

浅谈过程装备与控制工程中机械电子工程的应用

赵志远

内蒙古正信安康技术服务有限公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：机械电子工程融合机械、电子、计算机等多学科技术，为过程装备与控制工程注入创新活力。在实际应用中，智能传感器实现精准数据采集，伺服驱动与传动提升设备运行精度，自动控制系统保障流程稳定，故障诊断技术增强设备可靠性。然而，多学科融合难题、技术迭代挑战及高安全要求并存。通过协同创新、动态更新与强化设计等策略，可推动二者深度融合，助力过程装备与控制工程领域实现高效、智能发展。

关键词：过程装备与控制工程；机械电子工程；应用

引言

随着工业自动化与智能化进程加速，过程装备与控制工程领域对技术革新需求愈发迫切。机械电子工程凭借跨学科优势，成为提升装备性能与控制水平的关键。从智能传感、伺服驱动到自动控制与故障诊断，其多元技术在过程装备中的应用不断拓展。技术融合复杂性、快速迭代特性及严苛安全标准带来诸多挑战。本文深入探讨机械电子工程在过程装备与控制工程中的应用实践、面临的问题及应对策略，为行业发展提供参考。

1 过程装备与控制工程及机械电子工程概述

1.1 过程装备与控制工程

过程装备与控制工程是一门融合机械工程、化学工程、控制工程等多学科知识的综合性专业领域。该专业聚焦于各类工业生产过程中关键装备的设计、开发与运行优化，核心在于实现物质转化与能量传递过程的高效、安全、稳定运行。其研究对象涵盖反应釜、换热器、分离塔器等复杂装备，不仅要求对装备的机械结构进行强度设计、材料选择与制造工艺优化，还需运用自动化控制技术实现装备运行参数的精准调控。在现代工业生产中，通过将先进的传感器技术、智能控制系统与装备本体相结合，过程装备能够实时感知运行状态，依据预设工艺要求自动调节流量、温度、压力等参数，有效提升生产效率并降低能耗。随着新材料、新工艺的不断涌现，过程装备与控制工程领域持续向高参数化、智能化、绿色化方向发展，在石油化工、能源电力、食品医药等行业发挥着不可替代的支撑作用，成为推动工业技术进步与产业升级的重要力量。

1.2 机械电子工程

机械电子工程作为机械工程与电子信息技术深度融合的交叉学科，打破传统机械设计制造的边界，构建起集机械系统、电子控制、计算机技术、传感器技术于一

体的新型技术体系。该领域以机械本体为载体，通过嵌入精密电子元件与控制系统，赋予机械产品感知、决策与执行的智能化特性。在机械传动系统设计中，融合伺服电机驱动、高精度减速器与编码器反馈，实现运动控制的高响应性与定位精度；借助微机电系统（MEMS）传感器实时采集机械结构应力、振动、温度等数据，经信号处理与算法分析，为故障诊断与性能优化提供依据。机械电子工程广泛应用于工业机器人、数控机床、智能车辆等高端装备领域，例如工业机器人通过多轴联动控制与视觉识别系统的协同，能够在复杂工况下完成精密装配与焊接作业；数控机床依托数字控制系统实现加工参数的自动优化，显著提升加工精度与表面质量。随着人工智能、物联网技术的发展，机械电子工程正朝着集成化、网络化、自主化方向迈进，不断拓展传统机械工程的应用边界与技术内涵。

2 机械电子工程在过程装备与控制工程中的具体应用

2.1 智能传感器技术的应用

（1）智能传感器技术通过集成微电子机械系统（MEMS）与信号处理模块，实现对过程装备运行参数的高精度感知与实时数据采集。在高温高压的化工反应釜监测中，基于压阻效应的压力传感器与热电偶温度传感器协同工作，能够将压力、温度等物理量转化为电信号，并通过内置的模数转换芯片进行数字化处理，有效避免模拟信号传输中的衰减与干扰问题。（2）多参数融合的智能传感器系统显著提升过程装备的监测能力。以石油炼化装置为例，将流量传感器、振动传感器和气体浓度传感器的数据进行融合分析，借助机器学习算法构建运行状态模型，可准确识别设备内部的流体分布、机械磨损及泄漏隐患，为装备的稳定运行提供数据支撑。（3）具备自校准与故障诊断功能的智能传感器进一步增强系统可靠性。通过内置的参考传感器和自适应算法，

