

服务国家战略

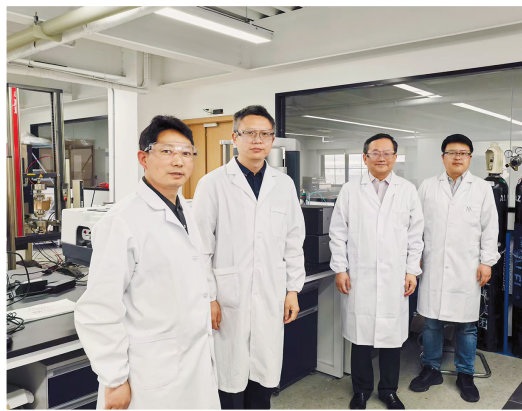
深耕前沿领域

开创中国方案

破垄断破认知破天际 上海科创再攀高峰



► 新一代运载火箭表面特种防护涂层技术已成功应用于多个型号运载火箭



▲ 团队部分成员实验室合影(右二：朱新远教授,左二:张崇印博士)

科技进步奖特等奖

“新一代运载火箭表面特种防护涂层技术与应用”

在探索浩瀚宇宙的征途上，新一代运载火箭使命艰巨。火箭周身穿什么“铠甲”——表面防护材料，至关重要。因为，它既要承受500℃以上高温气流的猛烈冲击，又要经受-183℃极端低温的考验。今天上午颁发的2024年度上海市科技进步奖特等奖——上海交通大学朱新远教授领衔航天团队完成的“新一代运载火箭表面特种防护涂层技术与应用”项目，为我国新一代运载火箭打造坚不可摧的“防护铠甲”，能同时经得起极热极寒的“冰火两重天”。该项目在国际上首次提出并成功实践了“超支化聚合物涂层一体化防护”的全新路线，彻底颠覆传统隔热片拼接技术，开创了具有国际引领性的“中国方案”，为长征系列等新一代运载火箭的研制与批量生产，提供了坚实可靠的支撑。

勇闯航天材料“无人区”

披覆在火箭表面的防护层，是守护火箭安全升空的关键“屏障”，它要彻底保护好卫星整流罩

不怕高温极寒 运载火箭的“中国铠甲”

和低温燃料贮箱这两大“要塞”。卫星整流罩位于火箭最前端，当火箭高速穿越稠密大气时，表面温度瞬间飙升至500℃以上。如此高温下，构成火箭主体的铝合金和复合材料的强度会急剧下降，舱内精密的仪器设备也会因高温“罢工”。国内外普遍采用手工粘贴隔热软木片的方案，这种方案工艺繁琐、效率较低，质量难以精确控制，且软木片极易吸湿“鼓包”“脱粘”，返修率极高。而低温燃料贮箱里，是新一代火箭采用的液氧等超低温燃料。燃料加注后，贮箱壁温度骤降至-183℃。传统贮箱采用的多层包覆防护技术不仅重量大、结构复杂，同样面临易脱粘分层的困境。为了克服上述问题，新型号火箭设计中取消了绝热层，尝试将防护涂层直接喷涂在冰冷的金属舱壁上。但普通防护涂层在如此极寒下会变得脆如薄冰，极易开裂、剥落失效，丧失保护作用。

“冰火交织”的严峻挑战如“达摩克利斯之剑”，严重威胁着火箭和卫星的安全。然而，颠覆性转折在上海交通大学校园里悄然孕育。上海交通大学朱新远教授团队，长期深耕于聚合物合成的科学前沿。该团队由我国著名高分子化学家颜德岳院士奠基，如今颜院士仍担任团队顾问。早在2009年，朱新远教授团队就取得了一项重要突破——发明了杂化聚合制备超支化聚合物的新方法，但当时苦于没有具体的工程需求牵引。“平行世界”里，张崇印博士2013年从上海交大毕业后，加入我国运载火箭两大总装基地之一的上海航天设备制造总厂有限公司，2015年开始负责上海航天设备制造总厂有限公司新一代火箭高分子防护材料的研制工作，急需破解整流罩和贮箱的防护难题。

