

# 新型丝网波纹填料的流体力学特性研究

周 媛 李群生\* 张泽廷  
(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

**摘 要:** 对北京化工大学设计的 BHS- 新型丝网波纹填料进行了流体力学性能研究。应用空气-水系统,在  $\phi 500$  mm 的有机玻璃塔中进行实验。测定了此填料在不同气液负荷下的填料压降和不同喷淋密度下的液泛点,并回归出了干塔压降、湿塔压降和液泛点的关联式。获得了此新型填料的基础数据,为更合理的设计填料提供依据。

**关键词:** 丝网波纹填料; 压降; 泛点; 流体力学

**中图分类号:** TQ053-5

塔填料是填料塔的核心构件,它为气液两相间热、质传递提供了有效的相界面。规整填料具有规则、均匀的填料床结构,易克服沟流、壁流、短路等非理想流动,比表面积大,能提供很大的汽液接触面积和很高的填料分离效率<sup>[1]</sup>。本文对新型丝网波纹填料的流体力学特性进行了研究,获得了此新型填料的基础数据,为更合理的设计填料提供依据。

## 1 填料研发的理论依据

BHS- 新型填料的丝网波纹线条不是传统的 X 型或 Y 型填料的直线(图 1),而是呈  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  和

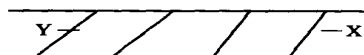


图 1 传统填料的波纹结构

Fig. 1 Structure of traditional packing

$30^\circ$  的角度顺序变化(图 2),波纹线变化连接处圆角

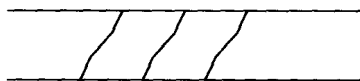


图 2 新开发的填料波纹结构

Fig. 2 Structure of novel packing

圆滑过渡。该种填料结合了 X 型和 Y 型填料的优点,并且在直线变化角度时,液体和气体受到了扰动,加大了湍动力度,增加了湍流强度,促进了液膜

表面的更新,进而增强了传质效率<sup>[2-6]</sup>。填料的特性参数见表 1。塔内的上升气体与下降液体在有如“Z”形的通道内流动,而流动方向不断改变,增加了气-液相际接触面积。填料塔内,填料盘与盘之间成  $90^\circ$  交叉排列,有利于流体分布均匀,以避免沟流。

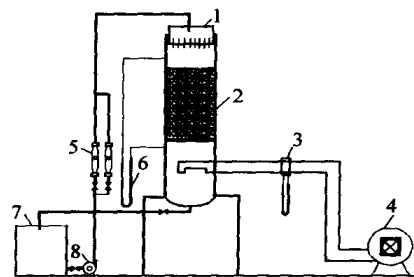
表 1 新型丝网波纹填料的几何特性参数

Table 1 Structure parameters of novel packing

型号	公称直径 /mm	比表面积 /( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )	孔隙率	峰高 /mm
BHS-	500	800	0.91	3.9

## 2 实验及实验数据处理

实验塔塔体内径 500 mm,塔顶采用盘式液体分布器。实验装置见图 3。



1. 液体分布器 2. 填料塔 3. 孔板流量计 4. 风机  
5. 转子流量计 6. U 型压差计 7. 水箱 8. 水泵

图 3 实验装置图

Fig. 3 Flow diagram of the experiment

实验采用空气-水系统,在常温常压下进行。液相负荷水由进料水泵 8 经转子流量计 5 测量后从塔顶打入填料塔 2,经过填料层后流回水箱 7。气相负荷空气由风机 4 经孔板流量计 3 测量后从塔底进入

收稿日期: 2004-09-22

基金项目: 中国石油化工股份有限公司资助项目(X504025)

第一作者: 女,1979 年生,硕士生

\*通讯联系人

E-mail: liqunshenga @263. net

填料塔 2, 经过填料层后从塔顶放空。填料层压降用 U 型管水柱压差计测量, 实验中转子流量计测得的水的流量范围是  $0 \sim 6 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

