

汽油加氢改质装置稳定运行与异常工况处置研究

畅 凯

中国石油天然气集团有限公司乌鲁木齐石化分公司炼油三部, 新疆 乌鲁木齐 830019

[摘要]催化裂化 FCC 汽油占我国目前汽油总产量的将近 80%, 但是它的烯烃和硫含量却经常性的高于国家指标, 造成环境污染。因此催化裂化汽油加氢改质制备清洁燃料的任务十分迫切。本研究系统地剖析了影响汽油加氢改质装置平稳运行的因素主要有进料性质变化、催化剂的选择和活性状况、操作条件以及机器完好情况等几个方面。结合常见的非正常情况有反应器床层温度大幅变化、装置系统压力超高、氢纯度降低、产品硫含量超标等情况给出相应的解决办法。最后从原料预处理、催化剂科学管理、自动化控制优化以及预防性维护四个方面给出了装置稳定运行的优化策略, 为炼化企业的装置“安稳长满优”运行提供技术支持。

[关键词]汽油加氢; 装置稳定; 异常工况; 催化剂管理; 优化策略

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18846

中图分类号: TQ086.3

文献标识码: A

Research on Stable Operation and Abnormal Operating Condition Handling of Gasoline Hydrogenation and Upgrading Unit

CHANG Kai

Refining Department 3 of CNPC Urumqi Petrochemical Branch, Urumqi, Xinjiang, 830019, China

Abstract: Catalytic cracking FCC gasoline accounts for nearly 80% of Chinese total gasoline production, but its olefin and sulfur content often exceeds national standards, causing environmental pollution. Therefore, the task of catalytic cracking gasoline hydrogenation upgrading to prepare clean fuels is very urgent. This study systematically analyzed the factors that affect the smooth operation of gasoline hydrogenation upgrading units, including changes in feed properties, selection and activity of catalysts, operating conditions, and machine integrity. Provide corresponding solutions based on common abnormal situations such as significant changes in reactor bed temperature, excessively high system pressure, decreased hydrogen purity, and excessive product sulfur content. Finally, optimization strategies for the stable operation of the equipment were proposed from four aspects: raw material pretreatment, catalyst scientific management, automation control optimization, and preventive maintenance, providing technical support for the "stable, long-term, and optimal" operation of the equipment in refining enterprises.

Keywords: gasoline hydrogenation; device stability; abnormal working conditions; catalyst management; optimization strategy

引言

构建资源节约型和环境友好型的炼油产业已经成为我国国民经济和社会可持续发展迫切需要解决的重大关键性问题之一, 随着经济和国际接轨, 对环保要求也越来越高, 导致国内清洁燃料的标准日渐苛刻, 所以汽油产品中烯烃含量较高是国内目前清洁汽油燃料生产存在的主要问题。催化裂化 FCC 汽油是我国汽油池的重要组成部分, 而它的高烯烃、高硫的特点决定了加氢改质工艺成为生产清洁汽油必不可少的技术。汽油加氢改质装置经过加氢脱硫、烯烃饱和和异构化等一系列反应来减少汽油里的硫和烯烃含量, 但是与此同时装置的安全平稳运行面临着很大的挑战。

1 汽油加氢改质工艺概述

催化裂化汽油加氢改质技术主要是加氢脱硫、烯烃加氢饱和及芳构化等一系列过程, 其中烯烃加氢异构化、芳构化的反应程度对产品的抗爆指数 RON 有很大影响。当两者的反应程度比为 2:3 时能得到烯烃和辛烷值都能达

标的 FCC 汽油。汽油加氢改质装置一般使用固定床反应器在临氢环境下发生反应。而对于全馏份 FCC 汽油来说发现其烯烃主要存在于轻馏分部分, 而硫则主要分布在重馏分部分, 所以工业上经常采取切割馏后再针对性加氢的方法来尽量少的损失辛烷值。

