

反应催化剂优化对渣油加氢装置的经济评价 与优化策略研究

郝新征 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578001)

摘要: 渣油加氢技术作为炼化企业中将重油转化为高质量产品的关键环节, 本文主要针对渣油加氢设备中催化剂优化问题展开讨论, 通过更好地认识催化剂优化对于改善渣油加氢装置性能的重要意义, 进而从各方面开展经济评估工作, 并对这些内容提出了具体的改进措施, 为提高渣油加氢设备的工作效率和经济效益提供理论基础和实际操作建议, 帮助炼化公司增加自身收益, 增强其在市场上竞争力。

关键词: 渣油加氢; 催化剂优化; 经济评价; 优化策略

中图分类号: TE624.4+32

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 006-0049-03

Research on the Economic Evaluation and Optimization Strategy of Reaction Catalyst Optimization for Residue Hydrogenation Unit

Xi Xinzheng (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578001, China)

Abstract: As a key process in refining enterprises for converting heavy oil into high-quality products, the hydrogenation technology of residual oil is the focus of this article, which primarily discusses the optimization of catalysts in residual oil hydrogenation equipment. By better understanding the significance of catalyst optimization in improving the performance of residual oil hydrogenation units, this study conducts comprehensive economic evaluations from various perspectives. Specific improvement measures are proposed to provide a theoretical foundation and practical operational recommendations for enhancing the efficiency and economic benefits of residual oil hydrogenation equipment. These efforts aim to help refining companies increase their profits and strengthen their market competitiveness.

Keywords: residual oil hydrogenation; Catalyst optimization; Economic evaluation; optimization strategy

在全球石油资源重质化、劣质化趋势加剧的大环境下, 并且随着国家环保政策对于油品品质要求越来越高, 渣油加氢工艺已成为炼化行业提升原油利用率并制备清洁油品最为关键的技术, 渣油加氢装置以加氢反应使渣油变成更贵的轻质油品, 但是这一流程高度依赖于反应催化剂。对反应催化剂进行优化不仅能够促进设备的高效生产与产品质量的改善, 而且对其经济效益也有着深远的影响, 所以对渣油加氢装置中反应催化剂优化进行深入研究对于其经济评价和优化策略有着十分重要意义。

1 反应催化剂优化对渣油加氢装置性能的影响

1.1 提高加氢活性

优化反应催化剂经改善活性组分分散度, 晶体结构以及与载体之间的作用关系后, 能明显提高加氢活性, 准确调控制备工艺参数以细化活性组分粒子大小, 并改善载体表面活性组分分布均匀性, 在调节晶体相结构的前提下降低无效晶相所占比例, 加强活性组分自身催化活性。该优化既提高活性位点数量和活性又改善活性位点空间分布状况, 增强氢气及反应物吸附及活化效率使加氢反应速度加快, 同等条件下优化后催化剂能更加有效的促使氢气与渣油内杂质, 大分子

烃类发生化学变化, 加氢脱除沥青质和胶质等高分子烃类, 达到更高杂质脱除率和更大分子烃类转化率, 为下一道工序提供了质量更好的原料的同时提高了整个装置处理效率^[1]。

1.2 增强催化剂稳定性

优化催化剂稳定性优异, 是渣油加氢装置长时间持续工作的核心保证, 采用较为稳定的载体材料例如经修饰的氧化铝, 硅铝酸盐, 在优化载体孔的结构及比表面积的前提下让载体具有合理孔道分布及足够大的比表面积, 从而为活性组分提供了稳定的载体制备工艺, 该结构设计使得活性组分更加均一的扩散且被坚固的锚定于载体中, 显著降低了活性组分于高温下, 高压反应环境下烧结团聚以及损失, 通过加入具体助剂组分来调制催化剂表面电子性质以及酸性位点的配布, 提高了催化剂抗中毒, 积炭的能力。

助剂的引进可以和活性组分产生协同作用, 对由于杂质分子在活性位点上的强烈吸附而引起的中毒起到了抑制作用, 还减慢了催化剂表面上焦炭前驱体的沉淀速度, 有效地延长了催化剂使用时间, 并减少了催化剂频次从而保持了设备的长久稳定工作确保了生产流程连续可靠^[2]。

1.3 改善产品选择性

对催化剂进行精确地调控催化剂孔结构及酸性分布,经优化的催化剂可以有效地指导反应朝着生产目标产品方向发展,提高了设备产品品质和经济效益,在孔结构调控上通过对制备过程中模板剂用量和焙烧温度这两个参数的调节来建立合适的孔径和孔容以有利于一定分子大小的反应物进入到催化体内,并且在活性位点上有一定的作用,还促使产物分子迅速脱附并避免过反应。在酸性分布调控方面通过调节活性组分与助剂的配比,精准控制催化剂表面酸性位点的数量、强度及分布,促进目标加氢裂化反应和加氢精制反应的进行,抑制深度裂化和结焦等副反应的发生,这一选择性优化可以显著提高目标产品收率降低气体和焦炭及其他低价值副产物产生从而提高工艺原料利用率和经济效益,而又能保证产品质量更加适应于后续加工或者市场应用需求。

