

重整装置进料调控对催化剂寿命影响及其经济效益研究

梁栋培（胜利油田石油化工总厂，山东 东营 257000）

摘要：随着石油化工行业对轻质油品生产需求的持续增长，重整装置作为石油精炼过程中的核心单元，扮演着至关重要的角色。催化剂的寿命对重整装置的经济效益和运行稳定性具有重要影响。本文通过实验研究与理论分析相结合，探讨了重整装置进料调控对催化剂寿命的影响机制，并评估了其带来的经济效益。研究发现，通过优化进料中的硫含量、流量和温度等参数，可以有效延长催化剂的使用周期，显著减少催化剂更换频率，从而降低成本并提高生产效率。成本效益分析表明，进料调控策略不仅能减少催化剂的更换费用，还能提升装置的运行稳定性，降低单位产品的生产成本。综合考虑催化剂更换、生产效率和其他间接效益，进料调控可为企业带来高达数百万元的年经济效益。

关键词：重整装置；进料调控；催化剂寿命；经济效益；成本效益分析

0 引言

重整过程作为石油精炼中的重要技术之一，广泛应用于汽油调合、烯烃生产等领域。催化剂在重整反应中起着关键作用，但催化剂随着反应时间的延长会逐渐失活，导致产物质量下降、能耗增加、装置停机频繁等问题。如何延长催化剂寿命、提高反应效率，成为了提升重整装置经济效益的核心问题。催化剂失活的主要原因包括积碳、中毒、烧结等，其中进料的质量和流量是影响催化剂寿命的重要因素。本文旨在探讨通过进料调控优化催化剂的使用效果，并通过实际数据分析其对经济效益的影响。

1 催化剂失活理论分析

在重整装置中，催化剂的寿命是决定生产稳定性和经济效益的关键因素。催化剂的失活是由于多种因素引起的，主要包括积碳、中毒、烧结等现象。针对这些因素，进料调控作为一种有效的工艺优化手段，能够通过控制进料的组成和流量，减缓催化剂的失活过程，从而提高催化剂的使用寿命。

1.1 催化剂的失活机制

催化剂的失活通常是由以下几个因素造成的：

1.1.1 积碳

轻质石脑油中的某些成分在高温条件下易发生裂解反应，生成积碳物质。这些积碳物质会沉积在催化剂表面，阻碍活性位点的反应，从而导致催化剂的活性下降。

1.1.2 中毒

重整反应中，进料中的硫、氮及其化合物可能与催化剂表面活性金属（如铂）发生反应，形成难以还原的中毒物质，导致催化剂失去活性。

1.1.3 烧结

在高温和高压力条件下，催化剂表面的金属颗粒可能发生烧结，导致催化剂的表面积减少，进而影响其催化活性。

1.2 进料调控对催化剂失活的影响

通过对催化剂失活机制的分析，可以推断出进料调控的影响机制：

1.2.1 硫含量控制

进料中的硫化物是催化剂中毒的主要来源之一，尤其是铂类催化剂对硫的敏感性较高。通过降低进料中的硫含量，可以有效减缓催化剂的中毒速率，从而延长催化剂的使用周期。

1.2.2 进料流量调节

进料流量直接影响反应器内的温度和压力，进而影响催化剂的稳定性。适当的流量调节能够避免因过高的反应温度导致催化剂的烧结，保持催化剂的结构稳定性。

1.2.3 进料温度控制

进料的温度对催化剂的活性及其寿命有重要影响。过低的温度可能导致催化剂表面反应不充分，过高的温度则可能加速催化剂的烧结和积碳。合理的温度控制有助于保持催化剂的最佳活性。

2 研究方法与实验设计

2.1 实验装置与催化剂

本实验研究在某大型石化企业的重整装置上进行，该装置具有年产 300 万吨汽油和化学品的能力。实验装置主要由反应器、催化剂床层、热交换系统以及自动化控制系统等部分组成。反应器采用固定床反应器结构，能够保持反应过程中的高效稳定。实验中

使用的是典型的铂-铝基催化剂，该催化剂由铂、铝、钯等金属助催化剂与载体组合而成，主要作用是促进轻质石脑油分子的重整反应，生成高辛烷值的产品。铂作为主要的活性组分，负责催化轻质石脑油中的烷烃和环烷烃分子的异构化与裂化反应。铝基载体有助于保持催化剂的稳定性，减少金属颗粒的烧结。进料主要来自石化企业的轻质石脑油，该石脑油的含硫量通常在 30-100 ppm 之间，含有少量氮化物、烯烃等杂质。进料的质量对催化剂的使用寿命有显著影响，尤其是其中的硫和氮化物，会对催化剂表面的活性金属造成中毒。因此，如何控制进料质量和优化进料策略，成为本研究的重点。

