

# 机电一体化在智能制造中的应用分析

吴亨炳

杭州钢铁集团有限公司战略投资部 浙江 杭州 310022

**摘要：**机电一体化融合机械、电子、软件等多领域技术，与智能制造需求高度匹配。在智能制造中，其凭借机械精度、电子控制、传感器等核心技术优势，实现实时数据交互、跨域协同等。广泛应用于智能工厂、高端装备研发、柔性制造系统及能源环保领域，提升生产效率与质量。然而，面临多学科人才短缺、异构系统不兼容等挑战。通过构建复合型人才培养体系、推动行业标准统一等对策，可促进机电一体化在智能制造中更好地发展与应用。

**关键词：**机电一体化；智能制造；应用

引言：在科技飞速发展的当下，智能制造已成为全球制造业转型升级的核心方向，它代表着先进制造技术与信息技术的深度融合，旨在实现生产的高效化、智能化与个性化。机电一体化作为一门综合性学科，集机械、电子、控制、计算机等多领域技术于一体，为智能制造提供了坚实的技术支撑。从智能工厂的自动化生产到高端装备的精密制造，机电一体化技术无处不在。深入探究其在智能制造中的应用，能为行业发展提供有力指引，具有重要现实意义。

## 1 机电一体化技术体系与智能制造需求匹配

### 1.1 机电一体化核心技术组成

(1) 机械系统：以精密传动技术保障设备运行精度，如滚珠丝杠、谐波减速器等部件，实现微米级运动控制；模块化设计则通过标准化接口，让机械单元可快速组装与更换，降低设备维护成本与周期。(2) 电子控制：PLC作为传统工业控制核心，擅长逻辑运算与顺序控制，适用于生产线基础动作调度；工业PC与嵌入式系统则凭借更强算力，支撑复杂数据处理，满足高端设备的实时控制需求。(3) 传感器与执行器：多模态感知通过视觉、力觉、温度等多类型传感器，全面采集生产数据；高精度驱动如伺服电机、压电执行器，可将控制指令转化为精准动作，误差控制在纳米级。(4) 软件技术：数字孪生构建物理设备的虚拟映射，实现生产过程模拟与故障预判；边缘计算在设备端实时处理数据，减少云端传输延迟；AI算法则优化生产参数，提升设备运行效率与决策智能化水平。

### 1.2 智能制造对机电一体化的需求特征

(1) 实时数据交互与系统自适应性：要求设备间数据传输延迟低于毫秒级，同时能根据生产工况变化，自动调整运行参数，如负载波动时优化转速。(2) 跨域协同控制：打破机械、电子、液压、气动等系统壁垒，实

现多技术协同，例如机床加工中，机电系统控制定位，液压系统调节夹紧力，确保加工精度。(3) 柔性生产与快速重构能力：支持多品种、小批量生产，设备可快速切换生产任务，如通过更换模块化夹具、调整软件程序，实现不同零件加工。(4) 安全性与可靠性双重保障：具备设备故障预警、紧急停机等安全功能，同时通过冗余设计、寿命预测等技术，减少故障停机时间，提升生产稳定性<sup>[1]</sup>。

### 1.3 技术融合的协同效应

(1) 机械精度与电子控制的互补优化：机械系统提供高精度运动基础，电子控制通过实时反馈修正机械误差，如伺服系统实时补偿传动间隙，提升设备定位精度。(2) 传感器网络与AI决策的闭环反馈：传感器实时采集生产数据，AI算法分析数据并生成优化指令，反馈至执行器调整设备运行，形成“感知-分析-决策-执行”闭环，如通过AI优化焊接参数，降低废品率。(3) 模块化设计对个性化定制的支撑：模块化的机械与电子单元，可根据定制需求快速组合，缩短产品研发与生产周期，如定制化家电生产中，更换不同功能模块实现产品差异化。(4) 数字孪生与实体设备的协同优化：数字孪生模拟设备运行状态，提前发现潜在问题并优化方案，再应用于实体设备，如通过数字孪生模拟生产线布局，减少实体设备调整成本。

## 2 机电一体化在智能制造中的应用

### 2.1 智能工厂建设

(1) 数字化生产线集成：以汽车焊装机器人工作站为例，通过机电一体化技术实现多机器人协同作业。机械系统的高精度机械臂搭载谐波减速器，确保焊接轨迹误差小于0.1mm；电子控制层面采用PLC与工业PC联动，调度机器人焊接顺序与速度；视觉传感器实时采集焊缝位置数据，反馈至AI算法调整焊接参数，同时边缘计算

