

# 常压蒸馏工艺改造与节能优化模拟研究

张梅<sup>1</sup>, 马凤云<sup>1\*</sup>, 金学坤<sup>2</sup>

(1. 新疆大学化学化工学院, 煤炭洁净转化与化工过程自治区重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046;  
2. 新疆大学应用化学研究所, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 运用 Aspen Plus 软件, 以 BK10 为热力学方法, 对 50 万 t/a 常压装置进行模拟优化研究。通过与标定数据对比分析, 验证了模拟计算的可行性。基于现场条件及控制改造成本等因素, 提出了“闪蒸塔 + 常压塔”替代“初馏塔 + 常压塔”改造方案, 并对改造后的方案进行了换热网络优化, 同时提出了优化措施。模拟结果表明, 改造后的方案轻油收率提高 7.15%, 冷负荷降低 26.89%。

**关键词:** 常压蒸馏装置; 工艺改造; Aspen Plus; 模拟优化

**中图分类号:** TQ021.8

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2017)04-0186-04

**DOI:** 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.04.046

## Atmospheric distillation process and energy saving optimization simulation studies

ZHANG Mei<sup>1</sup>, MA Feng-yun<sup>1\*</sup>, JIN Xue-kun<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Coal Clean Conversion & Chemical Engineering Process (Xinjiang Uyghur Autonomous Region), College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;  
2. Institute of Applied Chemistry, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** Selecting BK10 model as simulation method, the technical revamping of a 500 000 t/y atmospheric distillation unit is simulated and optimized by Aspen Plus. The feasibility of the simulation is verified by comparing with the calibration data. Based on the factors such as site conditions and cost control, the scheme of “flash column atmosphere distillation” instead of “prefractionator atmosphere distillation” is put forward. An analysis of the modified design scheme for the heat exchange network optimization is also performed. The optimization measures are proposed at the same time. The simulation results show that the yield of light oil is increased by 7.15% and the refrigeration duty is reduced by 26.89%.

**Key words:** atmospheric distillation unit; process modification; Aspen Plus; simulation optimization

某炼油厂采用“初馏塔 + 常压塔”工艺, 建成 500 kt/a 常压蒸馏装置, 投产后受国际油价持续走低的影响<sup>[1-2]</sup>, 装置开工率一直不足, 直至 2015 年停产转让。由于装置闲置时间较长, 设备维护较差以及原设计不合理等因素, 导致生产负荷不达标, 产品质量较差, 装置运行能耗较高, 部分塔盘腐蚀严重, 不能满足开工要求。

本文中以原油数据及产品的指标要求为依据, 利用 Aspen Plus 对原装置进行模拟计算及优化分析, 在充分考虑现有条件及成本控制前提下, 提出升级改造措施, 并给出了改造后效果分析, 为工厂正常运行提供理论基础。

## 1 装置现状及模拟条件

### 1.1 原油性质及产品控制指标

原油密度为 822.9 kg/m<sup>3</sup> (20℃), 恩氏蒸馏 (ASTM D86) 数据 (质量分数) 如表 1, 产品质量控制

指标见表 2。

表 1 恩氏蒸馏数据

馏程	温度/℃	馏程	温度/℃
初馏点	75	40%	270
5%	120	50%	307
10%	135	60%	345
20%	175	71%	360
30%	230		

表 2 产品质量控制指标

产品名称	技术指标
石脑油	ASTM D86 95% ≥ 170℃
常一线	ASTM D86 98% ≥ 235℃
常二、三线	ASTM D86 95% ≥ 365℃

### 1.2 热力学计算方法的选择

由相关文献可知, 针对烃类与轻气体混合物的

收稿日期: 2016-08-13; 修回日期: 2017-02-03

作者简介: 张梅 (1990-), 女, 硕士生; 马凤云 (1955-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向主要为传质与分离, 通讯联系人, 0991-4556660, ma\_fy@126.com。

计算模型有 BK10、CHAO-SEA 和 RAYSON。BK10 适用于减压和低压, CHAO-SEA 与 GRAYSON 主要用于中压环境。3 种模型的初步模拟结果十分相近<sup>[3-6]</sup>。鉴于两塔操作压力分别为 0.121 MPa 和 0.151 MPa, 属于低压环境, 故计算模型选用 BK10。

### 1.3 工艺流程

根据现场流程简化后模拟流程如图 1 所示。原油加热到 235℃ 后直接进入初馏塔底部, 塔顶产出不凝气、含油污水和轻石脑油。初馏塔底部油经常压加热炉加热后进入常压塔, 外加汽提蒸汽从常压塔底部进入。常压塔设置 2 个中段回流, 3 个汽提段, 分别得到常顶重石脑油、常一航空煤油、常二轻柴和常三重柴 4 个产品及常底渣油。

