

新挡板塔盘的研究

L 角钢挡板角钢塔盘的流体力学性能

林新波 郑为国*

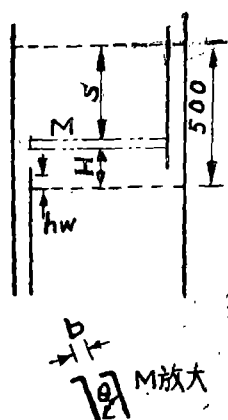
(化工与生化工程系)

摘 要

本文提出由 $L 20 \times 20 \times 3$ 、缝宽 $b = 5\text{mm}$ 的角钢塔板为基板, 在其上某一高度置一 L 角钢挡板的新型 L 角钢挡板角钢塔盘, 并对其流体力学性能进行研究, 得到一些流体力学关联式, 如干板压降、湿板压降、雾沫夹带、漏液量等。

本文在大开孔率筛板为基板、在其上某一高度置一 $L 32 \times 12 \times 1.5$ 的 L 角钢挡板组成的 L 角钢挡板塔盘研究^[1]的基础上, 结合角钢塔板的特点^[2, 3], 提出一种新的挡板塔盘结构——以 $L 20 \times 20 \times 3$ 、缝宽 $b = 5\text{mm}$ 的角钢塔板为基板在其上某一高度置一 $L 32 \times 12 \times 1.5$ L 角钢挡板角钢塔盘, 并对其流体力学性能进行研究。

实验在 $600 \times 300\text{mm}$ 的矩形塔内进行, 实验装置、流程和试验方法已在文^[1]介绍, 介质为空气水。该塔盘的尺寸如图1所示。



基板—— $L 20 \times 20 \times 3$, 缝宽 $b = 5\text{mm}$, 开孔率 $\alpha = 10.7\%$;
挡板—— $L 32 \times 12 \times 1.5$, 缝宽 $b = 17\text{mm}$, 角钢张角 $\theta = 67^\circ$, 角钢
间距 $t = 32\text{mm}$;
挡板高 H ——125、140、160mm;
堰高 h_w ——30、50、70mm。

图1 L角钢挡板角钢塔盘示意图

本文1985年11月25日收到。

•参加本实验的还有张祖鹏林仪智。

实验条件:

液流强度 $L = 5、10、15、20 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}$ 堰长;有效空塔气速 $W_0 = 1.3 \sim 2.9 \text{ m/S}$.

通过塔节前透明的有机玻璃视镜可清楚地看到塔盘上气液两相接触的操作工况。当 $L \geq 10 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}$ 时随气速增大漏液逐渐减小, 气速增大到 $\sim 1.85 \text{ m/S}$ 时漏液停止, 基板上出现以气相为分散相的泡沫状态, 挡板上呈喷射状态有一高约 $300 \sim 350 \text{ mm}$ 的细雾滴流化床, 增加了塔盘的有效传质区、气液接触面积大其表面不断更新有利于传质。对于 $L < 9 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}$ 、气速较大时基板上出现喷射状态。

下面逐一讨论其流体力学性能。

一、塔盘压降

塔盘压降是一板式塔的重要流体力学性能。气流通过该塔盘基板角钢间的八字形通道从具有圆滑的条状缝隙进入塔盘, 流道的形状比筛板有显著改善。图2表示该塔盘与相同开孔率 $\alpha = 10.9\%$ 筛板为基板的 L 角钢挡板塔盘压降的比较, 可知其塔盘压降较小。

表1给出了 $L = 30 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}$ 、 $hw = 50 \text{ mm}$ 时加挡板与不加挡板的角钢塔盘压降的比较, 两者相差 $1 \sim 3 \text{ mm}$ 水柱。

表1 加挡板与不加挡板角钢塔盘 hp 的比较
($L = 20 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}$, $hw = 50 \text{ mm}$)

液气流动参数	F_{1v}	0.131	0.14	0.157	0.165	0.181
不加挡板角钢塔 hp mm H_2O 柱		73	64	58.5	55	52.5
L 角钢挡板角钢塔盘 ($H = 140 \text{ mm}$) hp mm H_2O 柱		73.5	67	60.5	58.5	56.5

