

从“一烧了之”到“点废成金”： 竹材余料“逆袭”，瞄准千亿元市场

■本报记者 张楠

“技术转移是把技术给了企业，成果转化是技术变成了能被市场接受的商品。技术一定要流动起来，真正被市场应用，带来经济效益，为百姓生活带来改变。”

曾经，一根竹子的六成材料可以加工成筷子、竹签，剩下约四成的竹篾、竹屑、竹节，要么烧掉，要么以几百元一吨的价格当作燃料或竹炭制品的原材料卖掉。

如今，在中国科学院宁波材料技术与工程研究所（以下简称宁波材料所）研究员朱锦团队手中，这些曾经的“废料”通过复合加工，变身为竹基木塑复合材料。该新材料不仅能托举起4吨重物，还能在零下20摄氏度的低温下保持高刚性、高韧性。

2026年初，双枪科技与宁波材料所签订专利实施许可合同，将该材料推向市场，并瞄准全球规模约6000亿元的物流托盘产业。这是双方继“金钢瓷”新材料后的第二次合作，也是朱锦团队践行“研以致用”，在“以竹代塑”国家战略下开辟的新赛道。

从“一烧了之”到“点废成金”

在中国，竹材加工产业有一个长期“隐痛”：由于竹子中空、壁厚、外形不规则，在实际加工中，会产生超过原料总质量40%以上的加工余料。

这些余料富含纤维素、半纤维素，不易降解，也难以熔融，长期以来缺乏高值化的处理手段。传统的处理方式



竹材加工余料。

受访者供图

多是将其碳化制成竹炭，不仅转化率低——五六吨余料只能产出一吨炭，附加值低，还会产生大量废气。

“这不仅是资源的巨大浪费，更是整个竹产业高质量发展的瓶颈。”朱锦对《中国科学报》表示。如何让这“近一半”竹材发挥应有的价值，成为朱锦团队开启相关研究的起点。

彼时，学术界和产业界普遍参照“木塑复合材料”的思路，将竹材余料研磨成粉，再与塑料复合。

然而，这条路很快遇到了“天花板”：竹材质地坚韧，研磨成粉能耗极大，成本甚至高于木粉；更重要的是，研磨过程破坏了竹子天然的微纳纤维结构，导致复合材料的性能平平，市场竞争力不足。

“既然竹粉破坏结构不行，那我们能不能反其道而行之，把竹材余料做成‘钢筋’？”该团队提出了一个颠覆性的想法：不再把竹材磨成粉，而是通过技术突破，将其制成保留原生纤维形

当“科学大脑”牵手“产业尖兵”

一项好的实验室技术要跨越“死亡谷”，找到合适的产业伙伴至关重要。2024年，一个偶然的契机，朱锦与双枪科技的代表不期而遇。

彼时，双枪科技正面临行业共性问题：作为A股“竹业第一股”，其每年

产生万吨级的竹材加工余料，处理成本高昂。与此同时，朱锦团队也一直在寻找能充分发挥竹基木塑材料极致性能的应用场景——高承重的工业物流托盘。

工业托盘市场巨大，但痛点明显——传统木托盘需熏蒸、易发霉，在食品、医药行业受限；纯塑料托盘太软，承重不足；木塑托盘性能又达不到自动化立体仓库的动载要求。

“我们的材料静载能达4吨，动载也能达到1.5吨，低温性能优异，简直是给工业托盘量身定制的。”朱锦团队核心成员、宁波材料所研究员那海宁回忆道。而双枪科技正好拥有稳定的竹材余料供应、成熟的供应链和强烈的转型需求，这为双方的合作奠定了基础。

此次合作并非偶然，而是源于双方长达数年的信任积累。早在多年前，双枪科技就引进过朱锦团队研发的“金钢瓷”新材料餐具技术，用于替代传统的密胺餐具。从“金钢瓷”到“竹基木塑”，两次合作的背后是宁波材料所团队“技术+产业”深度融合的理念——不仅提供配方，更陪伴企业进行工艺革新、装备定制和市场验证。

