

全球首台零下绿色弹卡冷冻装置研制成功 不用制冷剂的“冰柜”来了！

■本报记者 朱汉斌

在全球气候变暖危机日益严峻，制冷需求持续攀升的当下，传统冷冻技术因其高能耗与高排放问题，成为可持续发展道路上的“绊脚石”。香港科技大学教授孙庆平团队成功研发出全球首台能够达到零摄氏度以下的绿色弹卡冷冻装置，实现了低至零下12摄氏度的制冷效果。相关研究成果日前发表于《自然》。

“这项突破标志着绿色弹卡冷冻技术的应用范围从室内空调制冷扩展至要求更严苛的全球冷冻业。”论文通讯作者孙庆平对《中国科学报》表示，该“冰柜”无需传统制冷剂的零排放创新技术，为冷冻业的绿色低碳转型提供了切实可行的“中国方案”，为全球应对气候变化贡献了科技力量。

直面冷冻业“脱碳”难题

据统计，全球氢氟烃类制冷剂的年排放量在2025年可能超过12亿吨二氧化碳当量，其中约27%来自零摄氏度以下的冷冻应用，冷冻业的“脱碳”需求迫在眉睫。

弹卡冷冻技术摒弃了传统气体制冷剂，利用镍钛形状记忆合金在受到循环应力时发生固态相变，吸收或释放大量潜热的特性来制冷，具备零直接排放与高能效潜力两大优势。然而，长期以来，该技术仅能应用于高于零摄氏度的空调温区。如何让其进入低于零摄氏度的冷冻市场，成为学术界与产业界亟待

攻克的难题。

论文第一作者、香港科技大学研究助理教授周国安介绍，团队的此次“破冰”体现在材料、传热流体及制冷结构的精心设计上。在材料选择方面，团队选用高镍含量的二元镍钛合金，并通过成分调控将奥氏体结束温度降至零下20.8摄氏度。这种合金在低至零下20摄氏度的环境里，依然能够展现出优异的超弹性及显著的相变潜热，有效工作温窗宽达48.5摄氏度，为制冷提供了强大的材料基础。

传热流体的选择同样至关重要。团队采用的传热物质与镍钛合金表面具有良好的湿润性，能够降低接触热阻，显著提升传热效率。

在制冷结构设计上，设备采用了压缩式主动回热布雷顿循环，回热器由8个管状镍钛合金单元级联构成，每个单元包含三个薄壁管结构。这种独特的设计扩大了传热面积与体积比，确保了制冷过程的稳定性和高效性。

基于这些创新，一台体积为0.25立方米的桌面型原理样机诞生了。测试结果显示，在1赫兹运行频率下，绿色弹卡冷冻装置成功实现了从约24摄氏度室温到零下12摄氏度冷源的跨越，首次突破零下大关。

跨越“三重”挑战

孙庆平指出，将弹卡冷冻技术推入零下，绝非易事。这是一次对材料科学、

热力学与机械工程极限的挑战。

首先是材料。传统形状记忆合金的相变温度较高，在零下环境会“失活”，丧失超弹性与潜热释放能力。如何在保证材料机械强度、抗疲劳寿命的前提下，通过原子尺度的成分设计，将其相变温度窗口大幅下移，是第一个需要翻越的“雪山”。孙庆平团队通过对镍钛合金配比的精准把握，成功找到了能在零下“起舞”的合金配方。

其次是热管理。在零下低温区，传热流体的选择变得异常苛刻。它必须兼具低凝固点、高流动性、高热容和高导热性，同时还要与合金材料“相处融洽”，不能腐蚀或产生过高热阻。普通水或乙二醇溶液已无法满足要求。为此，孙庆平团队选择氯化钙水溶液，体现了他们在传热介质领域的巧妙构思。

