

PIMS 软件在炼油厂总加工流程优化阶段进行原油优选的应用

庞新迎，王业华，辛若凯，张香玲
(中国石油工程建设公司华东设计分公司，山东 青岛 266071)

摘 要：以某新建千万吨级炼油厂总流程优化为例，通过建立 PIMS 模型，分别考察了采用沙特重质原油（简称沙重原油）和沙特中质原油（简称沙中原油）作为设计原油时对总加工流程和经济效益的影响。结果表明：沙中原油密度小、质量好，作为加工的原油时，一方面可改善渣油加氢装置原料性质，重金属和沥青质含量相对较低，另一方面可获得较高的轻油收率（79.81%）和综合商品率（91.80%）；但由于沙中原油采购成本较高，导致炼油利润较加工沙重原油时低 53.50 元/t。综合考虑，以沙重原油作为设计原油时既能获得较高的经济效益，也能适应加工沙中原油等中质原油的生产操作，同时考虑未来原油炼制的发展趋势，建议选择高硫劣质的沙重原油作为设计原油。

关键词：PIMS 总流程 优化 原油优选

受原油配置方案、加工规模、加工流程、工艺技术、投资及经济评价等诸多不确定因素的影响，传统的总工艺加工流程设计方式已难以满足现代炼油厂规划的要求，随着 PIMS(Process Industry Modeling System)软件在工厂设计领域的广泛应用，炼油厂流程优化的工作效率和准确性得到了显著提高。本课题以某新建千万吨级炼油厂总工艺加工流程方案优化为例，重点介绍利用 PIMS 软件进行原油配置方案的优化研究，旨在为全厂总工艺加工流程的优化提供工作思路。

1 项目概述

某千万吨级炼油厂设计加工原油拟为基础原油与沙特原油^[1]的混合原油，在保持原油加工量和混合比例不变的前提下，考察分别采用沙特重质原油（简称沙重原油，对应混合原油 A）和沙特中质原油（简称沙中原油，对应混合原油 B）对全厂总工艺加工流程和经济效益的影响。

1.1 原油性质

表 1 为设计加工原油的主要性质。从表 1 可以看出：按关键馏分特性分类，沙重原油和沙中原油同属高硫中间基原油，但沙重原油较沙中原油密度大，残炭高，硫、氮、重金属（镍+钒）等杂质含量较高，渣油收率高，相应地，与混合原油 A 相比，混合原油 B 的密度、残炭以及杂质（硫、氮、重金属等）含量等性质均有所改善，其中重金属含量变化

尤为明显，同时渣油收率降低。

表 1 设计加工原油的主要性质

项 目	沙重原油	沙中原油	混合原油 A	混合原油 B
密度(20℃)/(kg·m ⁻³)	890.5	868.0	864.8	857.3
°API	27.4	30.8	32.1	33.6
残炭,%	7.10	5.67	4.21	3.33
w(硫),%	2.80	2.42	1.78	1.65
w(氮)/(μg·g ⁻¹)	1 513	1 200	1 235	1 158
w(镍+钒)/(μg·g ⁻¹)	72.80	42.50	40.20	25.86
常压渣油(>350℃)				
收率(w),%	58.66	52.07	52.43	49.73
减压渣油(>550℃)				
收率(w),%	31.53	25.84	22.18	21.09
原油类别	高硫中间基 高硫中间基			

1.2 总工艺加工流程

成熟的重油轻质化工艺包括加氢和脱碳两种，对比脱碳工艺方案，加氢工艺方案可显著提高轻质馏分油收率，显著降低黑色产品出厂量，同时还可为提高油品质量和保护环境创造良好的基础，因此，在高油价的市场环境下，该项目重油加工方案推荐选用渣油加氢-催化裂化-加氢裂化的核心流程。总加工流程示意图 1。

收稿日期：2015-12-08；修改稿收到日期：2016-03-25。
作者简介：庞新迎，工程师，从事炼油设计工作。
通讯联系人：庞新迎，E-mail:pangxinying@cnpccei.cn。

