

新型分离技术在化工生产中的经济效益分析

夏效祯 姬树敏 于倩倩 (山东筑本安全技术咨询有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 分离过程贯穿化工生产, 直接影响产品纯度、收率与运行稳定性, 是能耗成本核心项, 易成经济性瓶颈。面对原料波动加大、碳排放约束趋严及精益管理要求提升, 膜分离、吸附分离等新技术为升级关键路径。本文从全生命周期与现金流视角, 厘清其经济价值逻辑, 构建项目决策成本-收益评判体系, 整合投资、能耗、运维、风险与合规成本综合权衡, 强调边界明确、指标一致与不确定性管理, 提升决策科学性与回报兑现性, 为化工分离单元改造及技术选型提供经济分析参考。

关键词: 新型分离技术; 化工生产; 经济效益

中图分类号: TQ028

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 002-0055-03

Economic Benefit Analysis of New Separation Technologies in Chemical Production

Xia Xiaozhen, Ji Shumin, Yu Qianqian (Shandong Zhuben Safety Technology Consulting Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: Separation processes are integral to chemical production, directly affecting product purity, yield, and operational stability. As a core component of energy consumption costs, they often become a bottleneck for economic efficiency. Faced with increased raw material fluctuations, stricter carbon emission constraints, and higher requirements for lean management, new technologies such as membrane separation and adsorption separation have emerged as key paths for industrial upgrading. From the perspectives of life cycle and cash flow, this paper clarifies the logical framework of their economic value and constructs a cost-benefit evaluation system for project decision-making. It comprehensively balances investment, energy consumption, operation and maintenance, risk, and compliance costs, emphasizing clear boundaries, consistent indicators, and uncertainty management to enhance the scientificity of decisions and the realization of returns. This study provides a reference for economic analysis in the renovation of chemical separation units and technology selection.

Keywords: new separation technologies; chemical production; economic benefits

在化工装置中, 蒸馏、吸收、萃取、结晶与干燥等分离操作决定了物料纯化深度、产品质量与收率水平, 同时也是能耗、设备投资与操作费用的主要来源之一。传统分离手段工艺成熟、经验老到, 但在高沸点的物料体系、热敏物料体系、近沸/共沸混合物以及多组分复杂体系之内, 经常出现回流比过大、流程线路长、设备体积庞大与能耗负荷高等状况, 进而造成单位产品成本上升并扩大生产波动隐患, 膜吸附、反应-分离相联合、分隔壁塔和热耦合精馏、离子液体/深共熔溶剂辅助分离以及超临界与强化传质过程等新技术持续在发展, 其共同特质为提高选择性与传质的效率、减少相变消耗的能量或压缩流程, 进而实现能耗的降低与综合成本改良, 经济效益不会因“能耗降低”就自动变为实际收益, 工程化落地依旧会受原料性质跟杂质谱、产品指标方面的要求、运行工况的实际窗口、装置的匹配适应度、材料及维护成本、可靠性与安全环保合规等因素约束。若缺乏整体系统化经济评价, 容易出现系统边界设定不清、收益估计偏乐观、隐性成本被忽略等问题, 最终导致实施后回报偏离预期。

基于此, 本文围绕新型分离技术的价值构成、成

本收益结构与评价逻辑展开论述, 并提出落地要点与管理建议, 以为企业分离单元改造决策提供更具可执行性的分析依据。

1 新型分离技术经济效益的形成机制

新型分离技术在化工生产中的经济效益, 通常由直接降本、间接增效与风险成本降低三类机制共同驱动。直接降本主要体现在蒸汽、电力、冷却与压缩等公用工程负荷下降, 以及溶剂循环量、回流比、再沸与冷凝负荷降低带来的能源费用与碳排放成本同步优化; 当分离选择性与传质效率增强, 降低了夹带、返工及副产生成时, 原料消耗与物料损失也会跟着往下减, 间接增效大多表现为流程的简化以及瓶颈的解除, 通过缩减塔器级数、缩短分离流程链条或降低设备规格, 装置说不定能在既有的占地和公用工程条件下释放处理能力, 再或者在产品替换与负荷震荡时维持质量稳定, 以此减少降级销售、停工调整与客户索赔等造成的经营性损失。风险成本下降源自运行条件变得更温和、危化品用量及库存的降低、腐蚀结垢倾向的减轻以及 VOC 排放负荷下降等综合改进, 这些因素不一定直接与单一成本科目相呼应, 却会依靠非计划停机率、检维修的次数、备件的损耗状况、事故发生

的概率和合规处罚风险等指标间接影响现金流走向。总体而言，新型分离技术的收益不是单点变化，而是与装置能量系统、物料衡算与运行策略深度耦合的系统性结果，因此经济分析应坚持系统视角，识别收益来源、兑现路径与边界条件。同时应将资金占用、施工期停工损失及碳成本波动纳入测算，以避免收益高估系统性偏差。

