

原油分离建模中的要点分析

陆新建 沈秋云 崔春燕

(中国石化扬子石油化工股份有限公司炼油厂, 江苏 南京 210048)

摘要: Aspen Plus 作为一种有效的模拟计算工具在装置筹建和改造中得到了广泛地应用, Aspen Plus 在已建成装置实际生产中的应用受到原油性质、操作强度的影响, 建立一个和实际过程完全吻合的模型比较困难。以常减压原油分离过程为例, 阐述实际建模过程涉及的要点, 提供的诸多方法可用于其他油品的分离计算。

关键词: Aspen Plus; 原油分离; 计算

中图分类号: TE62

文献标识码: A

文章编号: 0253 - 4320(2004)S2 - 0080 - 04

Analysis on key points for modeling of crude oil distillation

LU Xin-jian, SHEN Qiu-yun, CUI Chun-yan

(Refinery Plant, SINOPEC Yangzi Petroleum Chemical Corporation, Nanjing 210048, China)

Abstract: The simulation software Aspen Plus is widely used to simulate and design new plants or revamp the old ones. It is more difficult to simulate the process of running plant affecting by the property of crude oil and operating condition. Taking an example of atmospheric and vacuum distillation unit, the key points of simulation used by Aspen Plus are described, and the method can be applied in the calculation of other separation process.

Key words: Aspen Plus; crude oil distillation; calculation

1 概述

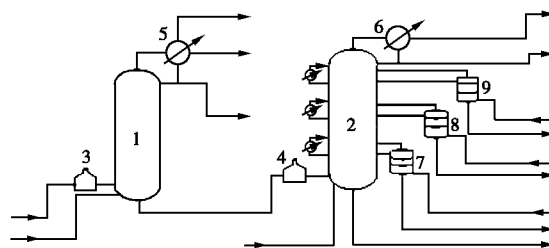
随着原油加工量需求的增加, 国内许多炼油厂采取了改造和扩建的办法增加原油的处理量, 这种方法确实解决了相当的问题, 但在实际生产过程, 如何处理不断变化的原油性质和操作强度, 使装置获得合适的工艺操作条件, 以确保安全生产和经济效益最大化, 是目前炼油装置普遍面临的一个难题。

Aspen Plus 作为一种强有力的工具, 在设计过程中发挥着显著的作用, 笔者认为这种方法可以被有效地应用到实际生产中, 根据实际工况, 为装置建立在工业误差范围内允许的模型, 并通过即时模拟计算, 获得隐性操纵变量(指产品质量、塔的气液相负荷等影响生产却无法直接测量的工艺变量), 调整操作, 增加装置的安全系数和经济收益。

Aspen Plus 为原油分离计算建立了独立的模型, 并通过虚拟组分(区别于精确组分, 将小馏程范围内的油品视为一个单组分)和迭代, 计算分离产品的产量、质量以及塔的操作工况。由于原油成分多, 性质

复杂, Aspen Plus 的建模包含了一些规则和经验, 笔者对实际使用涉及的、影响程度较大的因素加以分析讨论。

2 要点分析



1—初馏塔; 2—常压塔; 3, 4—加热炉; 5, 6—冷凝器;
7, 8—侧线汽提塔

图 1 常压蒸馏模拟流程示意图

图 1 是使用 Aspen Plus 建立的一个典型的原油常压分离模型, 模型分成初馏塔和常压塔两部分, 进料由加热炉完成温度控制, 常压塔设计了 3 个中段回流和侧线汽提, 为了获得预定的产品质量, 分别为

2个塔作了产品产量的设计规定,如初馏塔顶石脑油95%馏出温度、常二线油品的95%馏出温度等。

区别于设计过程,为实际装置建立模型的目标是使模型能够快速收敛,并将校核误差控制在允许范围之内,然后采用上述模型,提供一些经验规则和方法,建模软件为 Aspen Plus 11.1,计算模型为原油蒸馏模型。

2.1 板效率

在 Aspen Plus 的模型计算中,板效率是指同一层塔盘上参与气液交换的组分分率,即传质传热的效率,板效率的高低最终决定了塔的温度和虚拟组分馏分分布,也就决定了产品的产量和质量。

为实际生产装置建立的流程模拟模型需要恰当地表现塔盘的温度和气液相负荷分布,这就需要用户将理论塔盘转换成实际塔盘,这样的计算结果对实际装置才有指导意义,所以板效率的设定是许多设计人员共同面临的一个难题。

