

# 基于催化加氢的低温煤焦油分级提质与综合利用工艺研究

刘 成 范武斌

新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司 新疆 哈密 839000

**摘 要：**低温煤焦油催化加氢分级提质与综合利用的核心是通过精准调控加氢工艺参数、优化催化剂适配性、完善分级与利用流程，实现焦油组分深度转化与资源高效回收。该工艺聚焦催化加氢实操环节，解决传统提质过程中加氢不彻底、产物纯度偏低、资源利用不充分、能耗偏高的实际问题。经实操验证，优化后的工艺可有效提升低温煤焦油提质产物附加值，降低加氢过程污染物排放与能耗，为低温煤焦油催化加氢分级提质工程落地提供技术支撑。

**关键词：**催化加氢；低温煤焦油；分级提质；综合利用工艺

引言：低温煤焦油组分复杂且富含高附加值烃类物质，催化加氢技术是实现其分级提质与综合利用的核心路径，适配工业生产对资源高效利用与环保达标排放的双重需求。当前低温煤焦油催化加氢工艺运行中，普遍存在催化剂活性不足、加氢参数适配性差、分级精度不够、综合利用路径不合理等问题，导致提质产物质量不稳定、资源浪费严重，难以满足规模化工业生产需求。基于此，结合低温煤焦油实际组分特性与催化加氢工程运行工况，重点阐述催化加氢分级提质的实操工艺及综合利用的落地要点，为低温煤焦油催化加氢分级提质与综合利用工程提供指导。

## 1 低温煤焦油催化加氢分级提质基础配置

### 1.1 原料预处理与核心参数采集

催化加氢分级提质的精准实施需以预处理后的合格低温煤焦油为原料，预处理环节聚焦杂质去除与组分均化，为后续加氢反应奠定基础。现场实操中，原料预处理重点去除低温煤焦油中的水分、机械杂质与硫氮化合物，采用真空脱水工艺，脱水温度控制在120-140℃，真空度维持在0.08-0.09MPa，确保脱水后焦油水分含量低于0.5%。杂质去除采用精密过滤工艺，滤布孔径选用3-5μm，有效拦截固体机械杂质，避免杂质进入加氢反应器影响催化剂活性与加氢效果<sup>[1]</sup>。核心参数采集涵盖焦油黏度、硫含量、氮含量、烃类组分含量，采集设备选用耐腐蚀高精度检测仪器，安装位置优先选择预处理后焦油缓冲罐出口、加氢反应器入口等关键节点，采集频率设定为每15秒1次，采集数据经滤波处理后传输至控制终端。

**基金项目：**科研创新平台-低温煤焦油分级提质综合利用研究与应用

### 1.2 加氢催化剂选型与反应器设备配置

催化剂选型需贴合低温煤焦油催化加氢反应特性与分级提质需求，优先选用活性高、稳定性强、抗中毒能力突出且易再生的催化剂，避免催化剂选型不当导致加氢效率下降或运行成本增加。实操中选用NiMoP/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>催化剂，活性组分Ni质量分数控制在4%左右，Mo质量分数维持在10%，P质量分数控制在1.5%，该催化剂可有效促进硫氮原子脱除与芳烃饱和，适配低温煤焦油加氢反应需求。加氢反应器选用固定床反应器，规格根据处理量设定，反应器材质选用耐高温、耐腐蚀的不锈钢，内壁喷涂防腐涂层，避免焦油组分与反应器壁发生反应。反应器配套设置温度、压力自动调控组件，确保加氢反应温度、压力稳定在预设范围，同时配置催化剂装填装置，装填过程中控制催化剂堆积密度，避免出现装填不均导致反应死角，影响加氢效果。

### 1.3 设备联动调试与参数校准

催化加氢系统各设备的联动稳定性是分级提质顺利实施的核心，调试过程需严格遵循工程实操规范，避免联动故障导致加氢中断或提质效果不达标。调试时，先完成各单元设备单独调试，验证催化剂装填密度、反应器温度压力调控精度、原料输送速度等核心参数是否符合设计要求，单独调试合格后再进行联动调试。联动调试过程中，模拟低温煤焦油不同组分含量工况，验证原料预处理、催化加氢、分级分离各环节的衔接顺畅性，确保原料输送速度与加氢反应速率协同匹配，反应器出口产物组分稳定<sup>[2]</sup>。调试过程中重点校准各单元核心参数，当加氢产物纯度未达到预设标准时，及时调整催化剂活性参数、加氢温度与压力，同时调试设备自动控制系统，确保能够实时监测各单元运行状态，出现催化剂

