

Thoughts on the application of high efficiency separation technology in chemical process

Zhidong Wang

Yunnan Yuntianhua Co., Ltd., Polyformaldehyde product Division, Shuifu, Yunnan, 657800, China

Abstract

The application of efficient separation technologies in chemical processes provides technical support for improving product quality, reducing consumption, and minimizing emissions in chemical production. By precisely regulating material transfer processes, these technologies can effectively address the challenge of selective extraction of target components in mixed systems. Currently, the green and refined transformation of the chemical industry has become an inevitable trend in its development. The implementation of efficient separation technologies lays a solid foundation for achieving this goal, with enhanced application effectiveness achieved through techniques such as distillation, membrane separation, and extraction. Furthermore, technological innovation, cost control, and engineering integration can further improve the application outcomes of efficient separation technologies, thereby establishing a robust foundation for sustainable development in the chemical industry.

Keywords

efficient separation technology; chemical process; green development

高效分离技术在化工工艺中的运用思考

王志栋

云南云天化股份有限公司聚甲醛产品事业部，中国·云南 水富 657800

摘要

高效分离技术在化工工艺中运用可以为化工生产的提质、降耗、减排提供技术支撑，可通过精准调控物质传递过程解决混合物体系中目标组分的选择性提取难题，就现阶段来看化工行业绿色化、精细化转型俨然已经成为了化工行业发展的必然趋势，而高效分离技术的应用则可以为达成这一目标打下坚实基础，可借助精馏技术、膜分离技术、萃取技术等相应高效分离技术提高应用成效。在此基础之上还可通过技术创新、成本控制、工程集成等多种方法为高效分离技术应用效果的提升及化工产业的可持续发展打下坚实基础。

关键词

高效分离技术；化工工艺；绿色发展

1 引言

化工工艺是通过物理化学技术的有效应用使原料转化为产品，进而获得相应的经济效益。而在化工工艺中混合物分离是十分重要的一环，这对于化工生产效率、质量以及成本都会起到至关重要的影响，高效分离技术的应用则可以为化混合物分离提供更多的助力，明确现阶段化工工艺中常用的高效分离技术并结合生产需求合理应用技术十分必要。

2 化工工艺中常见的高效分离技术

现阶段化工工艺中常见的高效分离技术主要有精馏技术、膜分离技术和萃取技术，如图 1 所示。

【作者简介】王志栋（1982-），男，中国云南红河人，本科，工程师，从事废水处理、精细化工研究。

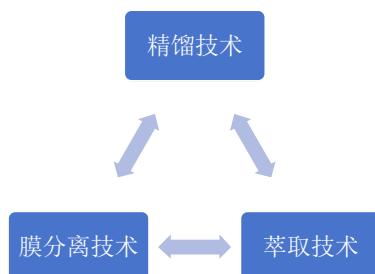


图 1 化工工艺中的常用高效分离技术

2.1 精馏技术

精馏技术是现阶段化工领域应用频率相对较高的分离技术，但是传统精馏技术回流比大、塔板效率低、能耗较高，可通过操作参数和设备结构的调整来提高分离效率。这其中典型代表主要包括热泵精馏、隔板精馏塔和反应精馏。热泵精馏是借助热泵系统来完成塔顶蒸汽的冷凝热回收，将其作为塔底再沸器的能量供应源泉。相较于传统精馏技术，热

泵精馏可以降低 30%~50% 的能耗，尤其是在近沸混合物或低沸点组分分离中应用效果更佳。

隔板精馏塔是在精馏塔内设置垂直隔板，将单塔划分为预分离段和主分离段完成混合物的分离，相较于传统的双塔流程，隔板精馏塔的设备投资大幅降低，同时可分离三组分混合物，其分离能耗也大幅降低。在石油炼制中轻烃分离可以采用隔板精馏塔提高分离效果。

反应精馏则是通过化学反应与精馏分离耦合的方式在同一设备内完成反应分离，减少分离步骤，同时也可以更好地打破反应平衡限制。相较于传统技术方法，反应精馏可更好的提高原料转化率，达到 99% 以上。同时并不需要设置其他分离设备，大幅降低设备购买成本。例如，在甲基叔丁基醚合成工艺中就可以采用反应精馏技术^[1]。

