高级工程师、张寿春团队成员经德齐介绍，该生产线上的 T1000 级碳纤维以丙烯腈为原料，每束碳纤维包含 1.2 万根超细单丝，碳含量超过 95%，属于高强度、中等模量的精制高性能碳纤维，既满足刚性承重需求，又具备适配复杂工况的柔韧性，是工业领域的“黄金配置”。

“T1000 级碳纤维主要应用于对性能和可靠性要求极高的航空航天及高端工业领域。它的单丝直径只有 5 至 6 微米，拉伸强度却突破 6600 兆帕，与 T800 相比，强度提高 10%至 20%；密度仅为钢的

1/4，强度却是钢的 5 倍以上。以一束 1 米长 T1000 级碳纤维为例，重量仅 0.5 克，却能承载 200 多公斤的载荷，相当于 3 个成年人的重量。”经德齐说。

### “大步向前，绝不能退缩”

如今，在工厂车间，《中国科学报》记者看到，超细的白丝从有几个微孔的金属板上被均匀挤出，像下饅饅面一样，进入水里，经过漂洗、刷油后，被牵伸、卷绕；之后，白色丝束在自动化流水线上，逐渐由乳白色、金黄色、深褐色、棕黑色，一步步变成有轻金属质感的黑丝——T1000 级碳纤维。

“这条生产线上的关键装备已经完全国产化。”张寿春说，生产线采用我国自主研发的干喷湿纺技术路线，突破了大容量原液高效聚合、多纺位原丝织态控制、大通道碳丝稳定均一化等核心工艺。

接受采访时，张寿春笃定而自豪，但就在短短半年前，他们还是另一种截然不同的状态。那段时间，张寿春带着团队几乎把所有的时间都投在了生产线装配、调试上，他们焦虑、疲惫、紧张。

最紧张的一段时间是 2025 年 9 月。当时，生产线产出了合格的产品，但产品性能的稳定性还不够，于是，团队进入最为关键的稳定性攻坚阶段。张寿春和团队成员反复排查合成车间的每台设备。炭化车间热，纺丝车间冷，他们每天在近 50 摄氏度的炭化车间里闷出一身汗，又在冰冷的纺丝车间里冷得起鸡皮疙瘩，衣服湿了干、干了湿。

爬设备、查仪表、核数据，一个多月后，他们终于揪出了导致产品稳定性不够的“罪魁祸首”。整改完成后，碳纤维的性能稳定下来。2025 年 11 月，生产线正式投产。

完成这项大工程后，张寿春团队并不打算停下来。他们将目光瞄准了更高强度的 T1200、T1500 级碳纤维。“虽然艰辛，但新一代自主化技术研发要大步向前，绝不能退缩。”张寿春说。

## 以“自净城市”科技制高点为核心 为建设美丽中国贡献战略科技力量

■贺泓 郑华

党的二十届四中全会强调“加快经济社会发展全面绿色转型，建设美丽中国”，要求“牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，以碳达峰碳中和为牵引，协同推进降碳、减污、扩绿、增长”。作为国家战略科技力量的重要组成部分，中国科学院城市环境研究所（以下简称城市环境所）深刻认识，必须将学习贯彻党的二十届四中全会精神与落实中国科学院抢占科技制高点核心任务紧密结合，与城市环境所承担的重大攻关任务和长远发展布局深度融合，方能不负时代、不辱使命。

当前，我国城市发展正处于从外延扩张向内涵提升转型的关键时期，传统环境治理模式面临边际效益递减的困境，难以支撑“碳达峰”“碳中和”目标的实现。党的二十届四中全会提出的“协同推进降碳、减污、扩绿、增长”，迫切需要科技创新提供系统性解决方案。为此，城市环境所着力在服务国家绿色转型大局中找准定位、寻求突破，凝练并提出“自净城市”科技制高点，通过多介质协同治理、自然修复与人工强化自净结合等手段，系统性提升城市环境自净能力，为绿色低碳美丽城市建设提供新范式。

围绕这一目标，城市环境所大力推进科研组织模式改革。针对原有课题组规模偏小、研究方向分散等问题，城市环境所打破课题组壁垒，设置 5 个相互关联的研究中心，推动原有研究组重组为 15 个创新团队；在改革中坚持将顶层设计 with 基层创新相结合，鼓励科研人员主动寻求合作、积极建言献策，实现了从“物理合作”到“化学融合”的转变，形成了攻克关键核心问题的“大兵团”作战能力。通过优化创新体系，城市环境所有效提升了科研资源配置效率，促进了创新链条的顺畅衔接，为产出重大成果提供了坚实的组织保障。