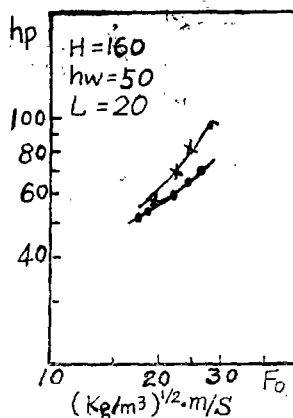


图2 与 L 角钢挡板筛板塔盘压降的比较
× 为 L 角钢挡板筛板塔盘
· 为 L 角钢挡板角钢塔盘

通过塔盘的压降不仅影响塔盘上气液操作状况, 还决定沿塔高的压力分布和全塔压降, 它关系到能耗问题。对精馏过程它影响到各塔盘的温度分布, 也影响到釜温对蒸汽所需的压力。塔盘压降与塔内气、液流量、物系的物性、角钢缝宽、基板开孔率、溢流堰高、挡板尺寸及其在基板上的高度等有关。对一定的挡板尺寸, 该塔盘压降可表示为

$$hp = f(W_0, L, \rho_g, \rho_L, \mu_g, \mu_L, d_o, h_w, H)$$

(1) 干板压降

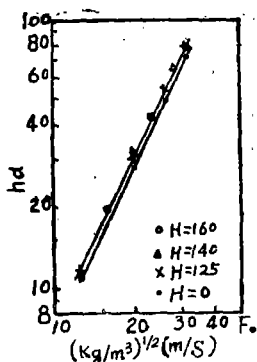
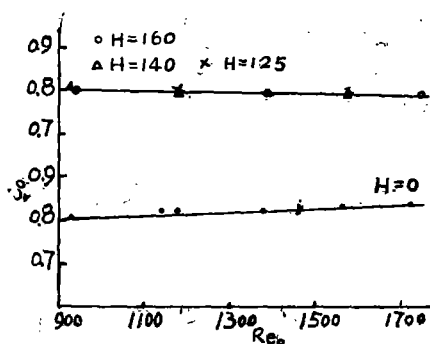
气体通过塔盘的干板压降一般按下式计算

$$h_d = \frac{1}{2g} \left(\frac{W_0}{C_0} \right)^2 \frac{\rho_g}{\rho_L} 1000 \quad \text{mm液柱} \quad (1)$$

式中阻力系数 C_0 对一定尺寸的 L 角钢挡板角钢塔盘可表示为

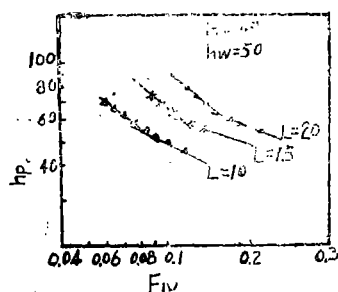
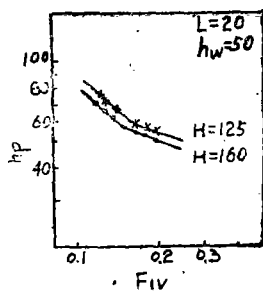
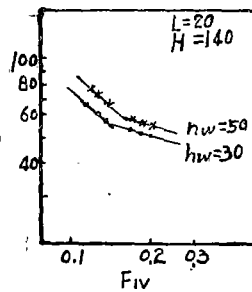
$$C_0 = KR_{e_0} \pi \left(\frac{H}{d_o} \right)^0 \quad (2)$$

将实验结果气体通过该塔盘的干板压降 h_d 与角钢气体缝速动能因子 F_0 关系表示于图 3, 干板的阻力系数 C_0 与角钢缝气速雷诺数 Re_0 的关系表示于图 4。由图可知挡板放在基板上的高度在 $\frac{H}{2B}$ 较大时它对干板压降的影响很小, Re_0 对阻力系数 C_0 的影响也很小, 所以 $C_0 = 0.8$ 为一常数。

