



# 工业人工智能驱动的 制造模式创新变革

## Innovative Transformation of Manufacturing Models Driven by Industrial Artificial Intelligence

敖立/Ao Li

(中国信息通信研究院, 中国北京 100191)  
(China Academy of Information and Communications Technology, Beijing  
100191, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202601009

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/34.1228.TN.20260224.1827.004>

网络出版日期: 2026-02-25

收稿日期: 2026-01-15

**摘要:** 人工智能(AI)技术在制造业应用持续拓展和深化,通过构建一体化研发模式、自主化制造模式以及高韧性供应网络,驱动制造模式创新变革,成为推动制造业迈向智能化、高端化发展的核心力量。面向新发展阶段,需以场景化探索带动价值闭环验证,夯实高质量工业数据基础,推动AI与制造全流程深度融合,完善标准、生态与治理等发展保障要素,驱动工业AI迈向系统性规模化应用,加速制造业智能化的全面跃迁。

**关键词:** 工业人工智能; 大模型; 制造业模式变革

**Abstract:** The application of artificial intelligence (AI) technology in the manufacturing industry continues to expand and deepen. By constructing integrated research and development models, autonomous manufacturing systems, and high-resilience supply networks, AI drives innovative transformation in manufacturing modes, serving as a core force in advancing the industry toward intelligent and high-end development. In the new development stage, it is essential to leverage scenario-based exploration to validate value closed loops, strengthen the foundation of high-quality industrial data, promote deep integration of AI across the entire manufacturing process, and enhance supportive elements such as standards, ecosystems, and governance. These efforts will drive industrial AI toward systematic large-scale applications and accelerate the comprehensive transition to intelligent manufacturing.

**Keywords:** industrial artificial intelligence; large model; transformation of manufacturing modes

**引用格式:** 敖立. 工业人工智能驱动的制造模式创新变革 [J]. 中兴通讯技术, 2026, 32(1): 53-56. DOI: 10.12142/ZTETJ.202601009

**Citation:** Ao L. Innovative transformation of manufacturing models driven by industrial artificial intelligence [J]. ZTE technology journal, 2026, 32(1): 53-56. DOI: 10.12142/ZTETJ.202601009

当前,以大模型为代表的人工智能(AI)技术迅猛发展,已成为驱动产业变革的核心力量<sup>[1-5]</sup>。制造业面临需求波动加剧、产品生命周期缩短、工艺复杂性提高以及生产组织柔性化需求扩大的多重压力,其竞争本质已发生根本性转变,即从基于规模化的成本控制转向基于数据的敏捷价值创造。AI正以前所未有的速度、广度和深度渗透到工业生产各个环节,逐步变革传统的生产模式、组织方式和价值链<sup>[4]</sup>。“十四五”时期,中国AI与工业制造融合取得一系列探索成果。在“十五五”开局以及由制造大国向制造强国迈进的关键阶段,中国亟需进一步系统推进工业AI创新发展,加速制造业智能化的全面跃迁。

### 1 工业AI的内涵及发展脉络

工业AI是AI与工业技术场景结合的产物,具体表现为

一系列智能化应用与技术产品。其本质是AI技术与工业机理、数据及装备产品结合,实现设计模式创新、生产智能决策等创新应用,同时增强工业装备软件等产品的自主感知控制能力,适应复杂多变的工业环境,完成多样化工业任务,提升生产效率、设备产品性能与产业创新能力。AI技术诞生已60余年,与工业融合并不是全新课题。随着AI技术的持续演进,工业AI的赋能路径逐步清晰,包括4个赋能阶段:

一是以专家系统为代表的初步融合阶段。20世纪80年代,专家系统等早期AI技术开始在工业过程监测等领域应用,以规则的方式把专家的部分经验转化为计算机程序,代替人工进行操作控制,使领域专家不受时间和空间的限制,初步解放人的智力。例如,日本川崎GO-STOP专家系统存储了600条专家知识规则,实时监测高炉冶炼过程状态,将

