

# 石油中蜡油催化裂化工艺技术分析

桑银玲 中海油气(泰州)石化有限公司

**【摘要】**通过以某石油石化公司生产的减压蜡油为例,研究蜡油氢化的性能,分析其工艺操作环境与条件对脱硫和脱氮效果及总产量的影响,以及分析蜡油、氢化蜡油及瓦斯油气在催化裂化后的性能,并且,在此基础上探究氢化催化剂的应用效果,希望对改良石油中蜡油催化裂化工艺技术,提高燃油的产量和质量有所助益。

**【关键词】**蜡油;催化裂化;工艺技术

**【DOI】**10.12316/j.issn.1674-0831.2023.07.030

伴随经济社会的进步与发展,社会对燃油的需求越来越大。为了提高原油使用效率,保护自然生态,推动原油剩余物转化升级势在必行。蜡油作为炼焦工艺的重要产品,其在能源领域中的应用愈发重要,要求石油炼制加工企业提高石油中蜡油催化裂化工艺。通过对蜡油进行加氢处理,生产出高性能的燃料,由此达到降低燃料生产成本和提高能源利用率的目的。

## 一、实验部分

蜡油是炼焦生产中不可或缺的原料,其具有低饱和度、高含氮量等特点,需要通过升级工艺技术,得到性能好、质量高的产品。通常情况下,技术人员可将蜡油直接作为催化裂化的原料,通过结合实际需求进行加氢处理,使催化剂的酸位点暂时失去活性,达到降低转化率的目的。

### 1.实验原理

石油中蜡油催化裂化工艺技术就是利用性能较好的催化裂化装置,在催化剂的助力下,促进原油进行一系列的化学反应,使之转化成液化石油气、汽油、柴油等成油和焦炭,实现轻质产品与重质产品的分离。

当前,催化裂化装置在石油的炼制加工中有着广泛的运用。在改善汽油质量方面,为了提高辛烷值,必须改进工艺技术,特别是提高催化剂的质量,依托催化裂化作用得到理想的成油产品。整个催化裂化反应包括反应、再生、分离、热回收等内容,原料在反应器中经过催化处理,分成各种用途的成油产品,经过装置送出。

### 2.原料、设备仪器和催化剂

基于石油炼制加工的市场需求,根据国家提出保护自然环境,提高能源利用率的要求,开展石油中蜡油催化裂化实验,以提高石油中蜡油催化裂化工艺技术水平,促进原油剩余物应用的转型升级。为了提高实验效果和便于实验分析,本次实验选择在设施完备的实验室进行,选用符合国家标准的某大型石油石化公司生产的

减压蜡油作原料(钙含量、氮含量、金属含量等要求皆合格),使用RN-2和LMC-5作为加氢裂化和催化裂化的催化剂,使用气相色谱仪、硫氮分析仪和焦炭分析仪等测量仪器。

### 3.实验装置

考虑到实验的操作性、安全性、稳定性和经济性,本次实验主要使用蜡油催化加氢和中试催化裂化两个装置。蜡油催化加氢装置主要由进料罐、电子秤、新氢压缩机、循环氢压缩机、质量流量计、加热炉、反应器、高压分离器等部分组成;中试催化裂化装置主要由给料、蒸汽、反应、再反应、产品采集、产品质量检测、计算机控制等系统组成。通过按照实验要求操作这两个装置,达成既定的实验目标,得出可靠的实验结论。

### 4.实验流程及操作

操作蜡油催化加氢装置,将蜡油原料放入进料罐,由电子秤称量出重量,再泵入不同量的蜡油,使之与压缩氢充分均匀的混合,然后利用预热器对混合物加热,并将加热后的混合物推进反应器进行加氢反应。待反应结束后,油气通过高压分离器实现对气体和液体样品的分离。

操作中试催化裂化装置,通过放入样料,经过雾化蒸汽,与提升气体、汽提蒸汽、水冷却器、裂解气、烟气,提升管、再生管、第二冷却器、冷凝油箱、冷却水箱等处理,控制和了解催化剂的循环及催化剂与油的比和停留时间。通过做好实验数据记录,进行系统性的实验分析。

### 5.实验注意事项

石油中蜡油催化裂化的反应过程是在蒸汽阶段进行的,实验人员需要对蜡油进行加热汽化处理,并实施裂解处理,使之自上而下地通过催化剂进行分子断链并加氢,最终通过冷却凝固实现分级。当以蜡油为催化裂化的主要原料时,必须保证蜡油原料本身不含有固体物杂

质和不含影响催化效果的物质，同时保证蜡油催化裂化装置的设计符合国家的相关工艺标准。

实验不能出现任何纰漏，哪怕是一个小失误，都会直接影响实验结果，甚至发生危险。因此，在实验开始前，实验人员要仔细检测原料的性能，认真检查装置的安全性，及时剔除不合规的实验原料，及时发现装置部件破损等问题，严格按照实验要求进行操作，确保实验安全稳定。