“技术转移是把技术给了企业，成果转化是技术变成了能被市场接受的商品。”朱锦指出，“技术一定要流动起来，真正被市场应用，带来经济效益，为百姓生活带来改变。”

定义“木塑”，开辟绿色新赛道

2021年，朱锦团队特意将这类材料从传统的“木塑”中独立出来，命名为“木塑复合材料”。朱锦告诉《中国科学报》，“木”代表木本植物，比如竹、

秸秆等，既点明了材料来源，也寄托了“以草代木”的绿色愿景。

“我国木材进口依赖度超过70%，但竹子和秸秆资源丰富。木塑材料的性能在很多方面均优于传统木材，握钉力更强，它不只是替代传统木材，更是一种性能上的超越。”朱锦说。

当前，随着与双枪科技合作的深入，竹基木塑材料已能满足自动化立体仓库对托盘长期抗变形的严苛要求，且规模化后材料成本预计仅为传统塑料托盘的70%左右，竞争优势显著。

面向未来，那海宁表示，目前的技术积累只是第一步，下一步要赋予材料更多功能，如抗静电、阻燃等；在制品端，要从托盘拓展到车用复杂结构件、户外建材等。

如今，竹基木塑托盘可服务于光伏产业太阳能光伏板运输、新能源锂电池产业的运输，大型物流企业、港口集团、化工企业等。除此之外，竹基木塑材料的应用场景还可覆盖汽车、工业、建材等多个领域，如用于电动汽车的非结构型装饰零部件、室外装饰件等建材，用于替代传统塑料、木塑和木材，应用前景广阔。

从目前已改变整个板材行业的大豆基无醛胶黏剂到竹基木塑复合材料，朱锦团队始终在回答同一个命题：如何让生物质资源不再廉价燃烧，而是以高性能材料的姿态，重新定义百姓生活。

“塑料本身没有错，错在使用和回收方式。”朱锦说，“我们的目标不是简单地替代塑料，而是利用中国最丰富的可再生生物质资源，创造出一种既能满足工业需求，又能实现绿色循环的新质生产力。这条路，我们刚刚铺开。”

停滞多年的成果转化何以“找对了路”

■本报见习记者 江庆龄

自从“减肥神药”司美格鲁肽问世以来，多肽迅速成为医药研发领域的新热点。但此前很多年，因为半衰期差等原因，多肽类药物及生物材料长期不受重视，成果转化更是很难。

“复旦-锦波功能蛋白联合研究中心”（以下简称联合研究中心）首任主任、复旦大学上海医学院教授姜世勃正是这一历程的亲历者和见证者之一。他曾经手握一个很好的科研成果，却在十余年里找不到转化落地的机会，后来终于“找对了路”而快速推进成果的转化、上市。

2016年，在前期成功合作的基础上，复旦大学上海医学院与山西锦波生物医药股份有限公司（以下简称锦波生物）共同组建了联合研究中心。迄今，联合研究中心已连续签署三期建设协议，积累了丰富的产学研合作经验，推动“抗人乳头瘤病毒(HPV)蛋白”“重组人源化胶原蛋白”“抗人冠状病毒(HCoV)多肽”等一批代表性成果从实验室走向临床，已经或即将让众多患者受益。

如果说成功的合作是前提，完善的体制机制则是双方长期合作的基石。复旦大学科研院常务副院长徐晓创表示：“校企联合实验室不是简单的资源叠加，而是创新生态的深度融合。”