2.2 膜分离技术

推动化工行业绿色低碳发展俨然已经成为了化工行业发展的必然趋势，而膜分离技术的应用则可通过筛分效应或溶解扩散效应在实现组分分离的同时降低能耗，可通过反渗透膜、超滤膜、渗透汽化膜等相应分离介质的选择为化工绿色转型提供必要支持。反渗透膜可以有效截留水中的离子和有机物，操作压力可以控制在 1-10MPa，大多应用于海水淡化领域和工业废水处理领域。例如在化工园区可使用反渗透膜来对含盐废水进行处理，使水回收率达 75% 以上，完成废水资源化利用。

超滤膜的孔径范围在 1~100nm 之间可以有效截留大分子有机物和胶体，大多应用于化工生产催化剂回收当中。例如，在丙烯腈生产的过程中则可借助超滤膜回收 95% 以上的催化剂颗粒，降低化工生产的原料损耗，并有效减少废弃物排放。

渗透汽化膜更适用于近沸、共沸混合物的分离。例如在乙醇脱水中就可借助渗透汽化膜来完成分离，相较于传统技术其分离效率提升了三倍以上，且分离能耗降低了 40% 以上^[2]。

2.3 萃取技术

萃取技术可以利用不同物质在不同溶剂中的溶解度差异来进行组分分离，在低浓度组分提取、高沸点、热敏性混合物分离上采用萃取技术可以达到较好的分离效果。而在萃取的过程中还可通过萃取溶剂的调整和设备结构的优化提高分离选择性和分离效率。较为常见的萃取技术主要包含溶剂萃取、超临界萃取和液膜萃取，如图 2 所示。

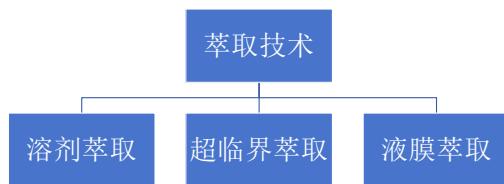


图 2 常见的高效萃取技术

溶剂萃取中萃取剂的选择是十分重要的一环，这对于

萃取效率和质量会起到至关重要的影响。例如在湿法冶金中可借助磷酸三丁酯来完成铀元素的萃取，使萃取率提升至 99% 以上。而在精细化工中可借助 N- 甲基吡咯烷酮来完成芳烃和非芳烃的分离。

超临界萃取是将超临界二氧化碳作为萃取剂，将临界温度与压力分别控制在 31.1℃ 和 7.38MPa，应用于天然物提取中，具有萃取效率高、萃取剂可回收、无残留等相应的优势。例如在咖啡豆中提取咖啡因就可以采用超临界萃取方法，使用后产品纯度可以达到 99.5% 以上，且并不会出现化学残留^[3]。

液膜萃取是将萃取与反萃取耦合在液膜两侧实现一步分离。例如在含酚废水处理中，液膜萃取可以有效降低废水中的含酚量，且研磨萃取中萃取剂的消耗是相对较低的。

3 高效分离技术在典型化工领域中的应用实践

3.1 石油化工领域

石油化工领域中高效分离技术的应用可以完成轻烃、汽油、柴油等相应组分的有效切割，有助于提高原油利用率。例如在原油常减压蒸馏工艺中可借助波纹填料、丝网填料等相应高效填料替代塔板，提升塔板效率和汽油馏分的收率，总能耗也会降低 10%~15% 左右。此外，在乙烯生产中裂解气分离也是十分重要的一环，可借助膜分离配合深冷分离耦合工艺来提高裂解气分离的效率。首先，可借助膜分离来对裂解器进行预处理，去除其中的氢气和甲烷，在此基础之上借助深冷分离系统进行分离，其总能耗可以降低 25%~30%。同时采用该种技术方法的设备购买成本也会大幅降低，其降低幅度在 20% 左右^[4]。

3.2 精细化工领域

医药中间体、食物添加剂等相应的精细化工产品对于产品纯度的要求是相对较高的，传统的分离技术方法无法满足分离要求，为此则需要引入高效分离技术，保证产品质量。例如在医药中间体对硝基苯胺生产的过程中，为了更好的分离邻硝基苯胺等相应杂质，则可以借助结晶 - 精馏耦合工艺。先通过结晶技术来去除杂质，并通过高效精馏完成提纯，这样产品浓度纯度将会从 95% 提升至 99.95%，收率提升 10% 左右，有效避免传统工艺溶剂消耗大、产品损失高等相应问题。再例如在食品添加剂柠檬酸提取的过程中，可以通过超滤 - 纳滤膜耦合工艺的应用先去除发酵液中的菌丝体和大分子杂质，然后完成柠檬酸的浓缩。相较于传统钙盐法，其步骤更少且废水排放量更低，能耗也可以降低 40% 左右，而产品纯度也可以达到 99.9%，符合于要求标准。

