

化工工艺参数优化对产品收率的影响研究

马宝亮

天津兴辰工程技术有限公司 天津 300400

【摘要】：化工工艺参数的稳定与改良是提高产品收率、维持生产平稳运行的核心要素。传统化工生产普遍存在参数波动幅度大、产品收率不稳定、原料利用效率低、生产批次品质差异明显等问题，文章依托工艺参数与产品收率的内在关联，探究温度、压力、流量、反应物浓度等核心指标对反应进程的影响规律及参数波动的形成机理。借助粒子群优化算法，搭建适配工业生产的多目标参数优化模型，兼顾生产收率、生产安全与生产成本，设置双向参数约束边界，构建完整的智能闭环优化生产体系。通过精细化工企业真实生产案例开展验证，智能参数调控模式可有效收窄参数波动区间，提升产品收率与成品合格率，减少生产能耗，降低设备故障发生频次。该研究可为化工企业优化生产工艺、控制生产成本、提升生产效益提供可靠的技术支撑与实践参考。

【关键词】：化工工艺参数；粒子群算法；参数优化；产品收率；智能制造

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.060

引言

化工生产存在多变量耦合、非线性、动态时变的固有特征，工艺参数的稳定状态与控制水平直接左右生产反应效率、成品品质以及化工企业的整体生产收益。传统人工调控模式中，设备运行状态、原料批次差异、现场环境条件都会干扰核心工艺参数，造成数值起伏波动，生产过程会出现副反应增加、原料消耗利用率偏低、成品产出比例浮动等各类问题，限制着化工企业标准化落地、规模化稳定生产的推进进程。智能化参数优化技术能够弥补传统生产模式的技术缺陷，是化工行业提升产品品质与运行效率的核心发展路径。文章探究工艺参数和产品收率之间的内在联系，构建适配化工场景的智能算法参数优化模型，依托实际工业生产案例检验模型应用效果，梳理适配现场落地的实操方案，可为化工生产参数调控、产能稳定提升提供可靠的技术参考依据。

1 化工工艺参数与产品收率的关联关系

1.1 关键工艺参数对反应进程的影响

现代化工连续化生产场景内，反应温度、系统压力、进料流量、反应物浓度四项核心指标主导整体化学反应进程，可从热力学、动力学、传质传热维度调控整体反应流程，左右物料转化效率与最终成品品质^[1]。温度数值的变化能够改变反应推进速度，偏低温度会造成原料反应不彻底，偏高温度易催生副反应与原料分解现象，削弱主产物产出比例。压力数值变动改变体系相平衡状态与分子碰撞频率，打乱生产既定的反应推进路径。进料流量出现偏差会改变物料停留时长与混合状态，造成反应不彻底、副产物增量等生产问题。反应物浓度失衡会扰动体系反应平衡状态，生成大量多余副产物。化工生产核心参数脱离最优运行区间，是造成产出波动与物料资源浪费的核心诱因。

1.2 参数波动对产品收率的作用机制

现代化工生产呈现多变量交织牵制、非线性变化、运行状

态实时变动特质，工艺参数起伏会以非线性传递、叠加增幅、逐步消减形式作用于产品产出比例，细微数值偏差伴随反应进程不断扩大，最终形成可观产出损失。参数脱离合理运行区间，主反应转化占比随之下降，副反应相继产生，原料消耗出现无谓消耗，产出数值出现初步回落。温度压力流量多项数值同步异动，生产工况互相干扰打乱物料停留时长分布，催化载体表面炭层增多活性逐步下降，主反应转化效能出现明显下滑。参数起伏加大反应容器输送管路承载压力，物料逆向混合局部组分分配比失衡等状况接连出现，各类生产潜藏问题不断积聚。数值长期脱离规范范围会让不同批次反应成效拉开差距，产出比例稳步下滑批次品质难以统一，企业稳定量产节奏遭到打破，原料与产能资源持续损耗，行业生产收益及规范管控标准受到实质性冲击。

1.3 参数优化与收率提升的内在逻辑

化工工艺参数优化与产品收率提升有着高度契合的内在逻辑，核心原理在于借助智能调控技术固定最优参数区间，使反应体系保持热力学平衡、动力学速率与传质效率兼备的优良工况，从生产源头控制收率产生的损耗。传统生产模式中的参数会出现无序波动，破坏反应体系的运行平衡，打乱主副反应的竞争状态，多数原料会参与无实际作用的副反应，生产转化效率与产物生成比例随之降低，产品收率无法契合生产标准^[2]。参数优化能够稳固整体反应运行状态，适配物料配比、温度、压力等多项生产条件，减少副反应的发生，提高目标产物生成占比与原料使用效率。稳定的生产工况能够减弱温度、压力突变引发的催化剂消耗问题，拓展催化剂高效工作时长，维系反应体系的高效运行状态。这类优化手段能够改善传统生产中收率波动、原料消耗过高、各生产批次差距明显的短板，让产品收率提升与生产稳定运行同步实现，成为化工领域低投入、高成效提升产品收率的核心技术方式。

