

# 翻越石墨烯产业化“三座大山”——搞产品研发的教授“被逼”制备原材料

■本报记者 李晨 实习生 李睿

对于中北大学材料科学与工程学院教授孙友谊而言,科研的路上没有什么“不可以”。

为了得到足量高品质石墨烯,做了14年下游产品研发的孙友谊可以亲自上阵,从头开始制备原材料;为了达到中试级别的量产,他可以自己动手搬生产设备,被“炸”得灰头土脸也无所谓;为了搞清楚自己这套方法背后的分子机制,他可以全球广撒“英雄帖”,寻找合作伙伴。

这期间,孙友谊没想过失败,最后他干成了。他带领团队开发出一种低成本、绿色环保、高产率、高品质石墨烯宏量制备方法。近日,这一成果在线发表于《自然-通讯》。对于中北大学这所中部高校来说,这是第二次以第一单位在《自然》子刊上发表论文。

## 结缘石墨烯

孙友谊与石墨烯结缘,可以追溯到14年前。

2010年,诺贝尔物理学奖授予了英国曼彻斯特大学的两位科学家,以表彰他们在石墨烯材料方面的卓越研究。这个由单层碳原子构成的二维材料,因其独特的物理和化学性能,被誉为21世纪最伟大的材料之一。

2011年,孙友谊正在北京大学做博士后研究。一位西班牙材料学家和孙友谊博士后期间的指导老师都提到,石墨烯研究将在科学界“粉墨登场”,备受瞩目,未来还将在产业界大有作为。当时国内科研团队跃跃欲试,纷纷投身石墨烯研究领域。

在指导老师的支持下,孙友谊与石墨烯从此结缘。

14年来,孙友谊主要从事石墨烯的产业化研究。石墨烯也确实从“象牙塔”的实验室里“火”到了各路网端,成为人们生活中的“黑科技”用品。然而,孙友谊要研发的是新技术领域中应用更前沿的产品,在从实验室迈向产业化的道路上他不断“遇冷”。

“制备是石墨烯产业化应用中难啃的‘硬骨头’之一。”孙友谊说。

孙友谊是在实际的产业链条中发现这一问题的。他的研究聚焦于功能复合材料,石墨烯是其研究体系中的重要



▲高浓度石墨烯浆料。  
▶科研人员正在做石墨烯提纯和加工。  
受访者供图

原材料之一。2014年,他发现,国内能实现石墨烯批量化生产的企业寥寥无几,产品品质达标的更是凤毛麟角。从市场上购得的石墨烯,无论是材料稳定性还是品质上,都无法满足他们的实验要求。

当时的制备方法要么成本过高,要么稳定性不足。传统化学方法通过强酸和强氧化剂制得氧化石墨,再利用超声波剥离得到氧化石墨烯,但此方法污染大、工艺复杂、周期长,批次生产稳定性也差;物理方法则依靠机械外力制备石墨烯,存在转化率低、生产效率不足等问题。

孙友谊说,企业生产的商用石墨烯品质难以满足实验室和应用场景的需求,而一些实验室制备的石墨烯虽然能满足开发新产品的需求,但产量极为有限,一次只能得到几克石墨烯,远远无法满足未来市场的大规模需求。

没有稳定的优质原料供应,石墨烯的产业化应用就是空中楼阁。面对这一困境,孙友谊决定自己动手,开发石墨烯制备的新方法。

## 自己动手获成功

从应用角度出发,石墨烯的制备面临着“平衡”的难题。

除了石墨烯本身的品质,生产制备还需要考虑工艺的可操作性、价格成本因素,以及方法是否环保等问题。现有的制备方法难以解决石墨烯各方面因素的平衡问题。

这意味着孙友谊团队不得不探索一种全新的制备方法,但这一过程既缺

乏直接的理论指导,也缺少可复制的实验流程和相应的设备仪器。

不过,孙友谊和他的团队没少“折腾”。起初,论文作者、孙友谊的学生方法制备石墨烯——利用大量气泡一点点分离石墨烯。

孙友谊很兴奋,因为这种方法非常新颖,也确实从气泡中分离出一些物质。但他们最终发现,使用这个方法分离出来的并不是石墨烯,而是类化的石墨物质。

虽然尝试并未完全成功,但“可乐法”为团队后续的实验方向提供了新思路,也让他们有了成功的信心。受此启发,孙友谊团队研制出一种气泡辅助—机械液相剥离法的制备方法。他们把胶体的化学体积排斥作用与二维纳米材料的剥离方法巧妙结合起来,弥补了传统机械方法和化学方法的不足。

