

文章编号:1006-396X(2007)02-0034-06

原油常减压蒸馏过程流程模拟

葛玉林^{1,2}, 沈胜强¹

(1. 大连理工大学能源与动力学院, 辽宁大连 116024; 2. 锦州石油化工公司设计院, 辽宁锦州 121001)

摘要: 在现有原油常减压装置基础上进行了扩容改造, 为了验证扩容后的常减压装置能否满足工艺要求, 需要对流程进行调整。基于蒸馏原理, 对常减压蒸馏塔建立包含质量平衡、相平衡、摩尔分数归一化和能量平衡等方程构成的 MESH 模型, 在 Pro/II 平台上进行流程模拟, 获得各塔侧线产品的温度和压力等关键参数, 并与现场工艺要求进行对比。流程模拟结果与现场工艺要求吻合良好, 说明模型可靠, 流程满足工艺要求。各蒸馏塔温度和气液流量沿塔板数的分布侧形图反映进出口物料和中段冷却循环对蒸馏过程的影响。

关键词: 原油; 常减压蒸馏; 流程模拟**中图分类号:** TQ342.206; TP311.56**文献标识码:** A

Flow Simulation of Atmosphere—Vacuum Distillation for Crude Oil

GE Yu-lin^{1,2}, SHEN Sheng-qiang¹

(1. School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116024, P. R. China;

2. Design Institute of Jinzhou Petrochemical Corporation, Jinzhou Liaoning 121001, P. R. China)

Received 8 January 2007; revised 11 April 2007; accepted 18 April 2007

Abstract: New flow was need to be rearranged in order to satisfy the requirement of technology due to the reconstruction of atmosphere—vacuum distillation equipment for enlarging working ability in the present condition. Based on the fundamental of distillation, MESH model including equations of mass balance, phase equilibrium, mole fraction summations and heat balance for atmosphere—vacuum distillation column was established. The key parameter such as temperature and pressure of product was obtained through solution of the model on Pro/II platform. The comparison of simulation results with requirement of spot technology was analyzed. Good agreement between the results of simulation and requirement of spot technology approves that the model is valid and the rearrangement of flow satisfies the requirement of technology. The profiles of temperature and rate of vapor and liquid versus tray number reflect the influence of feeds, products, and cooling cycle in the middle of columns on process of distillation very well.

Key words: Crude oil; Atmosphere—vacuum distillation; Flow simulation

Corresponding author. Tel.: +86-411-84707963; fax: +86-411-84707963; e-mail: wp2006@dlut.edu.cn

流程模拟是化工系统工程中最基本的技术之一^[1-2], 无论是过程系统的分析和优化^[3-4], 还是过程系统的综合, 都是以流程模拟为基础的^[5-7]。稳态流程与时间无关, 是化工流程模拟中应用最为普遍的重要技术之一, 需要建立质量平衡、相平衡、摩尔分数归一化和能量平衡等 (MESH—Mass balances, Equilibrium relations, mole fraction Summations and Heat balances) 方程构成的数学模

型来描述其工艺流程中状态参数的分布情况^[6, 8-9]。本文拟在蒸馏原理的基础上, 建立稳态原油常减压蒸馏过程的 MESH 模型, 在 Pro/II 平台上对模型进行求解, 获得各侧线产品的蒸馏参数以及各蒸馏塔的温度和气液流量沿塔板数的分布情况。

1 原油常减压蒸馏工艺

图 1 为常减压蒸馏工艺流程。混合原油由 A1LH, A1SHL, A1DUBA 和 A1SD 4 种原油以及水 S23 通过混合器 M1 进行混合获得。原油物料经过换热器 TQHR 和换热器 THHR 加热到一定的

收稿日期: 2007-01-08**作者简介:** 葛玉林 (1963—), 男, 山东日照市, 高级工程师, 博士。**基金项目:** 辽宁省科技攻关项目 (2005224001)。

温度后进入到初馏塔 T1 进行初级蒸馏, 获得初馏塔塔顶产品 ZDQY 和水 S4, 塔底物料 S5 经过泵 P1 增压后进入换热器 BTYHR 和加热炉 CYLU 进行加热。加热后的物料进入到常压塔 T2 中进行蒸馏, 获得塔顶产品 CDQY 和水 S10, 并从不同塔板位置抽取 3 个虚拟物流 S35、S36 和 S37 进行中段冷却循环, 并在不同塔板位置开 3 个侧线, 通过 3 个汽

