

机电一体化技术在智能制造中的应用与发展趋势

汪斌

642103*****5213

摘要: 本文首先介绍了机电一体化技术的基本概念及其在智能制造中的重要性。随后,详细探讨了机电一体化技术在智能制造中的应用实例,包括自动化生产线、智能机器人、数控机床等。接着,分析了当前机电一体化技术面临的挑战和未来发展趋势,包括智能化、网络化、模块化和绿色化等方面。最后,提出了推动机电一体化技术在智能制造中应用的策略建议。

关键词: 机电一体化;智能制造;自动化;机器人;数控机床

DOI: 10.69979/3029-2727.25.06.012

引言

智能制造是制造业发展的必然趋势,而机电一体化技术是实现智能制造的关键技术之一。随着信息技术、自动化技术、计算机技术的快速发展,机电一体化技术在智能制造中的作用日益凸显。

1 机电一体化技术概述

1.1 机电一体化技术定义

机电一体化技术,这一术语通常用来描述在机械产品的整个生命周期中,包括设计、制造、使用和维护等各个阶段,如何巧妙地将机械技术与电子技术、计算机技术、信息技术以及其他相关技术进行深度融合和创新应用。通过这种跨学科的整合,旨在提升产品的智能化水平,优化系统的整体性能,并且提高工作效率,最终达到增强产品竞争力和满足现代工业发展需求的目的。

1.2 机电一体化技术的组成

机电一体化系统通常包括机械本体、驱动装置、传感器、执行器、控制单元和信息处理单元等核心组成部分。其中,机械本体作为系统的基础架构,承担着支撑和传递机械运动的功能;驱动装置通过电能、液压或气动等能源转换方式,为系统提供动力来源;传感器模块(如温度传感器、压力传感器、位移传感器)实时采集环境参数和运行状态数据,构成系统的感知神经网络;执行器依据指令将控制信号转化为物理动作,典型设备包括伺服电机、电磁阀和液压缸;控制单元采用 PLC、单片机或嵌入式系统,通过预置算法实现指令解析与动态调节;信息处理单元则完成数据存储、通信传输和智能分析,常与工业计算机或 SCADA 系统集成。这些子系统通过总线通讯和接口协议形成闭环控制,最终实现机械精密操作与电子智能控制的有机融合。

1.3 机电一体化技术的特点

该技术体系具有显著的系统性特征,主要体现在五个核心维度:集成化通过机械本体、动力单元、传感装置、执行机构和信息处理系统的有机融合,构建完整的功能闭环;智能化依托人工智能算法和自动控制技术,赋予设备自主决策与自适应能力;模块化采用标准化接口设计,支持功能组件的灵活配置与快速迭代;网络化基于工业物联网架构,实现设备间的实时数据交互与协同运作;绿色化贯穿全生命周期设计,通过能源优化和材料创新达成环境友好目标。

2 机电一体化技术在智能制造中的应用

2.1 自动化生产线

自动化生产线集成传感器、PLC 控制器和工业计算机,实现生产智能化。系统包含物料输送、视觉检测及数据分析模块。

汽车制造中机械臂可完成车身焊接与实时监测。现代系统通过 OPC-UA 协议互联,边缘计算实现工艺自优化,数字孪生技术提升 15%-30%效率并提供故障预警。

2.2 智能机器人

智能机器人执行精密装配、质量检测等任务,嵌入式传感器实时采集数据。六轴机械臂实现毫米级焊接,视觉机器人精准贴装微型元件。

设备搭载控制系统与机器学习算法,具备自主路径规划和参数优化能力。自适应编程模块可在 48 小时完成工艺调整,多机协作使效率提升 35%。

协作机器人(Cobots)配备触觉反馈系统,柔性关节遇人体即停,已应用于医疗、食品包装等高灵活度场景。

2.3 数控机床

数控机床通过计算机控制实现高精度加工,由数控装置、伺服系统等构成,可完成车削、铣削等复杂工序。

应用于汽车、航空航天领域,G代码编程控制主轴参数,五轴联动机床加工精度达微米级。相比传统机床具备柔性生产、质量稳定、集成化高等优势。

2.4 智能传感器与执行器

智能设备构成感知-决策-执行闭环,监测120余种参数并实现毫秒级响应。传感器精度达 $\pm 0.05\%FS$,执行器实现0.01mm级控制,使良品率提升23%,OEE提高17%。

