

# 加氢裂化工艺节能技术及应用

张 涛

中石化（天津）石油化工有限公司 天津 300271

**摘 要：**加氢裂化工艺在石油炼制中占据重要地位。本文阐述其原理与流程，包括在高温高压氢气下重质烃类的加氢、裂化、异构等反应及原料预处理、反应、分离分馏环节。分析反应热管理、氢气循环、分离与分馏等能耗环节，介绍预热回收废热、改进反应器设计、优化操作参数、拓展废热利用等节能技术。探讨其应用前景，如市场需求增长、环保要求推动、原料适应性强、与其他工艺结合紧密及技术创新助力等，展示了加氢裂化工艺在节能与应用方面的综合情况，对炼油行业发展具有重要意义。

**关键词：**加氢裂化；工艺能耗；节能技术；工艺应用前景

**引言：**随着全球经济与能源需求的发展，石油炼制行业面临着提高效率、降低能耗和满足环保要求等多重挑战。加氢裂化工艺作为一种关键的石油加工技术应运而生。它能够重质烃类转化为高价值的轻质油品与化工原料，在现代炼油工业中发挥着不可或缺的作用。然而，其能耗问题也备受关注，如何在保证工艺正常运行和产品质量的前提下，有效降低能耗并提升应用效益，成为了行业研究与发展的重点方向。

## 1 加氢裂化工艺原理与流程

### 1.1 工艺原理

加氢裂化工艺是在高温高压以及氢气氛围的条件下，让重质烃类发生一系列复杂反应。其中，加氢反应能够脱除重质原料中的硫、氮、氧等杂质，使油品更加纯净。与此同时，大分子烃链在催化剂的作用下发生断裂，形成小分子烃类，并且在这个过程中还会进行加氢饱和与异构化反应，最终得到优质的轻质油品和化工原料，比如汽油、柴油、煤油以及各种芳烃等，这些产品在市场上具有更高的价值和更广泛的应用。

### 1.2 工艺流程

（1）原料预处理：这是加氢裂化的第一步，主要通过加氢精制方法，去除原料中的金属杂质以及部分硫氮化合物。加氢精制是在催化剂和氢气的作用下，进一步脱除杂质，提高原料的质量，为后续加氢裂化反应创造良好的条件。

（2）加氢裂化反应：预处理后的原料与氢气混合，进入特定的反应器，在催化剂床层上发生加氢裂化反应。反应器需要承受高温高压的苛刻条件，以保证反应的顺利进行。在反应过程中，原料中的大分子烃类不断地被裂解成小分子烃类，同时进行加氢饱和与异构化反应，生成各种目标产品。

（3）产品分离与分馏：反应后的产物进入高压分离器和低压分离器，进行气液分离。气相的氢气可以循环利用，既节约了成本，又提高了资源的利用率。液相产物则进入分馏塔，依据各成分沸点的差异，将其进一步分离成汽油、柴油、煤油等不同的产品，从而得到符合各种质量标准和市场需求的油品。

## 2 加氢裂化工艺能耗环节分析

### 2.1 反应热管理不善导致浪费

加氢裂化反应会释放出大量热量，而这些热量若不能有效管理和利用，就会造成能源浪费。通常，部分热量可通过换热系统用于预热原料等，但实际中，因换热网络设计存在局限性或热量匹配不合理，许多反应热无法得到充分利用。比如一些老旧装置，其换热设备性能和布局欠佳，热量回收效率低，大量反应热被冷却介质带走。除此之外，若对反应热的产生量和各环节用热需求把握不准确，也会导致热量供需失衡，进一步降低热量回收利用率，增加能源消耗。

### 2.2 氢气循环能耗负担沉重

在加氢裂化工艺中，氢气循环能耗负担沉重。为维持反应体系氢气浓度，需庞大循环系统，其中能耗问题突出。氢气压缩至反应所需压力，耗电高，对压缩机功率要求大。循环中的冷却环节，空冷器等设备持续运行，电能消耗不可忽视。氢气输送环节，管道内氢气流动也需动力支持。以某装置为例，氢气压缩机及冷却设备耗电量在总能耗中占比高<sup>[1]</sup>。而该装置当前循环氢通过汽轮机提供动能，从3.5MPa降至1.0MPa，但氢气循环能耗仍为主要能耗环节之一，需进一步优化以降低能耗。

### 2.3 分离与分馏能耗不容忽视

分馏系统主要依靠塔底加热炉提供热量，这一环节能耗占比较大。首先，加热炉需消耗大量燃料维持分馏

所需温度,燃料燃烧释放的高热量保证油气在塔内有效分离和分馏,但也带来了较高能耗。其次,为稳定分馏过程,加热炉温度需精确控制,这对操作和调节要求较高,增加了能耗。再者,分馏塔内油气流动和传质过程也存在能量损失。以某加氢裂化装置为例,塔底加热炉的燃料消耗在装置总能耗中占显著比例,为保证产品质量和收率,分馏系统能耗一直处于较高水平。因此,优化分馏系统能耗对于降低整个加氢裂化工艺的能耗至关重要,如采用先进的控制技术优化加热炉操作、提高热量回收利用率等,都是降低能耗的有效途径。