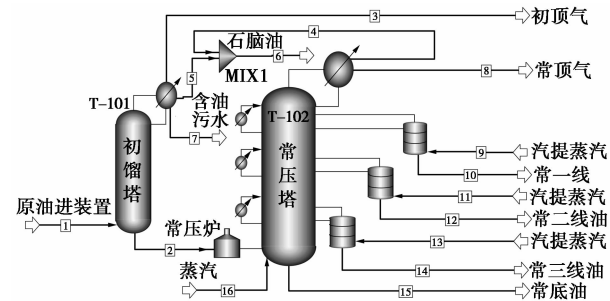


图 1 原蒸馏装置工艺流程图

## 2 原装置模拟研究

对工厂 2014 年 12 月的常压蒸馏装置进行计算。并从总物料平衡、操作条件、产品质量和装置能耗 4 个方面对模拟结果值与标定值做了比较。

### 2.1 总物料平衡

从总物料平衡方面考虑, 比较了计算结果与标定结果的差异, 见表 3。

表 3 总物料衡算

物料名称	计算值/(kg·h <sup>-1</sup> )	标定量/(kg·h <sup>-1</sup> )	偏差/%
原料油	62500	62500	0.00
气体	232.2	254.0	-8.58
石脑油	10568	9968	6.01
常一线	8399	8250	1.81
常二线	9490	9950	-4.62
常三线	5330	5140	3.70
常底油	28502	28937	-1.50

注: 偏差 = ((计算值 - 标定值) / 标定值) × 100%。

### 2.2 操作条件

表 4 是通过模拟软件计算出的操作条件与实际标定结果的对比。

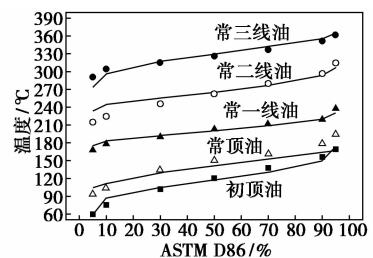
表 4 操作条件

项目	模拟值	标定值	偏差/%
初馏塔顶温度/℃	136.9	135.22	1.24
初馏塔顶压力/kPa	151.33	154.22	-1.88
初馏塔底温度/℃	217.46	221.52	-1.83
初馏塔底压力/kPa	157.83	162.33	-2.78
初馏塔进料温度/℃	235	244.21	-3.77
初馏塔顶冷凝器温度/℃	40	38.5	3.9
初馏塔顶冷凝器压力/kPa	120	122.2	-1.8
初馏塔顶冷凝器热量/kW	-1678		
常压塔顶温度/℃	146.8	147.2	-0.27
常压塔顶压力/kPa	151.33	152.3	-0.64
常压塔底温度/℃	332	328.9	0.94
常压塔底压力/kPa	180.81	175.45	3.05
常一线抽出温度/℃	187.14	176.6	5.97
常二线抽出温度/℃	251	244.6	2.62
常三线抽出温度/℃	322.59	328.5	-1.8
常一中抽出/常一中返回温度/℃	231.0/	228.5/	1.09/
常二中抽出/常二中返回温度/℃	215.0	212.2	1.32
常二中抽出/常二中返回温度/℃	298.0/	297.2/	0.27/
常一中流量/kg/h	24233.84	23334.5	3.85
常二中流量/kg/h	12973.89	14053.23	-7.68
常压塔顶冷凝器温度/℃	40	39.5	1.27
常压塔顶冷凝器压力/kPa	120	118.9	0.93
常压塔顶冷凝器热量/kW	-2482.26		
常一中回流取热/kW	-1619		
常二中回流取热/kW	-1079		
常压炉出口温度/℃	350	352.2	-0.62
常压炉出口压力/kPa	241.33	242.5	-0.48
常压炉热负荷/kW	7219.62		

注: 偏差 = ((计算值 - 标定值) / 标定值) × 100%。

### 2.3 产品质量对比分析

衡量原油蒸馏产品质量的指标有馏程温度、产品相对分子质量、闪点温度等<sup>[7]</sup>, 图 2 为以通过计算得到的产品质量的实沸点馏程温度与标定结果的对比。



点为标定数据, 实线为模拟值

图 2 模拟结果与工厂标定数据的比较

## 2.4 模拟结果分析

从表 3、表 4 可知,计算结果与标定值偏差在 5% 以内,数据基本吻合,由此说明 Aspen Plus 对本装置的模拟结果是可行的,并在此基础上分析装置运行状况,优化操作条件,为装置改造提供科学依据。

