

文章编号: 1000-5013(2008)02-0260-03

进料热状况对精馏能耗影响

王维德, 黄颖芬, 晋正茂, 赵 鹏

(华侨大学 材料科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 利用 Aspen Plus 模拟软件, 分析进料热状况对精馏能耗的影响. 结果表明, 当进料流量和组成、产品流量、塔板数和板效率、回流比等参数不变的情况下, 随着进料热状况的改变, 塔的分离能力和塔内气体和液体流量也随之改变. 冷液进料时, 塔的分离能力较高, 但是能耗较大. 随着进料热状况参数 q 的数值减小, 塔的分离能力下降, 但是能耗也随着减小. 在能够满足分离要求的前提下, 使进料处在较小 q 值的热状况, 可以达到节能目的.

关键词: 精馏; 热状况; 化工模拟; 节能

中图分类号: TQ 028.3⁺; TQ 018

文献标识码: A

分离过程的能耗大约占化学工业用能的 40%, 而这其中的 95% 是蒸馏过程消耗的^[1]. 近年来, 地球化石资源日益枯竭, 能源危机不断加剧, 蒸馏节能技术的研究已成为化学工程中最为活跃的领域之一. 随着我国经济的迅速发展, 能源供应紧张的问题显得越来越突出, 加上我国现有工业的能耗与国外先进国家相比偏高, 节能的潜力很大, 蒸馏节能研究具有重要意义^[2]. 蒸馏节能有许多途径^[1-5]. 本文利用 Aspen Plus 模拟软件并结合理论, 分析进料热状况对精馏能耗的影响.

1 模拟计算

Aspen Plus 由物性数据库、单元操作和系统实现策略 3 部分组成, 是一个功能强大的化工模拟计算软件, 几乎能满足大多数化工模拟、设计及计算要求^[6]. 模拟研究的设备对象为常规连续精馏塔, 即一个进料流、一个塔顶产品流和一个塔底产品流. 模拟过程中必须提供的参数和条件包括: 物系各组分名称和化学分子式, 计算气-液平衡所用的热力学模型(其中, “气”严格说来为“汽”), 进料的流量、组成、热状况和压力, 理论塔板数, 塔顶冷凝器类型(全凝器或分凝器), 塔顶产品流量, 回流比, 进料板位置, 塔顶操作压力, 单板(这里指理论板)压力降. 本模拟研究所采用的物系为苯(1)-甲苯(2), 该物系可视为理想物系. 所采用的热力学模型为非随机双液(NRTL)模型, 该模型适用于理想气体和满足亨利定律的物系. 进料的摩尔流量设为 $100 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ 、组分摩尔分数 $x = 40\%$, 进料热状况包括具有代表性的冷液进料(进料温度 $t_F = 20^\circ\text{C}$, $q = 1.37$)、饱和液体进料($q = 1$)、气液混合进料($q = 0.33$)、饱和气体进料($q = 0$)和过热气体进料($q = -0.11$) 5 种, 进料压力按照进料板压力估算设定. 理论塔板数(N) 取为 10 块(塔顶冷凝器和塔底再沸器均视为 1 块理论板), 塔顶冷凝器类型设定为全凝器, 塔顶产品流量按照原料中易挥发组分回收率为 98% 进行计算, 为 $39.6 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$. 鉴于不同进料热状况的最小回流比不同, 实际回流比也不同, 而为了兼顾适用于各种情况, 回流比设为 5. 根据进料组成与进料板组成尽可能一致的原则, 进料板位置确定为第 5 块理论板. 塔顶操作压力设为常压 101.3 kPa. 单块理论板的压力降按照正常范围取值, 设定为 2.354 kPa.

按照上述已知参数和条件, 利用 Aspen Plus 模拟软件进行模拟, 各种进料热状况的模拟计算主要结果, 如表 1 所示. 表 1 中, $V_{G,y}$ 分别为塔内气相流量和塔内气相组分的摩尔分数, Q 为热负荷, x 为产品组分的摩尔分数.

