

导向筛板在甲醇精馏塔技术改造中的研究与应用

李群生¹⁾ 王宝华²⁾

(1) 北京化工大学化学工程学院, 北京 100029; 2) 北京中医药大学中药学院, 北京 100029)

摘要: 在计算机上模拟设计了甲醇精馏技术改造的优化工艺, 并得到了可靠的汽液负荷数据。采用高效导向筛板塔板进行技术改造。生产能力扩大 170%, 节能 47%, 甲醇产品组成由原来的 99.5% 提高到 99.9%, 同时还提高了甲醇回收率。技改的设备投资约 5 万元, 年增经济效益 272.5 万元。

关键词: 甲醇; 计算机模拟; 精馏; 导向筛板

中图分类号: TQ 028.17

引言

在聚乙烯醇生产过程中, 聚合工段主要是进行醋酸乙烯聚合以及混合物的分离。聚合工段第三精馏塔(简称聚合三塔), 主要是将甲醇与水 and 微量杂质分离, 得到甲醇产品, 将其作为溶剂循环使用。该塔原设计为孔径 4 mm 的筛板塔, 由于原料中含有少量的聚醋酸乙烯等粘性物质, 在生产过程中常出现堵塔、液泛等现象。同时为了实现节能和简化工艺, 生产要求将原来投入回收三塔的物料(组成与之相近)也送入聚合三塔中, 塔的处理量由原来的 3 000 kg/h 提高到 8 100 kg/h, 扩产 170%。采用新型高效导向筛板替代原筛板塔板, 成功地解决了这一难题, 提高了塔的生产能力和板效率, 满足了生产要求, 这样做改动少、投资省、见效快。同时还提高了聚合三塔的抗堵塔能力。

1 甲醇精馏工艺的计算机模拟与优化设计

1.1 原料特点与工艺要求

聚合三塔的进料量由原来的 3 000 kg/h 增加到 8 100 kg/h, 要求扩大生产能力 170%。进料组成(质量分数, 下同)为: 甲醇 36%、水 63.5%、聚醋酸乙烯、醋酸乙烯、醋酸甲酯微量。其中聚醋酸乙烯为高粘性物质, 在塔内积累后, 会引起堵塔, 造成生产事故。技改中要求解决这一问题, 并且要求技改后达到塔顶产品甲醇含量 99.5%, 塔釜残液中甲醇

含量 0.05%。

1.2 精馏方案的计算机模拟

甲醇精馏塔(聚合三塔)原来的操作回流比为 4.25, 根据现代精馏设计注重提高塔的分离能力, 以降低回流比实现节能的思想, 对聚合三塔的精馏过程, 分别取回流比 $R = 1.2, 1.5, 1.8, 2.0, 3.0, 4.0, 4.25, 4.5$ 等几种方案, 在满足分离要求的情况下, 对精馏塔采用计算机模拟计算和设计。详细计算出各种方案的回流比、塔板数、能耗、冷却负荷以及逐板的温度、压力、组成等, 并将回流比与塔板数($R \sim N$), 回流比与能耗($R \sim Q_R$), 回流比与冷却负荷($R \sim Q_c$)的关系, 分别示于图 1、2 上。

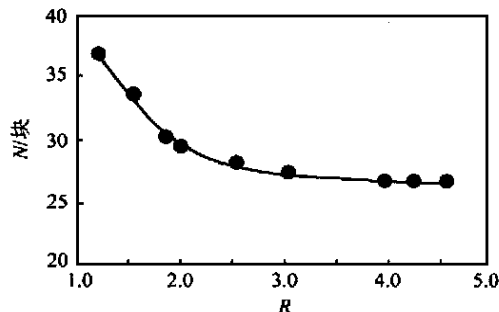


图1 回流比与塔板数的关系

Fig. 1 Relation between reflux ratio and number of plates

1.3 精馏方案的优化与选择

技改中采用新型高效导向筛板, 同时优化了塔板上流体的流动工况, 将塔板效率大幅度地提高, 从图 1、2 中可以看出: 当 $R = 1.8, N = 29$ 时, R 再增大, N 降低已不太明显; 而当 R 低于 1.8 时, N 会急剧增加。通过对设计的技术经济指标详细计算,