## 2.1 压力降

2.1.1 干塔压力降 本实验测得的一定喷淋密度下气体通过每米填料层的压降数据绘于图 4 中。根

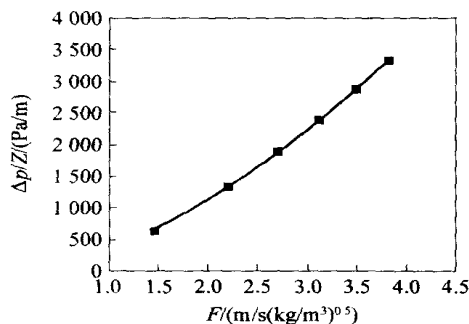


图 4 填料的干塔压降关联图

Fig. 4 Relations between  $F$  and  $p/Z$  in a dry tower

据不同喷淋密度下的  $p/Z - F$  的关系, 可以求取一定气相负荷条件下的压降, 亦可求取一定喷淋密度下的泛点气速。从图 4 可以看出, 在相同的气速条件下的压降随喷淋密度增加而增大。在同一喷淋密度下压降随气速的增大而增大。图 4 中丝网波纹填料的压降曲线为一光滑曲线, 无明显的载点和泛点。

干填料的压降, 可以按气体通过填料之间空隙时压头损失, 故可以用公式 (1) 表示<sup>[7]</sup>

$$p/Z = \left( \frac{L_e}{d_p} \right) \left( \frac{u^2}{2} \right) \quad (1)$$

式中,  $\lambda$  为摩擦因数, 与  $Re$  有关;  $u$  为空塔气速,  $\text{m/s}$ ;  $\rho$  为气相密度,  $\text{kg/m}^3$ ; 因每米填料当量长度  $L_e$  及通道的当量直径  $d_e$  较难确定, 故可以简化为公式 (2) 的形式

$$p/Z = (u\sqrt{\lambda})^c \quad (2)$$

式中,  $\lambda$  为干填料阻力因数。

关联实验数据

$$= 36.154, c = 1.661, R = 0.977$$

$$\text{即 } p/Z = 36.154 (u\sqrt{\lambda})^{1.661}$$

按照关联式代入动能因子  $F = u_G \cdot (\rho_G)^{0.5}$ , 计算所得的压降和实验测量值对比可知二者非常接近, 除低气速下有一组数据误差 5.31%, 大部分都维持在 1% 以内。

2.1.2 湿塔压力降 根据在不同的喷淋密度下塔压降随动能因子变化的实验数据作图得到图 5。

由图 5 可知同气速下随着喷淋密度的增大, 压

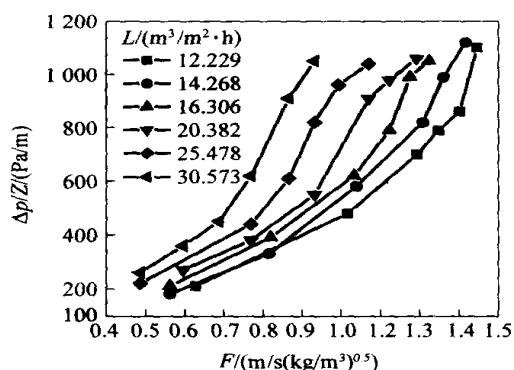


图 5 不同喷淋密度下压降随动能因子的变化

Fig. 5 Relations between  $F$  and  $p/Z$  under different liquid spray densities

降随之增大, 这是因为当气液两相逆流流动时, 填料上的液膜将占据一定的空间, 由于液膜的存在, 填料间空隙变小, 气速增加而引起压降相应增加, 因此当有液体喷淋时填料层的压降比干塔时增大, 且随着喷淋密度增大而增大。

采用 LEVA 模型<sup>[2]</sup>进行回归

$$p/Z = 10^{-L} (u_G \cdot \rho_G^{0.5}) \quad (3)$$

得到式 (3) 中参数为

$$= 27.07, \quad = 0.022, \quad = 2.416$$

$$\text{即 } p/Z = 27.07 \times 10^{0.022L} (u_G \cdot \rho_G^{0.5})^{2.416}$$

按此公式代入动能因子和喷淋密度得到塔压降的计算值。通过计算值与实验值比较可知, 绝大部分误差在 10% 以内, 与实验测量数据基本吻合 (见图 6)。

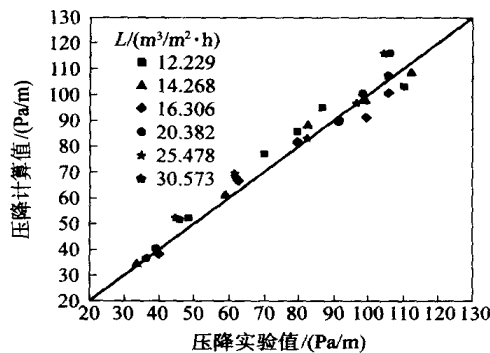


图 6 不同喷淋密度下压降实验值与计算值比较

Fig. 6 Comparison between calculated and experimental data of  $p/Z$  under different liquid spray densities

