

精细化工生产全流程及仓储自动化建设研究

樊宇 (浙江省天正设计工程有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要: 随着市场竞争的日趋激烈和客户需求的不断变化, 精细化工企业面临着产品质量、生产效率、成本控制、安全环保等方面的严峻挑战。传统的生产模式已难以适应新形势下的发展要求, 亟须通过自动化、智能化的技术手段来实现转型升级。精细化工行业是现代工业的重要组成部分, 其生产过程复杂、工艺、储存要求高, 对自动化程度有较高要求。本文针对精细化工行业的特点, 探讨了生产全流程及仓储自动化建设的必要性, 并提出一套系统的建设路径。

关键词: 精细化工; 生产全流程; 仓储自动化; 建设路径; 智能化管理; 数字化转型

全流程自动化是指将生产过程中的各个环节, 如研发、工艺设计、生产控制、质量检测、物流仓储等, 纳入统一的自动化管理体系, 实现生产过程的全面自动化和信息化。它以现代信息技术为支撑, 通过智能设备、工业软件、数据分析等手段, 对生产要素进行优化配置和实时监控, 从而达到提质增效、降本增利的目的。全流程自动化代表了智能制造的发展方向, 是精细化工企业实现数字化转型的必由之路。

1 精细化工行业自动化建设的必要性

1.1 行业特点和面临的挑战

精细化工行业具有产品种类多、工艺复杂、批量小、质量要求高等特点, 生产和储存过程涉及大量的化学反应、分离提纯、混合包装等单元操作, 对设备性能、原料质量、操作参数的控制要求非常严格, 稍有偏差就会影响产品质量和收率。同时, 由于化工产品的特殊性, 生产和储存过程中还存在易燃、易爆、有毒等危险因素, 对安全提出更高要求。面对日益激烈的市场竞争和不断提高的客户需求, 精细化工企业必须不断提升产品质量、降低生产成本, 这对传统的人工操作模式提出了严峻挑战, 频繁的人工干预也增加了安全隐患和劳动强度, 制约了企业的发展潜力。因此, 通过自动化技术来改造传统生产模式, 已成为精细化工企业提升竞争力的必然选择。

1.2 全流程自动化的必要性

全流程自动化是指将生产过程中的各个环节全面纳入自动化管理, 实现从原料投入到产品输出的全流程无人化、智能化生产。它以自动化控制系统为核心, 集成了现代信息技术、智能制造装备、工业软件等先进技术, 可以显著提升生产过程的自动化、智能化水平, 为企业带来多方面的效益。

第一, 全流程自动化可以显著提高生产效率和产

品质量。通过自动化设备替代人工操作, 可以大幅提高生产速度和稳定性, 减少人为误差和不可控因素, 确保产品质量的一致性。同时, 先进的在线检测和质量控制技术, 可以实时监测关键质量指标, 及时发现和纠正偏差, 从源头上保证产品质量。

第二, 全流程自动化可以显著降低生产成本和能耗。自动化生产可以减少人工成本, 提高设备利用率和材料转化率, 降低单位产品的生产成本。同时, 通过优化工艺参数和设备运行, 可以降低能源消耗和物料损耗, 实现绿色、环保、可持续发展^[1]。

第三, 全流程自动化可以显著改善安全生产条件。通过自动化设备替代人工作业, 可以最大限度地减少人员暴露在危险环境中的机会, 降低安全事故发生的风险。同时, 先进的安全监测和预警技术, 可以及时发现设备故障、泄漏等隐患, 确保生产过程的本质安全。

第四, 全流程自动化还可以促进精细化工企业的数字化、网络化、智能化发展。通过构建覆盖研发、生产、管理、服务等各个环节的工业互联网平台, 可以打通信息孤岛, 实现数据的互联互通和共享应用, 为企业的智能决策、精准管理、创新发展提供有力支撑。

2 精细化工全流程自动化的关键环节

2.1 自动化工艺设计

工艺设计是精细化工生产的起点和基础, 直接决定了产品的质量、成本和效率。传统的工艺设计主要依靠人工经验, 存在效率低、优化难等问题。而自动化工艺设计则利用计算机辅助设计 (CAD)、过程模拟优化等技术, 实现工艺路线的快速设计和优化, 大幅提升了设计效率和质量。自动化工艺设计的核心是构建产品的数字化模型, 通过对生产过程的模拟仿真,

优化工艺参数和设备配置,从而实现产品性能、成本、效率等多目标的平衡。自动化工艺设计主要包括以下环节:

2.1.1 建立产品的数字化模型

在自动化工艺设计中,首要步骤是利用三维 CAD 软件构建产品的数字化模型。这包括产品的几何模型和属性模型两个方面。几何模型描述了产品的形状、尺寸、结构等物理特征,通过参数化建模、特征建模等技术,可以快速生成产品的三维实体模型和二维工程图^[2]。属性模型描述了产品的材料、性能、工艺等非几何特征,通过与几何模型的关联,可以实现产品信息的集成管理。产品数字化模型是工艺设计的基础,它为后续的工艺规划、仿真优化等提供数字化的载体,也为产品的生命周期管理提供了数据支撑。

2.1.2 工艺路线设计

工艺路线设计是根据产品模型,确定生产加工过程的步骤、顺序、方法等,形成完整的工艺方案。在自动化工艺设计中,这一环节主要依托于工艺知识库和规则库。工艺知识库是以往成功案例的总结提炼,包含了产品—工艺的对应关系、典型工艺参数组合、最佳实践等经验知识。规则库是将工艺设计标准和准则形式化、结构化的成果,包含了材料选择、工序排布、公差匹配等方面的规则。通过知识推理、规则匹配等智能技术,系统可以自动生成多套可行的工艺路线,再经过技术经济分析、仿真评价等,优选出最佳的工艺方案。

2.1.3 开展过程模拟优化

工艺路线设计完成后,还需要对关键工序的工艺参数进行优化,以确保产品性能和生产效率达到最佳。在自动化工艺设计中,这主要通过数字化仿真技术来实现。利用过程模拟软件,可以对化学反应、流体流动、传热传质等复杂过程进行建模计算,预测不同工况下产品的品质、收率、能耗等指标。通过设计空间探索、敏感性分析等,优化温度、压力、流量、浓度等工艺参数,并验证其可行性和稳定性。相比传统的物理实验,数字化仿真可以低成本、高效率地完成工艺优化,为产品的快速迭代和持续改进提供有力工具。

2.1.4 化工仓储自动化管理

化工产品从生产到交付客户,中间必须经过仓储环节。仓储的科学管理对于保证供应链效率、降低成本、提高客户满意度至关重要。传统的人工仓储管理容易出错,效率低下,难以满足精细化工行业

的高标准要求。因此,仓储自动化管理也是精细化智能制造的关键一环。仓储自动化管理的核心是 WMS(Warehouse Management System)系统,它利用条码、RFID、无人搬运车、自动存取设备等技术,实现了仓储作业的全流程信息化和自动化。通过 WMS,可以对化工产品的入库、出库、盘点、养护等进行精准控制和实时跟踪,杜绝差错,提高效率。WMS 还可以与 ERP、MES、CRM 等上下游系统互联,实现业务和数据的无缝衔接,优化库存周转,提升供应链协同水平。自动化立体仓库是仓储自动化的重要载体。它充分利用空间,通过货架、堆垛机、输送线等设备的配合,实现货物的高密度存储和自动化作业。例如,利用穿梭车、提升机等设备,可以快速完成货物的入库、分拣、出库等动作,大幅提高作业效率。而且,这些设备可以在恶劣环境下 24 小时连续工作,减少人员劳动强度。配合 WMS 的智能调度,不但可以缩短货物的仓储周期,还可以提高时效性和准确性,从而更好地满足客户需求。^[3]

2.2 智能化生产装备

装备是自动化生产的物质基础,其性能和水平直接决定了生产的效率和质量。传统的化工装备自动化程度低,缺乏智能感知和优化控制能力,已不能适应全流程自动化的要求。因此,必须大力发展智能化生产装备,提升装备的数字化、网络化、智能化水平。智能化生产装备的核心是嵌入式智能控制系统,具有信息感知、自主学习、优化控制等功能,可以实现设备的状态监测、故障诊断、自适应控制等,大幅提升设备的运行效率和可靠性。

智能化生产装备主要包括:①智能化反应设备。在传统的反应釜、塔器等设备的基础上,融合物联网、大数据等技术,实现生产过程的实时监测和优化控制;②智能化分离设备。利用先进的分离技术,如膜分离、精馏等,结合智能化控制系统,实现分离过程的高效、节能、环保,实现产品质量和能耗的最优化;③智能化混合设备。采用先进的混合技术,如静态混合器、动态混合器等,配以智能化控制系统,实现混合过程的均匀、高效、稳定,优化内部结构和操作参数,实现混合过程的最佳效果;④智能化包装设备。引入机器视觉、机器人等技术,实现包装过程的自动化、柔性化、智能化。

