

# 高效导向筛板塔流体力学性能研究

宋春颖<sup>1</sup> 李艳臣<sup>2</sup> 宋景伟<sup>3</sup> 李群生<sup>1\*</sup>

(北京化工大学 1. 化学工程学院; 2. 塑料机械研究所, 北京 100029;  
3. 大庆天然气分公司, 大庆 163453)

**摘要:** 在  $\phi 600$  mm 冷模塔内, 对高效导向筛板的流体力学性能进行了实验研究, 测定了  $\phi 7$  mm 高效导向筛板的压降、漏液、雾沫夹带等流体力学性能参数, 对实验数据进行了关联, 得出计算塔板压降、漏液、雾沫夹带的公式, 可供高效导向筛板设计与研究使用。

**关键词:** 高效导向筛板; 压降; 漏液; 雾沫夹带

**中图分类号:** TQ053.5

导向筛板是由美国联碳公司林德子公司在 1963 年开发的, 最先用于空气分离, 随后又在乙苯-苯乙烯系统的精馏方面取得成功, 现已广泛应用于几十种工艺。国内由北京化工大学从 70 年代初另开新路, 展开了对导向筛板的系统研究工作, 并推向全国<sup>[1]</sup>。在 80 年代初又成功地解决了邻、对位硝基氯苯的分离。在酒精生产中使用导向筛板后, 由于导向筛板的向前推动作用, 使物料均匀向前运动, 有效避免了堵塔和液泛现象, 生产能力大大提高, 产品回收率也有很大提高。

高效导向筛板与国内外同类板式塔技术相比, 在导向孔的开设上(包括导向孔的开设高度、缝宽、以及开设的密度和转角等)作了大幅度的改进<sup>[2]</sup>。与传统塔板相比, 高效导向筛板具有生产能力大, 分离效率高, 板压降低, 抗堵性能好, 塔板造价低等优点, 尤其适合高黏度物料的精馏。

高效导向筛板已在化工、化纤、石化、轻工等行业的一百多座精馏塔、吸收塔中推广应用, 在精馏、吸收、萃取等塔器的设计和技术改造中, 为企业的扩产、节能、降耗、减少化学物料排放、降低环境污染、提高产品质量和经济效益做出了巨大的贡献, 是板式塔技术改造中应用最为成功的塔型之一。

本文在冷模实验的基础上, 通过对导向筛板的流体力学实验测定, 获得高效导向筛板的基础数据,

找出合适的工艺参数及设计依据。

## 1 实验部分

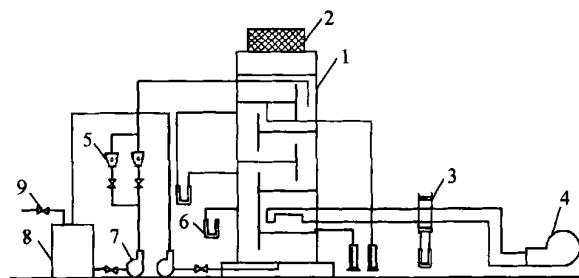
### 1.1 操作条件

实验在  $\phi 600$  mm 透明有机玻璃塔内进行, 塔内共设有四块带有弓形降液管的塔板, 中间两块为试验板, 流体力学实验采用空气-水系统, 实验塔的结构尺寸如下: 塔内径, 0.6 m; 溢流堰长, 0.37 m; 溢流堰高, 0.035 m; 塔板间距,  $H_T = 0.35$  m; 塔板厚,  $t = 0.004$  m; 筛板孔径,  $d_0 = 0.007$  m; 孔间距,  $p = 0.02$  m; 开孔率,  $\phi = 0.159$ 。

实验操作条件如下: 操作温度, 常温(20℃); 操作压力, 常压; 气相动能系数  $F_0$  为 8.55 ~ 20.65 ( $(\text{m/s})(\text{kg/m}^3)^{1/2}$ ); 液流强度范围, 2.7 ~ 21.6  $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ; 液相表面张力,  $58.1 \times 10^{-3} \sim 69.3 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ 。

### 1.2 实验流程

实验流程见图 1。



1. 塔体; 2. 丝网除沫器; 3. 孔板流量计; 4. 风机; 5. 转子流量计;  
6. 压差计; 7. 泵; 8. 水槽; 9. 阀门

图 1 实验装置流程图

Fig. 1 Scheme of the experimental equipment

收稿日期: 2003-01-16

基金项目: 中国石化总公司资助项目(N0X501021)