新方法有了,为了达到量产目标,还缺少与之匹配的制备设备。

市面上买不到现成设备,孙友谊团队只能自己动手造。起初,他们自行设计的装置在设备控制和实验剂量把控上难度较大,装置的可控性也不理想。新设备第一次启动,孙友谊没指望能一次成功,却也没料到在实验中,大量气体挟带着黑色粉末凝胶猛地从排压孔喷涌而出,弄得他和学生们满身都是,一个个“灰头土脸”。

“虽然学生们一点怨言也没有,可我还是有点担心,这些粉末胶体看似没有危险性,但实验安全不容小觑。”此后,每次进行设备实验,孙友谊都要在现场。经过一次次调试,这种蓬头垢面的情况终于杜绝了。团队最终探索出完

整的制备流程,不仅产率高于94%,年产量也达到吨级,接近于工业化量产水平,还兼具低成本、绿色环保和高品质等特点。

## 翻越“三座大山”

实验成功后,孙友谊又迎来新的挑战。

在论文通讯作者、澳大利亚墨尔本大学教授李丹的启发下,他意识到,想让实验结果成为一项严谨的科研成果,还需要补充详细的机理阐释和有利的证明。然而,实验中的某些结果很难仅用实验现象来解释和论证:“在实验过程中,浓硫酸和碳酸氢钠没有发生反应。但从理论角度说,这一过程是应该发生反应的。如果相关原理解释不清楚,我们的制备方法就难以在学术界获得认可。”

同时,实验的微观机理也需要计算机技术的辅助证明。但是,计算实验是孙友谊团队不擅长的领域。

为了攻克这一难题,孙友谊想尽了各种办法。他先向国内相关领域专家一一求助,但收获甚微。

孙友谊与相关领域的国际专家联络并不多,无奈之下,他只能采用一种“笨办法”:在Web of Science等全球科研网站上,一一搜索相关研究,一篇篇浏览,寻找可以借鉴的思路和相关学者的联系方式,再逐一发送邮件咨询。

十几封邮件石沉大海之后,孙友谊终于盼来了好消息。韩国东亚大学教授Heon Sang Lee表示愿意参与这项研究。几封邮件往来后,双方确定了合作关系。

在Lee的帮助下,他们完成了该制备方法的计算机模拟展示,揭示了其原理和机制,为翻越石墨烯绿色量产制备这座“大山”奠定了基础。

“石墨烯的产业化面临着制备、分散和应用‘三座大山’。”孙友谊希望自己的研究可以抛砖引玉,推动学术界以产业问题为导向,开展更多相关研究。石墨烯的产业化道路还很长,啃下制备这块“硬骨头”只是第一步,他还会继续努力翻越石墨烯产业化过程中的“大山”。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-55131-y>

## 集装箱

### 我国自主研制出真空系统“守护者”

本报讯(记者倪思洁)记者从中国科学院高能物理研究所(以下简称高能所)获悉,近日,在环形正负电子对撞机(CEPC)需求的牵引下,我国自主研制的全金属闸板阀通过鉴定验收。专家组认为,全金属闸板阀符合设计要求,满足超高真空应用需求。

全金属闸板阀是加速器真空系统必不可少的真空设备。它就像真空系统的“守护者”,用于把加速器束流管道分成多个区段,便于每个区段进行独立的抽真空、检漏、烘烤和维护。当某个区段真空度升高时,全金属闸板阀可以通过连锁保护系统自动关闭,避免其他真空区段压强上升。同时,全金属闸板阀在半导体行业也有较大的使用需求。

目前,国际上只有瑞士的一家公司可以生产供应全金属闸板阀,世界上所有的加速器几乎都要用该公司的产

品,而大科学装置的建设以及检修过程中需要使用大量的全金属闸板阀。

中国科学院院士、高能所研究员王贻芳介绍,高能所和上海真空阀门制造有限公司联合攻关,耗时近6年终于研制出全金属闸板阀,从此打破国外垄断。

此次研制的全金属闸板阀包括两种类型——CCQ63A和CCQ160B。其中,CCQ63A没有设置射频频屏蔽结构,而CCQ160B设置有射频频屏蔽结构。测试结果显示,在真空漏率小于1E-10mbar/L/s的要求下,CCQ63A全金属闸板阀超高真空密封寿命达到5862次,CCQ160B全金属闸板阀超高真空密封寿命达到2695次。而“小于1E-10mbar/L/s”意味着全金属闸板阀能够保证真空系统实现超高真空密封。