师生情缘与国家使命共振，双方迅速联合上海宇航系统工程研究所等航天核心单位，组建了一支产学研用深度融合的攻关团队，聚焦前沿的超支化聚合物技术应用于解决火箭防护难题。在上海市科委的推动下，2018年，上海航天特种环境高分子功能材料工程技术研究中心正式获得批复。中心汇聚了高分子功能材料领域的顶尖智慧，形成“基础研究源头创新-核心技术攻关-工程化应用”的完整闭环创新链条。在这个体系中，上海交通大学潜心基础技术研究和新材料开发；上海宇航系统工程研究所聚焦航天器的热环境分析、仿真与地面试车验证；而上海航天设备制造总厂有限公司则肩负着将防护材料从实验室配方转化为可靠产品的重任，攻克工程化应用的“最后一公里”。

神奇涂层防护火箭表面

面对新一代火箭表面防护的“冰火两极”，团队提出了一个极具颠覆性的构想：抛弃传统的“拼拼补补”，采用一体成型的防护涂层！这种方案只需一次喷涂即可成型，彻底消除拼缝隐患，

自然科学奖一等奖

“高分子液晶致动材料”

如同会魔法的变形精灵，高分子液晶能在光线下整齐排列、灵敏“起舞”，还能被精准操控，神奇“取水”。架起材料微观结构与宏观性能之间的桥梁，复旦大学智能材料与未来能源创新学院的俞燕蕾教授率领团队历时数十年研究，从分子结构源头破局，实现从分子设计到器件构建的全方位创新，创制具有优异形变性能和强大致动能力的高分子液晶致动材料。这项研究成果重新定义了智能材料的未来图景，为软体机器人和智能医疗提供了创新方案，获得2024年度上海市自然科学奖一等奖。

灵敏、会动、有韧性的新材料

在自然界中，章鱼触手柔软如绸缎亦能瞬间收紧完成精准抓握，这样的致动能力也是科学家

努力的方向——创制既有高分子材料的柔韧可塑性，又具有液晶分子对外界刺激的灵敏响应，能够响应外界刺激的智能软材料。俞燕蕾教授创新性地设计出基元有序排列的高分子液晶材料，突破了传统高分子液晶致动材料内部分子排列松散、需通过化学交联固定结构、无法兼容通用高分子加工方法的瓶颈。

新材料拥有堪比天然蜘蛛丝的力学性能，而且还可制成纤维、薄膜甚至复杂三维结构；遇光刺激时，分子整齐运动，能够带动整个材料收缩、弯曲。这项研究登上《自然》杂志，引发了全球科学家的广泛关注。

开启引领前沿研究热潮

传统高分子液晶致动材料受限于分子结构

理论上能大幅提升可靠性，显著缩短生产周期。实践发现，要打造满足火箭严苛要求的“防护铠甲”，难度超乎想象！这种涂层必须“粘得牢”（与金属/复合材料基体结合力超强）、“耐极温”（500℃以上的高温考验，-183℃低温冲击不开裂不失效）、“喷得好”。为了获得这些性能，必须在涂料中添加大量的功能填料（如耐高温、隔热、增强的微粒）。但当填料超过一定比例时，涂料瞬间变得“浓稠如泥”，根本无法喷涂。同时，填料也极易抱团（团聚），导致涂层内部应力集中，与基体的粘接力度急剧下降。如何突破“粘得牢、耐极温、喷得好”的三重枷锁，成为横亘在团队面前的最大难关。

团结就是力量！跨团队的合作，让科学家们找到了堪称“艺术化”的材料设计之路。超支化聚合物是一种具有独特三维立体枝状结构的特种高分子，以往超支化聚合物合成依赖单一聚合机理，易交联、结构难调控，无法实现工业应用。团队另辟蹊径，创造性提出两种或多种聚合反应协同进行的杂化聚合新思想，成功将传统合成的“等活性”转化为“非等活性”调控，抑制了交联副反应，实现了结构精准定制的超支化聚合物的可控制备与规模化生产。

