

基于灵敏度分析的精馏塔模拟 计算与扩产改造

杨霞 毕荣山 李玉刚 郑世清

(青岛科技大学 计算机与化工研究所, 山东 青岛 266042)

摘要:运用流程模拟和灵敏度分析技术,找寻精馏塔的最佳操作参数,尽最大可能的利用现有设备的生产能力,为老厂的扩产改造提供了又一可行的方法,并用于某厂的实际改造中,结果表明本方法准确可靠。

关键词:灵敏度分析;扩产改造;节能;精馏塔

中图分类号:TQ018

文献标识码:

文章编号:0253-4320(2004)S2-0205-03

Column simulation and reformed based on sensitivity technology

YANG Xia, BI Rong-shan, LI Yu-gang, ZHENG Shi-qing

(Reserch Center for Computer and Chemical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The operation parameters are optimized by simulation based on sensitivity analysis, and the existed column is made the best use, the results show the reform strategy is a practicable and reliable method, and which can save a lot of energy.

Key words: sensitivity analysis; reform; energy saving; distillation tower

甲苯二异腈酸酯(TDI)是生产聚氨酯的主要原料之一,国内现有生产能力7万t/a,预计2005年需求量为30万t。为了满足市场需求,必须建新装置,或对现有的装置进行扩产改造。对于现有的老厂家如何挖掘潜力在原有的装置上生产更多的产品就成为扩大规模的首选途径。甲苯二胺(TDA)是生产TDI的主要原料,TDA生产能力的限制直接约束了TDI的生产能力。TDA是由二硝基甲苯氢化生成的,生产过程分为反应和分离2个部分,其中分离过程中TDA同分异构体的分离最为关键,它直接影响了TDA产品的产量和质量。

目前,流程模拟技术是各个老厂对现有流程的瓶颈进行分析和对现有设备进行改造的得力工具,流程分析、优化和综合都是在其基础上发展起来的,一般的通用流程模拟软件中都含有设计规定,灵敏度分析的功能。Aspen Plus是近几年比较流行的通用大型化工过程模拟软件,具有流程模拟,优化,灵敏度分析和经济评价等功能。本文运用Aspen Plus流程模拟中优化和灵敏度分析技术寻找精馏塔的最佳操作参数,并在此最佳操作参数下提出了该塔扩产50%的改造方案。

1 现有塔的核算

现以某工厂一TDA同分异构体的分离塔为例来讲本文的方法。精馏塔进料板以上为填料,进料板以下为板式塔,该塔的邻位产品原设计纯度为95%,但在生产的长期运行中一直在90%左右,不能达到设计值。现在该厂要对装置进行扩产改造,使其生产能力能提高50%,产品的纯度能达到99.2%。

首先利用Aspen Plus流程模拟软件对该塔的现有生产情况进行模拟,模拟结果见表1,可见,笔者所建立的精馏塔的计算模型与现场的操作值是一致的,即模型是可靠的。利用塔板设计对塔的生产能力进行核算,填料段核算结果见表2。由于塔的塔板段的板间距不同,要对各个塔板段分别核算,核算结果见图1和图2。其中图1的塔板间距为700mm,图2的塔板间距为400mm。两种板间距的塔板上液相流量的下限都为 $1.44 \text{ m}^3/\text{h}$,上限是 $120 \text{ m}^3/\text{h}$ 。在图1和图2中下限表示为左边的竖线,上限没有画出。

由以上结果可见,该塔的操作在当前的回流比下基本上达到满负荷,上部填料操作情况较好,下部塔板部分有轻微雾沫夹带。这说明现有装置当前的

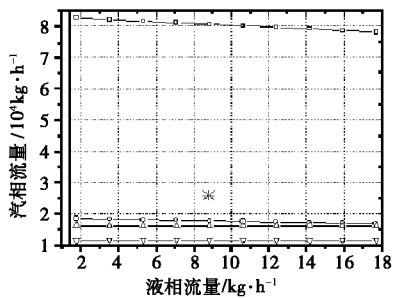
生产能力已基本达到饱和,要想扩产 50% 必须对塔进行改造。

表 1 现有塔的模拟结果

操作参数	现场值	模拟值
进料速率/kg·h ⁻¹	2131.4	2133.6
塔顶产品流量/kg·h ⁻¹	121.1	122.9
塔底流率/kg·h ⁻¹	2005.6	2009.5
塔顶温度/℃	165.0	165.1
塔底温度/℃	210.0	208.7
塔顶热负荷/kW	968.0	978.5
塔底热负荷/kW	941.0	978.4

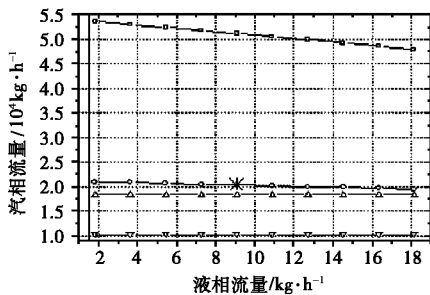
表 2 对塔的填料部分的核算结果表

参数	模拟值
空塔汽速/m·s ⁻¹	5.34
喷淋密度/m ³ ·(cm ² ·h) ⁻¹	3.72
塔顶泛点百分数/%	52.00
F 因子/Pa·s ⁻¹	2.30