2 基于智能算法的化工工艺参数优化模型构建

2.1 收率导向的参数优化目标函数设计

本次研究将产品收率最大化设为核心目标，打破传统单一工况优化模式存在的固有局限，结合化工生产安全准则、生产成本管控、生产运行效率三项核心维度，搭建多目标协同优化的工艺参数目标体系，贴合工业现场各类实际生产场景。整套优化体系围绕产品收率提升展开搭建，生产安全与成本管控设置为硬性约束条件，规避片面追求高收率过程中产生的生产隐患与成本上涨问题。研究依托案例企业长期积累的现场工况、产品质检及能耗各类数据完成数据分析与权重拟合，坚守收率优化的核心主导地位，兼顾生产运行的安全属性与经济属性。多维度指标的相互适配能够弥补单一维度优化存在的片面缺陷，搭建适配性强、体系完整的优化框架，遵循收率提升为主、安全底线保障、经济适配生产的核心原则，可为工艺参数智能迭代、产品收率提升提供规范的判定标准与运行支撑，保障优化所得结果能够落地实施、重复运用、适配各类现场生产工况（见图1）。

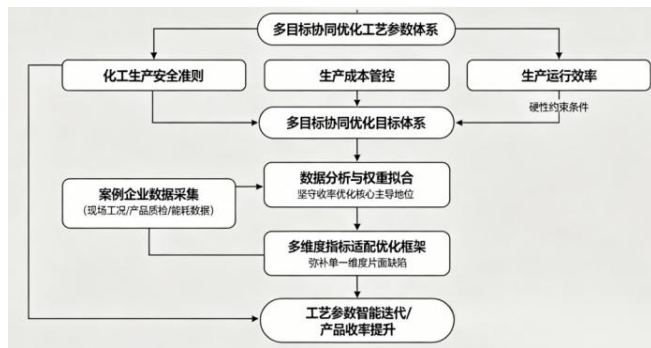


图1 收率导向的参数优化目标函数设计

2.2 工艺参数约束条件与边界设定

智能算法寻优贴合工业实际落地条件，模型采用硬约束与软约束结合的双层管控模式划定参数运行范围，规避脱离现场工况的无效优化结果，兼顾生产安全与产品收率同步提升。设备性能标准与安全生产规章构成不可逾越的硬性管控底线，涵盖反应器极限承压、进料系统峰值通量、反应物基础有效浓度等核心指标，参数超限会引发设备损毁、反应失效及安全事故。企业海量生产数据拟合形成收率最优运行区间，覆盖温度、压力、浓度等关键工艺参数。模型对核心工艺参数设置差异化管控标准，参数偏离最优区间可自主修正运行偏差，引导参数趋近高收率工况，实现生产安全与生产品质提升的双向平衡。

2.3 智能算法优化流程与模型实现

本次参数优化模型依托粒子群优化算法搭建核心技术体系，凭借算法全域搜索能力强、迭代运算高效、适配复杂生产场景的优势，落地收率导向的智能化参数优化应用。模型运行阶段将温度、压力、流量、反应物浓度作为核心优化单元，随机生成并整理多组初始参数组合，搭建完善的参数寻优数据体

系。依托多目标协同评价标准量化各组参数的产出水平、安全系数与经济收益，筛选优质参数配置方案。迭代过程持续更新参数组合，剔除低产出、高风险、高能耗的劣质方案，收敛得到适配现场工况的最优参数体系。模型搭建完整闭环运行链路，对接现场DCS系统输出实时调控指令，完成工艺参数自动化调节，实现智能算法从理论架构到工业实际应用的完整转化。

3 工艺参数优化对产品收率的影响效果分析

3.1 关键参数优化前后收率变化对比

本文选取某精细化工企业作为研究实例，比对工艺参数优化前后的现场生产数据，检验智能参数调控手段对生产效能的提升效果。企业传统人工调控模式下，反应温度、系统压力、进料流量各类参数浮动区间宽泛，生产工况整体稳定性不足，原料反应不充分、副产物过量生成的现象频繁出现，产品合格占比与生产收率处于较低水平，生产效益的上升空间受到限制^[3]。粒子群优化算法应用于工艺参数调控后，各项核心生产参数的浮动区间得到有效收拢收紧，生产过程中的反应偏差问题得以妥善解决。现场实测生产数据表明，企业产品合格比例从92%提升至97%，整体产出效率上涨五个百分点，生产事故发生概率从2.5%回落至0.5%，稳固生产安全基础的同时，产品生产体量与整体品质获得实质性提升。