图 3 h_d 与 F_0 的关系图 4 C_0 与 Re_0 的关系

(2) 湿板压降

湿板压降即塔盘压降 h_F 的实验数据以图 5、6、7 表示气液流动参数 F_{lv} 、液流强度 L 、溢流堰高 h_w 、挡板放在基板上的高度 H 对塔盘压降的影响。可明显地看出有一转折点, 即由塔盘基板上呈泡沫状态, 随气速增大泡沫高度增加, 当泡沫高度达挡板放在基板上的高度 $h_F = H$ 时变为塔盘基板上呈泡沫状态、挡板上呈喷射状态的转变, 我们定义为转相点。不能用一个关联式来描述两种状态的塔盘压降, 故应分成两段关联, 对空气水物系在试验范围内, 其结果表示如下:

图 5 L 不同时 h_p 与 F_{lv} 的关系图 6 H 不同时 h_p 与 F_{lv} 的关系图 7 h_w 不同时 h_p 与 F_{lv} 的关系

转相点以上

$$h_F = 2.78 h_w^{0.223} H^{0.043} L^{0.82} F_{lv}^{-0.72} \quad (3)$$

转相点以下

$$h_p = 4.14 h_w^{0.22} H^{0.046} L^{0.75} F_{lv}^{-0.82} \quad (4)$$

将式(3)、(4)联立解得转相点气液量关系式为

$$V_k = \frac{l}{0.0186} h_w^{-0.03} H^{0.03} L^{0.3} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_g}} \quad (5)$$

图7表示塔盘压降计算值 $h_{p\text{计}}$ 与实测值 $h_{p\text{实}}$ 的比较, 在实验范围内由式(3)、(4)计算的误差在5%以内。

Raper 等考察了不同状态的传质效率得出: 板效率在泡沫状态下随气速增加而有所升降在转相点附近降到最小, 在喷射状态下则随气速上升而较大幅度增加^[4]。对 L 角钢挡板塔盘为使其在适宜的流体力学状态转相点以上, 即基板上呈泡沫状态挡板上呈喷射状态下操作提高传质效果, 如图9所示。我们建议 $L \geq 10 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}$ 时以转相点气速作为操作下限。

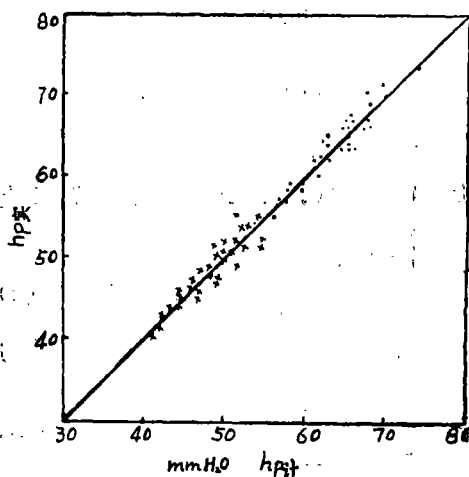


图8 $h_{p\text{计}}$ 与 $h_{p\text{实}}$ 的比较

• 为转相点以上;
× 为转相点以下。

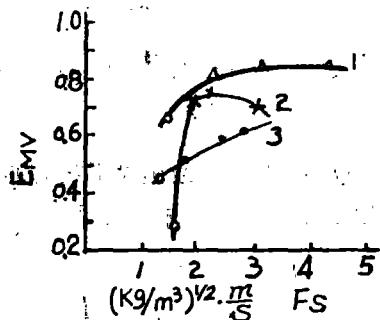


图9 E_{Mv} 与 F_s 的关系

$h_f = H$ 转相点以上

(△为环己烷正庚烷物系;

×为乙醇水物系;

• 为甲醇水物系;

○ 为表示转相点以下)。

二、雾沫夹带

当气速大时液滴被带至上一块塔盘产生雾沫夹带是纵向混合致使塔板效率下降的另一主要因素。气速操作上限一般由过量雾沫夹带或降液管液泛限制, 通常控制在雾沫夹带量 $e_v \leq 0.1 \text{ kg液/kg气}$ 并以对应的气速为气速操作上限。

