

石油化工催化裂化工艺优化提升企业效益

李福贵 王超 (东营市海科瑞林化工有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 石油利用加快转向非燃烧领域, 全球炼油业的重心将转向石化产品。随着燃料需求逐渐达峰, 石油利用将加快向非燃烧领域转移。未来随着全球中产阶级规模的不断壮大, 耐用品需求不断增加, 将带动纺织品、汽车装配及建筑材料等制造业的蓬勃发展, 从而进一步推动石化产品需求增长。

关键词: 石油化工; 催化裂化技术; 工艺优化; 经济价值; 企业效益

0 引言

催化裂化(以下简称 FCC)工艺是在催化剂作用下, 有选择地将重质原料油转化为汽油、液化气等燃料的路线, 是当今重要的炼油加工技术之一, 可以大量获得轻质油组分。

针对高温浆态床费托合成产品以高清洁柴油、蜡和石脑油为主的特点, 采用 FCC 工艺将费托蜡转化为高清洁汽油可丰富费托合成下游产品的意义重大。以费托蜡为原料的 FCC 装置, 其催化剂一般采用半合成法技术路线, 包括成胶、喷雾干燥、焙烧及尾气吸收等工序。

1 催化裂化工艺概述

在石油化工行业不断进步的过程中, 其催化裂化技术经历了不同的阶段。最初采用移动床与固定床等技术, 现阶段催化裂化技术展现出优异工艺特征。在进行生产时, 可结合石油化工具体生产情况, 合理选择催化裂化工艺, 能够充分降低原油裂化加工成本, 持续强化石油化工加工效率。另外, 基于科技快速发展的背景, 对重油进行轻质化管理已具有丰富的技术手段, 加氢裂化、热裂化及催化裂化等技术应用较为广泛。

传统技术工艺与现阶段生产要求缺乏良好的适应性, 所以需要借助新技术, 充分强化石油裂化效率。现阶段, 加氢裂化的反应水平最为突出, 但应用该技术时需要足够的资金保障, 对工艺应用和发展有一定的影响。石油化工生产一般会选择催化裂化技术, 可以充分提高柴油中十六烷值的比例, 以及充分提高汽油品质, 还可以生产出大量附加产品, 有效提升企业的经济效益。

2 催化裂化装置运行现状

某公司催化裂化装置经过历次改造, 装置目前包括反应-再生、分馏、吸收稳定、烟机及主风机组、富气压缩机、余热锅炉、烟气脱硫等部分, 生产过程

中存在的职业危害因素主要有高温、噪声、汽油、 H_2S 、氨、其他粉尘、一氧化碳等。

外操室共配有正压式空气呼吸器 13 套, H_2S 、可燃气体便携式报警仪 7 套, 配备医疗急救箱等, 另外每人配备耳塞、护目镜等劳动保护设施。现场设置固定式可燃气体报警仪 26 个, 具备声、光报警内容, 现场分布 4 套洗眼器等。该装置工艺按照《石油化工设计防火规范》设计, 设有地上稳高压消防栓、消防炮、干粉灭火器、蒸汽灭火系统等消防设施。

催化裂化再生烟气是污染物排放的主要来源, 为了降低再生烟气中 SO_x 的排放, 主要采取以下几种措施:

一是通过对催化裂化原料进行加氢处理来降低其硫含量, 从而大幅度降低烟气中 SO_x 的排放, 其处理效果明显, 但是加工成本较高;

二是在催化裂化反应再生体系内引入硫转移助剂, 无需增加设备投资, 操作简单, 但由于其脱硫效率低, 难以达到环保排放要求;

三是直接对催化裂化再生烟气进行处理, 由于其投资相对较低、脱硫效率高, 其应用也较为广泛。催化裂化再生烟气湿法脱硫技术具有工艺流程简单和原料适应性强等优势, 但是湿法脱硫工艺装置在长期运行过程中会产生蓝色和白色烟羽, 存在高盐废水排放量大、设备腐蚀严重等问题, 影响到应用效果。为了克服湿法烟气脱硫技术缺陷, 有些企业研究开发和应用半干法和干法等烟气脱硫工艺。

3 催化裂化技术优化策略

3.1 加氢裂化技术市场应用价值

加氢裂化技术具有原料范围宽、产品品种多且质量好、生产方案灵活、液体产品收率高等特点, 是石油化工行业油、化、纤结合的核心。为应对未来成品油市场的变化, 国内某石化公司持续对 2.0Mt/a 高压加氢裂化装置(简称高压加氢装置)进行增产喷气燃

料、改善尾油质量的改造，同时配备根据市场需求灵活生产柴油的方案。

① 2.0Mt/a 高压加氢裂化装置采用大比例增产喷气燃料兼产优质尾油的加氢裂化技术及配套的催化剂，累计运行 57 个月，实现了大比例增产喷气燃料并为下游装置提供大量优质裂解料的预期目标；

