

利用模拟软件计算加氢过程 Delta-Base 数据及其在生产计划中的应用

侯震 齐艳华 熊霖霖 李慧竹 门卓武

(中国石化石油化工科学研究院, 北京 100083)

摘要:以某工业蜡油加氢裂化装置为例,通过加氢过程模拟软件的模拟计算,分别研究了原料密度和氮含量对产品收率和氢耗量变化的影响。研究表明,随着原料密度增加,加氢裂化的轻馏分油收率减少,重馏分油收率增多,氢耗增加;随着原料氮含量增加,轻油收率略降,重油收率和氢耗略有增加。通过计算,进而得到了相应的 DELTA-BASE 数据。由于考虑了原料性质对收率的影响,应用 DELTA-BASE 数据与没有应用 DELTA-BASE 数据的生产计划模型的运算结果有较大的不同。结果表明,应用 DELTA-BASE 数据后提高了炼厂生产计划的精度。

关键词:加氢过程模拟; DELTA-BASE 数据; 加氢裂化; 过程工业模拟系统

中图分类号: TQ019

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)S2-0134-03

Application of hydro-cracker model in PIMS

HOU Zhen, QI Yan-hua, XIONG Zhen-lin, LI Hui-zhu, MEN Zhuo-wu

(Research Institute of Petroleum Processing, SINOPEC, Beijing 100083)

Abstract: Taking an example of commercial vacuum gas oil (VGO) hydrocracking unit, using hydro-cracker model, the influences of the density and nitrogen content of feed on yield and hydrogen-consumption were studied. The results show that when the density of the feed is increased, the yield of light oil will reduce, yet the yield of heavy oil and the hydrogen-consumption will increase; when the nitrogen content of the feed is increased, the yield of light oil will slightly decrease, yet the yield of heavy oil and the hydrogen-consumption will slightly increase. Furthermore, the relevant DELTA-BASE data were gained which can be used in process industry modeling system (PIMS) by using the model. The PIMS results using the DELTA-BASE data are far more different from those without using DELTA-BASE data. As a result, the application of DELTA-BASE data can improve the accuracy of the refining planning.

Key words: hydro-cracker model; DELTA-BASE data; hydro-cracking; process industry modeling system (PIMS)

炼油装置中原料性质的变化会对产品的收率和性质产生很大的影响^[1-2]。目前国内炼厂在制定生产计划时一般采用 2 种方法:一种方法是忽略原料性质对装置收率的影响,将某一阶段装置收率的平均值视为装置收率,这会导致生产计划偏离实际生产状况。另一种方法是依靠经验数据或操作数据回归得到这种影响关系,虽然该方法较前一种方法有所进步,但是由于经验数据或操作数据受工业数据测量误差的影响,也不是很准确;并且这种方法外延性差,不同的操作方案需要不同的数据进行关联,工作量大。利用过程模拟软件^[3]的模拟计算得到进料性质变化对产品收率影响的数据即 Delta-Base 数据,并将其应用于炼厂生产计划模型中,是提高生产计划模型精度的快捷简便的方法^[4-6]。

笔者利用加氢过程模拟软件计算了加氢裂化装置的原料密度和氮含量对产品收率和氢耗影响的

Delta-Base 数据。并将其应用于生产计划模型,改善了炼厂生产计划的精度,提高了炼厂的经济效益。

1 加氢裂化装置 DELTA-BASE 数据计算方法

计算加氢裂化装置的 DELTA-BASE 数据,一般包括如下步骤:

(1)整理装置的标定数据,分析处理物料、碳、氢、硫、氮等的平衡;

(2)利用标定数据建模,并调整模型使主要变量的模型计算值与实际测量值的偏差在一定的合理范围内,使所建的模型能够描述该装置的实际情况;

(3)分别改变原料密度和氮含量的数值,并确定适当的约束条件,然后进行模拟计算,计算得到不同原料密度和氮含量下的产品收率值。

(4)根据不同原料性质下的产品收率数值,通过

计算得到该加氢裂化装置的相应的 DELTA-BASE 数据。

2 模型的校正

本文考察的工业蜡油加氢裂化装置包括精制段和裂化段两部分,主要产品为轻石脑油、重石脑油、煤油和柴油。加氢裂化尾油循环至裂化段。

标定数据中原料油和产品的性质如表 1 和表 2 所示,操作条件如表 3 所示。校正计算过程中考虑的主要变量包括加权平均反应温度,反应温升,精制油氮含量,低分油密度和平均沸点,轻石脑油、重石脑油、煤油、柴油的收率和密度等。校正后上述主要变量计算值、实际值及其偏差见表 4,由偏差数据可知,主要变量的计算值与实测值之间的偏差都比较小,说明模型与实际装置比较吻合。

