

全馏分粗苯的加氢精制工艺优化与经济效益分析

侯 伟 赵兵兵 周 猛 郭红海 李明伦 (山东盛发焦化有限公司, 山东 济宁 272300)

摘要: 随着煤焦化及下游化工产业对芳烃原料质量要求的不断提高, 全馏分粗苯加氢精制工艺在提升产品附加值、减少环境污染方面的重要性日益凸显。本文结合当前全馏分粗苯加氢精制中存在的原料适应性差、能耗物耗偏高、产品质量稳定性不足和环保处理压力大等问题, 提出面向反应效率提升的动态适配体系, 探讨集成节能降耗的工艺与装备技术, 升级分离与质量控制环节, 优化环保处理工艺, 进而对工艺优化后的经济效益进行分析, 希望为全馏分粗苯加氢精制工艺的持续改进提供参考。

关键词: 全馏分粗苯; 加氢精制; 工艺优化; 经济效益

中图分类号: TQ241 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0088-03

Optimization of Hydrofining Process and Economic Benefit Analysis of Whole Fraction Crude benzene

Hou Wei, Zhao Bingbing, Zhou Meng, Guo Honghai, Li Minglun (Shandong Shengfa Coking Co., Ltd., Jining Shandong 272300, China)

Abstract: With the continuous improvement of the quality requirements for aromatic raw materials in the coal coking and downstream chemical industries, the importance of the full-range crude benzene hydrofining process in enhancing product added value and reducing environmental pollution has become increasingly prominent. This paper, in light of the current problems existing in the hydrogenation refining of full distillate crude benzene, such as poor adaptability of raw materials, high energy and material consumption, insufficient stability of product quality, and high pressure of environmental protection treatment, proposes a dynamic adaptation system for improving reaction efficiency, explores the integration of energy-saving and consumption-reducing process and equipment technologies, upgrades the separation and quality control links, and optimizes the environmental protection treatment process. Furthermore, the economic benefits after the process optimization are analyzed, hoping to provide a reference for the continuous improvement of the hydrogenation refining process of full fraction crude benzene.

Key words: Crude benzene in the entire fraction Hydrofining Process optimization Economic benefits

全馏分粗苯直接加氢精制能够在不进行复杂前分离的条件下, 将含硫、含氮及不饱和组分转化为易于分离的形态, 从而获得高纯度的苯、甲苯和二甲苯等芳烃产品, 对替代传统酸洗工艺、减少环境污染具有重要意义。但目前而言, 现有工艺在原料适应性、能耗物耗、产品质量稳定性以及环保处理等方面仍存在明显不足, 难以在原料波动频繁、环保标准趋严和市场竞争加剧的背景下实现长周期、低成本、高效率运行。如何面向实际工况构建系统化的工艺优化思路, 统筹考虑装置运行的经济性与环境效益, 已成为全馏分粗苯加氢精制领域亟待解决的问题。

1 全馏分粗苯加氢精制工艺现存问题

1.1 原料适应性差

现阶段, 全馏分粗苯加氢精制装置在原料适应性方面存在明显不足, 难以在原料来源多样、性质波动频繁的条件下保持长周期稳定运行。不同焦化企业甚至同一企业不同生产批次的粗苯, 在馏程范围、硫氮含量、烯烃比例及微量杂质组成上均存在较大差异, 而现有工艺设计往往基于较为理想的原料指标, 对极端工况和组分偏离的容忍度不高。当原料中重质组分

比例偏高或烯烃含量异常时, 加氢系统易出现反应升温难以控制、催化剂结焦速率加快、换热器与蒸发设备堵塞等问题, 导致装置负荷被迫降低甚至非计划停工。

与此同时, 预处理环节对水含量、机械杂质及部分极性化合物的脱除能力有限, 少量携带进入反应系统的有害组分会在高温高压环境下累积, 进一步削弱催化剂的活性和选择性^[1]。

