

机电一体化技术在智能制造领域的深度融合与应用研究

曹贻梦

(山东世通国际认证有限公司, 山东 烟台 266000)

摘要 机电一体化技术与智能制造的深度融合是新一轮工业革命的重要方向。本文从机电一体化技术的内涵与发展、智能制造的特征与关键技术出发, 重点探讨了机电一体化技术在智能制造关键环节中的应用, 包括智能制造设备、智能生产线和智能工厂等方面; 通过分析典型应用案例, 揭示了机电一体化技术与智能制造深度融合面临的挑战, 并提出了加强跨领域协同创新、突破核心关键技术瓶颈、完善标准规范体系建设、促进产学研用深度合作等对策建议, 旨在对推动机电一体化技术与智能制造的深度融合、加快智能制造的发展与应用具有积极的意义。

关键词 机电一体化; 智能制造; 深度融合

中图分类号: TP27; TH16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.011

0 引言

随着新一代信息技术的快速发展和制造业的智能化转型, 机电一体化技术与智能制造的深度融合成为必然趋势。2023 年 3 月, 我国政府工作报告明确提出, “推动制造业智能化转型, 促进先进制造业集群发展”。在此背景下, 深入研究机电一体化技术在智能制造领域的应用, 对于掌握机电一体化技术与智能制造深度融合的最新进展, 把握智能制造发展态势, 破解机电一体化技术在智能制造应用中的瓶颈制约, 促进机电一体化技术创新发展, 推动智能制造高质量发展具有重要意义。

1 机电一体化技术与智能制造概述

1.1 机电一体化技术的内涵与发展

机电一体化技术是一门融合机械、电子、控制、计算机等多学科的综合性技术, 其核心在于实现机、电、控、算等不同要素的有机融合与协同优化。随着人工智能、大数据、物联网等新兴技术的兴起, 机电一体化技术进入了以智能化、网络化、数字化为特征的新发展阶段。从最初的单一机电系统集成, 到智能传感与控制、机器人等智能装备的发展, 再到如今支撑工业互联网、智能工厂建设的智能化机电系统, 机电一体化技术经历了从自动化、数字化到智能化的发展历程。未来, 机电一体化技术将以自适应、自优化、自决策为目标, 实现从局部智能向系统智能、从单机智能向群智能、从刚性智能向柔性智能的跃升。

1.2 智能制造的内涵与特征

智能制造是以新一代信息技术与先进制造技术深度融合为主线, 以智能工厂为发展方向, 通过对设计、生产、管理、服务等制造全流程的智能化改造, 实现制造过程的智能感知、智能分析、智能决策和智能执行, 最终达成高质量、高效率、个性化、绿色化制造的新型制造模式^[1]。智能制造的显著特征在于, 设计智能化、制造智能化和产品智能化等多维度智能特性的交织融合, 人机器高度协同, 形成数据驱动的自主认知、动态优化、实时响应能力。支撑智能制造的关键技术包括人工智能、CPS、数字孪生、增材制造、机器人等, 通过智能感知、智能分析、智能决策、智能控制等功能的集成应用, 构建起智能化的新型制造系统。

1.3 机电一体化技术在智能制造中的重要性

机电一体化技术是智能制造的重要使能技术和基础支撑。它通过软硬件协同设计、多领域耦合分析等手段, 为智能装备、智能工厂等关键领域提供核心部件、集成系统与整体解决方案。机电一体化将智能感知、实时分析、自主决策、精准执行等能力嵌入制造装备全生命周期各环节, 助力实现设计、工艺、制造、管控的全流程数据驱动与智慧升级, 极大提升生产效率、产品质量与运营管理水平。因此, 加快机电一体化技术创新发展, 打造智能制造的坚实“筋骨”, 对于推动制造业高质量发展、塑造产业竞争新优势具有重要意义。

2 机电一体化技术在智能制造关键环节中的应用

2.1 智能制造设备中的应用

机电一体化技术是智能制造设备的核心构成要素。在智能机器人领域，多关节协同、多传感器融合、人机共融互动等机电一体化技术的广泛应用，推动了机器人向模块化、小型化、智能化方向快速发展。通过深度感知、实时分析、自主决策、灵巧操控等能力，机器人可自适应复杂工况，完成装配、焊接、打磨、搬运等多样化任务。同时，在智能传感器与执行机构领域，MEMS、压电/热电/磁电耦合驱动、微纳集成等机电一体化技术取得突破，传感器件实现小型化、集成化、低功耗、高灵敏度发展，新型执行器件不断突破功率密度、能量转换效率瓶颈，极大拓展了制造装备的感知、交互、控制、执行边界。未来，以机器人、智能传感/执行部件为代表的新型装备将成为智能制造的基石。

