

信息技术应用

# 乙醇脱水分壁式萃取精馏工艺研究

任军利

(浙江工业大学化学工程学院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:**利用 Aspen Plus 过程模拟软件, 采用乙二醇作萃取剂, 模拟研究了分壁式萃取精馏对摩尔分数为 82% 乙醇溶液脱水的分离过程。建立了分壁式萃取精馏模型, 得到了优化的工艺参数, 主塔理论板数为 11 块, 精馏段理论板数为 5 块, 回流比为 0.10; 副塔原料进料位置为第 14 块板, 萃取剂进料位置为第 4 块板, 隔板在副塔第 18 块板底端, 萃取精馏段回流比为 0.419, 溶剂比为 1.1。比较了分壁式萃取精馏和常规双塔 2 种流程下的能耗。模拟结果表明, 采用分壁式萃取精馏, 再沸器能耗降低了 15%, 节能效果明显。

**关键词:**无水乙醇; 分壁式萃取精; Aspen Plus; 流程模拟  
**中图分类号:** TQ015 **文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2014)07-0145-04

## Extractive distillation process in dividing-wall columns to dehydrate ethanol

REN Jun-li

(College of Chemical Engineering and Materials Science Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** The simulation of extractive distillation process based on dividing-wall column (E-DWC) for dehydration of hydrous ethanol (82 mol%) is studied by using aspen plus simulation software and ethylene glycol (EG) as an extractant. The model of E-DWC and the optimization process parameters are obtained as follows: 11 and 5 of the theoretical plate numbers for main column and rectification section, respectively, with 0.1 of reflux ratio, 14 and 4 of the feed and extractant feed-stage location for sub-column, respectively, with dividing wall placed at the bottom of 18 in sub-column. The reflux ratio of extractive distillation and molar ratio of EG to feed are 0.419 and 1.1, respectively. Compared with the conventional extractive distillation, energy saving for extractive distillation process based on E-DWC is 15%.

**Key words:** anhydrous ethanol; extractive distillation in dividing-wall column; Aspen Plus; process simulation

乙醇是一种含氧生物燃料, 辛烷值高, 作为汽油的添加剂, 改善了燃烧过程, 减少了固体颗粒物和  $\text{NO}_x$ 、CO 的排放。由于全球变暖和气候变化, 生物乙醇作为可再生和环境友好的生物质能源, 减少了化石燃料的供应, 降低了二氧化碳的排放<sup>[1-2]</sup>。从林业纤维素中获取燃料乙醇对当前解决环境污染和能源危机具有重要意义<sup>[3]</sup>。

目前工业上获取高纯度燃料乙醇的常用方法有分子筛吸附<sup>[4-5]</sup>、渗透蒸发<sup>[6]</sup>、萃取精馏<sup>[7-9]</sup>等。分子筛吸附相比于精馏能耗低, 然而设备投入大。限制了大规模生产。渗透蒸发技术节能效果明显, 但是局限于小规模制取。萃取精馏可用于大规模燃料乙醇的生产, 但能耗较大。针对上述方法的缺陷, 本文中采用分壁式萃取精馏对乙醇脱水。分壁式精馏作为一种新的热耦合精馏技术, 具有明显的节能优势, 同时减少了设备投入<sup>[10-12]</sup>。乙醇脱水采用分壁式萃取精馏有着显著的优势。

示。流程含 1 个萃取精馏段、精馏段和 1 个公共提馏段, 萃取精馏段定义为副塔 (DWC-S), 乙二醇回收塔为主塔 (DWC-M)。待分离的原料为摩尔分数 82% 的乙醇水溶液。原料从副塔进入, 萃取剂乙二醇从原料上方进料, 在塔顶得到无水乙醇, 水在塔侧线出料, 在塔釜回收乙二醇并循环使用。

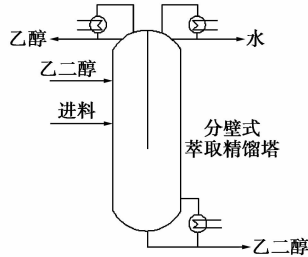


图 1 分壁式萃取精馏流程图

## 1 过程模拟

### 1.1 工艺流程

分壁式萃取精馏制取无水乙醇的流程如图 1 所

### 1.2 建模

利用 Aspen Plus 软件对 E-DWC 萃取精馏过程进行模拟计算。热力学模型采用 NRTL 模型, 各组分的物性和二元作用参数由 Aspen 物性数据库提供。分壁式萃取精馏的等效模拟流程如图 2 所示, 两塔均采用 RadFrac 严格计算模型。

