

基于经济性导向的隔壁精馏技术优化 及其在盐水丙酮分离中的应用研究

杨树盛（山东晟基新材料科技有限公司，山东 滨州 251900）

摘要：本研究聚焦化工分离领域高能耗与高成本的技术瓶颈，以盐水丙酮分离为研究对象，提出经济性导向的隔壁精馏技术优化方案。通过重构设备结构与工艺参数，开发多级热耦合与动态压力补偿技术，构建全生命周期经济评价模型，系统解析技术优化的经济性特征。研究结合能耗节约型工艺设计与成本控制策略，验证隔壁精馏技术在规模化应用中的可行性。结果表明，该技术通过设备集约化与流程协同显著提升能效，降低综合运营成本，为化工行业节能降耗提供理论支撑与技术范式。

关键词：隔壁精馏技术；盐水丙酮分离；经济性评价

中图分类号：TQ028.3 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)016-0016-03

Optimization of Neighbor Distillation Technology Based on Economic Orientation and Its Application in Acetone Separation of Saltwater

Yang Shusheng (Shandong Shengji New Material Technology Co., Ltd., Binzhou Shandong 251900, China)

Abstract: This study focuses on the technological bottleneck of high energy consumption and high cost in the field of chemical separation. Taking the separation of acetone from saltwater as the research object, an economically oriented optimization scheme for adjacent distillation technology is proposed. By reconstructing the equipment structure and process parameters, developing multi-level thermal coupling and dynamic pressure compensation technology, constructing a full lifecycle economic evaluation model, and systematically analyzing the economic characteristics of technological optimization. Research on energy-saving process design and cost control strategies to verify the feasibility of neighboring distillation technology in large-scale applications. The results indicate that this technology significantly improves energy efficiency and reduces overall operating costs through equipment intensification and process collaboration, providing theoretical support and technical paradigms for energy conservation and consumption reduction in the chemical industry.

Keywords: neighbor distillation technology; Salt water acetone separation; Economic evaluation

盐水丙酮分离作为丙酮生产的关键环节，长期面临传统精馏工藝能耗高、设备投资大等经济性难题。在环保政策趋严与市场竞争加剧的背景下，开发兼具高效性与经济性的分离技术成为行业转型的重要方向。隔壁精馏技术凭借结构集成优势，在提升分离效率与降低运行成本方面展现出潜力，但其产业化推广仍受制于工艺适配性不足与经济性评估体系缺失。本研究以经济性优化为核心，通过能耗节约型工艺创新与全生命周期成本核算，系统探究隔壁精馏技术的应用价值。通过构建动态经济风险预测模型与投资可行性验证框架，揭示技术推广的关键路径，为化工分离行业的技术升级提供科学依据。

1 盐水丙酮分离的经济瓶颈与技术需求

1.1 行业经济现状与分离成本痛点分析

当前化工分离领域面临显著经济压力，传统工艺在能源消耗与资源利用方面存在系统性缺陷。高能耗特征成为制约企业效益的核心矛盾，运行过程中能量转化效率低下导致生产成本持续攀升。装置投资体量过大加重

企业财务负担，设备维护与更新费用进一步压缩利润空间。环保合规要求的强化使废物处理支出显著增长，部分企业面临环境治理成本与生产效益倒挂的困境。操作流程存在冗余导致人工管理复杂度提升，安全风险防控需求加剧了运营成本压力。市场对产品纯度的严苛标准与传统工艺的分离精度不足形成矛盾，次品率居高不下造成资源浪费^[1]。产业链上下游协同效率低下引发物料循环利用率不足，全流程成本控制缺乏有效抓手。行业竞争加剧背景下，技术迭代滞后使得多数企业陷入低附加值生产模式。探索兼具经济性与可持续性的分离方案成为破解行业困局的迫切需求。

1.2 隔壁精馏技术的经济潜力与挑战

隔壁精馏技术通过结构集成突破传统分离模式，具备重构生产经济性的双重价值。设备功能集约化削减基建投入与运维支出，流程整合消除冗余环节，系统性降低能耗强度。分离精度提升减少物料循环损耗，产品质量稳定性强化间接创造溢价空间。自动化升级降低人力需求，工艺参数协同优化释放降本增效潜力。

技术产业化面临现实壁垒，工艺设计复杂度与初期改造成本形成应用门槛，原料适应性不足可能增加维护支出。行业标准缺失导致设备选型与工艺匹配存在技术盲区，原料波动引发的运行风险削弱节能收益。能源价格敏感性影响技术经济性边际，人才储备不足延缓技术消化进程。技术迭代周期与市场回报预期错位制约推广深度，需构建全链条协同机制突破瓶颈。