表 1 标定数据中的原料性质

| 项目 | 原料油 |
|---------------------------|--------|
| 密度/ $g \cdot cm^{-3}$ | 0.8630 |
| 硫质量分数/% | 0.6 |
| 氮含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$ | 1192 |
| 馏程, ASTM-D86/ $^{\circ}C$ | |
| 10% | 364 |
| 50% | 425 |
| 90% | 492 |

表 2 标定数据的主要产品性质

| 项目 | 精制出口油 | 低分生油 | 轻石脑油 | 重石脑油 | 煤油 | 柴油 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 密度/ $g \cdot cm^{-3}$ | 0.8600 | 0.7855 | 0.6766 | 0.7470 | 0.7890 | 0.8130 |
| 氮含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$ | 10 | < 3.5 | < 1 | < 1 | < 1 | 8 |
| 馏程, ASTM-D86/ $^{\circ}C$ | | | | | | |
| 10% | 300 | 115 | 48 | 116 | 165 | 265 |
| 50% | 395 | 289 | 72 | 120 | 192 | 300 |
| 90% | 500 | - | 96 | 133 | 240 | 340 |

表 3 标定数据的操作条件

| 项目 | 精制段 | 裂化段 |
|----------------------------------|-------|-------|
| 反应器入口压力(表压)/MPa | 16 | 16 |
| 精制剂或裂化剂体积空速/ h^{-1} | 0.95 | 1.2 |
| 加权床层平均温度/ $^{\circ}C$ | 391 | 377.5 |
| 精制段总温升/ $^{\circ}C$ | 66 | 37 |
| 裂化段总温升/ $^{\circ}C$ | 406 | 385 |
| 进装置新氢量(标准状态)/ $m^3 \cdot h^{-1}$ | 36000 | 36000 |
| 反应器入口氢油体积比 | 900 | 1100 |

表 4 模型校正结果

| 项目 | 标定值 | 计算值 | 绝对偏差 |
|--------------------------------|--------|--------|---------|
| 精制段加权平均温度/ $^{\circ}C$ | 391 | 390.5 | 0.5 |
| 裂化段加权平均温度/ $^{\circ}C$ | 377.5 | 377 | 0.5 |
| 精制段反应总温升/ $^{\circ}C$ | 66 | 64 | 2 |
| 裂化段反应总温升/ $^{\circ}C$ | 37 | 33 | 4 |
| 精制油密度/ $g \cdot cm^{-3}$ | 0.8600 | 0.8508 | 0.0092 |
| 精制出口油氮含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$ | 10.0 | 9.9 | 0.1 |
| 低分油密度/ $^{\circ}C$ | 0.7855 | 0.7863 | -0.0008 |
| 低分油平均沸点/ $^{\circ}C$ | 289 | 279 | 10 |
| 轻石脑油质量收率/% | 15.1 | 13.8 | 1.3 |
| 重石脑油质量收率/% | 12.2 | 10.9 | 1.3 |
| 煤油质量收率/% | 39.1 | 38.0 | 1.1 |
| 柴油质量收率/% | 31.4 | 33.2 | -1.8 |

3 DELTA-BASE 数据的计算

加氢裂化装置的主要生产目的是将重馏分油裂化为轻质馏分油,同时脱除硫氮等杂质。其中原料油的密度对产品分布有着重要的影响,此外为了防止裂化段酸性催化剂中毒,需要控制精制段出口的氮含量,即精制段的反应苛刻度主要取决于原料的氮含量,故原料的氮含量会对产品分布有一定的影响。笔者主要研究了加氢裂化装置的原料中密度和氮含量对收率的影响。

