

机械工程自动化技术及运用分析

杨旭武

宁夏和宁化学有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 本文旨在系统性地剖析机械工程自动化技术的内涵、核心构成、关键特征及其在现代工业体系中的多维应用。文章首先界定了机械工程自动化的基本概念与发展脉络,继而深入探讨了以数控技术、工业机器人、柔性制造系统、计算机集成制造系统以及人工智能为代表的主流自动化技术体系。在此基础上,全面分析了自动化技术在提升生产效率、保障产品质量、优化资源配置、增强生产柔性和保障作业安全等方面的综合价值。最后,文章前瞻性地审视了机械工程自动化技术未来发展的主要趋势,包括与新一代信息技术的深度融合、向更高层次的智能化演进、对绿色可持续理念的贯彻以及对复合型人才需求的日益凸显,并对其面临的挑战进行了思辨性探讨。本研究期望为深化对机械工程自动化技术的理解、推动其科学应用与创新发展提供理论参考。

关键词: 机械工程; 自动化技术; 智能制造; 工业机器人; 柔性制造

引言

自工业革命以来,制造业历经机械化、电气化、信息化的演进,如今正迈入以“智能制造”为核心的第四次工业革命。在此进程中,机械工程自动化技术作为融合自动控制、计算机、电子、传感与人工智能等多学科的关键载体,承担着贯通传统制造与智能系统的重要使命。其本质是通过技术集成,实现对机械产品设计、制造与运行全过程的自动化、智能化,构建具备感知、分析、决策、执行与自优化能力的高效柔性制造系统,从而颠覆传统生产模式、重构制造逻辑。当前,全球主要国家纷纷将智能制造纳入国家战略,我国亦加速推进制造业数字化、网络化、智能化转型,力图建设制造强国。在此背景下,深入研究机械工程自动化技术的体系架构、应用价值与发展路径,不仅关乎企业竞争力,更涉及国家产业链安全与全球价值链地位。本文旨在超越个案分析,从宏观系统视角全面剖析该技术的内在规律与未来趋势,具有重要理论与现实意义。

1 机械工程自动化技术的内涵与发展脉络

1.1 基本内涵界定

机械工程自动化并非一个静态的技术名词,而是一个动态演进的概念体系。其核心在于“自动”,即在无人直接干预或仅需少量干预的情况下,通过预设的程序、规则或智能算法,使机械设备或系统能够自主地完成特定的功能或任务。这一过程通常包含三个基本要素:一是信息的获取(通过传感器等感知环境与状态),二是信息的处理与决策(通过控制器或计算机进行逻辑判断与规划),三是指令的执行(通过执行机构如电机、液压缸等完成物理动作)^[1]。在机械工程领域,自动化技术的应用范围

极为广泛,从微观的单台设备(如数控机床)的自动运行,到中观的生产线(如汽车焊装线)的自动流转,再到宏观的整个工厂(如黑灯工厂)的自主运营,构成了一个多层次、立体化的技术生态。其最终形态指向的是一个高度集成、自适应、自学习的智能制造系统。

1.2 历史演进与阶段划分

机械工程自动化的发展历程可分为五个阶段:(1)刚性自动化阶段(20世纪初-50年代):以流水线和专用机床为代表,实现高效标准化生产,但缺乏柔性,产品变更需昂贵改造。(2)数字化与数控化阶段(50-70年代):数控(NC/CNC)技术出现,使机床能按数字指令灵活加工复杂零件,支持小批量、多品种生产。(3)柔性自动化阶段(70-90年代):柔性制造系统(FMS)集成多台数控机床、物料搬运设备与中央控制,实现不停机切换工件,提升适应性与效率。(4)集成化与信息化阶段(90年代-21世纪初):通过CAD、CAPP、CAM、ERP等系统构建计算机集成制造系统(CIMS),统一管理信息流、物流与资金流,打破信息孤岛。(5)智能化与网络化阶段(21世纪至今):在工业4.0和“中国制造2025”推动下,依托物联网、大数据、人工智能和数字孪生技术,制造系统具备自感知、自学习、自决策与自执行能力,迈向真正意义上的智能制造。

2 机械工程自动化技术的核心构成体系

现代机械工程自动化是一个复杂的系统工程,其技术构成呈现出多元化、集成化的特点。以下几项技术构成了其核心支柱。

2.1 数控(NC/CNC)技术

数控技术是机械工程自动化的基石。它通过将加工

过程中的各种操作（如刀具轨迹、转速、进给量等）用数字化代码表示，并由专用计算机（数控装置）进行解码和运算，最终控制伺服驱动系统带动机床各坐标轴运动，从而精确地加工出所需零件。现代CNC系统不仅具备强大的插补、补偿功能，还集成了人机交互、故障诊断、网络通信等模块，是实现高精度、高效率、复杂零件加工不可或缺的核心技术。