第一作者: 女, 1977年生, 硕士生

\* 通讯联系人

E-mail: scy522@163.com

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 干板压降

干板压降和空塔气速及孔速的关系见表 1。实验中干板压降与筛孔气速的关系如图 2 所示。

表 1 干板压降和空塔气速及孔速的关系

Table 1 Relations between pressure drop of a dry plate, air velocity and hole velocity

序号	导向筛板(φ7 mm)		
	空塔气速/(m/s)	孔速/(m/s)	干板压降/Pa
1	0.80	8.90	65
2	0.89	9.95	75
3	1.05	11.77	100
4	1.13	12.58	110
5	1.26	14.07	125
6	1.38	15.41	150
7	1.49	16.64	170
8	1.59	17.80	190
9	1.69	18.87	210
10	1.78	19.90	230

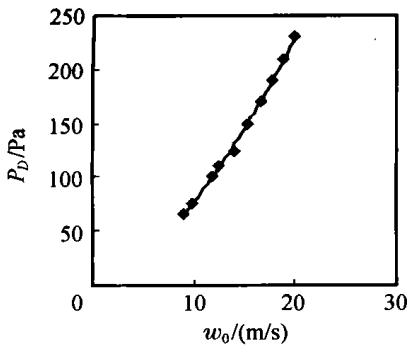


图 2 筛孔气速与干板压降的关系

Fig. 2 Relations between hole air velocity and dry-plate pressure drop

为了分析和计算导向孔对干板压降的影响,在相同条件下分别测定了单个导向孔与单个筛孔的阻力因子<sup>[3]</sup>,其中筛孔阻力因子  $\lambda_1 = 2.02$ ;导向孔阻力因子  $\lambda_2 = 1.54$ 。

可见导向孔的阻力因子比筛孔阻力因子小。由此,按气体流过同一层塔板上的导向孔和筛孔压降相等的原理可推导出修正系数  $K$ ,用来校正导向筛板干板压降按普通筛板关联式计算所引起的偏差

$$K = (1 + 0.145 \lambda_1 / \lambda_2)^{-2} \quad (1)$$

式中:  $\lambda_1$  为筛孔阻力因子,  $\lambda_2$  为导向孔阻力因子,  $\lambda_1 / \lambda_2$  为筛孔与导向孔阻力因子之比,本实验中没有对导向孔的

阻力因子进行测定,在此沿用此公式关联后得到高效导向筛板干板压降计算式

$$p_D = 0.0664 w_0^2 \quad (2)$$

式中:  $p_D$  为干板压强降, Pa;  $w_0$  为筛孔气速, m/s。

### 2.2 湿板压降

近十多年来,许多研究者建立了计算筛板塔压强降  $p_T$ ,清液高度  $Z_c$ ,泡沫高度  $h_f$  等流体力学参数的回归方程<sup>[4]</sup>。这种关联方法考虑到气、液负荷,堰高等主要操作和结构参数对流体力学性能的综合影响,可以反映操作塔板的流体力学状况,物理意义明确,比充气系数法合理。此外还具有便于计算机计算的优点。本文也用此法来关联试验塔板的湿板压降  $p_T$ (表 2)。

表 2 干板压降实测值与计算值比较

Table 2 Comparison of the measured and calculated results of the dry-plate pressure drop

孔速 /(m/s)	干板压降/Pa		相对误差/ %
	实测值	计算值	
8.90	65	52.6	- 19
9.95	75	65.7	- 12
11.77	100	92.0	- 8.0
12.58	110	105.1	- 4.4
14.07	125	131.5	5.2
15.41	150	157.8	5.2
16.64	170	184.1	8.3
17.80	190	210.4	10.7
18.87	210	236.6	12.7
19.89	230	263.0	14.3

对于一定结构的塔板,影响其湿板压降的主要因素是动能因子  $F_A$ ,液流强度  $L$ ,和堰高  $h_w$ 。图 3、图 4 为试验塔板的  $p_T$  与  $F_A^2$ ,  $p_T$  与  $L$  之间的线性关系。

