

应用先进技术提高重油催化裂化经济效益

刘晓桐（中国石油呼和浩特石化分公司，内蒙古 呼和浩特 010070）

摘要：重油催化裂化是炼油工业中最重要的一项工艺，特别是在处理高硫、高重金属含量的重油时，其经济效益往往决定着石油企业的竞争力。而传统的重油催化裂化工艺在面临原料劣质化、环保要求升级以及市场竞争加剧的背景下，其经济效益逐渐受到挑战。本文探讨应用先进技术提高重油催化裂化经济效益的策略，包括新型催化剂的开发、优化工艺参数、引入智能化控制系统以及提高产品附加值等手段。研究表明，通过技术创新和工艺优化，可以显著提升重油催化裂化的经济效益，为企业创造更高的利润空间。

关键词：先进技术；重油催化裂化；经济效益；提高方法

0 引言

重油催化裂化是现代炼油工业中不可或缺的关键工艺之一，主要用于将高硫、高重金属含量的重油转化为轻质油品，如汽油、柴油和液化石油气（LPG）。随着全球石油资源的劣质化趋势加剧，重油催化裂化在石油公司中的地位愈发重要。然而，传统重油催化裂化工艺面临着原料劣质化、环保要求升级以及市场竞争加剧的多重挑战，导致其经济效益逐渐下降。

1 新型催化剂的开发与应用

1.1 高效抗污染催化剂的开发

①高硫、高重金属含量的挑战。重油中的高硫和高重金属含量是影响催化剂活性和寿命的主要因素。硫化物能够和催化剂表面的活性位点反应，形成稳定的硫化物覆盖层，导致催化剂活性降低；重金属（如镍、钒）则能够通过沉淀在催化剂表面或进入孔道内部，使催化剂孔结构破坏和活性位点中毒。这些因素不仅减少了催化剂的活性，还大大减少了催化剂的使用期限，增加了生产成本^[1]。②抗硫催化剂的开发。为了克服高硫对催化剂的负面影响，研究人员开发了一系列的抗硫催化剂，这些催化剂往往含有特定的抗硫活性组分，如金属氧化物或复合氧化物，可以与硫化物反应，形成不干扰催化活性的稳定化合物。含有二氧化铈（ CeO_2 ）的催化剂，可以通过吸附和转化硫化物，防止其在催化剂表面形成覆盖层，从而保持催化剂的高活性。③抗重金属催化剂的开发。针对重金属中毒问题，研究人员开发了多种抗重金属催化剂。这些催化剂通常具有较高的比表面积和孔隙率，能够有效吸附和容纳重金属，防止其对催化活性位点的毒害。例如，具有大孔和微孔双重结构的分子筛催化剂，可以有效吸附重金属，同时保持良好的催化活性。此外，通过引入过渡金属（如铁、钴）来与重金属形成稳定

的化合物，也可以有效减少重金属对催化剂的毒害作用。

1.2 多功能催化剂的开发

①多功能性的重要意义。多功能催化剂是指在同一催化剂上集成多种催化功能，从而实现多个反应的同步进行。在重油催化裂化中，多功能催化剂可以通过同时进行脱硫、脱氮和芳烃饱和等反应，提高产品的质量和附加值，降低副产品的生成，从而提高经济效益。②多功能催化剂的设计。多功能催化剂的设计需要考虑多个活性组分的协同作用。常见的活性组分包括金属氧化物、分子筛和酸性载体等。例如，将脱硫功能和裂化功能集成在同一催化剂上，可以通过引入硫化物吸附剂（如氧化铝）和裂化活性组分（如沸石分子筛），实现高硫重油的高效裂化和脱硫^[2]。此外，通过调整催化剂的孔结构和表面性质，可以进一步优化多功能催化剂的性能。

1.3 催化剂再生技术的优化

①催化剂再生的重要性。催化剂再生是指通过物理或化学方法恢复失活催化剂的活性，延长其使用寿命。在重油催化裂化过程中，催化剂的再生效率直接影响到经济效益。传统的催化剂再生方法存在再生温度高、能耗大等问题，增加了生产成本。因此，优化催化剂再生技术成为提高经济效益的关键。②低温再生技术。低温再生技术是指在较低的温度下进行催化剂再生，以减少能耗和催化剂的结构损伤。低温再生技术通常采用化学再生方法，如酸洗、碱洗或氧化还原法。通过这些方法，可以有效地去除催化剂表面的积碳和重金属，恢复催化剂的活性。例如，某石油公司采用低温酸洗法进行催化剂再生，再生温度降低了 100°C ，能耗减少了30%，催化剂的活性恢复率达到了90%以上，显著提高了经济效益。③在线再生技术。

