

System design of mechatronics technology and its application in mechanical design and manufacturing

Jinyong Song¹ Wenjuan Yang¹ Jiankang Wang²

1. Zhejiang Jialide Sports Technology Co., Ltd, Jinhua, Zhejiang, 321000, China

2. Jinhua Huayun Electronic Engineering Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

Abstract

As the core driving force of modern manufacturing, mechatronics technology is fundamentally transforming the technical paradigms and industrial landscapes of mechanical design and manufacturing. Traditional mechanical systems are evolving into autonomous intelligent equipment through integration of sensing, detection, information processing, and smart control units. At this critical juncture of manufacturing transformation, the demand for autonomous high-end equipment and personalized customization has heightened requirements for mechatronic integration capabilities. By integrating multidisciplinary approaches and methodological innovations, this technology provides systematic solutions for complex engineering challenges, propelling manufacturing models toward flexible and intelligent evolution. Its system design philosophy emphasizes deep synergy between mechanical components and control functions, offering crucial technical support for enhancing industrial competitiveness.

Keywords

mechatronics; system design; mechanical design;

机电一体化技术的系统设计及在机械设计制造中的应用

宋金勇¹ 杨文娟¹ 王建康²

1. 浙江嘉立德运动科技有限公司, 中国·浙江 金华 321000

2. 金华市华韵电子工程有限公司, 中国·浙江 金华 321000

摘 要

机电一体化技术作为现代制造业的核心驱动力,正深刻重塑机械设计制造的技术范式与产业形态。传统机械系统通过融入传感检测、信息处理与智能控制单元,逐步演进为具备自主决策能力的智能装备。当前制造业面临转型升级的关键阶段,高端装备的自主化需求与个性化定制趋势对机电集成能力提出更高要求。该技术通过多学科交叉融合与方法创新,为解决复杂工程问题提供了系统化解决方案,推动制造模式向柔性化与智能化方向持续演进。其系统设计思维强调机械本体与控制功能的深度协同,为提升产业竞争力提供了重要技术支撑。

关键词

机电一体化; 系统设计; 机械设计

1 引言

机械设计制造领域始终致力于精度、效率与可靠性的持续提升。在此进程中,机电一体化技术通过跨学科的深度集成与系统化的设计方法,为该领域注入了新的发展动力。现代机械系统已超越传统纯机械结构的范畴,逐渐演进为传感、驱动与控制单元紧密融合、高度协同的智能整体。面对日益复杂的应用场景与不断增长的个性化需求,传统机械设计方法显现出一定局限性。机电一体化则从系统层面出发,对机械功能进行解构与重构,推动制造模式向柔性化与智能化方向显著跃迁。

【作者简介】宋金勇(1996.2-),男,助理工程师,从事机电一体化方面的研究。

2 机电一体化系统设计的理论基础

2.1 机电一体化系统的本质特征与内涵界定

机电一体化系统代表机械本体与电子信息功能的深度整合,其本质特征在于硬件结构与软件控制的有机统一。技术核心聚焦于多学科交叉融合,机械执行机构依据控制指令完成精确动作,传感器实时捕获环境参数并反馈至处理单元。系统内涵涵盖从动力传输、信号处理到决策执行的完整闭环,智能空调依据温湿度变化自主调节风力大小便是一个典型体现。日常生活中的智能马桶盖结合人体感应模块与机械传动装置,实现了自动开盖与加热冲洗的协同操作。系统设计追求机械单元与控制单元的无缝协作,使得传统机械装置获得感知、判断与调整的智能特征。

2.2 机械系统与控制系统集成原理

机械系统与控制系统集成原理构建了机电设备功能实现的基础框架，其核心在于硬件执行与软件指令的协同运作。机械执行机构接收控制单元发出的脉冲信号，将其转化为精确的物理运动，例如智能洗衣机的变频电机根据衣物重量自动调整转速与扭矩。控制单元持续采集传感器反馈的位置与温度数据，动态修正输出指令以维持系统稳定运行。数控机床的主轴伺服驱动器依据编程代码控制刀具轨迹，同时振动传感器实时监测加工状态并反馈至中央处理器。集成过程注重机械传动精度与控制算法响应的匹配度，使传统机械装置具备自我调节与优化的能力^[1]。

3 机电一体化技术在机械设计制造中应用的问题与挑战

3.1 机械与电气系统协同设计能力不足

当前机械与电气系统协同设计过程中存在明显的技术衔接障碍，机械工程师专注于结构强度与运动传递的设计方案，电气工程师独立开发控制逻辑与电路布局，两者缺乏统一的设计语言与协作平台。家用洗碗机的喷淋机械系统与水流传感电路经常出现匹配误差，导致机械臂旋转角度与水压检测信号产生时序错位。汽车天窗制造企业面临机械滑轨组件的公差范围与电机限位开关灵敏度之间的匹配难题，设计阶段的独立运作导致后期反复调试。工业生产线上自动包装设备时常因机械传送带的振动频率与光电传感器采样周期不匹配，造成产品定位检测失效。这些案例反映了机械设计与电气设计在早期阶段缺乏深度交互所带来的系统性能缺陷。