2 经济效益分析的成本收益结构与评价框架

2.1 全周期成本分解与费用核算口径设定要点

对新型分离技术开展经济效益分析，首先应建立与技术机理相一致的成本结构分解模型，避免仅关注设备购置费用或仅比较能耗差异。一次性投资除具备膜组件、吸附床、强化塔内件、溶剂循环系统等核心设备外，还需涵盖配套公用工程、仪控及在线分析、管廊跟基础设施、防爆消防以及与上下游装置联接改造等方面费用，长期运行成本除水、电、汽等平常的常规消耗外，还得纳入耗材与易损件的寿命期限、药剂/溶剂添加和再生的能耗、清洗与维护所需费用、备件库存的占用量，以及清洗再生或检修造成的停车损失以及产量机会成本，针对部分新技术而言，成本敏感的方面或许聚焦于污染失活、性能衰减和更换周期，而不是能耗这一要点。因此，成本分解必须做到科目可追溯、假设可说明、数据口径可复核，使“花在何处、为何发生、花多少”在模型中清晰可见，为收益核算、方案比选与敏感性分析奠定基础。

2.2 收益要素识别：量化口径与核查方法规范化关键点归纳

收益结构识别是经济效益分析中最容易被简化的一环，常见偏差是只把节能费用当作唯一收益，忽略新技术对产量、质量与经营风险的影响。收益结构可归纳为四类：其一指的是能耗控制与节能所带来的现金流变好，涉及蒸汽、电力、冷冻水、循环水以及压缩空气等消耗程度的下降；其二是收率以及纯度提升引起的价值增量，呈现出副产的减少、主产品产量的增长，以及产品指标稳定之后降级现象与退货情况的减少；其三是装置可利用状况提升带来的增效，尤其是当分离单元变成瓶颈之际，效率提升可转化为整体处理量升高、开停工次数减少、切换时间变简短；其四是在安全环保与合规上的收益，涉及危化品储运量减少方面、VOC 排放负荷降低方面，以及运行条件变温和带来的风险成本降低。应强调隐性收益不应停留在“定性描述”，而应采用可量化的代理指标加以表征，例如非计划停机时长、检维修间隔、排放因子变化、质量波动频次或投诉率等，并在统一口径下谨慎折算为经济影响，以保持结论的可核查性与可信度。

2.3 评价指标与决策准则：不确定性处理路径概述

在评价方法上，新型分离技术的经济效益分析采用全生命周期视角与现金流方法，确保不同技术路线在同一系统边界、同一假设口径下可比。普遍采用的决策指标有单位产品综合成本的改变、投资回收周期、净现值、内部收益率与盈亏平衡点等，单位成本方便直观呈现降本幅度，现金流指标可处理投资跟收益在时间衔接处的错配情况，新技术或许会在原料与工况变化时发生波动，推荐于经济分析时引入不确定性管理手段：一方面借助敏感性分析找出对收益影响最大的关键变量；另一方面构建“保守—基准—乐观”情景组合，对收益区间与风险暴露进行量化描述，避免以单一预测值下结论。对企业决策而言，经济分析不仅要回答“值不值得”，应明确“在什么条件下值得、需要哪些配套保障才值得”，从而将结论与实施条件绑定，提高决策的可执行性与抗风险能力。

3 工程化落地中的关键影响因素与优化路径

3.1 工艺匹配与系统边界校核

新型分离技术在装置中的经济性表现高度依赖技术匹配度与系统边界设定。若仅对分离单元本体进行比较，容易忽视上下游条件变化引起的成本转移与系统代价。某些技术切实显著降低分离能耗，但也许会增添预处理、过滤、脱水或压缩的负担，或因杂质分布产生改变而提高后续精制跟回收成本；要是分离效率提升造成产品组成改变时，也或许需要同步调整反应条件、控制逻辑与产品调合的具体策略，于是工程评估应把装置系统作为对象，把物料衡算与能量衡算结合识别耦合点，弄明白收益归属与边界的相关条件，保证经济优势可作解释、可回溯。同时还需评估与现有装置的兼容性，包括空间布置、管线走向、仪控改造、联锁策略及停车检修安排等，避免因施工复杂度、改造周期与停工损失放大而抵消预期收益，使“局部最优”转化为“整体受益”。同时评估施工窗口与切改方案，降低实施扰动。

3.2 可靠性约束与性能衰减管理

与传统成熟分离设备相比，部分新型分离技术的经济性风险更集中在长期稳定运行与性能保持。污染、结垢、溶胀、失活、腐蚀以及材料疲劳等机制会引起通量与选择性降低，于是提升了能耗、减少了回收率还加大了质量波动，最终令收益缩水，甚至转化成额外的亏损，经济效益分析应把全周期性能衰减作为关键假设明白地纳入模型，结合杂质谱的具体情况、工况的波动现象与清洗再生规划，恰当设定耗材更换周期、维护次数与停车损失，进而对不同维护策略相关的材料成本、人工成本与机会成本予以评估，运行管

理范畴，应当设立可监测、可预警的关键指标体系，如压差、通量、穿透行为、再生效率与关键杂质含量等，以便在性能劣化初期及时采取干预措施，保障收益能够持续兑现，使经济性结论具备工程可实现性与可持续性。并在备件策略中预留冗余，以显著降低停机概率。

