科学技术与教育 2026年第10期
ISSN: 3079-4455

国际智能制造系统解决方案技术发展态势与启示

梁凯歌，焦国涛，何宏宏，左鹏，闫菲，徐昊骐，张欣*
中国电子技术标准化研究院，北京，中国
*通讯作者

【摘要】系统解决方案承担着把装备、软件、网络、数据与管理技术组合成可交付能力的职能，是智能制造技术落地工厂的最后一环。本文系统梳理国际头部供应商近年在物理 AI 与具身智能、工业软件原生智能、数字主线与可信数据空间以及技术能力整合等方面的布局，研判装备、软件、数据与方案形态四条演进主线：装备的智能将从单机扩展到多机协同并向具身形态演进，工业软件的驱动逻辑将由规则转向认知，工业数据将经过语义化成为可流通的资产，解决方案本身则呈现可生成、可组合、可进化的特征，并在此基础上讨论对我国的启示。

【关键词】智能制造；系统解决方案；工业大模型；工业智能体；技术趋势
【基金项目】智能制造系统解决方案实施成效测评标准及工具研制：智能制造系统解决方案能力测评指标体系及方法（编号：2025ZD1606101）

1.引言

系统解决方案以系统集成为核心，把装备、软件、网络、数据与管理技术组合成面向具体场景的交付能力。从产业分工看，装备产业提供硬件，软件产业提供产品，系统解决方案产业负责跨产品的整合与场景化适配，属于典型的系统级产业。将前沿技术转化为制造能力，是工业文明演进中一个古老而常新的命题：从蒸汽机时代成套装备的供给服务，到电气化与自动化时代生产系统的配套建设，再到信息化时代的数据系统集成，每一次生产方式的跃迁都会催生出能将新技术转化为制造能力的系统解决方案——智能制造系统解决方案正是这一脉络在人工智能时代的延伸。

智能制造的技术逻辑已有系统讨论：周济指出数字化、网络化、智能化是新一轮工业革命的核心技术方向[1]，臧冀原等将智能制造归纳为数字化制造、“互联网+”制造与新一代智能制造三种基本范式[2]，刘强构建了智能制造理论体系架构[3]。这些讨论主要面向技术逻辑本身，对承载技术落地的系统解决方案关注不足。当前，国际头部供应商正处于系统性重构期：物理 AI 与具身智能开始进入工业场景，AI 以原生方式嵌入工业软件全生命周期，数字主线与可信数据空间搭建起数据底座，并购与生态联盟重塑能力版图。这些布局相互交织，正在改变全球智能制造技术路线的走向。我国系统解决方案产业经过多年政策培育已形成独立形态[4]，但技术选型与升级路径仍需以国际前沿为参照——系统把握国际发展态势与演进方向，对明确我国技术攻关重点与产业布局具有现实意义。

围绕系统解决方案所依赖的底层技术，数字孪生[5]、知识图谱[6]、工业软件[7]、大语言模型应用[8]、工业仿真[9]、具身智能[10]、异构文档语义化[11]以及工业大模型与智能体架构[12-13]等方向均有研究进展，其中任磊等提出的工业大模型五层架构与工业智能体三层次架构，为理解新一代解决方案的形态演进提供了直接的理论支撑[12-13]。但从国际视角系统梳理头部供应商的技术布局、研判演进方向并讨论对我国的启示，仍缺少专门讨论。

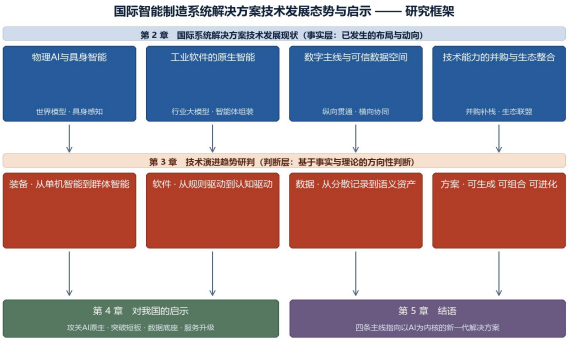


图 1.本文研究框架

本文以国际头部供应商公开披露的技术布局与产品动作为主要素材，回答“国际系统解决方案技术向何处演进、对我国有何启示”这一核心问题。第 2 节梳理国际技术发展现状，第 3 节研判技术演进趋势，第 4 节讨论