处理海量生产数据,实现焊接过程数字化管控,使汽车车身焊接合格率提升至99.5%以上。(2)AGV与立体仓库的协同调度:AGV的嵌入式控制系统结合激光导航传感器,可精准识别路径与障碍物,定位精度达 $\pm 5\text{mm}$ ;立体仓库的堆垛机采用伺服电机驱动与精密传动机构,实现货物高速存取。通过物联网技术连接AGV与仓库管理系统,实时交互货物位置、库存余量等数据,系统根据生产需求自动规划AGV运输路线与堆垛机作业顺序,使仓库货物周转效率提升40%,减少人工调度成本<sup>[2]</sup>。

(3)基于物联网的设备远程运维平台:将传感器嵌入生产设备关键部件,实时采集温度、振动、电流等运行数据,通过5G网络传输至云端平台。平台运用数字孪生技术构建设备虚拟模型,模拟设备运行状态;当数据异常时,AI算法快速定位故障点,运维人员通过远程控制模块调整设备参数,或指导现场人员维修,如某机械加工工厂通过该平台,将设备故障响应时间缩短至15分钟,停机维修成本降低30%。

## 2.2 高端装备研发

(1)数控机床五轴联动控制与误差补偿:五轴数控机床的机械系统采用高精度滚珠丝杠与力矩电机,实现多轴联动的平稳运行;电子控制系统搭载高性能运动控制器,实时计算轴间运动轨迹,减少联动误差。同时,通过激光干涉仪采集机床误差数据,AI算法建立误差补偿模型,动态修正加工参数,使数控机床加工精度提升至微米级,满足航空航天零件的精密加工需求。(2)工业机器人力控技术与柔性抓取:工业机器人的执行器集成力传感器与视觉传感器,力传感器实时检测抓取力大小,视觉传感器识别工件形状与位置;电子控制系统根据传感器数据,通过力控算法调整关节力矩,实现柔性抓取。例如在食品包装行业,机器人可根据包装袋材质,自动调整抓取力,避免包装袋破损,同时精准定位包装位置,提升包装效率25%。(3)增材制造中的多物理场耦合控制:增材制造设备的机械系统实现打印喷头的高精度移动,电子控制系统协调喷头温度、打印速度与材料输送速率;同时,传感器实时监测打印过程中的温度场、应力场变化,将数据传输至边缘计算单元。通过多物理场耦合算法分析数据,动态调整打印参数,如在金属3D打印中,可减少打印件内部应力,降低开裂风险,提升打印件合格率至90%以上。

## 2.3 柔性制造系统(FMS)

(1)模块化机电单元快速换型技术:柔性制造系统中的加工设备、输送设备等采用模块化设计,机械模块通过标准化接口连接,电子控制模块搭载可配置的控制

程序。当生产任务切换时,通过自动更换机械模块,同时调用对应的控制程序,实现设备快速换型。例如在电子元件生产中,可在30分钟内完成从电阻加工到电容加工的设备换型,满足多品种、小批量生产需求。(2)基于数字孪生的产线虚拟调试:在柔性制造系统搭建前,通过数字孪生技术构建产线虚拟模型,模拟设备布局、运动轨迹与生产流程。工程师在虚拟环境中调试设备参数、优化生产节拍,检测产线运行中的潜在问题,如设备干涉、流程卡顿等。将调试后的参数应用于实体产线,使产线调试周期缩短50%,减少实体调试中的设备损耗<sup>[3]</sup>。(3)人工智能驱动的生产异常自诊断:柔性制造系统中的传感器实时采集设备运行数据、产品质量数据,AI算法对数据进行分析,建立正常运行数据模型。当数据偏离模型范围时,AI快速识别异常类型,如设备磨损、参数偏差等,并自动定位异常原因,生成诊断报告。同时,系统可根据诊断结果,自动调整设备参数或发出维修提示,使生产异常处理时间缩短40%,减少产品废品率。

## 2.4 能源与环保领域

(1)风电设备变桨系统的机电协同控制:风电设备的变桨系统中,机械系统通过伺服电机驱动桨叶转动,实现桨叶角度调整;电子控制系统根据风速传感器采集的风速数据,结合功率曲线,计算最佳桨叶角度。当风速变化时,控制系统快速响应,调整伺服电机转速,带动桨叶实时变桨,使风机在不同风速下保持最佳发电效率,同时避免风速过高时桨叶过载,提升风机运行稳定性,延长设备寿命<sup>[4]</sup>。(2)污水处理中的智能泵阀集群调控:污水处理厂的泵阀系统采用机电一体化设计,传感器实时监测污水水位、流量与水质指标;电子控制系统根据传感器数据,通过集群控制算法协调各泵阀的启停与开度。例如当污水进水流量增大时,系统自动开启备用水泵,调整阀门开度,确保污水处理池水位稳定;同时,根据水质数据调整处理药剂投放量,提升污水处理效率,使污水达标排放率提升至98%。