3.2 参数稳定性对收率波动的控制效果

工艺参数稳定性是保障各批次产品收率统一、减少生产损耗的核心关键，智能算法参数优化可有效解决人工调控工况波动大、稳定性差的行业共性问题。传统生产依托人工经验调控参数，设备老化、原料批次差异、环境温度湿度变化等因素，都会引发参数波动，优化前企业进料流量波动可达±50L/h，反应时间区间跨度大，各批次反应进程差异显著，收率波动大、批次一致性差，不符合标准化生产要求。粒子群算法自适应调控模式可实时修正参数偏差，将流量波动压缩至±20L/h，固定反应时间在优质区间，大幅降低参数离散程度，规避反应失衡、物料混合异常等问题，将产品收率相对标准偏差控制在1.5%以内，实现各批次稳定高产。

3.3 优化后生产效率与收率协同提升情况

工艺参数智能化优化不仅能够提升产品收率，还可实现生产效率、成本管控、安全生产多维协同升级，为企业创造综合经济效益。案例企业完成智能优化改造后，稳定的生产工况大幅降低设备冲击负荷与异常损耗，月度设备故障次数从8次降至2次，有效避免设备停机导致的产能中断与收率损耗。设备运维压力同步降低，年度维修成本从15万元降至5万元，大幅缩减生产运维开支。同时，精准的参数调控优化了能量利用结构，减少无效能耗，单位产品能耗由350kW·h/t降至300kW·h/t，能源利用率显著提升。整体构建起稳定、高效、

低耗、安全的生产体系，实现提质、降本、增效的良性生产循环。

4 提升产品收率的工艺参数优化实施策略

4.1 工艺参数实时监测与数据采集

精准实时的数据采集与工况监测，是工艺参数优化、提升产品收率的基础前提。传统人工定时采样、离线检测模式存在数据滞后、采样间断、人为误差大等弊端，无法满足精细化参数调控与高生产需求^[4]。企业需搭建大数据+人工智能智能监测平台，在反应器、进料系统等关键生产节点布设高精度传感设备，接入自动化监控系统，实现24小时不间断实时采集工艺参数、设备状态、产品质检及能耗数据，替代低效人工监测，杜绝数据缺失、滞后和误差问题。系统可自动存储、清洗、分析海量生产数据，搭建标准化参数数据库，挖掘参数与收率的内在关联，为算法迭代、参数动态修正、工况精准调控提供可靠数据支撑。

4.2 收率最优参数区间动态调整

化工生产属于动态复杂的工业流程，原料批次更替、环境温度湿度波动、设备老化损耗等可变因素持续干扰现场反应工况，固化的参数区间难以适配全周期生产运行，无法长期维持理想的产品收率水平。企业可搭建收率最优参数区间的动态调整机制，结合行业规范标准、设备运行极限与现场生产经验划定基础参数边界，构建数据反馈、偏差研判、动态修正的闭环调控体系。智能监测平台收录的实时生产数据可用于比对实际工况参数与最优收率区间的差值，精准甄别工况适配存在的各

类问题。各类生产干扰场景出现时，系统可自主微调温度、压力、流量等核心参数的运行范围，参数出现偏移问题可触发预警并生成调控指令，快速矫正工况偏差，突破固定参数模式的运行局限，让生产体系始终维持收率最大化的优良运行状态。

4.3 智能算法在参数优化中的应用升级

基础粒子群优化算法仅适配常规稳态工况参数寻优，复杂动态化工工况下适配性、预判能力与寻优精度存在明显不足，具备较大的迭代升级与技术融合空间。企业可依托原有算法框架，结合机器学习、自适应控制与大数据预判技术，构建多算法融合智能优化体系^[5]。依托海量历史数据与实时传感数据完成工艺参数自适应预判优化，算法可自主学习不同工况下参数、收率与设备状态的关联规律，提前识别温度偏移、压力波动等隐患并微调参数，完成被动修正向主动预判调控的模式转变。设备时序数据的分析可识别潜在设备故障，规避收率波动问题，迭代优化算法参数，持续提升算法寻优精度与工况响应速度。

5 结语

本文系统探究核心化工工艺参数对产品收率的作用机制，厘清参数波动引发收率损耗的内在原理，搭建依托粒子群算法的多目标工艺参数智能优化模型。工业实例验证表明，智能化参数优化能够稳固生产工况状态，收窄各类参数波动区间，改善产品收率与批次生产稳定性，减少生产能耗、设备故障频次与运维投入，达成生产安全与经济收益的同步提升。研究梳理参数监测、动态调优、算法升级的完整实施路径，妥善化解传统化工生产模式存在的各类技术短板与生产难题。

参考文献：

- [1] 于鹏.化工工艺参数优化对安全生产的影响[J].当代化工研究,2025,(22):179-181.
- [2] 付正,高岩.利用大数据与人工智能优化化工工艺参数研究[J].塑料工业,2025,53(07):196.
- [3] 胡勤亮,黄刚刚,陈兆虎.化工工艺参数优化对安全生产的影响研究[J].化工管理,2025,(15):148-151.
- [4] 孙喜滨,杨国辉,吴兆仁.基于过程模拟与优化的化工工艺改进方法研究[J].辽宁化工,2024,53(07):1126-1129.
- [5] 栗莉.化工工艺设计中过程模拟优化的应用研究[J].现代盐化工,2022,49(05):75-77.