2.2 智能生产线中的应用

机电一体化技术是支撑智能生产线规划设计、过程优化控制的关键力量。生产线规划设计需要综合考虑工艺特点、设备布局、物流配送、人员组织等多方面因素^[2]。机电一体化建模仿真、参数寻优等技术可精准预测生产线的节拍平衡、瓶颈制约等，支持敏捷柔性的生产组织方式的快速构建。同时，在生产执行层面，机电一体化技术赋予生产线多源异构数据采集、实时分析、智能控制、自优化调整等新功能。数控系统、PLC、SCADA、MES等能实现纵向集成，可对设备协同、工艺参数、质量监测、能耗指标等全要素开展统一调度管控，构建起自感知、自学习、自适应的智能化生产单元。在产线内外部智慧协同支撑下，大规模个性化定制成为可能。机电一体化将促进形成标准化、可重构的智能产线，全面革新传统生产组织方式。

2.3 智能工厂中的应用

智能工厂是机电一体化、信息物理系统、工业互联网等新一代技术的集大成者。在工厂内，机电一体化支持构建具备全面感知、泛在互联、深度融合特征的CPS系统。通过多层级通信协议、边缘计算、工业以太网等技术，实现从单台设备、产线到整个车间的全连接；利用智能网关、RFID、数字孪生等新型装备，可对设备状态、工艺参数、物流信息、能耗指标等进行全面采集。在数据要素赋能下，ERP、MES、WMS等上层系统实现工厂范围内、供应链端到端的协同优化。同时，数据驱动的智能决策系统广泛应用于设备预测性维护、产能瓶颈智能识别、多目标生产调度、质量

缺陷溯源闭环等环节，极大提升了系统柔性，降低了管理门槛。可以预见，机电融合创新将彻底打破传统工厂的信息孤岛，最终实现设计、工艺、制造、管理、服务的全流程打通与动态迭代。

2.4 典型应用案例分析

机电一体化与智能制造融合发展的生动实践遍布各行业龙头企业。例如，格力电器依托300多项机电一体化核心技术，构建了研发设计仿真、生产制造数字化、智能物流配送、售后服务智慧响应等全链条数字化运营体系，突破了传统制造模式桎梏。一汽大众以机电一体化为纽带，加快关键制造装备国产替代，实现了冲压、焊装、涂装、总装四大工艺环节的机器人密集作业，生产效率提升30%以上，并借助ANDON系统、AGV小车、MES系统，打造透明化、柔性化的制造新模式。在工业富联智能制造基地，协作机器人、智能物流穿梭车、自动化立体仓库等新型装备大规模落地应用，使产品不良率降低了50%，人均产值提升了86%。未来，随着5G、人工智能等新技术与机电一体化加速融合，智能制造将迎来更大想象空间。

3 机电一体化技术与智能制造深度融合的挑战与对策

3.1 技术融合面临的挑战

机电一体化技术与智能制造的深度融合面临多维度挑战。首先，跨学科知识整合难度大，机械、电子、控制、信息等领域的融合需要突破传统思维模式。其次，技术协同创新不足，各环节间存在“短板效应”，制约整体性能提升。再者，数据互操作性差，异构系统间信息交互受阻，影响决策精度^[3]。同时，智能化升级成本高，中小企业难以承担全面改造投入。此外，安全可靠性问题突出，系统复杂度提升带来新的安全隐患。人才匮乏也是关键瓶颈，跨领域复合型人才较为稀缺。标准体系不健全导致技术推广受限，各自为政现象普遍。值得注意的是，技术伦理问题日益凸显，人机协作、数据隐私等引发社会关切。克服这些挑战需要系统思维，协同各方力量，在技术创新、标准制定、人才培养等方面持续发力，从而推动机电一体化与智能制造的有机融合与协同发展。

3.2 创新发展的对策建议

3.2.1 加强跨领域协同创新

机电一体化与智能制造的深度融合依赖于跨领域协同创新体系的构建。建立跨学科研究中心是关键步骤，通过整合机械、电子、控制、人工智能等领域的专业知识，可促进学科交叉与创新思维的融合。产学

