

垂直管道浸取器回弯头内单相流的流动模型

Flow Model of Single Phase Flow in the Elbow of the Vertical Tubular Leacher

黄世钊 涂江宁 梁乃章 李宽宏* 谢嵘春* 廖东强**

Huang Shizhao Tu Jiangning Liang Naizhang Li Kuanhong Xie Rongchun Liao Dongqiang

(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 Engineering,

Guangxi University, 10 Xixiangtanlu, Nanning, Guangxi, 530004)

摘要 用盐水示踪、微机采样来研究垂直管道浸取器回弯头内单相流的流动模型。选用扩散模型,将回弯头分解为直管段和回弯两部分。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,求取回弯的混合扩散参数,并作关联。

关键词 垂直管道浸取器 流动模型 混合扩散参数 单相流

中图分类号 TQ 028.96

Abstract The flow model of single phase flow in the elbow of the vertical tubular leacher was studied by using NaCl solution tracing and microcomputer sampling. The diffusion model was used. The elbow may be resolved into straight section and a bend. The response was detected by sampling from the inlet and outlet of tube section. The impulse response was obtained by matrix method. The mixed diffusion parameter of the return flow point, and their correlation were calculated.

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

垂直管道浸取器是由若干垂直管道,用回弯头连接而成。这种国内开发的浸取设备的特点是操作连续,结构简单,布置紧凑,占地面积少,能在加压下运行,便于外装夹套进行热交换,并在液固两相流动的过程中完成浸取。因而返混程度小,浸取效率高,在化工、冶金等行业有着广泛的应用前景。

对这种浸取设备,已完成了流体力学方面^[1-3]和直管内单相流的流动模型^[4]的研究。本文是在此基础上,继续研究回弯头内单相流的流动模型。

1 理论基础

垂直管道浸取器属于长径比很大的管式设备。结合它的操作特点,选用扩散模型来描述这种浸取设备的流动特性。扩散模型是在理想置换的基础上叠加一个轴向扩散,而且这扩散可用费克第二定律来表述。对于“开”式设备,在理想脉冲注入时,出口应答的

解析解为:

$$E(t) = \frac{u}{4^c D t} \exp\left[-\frac{(L-ut)^2}{4Dt}\right], \quad (1)$$

式中: $E(t)$: 停留时间分布密度函数或特性函数; u : 流速 (m/s); D : 混合扩散系数 (m^2/s); L : 设备的长度 (m); t : 时间 (s) 其方差用无因次形式表达为:

$$\sigma^2 = 2/Pe + 8/Pe^2, \quad (2)$$

式中: σ^2 : 无因次停留时间方差; Pe : 彼克列准数。

用实验检测而得的应答数据,通过数据积分算出方差,代入式(2)求取模型参数。在单相流系统中,对于两端连有足够长度直管的回弯头作流动模型分析时,可将其简化分解为直管段和回弯两部分。以在进口和出口检测而得的应答为依据,扣除按沿程长度的直管对应答的贡献,其余即为回弯混合扩散参数的贡献。

轴向返混的实验研究,一般的考虑是在设备进口输入理想脉冲,从设备出口实测停留时间分布曲线,求取轴向扩散系数。而理想脉冲信号是 $W(t)$ 函数,它仅在 $t = t_0$ 时有值,其余时间均为零。这样的信号,在实验操作过程中难以实现。鉴此,示踪剂的输入,采用非理想脉冲注入。为了消除非理想脉冲注入带来的误差,采用“两点法”来测定并将两点(设备的进

2000-09-05收稿。

* 华东理工大学,上海市梅陇路130号,200237(East China University of Technology, 130 Meilonglu, Shanghai, 200237)

** 广西南宁市化工研究设计院,广西南宁市古城路4-2号,530022 (Nanning Chemical Industrial Research and Design, 4-2 Guchenglu, Nanning, Guangxi, 530022)