表 3 主要工艺装置加工负荷对比

工艺装置	处理量/(kt·a ⁻¹)		加工负荷比值 (B/A),%
	混合原油 A	混合原油 B	
渣油加氢脱硫	5 499.1	5 034.0	92
重油催化裂化	4 772.6	4 365.6	91
加氢裂化	2 603.0	2 603.0	100
催化裂化汽油加氢	1 773.3	1 622.3	91
煤油加氢	1 333.0	1 342.7	101
柴油加氢精制	3 163.2	3 295.7	104
柴油加氢改质	1 893.6	1 775.9	94
轻烃回收	3 355.8	3 654.3	109
石脑油加氢	3 010.2	3 316.5	110
连续重整	3 058.6	3 312.1	108
芳烃联合	1 337.2	1 448.0	108
气体分馏	1 050.0	960.4	91
MTBE	165.1	151.1	92
异构化	724.0	775.7	107
氢气提纯 ¹⁾	9.21	9.86	107
硫磺回收	270.7	256.7	95

1) 单位为×10⁴ m³/h(标准状况)。

重金属,加工 2 种原料工况下渣油加氢脱硫装置原料性质对比见表 4。从表 4 可以看出,除氮含量变化不明显外,加工混合原油 B 时的渣油加氢装置原料中的残炭、硫、重金属以及沥青质含量等性质均有所改善,其中以沥青质含量和残炭变化最为显著。

表 4 渣油加氢脱硫装置原料性质对比

项 目	混合原油 A	混合原油 B
w(硫),%	3.63	3.44
w(氮)/(μg·g ⁻¹)	3 055	3 080
w(镍+钒)/(μg·g ⁻¹)	117.05	80.95
残炭,%	12.21	11.27
w(沥青质),%	6.00	3.52

研究^[2-4]表明,积炭和金属沉积是导致渣油加氢催化剂失活从而影响催化剂使用寿命的主要原因。其中沥青质可造成催化剂的结焦失活,而金属沉积可造成催化剂活性位损失而永久性失活。

催化剂的使用寿命与原料中的重金属(Ni+V)含量成反比对数关系,随着进料中金属杂质含量增加,催化剂寿命迅速缩短^[5]。金属经加氢反应脱除后会沉积在催化剂表面,堵塞催化剂孔道;此外,沉积的金属也会与催化剂活性相反应生成

低活性相金属硫化物,导致催化剂活性下降^[6]。对比国内已开工的渣油加氢装置的原料性质,重金属质量分数基本在 80~110 μg/g 范围内,上述 2 种混合原油重金属质量分数分别为 117.05 μg/g 和 80.95 μg/g,前者属于较高水平,后者则相对较低。但根据实际运行经验,通过优选国内外先进的渣油加氢工艺及催化剂技术,加工 2 种原油工况下均可保证渣油加氢装置长周期运行的目标。

沥青质是渣油中平均相对分子质量最大、化学结构最复杂的组分^[7]。沥青质对装置操作的影响主要体现在:首先部分沥青质以积炭的形式沉积于催化剂上,影响催化剂的活性和稳定性;另外沥青质还会在设备内生成沉积物,造成管道堵塞和降低换热器的传热效果,缩短装置的运转周期。

研究^[8-10]发现,与沥青质的含量相比,在催化剂的结焦失活过程中,沥青质的性质影响更大。表 5 为国内几套渣油加氢装置的原料沥青质含量。从表 5 可以看出,四川石化沥青质含量是所列几套装置中最低的,却曾经因为沥青质的原因出现过操作问题,而沥青质含量较高的金陵石化和大连石化却平稳运行多年。这可能与四川石化渣油中甲苯不溶物的含量较高有关。

本项目加工 2 种原油工况下渣油加氢原料沥青质质量分数分别为 6.00%和 3.52%,与金陵石化和大连石化相当,且本项目加工的原油均为常规原油,在国内已有多年加工经验,均能满足渣油加氢装置的进料要求。

表 5 国内渣油加氢装置原料沥青质含量 w, %

项 目	设计值	实际值
金陵石化	6.60	3.44~7.50
大连石化	5.40	2.90~4.42
四川石化		1.01~2.78
齐鲁石化	4.71	2.27
海南炼化	3.10	2.20
西太平洋石化		2.70
茂名石化		2.48

2.3.2 操作条件 表 6 为渣油加氢装置尾油的质量指标要求。加工 2 种原油工况下要达到同样的产品要求,渣油加氢装置操作条件略有差异。在加工混合原油 A 工况下,渣油加氢原料的残炭和沥青质含量较高,脱炭较困难,要求较高的反应温度、较低的空速以及较高的氢分压;另外,由于金属含量较高,脱金属催化剂装填量需要适当增加。

