

板波纹填料塔中的液体分布

张红彦¹, 王树楹², 兰仁水³

(1. 清华大学 化工系, 北京 100084; 2. 天津大学 化工研究所, 天津 300072;

3. 天津市新天进科技开发有限公司, 天津 300192)

摘要: 根据透明有机波纹填料片内染色液体流动分布的实验研究, 提出了板波纹填料塔内液体流动模型, 并对真实填料塔进行了实例计算, 所得结果对于填料塔实际操作具有指导意义。

关键词: 填料塔; 规整填料; 液体分布

中图分类号: TQ 028.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9954 (2002) 05-0011-04

填料塔中的液流分布模式, 直接关系到塔内气液两相的有效接触, 对填料塔的传质效率和操作性能有重要影响^[1-2]。如果液体分布不良, 出现沟流、短路等现象, 则会降低传质效率, 使填料塔难以发挥其正常性能。因此, 填料塔内的液体分布一直是填料塔研究的一项重要内容。从 50 年代起, 就散装填料塔, 陆续提出了多种液体分布模型, 代表性的有滴流模型^[3]、优流模型^[4]、流函数模型^[5]和结点网络衡算模型^[6]等。近年来随着一些新型高效规整填料的开发和应用, 填料塔内的液体分布情况再次引起重视。但到目前为止, 对波纹填料塔内液体流动分布的研究还较少^[7-8], 这种状况无疑不利于高效规整填料的工业应用。本文根据波纹填料的结构特点和实验研究, 建立了波纹填料塔内的液体流动分布模型, 为该类填料塔的工程 designs 提供了理论根据。

1 液体分布模型

1.1 流动机理

根据透明有机波纹填料片内染色液体流动分布的实验研究, 提出了如下流动机理:

(1) 液体以溪流方式进入流道, 在流道内迅速形成膜状分散流动。

(2) 不同流道内的液体在流道交叉点处发生混合, 按一定的比例分配后, 分成三部分继续向前流

动; 其中两股沿波纹通道继续流动, 另外一股则在重力影响下, 沿两波纹通道之间的流道向下运动。

(3) 沿向壁流道流动的液体在塔壁处发生部分反射。

(4) 在填料层下端面, 同一流道内的膜状流汇合成溪流, 并沿结点流下。同时假设, 液体不能通过波纹片上的小孔由一个填料片夹层进入另一个填料片夹层。

1.2 模型方程

1.2.1 流道编号

本文将相邻两波纹片形成的夹层视为一个流域, 以 i 表示, 通道号依次排列为: $-i_m, -i_m + 1, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, i_m - 1, i_m$ 。流道在填料片伸展方向所处的位置, 以 j 表示, 第 i 个通道内, 沿填料片伸展方向上的流道编号依次为: $-j_m(i), -j_m(i) + 2, \dots, -2, 0, 2, 4, \dots, j_m(i) - 2, j_m(i)$ 。流道在填料层内的深度, 以 k 表示。这样, 每一流道都可被唯一确定, 见图 1。

1.2.2 填料层内液体流动方程

为了计算简捷, 本模型将液体的注入抽象成液体在结点的注入, 液体的流动则抽象成液体沿填料纹棱线的流动; 本文以 L_T 表示结点处的总流量, 以 L_x 和 L_y 表示液体在左斜和右斜流道内的流量, 参见图 2。填料层中的液体流动方程由以下几部分构成。