提塔 SS1、SS2 和 SS3 分别获得产品 C1X、C2X 和 C3X。常压塔塔底物料 S18 经过泵 P2 增压后进入到减压炉 JYLU 加热升温后, 进入减压塔 T3 进行蒸馏, 获得塔顶产品 J5DYQ 和水 S16, 从塔侧开 4 个侧线分别获得侧线产品 J1X、J2X、J3X 和 J4X, 塔底产品为 S26。初馏塔、常压塔、减压塔和各汽提塔都用不同的蒸气进行了汽提。

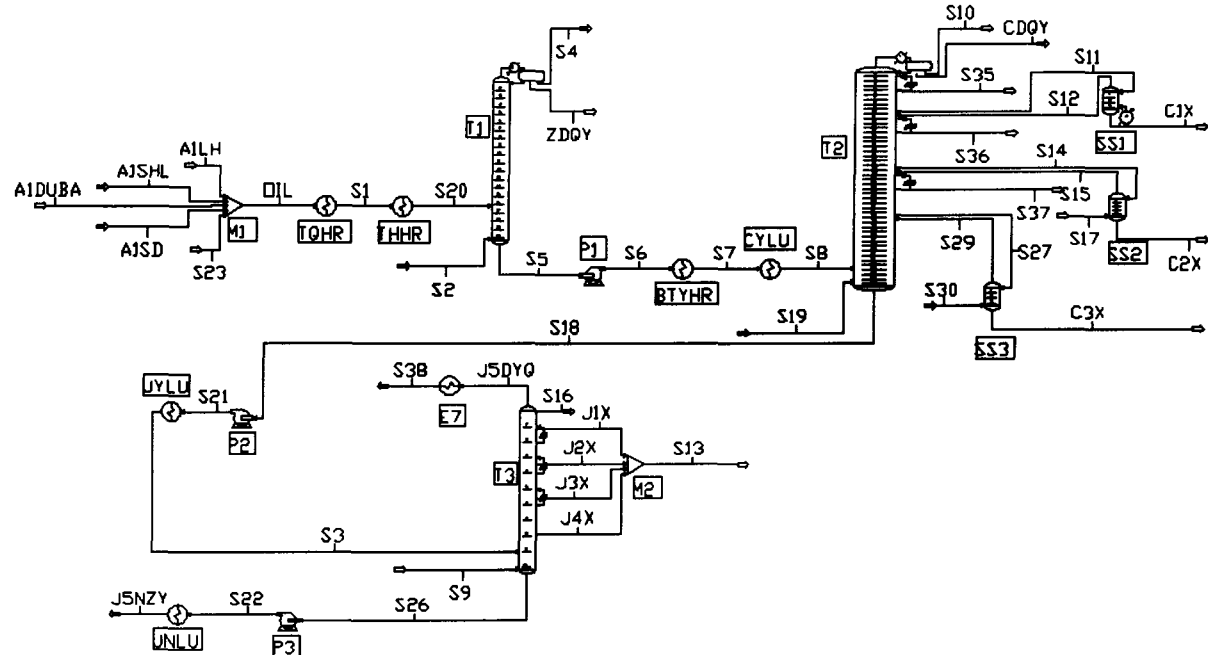


Fig. 1 Graph of flow
图 1 流程图

2 蒸馏过程数学模型

原油常减压蒸馏工艺是一种典型的蒸馏分离工艺。常减压装置主要是由初馏塔、常压塔和减压塔组成, 通过蒸馏从而得到符合要求的产品。

在建立塔模型时, 将蒸馏塔冷凝器定为第 1 块理论板, 自上往下计数, 如果有再沸器的话, 视其为蒸馏塔塔底最下一块理论板, N 为塔系中的理论板总数。考虑到蒸馏塔任一塔板可能与其它相关塔的侧线存在物料关系, 蒸馏塔塔板的传热传质情况如图 2 所示。在图 2 中, F_n 为进料量, Q_n 为热量, L_n 为离开第 n 层板进入到下层板的液体量, U_n 为从第 n 层板抽出的液体量, L_{n-1} 为来自上层板的液体量, V_{n+1} 为来自下层板的气体, V_n 为离开第 n 层板进入上层板的气体, W_n 为从第 n 层板抽出的气体量, L_j 为来自相关塔底的液体量, V_k 为来自相关塔顶的气体, L_k 为来自相关塔侧线的液体量, V_f 为来自相关塔侧线的气体, 下标 j, k, g, f 为相关塔中的塔板号, 相关塔是指汽提塔等与主塔有物料相连的塔。对于蒸馏塔的稳态操作, 其严格数学模型 (MESH) 包括诸如组分物料平衡方程、相平衡方程、

摩尔分数归一化方程、总物料平衡方程和能量平衡方程等 5 个方程。为节约篇幅, 方程的具体形式不再累赘。

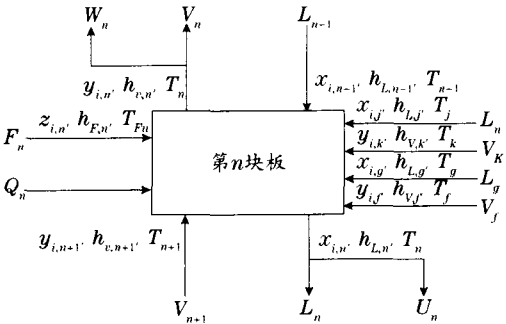


Fig. 2 The model of plate in the distillation column
图 2 蒸馏塔塔板模型

由于石油馏分是一种组成极其复杂的混合物, 要按逐个组分来进行石油馏分的模拟计算, 会增加数学模型的规模和求解难度。本文在 Pro/II 平台上^[9], 状态方程选择 SPR 方程, 液体密度选用 API 计算关联式, 计算传递性质用 PRETPO 方法。用 Glitsch 方法计算浮阀塔板的压降。选用简单换热器模型指定换热流体的进出口温度或换热负荷等方

