

电子控制在机械传动系统中的应用研究

王 露

华新控股（河南）有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：本文围绕电子控制在机械传动系统中的应用展开研究，阐述机械传动系统基础及变频调速、伺服、PLC、智能控制等核心电子控制技术的原理，分析各类技术在不同场景的具体应用，剖析应用中存在的控制精度不足、稳定性差等问题及成因，提出算法优化、匹配改进等针对性策略。研究表明，电子控制技术可有效弥补传统机械传动短板，提升系统精度与效率，为相关领域应用与优化提供理论参考和实践指导。

关键词：电子控制技术；机械传动系统；应用

引言：随着工业自动化水平不断提升，传统机械传动系统在精度、效率、能耗等方面的短板日益凸显，难以满足高精度、高效化、智能化的生产需求。电子控制技术与机械传动系统的深度融合，成为突破行业瓶颈的关键路径。本文立足二者融合现状，系统研究电子控制技术的应用场景、现存问题及优化方案，旨在推动机械传动系统提质增效，助力工业生产向智能化、绿色化方向高质量发展。

1 电子控制技术与机械传动系统基础理论

1.1 机械传动系统基础

（1）机械传动系统由动力源、传动机构、执行机构组成：动力源提供动力输出，是系统运行的核心；传动机构（齿轮、链条、丝杠等）实现动力传递与速度调节，保障动力精准输送；执行机构将动力转化为实际动作，完成具体作业任务。（2）核心性能指标包括传动精度、效率、稳定性、能耗等；传统系统存在精度不足、能耗较高、稳定性受环境影响大等短板，难以满足高精度、高效运行需求。（3）常见传动方式各有特性：齿轮传动精度高、效率高，适用于重载高速场景；带传动平稳但精度低，适合轻载低速；链传动传动比准确，适用于远距离传输；螺旋传动可实现精准进给，多用于精密设备。

1.2 电子控制技术核心类型及原理

（1）变频调速控制通过整流器、逆变器、控制器协同工作，将工频交流电转化为可调频率的电，通过调节频率改变电机转速，实现传动速度精准控制。（2）伺服控制由伺服电机、驱动器、编码器组成，可通过位置、速度、转矩三种控制方式，实现机械部件的精准定位与调速，响应速度快。（3）PLC控制遵循“输入采样-程序执行-输出刷新”流程，编程灵活，可实现机械传动的逻辑与顺序控制，且能与其他控制技术协同，提升系

统可靠性。（4）智能控制技术（模糊控制、神经网络等）可自适应复杂工况，无需精确数学模型，适配复杂机械传动系统的动态调控需求^[1]。

2 电子控制在机械传动系统中的具体应用

2.1 变频调速技术的应用

（1）在通用机械传动中的应用：主要用于风机、水泵等通用设备的调速节能控制，核心实现路径是通过调节电源频率改变电机转速，匹配设备实际负载需求，避免额定转速运行造成的能耗浪费。例如，工业水泵采用变频调速后，可根据管网压力自动调节转速，低负载时降低转速，能耗较传统定速控制降低30%以上；部分大型风机通过变频调速的再生能量利用技术，将风机减速时产生的电能反馈至电网，实现能源回收再利用，进一步提升节能效果。（2）在高精度机械传动中的应用：广泛应用于数控机床、精密加工设备的转速调节，通过精准控制电机频率，实现转速的无级平滑调节，配合位置反馈装置，有效提升传动精度和加工质量。具体措施包括采用矢量控制模式，减少转速波动；优化变频参数，降低启动和制动时的冲击，避免加工件出现误差，满足精密零件的加工要求^[2]。（3）在重载机械传动中的应用：针对起重机、矿山机械等重载设备，变频调速技术可实现平稳启动和柔性制动，通过逐步提升频率，避免重载启动时的电流冲击和机械冲击，保护传动机构和电机；制动时采用能耗制动或回馈制动，快速减速的同时防止溜车，显著提升设备运行稳定性和安全性，降低机械部件的磨损。

2.2 伺服控制技术的应用

（1）在工业机器人传动中的应用：核心用于机器人关节传动的精准定位和速度控制，通过伺服电机、驱动器与编码器的协同工作，实现关节的灵活转动和精准位移。例如，工业机器人焊接关节采用自解耦控制技术，

