

生物制造：以生命为动力的未来工厂

谭天伟

院士讲科普

网友：最近，生物制造成了热词。我很好奇，什么是生物制造？它如何改变我们的生活？

编辑：当前，新一轮科技革命和产业变革深入发展，以生物制造等为代表的新兴产业成为我国培育发展新动能、打造发展新优势的重要领域，正在悄然改变着我们的生产与生活。本期“院士讲科普”，我们邀请中国工程院院士、北京化工大学校长谭天伟，谈谈生物制造如何智造未来。



②



图①：生物制造流程示意图。
图②：生物航煤样品。
图③：生物塑料样品。
图④：自动化高通量菌种筛选设施。
本版图片均为北京化工大学提供

“有生命的工厂”开辟新的制造路径

说起“制造”，人们通常会想到机器轰鸣、机械臂舞动的钢铁工厂。然而，有一种“制造”却截然不同，是“有生命的工厂”——这就是生物制造。

所谓生物制造，就是利用微生物、动物或植物细胞等生命单元，通过设计、改造、控制它们的代谢路径，生产人们想要的物质。简而言之，生物制造就是让生命来“造东西”。

比如，传统发酵技术是让酵母生产酒，而利用现代生物制造技术，科学家可以让它生产药物分子、香料、塑料甚至燃料。可以说，生物制造是传统发酵产业与合成生物学的结合，它不再依赖石油、煤炭等，而是以糖、秸秆、二氧化碳等可再生资源为原料，生产人类日常生活所需的材料和化学品。

生物制造之所以被称为未来产业，在于它不是对传统产业的延展，而是另辟了一条以生命为动力的制造路径。这条路重要在哪里？

首先，生物制造是助力实现“双碳”目标的关键技术抓手。传统制造业以石油、煤炭等化石资源为基础，而生物制造用的是糖、淀粉、二氧化碳等可再生资源。微生物在生物反应器中“吃”掉这些原料，代谢出高附加值

产品，实现了“以生替化”“以碳养碳”。

其次，生物制造的原料更广泛，过程更绿色、生产更智能。生物制造用生命的智慧取代一般的工艺流程，让工厂更像“生态系统”，制造过程更高效、智能。例如，二氧化碳可被转化为燃料和化学品；农作物秸秆能被“吃”成可降解塑料；菌种可生产药物、香料、纤维。

更重要的是，借助人工智能与合成生物学，科学家可以“编程生命”，像写代码一样设计微生物的基因，让其按照人类的需求生产特定分子。这种“可编程制造”，让生物制造释放更大的潜力。

根据相关机构预测，到2050年，全球约60%的工业产品可通过生物制造生产。生物制造未来产生的经济价值或将超过30万亿美元。

我国正加快布局生物制造产业。2024年《政府工作报告》提出积极打造生物制造等新增长引擎；“十五五”规划建议提出“前瞻布局未来产业”，推动生物制造等成为新的经济增长点。如今，我国在发酵产能、产业规模、工程化经验等方面已具备领先优势，有望在这场未来产业的发展中占据重要位置。

生物制造改变了传统生产的逻辑

如果说工业革命让机器替代了手工，那么生物制造就是让生命替代机器。生物制造正融入我们生活的方方面面，并悄然改变着生产的逻辑。

在实验室里“种”肉、在发酵罐里“造”蛋白，这听起来像科幻，但已成为现实。通过细胞培养和微生物发酵技术，无需通过养殖，即可培育出口感和营养都与真正肉类相似的“细胞肉”。这种生产方式不仅节约资源，还能显著减少甲烷排放，为粮食安全和生态平衡提供了新方案。此外，微生物蛋白、合成乳制品、植物基食品等新型食材也正被摆上餐桌。

时尚产业是碳排放大户，生物制造则为“绿色时尚”提供了可能。科学家已能让细菌“吐出”丝蛋白，做成柔软耐磨的生物丝绸；藻类和真菌能合成可降解纤维，替代聚酯、尼龙等石化纺织品。一些品牌正尝试用菌丝皮革制作包袋、鞋子，这种“会呼吸的皮革”无需使用动物毛皮，且能被自然降解。

在建筑领域，科学家利用“生物砖”技术，让真菌菌丝和矿物颗粒结合，形成坚硬、轻质的砖块。这些砖在潮湿环境下能自我修复、吸收二氧化碳。再配合生物基涂料、生物胶黏剂，未来的建筑或将成为“绿色生命体”，既环保又安全。