作者简介: 张红彦 (1972—), 女, 2000 年获天津大学化工学院博士学位, 现在清华大学化工系分离教研室作博士后; 王树楹, 通讯联系人。

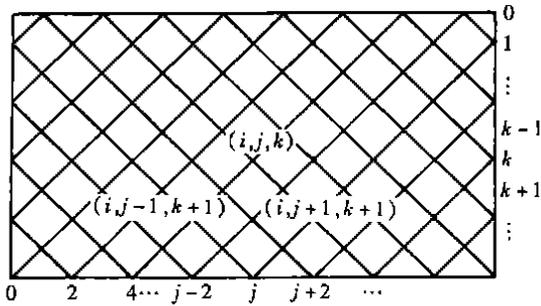


图 1 波纹片上流道分布示意图

Fig. 1 Sketch diagram of liquid flow on corrugated sheets

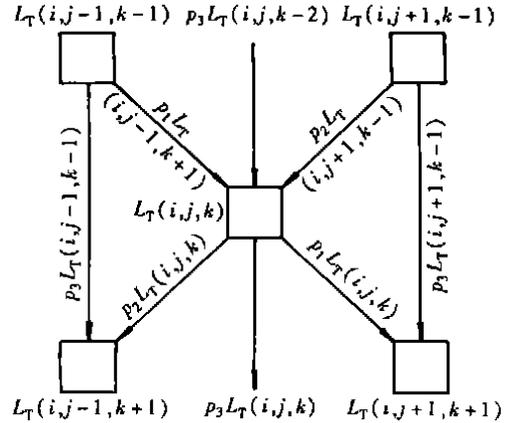


图 2 液体流动混和示意图

Fig. 2 Sketch diagram of liquid mixing on corrugated sheets

中间各流道方程:

$$\begin{cases} L_T(i, j, k) = L_x(i, j + 1, k - 1) + L_y(i, j - 1, k - 1) + L_T(i, j, k - 2) \cdot p_3 \\ L_x(i, j, k) = L_T(i, j, k) \cdot p_1 \\ L_y(i, j, k) = L_T(i, j, k) \cdot p_2 \end{cases} \quad (1)$$

贴壁流道方程:

左贴壁流道

$$\begin{cases} L_T[i, -j_m(i), k] = L_x[i, -j_m(i) + 1, k - 1] + L_{wl}(i, k - 1) \\ L_y[i, -j_m(i), k] = L_T[i, -j_m(i), k] \cdot q_1 \end{cases} \quad (2)$$

右贴壁流道

$$\begin{cases} L_T[i, j_m(i), k] = L_x[i, j_m(i) - 1, k - 1] + L_{wr}(i, k - 1) \\ L_x[i, j_m(i), k] = L_T[i, j_m(i), k] \cdot q_1 \end{cases} \quad (3)$$

壁流流道方程:

填料内部相邻波纹片与塔壁围成的壁流流道,

左流道方程 $L_{wl}(i, k) = \{L_x[i, -j_m(i) + 1, k - 1] + L_{wl}(i, k - 1)\} \cdot (1 - q_1)$

右流道方程 $L_{wr}(i, k) = \{L_y[i, j_m(i) - 1, k - 1] + L_{wr}(i, k - 1)\} \cdot (1 - q_1)$ (4)

最外层波纹片与塔壁围成的壁流流道,

当最外围的波纹片向左倾斜时(x 流向,向着编号 j 减小的方向倾斜),

$$L_{wl}(i, k) = L_{wl}(i, k - 1) + L_x[i, -j_m(i) + 1, k - 1] \quad (5)$$

$$L_{wr}(i, k) = L_{wr}(i, k - 1) \cdot q_1 \quad (6)$$

当最外围的波纹片向右倾斜时(y 流向,向着编号 j 增加的方向倾斜),

$$L_{wl}(i, k) = L_{wl}(i, k - 1) \cdot q_1 \quad (7)$$

$$L_{wr}(i, k) = L_{wr}(i, k - 1) + L_y[i, j_m(i) - 1, k - 1] \quad (8)$$

2 液量分布实例测定和计算

本文针对具有下述参数的真实填料塔,以室温(20)下的水为实验介质,采用传统的接液法,测定了填料塔截面的液体分布情况。

(1) 填料类型: 250 Y 型金属孔板型波纹填料

(2) 填料塔内径: 0.285m

(3) 填料参数: 盘高 $h_p = 200\text{mm}$, 峰高 $h = 12\text{mm}$, 波距 $B = 25\text{mm}$, 倾角 45° , 步长 $hh = 16.7\text{mm}$

