

文章编号: 1005—8893 (2005) 01—0058—04

国内外分隔壁精馏塔现状与发展趋势^{*}

裘兆蓉¹, 叶 青¹, 李成益²

(1. 江苏工业学院 化学工程系, 江苏 常州 213016; 2 扬子石油化工股份有限公司 计划部, 江苏 南京 210048)

摘要: 分隔壁精馏塔 (DWC) 在工厂已有 20 年历史。BASF 有 40 台 DWC 应用, 前景看好。DWC 可省投资 30%, 节能 30%。在石油化工领域内已有 33 篇美国专利, 5 篇中国专利。对 DWC 从原理、结构、节能和关键技术等方面进行了综述。同时介绍了 DWC 的应用现状及其可能的应用领域, 对 DWC 的应用前景进行了展望。

关键词: 分隔壁式精馏塔; 关键技术; 应用

中图分类号: TE 624 文献标识码: A

1 DWC 的特点

精馏是化工中首选的分离过程, 虽然有许多优点, 但是能耗特别大, 为节能, 国内外已研制出一些节能型耦合精馏塔: 像反应与精馏耦合的塔^[1]; 精馏与其他分离过程耦合的塔 (吸附—精馏耦合、结晶—精馏耦合^[2]等); 精馏—精馏耦合的塔: 热耦精馏塔 (Petlyuk Column); 内部热耦合精馏塔 (ITCDIC)^[3]; 分隔壁精馏塔 (Dividing wall column 简称 DWC)^[4, 5]。

国内已有高校研究并有文章关于节能型的精馏耦合塔, 但尚未发现 DWC 研究机构和应用单位。DWC 是在精馏塔内部设一垂直隔板, 将精馏塔分成上段、下段、及由隔板分开的精馏进料段及中间采出段四部分。由于 DWC 与热耦精馏分离的原理及计算方法是一致的, DWC 在热力学上等同于一个 Petlyuk 塔, 比传统的两塔系统节约了 30% 的投资费用。因此有人把 DWC 归为耦精馏塔的特例, 但因 DWC 比热耦精馏塔少一台精馏塔及相应管路, 因此投资及占地面积比热耦精馏塔少^[6~8]。DWC 与热耦精馏分离及其传统精塔的流程比较见表 1。

表 1 单塔或多塔组合分离多组分表^[3~9]

Table 1 Separating three components by distillation can be done in a variety of arrangements with one or two towers^[3~9]

流程	传统精馏塔 分离 3 组分 2 个塔、2 个	热耦精馏塔 分离 3 组分 2 个塔、1 个	内部热耦精馏 塔分离 3 组分 4 个塔、2 台 压缩机、2 台 热交换器	分隔壁蒸馏塔 分离 3 组分 1 个塔、1 个
设备	重沸器、2 个 冷凝器、2 个 回流分配器	再沸器、1 个 冷凝器、1 个 回流分配器		再沸器、1 个 冷凝器、1 个 回流分配器
投资	100%	85%	120%	70%
能耗	100%	70%	52%	70%

DWC 分离 3 组分混合物时, 只需 1 个精馏塔就可得到 3 个纯组分, 这就节省了 1 个精馏塔及其附属设备, 如再沸器、冷凝器、塔顶回流泵及管道。虽然 DWC 比原有 2 塔流程的每个精馏塔大, 但总的设备投资会降低许多。

DWC 是热力学上最理想的系统结构, 在分离 3 组分混合物时, 用相同的理论板数, 完成同样的分离任务, 采用 DWC 比传统的两塔流程需更少的再沸热量和冷凝量, Lestak^[9]指出, 对于某些给定的物料, 分隔壁式精馏塔和常规精馏塔相比需更小的回流比, 故操作容量增大, 节能最高可达到 60% 以上, 可能省设备投资 30%。DWC 能广泛地应用于石油精制、石油化工、化学品及气体精制。