3.3 运营协同与效益兑现

新型分离技术带来的经济效益，往往需要运行管理方式同步升级才能充分释放。由于新技术可能改变物料衡算、能量分配与传质驱动力，装置的最佳操作窗口、约束条件及关键控制变量也会随之调整，因此必须同步修订岗位操作规程、开停工方案与异常处置流程，把“怎么稳、怎么省、怎么保质量”写进制度并训练到位，避免沿用旧经验造成负荷与产品指标波动，甚至诱发连锁动作和非计划停车。节能降耗与提质增效通常建立在过程波动被持续抑制的基础上，建议引入更精细的过程控制与优化手段，在DCS基础上通过先进过程控制（如MPC）与约束优化等方式降低关键变量的方差，使装置长期贴近工艺约束运行，从而把理论优势转化为可见的能耗下降、收率提升与质量稳定。

与此同时，企业应搭建跨部门协同机制，将工艺、设备、仪控、安全环保与经营核算纳入同一目标体系，形成从关键参数—维护策略—成本科目的闭环管理：一方面以预防性/预测性维护思路提前识别分离介质老化、膜污染、吸附剂失活、换热器结垢等隐患，优化检维修节奏与备件储备，降低非计划停机概率；另一方面在效益核算环节统一统计口径与系统边界，建立“基线—核算—复盘”的测量与验证流程，按基线期与报告期条件进行对比并做必要修正，覆盖蒸汽、电力、冷量、循环水、耗材、检维修与停车损失等科目，避免出现“算不精确、说不透彻”的情形。同时可将关键能耗与产品指标纳入岗位KPI与绩效考核，明确责任分工与奖惩规则。最后，将核算结果纳入PDCA式持续改进，滚动校准参数与策略，才能把技术先进性稳定兑现为现金流改善。

3.4 数据化计量与碳约束下的动态复评机制

新型分离技术的工程收益能否“落袋为安”，关键在于把技术改造与计量核算、碳排放管理、经营考核三条链路打通，形成可追溯的动态复评机制。实施前应以装置边界为准建立基线，明确蒸汽、电力、冷却与压缩等公用工程的计量点位、口径与采样频率，并把产品质量、回收率、非计划停机时长、清洗再生周期等作为同口径运行指标，避免“节能算不清、增产说不透”。实施后建议依托能耗在线监测与污染物

温室气体核算体系，持续跟踪关键参数与成本科目变化，对节能量、减排量和耗材更换等进行月度对账与偏差分析，及时识别因工况漂移、杂质谱变化或性能衰减引起的收益回落，并通过优化操作窗口、调整再生策略、完善预处理等方式纠偏。对外部审计、节能项目验收或合同能源管理等场景，可引入第三方计量校核与M&V（测量与验证）思路，确保节能、减排与停机损失等数据具备可核查性，减少内部结算争议。随着碳交易与碳价机制逐步强化，分离单元节能降碳所形成的“碳成本避免”应纳入现金流测算，采用情景化方式评估碳价、配额与合规要求变化对净现值和回收期的影响，明确在何种碳约束强度下改造更具优势，并识别潜在的合规处罚与声誉风险成本。最终应将核算结果固化为“基线—复核—改进”的闭环：为同类装置复制提供真实参数，也为管理层提供可审计、可解释的投资后评价依据，使经济性结论随运行数据滚动校准，从而提升收益兑现稳定性与抗风险能力。

4 结束语

新型分离技术为化工生产提供了降低能耗、提升收率、优化流程与改善合规风险的多维价值，但其经济效益并非天然成立，而是受到系统边界设定、工程匹配程度、长期可靠性与运营管理水平等因素共同影响。做经济效益分析的时候，需坚持采用全生命周期与现金流视角，对成本与收益的要素开展系统分解，留意隐性收益的可量化界限，并运用敏感性分析与情景分析去管理不确定性，在工程化落地的实际进程中，企业得把技术选型与装置系统优化、维护策略与过程控制、核算口径与组织协同同步实施，才能在可把控的风险下，达成回报的稳定落实。未来随着能耗约束与精益运营要求持续强化，经济性评价将更强调“可持续收益”与“可实现条件”，为化工企业分离单元改造决策提供更具操作性的分析方向与依据。

参考文献：

- [1] 郑骁恒. 先进分离技术在化学工程与工艺中的应用 [N]. 经济导报, 2025-07-18(002).
- [2] 王建. 化学工程与工艺中先进分离技术运用分析 [J]. 科学与信息化, 2024(14):91-93.
- [3] 顾天宇, 陈献富, 王思琪, 等. 膜技术在杜仲有效成分分离纯化中的应用研究进展 [J]. 化工学报, 2024, 75(11):4005-4019.
- [4] 向成密. 先进化学材料在绿色化学工程技术中的应用与优化 [J]. 化纤与纺织技术, 2024, 53(3):13-15.
- [5] 李林, 苏建成, 李月琦. 化工工程设计中的创新思路与技术实践 [J]. 工程管理, 2025, 6(7):191-193.