未来的汽车、飞机，可能用上“二氧化碳做的油”。某些特殊菌种能“吃”二氧化碳、“吐”出乙醇或航空燃料。目前，我国已实现生物基航空燃料的商业试飞。此外，生物制造还能生产高性能润滑油、轮胎橡胶等材料，让交通出行实现绿色化。

在医学领域，生物制造正在重塑药物的生产方式。过去需要几百道工序才能合成的药物分子，如今微生物几天就能完成。更先进的合成生物学还能让细胞生产个性化药物，如CAR-T细胞疗法、基因编辑药物、重组蛋白药物等，让治疗更加精准、高效。未来，医生或许能直接在医院里“打印”药物和组织器官，提供个性化医疗。

广州飞行起降动力学大装置助推多项原创性技术突破

航空轮胎，从山坳里“飞”出来

本报记者 贺林平

因探一线

多达10层以上，这是一条航空轮胎内部结构层数；几百次到上千次，这是产品研发要经历的极限测试次数；经得住零下40摄氏度到零上70摄氏度的温度变化，在飞机降落瞬间扛住几十吨以上的冲击力，这是对航空轮胎性能的苛刻要求……

与普通轮胎相比较，航空轮胎有3个显著特点：大承载、高速度、抗冲击。科研人员形象比喻：“这就类似让赛车轮胎在维持转速和尺寸不变的情况下，还要具备大货车轮胎的载重能力。”在很长一段时间内，我国民航飞机主要采取租用国外航空轮胎的方式。造出中国人自己的高质量航空轮胎，是我国一代代科学家为之持续攻关的梦想。

在广东省广州市黄埔区、藏身小山坳里的飞行起降动力学大装置，正为实现这一梦

想积攒着力量。

2020年1月，中国科学院关键核心技术攻坚专项(C类)“仿生合成橡胶”专项正式立项，计划建设航空轮胎大科学中心，开展科研攻关以及核心指标评价测试。次年，广东粤港澳大湾区黄埔材料研究院(以下简称“黄埔材料院”)应运而生。

黄埔区新龙镇，依山傍水，一座银色外墙、深色玻璃的连体建筑坐落其中；前面的“竖向轮胎”高52米，背后躺着的“轮胎”横向直径90米，一立一卧，互为配套。中国科学院院长春应用化学研究所(以下简称“长春应化所”)所长、黄埔材料院院长杨小牛介绍，就在这个建筑内，已建成飞行起降动力学大装置，“我们不仅要研制中国人自己的航空轮胎，还要阐明使用极限，确保安全可靠”。

2020年初，长春应化所牵头组建了包含中国科学院研究所、大学和地方工业部门及企业共20家单位参与的科研攻关“国家队”，目标直

指航空轮胎技术难题。其中，黄埔材料院承担了航空轮胎动力学大装置的建设等任务。

走进高大宽敞的测试大厅，航空轮胎高加速试验台、轮胎道面环境试验台……一台台高大的装置正在紧张调试、运行。

隔着安全玻璃观察，一个仿生橡胶航空轮胎样品正在接受高速转动和瞬间承压试验。短短数秒内，轮胎转速就升到每小时200公里左右。“试验台能够在最高时速600公里下进行模拟测试，为轮胎发生偏转、侧倾等情况时的可靠性以及使用寿命等，提供一手研究数据。”研究人员解释。

此外，研究人员还要模拟飞机降落时航空轮胎承压的场景——在不断提升轮胎转动速度的同时，持续加大轮胎垂直方向的压力，让轮胎接受极限考验。

目前，飞行起降动力学大装置多台套装备已投入使用，完成了百余条航空轮胎测试，收集了大量起飞和降落时的运行数据。研究

构建自主可控的技术底座是难题

挑战一：补齐底层能力，创新体系亟待突破。生物制造的重点在于“设计生命”，这需要强大的底层能力：基因编辑工具、菌种设计算法、酶工程技术、代谢路径数据库等，但这些都是目前我国相对薄弱的环节。核心菌种仍多依赖国外资源；关键酶和生物反应器部分零部件尚需进口；工业级生物信息数据库尚未完全建立。要实现真正的“生物智造”，必须攻克这些基础性难题，构建自主可控的技术底座。

