

# Research Progress on Process Optimization and Intelligent Control Technology in Chemical Engineering

Shaowu Wang Xuanxuan Gao

Shandong Hengxin High-tech Energy Co., Ltd., Tai'an, Shandong, 271411, China

## Abstract

Chemical engineering serves as a cornerstone for national economic development. Research in process optimization and intelligent control technologies plays a pivotal role in enhancing production efficiency, reducing energy consumption, and ensuring operational safety. With advancements in sensor technology, intelligent algorithms, and industrial automation systems, chemical process optimization is transitioning from traditional empirical models to digital and intelligent approaches. Both domestic and international studies are actively exploring strategies for optimizing process design, parameter coordination, real-time control implementation, and integrating autonomous decision-making systems into production processes, aiming to drive industry progress through continuous technological innovation. This paper summarizes various optimization strategies and intelligent control methodologies, analyzes key technical challenges encountered during traditional process improvements combined with emerging technologies, and examines future development trends. Intelligent control technologies demonstrate exceptional performance in real-time monitoring, dynamic adjustment, and fault self-diagnosis capabilities, effectively improving process stability and adaptability while playing a critical role in energy conservation, emission reduction, and environmental protection initiatives.

## Keywords

chemical engineering; process optimization; intelligent control technology; process flow design; autonomous decision system

## 化学工程流程优化与智能控制技术研究进展

王绍武 高旋旋

山东恒信高科能源有限公司, 中国·山东 泰安 271411

## 摘要

化学工程是支撑国民经济发展的关键力量, 流程优化和智能控制技术的研究能够帮助提高生产效率, 减少能源消耗, 并且确保安全生产, 发挥着至关重要的作用。随着新型传感器技术、智能算法和工业自动化水平的不断提升, 化学工程流程优化开始从传统的经验模式转向数字化和智能化的方向。国内和国外的相关研究都在努力探索如何优化工艺流程设计、调整参数协调以及实现实时调控, 还有如何将自主决策系统整合到生产过程中, 力求通过不断的技术创新来推动行业发展。通过总结各种优化策略和智能控制方法, 深入分析了传统工艺改进和新技术结合时所遇到的关键技术难题以及未来的发展趋势。智能控制技术在实时监测、动态调整和故障自我诊断等方面表现得非常出色, 可以有效提升工艺运行的稳定性和适应性, 尤其是在节能减排和环境保护上起到了重要作用。

## 关键词

化学工程; 流程优化; 智能控制技术; 工艺流程设计; 自主决策系统

## 1 引言

化学工程充当国民经济的关键支柱, 其工艺流程的高效稳定运行立即作用于生产效率、能耗及安全。伴随新型传感器、智能算法和工业自动化技术的快速进步, 传统经验式的流程控制正在逐渐朝数字化、智能化转变。这一变革不但给改善工艺参数、达成即时与动态调控带来了新途径, 也引发了于复杂生产系统内实现自主决策的新挑战。化工行业在流程规划与参数调整上虽然已经进行不少探索, 但大多受制

于局部优化或者事后调整, 很难适应生产过程的即时响应与整体协调需求。国内外研究者及企业正在关注把智能控制技术用于流程优化, 借助融合先进决策系统与自动纠错功能, 探究多变量作用之下的最优控制方法。智能控制系统的应用明显提高了设备运行的稳定性并且减少了能耗, 令它变为现今研究热点与攻关重点, 给化工行业智能化升级给予理论与实操指导。

## 2 化学工程流程概况与现状

### 2.1 化工重要性与基本特性

化学工程为现代工业的重要组成部分, 对于国民经济进步发挥着无法取代的作用。它给能源生产、新材料制造、

【作者简介】王绍武(1974-), 男, 中国河北唐山人, 工程师, 从事高端化工工艺管理研究。

生物医药研发以及环境保护治理等众多行业供给核心技术支撑,肩负着生产基础化工原料、开发新型材料以及治理环境污染等重任,关系到社会持久安定进步。

化学工程具备工艺流程复杂、反应条件多变、设备运转变幻莫测等特点。其反应设备与流程控制经常必须于高温高压等等极端环境之中开展,对于物理和化学变化的调控管理必须十分精准,工艺参数调节同样必需无差无错,来达到高性能、稳如磐石、可靠的标准。相较其余工程领域,化学工程生产流程持续且模式繁杂,经常一起开启多个独立操作单元。上述繁杂特性决定了化学工程必需使用高标准自动化技术和系统改进策略,特别在处理多变量彼此作用以及提高生产效率方面遭遇难题。多学科交叉融合与先进技术综合运用在化学工程领域极其关键,给流程优化和智能控制技术的不断进步给予了强劲支持。

