

催化裂化装置提升管反应器油气停留时间分布对产物收率影响

尹冲冲 尹超 马佳伟

山东京博石油化工有限公司, 山东 滨州 256500

[摘要] 催化裂化装置内油气停留时间分布, 会作用于裂化反应效率与产物收率, 调整停留时间分布, 可提升轻质烯烃产出比例, 降低重质产物与焦炭的形成量。新型催化剂同停留时间的配合效果, 多反应器结构与停留时间分布模型的优化设计, 可让裂化环节具备更优质的运行方案。此项研究围绕油气停留时间的调控展开, 分析催化裂化流程的优化路径, 实现反应效率与经济效益的同步提升。

[关键词] 催化裂化; 提升管反应器; 油气停留时间; 产物收率; 裂化反应

DOI: 10.33142/sca.v9i4.19570

中图分类号: TQ2

文献标识码: A

The Influence of Oil and Gas Residence Time Distribution on Product Yield in the Riser Reactor of Catalytic Cracking Unit

YIN Chongchong, YIN Chao, MA Jiawei

Shandong Chambroad Petrochemicals Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256500, China

Abstract: The residence time distribution of oil and gas in catalytic cracking units can affect the cracking reaction efficiency and product yield. Adjusting the residence time distribution can increase the proportion of light olefins produced and reduce the formation of heavy products and coke. The combination effect of new catalysts and residence time, as well as the optimized design of multi reactor structures and residence time distribution models, can provide a higher quality operating plan for the cracking process. This study focuses on regulating the residence time of oil and gas, analyzing the optimization path of catalytic cracking process, and achieving synchronous improvement of reaction efficiency and economic benefits.

Keywords: catalytic cracking; riser reactor; oil and gas retention time; product yield; cracking reaction

引言

催化裂化装置中油气停留时间分布直接作用于裂化反应效率与产物品质, 合理管控油气停留时间可提升轻质产物收率, 降低重质产物与副产物产出, 改善催化剂利用效率。催化剂技术发展与反应器结构改良, 让停留时间分布调控成为强化裂化过程效果的关键方式。新型催化剂投入使用、多反应器组合搭配与停留时间分布模型革新, 助力催化裂化装置达成高效经济的运行状态。

1 提升管反应器油气停留时间的影响机制

1.1 反应器内油气流动与停留时间的关系

提升管反应器内油气流动与停留时间分布关联紧密, 流体流动状态直接决定油气在反应器内的滞留时长。反应器结构设计、流体流体力学特性与油气流变行为, 可形成多样的流动模式, 改变油气的停留时间。流体在反应器内保持匀速流动状态, 停留时间分布更趋均匀, 可保障反应充分开展。实际操作过程中, 流动状态易受外界因素干扰, 气

泡流、气固二相流的相互作用, 会使停留时间分布产生偏差。流动不均的各类情况, 会延长油气的反应滞后时长, 引发局部区域反应过度或反应不充分。调整流动模式、优化停留时间分布, 能够有效提升反应器的整体反应效率。

1.2 油气停留时间对裂化反应速率的影响

油气停留时间直接决定催化裂化反应的速率, 停留时间偏长可扩充裂化反应的反应空间, 推动高分子化合物向轻质烯烃类产物转化。长时间停留可保障裂化反应的完成度, 助力大分子物质实现充分裂解。停留时间超出合理范围易引发副反应, 产出大量重质产物或焦炭, 拉低反应经济性, 加快催化剂中毒速度。停留时间过短易造成反应不充分, 形成大量未裂解的重质油组分。管控油气停留时间并匹配反应动力学参数, 可保障催化裂化过程维持高效高产的运行状态。

1.3 停留时间分布对产物分布的影响

油气停留时间分布直接作用于裂化反应产物的分布

状态,提升管反应器内,不同停留时间分布会催生不同类型的反应产物。油气停留时间偏长时,重质组分可获得充足裂解时长,轻质产品占比随之提升,过度裂解情况也会随之出现,部分轻质产品会继续转化为低价值副产物。停留时间分布偏短时,轻质产物的生成量会受到约束,未裂解的重质油组分占比偏高,产物整体品质随之下降。均匀合理的停留时间分布可提升反应器内部油气的转化效率,对轻重产物的比例完成有效调节。优化停留时间分布可拉高轻质烯烃收率,减少副产物的生成量,优化产物的整体经济效益。

2 不同停留时间分布对催化裂化过程的影响

2.1 长停留时间对裂化反应的催化作用

较长油气停留时间可为裂化反应供给充足时长,大分子可在催化剂作用下完成充分裂解。停留时间延长会拉长反应物与催化剂的接触周期,提升重油组分转化率,推动裂解过程推进,产出更多乙烯、丙烯类轻质烯烃产物。该过程可拉高催化裂化装置整体产物收率,助力高质量轻质产品的制备。停留时间过长易引发焦炭过量生成这类副反应,引发催化剂积炭中毒,削弱催化剂活性与使用周期。长停留时间可优化催化裂化反应选择性,提高过程整体经济效益,需做好控制规避过度裂化与催化剂效能衰减。