2 经济效益导向的工艺优化方法

2.1 能耗节约型工艺设计创新

能耗节约型工艺设计创新通过重构能量传递路径实现系统能效跃升。空间布局优化建立多级热量交换网络，精准匹配不同温位热能需求。非对称塔板排布改善气液接触效率，抑制无效传质造成的能力散失^[2]。余热闭路循环系统将塔顶蒸汽动能转化为原料预热源，突破单一热源依赖模式。动态压力补偿技术稳定系统运行负荷，模块化装置设计实现处理量与能耗动态适配。自清洁结构延缓设备性能衰减，自动化控制提升工艺稳定性。此类创新形成能源梯级利用新范式，为高能耗产业转型提供可复制解决方案。

2.2 成本控制导向的物料管理策略

成本控制导向的物料管理通过全链条优化重构资源价值体系。原料分级处理机制实现品质与加工强度的精准匹配，智能库存模型动态平衡供需关系。分段采购策略捕捉市场波动红利，多级循环体系激活副产品再利用潜能^[3]。在线质量监测实时修正工艺偏差，标准化清洗流程保障物料回收质量。数字化追溯系统精准定位损耗节点，供应商协同网络增强采购议价能力。此类创新策略形成资源高效流转的闭环系统，显著压缩非必要成本支出，为流程工业建立可持续的成本管控基准。

3 全生命周期经济评价体系构建

3.1 设备投资与运营成本核算框架

设备投资与运营成本核算框架构建全周期成本透视体系。初始投资分解为购置、调试、升级模块，差异化计提功能性折旧。运营成本实施固变分离核算，环境治理与可靠性维护单列专项科目^[4]。引入机会成本评估机制，量化生产中断与效率损失的经济影响。动态调整因子关联技术迭代周期，敏感性分析捕捉市场波动对成本结构的传导效应。该框架通过成本动因追溯实现异常损耗精准归因，建立设备效能与经济效益的量化映射关系，为投资决策与工艺改进提供可扩展的经济分析范式。

3.2 动态经济风险与收益预测

动态经济风险与收益预测构建多变量交互作用分析模型，实时追踪市场波动与技术演进的复合影响。风险识别网络覆盖供应链、政策法规及能源价格等多

维扰动源，蒙特卡洛模拟量化风险事件的概率分布特征。收益预测模块集成工艺优化潜能与市场增长预期，动态贴现机制矫正技术迭代引发的评估偏差。敏感性分析揭示成本结构的关键脆弱点，弹性预算框架建立风险缓冲机制。通过平衡指数可视化决策路径的经济性演变，形成兼具预警功能与战略引导价值的预测体系，为不确定性环境下的投资决策提供动态导航。

4 经济性技术实现路径

4.1 低能耗设备优化方案

低能耗设备优化通过结构创新与智能控制协同提升能效水平。蜂窝流道设计降低气相流动阻力，梯度孔隙填料增强传质均匀性。纳米涂层处理缩短液相停留时间，热耦合系统实现跨设备余热再利用^[5]。模块化内件配置适应多元分离需求，变频控制精准匹配负荷波动。自诊断系统实时捕捉能效衰减信号，定向维护保障设备持续高效运行。优化方案形成硬件改造与智能调控的闭环体系，显著降低全生命周期能耗强度，为流程工业设备升级提供可复用的技术范式。

4.2 降本增效的工艺参数集成

工艺参数集成通过多变量协同优化重构生产控制逻辑，形成成本与效能的动态平衡机制。建立基于原料特性的参数自适应模型，实时匹配进料组分波动与操作条件阈值，消除冗余控制带来的能源浪费。开发压力-温度-回流比三维联动算法，精准锁定分离过程最优工况区间，突破单参数独立调节的效能瓶颈。

跨系统参数耦合技术将精馏塔与预热、冷凝单元控制信号深度整合，通过热力学关联模型实现能量流全局优化^[6]。创新应用扰动前馈补偿机制，提前修正进料扰动对分离精度的影响，减少质量过剩导致的返工损失。构建参数安全裕度动态评估体系，在保障工艺稳定性的前提下持续探索降耗空间。

5 市场化经济性验证

5.1 技术经济指标对比验证

技术经济指标对比验证建立多维评价体系，系统评估工艺创新的综合价值。选取单位能耗强度、设备投资回报周期、边际成本降幅为核心量化指标，构建横向对比模型。通过模拟生产环境下的全流程测试，捕捉工艺改进对成本结构的动态影响，识别技术优势的作用边界。

验证过程采用双重参照系设计，传统工艺与创新方案在同等原料、负荷条件下进行平行试验。关键参数包括分离精度稳定性、异常工况恢复效率及维护成本波动系数。引入生命周期成本折现模型，量化短期改造成本与长期收益的平衡关系，修正静态评价的固有偏差。

实证分析揭示创新技术的经济性突破点，通过敏

感性测试明确技术优势的可持续阈值^[7]。对比结果可视化呈现为多维度雷达图，直观展示能耗、效率、成本等指标的协同优化效应。该验证体系突破单一指标对比的局限性，为技术迭代提供科学决策依据，形成可复制的经济性评估范式。