2.2 进料调控策略

为了深入研究进料调控对催化剂寿命的影响，实验设计了以下几种进料调控策略：

策略一：优化进料的硫含量

进料中硫的含量直接影响催化剂的中毒速率，尤其是对铂催化剂的中毒效果更为显著。硫化物与铂表面反应，形成难以还原的铂-硫化物，导致铂的催化活性下降。因此，通过优化进料的硫含量，减少其对催化剂的中毒是本研究的关键调控策略之一。具体措施包括：①进料前处理：利用脱硫装置（如加氢脱硫装置）去除石脑油中的部分硫化物，硫含量目标为低于 50 ppm。②实时监测进料硫含量：在进料前设置硫含量检测系统，确保进料中的硫含量始终保持在安全范围内。

策略二：进料流量调节

进料流量不仅影响反应器内的温度、压力，还直接决定了催化剂的活性表现。当进料流量过大时，反应器中的温度升高，可能导致催化剂的烧结或积碳积聚；当进料流量过小时，则可能导致反应不充分，催化剂的活性未能充分发挥。因此，本研究提出通过精确控制进料流量，确保反应器内的操作条件保持在最佳范围内。流量控制的具体措施包括：①流量设定优化：通过 PID 调节器，实时调整进料流量，确保其保持在合理范围内，以避免温度波动过大。②流量传感器监控：安装多点流量传感器，自动检测和调整进料流量，确保流量波动不超过 5%。

策略三：进料温度控制

进料温度对重整反应的效率和催化剂寿命有重要影响。过低的进料温度可能导致反应效率低下，而过高的进料温度可能加剧催化剂的烧结和积碳问题。本研究通过优化进料温度，调节进入反应器的石脑油温

度，以确保反应条件的最佳性。温度控制策略包括：①进料加热系统优化：利用精确的加热装置对进料温度进行调节，确保进料温度维持在 170°C - 180°C 之间。②温度反馈机制：通过温度传感器和自动化控制系统，实时反馈反应器入口温度，并根据需要调整加热功率。

2.3 数据收集与分析

实验过程中，本研究采用了多种自动化监控设备和数据记录系统，以确保实验数据的精确性和完整性。主要数据收集与分析方法包括：

2.3.1 催化剂活性数据收集

每两周进行一次催化剂样本的采集和活性分析。通过对催化剂表面进行 X 射线光电子能谱 (XPS) 分析，检测其表面组成变化，以确定催化剂是否发生了中毒、烧结或积碳等失活现象。此外，还使用氢气吸附法和 N₂ 吸附法分析催化剂的比表面积变化，进一步评估其活性损失。

2.3.2 装置操作数据收集

实时监测反应器的温度、压力、进料流量、产物分布等工艺参数。通过数据采集系统记录各项操作参数，并进行定期分析，以便发现可能影响催化剂寿命的工艺波动。

2.3.3 进料质量监控

进料的质量是影响催化剂寿命的重要因素，因此实验过程中将对进料的硫含量、氮化物含量、烯烃含量等进行实时监测。进料中杂质的变化数据将与催化剂活性数据进行对比分析，评估不同进料质量对催化剂寿命的影响。

2.3.4 催化剂失活速率分析

根据催化剂的活性数据和装置的运行情况，通过数学建模分析催化剂的失活速率。具体方法是根据催化剂活性损失的时间曲线，拟合失活模型，计算催化剂的失活速率。通过比较不同调控策略下的失活速率，量化进料调控对催化剂寿命的延长效果。

3 结果与讨论

3.1 催化剂寿命变化

通过对实验数据的分析，我们发现在未进行任何进料调控的情况下，重整装置的催化剂寿命相对较短，失活速率约为每年 20%。这种情况主要是由于进料中含有较高的硫化物和氮化物，它们对催化剂的中毒作用非常显著。此外，反应器中的高温和不稳定的流量也加剧了催化剂的烧结和积碳现象，导致催化剂活性迅速下降。

在实施进料调控策略之后，催化剂的寿命显著延

长,失活速率下降至每年10%。特别是在以下几个方面的改进之后,催化剂的失活得到了有效控制:

3.1.1 硫含量控制

通过脱硫处理,进料中硫含量从原先的100 ppm降低至50 ppm以下,显著减少了催化剂中铂金属的中毒现象。硫含量的降低直接延缓了催化剂表面活性金属的腐蚀和中毒过程。