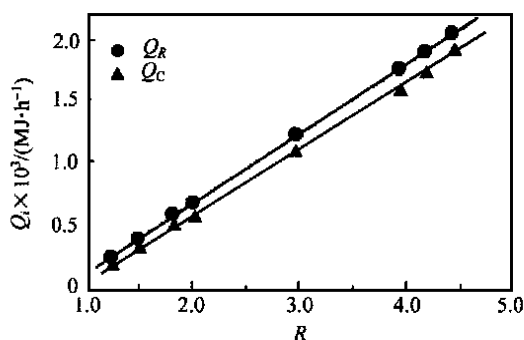


图2 回流比与能耗和冷却负荷的关系

Fig. 2 Relation between reflux ratio, reboiler and condenser duties

确定采用 $R = 1.8$ 、 $N = 29$ 的优化方案。这时原聚合三塔的塔板数没有改动,投资不太高, R 由原来的 4.25 左右降至 1.8,节能约 47%。同时由于 R 降低,塔内负荷减小,塔的处理能力提高。

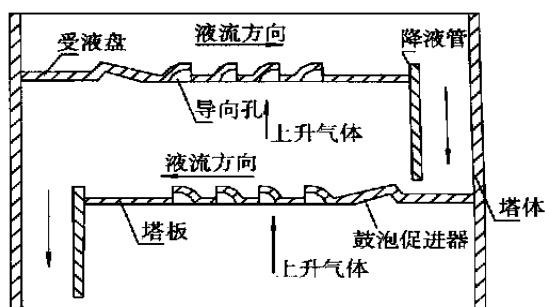
2 导向筛板在甲醇精馏塔技术改造中的应用

2.1 导向筛板的特点

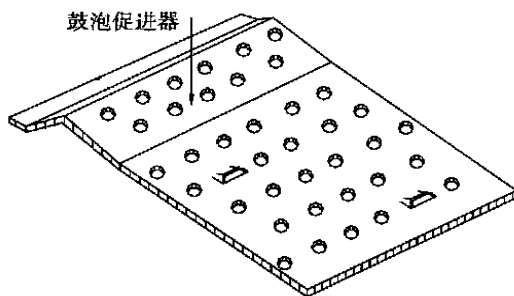
导向筛板是 60 年代由美国联合碳化物公司林德子公司开发应用的。国内由北京化工大学系统研究^[1~3]。认为导向筛板塔从导向孔喷出的水平气流均匀稳定地推动板上液流前进,大大增加了塔的抗污性和抗堵能力,克服了液面梯度和非活化区,提高了传质效率 and 生产能力。经过深入研究和大力推广,目前已广泛应用于石油、化工、轻工、香料等领域。在酒精工业,导向筛板使固含率达 10% 的粘稠成熟醪在塔板上均匀稳定流动,解决了长期存在的堵塔和液泛问题,并增产约 50%。在邻、对硝基氯苯精馏过程中,导向筛板解决了要求理论板数多、压降低的难题。在维尼纶行业^[4,5],导向筛板对含有固体物料、粘性物料、易自聚物料和发泡物质的原料,可克服堵塔、泛塔、雾沫夹带等现象,有效地解决了其精馏难度大的问题。这种塔板还具有结构简单、维修方便等特点。另外,由于导向筛板仅是在钢板上冲出筛孔和导向孔,其质量较轻,造价低廉。一般来说,导向筛板的价格约相当于泡罩塔板的 40%,浮阀塔板的 60%。导向筛板的结构见图 3。

2.2 采用导向筛板对回收一塔的设计

2.2.1 导向筛板的压力降 导向筛板的气相流通孔由导向孔与普通筛孔组成。由实验测定的单个筛孔和单个导向孔的阻力系数分别为



(a) 导向筛板工作原理



(b) 鼓泡促进剂结构

图3 导向筛板的结构

Fig. 3 Structure of flow-guided sieve tray

筛孔的阻力系数 $s = 2.02$; 导向孔阻力系数 $r = 1.54$ 。

导向孔阻力系数较筛孔为小,由此推出导向筛孔板压力降为

$$h_{DF} = h_{DS} \cdot k \quad (1)$$

经对筛板塔压力降与上式对比,并用实验数据回归,可得

$$h_{DF} = 0.051 k \left(\frac{u_0}{c_0} \right)^2 \frac{\gamma}{1} (1 - \phi^2) \quad (2)$$