各种因素控制在最佳范围内。

二是以模式识别为代表的感知智能阶段。20世纪90年代后，统计机器学习等AI技术开始应用于工业图像处理和生产过程优化领域，基于统计学方法建立数学模型并处理工业数据，解决质量视觉检测、生产流程优化等问题，是目前应用最成熟的技术路径。例如，机器视觉检测技术被应用于识别诸如印刷电路板（PCB）、布匹、钢板等材料表面的简单瑕疵检测。

三是以深度学习为代表的广泛赋能阶段。随着深度学习、知识图谱等技术的突破，工业AI基于大量工业数据和知识建立数学模型，被应用于研发设计优化、设备预测性维护、供应链优化等更广泛复杂的场景，并催生智能汽车、智能机器人等装备产品，在识别、分析方面达到甚至超过人类能力。典型应用包括利用深度学习技术优化设备运行参数、工艺参数以及物流配送路径。

四是以大模型为代表的认知探索阶段。随着ChatGPT、DeepSeek等现象级大模型的发布，全球掀起大模型技术的工业应用探索热潮。相比于早期的AI模型，大模型具有更庞大的参数规模和更复杂的模型架构，使计算机具备相对通用且更强大的分析、预测、交互能力。虽然仍处于探索初期，但已在基础研发、控制代码生成、文档与表格自动处理等场景展现较好的应用潜力。

工业AI发展的4个阶段不是依次替代的，而是逐步演进、相互叠加的：前3个阶段关注解决某个企业车间，甚至具体产线或设备的特定场景问题，属于以AI小模型（基于传统机器学习、深度学习、知识图谱等算法、参数规模一般在千万级以下的模型）为主的“专用智能”阶段；第4阶段有望解决多模态处理、知识推理决策等更具备通用性的工业问题，属于以大模型（通常指参数规模亿级及以上的预训练模型）为代表的“通用智能”阶段。当前，专用智能和通用智能两个路径并行，共同构建工业AI的赋能体系。

## 2 AI成为制造业模式变革的核心驱动

随着AI在制造业中的应用持续拓展和深化，大量制造企业应用AI技术开展研发生产管理 etc 全环节升级和改进，形成上百种应用模式。工业和信息化部最新数据显示，中国培育的卓越级智能工厂生产场景的AI渗透率已超过45%，领航级智能工厂的渗透率超过70%<sup>[6]</sup>。AI技术驱动的制造模式变革不再表现为单一环节的局部优化，而是呈现出以研发、制造与供应链为核心的系统性重构特征，迈向更加高效、创新、韧性的制造体系。

### 2.1 构建数字孪生与AI驱动的一体化研发模式

通过贯通需求定义、方案设计、虚拟验证与在役反馈等关键环节，推动研发体系由经验驱动、阶段割裂的线性流程，向模型驱动、数据闭环和持续演进的系统性模式转变。具体包括3个方面：

一是构建多目标约束下的智能化设计。对性能、成本、工艺、质量与交付等目标约束进行系统化建模，通过智能算法与研发智能体协同，来生成和优化设计方案，实现设计阶段即可统筹制造可行性与全生命周期目标。通用电气在航空发动机领域构建了以数字孪生为核心的闭环研发体系，显著缩短产品迭代周期，诠释了“设计即制造协同”的新研发范式。

二是依托高保真数字孪生开展虚拟验证与并行研发。在产品早期同步引入工艺参数、产线能力参数和多物理场仿真，实现设计、工艺与制造能力的前移协同，显著降低对物理样机和反复试制的依赖，加快技术成熟与产品定型<sup>[7]</sup>。微软、伯克利A-Lab、上海AI实验室等在材料逆向设计、实验自主设计与执行等方面取得突破性进展。

三是产品全生命周期一体化优化。贯通MBSE-MBE-MBV一体化研发流程，建立需求、方案、仿真、排程、根因分析的多智能体协同博弈机制，寻求最优设计策略，并在役数据反向校准设计、材料、维护策略。吉利汽车通过引入智能生成式设计及虚拟验证技术，实现了整车结构优化与研发效率的双重提升。

