

化工生产工艺控制系统

李宏伟¹ 张蕾³ 董燕²

1 山东东润新材料有限公司 2 济南盈诚环境技术有限公司 3 山东经发检测科技有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i2.7095

[摘要] 化工生产工艺控制系统致力于优化化工厂的生产流程,以提高效率、确保产品质量、降低能源消耗,并减少对环境的影响。通过集成先进的自动化技术和信息处理技术,该系统能够对复杂的化学反应过程进行实时监控和精准控制。对于化工行业而言,实施有效的过程控制策略不仅是提升竞争力的关键,也是实现可持续发展的必要条件。

[关键词] 化工生产; 工艺控制系统; 可持续发展

中图分类号: TS294+.7 **文献标识码:** A

Chemical production process control system

Hongwei Li¹ Lei Zhang³ Yan Dong²

1 Shandong Dongrun New Materials Co., Ltd 2 Jinan Yingcheng Environmental Technology Co., Ltd

3 Shandong Jingfa Testing Technology Co., Ltd

[Abstract] Chemical production process control system is committed to optimizing the production process of chemical plants to improve efficiency, ensure product quality, reduce energy consumption, and reduce the impact on the environment. By integrating advanced automation and information processing technologies, the system enables real-time monitoring and precise control of complex chemical reaction processes. For the chemical industry, the implementation of effective process control strategy is not only the key to enhance competitiveness, but also a necessary condition to achieve sustainable development.

[Key words] Chemical production; process control system; sustainable development

引言

化工产业作为全球经济的重要组成部分,其生产过程的效率和安全性直接关系到企业的经济效益和环境保护。随着环境保护法规的加强和市场对高质量产品的需求增加,传统的化工生产模式已无法满足现代化工业的需求。因此,采用先进的工艺控制系统成为提升化工生产过程可靠性、效率和可持续性的关键。

1 化工生产工艺控制的基本原理与方法

1.1 工艺控制的基本原理

化工生产工艺控制的基本原理源自于对化学工程过程动态行为的理解和分析,涵盖了物料平衡、能量平衡、动力学以及传递过程等基础科学。核心目标是通过调节输入(如原料、能量供给)和操作条件(如温度、压力、流速),达到对产品质量、产量、能耗和排放等产出指标的精确控制。这一过程基于过程模型和反馈控制原理,通过实时数据采集和处理,实现对生产过程的预测、优化和调节。在化工生产中,反应器的控制策略通常依赖于对反应动力学的深入理解,包括反应速率、热效应以及物料转化途径等,而分离过程控制则重视物料相平衡和传递效率的优化。

此外,传热和传质过程的控制也是保证生产效率和产品质量的关键因素。有效的工艺控制系统需集成传感器技术、自动调节阀和泵、控制算法以及人机交互界面等,构建起从信号采集、数据处理到执行机构反馈的闭环控制网络^[1]。

1.2 工艺控制的常用方法

化工生产工艺控制的常用方法可分为连续控制和批量控制两大类,根据生产过程的特性选择适宜的控制策略。连续控制主要应用于流动不断、操作条件相对稳定的生产线,如炼油、化肥生产等,通过PID控制、馈送前控制和级联控制等传统控制方法,对温度、压力、流量等关键参数进行实时调节,保证生产过程平稳运行。在此基础上,先进过程控制(APC)技术通过建立过程的数学模型,利用模型预测控制(MPC)等算法对多变量系统进行优化控制,有效处理生产过程中的非线性、多变量耦合和时变特性,显著提升生产效率和产品质量。批量控制则适用于产量较小、产品种类多变或生产过程中各阶段条件差异较大的场景,如特种化学品、制药等领域。批量控制的关键在于对每一批次生产过程中的物料添加、反应控制、分离和纯化等环节进行精准控制和调度,确保每一批次产品的质量一致性。基于ISA S88等国