法来计算换热器和加热炉传热情况。在流程控制方面,初馏塔塔顶产品的干点温度为 160 ℃,控制变量为初馏塔的冷凝器冷却负荷;常压塔塔顶产品的干点温度为 160 ℃,其控制变量为常压塔冷凝器冷却负荷;常压一线的干点温度为 235 ℃,常压二线干点温度为 365 ℃,常压三线的干点温度为 390 ℃,上述 3 个侧线温度的控制变量分别为抽取侧线的质量流量。

综上所述,蒸馏过程的模拟计算首先确定模型塔的基本方程组,然后确定要使用的气液平衡等热力学模型,确定工艺控制目标,才能进行蒸馏过程的模拟计算。

3 常减压蒸馏基础数据

基础数据包括混合原油数据、各蒸馏塔数据、各

汽提塔数据和各塔中段冷却循环数据,分别列于表 1—4 中。表 1 为混合原油各组成的温度、压力、流量、相对体积质量等数据,表 2 为各蒸馏塔的基本数据,表 3 为各汽提塔的基本数据,表 4 为各塔中段冷却循环数据。

表 1 混合原油各物料数据

Table 1 Data of each material composed mixed crude oil

物料名称	温度/℃	压力/MPa	流量/(kg·h ⁻¹)	相对体积质量	备注
A1LH	54	2	281 250	0.956 30	原油
A1SHL	54	2	56 250	0.892 00	原油
A1DUBA	54	2	112 500	0.914 80	原油
A1SD	54	2	112 500	0.841 80	原油
S23	54	2	5 625	1.000 00	水

表 2 各蒸馏塔基本数据

Table 2 Basic data of each distillation column

参数名称	初馏塔	常压塔	减压塔					
塔板数	20	46	10					
进料所在塔板数	16	43	9					
汽提蒸气所在塔板数	20	46	10					
塔顶压力/MPa	0.130	0.127	0.005					
塔底压力/MPa	0.150	0.148	0.007					
冷凝温度/℃	40	40	—					
侧线名称	—	S11	S14	S27	J1X	J2X	J3X	J4X
侧线抽取所在塔板数	—	10	22	32	2	4	6	8