### 医疗器械产业技术研究院在深圳成立

本报讯(记者刁雯雯)2月22日,深圳理工大学与国家高性能医疗器械创新中心(以下简称国创中心)共同建设的医疗器械产业技术研究院(以下简称医疗器械研究院)正式揭牌成立。

据介绍,医疗器械研究院是深圳理工大学生物医学工程领域应用基础研究及关键技术研究的主体。深圳理工大学此前已经成立了细胞与基因技术研究院、未来农业研究院、高等教育研究院,未来还将建设人工智能研究院、智能机器人研究院等一批新型研究院,实施建制化、有组织科研,推动科学研究和技术创新,培养满足新质生产力发展需要的拔尖创新人才。

深圳理工大学校长樊建平希望医疗器械研究院能够成为本科生的实习平台和研究生的培养主阵地,同时也成为深圳理工大学接触医疗器械企业的重要窗口、学校科技成果转化应用的关键通道。

中国科学院院士、国创中心主任、南京农业大学副校长郑海荣指出,未来,医疗器械研究院将在成像诊断技术、人工智能医疗器械、功能医学材料等关键领域发力,以实际问题为导向,助力拔尖创新人才培养。

活动现场,深圳理工大学校长助理杨帆与国创中心董事长刘新签署共同建设医疗器械研究院合作框架协议,双方将在教育、科技、产业、人才等方面深入合作。

### 鸿星未来技术实验室在武汉揭牌

本报讯(记者李思辉 通讯员郝丽)2月23日,华中师范大学与攀升鼎承科技有限公司共建的鸿星未来技术实验室揭牌仪式暨未来技术研讨会在武汉举行。鸿星未来技术实验室将聚焦高性能计算与先进探测、开源嵌入式鸿蒙系统、星闪无线短距通信及大模型人工智能终端四大研究方向,通过承担国家级与地方科技创新课题,推进科技教育融合改革,旨在为超算技术国产化、星闪通信、鸿蒙生态等战略性新兴产业提供关键技术支撑与复合型人才培养。

华中师范大学党委书记夏立新表示,鸿星未来技术实验室依托学校物

理学科优势,进一步落实国家科教兴国战略、深化校地合作。未来,学校将继续立足江城大地,深耕黄陂沃土,为推动我国信息技术领域人才自主培养、科技自立自强、技术自主可控,贡献更多的智慧和力量。

中国科学院院士、复旦大学教授马余刚对实验室的成立给予高度评价,认为此举标志着华中师范大学在服务国家信息技术自主创新领域迈出关键一步。未来,实验室将聚焦“产学研用”协同发展,助力超算国产化、鸿蒙生态等战略性新兴产业攻克“卡脖子”难题,为武汉建设科技创新中心提供智力支撑。

### 全国首个家庭农场联合体在长沙启动

本报讯(记者王昊昊 通讯员梁娅)近日,湖南长沙绿野生物科技有限公司(以下简称绿野生物)与国家生猪产业技术创新战略联盟“家庭农场技术指导中心”在长沙宣布启动全国首个家庭农场联合体。

当天,《5A家庭农场建设十年行动纲领》正式发布,提出将构建“五位一体”标准化体系,即从健康养殖、生态养殖、环保养殖、福利养殖、智慧养殖五大维度制定家庭农场建设技术规范。根据规划,2025年至2035年,将由绿野生物牵头,国家生猪产业技术创新战略联盟链接赋能,联合产业链上下游企业,在全国培育5万至10万个5A标准化养殖型家庭农场。

“当前我国规模化生猪养殖占比已超65%,而家庭农场占比低于35%;家庭农场是国家鼓励发展的适度规模

经营主体,加上农户散养,其合理占比应为40%至50%。”中国工程院院士、中国科学院亚热带农业生态研究所首席研究员冯玉龙表示,鼓励发展家庭农场应从建立技术规范标准入手,通过政策支持、产业帮扶、肉品赋能,既能助推科学养殖新理念、新技术、新产品应用于家庭农场,又能加快肉品安全体系构建,生产消费者喜欢的地方高品质猪肉,以长效机制保障农民收入持续增长。