3.1.2 进料流量调节

通过优化进料流量,使其保持在理想范围(2500-2700m³/h),避免了过高的反应温度和不均匀的反应条件,减少了催化剂烧结和积碳的情况。

3.1.3 进料温度控制

将进料温度控制在180°C ± 5°C之间,确保了反应的稳定性,避免了因过高温度导致的催化剂颗粒烧结以及积碳的生成。

经过这些优化措施,催化剂的失活速率显著降低,寿命延长了约50%。具体而言,在进行进料调控后,催化剂的寿命从1年延长至1.5年,表明通过精细的进料管理,可以显著提升催化剂的长期稳定性和性能。

3.2 经济效益分析

进料调控对催化剂寿命的延长,不仅在技术上取得了良好的成果,也在经济上带来了显著的效益。

3.2.1 节省催化剂更换成本

假设催化剂更换成本为每年100万元,在未进行进料调控的情况下,催化剂每年都需要更换。而在实施进料调控之后,催化剂的寿命从1年延长至1.5年,因此催化剂的更换频率降低,减少了更换费用。具体来说,进料调控后,催化剂的更换周期延长了50%,因此每年节省的催化剂更换成本为:

$$\text{节省成本} = 100 \text{ 万元} / 1.5 = 66.67 \text{ 万元}$$

通过这一策略,每年节省了66.67万元的催化剂更换费用。

3.2.2 提升生产效率与降低生产成本

由于催化剂寿命的延长,反应器的停机次数减少,装置的运行效率得到提升。反应器能够保持较长时间的稳定运行,生产能力得以提高,同时避免了频繁停机和检修带来的停产损失。

在具体的生产数据上,进料调控后,单位产品的生产成本降低了约5%。例如,对于年产10万吨产品的重整装置,每年生产10万吨产品的生产成本为:

节省的生产成本

$$= 10000 \text{ 吨} \times 1000 \text{ 元/吨} \times 5\% = 500 \text{ 万元}$$

因此,通过进料调控策略,每年生产成本节省约

500万元。

3.2.3 提升综合经济效益

除了催化剂更换成本和生产成本的节省,进料调控还带来了其他间接效益。例如,优化的进料质量和流量减少了系统的能耗,降低了设备磨损,减少了整体的维护成本和能源消耗。在综合考虑催化剂更换、生产成本和其他间接节省后,进料调控为企业带来的年总经济效益约为:

$$\text{总节省成本} = 66.67 \text{ 万元} + 500 \text{ 万元} = 566.67 \text{ 万元}$$

这一结果表明,进料调控策略不仅能有效延长催化剂寿命,提升装置稳定性,还能为企业带来显著的经济效益。

3.3 综合讨论

本研究通过对进料调控的实施,证明了进料质量和操作条件对催化剂寿命及经济效益的重要影响。通过硫含量控制、流量调节和温度优化等策略,不仅有效延长了催化剂的使用寿命,而且在成本控制、生产效率、能源消耗等方面均取得了良好的经济效益。这些改进措施尤其适用于石油化工行业中催化剂应用广泛的重整装置。通过系统的进料管理和工艺优化,可以实现催化剂使用周期的最大化,从而为企业带来可持续的竞争力和经济利益。

4 结论

由上可知,本文通过实验研究与数据分析,探讨了重整装置进料调控对催化剂寿命的影响及其经济效益。研究结果表明,通过合理调控进料的硫含量、流量及温度,能够有效延长催化剂的寿命,降低催化剂更换成本,并提升装置的整体经济效益。对于石油化工企业而言,进料调控不仅是提高催化剂使用效率的关键,更是实现经济效益最大化的有效途径。

参考文献:

- [1] 张红良. 连续重整装置运行中存在的问题及建议 [J]. 石化技术, 2024, 31(07):82-84.
- [2] 鲜楠莹, 王红秋, 李婷, 雪晶, 慕彦君. 新形势下催化裂化技术进展与趋势 [J]. 现代化工, 2024, 44(12):78-82+88.
- [3] 许炳辉. 烯烃对歧化及烷基转移催化剂的性能影响及应对措施 [J]. 石化技术, 2024, 31(07):12-13+84.
- [4] 阮付军. 连续重整装置开工过程存在的问题及应对措施 [J]. 中外能源, 2024, 29(06):92-97.
- [5] 张启科, 李增勃, 毛吉会, 魏江涛. 催化裂化微反装置对不同类型催化剂的活性评价 [J]. 中氮肥, 2024(03):9-12.