目前，城市环境所承担的国家科技重大专项项目“京津冀典型城市生命体代谢过程与自净技术研发及示范”，直面区域资源环境矛盾，着力突破传统治理模式困境。项目紧扣党的二十届四中全会提出的“协同推进降

碳、减污、扩绿、增长”要求，以构建自净城市体系为目标，重点突破三大技术体系：一是城市代谢建模与污染源技术，通过构建高分辨率时空图谱，精准识别污染控制关键环节；二是多介质协同治理技术，研发大气污染物人工强化自净材料与装备；三是城市水体深度净化技术，开发生态强化集成方案。这些技术有力支撑从末端治理向全过程调控的转型。项目通过多场景示范应用，建立了环境-健康-经济多维度评估体系，形成减排与扩容协同方案，为区域绿色转型提供可复制的技术路径和工程示范，直接服务美丽中国建设与“双碳”战略实施。

面向“十五五”，城市环境所将以党的二十届四中全会精神为指引，深入贯彻落实中国科学院党组决策部署，以抢占“自净城市”科技制高点为核心，系统谋划未来发展。一是在科技布局方面，聚焦“自净城市”理论体系与技术方法，确立“城市代谢与健康”“城市自净关键技术”两大主攻方向，布局“城市环境多维智慧感知”“多介质污染协同控制”两大前沿方向，力争产出一批重大原创成果。二是在体制机制方面，深化科研组织模式改革，完善基于国家重大需求导向的科技评价与激励机制，强化“大兵团”作战协同创新，提升创新体系整体效能。三是在人才队伍方面，实施更加开放有效的人才政策，大力引育战略科学家与领军人才，打造高水平创新团队。四是在平台建设方面，加快推进城市环境大数据与智能决策平台、野外观测研究站等科研平台建设，夯实科技创新基础能力，为支撑美丽中国建设提供坚实保障。

通过学习贯彻党的二十届四中全会精神，城市环境所方向更明、信心更足、干劲更大。城市环境所将始终牢记，作为“国家队”“国家人”，必须心系“国家事”，肩扛“国家责”，以抢占“自净城市”科技制高点的实际行动，勇于探索，开拓创新，为加快建设科技强国、实现中华民族伟大复兴的中国梦，为建设人与自然和谐共生的美丽中国作出新的更大贡献！

（作者贺泓系中国科学院城市环境研究所所长，郑华系中国科学院城市环境研究所党委副书记、副所长）

### 学习贯彻党的二十届四中全会精神

## 科学家揭示 多发性硬化症发生新机制

本报讯（记者王敏）中国科学技术大学教授王剑课题组与瑞士苏黎世大学教授 Roland Martin 课题组合作，揭示了人群中常见病毒——爱泼斯坦-巴尔病毒（EBV）感染与多发性硬化症发生的关键联系，为理解多发性硬化症的发病机制提供了全新视角。1 月 14 日，相关成果在线发表于《细胞》。

多发性硬化症是一种免疫系统异常攻击中枢神经系统的慢性疾病，病因复杂，通常认为是遗传与环境因素共同作用的结果。

已有研究证明，除 EBV 等环境风险因素外，多发性硬化症还存在明确的遗传风险因素——人类白细胞抗原（HLA）-DR15 单体型。该单体型编码的抗原呈递分子可显著提高个体患病风险。

此次研究的核心突破在于，揭示了 EBV 感染和 HLA-DR15 单体型共同驱动多发性硬化症发生的一种

新机制。研究发现，EBV 感染会改变人体内 B 细胞的状态，使其异常产生原本不应出现的神经系蛋白片段——髓鞘碱性蛋白（MBP）多肽 MBP(78-90)和 MBP(83-90)。这些异常多肽能被 B 细胞表面的 HLA-DR15 分子呈递给 T 细胞，从而误导免疫系统攻击自身神经组织，最终导致多发性硬化症。

该研究阐明了一个关键机制：EBV 感染产生的异常 MBP 多肽好比“错误的钥匙”，而 HLA-DR15 单体型则犹如“易误开的锁”，二者结合即可触发异常的自身免疫反应，进而引发疾病。