最后是结构与系统集成。弹卡制冷依赖于对合金材料施加循环的机械应力。在低温、高湿的严苛工况下，如何设计一种机械结构，既能将应力均匀、高效地传递给每一个合金单元，使其相变潜热利用最大化，又要确保结构自身在长期循环载荷下不变形、不疲劳，这对机械设计与制造工艺提出了极高要求。团队开发的级联式薄壁管结构及其高达900兆帕的均匀承压能力，正是攻克此关的钥匙。

据介绍，在户外实测中，绿色弹卡冷冻装置产生的低温流体成功将一个小型隔热腔室的空气温度在60分钟内

稳定在零下4摄氏度，并在两小时内将20毫升水完全冻结成冰，证明了其高效冷冻能力。

有望重塑冷冻业格局

“我们正积极推动技术的商业化。”为实现这一目标，孙庆平团队将借助形状记忆合金材料、制造工艺、热力学设计及系统工程技术的不断进步，优化弹卡冷冻系统的效率、功率密度和成本竞争力。通过持续研发和创新，团队希望能够实现更大的冷冻功率、更高的效能，使这项技术更好地满足市场需求。

记者了解到，绿色弹卡冷冻装置的成功研制从原理上验证了零排放冷冻技术的可行性，为全球淘汰高GWP（全球变暖潜值）制冷剂提供了极具竞争力的技术备选方案。据团队估算，该技术一旦在全球冷冻领域获得广泛应用，每年有望减少约3.3亿吨二氧化碳当量的温室气体排放，成为实现全球气候目标的重要力量。

“随着全球对氢氟碳化物的管控日趋严格，这项零排放、低耗能的弹卡冷冻技术有望从根本上重塑冷冻业的格局。”孙庆平认为，该研究成果预示着人类在获取低温的征途上，找到了一条与地球生态和谐共生的新路。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09946-4>

“明年春天，我们再扩大500亩种植规模。”2025年12月，在新疆伊犁州奎屯，新疆思仲公司总经理乔斌望着一人高的杜仲树林，满怀期待地对随行人员说。

2016年，在西北农林科技大学（以下简称西农）教授苏印泉和博士生朱铭强的指导下，该公司在新疆奎屯承包了200亩戈壁荒地，尝试种植当地罕见的杜仲树。如今，杜仲树已成林，每亩每年收入超过3000元，不仅改善了盐碱地，还为20多位村民提供了就业机会。

杜仲是中国特有的经济树种，其树皮、树叶可入药，还能提取橡胶。传统上，其种植主要分布于陕西、四川等地，即北纬25°至35°是杜仲的适生区，要将杜仲树的种植推至北纬44°的奎屯并不容易。这项跨越9个纬度的突破，凝聚着三代西农人的心血。

从“砍一棵树”到“收一片林”

20世纪50年代起，临床研究证实杜仲提取物对高血压具有持久安全的降压作用，国内外需求旺盛，砍树剥皮成风。至七八十年代，野生杜仲遭到严重破坏，资源濒临枯竭。

“绝不能让这一宝贵资源在我们手中耗尽。”1982年，43岁的讲师张康健在西农的支持下创建杜仲研究团队，着力解决种子和种苗短缺的难题，从源头上确保杜仲资源的可持续利用。

此后，张康健带领苏印泉、王蓝、马希汉等师生以陕西省汉中市略阳县为基地，以杜仲活性成分的含量为导向，从贵州、四川、湖南、陕西等全国主产区遴选了50余个优质种质资源，开展系统性的繁殖与优选。

杜仲为雌雄异株，生长周期长，优良种质多散生于深山老林。张康健和团队师生们自制工具，从石缝中夹取杜仲落叶进行研究。历经20年努力，团队选育的“秦仲1号”杜仲良种于2003年通过省级审定，填补了国内无高药型、高胶型杜仲品种的空白，开创了木本药用植物良种选育的先河。

