

工业4.0背景下工厂自动化发展现状与趋势

郜逸群

北京天玛智控科技股份有限公司 北京 101399

摘要：工业4.0以数字化、智能化变革重塑制造业生产模式，推动工厂自动化迈入智能升级新阶段。本文梳理工业4.0与工厂自动化的核心理论及支撑技术，分析全球及我国自动化产业发展格局，指出核心技术短板、企业转型困难、行业体系不完善等现存问题，并从技术、产业、行业维度研判未来发展趋势，针对性提出自主创新、分层改造、规范行业标准的高质量发展优化对策。

关键词：工业4.0背景；工厂自动化；发展现状；趋势

引言：新一代信息技术与制造业的深度融合，推动工业4.0智能制造模式全面落地，工厂自动化成为制造业转型升级的核心抓手。相较于传统自动化模式，工业4.0下的自动化更具柔性化、网络化与智能化特征。当前我国工厂自动化转型提速，但仍存在诸多发展瓶颈。基于此，本文系统探究行业发展现状、现存痛点，预判未来发展趋势，为制造业自动化、智能化高质量升级提供参考。

1 工业4.0与工厂自动化相关理论与核心技术

1.1 工业4.0核心内涵与核心特征

(1) 工业4.0是制造业智能化转型升级的核心范式，其发展内核是依托新一代信息技术打通制造业全产业链壁垒，核心载体为智能工厂、智能生产与智能物流。智能工厂是数字化生产的基础场景，智能生产实现生产流程的自主管控，智能物流保障生产物料、成品运输的高效协同，三者共同构成工业智能化生产的核心体系。

(2) 工业4.0具备五大核心特征，分别为数字化、网络化、智能化、柔性化、绿色化。数字化实现生产数据全要素采集转化，网络化完成设备、产线、企业的互联互通，智能化依托算法实现自主决策调控，柔性化适配多品种、小批量生产需求，绿色化聚焦节能降耗、低碳环保的生产模式升级。(3) 工业4.0彻底颠覆传统制造业粗放式、标准化的生产模式，其变革逻辑是以数据为核心生产要素，替代传统人力、设备的单一驱动模式。同时对制造业提出全新升级要求，需完成设备数字化改造、生产流程协同优化、管理模式智能革新，实现从规模化量产向定制化、高效化、精细化生产转型^[1]。

1.2 工厂自动化概述与发展阶段

(1) 工厂自动化是依托自动化设备与信息技术，替代人工完成工厂各项作业的生产模式，核心应用范畴覆盖产品生产、质量检测、设备运维全流程，可有效降低人工误差、提升生产效率，保障生产稳定性与规范性。

(2) 工厂自动化历经四个发展阶段，依次为传统机械自动化、电气自动化、数字自动化、智能自动化。从单一机械设备辅助作业，到电气控制系统精准调控，再到数字化系统集中管控，最终发展为具备自主感知、决策、执行能力的智能自动化模式。(3) 传统自动化以固定程序、单一作业为主，适配标准化量产生产；工业4.0时代的自动化具备互联互通、自主迭代、柔性适配能力，可依托数据动态调整生产策略，打破传统自动化孤立作业、模式固化的局限。

1.3 工业4.0下工厂自动化核心支撑技术

(1) 感知与传输技术是基础支撑，包含工业物联网、5G工业专网、传感器技术。传感器负责采集温度、转速、能耗等生产数据，工业物联网实现设备数据互联互通，5G工业专网提供低延迟、高可靠的传输保障，搭建起工业生产的数据感知传输网络。(2) 智能分析与决策技术是核心大脑，涵盖大数据分析、人工智能、边缘计算、数字孪生。可对海量生产数据进行筛选分析，通过边缘计算实现现场实时决策，依托数字孪生构建虚拟生产场景，完成生产模拟、预判与优化调控。(3) 智能执行技术是落地载体，主要包括工业机器人、柔性生产线、智能仓储与物流设备。可精准完成加工、装配、搬运等作业，柔性生产线适配多元化生产需求，智能仓储实现物料自动存取、调度，支撑自动化生产全流程落地。

2 工业4.0背景下工厂自动化发展现状与现存问题

2.1 全球工厂自动化整体发展现状

(1) 当前全球工厂自动化形成差异化发展格局。欧美国家依托技术积淀，聚焦高端智能化制造，深耕工业软件、数字孪生与高端控制系统，主导全球智能制造标准体系。日本与韩国主打精密自动化，在精密机器人、高精度传动设备领域优势显著，适配精密制造场景。我国则以规模化转型为核心，依托庞大制造业体量，快速