2.2 工业机器人技术

工业机器人是自动化生产线上的“万能”执行者。它是一种可编程、多功能的操作机，能够通过自动控制来执行各种作业任务。在机械工程领域，机器人被广泛应用于焊接、喷涂、装配、搬运、码垛、打磨、检测等环节。其优势在于高精度、高速度、高可靠性以及能够胜任人类难以完成或不愿从事的工作（如高温、有毒、高危环境）^[2]。随着协作机器人（Cobot）和移动机器人（AMR）的发展，机器人与人类、与其他设备的协同作业能力得到极大增强，进一步拓展了其应用边界。

2.3 柔性制造系统（FMS）

FMS是针对多品种、中小批量生产需求而设计的一种自动化生产系统。它通常由加工系统（一组CNC机床）、物流系统（自动上下料装置、托盘交换器、AGV或RGV等运输设备）和信息系统（中央监控与调度计算机）三大部分构成。FMS的核心在于其“柔性”，即系统能够根据生产计划的变化，自动调整加工任务的分配、物料的配送和刀具的更换，从而在保证高效率的同时，快速响应市场对产品多样性的需求。

2.4 计算机集成制造系统（CIMS）

如果说FMS解决了车间层面的柔性问题，那么CIMS则着眼于企业全局的集成与优化。CIMS通过统一的信息模型和网络架构，将企业内部分散的自动化孤岛（如CAD、CAM、CAE、CAPP、ERP、MES等）有机地连接成一个整体。它实现了从产品概念设计、工艺规划、生产制造到售后服务的全生命周期信息共享与业务协同，从而能够对企业的技术、生产和管理活动进行全面、实时的监控与优化，最大限度地提高企业对市场的快速响应能力和整体经济效益。

2.5 人工智能（AI）与机器学习（ML）技术

在智能制造时代，AI和ML技术正以前所未有的深度和广度融入机械工程自动化。它们不再仅仅是辅助工具，而是成为赋予制造系统“智慧”的核心引擎。例如，通过机器视觉和深度学习算法，可以实现对产品质量的在线、高精度、非接触式检测；通过对设备运行数据的分析，可以预测潜在的故障，实现预测性维护；通过强化

学习，可以优化复杂的生产调度和路径规划问题。AI的引入，使得自动化系统从“自动化”向“自主化”迈进了一大步。

3 机械工程自动化技术的多维应用价值分析

自动化技术在机械工程领域的广泛应用，带来了全方位、深层次的价值创造，主要体现在以下几个方面：

3.1 大幅提升生产效率与产能

自动化最直观的价值在于其对生产效率的倍增效应。自动化设备可以实现24小时不间断工作，不受人类生理极限的约束。高速、精准的机器人和数控机床能够以远超人工的速度完成复杂的操作。自动化的物流系统（如AGV、立体仓库）则极大地缩短了物料流转时间^[3]。这些因素共同作用，使得单位时间内的产出量（产能）得到显著提升，有效降低了单位产品的生产成本。

3.2 显著提高产品质量与一致性

产品质量是制造业的生命线。自动化技术通过精确的程序控制和闭环反馈，能够确保每一个生产环节都严格按照预设的标准执行，最大限度地消除了因人为操作差异、疲劳、疏忽等因素导致的质量波动。无论是尺寸精度、表面光洁度，还是装配的准确性，自动化系统都能保持极高的稳定性和一致性。这对于航空航天、医疗器械、精密仪器等对质量要求极为苛刻的行业尤为重要。

3.3 优化资源配置与降低运营成本

自动化系统通过对生产过程的精细化管理和实时监控，能够实现对原材料、能源、人力等资源的最优配置。例如，通过精确的物料需求计划和自动配送，可以减少库存积压和浪费；通过智能能耗管理系统，可以优化设备运行参数，降低能源消耗；通过用机器替代人力，尤其是在重复性、低附加值岗位上，可以有效缓解劳动力成本上升的压力，并将人力资源释放到更具创造性的工作中去。