## 2.2 流程运行现状及存在问题

化学工程流程运行水平虽然有了提高,然而现实操作依旧遭遇众多难题。常规工艺依靠经验与固定参数,很难应对繁杂生产环境和多变市场需求。工艺参数很难彻底掌控,能量利用效率差,资源浪费现象出现。常规控制系统以线性数学模型为主要方法,对于非线性动态行为阐释能力不足,运行不稳。即时监控与故障诊断技术滞后,设备和管道潜在问题很难迅速察觉,容易诱发安全事故。多数化工企业数字化、智能化水平不够,很难透彻剖析数据并且达成智能化决策,资源调配与操作控制效率低劣。污染物排放控制技术陈旧,节能减排没有实现目标。这些问题引起化学工程流程运行效率、安全性与环保性能不佳,制约行业可持续发展。现今现实充分证实,流程优化与智能控制技术对于达成高效、智能、绿色化学工程流程极其关键。

## 3 智能控制技术发展原理

### 3.1 新型传感器与数据采集技术

新型传感器与数据采集技术为化学工程流程智能控制的基础,明显提高了智能化水平。依靠微电子、材料科学和信息技术的发展,传感器朝向高准确度、微型化、多用途、良好抗干扰能力方向进步。先进传感器可以连续监控温度、压力、流量、成分浓度等关键指标,给化学反应的即时调节供给可信数据。

数据采集技术充当传感器的延伸,借助高速传输与高效处理,达成工业现场数据的实时抓取与融合。依托工业物联网 IIoT 的数据采集方案于化学工程领域普遍使用,整合嵌入式系统、边缘计算和无线通信技术,能迅速汇聚并预处理分布式多节点数据,给智能算法决策供给支持。

新型传感器和数据采集技术具有自动校正和自动调节的功能,而且跟大数据分析紧密融合,让流程监控变得更加可信和迅捷,减少人工操作,给流程改进和动态调整带来硬件和数据上的强有力支撑,未来会在繁杂的工业环境里表现

出出色的适应能力<sup>[1]</sup>。

### 3.2 智能算法与动态调节机制

智能算法和动态调节机制是化学工程流程优化以及智能控制技术中非常关键的研究方向,重点放在如何让复杂工业系统的运作变得合理。借助人工智能和机器学习等技术手段,处理化工生产中产生的大量数据,构建出对应的数学模型,以便对关键参数进行准确无误的预测,并且及时进行必要的调整和改进,确保整体效果达到最佳状态。神经网络、模糊逻辑和遗传算法等技术方法,针对化工生产中的动态调节难题,表现出了很强的适应能力和灵活应对能力,通过搭建非线性系统模型,妥善处理工艺参数随时间变化或受到外界干扰的问题,保障生产过程的连续性和稳定性。动态调节机制中,模型建立的预测控制方法 MPC 可以实现系统变量的精准跟踪和迅速调整,将参数偏差控制在极小的范围内,确保生产安全。强化学习技术的应用,让自主调节能力有了很大的提高,使得化工系统可以根据环境的变化自行学习并改进运行策略,适应不同的生产需求。实际操作中,智能算法大大提升了工艺操作的稳定性和生产效率,同时为故障诊断和风险预警提供了坚实有力的技术保障,推动化学工程流程迈向更高层次的智能化目标,助力行业持续进步和发展。

## 4 系统集成与优化策略

### 4.1 自主决策系统架构

于化学工程流程优化内,自主决策系统架构为智能控制的核心,目的在于借助数据驱动和模型支撑达成高能、稳固、可信的工艺运行。该架构使用多层次协作规划,包括数据感知、信息融合、分析推理、控制执行四大功能模块。数据感知层运用新兴传感器连续监控工艺参数变动,给决策分析供给精确迅速的数据支持。信息融合层借助大数据处理技术,融合多源数据,构造全面的数据环境,给系统建模与趋势预测建立基础<sup>[2]</sup>。

分析推理层属于自主决策系统的最重要部分,结合了机理模型和智能算法,可以提前预判化学反应会怎样变化发展,制定出最合适的调整方案,还能很快发现不正常的情况。这个部分把神经网络、深度学习和模糊控制技术融合在一起,让处理复杂问题的能力变得更强,同时让系统更能适应各种不同的环境条件。控制执行层把做出的决定转变成具体的操作命令,利用 DCS、APC 这样的执行设备来完成闭环反馈调节的工作<sup>[3]</sup>。整个架构设计遇到了流程环节互相干扰和整体协调优化方面的困难,所以必须采用模块化的设计思路,不断改进软硬件之间的配合方式,还要提升算法的稳定性,确保系统能够可靠地运行,满足各种各样的应用场合需要。