## 2.2 填料液泛点的测定与关联

图 7 是不同喷淋密度下的液泛气速与液泛时的填料压降的关系图。

液泛点气速随喷淋密度的变化关系由图 7 可以

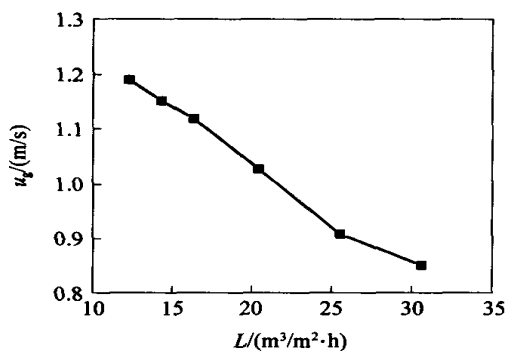


图7 液泛气速随喷淋密度变化关系

Fig. 7 Relations between velocity at liquid flooding point and liquid spray density

看出,随着喷淋密度的增大,液泛气速逐渐变小。

泛点气速,根据文献[8],可以用公式(4)对实验数据进行关联

$$Y = A + BX$$

$$\lg \left[ \frac{u_G^2}{g} \left( \frac{a}{3} \right) \left( \frac{G}{L} \right) \mu_L^{0.16} \right] = A + B \left( \frac{L}{G} \right)^{0.25}$$

$$\left( \frac{G}{L} \right)^{0.125}$$

$$\lg \left( \frac{L}{G} \right)^{0.25} \left( \frac{G}{L} \right)^{0.125} \text{ 为自变量 } X \text{ 关联可得 } A =$$

- 0.3648; B = - 5.7643; 关联因数 R = 0.988, 填料液泛点关联如图8所示。

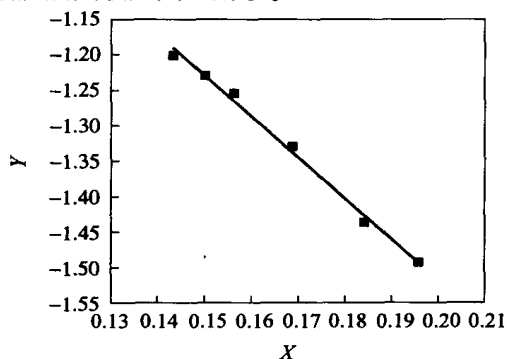


图8 填料液泛点关联图

Fig. 8 Correlation of liquid flooding points

按照关联式带入喷淋密度和填料参数,可得液泛气速的计算值,与实验值对比可以看出最大误差为1.25%,即得到的关联式能很好的预测各喷淋密度下的液泛气速。

### 3 结论

(1) 此新型丝网波纹填料的干塔压降随动能因子指数增大,通过实验数据的关联,得到了描述干塔

压降与动能因子的关联式,并将计算值和实验测定值进行了比较,结果最大误差为5.31%。

(2) 当有液体喷淋时填料层的压降比干塔时大,且随着喷淋密度增大而增大。对湿塔压降进行了关联,并将计算值和实验测定值进行了比较,其绝大部分误差在10%以内。

(3) 关联出了此填料液泛点的数学式,发现液泛气速的计算值和测定值非常吻合,最大误差为1.25%,可以较好的预测液泛气速,有助于确定填料塔的操作范围。

### 符号说明

- A, B —— 因数  
 p —— 压降, Pa  
 Z —— 填料层高度, m  
 L —— 液相密度, kg/m³  
 G —— 气相密度, kg/m³  
 u<sub>G</sub> —— 气相速率, m/s  
 L —— 液相喷淋密度, m³/(m²·h)  
 G —— 气相质量流量, kg/h  
 a, b —— 因数  
 —— 孔隙率,  
 —— 比表面积, m²/m³  
 μ<sub>L</sub> —— 液相黏度, Pa·s  
 g —— 重力加速度, m/s²

