

# 分离纯化技术创新对化工工艺运行稳定性的影响研究

李鹤鸣

辽宁工业大学 辽宁锦州 121001

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21200

**[摘要]** 分离与纯化是化工生产的核心工序，直接关乎生产安全、产品质量与生产成本，操作稳定性为化工工艺管控的重中之重。在化工产业智能化、绿色化转型背景下，传统分离技术能耗高、抗干扰能力弱，难以适配复杂物料加工需求。各类新型分离纯化技术逐步实现工业化应用，为工艺优化提供支撑。本文以操作稳定性为研究核心，剖析技术创新赋能工艺稳定的内在机理，归纳目前技术应用的现存痛点，制定配套优化调控方案，展望行业发展趋势。本文从工艺、设备、智能管控维度，系统阐述技术创新对工艺稳定性的作用机理、现存问题与优化路径，为化工企业稳定生产、技术迭代提供理论参考。

**[关键词]** 化工工艺；分离与纯化；技术创新

## 引言：

化工产业是国民经济的支柱产业，涵盖石油化工、精细化工等各个领域，分离纯化衔接反应和精制单元，是控制产品纯度、防止生产隐患的重要环节。操作稳定性是衡量化工生产工况好坏的标准，是反映生产系统抵抗外界干扰、保持参数恒定的能力。传统的蒸馏、萃取等分离技术已经比较成熟，但是存在着明显的不足，传统蒸馏、萃取工艺成熟但短板显著，处理高腐蚀、多组分、物性波动大的物料时，易出现传质不均、效率下降、工况波动等问题。

伴随着智能技术、新材料的发展，膜分离、微化工分离等新的分离技术不断涌现，但是部分企业盲目引进新型工艺与设备，因与现有体系适配性不足，易导致运行稳定性下降。

## 一、分离纯化技术创新赋能工艺稳定的内在逻辑

### 1.1 革新传质机制，夯实工况平稳基础

传质是分离纯化的主要物理过程，传质均匀程度直接影响化工工序运行的平稳性。传统的分离技术依靠宏观流体扩散实现组分分离，传质路径长、流体接触随机性强，容易造成局部物料富集、传质不均等问题，进而导致塔器泛液、分离界面不清、分离效率骤降等异常工况的发生。现代创新分离技术利用改变微观结构来重新塑造出一种新的传质体系，通过微通道、规整填料等强化微观混合，优化流体流态，从而减少扩散距离，降低湍流引起的扰动。该类技术可以稳定地保持层流传质状态，削弱物料物性波动对分离工序造成的不良影响，从根本上保证生产工况的稳定，保证分离工序长期稳定运行。

### 1.2 优化设备架构，强化波动抵抗能力

分离纯化设备是工艺运行的硬件载体，结构设计、材质选择、装配精度等都会影响到操作的稳定性。传统的化工分离设备结构简单，内部存在流动死角，造成物料滞留和杂质堆积，长时间连续工作就会产生堵塞、腐蚀、介质渗漏等各种常见的故障。技术创新以流体力学为视角对设备内部结构加以改善，通过流场模拟优化导流、稳压、密封结构，提升流态稳定性与密封可靠性。

行业普遍采用耐高低温、强耐腐蚀复合材料，适配复杂化工工况。经过硬件全方位优化后，设备对于压力、温度、流量的波动能够接受并稳定工作，在生产系统上也具备了更好的抗干扰性。

### 1.3 集成智能调控，实现动态稳定管控

化工连续生产具有动态变化的特性，物料组成、环境温度、设备老化磨损等都会引起工艺参数的变化，进而影响到分离工序。传统人工调控响应滞后，难以实时匹配工况动态变化。运用技术创新与自动化传感、智能控制技术相结合的方式构建起一体化的动态管控平台，并借助高精度的传感元件对运行数据进行持续采集，依托智能算法实现工况波动的提前预判与动态补偿。系统可以自动生成进料速度、分离压力、加热温度等各个参数，使整个过程得到准确的控制。智能集成模式可以很好地克服人工控制的不足之处，将工况变化保持在一个安全范围内，从而保障生产的顺利进行，不会被工况所影响。

## 二、化工分离纯化创新技术应用稳定性现存症结

### 2.1 工艺耦合失衡, 系统适配程度不足

目前我国绝大部分的化工企业都是采取新旧工艺并存方式生产的, 创新的分离单元同上下游的生产模块之间不能有效地衔接起来, 从而导致工艺的耦合失衡。部分企业没有按照自身的物料特性以及生产能力来确定工艺的匹配程度, 任意引进高端分离设备, 管线匹配不当易引发压力、流速突变, 诱发系统振动与负荷冲击。耦合分离工艺没有联动控制逻辑, 各个单元的运行速度不一样, 物料分配不均易导致局部负荷过载, 触发安全保护装置频繁动作。高粘度、共沸类复杂的物料企业对于专项处理流程的优化没有做出调整, 而物料物性突变又加大了工艺矛盾的强度, 生产连续性受到了严重的负面影响。

