

# 催化重整技术的芳烃生产工艺研究及经济性分析

李鑫磊 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578001)

**摘要:** 催化重整技术是石油化工领域生产芳烃 (BTX) 的核心工艺, 同时兼具生产高辛烷值汽油组分的功能, 本文对催化重整技术的基本原理进行了详细说明, 并对芳烃生产中的主要工艺流程进行了详细的描述, 通过深入地分析各个环节, 确定其中的关键技术要点及影响因素。并对这一工艺的经济性进行了简要的成本及收益分析, 通过深入分析各个环节, 确定其中的关键技术要点及影响因素, 以期对催化重整技术应用于芳烃生产领域优化和发展提供理论支持与实践参考, 该工艺投资回报率较高具有良好的工业应用前景。

**关键词:** 催化重整; 芳烃生产; 催化剂再生; 经济性分析

**中图分类号:** TE624.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2026) 001-0055-03

## Research on Aromatics Production Technology and Economic Analysis of Catalytic Reforming

Li Xinlei (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578001, China)

**Abstract:** Catalytic reforming technology is a core process in the petrochemical industry for producing aromatic hydrocarbons (BTX) and also serves the function of generating high-octane gasoline components. This paper provides a detailed explanation of the fundamental principles of catalytic reforming technology and elaborates on the main process flows in aromatic hydrocarbon production. Through in-depth analysis of each stage, the key technical points and influencing factors are identified. Additionally, a brief cost-benefit analysis of the economic viability of this process is conducted. By thoroughly examining each stage, the critical technical aspects and influencing factors are determined, aiming to offer theoretical support and practical references for optimizing and advancing the application of catalytic reforming technology in aromatic hydrocarbon production. This process boasts a high return on investment and holds promising industrial application prospects.

**Keywords:** Catalytic reforming; Aromatics production; Catalyst regeneration; Economic analysis

聚酯、化纤和橡胶等下游化工产业发展迅速, 市场对于苯、甲苯和二甲苯 (BTX) 等芳烃产品的需求也在不断增长, 催化重整技术是生产芳烃的传统方法, 对芳烃产量、质量以及生产成本都有至关重要的影响, 在催化重整的过程中催化剂的失效成为了影响装置连续平稳工作的关键因素, 所以高效催化剂再生系统就成了工艺优化中的核心环节之一。传统催化剂再生技术存在效率, 能耗和催化剂寿命等方面的局限性, 逆流床催化剂再生系统作为一种新工艺显示出明显的性能优势, 因此, 对催化重整技术中芳烃生产工艺及经济性的深入研究是有实际意义的, 这既有利于提高芳烃生产效率与产品质量, 减少生产成本, 又可以提升企业市场竞争力, 促进全炼化行业可持续发展。

### 1 催化重整技术原理

催化重整是以催化剂为载体, 将轻质石油馏分烃类分子结构通过烃类分子结构的重新排列, 把其中的环烷烃及烷烃转变为芳烃或者异构烷烃的一种过程, 该过程需要在一定的温度、压力以及氢分压情况下完成, 反应体系的热力学和动力学性质综合决定着反应的方向和程度, 而温度对于吸热反应推动尤其重要, 高温有利于环烷烃脱氢和烷烃脱氢环化等主反应,

但是也增加了副反应, 此过程以环烷烃脱氢为主反应, 烷烃脱氢环化次之, 异构化反应, 加氢裂化反应之间存在相互联系与相互影响的关系, 催化剂及合适反应条件共同工作使石油馏分向芳香烃转变。催化剂在反应过程中起着至关重要的作用, 常见的有铂铈等双金属催化剂, 催化剂的活性、选择性及稳定性直接关系到反应的效果, 逆流床工艺催化剂再生系统中催化剂再生系统采用逆流方式, 待生催化剂由反应器下部注入再生器中并由再生器上部通入再生介质进行逆流接触, 依次经烧焦、氯化更新及干燥三步使催化剂活性得到恢复, 再生催化剂由再生器下端流出后返回反应器循环, 本工艺能够实现催化剂的持续再生从而确保了装置的平稳运行<sup>[1]</sup>。