如上所述, 挡板上呈喷射状态似液滴流化床, 其雾沫夹带可用液滴沉降来描述。实验测定结果如图10、11、12所示。它表明雾沫夹带量 e_v 随气速 W_o 增加而增加, 随液流强度 L 大小而变, 随分离高度 S 增加而减小。而溢流堰高度 h_w 对雾沫夹带量的影响则较小。雾沫夹带量 e_v 随液体表面张力降低而增加, 随液体密度增加而减小, 随气体密度增加而增加,

即 $e_v \propto \left(\frac{\rho_g}{\rho_L - \rho_g} \right)^{0.5} \left[\frac{\sigma}{0.073} \frac{0.017}{\mu_g} \right]^{-1.17[5]}$.

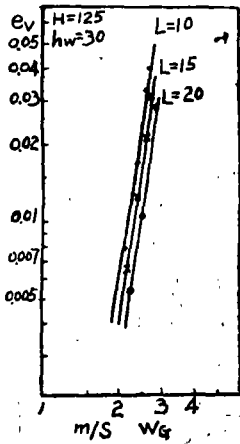


图 10 L 不同时 e_v 与 W_g 的关系

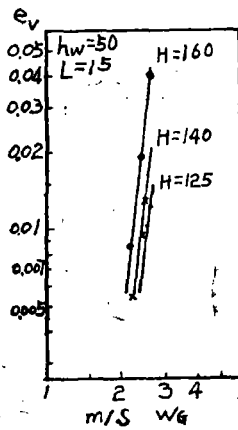


图 11 H 不同时 e_v 与 W_g 的关系

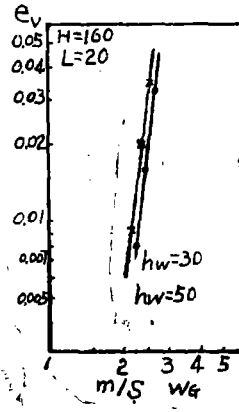


图 12 h_w 不同时 e_v 与 W_g 的关系

Henry Z. Kister 给出喷雾状态的雾沫夹带无因次数群关联式, 形式较复杂。我们依上述分析用多元回归得雾沫夹带量关联式如下:

$$e_v = 1.15 \times 10^{-5} W_g^{0.68} L^{-0.19} S^{-4.41} \left(\frac{\rho_g}{\rho_L - \rho_g} \right)^{0.5} \left(\frac{\sigma}{0.073} \frac{0.017}{\mu_g} \right)^{-1.17} h_w^{0.01} \quad (6)$$

图 13 表示雾沫夹带量计算值 $e_{v\text{计}}$ 与实测值 $e_{v\text{实}}$ 的比较, 在实验范围内由式(7)计算的

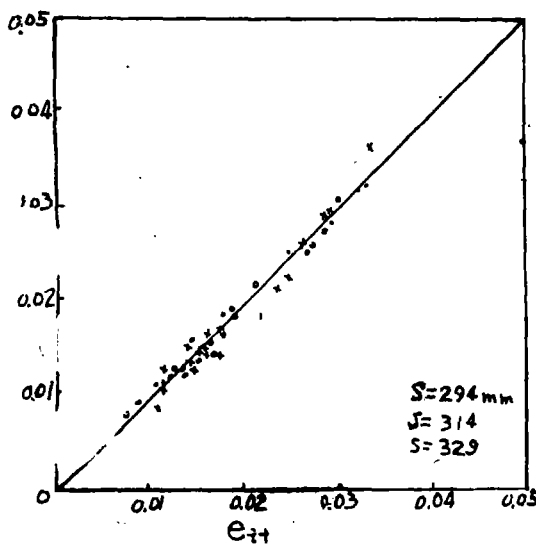


图 13 $e_{v\text{计}}$ 与 $e_{v\text{实}}$ 的比较

误差 20% 以内。

表 2 给出了加挡板与不加挡板角钢塔盘雾沫带量的比较。由表可知加 L 角钢挡板 ($L32 \times 12 \times 1.5$ $B=17\text{mm}$ $\theta=67^\circ$) 气流方向改变使液滴雾化形成细小液滴致使雾沫夹带量大大减小。