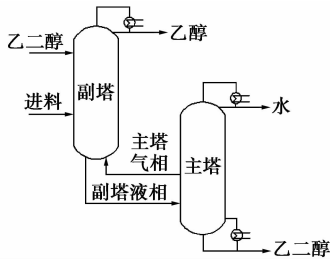


图 2 分壁式萃取精馏模拟流程图

模拟条件:进料流率 100 kmol/h, 进料组成为乙醇:水 = 0.82:0.18(摩尔比), 饱和液体进料, DWC-M 采出率 18 kmol/h, DWC-S 采出率 82 kmol/h, E-DWC 的操作压力为 100 kPa。模拟规定乙醇摩尔分数为 99.8%。乙醇的回收率不低于 99.8%, 乙二醇回收率不低于 99.9%。

建模方法:初步设定 DWC-M 进料位置(即 L-SM 进料位置)和回流比, DWC-S 理论塔板数, 原料进料位置, 萃取剂乙二醇的进料位置, 萃取剂的用量和回流比。初始参数见表 1。对 DWC-S 作设计规定, 乙醇回收率为 99.8%, 而对 DWC-M 作设计规定即乙二醇回收率为 99.9%, 调试塔板数、进料位置、回流比以及萃取剂的加入量使之收敛, 以满足设计规定。

表 1 E-DWC 初始参数

设计参数	值
DWC-S	
塔板数(互联位置)/块	25
萃取剂进料位置/块	3
原料进料位置/块	14
萃取剂用量/(kmol·h <sup>-1</sup> )	150
回流比	0.5
DWC-M	
塔板数/块	12
V-MS 出料位置/块	7
L-SM 进料位置/块	6
回流比	0.2

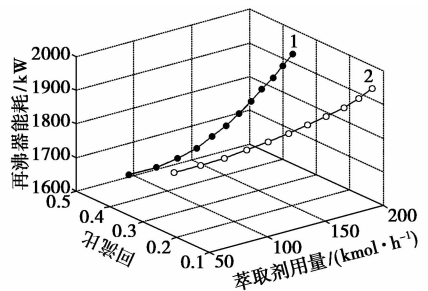
### 1.3 优化

以再沸器的热负荷和塔板数最少为优化目标, 优化设计参数(如塔板数、进料位置)和操作参数(如萃取剂用量、回流比)。在达到分离要求的条件下获得塔板数、进料位置、优化的萃取剂用量和回流比, 得到分壁式萃取精馏优化的模型参数。

#### 1.3.1 DMC-S 萃取剂进料位置的优化

给定萃取剂进料位置, 改变萃取剂用量, 通过乙醇回收率的设计规定得到优化的回流比, 比较不同萃取剂进料位置下再沸器能耗, 从而获得合理的萃取剂进料位置。

萃取剂进料位置为第 2 块板时, 会有部分乙二醇进入乙醇产品中, 达不到乙醇设计规定的摩尔分数。由图 3 可看到, 萃取剂进料位置对再沸器能耗的影响不大, 同样萃取剂用量第 4 块板进料回流比远小于在第 3 块板进料, 继续增加萃取剂回收段则减少了萃取精馏段, 故此萃取剂选择在第 4 块板处进料。



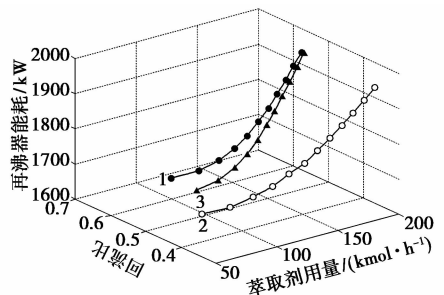
萃取剂进料位置:1—第 3 块板;2—第 4 块板

图 3 萃取剂进料位置对再沸器能耗的影响

#### 1.3.2 DMC-S 进料位置的优化

固定进料位置, 改变萃取剂用量获取优化的回流比, 再改变进料位置, 观察不同进料位置下再沸器能耗, 取得优化的进料位置。

由图 4 显示, 原料进料位置第 13、14、15 块板时, 对再沸器能耗影响甚微, 而选择在第 14 块板进料时所需回流比较小, 所以原料在第 14 块板进料。



原料进料位置:1—第 13 块板;2—第 14 块板;3—第 15 块板

图 4 原料进料位置对再沸器能耗的影响

#### 1.3.3 DMC-S 与 DMC-M 互联位置的优化

给定 DWC-M 和 DWC-S 两塔互联位置, 优化不同萃取剂用量时的回流比, 改变互联位置, 观察不同互联位置对分离效果和再沸器能耗的影响, 选出最佳的互联位置。

由图5得到了不同互联位置对再沸器能耗的影响,互联位置选在16块板时,要获得规定乙醇的含量,再沸器能耗相比于在第17、18、20块板互联时能耗大幅度升高。在20块板进料时,能耗最少,但相比于在18块板互联能耗减少不大,故选择在第18块板DWC-M和DWC-S互联。