结合伺服控制的位置闭环调节,可有效消除关节间的耦合干扰,确保焊接轨迹精准,提升焊接质量和效率。

(2) 在自动化生产线中的应用: 主要实现传送带、机械手的同步传动控制,通过伺服系统的速度同步功能,保障各传动单元协调运行,避免物料卡顿或错位,提升生产流程的连贯性和高效性。如新能源汽车装配线中,机械手的抓取、搬运和装配动作,均通过伺服定位控制实现精准对接,大幅提升装配效率和合格率。(3) 在精密仪器传动中的应用: 适用于医疗设备、检测仪器等对精度和噪声要求极高的场景,通过伺服系统的微量传动控制,实现设备部件的精准位移,如医疗手术机器人的末端执行器,可在伺服控制下完成毫米级甚至微米级的精准操作,同时降低运行噪声,满足精密仪器的使用需求^[3]。

2.3 PLC控制技术的应用

(1) 机械传动系统的逻辑控制: 承担设备启动、停止、急停、正反转等基础动作的精准控制,通过编制逻辑程序,优化操作流程,避免误操作导致的设备故障。例如,机床传动系统中,PLC可根据操作指令,依次控制电机启动、传动机构联动,实现自动化运行,同时设置急停连锁,保障操作安全。(2) 多传动单元的协同控制: 在钢铁连铸、港口起重机等复杂场景中,PLC通过通讯模块连接多个传动单元,实现多电机、多机构的同步协调运行,如港口起重机的起升、变幅、行走机构,通过PLC控制实现动作协同,提升作业效率和安全性;钢铁连铸生产线中,PLC控制各传动辊同步运转,确保钢坯平稳输送^[4]。(3) 故障诊断与报警控制: 实时采集传动系统的电流、电压、转速等运行参数,通过PLC内置的诊断程序,及时识别电机过载、传动部件故障等异常情况,快速发出报警信号并切断相关动作,避免故障扩大,降低非计划停机损失,同时便于工作人员快速定位故障点,提升维修效率。

2.4 智能控制技术的应用

(1) 基于模糊控制的传动系统优化: 针对机械传动中存在的非线性、不确定性因素(如负载波动、机械磨损),模糊控制技术可无需建立精确数学模型,通过模糊规则自适应调节控制参数,有效抑制干扰,提升系统的抗干扰能力和稳定性,适用于复杂工况下的传动控制。(2) 数字孪生在传动系统中的应用: 构建机械传动与电子控制融合的数字孪生模型,实时映射物理系统的运行状态,通过仿真分析优化控制参数,提前预判潜在故障,实现预测性维护。例如,大型风机传动系统的数字孪生模型,可模拟不同工况下的运行状态,优化变频和

伺服控制参数,降低故障发生率,延长设备使用寿命。

3 电子控制技术在机械传动系统应用中的问题及成因分析

3.1 应用过程中存在的核心问题

(1) 控制精度不足问题: 实际应用中传动误差超出允许范围,无法满足高精度设备运行需求,尤其在半导体封装、精密加工等对位移、转速精度要求极高的场景中,误差会直接影响产品质量,导致成品合格率下降。

(2) 系统稳定性较差问题: 长期运行中易出现多种异常现象,控制信号受干扰导致指令传输偏差,设备振动加剧,控制响应滞后,严重时会造成传动卡顿、停机,影响整个生产流程的连续性。(3) 能耗控制效果不佳问题: 部分应用场景中,电子控制技术的节能优势未充分发挥,因参数设置不合理、控制模式适配性差等,导致电机空转、负载与转速不匹配,存在明显的能源浪费。

(4) 维护成本偏高问题: 电子控制部件结构精密,故障率相对较高,且维修技术难度大;同时部分核心控制部件依赖进口,采购价格高、供货周期长,大幅增加了系统的维护成本和停机损失。

3.2 问题产生的技术成因

(1) 控制算法适配性不足: 现有控制算法多为通用型,未充分结合机械传动系统的负载波动、运行工况差异等实际情况,无法动态调整控制参数,导致控制精度和系统稳定性达不到预期。(2) 电子控制与机械传动匹配度不够: 设计阶段缺乏统筹规划,未充分考虑二者参数匹配,如电机功率、传动比与控制器采样频率、调节范围不匹配,导致二者协同运行效率低,易出现故障。(3) 抗干扰设计不完善: 工业复杂环境中存在大量电磁干扰、电源波动等因素,而系统未做好屏蔽、滤波等抗干扰设计,导致控制信号传输受影响,引发系统运行异常。

3.3 问题产生的客观成因

(1) 设备选型不合理: 未结合机械传动系统的实际负载、精度要求等选择适配的电子控制部件,如错选SiC功率器件与传统器件,导致部件性能无法发挥,甚至引发系统故障。(2) 维护技术水平不足: 相关工作人员缺乏电子控制技术与机械传动系统融合的维护知识,专业技能不足,面对故障无法快速定位、高效处理,导致故障扩大,增加维护成本。(3) 成本投入限制: 部分企业为控制初期投入,优先选用低成本、低性能的电子控制部件,忽视了部件的稳定性和适配性,虽降低了前期成本,但后续故障频发,反而增加了整体投入。