收稿日期: 2007-07-16

作者简介: 王维德(1958-), 男, 教授, 主要从事化工传质过程及设备的研究. E-mail: wangwd@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目(E0710015)

表 1 各种进料热状况的模拟计算结果

Tab. 1 Distribution of flow rate and composition of gas phase in distillation column

N	冷液进料		饱和液体进料		气液混合 进料		饱和和气体进料		过热气体进料	
	$V_G/\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}\text{ y}/\%$		$V_G/\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}\text{ y}/\%$		$V_G/\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}\text{ y}/\%$		$V_G/\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}\text{ y}/\%$		$V_G/\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}\text{ y}/\%$	
1	0	98.01	0	97.82	0	96.87	0	95.80	0	95.55
2	237.6	95.09	237.6	94.64	237.6	92.39	237.6	89.97	237.6	89.41
3	235.8	89.54	235.6	88.63	235.0	84.36	234.5	80.01	234.4	79.05
4	232.9	80.25	232.7	78.80	231.7	72.33	231.0	66.38	230.9	65.14
5	229.8	67.64	229.5	65.83	161.7	63.34	128.5	62.01	119.8	61.10
6	268.9	55.38	228.7	54.47	161.0	54.77	128.4	55.47	119.8	55.04
7	267.0	40.69	227.5	40.79	160.4	43.80	128.2	46.59	119.7	46.72
8	266.1	26.65	226.7	27.39	160.1	31.84	128.0	35.97	119.5	36.58
9	266.0	15.70	226.7	16.55	160.0	20.80	127.9	24.97	119.5	25.79
10	266.3	8.36	227.0	8.98	160.2	11.97	128.1	15.10	119.6	15.84
塔板	冷液进料		饱和液体进料		气液混合 进料		饱和和气体进料		过热气体进料	
	Q/ MW	x/ %	Q/ MW	x/ %	Q/ MW	x/ %	Q/ MW	x/ %	Q/ MW	x/ %
冷凝器	- 2.054	98.01	- 2.056	97.83	- 2.063	96.87	- 2.071	95.80	- 2.073	95.55
再沸器	2.447	3.88	2.085	4.18	1.472	5.65	1.177	7.24	1.099	7.60

2 结果分析与讨论

进料热状况对精馏的能耗会产生影响。在一定的操作条件下, 通过改变进料热状况, 可取得良好的节能效果, 且操作简单、控制方便、投资费用小, 是一种很好的精馏节能措施。影响精馏塔能耗的因素很多。对于一个已有的精馏塔而言, 即对于操作型的问题而言, 塔的能耗与进料流量 V_F 与组分摩尔分数 x_F 、塔顶产品流量 V_D 与组分摩尔分数 x_D 、塔底产品流量 V_W 与组分摩尔分数 x_W 、回流比 R 、板效率 η 操作压力 P 、进料温度 t_F 、进料热状况参数 q 等因素有关。一般而言, 对于一个实际的塔, x_D 、 x_W 为要求的固定值。正常的操作条件下, 塔板效率 η 通常变化不大, 也可视为定值。在正常操作范围内, 当进料组成一定, 达到一定分离要求时, V_D 、 V_W 与 V_F 之间只是简单的比例关系, 达到一定分离要求时, 能耗 η 与 V_F 保持一定的比例关系。因此, 可选一个固定的 F 进行最小能耗研究。

由表 1 的模拟计算结果可知, 在一定的操作条件下, 进料状况不同, 塔内各塔板的气体流量(本研究条件下主要表现为提馏段的气体流量)、组成, 冷凝器和再沸器热负荷, 塔顶和塔底产品组成均不同。总的说来, q 值越大, 塔的分离能力越大, 塔顶和塔底产品组成越接近纯苯和纯甲苯。塔的分离能力的增大是以塔能耗的增大为代价的, 能耗的增大主要表现为塔底再沸器的热负荷的增大, 使得生产的操作费用(变动成本)增大。此外, 在较大的 q 值下进料时, 塔的提馏段各塔板的气相流量也增大, 这种增大超过一定程度时, 就要增大塔径。因此, 塔的投资费用(固定成本)也增大。操作费用和投资费用的增加使得生产总成本增加。所以, 在能够满足分离要求的前提下, 应使进料处在较小 q 值的热状况, 这样, 可以达到节能的目的。以本模拟研究为例, 和 20℃ 的冷液进料相比, 当进料改为饱和液体进料时, 可以节能 15%; 而当进料改为饱和气体进料时, 则可以节能 52%。