将实验数据进行关联,得到  $p_T$  与  $F_A^2$ ,  $L$  的关系式为

$$p_T = 17.6605 F_A^2 + 13.8927 \quad (3)$$

$$p_T = 0.8299 L + 28.04 \quad (4)$$

图 5 是两种型式筛板在同一液流强度下湿板压降值的比较,图 5 中 1 代表普通筛板,2 代表高效导向筛板,可以看出高效导向筛板比普通筛板压降低 10%~30%左右,证明了高效导向筛板的优越性。

### 2.3 漏液点

在筛板塔的设计中,一般以漏液点气速作为操

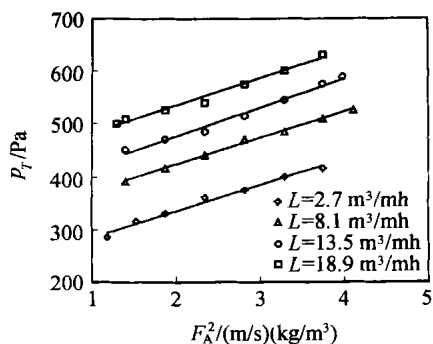


图 3  $p_T$  与  $F_A^2$  的关系

Fig. 3 Relations between  $p_T$  and  $F_A^2$

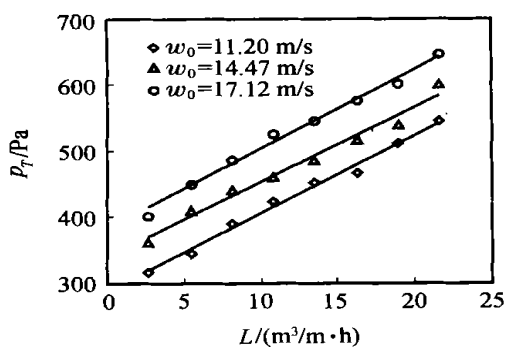


图 4  $p_T$  与  $L$  的关系

Fig. 4 Relations between  $p_T$  and  $L$

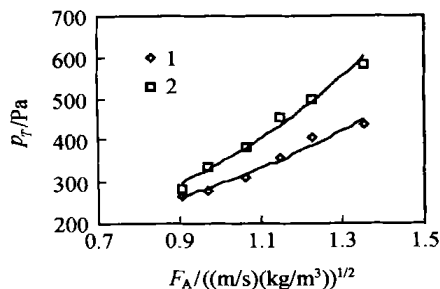


图 5 两种板型的压降比较

Fig. 5 Comparison of pressure drops of two types of tray

作气速的下限。如图 6 所示,漏液量随气速增大而迅速减少,但即使在很高的气速下,漏液也很难完全消失。由于气流的通过,液层不断地波动,每处的静压头每一瞬间都在变化着。特别是在高气速、深液层时,塔板上容易出现不同程度的晃动。这时液层在流动方向的两边有节奏地晃动,导致液层周期性地起伏以及漏液在两侧交替出现,这种现象称为“砸漏”。

从实验和文献中可得出影响泄漏的主要因素是:气速、孔径、开孔率、堰高和液流强度以及液体的

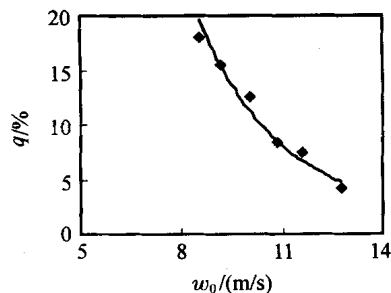


图 6 泄漏量与筛孔气速的关系

Fig. 6 Relations between leakage and hole air velocity

表面张力等<sup>[5]</sup>。把这些因素归结为液层清液高度  $Z_c$ 、干板压降  $h_D$ 、表面张力压头  $h$  的综合影响,在稳定操作条件下,只要满足下式,就会基本上停止漏液。

$$h_D + h \leq Z_c \text{ 或 } h_D + h \leq f(h_L) \quad (5)$$

本文以漏液量  $q = 10\%$  为基准,来找漏液点,以漏液点操作下的  $h_D + h$  作为计算清液深度  $h_L$  的对应关系进行关联,得直线方程为

$$h_D = 3.67 \times 10^{-3} + 0.09 h_L - h \quad (6)$$

式中:  $h = 4 / 9.81 L d_0$ , 为液体表面张力,  $L$  为液体黏度,  $d_0$  为筛孔孔径。

$h_D$  为高效导向筛板漏液点的干板压降,代入干板压降计算式即可算出漏液点气速  $W_{0M}$ 。

### 2.4 雾沫夹带

一般认为雾沫夹带的形成有两种机理:一是由于气流的曳带作用。气泡在泡沫层表面破裂形成许多液沫,由于气流向上运动相对摩擦,较小的液沫被曳带上升。这种夹带主要和空塔气速以及有效分离空间有关;另一是在气速增大和液层减薄时,气流把液体分散成细微的液滴,并给予一个初速度形成喷射或飞溅夹带。这种雾沫夹带主要受气流孔速和液层深度影响。

