

网角塔板流体力学和传质性能的研究 及在酒精精馏中的应用

朱 完* 钱加林** 沈文豪 王守恒

(上海科学技术大学, 上海)

摘 要

网角塔板是一种以压延金属板网为面板,以角钢塔板为底盘,重叠而成的复合塔板。从流体力学、乙醇-水二元系精馏及水-空气-氨吸收试验的结果表明,该塔板具有压降低、操作弹性宽、分离效率高、结构简单等优点。网角塔板应用于酒精精馏的实际生产已取得令人满意的结果。

一、引 言

网角塔板借鉴了Perform塔板^[1]及Steel Angle塔板^[2]之优点,以压延金属板网为面板,以若干条角钢并列排作底板为底盘,上下两部分重叠而成的一种新型复合塔板。金属板网剪拼成若干区域,相邻两部分的气流方向互成90°夹角,见图1。角钢底盘结构见图2。网角塔板的降液管设计成悬挂式,它的下端距离板网约100mm,降液管面积约为塔截面的6.5%。为了深入研究网角塔板的流体力学特性和传质性能,作者在 $\phi 250$ 的有机玻璃塔内,分别对堰高为30mm和50mm;板网开孔率为26%、39%、52%;以及角钢缝隙率为8.8%、12.8%等各种结构参数下的网角塔板,在空塔气相动能因子 F 为0.6—2.5 (m/s) $\sqrt{\text{kg/m}^3}$,以及液相喷淋密度为10—60 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 等操作条件范围内,进行了流体力学试验,测定了板压降、漏液