3.3 环保化工领域

在化工行业发展的过程中三废处理是十分重要的一环，这将会直接影响化工行业能否实现可持续发展，而高效分离技术则可以为三废处理提供更多的助力，在降低对环境的影响和破坏的同时还可以回收其有用组分变废为宝。例如在含重金属废水处理的过程中传统方法以化学沉淀法为主，这种

方法应用的过程中很有可能会出现大量污泥且资源无法整合利用，这时则可通过螯合树脂吸附配合膜分离工艺来去除重金属离子，并且实现树脂的再生与重金属回收。再例如含挥发性有机化合物废气处理中传统方法为燃烧法，能耗较高，且很容易会出现资源浪费问题。这时则可通过活性炭吸附配合膜分离工艺先完成挥发性有机化合物的吸附，然后将其从活性炭上脱附并提纯^[5]。

4 高效分离技术在化工工艺中应用措施

4.1 技术创新

为了更好的提高高效分离技术的应用成效，做好技术创新是十分必要的，而保障核心介质性能则是突破技术瓶颈的关键所在，可通过新型膜材料、萃取剂和高效填料的研发与应用提高高效分离技术的应用成效，保证分离效率。在膜材料研发中可通过纳米复合改性更好的保障膜的耐腐蚀性和选择性。例如可以将石墨烯掺入到高分子膜中，同时也可通仿生膜、智能响应膜等相应新型膜材料的开发来保证分离过程的精准性。例如温度响应膜可以通过温度调节膜的孔径，为多组分混合物分离提供更多的帮助。在此基础之上，可通过精馏和膜分离工艺、萃取和结晶工艺等相应的技术搭配来提高分离效率和分离质量，相较于单一技术，其分离能耗会大幅降低，设备投资也会大幅减少。

4.2 成本控制

高效分离技术对于化工行业的可持续发展、企业运营的经济效益的提升都会起到至关重要的影响，降低高效分离技术的技术成本实现大范围推广是十分必要的，只有这样化工行业才可以有更大的利润空间，为战略发展目标的实现提供更多的助力。而想要达成这一目标就需要通过规模化生产降低核心设备和介质的价格，并通过关键技术国产化来降低对进口技术设备的依赖。例如，在膜产业领域可通过加强膜生产设备的研发投入，提高膜生产的自动化水平，降低膜生产成本。也可以通过模组件标准化设计的方式，统一膜的尺寸与接口，降低膜更换与维护成本。在超临界萃取技术上可

通过高压设备的低成本开发使用新型合金材料，降低设备建构成本，并通过超临界二氧化碳循环利用系统的有效应用降低设备运行能耗。在高效分离设备研发中可通过高效精馏塔填料研发和应用来降低初期投资成本。

4.3 工程集成

为更好地保障高效分离技术与化工工艺之间的适配性及应用的适切性，引入智能化技术进行技术融合是十分必要的，在工程设计方面可通过模块化设计理念将高效分离技术集成于标准化模块中，接入生产线，减少改造周期与成本，在此基础之上将传感器、物联网、大数据技术和高效分离设备融合，实时监测高效分离设备的运行状态，提前对设施设备进行维修和处理，延长设备使用寿命并避免保障设备功能的有效发挥^[6]。

5 结语

高效分离技术在化工工艺中有效应用可更好地提高产品质量，降低生产能耗，减少环境污染，应引起关注和重视，可通过工业集成、成本控制和技术创新更好的应用萃取技术、膜分离技术、精馏技术等相应高效分离技术，提高应用成效。

参考文献

- [1] 刘江嵩,高婷婷,马腾. 石油化工中的高效分离技术及其应用 [J]. 山东化工, 2025, 54 (18): 136-138.
- [2] 徐剑峰. 高效化工分离设备的研发与应用技术提升策略 [J]. 化工设计通讯, 2025, 51 (07): 118-120.
- [3] 肖子强,郑国栋,李超,等. 高效分离技术在化工工艺中的研究与应用 [J]. 辽宁化工, 2025, 54 (05): 880-882.
- [4] 郭鹏,马传振,徐彤彤. 膜分离技术在高效净水中的应用与发展 [J]. 石化技术, 2024, 31 (08): 169-170.
- [5] 王启任. 基于萃取分离的锰资源高效清洁利用技术研究[D]. 中南大学, 2024.
- [6] 沈鹏飞. 老化污油高效分离净化技术工业应用 [J]. 石油化工应用, 2023, 42 (07): 117-121.