挑战二：科研成果产业化落地存在困难。很多生物制造技术在实验室里已经成熟，但在产业化过程中却卡在中试阶段。生

物反应过程极其复杂，菌种在小试时活跃，到大规模发酵罐中却“罢工”；成本控制、稳定性、安全性等也是经常面临的问题。目前，我国正在加快建设国家级中试验证平台，推动科研与产业衔接。未来，这些平台将成为生物制造从“论文”变成“产品”的桥梁，让更多科研成果走向市场。

挑战三：政策与标准体系需持续探索。新技术要进入生活，离不开制度保障。目前，生物基产品的低碳认证、生物安全评估、市场准入机制仍待细化。如何量化生物制造产品的碳减排贡献？如何评估合成微生物的环境风险？这些都需要建立统一的标准。

“人工智能+”“碳循环制造”“跨界融合”是趋势

趋势一：“人工智能+生物制造”——让“设计生命”像写代码。人工智能正在成为生物制造的新引擎。通过机器学习，人工智能可以帮助科学家预测基因突变效果、优化代谢路径、快速筛选高产菌株。以前改良一个菌种需要几年时间，通过人工智能可以把时间缩短到几周。

趋势二：碳循环制造——从“碳消耗”迈向“碳循环”。以二氧化碳为原料的“碳捕集+生物转化”技术已取得重大突破。未来，越来越多工厂不仅不用排放二氧化碳，

还能“吃碳吐产品”。这意味着制造业或将从“碳消耗”迈向“碳循环”。

趋势三：跨界融合——从单一技术到生态网络。未来的生物制造将不再是单一技术，而是一个多学科融合的生态网络：生物学与材料科学结合，催生新型生物材料；生物技术与能源产业结合，形成绿色燃料体系；生物制造与智能制造结合，诞生自动化、数字化、可编程的“生命工厂”。

(作者为中国工程院院士、北京化工大学校长)

人士表示：“这里的仿生橡胶航空轮胎，在极端工作条件下，可以实现比天然橡胶制造的航空轮胎使用寿命提升35%以上。”

在展示中心，一个仿生橡胶航空轮胎样品被剥开一角，轮胎内部的分层结构一目了然。航空轮胎的结构复杂，各层中的排布角度对轮胎性能造成巨大影响。科研人员自主研发出一套全新的数字轮胎工业软件，能通过力学驱动计算设计出最优的轮胎结构，大大缩短流程和开发时间。

目前，科研团队已经完成航空轮胎国产化技术全链条贯通和应用验证，实现了仿生橡胶和数字轮胎工业软件两项从“0到1”的原创性技术突破，掌握了41项核心技术。

山坳里的飞行起降动力学大装置，正在产生巨大的“溢出效应”。

“航空轮胎相关技术，可以外溢到其他非公路轮胎和新能源汽车轮胎等轮胎制品，也可以外溢到非轮胎行业。”黄埔材料院分管日常工作的副院长王杰解释，在空气弹簧、橡胶减振器等领域，相关技术都能获得广泛应用。

“目前，飞行起降动力学大装置已具备测试验证航空轮胎、起落架系统和中小型整机设计制造性能和使役可靠性的能力。”杨小牛说，现在黄埔材料院园区“热”了起来，每年接待企业、科研院所等参观合作、科普教育达4200余人次。

因唠『科』

细心的人或许会发现，面对哭泣的同伴，幼儿园的孩子常常分不清哭泣背后的原因，只会笼统地说“不开心”。小学阶段的孩子则大多能察觉，同伴哭泣是由于被误解的委屈还是比赛失利的沮丧。

在成长过程中，儿童会逐渐建立起一套“情绪导航系统”。这套系统帮助孩子理解他人的感受、体验自己的情绪，并给出恰当反应。这种能读懂情绪的“高情商”，并非单一能力的线性提升，而是多种能力互相作用、共同发展的复杂过程。

其实，人们识别情绪所依赖的大脑知觉区域，在幼年就已基本成熟。研究发现，5岁孩子的大脑已经能自动区分快乐、愤怒、恐惧、悲伤等不同表情。但“会看”不代表“能懂”，就像能分清红绿灯的颜色并不代表熟悉交通规则一样。低龄儿童通常只能粗略区分开心与否，直到7岁以后，孩子的情绪“辞典”才渐渐丰富起来——不仅能看懂情绪，还开始意识到人可以同时表现出多种情绪，比如“紧张又兴奋”“五味杂陈”。