在线再生技术是指在催化裂化反应过程中,应用连续的物理或化学手段,实时恢复催化剂的活性。在线再生技术能够防止传统再生方法中的停车时间和催化剂损失,提高生产连续性和经济效益。常见的在线再生方法有:连续气体吹扫、在线氧化还原法和连续液体洗涤等,如,某石油公司采用连续气体吹扫法进行在线再生,显著减少了催化剂的失活速度,延长了催化剂的使用寿命,提高了轻质油品的收率。

2 工艺优化与智能化控制

2.1 反应条件的优化

①反应温度的优化。反应温度是重油催化裂化过程中最重要的工艺参数之一,直接影响到产品的收率和质量。传统的重油催化裂化工艺通常采用较高的反应温度,以提高轻质油品的收率,但与此同时,高温反应也会导致副产品(如焦炭)的生成增加,降低经济效益。为了优化反应温度,石油公司可以通过引入先进的催化剂和优化反应器设计,在较低的温度下实现高效的裂化反应。例如,采用新型高活性分子筛催化剂,可以在较低的反应温度下实现与高温反应相当的轻质油品收率,同时减少副产品的生成^[1]。

②反应压力的优化。较高的反应压力可以提高轻质油品的收率,但同时也会增加设备的能耗和维护成本。为了实现反应压力的优化,石油公司可以通过引入先进的控制系统,实时调整反应压力,以适应不同的原料性质和市场需求。例如,采用自适应控制算法,可以根据原料的密度、粘度和重金属含量,自动调整反应压力,从而实现经济效益的最大化。

③剂油比的优化。剂油比是指催化剂与原料油的比例,是影响重油催化裂化效率和产品质量的另一个关键参数。较高的剂油比可以提高催化剂的利用率,增加轻质油品的收率,但同时也会增加催化剂的损耗和再生能耗。为了优化剂油比,石油公司可以通过引入智能化控制系统,实时监测催化剂的活性、原料油的性质和反应器的工作状态,动态调整剂油比,以实现经济效益的最佳平衡。

2.2 工艺流程的优化

①原料预处理的优化。劣质重油通常含有较高的硫、氮和重金属,这些杂质不仅会影响催化剂的活性和寿命,还会导致产品质量下降。为了优化工艺流程,石油公司可以在重油催化裂化前引入原料预处理工艺,如加氢处理或脱硫处理,以减少原料中的杂质含量。预处理后的原料不仅能够提高催化剂的使用寿命,

还能够生产出低硫、低氮的高品质油品,从而提高产品的市场竞争力。

②反应器结构的优化。反应器是重油催化裂化工艺的核心设备,其结构设计直接影响到反应效率和产品质量。传统的反应器设计通常采用单一的反应区,反应条件难以根据原料性质的变化进行调整。为了优化反应器结构,石油公司可以引入分区反应器设计,通过在不同区域设置不同的反应条件,实现原料的逐步裂化和副产品的最小化。例如,在反应器的进料区设置较低的反应温度,以减少焦炭的生成;在反应器的出口区设置较高的反应温度,以提高轻质油品的收率^[4]。

③产品分离与提纯的优化。传统的分离与提纯工艺通常采用简单的分馏和吸收技术,难以满足市场对高品质油品的需求。为了优化产品分离与提纯工艺,石油公司可以引入先进的分离技术,如膜分离、吸附分离和萃取分离等,以提高产品的纯度和附加值。例如,通过膜分离技术,可以将轻质油品中的芳烃和烯烃分离出来,生产出高品质的化学品,从而提高产品的经济效益。

2.3 智能化控制系统的引入

①智能化控制系统的优势。智能化控制系统是工业4.0时代的重要技术,可以借助实时监测以及动态调整工艺参数,达到生产过程的高效化、低成本化。在重油催化裂化工艺中,智能化控制系统可对反应温度、反应压力、剂油比等重要参数进行监控,然后调整工艺条件,从而适应各种各样的原料性质及其市场需求。智能化控制系统的引入既可以有效增加整体的生产效率,还可以最大限度防止人为操作所造成的误差,大大节省了生产成本。

②智能化控制系统的核心技术。一般来说,智能化控制系统通常涵盖了数据采集、数据分析还有智能决策这三个关键方法。数据采集技术可应用传感器和测量设备,全面采集反应器的工作状态、催化剂活性、原料油性质以及产品质量等相关数据;数据分析技术是借助大数据分析和人工智能算法,对采集的数据展开处理,预测工艺参数的变化趋势;智能决策技术则是按照数据分析的结果自动改变工艺参数,进一步改善生产过程。

3 提高产品附加值与市场竞争力

3.1 产品结构优化

①提高高价值产品的比例。传统重油催化裂化主

要生产汽油、柴油和液化石油气（LPG）等产品。但是近年来随着环保标准的进一步提升以及能源消费结构出现的改变，传统产品无论是市场需求还是价值都出现了明显的变化。所以，石油公司就要考虑提高高价值产品的生产比例，包括高辛烷值汽油组分、低硫柴油以及高性能润滑油基础油等，应用优化催化裂化工艺，提高这些产品的收率，能够最大限度增强整体的盈利水平。