超支化聚合物就像神奇的“柔顺剂”和“万能胶”，其特殊结构能高效包裹、分散大量填料，大幅降低体系粘度，使其“喷得流畅”；同时其丰富

的末端官能团又能与基体材料通过多种方式形成强力结合，如同八爪鱼般牢牢抓住基材，使涂层“粘得牢固”；另外，超支化聚合物独特的三维结构就像自带弹簧，在受到应力冲击的时候通过自身分子内部空间的收缩来进行缓冲，当应力消失后，分子又能恢复到原始状态，这种与生俱来的优异韧性赋予涂层抵抗极冷极热冲击而不开裂的能力。

“然而，并不是所有的超支化都可以展现出上述性能，并且在不同的应用环境需要开发相应的超支化结构，这样才能对症下药。”朱新远教授说。团队借助AI的力量，通过计算模拟并搭建相应的数据模型，在短时间内推算出所需的超支化结构，极大提升了开发效率。最终，团队成功攻克了超支化聚合物可控制备、高掺杂界面调控、极端环境耐受、机器人精准喷涂四大核心技术堡垒，实现高填料掺杂量下航天涂层依然具备强结合力、卓越耐极温性能和优异喷涂施工性的目标。

这不仅是一套技术，更是一套完整成熟的新一代运载火箭表面防护解决方案，为中国的火箭披上了一层高效可靠的“中国铠甲”，支撑着中国航天迈向更远的深空。该技术已成功应用于多个型号运载火箭，保障了新型号火箭的首飞任务，累计实现多次（二十余次运载领域）航天应用。

本报记者 马亚宁

破局分子结构 引领智能材料未来

作用力，使液体自发向管的细端移动，能对水溶液、乙醇、汽油等各种流体进行精确操控。这项技术具有非接触、无污染等特点，有望在生物医药设备、生化检测分析、微流反应器等诸多领域得到应用，被称为“具有真正开创意义的优秀成果”。

高分子液晶致动材料的创制是新材料的高光领域，俞燕蕾教授团队代表中国基础研究的实力站在国际研究的前沿，实现了从跟跑到领跑的跨越。

如今，在不断增强自身团队学术创新力的同时，俞燕蕾教授也致力于提升中国科研的国际影响力，多次受邀在顶级国际学术会议和期刊上报告或撰写评述，推动了中国在该领域的学术话语权。

本报记者 易蓉

科技进步奖一等奖

“多模态分子影像设备的自主研发与产业化”

多模态分子影像设备是当今最尖端的医学影像设备之一，是肿瘤、心脏、神经退行性等重大疾病精准诊疗的利器。过去几十年，其核心技术被国外垄断，迫使我国长期依赖进口，导致设备价格高昂、普及率极低，严重影响国人疾病诊疗需求。今天上午举行的上海科学技术奖励大会上，上海联影医疗科技股份有限公司李弘棣博士带领团队完成的《多模态分子影像设备的自主研发与产业化》，荣获上海市科技进步奖一等奖。

科技进步奖一等奖

“中国一类新药呋喹替尼的自主研发与产业化”

在全球抗癌药物研发的版图上，中国曾长期处于跟随者地位。2008年前，国内新药研发面临着基础研究薄弱、临床体系滞后、生产工艺落后三重困境，尤其在靶向治疗领域，VEGFR抑制剂等核心赛道被跨国药企垄断。来自上海张江的和黄医药团队迎难而上，聚焦当时全球最热门的VEGFR靶点的高难度、高价值领域，开启了一场历时11年的创新突围。