推进自动化普及,整体产能升级速度位居全球前列。

(2) 全球核心智能技术落地持续提速。数字孪生已广泛应用于产线仿真、设备运维与生产优化,有效降低试产损耗。人机协作机器人逐步替代传统隔离式作业模式,适配柔性生产场景。机器视觉智能质检全面替代人工检测,在电子、汽车、精密加工行业渗透率持续提升,成为自动化生产的标配技术。(3) 全球工业自动化市场稳步扩容,智能工厂建设全面推进。发达国家基本完成头部制造产线智能化改造,新兴国家加速布局自动化基础设施建设。整体产业渗透由单一设备自动化,逐步转向全流程、全产业链智能化协同,行业覆盖度持续拓宽。

2.2 我国工厂自动化发展现状

(1) 政策层面扶持体系持续完善。国家持续出台智能制造、工业数字化转型专项政策,配套补贴、技改扶持、产业培育等举措,持续降低企业转型门槛,全方位推动传统工厂自动化、数字化、智能化升级,为行业发展提供坚实政策支撑。(2) 产业层面分层发展态势明显。汽车、电子、装备制造等头部企业智能化改造趋于成熟,已建成标准化智能生产线与智能工厂。中小制造企业受产能、资金限制,以基础自动化改造为主,整体处于稳步推进、逐步迭代的发展阶段。(3) 技术层面国产化进程提速。本土自动化设备、传感器、工控系统性能持续优化,逐步替代进口设备。同时,国内工业服务商快速成长,适配中小工厂的轻量化自动化解决方案不断完善,产业自主配套能力持续增强^[2]。

2.3 工业4.0背景下工厂自动化发展现存问题

(1) 技术层面存在明显短板。高端工控芯片、核心工业软件等关键技术对外依存度较高,核心领域仍存在卡脖子问题。各类智能技术融合应用程度不足,不同品牌设备、系统通信协议不统一,兼容性差,易形成数据孤岛,制约全流程智能化协同。(2) 企业层面转型阻力突出。工厂智能化改造前期设备、研发、运维投入成本高,中小企业盈利能力有限,转型意愿薄弱。同时行业复合型人才缺口较大,兼具制造工艺与智能技术的专业人才不足,难以支撑自动化系统运维与迭代优化。(3) 行业层面发展体系不完善。国内智能制造行业标准尚未完全统一,改造方案、设备接口缺乏规范,行业发展碎片化。工业设备联网后数据泄露、网络攻击等安全风险频发,且产业上下游协同不足,资源整合与联动升级能力有待提升。

3 工业4.0背景下工厂自动化未来发展趋势与优化对策

3.1 技术发展趋势

(1) 自主智能化。随着人工智能技术持续迭代与落地,工厂自动化迎来智能化深度升级阶段。传统自动化设备多依靠预设程序完成固定作业,仅具备执行能力,而在工业4.0赋能下,AI技术深度融入生产设备、检测系统与运维体系,使设备具备自主感知、自我判断、自主决策与动态优化能力。系统可基于海量生产数据持续学习工艺规律,自动修正运行参数、识别生产缺陷、预判设备故障,摆脱对人工调控与固定程序的依赖,实现从被动执行向主动优化的根本性转变。(2) 虚实一体化。数字孪生技术逐步贯穿产品设计、生产制造、设备运维、质量管控全生命周期,成为智能工厂建设的核心支撑。通过构建与实体工厂高度匹配的虚拟仿真模型,实现物理生产场景与数字虚拟场景的实时数据互通、状态同步。企业可依托虚拟场景完成产线调试、工艺仿真、产能预测、故障模拟演练等工作,有效降低试错成本,优化生产流程,实现生产全流程可视化、精准化、动态化管控^[3]。(3) 人机协同化。工业智能化发展逐步打破“全无人化生产”的认知误区,人机柔性协同成为未来主流生产模式。智能自动化设备承担高强度、高精度、高重复度及高危作业,有效提升生产稳定性与作业安全系数。人工则聚焦工艺优化、柔性调整、异常处置、创新调试等复杂工作,通过人机优势互补、分工协作,兼顾生产效率与生产灵活性,适配复杂多变的现代化制造场景。

3.2 产业发展趋势

(1) 柔性定制化。当前消费市场呈现多元化、个性化发展特征,传统标准化、规模化生产线已难以适配市场需求。未来工厂自动化生产线将以柔性改造为核心方向,通过模块化设备布局、可快速切换的生产程序与智能调度系统,实现产品品类快速切换、工艺参数灵活调整,高效适配多品种、小批量的定制化生产需求,大幅提升企业市场适配能力与产品迭代速度。(2) 绿色低碳化。在双碳战略与绿色制造政策导向下,节能降耗、低碳生产成为制造业转型升级的硬性要求。自动化产业逐步摒弃高能耗、高浪费的生产模式,节能型自动化设备、智能能耗监测与管控系统得到广泛应用。通过智能算法优化设备运行工况,精准管控生产能耗,减少物料损耗与无效能耗,推动生产过程清洁化、低碳化发展,实现经济效益与生态效益协同提升。(3) 产业链协同化。传统工厂自动化改造多局限于单一车间或单体工厂,存在信息封闭、联动性弱等问题。工业4.0背景下,自动化生产逐步突破单体企业边界,依托工业互联网打通上下游产业链数据壁垒,实现原材料供应、生产制