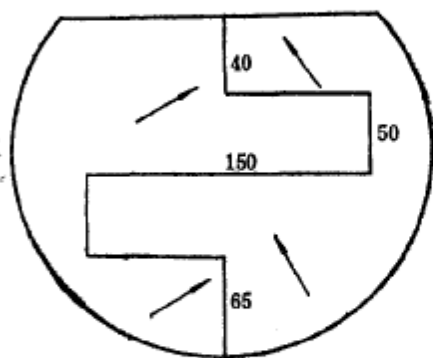


图1 金属板网结构示意图

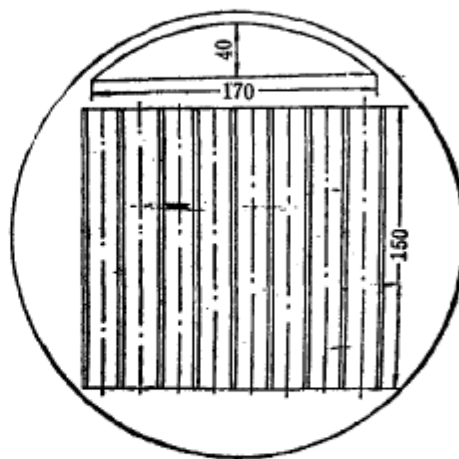


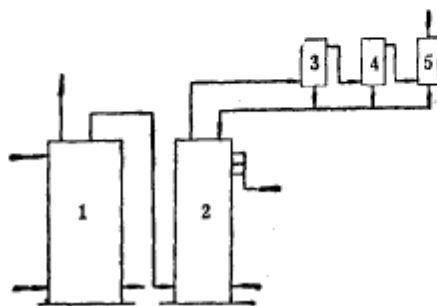
图2 角钢底盘结构示意图

1988-11-09收到初稿, 1989-05-08收到修改稿。

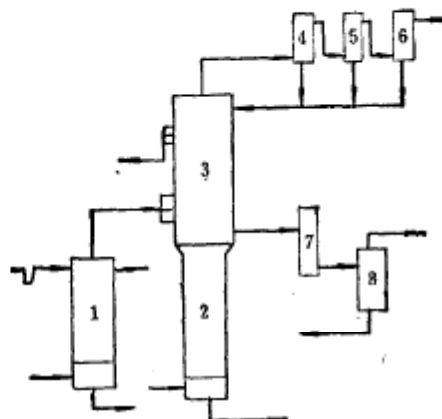
*通讯联系人。

**现在北京化工学院化工系工作。

量、雾沫夹带量、板上清液层高度,并关联出计算公式。作者还在 $\phi 257$ 的不锈钢塔中,以角钢缝隙率为8.39%的角钢底板为底盘,分别对堰高为30和50mm,板网开孔率为32.5%和17.45%的网角塔板进行了全回流常压乙醇-水精馏试验,测定了热模板压降、单板效率、全塔效率,并计算了网角塔板的处理能力和操作弹性。另外,在 $\phi 250$ 有机玻璃塔内对堰高为50mm,喷淋密度为 $40\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,角钢底盘缝隙率为12.8%而板网开孔率分别为26%和39%的二种网角塔板,进行了氨-水-空气三元系的吸收性能试验,测定了吸收单板效率与空塔气速关系。为了检验网角塔板在大生产中是否能与实验所得性能基本相仿,是否能在大生产实际中进行推广,作者结合上海酒精总厂现有的三塔连续精馏制取Ⅱ级酒精的生产设备和工艺流程,将原来的一台 $\phi 1000$ 斜孔精馏塔改装成网角塔板精馏塔,并为原来的一台 $\phi 1000$ 泡罩精馏塔设计配置了一台 $\phi 700$ 的网角塔板脱水塔,希望能在此基础上生产出Ⅱ级酒精,并在大生产中实测网角塔板的单板效率,单板压降及分离性能,生产流程见图3和图4。

图3 $\phi 1000$ 网角塔板精馏塔生产流程图

1— $\phi 1900$ 泡罩式初馏塔; 2— $\phi 1000$ 网角塔板精馏塔, 塔板43块, 板间距240mm; 3, 4, 5—塔顶冷凝器

图4 $\phi 700$ 网角塔板脱水塔生产流程图

1— $\phi 1800$ 泡罩初馏塔, 塔板17块, 板间距190mm;
2— $\phi 700$ 网角塔板脱水塔提馏段16块板, 板间距240mm;
3— $\phi 1000$ 泡罩精馏塔48块板, 板间距200mm;
4, 5, 6—塔顶冷凝器; 7—换热器; 8—油水分离器

二、网角塔板流体力学试验结果

1. 板压降

本文测定了在不同喷淋密度下, 塔板压降 ΔP 与空塔动能因子 F 的关系, 部分实验结果见图5和图6。对实验数据采用多元线性回归的方法, 得到下述压降关联公式:

(1) 转折点前

$$L=30-60$$

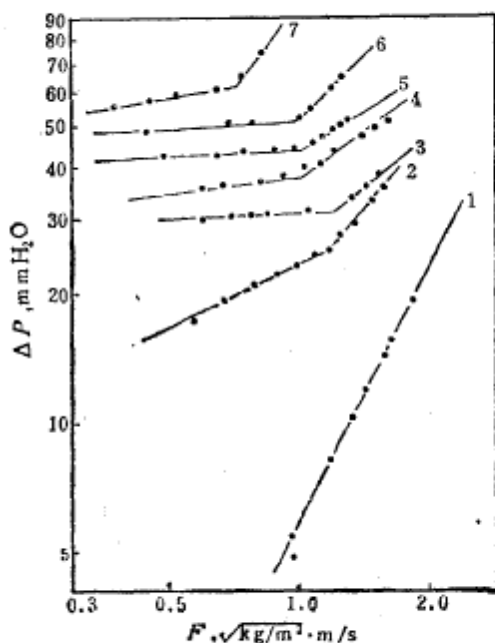
$$\Delta P = 241.718 L^{0.481} h_w^{0.327} \varphi^{-0.172} \phi^{-0.766} \quad (1)$$

平均误差为3.8%。

$$L=10-20$$

$$\Delta P = 218.763 F^{0.307} L^{0.412} h_w^{0.524} \varphi^{-0.223} \phi^{-0.94} \quad (2)$$

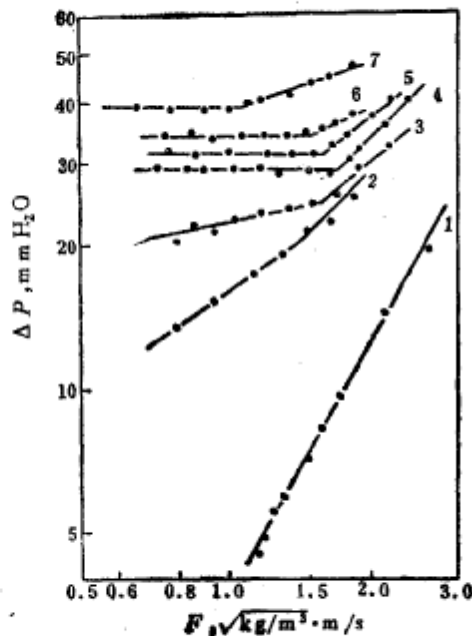
平均误差为5.2%。

图 5 塔板压降 ($\phi=8.8\%$, $\varphi=39\%$, $h_w=30\text{mm}$)