可自动补偿因环境温湿度变化导致的测量误差,当传感器出现性能下降或故障时,能及时触发预警机制,并将故障信息反馈至控制系统,为维修决策提供依据。

2.2 伺服驱动与传动技术的应用

(1) 伺服驱动系统基于矢量控制理论,通过精确调节电机的转矩、转速和位置,实现过程装备执行机构的精准运动控制。在制药行业的压片机中,交流伺服电机与滚珠丝杠副构成的传动系统,能够以微米级精度控制冲模的下压行程与压力,确保药片的重量和硬度符合工艺要求,提升产品质量一致性。(2) 直驱技术的应用有效简化传动链结构,降低机械损耗。在高速旋转的离心分离设备中,采用永磁同步直驱电机直接驱动转鼓,消除了传统皮带、齿轮传动带来的间隙与能量损失,使设备能够快速达到设定转速,并保持稳定运行,显著提高分离效率和能源利用率。(3) 伺服系统的动态响应特性满足复杂工况下的控制需求。在冶金连铸设备中,伺服液压缸根据实时的拉坯速度和结晶器液位数据,快速调整支撑辊的压力与位置,有效抑制铸坯的鼓肚变形,确保连铸生产过程的连续性和铸坯质量^[1]。

2.3 自动控制系统的应用

(1) 基于模型预测控制(MPC)的自动控制系统通过建立过程装备的动态数学模型,对未来一段时间内的运行状态进行预测,并据此优化控制策略。在大型锅炉燃烧控制中,MPC算法根据燃料成分、负荷需求和烟气排放数据,动态调整燃料量、风量和给水量,实现高效燃烧与污染物排放的协同控制。(2) 分布式控制系统(DCS)将过程装备的控制功能分散到多个控制器中,通过高速通信网络实现数据共享与协同工作。在石油化工联合装置中,DCS系统可对裂解炉、精馏塔、压缩机等设备进行集中监控与分散控制,有效提升系统的可靠性和可扩展性,便于操作人员对复杂工艺流程进行统一管理。(3) 先进的自动控制系统结合人工智能技术,实现智能化决策与自适应控制。在食品加工生产线中,基于深度学习的视觉检测系统实时分析产品的外观、尺寸和缺陷信息,自动调整包装机械的运行参数,确保产品质量符合标准,同时降低人工检测成本和劳动强度。

2.4 故障诊断与维护技术的应用

(1) 基于振动分析的故障诊断技术通过采集设备运行时的振动信号,利用频谱分析、小波变换等方法提取特征参数,实现对机械故障的早期识别。在大型旋转机械如风机、泵类设备中,通过监测振动信号的频率成分和幅值变化,可判断轴承磨损、转子不平衡、齿轮故障等问题,提前制定维修计划,避免突发停机事故。

(2) 油液分析技术结合光谱、铁谱和颗粒计数等检测手段,对设备润滑系统的油液进行多维度分析。在液压系统中,通过检测油液中的金属磨粒成分、污染物含量和理化性能指标,能够准确判断液压元件的磨损程度和系统污染状况,及时采取换油、过滤等维护措施,延长设备使用寿命。(3) 基于大数据的故障预测与健康管理体系(PHM)系统整合设备全生命周期数据,运用机器学习算法构建故障预测模型。在电力行业的发电机组中,PHM系统通过分析历史运行数据、维护记录和实时监测数据,预测关键部件的剩余使用寿命,优化维护策略,实现从定期维护向基于状态的预防性维护转变,降低维护成本和设备故障率^[2]。

3 机械电子工程在过程装备与控制工程应用中面临的挑战与解决策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 多学科融合的复杂性

机械电子工程应用于过程装备与控制工程时,多学科融合的复杂性成为显著难题。过程装备的设计制造需机械原理保障结构强度与运动性能,电子技术实现信号采集处理与智能控制,计算机科学构建数据传输与算法模型,而控制工程则赋予系统精准调控能力。这些学科不仅理论体系独立,其技术标准、开发流程与实践方法亦存在差异。例如在智能化工装备中,机械结构的动态特性与电子控制系统的响应速度相互影响,若未在设计阶段充分考虑机电耦合效应,易导致系统共振、控制滞后等问题。不同学科的知识体系缺乏统一接口,使得跨学科设计团队在沟通时存在信息损耗,难以实现协同优化,极大增加了装备研发的技术难度与时间成本。

3.1.2 技术更新换代快带来的适应性问题

随着科技飞速发展,机械电子工程领域技术迭代周期显著缩短,这给过程装备与控制工程带来严峻的适应性挑战。新型传感器的高精度检测技术、高性能微处理器的快速运算能力,以及先进控制算法的优化策略不断涌现,而既有过程装备往往难以快速适配。例如,传统工业控制系统采用的硬件架构与软件协议在面对物联网、边缘计算等新兴技术时,存在通信接口不兼容、数据处理能力不足等问题。即便对装备进行升级改造,也常因机械结构与电子系统的高度集成化,导致局部技术更新可能引发整体性能波动,使得企业在技术升级过程中需投入大量资源进行系统调试与验证,制约了新技术在过程装备中的快速应用与推广^[3]。