### 2.2 迈向高度敏捷、柔性、精准、超常的自主化制造模式

以工业AI和制造系统数字化模型为核心，贯通生产计划、资源调度、过程执行与质量反馈等关键环节，推动制造活动从刚性执行、经验调度，向感知驱动、自主决策转变。

一是面向复杂约束与多目标权衡，构建以智能调度为核心的柔性生产运行体系。通过对交付周期、产能负载、能源消耗、质量风险与安全约束等要素进行系统化建模，引入智能优化算法与制造智能体协同机制，实现生产资源的动态配置、产线结构的柔性重组以及跨工序协同运行，提升制造系统对需求波动和不确定性的响应能力。西门子、通用汽车、宝洁等企业围绕智能排产、柔性调度和跨工序协同等方面开展了实践探索，通过数字化工厂模型与智能算法的结合，在多品种、小批量和高频切换场景下提升生产稳定性与交付可靠性。

二是以过程孪生和设备孪生为支撑，推动生产管理由事后纠偏向预测控制与零缺陷导向转变。在生产执行阶段引入工艺参数、设备状态与质量特征的联合建模，实现异常预警、参数自适应调节与零缺陷导向的过程优化，降低制造波动与质量损失。武汉京东方通过建设虚拟量测平台和AI质

量缺陷管理系统，实现关键工序高比例覆盖，有效降低产品不良率。

三是以工艺建模与智能控制为支撑，推动制造工艺由经验驱动向超常极限制造能力跃升。借助工艺建模仿真、智能过程控制等手段，工业AI可深度参与工艺设计、参数优化和过程调节，突破传统制造在尺寸精度、性能稳定性和极端工况下的能力边界。长飞光纤通过自研自适应闭环工艺控制系统，在超大尺寸和超高速条件下实现稳定生产，支撑其在高端光纤制造领域的持续领先。部分高校也提出了关于大小模型协同、多智能体调度、工业系统自适应的理论框架。

### 2.3 塑造高效率、高敏捷与高韧性的产业链与供应网络运行模式

通过构建覆盖需求、计划、采购、生产和交付等环节的供应链数字体系，供应网络逐步具备全流程可监测、可预测、可调度和可复盘的能力，驱动供应链从被动响应的成本中心，向高效率、高敏捷与高韧性的价值中心转变，以更低的成本和更高的运行效率，主动适应外部需求环境，创造新的商业价值。

一是推动从需求到供应的端到端协同，实现供应链由分段决策向一体化联动转变。依托AI对销售预测、生产计划和物料需求的协同建模，制造企业能够打通需求、计划、采购与物流等环节，实现关键决策信息的实时共享与动态调整，从而显著提升对需求波动的快速响应能力。联想通过将AI优化排产结果反馈至采购和物流系统，推动需求、采购与配送的统一决策，在提升准时交付率的同时，有效降低综合运营成本。

二是强化供应风险的主动预测与智能决策，推动供应管理由事后处置向前瞻干预转变。面对多级供应网络中的结构性脆弱性，AI通过融合地理信息、供应商数据、交通状况及外部环境等多源信息，实现对潜在中断风险的多维度预测，并自动触发替代方案和应急决策，提升供应体系的整体韧性。从实践看，通用汽车和雷诺等整车企业已利用AI构建多层级供应风险感知与预警机制，在自然灾害、物流延误等场景下提前识别风险并制定应对方案，显著降低供应中断对生产的冲击。

三是构建微工厂与生产网络，在靠近需求侧或资源侧的模块化制造节点，实现定制响应、自主物流与快速交付，推动供应链从被动响应的成本中心向高效率、高敏捷与高韧性转变，使制造体系能够主动适应外部需求环境变化并持续释放新的商业价值。西门子、Haddy等企业围绕微工厂与网络化生产模式开展探索，通过将AI驱动的工艺规划、生产调度与物流协同引入模块化制造节点，在个性化定制和短交期场景下显著缩短交付周期，提升供给弹性。

