

工业4.0时代智能制造及数字化转型分析

王蕊

布勒莱宝光学设备(北京)有限公司, 北京 100176

DOI:10.61369/IED.2025050004

摘 要 : 工业4.0时代依托物联网、人工智能等技术推动制造业向智能工厂与柔性化生产转型, 中国通过“中国制造2025”战略布局特色发展路径。基于此, 本文从智能制造和数字化转型内涵出发, 分析二者之间的共生关系, 然后针对转型中的数据壁垒、设备兼容及人才短缺等挑战, 提出系统性实施策略: 构建设备互联与数据治理体系强化基础建设; 通过纵向管控贯通与横向业务协同实现系统集成; 融合数字孪生与 AI 算法驱动智能化升级; 重构跨学科人才培养机制。

关 键 词 : 智能制造; 数字化转型; 复合型人才

Analysis of Intelligent Manufacturing and Digital Transformation in Industry 4.0 Era

Wang Rui

Buhler Leybold Optics Equipment (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100176

Abstract : in the era of industry 4.0, relying on the Internet of things, artificial intelligence and other technologies, China has promoted the transformation of manufacturing industry to intelligent factory and flexible production, and China has adopted the "made in China 2025" strategic layout and characteristic development path. Based on this, this paper starts from the connotation of intelligent manufacturing and digital transformation, analyzes the symbiotic relationship between them, and then puts forward systematic implementation strategies for the challenges of data barriers, equipment compatibility and talent shortage in the transformation: building equipment interconnection and data governance system to strengthen infrastructure construction; The system integration is realized through vertical control penetration and horizontal business collaboration; Integrating digital twins and AI algorithm to drive intelligent upgrading; Reconstruct the interdisciplinary talent training mechanism.

Keywords : intelligent manufacturing; digital transformation; compound talents

当前全球制造业正经历以智能化为核心的产业变革, 中国通过《智能制造发展规划》等政策积极推动工业4.0本土化实践。智能制造将物联网、大数据与生产系统深度融合, 重构传统制造模式, 数字化转型成为企业提升竞争力的关键路径。本研究从技术集成与产业应用维度, 深入分析数字化转型过程中面临的数据协同、标准体系等现实挑战, 为制造业高质量发展提供参考视角, 旨在平衡技术创新与组织变革的关系。

一、工业4.0时代概述

工业4.0时代是以智能制造为核心的第四次工业革命, 通过物联网、大数据、人工智能等技术实现生产系统的深度互联与自主决策。其核心特征包括智能工厂、数字孪生、柔性化生产等, 推动制造业向个性化定制、实时优化和全生命周期管理转型。该模式打破了传统生产边界, 形成“设备-产品-服务”的协同网络, 同时催生新型商业模式和产业生态。中国通过“中国制造2025”战略积极布局, 在5G、工业互联网等领域已形成特色发展路径, 但面临核心技术自主化、标准体系构建等挑战^[1-2]。

二、智能制造与数字化转型的内涵关系

智能制造, 源于人工智能的研究, 一般认为智能是知识和智力的总和, 前者是智能的基础, 后者是指获取和运用知识求解的能力。智能制造应当包含智能制造技术和智能制造系统, 智能制造系统不仅能够在实践中不断地充实知识库, 而且还具有自学习功能, 还有搜集与理解环境信息和自身的信息, 并进行分析判断和规划自身行为的能力。而数字化转型指的是, 通过物联网、大数据、云计算等技术重构生产流程与管理模式, 实现数据驱动决策、资源动态优化及个性化定制能力^[3]。

作者简介: 王蕊(1976—)女, 汉族, 山东人, 专科, 初级工程师, 研究方向: 工业4.0运营转型与精益管理。

目前,智能制造是工业4.0的终极目标,数字化转型是实现路径。从本质来看,数字化转型是通过物联网、大数据等技术重构制造业的数据流动体系,建立从物理设备到数字空间的映射通道,其核心价值在于消除信息孤岛并实现全要素互联。而智能制造则是在此数字基座之上,通过人工智能算法将数据转化为知识模型,赋予制造系统自感知、自决策和自优化的能力^[4]。二者的互动体现在三个层面:技术层面,数字孪生、工业互联网等数字化工具为智能制造的算法训练提供数据燃料,同时智能算法又反向优化数字化系统的运行效率;流程层面,数字化转型打破传统制造的线性流程,智能制造则在此基础上构建动态响应的网状生产网络;价值层面,数字化实现资源可视化管理带来的降本增效,智能化则通过创新生产模式开辟增值空间。这种螺旋上升的关系最终推动制造业从“设备自动化”迈向“系统自主化”的质变,形成以数据为神经、算法为大脑的新型制造模式^[5]。

