



生物制造： 推动第四次工业革命的关键力量

□ 徐冠华



徐冠华，科技部原部长，第十一届全国政协常委、教科文卫体委员会主任，中国科学院院士，欧亚科学院院士，第三世界科学院院士，瑞典皇家工程科学院外籍院士，国际宇航科学院院士。2010年任国家重大科学研究计划——全球变化研究专家组组长，2011年任国家重大基础研究发展计划（973计划）专家顾问组组长。

近年来，随着生命科学、生物技术、工程技术、计算以及信息科学等学科的突破，生物经济呈现迅猛发展的态势，已成为世界竞争最热的赛道之一。有研究机构预测，未来20年，生物技术革命将产生4万亿—30万亿美元的直接经济影响。其中，生物制造更是被视为有潜力推动“第四次工业革命”的关键力量。

生物制造正引发全球关注

未来约70%的产品可以用生物法生产，有望创造30万亿美元的经济价值。经合组织（OECD）曾对6个发达国家进行分析，结果表明：生物制造技术的应用可以降低工业能耗15%—80%，原料消耗35%—75%，空气污染50%—90%，水污染33%—80%，生产成本降低9%—90%。2030年相关产业规模将达到全球工业生产总值的35%。

这一预期反映了生物制造在未来的重要地位，引发全球关注。多国已洞察到生物制造不仅是经济转型升级与可持续发展的大趋势，还将深刻影响全球政治、经济及科技版图。截至目前，超60个国家和地区已出台生物制造或生物经济相关战略、政策、规划及行动计划。如美国早在2012年就发布了《国家生物经济蓝图》，将基因组学、合成生物学等视为发展重点，并连续发布系列法案和行政命令以巩固其在生物技术革命中占据制高点。日本则新近发布了新生物经济战略，目标直指2030年达成百万亿日元市场规模，其中生物基市场规模53.3万亿日元。各国抢滩意图明显。

生物制造是提升我国国家竞争力的关键

2023年10月1日，欧盟碳边境调节机制（CBAM）过渡期实施细则生效，2026年正式起征，2034年全面实施，这一政策将对我国外贸出口产生较大影响，我国工业制造亟须做出重大调整。与此同时，落实“双碳”目标，化工行业原油、天然气、航空燃

料、液体燃料等领域，也都面临着巨大的碳排放压力。

生物制造基于其特点，已被国家视为解决上述难题、实现转型升级的主要手段之一，这也是我国继绿色制造、智能制造之后，推进制造强国建设的又一关键举措。综合来看，生物制造将在以下方面提升我国国家竞争力。

提升产业竞争力。生物制造具有的绿色生产方式、原料可再生性、有效降低能耗物耗和减少废物排放等优点，正成为我国提升产业竞争力的战略驱动力量。以青蒿素生产为例，传统模式是通过种植黄花蒿，经过18个月才可提取；而利用生物制造技术，仅使用可控的100立方工业发酵罐，几周内就可以替代5万亩的传统农业种植。目前我国生物制造核心产业增加值仅占工业增加值的2.4%，低于美、欧、日的11%、6.2%、3.2%，还有很大发展空间。预计未来10年，石油化工、煤化工产品的35%可被生物制造产品替代，生物制造潜力巨大。

推动产业链现代化。生物制造可以推动化工、医药、材料、轻工等重要工业产品制造向绿色低碳、无毒低毒、可持续发展模式转型，优化整个产业链结构。如生物法1,3-丙二醇的生产，与石油路线相比，原料成本下降37%，二氧化碳减排63%，能耗减

少30%。另外，这种转型不仅涉及生产技术的革新，还包括管理模式、运营效率和市场响应机制的全面升级，有助于实现产业链现代化。

助推“双碳”目标的实现。世界自然基金会预测，到2030年，工业生物技术每年将可降低25亿吨的二氧化碳排放。根据中国科学院天津工业生物技术研究所的统计，和石化路线相比，目前生物制造产品平均节能减排30%—50%，未来潜力将达到50%—70%。另外，以我国每年消耗塑料约在7000万—8000万吨计算，如有1/3石油基塑料被生物基塑料替代，将减碳近6000万吨，减碳效果十分明显。我国是世界第一制造大国，生物制造具备从源头降低碳排放的潜力，对我国“双碳”目标的实现有重大作用。

生物制造战略布局亟须落实

2022年，国家发展改革委专门发布《“十四五”生物经济规划》，成为中国首个专注于生物经济发展的五年规划，另外还支持12个国家级生物产业基地的建设，并通过《产业结构调整指导目录》《鼓励外商投资产业目录》等机制，促进生物技术产业化发展，加快构建现代生物产业体