停滞多年后迈入快车道

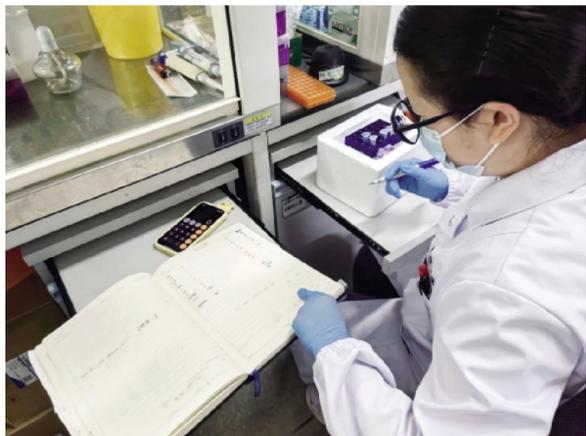
2012年，抗HPV生物蛋白敷料获山西省药监局批准上市。这一刻，姜世勃等了近二十年。

20世纪90年代初，姜世勃团队发现，经3-羟基-β-二酮衍生物修饰的β-乳球蛋白(3HP-β-LG)具有良好的抗艾滋病病毒(HIV-1)活性。该蛋白来自牛奶，水溶性、性质稳定、价格低廉，具有广阔的开发前景。

1996年，这项工作发表于《自然-医学》，引发多家药企与投资者关注。遗憾的是，第二年欧洲突然暴发疯牛病，当地政府规定牛奶来源成分不得作为药用，相关企业陆续终止这项专利的收购谈判。1998年，姜世勃带着专利回到中国，但当时国内对HIV的认识存在误区，导致项目再一次被搁置。

直到2011年，姜世勃再次回国后，他结识了锦波生物董事长杨霞。双方决定合作开展预防HIV性传播的杀微生物剂相关研究工作。

当时，学界已经关注到，HPV和



▲联合研究中心工作场景。

复旦大学供图

HIV的共感染率逐年上升，原因可能是HPV感染造成阴道和宫颈黏膜破损，进而促进了HIV的感染。基于原先在妇产科的临床经验，杨霞判断，可以转变思路，探索酸酐修饰β-乳球蛋白用于抗HPV感染的可行性。

他们很快发现，经改造后的酸酐修饰β-乳球蛋白JB01具有非常强的体外抗HPV和HIV效果。随后，申请专利、开展临床试验，获批二类医疗器械、开发更多延伸产品……一系列工作有序推进。

原本停滞多年的研究，何以快速走向产业化？联合研究中心主任、复旦大学上海医学院教授陆路认为，关键在于科学家、临床医生及企业家之间的信息被“对齐”，三方发挥各自优势，既尊重科学客观规律，宽容失败，又重视临床需求和产业化可行性，从中挖掘真问题。

以此为契，双方开始思考开展长期合作，联合研究中心就此诞生。“企业相信我们能提供真正有转化价值的成果，所以愿意连续投资支持我们的研究。”陆路说。

十年间，复旦大学从政策制定、支持团队建立、平台建设等多个维度为联合实验室运行提供了支持。一方面，学校层面的力量有效推动了科技成果从“实验室”走向“生产线”；另一方面，联合研究中心也是复旦大学校企合作典型案例，为学校进一步完善校企联合实验室的组织模式提供了可借鉴的经验。

企业发卷，科学家答题

今年的政府工作报告提出，推动科技创新和产业创新深度融合。复旦大学以校企联合实验室为纽带，鼓励科研人员聚焦企业实际需求开展技术研发，形成的专利、技术方案等成果优先向合作企业转移转化，“科研创新—成果转化—产业化”的全链条机制逐渐形成。

“我2011年刚回国的时候，对临床应用和产品开发的认识是比较欠缺的，更倾向于研究‘高大上’的科学问题。”陆路坦承，这也是很多一线科研人员的思维习惯。

在实践中，陆路逐渐认识到，成果转化同样是科链条中的重要环节。“企业发卷、科学家答题的方式，更适合推动科研成果转化落地。因为好的科研工作未必都适合做转化，还需要结合市场需求及产业化要求等。”陆路补充道。

重组人源化胶原蛋白的研制，正是源于临床上的一个问题。

联合研究中心在进一步开发阻断性传播的HIV杀微生物剂产品的过程中，需要一种缓释材料来固定药物。由于材料须用于体内，动物源胶原蛋白存在免疫排斥风险，姜世勃和陆路随即着手研发适配的、可缓释抗HIV药物的重组胶原蛋白生物材料。