窄馏分切割分析发现 FCC 汽油中有 80% 以上的烯烃集中在沸点低于 115°C 的轻馏分里, 主要是 C5~C8 烯烃。这个分布特征为选择性加氢裂化提供了依据。加氢裂化过程中催化剂的选择是尤为重要的。例如 ZSM-35 和 MCM-22 共晶分子筛催化剂对 FCC 汽油中的烯烃有较好的低温芳构化性能, 在 250~310°C 下可使烯烃由 43% 降到 31%, 芳烃上升了 12 个百分点, 产品辛烷值提高了 0.8 个单位。工艺装置的设计也是非常重要的, 一个好的设计可以让后期生产起来很顺利, 避免很多不必要的麻烦。

2 影响装置稳定运行的主要因素

汽油加氢改质装置平稳运行是由很多方面决定的, 它们互相联系着, 只要有一环出错就可能引起装置波动甚至

是停车。

2.1 原料性质波动

原料性质的变动是对装置安稳生产影响最大的一个因素。催化裂化汽油组分十分复杂，而其中的不饱和和烃含量变化又直接决定着反应热的变化量。某 120 万吨/年重整抽余油加氢装置就因为原料中的不饱和和烃严重超标使得反应热急剧升高，以至于发生床层飞温结焦堵塞。原料中的二烯烃还造成了催化剂表面结焦速度变快、活性降低^[1]。原料中的硫含量以及硫形态分布对加氢脱硫也有影响，在不同的窄馏分中硫的分布特征相差极大。某些时候原料的变化也是难以预料的，这样的不确定性为装置的操作增加了不小的难度，操作者们要时刻准备好处理由于原料变化引起的一系列问题。

2.2 催化剂性能与活性管理

催化剂性能的好坏直接影响着加氢改质的效果、装置运行的周期长短，催化剂要有合适的加氢脱硫活性、选择性以及稳定性。研发的稀土/ZSM-5 催化剂在 375~420℃ 临氢环境下能使 FCC 汽油中的烯烃从 49.5% 降至 19.6%，而芳烃和异构烷烃则增加了 13 和 11 个百分点左右，并且辛烷值基本无变化。催化剂长期使用之后活性都会有所下降，要再生或者更换。经过测试有部分催化剂在经历 300h 单程试验及 23 次加氢提速再生试验之后仍有较好的稳定性和再生活性。催化剂管理得好能够大幅度提升装置的运行周期，节省大量开支。

2.3 操作参数控制

反应温度、压力、空速以及氢油比等操作条件的调节精度对于装置平稳生产影响很大。如 ZnLaNiMo/ZSM-5 加氢改质催化剂在反应压力 2.0MPa，体积空速 1.5h⁻¹ 和氢油比为 300 和反应温度 340℃ 条件下取得加氢脱硫率为 62.5%，并且产品中的烯烃减少了 12.04%，辛烷值提升 1.14。参数稍有变化就有可能导致产品的质量达不到标准或装置运行不稳定等情况。实际生产过程中，这些条件的操作者需要实时观察并进行相应的调控，但很多时候依靠的是个人的经验，具有较强的主观性与随意性。操作条件看似容易控制，其实难度极高，并非一般人能够胜任。

2.4 设备完整性维护

设备完整是装置长周期稳定运行的前提，随着装置运行时间的增长，设备故障与腐蚀等问题也会逐渐增加。例如分馏塔结盐会影响换热效果以及引起操作上的波动；而换热器内漏则会影响到热平衡、产品的质量。某一装置就因为分馏塔结盐的原因造成了汽油干点出现波动，后来通过把顶循除盐设施循环量上调至极限才使得汽油干点日渐平稳。对设备管理以及维修的好坏决定了装置是否能够安全和可靠地运行，而对于设备的检修也必须经常性的开展，不可以等到出现问题的时候再去修理，那样一来所造成的损失将会更大一些。

3 常见异常工况及处置措施

汽油加氢改质装置在运转的同时也可能出现各种各样的非正常状态情况，能够快速地发现并正确的处置这些非正常状态对于装置的安全平稳运转来说是非常重要的。

3.1 反应温度异常波动

剧烈的反应器床层温度变化也是加氢装置最常见的异常情况之一，温度太高会造成催化剂烧结失活，温度太低则转化率不足，一旦出现这种反应器床层温度异常变化首先要查明进料组分及加热炉的情况，如果是因为进料组分中含有过多的不饱和和烃而造成反应剧烈放热必须及时调整进料比例或者降低处理量；若是床层局部超温，则可以通过调节急冷氢流量来进行控制。曾经有一台设备就是由于进料不饱和和烃过多而引起床层温度飞速上涨，然后在高温下又发生了不饱和和烃的聚合积炭，放出更多的热量形成恶性循环最后造成了严重的事故。另外温度控制方案的设计也非常重要，良好的温度控制设计可以更好的解决温度突变的问题。