此后，张康健带领团队在育种领域持续深耕，相继选育出秦仲2、3、4号良种，为杜仲的大面积推广奠定了坚实基础。同时，他们开发的杜仲籽油产品获得了国家新食品原料认证，这一成果开启了人类食用杜仲籽油的历程。

而随着国家对杜仲资源保护力度的加大，药用及胶用取材从树皮转向树叶。如何获取更多、更优质的树叶，成为产业发展的新课题。

“改乔化为矮化来发展叶林，不是简单的截干促枝。”苏印泉接续破题。通过大量细致的对比试验，苏印泉与课题组师生最终确定了杜仲叶林栽培模式：一棵杜仲树上丛生6个枝条，每个枝条长到3到4米高时，所产叶片质量最佳、产量最高，一亩杜仲林通常可产干叶1.5吨。

这种栽培新模式，使杜仲利用从“砍一棵树”变为“收一片林”。在此基础上，苏印泉又联合国内相关专家推动杜仲树叶正式列入国家药典，为杜仲资源保护与产业可持续发展展开创新路径。

张康健被业内公认为“中国杜仲研究奠基人之一”，而苏印泉获得了石油与化学品协会杜仲科研联盟的“终身成就奖”。

从“只售一张皮”到“全身当宝卖”

随着国内杜仲种植规模的扩大，以及社会对其在医药、新材料领域高价值认识的提升，一个新的问题随之出现：如何科学地将全身是宝的杜仲“吃干榨尽”？

“要做到物尽其用，就要从深层次做文章。”西农化学与药学院教授高锦明接过前辈的接力棒，带领团队从2000年开始进行跨界探索，破译杜仲作为“绿色黄金”的密码。

“杜仲叶片是提取绿原酸和黄酮的宝库，杜仲树皮是汲取杜仲胶和特定苷类的首选。”高锦明带领团队利用高效液相色谱等技术，建立了杜仲不同部位的化学成分指纹图，为杜仲的科学开发绘制了一份简明的“资源图谱”。

“杜仲雄花采摘有门道。”略阳县锦绣农业公司总经理高锦明谈到杜仲雄花加工，常喜欢卖个“关子”。他所说的“门道”是指西农生命科学学

一棵杜仲树 三代追梦人

■本报记者 李媛 通讯员 靳军

院教授董娟娥团队的科研成果：花蕾期和盛花期是杜仲雄花最佳采摘期，这个时期的雄花在有效成分含量和形态上达到最佳平衡，能确保原料的优质与稳定。而这个门道早已成为整个略阳县雄花产业所遵循的“法则”。

“现在看来，传统的开发真是盲目低效。”高锦明深有感触。他所在的公司早期主要采剥杜仲皮进行售卖，产业结构单一。在西农杜仲团队等科研力量的理论指导下，公司的加工利用思路发生了根本性转变，仅2023年就实现产值1800万元，销售收入1262万元。

在西农专家团队的科技支持下，略阳县改变了过去“只售一张皮”的粗放模式，转向对杜仲叶、花、籽、皮进行“全身当宝卖”的综合开发。目前，略阳县以60万亩的面积居全国杜仲种植第一大县，县里专门成立了杜仲产业发展研究院，引进高科技企业开展生物基杜仲胶新材料在航空、医疗器械等领域的应用，已发展出涵盖杜仲胶、药、食、饲等领域的全产业链，年产值超过1.2亿元。

“杜仲产业正朝阳”

2025年11月，由已是西农教授的朱铭强团队完成的“橡胶优先”分步提取技术，使杜仲橡胶初选提取能耗降低约24%，溶剂消耗减少超过60%，同时所得杜仲胶纯度达到工业应用标准。

“杜仲胶初选一直是杜仲产业快速发展的瓶颈。”朱铭强介绍，我国天然橡胶自给率长期偏低，严重依赖进口。而杜仲胶被誉为最具潜力的第二大胶源，创新增改传统提取技术意义重大。