②开发新型化工原料。除了传统的燃料产品外，重油催化裂化还能够进一步加工，以此生产出一系列的化工原料，如苯、甲苯、二甲苯（BTX）、丙烯还有丁烯等，这些化工原料是制造塑料、合成纤维和橡胶等的基本材料，市场需求稳定且利润较高。而引进先进的分离技术和催化剂，能够从催化裂化产物里面提取越来越多的化工原料，从而增加产品的附加值。

③推动生物燃料的集成生产。随着对可再生和低碳能源需求的增长，生物燃料（如生物柴油和生物航煤）的市场潜力巨大。相关石油公司可以把生物燃料的生产和以往的重油催化裂化工艺结合到一起，以此达到资源的最大化利用。开发兼容性高的催化剂以及工艺技术，就能够在不明显改造当前设备的前提下引入生物燃料的生产，从根本上拓展产品线并增强市场竞争力。

3.2 生产过程技术创新

一是增加能量的利用效率。能源成本是重油催化裂化生产中的关键组成内容。借助技术创新提高能源利用效率，能够尽可能节省生产成本的支出，提高市场竞争力。其中，包括改进反应器设计以降低能量损失、改进加热和冷却系统以增加热效率，还有用余热回收技术来利用废热产生蒸汽或电力。二是降低污染物排放。环境保护一直以来都是世界所有国家所关注的重点内容，石油企业一定要严格按照排放标准的要求。开发和应用低排放的生产技术，既能够减少环境风险，还可以优化企业自身社会形象及其市场信誉。如，采用先进的烟气脱硫、脱硝和粉尘控制技术，能够有效降低催化裂化装置的污染物排放，达到甚至超越环保法规的要求。三是进行智能化生产管理。利用物联网、大数据和人工智能等各项技术，实现生产过程的智能化管理，能够进一步增强生产效率以及产品质量的稳定性。建立实时监控和预测模型，企业可以第一时间找到并处理生产中的异常情况，优化操作参数，让生产过程一直处于最好的状态下^[5]。

3.3 市场策略调整

其一，要深入理解市场需求。市场调研和需求分析是制定有效市场策略的基础。石油公司应定期收集和分析市场数据，了解不同产品的需求趋势、价格波动和竞争对手的动态。基于这些信息，企业可以调整产品结构，开发符合市场需求的新产品，从而抓住市场机遇。其二，加强品牌建设和营销。在市场中建立强大的品牌认知度和忠诚度对于提升产品附加值至关重要。通过投资于品牌建设、参与行业展览和活动、以及开展有效的营销宣传，石油公司可以增强其产品的市场认可度，从而获得更高的市场份额和溢价能力。其三，拓展多元化的销售渠道。除了传统的销售渠道外，石油公司应积极探索新的销售途径，如电子商务平台、直接面向终端用户的销售模式等。多元化销售渠道不仅能扩大产品的覆盖范围，还能提高销售的灵活性和响应速度，更好地满足客户需求。其四，建立长期的客户关系。与客户建立稳固的合作关系是保持市场竞争力的关键。通过提供高质量的产品、可靠的供应保障和优质的售后服务，石油公司可以赢得客户的信任和长期合作，从而在市场中占据有利地位。

4 结语

综上所述，重油催化裂化是炼油工业中最重要的工艺之一，其经济效益决定着企业自身的竞争力。应用先进技术，如新型催化剂的开发、工艺优化、智能化控制以及产品附加值的提升，能够进一步提高重油催化裂化的经济效益，这些技术的应用不仅可以节省生产成本，提高产品收率和质量，还可以提高产品的市场竞争力，为企业带来越来越多的经济效益。

参考文献：

- [1] 倪前银. 重油催化裂化装置反再流化异常原因分析及应对[J]. 石化技术, 2024, 31(08): 1-3.
- [2] 李宝兴, 孙博文, 王俊. 重油催化裂化装置汽油指标现状及降烯烃技术研究[J]. 石油化工应用, 2024, 43(06): 117-120.
- [3] 崔俊峰, 许长辉. 重油催化裂化装置回炼加氢催化轻柴油[J]. 石化技术与应用, 2024, 42(01): 52-56.
- [4] 达小蓉, 王利鹏, 马明亮. 重油催化裂化装置分馏系统腐蚀机理及防腐工艺研究[J]. 山东化工, 2023, 52(14): 45-50.
- [5] 许友好, 左严芬, 欧阳颖, 等. 低生焦、低能耗和高烯烃产率的中孔分子筛重油催化裂化工艺研发与工业实践[J]. 石油炼制与化工, 2022, 53(08): 1-10.