## 3 机遇与挑战

### 3.1 机遇

一是制造业转型升级为AI深度应用创造了现实牵引。当前制造业处于由规模扩张向质量效率并重转型的关键阶段，产品复杂度提升，生产组织方式更加柔性化、多样化，传统依靠经验调度和人工决策的模式难以有效支撑多目标约束下的精细化决策与协同优化。制造业对智能化分析、预测与决策能力的需求持续增强，为AI技术深度融合制造业各环节提供了明确问题导向和现实需求牵引。AI技术在复杂系统建模、关系挖掘和多目标权衡等方面具备优势，通过深度融合渗透到制造业各环节，并与工业机理知识相结合，改变既有工业生产模式，变革传统研发模式、制造方式和组织形态，成为推动制造业智能化、高端化发展的核心力量。

二是制造业数字化加速普及推广，为AI深度应用提供了必要条件。经过多年发展，制造业在设备联网、过程数据采集和业务系统建设方面取得积极进展，生产过程的可观测性和可追溯性不断提升，制造活动逐步由“经验主导”向“数据可描述、过程可分析”转变。这一阶段性变化，为AI模型训练、验证和持续迭代提供了基本的数据来源和工程载体，使AI在制造业的应用从概念探索走向具备规模化推广可能的现实阶段。同时，数据、算力和平台能力的持续积累，也为传统工业技术与数据科学融合演进创造了条件。

三是AI技术演进与产业竞争格局变化，为AI深度应用提供了战略窗口期。一方面，以大模型等为代表的新一代AI技术，在知识表达和泛化能力方面取得积极进展，传统依赖工业知识和经验积累的技术产品将进一步与数据科学融合迭代，破解过往在重点领域难以突破的基础工艺、材料、系统等技术瓶颈。另一方面，全球制造业竞争正从单一产品和装备能力比拼，转向系统集成能力与智能化水平的综合竞争，AI逐渐成为塑造未来制造优势的重要变量。中国制造业场景丰富多样，具有海量真实的工业场景数据，为AI技术提供了广阔的试验田和差异化的验证环境，既能持续反哺算法优化，驱动AI模型在复杂工况下快速迭代升级，也有助于推动专用算法模型和行业解决方案的成熟。这种“场景定义技术、需求牵引创新”的模式大幅缩短AI从实验室到落地的转化周期，推动培育出具有中国特色的AI技术产业创新路线，在未来全球产业竞争中形成独特竞争优势。

### 3.2 挑战

一是工业核心生产环节对实时性和可靠性要求较高，限制了AI在制造业发挥核心作用。部分高节拍生产环节对模型

计算及参数更新速率的要求达到微秒级，工业设备算力有限，深度学习等主流AI技术尤其具有亿级参数的大模型，很难在有限算力条件下满足实时性需求。此外，主流AI技术输出的结果均基于概率统计，不能保证结果100%准确可靠。

二是“AI-Ready”的工业数据准备度不足。当前多数工业数据的采集仍以支撑生产运行和管理为目标，尚未直接面向模型训练进行准备，需要基于工艺机理、故障因果关系等先验知识形成相对完备有效的训练数据集（如问答组合、材料数据库等）。这一过程对治理人员的专业性和全面性要求极高，但目前大多数工业企业缺乏专门的数据管理组织、顶层规划、制度流程和投入，产业用于工业AI模型训练的数据集面临规模小、质量低、复用性不足等核心问题，增加AI落地成本、制约AI解决方案规模化发展。

三是未来潜在的安全风险与伦理挑战。工业AI模型通常具有一定的“黑箱”特征，决策过程的不透明性极有可能引发产品质量、安全事故等责任归属难题。此外，在高度自动化的生产环境中，过度依赖AI系统还可能削弱人工干预和应急处置能力，增加系统性风险。从长期看，如何在引入AI的同时，建立清晰的责任边界、审计机制和安全保障体系，确保工业系统在复杂工况下的可控性与可信性，已成为制造业智能化进程中亟需正视的问题。

#### 4 思考与建议

中国的AI技术能力处于全球第一梯队，其工业AI与其他国家的工业AI几乎同步发展，拥有相对丰富的产业实践，具有应用场景多、数据资源丰富、转型需求强烈等优势。需顺应新形势，充分发挥中国应用侧优势，以打造全球引领的智能化场景与模式为目标，谋划产业创新突破的新路径，同时将制造强国建设与AI创新有机协同，持续提升AI产业技术竞争力。