2 反应催化剂优化对渣油加氢装置的经济评价

2.1 成本分析

优化的催化剂通常具有更先进的制备方法和更高的性能,这可能会使购买费用变得更为高昂,新型催化剂采用了特殊的活性成分或承载物质,导致其制备过程相对繁琐从而提升了催化剂每单位的质量价格,比如某企业的渣油加氢预处理设备运行过程中,经优化后的催化剂在单位质量上的采购价格相较于常规催化剂有了大约30%~40%的增长,而高性能催化剂的单价也达到了1.6~1.7万元/t的水平。尽管采购成本有所上升但由于性能得到了改善所以催化剂的用量与传统的方案相比减少了大约15%~20%,而且更换周期由原先的8个月增加到了12~14个月,所以在一定程度上将抵消部分成本增长,单台设备催化剂年采购总成本只增加了8%~10%。

改进后的催化剂活性提高,在设备工作过程中需要对温度和压力等操作条件进行调整,这都将对设备的能耗产生一定的作用。例如,某公司的310万t/a的渣油加氢预处理设备在运行过程中,不仅具有很高的活性,可以使反应在温度下降20~30℃和压力下降0.5~1.0MPa的情况下实现与原工艺相同的反应效果,这时该设备单位处理能耗由120kg标油每吨渣油降到95~105kg标油每吨渣油,根据每年加工100万t的渣油和标油的单价是5000元/t来估计,一年就能节省750~1250万元的能耗成本^[3]。

经过改进的催化剂虽然具有更好的稳定性和性能,但在实际应用过程中仍然需要经常进行检查和维修,例如为保证催化剂的活性及积碳状态,需要安装更精确的在线色谱分析器以及积碳监控器。这些仪器的价格比传统仪器高了30%~50%而每年的维护费用

增加了20~30万元,同时新型催化剂提高了原材料中硫和金属成分的适应性,将原材料预处理阶段脱硫工作量由原来的85%减少到70%,但是这也导致原材料过滤准确度提高,并且预处理成本会每年上升150万~200万,尽管如此总体而言催化剂因其使用期限由8个月增加到12~14个月,因此每年更换相关维护人工、装置清洗以及其他费用也从300万元降到180~220万元,长期维护总费用降低了大约10~15%。

2.2 效益分析

催化剂活性和选择性的提高,会把较多渣油转化为目标产品,从而使装置产量显著增加,在生产轻质油的过程中采用传统的催化剂时,其回收率大约为65%,然而通过优化的催化剂能够将这一回收率提高到72%~75%之间。假设以每年处理100万t的渣油作为基准进行估算,那么每年可能会额外生产出7~10万t的轻质油,在考虑到每吨轻质油的平均价格是8000元的情况下,这将会为企业带来额外的收入增长,与此同时该工艺的加工效率得到了改善,单位时间内处理量也由原先的12.5万t每个月增加到每个月14~15万t,从而进一步提高了经济收益。

增强催化剂的稳定性能有效延长整体设备的使用期限并降低频繁更换失效催化剂造成的设备磨损,在常规催化剂配置的情况下该系统的年度催化剂更新所引起的设备磨损和维护成本约为500万元,而设备零件的更换频率通常在3年左右,经过对催化剂进行了优化之后该系统年度磨损和维护开销减少到300万~350万元,同时零部件的更新周期也延长到了4~5年,设备的工作可靠性和效能得到了明显提升从长远来看能为企业节省巨大的设备投入和经营费用。

2.3 投资回收期分析

在全面考虑成本、收益和其他因素的基础上,本文对反应催化剂优化投资回收期展开深入地研究,以某企业为例,其渣油加氢预处理设备每年能生产100万t渣油,在催化剂的优化上需要大约2000至3000万元的初始资金投入,经过仔细分析各种资金支出,并结合由于催化剂优化所带来的额外盈利,估计这种投资方式的静态回报时间大概是在0.3到0.5年之间,而动态的回报时间则在0.4到0.6年左右,如果回本周期不是太长,说明催化剂优化有很好的经济效益并能在短时间内给企业带来巨大价值,否则如果回本周期超出了期望,则必须进一步探索其优化方案的可行性及寻求较经济的优化方法。

3 渣油加氢装置反应催化剂优化策略

3.1 研发催化剂

要加强同各科研机构和催化剂供应商之间的协

作,密切注视该行业的前沿研究成果和技术发展,根据渣油的性质以及生产工艺的特点和对产品质量的要求来精确定位匹配合适的催化剂。

针对高金属含量渣油选用具有高效去除金属和抵抗中毒能力较强的催化剂并谋求高产轻质油的设备,选用加氢裂化活性和选择性较好的催化剂,主动参与催化剂定制开发工作,并根据设备的特殊需要设计催化剂活性组分、载体结构和助剂加入等使催化剂性能和设备达到最佳匹配^[4]。