## 6. 产品分析

通过上述实验操作得到气体和液体两种产品，对所有产品进行封存处理，避免接触空气和水分。然后使用气相色谱仪、硫氮分析仪和焦炭分析仪等仪器，进行后续的分析工作。利用气相色谱仪测量出气体样品组分占样品总体积的百分比，再引入理想状态下的气体方程，通过密度 $\times$ 体积计算出质量，得到样品组分占样品总质量的百分比。注意做好数据取值处理，以提高实验分析的精确度。依托模拟蒸馏气相色谱表分析液体样品组分占样品总质量的百分比。利用硫氮分析仪测定油气中的含硫量和含氮量，利用焦炭分析仪测定催化剂上的焦炭含量，进而得出可靠的实验结果。

## 二、实验分析与讨论

### 1. 反应温度的影响

石油中蜡油催化裂化工艺技术就是在安全稳定的实验环境和条件下，对蜡油进行裂解反应和少量的构化反应。整个反应过程属于典型的强吸热反应过程，对温度的升高或降低极为敏感。通过观察分析发现，保持8.4 MPa的恒定反应压力，蜡油催化裂化随着温度的不断升高，反应愈发剧烈，反应速率和转化率显著提升。在360~390℃之间，脱硫和脱氮程度均呈现正斜率变化的增加趋势。但随着温度持续升高，脱硫速度明显高于脱氮速度，说明脱硫较脱氮对温度升高更为敏感。

此外，本次实验还发现，反应温度对总产率产生了非常大的影响。随着温度从360℃升高至390℃，总产率呈现逐步下降的变化趋势。在360~370℃之间，总产率下降速度较为平缓；在370~380℃之间，总产率下降速度变快；在380~390℃之间，总产率下降得更加明显。通过分析上述三个温度段下的总产率变化，可知在380℃的反应温度下，既能达到保持总产量的效果，又能达到提高脱硫程度和脱氮程度的目的。总之，裂化反应是蜡油加氢精制过程中不可或缺的反应，整个反应过程受温度影响较为明显，随着反应温度的不断升高，其裂化反应越激烈，裂化程度越快。

### 2. 反应压力的影响

根据 $PV = NTR$ 和 $F = pS$ 两个公式可知，压力亦是影响蜡油催化裂化反应效果的重要因素。本次实验将反应压力控制在5.4~8.4MPa之间，从压力变化上分析脱硫程度和脱氮程度。通过观察分析发现，反应压力和脱硫程度与脱氮程度成正比关系，即随着反应压力的增加，反应越剧烈，脱硫程度和脱氮程度越显著。由此确定，在高氢高压的环境和条件下，碳氧化石墨烯更容易发生氢化反应。但随着压力的增加，脱硫程度明显低于脱氮程度。说明脱氮较脱硫对压力变化更加敏感。

此外，通过本次实验发现反应压力对总产率产生了较大的影响。在5.4~6.4MPa之间，总产率上升速度较为平缓；在6.4~7.4MPa之间，总产率上升速度明显加快；在7.4~8.4MPa之间，总产率上升速度变得更快。通过分析上述三个压力段下的总产率变化，可知随着反应压力的不断增加，总产率呈现出逐步上升的变化趋势，即反应压力越高，总产率越高。但需要指出的是，反应压力大小对氧化加氢的影响较小。在现有的技术条件下，反应压力不可能无限增大，特别是考虑到操作性、安全性、稳定性和经济性，可以确定最合适的反应压力为8.4MPa，在此反应压力条件下，既能达到理想的脱硫和脱氮效果，又能达到提高整体液体的产量的目的。

### 3. 空速的影响

反应温度、反应压力和空速直接影响蜡油催化裂化反应进行的深度。随着空速的减小，反应时间的延长，转化率不断提高，使反应深度越来越强。在高空速运作的条件下，催化剂负荷较大，反应初期升温较快，催化剂碳速率较高，若延长反应时间，很可能使催化剂过早失去活性，影响脱硫和脱氮效果及整体液体的产量。相反，在低空速运作的条件下，催化剂负荷较小，反应初期升温较慢，催化剂碳速率较低，若采用延长反应时间的方式，可以达到充分发挥催化剂作用的目的。本次实验反映出空速对催化剂作用发挥的影响，将反应压力控制在8.4MPa，将反应温度控制在360~390℃之间，可以发现降凝催化剂的降凝转化率随反应空速的增大而降低。根据实验数据确定最佳的空间时间速度为1h。

### 4. 氢对油比的影响

氢油比值亦是影响蜡油加氢精炼效果的一个非常重要的因素，其直接影响催化剂的使用寿命，整个反应的质效性，以及加工精炼的成本等。对于流化床反应器中的氢化反应来说，在反应温度、反应压力和反应速率恒定的情况下，氢油比能够表示部分氢的压力。为了解