### 2.2 设备运维滞后, 硬件损耗诱发波动

创新型分离设备精度高, 内部结构繁杂, 运维保养标准要求高, 国内化工企业普遍存在运维管理滞后的情况。膜组件、微通道等精密结构易受物料杂质污染, 长时间使用就会造成堵塞现象。大部分企业没有形成常态化的清洗制度, 造成设备阻力增大、分离效果变差、压力不稳定。高温、强腐蚀环境中的构件老化速度快于常温、常压环境的构件, 运维人员无检测排险意识时易产生密封不严、介质泄漏的现象。专用备件储备不足、采购周期长, 故障维修耗时久, 都会使生产受到限制, 产生不稳定的运行状况。

### 2.3 调控体系缺陷, 参数管控精度偏低

智能调控体系对于保证分离工艺的正常运转起到了非常关键的作用, 不过目前行业内还存在着许多问题。企业监测点位布置不合理, 监测点位多集中于进出口宏观参数, 缺乏对设备内部流量、浓度、温度等微观参数的实时感知, 不能准确地捕捉到微小工况的波动。通用控制算法难以适配高杂质、强腐蚀物料体系, 易出现校正频繁、调节滞后等问题。参数校正过多、调节滞后等问题时有发生, 小幅度的波动就会引起工况的振动。由于没有建立人机联动机制, 对企业的不良影响越来越大。

### 2.4 人员素养欠缺, 技术落地适配性弱

新型分离纯化技术是多学科知识的综合应用, 对从业人员的综合素质要求很高, 行业人员的能力参差不齐, 导致技术不能稳定地落地。基层操作人员对膜分离、新型精馏等技术原理及风险点认知不足, 从而引发因参数调节失误或者操

作规程执行不周等原因的操作失误情况时有发生。技术人员没有系统的工艺思维, 在物料变化时不能作出正确的生产计划改变, 故障发现与排除的能力差。企业培训制度不健全, 培训侧重基础操作, 对故障预判、稳定性管控等能力培养不足, 导致人员的素质难以达到精密化工设备运行的需求, 而造成工艺稳定运行的人为原因。

## 三、提升创新分离纯化技术操作稳定性的优化策略

### 3.1 优化工艺流程, 构建协同耦合体系

对于化工生产过程中普遍存在的一种工艺耦合失衡状况, 企业应当重视全过程的协同, 构建一体化协同生产体系。正式投产前技术人员要对物料的粘度、腐蚀性、组分组成做详细的理化分析, 并结合生产线产能、上下游工艺参数做严格的适配性评价, 杜绝盲目引进新型分离设备, 对共沸混合物、强腐蚀原料, 制定差异化分离工艺方案。在物料传输管线的重要部位安装缓冲罐、稳压阀、节流装置, 减小物料传输流速, 减小单元衔接处压力突然变化。利用集散控制系统的设定, 对各个分离单元的负荷进行准确的设定, 合理的分配进料流量, 减少冗余的重复提纯工序, 从而降低系统的能耗以及负荷, 达到反应、分离、精制全流程平稳联动、协同运行的目标。除了使用流程模拟软件对生产工况做前置的仿真测算外, 还要对冷热介质的交接、物料换向的输送过程进行预判, 分析出其波动的误差情况, 再将这些影响因素进行计算后, 为塔器、分离器等重要设备的负荷匹配提供依据。建立工序联动联锁机制: 当上游反应单元转化率波动时, 下游分离单元可提前微调进料配比与处理负荷, 避免系统震荡。采用模拟预判和动态联锁相结合的控制方式, 工艺耦合适配性得到明显提高, 工艺耦合适配性显著提升, 从流程层面最大限度规避工况失稳风险。

### 3.2 完善运维机制, 降低硬件损耗干扰

为减小由于硬件损耗而给工艺稳定性带来不良影响, 企业要创建精细化的、标准化的、常态化的设备运维管理制度。根据设备运行工况、物料腐蚀强度、生产时长来制定分级养护方案, 对膜组件、微通道等容易堵塞的精密部件采用离线溶剂清洗、在线反向冲洗相结合的方式清洁, 定期清除表面附着的杂质和沉积物。高温、腐蚀环境下每月开展超声波测厚、气密性检测, 及时更换腐蚀、老化的密封件与管件。建立电子运维台账, 对设备开机时间、故障种类、检修方案