湖南农业大学教授刘进辉表示,创建家庭农场联合体有多重破题意义,比如产业层面,将通过科技龙头企业牵头、产业平台链接赋能,家庭农场广泛参与的创新模式,解决中小型家庭农场建设水平参差不齐和无规范、无标准之弊端,创新性构建起科技服务“三农”、标准规范产业的良性发展局面。

## 按图索技

# 棉花秸秆有望成为新的饲料蛋白来源

本报讯 中国农业科学院棉花研究所研究员李付广团队成功将棉花秸秆转化为微生物蛋白,为棉花秸秆高值化利用和饲料蛋白资源开发提供了新路径。近日,相关成果发表于《生物资源技术》。

统计数据显示,2023年,我国饲料用量占粮食消耗的53%,饲用蛋白资源短缺,大豆进口依赖度超80%,畜牧业的可持续发展受到严重制约。将丰富的农业秸秆资源转化为饲用蛋白饲料是解决上述问题的可行途径。棉花在我国常年种植面积4500万亩,2024年我国棉花秸秆产生量约为3000万吨。目前,棉花秸秆主要的处理方式仍为还田和焚烧,造成了资源浪费。

研究发现,与其他禾本科农作物秸秆相比,棉花秸秆具有木质化特性,其转化利用更为困难。通过生物合成与生物转化技术,将难以处理的棉花秸秆转化为微生物蛋白,不仅可以为畜牧业提供充足的蛋白饲料,而且

将有力推动棉花产业的可持续发展。

棉花秸秆主要由纤维素、半纤维素和木质素组成,纤维素和半纤维素约占65%~85%。纤维素和半纤维素经水解后产生葡萄糖和木糖,两者可被微生物转化为多种高附加值产物。然而,自然界中多数微生物可以利用葡萄糖,但是可以有效利用木糖的微生物较少。筛选可同时高效利用葡萄糖和木糖的微生物是秸秆水解液高效转化的关键之一。

李付广团队的研究首先解析了棉花秸秆不同部位木质纤维素的基本特征,进而评估这些部位作为木质纤维素原料的潜力,为棉花秸秆的原料化利用奠定了理论基础。研究通过进一步筛选多种微生物,获得了能够高效利用葡萄糖和木糖合成蛋白质的微生物底盘细胞,通过发酵技术将棉花秸秆水解液转化为微生物蛋白,蛋白质含量达到70%。

该蛋白氨基酸含量丰富,最高产量为5.74克/升,糖转化率达到23%。



▲以棉花秸秆原料生产的微生物颗粒和刨花板。  
▲新疆昌吉棉田。  
受访者供图

通过物料平衡计算得出,1吨棉花秸秆可产生约84公斤蛋白和36公斤碳水化合物。理论上,按照此工艺我国每年的棉花秸秆可以产生约250万吨蛋白和100万吨碳水化合物。剩余的秸秆残留物主要为木质素,可进一步

转化为腐殖酸和化肥缓释剂等,以实现棉花秸秆的全组分利用,提升棉花秸秆转化的整体经济性。(李晨)

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131797>

## 中国工程院院士刘良:

# 人工智能可缓解中医人才短缺问题

■本报记者 朱汉斌

“中医药是我国具有原创优势的医疗与科技资源,开拓中医人工智能应用场景非常必要。在人工智能方面,我国中医药领域具有临床数据多、算力强大、算法创新等显著的国际竞争优势。”近日,中国工程院院士、中医药广东省实验室主任刘良在广东院士联合会召开的学习贯彻2025全省高质量发展大会精神座谈会上说。

近期,中国人工智能企业深度求索(DeepSeek)的技术突破引发全球关注,正在重塑人工智能发展范式。中医药广东省实验室自2023年底揭牌以来,基于千亿级中西医知识库和临床诊疗数据集,成功构建垂直领域大模型。