3.2 优化操作条件

由于操作条件和催化剂性能之间具有较强的关联性,因此需要以优化之后催化剂特性和参数为基础,在全工况条件下进行精确的操作条件调控,在实验室小试基础上采用中试试验并配合工业级模拟计算的方法,建立多参数耦合优化模型对反应温度、压力、空速和氢油比关键操作参数最佳范围进行了系统测定,对于活性大的催化剂可以适当调低反应温度设置,在保证反应深度合格的前提下减少装置能耗消耗的同时,抑制了加氢过裂解及积炭产生等副反应发生率。

在空速和氢油比调节上,需要根据催化剂活性中心密度和传质特性等因素准确地配比调整,保证反应物能均匀、充分的接触到催化剂活性中心,以免由于空速过大造成反应不彻底诱发催化剂表面结焦和活性衰减等问题,建立了操作条件,催化剂性能和产品质量实时监控关联体系,并利用在线检测设备收集关键数据来构建动态响应模型,实现了操作参数及时自适应调节以确保设备长时间保持最佳工作状态,既考虑反应效率又考虑运行稳定性。

3.3 强化原料预处理

原料渣油中存在的杂质会诱发催化剂中毒,积炭和活性衰减等问题,所以需要加强原料预处理环节建设并建立多工艺合作深度预处理体系以从根本上减少杂质给催化剂造成的负面影响。利用组合式深度预处理技术对原料中铁、硫和氮进行系统去除,提高原料质量,并通过预处理过程中关键操作参数进行优化,综合利用原料性质检测数据显示动态地调节过程运行状态来提高杂质脱除效率,尽可能地减少其在催化表面的吸附和沉淀,从而减少了其对催化剂活性中心的毒害和积炭产生速度,借助在线分析设备对原料密度、粘度和杂质含量关键指标进行了连续跟踪,在原料性质发生波动的情况下对预处理工艺参数进行了适时调整,保证了预处理之后的原料品质稳定,有效地延长催化剂的使用寿命,促进装置的稳定性,也可以减少由于催化剂经常替换而引起的停机损失,增强装置的总体运行经济性^[5]。

3.4 催化剂再生与回收利用

构建全生命周期催化剂管理体系应着重健全催化剂再生和回收利用各环节技术流程和管理规范以高效利用催化剂资源,在催化剂活性降到规定的阈值之后需要及时开始再生处理过程,并根据催化剂中积炭的种类、数量以及活性组分衰减情况选择合适的再生工艺,通过对再生温度、气氛和时间参数进行准确调控有效清除催化剂表面上积炭污染物并使活性组分催化性能得以恢复。再生时需要对工艺条件进行严格的把控以免由于再生参数不合理而造成催化剂载体结构损坏或者活性组分损失,保证再生后的催化剂达到工业应用的需求,对不能再生或者再生结果达不到标准的废弃催化剂要制定标准化回收利用工艺并通过化学提取将其中有价金属组分分离出来进行回收,所回收金属资源可以再应用于催化剂的生产从而达到资源循环利用的目的,该系统的搭建能显著降低催化剂的采购成本、减少废弃催化剂的处理造成的环境污染、经济收益和环境效益共同促进符合了工业绿色发展需求。

4 结论

反应催化剂优化是渣油加氢装置经济运转的关键,本文从提高加氢活性,加强催化剂稳定性以及提高产品选择性等方面进行研究,可以显著地改善该装置的性能并带来多方面经济效益,虽然催化优化过程增加了部分费用,但是经过合理地优化策略后能够降低费用,缩减投资回收期限并且使经济效益最大化,同时又能确保设备高效运转,炼化企业要高度关注反应催化剂的优化问题,并不断地探索与实施更加高效的优化策略来增强渣油加氢装置竞争力,满足越来越严格的市场需求与环保要求,从而达到企业可持续发展的目的给炼油业带来较大的经济效益与社会效益。

参考文献:

- [1] 苏武. 渣油加氢装置保护反应器床层压降上升的原因及对策 [J]. 石化技术与应用, 2025, 43(05): 399-402.
- [2] 徐景东, 李慧胜等. 反应温度对渣油加氢催化剂反应性能的影响 [J]. 石化技术与应用, 2025, 43(02): 119-123.
- [3] 刘沅林, 王宇, 马强等. 浆态床渣油加氢装置运行情况分析及对策 [J]. 石油炼制与化工, 2025, 56(10): 45-49.
- [4] 张海洪. 浆态床渣油加氢裂化催化剂反应性能影响因素及其评价 [J]. 石化技术与应用, 2019, 37(02): 108-111.
- [5] 尹克诚. 固定床渣油加氢装置长周期运行影响因素及优化措施 [J]. 当代化工, 2025, 54(04): 988-992.

作者简介:

郝新征 (1998-), 男, 河北沧州人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 技能操作。