从图 2 可知,与标定数据比较,模拟值在馏程 50% 后偏差较小,而在馏程 50% 前偏差稍大,分析其主要原因是所采用的 ASTM D86 数据缺少轻组分的分析数据,对原油性质的描述不够准确。但是从物料平衡、操作条件和产品质量与标定值对比可知完全满足模拟分析的准确性要求。

## 3 装置升级改造研究

### 3.1 工艺路线选择研究

通过现场调研,原装置初馏塔塔盘腐蚀严重,需要更换,其配套的冷凝系统由于原油硫含量原因也腐蚀较为严重,考虑改造投入,提出用闪蒸塔代替原初馏塔方案。以下将初馏塔方案简称“方案 1”,闪蒸塔方案简称“方案 2”。

将原油加热至 235℃ 左右进入闪蒸塔进行一次平衡气化闪蒸,原油中的轻组分被闪蒸出来,直接送入常压塔的中部,底部重组分通过常压加热炉由底部进入常压塔。

常压塔部分流程保持不变。经过简化后工艺流程见图 3。

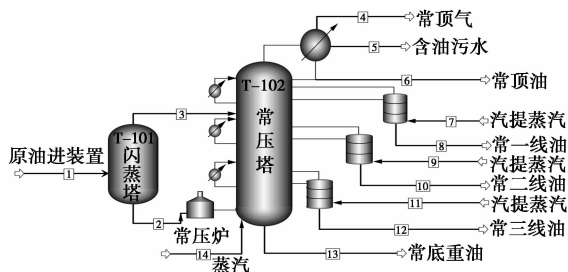


图 3 改造后工艺流程图

### 3.2 主要操作条件

通过对图 3 方案进行模拟计算,在不改变常压塔操作参数及采出率前提下,闪蒸塔方案常压塔塔顶冷凝器负荷为 -3 991.24 kW,常压加热炉的加热负荷为 7 190.52 kW。与表 4 中方案 1 的冷热负荷相比较可知,方案 2 的能耗较低,改造方案无需更换初馏塔塔盘,在不增加设备投入的基础上,基本可行。

为提升产品收率,引入常压深拔理论<sup>[8-10]</sup>,提

高常压炉温度,优化操作条件,优化后的结果见表 5。

表 5 主要操作条件

项目	闪蒸塔	常压塔
压力/MPa		
回流罐		0.02
塔顶	0.20	0.05
闪蒸段	0.16	0.08
塔底	0.20	0.08
汽提蒸汽		0.30
温度/℃		
进料段	235	364
塔顶	235	121
一线抽出		144.1
二线抽出		213.4
三线抽出		304
一中抽出/一中返回		181/141
二中抽出/二中返回		282/191
塔底抽出	235.0	333.5
汽提蒸汽		440
流量/(kg·h <sup>-1</sup> )		
塔顶气	9912.78	529.83
塔顶油		12151.89
一线抽出		4999.97
二线抽出		10593.86
三线抽出		8824.59
一中		64292.7
二中		35876.5
塔底抽出	52587.20	30606.42
汽提蒸汽(塔底)		500
汽提蒸汽(一线)		120
汽提蒸汽(二线)		250
汽提蒸汽(三线)		100

由表 5 与表 4 对比分析可知,方案 1 轻油收率为 50.89%,方案 2 轻油收率为 58.04%;方案 1 常压塔塔顶冷凝器负荷为 -4 170.05 kW,常压加热炉的热负荷为 7 219.62 kW,方案 2 中常压塔塔顶冷凝器负荷为 -4 361.98 kW,常压加热炉的加热负荷为 7 751.67 kW。相比而言,方案 1 轻油收率提高 7.15%,热负荷提高 7.37%,冷负荷提高 4.60%,从经济性考虑,方案 2 明显优于方案 1。

### 3.3 结果分析

产品质量对比分析结果如表 6,由表 6 数据计算相邻馏分重叠度,结果如表 7 所示。

由表 7 可以看出,方案 2 常一线与石脑油重叠度高于方案 1,其余均低于方案 1,重叠度越低其产品的分离精度越高<sup>[11]</sup>,从整体上来说方案 2 产品质量优于方案 1,因此,证明改造方案的可行性。

表6 产品质量对比  $^{\circ}\text{C}$ 

产品	馏程			
	5%	10%	95%	干点
改造前(方案1)				
初顶油/常顶油	65.72	93.92	167.3	178.5
常一线	175.3	183.2	230.5	240.9
常二线	233.6	244.6	306.3	318.5
常三线	273.8	296.2	364.6	374.1
渣油	316.1	336.0	420.6	432.4
改造后(方案2)				
常顶油	63.8	103.2	154.6	163.4
常一线	158.4	164.7	205.3	213.2
常二线	222.8	230.4	300.7	310.4
常三线	298.4	309.3	360.0	369.3
渣油	362.0	373.5	443.0	450.0

