

# 柴油加氢装置提高低凝柴油收率优化后的经济性分析

## Optimization analysis of improving low

## pour point diesel yield in diesel hydrogenation unit

娄 刚 (中国石化大庆炼化分公司炼油生产一部, 黑龙江 大庆 163411)

Lou Gang(China Petroleum Daqing Refining and Chemical Branch Refining

Production Department No.1, Heilongjiang Daqing 163411)

**摘要:** 柴油加氢装置降凝生产工况下低凝柴油收率偏低, 使生产效益降低。通过对生产运行操作参数的优化调整, 可提高低凝柴油收率及经济效益且保证产品质量合格。本文主要通过原料性质、降凝反应器 R102 各床层温度以及分馏塔顶温度对低凝柴油凝点及收率的影响进行分析, 摸索在保证产品质量合格的条件下实现最大低凝柴油收率的最佳操作条件。低凝柴油收率优化后, 公司每年经济效益可提高 2175 万元。

**关键词:** 低凝柴油; 收率; 凝点; 优化; 经济效益

**Abstract:** The yield of low pour point diesel is relatively low under the production conditions of diesel hydrogenation unit, resulting in a decrease in production efficiency. By optimizing and adjusting production operation parameters, the yield of low pour point diesel can be increased and product quality can be guaranteed to be qualified. This article mainly analyzes the effects of raw material properties, temperature of each bed in the depressurization reactor R102, and top temperature of the fractionator on the pour point and yield of low pour point diesel oil. Explore the optimal operating conditions for achieving maximum low pour point diesel yield while ensuring product quality compliance.

**Key words:** Low pour point diesel; Yield; Condensation point; Optimization; economic benefits

为优化产品结构, 降低柴汽比<sup>[1-3]</sup>, 2019 年中国石化大庆炼化分公司 170 万 t/a 柴油加氢装置内新建 36 万 t/a 航煤加氢单元, 同时增设降凝反应器与原精制反应器串联, 将装置产品结构调整为航煤、0# 柴油及 -35# 柴油<sup>[4-5]</sup>。航煤加氢单元以原柴油加氢装置常减压常一线油作为原料, 生产精制航煤产品或 -35# 柴油调和油。柴油加氢单元以常减压常二线油、催化上塔柴油作为原料, 夏季生产 0# 柴油, 冬季经过降凝反应生产 -35# 柴油。

因常减压装置常一线油作为航煤原料, 所以柴油加氢装置按原生产流程(分馏塔顶生产 -35# 柴油, 分馏塔底生产 0# 柴油)将无法实现生产 -35# 柴油低凝柴油。因此通过对柴油加氢装置降凝改造, 在精制反应器后串联一台降凝反应器, 在冬季通过降凝反应生产 -35# 柴油, 夏季降低降凝反应器床层温度, 使其不发挥降凝作用, 从而生产 0# 柴油。

170 万 t/a 柴油加氢装置采用常减压常二线油及催化上塔柴油混合油作为柴油加工原料, 在精制催化剂作用下进行脱硫、脱氮、烯烃饱和、芳烃饱和等反应, 经精制反应器(R-101)饱和加氢的反应产物进入降凝反应器(R-102), R-102 设置三个催化剂床层, 催化剂采用 FRIPP 开发的 FC-16B 加氢异构降凝催化剂、FDW-3 临氢降凝催化剂和 FF-66 后精制催化剂体系。加氢降凝的反应过程是滴流床多相催化反应, 在加氢降凝过程中, 主要发生加氢脱硫反应、加氢脱氮反应、芳烃加氢反应、烯烃加氢反应、加氢裂化反应及择形降凝反应。降凝反应主要原理是原料中的烷烃类大分子, 进入到降凝催化剂的孔道中, 发生裂解反应, 而环状烃分子不能进入到降凝催化剂的孔道中发生反应, 从而实现油品的凝固点的降低。而裂解反应深度关系到烷烃类大分子转化为小分子的程度, 进而影响低凝柴油的收率及经济效益。

## 1 优化目的

柴油加氢装置冬季降凝生产工况下反应产物主要为低凝柴油，副产品为石脑油、干气。目前降凝生产状况下，-35# 低凝柴油收率为 79.34% (m%)，石脑油收率为 18.44% (m%)。受市场低凝柴油及石脑油价格偏差影响，低凝柴油价格较石脑油价格高 1800 元/t 左右。柴油加氢装置为实现产品效益最大化，对影响低凝柴油产品收率的因素进行深入分析，探索提高低凝柴油收率及经济效益的方法。

