

垂直管道浸取器直管内单相流的流动模型

Flow Model of Single Phase Flow in the Straight Tube of the Vertical Tubular Leacher

黄世钊 涂江宁 李宽宏*

Huang Shizhao Tu Jiangning Li Kuanhong

(广西大学化学化工学院 南宁市西乡塘路 10号 530004)

(College of Chemistry and Chemical Industry, Guangxi University,
10 Xixiangtanlu, Nanning, Guangxi, 530004)

摘要 采用盐水示踪、微机采样来研究垂直管道浸取器直管内单相流的流动模型。选用扩散模型,在设备的进口和出口同时检测应答,用矩阵法转换成理想脉冲的应答,用非线性最小二乘法回归,求出直管的混合扩散系数,并作关联。

关键词 垂直管道浸取器 单相流 流动模型 混合扩散系数

中图法分类号 TQ 028.96

Abstract The flow model of single phase flow in the straight tube of the vertical tubular leacher was studied by using NaCl solution tracing and microcomputer sampling. The diffusion model was used. The response was sampled from the inlet and outlet of tube section. The impulse response was derived with matrix method, the mixed diffusion coefficient of straight tube was evaluated with least squares in the time domain, and correlation was conducted too.

Key words vertical tubular leacher, single phase flow, flow model, mixed diffusion coefficient

垂直管道浸取器是一种新开发的管道浸取设备,它由若干垂直管道,用回弯头连接而成。料液依次流过各管,在流动过程中完成浸取操作。这种浸取设备结构简单,操作连续,能在加压下运行,而且便于外装夹套来加热或冷却料液,液固两相在管道内平行流动,分散均匀,逆向返混程度小,因而浸取效率较高。对这种新型浸取设备,已完成了流体力学方面的研究^[1-3]。在此基础上,本文对直管内单相流的流动模型进行研究。

1 理论基础

1.1 流动模型的选取

根据垂直管道浸取器的结构特点和操作特性,选用扩散模型来描述这种浸取设备的流动形态。扩散模型是在理想置换模型的基础上,叠加一个轴向扩散。通过对微元作物料衡算,经整理得出扩散模型的数学

表达式为:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - u \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

式中: c ——示踪剂浓度 (mol/m^3); t ——时间 (s);
 D ——混合扩散系数 (m^2/s); x ——计算长度 (m);
 u ——流速 (m/s)。

依据设备具体的初始条件和边界条件,便可求解上式。对于“开”式设备,在理想脉冲注入时,出口应答的解析解如下:

$$E(t) = \frac{u}{4cDt} \exp\left[-\frac{(L-ut)^2}{4Dt}\right] \quad (2)$$

式中 $E(t)$ ——停留时间分布密度函数或特性函数;
 L ——设备的长度 (m)。

其均值和方差用无因次形式分别表述为:

$$\hat{\theta} = 1 + 2/Pe \quad (3)$$

式中 $\hat{\theta}$ ——无因次停留时间均值; Pe ——波克列数。

$$\hat{\sigma}^2 = 2/Pe + 8/Pe^2 \quad (4)$$

式中 $\hat{\sigma}^2$ ——无因次停留时间方差。

用实验测得 $E(t)$ 曲线后,计算方差,由式(4)求得模型参数。但由于这种方法(矩量法)对 $E(t)$ 曲线

1998-06-15收稿。

* 华东理工大学,上海,200237 (East China University of Technology, Shanghai, 200237)

尾部的测量随机误差十分敏感,常常导致计算的模型参数值误差较大。因此本文用非线性回归叠代求取混合扩散系数,矩量法的计算结果仅作为非线性回归的初值。

1.2 非理想脉冲注入应答的处理

实验操作中,理想脉冲注入很难做到。示踪剂的输入,采用非理想脉冲注入。这样输入的信号便会偏离理想脉冲,偏离程度的大小在应答中均有反映,偏离程度愈大,叠加在应答上的误差就愈大。为了消除非理想脉冲注入带来的误差,采用两点法将示踪剂注入点上移到上游足够远处,在设备的进出口同时检测应答,分别记为 $g(t)$ 和 $h(t)$,它们与设备的特性函数 $E(t)$ 存在如下卷积关系:

$$h(t) = g(t) \cdot E(t) \quad (5)$$

式中 $h(t)$ ——出口处的应答函数; $g(t)$ ——进口处的应答函数

解此方程求得理想脉冲的应答 $E(t)$ 。求解方法有两个:其一是先假设模型参数,利用式(2)求得 $E(t)$,通过式(5)求出计算值 $h(t)$,根据实测值 $h(t)^*$ 与 $h(t)$ 的残差平方和最小来确定模型参数;其二是先用矩阵法^[4]叠代求取 $E(t)$,然后用非线性回归模型参数。