$$k = (1 + 0.45 \phi)^{-2} \quad (3)$$

由于 ϕ 为导向孔开孔率,恒为正值,所以,对于导向筛板, $k < 1$,由式(1)知: $h_{DF} < h_{DS}$,即导向筛板压力降比普通压力降要低。

2.2.2 导向筛板的效率、操作弹性与生产能力 图 4 中给出了导向筛板的板效率和生产能力(以空塔动能因子 F_0 表示)与浮阀塔的实验数据比较。由图 4 可见,在 $F_0 = 1.7 \sim 2.4$ 范围内,导向筛板的平均板效率比浮阀塔板高出 20%~30%,尤其是在大负荷生产实际中甚至能高出 40%。由图 4 还可看出:导向筛板在高负荷时较浮阀塔板更具优势,导向筛板塔的生产能力较浮阀塔能高出 30%~50%,甚至更多。若以板效率下降 15%作为正常操作区,

则导向筛板与浮阀塔板操作弹性相近。

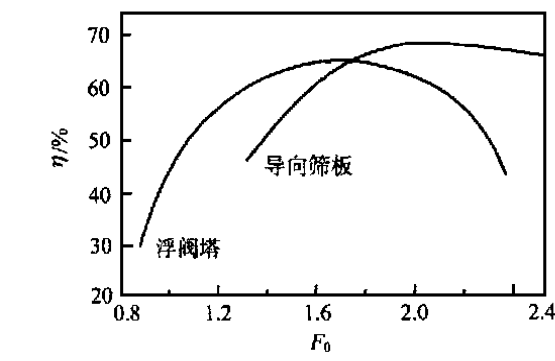


图 4 导向筛板与浮阀塔板效率比较
Fig. 4 Comparison of flow-guided sieve tray and valve tray

2.3 导向筛板在甲醇精馏中的应用

在甲醇精馏塔的技术改造中,选用导向筛板替代原来的筛板塔板。根据计算机模拟结果以及导向筛板的应用经验,选取 $N = 29$ 、 $R = 1.8$ 的优化方案,由式(1)计算出塔的压力降。经验表明导向筛板

的操作弹性很大^[4,5],与浮阀塔相当。由此对醋酸甲酯精馏塔进行了合理设计;以图 4 的生产能力和效率关系为基础,合理设计塔的操作弹性。新塔设计后在生产中一次试车成功,开车 2 h 后塔顶、塔釜即达到正常值,生产能力扩大 170 % 左右。由于板效率高,回流比由原来的 4.25 左右降低至 1.8 左右,塔压降由原来的 0.03 MPa 降至 0.015 ~ 0.02 MPa,使塔的操作更加平稳。塔顶甲醇含量由原来的 99.5 % 提高到 99.9 %,甲醇的比活度由原来的 570 s 降为 530 ~ 550 s,甲醇质量提高后,使聚合反应进行顺利。塔釜甲醇含量由原来的 0.05 % 降至 0.01 % 以下,提高了甲醇回收率。由于导向筛板具有推动物料在塔板上均匀稳定流动的作用,解决了含有聚醋酸乙烯高粘度物料堵塔的难题,开车 3 年来从未发生过堵塔、液泛、雾沫夹带等异常现象。具体指标见表 1。

表 1 技改前后技术指标对比
Table 1 Comparison of the technical data before and after innovation

	投料量 F / $(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$	塔顶甲醇		塔釜残液甲醇 组成 $x_W/\%$	R	塔压降 P / MPa	抗堵性
		组成 $x_D/\%$	比活度 t/s				
技改前	3 000	99.5	570	0.05	4.25	0.03	不好
技改后	8 100	99.9	530 ~ 550	0.01	1.8	0.015 ~ 0.02	好