3.4 增强生产系统的柔性及敏捷性

在市场需求日益个性化、产品生命周期不断缩短的今天，生产系统的柔性变得至关重要。以FMS和基于模块化设计的自动化单元为代表的柔性自动化技术，使得制造企业能够快速切换产品型号、调整生产节拍、应对紧急订单，从而大大增强了对市场变化的响应速度和适应能力。这种敏捷性是企业在激烈竞争中保持优势的关键。

3.5 改善作业环境与保障人员安全

许多机械制造环节存在高温、高压、噪音、粉尘、有毒有害物质或重型物件搬运等危险因素，对操作人员的健康和安全构成威胁。自动化技术的应用，特别是工业机器人的使用，可以将人员从这些恶劣、危险的工作中

环境中解放出来,转移到监控、维护、编程等更安全、更具技术含量的岗位上。这不仅保障了员工的职业健康与安全,也提升了企业的社会形象。

4 机械工程自动化技术的发展趋势与挑战

展望未来,机械工程自动化技术将继续沿着深度融合、智能跃升、绿色低碳的方向演进,同时也面临着一系列新的挑战。

4.1 与新一代信息技术的深度融合

未来的自动化将不再是孤立的硬件和软件系统,而是深度嵌入于一个由物联网、5G/6G、边缘计算、云计算和区块链等技术共同构筑的数字生态系统之中。设备、产品、物料乃至人员都将被赋予唯一的数字身份,实现全要素、全流程、全产业链的泛在连接与实时交互。数据将成为驱动制造系统运行和优化的核心生产要素。

4.2 向更高层次的智能化演进

当前的自动化更多体现为“自动化+信息化”,而未来的方向是“自主化+智能化”。制造系统将不仅仅是执行预设指令,而是能够基于对环境的深度感知、对历史数据的学习和对未来的预测,进行自主的、最优的决策^[4]。数字孪生技术将在其中扮演关键角色,通过在虚拟空间中构建物理实体的动态镜像,实现对物理世界的模拟、监控、诊断、预测和优化,形成一个虚实互动、迭代优化的闭环。

4.3 绿色化与可持续发展理念的贯彻

在全球倡导碳中和与可持续发展的大背景下,自动化技术的发展必须兼顾经济效益与环境效益。未来的自动化系统将更加注重能效优化、材料节约和废弃物减量化。例如,通过智能算法优化加工路径以减少能耗,利用增材制造(3D打印)技术实现近净成形以减少材料浪费,以及开发可回收、可降解的自动化设备组件等。

4.4 对复合型人才需求的凸显

技术的飞速发展对人才提出了更高的要求。未来的工程师不仅需要精通传统的机械、电气、控制等专业知识,还必须掌握数据分析、人工智能、网络安全、系统

集成等跨学科技能。培养和吸引具备这种复合知识结构的“新工科”人才,将是推动机械工程自动化持续创新的关键瓶颈。

4.5 面临的安全、伦理与标准挑战

随着制造系统越来越智能化和网络化,其面临的安全风险也日益复杂,包括网络安全攻击、数据隐私泄露、系统失控等。此外,高度自动化的生产模式对就业结构和社会伦理也提出了新的课题。同时,不同厂商、不同系统之间的互联互通需要统一、开放的技术标准作为支撑,标准的缺失或滞后可能成为制约产业发展的障碍。

5 结语

机械工程自动化技术是现代制造业的核心支柱,其发展体现了人类对效率、品质、适应性与安全的不懈追求。从刚性流水线到智能工厂,自动化已深刻重塑机械工程,并持续引领未来方向。本文系统梳理其内涵、演进、构成、应用价值及趋势,指出其价值已超越“机器换人”,正通过与新一代信息技术融合,构建高度集成、自适应、自优化的智能制造新生态,推动制造业向绿色、可持续、高质量转型。然而,技术复杂性、人才短缺、安全风险与标准缺失仍是重大挑战。未来需在技术创新基础上,强化系统性顶层设计、跨学科人才培养、安全防护体系和开放协同的产业生态。唯有如此,方能充分释放自动化技术潜能,为建设现代化产业体系和实现制造强国目标提供坚实支撑。

参考文献

- [1]黄崧麒.机械工程自动化技术及运用分析[J].通讯世界,2025,32(06):148-150.
- [2]邓小芳,高锐.机械工程自动化技术特点与改善措施分析[J].中国设备工程,2024,(06):203-205.
- [3]王茜,金枝.机械工程自动化技术存在的问题及措施分析[J].产品可靠性报告,2024,(02):75-77.
- [4]姜婷.自动化技术在机械工程中的应用分析[J].科学技术创新,2020,(23):192-193.