环烷烃脱氢反应是指环烷烃在催化剂作用下失去氢原子并转化为对应芳烃的过程, 这一反应具有很强的吸热性质, 对于提高芳烃的产率具有重要意义, 反应速度很快, 是催化重整中生产芳烃的一种重要方式; 烷烃脱氢环化反应是指直链烷烃经脱氢、环化等作用而得到芳烃, 该反应要求温度高、催化剂合适, 并且还具有吸热性质, 反应过程较为复杂, 中间会产生各种烯烃中间体, 这些烯烃中间体的转化效果直接关

系到最终芳烃的产出量；异构化反应由烷烃异构化和环烷烃异构化组成有利于提高汽油辛烷值及芳烃选择性，该反应为放热反应，对减少反应体系热量消耗有一定缓解作用；加氢裂化反应是在特定条件下大分子烃类的加氢裂化反应产生小分子烃类，对调节产物分布起到显著作用，但是过量加氢裂化会使芳烃产率下降，必须通过调节反应条件来抑制。

## 2 芳烃生产工艺流程

### 2.1 原料预处理

①预分馏。原料进入预分馏塔后按沸点范围初步分离原料，分离沸点低的轻组分及沸点高的重组分并仅保留适合沸点范围的馏分用于催化重整，该步骤能有效地除去原料杂质以及不适合重整反应部分组分以确保下步反应顺利<sup>[2]</sup>。②预加氢。通过预分馏处理后原料经预加氢反应器，催化剂的作用使原料中的硫、氮、氧等杂质与氢气反应生成硫化氢、氨及水并从系统中排出，与此同时烯烃还会发生加氢饱和反应以避免烯烃在后续的重整反应过程中出现聚合等不良的反应从而影响催化剂的性能以及产品质量，预加氢催化剂通常采用有加氢活性以及脱硫和脱氮作用的金属催化剂，例如钨-钴或者镍-钨系催化剂。③蒸发脱水。预加氢后的原料经过换热和蒸发后，进入脱水塔进行脱水，在脱水塔中原料水分经精馏除去。水分存在将影响重整催化剂活性及选择性，所以原料水含量要严格控制，脱水后原料含水量通常需控制到极低才能达到重整反应需要。

### 2.2 催化重整反应

①反应器设置。催化重整反应一般在几个串联式固定床反应器中运行，反应器中填装重整催化剂，主要有轴向反应器和径向反应器两种，轴向反应器结构简单但是床层压降大；径向反应器能有效地减少床层压降并适合大规模生产，反应器材料需要符合耐高温和耐腐蚀的要求才能满足重整反应高温度和氢气环境的要求<sup>[3]</sup>。②反应条件。催化重整反应主要操作条件有反应温度、压力、空速及氢油比，反应温度通常为480~520℃，较高温度对吸热反应如脱氢更有利，但是温度过高会使催化剂积炭加速缩短催化剂寿命。反应压力一般在0.2~0.5MPa范围内，低压力有助于脱氢环化和其他生成芳烃的反应，但会增加设备投资和操作难度，空速通常是根据原料的性质和催化剂的性能来调节的，适当的空速能够确保原料和催化剂之间的充分接触从而增强反应速率，氢油比（氢气和原料油的体积之比）通常控制指标为 $\geq 340$ ，氢气在参与反应的同时，也起到了保护催化剂和携带反应热量的作用。③重整催化剂。重整催化剂是催化重整反应中

起着关键作用的催化剂，一般由活性金属、酸性载体及助催化剂组成，其中活性金属主要是铂（Pt），具有优良的脱氢与加氢活性，酸性载体通常是 $\gamma$ -氧化铝，用于各种异构化反应中的酸性中心。例如铼（Re）和锡（Sn）作为助催化剂能够增强催化剂的性能、增强催化剂的稳定性以及选择性。