结合合成生物学、结构生物学技术，以及自主搭建的多肽平台，姜世

▼EK1雾化剂。



勃和陆路团队与企业合作，经过成千上万次实验与分析，最终在人类胶原蛋白中中找到了一段由30个氨基酸组成的关键功能区。在此基础上，合作团队将这段30个氨基酸的功能区重复串联16次，形成含480个氨基酸的重组蛋白。

后续进展十分顺利，重组人源化胶原蛋白核心专利成功实现转化，创造了巨大的产值，并支撑了合作企业顺利上市。

“这是一种原始创新的生物材料，我们在国际上处于领先水平。”姜世勃说，“近年来我们也做了一系列研究，证实重组人源化胶原蛋白在妇产科、感染科、心血管内科、口腔科、皮肤科等都具有很好的应用前景。”

这些年来，在学校的统筹布局下，联合研究中心坚持“两条腿走路”，既仰望星空，开展面向临床的基础研究；也脚踏实地，推动技术落地，帮助解决企业生产中的技术难题。这不仅很好地帮助企业解决了实际生产中的问题，也使得联合研究中心的科技成果转化有了明确方向，双方的合作也在一次次正反馈中深化。

让毕业生“无缝”进入产业界

“我们不仅要培养科学家，也要培养能‘无缝’进入产业界、服务产业发展的人才。”陆路告诉《中国科学报》。

在过去很长的时间里，高校和科

研院所培养的学生主要侧重基础研究。这一培养模式有其必要性，也是我国科学研究得以快速发展的重要原因之一。但从企业需求和学生个人发展的视角来看，由于培养环节中缺乏在生产一线的实践，很多有志于在产业界发展的硕博毕业生，在职业初期需要经历一段时间的过渡和历练。

陆路解释：“比如基于生物材料开发新的产品，企业考虑更多的问题是，如何在保证活性的情况下规模化生产，以及生物蛋白和其他制剂混在一起时，如何让性能稳定、生产工艺稳定、使用时安全有效等，这在高校实验室里是较难开展的。”

联合研究中心经过和锦波生物多年的磨合，能够了解企业需求，同时让学生参与小试、中试、检测等环节，帮助他们逐步建立产业化思维。

花晨是学生的中典型代表。2016年，花晨进入复旦大学读研，参与了团队与锦波生物合作的生物材料核心研发，以及行业标准起草等工作。这些经历不仅让他对产品研发有了更真切的体会。这正是他独有的优势，也为后续职业选择提供了更多选项。2024年，花晨正式进入锦波生物工作，担任功能蛋白山西省重点实验室副主任。

记者获悉，复旦大学也在探索与企业需求对接的人才培养模式。2025年起，复旦大学理工科院系导师的工程博士招生计划采用竞争性分配机制，优先向校外企业、工程类科研院所建立稳定合作、有明确科研项目支撑且经费保障充足的导师团队倾斜。这一政策强化了“以项目带培养”的合作导向，直接推动校企人才双向流动。企业技术骨干有机会通过该渠道攻读工程博士，实现“工作实践+学历提升”的有机结合。

同时，复旦大学也在科研激励与经费保障层面，激发科研人员参与校企合作的主观能动性。如在绩效评价方面，学校创新构建“基础研究+技术攻关+成果转化”全链条评价机制，对运行质效优良、经费到账率达标的联合实验室负责人给予现金奖励。

“学校将持续深化校企合作机制改革，通过不断释放‘政校企’协同创新活力，让高校科研优势转化为产业发展优势，为实现高水平科技自立自强、推动区域经济高质量发展贡献更多复旦力量。”徐晓创说。

视点

产学研有效结合的根本目的，是实现科技创新与产业创新的深度融合，为建立现代产业体系提供坚实保障。当前，建立现代产业体系是一项以新质生产力为核心的系统工程，必须依赖于劳动者、劳动资料、劳动对象三要素的优化组合，因此需要从人才、技术、制度三个维度协同推进。