3.2 系统压力异常升高

系统压力超高可能是由于催化剂床层堵塞或循环氢压缩机故障以及冷凝冷却系统故障等原因造成的。系统压力超高时首先要观察压差的变化趋势确定堵塞位置。若是催化剂床层结焦堵塞则需酌情考虑降量或者在线除焦^[2]，必要时可采取装置降量或者停工措施。一重整抽余油加氢单元紧急停车分析发现结焦造成床层堵塞压差迅速上涨。压力控制器的稳定性也是一个不容忽视的因素，在某催化汽油加氢脱硫装置刚开工就出现了稳压罐压力大幅波动的现象，对于压力问题的处理一定要慎之又慎，因为压力问题常常是伴随着危险的发生，所以在处理压力问题的同时也要格外注意安全。

3.3 循环氢纯度下降

循环氢纯度下降会造成氢分压下降，对加氢反应不利，另外还可能增大系统的腐蚀倾向。引起循环氢纯度下降的原因主要是原料中硫、氮等杂质增多或者循环氢脱硫系统性能变差。应对方法有：改善原料预处理，增强循环氢脱硫系统的管理检修，适量引入新鲜氢气。检测循环氢中硫化氢含量同样有必要。由于硫化氢能与烯烃发生反应生成硫醇或硫醚而影响油品质量。一般来说纯度问题都是一个缓慢发展的过程，在日常工作中就要注意观察纯度走势。

3.4 产品硫含量超标

产品的硫含量超标影响着汽油产品的质量，不符合环境保护的要求。导致产品硫含量超标的原因主要有以下方面：进料硫含量超过设计值、催化剂活性衰退、反应条件远离最优值。处理方法首先是检测进料硫含量及硫的形态分布情况，进行原料切割调整。然后可以对操作参数进行优化，例如适当提升反应温度或者减少空速等。如果是因为催化剂活性不够，则可以通过催化剂再生或者更换新催

化剂。添加钼改性的 ZSM-5 催化剂在保证催化汽油的芳构化反应性能的同时提高了催化剂的脱硫能力,在面对硫含量为 3070ppm 的汽油时有高达 90% 的脱硫率。由此可以看出催化剂的选用与更换也是解决产品硫含量超标的问题的一个有效措施。硫含量问题是直接关乎产品品质的,所以我们应该高度重视这个问题。

4 装置稳定运行优化策略

为了使汽油加氢改质装置能够长期平稳运行就需要在很多地方进行系统的优化处理。装置的优化是一项长期的工作,要不断更新优化。

4.1 原料预处理与质量控制

强化原料预处理是保障装置长周期平稳运行的第一步。通过严控、分析原料质量来预估并杜绝由于原料变化而导致的操作问题。采用窄馏分切割的方法把 FCC 汽油按照沸点分割成多个不同馏分,对不同的馏分要区别对待,制定相应的加氢方案。搭建原料在线分析及快速反应体系,实现实时监测原料指标的变化,并据此及时调节操作条件。对于双烯含量较大的原料,则增设选择加氢预处理工序脱除双烯,降低生焦量。原料预处理工作如果做到位了,后面的工作就会省心许多。

4.2 催化剂科学管理与再生

催化剂的有效管理包含正确选用、活性检测与再生方式。针对催化剂的选择必须结合进料特点、产品质量以及装置情况而定。ZSM-35 和 MCM-22 共晶沸石型催化剂具有较好的低温芳构化效果,适合要求辛烷值损失较小的情况^[3]。定期检查催化剂活性,可通过观察产品指标及反应条件的变化来判断催化剂状况。针对活性降低的催化剂,合适的再生方法能延长催化剂寿命。催化剂的再生应注意控制再生温度,防止温度过高造成催化剂结构受损。一镍系催化剂在其再生时需要用到 350°C 的热氢作为介质,为防止出现氢脆现象,相关机器、管线和管件材料须核实并更换。催化剂管理工作是技术活,不是任何人都能够胜任的工作。