系。2023年中央经济工作会议又提出，要“打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业，开辟量子、生命科学等未来产业新赛道”。可见，打造生物经济强国已是国家意志，时不我待。要实现这一目标，有几个重要问题亟须引起足够重视。

第一，明确合成生物学和生物制造的重要地位和核心价值。合成生物学和生物制造在生物经济中的作用毋庸置疑，不仅能够推动科学研究的进步，还能够促进经济的发展，满足社会需求，保障国家安全，提升国际竞争力。但在伦理、舆论和公众认知上，仍然有不同的声音，需要耐心做好解读工作，树立两者在我国未来发展中的重要地位。另外，要综合考虑科技创新、产业发展、社会需求、伦理法规等多个方面的关键点，构建一个有利于持续发展的政策环境。面对这一历史性机遇，我们需要以更大的勇气和担当站在潮头。

第二，战略规划和布局不可忽视。随着生物技术的突破性进展，生物制造产业正处于一个关键风口，预示着前所未有的增长潜力。美国已启动“生命铸造厂”计划，目标是创造1000种自然界中未曾出现过的独特分子和复杂的化学结构。这一计划着眼于材料和制造领域的生物转化与应

用，旨在确立美国在全球的战略领先地位和经济优势，被视为“引领改变游戏规则的技术转型”。目前，美国已经有116种合成生物技术产品进入市场或即将上市，覆盖农业、石油化工、有机化工等多个领域，一个价值数千亿美元的市场正在开启。相比之下，我国在战略架构、核心技术和关键装备等未来关键环节上还有较大差距。要加强这一方面的战略规划和布局。落后不可怕，可怕的是找不到追赶的路径，缺乏超越先进的内在动力。

第三，加快形成高效的生态聚集。100多年来，全球有影响力的生物科学理论和应用都出自美国。美国在基础研究、基本建设、商业化方面的能力，都远远领先于其他国家。特别是地区性聚集，是美国生物技术基础建设的特点，集中分布在旧金山湾区、圣地亚哥、波士顿、华盛顿哥伦比亚特区和纽约五个区域。这是美国“靠近科学”“靠近人才”“靠近产业”“靠近资本”形成的特有结果，是集合基础研究、应用研究、商业转化、融资机会、市场消费的创新生态，形成了设计（创意）、产品（服务）、消费场景相互叠加的完整链条。

过去40多年，我国已建设100多个生物工业园区，对发展生物技术和生物经济起到了非常重要的作用。但与美国相比，我国园区发展模式主要

还是以引进技术、商业转化为主要形态，尚未形成更为高效的创新驱动与生态集聚效应。长远来看，将对我国生物经济持续发展和国际竞争力的提升造成桎梏。从这个层面上看，我们是否可以设想，围绕山东、江苏、上海、浙江等生物经济强省，构建“环黄海生物产业经济带”，把人才、技术、资本和政策等要素聚集到特定区域，打造中国生物制造的高地？

第四，重视底层技术与核心原料的自主可控。集中研究力量和科研资源，实现底层技术、装备与原料的自主可控，这是当前国际形势下的必然选择。一是加大合成生物学底层技术，如DNA测序与合成、基因组设计构建、基因编辑等，攻克关键核心技术和“卡脖子”难题，掌握自主知识产权。二是大力发展底层原料，包括高质量的DNA合成原料、工具酶、工业酶、生物试剂等，高度重视从极端环境中挖掘新型工具酶与工业酶的策略。三是加大核心装备的研发力度，如开发高通量、低成本的DNA合成仪等。四是通过技术、设备、平台的迭代优化，建立规模化与自动化的合成生物学平台，通过规模集聚效应降低应用端成本，构建良好产业生态。

第五，培养一批跨学科青年人才。在合成生物学和生物制造等新兴领域，跨学科人才尤为重要。如制定长周期人才扶持计划，为青年人才提供长期稳定的研究支持，鼓励从事交叉科学研究，鼓励青年人才参与国际合作项目，促进人才的全球流动。中国生物制造的希望，将有赖于新一代优秀青年人才的成长和主导。

生物经济竞争已是国运之争，生物制造则是其中的关键点、定盘星。我国必须紧紧抓住这一支点，解决并克服生物制造链条中的各种障碍和瓶颈，撬动生物经济快速、健康发展。



6G 将如何改变我们的世界

□ 陈 鹏



移动通信网络经过20多年的发展，已经成为国计民生的关键信息基础设施。每十年一次的代际更新，是移动通信行业发展的基本规律。5G方兴未艾，而6G已离我们越来越近。6G是什么？它离我们还有多远？将给我们的生活带来什么？