“我们近期将全面接入DeepSeek,

即将发布横琴大模型2.0版。”刘良表示,下一步,他们将建立专病数据库及知识库等私域数据库,对数据库在本地化部署的DeepSeek进行训练。通过知识蒸馏技术将大模型能力迁移至轻量化小模型,然后将小模型应用于数智诊疗,提高医生诊疗的速率、效率及能力。DeepSeek强大的推理能力适用于中医智能辅助诊疗系统,可以帮助医生快速且精准地进行辅助诊疗。

刘良表示,人工智能可以助推优质中医医疗下基层,助力建设广东省“百万工程”。接入DeepSeek的好处是大模型转为小模型,如果都是大模型,需承担高昂的算力成本。将中医传统诊疗经验转化为可共享的数字化资源,有助

于提升基层医疗机构的服务能力,使基层医生也能借助智能系统开出凝聚知名老中医智慧的“好处方”。这种技术转化不仅降低了使用成本,更重要的是缓解了中医人才短缺问题。

在他看来,人工智能是中医药现代化的利器。当大模型获取足够多的数据,针对特定疾病足够“垂直”时,大量新知识也会“自动”从模型中涌现。换言之,“喂”进去的数据都会变成人工智能“生长”的营养,经过训练后的大模型会更加聪明。他认为,整合多学科先进技术是实现中医药现代化的关键。中医药是一套复杂的科学体系,尽管有较好的临床实践和疗效评价,但部分仍依赖于临床观察和经验总结,缺乏高级循证

## 医学证据的支撑。

“比如中医脉诊,在柔性传感器的加持下,脉诊信息也能实现图像化,当累积到一定数据时,就能对人群的规律进行归纳与总结。未来,大模型有望形成一套涵盖疾病预防、诊断、治疗、药物选择、追踪等完整技术链条的系统,为临床医生提供一套科学诊疗建议。”刘良说。

据介绍,中医药广东省实验室筹备不到两年,目前第一期已启用,二期正在加快建设,预计面积将扩大到6万平方米。一方面,该实验室正在与澳门大学、澳门科技大学展开合作,探索横琴和澳门科技人才的共享共聘机制;另一方面,实验室将在澳门开设分中心,携手更多国际化、多学科背景人才参与中医药现代化研究。

刘良表示,中医药新药研发与产业转化是中医药广东省实验室的发力点。如今,实验室已打造全球首个“一站式、无人化”中医药创制平台,从中药化学成分分离提取到药物活性测试,均可实现全流程智能化、自动化、数字化、工程化,大幅提高了研发效率。

## 瑞智病理大模型 RuiPath 为临床诊断精准导航

本报讯(见习记者江庆龄)日前,在上海交通大学医学院附属瑞金医院(以下简称瑞金医院)举行的2025医疗人工智能与精准诊疗发展论坛上,瑞金医院携手华为共同发布瑞智病理大模型 RuiPath。

瑞金医院从2021年开始建设数字化智慧病理科,2023年发布中国首个《数字化智慧病理科建设白皮书》,医院病理科已构建了百万级数字病理切片库。

据了解,基于瑞金医院丰富的病种和高质量的医疗数据,瑞智病理大模型 RuiPath 覆盖了中国每年全癌种发病人数90%的常见癌种,同时涵盖垂体神经内分泌肿瘤等罕见病。此外,医生可以和 RuiPath 开展交互式病理诊断对话。

“RuiPath 能够提前精准识别病灶区域,单切片人工智能诊断时间仅需数秒。这使得医生的工作模式从在镜下逐个寻找病灶,转变为以互动方式

审核人工智能诊断结果,从‘逐片诊断’模式升级为‘逐步审核’模式,显著提高了诊断效率与质量。”瑞金医院病理科主任王朝夫指出。

在 RuiPath 的知识深度层面,以亚专科病理医生为例,其在前10年的学习历程中,至少需研读50本相关专业书籍,学习诊断50万张病理切片。而 RuiPath 在两个月的研发进程里,“研读”了300余本病理诊断书籍,“阅览”了100万张数字切片。

“瑞智病理大模型 RuiPath 是基于瑞金医院数字化智慧病理科的全业务流程开发的临床级国产多模态交互式病理大模型,数字化和人工智能助力医院实现多模态融合。”中国工程院院士、瑞金医院院长宁光表示,“在不远的未来,医学场景与数字化设备的融合,将产生更多具备人文观点和情怀的医疗新技术,实现多模态融合技术在医学领域的广泛应用。”