对我国的启示，第 5 节为结语。全文研究框架如图 1 所示。

2.国际系统解决方案技术发展现状

国际头部供应商近两年的投入集中在物理 AI、工业软件原生智能与数据底座三个技术方向，同时通过并购与生态合作加速技术能力的整合：并购将分散的技术模块整合进统一平台，生态联盟则把工业机理、算力与 AI 能力组合成联合创新体系。近两年国际头部供应商的代表性动向汇总见表 1。

表 1.国际头部供应商近两年代表性动向

方向	代表性动作
物理 AI 与具身智能	西门子将英伟达世界模型融入数字孪生平台，2026 年共建工业 AI 操作系统；发那科打通 ROBOGUIDE 与 Isaac Sim、携手谷歌开发 AI 机器人操作系统；ABB 研发具身智能机器人系统，RobotStudio 集成 Omniverse 并在富士康产线试点
工业软件原生智能	PTC、达索在设计中嵌入生成式 AI；Ansys 以 AI 代理模型替代数值求解并推出 GeomAI；西门子 2024 年 Industrial Copilot、2026 年 Eigen Engineering Agent，与微软共建 150PB 语料工业基础模型 IFM；SAP 展示知识图谱驱动的供应链编排智能体；Coreflux 以 35 美元边缘设备实现自然语言编程
数字主线与可信数据空间	西门子投资 Xometry 贯通全链路数据流；GE 为 LEAP 发动机构建设计-制造-运营-维修数字主线；Catena-X 接入超 500 家企业；OPC 基金会将 430 余项 OPC UA 规范转为 MCP 就绪
技术能力的并购与生态整合	并购补全技术栈：西门子 45 亿（Mentor）/106 亿（Altair）/51 亿（Dotmatics）美元、施耐德 110 亿（AVEVA）、新思 350 亿（Ansys）、艾默生 82 亿（NI）+153 亿（AspenTech）美元；生态联盟：西门子×埃森哲×英伟达 7000 人联合集团、施耐德×德勤×戴尔

2.1 物理 AI 与具身智能

物理 AI 聚焦物理世界规律的建模与预测，是当前国际供应商投入最集中的方向。与依赖静态数据训练的通用大模型不同，物理 AI 把人工智能算法与物理机理结合起来构建世界模型，以应对工业场景中不确定性工况带来的适应性问题。西门子与英伟达深度合作，把世界模型技术融入数字孪生平台，实现仿真数据与物理数据的闭环迭代、持续优化模型精度，2026 年又与英伟达共建工业 AI 操作系统，并以德国爱尔兰根工厂作为首个示范；发那科将 ROBOGUIDE 机器人仿真软件与英伟达 Isaac Sim 打通并与谷歌合作为工业机器人开发 AI 驱动的操作系统，推动机器人从预先示教编程转向自主感知决策；ABB 投入研发基于具身智能的新一代机器人系统，强化多模态环境感知、人机交互与自主学习能力，并把 RobotStudio 离线编程仿真软件与英伟达 Omniverse 深度集成，已在富士康消费电子产品组装线完成试点。理论层面，郑南宁等指出世界模型提供的是环境模拟的结构基座，是“感知—认知—决策—行动”闭环的关键环节[10]；陈沪东提出的数字物理元宇宙范式，则从第一性原理出发为工业仿真提供了另一种想象空间[9]。这些投入表明，物理 AI 已成为国际头部供应商的共同方向，工程实现仍是当前的主要难点。