(4) 填料层内液体结点分配系数: $p_1 = 0.45$,

$p_2 = 0.45$, $p_3 = 0.1$

(5) 填料塔壁流反射因子: $q_1 = 0.9$

(6) 进料初始分布: 均匀分布和点源分布

本文测定和计算了经过多盘填料(4、6、8)后,塔截面上各环域无因次液量和壁流因子的变化,均匀进料和点源进料时的液体分布器分别为槽式分布器和点源分布器。

无因次单位截面流量的定义如下:

$$L_D = \frac{L/A_L}{L_{tower}/A_{tower}} \quad (9)$$

壁流因子定义为:

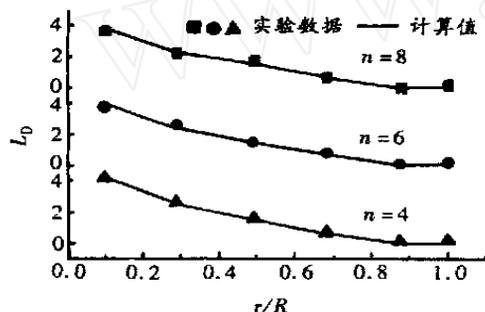
$$f = \frac{L_w/A_w}{L_{tower}/A_{tower}} \quad (10)$$

3 计算结果与讨论

3.1 模型计算值与实验值的对比

如上所述本文分别测定了点源进料和均匀喷淋, 当填料盘数为 4、6、8 时塔截面上各环域内液量变化, 相同情况下的实验点重复测定 3 次, 且测得的数据应满足 $(\sum_{i=1}^m L_i - L_{tower})/L_{tower} \leq 5\%$, 然后对其取平均值。

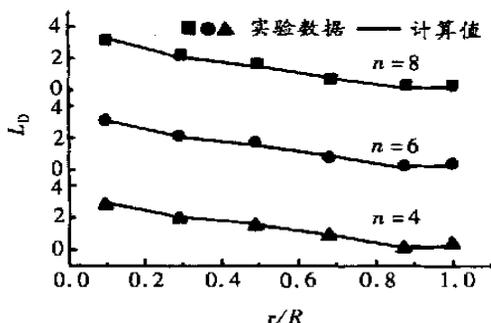
同时本文用量分布模型, 模拟了点源进料和均匀喷淋时, 逆流气体均匀分布情况下填料塔内的液体流动分布, 所得结果与实验数据进行了对比, 结果表明二者较为吻合, 实验值与理论值的最大误差小于 10%, 见图 3、图 4。



$F = 1.49, U_L = 20 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$

图 3 点源喷淋时液体分布情况

Fig. 3 Liquid distribution at radial direction in the case of point liquid feeding



$F = 1.49, U_L = 20 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$

图 4 均匀喷淋时液体分布情况

Fig. 4 Liquid distribution at radial direction in the case of uniform liquid feeding

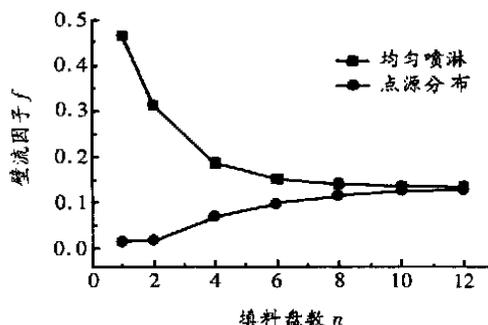
3.2 塔内液体分布变化

液体分布对填料塔操作有重要影响。本文经实际计算得到, 对同种填料, 不论进料为点源分布还是完全均匀分布, 随着填料盘数的增加, 液体在填料层中经过若干盘填料的不断再分配后, 液体分布将逐渐趋于稳定的自然流分布, 其分布特性主要与填料结构有关, 见图 3、图 4。

