

化工过程装备与控制工程的关键技术探讨

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: 本文探讨化工过程装备与控制工程关键技术。装备方面, 涵盖材料、结构设计与制造加工技术, 如耐高温、高压、耐腐蚀材料, 反应釜等结构优化, 精密加工与增材制造技术。控制工程方面, 涉及传感器与检测、控制算法与策略、通信与网络技术。还探讨了装备与控制工程技术融合应用, 如智能化装备控制系统集成、全流程优化控制应用, 为化工行业技术进步提供参考。

关键词: 化工过程装备; 控制工程; 关键技术; 融合应用; 智能控制

引言: 化工过程装备与控制工程在化工生产中扮演着关键角色, 直接影响产品质量、生产效率与运行安全。随着工业技术的不断进步, 传统化工装备制造与控制方式已难以满足日益复杂的工艺需求。新型材料的应用增强了设备在高温、高压及腐蚀环境中的适应能力, 先进控制技术则提升了系统的稳定性与响应速度。装备与控制技术的集成化发展, 使化工生产向自动化、智能化方向迈进, 成为推动行业转型升级的重要力量。

1 化工过程装备关键技术

1.1 装备材料技术

化工生产环境复杂多变, 高温、高压、强腐蚀等工况对装备材料提出严苛要求。耐高温材料在涉及高温反应与蒸馏的化工流程中不可或缺, 这类材料凭借特殊晶体结构与化学键能, 在高温下保持稳定物理化学性质, 防止材料软化变形或与介质发生反应^[1]。高压工况下, 材料需具备高强度与良好韧性, 通过特殊合金配比与热处理工艺, 提升材料屈服强度与抗疲劳性能, 避免装备在高压下发生破裂泄漏。耐腐蚀材料则针对酸碱、盐溶液等腐蚀性介质, 通过在材料表面形成致密氧化膜, 或利用材料本身的化学惰性, 阻止介质与材料发生化学反应, 保障装备使用寿命与生产安全。新型复合材料为化工装备材料研发开辟新方向。纤维增强复合材料通过将高强度纤维与基体材料复合, 结合纤维的高强度与基体的良好成型性, 具备重量轻、强度高、耐腐蚀等特性, 适用于制造管道、储罐等装备。纳米复合材料利用纳米颗粒的特殊性能, 在不改变材料基本特性前提下, 显著提升材料硬度、耐磨性与耐腐蚀性。梯度功能复合材料根据装备不同部位服役要求, 使材料成分与性能呈梯度变化, 满足装备复杂工况需求。研发过程聚焦材料微观结构调控, 通过优化制备工艺, 提升材料性能均匀性与稳定性, 降低材料成本, 推动新型复合材料在化工装备

领域广泛应用。

1.2 装备结构设计技术

化工核心装备的结构设计是保障生产高效、安全运行的关键环节。反应釜、塔器及流体输送设备等在结构优化过程中, 需充分结合流体力学、传热传质原理以及机械强度要求, 以实现最佳性能。在反应釜设计中, 搅拌系统对物料混合效果与反应效率具有决定性影响。通过优化搅拌器的类型、转速及安装位置, 可以有效改善釜内流体流动状态, 减少死区, 增强传热与传质效率, 从而提高反应速率和产品质量。釜体形状与内壁结构的设计也至关重要, 合理的几何构型有助于提升物料流动性, 降低局部应力集中, 延长设备使用寿命。塔器作为分离过程中的关键设备, 其结构设计直接影响气液接触效率与分离效果。塔板或填料的合理选型与布局能够增加气液两相的接触面积和停留时间, 从而提升传质效率。在设计时还需综合考虑塔体的机械强度与稳定性, 尤其是在高温高压或腐蚀环境下, 支撑结构与连接方式的可靠性尤为关键, 必须确保塔器在长期运行中的安全性与稳定性。在流体输送装备方面, 结构优化主要围绕降低能耗与提升动力转换效率展开。管道系统的管径、弯曲半径及内壁光洁度都会影响流体阻力, 通过优化这些参数可显著减少能量损失。泵与压缩机则通过改进叶轮、蜗壳等关键部件的流道形状, 提高流体传输效率, 降低运行能耗。采用多级压缩、分流等结构设计, 还能进一步提升能效水平。

1.3 装备制造加工技术

精密加工技术在化工装备制造中发挥着关键作用, 是保障零部件精度与性能稳定性的核心技术手段。数控加工技术通过计算机程序精确控制刀具的运动轨迹, 能够高效完成复杂形状零部件的加工任务, 满足高精度装配要求。磨削加工则广泛应用于轴类、孔类等关键部