而在加工混合原油 B 工况下,渣油加氢原料残炭低,金属含量低,预计黏度也会较低,相应地反应温度较低,空速适当提高,运转寿命较长。

表 6 渣油加氢尾油的性质要求

项 目	数 据
$w(\text{硫})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$\geq 4\,900$
残炭, %	≥ 5.5
$w(\text{镍}+\text{钒})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	≥ 10

2.4 原料及产品结构

加工 2 种原料工况下的原料及产品结构对比见表 7。从表 7 可以看出:与加工混合原油 A 工况相比,加工混合原油 B 工况下汽油产量减少 98.0 kt/a,本项目汽油池调合组分包括脱硫催化裂化汽油、异构化汽油、重整汽油以及 MTBE 等,其中脱硫催化裂化汽油占比 60%左右。由于重油催化裂化规模减小,催化裂化汽油、丙烯、液化气等产品产量随之降低,因而脱硫催化裂化汽油、MTBE 产量相应减少,最终导致全厂汽油产量降低。此外,加工混合原油 B 工况下,连续重整、芳烃联合装置加工负荷大,对二甲苯和苯的产量分别增加 110.8 kt/a 和 53.1 kt/a,煤油、柴油产量也小幅增加;全厂轻油收率、炼油综合商品率小幅增加,柴油与汽油质量比由 2.07 增至 2.14。

表 7 原料及产品结构对比

项 目	混合原油 A	混合原油 B
外购原料量/(kt·a ⁻¹)		
甲醇	60.6	55.4
氢气	125.6	107.2
主要产品产量/(kt·a ⁻¹)		
汽油(欧 V)	2 834.1	2 736.1
92 号	734.0	745.2
95 号	2 100.1	1 990.9
柴油(欧 V)	5 854.5	5 867.5
喷气燃料	2 142.7	2 153.0
对二甲苯	1 337.2	1 448.0
苯	641.0	694.1
丙烯	379.7	347.3
液化气	1 027.1	976.0
硫磺	270.7	256.7
轻油收率(w), %	79.14	79.81
炼油综合商品率(w), %	91.54	91.80
柴油与汽油质量比	2.07	2.14

2.5 经济性评价

表 8 为主要技术经济指标。从表 8 可以看出,虽然加工混合原油 B 工况下销售收入较高,但加工混合原油 A 具有显著的成本优势,相应的炼油利润为 793.5 元/t,较加工混合原油 B 工况下提高 53.50 元/t。

表 8 主要技术经济指标 元/t

项 目	混合原油 A	混合原油 B
销售收入(不含税)	6 105.20	6 140.13
原料油成本	5 138.59	5 219.61
变动加工成本	173.11	180.52
炼油利润	793.50	740.00

3 结 论

(1) 混合原油 B 质量较好,密度、重金属等杂质含量低,作为加工原油时,渣油加氢装置进料性质优于加工混合原油 A 原料工况,建议在确定装置设计条件时充分考虑混合原油 A 较高的重金属和沥青质含量工况对渣油加氢装置操作的影响,以增强全厂对加工劣质原油的适应性。

(2) 加工 2 种原料对全厂主要加工装置负荷的影响均可控制在设计的操作弹性范围内,对生产计划的安排不会造成影响。

(3) 加工混合原油 B 工况下具有较高的轻油收率和炼油综合商品率,销售收入较高,但在高油价的市场环境下,由于原料成本也较高,从而导致吨油利润较加工混合原油 A 工况时低。

综上所述,在高油价的市场环境下,选择沙重原油作为设计加工原油的炼化企业,通过优化渣油加氢设计条件,可显著增强全厂对加工劣质原油的适应性,降低经营风险。

参 考 文 献

[1] 刘增洁,贾庆素. 沙特阿拉伯油气资源现状及政策回顾[J]. 地质与矿产,2013(6):42-44

[2] 邵志才,贾燕子,戴立顺,等. 高铁钙原料渣油加氢装置长周期运行的工业实践[J]. 石油炼制与化工,2015,46(9):20-23

[3] 刘涛,邵志才,杨清河,等. 延长渣油加氢装置运转周期的 RHT 技术及其工业应用[J]. 石油炼制与化工,2015,46(7):43-46

[4] Tong Fengya, Yang Qinghe, Li Dadong, et al. Residue oil upgrading in slurry phase with ultra-fine NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst [J]. China Petroleum Processing & Petrochemical Technology, 2015, 17(3):1-6