## 3 机电一体化发展中的挑战与对策研究

### 3.1 技术瓶颈

(1)多学科交叉人才短缺:机电一体化技术融合机械、电子、软件等多领域知识,当前行业内兼具机械设计能力与AI算法应用、物联网技术的复合型人才占比不足15%。高校传统专业设置多侧重单一学科,如机械工程专业缺乏电子控制与软件编程课程,导致毕业生难以快速适配智能制造企业需求,制约技术落地效率。(2)异构系统通信协议不兼容:不同厂商设备常采用差异化

通信协议,如工业设备中OPCUA协议侧重跨平台数据交互,Modbus协议多用于简单设备通信,二者无法直接兼容。某汽车零部件工厂引入不同品牌的AGV与数控机床后,因协议不兼容,需额外开发转接模块实现数据互通,不仅增加30%的系统搭建成本,还导致数据传输延迟增加至200ms,影响生产调度效率。(3)高端核心部件依赖进口:高精度伺服电机、谐波减速器等核心部件,国内产品在精度、寿命上与国际领先品牌存在差距,如国产伺服电机定位精度多在 $\pm 0.01\text{mm}$ ,而进口产品可达 $\pm 0.001\text{mm}$ 。某高端数控机床企业80%的高精度伺服电机依赖进口,受国际供应链波动影响,部件交货周期延长至6个月,导致设备生产进度延误。

### 3.2 实施障碍

(1)中小企业数字化改造成本高:机电一体化改造涉及设备更新、软件部署等,单条中小型生产线改造费用普遍超过50万元,且改造后需持续投入维护成本。某中小型电子加工厂测算,完成数字化生产线改造需投入80万元,投资回报周期长达3年,超出企业短期承受能力,导致改造意愿低迷。(2)数据安全与知识产权保护风险:机电一体化系统通过物联网传输海量生产数据,存在数据泄露与被篡改风险。某机械制造企业因设备远程运维平台防护不足,生产工艺参数被窃取,导致核心产品被仿造,造成年销售额损失1200万元;同时,数字孪生模型等知识产权缺乏明确保护标准,侵权纠纷处理难度大。(3)传统工程师的知识结构更新困难:从业超过10年的传统机械工程师中,近70%缺乏物联网、AI等新技术应用能力。部分工程师因学习成本高、对新技术接受度低,难以掌握数字孪生调试、工业软件操作等技能,导致企业虽引入先进设备,却无法充分发挥其智能化功能,设备利用率仅达60%。

### 3.3 发展对策

(1)构建“机械-电子-信息”复合人才培养体系:高校开设机电一体化交叉专业,增设工业机器人编程、数字孪生应用等课程;企业与高校共建实训基地,

开展“订单式”培养,如某智能制造企业与职业院校合作,定向培养兼具机械维修与AI算法应用能力的人才,毕业生入职后3个月即可独立上岗,缩短人才培养周期。(2)推动行业标准统一:政府联合行业协会加快MTConnect、OPCUA等通用协议普及,制定设备通信接口标准;建立协议兼容性认证机制,要求新出厂设备需支持主流通用协议。某工业园区通过推广MTConnect协议,实现不同品牌设备数据互通,数据传输延迟降低至50ms以下,系统搭建成本减少25%。(3)开发低成本模块化机电一体化套件:企业推出标准化、可组装的改造套件,包含基础传感器、简易PLC、模块化机械单元等,适配中小企业现有设备。某科技公司开发的低成本改造套件,单套价格控制在5万元以内,可实现设备基础数据采集与远程监控功能,帮助中小企业以1/10的传统改造成本完成初步数字化升级,投资回报周期缩短至1年。

### 结束语

机电一体化在智能制造领域的应用成果斐然,极大地提升了生产效率、产品质量与制造灵活性,成为推动制造业变革的核心力量。然而,发展过程中也面临着人才短缺、标准不统一等挑战。未来,随着技术的不断创新与完善,机电一体化将进一步深度融入智能制造。我们需持续攻克技术难题、优化实施策略,充分发挥其优势,让智能制造迈向更高水平,在全球制造业竞争中赢得先机,铸就制造业新的辉煌。

### 参考文献

- [1]王国伟.机电一体化技术在智能制造中的应用[J].集成电路应用,2023,(04):46-47.
- [2]罗千.智能制造中机电一体化技术的应用分析[J].机电产品开发与创新,2022,(10):92-93.
- [3]吕明皓.机电一体化技术在智能制造中的运用分析[J].中国设备工程,2022,(11):126-128.
- [4]罗书明.机电一体化技术在智能制造中的应用策略[J].中国科技信息,2022,(10):112-113.