6G: 下一代移动通信的蓝图

2023年6月，国际电信联盟（ITU）完成了《IMT面向2030及未来发展的框架和总体目标建议书》，描绘了6G的六大应用场景：沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、人工智能（AI）与通信的融合、感知与通信的融合、泛在连接。其中前三个是对5G场景的演进增强，后三个是面向融合创新诞生的新兴场景，具备极大的潜能与市场价值。6G将进一步打破数字鸿沟，实现全域智联、感知泛在的移动网络。

6G技术凭借其广泛的业务场景，将引领我们进入一个更加智能、互联的未来。比如自动驾驶、远程医疗、沉浸式通信等业务场景的涌现将深刻改变我们的生活和工作方式。在工业领域，6G的超低时延将助力机械运动控制实现毫秒级响应，大幅提升生产效率。在交通领域，6G将解决自动驾驶传感器感知局限、精度不足、信息传输延迟等问题，提升车辆的感知和应对能力，让出行更加安全、高效。在医疗领域，6G的高可靠性和低时延特性将满足苛刻的远程手术需求，为医生与患者之间搭建起实时、稳定的

6G: 研发现状与时间表

目前，业界正加快推进6G技术研发与创新。在2024年3月的3GPP（第三代合作伙伴计划）第103次全体会议上，各方就6G时间计划达成基本共识：3GPP的6G用例和需求研究将于2024年第四季度启动，6G技术研究将于2025年第三季度启动，预计在2029年左右完成6G第一个版本技术规范制定。由此预计6G有望在2030年左右实现商用。

中国政府高度重视6G技术的发展。在“十四五”规划纲要中明确提出要前瞻布局6G网络技术储备，国内还举办了一系列6G技术论坛和研讨会，如全球6G技术大会等，为业界提供了交流和合作的平台。在政府支持下，我国三大运营商、各大设备厂商以及研究机构也在积极布局6G技术，强化产学研协同，力争为全球6G技术的发展贡献中国智慧和中国方案。

6G: 关键变革助力新质生产力发展

2024年中央经济工作会议指出，要以科技创新推动产业创新，特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能，发展新质生产力。在这一背景下，以6G为代表的移动通信技术的演进和发展，无疑将成为推动新质生产力蓬勃发展的强大动力。

AI与通信的融合。在6G技术的浪潮中，AI无疑成为其关键技术突破的重要一环。AI技术与通信的融合应用将为人们带来更加便捷、智能的服务体验，同时也为新质生产力的发展

注入新的活力。一是AI技术在6G网络中的应用将极大地提升网络的智能化和自动化水平。从网络规划到优化，再到运维，通过深度学习、自然语言处理等AI技术，6G网络能够更准确地分析网络流量，预测用户需求，优化资源配置，从而提高网络效率和稳定性。二是AI技术使得6G网络能够更高效更精准满足人们对智能生活的需求。例如，凭借6G网络的高速传输和低时延特性，智能交通系统能够实时感知路况信息，优化交通流量，减少拥堵和事故；智能家居系统则能根据用户的生活习惯和喜好，自动调节家中的温度、湿度、光线等环境参数，提供更加舒适的生活环境。三是6G网络将成为AI的关键使用平台，使得AI服务随时随地触手可及，提供便捷智能体验。

感知与通信的融合。通信和感知原本是两个独立发展的领域，前者以香农（Shannon）创立的信息论为指导，后者是通过电磁场实现对周边环境状态的探测。伴随移动通信技术的快速发展和6G新兴业务场景的实际需求，为两者的有机融合创造了条件。通感一体化是指通过空口设计、硬件设备共享等技术手段，实现通信与感知功能的融合，将通信网络从单一通信功能扩展到通信与感知双功能，从而构建基于蜂窝移动网络的通信感知一体化系统。这将有效扩展运营商的网络能力，实现一网双能，从而更好地赋能垂直行业，驱动技术创新和产业升级。

6G提供的感知服务，涵盖感知定位、成像、模式识别等，通过规模部署的基站提供泛在的感知和通信网络，可有力支持低空经济、智慧交通、海域防控等领域的快速发展。以低空经济为例，作为我国新质生产力的代表性产业，通过部署通感一体化网络，借助多点协同感知，有效融合多维度感知数据，从而获得更高的感知精度，实现高效的低空信息网络，为监管部门提供便利、全面、智能的

