

未来产业分论坛

# 人工智能赋能生物制造研究

中国电子信息产业发展研究院电子信息研究所

2026年4月

## 版权声明

本报告版权属于中国电子信息产业发展研究院（赛迪研究院）电子信息研究所，受法律保护。转载、摘编、视频引用等任何使用本报告的文字内容，应注明来源。违反声明者，编者将追究其法律责任。

## 核心观点

**（一）政策与市场双轮驱动，人工智能赋能生物制造产业加速发展。**国家层面，国务院《“人工智能+”行动意见》明确赋能生物制造，工信部等八部门围绕菌种设计、工艺预测等四大维度部署转型指引，并发布首批典型应用案例推动全产业链融合。地方层面，北京、江苏等多个省市将“人工智能+生物制造”纳入规划，央地协同政策体系初步形成。市场层面，全球人工智能赋能生物制造产业进入高速增长期，中国市场规模潜力加速释放。一级市场技术融合类项目受资本青睐，国有资本加速布局，产业成熟度稳步提升。

**（二）人工智能正在重塑生物制造全产业链条。**在菌种设计环节，生成式模型与蛋白质语言模型的引入实现了从“挖酶”到“创酶”的跨越；在工艺开发环节，数字孪生与人工智能预测相结合，推动工艺开发从试错式向理性设计转型；在过程控制环节，基于深度学习的闭环系统推动生产过程从人工值守向智能化自主运行跃升；在放大生产环节，通过虚拟放大实验辅助破解中试产业化瓶颈。

**（三）数据、模型与转化等多重挑战制约融合发展。**数据层面，上游基因序列、蛋白质结构等来源分散、标准不一，下游生产过程数据因缺乏统一采集共享机制而割裂于机构内部，单一主体样本有限难以

满足模型训练需求。模型层面，AI模型可解释性不足，用于蛋白质设计的大语言模型可能生成序列评分虚高但存在缺陷的候选物，决策不透明制约科学认同与监管审批效率。转化层面，中试阶段传热传质效率下降、数据采集难度高，加之AI研发投入相对高昂，对技术推广构成现实压力。

**（四）建议从数据、模型、转化、人才四个维度系统发力，推动人工智能深度赋能生物制造产业。**在数据层面，构建国家级生物制造可信数据空间，采用隐私计算实现安全汇聚与脱敏共享，建立数据贡献激励机制。在模型层面，构建可解释AI研发验证体系，推动行业通用验证基准数据集与测试标准建设。在转化层面，建设国家级数字化中试平台，集成数字孪生系统，研发面向工艺放大的AI预测模型，鼓励龙头企业开放中试场景并给予研发费用补贴。在人才层面，创新复合型人才培养模式，构建模块化课程体系，培育融合型创新主体。

**关键词：**生物制造；政策协同；资本布局；技术融合

## 一、人工智能赋能生物制造产业发展现状

### （一）央地政策协同发力，构建系统化支撑体系

国家层面系统部署，为人工智能赋能生物制造提供了有力支撑。

国务院《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》明确提出推动人工智能与传统产业深度融合，赋能生物制造等重点领域。工信部等八部门联合发布《“人工智能+制造”专项行动》，将生物制造列为关键领域，围绕菌种设计、平台构建、工艺预测、过程控制四大维度部署转型指引。国家药监局“十五五”规划明确支持生物制造产业创新发展，推动医药产业向“系统性创新”“质量效益型增长”及“供应链数字化”转型。在具体落实层面，工信部已组织开展人工智能技术在生物制造领域典型应用案例征集工作，并于2025年8月印发第一批典型应用案例，推动人工智能与生物制造产业链深度融合。