因此, 首先在进行液体分布器的设计时, 过度追求液体进料的完全均匀分布, 并不能使填料塔操作性能得到相应提高。其次, 传统的液体分布器分布结点一般处于圆形截面上 (即按塔截面均匀分布喷淋点), 但对波纹规整填料而言, $i、j$ 方向上的结点数并不相等, 因此, 应相应调整分布器结点使之形成与实际填料相符的椭圆形分布。此外, 自然流形成后, 很难再发生改变, 在实际应用中, 应适当地增加液体再分布器, 以改善液体分布并尽量使之完全混合。

3.3 壁流量的变化

本文经过计算得到, 不论是点源进料还是均匀喷淋, 壁流量随着填料高度的增加最终都会趋于稳定, 且壁流区液体分布密度远小于塔截面上液体平均喷淋密度, 达到稳定后, 仅为后者的 20%。对于 250Y 填料而言, 约经过 8 盘填料后达到稳定, 见图 5。因此, 如果填料安装正确, 结构合理, 与塔体密切相接, 使得大部分壁流能被塔壁反射入填料层内, 就可有效地防止壁流的不断增加。至于在某些实际操作过程中出现壁流过大的现象, 完全可以通过正确的填料安装方式避免, 这和实验观测也是一致的。



$F = 1.49, U_L = 20 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$

图 5 壁流随填料高度的变化情况

Fig. 5 Liquid wall flow distribution with the packing height

符号说明:

A_L 填料塔截面上环域面积, m^2
 A_{tower} 填料塔横截面面积, m^2
 A_w 填料塔壁流区面积, m^2
 B 波纹板填料波距, m
 f 壁流因子
 F 气体动能因子, $(m/s) \cdot (kg/m^3)^{0.5}$
 h 波纹填料片峰高, m
 hh 计算步长, m
 h_p 填料盘高, m
 i 流域编号
 i_m 最大流域编号
 j 填料片伸展方向上的结点表示
 j_m 填料片伸展方向上的最大结点数
 k 轴向计算步数
 L_D 无因次单位截面液流量
 L_i 塔截面环域液量, m^3/h
 L_T 填料结点总液流量, m^3/h
 L_{tower} 塔截面总流量, m^3/h
 L_x 流域左侧流道流量, m^3/h
 L_y 流域右侧流道流量, m^3/h
 L_{wl} 左壁流流量, m^3/h
 L_{wr} 右壁流流量, m^3/h
 L_w 填料塔壁流区流量, m^3/h
 m 塔截面环域数目
 p_1, p_2, p_3 填料片结点液流分配系数

q_1 填料塔壁流反射因子
 U_L 液体喷淋密度, $m^3/(m^2 \cdot h)$

参考文献:

- [1] Huber M, Hiltbrunner R. Packed rectifying column with maldistribution [J]. Chem Eng Sci, 1966, 21: 819—812.
- [2] Čihla Z, Schmidt O. Behavior of liquids flowing through the packing of a cylinder column [J]. Coll Czech Chem Comm, 1957, 22: 896—907.
- [3] Le Goff P, Lespinasse B. Hydrodynamics of packed columns [J]. Rev Inst Fr Pat, 1962, 17: 21.
- [4] Gunn D J. Liquid distribution and redistribution in packed columns [J]. Chem Eng Sci, 1978, 33: 1211—1219.
- [5] Jameson GJ. Some operating characteristics of the resonant bubble contactor [J]. Trans Inst Chem Eng, 1966, 44: T197.
- [6] Hoek PJ, Wesselingh J A, Zuiderweg FJ. Liquid distribution in packed columns and its effect on mass transfer performance [J]. Chem Eng Res Des, 1986, 64: 431—437.
- [7] 徐崇嗣, 楼建中, 姜庆泉. 金属板波填料液流分布的研究 [J]. 化工学报, 1986, 37 (4): 402—412.
- [8] 袁孝竞, 李宏宇. 金属板波纹填料中液体流动机理的模拟及研究 [J]. 化学工程, 1987, (6): 45—54.