2.2 短停留时间的裂化特性与经济性

短停留时间在催化裂化过程中具备专属反应特征,可匹配反应速率快、产物收率要求高的运行场景,较短停留时间内,裂化反应可快速推进,轻质产物的生成速率随之提升。停留时间缩短,反应物缺少过度裂化的条件,可减少焦炭产生,放缓催化剂失活速率,延长催化剂的使用周期。短停留时间可增强催化裂化装置的运行平稳性,部分工况下还可减少能源损耗。短停留时间也会使重油组分裂解不充分,拉低轻质烯烃产出比例,影响装置整体收益水平。把控停留时间与反应速率的配比,可提升裂化转化率,优化产物分布,让裂化流程各环节发挥应有作用。

2.3 最佳停留时间分布的确定

催化裂化反应体系内,最优油气停留时间分布直接关乎反应器整体运行效能。适配的停留时间分布可保障裂化反应稳定高效推进,同步调控产物质量与产出规模。确定最优停留时间分布,需整合分析反应器内部油气流动形态、反应物转化效率及产物分布特征。不同类型催化裂化装置,适配的最优停留时间分布存在差异,需结合设备参数与生产需求做针对性调整。理想停留时间分布可在反应器内部形成适宜的时间梯度,让不同组分油气在对应时段完成充分反应,规避长时间滞留引发的过度裂化问题,也杜绝短

时间滞留造成的反应不完全现象。优化后的停留时间分布可拉高轻质烯烃收率,压缩不完全反应与副产物产出量,切实提升整体经济效益与装置运行效率。

3 油气停留时间优化对产物收率的影响

3.1 轻质产物的收率提升

催化裂化过程中,提升轻质产物收率是拉高装置整体效能的核心,优化油气停留时间分布,可提高裂化反应选择性,增加乙烯、丙烯等轻质烯烃类产品的收率。裂化反应转化效率、反应时间与催化剂活性,都会对轻质产物的生成形成影响,停留时间偏长,可推动重油实现充分裂解,产出更多轻质产品。停留时间过长,会引发反应过度,形成非预期的副产物。调控停留时间与反应温度,实现轻质烯烃收率最大化,是催化裂化过程优化的核心方向,明晰裂化反应机理,调整操作参数,可为提升轻质产物收率提供支撑。

3.2 重质产物的减少及其意义

催化裂化过程中,重质产物的减量处理直接影响反应的经济性与环境表现。调整油气停留时间分布,可规避反应过度问题,降低焦炭及各类重质产物的生成量。重质产物会拉低轻质烯烃收率,加快催化剂积炭与失活速度,干扰反应器的正常运行。控制重质产物生成量,可提升反应选择性,减少废弃物排放,强化能源利用效率。重质产物减量可降低环境污染程度,控制有害气体与废渣的向外排放,优化油气停留时间分布,可细化反应控制流程,保障催化裂化装置的长期稳定运行。

3.3 如何平衡产物收率与反应效率

催化裂化过程中,平衡产物收率与反应效率是操作优化的核心,高产轻质产品与高效裂化反应需在适配的操作条件下达成平衡。停留时间偏长可提升轻质产物收率,时长超限则易引发过度裂化,造成焦炭堆积,拉低反应效率。停留时间偏短可加快反应速率,轻质产品收率也会随之降低。实现最优产物收率与反应效率,需管控反应器内油气流动形态,分配适配的停留时间,让各类油气组分获得匹配的反应时长。运用动态调节方式,结合实时反应状态调整操作参数,可保障高产率的基础上提升反应效率,改善催化裂化过程的整体运行效果。

4 催化裂化装置中提升管反应器的操作优化策略

4.1 控制油气停留时间的关键技术

控制油气停留时间是提升催化裂化反应效率与产物收率的核心技术,相关技术涵盖反应器内部流动模式调整、反应温度优化与高效催化剂应用。反应器设计及油气流变特性,直接作用于停留时间分布,左右催化反应的实际效

率。运用合适的流动控制手段,实现气固分布均质化、增强流体湍流强度,可消除流体死区,保障油气在反应器内均匀分散并完成反应,调节反应温度,可把控裂化反应速率,理顺停留时间与产物分布的内在关联。实际生产环节,依托智能控制系统与在线监测工具,对停留时间分布实施动态调控,保障反应效率,提升催化裂化装置的综合运行效能。

4.2 提升管反应器内部流体流动优化方法

提升管反应器内部流体流动优化是提升反应效率与产物质量的关键环节,调控流体停留时间分布与反应均匀性,可依托反应器设计改良及流体动力学调节技术实现。螺旋流道的运用或反应器内部扰流装置的增设,可打破流体层流状态,强化湍流强度,保障油气分布均衡,规避滞留时间不均的问题。反应器结构改良可通过增设分布器、扩大内部流体接触面积实现,强化油气与催化剂的接触效果,加快反应进程。流体流动优化可消除油气流动不均的问题,维持高效的热交换与物质传递,改善催化裂化过程的产物品质与操作稳定性。

