

机电一体化在智能制造领域的创新与实践

林业才 220882198407290712

摘要

机电一体化作为融合机械工程、电子技术、控制科学与信息技术的交叉学科，是推动智能制造落地发展的核心支撑。本文首先阐述了机电一体化与智能制造的内在关联，分析了机电一体化技术在智能制造领域的核心创新方向，包括智能感知模块集成、柔性控制系统升级、人机协作交互架构搭建等内容，结合当前工业生产中的典型实践案例总结技术应用效果，最后探讨了机电一体化技术在智能制造领域未来的发展趋势，为相关工业应用与技术研发提供参考。

关键词：机电一体化；智能制造；技术创新；工业实践

一、机电一体化与智能制造的内在关联

传统工业生产体系中，机械设备多以单一功能的刚性生产为主，生产流程调整难度大，响应市场需求变化的灵活性不足，同时生产过程的参数采集与动态调整依赖人工操作，生产精度与效率存在较大提升空间。机电一体化技术打破了不同学科领域之间的技术壁垒，将机械结构、驱动装置、传感器、控制芯片与信息处理模块整合为统一的生产系统，赋予传统机械设备感知、决策与执行的一体化能力，恰好契合智能制造对生产系统智能化、柔性化、网络化的核心要求。

智能制造的本质是通过信息技术对全生产流程进行数据驱动的优化重构，实现生产效率提升、产品质量稳定与个性化定制生产的平衡，而机电一体化技术正是智能制造底层架构的核心组成部分：从生产端的加工设备到物流端的搬运系统，从质量检测的在线识别到生产流程的动态调度，机电一体化技术为智能制造提供了可落地的硬件载体与控制逻辑，二者深度融合推动了工业生产模式从标准化批量生产向个性化柔性生产的转型。

二、机电一体化在智能制造领域的核心创新方向

2.1 智能感知模块的集成创新

感知能力是智能制造实现数据采集的基础，传统机电设备仅具备基础的位置、转速采集功能，无法覆盖生产过程中温度、振动、应力、表面质量等多维

度参数的实时监测需求。新一代机电一体化技术将 MEMS 微传感器、视觉传感器、力传感器等多类型感知元件集成到机械结构的关键节点，通过嵌入式芯片完成前端数据预处理，不仅降低了后台数据处理的压力，还能够实现对生产过程全参数的实时动态采集。例如在金属切削加工设备中，集成在刀具内部的振动传感器能够实时采集刀具磨损数据，结合温度参数提前预判刀具寿命，避免突发断刀导致的生产停滞与产品报废，这一创新将传统机电设备的事后维修模式转变为预测性维护，大幅提升了生产系统的稳定性。

2.2 柔性控制系统的架构创新

智能制造要求生产系统能够快速响应产品设计变更与订单调整，传统刚性控制系统针对单一产品设计，调整生产参数需要重新编写控制程序，调试周期长，无法满足多品种小批量的生产需求。机电一体化技术推动控制系统从集中式控制向分布式模块化控制转型，将控制功能分解到各个执行单元，每个单元具备独立的决策与通信能力，通过工业互联网实现单元之间的协同，当生产需求发生变化时，仅需要调整上层调度指令，即可快速完成生产流程重构，无需对底层控制逻辑进行大规模修改。同时，机电一体化技术将人工智能算法嵌入控制模块，使控制系统能够根据生产过程中采集的实时数据动态调整执行参数，例如在 3D 打印智能制造生产线中，控制模块能够根据环境温度与原材料硬度实时调整挤出速度与打印温度，保证不同批次产品的质量一致性，这一创新突破了传统控制系统参数固定的局限，实现了生产过程的动态优化。

2.3 人机协作交互模式的创新

传统工业生产中工业机器人被隔离在安全围栏内，仅能执行预先设定的重复操作，无法与人类工人完成灵活协作，面对需要人工干预的复杂工序，生产衔接效率较低。新一代机电一体化技术通过力反馈传感器、安全测距传感器与实时控制算法，赋予协作机器人安全交互能力，机器人能够实时感知周边人类的位置与操作动作，自动调整运行速度与路径，遇到障碍物时能够及时停止，无需安全围栏即可与人类工人在同一空间内完成协同作业。这种人机协作的创新模式，既发挥了机器人在重复高精度作业方面的优势，又保留了人类工人在复杂决策与灵活操作方面的特长，能够有效适配多品种小批量的柔性生产需求，比如在汽车零部件装配工序中，机器人负责搬运重型零部件，人类工人负责精细装配，二者协同作业将装配效率提升了 30% 以上，同时降低了工人的劳动强度。

三、机电一体化技术在智能制造领域的实践应用

当前机电一体化技术已经在多个智能制造场景实现落地应用，其中典型的应用场景包括汽车智能制造生产线、电子元件柔性组装线与智能仓储物流系统。在国内某主流汽车厂商的智能制造车间中，基于机电一体化技术改造的车身焊接生产线，集成了 200 余台带智能感知的工业机器人，每台机器人能够通过视觉传感器实时识别车身定位偏差，自动调整焊接路径与焊接参数，焊接精度从传统的 $\pm 0.5\text{mm}$ 提升到 $\pm 0.1\text{mm}$ ，焊接缺陷率降低了 42%，同时生产线能够同时适配 8 种不同车型的混线生产，换产时间从原来的 4 小时缩短到 15 分钟，大幅提升了生产线应对市场变化的灵活性。

在消费电子元件组装领域，某头部电子制造企业依托机电一体化技术搭建了柔性智能组装线，针对不同型号的手机摄像头模组，通过模块化的机电执行单元，能够自动完成吸料、定位、检测、组装全流程，无需更换机械结构，仅需要调整控制程序即可完成产品换产，换产时间不到原来的十分之一，同时通过在线视觉检测模块与力控组装模块，组装良率从 98.2%提升到 99.7%，单位产品生产成本降低了 18%，实践证明机电一体化技术的应用有效解决了消费电子行业产品更新快、品种多带来的生产难题。

在智能仓储物流领域，基于机电一体化技术的自动导引运输车（AGV）已经成为智能制造工厂物流系统的核心配置，新一代 AGV 通过集成激光雷达、视觉导航与力反馈控制模块，能够在复杂的工厂环境中实现自主路径规划，自动躲避障碍物，精准对接上下料工位，替代了传统的人工搬运与固定传送带运输模式，能够根据生产订单的变化动态调整运输路线与运输任务，实现了生产物流的智能化调度，某家电制造企业的智能工厂应用后，物流搬运成本降低了 45%，生产流程的衔接效率提升了 60%。

四、机电一体化在智能制造领域的发展趋势

未来机电一体化技术在智能制造领域将朝着三个方向进一步发展：一是微型化与集成化，随着芯片与传感器制造技术的进步，机电一体化系统的体积将进一步缩小，功能集成度进一步提升，能够应用于更多狭小空间的智能制造场景；二是智能化与自主化，更多人工智能算法将嵌入底层机电控制模块，使生产单元具备自主决策、自主学习、自主故障修复的能力，进一步降低对人工干预的依赖；三是网络化与协同化，所有机电一体化生产单元将接入工业互联网，实现跨设备、跨车间、跨工厂的数据互通与协同生产，推动智能制造从单个设备的智能化升级向全产业链的智能化转型。

参考文献

- [1] 张曙. 智能制造与机电一体化技术的发展[J]. 机电一体化, 2017, 23(01): 5-10.
- [2] 王田苗, 胡建军. 新一代智能制造环境下机电一体化技术创新路径[J]. 中国机械工程, 2020, 31(1): 21-28.
- [3] 林其铨. 机电一体化系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.