在 DWC 中, 物料在再沸器中只被加热 1 次,

* 收稿日期: 2004—08—28

基金项目: 江苏省自然科学基金资助 (BK 2001093; BK 2004035)

作者简介: 裘兆蓉 (1945—), 女, 浙江嵊州崇仁人, 教授, 院学术带头人, 硕士、博士生导师。

它在高温区的停留时间相应较短。故该塔型既适于多组分物系中轻组分为热敏物系的分离, 又适于重组分为热敏物系的分离, 同时还适于挥发度居中的热敏物系的分离。

DWC 所采出的中间产品的纯度比普通精馏塔侧线出料的纯度大, 因此, 当希望得到高纯度的中间产品时, 应先考虑使用 DWC。

若分离 A、B 和 C 3 个组分, 且相对挥发度依次递增时, 进料混合物中组分 B 的量最多时, 采用 DWC 的分离效果将最好, 且能耗最小。采用 DWC 具有的节能优势最明显。

由于采用 DWC 时, 分离 3 组分混合物是在 1 个塔内完成的, 故整个分离过程的压力不能改变。当需要改变压力时, 只能用常规的双塔精馏流程。

2 DWC 的关键技术

2.1 分隔壁的位置

在 DWC 中分离 3 组分混合物时, 在精馏塔中设置 1 块垂直的隔板—分隔壁, 分隔壁的长度、放置的位置及离精馏塔的上、下部的距离都会影响此塔的分离效果。

分离 3 组分混合物时, 若将分隔壁向精馏塔的底部延长, 则可有效的阻止轻组分从分隔壁下部进入该塔的中间出料一侧, 但中间组分从下端进入中间出料一侧也变得困难起来。这样会使更多的中间组分从分隔壁的上端进入中间出料一侧或者需要增加塔的下部(分隔壁下部的提馏段)的分离能力来分离中间组分和重组分。同样的, 若将分隔壁向精馏塔的上部延伸, 阻止了重组分从分隔壁的上端进入中间出料一侧, 但同时也增加了中间组分从上端进入中间出料一侧的困难。

2.2 经过分隔壁两边的汽液相流量分配

采用 DWC 分离 3 组分混合物时, 从塔底上升的蒸汽在分隔壁两侧分为两部分, 若蒸汽在分隔壁的两侧分配量不相等时, 根据进料及中间出料情况, 在某种情况下具有热力学优势。要想使分隔壁两侧的汽相流量不相等, 一般有两种方法: ①分隔壁不放置在塔的中间; ②通过内部设置使分隔壁一侧的压降大于另一侧。控制分隔壁两侧的汽相流量主要通过两侧的压降完成的, 要使两边的压降不同可以通过设计一些特殊可控制大小的节气阀来实现, 或者使分隔壁两侧的结构不同^[9]。不管采用

哪种方法都需要非常精确的压降关联式。

分隔壁两侧的液体流量分布成为此类塔设计及优化操作的一个关键。一般在分隔壁的上方可设计一个流量分配器来控制液体流量; 在分隔壁的下方可设计一个流量分配器来控制气体流量使进入隔板两侧的流量不同, 从而达到所需的中间产品、塔顶及塔釜的分离要求。

3 国外的应用与研究

3.1 国外的现状

Eric W. Luster 于 1933 年因裂解气分离已提出 DWC 的概念, 并报有美国专利 US 1915681^[10]。

国外的 DWC 研究自能源危机后开始活跃。在能源危机前的科技条件下, 由于两个精馏塔的控制条件被并到了 1 个 DWC 中, 塔的控制条件增加了, 控制回路增加及机械加工等问题, DWC 无法实现大生产。现在科技已高度发达。DWC 回路控制及机械加工已不成为问题。但精馏的节能却成为相当严重的问题。故而, 国外的 DWC 研究自能源危机后益越活跃。

