

连续重整芳构化中间过程中产物分离技术的优化及经济效果分析

刘 欣 (中海石油舟山石化有限公司, 浙江 舟山 316015)

摘 要: 文章旨在分析连续重整芳构化中间过程中产物分离技术的优化及经济效果。通过分析连续重整芳构化中间反应过程、中间过程产物类型以及中间过程中常规产物分离技术及特点, 发现常规产物分离技术中存在能耗与效率挑战、生产成本挑战、环境影响挑战、产物纯度挑战、处理多组分体系挑战等多重分离技术困境。在问题研究的基础上, 文章提出了应用节能高效的分离技术、优化溶剂和催化剂选择、引入绿色分离工艺、多层次分离技术组合等分离技术优化策略, 并针对策略分析了具体的经济效果。

关键词: 连续重整芳构化; 中间反应; 产物分离; 技术优化

1 连续重整芳构化中间反应过程

芳构化是一种重要的有机合成方法, 通过该方法可以将非芳香烃类化合物转化为芳香烃。连续重整芳构化是芳构化的一种变体, 具有较高的选择性和反应效率。在中间反应过程中, 催化剂起着至关重要的作用, 而反应条件的优化也是确保高产率和纯度的关键因素。

芳构化的基本过程可以分为两个主要步骤: 芳香核心的形成和芳香核心的延伸。在芳香核心的形成阶段, 通常采用催化剂促使非芳香烃类化合物发生芳构化反应。常见的催化剂包括氧化铝、氧化铁、氯化铝等 Lewis 酸催化剂, 它们能够促使反应中间体的形成。此外, 一些贵金属催化剂如钨、铼等也被广泛应用, 它们在催化剂循环使用和产物选择性方面具有一定优势。在芳香核心的延伸阶段, 反应通常需要在高温下进行。常见的反应条件包括高温、高压和适当的溶剂选择。高温和高压有助于提高反应速率, 加速芳香核心的延伸。适当的溶剂选择不仅有助于反应物料的溶解, 还能影响反应的选择性和产物分布。在连续重整芳构化中, 通过设计合适的催化剂和反应条件, 可以实现对底物的高效转化, 并且催化剂的循环利用成为实现可持续化生产的关键。一些先进的催化剂设计和反应工程技术的引入, 使得连续重整芳构化成为一种经济高效、环境友好的有机合成方法。

2 连续重整芳构化中间过程产物类型

在连续重整芳构化的中间过程中, 主要的产物类型取决于底物的结构和反应条件的选择。

①芳香烃中间体。这是芳构化反应的主要产物类型之一。在反应过程中, 非芳香烃底物通过催化剂的

作用, 形成芳香烃中间体。这可能涉及底物分子中的碳-碳键的断裂和重新组合, 从而形成含有芳香环的结构。②氢气解吸产物。在连续重整过程中, 氢气通常是一个重要的反应组分。产生的氢气可以解吸至反应体系中, 也可能被用于底物还原。氢气的解吸和再吸附过程可能会伴随着一些气相产物的形成, 这些产物可能包括烯烃、烷烃等。③脱氢产物。在高温和高压的条件下, 底物可能经历脱氢反应, 导致分子中的氢原子丧失, 产生烯烃或烷烃的脱氢产物, 这主要取决于反应条件和底物的结构。④异构体产生。芳构化反应中, 底物分子可能发生异构, 形成不同的同分异构体。这些异构体可能在反应过程中同时存在, 增加了产物的多样性。⑤副产物。在芳构化的中间过程中, 由于反应条件的复杂性, 可能会形成一些副产物, 例如杂环化合物、酮、醇等。这些副产物可能是由于底物的不完全转化或者不同的反应途径导致的。

3 连续重整芳构化中间过程中常规产物分离技术及其特点

在连续重整芳构化的中间过程中, 常规产物分离技术包括蒸馏技术、结晶技术、萃取技术、吸附/脱附技术、膜分离技术以及离心分离技术等。①蒸馏技术。蒸馏技术是一种基于沸点差异的物理分离技术。通过控制温度和压力, 可以将混合物中不同沸点的组分分离出来。蒸馏技术操作相对简单, 适用于分离液体产物, 但对于固体产物则不太适用。②结晶技术。结晶是一种化学分离技术, 通过调控温度、溶剂选择等条件, 使产物从混合物中结晶出来。结晶技术适用于分离固体产物, 具有提高产物纯度的优势。③萃取