造、仓储物流、产品销售与售后溯源的全链条智能协同联动,推动孤立的生产单元转变为一体化的产业协同体系^[4]。

3.3 行业发展整体趋势

(1) 普惠化发展。随着自动化技术不断成熟、设备规模化量产,自动化改造硬件与软件成本持续下降,轻量化、低成本的智能改造方案日趋完善。以往仅适用于大型龙头企业的高端自动化技术,逐步下沉至中小制造企业,覆盖传统加工、轻工、五金等众多行业。自动化升级不再是头部企业的专属,逐步实现全行业普惠普及,推动国内制造业整体智能化水平稳步提升。(2) 标准化规范化。针对当前行业设备接口杂乱、数据标准不统一、系统兼容性差、安全规范缺失等行业痛点,未来智能制造行业将持续完善技术标准、数据传输标准、设备对接标准与网络安全标准。统一规范的行业体系,能够有效解决数据孤岛、设备适配困难、改造碎片化等问题,规范行业发展秩序,为自动化技术落地、产业协同发展提供坚实的制度保障。(3) 跨界融合化。工厂自动化技术不再局限于传统制造领域,而是与工业互联网、云计算、区块链、大数据等新一代信息技术深度跨界融合。工业互联网实现全域设备互联互通,云计算提供海量数据存储与算力支撑,大数据完成生产数据深度分析,区块链保障生产数据真实可溯源、防篡改,多技术融合赋能自动化系统持续迭代,推动智能制造体系向数字化、网络化、智能化深度升级。

3.4 我国工厂自动化高质量发展优化对策

(1) 技术层面,强化核心技术自主创新与国产化替代。聚焦高端工控系统、精密传感器、核心工业软件等对外依存度较高的关键领域,加大政企研联合研发投入,搭建智能制造创新平台。依托高校、科研院所与龙头企业的技术资源,加快核心技术攻关,持续优化本土自动化设备与解决方案,推动传统制造工艺与智能技术深度融合,逐步构建自主可控、安全稳定的智能制造技术体系。(2) 企业层面,分层推进自动化改造,完善人才培育体系。企业需结合自身规模、行业特性与生产需

求,实施差异化升级策略,大型企业深耕高端智能改造与全流程数字化升级,中小企业优先落地轻量化、低成本的自动化方案。同时,加强校企合作,搭建人才定向培养机制,开展岗位技能培训,大力引进智能制造复合型人才,补齐行业人才缺口,为自动化转型升级提供人才支撑^[5]。(3) 行业与政策层面,健全行业规范并强化政策扶持。行业协会需持续完善智能制造技术、数据、安全统一标准,整治行业碎片化发展问题,提升产业协同能力。政府需强化工业数据安全监管,搭建工业网络安全防护体系,防范数据泄露与网络攻击风险。同时加大对中小制造企业的资金补贴、税收优惠与技术扶持,简化技改审批流程,降低中小企业转型压力,推动国内工厂自动化产业高质量、均衡化发展。

结束语

综上,工业4.0为工厂自动化升级提供全新发展机遇,也带来技术、企业、行业层面的多重挑战。未来工厂自动化将朝着自主智能、虚实一体、人机协同、绿色低碳、产业普惠的方向持续演进。唯有攻克核心技术难题、落实差异化企业转型、完善行业规范与政策扶持,才能破解发展痛点,推动我国制造业摆脱发展短板,实现自动化、智能化、高端化高质量发展。

参考文献

- [1]李伯虎,柴旭东,王鹏.工业4.0赋能智能制造自动化技术发展现状与展望[J].中国机械工程,2024,35(12):145-148.
- [2]张小明,刘畅.工业4.0视角下传统制造工厂自动化转型升级路径研究[J].机械设计与制造,2023,(09):298-301.
- [3]王健,陈思远.智能制造时代工厂自动化系统关键技术与发展趋势[J].制造业自动化,2024,46(7):91-95.
- [4]赵志远,李鑫.工业4.0架构下车间自动化、数字化融合应用现状及优化方向[J].机械科学与技术,2023,42(11):175-177.
- [5]黄伟,周俊杰.基于工业互联网的工厂自动化智能升级与未来趋势探析[J].自动化仪表,2025,46(3):123-127.