

# 机电一体化技术在机械工程中的应用研究

海新普

宁夏小巨人机床有限公司 宁夏 银川 750002

**摘要:** 机电一体化技术融合机械、电子等多领域知识,在机械工程应用广泛。本文先阐述其核心构成,包括机械本体、电子控制等技术;接着分析在机械制造装备、工程机械等领域的核心应用方向;然后探讨机电协同控制、信号检测等关键技术要点;最后提出机电融合结构优化、控制算法适配等应用优化方向。机电一体化技术为机械工程发展提供强大动力,推动行业向智能化、高效化迈进。

**关键词:** 机电一体化技术;机械工程;应用方向;技术要点;优化方向

引言:机械工程作为工业发展的基石,不断追求技术创新与升级。随着科技飞速发展,单一技术难以满足复杂工程需求,机电一体化技术应运而生。它将机械技术、电子技术、传感器技术、信息技术等多学科技术有机融合,形成具有强大功能与优势的综合技术体系。在机械工程领域,机电一体化技术的应用日益广泛且深入,成为提升机械产品性能、提高生产效率、保障安全可靠运行的关键因素,对推动机械工程发展意义重大。

## 1 机电一体化技术核心构成

### 1.1 机械本体技术

机械本体作为机电一体化系统的物理载体,其设计需兼顾结构强度与动态特性优化。通过拓扑优化与轻量化设计方法,可实现材料分布的合理化配置,在保证承载能力的前提下降低系统能耗<sup>[1]</sup>。运动副的精密加工与表面处理技术直接影响传动效率与使用寿命,而模块化设计理念的应用则提升了系统可重构性与维护便捷性。针对特定工况的适应性设计,如高温、腐蚀环境下的材料选型,构成了机械本体技术发展的关键方向。

### 1.2 电子控制技术

电子控制单元作为系统决策核心,其架构演进呈现从集中式向分布式发展的趋势。可编程逻辑控制器与嵌入式系统的深度融合,实现了控制算法的硬件加速执行,单次运算周期缩短至1微秒级。实时操作系统与多任务调度机制确保了多轴运动的同步精度,相位偏差控制在0.1度以内。容错控制技术通过冗余设计增强了系统在异常工况下的稳定性,故障恢复时间不超过10毫秒。开放式的控制架构支持第三方算法的快速集成,算法迭代周期从30天压缩至3天。

### 1.3 传感器与检测技术

多参数融合检测技术突破了单一传感器的信息局限,通过数据级、特征级或决策级的融合处理,显著提升了

状态感知的准确性。新型传感原理如光纤光栅、磁致伸缩的应用,拓展了检测范围并增强了抗干扰能力。自供电传感器技术与无线传输协议的结合,解决了分布式布线的工程难题,为大规模监测网络的构建奠定基础。

### 1.4 执行机构技术

电动、液压与气动执行器的性能互补性推动了复合驱动系统的发展。直驱技术通过消除中间传动环节,实现了零背隙与高响应特性,在精密定位领域表现突出,直驱电机定位精度可达1微米。压电陶瓷与形状记忆合金等智能材料的引入,赋予执行机构微位移控制与自适应变形能力,压电陶瓷执行器位移分辨率可达0.1纳米。力反馈控制技术的集成,使执行器具备环境交互的柔顺控制特性,力控制误差可控制在0.5牛以内。

### 1.5 信息处理与接口技术

现场总线技术实现了控制层与设备层的高速数据交换,工业以太网与时间敏感网络(TSN)的应用满足了实时性要求,数据传输延迟可控制在100微秒以内。异构协议转换网关解决了不同厂商设备间的通信障碍,协议转换效率可达95%以上,而OPCUA等标准化接口规范促进了系统互操作性。边缘计算架构将部分数据处理任务前移,降低了云端通信负载,边缘节点处理时延可缩短至5毫秒,提升了本地决策的时效性。

## 2 机电一体化技术在机械工程中的核心应用方向

### 2.1 机械制造装备中的应用

精密加工装备的机电一体化整合通过机械结构与电子控制的深度协同,实现了加工参数的动态补偿与优化。高精度伺服驱动系统与闭环反馈控制结合,使微米级定位精度成为可能,定位精度可达0.5微米,而多轴联动控制技术则拓展了复杂曲面加工能力,可加工曲率半径5毫米以下的复杂曲面<sup>[2]</sup>。自动化生产线的机电协同控制依托分布式控制架构,将物料搬运、加工与检测环节无缝衔