② 新型加氢处理催化剂 RN-410 性能优越，可以满足加氢裂化催化剂对氮含量的要求。加氢裂化反应器采用 RHC-3/RHC-133/RHC-131 级配催化剂，在大比例增产喷气燃料，改善尾油质量、灵活生产柴油的同时，床层温度呈梯级分布，可节约冷氢，从而节能降耗；

③ 长周期工业运转结果表明，大比例增产喷气燃料兼产优质尾油的加氢裂化技术催化剂活性稳定性好、提温速率低、抗冲击能力强、催化剂床层压差稳定，能够满足装置长周期运转的要求。

3.2 新开发双循环脱硫塔及内循环系统分析

针对常规半干法脱硫塔出口脱硫灰颗粒浓度较高的特点，新开发了双循环脱硫塔，在顶部设置了内沉降段，并增设内循环斜管，构建了脱硫灰颗粒内循环系统。双循环脱硫塔包括入口混合段、反应段和内沉降段。烟气从脱硫塔底部进入，在入口混合段与循环脱硫灰及消石灰混合，再通过文丘里管进行加速，对脱硫灰颗粒进行提升和流化，确保气固充分接触混合。在文丘里管的出口扩散段，经喷水后，烟气中的 SO_2 和脱硫灰中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进行反应，完成对烟气中 SO_2 的脱除。

在反应段内，随着烟气的上升，部分较小颗粒团聚成较大颗粒后，在重力作用下重新回到循环流化床内，其余较小的颗粒继续随烟气上升。在反应段出口，烟气和脱硫灰颗粒与脱硫塔上部的阻灰器接触，由于阻灰器的阻挡作用，部分颗粒再次回到脱硫塔内，余下部分随烟气进入内沉降段。阻灰器及防返混构件的组合作用使烟气流向发生折返，增加了颗粒流动阻力，同时，由于塔径扩大，烟气流速降低，有利于颗粒在脱硫塔顶部灰斗沉积，进一步减少烟气对颗粒的携带，从而降低塔顶出口烟气中脱硫灰颗粒的浓度，减少布袋除尘器的负荷。沉积在脱硫塔顶部灰斗的脱硫灰通过内循环斜管回流到脱硫塔底部重新与烟气混合，形成脱硫灰颗粒的内循环。

3.3 低生焦、高低碳烯烃产率的催化裂化工艺优化

对于多产低碳烯烃的催化裂化工艺，即使专用催

化剂含有少量的 Y 分子筛，在高反应苛刻度下会促进反应物中的多环芳烃发生缩合反应，生成更多的焦炭，尤其对于高芳烃含量的原料。

文中探索对于不适合作为多产低碳烯烃的劣质加氢重油，通过溶剂脱沥青与催化裂化组合工艺来优化催化裂化工艺的进料性质，进而提高焦炭产率突变点的转化率，对于优质的蜡油，尽可能采用中孔分子筛催化剂，利用催化剂孔道与多环芳烃自身结构不匹配来抑制多环芳烃发生缩合反应以减少焦炭生成。与低反应苛刻度的 MMC-2 相比，TCC-1 催化剂在高反应苛刻度下表现更好，转化率只增加 1.64 个百分点，此时烯烃产率及选择性、液化石油气中的丙烯含量及烯烃含量增加幅度远超过相同反应苛刻度的 MMC-2 催化剂。但随着加氢蜡油转化率升高，反应物中的多环芳烃含量较高时，TCC-1 中的 MFI 孔道与加氢蜡油分子在时空约束上有效性差于大庆蜡油，表现为转化率增加 1.64 个百分点，尽管远低于 Y 分子筛，但焦炭产率也增加 1.36 个百分点，转化率增加部分的 82.92% 转化为焦炭。由此，从低生焦和高烯烃产品的催化裂化技术开发角度来看，不仅在专用催化剂活性组元设计上选用中孔分子筛，而且在原料油选取上需要原料含有较多的饱和烃。

3.4 再生烟气湿法脱硫系统腐蚀情况

催化裂化再生烟气湿法脱硫装置腐蚀过程复杂、腐蚀部位多，其主要原因：

一是腐蚀性介质复杂多样，造成设备选材困难；

二是工艺操作不稳定，腐蚀性介质超标，工艺防腐措施难以到位。

催化裂化再生烟气中的 SO_2 和 SO_3 等腐蚀性介质进入脱硫塔后被脱除，其中 SO_2 的脱除率超过 95%，而 SO_3 的脱除率则为 30~40%，原因是 SO_3 容易与水蒸气结合形成气溶胶，难以脱除。大量的气溶胶易在脱硫塔顶部及烟肉内壁生成稀硫酸，继续吸收烟气中的 SO_2 后使其 pH 值降为 2~6，形成强酸性腐蚀介质，造成脱硫塔顶部和烟囱等部位腐蚀严重。另外，省煤器至脱硫塔烟气入口区域、脱硫塔入口干湿交替区、除沫器至静电除雾器区域、静电除雾器等区域也经常发生腐蚀。

3.5 节能优化原料油预热流程

分馏塔油浆和原料油在完成换热处理后降到 200℃，应该通过冷却水箱将温度降低到 160℃。结合夹点技术同时选择 Aspen Energy Analyzer 分析优化换热网络，