作为一名“85后”科研工作者，朱铭强从2009年便师从苏印泉专攻杜仲研究。留校工作后，朱铭强正式接过三代前辈的接力棒，带领团队进行杜仲产业全链条技术创新。

“他们的成果为公司抢占新材料领域高点奠定了坚实的技术基础。”陕西中胶公司负责人王黎明介绍，朱铭强团队的多项成果在其公司落地，其中运用“杜仲胶乳回填包覆”技术制备的电磁屏蔽复合材料，在特定频段表现出优异的电磁屏蔽效能和极低的反射率，标志着杜仲胶高值化应用实现了从理论到产业的关键一跃。

“杜仲产业正朝阳。”朱铭强说，目前全国杜仲种植面积约500万亩，到2030年国家计划建成5000万亩杜仲良种高效栽培产业基地，“仅新疆就将新增杜仲种植面积500万亩”。

2025年3月，朱铭强团队与北京化工大学等单位联合，重组建设杜仲国家林业和草原局重点实验室，还聘请国内优秀的杜仲研究专家作为实验室学术委员会核心成员。

“杜仲产业化是一场全国智慧的接力赛。”朱铭强说，希望以这个重点实验室为平台，建立全国协同的杜仲科研联盟，实现从种质挖掘到高值产品研发的全链条技术覆盖，推动关键技术在不同生态区适配推广。



朱铭强(右一)带领团队成员在新疆杜仲基地采集样品。

全球首个耐火材料垂直领域大模型“祝融”上线

本报讯(记者李思辉 通讯员陈抒川)近日，记者从中核集团中国原子能科学研究院(以下简称原子能院)获悉，由中核集团自主研发的多型国产海洋生物地球化学原位传感器完成多平台、多场景深海应用验证，实现了我国在该领域从“跟跑”向“并跑、部分领跑”的关键跨越，打破了长期以来对进口设备的依赖。

针对复杂海洋环境下海洋生物地球化学参数准确测量这一核心难题，吴国俊团队联合多家单位，突破了环境因素干扰机理及校正、传感器漂移及自校准、多波段激发分类测量及多组分混叠光谱解析等关键技术，为多要素协同观测提供了国产技术方案。

围绕海洋生物地球化学要素自动观测与连续观测的核心应用需求，团队自主研制的多型海洋生物地球化学传感器搭载国产“海燕”系列水下滑翔机、国产“HM 2000”系列Argo(实时地转海洋学阵列)浮标开展试验。

试验实现了国际首次基于水下滑翔机平台的海洋生物地球化学多参量、大深度、长时序剖面观测以及国内首次基于Argo平台的海洋生物地球化学多参量长期原位剖面观测，关键参数观测结果精度与国际主流产品基本持平。

据了解，该成果的取得为海洋碳循环、生态系统响应及全球变化研究提供了关键观测手段，能够为我国深海资源环境调查及海洋立体观测体系建设等关键任务提供有力支撑。

全球首个耐火材料垂直领域大模型“祝融”上线

本报讯(记者李思辉 通讯员陈抒川)近日，记者从中核集团中国原子能科学研究院(以下简称原子能院)获悉，由中核集团自主研发的多型国产海洋生物地球化学原位传感器完成多平台、多场景深海应用验证，实现了我国在该领域从“跟跑”向“并跑、部分领跑”的关键跨越，打破了长期以来对进口设备的依赖。

针对复杂海洋环境下海洋生物地球化学参数准确测量这一核心难题，吴国俊团队联合多家单位，突破了环境因素干扰机理及校正、传感器漂移及自校准、多波段激发分类测量及多组分混叠光谱解析等关键技术，为多要素协同观测提供了国产技术方案。

“祝融”是一个专精于耐火材料领域的人工智能(AI)大模型。它的诞生标志着这一传统高温工业打破了“经验壁垒”，向“AI+”时代迈出了关键一步。据介绍，“祝融”不仅能举一反三地补充细节，还能帮助用户快速厘清专业背景，减少了实验走弯路的可能，效率明显提升”。