接,通过实时数据交互实现生产节拍的精准匹配,生产节拍可控制在30秒以内。加工装备的运动精度控制涉及机械刚度优化与电子补偿算法的双重保障,前馈控制与自适应调整技术的融合显著提升了动态响应特性,动态跟踪误差可控制在2微米以内。

## 2.2 工程机械中的应用

工程机械的机电一体化操控系统通过电液比例控制技术,将操作指令转化为液压系统的精确动作,同时集成功力反馈机制增强人机交互的直观性。作业动作的协同调控机制基于多传感器数据融合,实现挖掘、装载等复合动作的平滑过渡与能量最优分配。运行状态的实时感知与调控依托物联网架构,通过振动、温度等多参数监测构建设备健康模型,为预防性维护提供数据支撑。

## 2.3 智能制造中的应用

机电一体化与智能调度的融合通过边缘计算节点实现生产资源的动态配置,结合数字孪生技术构建虚拟产线模型,优化生产流程的时空效率。设备间的机电信息交互与联动依托工业以太网协议,实现加工中心与物流系统的无缝对接,支持柔性制造单元的快速重构。智能反馈调控的机电实现路径包含多层次控制架构,从底层执行器到上层决策系统形成闭环,确保制造过程的自适应调整能力。

## 2.4 机械传动系统中的应用

机电一体化传动的精准控制通过直接驱动技术消除中间传动环节,结合高分辨率编码器实现零背隙传动,在机器人关节等场景表现突出,传动背隙可控制在0.1弧分以内。传动系统的机电协同优化涉及机械拓扑与控制参数的联合设计,通过模型预测控制降低动态误差,动态误差可控制在1微米以内。无间隙传动的机电技术支撑包含预紧力自适应调节与摩擦补偿算法,满足精密定位设备的严苛要求,定位重复性可达0.2微米。

## 2.5 机械制动与安全系统中的应用

机电一体化制动的响应调控依托电磁阀与液压系统的快速切换,结合电子驻车技术缩短制动距离,同时集成冗余设计提升系统可靠性,制动距离可缩短至10米以内。安全防护的机电联动机制通过多类型传感器构建防护区域,当检测到异常侵入时,立即触发机械锁止与声光报警的协同响应,形成立体化安全屏障,响应时间可控制在200毫秒以内。

# 3 机电一体化技术在机械工程应用中的关键技术要点

## 3.1 机电协同控制技术要点

机电协同控制的核心在于实现机械系统与电子控制单元的动态匹配。多轴运动控制需通过同步算法消除各

执行器间的相位偏差,确保复合动作的平滑衔接。前馈补偿技术通过预估负载变化对控制参数进行动态调整,提升系统对扰动的抑制能力<sup>[3]</sup>。分布式控制架构中,主从控制器间的通信延迟补偿机制直接影响协同精度,需采用时间同步协议与数据缓冲策略优化时序匹配。自适应控制算法根据系统状态实时修正控制参数,在非线性和非线性工况下保持稳定运行,而容错控制设计则通过冗余执行机构提升系统可靠性。

## 3.2 信号检测与信息处理技术要点

多源异构信号的融合处理需解决采样同步与数据对齐问题。模拟信号经抗混叠滤波后转换为数字量,通过时频分析提取特征参数,为状态监测提供依据。数字信号处理单元采用并行计算架构加速傅里叶变换等运算,满足实时性要求。信息融合层面,加权平均与卡尔曼滤波算法根据传感器精度分配权重,抑制噪声干扰。边缘计算节点对原始数据进行预处理,提取关键特征后上传云端,降低通信带宽需求。异常检测算法通过建立正常工况模型,对偏离阈值的数据触发预警机制。

## 3.3 机械结构与电子系统的适配技术

机械结构与电子系统的集成需兼顾电磁兼容性与热管理需求。印制电路板布局遵循信号完整性原则,高频线路与低频线路间距控制在1毫米以上。机械安装接口采用标准化设计,定位销数量达4个以上,弹性连接件刚度系数为100牛/毫米。散热设计结合自然对流与强制风冷,散热面积扩展至0.1平方米以上。轻量化结构与电子元件的小型化趋势相互促进,碳纤维复合材料厚度控制在0.5毫米以内,微型传感器尺寸达1立方毫米级。接口电路的阻抗匹配设计确保信号完整传输,阻抗偏差控制在 $\pm 5$ 欧姆以内。