### 2.3 催化剂再生系统

①逆流床工艺原理。逆流床催化剂再生系统中催化剂再生操作采用逆流法，再生时，失活催化剂由反应器上端流入下端；而再生气体（例如空气和氮气）则由反应器的下端流入上端，与催化剂进行逆流接触。该逆流方式使再生气体与催化剂接触时可充分利用自身氧化能力，逐渐氧化催化剂表面积炭并能较好地控制再生反应温度及速度，从而避免了局部过热现象的发生，造成催化剂活性组分烧结现象<sup>[4]</sup>。②再生步骤。首先，催化剂在烧焦反应中被引入再生器时会经历一个特定的温度阶段，与含氧气体相互作用，从而引发烧焦过程，这一过程将催化剂表面的积炭转化为二氧化碳和水，这种反应是高度放热的，因此必须严格控制反应温度以避免催化剂因过热而受损。通过调整再生气体流量、氧含量及催化剂移动速度可有效地调控烧焦反应速度及温度；二是氯化更新，烧焦催化剂活性组分分散度及活性可能变差，需氯化更新，通过向再生器内加入含有氯化物（例如四氯化碳和氯乙烷）的气体，使得催化剂表面活性金属得以再分散和再激活。氯化更新时需对氯化物浓度、反应温度及时间进行调控，才能获得较好的更新效果；三是还原，经氯化更新催化剂活性金属呈高价态状态，需还原使其回归催化活性低价态，将氢气通入再生器中，在一定的温度条件下还原活性金属，还原催化剂之后就可以再返回到反应器。③再生系统优势。逆流床催化剂再生系统有很多优点，与传统顺流再生方式相比较，逆流床工艺能较好地将催化剂表面积炭均匀去除，从而提高了催化剂再生效果和催化剂使用寿命，另外逆流床工艺在再生过程中能较好的控制温度分布并降低温度波动给催化剂带来的破坏。

## 3 芳烃生产工艺的影响因素

### 3.1 原料性质

①馏分组成。原料馏分组成对于芳烃制备具有重要影响，合适的馏分范围可确保重整反应时芳烃产率较高，如石脑油的馏分范围通常被控制在60~145℃之间，其馏分组成不同将影响各种反应的程度从而影响到芳烃的产率及选择性。②杂质含量。原料中含有的硫、氮、氧和其他杂质对重整催化剂具有毒害作用，降低了催化剂活性与选择性，即使是微量的杂质也可

会在较长一段时间内的反应过程中逐步累积而使催化剂失效, 所以需要对原料杂质进行严格控制, 并通过预加氢等预处理过程使其达到极低水平。

### 3.2 反应条件

①温度。反应温度对催化重整反应具有至关重要的影响, 正如前面所提到的那样高温有助于吸热反应比如脱氢, 可以增加芳烃的产量, 但是温度过高则会导致催化剂中积炭增多, 催化剂寿命缩短, 所以要根据原料的性质及催化剂性能对反应温度进行准确调控才能取得最优芳烃生产效果<sup>[5]</sup>。②压力。反应压力对各种反应的影响是不一样的, 低压力有利于脱氢环化和其他生成芳烃的反应, 但也增加了设备投资与操作难度, 在实际生产过程中要考虑设备成本、反应效率以及产品质量等因素来确定适当的反应压力。③空速与氢油比。空速对原料和催化剂之间的接触时间有较大影响, 适当空速可确保反应完全进行, 氢油比既影响着反应进程又起着保护催化剂的作用, 当氢油比太低时催化剂积炭速度加速。氢油比太大将加大氢气消耗及设备负荷, 所以需结合具体情况对空速、氢油比等参数进行优化。