3.2 系统集成与优化方法有待完善

现有集成方法尚未完全解决多子系统之间的动态耦合问题，企业在整合机械传动模块与电子控制单元时往往依赖分段式调试策略。智能家居企业在开发扫地机器人时发现吸尘马达的功率波动会干扰导航传感器的电磁信号，导致建图定位出现持续性偏差。汽车制造商在集成自动泊车系统时面临机械转向机构与图像识别算法的响应延迟，车轮转角精度与视觉计算结果难以达成毫秒级同步^[2]。工业现场的多轴机器人经常因为伺服驱动器参数与机械臂惯量匹配不足，产生末端执行器的轨迹抖动现象。这些情况暴露了当前集成方法对交叉领域干扰因素的预测能力欠缺，不同学科的技术规范在融合过程中产生标准化间隙。优化过程缺乏对机械动态特性与电气响应特征的统一建模工具，使得系统级性能提升遇到瓶颈。

3.3 智能化水平与实时控制能力亟待提升

现有智能设备的决策能力尚未达到理想状态，许多系统仍然依赖预设的固定程序应对动态环境。家用智能烹饪机的温度调控模块难以根据食材实际状态进行实时调整，传感

器采集的数据与加热执行机构之间存在可察觉的响应滞后。工业生产线上的质量检测系统经常出现误判现象，视觉识别算法对复杂背景下的产品缺陷辨识精度有待提高。伺服驱动单元在高速运转时会产生热量积累，影响控制信号的传输稳定性。移动机器人在复杂地形中导航时，路径规划算法对突发障碍物的反应速度制约了整体行动效率。这些现象反映了当前智能系统在环境感知与执行控制之间的衔接尚未达到无缝状态，数据处理能力与物理执行速度之间存在一定差距。现有控制架构对多任务并发处理的支持程度有限，难以满足高精度设备对实时性能的严苛要求。

3.4 专业人才培养与技术创新需求不匹配

当前教育体系培养的专业人才知识结构与企业实际技术创新需求存在一定差距，高校课程设置偏重传统机械或电气单一领域的理论教学，跨学科融合实践环节相对薄弱。应届毕业生在面临智能生产线调试任务时，往往对机械传动特性与控制系统参数的关联性缺乏深刻理解。企业在升级数控机床智能化功能时，发现技术人员对传感器数据融合与机械运动规划的协同处理能力有待加强。智能家电研发团队在开发新型洗衣机平衡系统时，既懂机械振动分析又掌握嵌入式控制算法的复合型人才供给不足。产业界期待的机电一体化人才应当具备从机械结构设计到智能控制实现的全程视角，而现有培养模式更倾向于培养单一领域的专业技术人才。这种人才知识体系与产业技术创新需求之间的错位，在一定程度上延缓了机电一体化技术的应用深化与推广速度^[3]。

5 机电一体化技术在机械设计制造中的典型应用

5.1 在智能制造系统中的应用

智能制造系统依托机电一体化技术构建高效协同的生产体系，其基础应用体现在信息感知与物理执行的深度融合。智能仓储单元通过射频识别技术获取物料信息，堆垛机伺服系统依据路径规划算法实现货架精准定位。生产线上的视觉检测工位采集产品图像特征，机械分拣机构根据图像处理结果自动分离合格与缺陷产品。数控加工中心集成振动监测模块，实时分析刀具磨损数据并触发自动换刀程序。装配工站的协作机器人通过力觉传感器感知零件配合阻力，自适应调整装配姿态与插入力度。AGV 运输小车利用激光导航与惯性测量单元计算最优路径，其驱动系统根据载重变化自动调节电机扭矩。能源管理系统监测设备运行功耗，通过智能算法协调生产线启停节奏以降低峰值负荷。这些基础应用构建了智能制造系统的核心能力，使生产过程具备感知、分析与执行的闭环控制特性。

5.2 在工业机器人系统中的集成应用

工业机器人系统通过机电一体化技术实现多学科功能的有机整合，其机械结构在伺服电机与减速器的协同驱动下

完成精准运动控制。汽车制造领域的焊接机器人利用激光视觉传感器识别车身接缝特征，其控制系统依据板材厚度自动调节焊接电流与运动轨迹。电子装配线上的机器人通过视觉定位系统捕捉电路板基准点，精密气动手指根据元器件的尺寸特征自适应调整抓取力度。食品包装行业的机器人配备高速视觉检测模块，依据产品形状特征实时计算分拣轨迹，同步控制三个并联臂完成快速抓取操作。喷涂机器人集成流量传感器与压力检测装置，根据表面曲率变化自动调整喷枪距离与涂料流量。机床上下料机器人采用力觉反馈技术，通过接触感知寻找准确卡盘定位点，避免刚性接触造成的设备损伤。这些应用展示了机电一体化技术如何使工业机器人融合环境感知、实时决策与精确执行功能，在多个工业领域完成复杂作业任务^[4]。