$L, \text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$: 1—0; 2—10; 3—20;

4—30; 5—40; 6—50; 7—60

$1\text{mmH}_2\text{O}=9.81\text{Pa}$

图 6 塔板压降 ($\phi=12.8\%$, $\varphi=39\%$, $h_w=30\text{mm}$)

$L, \text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$: 1—0; 2—10; 3—20;

4—30; 5—40; 6—50; 7—60

$1\text{mmH}_2\text{O}=9.81\text{Pa}$

(2) 转折点后

$$L=10-60$$

$$\Delta P = 717.209 F^{0.151} L^{0.334} h_w^{0.252} \varphi^{-0.198} \phi^{-0.831} \quad (3)$$

平均误差为7.3%。

2. 雾沫夹带和上限气速

由于板网切孔的斜喷作用以及上一板的角钢底盘对上升液滴的挡沫作用,使网角塔板雾沫夹带量大大减少提高了上限气速。在本文实验范围内,在达到液泛之前,网角塔板雾沫夹带量小于2%,见图7。若定义 $\Delta P-F$ 曲线的转折点为上限气速^[3],则有上限气速关联式

$$L=10-60$$

$$F_{up} = -1.549 + 0.0332L - 0.00051L^2 + 0.0135\varphi + 0.131h_w + 0.145\phi \quad (4)$$

平均误差为6.6%。

3. 漏液量和下限气速

由于角钢底盘的托液作用,使网角塔板的漏液量减小,降低了操作下限气速。在不同的喷淋密度下,漏液量与 F 的关系,见图8。若定义漏液量 $q=10\%$ 为漏液点,该点气速定义为操作下限气速则有下列气速关联公式

$$L=10-60$$

$$F_{DM} = 0.0315 L^{-0.155} h_w^{0.226} \varphi^{0.205} \phi^{0.921} \quad (5)$$

平均误差为4.9%。

4. 板上清液层高度

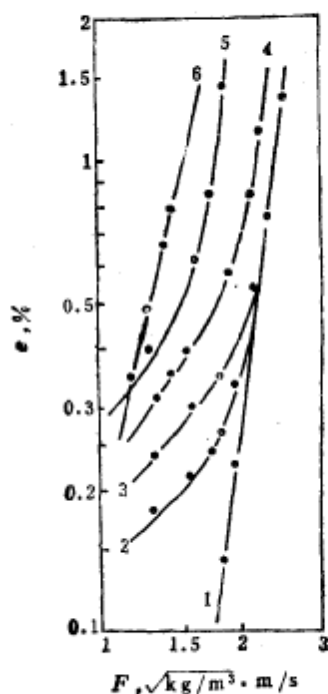


图7 雾沫夹带与空塔动能因子关系
($\phi=12.8\%$, $\varphi=26\%$, $h_w=50\text{mm}$)

$L, \text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$: 1—10; 2—20; 3—30; 4—40;
5—50; 6—60

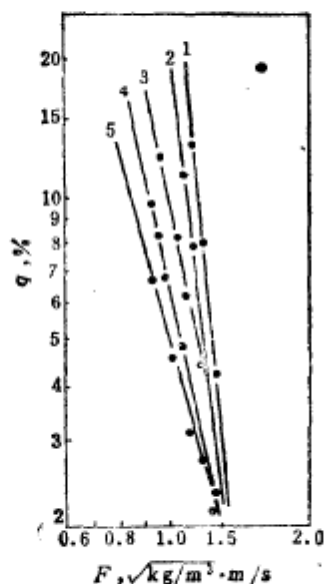


图8 漏液量与空塔动能因子关系
($\phi=12.8\%$, $\varphi=39\%$, $h_w=50\text{mm}$)

$L, \text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$: 1—10; 2—20; 3—30;
4—40; 5—60

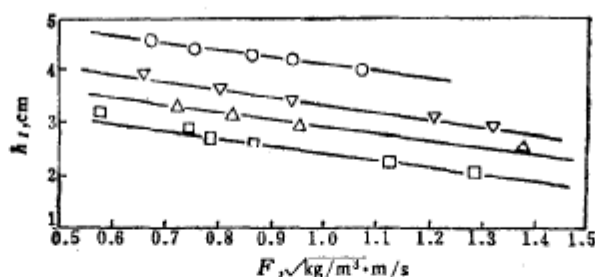


图9 清液层高度与空塔动能因子关系 ($\phi=8.8\%$, $\varphi=26\%$, $h_w=30\text{mm}$)