没有新质生产力三要素的合理布局 and 科学推进，就不可能真正实现科技创新与产业创新的深度融合，也很难建成科学合理、可持续发展的现代产业体系。

人才：补齐高素质劳动者短板

当前，高素质劳动者相对短缺，已成为制约科技创新与产业创新深度融合的首要瓶颈。

在全球科技竞争与产业加速变革的背景下，我国经济总量虽已位居世界第二，但具备基本科学素养的公民比例，特别是成年人的这一比例，与发达国家相比仍有显著差距。这不仅制约了科技创新水平的提升，更对现代产业体系的构建产生深远影响。

在实际工作中，诸多科技政策难以落地、操作性不强，根源之一在于政策制定者科学素养亟待提升。破解“懂不懂、会不会”的基础难题，需通过实施超常规举措加大科学普及力度。令人欣慰的是，今年全国两会期间，在代表委员积极建议下，政府工作报告提出，加强科技普及，提高全民科学素养。这标志着提升全民科学素养已形成广泛共识，为科技与产业融合筑牢人才根基。

技术：破解原创与中试“双重短缺”

当前，全球正经历新一轮科技革命，原创性技术短缺与中试平台短缺，已成为制约我国科技创新与产业创新融合的重要瓶颈。

破解这一难题，必须充分发挥新型举国体制的制度优势，打通从“0到1”的原创突破，再到“1到100”的产业化落地的完整链条。这既是针对“卡脖子”问题的应急之策，又是构建可持续发展新格局的战略布局。

近年来，我国基础研究投入稳步提升，但与西方发达国家12%~15%的投入占比仍有较大差距，这是原创技术供给不足的关键因素。今年全国两会上，我建议将基础研究经费占比在“十五五”期间提升至10%以上。这一建议得到财政部、国家发展改革委等部门的积极回应。

推动科技创新与产业创新融合，需推动政府、企业、社会协同联动，持续提高基础研究投入比例；同时加快专业化中试平台建设，打通科技成果转化“最后一公里”，让更多原创技术与成果走向产业应用。

制度：以“科技沙盒”突破体制藩篱

制度创新滞后，同样束缚着科技与产业融合的发展。当前科技领域制度仍存在繁杂、僵化、不统一等问题，制约创新活力释放。为实现制度环境突破，可以在两个方面着力：一是运用博弈论原理探索风险分担新机制；二是积极推广“科技沙盒”试点，推动科技创新制度环境从“规则内”向“规则外”突破。

“科技沙盒”源自金融监管沙盒的成熟经验，旨在为突破性的科技创新活动提供一个“安全测试区”，在预设监管框架内，允许对现有制度进行适度突破。对此，英国、新加坡、澳大利亚等国已广泛应用，我国金融领域也已建立相关机制。

“十五五”规划纲要提出，建立适应新业态发展的高效、便捷准入机制，探索“沙盒监管”、触发式监管等新型监管方式。

下一步，我建议由科技部牵头联合相关部门，尽快制定科技创新沙盒管理办法与操作条例，设立专门监管机构；同时选取重点地区、行业开展混合或单一沙盒试点，在人员考核、权限管理等方面实现突破性改革。目前，重庆市明月湖实验室正在推进科技沙盒试点，力争打造可复制的制度创新样板。

科技创新是新质生产力的核心，产学研结合是科技创新与产业创新深度融合的最重要途径。相信通过人才、技术、制度三个维度的协同发力，以超常规举措培养人才，以战略定力投入基础研究，以改革勇气推行制度创新，定能扫清障碍，真正实现科技创新与产业创新的同频共振，为构建现代化产业体系、推动高质量发展注入强大动能。

（作者系中国工程院院士、中国产学研合作促进会副会长，本报记者高雅丽采访整理）

引入「科技沙盒」

打通科技与产业融合堵点

潘复生