## 2 优化调整方法

柴油加氢装置在 11 月 1 日 -11 月 18 日引入了不同组分的加工原料油，通过对工艺参数的调整控制，考察了不同原料组成比例、反应温度以及分馏塔操作参数对 -35# 低凝柴油收率的影响，进而摸索在保证产品质量合格的条件下实现最大低凝柴油收率的最佳操作条件。

11 月 1 日 -7 日原料组成中包含高硫 M 油，每天

引入约 8.7t，占原料比例 0.34% (m%)，催化上塔柴油占比 32.26% (m%)，常减压常二线柴油占比 67.4 (m%)。产品质量及反应操作控制条件如表 1 所示。11 月 3 日前低凝柴油凝点及闪点质量均过剩的条件下，降低降凝反应器 R102 各床层温度，对降凝反应器 R102 第一、二、三床层入口温度进行调节，通过降低各床层温度，降低反应裂解程度，提高低凝柴油收率，同时调节分馏塔顶温度实现降低低凝柴油闪点的目的，从而实现低凝柴油闪点不过剩，凝点指标合格，低凝柴油收率最大化。11 月 8 日后高硫 M 油改出本装置，引入庆化公司裂解柴油 11t/h，占原料比例 10.1% (m%)，催化上塔柴油占比 25.1% (m%)，常减压常二线柴油占比 64.8 (m%)。产品质量及反应操作控制条件如表 2 所示。11 月 10 日 -12 日提高降凝反应器 R102 各床层温度，反应深度增大，低凝柴油凝点大幅降低，12 日闪点降至 49℃ 以下，收率同步降低。13 日 -16 日逐渐降低 R102 各床层温度，

表 1 操作参数与产品质量控制 (含高硫 M 油，无庆化柴油)

日期	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7
原料凝点/℃	-10	-11	-9	-10	-10	-10	-9
低凝柴油凝点/℃	-37	-39	< -40	-34	-35	-34	-39
低凝柴油闪点/℃	60.5	56.5	53	65	60.5	58.5	56.5
低凝柴油收率/%	79.34	79.51	79.65	82.66	83.16	82.69	81.44
R102 一层入口温度/℃	377	377	376	372	373	372	370
R102 一层出口温度/℃	390	388	391	384	385	384	380
一层温升/℃	13	11	15	12	12	12	10
R102 二层入口温度/℃	377	377	375	372	373	372	370
R102 二层出口温度/℃	389	391	388	383	383	383	380
二层温升/℃	12	14	13	11	10	11	10
R102 三层入口温度/℃	356	357	355	351	352	352	357
R102 三层中部温度/℃	347	347	347	342	342	342	347
三层上部温升/℃	-9	-10	-8	-9	-10	-10	-10
分馏塔顶温度/℃	121	121	121	119	118	116	116
氢耗 kg/t 原料	21.9	22.6	22.2	21.2	21.3	21.0	21.7

表 2 操作参数与产品质量控制 (无高硫 M 油，含庆化柴油)

日期	11.9	11.10	11.11	11.12	11.13	11.14	11.15	11.16	11.17	11.18
原料凝点/℃	-7	-10	-8	-8	-10	-10	-9	-9	-9	-8
低凝柴油凝点/℃	-28	-34	-40	< -40	-40	-38	-38	-32	-36	-36
低凝柴油闪点/℃	72.5	57	51.5	48	53	52.5	53	59.5	54.5	51
低凝柴油收率/%	85.17	82.33	81.9	80.12	80.46	80.89	81.48	82.01	82.24	82.58
R102 一层入口温度/℃	370	378	380	380	379	379	378	376	376	376
R102 一层出口温度/℃	378	388	391	394	393	392	390	387	388	388
一层温升/℃	8	10	11	14	14	13	12	11	12	12
R102 二层入口温度/℃	371	380	381	381	379	380	378	378	378	378
R102 二层出口温度/℃	378	390	393	394	392	392	390	389	390	390
二层温升/℃	7	10	12	13	13	12	12	11	12	12
R102 三层入口温度/℃	358	360	362	362	359	359	359	356	356	356
R102 三层中部温度/℃	349	351	353	353	350	351	350	347	347	347
三层上部温升/℃	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-9	-9	-9	-9
分馏塔顶温度/℃	116	116	116	116	117	118	118	118	116	115
氢耗 kg/t 原料	19.5	20.3	20.5	21	21.5	21.4	21.1	20.9	20.9	20.1

使反应深度有所降低,低凝柴油凝点升高,收率提高。16日-18日低凝柴油凝点稳定,收率达到82%左右,较优化前提高了3个百分点。

### 3 影响低凝柴油收率的因素

#### 3.1 原料性质的影响

原料组分的变化对产品质量有一定的影响,特别是二次加工柴油与直馏柴油在不同比例情况下反应深度不同,二次加工柴油比例增加,反应温度相对较高,反应深度增大,反应裂解程度也相应增大,干气以及石脑油收率相对较高,低凝柴油收率相对较低。