2.2 工业软件的原生智能

AI 与软件产品全生命周期的融合，正从理念走向具体实现。设计环节，PTC 在产品设计软件中嵌入生成式 AI，支持用自然语言查询产品知识并生成设计方案参考；达索系统在 3DEXPERIENCE 平台集成 AI 助手，可查询工程数据并生成设计优化方案。仿真环节，新思科技旗下的 Ansys 用 AI 代理模型替代传统数值求解，把多物理场计算时间从数小时压到分钟级，并在此基础上推出生成式设计工具 GeomAI 与仿真智能体。生产与运营环节，西门子 2024 年推出 Industrial Copilot 并深度嵌入 Xcelerator 平台，2026 年发布 Eigen Engineering Agent，可理解项目需求、编写自动化代码、完成硬件网络配置，执行效率提升 2—5 倍，已面向 TIA 博途 60 余万用户开放、在 19 国 100 余家企业试点，并于 2026 年 6 月下旬登陆中国；西门子还与微软联合开发基于 150PB 工业语料的工业基础模型 IFM。SAP 在 2026 年汉诺威工业博览会上展示嵌入知识图谱与 Joule 智能副驾的供应链编排智能体；英伟达则携手 Cadence、达索、西门子、新思科技共建代理式 AI 生态，把智能体推进到 EDA、仿真与工程软件全域。葡萄牙的 Coreflux 公司把工业 AI 平台部署于边缘设备，操作人员用自然语言即可编写自动化逻辑并驱动工厂设备，不再依赖传统 PLC 编程

技能——从产品动作看，工业软件的使用门槛正在被显著拉低。

2.3 数字主线与可信数据空间

AI 的深度应用离不开数据的贯通与共享，国际供应商同时在纵向与横向两个方向布局。纵向上是数字主线：西门子投资美国 AI 制造平台 Xometry，通过 Xcelerator 平台打通从产品设计、工艺规划、生产执行到运维服务的全链路数据流，支撑数字孪生全生命周期动态更新；通用电气为 LEAP 发动机构建覆盖设计、制造、运营、维修的数字主线，工艺数据与运行传感数据全生命周期回流，产品在翼时间大幅提升，非计划停机明显减少。横向上是可信数据空间：宝马、奔驰等发起的汽车产业链数据空间 Catena-X 已接入超过 500 家企业，基于国际数据空间架构实现“数据不出域、主权可控制、价值可共享”的产业链协同。值得关注的是，“数据不出域”正在获得工程化实现——智能体调用协议（MCP）与自托管沙箱的组合，使跨系统数据协同可以不再依赖数据出境或集中上云，OPC 基金会已将 430 余个 OPC UA 规范转为 MCP 就绪。数字主线贯通企业内部数据流，可信数据空间贯通企业之间数据流，两者共同构成 AI 驱动智能制造的数据底座。基于数字孪生的智能生产线应用研究，以及俞佳毅等研究的异构文档语义化方法，为这一底座的建设提供了理论与技术支撑[5,11]。

2.4 技术能力的并购与生态整合

国际供应商的技术能力整合正在加速：并购将分散的技术模块整合进统一平台，生态联盟则把工业机理、算力与 AI 能力组合成联合创新体系。并购方面，西门子先后以 45 亿美元收购电子设计自动化公司明导国际、7 亿美元收购低代码平台 Mendix、106 亿美元收购工程仿真软件 Altair、51 亿美元收购生命科学软件 Dotmatics，施耐德以 110 亿美元全面控股 AVEVA，新思科技以 350 亿美元收购 Ansys，艾默生斥 82 亿美元和 153 亿美元分别收购美国国家仪器（NI）与艾斯本（AspenTech）——并购标的集中在仿真、设计、过程优化等技术环节，本质上是补齐技术栈短板而非单纯的规模扩张。生态联盟则从双边合作升级为多边网络：西门子与埃森哲、英伟达 2025 年组建 7000 人规模的联合业务集团，把工业 AI、行业咨询与算力基座组合成面向大型制造企业的一站式能力；施耐德联手德勤、戴尔整合咨询、运营技术、IT 架构与 AI 能力。技术能力整合的加速，意味着单一厂商的全栈化门槛在提高，也预示了方案交付形态的变革。与能力整合相伴随，交付模式也在从一次性的项目交付转向以平台为载体的持续服务，订阅制成为国际供应商普遍采用的合作方式。

3.技术演进趋势研判

第 2 节梳理了国际头部供应商已发生的技术布局。在此基础上，本节进一步对未来的技术演进方向进行分析研判（见图 2）。四条演进主线以国际头部供应商近期事实动向为基础，并结合工业智能体等领域的理论框架加以推演[12-13]。