地方配套措施加速落地，央地协同的政策支撑体系初步形成。北京经济技术开发区出台政策，鼓励企业在生物制造核心环节广泛应用人工智能技术，对使用第三方大模型服务的给予“模型券”支持。江苏省在“人工智能+”行动方案中规划推动人工智能在药物靶标筛选、药物分子设计等领域应用，建设公共服务平台打造合成生物元件、小分子药物等专家模型，面向中小企业开放分子设计、蛋白质预测等工具链。广东省明确提出推动人工智能赋能生物制造，支持组建生物制造

标准化技术委员会，完善产业生态，在全省布局建设生物制造专业园区。地方政策正由点状探索走向系统集成，为产业高质量发展提供坚实保障。

## （二）技术融合加速，人工智能重塑生物制造全链条

在菌种设计环节，人工智能技术的应用正在推动生物元件设计方式从传统筛选向理性设计演进。传统方法依赖定向进化和高通量筛选，犹如“大海捞针”，周期漫长且结果难以预测。借助蛋白质语言模型等人工智能技术对海量序列与功能关系的深度学习，科研人员能够直接设计出具有特定功能的关键生物元件，逐步实现从“挖酶”到“创酶”的跨越。这种理性设计方式可大幅缩短菌株的改造周期，提升菌株开发的效率与成功率。

在工艺开发环节，数字孪生与人工智能预测为工艺参数优化提供了技术路径。传统模式高度依赖经验调控，变量耦合复杂，优化周期往往较长。通过构建虚拟发酵罐等数字孪生系统，研究人员可以在开展真实实验之前，利用仿真环境进行工艺条件的模拟。人工智能算法能够对海量参数组合进行系统筛选，辅助识别更优的工艺条件，从而提升产物产量与过程稳定性。同时，AI驱动的知识管理平台可以将历史数据与专家经验转化为可复用的工艺知识库，推动工艺开发从经验试错向理性设计转型。

在过程控制环节，基于深度学习模型构建的“感知—决策—调控”闭环系统，正在推动发酵生产从人工值守向智能化自主运行升级。该系统可实时处理温度、酸碱度、溶氧、尾气等多模态时序数据，在发酵早期预测后期走势并生成调控建议。通过融合多光谱传感与机器学习算法，可对关键代谢物进行实时监测与智能补料，有助于减少批次间差异，提升生产稳定性。

在放大生产环节，人工智能通过虚拟放大实验辅助破解从实验室到产业化的中试瓶颈。传统放大过程中，反应器规模扩大常引发物料混合、热量传递及细胞代谢行为的复杂变化，许多实验室成果因此难以落地。通过整合小试到中试、大生产的反应器运行数据，研究人员可训练能够预测“规模效应”的智能模型，在物理放大之前利用计算机完成大量虚拟实验。结合数字孪生技术，可减少实际试验次数、降低研发成本，加速从实验室到产业化的转化进程。