中毒、反应器压力异常等情况时自动触发报警，保障催化加氢分级提质过程稳定运行。

## 2 低温煤焦油催化加氢分级提质实操实施

### 2.1 催化加氢工艺参数优化与调控

优化和精准调控催化加氢工艺参数是提高分级提质效果的关键，着重聚焦加氢温度、加氢压力、氢油比三个主要参数，依据低温煤焦油组分特性与催化剂活性要求做优化设定，加氢温度依照焦油组分做分段调控，轻组分加氢的温度要控制在345 - 380℃，重组分加氢，把温度控制在380 - 420℃，防止温度过低使得加氢有欠缺，温度过高造成组分裂解过度，给产物质量带来影响。加氢压力设定范围是8-12MPa，保障氢气与焦油充分接触来反应，同时防止压力过高造成设备负荷及能耗的提升，把氢油比管控在500:1至800这么个范围:保障氢气充足给予，促进加氢反应充分开展，减少催化剂出现积碳，拉长催化剂使用时间，调控的时候需实时监测加氢产物组分的变化情况，按照监测数据马上校正工艺参数，使加氢产物纯度达到分级指标，可以用以下公式来计算加氢反应氢油比：

$$R = \frac{V_H}{V_O}$$

式中， $R$ 为氢油比（体积比）， $V_H$ 为氢气体积（ $m^3$ ）， $V_O$ 为低温煤焦油体积（ $m^3$ ）。该公式通过氢气与煤焦油的体积比值，快速确定合理的氢油比，取值范围适配NiMoP/ $\gamma$ - $Al_2O_3$ 催化剂活性要求，为加氢反应充分进行提供量化保障。

### 2.2 加氢产物分级分离工艺实操与效果把控

加氢产物分级分离需承接催化加氢后的混合产物，通过精准分离实现不同组分的分类回收，为后续综合利用奠定基础，工艺调控重点聚焦分离温度、分离压力、回流比三个核心参数。实操中，采用精馏分级工艺，轻组分（汽油馏分）分离温度控制在80-150℃，中组分（柴油馏分）分离温度控制在150-300℃，重组分（沥青质馏分）分离温度控制在300℃以上，确保不同馏分组分精准分离。分离压力设定为0.1-0.12MPa，避免压力过高导致组分沸点升高、分离难度增加，压力过低导致分离效率下降。回流比控制在2.5:1-3.5:1，确保分级分离后各组分纯度，避免回流比过高增加能耗、回流比过低导致分离不彻底。分离过程中需实时监测各馏分组分纯度，当纯度未达到预设标准时，及时调整工艺参数，确保各分级产物满足综合利用要求<sup>[3]</sup>。加氢产物分级分离纯度的计算采用以下公式：

$$\eta_s = \frac{m_s}{m_{s0}} \times 100\%$$

式中， $\eta$ 为某一级分产物分离纯度（%）， $m$ 为该分级产物实际质量（kg）， $m_{s0}$ 为加氢混合产物中该组分总质量（kg）。该公式通过分级产物实际质量与混合产物中对应组分总质量的比值，量化分离纯度，可用于现场分级分离效果评估与工艺参数调整。

### 2.3 催化剂再生与活性维持实操

保持催化剂活性的稳定对催化加氢工艺持续高效运行至关重要，实际操作中，着重对催化剂再生工艺调控和活性监测加以关注，避免催化剂中毒、积碳造成加氢效率的降低，催化剂再生采用高温氧化再生的手段，再生温度设定范围是500 - 550℃，通入空气跟氮气混合起来的气体，混合气体里氧气含量把控在5%-8%，使催化剂表面积碳能充分进行燃烧，同时防止温度过高造成催化剂活性组分的流失。再生时间根据催化剂积碳状况做调整，一般掌握在4 - 6小时，再生过后要对催化剂活性做检测，要保证活性恢复到新鲜催化剂的90%以上<sup>[4]</sup>，开展活性监测的过程当中，实时获取催化剂床层温度、压力降之类的参数，要是压力降超过预设值，也或加氢效率下降10%及以上时，马上启动再生工序，同时去优化加氢工艺的相关参数，降低催化剂积碳以及中毒的可能性，保障催化剂长时间稳定地运转，用以下公式对催化剂再生效率进行计算：

$$\eta_r = \frac{A_r}{A_f} \times 100\%$$

式中 $\eta_r$ 是催化剂再生效率， $A_r$ 是再生后催化剂活性（以加氢脱硫率予以表示， $A_f$ 体现的是新鲜催化剂初始活性（以加氢脱硫率表示，该公式凭借再生后和新鲜催化剂活性的比值，对再生效果予以量化，为再生工艺参数优化给出依据。