4 电子控制技术在机械传动系统中应用的优化策略

4.1 控制算法的优化与改进

(1) 自适应控制算法的应用: 引入自适应控制算法, 实时采集机械传动系统的负载变化、转速波动等运行工况数据, 自动调整控制参数, 动态适配工况变化, 有效提升系统控制精度和运行稳定性, 解决不同工况下控制参数不匹配的问题。(2) 复合控制算法的融合: 结合变频调速、伺服控制与智能控制算法的优势, 实现多算法协同优化。例如, 将模糊控制与伺服控制融合, 兼顾精准定位与抗干扰能力; 将变频控制与自适应算法结合, 实现调速节能与稳定性的双重提升, 满足不同场景的传动需求。(3) 算法参数的精准调试: 通过仿真实验模拟不同运行工况, 对控制算法的核心参数进行反复调试优化, 消除参数偏差导致的传动误差, 提升系统响应速度, 确保算法运行与机械传动系统的实际需求高度契合。

4.2 电子控制与机械传动的匹配优化

(1) 基于系统动力学模型的设计优化: 建立融合机械传动与电子控制的系统动力学模型, 通过仿真分析优化传动比、电机功率、控制器采样频率等核心参数, 实现二者的精准匹配, 提升系统整体运行效率。(2) 部件选型的精准匹配: 结合机械传动系统的负载大小、精度要求、能耗目标, 科学选择适配的电子控制部件, 避免选型偏差。在平衡性能与成本的前提下, 优先选用适配性强、稳定性高的部件, 如根据负载需求选择合适功率的伺服电机和控制器^[5]。(3) 运行状态的实时调整: 通过各类传感器实时采集转速、转矩、电流等运行参数, 及时反馈至控制系统, 动态调整控制策略, 修正参数偏差, 确保电子控制与机械传动始终处于最佳匹配状态。

4.3 抗干扰能力与系统稳定性优化

(1) 硬件抗干扰设计: 优化电子控制部件的布局, 将信号线路与动力线路分开布置; 采用屏蔽外壳、滤波电容等器件, 减少电磁干扰对控制信号的影响, 提升信号传输的稳定性。(2) 软件抗干扰优化: 通过程序设计增加信号滤波、故障冗余处理功能, 对采集的信号进行去噪处理, 避免干扰信号导致的控制指令偏差; 设置故障备用方案, 提升系统的抗干扰能力和容错性, 减少故障停机。(3) 系统散热与防护优化: 针对工业环境

高温、多尘、潮湿等特点, 优化电子控制部件的散热设计, 增设散热风扇或散热片; 提升部件防护等级, 防止灰尘、水汽侵入, 延长电子控制部件的使用寿命, 保障系统长期稳定运行。

4.4 维护体系的完善与成本控制

(1) 建立智能化维护体系: 结合物联网、大数据技术, 对电子控制部件的运行状态进行实时监测, 通过数据分析预判潜在故障, 实现预测性维护, 提前排查隐患, 降低部件故障率和非计划停机损失。(2) 提升维护人员技术水平: 定期开展专业培训, 重点提升工作人员对电子控制技术与机械传动系统融合的维护能力, 使其熟练掌握部件检修、故障排查技巧, 提高故障处理效率。(3) 推进核心部件国产化: 加大国产电子控制核心部件的研发与应用力度, 筛选性能稳定、性价比高的国产部件替代进口产品, 降低对进口部件的依赖, 有效控制采购和维护成本, 提升系统应用的经济性。

结束语

综上所述, 电子控制技术在机械传动系统中的应用具有重要现实意义, 其通过多种控制技术的协同作用, 有效解决了传统传动系统的诸多痛点, 显著提升了系统的精准性、稳定性和经济性。尽管当前应用中仍存在匹配度不足、维护成本偏高等问题, 但通过科学的优化策略可逐步完善。未来需持续推动技术融合与创新, 拓展应用场景, 助力机械传动领域实现更高质量的发展。

参考文献

- [1]刘治强.先进机械技术在汽车制造过程中的应用与优化[J].汽车维修技师.2024,(10):106-109.
- [2]傅宝根.基于机械自动化技术的汽车节能减排策略研究[J].汽车维修技师.2024,(10):83-85.
- [3]丛森森,杨静,姚宝珍.自动化技术在农业机械设计制造中的运用[J].中国农机装备.2023,(6):187-189.
- [4]吕烁.机电一体化技术在汽车制动系统中的应用[J].山东工业技术.2021,7(3):214-220.
- [5]梁锋,林振琨,邹存伟,等.汽车电子控制系统在机电集成中的应用与优化[J].专用汽车.2025,(8):133-136.