表 2 加与不加挡板角钢塔盘 e_v 的比较
($L=20\text{m}^3/\text{hr}\cdot\text{m}$ $h_w=50\text{mm}$)

有效空塔气速 w_G m/s	2.35	2.17	1.95	1.82
不加挡板角钢塔盘雾沫夹带量 e_v kg液/kg气	0.151	0.07	0.0395	0.03
L 角钢挡板角钢塔盘 ($H=140\text{mm}$) e_v	0.0116	0.007	0.0036	0.0027

如以雾沫夹带量 $e_v=0.1$ 时的气速作为气速操作上限, 将它代入上式即可求得。

三、漏 液

当气速低基板上清液层高度大于塔盘上下气体的压差、液体通过基板缝隙的阻力和克服液体表面张力引起压降之和时产生漏液。漏液是纵向返混的主要因素之一, 漏液严重将致使塔板效率下降。

根据实验影响漏液量 q 的因素有气速 W_0 、液流强度 L 、溢流堰高 h_w 、挡板放在基板上的高度 H 、物性 $((\rho_L - \rho_g)/\rho_g)^{0.5}$ 等有关, 将实验结果表示如图 14、15、16 所示。漏液量 q 与气缝速 W_0 、液流强度 L 成反比, 与溢流堰高 h_w 、挡板放在基板上的高度 H 成正比。用多元回归关联出它们之间的关联式如下:

$$q = 1.27 \times 10^6 w_0^{-7} L^{-0.085} h_w^{0.34} H^{0.08} \left(\frac{\rho_L - \rho_g}{\rho_g} \right)^{0.5} \quad (7)$$

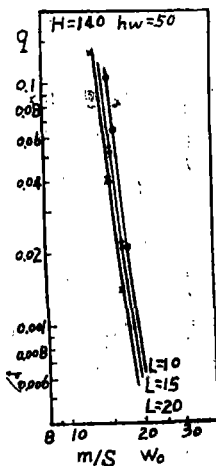


图 14 不同 L 时 q 与 W_0 的关系

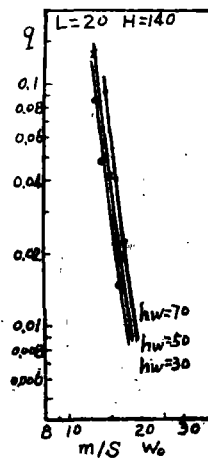


图 15 不同 h_w 时 q 与 W_0 的关系

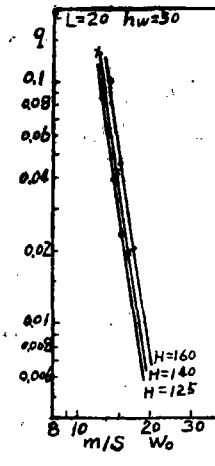


图 16 不同 H 时 q 与 W_0 的关系

图 17 表示漏液量计算值 $q_{\text{计}}$ 与实测值 $q_{\text{实}}$ 的比较, 在实验范围内由式(7)计算的误差 35% 以内。

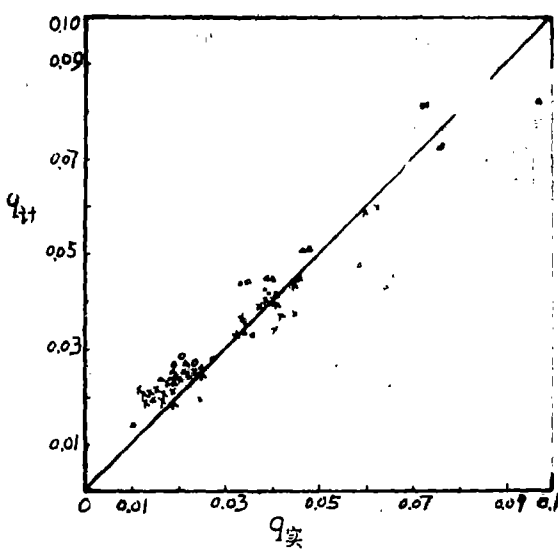


图 17 $q_{\text{计}}$ 与 $q_{\text{实}}$ 的比较

对于欲在转相点以下操作时可将漏液量 $q = 0.1$ 代入上式求得此时的气速为气速操作下限。

表 3 给出了加与不加挡板角钢塔盘漏液量的比较, 由此可见并不因加挡板而使漏液量增大。

表 3 加挡板与不加挡板角钢塔盘 q 的比较 ($L = 20 \text{ m}^2/\text{hr} \cdot \text{m}$, $h_w = 50 \text{ mm}$)