图 2.系统解决方案技术演进主线

3.1 制造装备：从单机智能到群体智能

装备智能化的第一步是单体能力的跃升。多模态具身感知将视觉、触觉、力觉等信息融合起来，装备能够识别材质与形态、动态调整作业策略，从“采集信号”升级为“理解物理世界”，这与工业智能体研究中强调的具身形态相呼应[13]。具身智能工业机器人的研究进一步表明，通过“感知—决策—行动—反馈”闭环，机器人可以在装配、打磨、焊接等典型作业中实现自主感知、动态决策与持续学习，把工业机器人从刚性自动化推向自主智能作业[14-15]。国际头部供应商围绕物理 AI 的投入正在把这一步推向量产。第二步是群体协同，目前多台装备的协同主要依靠中央调度软件，一旦装备本身具备感知与决策能力，协同就可以下沉到装备之间——在统一语义协议下共享数字孪生模型，通过动态负载均衡与故障自愈支撑分布式的智能生产。这一步的技术前提是语义协议与装备间通信的标准化，国内外相关机构正在积极进行制定。可以判断，装备竞争的焦点将从单体性能指标转向群体协同效能。

3.2 工业软件：从规则驱动到认知驱动

工业软件的形态正在发生变化。任磊等提出的工业大模型体系架构贯通基础设施层、基座层、模型层、交互层与应用层，使大模型具备智能问答、场景认知、过程决策、终端控制、内容生成与科学发现六类核心能力[12]。就软件形态而言，有三个变化值得关注：其一，行业大模型承载认知、智能体按需组装，以西门子、SAP 为代表的头部厂商已集体转向这一路线（见 2.2 节）；其二，交互上，自然语言、语音、手势与图像等多模态方式模糊了人机边界，软件逐渐成为人的能力延伸，从国际厂商的商用产品（见 2.2 节）可以看到这一特征已经出现；其三，开发上，意图定义取代编码定义，AI 驱动的低代码平台自动生成业务逻辑，开发周期从以天计压缩到以小时计。值得注意的是，认知驱动的改造目前仍主要集中在应用层与交互层，行业大模型对底层求解器、几何引擎等数值内核的替换尚在探索阶段，这一层级的深度融合将是认知驱动走向纵深的难点所在。

3.3 工业数据：从分散记录到语义资产

数据价值释放的关键在语义化。行业语义本体库建成之后，分散的运行记录会被提炼成可理解、可推理的结构化知识，数据从“沉睡资产”变成可增值、可流通的工业资产，这与张栋豪等综述的知识图谱应用方向相互印证[6]。国际上的布局正是沿这一方向展开：数字主线贯通产品全生命周期数据流，为模型提供持续训练数据；可信数据空间打通企业间数据流，实现跨企业联合建模，原始数据留在域内、模型训练跨域协作，产业链层面的工艺优化与设备预测性维护由此变得可行（见 2.3 节）。数据完成语义化与资产化之后，解决方案的交付物将从功能转变为知识。

3.4 解决方案形态：可生成、可组合、可进化

智能体等新一代人工智能技术的兴起，将推动方案从固化交付走向自主生长。任磊等的研究表明，新一代智能体具备感知理解、知识记忆、规划决策、通信交互、自主执行与演化学习六类核心能力，能够覆盖研发设计、生产制造、试验测试、经营管理与运维服务的全业务链条[13]。技术能力的并购与生态整合（见 2.4 节）则从供给侧为这一转变创造条件：全栈化平台使方案要素的组装从项目现场转移到平台层，单一厂商得以提供端到端的组合式交付。就方案形态而言，有三个特征正在成形。

可生成，指工业大模型理解制造场景后，能依据产品特征、工艺需求与资源约束自动产出工艺路径、生产排程与作业指导，资深操作人员的隐性经验转化为可自主推理的认知引擎。“方案由模型生成”正从演示走向量产级应用。

可组合，指方案内部的装备、软件、数据等要素具备独立开发、部署、替换的能力，产线调整从“换线即改造”变为“重组即换线”。技能资产还会带来网络效应：验证过的技能可以在同类设备之间跨域迁移，一处优化、同类设备均可受益。