4.3 自动化控制与工艺参数优化

先进的控制系统能大幅提升了装置的操作平稳率和精度水平。金陵石化使用的就是 AIPC 高级智能过程控制技术,智能化调整 PID 参数,结合了预测模型技术和人工智能技术,实现了装置全流程精细化控制。AIPC 技术可有效解决长期困扰生产过程控制的参数漂移问题,在加热炉热效率、分馏塔灵敏板等对温度敏感的关键设备上有所表现。模型预测控制 MPC 是基于模型辨识的一种典型的多变量高级控制方法,其通过采集阶跃试验或者利用历史数据来辨识过程中的各个变量间的动态数学关联,进而提前修正控制动作以提升过程控制性能。先进控制的应用可以让操作频率大大减少,比如有一个项目让操作频率从一个班 336 次降到 16 次,下降幅度高达 95.2%。自动化新技术的应用给装置带来了新机遇,我

们要积极接纳它们。

4.4 预防性维护与设备管理

预防性的检修是保证设备完整性以及装置可靠性的有效措施。随着装置使用年限的增长,机器的损坏与腐蚀等问题也渐渐变多,建立健全机器监测报警体系,能够及时发现机器出现的问题。按时巡检并对机器进行检测,尤其是针对高温高压机器以及易发生腐蚀的地方^[4]。分馏塔积盐是比较普遍的现象,某装置通过对催化分馏塔顶循环脱盐设施循量上限运行使汽油干点得到了稳定的控制。设备管理还要重视人才的培养与经验积累,有经验的师傅能从各种数据中为装置运行提出宝贵的参考意见。设备管理需要有条理有针对性的开展,而不是想起来就做一做。

5 结束语

汽油加氢改质装置平稳生产是一项综合性课题,需要从进料、催化剂、操作及设备等方面着手。催化裂化汽油的改质对清洁燃料的生产、环境保护有重要的现实作用。通过探究装置不稳定的影响要素并归纳典型异常情况的应对举措可为日常的操作提供参考。进料性质的变化依然是装置所面对的主要难题之一,抓好原料预处理和品质监控是前提条件。合理管控催化剂并对再生方案进行完善能使装置运转周期更长,减少生产支出。自动控制系统尤其是高级过程控制技术和人工智能技术的应用给装置的操作精度和可靠性的提升带来了新的解决方案。预防性和以可靠性为中心的维护策略是装置长久稳定运行的物质基础。

今后的研究趋势应当是更高活性催化剂的研发、更精确的在线分析技术和更先进的控制策略。伴随着炼化行业的数字化转型,汽油加氢改质装置的运转管控会变得更加智能化和精细化。借助跨领域的交叉融合以及技术整合,中国的汽油加氢改质技术将进一步升级,为清洁燃料生产及环境污染治理发挥更大的作用。装置平稳运行既是技术问题,又是企业的责任担当与绿色发展的体现,需进一步进行探讨和研究。

[参考文献]

- [1]李恒.乙烷原料重质化后裂解汽油加氢装置适应性改造[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(20):9-11.
 - [2]卜伟庭,徐莹莹,王会江.催化汽油加氢装置关键技术的安全防控措施[J].化工管理,2025(30):131-134.
 - [3]杨宗阳,胡婷婷.裂解汽油加氢装置过程控制策略与优化研究[J].山西化工,2025,45(7):149-151.
 - [4]段为宇,徐大海,李浩萌,等.焦化汽油加氢装置预保护反应器研究与应用[J].炼油技术与工程,2024,54(8):8-10.
- 作者简介:畅凯(1988.12—),男,身份证号:6501081988****0019,毕业学校:对外贸易经济大学,学历:本科,专业:法律,当前工作单位:中国石油天然气集团有限公司乌鲁木齐石化分公司炼油三部,职务:主操,所在职务年限:12年,职称级别:高级工。