表7 塔内相邻馏分重叠度情况对比  $^{\circ}\text{C}$ 

项目	重叠度	项目	重叠度
改造前(方案1)		改造后(方案2)	
常一线与石脑油	-16.18	常一线与石脑油	8.95
常二线与常一线	-3.09	常二线与常一线	-17.56
常三线与常二线	32.44	常三线与常二线	2.32
常底渣油与常三线	46.01	常底渣油与常三线	2.65

## 4 改造方案的换热网络优化

为降低装置能耗,进一步对方案2进行换热网络优化,优化后方案2简称“方案3”。方案3优化内容为:①常压加热炉进口增加“闪底油-常二中换热器”及“闪底油-常底换热器”,将常压炉进口温度由方案2的 $235^{\circ}\text{C}$ 提高至 $280^{\circ}\text{C}$ ,常压炉热负荷明显下降,增加的换热器利用方案1闲置的初馏塔顶冷凝器;②对应调整原换热网络操作参数,保持闪蒸塔进料温度为 $235^{\circ}\text{C}$ 。优化后方案3与方案1及方案2

表8 3种方案的模拟结果对比

项目	方案1	方案2	方案3
质量流量/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )			
原料油	62500	62500	62500
初顶油/常顶油	10568.02	11850.61	11850.61
常一线油	5700.00	5000.00	5000.00
常二线油	10319.99	10600.00	10600.00
常三线油	5220.00	8827.50	8827.50
常底线油	30481.14	26100.78	26100.78
轻油收率/%	50.89	58.04	58.04
初馏塔(闪蒸塔)冷凝器负荷/kW	-1677.67	0	0
塔顶冷凝器负荷/kW	-2492.38	-4361.98	-4034.07
产品冷却负荷/kW	-2729.49	-2934.93	-1009.93
常压加热炉负荷/kW	7219.62	7751.67	5188.60

模拟对比结果如表8。

由表8可知,方案2与方案3的轻油收率高于方案1约7.15%,并且优化后的方案3冷负荷和热负荷比方案1明显降低,相对于方案1而言冷负荷降低26.89%,热负荷降低28.13%。由此说明,方案3在提高轻油收率的情况下,还能大幅度降低装置能耗。

## 5 结论

(1)采用Aspen Plus软件对本常压装置进行模拟计算,所得模拟结果与标定值偏差在5%以内,数据基本吻合,由此证明该软件模拟数据可以指导装置优化改造。

(2)装置升级改造研究表明,方案2无需更换初馏塔塔盘,在不增加设备投资基础上,通过引入常压深拔理论,提高常压炉温度,优化操作条件,可提升产品收率约7.15%,从经济性考虑有较大优势,而且产品质量也优于方案1。

(3)改造方案的换热网络优化通过利用方案1闲置的初馏塔顶冷凝器,回收常底油及常二中油热量,从而大幅节省能耗,达到了节能改造的目的,为企业装置改造提供了理论依据。

## 参考文献

- [1] 宋锦玉,于万舒,裴永浩,等.我国炼油工业面临的环境压力及展望[J].现代化工,2016,36(1):8-11.
- [2] 王琼.炼化产业应对低油价的挑战与思考[J].现代化工,2015,35(8):11-12.
- [3] Aspen Technology Inc, ASPEN PLUS User Guide[Z]. Cambridge MA: Aspen Technology, Inc, 2001.
- [4] 刘景梅.分离工业级正己烷模拟计算与优化[D].乌鲁木齐:新疆大学化学化工学院,2009.
- [5] 汤吉海,马正飞,魏瑞平.原油蒸馏过程的模拟与分析[J].南京工业大学学报,2004,26(1):83-88.
- [6] 程华农,毕荣山,杨霞,等.减压装置的优化和节能改造[J].化工进展,2009,28(5):755-760.
- [7] 王亚彪,陈开群.10.0 Mt/a常减压装置初馏及闪蒸方案的计算分析[J].炼油技术与工程,2014,44(1):42-46.
- [8] 郭丹.常压蒸馏装置扩能改造[J].石油炼制与化工,2005,36(3):10-14.
- [9] 陈士军,黄费喜.常压蒸馏装置扩能改造新途径[J].石油炼制与化工,2004,35(7):27-30.
- [10] 袁毅夫,王亚彪,张成.国内外常减压蒸馏工程技术浅析[J].石油炼制与化工,2014,45(8):20-24.
- [11] 侯会峰,叶枫,叶邵宁,等.基于Aspen Plus的原油常压蒸馏装置的模拟[J].化学工业与工程技术,2010,31(5):8-11. ■