### 3.3 催化剂性能

①活性。催化剂活性直接关系到反应速率与芳烃产率, 活性好的催化剂可以使各种重整反应更快完成从而提高生产效率, 但催化剂活性随使用时间及反应条件变化而逐步下降, 所以催化剂需经常再生处理使其活性得到恢复。②选择性。催化剂的选择性决定着反应产物分布, 具有高选择性的催化剂可以使反应更加趋向于生产芳烃并降低不必要的副反应从而提高芳烃产率及品质, 通过对催化剂成分及制备工艺进行调控可增强催化剂选择性。③稳定性。催化剂的稳定性对长期稳定的生产具有重要意义, 在温度较高、氢气以及其他复杂反应环境中, 催化剂要求有较好的物理与化学稳定性才能确保催化剂活性与选择性在较长一段时间内没有显著改变, 添加助催化剂和催化剂载体优化等手段能够增强催化剂稳定性。

## 4 催化重整芳烃生产工艺的经济性分析

### 4.1 成本分析

①原料成本。原料成本对芳烃生产有着较大的比重, 石脑油及其他原料价格的波动会对生产成本产生直接的影响, 企业需密切关注原料市场的变化情况和优化原料采购策略来降低原料成本。②设备投资与维护成本。催化重整装置由原料预处理设备、重整反应器和催化剂再生系统组成, 设备投资很大, 设备定期保养、检修及零件更换均需一定费用, 对设备进行合理的投资规划和强化设备管理与维修可以减少设备的

相关费用。③催化剂成本。由于重整催化剂的成本很高, 因此在进行逆流床的再生操作时, 发现催化剂的再生成本是相当大的, 这使得其在实际应用中可能无法满足需求, 所以对于催化剂的使用方式以及再生过程都进行了优化, 这样可以有效减少催化剂的使用费用。④能耗成本。催化重整反应对能源的需求非常大, 主要表现为对原料的加热、保持反应温度和驱动设备, 优化工艺流程及使用节能设备能减少能耗成本。

### 4.2 收益分析

①产品销售收益。芳烃产品比如苯、甲苯、二甲苯等都有较大的市场需求且价格也比较高, 提高芳烃产率及产品质量以保证产品达到市场标准, 可以提高产品销售收益, 企业可通过优化生产工艺和强化质量控制来增强产品竞争力并获得更大利益。②副产品收益。在催化重整时除产芳烃的同时还会有液化气和氢气等副产物出现, 对这些副产品进行合理利用, 以其为原料进行销售或者作为其他生产过程的原料, 同样可以给企业带来一定收益。

从整体上看催化重整技术生产芳烃在优化生产工艺, 降低成本, 改善产品质量及产率等方面均具有较好的经济效益, 但市场价格波动和原料供应的稳定性又会影 响经济效益, 因此企业有必要密切注意市场动态并适时调整生产策略。

## 5 结论

综上所述, 催化重整技术是芳烃生产中的一项重要手段, 有着成熟的技术及较好的前景, 合理预处理原料、优化催化重整反应条件、高效催化剂再生系统等可提高芳烃产率与品质、降低成本。从经济性上看尽管面临着原材料价格波动和设备投资的难题, 但是通过对各个环节进行优化, 企业可以获得较好的经济效益, 企业要时刻关注市场动态、持续优化生产工艺与管理策略来应对市场的变化、提升自身竞争力为企业在本行业中的发展奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 燕云雷. 逆流床催化重整装置首开后催化剂粉尘优化调整[J]. 广州化工, 2025, 53(13):147-149+156.
- [2] 周振宝. 连续催化重整装置运行问题分析与对策[J]. 化学工程与装备, 2024(08):101-104.
- [3] 梁允生. 催化重整装置原料优化利用浅析[J]. 广东化工, 2023(12):78-80.
- [4] 韩松平, 何丽明. 催化重整工艺对芳烃含量的影响分析[J]. 山东化工, 2024, 53(13):222-225.
- [5] 陈雯雯. 基于催化重整技术的芳烃生产工艺研究[J]. 化工管理, 2025(15):144-147.