件的精加工过程,通过对磨削参数的精细调控,确保零件表面光洁度和尺寸精度,有效降低摩擦损耗和密封泄漏风险。电火花加工适用于硬度高、形状复杂的零部件制造,利用脉冲放电产生的高温蚀除材料,避免传统切削对材料组织结构的破坏,提升加工质量。增材制造技术作为近年来快速发展的先进制造工艺,正在深刻改变化工装备制造模式。该技术采用逐层堆积材料的方式,突破传统工艺在结构复杂性方面的限制,实现一体化成型。对于具有内流道、多孔结构等难以用常规方法加工的零部件,增材制造能够高效完成,并支持个性化定制生产。同时,在制造过程中通过优化铺粉厚度、激光功率、扫描速度等工艺参数,可有效控制材料内部组织结构,提高零部件的致密性和力学性能^[2]。这一技术不仅提升了装备整体的可靠性与耐久性,也为新型高性能化工设备的研发提供了有力支撑,推动制造方式向高效、灵活、智能化方向发展。

2 化工过程控制工程关键技术

2.1 传感器与检测技术

化工生产过程中,温度、压力、流量等基础参数的准确检测是实现精准控制的前提。温度传感器基于不同的物理效应实现温度测量。热电偶传感器利用塞贝克效应,由两种不同导体组成闭合回路,当两端存在温差时产生热电势,通过测量电势大小确定温度值,适用于高温测量场景;热电阻传感器则依据金属或半导体材料电阻值随温度变化的特性,将温度信号转换为电信号,在中低温测量中具备较高精度。压力传感器的工作原理多样,压阻式传感器通过压阻效应,将压力变化引起的电阻值改变转换为电信号;电容式传感器利用压力改变电容极板间距或介电常数,进而改变电容值实现压力测量,二者在化工管道、反应釜等压力监测中广泛应用。流量传感器方面,电磁流量计基于法拉第电磁感应定律,用于测量导电液体流量;涡街流量计通过检测流体中漩涡产生频率计算流速,不同类型传感器满足化工生产中各类流体的流量检测需求。在线成分分析传感器对过程控制具有重要意义。气体成分分析中,红外气体分析仪利用不同气体对特定波长红外光的吸收特性,通过检测光强衰减程度确定组分与浓度,常用于尾气监测;质谱分析仪通过将样品离子化,依据离子质荷比差异进行分离检测,可实现多组分气体的快速分析。液体成分分析方面,光谱分析仪利用物质对光的吸收、发射或散射特性,检测溶液成分与浓度;电化学传感器通过电极与溶液间的电化学反应,将浓度转化为电信号,在实时监测中发挥重要作用。

2.2 控制算法与策略

经典PID控制算法在化工控制中应用广泛。比例(P)环节依据当前误差大小快速调整控制量,实现对偏差的初步纠正;积分(I)环节累积历史误差,消除系统静态偏差,确保被控参数最终稳定在设定值;微分(D)环节根据误差变化趋势提前调节,提高系统动态响应能力,抑制超调。在化工反应釜温度控制中,PID控制器根据温度设定值与实际测量值的偏差,调节加热或冷却装置功率,使反应温度稳定在工艺要求范围。但面对非线性、大滞后的化工过程,PID控制存在局限性,难以满足复杂工况需求。智能控制算法弥补了经典控制算法的不足。模型预测控制(MPC)基于过程数学模型,对未来一段时间内的系统输出进行预测,结合约束条件与优化目标,提前计算并实施最优控制序列^[3]。在化工精馏塔控制中,MPC算法综合考虑温度、压力、流量等多变量,优化塔内操作参数,提升产品分离精度与收率。模糊控制算法不依赖精确数学模型,通过将输入变量模糊化,依据模糊规则库进行推理决策,输出模糊控制量并解模糊后作用于被控对象。在化工pH值调节系统中,由于酸碱中和过程具有非线性与不确定性,模糊控制能有效应对工况变化,实现pH值稳定控制。这些智能控制算法凭借自适应性、鲁棒性强的优势,在复杂化工过程控制中展现出良好应用前景。

2.3 通信与网络技术

在化工控制系统中,通信与网络技术是实现设备互联和数据交互的关键。工业现场总线技术作为重要组成部分,发挥着基础性作用。Profibus总线采用主从结构,可实现控制器与传感器、执行器之间的高速数据传输,具有较强的抗干扰能力,适用于化工生产现场复杂电磁环境。其传输速率与传输距离可根据实际需求灵活配置,在化工生产线设备控制中广泛应用。Modbus总线协议开放性较强,支持多种物理传输介质,便于不同厂商设备间的通信互联,常用于化工仪表与控制系统的数据交互。现场总线技术将分散的设备连接成网络,实现数据共享与协同控制,减少布线成本与维护难度,提高化工控制系统的集成度与可靠性。随着技术发展,无线通信技术为化工过程远程监控开辟了新途径。Wi-Fi技术在化工园区内可构建局域无线网络,实现监控设备与中控室的数据传输,方便操作人员实时查看生产现场设备运行状态。ZigBee技术以低功耗、自组网能力强的特点,适用于化工装置中大量传感器节点的数据采集与传输,如储罐液位、管道泄漏监测等场景。4G/5G无线通信技术凭借高带宽、广覆盖、低时延的特性,支持高清视频监