氢油比对脱硫程度和脱氮效果程度的影响效果, 根据前文反应温度、反应压力和反应时间对反应效果的影响, 将反应温度、反应压力和空速控制到最佳, 分别为380℃、8.4MPa和1h, 然后根据实验数据, 得出氢油比与氢化度变化对脱硫和脱氮效果的影响水平, 随着氢油比的增加, 脱硫效果显著增强, 脱氮程度也明显加强, 但整体上脱硫效果不如脱氮程度。相较于反应温度和反应压力对脱硫和脱氮程度的影响, 氢油比对脱硫和脱氮程度产生的影响效果较小。通过分析400~600, 600~800, 800~1000三个氢油比范围, 可以得出最佳的氢油比在800左右, 能够达到此条件下最理想的脱硫和脱氮效果。

### 5. 加氢化及催化裂化的结果

为了取得理想的实验结果, 本次实验加强对催化剂的处理, 特别是对催化剂LMC-500进行催化裂化处理, 结合实验需求, 将反应温度控制在500℃, 反应压力控制在5.0MPa, 氢油比控制在500, 空间速度控制在7.5h, 得出催化裂化产品的产出率, 如下表1所示:

表1 催化裂化的产品产出率, wt%

原料	蜡油	氢化蜡油
干气	1.92	1.20
液化石油气	8.2	11.9
汽油	28.74	43.04
柴油	16.84	15.67
重油	36.93	25.60
焦炭	7.37	2.61
轻油	45.68	58.79
转化率	62.92	74.33

在催化裂化方面, 蜡油经过催化裂化处理, 生成的汽油、轻油和重油的转换率明显高于柴油, 干气和焦炭明显低于柴油。经过观察分析发现, 氢化催化剂的裂解性优于蜡油, 柴油和焦炭的产出率分别低于4.9%和2.9%, 汽油的产出率与液化石油气相近, 这说明氢化蜡油的裂解性高于蜡油, 但未能达到理想的效果, 这可能是因为氢化蜡油中含有萘烃成分, 在一定程度上影响了裂解效果。

蜡油经过加氢处理后得到的汽油产品, 其硫含量和氮含量相对较小。加之诱导期较长, 使其辛烷值变低。通过催化裂化反应得到的柴油产品的十六烷数明显高于蜡油, 这说明通过氢化处理的蜡油可以作较好的裂解原料。

### 三、实验结论与思考

#### 1. 结论

本次实验严格按照国家规定的工艺标准进行实验, 实验操作受外界因素影响较小, 实验数据真实可靠, 具有较高的精确度。本次实验主要研究了反应温度、反应

压力、空间速度及氢化比对脱硫和脱氮效果及总产率的影响, 得出了反应温度对反应效果的影响最大, 反应压力和空间速度次之, 氢油比最小的结论; 得出了随着反应温度的升高, 脱硫和脱氮效果明显提高, 在380℃为宜; 随着反应压力的增加, 脱硫和脱氮效果及总产率随之降低, 在8.4MPa为宜; 在低速空间运作的条件下, 采用延长反应时间的方式, 空间速度为1h为宜, 更利于发挥催化剂催化作用; 随着氢油比的增加, 脱硫效果和脱氮效果随之提高, 在800为宜的结果, 印证了在加氢蜡油催化裂化下, 液化石油气、汽油、柴油的质量。

#### 2. 思考

石油中蜡油催化裂化技术是石油炼制加工不可或缺的技术, 其在提炼高质量成品油上发挥重要作用。但是石油中蜡油催化裂化工艺在社会对油气质量需求日益增长的背景形势下, 既面临前所未有的挑战, 也迎来了新的发展机遇。但是不得不承认, 在日益严苛的环保法律规定下, 以及成品油规格和性能的提升, 特别是对于烯烃、硫含量和氮含量等要求提高, 以及烟气排放量的限制, 使得柴油化的趋势愈发明显, 这些无疑对石油中蜡油催化裂化工艺技术的发展造成巨大的冲击。而要想改变这一不利的现状, 技术人员就必须站在更高的视角上, 加强技术创新, 提高技术含量, 切实提高石油中蜡油催化裂化工艺技术水平, 以满足时代向前发展提出的要求。

### 四、结语

本文以实验的方式研究石油中蜡油催化裂化工艺技术, 通过分析实验原理、实验的原料、仪器及催化剂, 实验装置, 实验流程及操作, 实验注意事项及产品, 分析反应温度、反应压力、空间速度及氢化比对实验的影响, 得出提高原油炼制加工转化率的方法, 希望能够助力我国石油中蜡油催化裂化工艺技术的发展与提高。

#### 参考文献:

- [1] 杨晶晶. 石油中蜡油催化裂化工艺技术研究[J]. 石油和化工设备, 2022, 25(6):22-24.
- [2] 王文静, 李新, 郭振莲, 陈春雨, 张凤岐. HZSM-5分子筛的磷改性及其在加氢蜡油裂化中的性能研究[J]. 石油与天然气化工, 2021, 50(03):66-70.