2.1.1 板效率分布

原油的性质随蒸馏馏程变化而变化,气液相接触交换的效率也随馏程温度的增加而减弱,在同一个塔中,塔盘效率随温度的变化而变化。由于原油蒸馏的热动力一般在塔的底部,温度随塔盘,从下到上呈由高到低的趋势,所以,塔盘的效率也呈由低到高的趋势,通常的经验数据是塔顶为0.6左右,塔底为0.4左右,用于中段回流的塔盘效率低于其他塔盘。

2.1.2 板效率对温度分布曲线的影响

由于原油蒸馏的热动力在塔的下部,下部热的气相在顶部遇冷液流发生热量和质量交换,所以在同一层塔盘上,板效率高,则气液接触交换充分,即通过该塔盘的气相损失的热动力多,温度在整个塔中的梯度分布明显;板效率低,则效果相反。这为做塔顶温度设计规定的用户提供了一种约定,即在顶温和理论塔盘数之间存在着一种平衡,过多的理论塔盘数将使塔顶的温度达不到所要求的设计规定而导致模型无法收敛。

2.1.3 板效率对质量的影响

板效率对产品质量的影响是通过温度的梯度变化表现出来的,板效率高,同一层塔盘上的气液相之间的温差小,即油品在塔盘上进行了充分的交换,其直接结果是在该塔盘上分布的油品的虚拟组分馏程变窄,抽出的油品馏程变窄,即在干点和产量不变的情况下,抽出的油品趋重,比重指数(API)降低,表1可以说明这一问题。

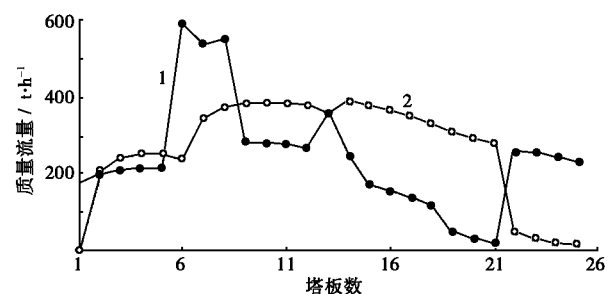
表1 板效率对油品性质影响

	板效率	
	0.5~0.6	0.4~0.5
常压瓦斯油		
API	28.4	28.9
5%实沸点/°C	274.8	267.8
95%实沸点/°C	422.8	421.1
柴油		
API	34.5	35.1
5%实沸点/°C	219.1	207.9
95%实沸点/°C	347.6	347.3

2.1.4 板效率对产量的影响

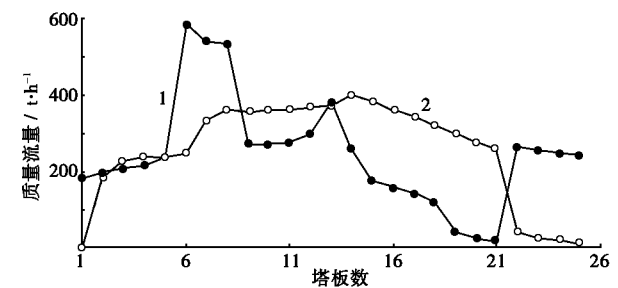
板效率的变化导致板上温度的变化,温度的变化导致馏程的变化,如以干点作为产品的质量指标,板效率高导致产品产量增加,即相邻油品的重叠度减小。需要说明的是,在实际生产中,常压分离的各侧线产品之间不需要清晰分割,所以这种讨论有一定的局限性。

2.1.5 板效率对气液相负荷的影响



1—液相;2—气相

图2 板效率高的气液相负荷图



1—液相;2—气相

图3 板效率低的气液相负荷图

自进料段产生的油气(由过气化率决定气相负荷的大小)在塔中随塔盘上升,在顶部完全转化为液相(不凝气除外),典型的常压塔含中部取热系统(中段回流),即部分气相在塔的中部转化为液相。塔盘的效率决定了上升的气相和下降的液相接触交换的

程度,效率高,则交换程度深,在回流部分消耗的气相多,通过该塔盘上升的气相少,反之,气相负荷增加。这种说明提供了一个明确的约定,高的塔盘效率和回流取热使塔内的气相负荷减小,也就是较小的塔径就可以处理较大的处理量,这也就是目前高效塔盘能够增加现有装置处理量和分离精度的原因,实际影响趋势见图 2 和图 3。