### 4.2 实时监控与故障自诊方案

实时监控和故障自诊这两种技术在化学工程流程里面非常重要,主要通过先进的传感器技术和智能算法的结合来

实现。利用很多高精度的传感器分布在各个地方，可以收集到温度、压力、流速等关键数据，然后把这些数据以很高的频率传送到中央控制中心，再利用大数据分析技术来仔细检查生产过程的状况，确保一切都在正常范围内。故障自诊方案是通过深度学习和专家系统的结合，分析过去的数据和现在的异常信号，找出问题的根源，给出解决问题的建议，尽量减少因为经验不足而造成的麻烦。使用数字孪生技术进行虚拟仿真，也能提前预测可能出现的问题并发出警告，效果非常好。虚拟模型可以模拟真实的生产场景，帮助及时调整流程参数，防止问题扩散和恶化，保障整个生产过程的安全稳定。这样的改进方法让工艺流程变得更加可靠和灵活，同时还能降低非计划停工带来的经济损失，提升安全生产的标准，提供强有力的技术支持和保障<sup>[4]</sup>。

## 5 未来趋势与跨界融合

### 5.1 多学科协同创新路径

多学科合作创新对于化学工程流程改进和智能控制这个方向来说非常重要。不同学科之间的交叉融合带来了全新的研究方式和前沿的技术手段，让化学工程焕发出新的生机。化学工程走向智能化需要把多个领域的专业知识结合到一起，涉及计算机科学、控制工程、材料科学和环境生态等多个方面。

研制智能控制技术的时候，依靠人工智能算法和机器学习模型来提高化工生产决策的水平，通过分析数据和做出准确的预测来帮助改善生产过程中的运行方式和应对紧急情况的能力。材料科学领域的突破推动了新型催化剂和功能性材料的研究和开发，明显增强了化工生产的效率表现。环境科学领域的研究重点放在节约能源和减少污染的方法上，与化学工程领域紧密合作，致力于将废弃物转化为可利用资源，并且设计出更加环保的生产工艺流程方案，力求达到绿色发展的目标。

多学科协作不但促进研发创新，而且加快技术运用产业化转变。学科之间紧密沟通、一起成长，充实化学工程理论框架，拓展工艺改善技术领域，对产业升级和绿色发展给予强大支持。伴随协作体系持续健全，化学工程会向更加智能、环保的路径前进，展现出非常光明的发展态势<sup>[5]</sup>。

### 5.2 节能减排与环境保护效应

化学工程流程优化和智能调节技术的运用，让实现节

能减排和环境保护的目标变得非常关键。通过使用智能传感器和数据采集设备，可以准确掌握能耗和污染排放的具体情况，这样就能为调整能源使用的比例、减少废弃物的产生提供可靠的科学数据支持。智能计算模型可以根据实时变化来调节生产过程中的各项参数，从而减少资源的浪费，同时提升能源使用的效率。

于污染控制领域，应用自主决策系统可以实现废气、废水等污染源的精准辨识与量化管控，辅助化工企业制定更为高效的削减策略。依靠与大数据分析技术的协同作用，可以预测多种运行条件下的环境影响，从而规避潜在风险。智能化手段在掌控关键性污染指标、优化原料资源循环和推广环保工艺方面展现了显著效果。

流程优化和智能调控方法的应用明显加快了环保节能技术的紧密结合。把智能技术跟可再生能源利用融合起来之后，化工行业逐渐构建了对生态环境更为和谐的制造模式。这样的进步过程中，不但可以显著降低每一种产品释放的碳排放总量，而且给达成持久可持续发展的宗旨给予了关键支持。

## 6 结语

化学工程流程优化与智能控制技术的研究，给提高生产效率、确保安全生产及达成节能减排目标给予了强有力支持。借助新型传感器、智能算法及自主决策系统的运用，化学工程正在逐渐朝数字化、智能化转变。伴随多学科协同创新的深化，化学工程会更深入整合先进技术，扩展流程优化边界，促进产业升级与绿色转型。本研究不只给化工企业智能化改造给予了理论指导，亦给化学工程领域的持久创新与发展明确了方向。

### 参考文献

- [1] 张祖海.揭秘化学工艺流程题[J].科学大众:科学中考,2023,(05):31-33.
- [2] 李志伟.解读化学工艺流程题[J].中学生数理化:高一使用,2022,(05):47-48.
- [3] 刘兴鲁刘磊.化学工程节能中绿色化学工程工艺的促进作用[J].化工管理,2021,(30):40-41.
- [4] 王春柳.化学工程与工艺中绿色化学技术应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2022,(06).
- [5] 孙琴.化学工艺流程题的再认识[J].科学大众:科学中考,2021,(05):9-10.