1985 年以来, BASF 公司、Kellogg 公司、Kyowa Yuka 公司、Sumitomo 重工等几大公司已开始使用 DWC。世界上已有 40 座以上 DWC 进行了商业运行。大部分属于德国的 BASF 公司。主要用于分离中间产物含量高的 3 元混合物。Kellogg 公司也和 BP 公司合作设计建造 DWC^[11]。其中一座用于改进一条原先间歇操作的烷基重整流程, 中间产物为航空汽油, 塔顶产物和塔釜产物返回汽油贮槽。改进后塔的操作能力增加了一倍, 中间产物的产量比原先简单的中间采出流程增加了 50%。Sumitomo 重工设计了至少 6 座 DWC^[11], 其中和 Kyowa Yuka 公司合作开发了乙酸乙酯的装置, 乙酸乙酯为中间产物, 其纯度可达 99.99%, 塔顶为低沸点的不纯物如乙醛等, 塔底为高沸点的不纯物如巴豆醛等。Sumitomo 重工认为: 采用了单塔流程后除了减小了设备体积, 还节约了 30%~40% 的设备费用和能量。Linde AG 公司刚为南非的 Sosol 公司建造了世界上最大的分隔壁式精馏塔^[12], 塔高 107 m, 直径 5 m。Krupp 公司为 Veba Oel 公司设计的塔能将苯从热解汽油中分离出来。另一个相似的塔是为 Cherron 公司设计的, 不久将投入生产。当然, 以上的研究都报了专利。

国外除了已工业化的应用 DWC 外, 对 DWC

的结构也进行了广泛的研究。现在的 DWC 设备已从一开始将隔板焊在塔上发展到可移动的隔板, 对大直径的塔, 垂直隔板可变为特殊设计的易于安装的人孔大小的部件。还有适用于特殊需要的偏离中心位置的垂直隔板。对塔的安装方式、塔板放置位置及角度等方面都有专利报道^[13~17]。

采用 DWC 分离各类物系的研究也在不断深入^[18~25], UOP 公司设计分隔壁式精馏塔已应用于新的 UOP 合成直链烷基苯的路线中, 节约了该过程中分离部分 9% 的能量。Kellogg 公司开发了抽提蒸馏与分隔壁式塔器技术相结合的工艺, 从重整生成油或加氢热解汽油回收苯。它取消了汽提塔。精馏、汽提和溶剂回收均在一座分隔壁式精馏塔中进行。投资比常规抽提蒸馏装置节减 20%。此外, 还可采用分隔壁式精馏塔从 C4 馏分中分离提纯 1, 3-丁二烯、从 C5 以上的馏分中提纯含量较高的 C6~C8 组分。此外, 国外的 DWC 还用于四氢呋喃、丁酮与丁二醇、丙烯与丁烯、丙烯与己烯、环戊烷、环戊烯等物质合成过程的分离。在 US 6540907 中, Towler 等人还提出了 FCC 的石脑油用 DWC 直接脱硫工艺。

就像催化精馏一样, 不同的物料, 不同的工艺都可以申报专利。采用 DWC 分离各类物系, 不同的工艺等也都可以申报专利。经我们查阅得: 1976~2001 年内, 已公开的 DWC 美国专利仅有 33 篇; 而 2001~2004 年半中已申请的 DWC 美国专利就已有 31 篇; 其中近一年中申请的美国专利就占 21 篇。发展势头很像当年的催化精馏, DWC 的应用面将越来越广。

3.2 国内的现状

国内仅发现德国、瑞典、日本在中国申报隔离壁精馏塔的专利 4 篇, 其中 2 篇为应用发明专利, 另 2 篇是结构的发明专利。其中联邦德国莱沃库森的拜尔公司的 B·布拉迪等人于 2004-01-14 公开的 CN 1467202, 引入了隔离壁精馏塔的提纯甲苯二异氰酸酯混合物的方法, 该专利自申请到公开仅半年, 是抢报的。联邦德国的希尔斯股份公司的 H·D·达尔等人发明了分隔壁塔分离对苯二甲酸二甲酯 (DMT) 的工艺 (CN 1169421, 1998-01-07)。另外, 联邦德国巴斯福股份公司的 G·卡贝尔等人公开的 CN 1177513, 用于多组分混合物连续分馏的分壁式蒸馏塔, 是一种利用蒸馏将一混合物分离成 3 种或更多种组分的分壁式蒸馏塔。