分馏塔油浆能和原油直接进行换热处理,降到160℃,发现原料油流程中冷却用工程能耗增加,所以缺乏合理性。因为分馏塔油浆最终换热温度为160℃,可直接通过换热器将温度变为160℃,此改动促使冷却水箱实际热负荷降低,进而能充分降低冷却水用量。另外,进行优化处理后,原料通过分馏塔塔底油浆进行换热处理之后,可将出口温度增加到146℃,由于原油最终换热温度并不会出现变化,在增加入口的温度之后,换热器实际热负荷就会减少,剩余热量能将蒸汽输送到蒸汽发生器中,实现节能增效的目标。

3.6 大数据技术的应用的经济价值

在大数据时代背景中,数字化正在改变着流程工业对业务和技术的传统认知,数据即资产。基于大数据在工业装置上的应用是石化企业未来生存和发展的根基,一切生产活动都将依赖于数据应用和服务。未来谁能做到“有据可依”“智能分析”,掌握“数据变现”,才能真正实现工业应用的智能分析。基于数据的智慧分析应用将是发展实现“数据变现”的有力手段。

通过大数据分析报警应用,可有效减少装置报警次数,提高装置平稳运行率;通过本次研究可以有效减少报警次数50%以上;通过对催化装置结焦大数据分析应用,有效延缓装置结焦,提高装置运行周期,实现催化装置结焦状况的即时评估,减少催化装置因结焦造成的非计划停工次数;通过装置汽油收率研究,有效提高催化装置目的产品收率,催化装置汽油收率提升1个百分点左右。炼化企业以真实的运行数据预测未来趋势,以便做出正确的生产或经营决策,如何对生产运行安全性预测预警落实到装置粒度等,生产及经营数据如何有效关联和挖掘,提升认知,深化应用,成为企业迫切需求。因此,对数据的分析方向在流程工业的应用,应该以信息化和智能化手段,通过大数据分析技术,从统计分析向预测分析转变,从被动分析向主动分析转变,真正解决企业业务痛点,为企业创造经济效益。

4 催化裂化催化剂系统技术优化对生产效益的提升

①新燃烧系统自投用以来运行平稳,提高了燃烧效率,实现了清洁生产,达到了节能效果,改善了工作环境,降低了安全风险,满足了生产要求;

②通过改进自动点火系统,提高了点火效率,降低了火嘴熄灭的频次,减少了由于火嘴熄灭带来的安

全风险,降低了劳动强度,使得运行更加高效平稳;

③通过合理布局燃烧器,避免了火嘴直接灼伤炉筒,降低了检修成本,保证了设备的长周期运行,提高了设备的利用率;

④通过选用两级减压及空燃比例调节装置。获得了最佳空燃比,减少了燃料和助燃风的浪费,降低了生产成本,操作更加精准简便;

⑤通过增加助燃风系统。降低了风能的浪费,提高了火嘴的燃烧效率,使得风能更加有效利用;

⑥通过重新设计炉膛,选用新型保温材料,增加了炉膛的有效使用容积,减少了热量的损失,提高了热能利用率,降低了炉膛表面温度,降低了安全风险。

5 结束语

在催化裂化生产过程中,严禁超工艺卡片操作,联锁正常投用,严格按照操作规程操作,执行不间断巡检制度,发现跑冒滴漏及时治理,从源头上减少危害因素。在职业防护过程中,要始终坚持以人为本的理念,坚持“预防为主、防治结合”的方针,充分利用一年一度的职业病防治法宣传周活动及日常培训,开展岗位职业危害辨识与防护,制定应急救援预案,组织应急演练,治理职业卫生隐患,设置提示警告标识,强化劳动防护设备和安全防护用品的正确使用,建立完善员工职业健康档案,安排全员参加健康体检等多种有效措施,提高员工的安全防范意识和自我保护能力,推进职业病防控工作。

参考文献:

- [1] 吴寰. 催化裂化装置未汽化油的模拟计算和解决措施 [J]. 炼油与化工, 2022,33(03):55-59.
- [2] 李军令, 夏恩冬, 王刚, 刘兵, 陈军, 吴显军. 催化裂化原料加氢处理催化剂 PHF-311 的工业应用 [J]. 石油炼制与化工, 2022,53(05):36-39.
- [3] 王富强, 王恒, 安润平. 催化裂化后反应系统问题探究及创新改进 [J]. 山东化工, 2022,51(09):151-153.
- [4] 钱宇. 石油化工催化裂化工艺技术的优化 [J]. 化学工程与装备, 2021(11):36-37.
- [5] 李佳兴. 石油化工催化裂化工艺技术优化 [J]. 山西化工, 2020,40(03):98-99+102.
- [6] 张金庆. 石油化工催化裂化工艺技术的优化措施探析 [J]. 石化技术, 2018,25(11):78.
- [7] 谢朝钢, 魏晓丽, 龚剑洪, 龙军. 催化裂化反应机理研究进展及实践应用 [J]. 石油学报(石油加工), 2017,33(02):189-197.