三、分析工业4.0时代智能制造及数字化转型策略

在智能制造数字化转型过程中,难免出现数据孤岛、老旧设备改造成本高昂、复合型人才短缺等情况,这些均制约着中小制造企业转型,工业数据安全风险加剧。因此,应从这些方面出发,探寻相应的转型策略。

(一) 基础设施建设

工业4.0背景下,基础设施建设作为数字化转型的先决条件,需要从物理设施与数字架构两方面同步推进。物理层面的改造需优先完成生产设备的互联互通,通过加装传感器与通信模块将传统机械转化为数据采集终端,这一过程需兼顾不同代际设备的兼容性问题。车间级网络部署需采用工业以太网与5G混合组网模式,确保实时数据低延时传输,并为后续边缘计算节点预留接口。数字架构的建设应以统一数据标准为核心,建立从设备层到云平台的多级数据治理体系。企业需构建中央数据仓库对设备状态、工艺参数等异构数据进行清洗与标签化处理,形成可被算法调用的标准化数据资产。中间件平台的搭建要支持OPC UA、MQTT等工业协议转换,解决不同品牌装备的通信壁垒。在信息安全方面,需实施从芯片级加密到网络边界防护的全链条保障,建立基于零信任架构的动态访问控制机制。另外,组织架构应设立专门的数字转型部门,负责基础设施的运维与迭代,管理层需要制定分阶段的投入规划,避免因盲目追求技术先进性而偏离实际生产需求^[6]。

(二) 系统集成

系统集成作为工业4.0转型的关键环节,其核心在于打破信息壁垒并建立跨系统的协同机制。企业需要从纵向与横向两个维度构建集成体系,纵向实现从设备层到管理层的垂直贯通,横向打通研发、生产、供应链等业务环节的数据链路。物理设备与信息系统的连接需采用工业物联网平台作为中枢,通过标准化接口协议将PLC、CNC等生产设备采集的实时数据上传至制造执行系统。业务系统的集成应以企业服务总线架构为基础,将ERP、MES、SCM等异构系统的业务流程重新梳理并建立数据映射关系,确保订单信息、工艺参数、库存状态等关键业务要素的自动

流转。如徐工施维英通过统一数据平台整合生产环节,有效解决信息孤岛问题并提升制造协同能力;西门子成都数字化工厂应用数字孪生技术优化生产过程,并建立智能管控中心实现全流程数据协同管理等^[7]。

数据层面的集成需要建立统一的中台服务体系,对来自设备传感器、质量检测、能源监控等多源数据进行清洗与关联分析。中间件技术的应用能够有效解决不同时期建设的子系统之间的通信障碍,采用消息队列和API网关实现松耦合的数据交换。在集成过程中必须考虑数据语义的一致性,通过建立全局数据字典解决同名异义或同义异名问题。数字孪生技术的引入为系统集成提供了可视化载体,将物理空间的设备状态与虚拟空间的仿真预测深度融合,形成具有反馈优化能力的闭环系统。另外,传统的职能型组织架构往往造成系统建设的碎片化,必须通过流程再造打破部门墙,建立以价值流为导向的矩阵式管理机制。在实施策略上应采取渐进式路径,优先完成关键业务链路的集成再逐步扩展覆盖范围,避免因一次性改造范围过大导致实施风险^[8]。

(三) 智能化升级

生产系统的智能化改造需建立设备自主决策能力,通过部署视觉检测系统和自适应控制模块,使生产线具备实时质量判断与工艺参数动态调整功能。车间级智能单元应采用数字孪生技术构建虚拟映射,实现物理空间与信息空间的交互验证,这种虚实结合的模式能有效缩短新产品导入周期。人工智能技术的深度嵌入是智能化升级的关键环节。机器学习算法在设备预测性维护中的应用,通过对振动、温度等多维数据的持续学习,提前识别潜在故障并生成维护方案。生产排程系统引入运筹优化模型,自动平衡设备负载与订单优先级,使产能利用率提升15%以上。知识图谱技术将工艺经验转化为结构化数据库,辅助新员工快速掌握复杂设备的操作要点。另外,增强现实技术为操作人员提供可视化作业指导,降低复杂装配工序的错误率。自主移动机器人承担物料转运任务,其路径规划系统能动态避开生产区人流高峰。这种协同作业体系要求重新设计岗位技能矩阵,操作人员需掌握基础的数据解读与异常处置能力。理体系的同步转型保障智能化升级落地。建立跨部门的数字化转型委员会,制定智能制造能力成熟度评估标准。投资决策应从单一设备采购转向整体解决方案评估,重点考察技术供应商的生态整合能力,只有当技术创新与管理变革形成合力,企业才能真正释放智能制造的转型价值。