□表示液泛线;○表示雾沫夹带线;
△表示严重雾沫夹带线;▽表示泄漏线;*表示操作点

图 1 板间距为 700 mm 的汽液相负荷图



□表示液泛线;○表示雾沫夹带线;
△表示严重雾沫夹带线;▽表示泄漏线;*表示操作点

图 2 板间距为 400 mm 的汽液相负荷图

2 塔操作条件的优化

由于在模拟计算中,塔顶产品不能达到原设计

指标。笔者首先对该塔的操作参数进行基于灵敏度分析的优化,即利用 Aspen Plus 的灵敏度分析工具,在压力给定的前提下,精馏塔的其他自由变量不外乎理论板数、进料位置及回流量。对于不同的理论板数,最佳进料位置和回流量是不同的。通过优化与灵敏度分析相结合,找出它们之间内在的关系。

在优化过程中,进一步提高了原设计的产品纯度,即邻位的产品纯度为 99.2%。在这个分离要求下,对理论板数从 20 块到 60 块进行了灵敏度分析和优化计算。

首先解释一下本文所说的最佳进料位置的含义:即给定塔的分离要求和理论板数,改变进料位置,则所需的最小回流量也随之改变。因此,本文定义在一定理论板数下,使最小回流量最小的进料位置为最佳进料位置。

$$\min_{N_T} R_{\min} = f(N_{F_{opt}}) \quad (1)$$

其中, N_T —理论板数; R_{\min} —当前理论板数下的进料位置最佳时的回流量; $N_{F_{opt}}$ —最佳进料位置。

通过计算,得出不同理论板数下达到分离要求最小回流量所对应的进料位置。结果见表 3 和图 3。

表 3 理论板数与最佳进料位置及最小回流比

理论板数	回流量/kg·h ⁻¹	进料位置
20	14960	14
25	7993	15
30	6472	15
35	5850	16
40	5536	17
45	5354	17
50	5240	18
55	5165	18
60	5115	19

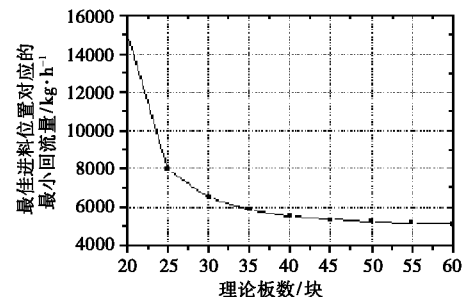


图 3 理论板数对回流量的影响

从计算结果可见,当理论板数低于 35 块时,回

流量的对塔的影响十分灵敏,当理论板数为40~60块时,回流比的影响灵敏度下降,进料位置靠近塔的上部,约14~16块板为最佳。因此要想达到改造的分离要求(邻位99.2%),本塔现有装置的理论板数远远不够。

表4 改造后塔的核算结果

参数	模拟值
空塔汽速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	3.1~6.4
喷淋密度/ $\text{m}^3\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$	3.0~5.2
泛点百分数/%	51.2~57.5
F因子/ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$	1.7~2.4
填料压降/MPa	1.7×10^{-3}
塔底温度/ $^{\circ}\text{C}$	194

因此本塔必须增加理论板数,把塔下段的塔板换成规整填料,基于以上的计算结果,整个塔选用规整填料 Mellapak350Y,从而使塔的理论板数为46块,塔的最小回流量即可降为5300 kg/h,但为了塔

的稳定操作,设计回流量为6000 kg/h。改造后塔的核算结果见表4。

改造后该塔的理论板数增高,回流量减少,相当于产量增加而能耗没有增加;塔的压降大大降低,塔底的温度由原来的209 $^{\circ}\text{C}$ 降为194 $^{\circ}\text{C}$,这对于易于在高温下生成焦油的TDA同分异构体来说,其好处是明显的。

3 结语

运用 Aspen Plus 通用流程模拟软件,结合优化和灵敏度分析技术寻找精馏塔的最佳操作参数,并在此最佳操作参数下提出了塔的改造方案。这一方案不仅节约了能量而且提高了产品的品质。

参考文献

- [1] 魏奇业,华贵,高维平,等.[J].现代化工,2003,23(6):38-41.
- [2] 庄芹仙,闫庆贺,朱连勋.[J].黑龙江石油化工,1998,9(2):27-30.
- [3] 杨友麒.[J].计算机与应用化学,1995,12(1):1-6.
- [4] 吴锦元.[J].化学工程,1993,21(3):19-21. ■

中国石化集团公司未来以三大优势吸引国外合作

中国石化的发展目标是建成世界级一体化能源化工公司,将以三大优势吸引国外合作。

一是上中下游一体化的经营和人才优势。中国石化拥有核心技术和较强的资金、经营优势。拥有世界上最大的区域消费群体,拥有较为完善、低成本及高效率的分销网络。具有一批较强的科技创新能力和高素质、低成本的上中下游科技人才,形成了比较完善的科技开发体系和比较系统且有特色的勘探开发理论及配套技术,开发了一批具有自主知识产权的炼油化工核心技术和专有技术。

二是具有丰富的国际合作经验。20多年来,中国石化与众多国际石油石化公司建立了合作关系,与埃克森美孚、壳牌、BP等世界一流的公司结成了战略合作伙伴。积累了比较丰富的国际原油贸易、海外投资合作经验,吸收掌握了国际先进的管理经验和理念。

三是具有需求旺盛和持续发展的市场潜力。中国石化的主要市场覆盖中国东部、南部和沿海19省市,拥有比较成熟的成品油、化工产品市场。在国际市场上,特别是周边国家和地区已经形成了稳定的成品油客户群和市场份额。

目前,中国已成为仅次于美国的世界第二大原油消费国。为保障进口原油安全稳定供应,降低资源的供应风险和采购成本,中国石化坚持进口原油区域多元化方针,进口原油采购采用长期合同和现货贸易并重方式。同时,中国石化高度重视海外油气资源投资,几年来海外油气勘探开发取得了一定进展。