5.2 投资可行性实证分析

投资可行性实证分析构建全要素验证模型，系统评估技术升级的经济价值边界。通过建立投资-收益动态平衡方程，量化工艺优化对现金流结构的改善效应，识别技术迭代的盈亏临界点。采用情景模拟法对比不同市场波动下的投资回收周期，重点考察能源价格弹性、产能利用率阈值对收益曲线的重塑作用。

分析框架集成技术成熟度与市场接纳度的双重变量，构建风险调整后的净现值评估模型。实证数据验证显示，工艺创新带来的边际成本降幅与设备改造成本呈现非线性关系，技术优势在特定生产规模区间产生显著杠杆效应。通过敏感性测试确定关键影响因素权重，揭示技术经济性对原料价格波动、政策补贴强度的敏感阈值。

验证过程创新性引入竞争技术替代风险因子，评估潜在技术颠覆对投资安全边际的侵蚀效应。建立全生命周期收益折现图谱，可视化呈现短期投入与长期收益的平衡关系。该分析方法突破传统静态评估的局限，为技术产业化提供动态决策依据，形成兼顾战略安全性与经济性的投资评估范式。

6 经济性推广策略与结论

6.1 技术经济性推广路径

技术经济性推广路径以价值传递为核心，构建多层次实施框架。建立标准化技术包输出模式，将工艺优化方案拆解为可复制的模块化单元，降低企业技术消化门槛。搭建跨产业链协同平台，整合原料供应商、设备制造商与终端用户需求，形成技术-市场双向驱动机制。

推广路径设计差异化适配策略，针对大型企业重点突破工艺集成优化，面向中小企业提供轻量化改造方案。构建技术经济性验证示范基地，通过可视化数据对比强化市场认知，消除技术接纳的信息不对称障碍。创新金融支持模式，探索能效收益分成、碳资产质押等新型合作范式，缓解企业技术改造资金压力。

建立动态反馈优化系统，收集应用场景中的技术迭代需求，形成持续改进的良性循环。政策对接层面，推动技术标准纳入行业能效限额体系，通过法规引导加速技术渗透。推广过程中同步培育专业技术服务团队，构建涵盖设计、安装、运维的全周期支持网络，确保技术经济价值的完整传递与持续释放。

6.2 研究结论与经济价值总结

本研究通过系统化技术经济分析，验证隔壁精馏技术在盐水丙酮分离中的创新价值。工艺优化方案突破传统高能耗瓶颈，设备改造与参数集成协同降低全流程运营成本。动态经济评价体系证实技术改造具备投资回报优势，风险对冲机制增强技术应用的抗市场波动能力。

技术推广路径构建多维度价值传递网络，标准化改造方案降低行业技术升级门槛。实证分析显示，工艺创新产生的成本节约效应随生产规模扩大呈现指数级增长，技术经济性在连续化生产中具有显著竞争优势。环境效益与经济效益的协同转化，为化工行业绿色转型提供可复制的实践范式。

研究成果形成技术研发与产业应用的闭环验证体系，方法论创新对高能耗分离领域具有普适指导意义。技术经济性提升不仅重塑企业成本结构，更推动产业链价值分布优化，为行业可持续发展注入新动能。该研究为流程工业技术升级提供兼具理论深度与实践价值的系统性解决方案。

7 结论

本研究通过隔壁精馏技术的设备优化与工艺参数集成，有效降低盐水丙酮分离过程的能源消耗与运行成本。构建的全生命周期经济评价模型揭示了技术优化的经济可行性，提出的模块化实施方案为化工行业节能改造提供了可推广路径。研究成果验证了经济性导向的技术革新在提升产业竞争力方面的实践价值，为分离工艺的可持续发展提供了理论支撑。

参考文献：

- [1] 张香兰, 李鑫. 隔壁塔精馏技术的研究进展 [J]. 化工进展, 2021, 40(3):1365-1372.
- [2] 王建平, 陈涛. 丙酮精馏过程节能优化研究 [J]. 化学工程, 2020, 48(5):45-50.
- [3] 李群生, 张敏. 热集成精馏技术经济性分析 [J]. 化工学报, 2019, 70(6):2201-2208.
- [4] 刘春江, 袁希钢. 隔壁塔在化工分离中的应用进展 [J]. 现代化工, 2021, 41(8):60-64.
- [5] 杨友麒. 过程系统工程在节能减排中的应用 [J]. 化工进展, 2018, 37(12):4567-4574.
- [6] 赵劲松, 周鹏. 动态经济评价模型在化工项目中的应用 [J]. 化工管理, 2020(10):45-48.
- [7] 王建国, 李志强. 含盐有机溶剂精馏过程的腐蚀行为与设备选型 [J]. 化工机械, 2021, 48(3):345-350.

作者简介：

杨树盛，男，汉族，山东无棣人，本科，中级工程师，研究方向：化工技术应用。