低空空域管理解决方案。同时，随着中国智慧城市建设进程的加快，城市管理、智慧交通、低空物流等场景下，无人机安防、巡检、救援、无人值守等应用将成为重要增长点。通感一体化将充分发挥自身优势，助力实现低空经济快速发展，推动融通创新，促进移动通信与垂直行业深度融合，为打造新质生产力、实现我国产业数字化升级提供强大动力。

天地一体和泛在连接。天地一体通过天上通信载体与地面移动通信系统协同，可弥补地面移动网络覆盖的不足，消除传统通信技术中由地理位置造成的局限性。用户在偏远地区、海洋、高山等地也能够享受高质量的通信服务，实现广域覆盖，是6G的核心技术特征之一。

天地一体通信根据天上通信载体距地面位置的不同，可分为高轨、中轨、低轨。其中，高轨卫星相对地球静止、位置高覆盖面积广，在地球同步轨道上布设3颗通信卫星，即可实现除两极外的全球通信。高轨信号稳定、组网简单，但是离地面传输时延大，我国的天通一号卫星移动通信系统是典型的高轨卫星网络。而低轨卫星数量多，具有时延低、链路损耗小、高带宽、高性能等优势，将是承载未来“天地一体”网络的重要平台。马斯克的“星链”，就是低轨卫星网络的典型代表。天地一体化信息网络凭借其高度的空间通信覆盖能力，在灾害应急通信、军事通信等关键领域展现出强大的支持能力，成为新质生产力不可或缺的重要组成部分。

5G引领我们实现了“万物互联”，通过网络将人与人、人与物以及物与物连接在一起，便利了我们的生活。展望未来，6G将实现“万物智联”，除了在带宽、速度、时延等指标上提供10倍以上的飞跃，更将通过通信与智能技术、通信与感知技术、天与地通信网络的融合，实现更泛在、更智能的连接，进一步拓宽和革新我们的生活。

在全球科技竞争日益激烈的今天，构建强大的国家战略科技力量已成为实现科技自立自强、推动国家高质量发展的核心引擎。这一战略不仅关乎国家安全的基石，更是引领未来产业发展、塑造国际竞争新优势的关键所在。在此背景下，深入优化和强化国家战略科技力量的布局与建设，显得尤为迫切与重要。

国家实验室作为战略科技力量的“领头羊”，其地位与作用不可替代。一方面，进一步聚焦国家重大战略需求，以国家实验室为核心，构建多层次、系统化的战略科技力量体系；另一方面，加强国家实验室的自身建设，提升其原始创新能力，通过优化重组国家重点实验室、强化跨学科交叉融合等方式，打造一批具有国际领先水平的科研平台，形成协同创新的强大合力。

“大科学”时代的来临，使得重大科技基础设施成为支撑科技创新的重要基石。要高标准、高质量地建设一批重大科技基础设施集群，这些设施将作为科技创新的“加速器”，推动科学理论和关键技术的突破性进展。此外，高校作为基础研究的主力军，应继续发挥其独特优势，加强基础理论研究，培养更多高素质科研人才；而企业作为科技创新的主体，则需加大研发投入，积极布局前沿技术和颠覆性技术，推动科技成果的产业化应用。

在优化国家创新体系布局的过程中，注重各类创新主体的协同合作，促进产学研深度融合，实现创新资源的优化配置和高效利用。各战略科技力量主体之间要加强沟通交流，共同开展技术攻关和成果转化，形成分工明确、优势互补的创新格局。

针对国家发展面临的紧迫需求与现实问题，进一步强化以国家战略任务为导向的关键核心技术攻关。通过精准布局国家基金项目、加大重点领域投入力度、构建新型产学研合作体系等方式，推动国家科研机构、高校和企业等创新主体攻坚突破。同时，聚焦人工智能、量子信息等前沿领域，突破集成电路等“卡脖子”技术瓶颈，努力取得一批具有自主知识产权的重大科技成果。

优化国家 科技力量布局

□ 刘承良

在空间协同创新方面，紧密围绕国家重大区域战略进行布局规划。通过构建差异化的协同创新格局、打造各具特色的区域创新增长极、推动形成全球创新高地等方式，形成“以点带面”的梯次联动效应。同时，注重区域发展的协调与公平，特别是要加大对中西部创新优势区域的支持力度，激发其创新潜力和活力，促进全国创新能力的均衡发展。调动地方参与国家战略科技力量建设的积极性，促进中央与地方协同布局，共建国家战略科技力量设施，全面提升国家创新能力。

总之，构建强大的国家战略科技力量是一项长期而艰巨的任务。需坚持问题导向、创新驱动、协同发展的原则，不断优化和完善国家创新体系布局，全面提升综合国力和国际竞争力。只有这样，才能在全球科技竞争中立于不败之地。