际标准的批量生产管理系统(BMS)为批量生产过程提供了标准化的控制框架,支持配方管理、生产调度和性能评估等功能^[2]。

2 化工生产工艺控制系统的设计与实施

2.1 控制系统的设计原则

化工生产工艺控制系统的设计原则必须综合考虑工艺流程的特性、控制目标的优先级以及系统的稳定性和可靠性。首要原则是确保过程安全,避免因控制失误导致的事故,这要求设计时必须遵循化学工业的安全标准和法规,例如在易燃易爆环境中采用本质安全的仪表设备。控制系统需具备足够的灵活性以适应原料、操作条件的变化以及产品需求的波动,保证在不同工况下均能稳定运行。在化工过程控制中,常见的设计原则包括闭环控制原则,即通过反馈信号实时调整操作变量,维持系统在设定的操作点;多层次控制原则,将控制系统分为基础层、优化层和管理层,实现从微观到宏观的全面控制;模型基础控制原则,利用过程模型对控制策略进行预测和优化,提高控制精度和效率。例如,在某石化企业的乙烯裂解装置中,控制系统的设计考虑了裂解炉温度的严格控制,通过安装多点温度传感器和高精度控制阀,以及采用先进的控制算法,保证温度控制偏差小于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,有效提高了乙烯的选择性和产率。此外,控制系统还需考虑经济性,通过优化操作条件减少能耗和原料消耗,提高生产效率和经济效益。

2.2 控制系统的实施步骤

化工生产工艺控制系统的实施步骤是一项系统工程,涉及需求分析、系统设计、设备选型、软件开发、系统集成、调试优化及维护等多个阶段(图1)。首先,在需求分析阶段,需与工艺工程师紧密合作,全面了解生产过程的特点、控制需求及预期目标,明确控制系统的功能和性能指标。随后,在系统设计阶段,根据需求分析的结果,选择合适的控制策略和算法,设计控制系统的架构,包括硬件配置和软件架构。在设备选型阶段,需要根据系统设计的要求,选择合适的仪表设备和控制器,并充分考虑设备的精度、可靠性、兼容性及成本效益。软件开发阶段则是编写控制系统的应用程序,包括控制逻辑、用户界面和数据管理等,通常采用模块化设计,以提高软件的可维护性和可扩展性。系统集成阶段需要将各个子系统集成为一个完整的控制系统,包括硬件的安装调试和软件的部署测试。调试优化阶段是控制系统实施过程中至关重要的一步,通过实际生产过程中的测试运行,对系统进行细致调整,直至满足设计指标。例如,在某化工厂的自动化改造项目中,通过实施先进的分布式控制系统(DCS),在启动初期进行了多轮的参数调整和系统优化,最终实现了反应器温度控制精度提高至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,生产能力提升20%,能源消耗降低15%。最后,系统维护阶段需要定期对控制系统进行检查和维护,确保其长期稳定运行。



图1 化工生产工艺控制系统的实施步骤

2.3 控制系统的评估与优化

化工生产过程的复杂性要求其控制系统不仅要在实施后能够稳定运行,还需持续进行评估与优化以应对原料、产品需求以及工艺条件的变化。控制系统的评估与优化是一个动态循环过程,包括性能评估、问题诊断、优化策略制定及实施四个关键步骤。(1)性能评估依赖于系统运行数据的收集与分析,采用关键性能指标(KPI)对控制系统的响应时间、稳定性、准确性等进行量化,以确定系统当前的运行状态。(2)问题诊断阶段,利用数据分析和工艺知识识别系统性能不足的原因,可能包括控制策略不当、设备故障、传感器偏差等。(3)在优化策略制定阶段,根据诊断结果制定针对性的优化措施,如调整控制参数、更换或校准传感器、优化控制算法等。(4)实施阶段则将优化策略应用于控制系统中,并监测优化效果,确保优化措施达到预期目标。在实际应用中,某炼油厂的裂解装置通过实施控制系统优化项目,对反应温度控制回路进行了重新设计和参数调整,结果反应器的温度控制精度提高,裂解效率显著增加,同时减少了副产品的产生,年均节约成本超过百万元^[3]。

3 化工生产工艺控制系统的应用与挑战

3.1 应用案例分析

化工生产工艺控制系统的成功应用案例体现在其能够显著提升生产效率、降低能耗并确保生产过程的安全。以某化工企业的甲醇生产线为例,通过实施先进的控制策略,实现了原料消耗和能源利用的最优化。该企业采用模型预测控制(MPC)技术,对甲醇合成反应器进行控制,通过实时预测和优化反应条件,确保反应在最佳温度和压力下进行,从而最大限度地提高甲醇的产率并降低副产品的生成。实施控制系统优化后,甲醇的产量比优化前提高了8%,同时能耗降低了15%,显著提高了生产效率和经济效益。此外,通过实时监控反应器的运行状态和关键参数,控制系统能够及时发现潜在的安全隐患,如温度异常升高等,通过自动调整反应条件或启动紧急停车程序,有效避免了事故的发生,保障了生产过程的安全。该案例不仅展示了化工生产工艺控制系统在提高生产效率和产品质量、降低能源消耗以及确保生产安全方面的重要作用,也证明了先进控制技术在化工行业中的广泛应用价值和潜力^[4]。