利用上述模型,考察了上述装置原料密度和氮含量与主要产品收率间的关系,结果如图 1~4 所示。

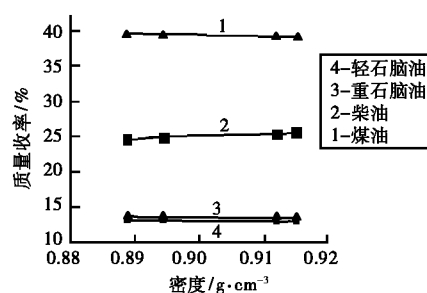


图 1 原料密度与主要产品质量收率的关系

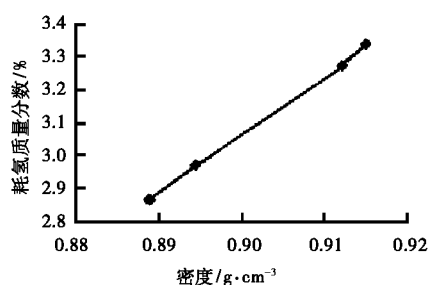


图 2 原料密度与氢耗的关系

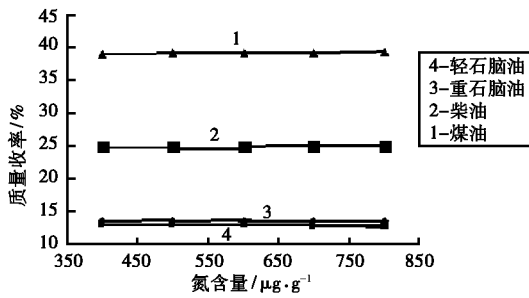


图 3 原料氮含量与主要产品质量收率的关系

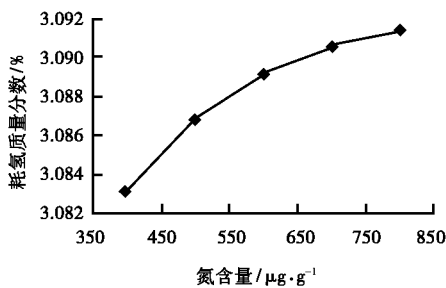


图 4 原料氮含量与氢耗的关系

如上述图所示,原料密度和氮含量在所示范围内与主要产品收率和氢耗的关系可以近似视为线性关系。随着原料密度增加,加氢裂化的轻馏分油收率减少,重馏分油收率增加,氢耗增加;随着原料氮含量增加,轻馏分油收率略降,重油收率略增加,氢耗略增加。据此,计算得到的原料密度(0.0262 g/cm³)和氮含量(400 μg/g)对产品收率和氢耗影响的 DELTA-BASE 数据见表 5。

表 5 原料密度和氮含量对产品收率和氢耗影响的 DELTA-BASE 数据

| 项目 | Delta(密度) | Delta(氮含量) |
|--------------------------|-----------|------------|
| 原料氮含量/μg·g ⁻¹ | 400 | |
| 原料密度/g·cm ⁻³ | | 0.0262 |
| 耗氢质量分数/% | 0.01 | 0.48 |
| 质量收率/% | | |
| 轻石脑油 | -0.16 | -0.20 |
| 重石脑油 | -0.00 | -0.17 |
| 煤油 | 0.26 | -0.48 |
| 柴油 | 0.24 | 1.10 |

4 DELTA-BASE 数据在生产计划模型中的应用

如果没有 DELTA-BASE 数据,生产计划模型中只能取一定时期内装置的产品收率和氢耗量的平均值,没有反映出产品收率和氢耗量与原料性质变化

的关系,从而影响了炼厂的经济效益。将表 5 中的 DELTA-BASE 数据放入生产计划模型中,就考虑了加氢裂化装置原料性质变化对产品收率和氢耗量的影响,生产计划模型的运算结果会有较大的不同。表 6 为考虑了加氢裂化装置 DELTA-BASE 数据前后的生产计划模型的运算结果的对比,计算结果表明,加入 DELTA-BASE 数据后,产品分布发生了较大的变化。由于考虑了加氢装置原料性质变化对氢耗和产品收率的影响,相比无 DELTA-BASE 数据时,计划模型会选择性质较好的原油加工,使得外购氢气量减少,高价值产品煤油增多,干气等低价值产品产量减少,进而使总体利润增加。这样就改进了生产计划模型的精度,进而可以提高炼厂的经济效益。

表 6 采用和未采用 DELTA-BASE 数据的生产计划模型计算结果

| 项目 | 无 DELTA-BASE 数据 | 有 DELTA-BASE 数据 |
|------------|-----------------|-----------------|
| 利润/万元 | 7927.898 | 7982.547 |
| 原油购进量/万 t | 100.000 | 100.000 |
| 外购氢气量/万 t | 0.117 | 0.105 |
| 主要产品产量/万 t | | |
| 90# 无铅汽油 | 2.596 | 2.586 |
| 航煤 | 13.208 | 13.236 |
| 0# 柴油 | 34.383 | 34.379 |
| 石脑油 | 12.812 | 12.817 |
| 白油原料 | 1.791 | 1.776 |
| 液化气 | 3.516 | 3.511 |
| 干气 | 2.041 | 2.032 |

5 结论

利用加氢过程模拟软件研究了加氢裂化装置原料油密度和氮含量的变化对产品收率和氢耗量的影响,并计算了相应的 DELTA-BASE 数据。将该 DELTA-BASE 数据应用到生产计划模型的运算过程中,有效地提高了炼厂生产计划的精度。

参考文献

- [1] Fisher D A B G, Barker G P, Lilburne G M, et al. Diesel Hydrodesulphurisation-A practical correlation of catalyst activity[A]. In: Trimm D L, Arashah S, Absi-Halabi M, et al. Catalysts in Petroleum Refining, 1989: Proceedings (Studies in Surface Science and Catalysis, Vol 53) [C]. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1990. 473.