(四) 人才培养

在工业4.0背景下,制造企业应突破传统专业界限,构建融合制造技术与数字能力的培养体系。具体而言,企业应当重新定义岗位胜任力模型,将数据分析、系统思维等数字素养纳入工程师的核心能力框架,这种能力重构需要从校园培养与在职转型两条路径协同推进。高等教育机构需打破学科壁垒,开设智能制造交叉课程,工程类专业应嵌入Python编程、工业大数据分析等模块,管理类专业需增加物联网架构、数字化运营等内容。校企共建的产业学院能有效弥合理论教学与实践应用的断层,通过真实项目案例培养学生解决复杂工程问题的能力。需要注意的是,在职人员的技能重塑更为关键,企业需要建立阶梯式培训机制。

初级技术人员通过虚拟仿真平台掌握智能装备操作与基础故障诊断，中级工程师参与工业软件二次开发与算法调优实战训练，高级专家则侧重智能制造系统规划能力的培养。轮岗制度的实施让工艺工程师深入 IT 部门理解数据流转逻辑，使信息技术人员扎根生产现场感知实际痛点，依托这种交叉培养模式能加速传统工程师向数字化解决方案设计者的角色转变^[9-10]。

另外，人才引进策略需要面向全球智能制造人才市场。重点引进具有跨国企业数字化项目经验的高端人才，其带来的方法论与最佳实践能快速提升团队整体水平。建立柔性用人机制，通过项目制合作吸引高校科研团队参与关键技术攻关。薪酬体系应向掌握工业互联网平台开发、数字孪生建模等稀缺技能的人才倾斜，股权激励等长期绑定机制可降低核心人才流失风险。同时，建立开放的技术社区鼓励知识共享，设置创新基金支持员工自主提出的数字化改进方案。职业发展通道应实现技术序列与管理序

列的双轨并行，明确数字化人才从初级分析师到首席数字官的晋升路径。

四、结论

综上所述，工业4.0时代以智能制造为核心驱动制造业范式变革，通过数字化转型重构生产体系，实现全价值链协同与自主决策，为产业升级注入新动能。在转型过程中，应实施体系化策略：基础建设层应构建设备互联与数据治理体系，破除信息孤岛；系统集成层需打通纵向管控与横向业务链路，依托工业互联网平台实现全域协同；智能化升级层重在融合 AI 与数字孪生技术，培育自优化生产能力；人才培养层必须重塑跨学科知识体系，建立阶梯式技能发展机制，从而推动技术应用与管理创新的深度融合。

参考文献

[1] 张春巍, 鲍德仁, 孙丽. 智能建造技术的研究与应用展望 [J]. 沈阳工业大学学报, 2024, 46(5):722-734.
[2] 陈玲, 王晓飞, 付宇航. 制造业企业自生能力与数字化转型路径 [J]. 科学学研究, 2024, 42(2):256-265.
[3] 易加斌, 俞澜天, 王宇婷, 杨小平. 制造业企业网络联结强度、协同创新能力与数字化转型 [J]. 科研管理, 2024, 45(8):154-163.
[4] 陈勇, 姜一炜, 易文超, 等. 基于 GA-BP 神经网络的智能制造系统评价模型 [J]. 浙江工业大学学报, 2023, 51(4):377-386.
[5] 张庆平. 工业4.0时代中小制造企业“智能化”转型升级调查研究——以广东省佛山市为例 [J]. 企业改革与管理, 2020, (09):45-46.
[6] 李艳丽, 肖瑛樱, 韦实达. 工业4.0时代数字化转型赋能制造业高质量发展综述 [J]. 科学与信息化, 2023, (08):93-95.
[7] 田雪颖, 商乾, 管清华. 智能制造及数字化转型工业4.0时代的企业革新之路 [J]. 军民两用技术与产品, 2024, (12):8-13.
[8] 孙卫红. 企业智能制造数字化转型探究 [J]. 投资与创业, 2024, 35(10):181-183.
[9] 刘飞, 孙延明, 陈娟, 等. 新时代工业4.0背景下加快制造业向智能制造转型的策略研究——以粤港澳大湾区为例 [J]. 广东经济, 2019, (03):72-81.
[10] 李晓雷. 工业4.0时代的智能制造转型探讨 [J]. 科技风, 2018, (10):7.