表 3 汽提塔基本数据

Table 3 Basic data of each side column

参数名称	SS1	SS2	SS3
塔板数	4	4	3
进料所在塔板数	1	1	1
汽提蒸气所在塔板数	—	4	3
塔顶压力/MPa	0.124	0.138	0.143
返回主塔所在塔板数	9	21	31

表 4 中段循环回路基本数据

Table 4 Basic data of pumparounds

参数名称	常压塔			减压塔		
	一中	二中	三中	一中	二中	三中
抽取位置所在塔板数	5	14	26	2	4	6

续表 4

参数名称	常压塔			减压塔		
	一中	二中	三中	一中	二中	三中
返回位置所在塔板数	2	11	23	1	3	5
抽取流量/(kg·h ⁻¹)	8.0×10 ⁴	1.2×10 ⁵	1.2×10 ⁵	—	—	—
返回压力/MPa	1	1	1	0.006 0	0.0065	0.007 0
冷却负荷/kJ	—	—	—	-2.09×10 ⁷	-2.09×10 ⁷	-2.09×10 ⁷
降低温度/℃	65	80	95	60	80	100

注:常减压塔受3个中段冷却循环的影响,其简称为一中,二中,三中。

4 流程模拟结果

本文是以某炼油厂由于加工原料及其加工量的改变,需要在原有的常减压蒸馏装置上进行扩容和改造为研究背景的,为了使得原常减压蒸馏装置能够适应混合原油组分和加工量改变的需要,在原装置的基础上对其进行设计和改造,有必要对常减压蒸馏流程进行模拟,考察扩容后的装置能否满足加工工艺要求,是否可以实现工艺目标。对流程模拟

结果与改造后的现场工艺要求进行对比,证实流程模型的有效性。

表5对初馏塔、常压塔和减压塔的进出口物流的温度和压力等参数的模拟结果和现场工艺要求进行对比。结果表明,各物流的温度和压力模拟结果非常接近工艺要求,说明流程模拟具有较高的精度,流程模拟结果是可信的。

表5 初馏塔关键参数模拟结果与现场工艺要求的比较

Table 5 Comparison of key parameter between simulation result and spot technological requirement

塔名	位置	参数	模拟值	工艺要求
初馏塔	塔顶	温度/℃	117.2	117~138
		压力/MPa	0.131	0.13~0.14
	塔底	温度/℃	236.3	230~248
		压力/MPa	0.150	0.151~0.160
	原油进料	温度/℃	245	245~250
		压力/MPa	0.150	0.145~0.152
常压塔	塔顶	温度/℃	40	38~41
		压力/MPa	0.127	0.125~0.140
	塔底	温度/℃	354.3	348.5~355.3
		压力/MPa	0.147	0.122~0.150
	常压一线 C1X	温度/℃	188.0	173.4~189.5
		压力/MPa	0.124	0.12~0.13
	常压二线 C2X	温度/℃	267.98	258~269
		压力/MPa	0.138	0.134~0.140
	常压三线 C3X	温度/℃	327.7	326.9~334.6
		压力/MPa	0.143	0.141~0.150

续表 5

塔名	位置	参数	模拟值	工艺要求
减压塔	塔顶油	温度/℃	95	94~97
		压力/MPa	0.005	0.004 9~0.005 1
	塔底	温度/℃	355.75	352.4~357.1
		压力/MPa	0.007	0.006 8~0.007 0
	减压一线 J1X	温度/℃	150.81	148.2~152.3
		压力/MPa	0.005 22	0.005 0~0.005 4
	减压二线 J2X	温度/℃	266.94	260.3~268.3
		压力/MPa	0.005 67	0.005 3~0.006 0
	减压三线 J3X	温度/℃	390.65	306.4~310.2
		压力/MPa	0.006 11	0.006 0~0.006 2
	减压四线 J4X	温度/℃	342.6	340.1~345.2
		压力/MPa	0.006 56	0.006 4~0.007 0