1.2 能耗物耗偏高

在实际运行过程中, 全馏分粗苯加氢精制工艺的能耗与物耗水平整体偏高, 这在很大程度上削弱了装置的经济竞争力。该工艺涉及高温高压反应、多级分离以及萃取精馏等多个耗能单元, 反应部分需要持续供给大量高纯度氢气并维持较高的操作压力, 导致氢气压缩与循环功耗较大。预加热、蒸发、精馏和溶剂再生等环节消耗大量中低压蒸汽, 而部分装置在热量回收方面设计不够完善, 使得高温位热能未能得到充分利用, 低温位余热又难以找到合适的消纳途径。

1.3 产品质量稳定性不足

全馏分粗苯加氢精制产品在质量稳定性方面仍存

在一定短板,难以始终满足下游高端化工装置对原料纯度和组成的严苛要求。由于原料性质波动、催化剂活性变化以及操作条件调整等多重因素叠加,加氢油中硫、氮等杂质的脱除程度在不同运行周期之间容易出现细微差异,导致最终产品纯度出现波动。在分离环节,萃取蒸馏塔和精馏塔的操作状态对产品收率和质量影响显著,而实际生产中塔内温度、压力、回流比及溶剂比等参数难以做到完全恒定,微量杂质在塔顶和塔底的分配随之发生变化,使得苯、甲苯等主要产品的质量指标存在缓慢漂移^[2]。

1.4 环保处理压力大

随着环保标准的不断提高,全馏分粗苯加氢精制工艺在环保处理方面面临的压力日益突出。该工艺在生产过程中会产生含硫化氢、氨、低分子烃类及少量有机硫化物的酸性气体,这些气体若处理不当,不仅会对装置周边的大气环境造成不良影响,还可能在排放口附近形成异味扰民问题。废水方面,加氢反应生成的含硫、含氮废水以及设备和地面冲洗水含有较高浓度的溶解性有机物和盐类,需要经过多级生化处理和深度净化才能达标排放,对处理工艺和运行管理提出了较高要求。

2 全馏分粗苯的加氢精制工艺优化策略

2.1 构建动态适配体系,提升反应效率

为系统性解决全馏分粗苯原料性质波动大、装置难以长周期稳定运行的问题,企业应从原料表征、在线监测、控制策略及催化剂配置等方面入手,构建面向反应效率提升的动态适配体系。具体而言,应在现有实验室分析基础上,引入近红外光谱、在线气相色谱等快速分析手段,对粗苯的馏程范围、硫氮含量、烯烃比例等关键指标进行连续跟踪,并将这些数据与原料批次、焦炉工况等信息关联,建立结构化的原料特性数据库。通过对历史数据进行聚类分析和主成分分析,企业可以将原料划分为若干典型类型,为后续的反应条件优化提供数据基础。

在数据以及监控系统的基础上,企业需要重新制定反应器单元控制系统,由原来的依靠经验设置转变为以模型计算及限制优化为基础的操作方式。实践中,可以考虑依据加氢动力学以及物料衡算构造精简的反应器模型,将原料性质参数设定成模型变量,预测出对于不同的操作方案所导致的不同硫氮脱除率、芳烃损失率、床层温升分布等情况,并且可以在操作界面上生成可视化的操作区间供操作者参考。例如,一旦检测到原料烯烃以及重质馏分增大,在线就给出适当降低进料温度、增大氢油比、优化分配循环氢流量等措施,从而减少过渡加氢反应的发生以及对催化剂的

积碳污染情况。在催化剂选择上,可以借鉴分区填充和级配的理念,在上游优先安排具有烯烃饱和和易聚物加氢高性能的催化剂,在下游放置强深度脱硫脱氮能力兼顾芳烃选择性的催化剂,不同功能区域的合作可以使整个反应过程,能够维持在相对理想的转化率和选择性^[3]。