技术。萃取是一种基于溶解度差异的化学工程技术，通过选择合适的溶剂将目标产物从混合物中提取出来，其主要适用于液液相分离实验，尤其在处理疏水性产物时效果显著。④吸附/脱附技术。吸附/脱附技术利用吸附剂对产物进行吸附，然后通过改变条件实现产物的脱附。这种技术比较适用于分离具有选择性吸附性质的产物。⑤膜分离技术。膜分离技术包括超滤、透析和渗透膜等，通过选择不同孔径的膜实现对产物的分离。它在液体和气体分离中具有高效低能耗的特点。⑥离心分离技术。离心分离主要通过旋转离心机使产物在离心力作用下沉淀或浮到上层液体，实现液体产物和固体产物的分离。该技术适用于密度差异较大的组分。

这些分离技术的选择取决于具体的产物性质和工艺要求，通过巧妙地组合这些技术，可以实现对连续重整芳构化中间产物的高效分离和纯化目的。

4 连续重整芳构化中间过程中常规产物分离技术挑战

在连续重整芳构化的中间过程中，常规产物分离技术面临一系列挑战，主要涉及到效率、成本、环境影响等方面。

①能耗与效率挑战。许多传统分离技术，如蒸馏和吸附，通常需要耗费大量能量。高温高压条件下的蒸馏过程、大量溶剂的使用以及能量密集型的吸附过程可能导致分离效率下降，同时增加了生产过程的整体能耗。②生产成本挑战。成本是产物分离过程中的一个主要挑战。高能耗、大量溶剂使用、催化剂的成本等因素直接影响到生产的经济性。寻找经济有效的分离技术和优化分离步骤，进而实现减少生产成本的最终目的，是一个亟待解决的重要问题。③环境影响挑战。许多传统分离技术使用有机溶剂或大量水，可能导致环境污染和资源浪费。在分离过程中，溶剂挥发物的排放、废水处理和废弃物处理等环境问题都需要得到有效的解决，才能确保工业生产的可持续性。④产物纯度挑战。有时，传统分离技术难以实现对目标产物的高纯度分离。特别是在复杂的反应混合物中，可能存在同分异构体、杂质或共生产物等，这些物质的有效分离是目前分离技术上一个重大的技术挑战。⑤处理多组分体系挑战。连续重整芳构化中间产物通常是多组分体系，而传统分离技术对多组分混合物的处理过程可能会变得十分复杂。在连续重整芳构化的中间过程中，产生的化学混合物包含多个不同种类的

分子或组分。这些分子可能具有不同的化学性质、相对分子质量、沸点、溶解度等特征，因此在分离过程中，需要面对复杂的多组分混合物。选择适当的技术来处理这些多组分混合物，实现高效的组分分离，是一个需要克服的挑战。

5 连续重整芳构化中间过程中产物分离技术的优化策略

5.1 应用节能高效的分离技术

在连续重整芳构化的中间过程中，实施节能高效的分离技术对于解决能耗问题非常重要。引入新型、高效的分离技术可以显著降低整体能耗，提高生产效率。一种关键的技术选择是采用先进的膜分离技术和离心分离技术，这两者可代替传统的高能耗蒸馏或吸附过程。例如，在膜分离技术方面，采用高选择性的膜材料，通过微孔或多孔结构实现对不同分子大小、极性等特性的区分，从而实现有效的组分分离。这种技术具有操作简便、能耗低、无需昂贵的溶剂等优势，有助于提高分离效率。同时，在离心分离技术方面，可以通过旋转离心机产生离心力，使不同密度的组分在离心过程中分层，从而实现高效的液体-固体或液体-液体分离，降低对能源的需求，进一步提高分离效率。

5.2 优化溶剂和催化剂选择

在优化连续重整芳构化中间过程中的产物分离技术中，对溶剂和催化剂的选择进行精心优化，不仅有助于减少环境负担，还能提高整体生产的可持续性。首先，在溶剂的选择方面，可以考虑将传统有机溶剂替代为环保型、可回收的溶剂。环保型溶剂通常具有较低的挥发性有机化合物（VOCs）排放，有助于减少空气污染。同时，可回收的溶剂可以通过适当的处理和再生系统循环使用，降低溶剂的消耗和废弃物产生，从而降低生产成本。其次，在催化剂的选择和设计方面，采用更为可持续的催化剂，包括使用贵金属替代稀有金属，或者采用具有高效催化性能的新型催化剂，可以提高反应产物的选择性，减少副产物的生成，从而降低后续分离过程的复杂性。优化溶剂和催化剂的选择不仅关乎环境友好性，还与整体生产效率密切相关。在选择环保型溶剂的同时，还要考虑其对反应速率和选择性的影响，以确保整个过程的高效运行。同时，通过催化剂的智能设计，可以实现对反应路径的精确控制，降低产生不必要副产物的可能性，减轻分离过程的负担。