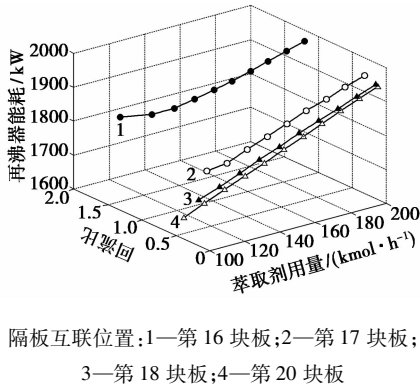


图5 隔板互联位置对再沸器能耗的影响

1.3.4 DWC-M塔板数和进料位置的优化

在DWC-S的优化参数下,固定DWC-M回流比,以DWC-M再沸器能耗最少和乙二醇的水质量分数不高于 $100 \times 10^{-6}$ 为优化目标,在不同塔板数下,改变进料位置,比较再沸器能耗和塔釜乙二醇含水质量分数,得出合理的理论塔板数和进料位置。

由图6可观察到进料位置越接近塔顶和塔釜,萃取剂乙二醇的含水质量分数相比于在中部进料要高,进料位置越靠近塔釜,能耗越高,综合两方面情况,选择在第6块板处进料,塔板数为10块时,再沸器能耗较高同时回收乙二醇水质量分数也较高。

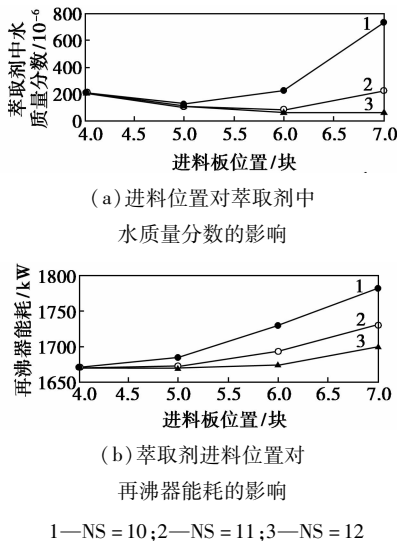


图6 DWC-M塔板数和进料位置对萃取剂水质量分数和再沸器能耗的影响

选择塔板数为11块板和12块,对于在中部以上进料所回收的乙二醇的水质量分数大致相同;另一方面,12块理论板比11块理论板再沸器能耗减少不明显,故DWC-M选择11块理论板。

1.3.5 DMC-M回流比的优化

DWC-M11理论板为11并在第6块板进料,考察回流比对再沸器能耗和塔釜乙二醇的含水质量分数的影响。从图7可知,增大回流比,塔釜乙二醇水质量分数减少,当回流比增大到0.10时,乙二醇水质量分数减小趋于缓慢。回流比增大,再沸器能耗增加,故综合两方面考虑,选择回流比为0.10。

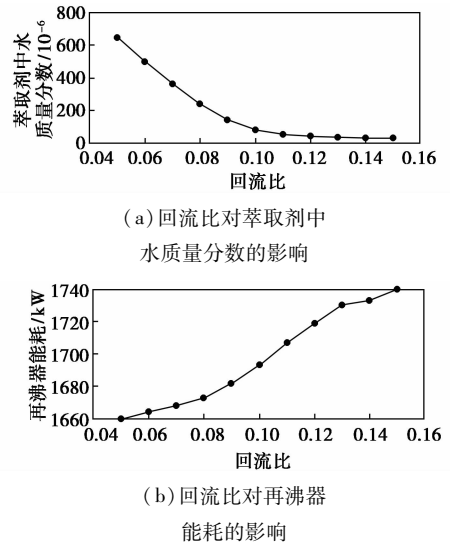


图7 DWC-M回流比对回收的萃取剂水质量分数和再沸器能耗的影响

1.3.6 E-DWC参数优化结果

E-DWC参数优化结果见表2。

表2 E-DWC优化参数

优化参数	值
DWC-S	
塔板数(互联位置)/块	18
乙二醇进料位置/块	4
原料进料位置/块	14
回流比	0.419
萃取剂用量/( $\text{kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ )	110
DWC-M	
DWC-M塔板数/块	11
V-MS出料位置/块	7
L-SM进料位置/块	6
回流比	0.10

通过以上探讨,获得了分壁式萃取精馏塔优化的设计参数和操作参数。优化结果如下:DWC-S

塔板数 18,原料进料位置为第 14 块板,萃取剂进料为第 4 块板,萃取剂用量 110 kmol/h,回流比为 0.419;DWC-M 塔板数为 11,精馏段塔板数为 6。回流比选择为 0.10;E-DWC 公共提馏段为 5。