2.2 控制方案

在实际建模中,合适的控制方案可以获得快速收敛的计算模型和准确的产品数据。

2.2.1 质量控制方案

原油分离是一个物理过程,主要的质量控制指标为油品的馏程和密度,也就是油品的馏分宽度和轻重程度。常用的质量控制方案有以下几种:

(1) 温度——干点控制方案

在实际操作中,人们通过抽出量改变目标产品的干点,而抽出量的改变最终反映在该抽出点塔盘的温度上,即抽出点的温度直接决定了该点产品的干点。根据这样的指导原则设计质量控制方案,由抽出点的温度控制目标产品的干点,经验证,在抽出点温度不变的情况下,干点的计算误差在 2℃ 以内。

(2) 板效率——馏程控制方案

气液相热、质交换的程度直接表现在所在塔盘的板效率上,效率高,交换充分,塔盘上油品的馏分宽度窄,相同干点和产量的油品趋重;效率低,则效果相反。

(3) 气相分压控制方案

气相分压决定了顶部油品气化的难度,按道尔顿定律,气相分压低,油品易于气化,顶产品的产量增加,反之,产量减少;在干点相同的情况下,产量增加,油品变重。

气相分压直接的控制手段是塔底的吹气,原油中的水可以起到相同的作用,但两者有差别,在增加产量方面,塔底吹气的作用小于原油含水,表 2 说明了在同一模型中吹气量对初馏塔塔顶产品产量的影响。

表 2 不同来源的水对塔顶产品影响

水相来源	原油含水	塔底吹气
产品产量/ $t \cdot h^{-1}$	489.1	390.1
平均相对分子质量	103.4	101.5
10%实沸点/℃	31.6	30.9
95%实沸点/℃	199.0	201.0
API	59.9	61.2

2.2.2 温度控制方案

温度控制方案是模型快速收敛的最有效办法,

但温度控制方案的使用必须结合塔盘效率。

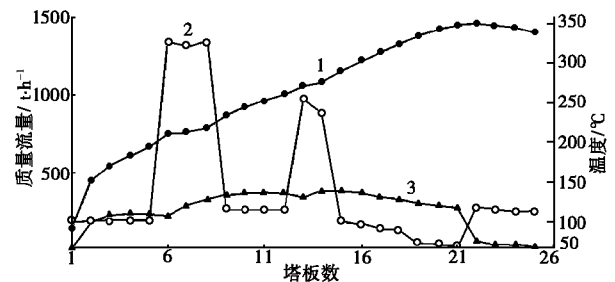
(1) 顶温控制方案

顶温控制方案实质是控制塔顶的取热负荷,主要有 3 种方法:①抽出量控制方案,将顶部冷回流的量作为控制手段,则多余的液体由塔顶抽出;②顶部取热控制,将顶部回流液体的温度作为控制手段;③顶部循环取热控制方案,这是区别于顶部回流的方案,用顶部循环回流控制上升到顶部的气相的温度,即将一部分热通过循环回流取走,减少塔顶的取热负荷。在实际建模过程,可以将前 2 种方法中的一种和第 3 种混合使用。

(2) 中段回流控制方案

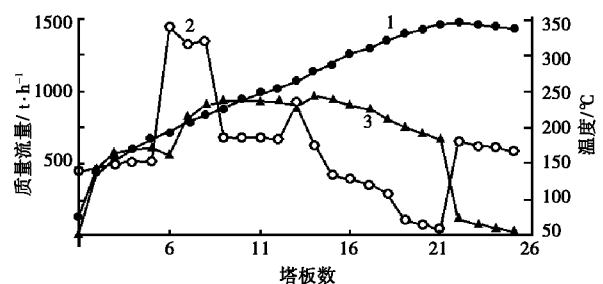
中段回流的取热在整个塔的取热配比中占有较大的份额,设计好中段取热可获得好的运行温度剖面,这有助于塔的收敛,在实际生产中表现在塔的操作弹性增加,产品质量容易控制。

在外部取热能力一定的情况下,中段回流取热的控制方案通常分为大流量小温差和小流量大温差 2 种,其区别在于返塔的冷液流的温度,在模拟计算过程,通过观察温度剖面曲线,可以看到,大流量小温差的控制方式使塔的温度剖面趋于平缓,实际生产中这种方式更利于塔的操作,使侧线产品的产量和质量更容易控制,2 种控制方案对塔内温度剖面的影响见图 4 和图 5。