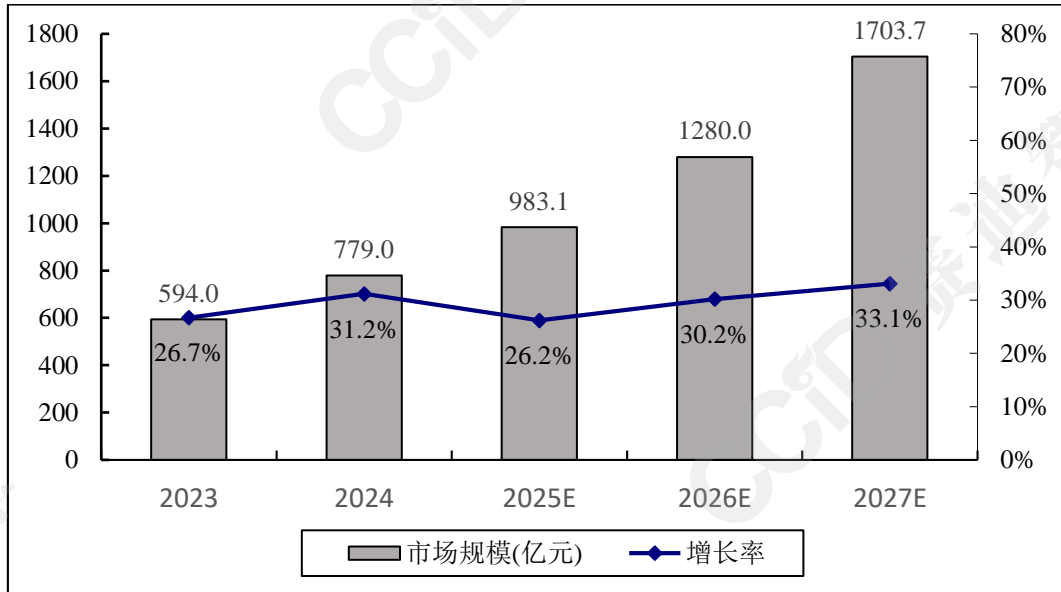
### （三）市场高速增长，资本持续加码

全球人工智能赋能生物制造产业进入高速增长期。2025 年全球人工智能在制药和生物技术领域的市场规模为 66.3 亿美元，预计将从 2026 年的 85.4 亿美元增长至 2034 年的 1541 亿美元，复合年增长率达 43.55%。从应用领域看，药物发现与开发为当前最大应用场景，2026 年预计占 29.8% 的市场份额；从技术路径看，机器学习和深度学习占据

最大市场份额，自然语言处理预计以 43.46% 的复合年增长率增长。从用户类型看，制药与生物技术企业作为核心应用主体，2026 年预计市场份额占比达 54.9%（Fortune Business Insights，2026 年 3 月）。人工智能正从技术赋能迈向产业重塑，成为驱动全球生物制造范式变革与战略竞争的关键力量。

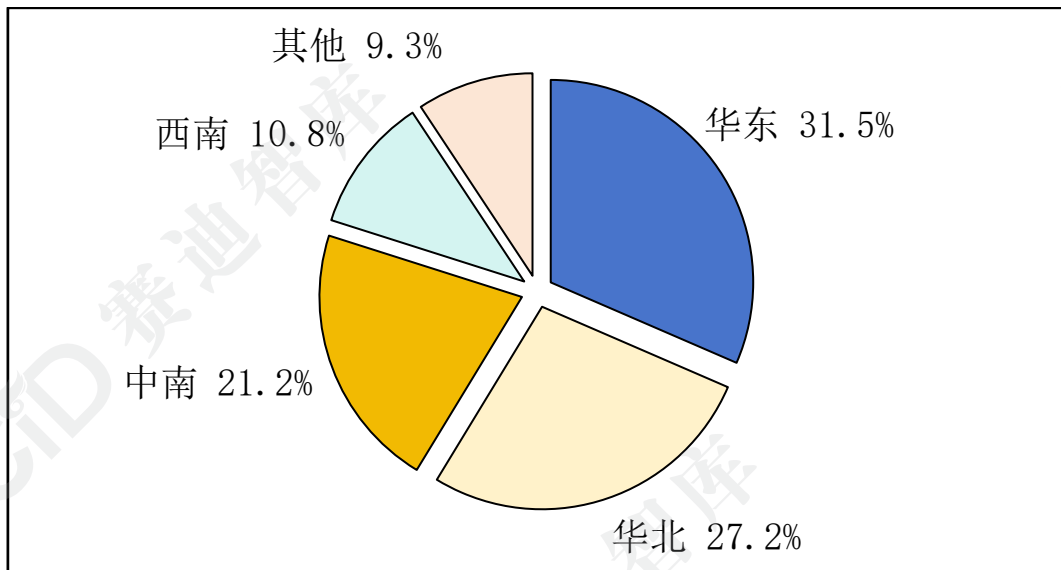
中国人工智能赋能生物制造市场潜力逐步释放。全国生物制造业总规模已达 1.1 万亿元，生物发酵产品产量占全球 70% 以上，为技术融合提供了产业基础。作为生物制造的前沿方向，合成生物制造业呈现较快增长态势，2025 年规模较 2024 年增长 26.2%，近三年增速均维持在 25% 以上。从区域布局看，华东、华北、中南地区为主要集聚区，2024 年产业规模分别为 311.5 亿元、269.0 亿元和 209.6 亿元（赛迪智库，2025 年 12 月）。在此背景下，人工智能在生物制造领域的应用逐步拓展。2026 年中国人工智能在制药和生物技术领域市场规模预计约 4.2 亿美元，约占全球的 4.9%（Fortune Business Insights，2026 年 3 月）。坚实的产业基础与活跃的创新板块，为人工智能在生物制造领域的深度应用提供了广阔空间，正推动产业向数据驱动、智能协同方向演进。