## 2 结果与讨论

### 2.1 常规萃取精馏过程(ED)模拟和优化

常规双塔萃取精馏流程如图 8。采用与分壁式萃取精馏塔相同的优化途径,获得了常规萃取精馏塔的优化参数,见表 3。

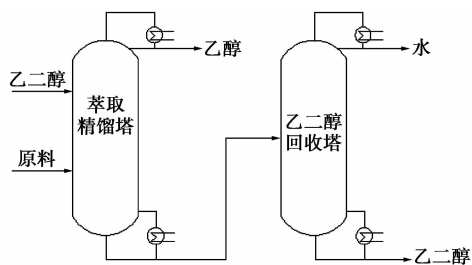


图 8 常规双塔萃取精馏流程图

表 3 ED 优化参数

优化参数	值
萃取精馏塔	
理论塔板数/块	23
原料进料位置/块	17
萃取剂进料位置/块	4
萃取剂用量/(kmol·h <sup>-1</sup> )	80
回流比	0.409
萃取剂回收塔	
理论塔板数/块	13
进料位置/块	6
回流比	0.4

### 2.2 分壁式萃取精馏与常规双塔精馏的比较

模拟分别优化分壁式萃取精馏塔和常规精馏塔,在乙醇回收率为 99.8%,同时回收萃取剂摩尔分数 ≥ 99.9% 分离规定下,采用优化参数,模拟计算了 2 种流程下再沸器的能耗,计算结果见表 4。比较结果表明,对于水-乙醇的分离,相比于常规萃取精馏过程,分壁式萃取精馏既节能又减少设备。

表 4 E-DWC 和 ED 的比较

	ED			E-DWC		
	B1	B2	总值	DWC-M	DWC-S	总值
塔板数/块	23	13	36	11	18	29
再沸器负荷/kW	1536	472	2008	1693	0	1693
冷凝器负荷/kW	-1251	-287	-1538	-226	-1346	-1572

## 3 结语

建立了摩尔分数为 82% 乙醇溶液脱水的分壁式萃取精馏模型,并优化了模型的设计参数和操作参数。分壁式萃取精馏能耗为 0.45 kW/kg,与常规双塔 0.53 kW/kg 相比,再沸器能耗降低了 15%,具有显著的节能效果,同时也减少了设备。该模拟结果对采用分壁式萃取精馏生产无水乙醇具有一定的指导意义。

### 参考文献

- [1] Mustafa Balata, Havva Balat, Cahide Oz. Progress in bioethanol processing[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2008, 34(2): 551-573.
- [2] Wladyslaw Kaminski, Joanna Marszalek, Agnieszka ciolkowska. Renewable energy source-dehydrated ethanol[J]. Chemical Engineering Journal, 2008, 135(3): 95-102.
- [3] 胡良豪,甄文娟,单志华. 纤维素乙醇的发展前景[J]. 现代化工, 2008, 28(10): 156-158.
- [4] Huang Hua-jiang, Shri Ramaswamy, Tschirner U W, et al. A review of separation technologies in current and future biorefineries[J]. Separation and Purification Technology, 2008, 62(12): 1-21.
- [5] Kuo-sung Liao, Ywu-jiang Fu. Microstructure of carbon molecular sieve membranes and their application to separation of aqueous bioethanol[J]. Carbon, 2012, 50(3): 4220-4227.
- [6] Patricia M Hoch, José Espinosa. Conceptual design and simulation tools applied to the evolutionary optimization of a bioethanol purification plant[J]. Ind Eng Chem Res, 2008, 47(19): 7381-7389.
- [7] Iván D G, Jorge M Gómezb, Gerardo Rodríguez. Control of an extractive distillation process to dehydrate ethanol using glycerol as entrained[J]. Computers and Chemical Engineering, 2012, 39(1): 129-142.
- [8] Guangzhong Li, Peng Bai. New operation strategy for separation of ethanol-water by extractive distillation[J]. Ind Eng Chem Res, 2012, 51(96): 2723-2729.
- [9] Marcella Feitosa de Figueirêdo, Brenda Pontual Guedes, Romildo Pereira Brito. Optimal design of extractive distillation columns—A systematic procedure using a process simulator[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2011, 89(6): 341-346.
- [10] Atle C Christiansen, Sigurd Skogestad, Kristian Lien. Complex distillation arrangements: Extending the petlyuk ideas[J]. Computers Chem Eng, 1997, 21(97): 237-242.
- [11] Dejanović I, Matijă sević L, Olujić Z. Dividing wall column—A breakthrough towards sustainable distilling[J]. Chemical Engineering and Processing, 2010, 49(3): 559-580.
- [12] Igor Dejanovic, Ljubica Matija Sevic, Helmut Jansen, et al. Designing a packed dividing wall column for an aromatics processing plant[J]. Ind Eng Chem Res, 2011, 50(3): 5680-5692. ■