通过OPC UA协议与MES互联,支持设备预测和工艺优化。注塑环节压力传感器联动控制使产品重量波动 $\leq \pm 0.3$ 克。

2.5 高级制造执行系统(MES)

MES连接ERP与控制系统,优化生产调度与资源分配。可降低能耗12%-18%,异常响应缩至15分钟。集成工业物联网构建数字化追溯体系,可视化看板实时监控OEE。汽车装配效率提升22%,电子行业不良率控制在50ppm以下。

3 机电一体化技术面临的挑战

3.1 技术创新与集成难度

机电一体化技术的快速发展要求不断推进智能感知、精密控制、系统优化等核心领域的技术创新,同时,机械、电子、信息、软件等多学科技术的深度融合面临多维度集成挑战。在智能装备开发过程中,技术集成常遭遇异构系统协议不兼容、软硬件接口标准不统一、跨平台数据交互障碍等具体问题,导致系统耦合性不足与协同效率下降。

技术协同创新方面,需建立跨领域协作机制解决多物理场耦合难题,通过制定模块化架构标准、开发通用型数据接口、构建开放式控制平台等技术路径,有效降低系统集成复杂度。当前行业亟待突破的关键点包括实时数据融合算法优化、边缘计算资源调度、故障预测与容错控制等前沿技术领域。

为应对这些挑战,需要持续加大在人工智能决策系统、柔性化制造单元、数字孪生验证平台等方向的研发投入,同步完善产学研协同创新体系,形成从基础理论研究到工程化应用的技术创新闭环,最终实现机电系统在动态环境下的自适应与智能化演进。

3.2 人才培养与知识更新

在智能制造与工业4.0浪潮的推动下,机电一体化领域正经历着革命性变革。随着工业机器人、物联网传感器和数字孪生技术的广泛应用,行业对复合型技术人才的需求呈现指数级增长。从业者不仅需要掌握传统机械设计、电气控制等基础学科,还需持续更新智能控制系统调试、工业机器人维护编程及数字工厂数据建模等前沿技能。

当前技术迭代周期已缩短至12-18个月,这要求职业教育体系建立动态调整机制。德国双元制教育中企业实训占比40%的产教融合模式值得借鉴,通过实时更新教学资源库,使课程内容与企业真实生产场景保持同步。行业协会应牵头制定,明确不同职业阶段的知识图谱更新路径。

值得关注的是,知识更新已从个体行为演变为系统工程。企业需构建包含虚拟现实模拟训练、技术导师轮岗制和海外技术研修的立体培养体系。三一重工实施的“技术护照”认证制度,要求工程师每季度完成指定学分的微课学习和项目实践,这种持续教育机制使企业专利年增长率稳定在25%以上。

3.3 成本与投资回报率

高端机电一体化设备和系统的投入成本较高,其费用构成通常包含设备采购、安装调试、后期维护等环节。企业需要建立多维度的投资回报率评估模型,既要核算初期300-500万元的基础设备购置成本,也要统筹考虑每年15-20%的维护费用、能耗支出及人力培训成本。

在经济效益评估过程中,建议采用动态投资回收期分析法,重点测算生产效率提升带来的边际收益。经行业统计,智能化生产线可降低35%次品率,缩短28%生产周期,这些量化指标应纳入NPV净现值计算。值得注意的是,这类设备的投资回报周期通常需3-5年,但后续10-15年使用寿命期内将持续产生技术红利。

4 机电一体化技术的发展趋势

4.1 智能化

未来机电一体化技术将更加智能化,通过集成人工智能技术中的机器学习和深度学习算法,实现设备的自主决策和优化控制。具体而言,智能传感系统将实时采集设备运行数据,结合数字孪生技术构建虚拟映射,使装备具备故障自诊断、工艺参数自调整等能力。例如在智能制造场景中,智能机电系统能根据产品工艺特征自动切换加工模式,并通过持续的数据分析优化生产节拍。

4.2 网络化

网络化是机电一体化技术发展的重要方向,通过物

联网技术构建工业互联网架构,实现设备间的互联互通和信息共享。基于 5G 通信和边缘计算技术,分布式机电单元可形成协同作业网络,实现跨地域设备的远程监控与联动控制。这种网络化特征不仅体现在设备层,还将延伸至供应链系统,使生产数据能实时对接 ERP、MES 等管理系统,构建全价值链的数据闭环。