### 3 加氢裂化工艺的节能技术

#### 3.1 预热和回收利用废热

在加氢裂化工艺中,预热原料和回收废热是行之有效的节能策略。利用反应产物的余热对原料进行预热,能显著减少额外的加热能源消耗。比如,通过精心设计换热网络,使高温的反应产物与低温的原料依次在多个换热器中进行热量交换,让原料在进入反应阶段前就达到较高温度。一些先进的装置采用了夹点技术优化换热流程,精确定义换热网络中的最小温差,最大程度地回收热量,使原料预热后的温度大幅提升,从而降低了后续加热炉的燃料使用量,节约了大量能源成本。此外,还可将多余的废热用于产生蒸汽,这些蒸汽可应用于装置内其他需要热能的环节,如蒸馏塔的加热、物料的伴热等,实现了能量的梯级利用,进一步提高了整个工艺的能源效率。

#### 3.2 改进反应器设计

反应器作为加氢裂化的核心设备,其设计的优化对节能意义重大。一是改进催化剂装填结构,采用特殊的装填方式,如分层装填不同活性的催化剂,能够根据反应进程更精准地控制反应速率和选择性,减少不必要的副反应,从而降低反应所需的能量输入。二是优化反应器内部的流体分布系统,确保原料与氢气在反应器内均匀混合并充分接触催化剂,避免因局部浓度不均或流动不畅导致的反应效率低下和能量浪费。同时研发高效的反应器绝热材料,减少反应过程中的热量散失,也是降低能耗的重要举措,这有助于维持反应体系的温度稳定,减少为补偿热量损失而消耗的能源。

#### 3.3 优化操作参数

优化操作参数是加氢裂化节能的关键环节。精确调控反应温度、压力、空速以及氢油比等参数,能在保证产品质量和产量的前提下实现节能目标。适当降低反应温度,可减少加热所需的燃料消耗,但这需要综合考虑催化剂的活性温度范围和反应转化率的要求,通过精准

的实验和模拟分析来确定最佳温度点。合理降低压力,能减少压缩机的负荷和能耗,但必须确保反应仍能在合适的动力学条件下进行。优化空速,使原料在反应器内的停留时间恰到好处,既能充分反应,又不会因停留时间过长而消耗过多能量<sup>[2]</sup>。此外,优化氢油比,在满足加氢需求的基础上减少氢气的循环量,可大幅降低氢气压缩和循环过程中的能耗,这需要对反应的氢耗量进行精确计算和实时监测,并根据实际情况灵活调整。

#### 3.4 废热回收和利用

废热回收和利用在加氢裂化节能中具有广阔的挖掘空间。除了常见的利用废热预热原料和产生蒸汽外,还可以采用更先进的技术进一步拓展废热的应用范围。比如,利用有机朗肯循环(ORC)系统将低温废热转化为电能,为装置内的小型设备供电或并入电网,实现能量的多元化回收。将废热用于驱动吸收式制冷机,产生冷量用于冷却工艺物料或提供舒适的工作环境,实现热、电、冷的三联供,大大提高了能源的综合利用率。再加强对废热回收设备的日常维护和管理,定期清理换热表面的污垢、检查设备的密封性等,确保废热回收系统始终处于高效运行状态,也是保障废热充分利用、实现节能目标的重要保障措施。

### 4 加氢裂化工艺的应用前景

#### 4.1 市场需求增长

全球经济的持续发展,使得交通运输、工业生产等各个领域对汽油、煤油、航空燃料和柴油等轻质油品的需求呈现出不断攀升的态势。在这样的背景下,加氢裂化工艺的重要性愈发凸显,其能够将石油原油中高沸点成分烃进行高效转化,生成更具价值的低沸点产品,从而精准地满足市场对于各类轻质油品的旺盛需求。据相关数据显示,2023年全球加氢裂化工艺解决方案市场销售额已达11.84亿美元,并且预计到2030年将进一步增长至15.58亿美元,展现出了良好的市场发展潜力。尤其是在一些新兴经济体,随着工业化和城市化进程的加速,对于轻质油品的消费需求更是与日俱增,这为加氢裂化工艺的市场拓展提供了广阔的空间。