这一成果不仅从分子层面解释了遗传与环境因素如何协同导致多发性硬化症，也为未来开发针对性的预防和治疗策略奠定了重要的科学基础。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.12.046>

## 南方和北方树木 对“寒冷”有不一样的定义

本报讯（记者崔雪芹 通讯员陈胜伟）浙江农林大学教授吴家胜、Heikki Hanninen 团队与瑞士苏黎世联邦理工学院研究员 Constantin M. Zohner 团队合作，结合大规模跨纬度试验与物候观测大数据，首次证实了树木休眠解除的有效积温阈值（Tupp）存在显著的纬度梯度差异，揭示香榧等南方树木 Tupp 显著高于北方树木，修正了物候学界长期沿用的“固定积冷范围”经典理论，为森林食物资源树木应对气候变化及生态适应型品种培育提供了关键理论依据。相关成果近日发表于美国《国家科学院院刊》。

休眠与解除是森林食物资源树木适应季节性气候、决定开花结实与产量的关键生物学过程。团队整合了覆盖中国 3000 公里纬度梯度的控制试验与全国 65 个树种的长期物候观测数据，系统解析了树木休眠解除有效低温的地理格局。研究发现，树木

并非遵循固定的温度阈值，而是进化出了适应当地气候的弹性机制——随着纬度的降低，树木解除休眠的 Tupp 显著升高。数据显示，纬度每降低 1 度，Tupp 平均增加约 0.27 ± 0.06 摄氏度。这意味着分布在亚热带温暖区域的树木，已进化出利用较高温度（大于 10 甚至高达 15 摄氏度）积累需冷量的能力。相比于寒冷地区的树木，南方树木拥有更宽的“温度感知窗口”，这种长期进化形成的适应策略，科学解释了香榧等南方经济林树木在暖冬年份仍能有效感知季节信号并正常解除休眠的现象。

研究成果在理论与实践层面均具有重要意义，既有助于更准确地预测气候变化情境下的林木生长与产量波动，也为挖掘森林食物资源潜力、提升产业气候韧性提供了坚实的科学支撑。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1073/pnas.2531077123>



图片来源：视觉中国

## 美削减儿童疫苗推荐种类，科学家普遍反对



本报讯 近日，美国疾病控制与预防中心（CDC）宣布将推荐接种的儿童疫苗从 17 种削减至 11 种。据《科学》报道，该机构给出的理由是，某些疫苗尚未经过“恰当的”安慰剂对照试验检验，这类试验被认为是提供医学证据的黄金标准。但此举遭到科学家普遍反对。

“有必要开展更多、更优质的科学研究，包括采用黄金标准的安慰剂对照随机试验。”一份 33 页的“科学评估”报

告如此写道。CDC 代理主任 Jim O’Neill 表示，这份报告是 CDC 作出相关决定的依据。

该报告由美国食品药品监督管理局（FDA）的流行病学家 Tracy Beth Hoeg 和美国卫生与公众服务部（HHS）的生物统计学家 Martin Kulldorf 联合撰写。报告认为，安全性或有效性证据不足，是修订甲型肝炎、流感及脑膜炎球菌病疫苗推荐建议的关键原因。

但众多科学家表示，上述说法并不准确。

“现在受到质疑的这些疫苗，均是依据严格的全球通用标准获批的。它们安全有效，拯救了无数生命。”疫苗顾问 Marion Gruber 说。她曾于 2011 年至

2021 年间领导 FDA 负责疫苗监管的部门。Gruber 表示，无需对这些疫苗重新开展测试，且新的安慰剂对照试验将引发严重伦理问题——这会令部分参与者暴露于患病风险之中。

若家长选择为孩子接种此前推荐的疫苗，那么相关费用仍可由保险和联邦政府项目覆盖。HHS 称，其目标仅为推动家长与医生作出更多“临床共同决策”，并扭转“公众对疫苗信任度显著下降”的局面。

该报告还要求对儿童疫苗接种方式进行测试。FDA 及其他监管机构已要求疫苗开发者开展研究，以评估多种疫苗同时接种可能产生的相互作用。但曾在美国默克疫苗公司工作 13 年的 John



CDC 将推荐接种的儿童疫苗从 17 种减至 11 种。图片来源：GABE SOUZA

Grabenstein 表示，设计安慰剂对照研究来评估儿童所用全部疫苗组合，是一个不切实际的要求。（李木子）