5.3 引入绿色分离工艺

为了进一步提升连续重整芳构化中间过程中的产物分离效率并减轻对环境的不良影响,可以尝试引入绿色分离工艺。比如采用超临界流体萃取、离子液体等先进绿色技术,替代传统的有机溶剂,从而实现更为环保和可持续的分离过程。其中,超临界流体萃取是一种利用超临界流体(通常是超临界二氧化碳)的物理性质进行分离的技术。这种分离方法可以有效避免传统有机溶剂对环境的负面影响,同时具有较高的选择性。超临界流体的使用不仅能减少溶剂的使用量,还可以提高目标产物的纯度。由于超临界条件下,流体密度和溶解性变化较大,因此在一些情况下,可以减少对后续处理步骤的依赖,降低整体生产成本。另一方面,离子液体作为绿色分离工艺的代表,由于其独特的物理和化学性质,具有良好的溶解性和选择性。离子液体通常是室温下液态,且不挥发,有助于减少对有机溶剂的需求,降低挥发性有机物的排放,从而减少环境污染。离子液体还可适应不同的反应条件,有助于提高产物的纯度和产率。

5.4 多层次分离技术组合

在连续重整芳构化的中间过程中,面对多组分体系挑战,采用多层次的分离技术组合可以有效克服产物分离的复杂性,提高分离效率和纯度。首先,多层次分离技术组合的核心思想在于根据产物性质的不同,在不同阶段选择适当的分离方法。具体做法即先采用一种技术对大致的组分进行初步分离,再通过另一种更专业的技术对细分的组分进行深度分离。例如,在初始阶段可以采用膜分离技术,通过微孔或多孔膜材料对分子大小或极性等特性进行区分,实现对混合物的初步筛选。随后,对于更为复杂的组分,可以引入更精细的技术,比如离心分离或萃取技术,以进一步提高产物的纯度。其次,由于多层次分离技术组合涉及的分离过程比较复杂,涵盖的分离技术比较多,因此,可以通过对整个生产过程的综合优化,包括对催化剂、反应条件、分离步骤等的协同优化,实现分离过程的整体集成。通过减少中间步骤,避免不必要的处理,提高整体反应效率。例如,通过调整催化剂的性质和使用条件,优化反应产物的选择性,降低产物混合物的复杂性,从而减轻后续分离工序的负担。

6 连续重整芳构化中间过程中产物分离技术优化后的经济效果

从经济效果评估的指标维度来分析连续重整芳构

化中间过程中产物分离技术的优化策略,可以发现经过优化后的分离技术可以在多个方面取得重要的经济效益。

首先,在能源成本上,采用节能高效的分离技术,如膜分离和离心分离,有助于显著降低整体能耗。通过替代传统的高能耗蒸馏或吸附过程,企业可以在能源消耗上实现明显的节约,从而减少能源成本。其次,在原材料成本上,优化溶剂和催化剂选择,采用环保型、可回收的溶剂和更为可持续的催化剂,有助于降低原材料的使用成本,其中就包括了减少有机溶剂的购买和后续产物处理的成本等。同时,在废弃物处理成本上,引入绿色分离工艺,如超临界流体萃取和离子液体技术,可以显著减少有机溶剂的使用,从而减轻废弃物处理的成本。绿色分离技术可以减少对有机溶剂的依赖还有助于减少环境治理成本,降低可能因环境问题而产生的罚款和治理费用,同时提升企业的社会责任形象。此外,从商业生产的角度上看,优化后的分离技术可以显著提升生产效率。尤其是多层次分离技术组合和整体过程的综合优化过程,可以全面减少中间步骤和提高反应效率,有助于提高生产效率,提升单位产量,从而降低每单位产物的生产成本。从投资回收期上看,虽然引入新技术和优化策略前期可能需要一定的投资,但在能源利用、原材料采购和废弃物处理等方面所引起的成本降低幅度,已经可以全面缩短投资回收期,从长远上看,其投资价值远大于投入成本所带来的短期财务压力。并且,优化后的分离技术可以快速提升企业的市场竞争力,更环保、更高效的生产过程也可以获得市场的广泛认可,有望吸引到更多客户和合作伙伴。

7 结语

连续重整芳构化中间过程中产物分离技术的优化对于化工工业而言具有重要意义。从长远来看,这种优化不仅有助于提高生产效率、降低能耗和生产成本,还能推动化工产业向更为可持续和环保的方向发展。因此,将产物分离技术优化纳入工业生产的战略规划中,实施可持续发展的理念,对整个产业链都具有积极的影响。对企业而言,更可以促进其形成更好的竞争优势,获取更大的市场回报。

参考文献:

- [1]朱云龙.轻烃芳构化催化剂分析[J].石化技术,2023,30(03):24-26.