可进化，指方案在每次实施中沉淀工艺知识，形成可复用、可迁移的技能资产，随产品切换与工况波动自主调优，实现一次交付、长期生长。可以判断，未来供应商的竞争力将不再取决于交付规模，而取决于技能资产的厚度与知识沉淀的深度。

4.对我国的启示

上述现状与趋势为我国系统解决方案的技术升级与产业布局提供了参照。主要发达经济体正围绕技术底座、场景应用、治理体系和产业生态等环节系统推进智能制造[16]，结合我国产业实践，可以从四个方面形成启示。

4.1 攻关“AI 原生”技术，把 AI 转化为方案的内生能力

国际头部供应商的布局表明，AI 正从解决方案的外挂模块转变为内生能力——行业大模型承载认知、智能体按需组装、自然语言直接定义功能。我国已有阶段性的工程先行者：昆仑数智联合阿里云在炼化场景构建了包含 111 类概念、约 1.5 万实体的工业本体，支撑国内首个零人工干预上线的炼化工业智能体连续运行超 60 天，报警根因分析准确率 90%以上，单起异常分析从约 30 分钟缩短到 1 分 50 秒；均胜电子“大模型+智能体”汽车电子测试系统支撑 1000 余个产品型号与配置组合、测试执行超百万次，单车型 ECU 测试周期从 3 个月压缩到 15 天；宝钢 600 余个 AI 应用场景、100 余个智能体的实践显示，AI 智慧高炉的命中率与控制采纳率均超 90%。在政策层面，工业和信息化部等八部门已印发《“人工智能+制造”专项行动实施意见》，提出到 2027 年推出 1000 个高水平工业智能体。建议在工业大模型、多智能体协同、具身智能装备与高精度数字孪生等方向

组建高能级产业创新联合体开展攻关，这与发达经济体“打造高能级产业创新联合体”的路径取向一致[16]，同时把工业智能体的内生安全与标准化纳入考量[13]；在领航级智能工厂先行示范，在真实场景中积累训练数据与工程经验。

4.2 突破高端装备与软件短板，培育全栈式解决方案能力

国际供应商通过并购整合在仿真、设计、过程优化等环节快速补齐技术栈，全栈化门槛持续提高，单一厂商提供端到端方案的能力成为竞争焦点。我国尚缺乏具备同等产业整合力的世界级平台供应商，高端装备与软件短板仍然突出：约七成高档数控系统依赖进口，三维设计类工具自给率不足10%，核心求解器与三维几何引擎自主化程度不足，高端方案仍不得不沿用国外装备、软件及行业标准——工业软件领域的这一短板已有系统分析[7]。建议鼓励头部供应商通过战略联盟、联合研发、生态共建构建全栈平台能力，这与主要发达经济体强化全栈式人工智能产业链的方向一致[16]；通过统一接口、开放平台，聚合装备制造商、工业软件商与云服务商，形成自主可控、协同发展的产业生态，逐步摆脱对国外底层引擎与标准的依赖。

4.3 建设语义化的工业数据底座，健全数据流通机制

国际经验表明，数字主线与可信数据空间共同构成 AI 驱动智能制造的数据底座，两者分别贯通企业内部与企业之间的数据流。我国已发布《可信数据空间发展行动计划（2024—2028 年）》并启动首批 63 个行业、企业、城市三类试点，但总体而言，行业语义本体库建设仍处于起步阶段，工业知识资产的权属与保护规则尚不清晰，中国信通院调研显示 62.6%的企业认为数据隐私是限制数据共享的首要因素。建议加快行业语义本体库与可信数据空间建设，健全工业知识资产保护规则，在安全可控的前提下促进数据流通增值；可借鉴 MCP 与自托管沙箱等“数据不出域”的工程方案，在保障数据主权的同时降低企业共享顾虑。