谷城亿新材料科技副总经理范兵在试用后更看重“祝融”的进化潜力：“未来如果能连接企业知识库，它就能转型为企业专属的咨询伙伴，提升运营效能。”

针对企业最为关心的配方与数据泄露风险，研发团队采用了校内服务器“本地化部署”方案，确保全流程安全可控。

先进耐火材料全国重点实验室主任李亚伟表示：“目前的‘祝融’是一个博学的‘智囊’，下一步目标是让它变得更‘聪明’。未来团队将围绕耐火材料全生命周期，深化模型在实验设计、制备及评价环节的推理能力，推动行业从传统的‘经验试错’模式向‘科学数智研发’转型。”

本报讯(记者李晨)近日，“农工医”跨域协同、“空天地”保产提质合作暨首批试验示范基地启动仪式在华南农业大学举行。

现场，8家单位签署跨域合作协议，17项技术纳入首轮清单，16个试验示范基地同步授牌，标志着“空感+天虫+地盾”一体化协同模式从蓝图落地实践。

合作缘于一项科研突破。2025年10月，南方医科大学教授彭飞团队“熊蜂定向授粉技术”以封面论文形式刊发于《科学》，构建起人与昆

我国首台串列型高能氢离子注入机成功出束

本报讯(记者赵广立)近日，记者从中核集团中国原子能科学研究院(以下简称原子能院)获悉，由原子能院自主研制的我国首台串列型高能氢离子注入机(POWER-750H)成功出束，核心指标达到国际先进水平。

据了解，离子注入机与光刻机、刻蚀机、薄膜沉积设备并称为芯片制造

“四大核心装备”，是半导体制造不可或缺的“刚需”设备。长期以来，我国高能氢离子注入机完全依赖进口，其研发难度大、技术壁垒高，是制约我国战略性产业升级的瓶颈之一。

据介绍，此次高能氢离子注入机的成功研制，是核技术与半导体产业深度融合的重要成果，将有力提升我国在功率半导体等关键领域的自主保障能力。

难题，掌握了串列型高能氢离子注入机从底层原理到整机集成的正向设计能力，打破了国外企业在该领域的技术封锁和长期垄断。

据介绍，此次高能氢离子注入机的成功研制，是核技术与半导体产业深度融合的重要成果，将有力提升我国在功率半导体等关键领域的自主保障能力。

且快速降解”的特性，可从根源上针对致病基因，实现高效靶向编辑的同时追求更低的脱靶风险。

临床试验预计于2026年第二季度在美国的研究中心启动患者入组，并适时在国内开展相关研究。试验将采用单次角膜基质内注射，在TGFBI相关角膜基质内注射，TGFBI相关角膜营养不良患者中的安全性、耐受性及初步有效性。

虫天敌防治等多物种协同；“地面”强化新材料研发、声光电热磁技术融合与智能指挥系统集成，精准破解行业技术割裂、转化低效痛点。

“各合作单位都是行业标杆，此次跨域联合用‘数字纽带’将分散的‘珍珠’串成‘协同项链’，凝结成‘创新闭环’，拓宽了视野与舞台，实现‘1+1>2’的协同效应。”王兴民表示。

未来，该跨域平台将持续吸纳优质资源，推动协同“闭环”从“要素聚合”向“效能升级”扩容，让更多产业科技人员与农业经营主体受益。

基因编辑治疗新药获FDA新药临床试验批准

本报讯(见习记者江庆龄)近日，由复旦大学附属耳鼻喉科医院教授洪佳旭与周行涛团队自主研发并发起临床研究的遗传性角膜营养不良基因编辑治疗新药GEB-101，获得美国食品药品监督管理局(FDA)的新药临床试验批准。

该药物是全球首个针对TGFBI(转化生长因子β诱导蛋白)相关角膜营养不良的体内基因组编辑疗法，具有“即用</p