

机械电气自动化控制技术研究

涂 琨 纪甫文

浙江天新智能研究院有限公司 浙江 杭州 310013

摘要: 机械电气自动化控制技术融合多学科知识,在工业生产、交通运输等领域得到广泛应用。本文首先阐述其基础理论,包含定义内涵、控制理论应用以及系统组成。接着深入剖析关键技术,如传感器、控制算法等。随后探讨该技术在工业、农业等领域的应用情况,最后分析智能化、网络化等发展趋势。此技术可有效提高生产效率、保障产品质量,推动各行业转型升级,对现代社会发展意义深远。

关键词: 机械电气自动化;控制技术;应用领域;发展趋势

引言:在科技飞速发展的当下,机械电气自动化控制技术成为推动各行业变革的关键力量。它打破传统机械电气控制局限,以自主调节与优化能力,实现生产过程智能化。从工业生产线到交通运输系统,从能源环境领域到农业建筑场景,其身影无处不在。深入研究该技术,有助于把握发展趋势,为各行业创新发展提供有力支撑,促进社会整体进步。

1 机械电气自动化控制技术基础理论

1.1 机械电气自动化控制技术的定义与内涵

机械电气自动化控制技术作为机械工程、电气工程与控制科学深度融合的交叉学科领域,通过电子器件、计算机算法与机械装置的协同作用,达成生产过程或设备运行的自主调节与优化。与传统机械电气控制技术相比,自动化控制实现了质的飞跃^[1]。传统控制依赖人工干预与固定程序,如早期继电器控制系统通过硬接线实现逻辑控制,设备状态监测依赖人工巡检。而现代自动化系统借助软件编程灵活调整控制策略,利用传感器网络实时采集数据并预警异常,极大提升了系统可靠性与运行效率,将传统机械系统的被动操作转变为智能系统的主动适应。

1.2 控制理论在机械电气自动化中的应用

经典控制理论聚焦单输入单输出系统,PID控制作为典型代表,通过比例、积分与微分环节线性组合,在电机调速、温度控制等场景消除稳态误差、优化动态响应。现代控制理论拓展至多变量系统分析,状态空间方法构建系统状态方程,揭示内部动态特性,为复杂系统设计奠定数学基础;最优控制理论基于性能指标优化,在航天器姿态调整、机器人轨迹规划中权衡能量消耗与时间成本。智能控制理论突破传统数学模型依赖,模糊控制将专家经验转化为模糊规则库,适用于非线性与时变系统;神经网络控制模拟人脑神经元连接机制,在故障诊

断、图像识别领域展现强大非线性映射能力。

1.3 机械电气自动化控制系统的组成与结构

机械电气自动化控制系统由多个关键部分协同构成。控制器作为系统核心,涵盖可编程逻辑控制器(PLC)、分布式控制系统(DCS)等类型。PLC以灵活编程、高可靠性著称,适用于中小规模自动化控制场景;DCS则具备强大分散控制与集中管理功能,常用于大型工业生产过程控制。执行器是控制指令的直接执行者,电机通过电能转换实现机械运动,气缸利用压缩空气推动负载运动,二者在自动化生产线、机器人等领域广泛应用。传感器负责感知系统运行状态与环境信息,温度传感器、压力传感器、位移传感器等分别监测相应物理量,为控制器提供准确决策依据。人机界面实现操作人员与系统交互,通信网络保障系统各部分信息高效传输,确保控制系统协调运行。

2 机械电气自动化控制的关键技术

2.1 传感器技术

传感器作为机械电气自动化系统的感知器官,其类型多样且工作原理各异。电阻式传感器通过电阻值变化反映被测物理量,电容式传感器则利用电容变化实现测量,电感式传感器借助电磁感应原理工作,光电式传感器依靠光信号转换获取信息^[2]。在机械电气自动化领域,传感器应用广泛。在工业生产线上,位置传感器精准定位零部件位置,确保装配准确无误;温度传感器实时监测设备温度,防止过热损坏;压力传感器在液压系统中发挥关键作用,保障系统压力稳定。随着技术发展,传感器朝着智能化、集成化方向迈进。智能传感器具备数据处理与自诊断能力,可减少数据传输量并提高系统可靠性。集成化传感器将多种功能集成于一体,减小体积、降低成本,满足复杂系统需求。