### 参考文献

- [1] 化学工业手册编委会. 化学工程手册(第三册)[M]. 北京:化学工业出版社, 1989
- [2] 张泽廷, 王树楹, 余国琮. 填料塔传质模型的研究——二维混合池随机模型[J]. 化工学报, 1989, 40(1): 53 - 59
- [3] 张泽廷, 王树楹, 余国琮. 填料塔液相混合的研究(一) 假一维扩散模型[J]. 化工学报, 1988, 39(3): 285 - 291
- [4] 张泽廷, 王树楹, 余国琮. 填料塔液相混合的研究(二) 二维扩散模型[J]. 化工学报, 1988, 39(3): 292 - 298
- [5] 姚晓敏, 李群生, 徐静年, 等. 3万t/a甲醇精馏塔的技术改造[J]. 现代化工, 2002, 22: 165 - 167
- [6] 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(12): 36 - 38
- [7] Liu Shijie. A continuum model for gas-liquid flow in packed towers[J]. Chem Eng Sci, 2001, 56: 5945 - 5953
- [8] 孙兰义, 费维扬, 国庆丰. QH-1型扁环填料用于高气液比操作时的性能研究[J]. 化学工程, 2001, 29(2): 7 - 10

(下转第19页)

- risk of cancer[J]. *A m J CLin Nutr*, 1991, (53): 251S - 259S
- [2] 李增光, 吴骥陶, 高映红. 番茄酱中番茄红素的测定[J]. *食品与发酵工业*, 1991, (2): 82 - 84
- [3] 孙庆杰, 张运涛, 肖 刚. 番茄油树脂中番茄红素的 HPLC 测定[J]. *无锡轻工大学学报*, 2001, 20(5): 506 - 509
- [4] 左爱仁, 范青生, 肖小年. 番茄红素 HPLC 测定的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2004(1): 106 - 110
- [5] Bushway R J. Separation of carotenoids in fruits and vegetables by high performance liquid chromatography[J]. *J Liquid Chromatography*, 1985(8): 1527 - 1547
- [6] 尚德军, 王军. 番茄红素研究现状与展望[J]. *检验检疫科学*, 2004, 14(2): 59 - 61

## Substitution of Sudan for lycopene and $\beta$ -carotene standard sample

ZHU Yan WANG Jian-dong YUAN Qi-peng DONG Hui-ru

(College of Life Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Lycopene is a kind of carotenoids with multi-biological functions. It easily occurs oxidation and trans-cis isomerization for lots of double bond. high performance liquid chromatography (HPLC) method needs a standard lycopene sample to confirm lycopene's retention times and content, but the standard lycopene is very expensive and can't be stored for a long time, which has limited the application of HPLC. According to the fact that Sudan has the same absorption characteristics as that of lycopene and  $\beta$ -carotene at 450 nm, a new method, using sudan I as the standard sample, was developed to analyze the content of lycopene and  $\beta$ -carotene. The residues show that the analytic error is less than 2%, which indicates that it can be used to test the content of lycopene and  $\beta$ -carotene. And a feasible equation for calculating the content was also obtained.

**Key words:** lycopene;  $\beta$ -carotene; Sudan I; HPLC

(责任编辑 云志学)

(上接第 15 页)

## The hydrodynamic performance of novel corrugated web packing

ZHOU Yuan LI Qun-sheng ZHANG Ze-ting

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The hydrodynamic performance of the novel corrugated web packing developed by Beijing University of Chemical Technology was studied. The pressure drops of the packing at different gas and liquid loads were measured with an air-water system in an organic glass tower with a diameter of 500 mm. And the liquid flooding points under different liquid spray densities were determined. The correlation between the pressure of the dry column and F and the correlation between the pressure of the wet column and the liquid flooding point were given. The experimental results will be helpful for design of a more efficient packing.

**Key words:** corrugated web packing; pressure drop; flooding point; hydrodynamic performance

(责任编辑 云志学)