本文以每 100 kg 上升空气中夹带多少水来表征雾沫夹带量  $e$ 。实验中测定的雾沫夹带量与筛孔气速和液流强度的关系如图 7、图 8 所示。由图可以看出:1) 雾沫夹带随气速增大而增大,这里起决定作用的是孔速。孔速增大,强化了喷射和飞溅夹带;2) 雾沫夹带随液流强度的减小而增加,因为板上的清液深度减薄,喷射加激,飞溅夹带增加。

### 3 结 论

(1) 高效导向筛板较同参数的筛板压降平均低 10% ~ 30% 左右,高效导向筛板具有压降低的优点。

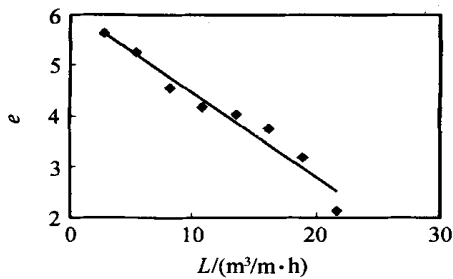


图 7 雾沫夹带量与液流强度的关系

Fig. 7 Relations between entrainment and liquid intensity

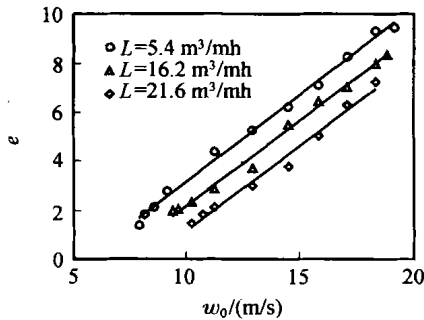


图 8 雾沫夹带量与筛孔气速的关系

Fig. 8 Relations between entrainment and hole air velocity

(2) 高效导向筛板漏液量随筛孔气速的增加而显著降低, 漏液点按(6)式计算。

(3) 高效导向筛板雾沫夹带量随筛孔气速的增加而降低, 随液流强度的增加而减小。

致谢: 北京化工大学研究生王爱军、毛明华参加了部分实验工作, 在此表示感谢!

### 参 考 文 献

- [1] 化学工程手册编委会. 化学工程手册(第三卷)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989
- [2] 李群生, 张泽廷, 邱顺恩, 等. 高黏度物料精馏的研究与应用[J]. 化工进展, 2001, 20(5): 32 - 35
- [3] 宋春颖, 李群生, 张泽廷. 高效导向筛板及填料在乙酸乙烯-乙酸甲酯精馏技改中的研究与应用[J]. 化工进展, 2001, 20(12): 36 - 38, 42
- [4] 李群生, 王宝华, 宋春颖. 精馏-结晶联合分离法分离挥发度相近物系[J]. 化工进展, 2002, 21(6): 402 - 403, 409
- [5] 李群生, 王宝华. 用高效导向筛板对聚合一塔的改造[J]. 现代化工, 2001, 21(10): 38 - 41

## Hydrodynamic performances of flow-guided sieve tray with high efficiency

Song Chun-ying<sup>1</sup> Li Yan-chen<sup>2</sup> Song Jing-wei<sup>3</sup> Li Qun-sheng<sup>1</sup>

(1. College of Chemical Engineering; 2. Institute of Plastic and Mechanism, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 3. Daqing Oil Field Natural Gas Company, Daqing 163453, China)

**Abstract:** The hydrodynamic performances of a flow-guided sieve tray were systematically investigated in a test column of 600 mm in diameter. The hydrodynamic parameters of sieve tray with holes of 7 mm in diameter were determined. A set of correlations of the experimental data is obtained for calculation of the pressure drop of the tray, and can be used for design and research of flow-guided sieve trays with high efficiency.

**Key words:** flow-guided sieve tray with high efficiency; pressure drop; leakage; entrainment

(责任编辑 云志学)