5.3 在数控加工装备中的创新应用

数控加工装备通过机电一体化技术实现精度与效率的显著提升，其创新应用体现在控制系统与机械执行的深度融合。数控系统集成高精度编码器与伺服驱动器，实时监测主轴负载变化并自动调整进给速率。智能刀具管理系统利用射频识别技术追踪刀具寿命，当切削刃磨损达到临界值时提示更换操作。自适应控制系统依据材料硬度检测数据动态修正切削参数，在加工汽车发动机缸体时保持稳定的表面加工质量。在线测量探头在完成铣削工序后立即采集工件尺寸数据，反馈至数控系统补偿刀具热变形误差。深孔钻削装备配备超声波断屑监测装置，根据切屑形态变化自动调节冷却液流量与主轴转速。五轴联动加工中心利用旋转工作台与摆头机构的协同运动，实现航空结构件复杂曲面的连续加工。这些应用显著提升了数控装备的自动化程度与加工精度，使传统机械加工方式转变为智能化制造过程。

5.4 在新能源汽车制造中的关键技术应用

新能源汽车制造过程中广泛应用机电一体化技术解决关键工艺问题，电池包生产线采用视觉定位系统引导机械臂精确抓取电芯模块，力控拧紧装置根据传感器反馈控制螺栓预紧力。车身焊接机器人集成激光扫描与伺服控制功能，依据板材接缝特征自适应调整焊接轨迹与压力参数。电机总装线配备在线检测系统，通过振动传感器与电流探头采集运行数据，实时判断转子动平衡状态与绕组绝缘性能。电池管理系统持续监测各电芯电压与温度数据，智能控制液冷泵调节冷却液流量以维持最佳工作温度。充电接口自动化测试设备模拟不同插拔工况，机械传动模块配合电流检测电路验证连接器耐久性与导电性能。整车下线检测系统集成多轴转鼓与传感器网络，同步采集驱动电机输出特性与能量回收效率数据。这些应用体现了机电一体化技术在新能源汽车制造过程中对精密装配、智能检测与系统协调的关键支撑作用。

6 机电一体化技术在机械设计制造中的实施策略

企业实施机电一体化技术应当建立跨专业协同设计机制，组织机械工程师与电气工程师在项目初期共同制定系统架构方案。技术团队采用统一数据标准集成机械三维模型与电气控制逻辑，通过仿真平台验证运动机构与控制算法的匹配性。汽车零部件制造商在升级生产线时构建数字化双胞胎模型，模拟伺服压机与视觉检测系统的协同作业流程，提前发现机械干涉与信号干扰问题。

实施过程注重硬件模块与软件功能的同步开发，机械结构设计预留传感器安装位置与走线空间。家电企业在开发智能产品时建立机电接口规范，明确电机驱动参数与机械传动结构的匹配要求，确保控制信号与执行机构响应特性一致。工业设备制造商在改造传统机床时采用模块化设计理念，将数控系统与机械本体作为独立单元进行优化升级。

中小型企业可采用分阶段改造策略，先在关键工序引入机电一体化单元再逐步扩展系统集成范围。注塑企业首先在模具温度控制环节加装智能温控模块，待运行稳定后再扩展至整条生产线的集中控制。专业培训计划帮助技术人员掌握机械调试与参数优化的复合技能，现场应用案例库提供常见问题的解决方案参考。汽车厂定期组织机械与电气部门的技术交流，分享伺服电机与传动机构匹配调试的实际经验。

这些实施策略注重技术可行性与经济性的平衡，使机电一体化技术能够切实提升制造系统的综合性能。企业根据自身产能需求与技术基础选择合适的实施路径，逐步推进机械制造系统的智能化升级改造。

7 结语

机电一体化技术的深度应用正在重塑机械设计制造的技术范式与产业形态。其系统设计思维强调多领域协同与全局优化，为解决复杂工程问题提供了方法论支撑。在未来，随着人工智能、数字孪生等技术的融合渗透，机电一体化会进一步推动机械系统朝着自主决策与智能运维方向演进，成为制造业高质量发展的重要引擎。

参考文献

- [1] 刘凤磊.现代机械设计制造工艺与精密加工工艺技术分析[J].机电产品开发与创新,2025,38(04):186-188.
- [2] 汪洋,王鹏.基于人工智能的机械设计制造自动化系统优化研究[J].装备维修技术,2025,(03):86-89.
- [3] 杜风波.浅谈自动化技术在机械设计制造中的应用研究[N].经济导报,2025-05-14(005).
- [4] 郭立民.绿色理念在机械设计制造中的应用探究[J].中国设备工程,2025,(07):235-237.