2003 年《林产化工通讯》征订启事

《林产化工通讯》(双月刊)是国家科委批准面向国内外公开发行的全国林产化工行业唯一的技术类刊物。于 1996 年 7 月入编《中国学术期刊(光盘版)》以来,先后荣获《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》全文收录证书[编号(Q)S207]、《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊证书[编号(Z)S207],国内刊号 CN 32-1328/S,国际刊号 ISSN 1005-3433。

办刊宗旨 本刊一直坚持为经济建设服务、为基层服务的办刊宗旨。

办刊方针 以刊登新技术、新工艺、新设计、新设备、新材料为主要内容的办刊方针突出了技术类期刊的特点,注重了稿件的时效性。

主要栏目 辟有研究报道、企业纵横、技改园地、开发探索、技术讲座、国外信息和国内简讯等固定栏目,以及专利快递、市场行情、开发指南等小栏目。

读者对象 适于松香、松节油、胶粘剂、制浆造纸、木材热解、活性炭、木材水解、栲胶、紫胶、森林资源、香精香料、日用化工、环保、医药、土产、商业、外贸、商检等部门从事科研、生产、教学和管理等相关人士阅读。

订阅办法 邮局发行,邮发代号 28-205,单月 25 日出版。每册定价 4.50 元,全年 27.00 元。亦可直接向本刊编辑部订阅。

编辑部地址 210042 南京市锁金五村 16 号,林产化工研究所内 电话:(025) 5412131-2205
 传真:(025) 5413445 E-mail: lchg@chinajournal.net.cn

Kinetic Model of the Preparation of Taxol with Adsorption

ZHANG Zhi-qiang, SU Zhi-guo

(State Key Lab. of Biochemical Engineering, Institute of Chemical Metallurgy, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: The kinetic model for the adsorption process to separate taxol by C_{18} -silica gel has been established through analysis of the basic transport phenomena between solid phase and liquid phase. Elution curves were obtained through numerical solution of the partial differential equations by finite element method. The numerical solution of model agreed well with experimental data. The calculation demonstrated that, in the adsorption process of taxol preparation, the capacity of taxol on the C_{18} -silica gel column could be increased by volume overload and concentration overload, with the better result for concentration overload.

Key words: taxol; adsorption; kinetic model

Liquid Flow Distribution in Packed Column

ZHANG Hong-yan¹, WANG Shu-ying², LAN Ren-shui³

(1. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Chemical Engineering Center, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

3. New Tianjin Technology and Development Co., Ltd, Tianjin 300192, China)

Abstract: According to the structure of Mellapak packing and the study of dyed liquid flow in transparent plastic Mellapak, liquid flow and mixing mechanisms were analyzed in packed column. A new liquid flow distribution model, specifically Mellapak packing, was presented. The liquid distribution of a true packed column was calculated and the results were directive for the real operation.

Key words: packed column; structured packing; liquid flow distribution

Influence of Magnetizing Treatment of Solution on Its Wettability on the Surface of Polypropylene Packing

GAO Hong, JIA Shao-yi

(School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The influence of magnetizing treatment of solution on its wettability on the surface of polypropylene packing was investigated. The results showed that contact angle of solution which had been magnetically treated on the surface of polypropylene packing decreased with an increase of magnetic intensity, that was to say, magnetizing treatment could improve the wettability of solution on the surface of polypropylene packing. The quantitative account showed that wettability of alcohol-water solution on the surface of polypropylene packing increased more than 20% after magnetizing treatment. Through regression of experimental data, the correlative expression of the contact angle was obtained. The results are of value to engineering application of