进行记录, 并利用大数据技术分析损耗的规律。

在此基础上, 企业需要将设备运维风险等级划分清楚, 精密分离构件、承压管件、密封连接部位列为高风险巡检点, 执行日巡检、周复盘、月检修制度。使用设备振动监测、温度红外测温等无损检测方法对设备进行全面检查, 可以及时发现设备存在的问题, 消除隐患, 防止由于零部件突然损坏造成非计划停机。

### 3.3 升级调控系统, 精准管控工艺参数

为解决智能调控精度差的问题, 必须对监测布点、算法改进和人机协作这三个方面进行系统的升级。对物料拐点、塔器内、分离膜组件等部位装设高精度压力、浓度、温度传感器, 对微观工况数据进行全方位、无盲区的采集。技术人员按照企业的物料特点来制定专用的调控算法, 修正通用模型的调控偏差, 从而达到提高动态响应速度的目的, 有效地避免了超调震荡问题。设定分级调节阈值: 小幅波动由系统自动调控; 超阈值波动触发光声报警, 为人工处置预留充足时间。创建可视化的大屏幕系统, 实时展示流速、浓度、压力等关键参数, 便于操作人员快速识别异常。企业可以加入数据溯源、曲线分析的功能, 把温度波动、压力脉动、流量偏移等参数的历史曲线进行对比, 找出波动的源头。根据化工生产的滞后性、非线性、强耦合等特点, 采用模糊自适应控制算法提升系统抗干扰能力, 抑制参数连锁波动, 避免单参数调节引发连锁波动。健全控制分级权限, 一般工作人员只能对设备进行基本调节, 只有具备专业技术能力的技术管理人员可以进行系统参数的调整以及算法修正等工作内容, 保证智能系统的稳定运行。

### 3.4 强化人才培育, 夯实技术应用根基

人才是科技创新技术稳定的保障, 企业应当形成层级分类、科学规范的人才培育体系。为了指导一线人员正确开展设备实操、参数操控、基础故障排查类日常培训工作, 重点对新型分离设备关键风险部位、禁止操作项目等进行说明, 并规范启停、调节参数、设备清洁等操作流程, 减少由于人为因素造成的操作失误。

加强校企合作定向引进化工专业高学历、高技能人才, 定期组织开展企业导师制技术人员到标杆企业开展学分互认、实训观摩等交流活动。创建科学完善的绩效考核制度, 工况稳定、故障处理效率作为考核标准, 用奖惩制度来提高

人员的责任感, 培养高素质自动化运维与技术管控队伍。企业要搭建内部技术研讨平台, 定期召开异常工况复盘会, 梳理波动成因并编制故障处理手册, 这样就可以达成经验交流、立即对标的作用。健全师徒帮带制度, 由老手带新人, 加强实操落地的能力。另外还要对安全生产、稳定性控制进行专门的考核, 将人为失误率、设备维保完成率、异常响应时效等指标纳入绩效考核体系, 从各方面来制约人员的作业行为, 筑牢化工工艺平稳运行的人力保障防线。

## 四、结语

分离纯化技术创新依靠优化传质方式、改良设备结构、集成智能管控, 有效改善化工工艺运行稳定性。本文研究表明, 现阶段创新技术应用普遍存在工艺耦合失衡、设备运维滞后、调控精度不足、专业人才匮乏等问题, 多维度制约生产平稳性。未来分离纯化技术将向智能化、绿色化、集约化方向发展, 行业需深耕材料研发与算法优化, 完善行业应用标准。化工企业应摒弃粗放生产模式, 统筹技术创新与工况管控, 在保障安全稳定的前提下实现提质增效, 助力化工产业高质量可持续发展。

## [参考文献]

- [1]江宽. 碳中和背景下绿色化工技术的创新路径研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2025, (07): 59-62.
- [2]高海明, 李品, 徐红新. 复杂化工工艺流程的模拟与优化方法探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(13): 112-114.
- [3]薛苗, 赵丹丹, 徐晓兰, 等. 精细化工工艺技术提升及安全管理对策[J]. 石化技术, 2025, 32(07): 351-353.
- [4]王玉申, 李洪坤, 盖帅, 等. 分离与纯化技术创新在化工工艺中的操作稳定性[J]. 广州化工, 2025, 53(11): 190-192.
- [5]胡海龙, 呼延超颖, 徐利民. 新型医用压缩空气纯化处理技术与性能评价[J]. 医用气体工程, 2024, 4(05): 18-22.
- [6]周凡, 张银霞. 电子级过氧化氢的纯化技术及其市场发展现状分析[J]. 中国化工贸易, 2026, 18(01): 10-12.
- [7]李孟, 张靖柯, 孙彦君, 等. 中药化学实验课程虚实融合教学模式探索——以“虎杖中大黄素的分离纯化”为例[J]. 中国教育技术装备, 2025, (22): 123-127.