3 导向筛板改造后的经济效益分析

- (1) 节能 由于导向筛板塔板效率高,使回流比由原来的 4.25 降为 1.8,节能 47 %,每年可节省蒸汽 1.22 万 t,以每 t 工业蒸汽 60 元计,折合人民币约 73.2 万元/年。
- (2) 节水 节能的同时也节省了冷却水,技改后每年节省冷却水 88 万 t,以 0.1 元/t 计,则每年节水带来经济效益约为 8.8 万元。
- (3) 减少甲醇排放 技改后塔釜甲醇含量由原来的 0.05 % 降为 0.01 %,每年可多回收甲醇 69.6 t,以 1 800 元/t 计,约合每年节省 12.5 万元。
- (4) 节省操作费用 由于变两塔操作为一塔操作,节省原回收三塔的维修费和部分操作费用,每年带来经济效益 8 万元。
- (5) 提高产品质量 使后续的聚合反应顺利进行,每年带来综合经济效益 50 万元。
- (6) 提高产量 打通了生产瓶颈,提高了聚合三塔的生产能力和产品产量,生产能力由原来的年产

聚乙烯醇 8 600 t 提高到 9 800 t,每年带来综合经济效益 120 万元。

4 结 论

- (1) 通过计算机模拟计算,得出甲醇精馏塔的优化改造方案为 $R = 1.8$ 、 $N = 29$ 块。
- (2) 采用新型高效导向筛板对原筛板塔板进行技改后,塔的生产能力提高 170 %,能耗降低 47 %,甲醇产品组成由 99.5 % 提高到 99.9 %,同时降低了原料消耗和环境污染。
- (3) 技改的设备投资约为 5 万元,每年由扩产、节能、降耗等带来经济效益为 272.5 万元,技术改造在技术经济上是十分合理的。

符 号 说 明

- c_0 ——孔流系数
 u_0 ——筛孔气速, m/s
 F_0 ——空塔动能因子, m/s
 s ——筛孔阻力系数

h_{DF} ——导向孔阻力系数, m 液柱

f ——筛孔阻力系数

h_{DS} ——筛板压力降, m 液柱

——塔板效率

k ——导向筛板压降修正系数

ρ_l ——液体密度, kg/m^3

N ——实际塔板数, 块

ρ_v ——气体密度, kg/m^3

Q_C ——塔顶冷凝负荷, MJ/h

ϕ ——开孔率

Q_R ——塔釜热负荷, MJ/h

ϕ ——导向孔开孔率

R ——回流比

参 考 文 献

- [1] 史季芬, 叶咏恒, 周亚夫, 等. 大孔径导向筛板流体力学性能研究. 化学工程, 1980(5): 33 ~ 44
- [2] 兰州石油机械研究所编. 现代塔器技术. 北京: 烃加工出版社, 1990. 258 ~ 263
- [3] 化学工程手册编委会. 化学工程手册, 第三卷. 北京: 化学工业出版社, 1989. (13-168); (13-171)
- [4] 李群生. 导向筛板在脱醛改造中的成功应用. 化工进展, 1995(6): 38 ~ 41
- [5] 李群生. 用高效导向筛板改造甲醇旧收塔. 化工进展, 1996(4): 61 ~ 65

Application of flow-guided sieve tray to methanol distillation column technical innovation

LI Qun-sheng¹⁾ WANG Bao-hua²⁾

(1) College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2) Beijing University of Chinese Medicine and Pharmacology, Beijing 100029, China)

Abstract: In the technical innovation of methanol distillation column, the computer was used to simulate the process, and an optimized distillation technical innovation strategy and the reliable vapor and liquid loads were obtained. After the new type, high efficiency flow-guided sieve tray was applied, the product capacity was increased by 170 %, and the energy consumption was decreased by about 47 %. The methanol product's concentration was increased from 99.5 % to 99.9 % and its recovery rate was raised also. The equipment investment for the innovation is RMB 50 000 but the annual benefit increased is about RMB 2.725 million.

Key words: methanol; computer simulation; distillation; flow-guided sieve tray

本刊自 2002 年起改为双月刊

《北京化工大学学报》自 1974 年创刊、1988 年公开发行人以来,在学校的大力支持下,经广大作者及历届编辑的努力,办刊水平及刊物质量已有了显著提高,曾多次获得部级及全国优秀科技期刊奖,一直列为《Chemical Abstracts》、《EI Page One》、《中国科学引文数据库》、《中国化学化工文摘》等多家文摘的期刊源。目前学报稿源丰富,来稿质量明显提高。为了更好地满足国内外同行交流的需要、及时报道我校的科研成果,学校决定从明年起,我刊由季刊改为双月刊,出版时间为双月下旬。

(学报编辑部)