图 3—5 分别描述了初馏塔、常压塔和减压塔的温度和气液流量沿塔板的分布。图 3(a)描述了初馏塔温度沿塔板数的分布情况。总体上,初馏塔温度自上而下温度由低到高,这是由于越往塔顶,组分越轻,其沸点也就越低。第 1 块塔板实际为冷凝器,其冷凝温度较低。初馏塔的第 16 块塔板处为进料位置,由于有大量的热量加入,温度较高,加之塔底有蒸气的汽提作用,塔底重组分沸点温度较高,从进料位置到塔底的温度都保持在较高的水平。

图 3(b)说明了初馏塔气液流量沿塔板的分布情况。可以看出,从塔顶到第 13 块塔板,向上上升的蒸气流量和向下流动的液体流量均保持在相对稳定的范围内。由于受第 16 块塔板处进料的影响,进料位置上下两块塔板处的蒸气和液体流量出现明显的变化。在靠近塔底段,受塔底蒸气汽提作用,蒸气流量较低,而液体流量较高。在气液相平衡作用下,进料位置以上的塔板上,气液流量保持协同的增减趋势。

图 4(a)描述了常压塔温度沿塔板数的分布情况。与初馏塔类似,因为越往塔顶,组分越轻,其沸点也就越低,所以常压塔温度自上而下温度由低到高。常压塔的第 1 块塔板也为冷凝器,其冷凝温度较低。常压塔靠近塔底的第 43 块塔板处为进料位置,由于进料携带了大量的热量和塔底蒸气汽提作用,使得塔底温度较高。在常压塔第 10,22 和 32 块塔板处开有侧线,以及在塔中部有 3 个中段冷却循环(见表 4),根据侧线流量和循环流量的大小,或多或少地带走了一些热量,从图 4(a)中可以看出在开侧线的塔板处和塔中段循环处均有不同程度的温度

阶跃。

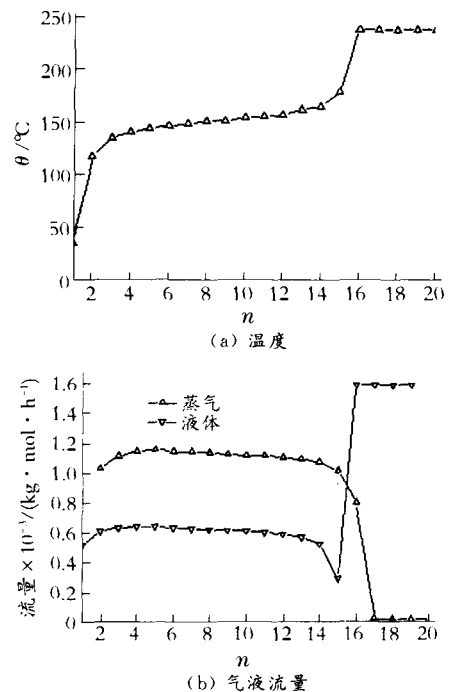


Fig. 3 Temperature and rate distribution of vapor and liquid in topping distillation column with tray number

图 3 初馏塔温度和气液流量沿塔板数分布

图 4(b)描述了常压塔气液流量沿塔板的分布情况。从图 4(b)中可以看出,由于受常压塔第 10, 22 和 32 块塔板处开有侧线的影响,在相应位置液体流量都有较大幅度的下降,同时由于受 3 个中段冷却循环的影响,在循环抽取塔板的液体流量都有所降低,但在循环返还塔板位置的液体流量呈现阶跃式增长。由于受开侧线和中段冷却循环的影响,常压塔气液流量沿塔板呈现锯齿形分布。第 43 块

塔板处为进料位置,与初馏塔类似,受进料和塔底蒸气汽提作用的影响,进料位置附近塔板处的蒸气和液体流量出现明显的变化,靠近塔底处蒸气流量较低,而液体流量较高。受气液相平衡作用,进料位置以上的蒸气流量与液体流量增减趋势相类似。