2.2 集成节能降耗技术,降低生产成本

面对现阶段能源成本高位震荡、装置同质化竞争加剧的大环境,公司必须将节能降耗作为全馏分粗苯加氢精制工艺改进的重要方向之一,应当从工艺路线、设备选型、操作管理这三个方面着手,全面梳理整合,建立全流程节能工程技术方案。在工艺路线上,要着重加强反应和分离工序间的热联合,在原料和反应产品之间增设换热器网络,使反应流出物所含的高位热量能够逐级得到使用,比如用反应出口物料来加热进料粗苯;或者将稳定塔顶部蒸汽汽化潜热用来加热其他低温度物流。而对于萃取精馏、芳烃分离这些能耗大户来说,可以采用热耦合精馏、热泵精馏这类先进工艺,让几座精馏塔之间进行热量互供,或者是运用压缩机将低位热能升华为高位热能,以此大幅削减系统的总能耗。同时,也要对蒸汽管网进行分等级调度,将高压蒸汽首先提供给透平这类主力机械,中低压蒸汽再供给工艺加热使用,最后把各处冷凝下来的低温余热汇总起来,用来加热锅炉补给水或者供暖。

同时,企业还应该从精细设计和智能调度两个方面探索节能量。在机器设备的选择上,应当选用高效的传热元件以及阻力小的塔内部构件等,来减少传热以及流体输送过程中的不可逆损失,如在精馏塔中应用规整填料代替传统的塔盘,这样不仅能够提升产品的分离效果,还可以大幅削减填料层的压降及所需的回流比。针对氢系统的应用,要对压缩机与循环氢系统之间的组合方式进行优化,经过严格的测算得出恰当的氢油比例、循环氢量值,在达到所需化学反应效果的基础上,尽量减少因多余的氢气循环而导致的额外压缩功损耗。

2.3 升级分离与质控系统,保障产品质量稳定性

由于全馏分粗苯加氢精制产品对纯度、收率以及批次间产品质量的一致性都有极高的要求,企业必须对公司的分离以及质检系统进行升级改造,通过对分离工艺的调整、先进的自动控制方法的应用以及严格的质量检验措施,来建立全过程、全产品的质量保障体系。其中,针对分离工艺部分,需要优化萃取精馏塔以及芳烃精馏塔的操作稳定性和分离性能。企业可以通过流程模拟以及灵敏度分析的方法,来探究不同萃取剂选择、溶剂比、回流比、进料位置等操作变量

对最终产品纯度和回收率影响的趋势,并找到不同工况下各个变量的操作范围,将它们设置成控制系统中日常操作的限制条件。而对于像苯、甲苯这样重要的产品,可以考虑采用双塔串联或者侧线采出的方式进行精馏,在严格控制塔顶和塔釜组分分布的前提下,尽可能降低微量杂质在产品中的累积^[4]。

在此之上,公司应当健全由原材料进厂至成品出厂的一整套质量管控流程,借助一线检测、高级控制以及质量追踪的方式,来落实产品的精细化质量管理。即在加氢反应器出口、抽提塔回流以及精馏塔侧线采出等处设置在线分析仪器,以对硫含量、氮含量、芳烃含量、馏程区间等一系列重要的质量指标进行即时检测,并将其与工艺变量加以整合分析,进而构建产品质量预报方程;同时引入MPC等多种先进控制器,并基于质量预报及市场需求,及时调节工艺参数,从而使产品各项质量指标均能恒定在设定值附近。如若苯产品在在线检测中发现了非芳烃含量有所增加的趋势,则控制系统便会自动调整溶剂比或回流比,从而减少非芳烃被携带的机会。