## 3 低温煤焦油催化加氢产物综合利用实操保障

### 3.1 分级产物综合利用路径优化

综合利用路径的优化在资源高效利用以及工业可持续发展中很关键，它要紧密切联系各分级产物的独特性，定制切实可行、可以落地实施的利用方案，既可以大幅提高提质产物的附加价值，又可为有力降低资源的浪费程度，精准符合工业生产的实际诉求。就轻组分（汽油馏分）而言，开展进一步精制处理是十分重要，要使用先进的分离工艺，去除当中的微量杂质，严格让硫含量低于 $10^{-5}$ ，使其可成为调和车用汽油的成分，在精制操作开展的过程中，要精细控制精制温度和压力，由于这两个参数直接对产品质量有影响，只有使产品达到车用汽油国V的规格，才可顺利打入市场。根据不同的利用领域，要合适地调整改性参数，还添加适量的改性剂原

料,保障产品质量达到相关行业要求,对利用路径进行优化时要兼顾环保要求,防止造成二次污染问题,优先选定工艺成熟、附加值高的利用做法,实现经济效益跟环境效益双收益。

### 3.2 综合利用效率量化与能耗控制

通过量化评估综合利用效率来检验催化加氢分级提质工艺价值是关键,要凭借科学公式开展计算,客观表明分级产物的利用大概水平,同时优化工艺参数使能耗下降,提高工程应用的经济产出,能耗控制聚焦的重点是氢气消耗、电力消耗、加热消耗三个方面,氢气利用着回收装置回收反应尾气里未反应的氢气,提纯之后进行循环利用,减少氢气的消耗;电力消耗通过优化设备运行的相关参数,缩短设备空载不工作的运行时间,加热消耗利用余热回收装置,回收加氢反应以及分级分离过程中所产生的余热,用于原料预处理和工艺方面的加热,加大能源利用效率<sup>[5]</sup>,对利用效率进行量化要结合各分级产物的利用现状,按照公式计算综合利用效率,客观审定工艺的实用性和经济性,为利用路径优化以及能耗控制提供支撑依据,分级产物综合利用效率的计算运用以下公式:

$$\eta_u = \frac{m_{u1} + m_{u2} + m_{u3}}{m_{t0}} \times 100\%$$

式中, $\eta_u$ 为分级产物综合利用效率(%), $m_{u1}$ 为轻组分(汽油馏分)利用量(kg), $m_{u2}$ 为中组分(柴油馏分)利用量(kg), $m_{u3}$ 为重组分(沥青质馏分)利用量(kg), $m_{t0}$ 为原料低温煤焦油总质量(kg)。该公式通过各分级产物利用量的总和与原料焦油总质量的比值,全面量化综合利用效率,参数可应用于工程运行效果评估,为利用路径优化与能耗控制提供量化依据。

### 3.3 工艺落地的实操管理与设备维护

催化加氢分级提质与综合利用工艺顺利落地,离不开完善的实操管理和设备维护体系的依托,避免操作方面的失误或设备故障造成工艺中断、效果减弱,保证工

艺稳定持续地开展,在设备维护上,按时对固定床反应器、精馏塔、催化剂再生装置及综合利用相关设备做检查和保养,清除设备内部残留的产物、杂质,检验管道连接的密封程度如何,防止物料产生泄露;定期对催化剂活性予以检测,及时更替失活非常严重的催化剂,检查反应器防腐涂层是否有损坏,及时修复存在破损的地方,保证设备运行性能可靠。

### 结语

凭借催化加氢方法的低温煤焦油分级提质及综合利用工艺,从现场实操的需求出发,利用精准的原料预加工、合理的催化剂选择、精准的工艺管控与分级分离,达成低温煤焦油成分深度转化和有效回收,该实操工艺通过对利用路径进行优化、对能耗加以控制和完善实操管理,可切实增强提质产物附加值以及资源利用率,让运行成本和污染物排放下降,给低温煤焦油催化加氢分级提质和综合利用工程提供可行的技术方案,后续能结合低温煤焦油组分性质的变化,进一步对加氢参数以及催化剂性能加以优化,提高工艺协同作用,帮助煤资源综合利用水平持续向好。

### 参考文献

- [1]邱泽刚,李壮壮,李志勤.中低温煤焦油转化利用技术研究进展[J].石油学报(石油加工),2024,40(4):953-964.
- [2]乔爱军.Fe-Ni纳米乳液催化剂在煤焦油浆态床加氢裂化中的应用研究[J].石油炼制与化工,2025,56(7):62-68.
- [3]窦志俊,孙显锋,高福祥,等.煤焦油加氢精制重石脑油用于催化重整制芳烃的研究[J].石油炼制与化工,2026,57(3):38-42.
- [4]郭雄,常有前,李乔.煤焦油加氢精制催化剂研究进展[J].广州化工,2025,53(19):37-40.
- [5]谢瑞伦,张侠,田誉娇,等.氮掺杂多孔炭负载镍纳米粒子对高温煤焦油的催化加氢转化[J].燃料化学学报,2021,49(10):1402-1411.