(下转第 138 页)

成,而 HAZOP 分析必须由不同专业人员组成的分析组来完成。HAZOP 分析的这种群体方式的主要优点在于能相互促进、开拓思路。

1.1 分析方法

基于引导词的 HAZOP 方法即是对于每一“分析节点”,通过引导词引导分析节点的工艺参数形成有意义的偏差,分析其产生原因、可能导致的危险后果、已有的安全保护措施及应该采取的安全措施等。

(1) 常用引导词及其意义

HAZOP 常用的引导词及意义见表 1。

表 1 常用引导词及其意义

| 引导词 | 含义 | 说明 |
|----------------|-----------|--------------------|
| No(空白) | 对设计意图的否定 | 设计或操作要求指标或事件完全不发生 |
| Less(减量) | 数量减少 | 同标准值比较,数值偏小 |
| More(过量) | 数量增加 | 同标准值比较,数值偏大 |
| Part of(部分) | 质的减少 | 只完成既定功能的一部分 |
| As Well As(伴随) | 质的增加 | 在完成既定功能的同时伴随多余事件发生 |
| Reverse(相逆) | 设计意图的逻辑反面 | 出现和设计完全相反的事或物 |
| Other Than(异常) | 完全代替 | 出现和设计不相同的事或物 |

(2) 常用工艺参数

HAZOP 常用的工艺参数有流量、温度、时间、pH 值、频率、电压、混合、分离、压力、液位、组成、速度、黏度、信号、添加剂及反应等。

(3) 偏差的构成

偏差为引导词与工艺参数的组合,一般表示如下:

$$\text{引导词} + \text{工艺参数} = \text{偏差}$$

用引导词描述要分析的问题可确保 HAZOP 方法的统一性,同时能够将要分析的问题系统化,应用一套完整的引导词,可以导出所有可能的偏差,而不致被遗漏。

(4) HAZOP 分析是对偏差的原因、后果、已有安全保护等项目进行分析,同时提出应该采取的措施

和行动。分析的内容会依据分析目的不同而有所侧重。

1.2 分析步骤

(1) 分析准备

a. 确定分析的目的、对象和范围;b. 组建分析小组;c. 获得必要的资料;d. 根据资料拟定适当的表格和分析顺序;e. 安排会议次数和时间。

(2) 完成分析

a. 划分节点(或称单元分区);b. 解释工艺指标或操作步骤;c. 确定有意义的偏差;d. 对偏差进行分析。

(3) 编制分析结果文件

分析记录是 HAZOP 分析的一个重要组成部分,会议记录人员将分析讨论过程中所有重要的内容精确地记录在事先设计好的工作表内。

在上述工作的基础上,将会议记录结果进行整理、汇总、提炼出恰当的结果,形成 HAZOP 分析报告文件。

2 技术性能和特征

HAZOP 方法自建立以来,在实际应用中不断得以发展和完善,已成为功能完善、系统性强的危险辨识方法,且许多公司在工艺过程 HAZOP 分析的基础上,对其进行了扩展和延伸,以满足多种不同需求,但工艺过程 HAZOP 分析依然是应用最广泛、最为成熟的技术之一。

2.1 HAZOP 分析技术的主要类型

- (1) 工艺过程 HAZOP(process HAZOP)分析
- (2) 人的可靠性 HAZOP(human HAZOP)分析
- (3) 操作程序 HAZOP(procedure HAZOP)分析
- (4) 软件 HAZOP(software HAZOP)分析

2.2 工艺过程 HAZOP 分析技术的应用领域

(1) HAZOP 分析技术适用于以下不同的工艺过程:连续工艺过程和间歇工艺过程。

(2) HAZOP 分析技术可以用于装置生命周期的各个阶段:工艺设计,在役装置,装置改造、扩展。

(上接第 136 页)

[2] Morinaga K, Izumi Y, Arai H, et al. Development of the new catalyst HOP-463 for deep desulfurization of diesel fuels [A]. In: Iwamoto M, Imagishi T, Fujieda S. Study of Surface Science and Catalysis: Science and Technology in Catalysis, 1994, Vol 92 [C]. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1990. 425.

[3] Mudt D R, Pedersen C C, Robinson P R, et al. [J]. Petroleum Technology Quarterly, 2001, (1): 85 - 87, 89 - 91.

[4] English K, Dunbar M. Using steady state models to generate LP model inputs [A]. In: Proc of 1997 NPRA Computer Conference [C]. Washington, DC: National Petrochemical & Refiners Association, 1997. CC - 97 - 131.

[5] Hu M C, Powell R T, Kidd N F. [J]. Hydrocarbon Processing, 1997, 76 (6): 81 - 86.

[6] Tucker M. LP modeling: past, present and future [A]. In: Proc of 2001 NPRA Computer Conference [C]. Washington, DC: National Petrochemical & Refiners Association, 2001. CC - 01 - 153. ■