角钢塔盘气体缝速 w_0 m/s	18.2	16.8	15.6
不加挡板角钢塔盘漏液量 q kg液/kg液	0.011	0.028	0.05
L 角钢挡板角钢塔盘 ($H = 140 \text{ mm}$) q	0.0044	0.019	0.041

结 束 语

(1) 本文提出 L 角钢挡板角钢塔盘为一新型的塔盘结构, 结构简单、加工制造容易、安装方便。在基板上呈泡沫状态、挡板上呈喷射状态似一液滴流化床, 其气液接触面积大且表面不断更新, 有利于传质, 同样是它的适宜流体力学操作状态, 与 L 角钢挡板筛板塔盘比较它的塔盘压降较小, 基板的刚性大。

(2) 与不加挡板的角钢塔盘相比, 由不加挡板的不稳定不均匀腾涌式泡沫接触到基板上呈泡沫状态挡板上的稳定均匀喷射状态大面积气液接触, 以及雾沫夹带产生的纵向返混减

小,可知该塔盘的流体力学性能大大改善,气速操作上限提高传质效果好,生产能力大压降小所以是一种有推广价值和发展前途的新型塔盘可用于传热、洗涤、除尘、精馏、吸收操作。

(3)提出了该塔盘的干板压降、湿板压降、转相点、雾沫夹带、漏液等关联式。

符号

B—角钢缝宽, m; C_o —干板阻力系数; e_v —雾沫夹带量, kg液/kg气; d_e —角钢缝当量直径 $d_e = 2B$, m; F_{lv} —液气流动参数, $\frac{L_h}{V_h} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_g}}$; F_o —角钢气体缝速动能因子, $\frac{m}{S} \cdot \left(\frac{kg}{m^3}\right)^{\frac{1}{2}}$; H—挡板放在基板上的高度, m; h_w —溢流堰高, m; h_d —干板压降, mm液柱; h_p —湿板压降, mm液柱; K—系数; L—液流强度, $m^3/hr \cdot m$ 堰长; L_h —液体体积流量, m^3/hr ; q—漏液量, kg液/kg液; Re_o —角钢缝气速雷诺数; S—挡板上分离高度, m; V_h —气体体积流量, m^3/hr ; W_o 、 W_e —有效空塔、角钢缝气速, m/s; 上标n、e—指数。

参 考 文 献

- [1] 林新波等, 安徽化工, 37, 4 (1984), 19—32; 38, 2 (1985), 29—32.
- [2] 浙江大学化工原理教研组, 化学工程, 6 (1978).
- [3] 浙江大学传递工程教研室, 化学工程, 5 (1982).
- [4] J. A. Raper, N. T. Hai, W. V. Princzewski and C. J. D. Fell, I. Chem. Eng. Symposium Series, 56 (1979), 57—73.
- [5] Henry Z. Kister, W. V. Princzewski and C. J. D. Fell, Ind. & Eng. Chem. Process Des. Dev, 20, 3 (1981), 528—532.
- [6] 路秀林等, 化工学报, 3 (1980), 265—279.

Hydrodynamic of the New L-bar Baffle Tray

Lin Sinpo Zheng Weiguo

Abstract

This paper had put forward a New L-bar baffle tray, which consists of two parts—the base tray and L-bar baffle. The base tray is made of L 20×20×3 with width of slot $b=5mm$, while the L-bar baffle held the base tray with spacing height in place. The hydrodynamic of tray had been researched. Some hydrodynamic relations such as the tray pressure drop, entrainment and weeping values had been proposed.