2 实验方法

实验装置由管道浸取器、检测系统、微机系统和辅助装置组成,流程如图1所示。

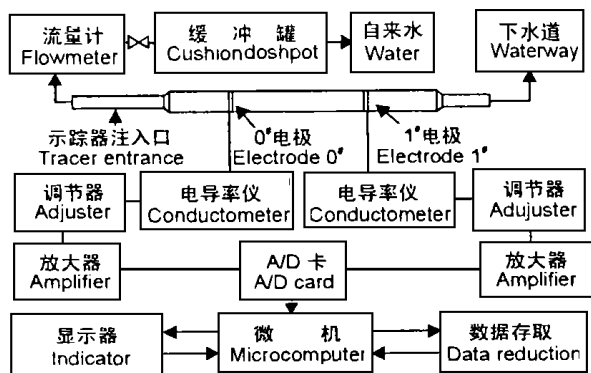


图1 实验流程简图

Fig. 1 Diagram of laboratory

实验分别在管内径为 $\varnothing 24.0 \text{ mm}$ 、 $\varnothing 28.9 \text{ mm}$ 、 $\varnothing 38.1 \text{ mm}$ 和 $\varnothing 47.4 \text{ mm}$ 4种管径的管道浸取器直管内进行。管道为无缝有机玻璃管,水平放置,并在其上装有两对电极和一个示踪剂注入处。两对电极间的距离约为 1500 mm,示踪剂注入处的管径为 $\varnothing 24.0 \text{ mm}$ 。在变管径处装填金属丝网填料,用来稳定液流,减轻变径的影响。填料距第一对电极约 1000 mm,距示踪剂入点约 1500 mm。

电极由黄铜制成,每对电极用屏蔽导线与 DDS-

11型电导率仪相连接。电导率仪输出的电压信号经线性放大后,送入 A/D 卡,进行模拟量—数字的转换,用微机测读记录和程控电子秒表计时。实验使用的示踪剂是 4 N 氯化钠溶液,利用改造过的定量注射器脉冲注入。

对于 $\varnothing 24.0 \text{ mm}$ 的管道浸取器,分别检测清水在 400 L/h~ 1600 L/h 间 7 个档次流量下的停留时间分布;对于其余 3 种管径的设备,相应提高清水流量来检测不同流量下的停留时间分布。

3 微机程序

为用微机采集数据和运算,编写如下主要程序。

3.1 采样程序

其大致内容为:输入采样点数和延时参数,屏幕上显示两采样点读取数值 100 次的平均值,待平均值合适且稳定后,按指令转入采样。采样结束,输入从程控电子秒表读出的时间,计算采样周期。从显示的两测点应答数据中截取有用数据,存入软盘待用。

3.2 转换程序

它的主要内容是把非理想脉冲注入所得的前后两组应答数据,用矩阵法转换成理想脉冲的应答。程序中叠代过程收敛的关键在于各叠代初值的选取。不取叠代结果作为下次叠代初值,而是将原叠代初值朝着叠代结果稍作调整,最后在可能合用的叠代结果中评选最优者作为转换结果,存入软盘。

3.3 计算程序

包括矩量法计算程序和非线性回归程序。前者用于初步计算实验数据,得到的计算结果作为初选数据的参考。后者在选取目标函数后,先用等步长搜索法找出目标函数最小值所在区间,然后用黄金分割法压缩搜索区间,最后用抛物线法求出极值的所在位置,即混合扩散系数的回归值。

4 实验结果

对于直径为 $\varnothing 24.0 \text{ mm}$ ~ $\varnothing 47.4 \text{ mm}$ 的 4 种管道浸取器直管,在不同流速下测得的应答数据,经转换和非线性回归得出每次实验的混合扩散系数,求取其在同一条件下多次实验的平均值 D 。为了表述管径对混合扩散系数的影响,径选择,采用 ud/D 对 $1/Re$ 标绘,示于图 2。

5 讨论

根据图形,采用线性回归,得出直管内单相流的混合扩散系数的关联式为

$$ud/D = 2.8 - 1.28 \times 10^4 / Re \quad (6)$$

式中 d ——管径 (m); Re ——雷诺数。

此式的相关系数为 0.96

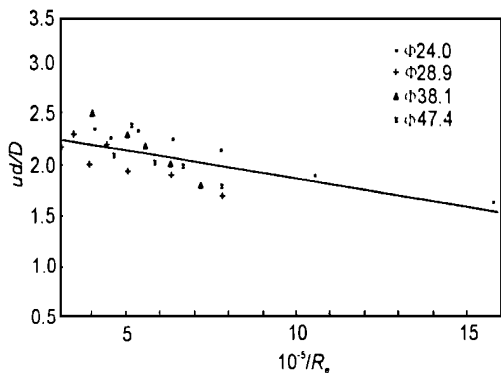


图 2 直管内单相流的混合扩散系数

Fig. 2 The mixed diffusion of single phase flow in straight tube

6 结论

(1) 采用微机采集数据和程控电子秒表计时, 数据存于软盘上可直接上机运算, 因此提高了运算速度和实验精度

(2) 将示踪剂注入点移至设备上游足够距离处, 同时检测设备进口和出口两点的应答, 用矩阵法处

理, 可消除非理想脉冲的影响

(3) 依据管道设备的特点和对应答数据的拟合, 可知用扩散模型来描述管道浸取器内的流动形态是恰当的。在雷诺数 $Re = 6300 \sim 32000$ 范围内, 回归得水平直管内单相流的混合扩散系数的关联式为:

$$u d / D = 2.8 - 1.28 \times 10^4 / Re$$

致谢

谢嵘春副教授也参加了实验工作, 在此表示衷心的感谢

参考文献

- 1 李宽宏, 董毅宏. 垂直管道浸取器的流体力学研究 (1) 直管段的压力降. 化工学报, 1984, (4): 335~ 343.
- 2 李宽宏, 董毅宏, 刘 琨等. 垂直管道浸取器的流体力学研究 (2) 回弯头的压力降. 化学反应工程与工艺, 1985, (4): 37~ 44.
- 3 李宽宏, 黎铨海. 垂直管道浸取器的流体力学研究 (3) 斜接回弯头与单元压力降. 化学工程, 1987, (1): 29~ 32.
- 4 李珍华, 李宽宏. 用矩阵法处理非理想脉冲的应答曲线. 广西大学学报 (自然科学版), 1988, (3): 66~ 71.

(责任编辑: 黎贞崇)

(上接第 267 页 Continue from page 267)

- 5 Doss K G R, Gustafsson H A, Gutbrod H H et al. Nuclear collective flow as a function of projectile energy and mass. Phys Rev Lett, 1986, 57: 302~ 305.
- 6 Kiselev S M. Azimuthal multiparticle correlations in high-energy heavy-ion collisions in the molecular-dynamical model. Phys Lett, 1989, 216B: 262~ 266.
- 7 刘庆军, 蒋玉桢, 王 山等. 多粒子方位角关联与核煤质状态方程. 高能物理与核物理, 1992, 16: 801~ 806.
- 8 刘庆军, 蒋玉桢, 王 山等. 碰撞 1.2 A GeV Ar+ KCL 中的 n 粒子方位角关联与集体性. 高能物理与核物理, 1993, 17: 912~ 917.
- 9 Welke G M, Prakash M, Kuo T T S et al. Azimuthal distributions in heavy ion collisions and nuclear equation of state. Phys Rev, 1988, C38: 2101~ 2107.
- 10 Cutbrod H H, Kampert K H, Kolb B W et al. A new component of the collective flow in relativistic heavy-ion collisions. Phys Lett, 1989, 216B: 267~ 271.
- 11 Wang S, Jiang Y Z, Liu Y M et al. Measurement of collective flow in heavy-ion collisions using particle-pair correlations. Phys Rev, 1991, C44: 1091~ 1095.
- 12 王 山, 刘亦铭, 蒋玉桢等. 方位角关联函数与核煤质状态方程. 高能物理与核物理, 1990, 14: 907~ 911.

- 13 Jiang J, Beavis D, Chu S Y et al. High-order collective-flow correlations in heavy-ion collisions. Phys Rev Lett, 1992, 68: 2739~ 2742.
- 14 刘亦铭, 张伟刚, 霍 雷等. 相对论重离子碰撞中集合流的横向运动关联. 高能物理与核物理, 1994, 18: 511~ 517.
- 15 张伟刚. 相对论核 核碰撞中粒子的横向动量模关联. 广西工学院学报, 1994, 5: 51~ 55.
- 16 张伟刚. 2.1 A GeV Ne+ NaF 碰撞中的粒子群关联与集体性. 高能物理与核物理, 1997, 21: 911~ 917.
- 17 张伟刚. Ar+ BaE 碰撞中的粒子群关联与集体性. 广西科学, 1997, 4 (4): 251~ 254.
- 18 张伟刚. 相对论核 核碰撞中的粒子群关联. 广西大学学报 (自然科学版), 1997, 22: 124~ 127.
- 19 张伟刚. 相对论重离子碰撞中集合流的横向运动关联. 硕士学位论文, 哈尔滨工业大学, 1993.
- 20 张伟刚. 相对论核 核碰撞中粒子的鉴别. 广西大学学报 (自然科学版), 1995, 20: 325~ 336.
- 21 Bertsch G F, Gupta S. Das, Phys Rep (Review Section of Physics Letts), 1988, 160: 189~ 233.
- 22 Barghouty A F, Fai G, Keane D. Pion yields and pion spectra from nuclear collisions. Nucl Phys, 1991, A535: 715~ 718.

(责任编辑: 黎贞崇)