一是以场景化探索带动价值闭环验证，建立工业AI标杆引领体系。聚焦研发设计、生产制造、经营管理、售后服务等全价值链环节，明确AI技术应用目标、实施路径和成效评估指标，推动AI能力深度嵌入制造系统核心流程。支持行业龙头企业联合生态伙伴围绕制造业关键环节和高价值业务场景，开展前沿场景探索，如数据驱动和基于数字孪生的研发模式、高度自主柔性制造、网络化分布式制造等，构建具有引领性的未来制造模式。鼓励企业开展细分领域、点状创新的场景探索，打造一批成效可量化、模式可复制的工业AI应用标杆，降低中小企业技术采纳的“试错成本”，打破“认知壁垒”，驱动工业AI从局部试点走向系统性规模化应用。

二是以“统一规范+分块建设”模式打造工业高质量数据集，探索流通共享机制。依托国家有关标准化组织，联合

科研单位、产业联盟等制定工业数据集质量、标注、格式等标准规范。鼓励行业企业按照统一标准构建细分场景的工业数据集，并基于可信数据空间开展数据集的共享流通应用，创新数据成果共享、效益分成的发展模式，实现长效运营。

三是应用带动AI与制造系统深度融合、驱动技术产品与解决方案加速创新。围绕具身智能装备、智能工业软件、智能自动化系统等重点领域，编制关键技术及融合产品名录，鼓励传统工业技术服务商开展融合技术产品创新，带动我国制造系统变革升级。鼓励AI厂商联合行业企业，围绕大小模型协同、行业大模型、工业智能体等技术领域，构建创新型工业智能解决方案，依托大型项目推广落地与应用迭代。

四是完善工业AI发展保障要素的支撑能力。推进工业AI标准体系建设，加强与国际标准化组织合作，推进标准国际化进程。支持发展产业联盟、协会等行业组织，加强在技术攻关、标准制定、推广宣传等方面的协调配合。开展工业AI治理，探索制定完善AI在工业领域应用的决策偏见、隐私安全等规则规范。打造工业AI模型产品开发与试验验证平台工具，提供面向工业场景的智能产品高效开发、上线测试、工程开发及工艺改进等服务。

#### 参考文献

- [1] 中国信息通信研究院. 人工智能产业发展研究报告(2025年) [R]. 2026
- [2] 中国信息通信研究院. 工业智能发展研究报告(2022年) [R]. 2023
- [3] 韩炳涛, 刘涛. 大模型关键技术与应用 [J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(2): 76-88. DOI: 10.12142/ZTETJ.202402012
- [4] 包义明, 林阳, 屠要峰. 人工智能技术与应用前沿 [J]. 中兴通讯技术, 2025, 31(4): 67-74. DOI: 10.12142/ZTETJ.202504010
- [5] 朱云轩, 黎菁, 彭拓宇. 人工智能与工业的深度耦合技术路径: 从云端认知到具身重构 [J]. 工业技术经济, 2025, 44(6): 90-98
- [6] 央视网. 制造业迈入智能化! 29%、38%技术变革转化为企业实打实效益与优势 [EB/OL]. (2025-11-28) [2025-12-26]. <https://news.cctv.com/2025/11/28/A-RTlw85NC9ecj3FXklQYHvHs251128.shtml>
- [7] 中国信息通信研究院, 中国人工智能产业发展联盟, 全国智能计算标准化工作组. 科研智能: 人工智能赋能工业仿真研究报告(2025年) [R]. 2025

#### 作者简介



敖立，中国信息通信研究院副院长，正高级工程师，国务院特殊津贴获得者，担任中国通信标准化协会传送网与接入网技术工作委员会副主席兼接入网及家庭网络工作组组长、SDN/NFV/AI联盟秘书长、宽带发展联盟副秘书长等职务；长期从事数字政府、数字化转型、工业互联网、宽带光网络、未来网络、智慧家庭领域技术及标准研究工作，主持数字化转型、工业互联网、宽带发展、千兆光网、电信普遍服务、三网融合等重要项目研究工作；多次获得国家及省部级科技进步奖。