2.4 优化环保处理工艺,实现绿色生产

面对日益严格的国家标准及民众环保意识觉醒,全馏分粗苯加氢精制生产企业要想获得长远发展,就必须把环保处理工艺的技术提升放在首位,当成重中之重来抓,要从污染源削减、过程管控以及末端治理三个方面着手,建立全流程的清洁生产方案,以求将自身生产行为所带来的环境污染降至最低程度。其中,污染源削减主要是指通过改善反应条件与优化催化剂性能的方式,来达到少产或不产生副产品的目的。比如提升加氢反应选择性的目的,在于尽量避免繁重的芳香族化合物及缩合物之类副产品出现,从而减轻下游系统处理压力。再如,进一步优化原料前处理流程,提升水、机械杂质和高极性组分的去除效果,可以有效防止它们在高温高压环境下,对机器设备和催化剂造成长期毒害作用,进而使得整套装置使用寿命延长,在无形中减少了由于经常停机检修所造成的环境污染。

同时,公司应对酸性气体、废水、固废等不同类型污染物,采取先进治理技术及设备,使各类型污染物可以达标排放。对加氢过程中产生的含有硫化氢、氨等多种酸性气体,应使用高效的脱硫脱氨技术对其进行处理,如可采用胺液吸收或碱洗的方式去除其中的硫化氢,然后以汽提或结晶等方法回收氨并加以利用。而对于含硫含氨废水,则应该采取多级生化与深度净化措施,比如可以通过厌氧/好氧联合工艺增强废水中有机物质的分解;然后再借助一些膜过滤、高级氧化等手段,尽可能地削减废水中残留的污染物含

量,以便提升废水的再利用率^[5]。

3 经济效益分析

面对全馏分粗苯加氢精制工艺优化与经济效益一体化评估问题时,企业应该把工艺革新同全生命周期内的成本节约与盈利增加相连接起来,在不同的方面对其进行综合性分析。在成本方面,工艺流程优化建立动态响应机制,提升了设备应对原料变化的能力,降低了非计划性停车以及频繁开车停车和各种异常状态下的处理所造成的隐形损失;另外,节能降耗技术集成使得氢气、蒸汽等各种能源公用工程消耗量的下降,直接缩减了单位产品中变动成本部分;再者,是质量稳定性提高,降低了由于产品质量不稳定造成的产品降级出售,或者进行二次加工乃至被退货的风险,进而优化了现金流量和存货周转率。在收入端,优质芳烃产品的稳定供应可以持续进入下游高端化工产业,并取得较高的产品附加值,同时提高了企业在长期协议和即时现货市场的定价话语权;最后,清洁生产的改善可以使公司在面对日益严峻的环境保护政策时,避免遭受环境处罚和减产风险,并且可以在碳排放指标交易和绿色信贷等方面取得额外收入。

4 结束语

总之,为了解决全馏分粗苯加氢精制工艺中出现的进料适应性低、能耗物耗高、产品品质不稳定及环境风险高等问题。本文所提到的动态匹配机制、节约能源消耗策略、更新分离与品质管理系统、优化环境保护工序等,构成了相对完整的升级改造思路。上述调整方案不仅可以有效提高装置生产过程中的可靠程度、产品品质和清洁度,而且可以同时减少企业生产支出、开辟高端产品市场、避免环境危机,进而提升公司的市场竞争力和长期盈利能力。未来,可以在当前优化方案的前提下,更加充分考虑设备的实际运转参数,进行更为详细的过程模拟、自动化控制和全周期经济效益分析,从而更好的服务于全馏分粗苯加氢精制工艺的升级改造工作。

参考文献:

- [1] 任鹏. 中低温煤焦油全馏分加氢制清洁油品项目技术经济性探析 [J]. 煤化工, 2025, 53(04): 7-11.
- [2] 李俊. 不同馏分油分级分质加工中萃取技术研究进展 [J]. 化工学报, 2024, 75(04): 1065-1080.
- [3] 张慧玲. 全馏分粗苯加氢精制工艺优化 [J]. 山西化工, 2023, 43(09): 96-97+108.
- [4] 佚名. 全馏分乙烯焦油加氢处理工艺 [J]. 齐鲁石油化工, 2023, 51(02): 111.
- [5] 刘志学. 高温全馏分煤焦油/供氢溶剂加氢精制反应研究 [J]. 广东化工, 2023, 50(06): 31-34+59.