#### 4.2 环保要求推动

随着全球环保意识的日益增强,各国政府纷纷出台了更为严格的环保法规,对炼油厂的燃料生产提出了更高的清洁化要求。在这一形势下,加氢裂化工艺凭借其独特的优势,成为了炼油厂生产清洁燃料的关键技术之一。该工艺能够有效地去除石油产品中的硫、氮和氧等非烃化合物,显著降低燃料中的硫含量,使其能够轻松满足超低硫柴油等严格的监管标准。比如,在欧洲和北

美等地区, 环保法规对于汽车尾气排放的限制越来越严格, 要求炼油厂生产出含硫量极低的清洁燃料。加氢裂化工艺所生产的低硫燃料, 不仅能够有效减少汽车尾气中二氧化硫等污染物的排放, 降低对大气环境的污染, 还能满足日益增长的环保需求, 提升炼油厂的市场竞争力。

#### 4.3 原料适应性强

加氢裂化工艺的另一个显著优势在于其对原料的广泛适应性。它能够处理各种不同特性的原料, 包括重质原油、渣油等, 将这些原本难以加工利用的重质原料转化为轻质油, 从而大大提高了炼油厂对原料的选择范围和加工灵活性。在全球原油资源日益重质化、劣质化的趋势下, 炼油厂面临着原料供应不稳定和质量参差不齐的挑战。而加氢裂化工艺的出现, 使得炼油厂能够更好地应对这些问题, 根据市场需求和原料供应情况, 灵活调整加工方案, 选择最经济、最合适的原料进行生产。比如, 当重质原油价格相对较低时, 炼油厂可以加大对重质原油的采购和加工力度, 通过加氢裂化工艺将其转化为高价值的轻质油品, 提高经济效益。相反, 当轻质原油供应充足时, 也可以适当调整加工比例, 实现资源的优化配置, 降低生产成本<sup>[3]</sup>。这种原料适应性强的特点, 使得加氢裂化工艺在炼油行业中的应用前景更加广阔, 能够为炼油厂在复杂多变的市场环境中提供更强的生存和发展能力。

#### 4.4 与其他工艺结合紧密

加氢裂化工艺与其他炼油工艺之间存在着紧密的结合关系, 能够实现资源的优化配置和最大化利用, 进一步提升整个炼油厂的生产效率和经济效益。比如, 它可以与催化裂化、延迟焦化等工艺进行有效协同, 形成一个完整的炼油工艺流程体系。催化裂化和延迟焦化等工艺在生产过程中会产生一定量的劣质柴油等副产品, 这些副产品如果直接排放或简单处理, 不仅会造成资源浪费, 还可能对环境产生一定的影响。而通过加氢裂化工艺, 可以将这些劣质柴油作为原料进行再加工, 生产出高质量的残渣, 这些残渣既可以用作同一装置的升级原料, 进一步提高产品质量和附加值, 也可以作为其他装

置的原料成分, 实现资源在整个炼油厂内的循环利用, 减少了对外界原料的依赖, 降低了生产成本。此外, 加氢裂化工艺还可以与其他工艺共享一些基础设施和辅助设备, 如氢气供应系统、加热炉等, 进一步提高了炼油厂的整体运行效率和资源利用率, 增强了炼油厂的综合竞争力。

#### 4.5 技术创新助力发展

在加氢裂化工艺的应用前景中, 技术创新发挥着关键助力作用。新型催化剂的研发是重要一环, 如沙特阿拉伯石油公司的稀土改性USY沸石加氢裂化催化剂, 可提升反应活性与稳定性, 提高轻质油和高质量化工原料产率, 降低能耗与碳排放。工艺流程的优化同样重要, 通过精确控制加氢条件、改进设备结构等方式, 能提高传质效率, 减少氢气损耗, 实现产率最大化。此外, 能量回收系统的升级可有效捕获和再利用反应释放的热量, 将其转换为机械能或电能, 进一步降低运营成本。这些技术创新提高了加氢裂化工艺的效率, 增强了其在经济和环境方面的竞争力, 有力推动了该工艺的广泛应用。

结束语: 加氢裂化工艺在现代炼油领域具有不可替代的重要性。通过对其节能技术的深入研究与应用, 从预热和回收利用废热、改进反应器设计、优化操作参数到废热的多元化回收利用等多方面举措, 有效降低了能耗并提升了工艺的经济性与环境友好性。在应用前景方面, 市场需求的持续增长、环保法规的严格要求、原料适应性的优势以及与其他工艺的紧密结合和技术创新的推动, 都为加氢裂化工艺的进一步发展奠定了坚实基础。

#### 参考文献

- [1]吴春汉.加氢裂化工艺操作过程的优化措施[J].化工管理,2022(32):153-155.
- [2]才智.加氢裂化工艺节能技术及应用[J].化工管理,2021(17):142-143.
- [3]田凌燕,甄新平,李春义,王华,魏军.加氢处理-加氢裂化组合工艺操作条件的优化[J].石化技术与应用,2021,39(01):25-28.