3.1.3 可靠性与安全性要求高

过程装备与控制工程多应用于化工、能源等关键领

域,运行环境复杂多变,对机械电子系统的可靠性与安全性提出严苛要求。高温、高压、强腐蚀等恶劣工况下,机械部件易出现疲劳磨损、材料性能衰退,电子元件则面临电磁干扰、信号失真风险。一旦系统出现故障,不仅会造成生产中断、经济损失,甚至可能引发火灾、爆炸等灾难性事故。例如在石油化工装置中,自动化控制系统的传感器失效可能导致工艺参数误判,进而引发连锁反应。机械传动部件的意外卡死也会破坏系统的正常运行逻辑。这些风险要求机械电子系统必须具备极高的容错能力与故障诊断能力,在设计阶段需充分考虑各种极端工况,确保系统在全生命周期内稳定可靠运行,这对技术研发与工程实践提出了巨大挑战。

3.2 解决策略

3.2.1 加强多学科协同创新与人才培养

应对多学科融合的复杂性,需构建深度协同的创新模式与人才培养体系。在研发过程中,打破学科壁垒,建立基于模型的系统工程(MBSE)方法,通过统一的数字孪生模型实现机械、电子、控制等多学科的协同设计与仿真验证。利用虚拟样机技术,在设计初期模拟装备的机电耦合行为,提前发现并解决潜在冲突。培养具备跨学科知识的复合型人才,使其既掌握机械结构设计的力学原理,又熟悉电子电路设计与控制算法开发。通过项目实践,让不同专业背景的人员在实际任务中相互学习,提升团队的整体协同创新能力,从而高效推进过程装备与控制工程的技术突破。

3.2.2 建立动态技术更新机制

为适应技术快速更新换代,企业需建立动态技术更新机制。在装备设计阶段,采用模块化、开放式架构,将机械结构与电子系统划分为功能独立的模块,各模块通过标准化接口实现连接。这样在新技术出现时,只需替换相应模块即可完成系统升级,降低技术更新对整体装备的影响。建立技术监测与评估体系,实时跟踪行业技术发展动态,对新技术的成熟度、适用性进行评估,提前规划装备的升级路径。开发可重构的控制软件平台,通过软件定义功能的方式,灵活适配不同硬件配置

与控制策略,使过程装备能够快速响应技术变革,始终保持技术先进性与市场竞争力。

3.2.3 强化可靠性与安全性设计

提升过程装备与控制工程的可靠性与安全性,需从设计源头强化相关措施。在机械设计方面,运用有限元分析、疲劳寿命预测等技术,对关键部件进行可靠性优化设计,增加冗余结构以提高系统容错能力。针对电子系统,采用电磁兼容性设计、抗干扰滤波技术,保障信号传输的准确性与稳定性。引入故障预测与健康管理(PHM)系统,通过传感器实时采集装备运行数据,利用大数据分析机器学习算法,对潜在故障进行预测诊断。在控制策略上,设计多层次的安全保护机制,当系统检测到异常时,能够迅速触发应急响应,自动调整运行参数或停机保护,从而全方位保障过程装备在复杂工况下的可靠安全运行^[4]。

结语

综上所述,机械电子工程在过程装备与控制工程中的应用显著提升了装备智能化水平与系统运行效能。尽管面临多学科融合、技术更新及安全保障等挑战,通过强化协同创新、建立动态更新机制与优化可靠性设计,有效推动了技术的深度融合与应用。未来,持续深化机械电子工程技术应用,突破技术瓶颈,将为过程装备与控制工程领域的高质量发展注入强劲动力。

参考文献

- [1]崔政,陈星.工程实训平台在过程装备与控制工程专业实践教学体系中的建设和应用[J].山东化工,2021,50(8):219-220,222.
- [2]张海鹏,刘建新,张晓蕾,等.工程热力学课程在过程装备与控制工程专业中的教学方法探究[J].教育教学论坛,2020(9):198-199.
- [3]夏威,程武.过程装备与控制技术在设计应用中出现的问題与解决方法分析[J].科学与信息化,2020(4):113.
- [4]赵顺财.过程装备与控制工程的认识探究[J].现代制造技术与装备,2020,56(7):223-224.