图1 2023-2027年中国合成生物制造产业规模



数据来源：赛迪智库整理 2025 年 12 月

图2 2025年上半年中国合成生物制造区域布局



数据来源：赛迪智库整理 2025 年 12 月

国内一级市场表现活跃，投资逻辑转向价值理性。我国合成生物制造领域投融资规模持续扩大，目前已增长至近 300 亿元/年（赛迪智库，2025 年 12 月）。AI 融合项目成为资本布局的核心赛道，其中 AI 制药领域表现尤为突出。从时间维度看，近三年我国 AI 制药投融资持续增长，从 2023 年的 19 起增至 2024 年的 25 起，2025 年进一步上升至 31 起，资本长期看好这一赛道（摩熵投融资，2025 年 12 月）。从投资主体看，国资参与度显著提升，多笔大额融资由地方国资平台领投或参投。从融资轮次看，早期项目仍占主导，中后期项目较往年明显增加，最大单笔融资超 5 亿元（智药局，2026 年 1 月），产业正从实验室研发迈向规模化验证。获得融资的企业普遍具备技术壁垒、复合团队和清晰商业化路径等特征，投资逻辑正从概念关注转向对技术可实现性、成本控制与市场需求的综合考量。

## 二、需解决的问题

### （一）基础数据支撑不足

数据是驱动人工智能模型的核心要素，当前生物制造领域的数据基础较为薄弱。上游生物资源数据如基因序列、蛋白质结构等来源分散、标准不一，高质量标注数据集供给相对有限。下游生产过程中积累的海量过程数据，则因缺乏统一的采集标准和接口规范，大多被割裂于各科研机构与企业内部。加之企业间出于商业机密和知识产权保护

考量，数据共享意愿普遍较低，存在不愿公开、不敢共享、不能通用的多重困境。单一主体积累的有限样本难以满足深度学习模型对训练数据量的需求，致使人工智能模型因缺乏标准化、大规模的训练样本而无法实现有效迭代。

### （二）模型验证与可解释性面临挑战

AI模型在生物制造领域的应用面临可解释性不足的挑战，技术成熟度有待进一步提升。用于蛋白质设计的大语言模型可能生成序列评分虚高但实际存在缺陷的候选物，导致后续实验验证负担加重。算法自身的训练偏差或逻辑缺陷可能在生成过程中被放大，使单一细微偏差演变为系统性的设计失败，进一步加剧了应用结果的不确定性。此外，AI生成的候选方案仍需大量湿实验验证，部分研究成果难以被独立复现。模型决策过程的不透明性，使得科学共同体对其可信度存疑，监管机构也难以建立对技术安全性与有效性的评估框架，进而影响监管审批进程。

### （三）产业化转化遇阻

实验室成果向工业化生产转化面临系统性挑战，中试放大与成本平衡难度较大。反应器规模放大后传热传质效率下降，致使许多在实验室表现优异的菌种与工艺在规模化生产中性能大幅衰减。发酵优化放大环节的数据采集和处理难度较高，缺乏真实生产数据的持续反馈，