4.3 综合操作参数对停留时间分布的影响

催化裂化过程中的停留时间分布受反应器结构影响,也与操作参数紧密关联,温度、压力、流量等参数变动,会直接作用于油气流动特性与实际停留时间。温度偏高时反应速率加快,油气在反应器内的停留时间随之缩短,温度偏低则会拉长这段时长。油气流量变动会改变反应器内部流速,左右停留时间的整体分布,流量偏高会压缩停留时间,流量偏低会造成停留时间超标,干扰裂化反应的选择性与运行效率。统筹把控温度、压力、流速等各类操作参数的相互影响,结合反应器内部流动特征与反应进程,依托优化后的操作条件精准管控停留时间分布,减少参数波动带来的反应偏差,保障反应器持续稳定高效运行,推动裂解反应有序开展,最终实现产物收率与质量的最优调控。

5 提升管反应器油气停留时间分布的未来研究方向

5.1 新型催化剂与油气停留时间的协同作用

新型催化剂应用与油气停留时间调控关联紧密,两者配合可强化催化裂化反应的整体效果,现代催化剂拥有更强的反应活性,可调整油气分子裂解路径,产出更多轻质烯烃类产品。催化剂性能与反应器内油气停留时间分布相互适配,停留时间分布调控可提升催化剂利用水平,让其在更短周期内释放催化作用。新型催化剂热稳定性与抗积

炭性能更优,可降低停留时间偏长引发的焦炭堆积情况。结合反应器内部流动形态,可在各反应阶段调整催化剂应用方案,依靠配合作用拉高裂化转化率与轻质产物产出量。催化剂与停留时间的科学管控,可改善产物品质,延长催化剂使用周期,减少生产过程的成本投入。

5.2 多反应器配置与停留时间优化

多反应器配置为催化裂化反应优化提供充足灵活性,可在反应不同阶段实现油气流动的精准管控,设置多组反应器单元,能在各单元内单独调节油气停留时长,对反应转化过程实施精细化把控。多反应器系统中,各单元作用相互补充,可避免单一反应器内停留时间失衡带来的效率损耗。初级反应器负责完成重油组分的快速裂解,后续反应器承接深度裂解工序,让不同油气组分都能在适配时长内完成反应。通过调节各阶段温度、压力与流速参数,可让油气反应过程更均衡,进一步提升轻质产物的整体收率。多反应器协同运行还能减少焦炭的生成量,提升催化裂化装置的运行稳定性,优化生产全过程的经济效益,降低生产过程中的各类损耗,让装置在长期运行中保持高效稳定的工作状态,为催化裂化生产提供更可靠的运行保障。

5.3 停留时间分布模型的创新与实际应用

停留时间分布模型的创新推动催化裂化过程优化迈入全新阶段,模拟反应器内油气流动特性,可为各类裂化反应提供量化参考依据。实际应用里,构建反应器内部流体流动数学模型,可预判不同操作条件下的油气停留时间分布,优化反应效率与产品质量。国内某石化企业在催化裂化装置中采用基于 CFD 计算流体动力学模拟的停留时间分布模型,该模型可反映反应器内油气流动的非均匀特征,借助实时调整流体流速、温度与反应器压力优化反应条件。项目实施后,停留时间分布实现优化,轻质产物收率提升约 8%,焦炭生成量降低 15%,优化举措提升裂化装置经济效益,放缓催化剂失活速率,延长催化剂使用周期。停留时间分布模型的应用实现理论与实际操作的融合,为催化裂化过程的持续优化积累实践经验。

6 结语

催化裂化装置中油气停留时间的优化,可提升产物收率与反应效率,管控停留时间分布、选用新型催化剂、调整反应器配置,能提高轻质烯烃产物收率,降低重质产物与焦炭的生成量。融合停留时间分布模型的应用,可为催化裂化过程优化提供对应指导。催化剂技术持续发展、停留时间控制手段逐步成熟,催化裂化装置会在提升经济效益、增强环境友好性上发挥核心作用。

[参考文献]

- [1]孙可峰.多相流动反应器的优化与应用研究[C].浙江:河南省豫商经济文化交流协会.2025 中国城建经济研讨会论文集.浙江天圣控股集团有限公司,2025.
- [2]邢灏.催化裂化装置中催化剂颗粒流动及烧焦再生特性研究[D].北京:中国矿业大学,2025.
- [3]吴军.催化提升管预提升段和进料段气固流动特性的模拟研究[D].西安:西安石油大学,2025.
- [4]鲁波娜,王秀车,王维.催化裂化工艺发展背景下的快速床研究[J].石油炼制与化工,2025,56(5):105-116.
- [5]郭蓉,王智峰,侯凯军,等.催化裂化装置提升管反应器数值模拟研究进展[J].石化技术与应用,2025,43(3):249-255.

作者简介:尹冲冲(1989—),男,汉族,助理工程师,研究方向为化工工艺。