研用协同机制的形成能够组建多元化创新团队,针对智能制造核心环节展开系统性攻关。任务导向型创新模式的推广有助于激发各方参与积极性,提高创新效率。开源社区的构建可降低技术门槛,推动核心算法、工具包的共享与优化。新型创新载体为跨界实验提供了实践平台,促进突破性创新的产生^[4]。在人才培养方面,双导师制的实施能够培养理论与实践兼备的复合型人才。知识产权保护机制和利益分配制度的完善是提高创新积极性的重要保障。加强国际合作则可引入先进理念与方法,推动本土化创新。通过多维度的协同创新,形成合力,加速机电一体化与智能制造的深度融合,推动制造业向更高水平发展。

3.2.2 突破核心关键技术瓶颈

智能感知领域,高精度、微型化、多模态融合的新型传感器研发是提升系统感知能力的关键。在控制技术方面,基于深度强化学习的自适应控制算法开发能实现复杂工况下的精准控制。高功率密度、高效率的智能执行机构技术突破将大幅提升系统响应速度与精度。在系统集成层面,面向智能制造的工业实时操作系统开发是解决异构系统协同问题的关键。数字孪生核心技术的突破能实现虚实融合的全周期管理。基于知识图谱的智能决策技术发展将显著提升系统自主性。在网络通信方面,低时延、高可靠的工业互联网技术攻关保障了数据实时交互。智能化工艺与装备的研发则是提升制造过程柔性及敏捷性的重要手段。这些核心技术的突破将构建自主可控的技术体系,为机电一体化与智能制造深度融合提供坚实支撑,推动制造业转型升级。

3.2.3 完善标准规范体系建设

机电一体化与智能制造融合的标准规范体系建设是技术创新与应用的基石。顶层设计的制定构筑了覆盖基础共性、关键技术、应用实施的多层次标准体系框架。基础标准研制工作统一了术语定义、性能指标、测试方法等,为技术创新奠定了共同语言基础。关键技术标准的推进,聚焦了智能感知、控制决策、系统集成等核心环节,更好地引导技术发展方向。应用标准的完善需要围绕智能装备、生产线、工厂等场景,制定实施指南与评估方法,以促进技术落地。新兴技术如人工智能、数字孪生等标准的研制引领产业发展前沿。标准制定过程中产学研用的协同确保了标准的科学性与适用性。国际标准化活动的积极参与提升了我国在该领域的话语权。标准实施评估机制的建立促进了标准的持续优化。系统化、科学化的标准体系建

设为机电一体化与智能制造融合发展提供了规范指引,推动了产业高质量发展。

3.2.4 促进产学研用深度合作

产学研用深度合作是推动机电一体化与智能制造融合的核心动力。共性技术平台的打造整合了高校、科研院所、企业等创新资源,为前沿技术联合攻关提供了基础。围绕行业痛点问题开展协同创新,建立产业技术创新联盟,加速了科研成果转化。研发众包模式的推广汇聚了全球创新智慧,可有效破解技术难题^[5]。开放式创新网络的构建促进了跨界资源流动与整合。产学研协同创新示范基地的培育探索了新型合作模式,为融合发展提供了样板。订单式人才培养深化了校企合作,培养了适应产业需求的复合型人才。科技成果转化机制的完善和技术经纪人制度的建立畅通了产学研用对接渠道。协同创新评价体系的构建激励了多方深度合作。这种多维度的协同创新形成了强大合力,加速了机电一体化与智能制造的融合发展,有力推动了制造业向智能化、高质量方向迈进。

4 结束语

机电一体化技术与智能制造的深度融合是实现制造业高质量发展的必由之路。本文从机电一体化技术与智能制造的概念、关键技术、典型应用等方面系统分析了机电一体化技术在智能制造领域的融合发展现状,揭示了融合发展面临的技术、标准、人才等方面的挑战,提出了加强协同创新、突破技术瓶颈、完善标准体系、深化产学研用合作的对策建议。相关人员需要在厘清基本概念的基础上紧扣智能制造发展的现实需求,聚焦机电一体化技术创新应用的薄弱环节,加大协同攻关、集成创新和工程应用力度,推动机电一体化技术与智能制造加速融合,助力制造业高质量发展。

参考文献:

- [1] 宋欣隆,刘启宸.机电自动化控制系统的一体化设计研究[J].中国设备工程,2024(14):145-147.
- [2] 纪宗军.智能制造背景下机电一体化技术的发展路径探索[J].产业创新研究,2024(12):13-15.
- [3] 王迅.智能制造背景下机电一体化技术在机械制造工程中的应用策略研究[J].造纸装备及材料,2024,53(06):79-81.
- [4] 喜珊.机电一体化技术在智能制造中的运用[J].科技风,2024(15):62-64.
- [5] 武涛,赵林林.智能制造背景下机电一体化技术人才培养研究[J].内燃机与配件,2024(06):155-157.