模型预测精度难以满足工程化需求，工艺稳定性面临考验。从商业层面看，AI研发投入相对高昂，其技术服务定价与企业实际承受能力之间存在一定差距，构成了技术大规模推广应用的现实阻力。

#### （四）跨界复合人才短缺

既精通 AI 算法又深刻理解生物系统与产业需求的跨界人才供给相对不足。人工智能赋能生物制造融合了 AI 算法、生物学、化工制造等多个学科，对复合型人才需求迫切。而在当前高等教育体系中，生物类专业和计算机类专业长期处于相对独立的培养轨道，这种学科分隔导致在产业实践中普遍存在“AI 工程师不懂工艺、工艺工程师不熟算法”的现象。AI 工程师与生物工艺工程师之间的知识壁垒，以及两类学科文化与方法论的差异，共同增加了跨团队协作的沟通成本。这种人才结构上的短板，使技术、工艺与产业各环节难以高效串联，一定程度上制约了行业整体发展速度。

### 三、应采取的对策建议

#### （一）构建国家级生物制造可信数据空间

从标准、平台、机制三个维度统筹推进数据基础能力建设。在标准层面，针对基因序列、蛋白质结构、发酵过程参数等关键数据类型制定国家级生物制造数据采集与标注规范。在平台层面，建设国家级生物制造可信数据空间，采用联邦学习、隐私计算等技术对分散于各科

研院所和生产企业的过程数据进行安全汇聚与脱敏共享，形成可训练人工智能大模型的数据资源。在机制层面，建立数据贡献激励机制，对贡献高质量数据的主体给予知识产权共享、科研项目优先支持等权益，形成正向激励循环，激发行业数据开放的积极性。

## （二）构建可解释 AI 研发验证体系

从模型、验证与生态三个层面系统构建 AI 模型可解释性与验证标准体系。在模型源头层面，支持产学研联合开发可解释 AI 工具，推动蛋白质设计、代谢路径预测等关键任务的输出逻辑可追溯、可验证。在验证层面，推动建立行业通用的 AI 模型验证基准数据集与测试标准，对算法训练偏差进行系统性检测与修正。在协同生态层面，鼓励科研机构与监管机构合作开展 AI 辅助成果的第三方独立复现实验，积累可信证据，逐步建立监管机构对 AI 模型安全性与有效性的信任基础，为后续审批提供依据。

## （三）建设国家级数字化中试平台

布局建设一批国家级生物制造中试平台，着力提升工艺放大能力。支持建设开放式数字化中试基地，集成在线传感、过程分析技术及数字孪生系统，实现对传质传热、代谢流等关键参数的实时采集与智能分析。加快研发面向工艺放大的 AI 预测模型，整合不同规模反应器的流体动力学与细胞代谢数据，在物理放大前开展虚拟仿真实验，降低

试错成本。鼓励龙头企业开放中试场景，对采用 AI 技术进行工艺优化的企业给予一定比例的研发费用补贴，降低企业采用新技术的门槛，加快技术验证与产业化进程。

#### （四）创新复合型人才培养模式

构建多层次、跨学科的产教融合培养体系，加快破解复合型人才供给不足问题。在学科建设层面，鼓励高校设立“人工智能+合成生物学”“智能生物制造”等交叉学科方向，构建涵盖 AI 算法、生物学、化工制造、产业经济的模块化课程体系，打破传统学科壁垒。在实践培养层面，支持企业与高校共建联合实验室和实训基地，推行“双导师制”培养模式，让学生在真实产业场景中完成从算法设计到工艺优化的全流程训练。在人才配置层面，引导企业组建融合 AI 算法、生物工程、化工工艺背景的跨职能团队，建立以解决实际问题为导向的激励机制，将学科差异转化为协同创新的内生动力。

本文作者：陈淦萍 刘楠 马蓓蓓 赵燕

联系人：陈淦萍 13910252882