4.3 模块化

模块化设计能够提高系统的灵活性和可维护性,适应快速变化的市场需求。新型机电系统将采用标准化的功能模块架构,通过即插即用接口实现快速重构。例如动力模块、控制模块、执行模块的独立封装设计,不仅便于故障部件的快速更换,还能根据生产需求灵活组合不同功能单元。这种模块化理念还将推动机电产品系列化开发,显著缩短新产品研发周期。

4.4 绿色化

绿色制造是未来制造业的发展方向,机电一体化技术将更加注重节能减排和环境保护。新一代机电设备将集成能源管理系统,通过变频控制、余热回收等技术实现能效优化。在材料应用方面,将更多采用可降解复合材料和环境友好型润滑介质。同时,基于生命周期评价的生态设计理念,将使机电产品从研发阶段就考虑拆解回收需求,推动形成资源循环利用的绿色制造体系。

5 推动机电一体化技术应用的策略建议

5.1 政策支持与标准制定

政府应出台专项产业扶持政策,通过税收优惠、研发补贴、设备更新奖励等组合措施支持机电一体化技术应用。同步建立涵盖产品接口规范、安全性能指标、能耗标准的完整技术标准体系,设立国家级检测认证机构。重点推进国际标准互认工作,鼓励龙头企业参与 ISO/IEC 国际标准制定,促进行业规范化发展。

6.2 技术研发与创新体系构建

建立政府主导的产学研协同创新机制,逐年提高研发经费占 GDP 比重。重点突破智能控制算法、精密传感技术、系统集成等核心领域,设立国家重点实验室和工程技术中心。完善知识产权保护制度,建立机电一体化专利共享池。支持建设专业孵化器,为中小企业提供技术验证平台和产业化指导。

5.3 产业合作与人才培养

构建产业链协同创新联盟,推动装备制造、电子信息、汽车等行业的跨领域协作。实施“双师型”人才培养

工程,在高等院校设立智能机电交叉学科,优化课程体系包含 PLC 编程、工业机器人等前沿技术。建立校企联合培养基地,开展德国双元制本土化实践。完善职业资格认证体系,设立专项技能提升培训基金,同时加大海外高层次人才引进力度。

6 结论

机电一体化技术作为智能制造体系的核心支撑,其融合应用已渗透至智能工厂的各个环节。在智能装备领域,该技术通过嵌入式控制系统实现精密运动控制;在智能生产环节,基于机器视觉的自动化检测系统显著提升良品率;在智能物流方面,AGV 智能导引车与立体仓库的协同运作大幅优化仓储效率。

当前典型应用场景包括:智能生产线中伺服驱动与 PLC 的精准联动、工业机器人基于力觉反馈的柔性装配、以及智能检测系统运用多传感器数据融合技术。以汽车制造为例,焊接机器人工作站通过机电协同控制可将定位精度稳定在 $\pm 0.05\text{mm}$ 范围内。

面向智能制造发展新趋势,技术创新需聚焦三个维度:机电软控深度集成技术突破传统机械界限,模块化可重构技术增强产线柔性,数字孪生驱动技术实现虚实协同优化。特别是 5G+工业互联网环境下,机电系统的实时响应速度需提升至微秒级。

人才培育体系应构建“三维能力矩阵”:机械设计基础能力、电气控制核心能力、智能算法进阶能力。建议高校联合龙头企业建立机电智能实验室,企业工程师每年度需完成不少于 120 学时的智能化改造专项培训。

产业生态优化需着力完善智能装备标准体系,建立产业链协同创新平台,培育专业系统集成商。通过设立机电智能改造专项基金,重点扶持中小制造企业的数字化车间改造项目,最终形成覆盖研发-生产-服务的智能生态闭环。

参考文献

- [1] 林少锐. 机电一体化技术在智能制造中的应用[J]. 科技资讯, 2015(14):2. DOI:10.3969/j.issn.1672-3791.2015.14.072.
- [2] 纪钰珩. 机电一体化技术在企业智能制造中的发展与应用[J]. 企业技术开发:中旬刊, 2014, 33(3):2. DOI:10.3969/j.issn.1006-8937.2014.05.020.
- [3] 冯德龙. 机电一体化技术在企业智能制造中的发展与应用[J]. 工程技术(全文版):00270-00270[2025-05-12].