2.3 先进的生产自动化与仓储管理控制系统

控制系统是自动化生产的大脑,其性能和水平直

接决定了生产过程的稳定性和最优化程度。传统的单回路PID控制已经不能满足复杂工业过程控制的要求,必须开发适合精细化工特点的先进控制系统。先进控制是指在传统控制方法的基础上,引入现代控制理论、智能优化算法等新技术,针对多变量、非线性、时变、不确定等复杂过程,实现更加精确、稳定、最优的控制。

2.3.1 建立精确的数学模型

精细化工生产过程通常具有非线性、多变量、强耦合等复杂特性,传统的经验模型已无法满足先进控制的需求。因此,必须利用机理建模、数据驱动建模等方法,构建能够精确反映生产过程动态特性的数学模型。机理建模是根据过程的物理化学机理,建立物料和能量守恒方程、动力学方程、传递方程等,形成白箱模型;数据驱动建模是利用生产历史数据,通过数据挖掘、机器学习等方法,建立工况与产品质量之间的关系模型,形成黑箱模型。两种建模方法可以结合使用,互为补充,构建灰箱模型。高精度、多尺度的数学模型,是实现先进控制和优化的基础,也是自动化全流程中的关键环节。

2.3.2 开发多变量解耦控制

精细化工生产过程中,往往存在多个工艺变量之间的相互影响和耦合作用,如温度、压力、流量、液位等。这种多变量耦合会导致系统的非线性加剧、控制复杂度增加、稳定性下降等问题。因此,必须采用多变量解耦控制技术,实现变量之间的独立调节和协调控制。常用的解耦控制方法有分散型控制和协调型控制。分散型控制是将多变量系统分解为多个单变量子系统,各自设计局部控制器,忽略变量之间的耦合作用;协调型控制是在分散控制的基础上,增加协调控制器,根据各子系统的控制偏差,协调各局部控制器的输出,抑制变量之间的耦合影响。通过多变量解耦控制,可以简化控制系统设计,保证系统的稳定性和控制效果,提高产品质量和能源效率。

2.3.3 精细化工生产应用现代优化控制系统

精细化工生产过程往往受到多种约束条件的限制,如安全约束、质量约束、产能约束、环保约束等,同时又面临着产量、质量、成本、能耗等多目标的优化需求。传统的PID控制难以同时满足约束条件和优化目标,往往带来产品质量波动、能源浪费等问题。因此,必须应用现代优化控制理论,在满足约束条件的前提下,实现生产过程的最优控制。常用的优化控制方法有实时优化控制和模型预测控制。实时优化控

制是根据过程的当前状态和目标函数,实时计算最优操作点,并将其作为控制器的设定值;模型预测控制是根据过程模型和未来预测,在滚动时域内求解一系列最优控制问题,并将当前最优控制量作用于对象。通过现代优化控制,可以在保证安全和质量的基础上,最大限度提高资源利用率、降低能耗成本、提升经济效益。

2.3.4 仓储管理引入智能控制技术

传统的控制系统通常采用固定的控制算法和参数,难以满足化工企业仓储管理中对安全性较高的要求,导致仓储管理自动化控制性能不足。而智能化控制技术可以赋予控制系统自学习、自适应、自优化的能力,使其能够根据仓储过程中货品与数据的变化自动调整控制策略,持续改进控制性能。常用的智能控制技术有专家级控制、模糊控制、神经网络控制等。专家控制是利用专家的经验知识,建立控制规则库,实现定性推理和决策;模糊控制是利用模糊数学理论,将定性的控制策略转化为定量的控制算法;神经网络控制是利用人工神经网络的学习能力,建立输入—输出映射关系,实现自学习控制,新一代人工智能技术也开始应用于全过程控制,进一步提升了化工企业仓储控制系统的智能化水平。

3 结语

全流程自动化已成为精细化工行业实现高质量发展、智能化转型的必由之路。通过自动化工艺设计、智能装备升级、先进控制优化、数字化管理等关键环节的有机结合,企业可以全面提升产品研发、生产制造、仓储管理等核心能力,实现安全、环保、高效、灵活的生产模式。当然,精细化工全流程自动化建设是一项复杂的系统工程,企业需要根据自身实际,制定科学合理的发展规划和路线图,分阶段、分步骤地推进实施。

参考文献:

- [1] 曹俊平.精细化工全流程自动化建设研究[J].山西化工,2023,43(08):104-106.
- [2] 自动化校准助力精细化工行业提高安全性与合规性[J].流程工业,2022,(08):49-51.
- [3] 张榛.自动化控制在精细化工行业中的应用[J].当代化工研究,2018,(05):78-80.

作者简介:

樊宇(1990-),女,汉族,河北张家口人,工程师,硕士研究生,研究方向:精细化工、石油化工。