2.2 控制算法与策略

传统控制算法中，PID控制凭借结构简单、易于实现等优点，在机械电气自动化中广泛应用，通过比例、积分、微分环节调节系统输出。模糊控制模仿人类思维，处理不确定性与非线性问题，增强系统鲁棒性。先进控制策略方面，自适应控制根据系统运行状态自动调整参数，适应环境变化。预测控制基于模型预测未来输出，优化当前控制动作，提高系统动态性能。智能控制算法领域，神经网络模拟人脑神经元结构，具备强大学习与自适应能力，可处理复杂非线性问题。遗传算法借鉴生物进化原理，通过选择、交叉、变异等操作寻找最优解，为系统优化提供新途径。

2.3 驱动与执行技术

电机驱动技术涵盖直流电机、交流电机、步进电机等。直流电机调速性能好，交流电机结构简单、维护方便，步进电机可实现精确角度控制。气动与液压驱动技术以压缩空气或液压油为动力，具有输出力大、响应速度快等优点，在重型机械与自动化设备中广泛应用。为提升系统性能，需优化执行器精度与响应速度。通过改进机械结构、采用高精度传感器与先进控制算法，可提高执行器定位精度。优化驱动电路设计、选用高性能材料，能加快执行器响应速度，满足高速自动化生产需求。

2.4 通信与网络技术

现场总线技术如Profibus、CAN总线，实现现场设备间数字通信，减少布线成本，提高系统可靠性与灵活性。工业以太网技术凭借高速率、大容量优势，成为工业通信主流，支持实时数据传输与远程监控。无线通信技术中，Wi-Fi提供高速无线连接，ZigBee适用于低功耗、短距离通信场景。合理网络架构与标准数据传输协议确保信息准确、高效传输，实现设备互联互通与系统协同工作，推动机械电气自动化向智能化、网络化发展。

3 机械电气自动化控制技术的应用领域

3.1 工业生产领域

在工业生产场景中，机械电气自动化控制技术已成为提升生产效率与产品质量的核心驱动力。生产线自动化控制通过PLC或DCS系统实现设备联动与工艺参数精准调节，例如在汽车装配线上，自动化搬运机器人与拧紧设备协同作业，将装配周期缩短至分钟级^[3]。机器人技术进一步拓展了自动化边界，工业机器人凭借多关节灵活性与高重复定位精度，承担焊接、喷涂、分拣等高危或精密任务，协作机器人则通过力觉传感器与安全算法实现人机共融作业。智能制造与工业4.0的推进使自动化控制向数字化、网络化方向演进，数字孪生技术通过构建虚拟产线模型，支持生产过程实时优化与故障预测；工

业互联网平台则整合设备数据与供应链信息，实现从订单下达到产品交付的全流程智能化管理。

3.2 交通运输领域

交通运输系统的自动化升级显著提升了运行安全性与通行效率。轨道交通自动化控制涵盖信号系统、牵引供电与车辆调度等多个环节，基于通信的列车控制（CBTC）系统通过无线通信实现车地双向数据传输，将列车追踪间隔缩短至百米级；智能运维平台则利用振动传感器与图像识别技术监测轨道状态，提前发现钢轨裂纹或接触网磨损等隐患。智能交通系统通过路侧单元与车载终端的协同，实现交通信号动态优化与拥堵预警，车路协同技术进一步扩展了车辆感知范围，为自动驾驶提供环境信息支撑。新能源汽车与自动驾驶技术的融合推动了动力系统与控制架构革新，电池管理系统（BMS）通过均衡控制算法延长电池使用寿命，线控底盘技术则以电信号替代机械连接，为高阶自动驾驶提供精准执行保障。

3.3 能源与环境领域

能源系统的自动化控制是构建新型电力系统的关键。智能电网通过广域测量系统（WAMS）与相量测量单元（PMU）实现电网状态实时感知，自适应保护装置可根据故障类型快速调整动作策略，提升供电可靠性；需求响应技术则通过用户侧设备自动化控制，引导电力负荷向可再生能源发电高峰时段转移。环保设备自动化控制覆盖污水处理、废气净化等场景，曝气风机通过变频调速技术根据溶解氧浓度动态调整供气量，脱硝系统则利用喷氨量闭环控制降低氮氧化物排放。可再生能源发电控制需应对间歇性与波动性挑战，风力发电变桨系统通过PID算法调节桨叶角度，实现最大风能捕获；光伏逆变器采用最大功率点跟踪（MPPT）技术，确保不同光照条件下发电效率最优。