○ $L=60\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; ▽ $L=50\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; △ $L=40\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; □ $L=20\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

实验数据见图9, 从图可关联出清液层高度计算公式:

$$L=20-60$$

$$h_t = 2.339 - 1.526F + 0.0312L + 0.0262h_w + 0.00713\varphi \quad (6)$$

平均误差7.7%。

三、网角塔板分离效率试验结果

1. 精馏效率

在常压, 全回流下, 用乙醇-水二元系作精馏实验, 测定了网角塔板的单板效率和全塔

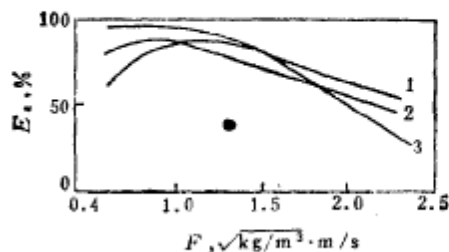


图 10 网角塔板单板效率 E_s 与空塔动能因子 F 关系($h_w=50\text{mm}$)

1— $\phi=8.39\%$, $\varphi=17.45\%$;
2— $\phi=8.39\%$, $\varphi=32.50\%$;
3—角钢底盘, $\phi=8.39\%$

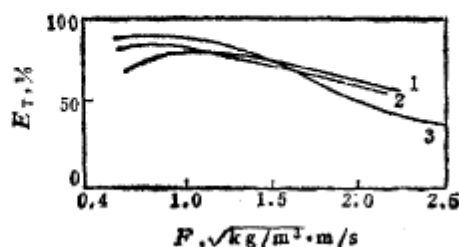


图 11 网角塔板全塔效率 E_T 与空塔动能因子 F 关系($h_w=50\text{mm}$)

1— $\phi=8.39\%$, $\varphi=17.45\%$;
2— $\phi=8.39\%$, $\varphi=32.50\%$;
3—角钢底盘, $\phi=8.39\%$

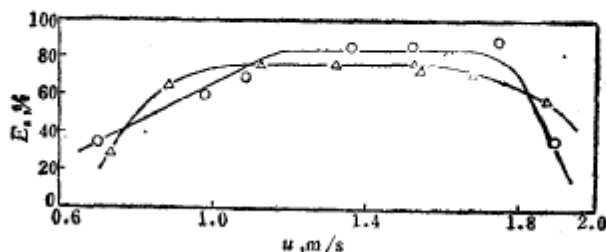


图 12 网角塔板吸收效率曲线[$h_w=50\text{mm}$, $L=40\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

○ $\phi=12.8\%$, $\varphi=26\%$;
△ $\phi=12.8\%$, $\varphi=39\%$

效率与 F 的关系曲线, 分别见图10和图11。

2. 吸收效率

以氨-水-空气三元系作吸收试验, 测定了网角塔板的单板吸收效率与 F 关系, 见图12。

3. 处理能力和操作弹性

若以85%泛点负荷时的 F 因子数值作为塔板处理能力大小的标志, 则网角塔板的处理能力为1.78, 与角钢底盘相同。若以85%泛点负荷时的板效率 $\pm 15\%$ 所对应的 F 因子数值变化范围来衡量塔板负荷能力大小^[4], 则网角塔板在精馏时操作弹性为1.52, 在吸收时操作弹性为2.10。

四、网角塔板在酒精精馏中的应用

1. 网角塔板结构参数及设计要求

网角脱水塔 $\phi 700$, 板间距240mm, 共16块板, 总高5m, 角钢缝隙率8.64%, 板网开孔率23.1%, 网孔夹角 170° , 进口堰高35mm, 出口堰高25mm, 生产能力15t/d, 进料浓度40%, 成品浓度 $\geq 95\%$, 质量 $\geq \text{II}$ 级, 废液浓度 $\leq 3\%$, 单板效率 $> 60\%$, 单板压降441.45Pa。