通过11月8日前后原料性质对比,11月8日前催化柴油占比32.26%(m%),11月8日后催化柴油占比35.2%(m%),通过表1和表2看出,催化柴油比例提高3%,降凝反应器R102各床层温度提高4-6℃,低凝柴油方可达到同样的凝点指标,收率均能够达到82%(m%)左右。由此说明催化柴油占比提高,在反应温度不变的情况下反应深度在一定程度上降低(特别是第一、二床层异构降凝反应),低凝柴油凝点及闪点升高。当通过提高反应温度,使降凝反应深度增大,产品低凝柴油达到同样的凝点指标时,低凝柴油收率基本不变。

#### 3.2 反应温度的影响

降凝反应温度直接影响降凝反应深度,进而影响低凝柴油的凝点。反应温度过高,反应深度增大,低凝柴油凝点降低,但会造成反应裂解程度增大,干气及石脑油收率提高,低凝柴油收率降低;而反应温度过低,将会造成反应深度不足,无法达到低凝柴油凝点指标要求。所以应合理地控制降凝反应温度,保证低凝柴油凝点满足指标要求,但也不使产品质量大幅过剩,对低凝柴油收率造成不利影响。

通过表1和表2看出,降低反应器R102床层温度,使反应深度降低,低凝柴油凝点升高,收率提高。通过对比表1中11月5日-7日数据,将R102第一、二床层温度降低,第三床层温度提高,能使低凝柴油凝点大幅降低,但低凝柴油收率也随之降低。通过对比表1中11月1日、2日及7日数据,将R102第三床层控制相同温度,第一、二床层温度的高低对低凝柴油的影响相对偏弱,但降低R102第一、二床层温度在一定程度上可使低凝柴油收率提高。因此说明降凝反应器R102第三床层裂解降凝剂FDW-3较第一、二床层异构降凝剂FC-16B有更强的降凝作用。

#### 3.3 分馏塔顶温度的影响

冬季降凝生产工况时,分馏塔进料温度、塔顶压

力以及塔顶温度的控制对产品质量有较大的影响。本次调整是在保证分馏塔进料温度以及塔顶压力不变的情况下,考察分馏塔顶温度对低凝柴油收率的影响。

通过表2中11月16日-18日数据看出,降低分馏塔顶温度,可实现提高分馏塔的精馏效率,将低凝柴油闪点降低,在一定程度上可使低凝柴油凝点降低,收率提高。因此说明分馏塔顶馏出物占比在一定程度上能够影响低凝柴油凝点和收率,但过低的塔顶温度会使塔顶馏出物过低,造成低凝柴油闪点指标不合格,所以在提高低凝柴油收率的同时应考虑塔顶温度控制对闪点的影响。因此,分馏塔顶温度应控制在合理的指标范围内,既能满足低凝柴油闪点合格,又能实现低凝柴油收率最大化。

### 4 结论

①催化柴油比例提高,使第一、二床层异构降凝反应深度大幅降低,低凝柴油凝点及闪点升高。通过提高反应温度,使低凝柴油凝点达到相同指标时,低凝柴油收率基本不变;②降低降凝反应器R102床层温度,使反应深度降低,低凝柴油凝点升高,收率提高。而且降凝反应器R102第三床层裂解降凝剂FDW-3较第一、二床层异构降凝剂FC-16B有更强的降凝作用;③分馏塔顶馏出物占比在一定程度上影响低凝柴油凝点和收率,降低分馏塔顶温度使低凝柴油凝点降低,收率提高,但过度降低塔顶温度将使低凝柴油闪点指标不合格,应合理控制分馏塔顶温度;④按照低凝柴油价格较石脑油价格高1800元/t计算,柴油加氢装置每年可提高经济效益2175万元。

#### 参考文献:

- [1] 简建超,黄丽.应用炼油全流程优化技术降低柴汽比[J].化工技术与开发,2014,43(8):69-72.
- [2] 陈志远.利用PIMS模型优化炼油厂装置的柴汽比[J].炼油与化工,2020(1).
- [3] 瞿国华.我国油品柴汽比降低的原因分析及其优化措施[J].当代石油石化,2019(10).
- [4] 上官同富.加氢裂化装置产品结构的调整与优化[J].化工管理,2020(27).
- [5] 陈浩.分析加氢裂化装置产品结构的调整与优化[J].当代化工研究,2021(3):32-33.

#### 作者简介:

娄刚(1986-),男,工程师,2014年毕业于东北石油大学化学工艺专业,硕士研究生学历,现就职于中国石油大庆炼化分公司炼油生产一部。