从理论上分析, 可证明精馏塔在原料流量 V_F 和组分摩尔分数 x_F 、回流比 R 、塔顶产品流量 V_D 不变的条件下, 通过减小 q 值所造成的各参数的变化, 并得到上述模拟结果的结论。分析过程中, 假设塔的理论塔板数 N 不变, 即属于操作型问题分析。这个假设的前提是塔的实际塔板数一定, 即塔是一个既定的实际塔, 而且 q 值的变化仍然使塔处于正常操作条件下, 其塔板效率不变。分析过程中还假设精馏段和提馏段气体和液体保持恒摩尔流量。

分析各流量参数是否改变。在精馏段, 液体摩尔流量 $V_L = RV_D$, 气体摩尔流量 $V_G = (R + 1)V_D$, 因为 R 、 V_D 不变, 所以 V_L 、 V_G 不变。在提馏段, $V'_L = V_L + qV_F$, $V'_G = V_G - (1 - q)V_F$ 。因为 q 减小, V_F 、 V_L 、 V_G 不变, 所以 V'_G 减小。又据 $V_W = V_F - V_D$, V_F 不变, V_D 不变, 所以, V_W 不变。根据

$$\frac{V'_L}{V'_G} = 1 + \frac{V_W}{V'_G},$$

V'_G 减小, V_W 不变, 所以, V'_L/V'_G 增大, 提馏段理论塔板数 N_2 不变, 所以提馏段分离能力变小. 结合进料组成摩尔分数 x_F 不变, 则塔底产品组分摩尔分数 x_W 增大. 根据物料衡算

$$V_F x_F = V_D x_D + V_W x_W,$$

由上式整理得

$$x_D = (V_F x_F - V_W x_W) / V_D.$$

因为 V_F, V_D, V_W 不变, x_W 增大, 所以 x_D 减小.

上述简要分析证明了, 当在一定的操作条件下, 进料 q 值减小, 塔的分离能力降低. 与此同时, 因为 V_G 不变, V'_G 减小, 塔的能耗减小.

如上所述, 在能够满足分离要求的前提下, 应使进料处在较小 q 值的热状况, 如泡点进料; 可通过精馏流程的能量集成来实现这一目的, 如利用塔顶蒸汽或者塔底产品与原料液进行热交换. 这样做避免了额外的能量消耗, 起到节能的作用.

3 结束语

进料热状况将对精馏能耗产生影响, 在一定的操作条件下, 通过改变进料热状况, 某些情况下可取得良好的节能效果. 总的说来, q 值越大, 但同时也会增大塔的能耗. 所以, 在能够满足分离要求的前提下, 应使进料处在较小 q 值的热状况, 并通过精馏流程的能量集成减小原料的 q 值, 以达到节能的目的.

参考文献:

- [1] 王梦华. 精馏过程节能技术探讨[J]. 齐鲁石油化工, 2003, 31(4): 324-326.
- [2] 时 钧, 汪家鼎, 余国琮, 等. 化学工程手册: 上卷[M]. 2 版, 北京: 化学工业出版社, 1996: 137-146.
- [3] 赵凤岭. 精馏的节能途径[J]. 化学工程, 1996, 24(3): 40-42.
- [4] 祝雪妹. 精馏过程的节能控制[J]. 节能, 1996(12): 24-26.
- [5] 卢 燕. 精馏过程节能技术的研究[J]. 山东化工, 1998(3): 8-11.
- [6] 方利国. 计算机在化学化工中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 170-186.

Effect of Thermal Conditions of Feed on Energy Consumption of Distillation

WANG Wei-de, HUANG Ying-fen,
JIN Zheng-mao, ZHAO Peng

(College of Material Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: In this article effect of thermal conditions of feed on energy consumption of distillation is studied by simulation of Aspen Plus software and theoretical analysis. Results show that when feed rate and composition, products flow rate, number of plates, plate efficiency, reflux ratio are constant, separating power of column, flow rate of vapor and liquid in column change as change of feed condition. At cold feed separating power of column is stronger, but energy consumption is bigger. As reduction of parameter of thermal condition of feed q separating power of column is cut down, but energy consumption is also cut down. On condition requirement of separation can be met, column should be operated at less q to reduce energy consumption of distillation.

Keywords: distillation; thermal condition; simulation of chemical technology; energy saving

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 陈国华)