3.4 农业与建筑领域

农业机械化与自动化正在重塑传统生产模式，变量施肥机通过土壤养分传感器与GPS定位系统，实现肥料施用量按需调节；植保无人机搭载多光谱相机与智能喷洒系统，可根据作物长势差异精准施药。智能建筑通过楼宇自动化系统（BAS）集成空调、照明与安防等子系统，温湿度传感器与CO₂浓度监测装置驱动环境控制设备动态运行，既提升舒适性又降低能耗。水利工程自动化控制涵盖大坝监测、泵站调度与灌溉管理，渗流压力传感器与位移监测仪构成大坝安全预警网络，SCADA系统则根据水位变化自动启停水泵，保障区域水资源合理分配。

4 机械电气自动化控制技术的发展趋势

4.1 智能化发展趋势

人工智能技术正深度融入机械电气自动化控制领域,推动系统从被动响应向主动感知与决策演进。深度学习算法通过分析历史运行数据构建动态模型,使控制器具备环境自适应能力,例如在复杂工况下自动调整PID参数以优化控制效果。自主决策系统结合强化学习与知识图谱技术,可在无人干预条件下完成任务规划与路径优化,工业机器人通过多模态感知与决策融合,实现非结构化环境下的自主作业^[4]。智能故障诊断突破传统阈值报警模式,基于振动、温度等多源数据融合分析,可提前数小时预测设备劣化趋势;数字孪生技术进一步扩展了预测维护边界,通过虚拟模型与物理实体的实时映射,实现故障根源定位与维修方案智能生成。

4.2 网络化发展趋势

物联网技术构建了覆盖设备、边缘与云端的三层控制架构,RFID标签与嵌入式传感器实现设备全生命周期数据采集,5G网络以低时延特性支持远程操控与实时反馈。云控制平台整合计算资源与算法库,用户通过Web界面即可完成工艺参数优化与系统升级,例如分布式光伏电站借助云端算法实现发电效率动态调优。跨系统数据交互依赖标准化通信协议,OPC UA通过统一信息模型打破设备间数据孤岛,MQTT协议则以轻量化优势支撑大规模物联网设备接入。协同控制技术通过多智能体系统(MAS)理论,实现多设备间的任务分配与冲突消解,智能仓储系统中AGV与机械臂的协同搬运即基于此原理。

4.3 集成化发展趋势

控制系统模块化设计通过功能解耦提升可维护性,IEC 61131-3标准定义的编程语言与软件组件,使不同厂商设备实现互操作;标准化接口如PROFINET IRT支持确定性通信,保障运动控制与安全功能的同步运行。机电液一体化技术融合机械刚度、电气精度与液压功率优势,电液伺服系统通过高速开关阀与智能算法结合,将响应

时间缩短至毫秒级。系统集成优化采用多学科设计优化(MDO)方法,在概念设计阶段即考虑控制、结构与热力学耦合效应,例如航空发动机控制系统通过气动-控制协同设计,实现推力与燃油效率的双重提升。

4.4 绿色化发展趋势

节能控制技术从单一设备优化向系统能效管理升级,变频调速技术通过动态调整电机转速降低能耗,磁悬浮轴承以无接触运行消除机械摩擦损耗。低碳制造要求控制算法兼顾效率与排放,钢铁行业烧结工序通过模型预测控制(MPC)优化燃料配比,在保证产品质量前提下减少CO₂排放。资源循环利用自动化依托智能分选与机器人技术,废旧电子元件拆解线通过视觉识别与力控技术,实现贵金属提取率与材料回收率同步提升;污水处理系统采用模糊控制调节曝气量,在降低能耗同时提高氮磷去除效率。

结束语

机械电气自动化控制技术历经多年发展,已在众多领域取得显著成果。智能化、网络化、集成化与绿色化发展趋势,为其注入新的活力。随着技术持续创新,该技术将不断突破现有局限,在提升生产效率、保障运行安全、促进节能减排等方面发挥更大作用,推动各行业向更高水平迈进,为经济社会发展贡献重要力量。

参考文献

- [1]吴海洋,罗忠省.机械电气自动化控制技术研究[J].造纸装备及材料,2025,54(11):94-96.
- [2]顾佳茗.PLC自动化技术在农业机械电气控制中的应用[J].河北农机,2023(17):28-30.
- [3]田学友.PLC技术在机械电气自动化控制中的应用[J].模型世界,2023(8):77-79.
- [4]杨正洪.电气自动化技术在农业机械控制中的应用[J].中国农机装备,2025(5):44-46.