控数据回传,使管理人员即使远离现场,也能通过移动终端实时掌握化工生产动态。无线通信技术打破空间限制,提升化工生产远程监控的实时性与便捷性,为化工企业智能化管理提供有力支持。

3 装备与控制工程技术融合应用

3.1 智能化装备控制系统集成

装备与控制技术的深度融合重塑化工生产运行模式。自动化运行机制通过将装备硬件与控制算法紧密结合实现。化工反应釜运行时,内置传感器实时采集温度、压力、液位等参数,传输至控制系统。控制算法依据预设工艺要求,快速分析数据并生成指令,驱动加热、搅拌、冷却等装置自动调节,维持反应过程稳定。这种自动化并非单一设备的独立运作,而是通过通信网络将各类装备连接,形成协同工作体系^[4]。管道输送装备依据反应釜需求自动调整流量,分离设备根据上游产出物特性切换运行模式,实现生产环节无缝衔接,减少人工干预导致的延迟与失误。基于物联网的远程监控与故障诊断系统进一步提升装备管理水平。物联网技术赋予化工装备感知与通信能力,分布于装备各处的传感器节点将运行数据实时上传至云端平台。管理人员通过终端设备,可随时查看装备转速、振动、能耗等状态信息,掌握设备运行全貌。故障诊断系统借助大数据分析 with 智能算法,对装备历史数据与实时数据进行深度挖掘。当检测到设备参数异常波动,如泵体振动频率突变、反应釜温度异常上升,系统立即启动故障预警,结合故障知识库定位潜在问题,提供维修建议。这种远程监控与诊断模式,使维护人员无需亲临现场即可提前规划检修计划,降低设备突发故障风险,延长装备使用寿命。

3.2 全流程优化控制应用

全流程协同控制模式贯穿化工生产各环节。从原料处理阶段开始,智能计量设备依据配方自动称重、配比原料,输送至反应装置;反应过程中,控制系统根据原料特性与反应进度,动态调整温度、压力等参数;产品产出阶段,包装设备按照质量标准完成计量、封装。各

环节装备通过统一通信协议与控制平台互联,实现信息共享与指令交互。当原料成分发生变化,系统自动调整反应参数与后续分离流程;产品质量出现波动时,可快速追溯至前端环节,及时修正工艺偏差。这种协同控制避免了传统生产中各装置独立运行导致的效率损耗,确保生产流程顺畅高效。装备与控制技术协同从多维度提升生产效率。在资源利用方面,控制技术优化装备运行参数,使反应更充分、分离更彻底,减少原料浪费与能源消耗。如精馏塔通过智能控制回流比,在保证分离精度的同时降低蒸汽用量。在时间管理上,自动化控制系统缩短生产切换时间,快速调整装备运行模式以适应不同产品生产需求。面对市场订单变化,全流程控制体系可迅速优化生产计划,灵活调配装备资源,缩短产品交付周期。通过装备性能提升与控制策略优化的双重作用,化工生产实现效率突破,在成本控制与市场响应方面获得显著优势。

结束语

化工过程装备与控制工程关键技术对化工生产意义重大。装备材料、结构设计 with 制造加工技术的进步,为化工生产提供了坚实物质基础;传感器、控制算法与通信网络技术的发展,实现了化工生产的精准控制与高效管理。装备与控制技术的融合应用,进一步提升了化工生产的智能化水平与整体效益。未来,应持续加大技术研发力度,推动化工过程装备与控制工程不断创新,助力化工行业迈向更高水平。

参考文献

- [1]李龙,温毅,康文凯等.防腐设计在化工机械装备中的应用[J].现代制造技术与装备,2023,59(07):88-90.
- [2]王亚静,杨楠,张兆全.化工装备自动化控制系统的参数调整与优化[J].现代化工,2022,42(12):97-101.
- [3]袁东升.化工机械设备故障诊断与预测方法[J].清洗世界,2024,40(12):193-195.
- [4]金宗杰,孙吉水,刘鑫.化工工艺过程能耗管理与节能减排技术[J].化工管理,2024(13):48-50.