今天上午，这场漫长的“创新长跑”终于跑上了上海科学技术奖励大会的领奖台——和记黄埔医药(上海)有限公司首席科学官苏慰国博士主持的《中国一类新药呋喹替尼的自主研发与产业化》，荣获2024年度上海市科技进步奖一等奖。比鲜花和掌声更重要的是，呋喹替尼作为首个进入欧美主流市场的中国结直肠癌靶向药，目前已在全

世界首台全身PET/CT 实时观测提升临床水平

该项目成果成功实现了我国在多模态分子影像设备领域的自主可控，对“健康中国2030”及我国医疗产业发展具有重要战略意义。

据介绍，该项目突破了多模态分子影像全部核心技术，攻克了大尺寸LYSO晶体生长、PET专用芯片、高性能数字PET探测器、高清PET图像重建等关键技术及一体化PET/CT和一体化PET/MR一系列集成关键技术，实现了业内最佳空间分辨率及时间分辨率的双重突破，解决了“10倍部件数量，40倍数据量，100倍计算量”的工程挑战，显著提升了临床应用水平。项目研发

的世界首台全身PET/CT，能够实现从分子层面实时观测人体全身生理和病理过程，为全身系统性疾病、新药研发、癌症微转移等医学前沿研究提供全新技术支撑，助力医学进步，引领了国际分子影像行业的技术趋势。全身PET/CT被英国物理学会评选为“2018全球十大科学突破”，脑专用PET荣获2024年度北美核医学年会最佳影像奖。

项目共获发明专利270项，发表论文380篇，获国家三类医疗器械注册证13项，FDA和CE认证12项，完成全球装机500余台，覆盖了中国、美

国、日本、意大利、德国、法国等20多个国家和地区，不仅一举扭转长期依赖进口局面，更代表“中国智造”逆向出口海外市场，赋能“一带一路”卫生健康共同体。该项目填补了我国在多模态分子影像领域的空白，带动了全产业链上下游协同发展，助力我国实现高端医疗设备自主可控，大幅提升精准诊疗可及性，使我国多模态分子影像设备从完全依赖进口转变为技术领先，重构国际产业格局，将我国分子影像技术提升至国际领先地位，最终惠及国民医疗健康福祉。

本报记者 马亚宁

改写全球抗癌药格局 中国创新药驶上核心赛道

球30余个国家和地区获批，并成为全世界权威的美国国立综合癌症网络(NCCN)治疗指南结直肠癌三线治疗药物推荐首位。

小小分子式跨越“珠峰”

20年前，在解雇工作16年的苏慰国博士刚刚回国，加入和黄医药。一天他在咖啡馆里随手拿来一张餐巾纸，画下了一串分子式，其中一个就是呋喹替尼。走出咖啡厅，这个小小分子式并没有随念头一闪而逝，苏慰国博士带领和黄制药的年轻人，誓要成药。当时的国内，中国创新药几乎空白，“一个新药平均需要十年，十亿美元投入”的基本成本，犹如两座珠峰需要攀登。

“我们现在化学部、生物部的总监和项目负责人，很多都是苏博士当年一手从学校招聘并培养起来的。”就是这样一群从各高校来的本土年轻人，汇聚在和黄医药最初的“四号楼”——临床前研发大楼，将苏慰国写在餐巾纸上的分子

式，第一次合成了出来。

到2008年在公司正式立项，它有了一个像样点的代码“HMPL-013”，意思是“和黄医药第13个进入临床阶段的药物候选化合物”；等到“HMPL-013”走过早期临床开发，它拥有了一个通用名“呋喹替尼”。最终，它成为一个足以让所有中国创新药深感骄傲的名字，是上海首个在美获批上市的小分子抗肿瘤原创新药。在中国生物医药自主创新之路上，呋喹替尼也成为一座地标式的里程碑。

改写全球抗癌药格局

在全球范围内，结直肠癌都是一个沉重的负担。作为我国首个从早期发现到临床开发全链条自主完成的抗肿瘤原创新药，这个以“呋喹替尼”命名的创新分子，以唑喹喹为母核，在侧链上创新性地引入苯并呋喃结构，进一步引入酰胺的结构片段，创新性地通过对药物靶脱活