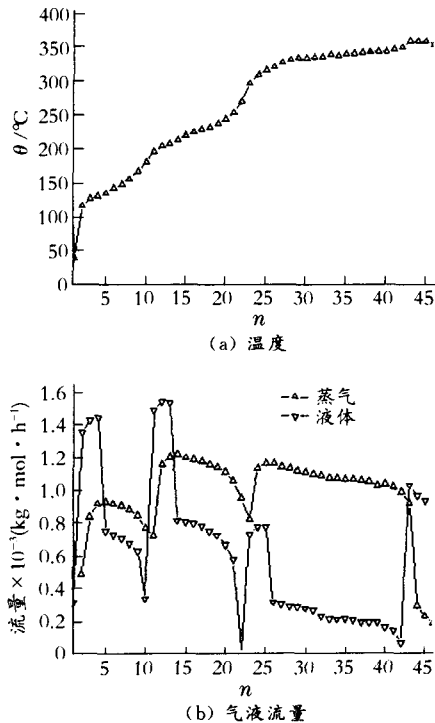


Fig. 4 Temperature and rate distribution of vapor and liquid in atmosphere distillation column with tray number

图 4 常压塔温度和气液流量沿塔板数分布

图 5(a)说明了减压塔温度沿塔板数的分布情况。与初馏塔和常压塔类似,受侧线、冷却循环、进

料和汽提等的共同作用,越往塔顶,组分越轻,其沸点也就越低,所以减压塔温度自上而下温度由低到高。

图 5(b)描述了减压塔气液流量沿塔板的分布情况。可以看出,与常压塔类似,受减压塔第 2, 4, 6 和 8 块塔板处开有侧线与塔中段冷却循环(见表 4)以及进料和汽提作用的共同影响,减压塔气液流量沿塔板呈现锯齿形分布。

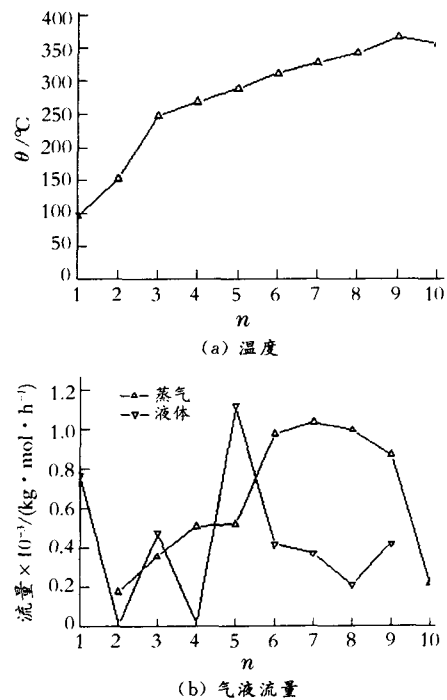


Fig. 5 Temperature and rate distribution of vapor and liquid in vacuum distillation column with tray number

图 5 减压塔温度和气液流量沿塔板数分布

参 考 文 献

- [1] Alfradique Marcelo F, Marcelo Castier. Modeling and simulation of reactive distillation columns using computer algebra [J]. Computers and chemical engineering, 2005, 29: 1875—1884.
- [2] 金彦, 张述伟, 李恒, 等. 三乙烯二胺分离过程的模拟[J]. 石油化工高等学校学报, 2006, 19(2): 34—37.
- [3] Cardoso M F, Salcedo R L, de Fayo A S, et al. Optimization of reactive distillation processes with simulated annealing [J]. Chemical engineering science, 2000, 55: 5059—5078.
- [4] Henrion R, Moller A. Optimization of a continuous distillation process under random inflow rate[J]. Computers and mathematics with applications, 2003, 45: 247—262.
- [5] 杨友麒. 过程流程模拟[J]. 计算机与应用化学, 1995, 12(1): 1—6.
- [6] Lida Yang, Chuang K T. A new approach to simulation of distillation in packed columns[J]. Computers and chemical engineering, 2000, 24: 1843—1849.
- [7] Deirdre Diamond, Tristan Hahn, Hans Becker, et al. Improving the understanding of a novel complex azeotropic distillation process using a simplified graphical model and simulation[J]. Chemical engineering and processing, 2004, 43: 483—493.
- [8] Shyamsundar V, Rangaiah G P. A method for simulation and optimization of multiphase distillation[J]. Computers and chemical engineering, 2000, 24: 23—37.
- [9] Mario Llano—Restrepo, Jaime Aguilar—Arias. Modeling and simulation of saline extractive distillation columns for the production of absolute ethanol[J]. Computers and chemical engineering, 2003, 27: 527—549.