[5] 杨燕. 渣油加氢原料性质的影响及优化[J]. 化工技术与开发,2014,43(4):49-50

- [6] 曾松. 固定床渣油加氢催化剂失活的原因分析及对策[J]. 炼油技术与工程, 2011, 41(9): 39-43
- [7] 任小甜, 阎龙, 申海平. 渣油的分子组成模拟研究[J]. 石油炼制与化工, 2015, 46(11): 1-6
- [8] 陈大跃, 涂彬. 第三代 RHT 系列催化剂在高氮低硫和高铁钙类型渣油加氢装置上的工业应用[J]. 石油炼制与化工, 2015, 46(6): 46-51
- [9] 陈寒梅, 马凤云, 刘景梅, 等. 塔河渣油中沥青质临氢裂解性质研究及其钒分布研究[J]. 石油炼制与化工, 2014, 45(8): 64-70
- [10] Shao Zhicai, Zhao Xinqiang, Liu Tao, et al. Commercial application of the second generation RHT catalysts for hydroprocessing the residue with low sulfur and high nitrogen contents [J]. China Petroleum Processing & Petrochemical Technology, 2014, 16(1): 1-7

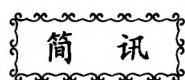
APPLICATION OF PIMS ON CRUDE SELECTION DURING OVERALL CONFIGURATION OPTIMIZATION OF REFINERY

Pang Xinying, Wang Yehua, Xin Ruokai, Zhang Xiangling

(PetroChina CPECC East-China Design Branch, Beijing Engineering Branch, Qingdao, Shandong 266071)

Abstract: The configuration optimization of a grassroots 10 Mt/a refinery is selected as a case study. Saudi Arabian heavy crude oil (hereinafter referred to as AHC) and Saudi Arabian medium crude oil (hereinafter referred to as AMC) are studied respectively through setting up PIMS model, assessing the influence of crude on overall configuration and economic benefit. The result shows that AMC, which has lower density and better properties, not only improves the feed properties of RDS unit, e. g. lower content of heavy metals and asphaltene, but also achieves higher light oil yield (91.80%) and general commodity rate (79.81%). However, the refining margin of AMC is 53.5 Yuan per ton crude lower than AHC oil due to higher purchase cost. Considering the development tendency of crude refining, AHC is recommended to be the design crude, which can achieve better economic benefit and compatibility with AMC.

Key Words: PIMS; overall configuration; optimization; crude selection

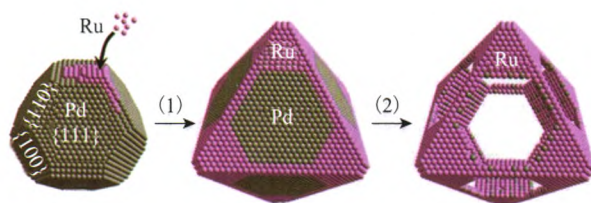


最新钉纳米骨架有望在催化方面发挥作用

密歇根理工大学的研究团队基于晶种生长和化学腐蚀原理发明了一种钉(Ru)纳米骨架(NFs)的简便合成方法, 纯度高并可用作高效催化剂。该方法不仅限于这种金属。由于在催化剂、等离子体和医学等众多应用领域具有极佳的性能, 贵金属构成的纳米骨架近年来受到广泛关注。高度开放的结构是其性能优越的主要原因。例如在催化作用中, 具有骨架形态的纳米催化剂表面积和体积的比值更大, 表面上原子的配位数更少, 保证了催化活性的最大化。

过去 20 年来, 对贵金属纳米骨架的开发主要涉及 Ag, Pt, Pd, Rh, Au 及它们的组合, 但 Ru 纳米骨架还是首次报道。Ru 纳米材料的许多工业用途已受到关注, 如用于加氢、

合成氨和一氧化碳氧化。通常 Ru 纳米晶体结构为六边形紧密排列。但密歇根理工大学提出了精巧的两步法(生长和腐蚀), 可以构造完全不同的面心立方体(fcc)结构。Ru 基本上不会自然生长成能形成纳米骨架的晶体结构。该研究团队先在钯(Pd)核上种植纳米骨架, 然后再剔除 Pd。有了 fcc 结构的 Pd “种子”(Pd 相当于原子模板剂), Ru 就能优先在 Pd 八面体的边线和角上生长, 这样 Ru 就复制了 Pd 种子的 fcc 结构。第二步称作“腐蚀”, 即脱除种子 Pd, 留下中空的 Ru 纳米骨架, 如下图所示。



两步法合成 Ru 纳米骨架

[靳爱民摘译自 Green Car Congress, 2016-04-02]