## 3.4 抗干扰技术在机电一体化系统中的应用要点

电磁干扰抑制从源头、传播路径与敏感设备三方面入手。屏蔽层采用导电橡胶或金属编织网包裹电缆,屏蔽效能达60分贝以上。滤波电路针对特定频段噪声设计,共模电感电感量为10毫亨,X/Y电容容量为0.1微法。软件层面,看门狗定时器监测程序运行状态,超时时间设为100毫秒。数字滤波算法消除数据抖动,滤波窗口长度为10个采样点。接地系统采用单点接地与多点接地混合模式,地环路电阻控制在0.1欧姆以内。强电与弱电信号通过光耦隔离或变压器耦合传输,隔离电压达1000伏以上。冗余设计思想贯穿硬件与软件,关键模块采用双通道热备份,备份切换时间不超过10毫秒。

# 4 机电一体化技术在机械工程中的应用优化方向

## 4.1 机电融合的结构优化路径

机械结构的轻量化与刚度提升,需通过拓扑优化技术实现材料分布的精准调控,采用高强度合金与复合材料替代传统金属,在保证承载能力的前提下降低系统惯量<sup>[4]</sup>。电子元件的嵌入式集成设计将传感器与执行器直接嵌入机械本体,减少信号传输路径与电磁干扰,通过模块化布局提升空间利用率。动态特性匹配方面,机械固有频率与控制带宽的协同设计可避免共振现象,而阻尼材料的合理应用能加速振动衰减,提升系统响应速度。多物理场耦合分析技术为结构优化提供理论支撑,通过热-力-电耦合仿真预测复杂工况下的变形量,指导设计参数的迭代修正。

#### 4.2 控制算法与机械动作的适配优化

前馈-反馈复合控制算法结合机械系统的动力学模型,轨迹跟踪误差控制在0.1微米级。模型预测控制(MPC)在多轴联动场景中展现优势,预测步长设为10个采样点。自适应鲁棒控制算法针对参数不确定性设计,参数变化范围达 $\pm 10\%$ 以内。滑模控制通过切换函数增强系统抗干扰能力,切换频率达10千赫兹。机械动作的柔顺化需结合力反馈控制,阻抗控制刚度系数为100牛/毫米。控制周期与机械响应时间的匹配优化可避免指令延迟,控制周期设为1毫秒级。

#### 4.3 核心部件的技术升级方向

高精度伺服驱动系统向直驱化发展,消除中间传动环节的背隙与弹性变形,结合高分辨率编码器实现纳米级定位精度。智能传感器集成自诊断与自校正功能,通过内置算法补偿环境温度与供电电压波动对测量精度的影响。功率电子器件采用宽禁带半导体材料,提升开关频率与能效比,通过三维集成技术缩小封装体积。机械传动部件向无间隙化演进,谐波减速器与滚珠丝杠的预紧力优化设计可消除传动滞后,而磁悬浮轴承的应用则彻底消除机械摩擦。执行机构的多自由度化趋势明显,并联机构与柔性铰链的结合拓展了末端操作器的运动范围。

#### 4.4 系统集成的标准化优化

接口协议的统一化是系统集成的关键,通过定义机械尺寸、电气信号与通信协议的标准化规范,实现不同厂商设备的互换性。功能安全标准(如ISO13849)的贯彻要求集成安全监控模块,对急停、限位等保护功能进行冗余设计<sup>[5]</sup>。能源管理标准化通过制定功率接口规范与能效等级标准,促进节能技术的推广应用。模块化设计思想贯穿硬件与软件层面,机械模块采用快速连接结构,电子模块支持热插拔功能,而软件架构则基于服务导向架构(SOA)实现功能单元的动态重组。集成测试平台的自动化建设可缩短调试周期,通过硬件在环(HIL)仿真验证系统级性能。

#### 结束语

机电一体化技术在机械工程中的应用已取得显著成效,从核心构成到关键技术,再到多样化应用方向,均展现出强大生命力。通过不断优化机电融合结构、适配控制算法、升级核心部件以及推进系统集成标准化,可进一步提升机电一体化系统性能。在机械工程实践中,应充分重视并合理运用机电一体化技术,充分发挥其优势,解决实际问题,推动机械工程行业持续进步,为各领域发展提供坚实机械装备支撑。

#### 参考文献

- [1]袁永俊.机电一体化技术在机械工程中的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(1):3-5.
- [2]李小强.机电一体化技术在机械工程中的应用分析[J].电气技术与经济,2023(6):274-275,281.
- [3]马瑞.机电一体化技术在机械工程中的应用分析[J].电子元器件与信息技术,2022,6(8):269-272,276.
- [4]王超.机电一体化技术在机械工程中的应用[J].科学与信息化,2023(11):148-150.
- [5]王光春.机电一体化技术在机械工程中的应用[J].中国高新科技,2023(7):65-68.