1—温度;2—液相;3—气相

图 4 大循环量下温度及气液相分布图



1—温度;2—液相;3—气相

图 5 小循环量下温度及气液相分布图

在外部取热能力变化的情况下,可将调节取热负荷作为控制回流温度的控制方案,这种方式在局部模拟中较难实现,但在装置的实际操作中可通过改变经过中段换热器的热液流的流量来达到控制目标。

2.3 设计规定

通常意义上的设计规定是指用户将一个目标值(如塔盘温度、产品质量)作为模型的输入条件,设计规定有助于得到预期的产品质量,在建模过程中,设计规定的另一层重要意义是使一个和实际装置相匹配的模型能够快速收敛。

2.3.1 设计规定的次序

由于塔的计算通常采用逐板迭代的方式,并且存在着计算精度的问题,所以不同的迭代顺序可能会导致不同的计算结果,交叉计算证实了这一点。

原油分离模型中影响迭代计算结果的主要设计规定是塔盘温度,即优先考虑塔上部的还是塔下部的塔盘温度,可通过试验获得相关经验。

2.3.2 设计规定对实际塔收敛的影响

在原油分离的建模中,非常重要的设计规定是良好的温度分布,即在塔的不同位置,根据设计、标定和生产数据,预先设计一些关键的温度点,使塔的计算过程中有一个良好的温度初值,这样可以使计算的迭代次数减少,模型的适应性增强。

影响模型收敛速度的另一个设计规定是产品质量,即预先控制好一部分产品的质量,如顶部石脑油的干点,这样不符合该馏分宽度的液流将沿塔盘往下继续与上升气相进行交换,使塔内的虚拟组分馏分均匀分布,有利于塔的快速收敛。

2.4 快速收敛法则

几乎所有使用 Aspen Plus 建模的用户都遇到模型不能快速收敛的问题,笔者根据经验,从工艺原理的角度给出一些原油分离建模的经验。

首先,在工业生产的分馏塔中,温度几乎决定了塔内所有的操作条件,如侧线产品的干点、塔盘的气液相负荷等,所以为一个目标塔建立一个良好的温度剖面是用户需要首先考虑的问题。通常情况下,可以将顶温、中段回流的抽出温度、汽提塔的抽出温度(部分设计中汽提塔和回流使用相同的抽出点)作为输入参数,这部分数据可以通过装置的最终设计、标定报告获得。

其次,为保证塔内的温度和馏分宽度分布均匀,需要依靠塔的操作原理和实际的操作经验,为一个目标模型设计良好的控制方案,模型和控制方案之间可以通过相互验证得到提高。

最后,需要特别说明是,原油分离不同于化工操作中的精确分离,是一种多组分的模糊分离,为了便于计算,流程模拟软件通常在计算之前将原油根据馏程切成许多性质变化较小的混合组分(虚拟组分),所以用户需要通过反复的计算,建立虚拟组分的概念,并通过观察塔盘上虚拟组分宽度和特性的变化,增加对原油特性的了解,以建立更精确和适应性更强的模型。

3 结语

可以看出,在原油分离这样一个纯物理过程中,有许多可控制的因素和方法帮助获得快速的收敛模型,减小和实际工况之间的误差。本文探讨的方法有助于增加人们对一个炼油过程的认识。■

霍尼韦尔 Experion PKS 控制系统用于我国最大的海上石油平台

霍尼韦尔过程控制部日前宣布,中国海洋石油总公司(CNOOC)和 ChevronTexaco 选择 Experion PKS[®] 过程知识系统,在整个渤中 25-1 海上油田开发中实现自动操作,提供火灾和天然气安全保护。这一合同总额为 400 万美元,是中国海洋石油总公司与霍尼韦尔签订的第三个项目。

渤中油田位于中国渤海湾天津港口附近,是中国最大的海上油田之一。目前,其正在作为 Chevron-Texaco 和中国海洋石油总公司合资项目的一部分进行开发。霍尼韦尔将设计并安装 Experion 系统,在整个海上钻井设施中实现自动化,提高生产能力,降低运营成本。Experion 将提供过程监控、火灾和天然气安全保护及紧急关闭系统。

渤中 25-1 开发项目将包括一个新的浮式采油和储油平台和贮存(Floating Production and Storage Platform, FPSO)及 6 个井口平台。核心平台组件的搭建将在不同位置进行,并将分阶段完成。霍尼韦尔将为 FPSO 及其他 6 个平台提供自动化系统。竣工后,该设施将包括 7 个过程控制系统、17 个紧急关闭系统、火灾和天然气安全保护系统及霍尼韦尔安全管理系统(Honeywell Safety Management Systems)。