曾有国外工程公司到扬子石油化工股份有限公司等处推销过 DWC 产品。

到目前为止, 在国内尚未发现 DWC 研究机构和应用单位, 也没发现 DWC 的研究文章。我国在石油化工及天然气化工领域的能耗比国外大, 占石油化工及天然气化工能耗 70%~80% 的老式精馏操作是有过度耗能之嫌的。在扩大精馏生产或投资新厂时应考虑应用 DWC。

4 DWC 的研究方向

4.1 基础研究

DWC 的基础研究有以下几点: ①DWC 的调节与控制; ②DWC 的设备加工基础研究; ③DWC 计算方法。

4.2 DWC 的应用研究

凡分离 3 组分以上液体混合物时, 都可考虑使用 DWC。

因此 DWC 应用的系统很多。例如用在甲醇生产中, 采用合成氨联产甲醇技术降低生产成本, 调整产品结构。联醇生产的精馏大多采用主双塔精馏流程。通过预精馏塔脱除轻馏分杂质, 通过主精馏塔脱除重馏分杂质, 在主精馏塔顶部得到甲醇产品。该流程的双精馏塔若为隔离壁精馏塔同样可以实现分离要求, 可通过计算或调节确定控制条件或进出料位置, 从侧线分离出甲醇产品, 塔顶脱除轻组分, 塔釜脱除重组分。这样既可以节省投资成本又可以节省能耗、简化流程。除此以外, DWC 还可在以下领域内应用: 环丁砜萃取法分离芳烃、混合二甲苯分离制邻二甲苯生产流程、丙烯一步氧化法制丙酮生产流程、直接法合成苯基氯硅烷生产流程及其 2, 6 二甲基苯酚等生产流程中的分离部分流程等等。

一旦采用隔离壁精馏塔分离技术, 将会使分离成本能耗得到明显降低, 给化工生产分离带来新的革命。

5 结束语

近几年来, 国外对 DWC 技术的研究和应用都十分重视。美国、德国、日本、英国等都有专门的研究机构。而我国在这方面还没有进行研究, 加快这一技术的开发和工业化步伐, 有自己的知识产权, 是推进我国炼油、石化及化工行业的一项重要

内容。

总之, DWC 技术是具有独特作用的精馏。它在化学工业中的应用越来越广泛, 将取得的成果逐步加以推广, 必将创造极大的经济效益。

参考文献:

- [1] 方志平. 催化精馏技术在石油化工中的应用 [J]. 石油化工 [J], 2004, 33 (2): 170—176.
- [2] 叶青, 王车礼, 裘兆蓉. 精馏—熔融结晶耦合工艺 [J]. 江苏石油化工学院学报, 2000, 12 (3): 46—49.
- [3] 刘兴高, 钱积新. 内部热耦合精馏塔的初步设计 (I) 模型化和操作分析 [J]. 化工学报, 2000, 51 (3): 421—424.
- [4] Abdul Mutalib M I, Smith R. Operation and Control of Dividing Wall Columns [J]. Trans Inst Chem Eng, Part A, Chem Eng Res Des, 1998, 76: 308—334.
- [5] Agrawal R. Multicomponent Distillation Columns with Partition and Multiple Reboilers and Condensers [J]. Ind Eng Chem Res, 2001, 40: 4 258—4 266.
- [6] Lestak F, Collins C. Advanced Distillation Saves Energy and Capital [J]. Chem Eng, 1997, 104 (7): 72—76.
- [7] Michael A, Schultz Douglas G Stewart. Reduce Costs with Dividing—Wall Columns [J]. CEP, 2002, (5): 64—71.
- [8] Parkinson G. The Divide in Distillation [J]. Chem Eng, 1999, 106 (4): 32—35.
- [9] Becker H. Partitioned Distillation Columns—Why, When, and How [J]. Chem Eng, 2001, 108 (1): 68—74.
- [10] Eric W Luster. Apparatus for Fractionating Cracked Products [P]. US: 1915681, 1933—06—27.
- [11] Parkinson G. Drip and Drop in Column Internals [J]. Chem Eng, 2000, 107 (7): 27—31.
- [12] Kaibel Gerd, Stroezel. Dividing Wall Column for Continuous Fractionation of Multicomponent Mixtures by Distillation [P]. US: 5914012, 1999—06—22.
- [13] Rust Harald, Kaibel Gerd. Dividing Wall Column [P]. US: 20010052453, 2001—12—20.
- [14] Deibele Ludwig, Heinz Dieter. Process for the Mild Distillative Separation of Mixtures [P]. US: 20040020757, 2004—02—05.
- [15] Harris James W, Van Zile Charles P. Dividing Wall Column Control System [P]. US: 6551465, 2003—04—22.
- [16] Steacy Paul. Dividing Wall Column Fractionation Tray [P]. US: 6645350, 2003—11—11.
- [17] Meyer Gerald, Kaibel Gerd, et al. Method and Device for Treating a c4 Fraction [P]. US: 20030181772, 2003—09—25.
- [18] Muller Dirk, Wagner Paul. Preparation of trimethylolpropane [P]. US: 20030139631, 2003—07—24.
- [19] Bohner Gerd, Indler Klaus. Method and Device for Obtaining 1, 3 Pure Butadiene from 1, 3 Raw Butadiene by Distillation [P]. US: 20040045804, 2004—03—11.
- [20] Gall Martin, Kaibel Gerd, Krug Thomas. Method and Device for the Distillative Processing of 1, 6—Hexandiol, 1, 5—Pentandiol and Caprolactone [P]. US: 20040040829, 2004—03—04.
- [21] Kaibel Gerd, Oost Carsten. Method and Device for Carrying Out the Distillative Separation of c5+ Cuts [P]. US: 20040011706, 2004—01—22.
- [22] Towler Gavin P, Schultz Michael A. Fractionation for Full Boiling Range Gasoline Desulfurization [P]. US: 20030116474, 2003—06—26.
- [23] Schwab Peter, Breitscheidel Boris. Preparation of Propene and, if desired, 1—butene [P]. US: 20020197190, 2002—12—26.
- [24] Kaibel Gerd, Weck Alexander. Method for Distillative Separation of Mixtures Containing Tetrahydrofuran, γ (g) — Butyrolactone and/or 1, 4 — Butanediol [P]. US: 20030106786, 2003—06—12.
- [25] Ansmann Andreas, Henkelmann. Preparation of Higher Alpha, Beta—Unsaturated Alcohols [P]. US: 20020183565, 2002—12—05.

Status and Development Trends of Dividing Wall Column at Home and Abroad

QIU Zhao—rong¹, YE Qing¹, LI Cheng—yi²

(1. Department of Chemical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China; 2. Yangzi Petrochemical Co. Ltd., Nangjin 210048)

Abstract: The dividing wall column (DWC) has been in use in the production of the chemical industry for the last 20 years. DWC is now considered to be an accepted technology (some 40 columns in operation at BASF) and is expected to grow steadily in the number and variety of applications in industrial practice. Investment costs are cut by 30%, operating costs by around 30%. More than 33 patents in America and more than 5 patents in China were obtained in the Petrochemical Field. The principle, structure, energy—saving and key technology of DWC are reviewed. The applications and the possible applications areas of the DWC are introduced and the future of applications prospect of the DWC is presented.

Key words: dividing wall column; key technology; application prospect