随着逐渐成长，儿童理解情绪的方式也在变化。低龄儿童主要通过“看脸”来判断情绪，长大后会更加依赖自身所拥有的、不断丰富的情绪概念知识，比如，看到别人皱眉，会留意他周边发生了什么，从而判断情绪。这种整合情境等多元信息的能力，对于理解、应对现实生活中含蓄、多义甚至矛盾的情绪表达至关重要。

理解别人的情绪是“向外看”，感受自我的情绪是“向内听”。心跳快慢、呼吸深浅、肌肉紧张……这些身体信号都是情绪的“信使”，大脑接收并处理这些信号的过程，叫作“内感受”。内感受的过程与儿童的情绪体验密切相关，而且可能受到情绪概念知识和成长经验的影响塑造。

如果“情绪导航系统”出现故障，会出现什么情况？

一是儿童情绪理解能力不足——情绪概念知识薄弱或情境推断能力欠缺，可能会导致其在社交中频繁“读错信号”，误解他人意图，从而引发沟通障碍、社交退缩甚至冲突；二是内感受功能异常——无论是过度敏感还是过度迟缓，都可能引发儿童的情绪问题，甚至影响心理健康，增加抑郁或焦虑的风险。

值得关注的是，环境对这套“情绪导航系统”影响很大。研究发现，部分留守儿童在情绪概念形成、情境推断能力养成以及身体信号的觉察方面可能存在与同龄儿童不同的发展特征，深入了解其成因有助于为他们量身定制教育与心理支持方案。

如何帮助儿童建好“情绪导航系统”？

一是丰富“情绪词汇库”，正确认识沮丧、自豪、委屈等多情绪；二是提供多样化的情境推断机会，比如家长可以与孩子聊一聊绘本里的角色；三是引导儿童适度而准确地关注自己的身体信号。

然而，大量研究提醒我们，即使建好了“情绪导航系统”，若长期处于压力较大且家庭情感支持不足的环境中，儿童的情绪理解与体验都会面临额外挑战。因此，给孩子稳定的家庭支持、减少不必要的压力同样重要。我们要做的，不是催促儿童“快点长大”，而是多给他们表达、交流、体验的机会，让情绪成为认识自己、理解世界、连接他人的桥梁。

(作者为北京大学心理与认知科学学院研究员，本报记者吴丹采访整理)

广西首次全面系统摸清海菜花资源家底

本报南宁电(记者张云河)广西海菜花资源保护开发与利用前期研究项目日前顺利通过专家验收，标志着广西壮族自治区首次全面系统摸清了国家二级保护野生植物海菜花的家底，为其科学保护、合理开发及可持续利用提供了坚实的数据支撑。

海菜花属植物是淡水生态系统健康的重要指示物种。为精准掌握海菜花资源分布情况，本次调查工作于2025年6月全面启动，至11月全部完成。调查范围覆盖河池、百色、桂林等9个设市区的31个县(市、区)，系统采集水样102份、土样37份、植物标本65份、生物量样本22份及分子样本24份。调查共记录到海菜花属植物5种，同时发现3个疑似新种，种群总量超400万株。

统计数据显示：海菜花在广西自然分布点达33个，总分布面积148.85公顷。其中，河池、百色为核心分布区，面积占比超77%；柳州、桂林为重要分布区，面积占比约21%，形成“桂西北核心聚集、桂东北次核心分布、其余区域零散分布”的总体格局。

新研究显示嗅觉异常关联近140种疾病

据新华社洛杉矶电(记者葛晨)一项近期发表的国际研究显示，嗅觉异常关联近140种疾病，而正常的嗅觉可为良好的营养、认知功能和心理恢复能力创造基础。

研究报告近期发表于英国《临床耳鼻喉科学》杂志。牵头这项研究的英国东安格利亚大学研究人员评估了相关领域的研究结果后发现，嗅觉异常关联至少139种神经性、躯体性和遗传性疾病，而嗅觉丧失通常是早期出现的症状，可用来预测未来的健康风险。

论文第一作者、东安格利亚大学诺威奇医学院教授卡尔·菲尔波特说，世界各国的公共卫生议程很少考虑嗅觉健康，然而嗅觉在身体健康程度方面扮演重要角色，且越来越多的证据显示嗅觉丧失是神经退行性疾病、衰弱加剧和寿命缩短的独立风险因素。

在人们的普遍认知中，嗅觉的重要性不及视觉和听觉。研究人员认为，有必要开展嗅觉健康教育宣传活动，进行嗅觉筛查并有针对性地制定公共卫生政策。