4.4 推动方案向“能力+知识”服务升级

从 2.4 节可以看到，国际头部供应商在并购整合技术能力的同时，普遍转向以平台为载体的订阅制与持续服务模式。这也印证了制造业服务化研究中的阶段规律——企业在服务化初期往往依靠商业模式创新切入，随后再转向以技术创新支撑持续的价值增长[17]。国内“模型即服务”“智能体即服务”以及人形机器人领域“机器人即服务”的按月订阅模式也已开始探索。建议推动解决方案从系统集成向数据治理、工业模型调优、智能工厂运营等知识服务延伸，发展订阅、分成、效果付费等长效模式，推动供应商从产品交付转向持续服务，形成知识资产持续沉淀与价值长期共生的商业闭环。

5.结语

国际头部供应商近年的技术布局表明，系统解决方案正沿着装备群体智能、软件认知驱动、数据语义资产与方案可生成可组合可进化四条主线演进，AI 正从外挂模块转变为方案的内生能力，全栈化与平台化成为竞争焦点。对我国而言，全球最完整的工业体系与最丰富的应用场景，使技术迭代与场景验证能够相互促进；多年沉淀的场景适配能力、工艺知识资产与模块化交付体系，则构成了技术升级的产业底座。装备主线的先决条件在于核心环节自主化水平的提升，软件与数据主线的枢纽在于语义化与流通机制的完善，方案主线的关键则在于能否把项目能力沉淀为可复用的技能与知识资产。接下来的关键在于把握推进节奏，扎实做好关键技术攻关与产业生态建设，我国系统解决方案产业有望在全球智能制造技术版图中占据更有利的位置。

参考文献

[1] 周济.智能制造——“中国制造 2025”的主攻方向[J].中国机械工程，2015，26（17）：2273-2284.
[2] 臧冀原，王柏村，孟柳，等.智能制造的三个基本范式：从数字化制造、“互联网+”制造到新一代智能制造[J].中国工程科学，2018，20（4）：13-18.
[3] 刘强.智能制造理论体系架构研究[J].中国机械工程，2020，31（1）：24-36.
[4] 王万.智能制造系统解决方案供应商政策实施成效、存在问题及对策研究[J].制造业自动化，2023，45（1）：82-84+169.
[5] 金飞翔，王康文，吕刚，等.基于数字孪生技术的智能生产线应用探索[J].现代制造工程，2023（2）：18-26.
[6] 张栋豪，刘振宇，郑维强，等.知识图谱在智能制造领域的研究现状及其应用前景

综述[J].机械工程学报，2021，57（5）：90-113.
[7] 邵珠峰，赵云，王晨，等.新时期我国工业软件产业发展路径研究[J].中国工程科学，2022，24（2）：86-95.
[8] 王湉，范峻铭，郑湃.基于大语言模型的人机交互移动检测机器人导航方法[J].计算机集成制造系统，2024，30（5）：1587-1594.
[9] 陈沪东.数字物理元宇宙——工业仿真软件发展思考与展望[J].中国工程科学，2025，27（3）：11-21.
[10]郑南宁，杨勐，姜维周，等.具身智能发展趋势与展望[J].中国工程科学，2026，28（2）：1-13.
[11]俞佳毅，李飞，刘鸣飞，等.面向数字主线的异构工业文档统一语义化方法[J].计算机集成制造系统，2026，32（4）：1205-1218.
[12]任磊，王海腾，董家宝，等.工业大模型：体系架构、关键技术与典型应用[J].中国科学：信息科学，2024，54（11）：2606-2622.
[13]任磊，王海腾，董家宝，等.工业智能体：体系架构、关键技术与未来展望[J].中国科学：技术科学，2026，56（3）：492-506.
[14]刘永奎，王芊骥，朱子璐，等.具身智能工业机器人：体系架构、关键技术与案例研究[J].计算机集成制造系统，2025，31（12）：4513-4541.
[15]刘永奎，赖敏豪，李汝彬，等.具身智能工业机器人作业关键技术及其应用[J].计算机集成制造系统，2026，32（6）：1901-1927.
[16]王芮.发达经济体智能制造动向对我国推进新一代智能制造的启示[J].中国工业和信息化，2026，12（8）：31-35.
[17]王宗水，杨佳楠，赵红.数智时代下制造业服务化转型的路径选择：基于技术创新和商业模式创新的比较研究[J].科技管理研究，2024，44（19）：116-122.