性的优化，研发出国内首款高选择性VEGFR抑制剂。

2013年，和黄医药率先在国内前瞻性设计“通过随机对照试验进行剂量优化”的方法来确定呋喹替尼的临床推荐剂量，早于美国FDA“随机对照试验剂量优化方法”指导原则发布9年。通过此方法确定的推荐剂量上市后被验证安全有效，成为全球治疗剂量。在基于中国人群的FRESCO研究结果中，呋喹替尼用于mCRC三线及以上治疗，mOS长达9.3个月，较安慰剂组显著延长了2.7个月，降低了死亡风险34%。

2018年9月，呋喹替尼率先在中国获批。2023年、2024年先后在美国、欧盟、日本获批，为全球转移性结直肠癌患者带来了新的治疗选择，并一举成为十余年来转移性结直肠癌治疗领域全球首个获批针对所有三种VEGFR的选择性抑制剂，填补了全球市场的空白。

本报记者 马亚宁

自然科学奖一等奖

“植物-微生物共生的机理”

长期以来，人们信奉“高投入=高产出”，对植物“好朋友”的认识远远不够。中国科学院分子植物科学卓越创新中心王二涛研究员带领的团队，自2013年回国以来，就一头扎进了植物-微生物共生研究领域，成果亦如金黄的麦穗般丰硕，并斩获了2024年度上海市自然科学奖一等奖。

两次颠覆传统认知的发现

传统理论认为，糖是植物传递给丛枝菌根真菌的碳源。王二涛团队创新性地融合分子生物学与代谢组技术，发现脂肪酸——也就是人们熟知的“油”，才是植物传递给丛枝菌根真菌的主要碳源。

这一发现在2017年发表于国际顶尖期刊

《科学》上，彻底颠覆了菌根共生领域以“糖营养”为核心的传统碳源营养交换观念。“这一成果帮助科学家们解决了菌根制剂产业中‘菌种无法体外培养’的技术瓶颈，为菌根真菌应用于农业生产奠定了坚实的基础。”王二涛告诉记者。

王二涛带领团队首次绘制出水稻-丛枝菌根共生转录调控网络，发现调控植物磷直接吸收的核心模块，也可以同时控制菌根共生中磷营养和脂肪酸营养交换的平衡。该领域半个世纪前提出的“菌根共生如何进行‘自我调节’”这一科学问题被中国科学家破解。

“氮加工厂”原来是怎么回事

豆科植物通过与根瘤细菌共生，在植物根

皮层形成特殊的“根瘤”结构，是早就被人们熟知的。但是，“为什么只有豆科植物能结瘤固氮”的难题，一直困扰着该领域的研究者——这关系到能否将这对“高效组合体”推广到非豆科植物。

研究团队通过实验发现，在豆科植物进化过程中，豆科植物干细胞关键基因SCR在皮层细胞表达，另一个干细胞关键转录因子SHR在维管束表达后移动到皮层细胞，两者结合产生“神奇魔法”——使豆科植物皮层细胞拥有了分裂的潜能。

更令科学家们兴奋的是，当SHR-SCR干细胞模块植入非豆科植物拟南芥和水稻皮层细胞时，这些皮层细胞同样具有了分裂能力。“这项工作发现了控制豆科植物和根

瘤共生固氮的关键分子模块，加深了人们对共生固氮的理解，为非豆科植物皮层细胞命运的改造奠定了基础。”王二涛表示，“也为今后减少作物对氮肥的依赖提供了新思路。”

他兴奋地向记者描述着未来农业的场景：当你驱车驶过一望无际的金黄稻田，会惊讶地发现这里看不到大量化肥使用的痕迹；取而代之的是一种自给自足、与环境和谐共生的生态农田——饱含活力的土壤中，微生物们在作物根部忙忙碌碌，为植物输送养分，甚至帮助植物抵抗病虫害！

本报记者 郝阳