网角精馏塔 $\phi 1000$, 板间距240mm, 共43块板, 总高约13m, 生产能力30t/d, 其余控制

工艺要求同脱水塔。

2. 生产能力、单板压降和单板效率测定

根据大生产实际测定, $\phi 1000$ 及 $\phi 700$ 二台网角塔均达到设计生产能力, 在生产允许范围内, 人为调节负荷能力, 在不影响各道工序情况下, 操作弹性可达3以上(以试验中的最大生产量与最小生产量的比值表示), 单板压降平均为362.97Pa, 脱水塔单板效率达93%以上, 精馏塔单板效率也达83%以上, 废液酒精浓度测定值为0%。

3. 产品酒精质量测定值

在三种不同的生产能力下, 作者测定了成品酒精质量, 安装了网角塔板后, 成品酒精由原来的Ⅱ级品上升到Ⅰ级品, 见表1。

表 三种生产量负荷下酒精成品质量分析结果

	成品酒精浓度	氧化试验, 分	杂醇油, %	甲醇, %	酸, %	色度号
Ⅰ级标准	≥ 95	≥ 2	0.040	0.25	0.0020	≤ 10
Ⅱ级标准	≥ 95	≥ 15	0.010	0.16	0.0020	≤ 10
最大生产量	95.36	15' 20"	0.005	< 0.15	0.00144	7
最小生产量	96.10	22'	< 0.005	< 0.10	0.00108	4
设计生产量	95.67	17' 20"	< 0.005	0.12	0.00108	4

4. 网角塔板技术经济分析

根据网角塔板承造单位——山东肥城轻工机械厂, 在由轻工部主持的网角塔板技术鉴定会上提出的技术经济分析报告, 网角塔板与普通常用的板型比较有下列显著优点:

- (1) 加工工时降低40%;
- (2) 整塔材料消耗降低20%;
- (3) 板材料损耗降低15%;
- (4) 加工动力消耗降低40%;
- (5) 塔总重降低35%;
- (6) 生产成本降低15%以上。

五、结 论

网角塔板的流体力学及传质性能的试验结果表明, 网角塔板是一种压降低、操作弹性宽、分离效率高、加工方便、成本低廉的新型塔板。网角塔板在大生产中的实际运行也表明, 网角塔板能适应化工生产, 并具有良好的分离特性和操作性能。因此, 网角塔板是一种具有进一步研究、开发、推广、应用价值的新型塔板。

符 号 说 明

E_s ——单板效率, %

E_T ——全塔效率, %

e ——雾沫夹带量, kg水/kg气

F ——气相空塔动能因子, $\sqrt{\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m}/\text{s}}$

F_{LM} ——下限气速, $\sqrt{\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m}/\text{s}}$

F_{UP} ——上限气速, $\sqrt{\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m}/\text{s}}$

h_1 ——板上清液层高度, cm

h_w ——堰高, mm

L ——液相喷淋密度, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

ΔP ——板压降, mmH₂O或Pa

q ——漏液量, %

u ——空塔气速, m/s

ϕ ——角钢缝隙率, %

φ ——板网开孔率, %

参 考 文 献

- [1] Ishikawajima Harima Heavy Ind. Co. Ltd(Japan) *Chem. Eng.*, 82(2)62(1975).
[2] Hoppe, K. and Robinson, W. L., *Chem. Techn.*, 21(9)536(1969).
[3] Clay, H. A. Harry, N. and Davy, H., *C. E. P.*, 62(1)51(1966).
[4] 张志群, 姜庆泉, 徐孝嗣, 化工炼油机械, 12(3)6(1983).

Hydrodynamics and Rectification Experiments of Perforangle Plate and Its Application to Alcohol Production

Zhu Xian, Qian Jielin, Shen Wenhao and Wang Shouheng

(Shanghai University of Science and Technology, Shanghai)

Abstract

The perforangle plate is a compound column plate composed of perforated plate and angle plate. The hydrodynamics experiments were conducted for the combinations of weir heights of 30mm and 50mm, perforated plate aperture of 26%, 39%, 52% and angle plate aperture of 8.8%, 12.8% in a plexiglass tower 250mm in diameter. The $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ -air absorption experiments were also conducted in this apparatus. The rectification for ethanol-water system at infinite reflux, was performed under atmospheric pressure for the combinations of weir heights of 30mm and 50mm, and perforated plate aperture of 32.5%, 17.45% and angle plate aperture 8.39% in a stainless steel tower 257mm in diameter. Some useful equations for engineering design were obtained. The advantages of high separation efficiency, low pressure drop and wide operation range of perforangle plate have been confirmed by alcohol production.