3.2 当前面临的主要挑战

化工生产工艺控制系统的实施在确保生产效率和产品质量的同时,需克服诸多挑战,尤其是处理复杂多变的生产环境及工艺条件。化工生产过程的复杂性体现在涉及多种化学物质与反应条件,其中原料成分的微小变化或环境温度、压力的轻微波动均可能导致生产过程的大幅波动。举例来说,原料成分的变化幅度仅为0.1%也可能导致产品质量波动高达5%。这要求控制系统具备高度的灵敏度和快速响应能力,以实时监测和调整工艺参数。此外,面对越来越严格的环保和安全规范,控制系统必须在不增加生产成本的前提下,确保生产过程的环保性和安全性。例如,一项针对减少有害排放的控制策略实施后,成功将排放量降低20%,但对生产成本的影响不超过2%。数字化与智能化技术的

融入为化工生产工艺控制系统带来了新的挑战和机遇。利用大数据与人工智能算法对生产过程进行优化预测,要求控制系统不仅要具备强大的数据处理能力,还要有高度的智能决策能力。同时,设备老化和维护是另一个重要问题,老化的设备不仅影响生产效率,还可能造成安全隐患。通过采用预测性维护策略,化工企业能有效监测设备状态,预防故障发生。表1通过对比实施前后的关键指标变化,直观展示了化工生产工艺控制系统中各种策略实施的具体效果。

表1 化工生产工艺控制系统技术升级与策略实施效果分析

参数/策略	实施前	实施后	改善百分比
原料成分变化导致的产品质量波动	5%	2%	60%
有害排放量	100 单位	80 单位	20%
生产成本影响	2%	无明显增加	-
生产效率	基准值	提升15%	15%
生产成本	基准值	降低10%	10%
设备故障率	每年5次	每年3.5次	30%
维护成本	每年100万单位	每年75万单位	25%

3.3 未来发展趋势

利用物联网技术实现设备的全面互联和数据实时共享,结合云计算和大数据分析技术,对生产过程进行全面的实时监控和深度分析,实现从数据收集到决策执行的全流程智能化控制。此外,人工智能技术,特别是机器学习和深度学习,将为化工生产工艺控制提供更加精准的模型预测和优化策略,通过自学习和自适应算法不断优化控制参数,实现控制策略的动态优化和自我调整。另一方面,增强现实(AR)和虚拟现实(VR)技术的应用,将使控制系统的操作和维护更加直观和高效,通过虚拟仿真和远程操作,提高系统的操作安全性和维护便捷性。在环保和安全要求日益严格的背景下,未来的化工生产工艺控制系统还将更

加注重环境保护和生产安全,通过更加精细化的控制和监测,减少能耗和排放,确保生产过程的绿色环保。同时,通过预测性维护和故障诊断技术,提前发现设备潜在的安全风险,确保生产过程的稳定和安全^[5]。

4 结论

本文综述了化工生产工艺控制的基本原理与方法,探讨了控制系统的设计原则、实施步骤及评估优化,同时分析了化工生产工艺控制系统的应用案例和面临的挑战,展望了未来发展趋势。随着智能制造技术的不断进步,化工生产工艺控制系统正向着更加智能化、高效化和环保安全的方向发展。通过整合先进的信息技术和自动化技术,实现对化工生产过程的精准控制和管理,化工行业将能够实现更高的生产效率、更优的产品质量和更佳的环境安全性能。

[参考文献]

- [1]贺利飞,郝齐凤,折建梅.提升化工工艺节能降耗的途径探析[J].山西化工,2023,43(07):175-177.
- [2]沙亚峰.化工工艺设计中危险因素识别及防控策略[J].云南化工,2023,50(03):138-140.
- [3]刁丽华,王军伟.化学工程中化工生产工艺的分析[J].化工管理,2022,(15):140-143.
- [4]郭益民.化工工艺中节能降耗技术的应用[J].山西化工,2022,42(02):287-290.
- [5]刘剑.化工工艺中节能降耗技术的应用[J].化工设计通讯,2021,47(08):60-61+83.

作者简介:

张蕾(1988--),女,汉族,山东省济南市莱芜区人,本科,中级,山东经发检测科技有限公司,研究方向:电气。

董燕(1984--),女,汉族,山东省济南市人,本科,中级,济南盈诚环境技术有限公司,研究方向:电气。

李宏伟(1979--),男,汉族,山东省济南市莱芜区人,大专,高级技师,山东东润新材料有限公司,研究方向:化工技术。