口处和出口处)同时检测的应答,用矩阵法^[5]处理成为理想脉冲的应答,以便求取模型参数

2 实验方法

实验装置是用内径 $\varnothing 24$ mm 外径 $\varnothing 30$ mm的无缝有机玻璃管制成的回弯头和直管组装而成。管道水平放置。第 1 测点至示踪剂注入处的距离约为 2000 mm 用转子流量计指示流量。流体介质(水)在进入流量计之前,先经过一个缓冲罐,可分离水流中的气泡。缓冲罐内插有温度计,用来测量水温。实验流程如图 1 所示。

管道浸取器装有 2 对电极,每对电极用屏蔽导线与 DDS-11A 型电导率仪相接。电导率仪输出的电压信号,经线性放大后,送往插在微机中的 A/D 卡,转换成数字量,由微机按自编的程序测读记录。为了能将电导率仪输出的电压信号,放大到与 A/D 卡要求的输入电压相适应,在电路中串联适当的且稳定的负电压,以便充分利用 A/D 卡的有效变换区域,提高数据的精度。

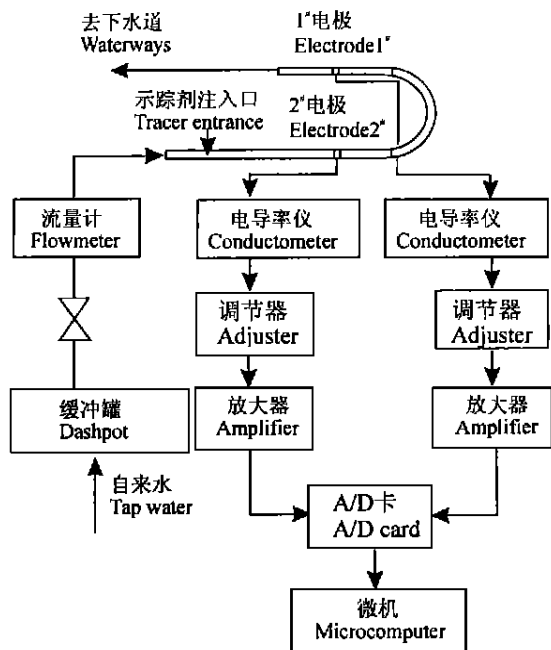


图 1 实验流程简图

Fig. 1 Flow chart of laboratory

示踪剂为 4N NaCl 溶液,利用定量注射器脉冲注入。注射器针管端部封闭,侧面开 6 个小孔,以改善分布。针管外紧套细乳胶管,并在针孔处刺孔,以防在不注射时发生示踪剂的渗出或水的渗入。注射操作时带橡胶手套,以减轻电的传导和感应。

用自来水依次对半圆形 ($R = 3.5 d$)、正向斜接形(先入锐角)和反向斜接形(先入钝角) 种不同

形式的回弯头,分别检测流量为 400 L/h, 600 L/h, 800 L/h, 1000 L/h, 1200 L/h, 1400 L/h, 1600 L/h 时的停留时间分布。

3 实验结果

回弯头的混合扩散,可分解为直管段的混合扩散和回弯的混合扩散两部分。在处理回弯的混合扩散时,考虑到回弯影响区的范围难以测定,区内各点受到的影响也不尽相同。因而采用组合变量 (DL) 来表示回弯的混合扩散参数,它表示回弯头中各微元段受回弯影响而产生的混合扩散系数的增量和它的影响长度的乘积的累加值。对不同形式的回弯头,在不同流速下测得的应答数据,经用矩阵法转换等一系列处理,计算出每次实验回弯的混合扩散参数,取同一条件下多次实验的平均值 DL ,具体结果列于表 1。

表 1 回弯的混合扩散参数

Table 1 The mixed diffusion parameter of bend

流量 Volume of flow (L/h)	$DL \times 10^3$ (m^2/s)		
	半圆形 Hemicycle	正向斜接形 Forward obliquity	反向斜接形 Inverse obliquity
400	1.41	1.74	2.48
600	2.13	3.45	4.43
800	1.40	4.11	4.38
1000	0.83	2.99	3.24
1200	0.61	2.14	2.43
1400	0.49	1.48	2.03
1600	0.34	1.13	1.40

4 讨论

从表 1 中可知,在同一流量下,反向斜接形回弯的混合扩散参数最大,正向斜接形回弯的混合扩散参数次之,半圆形回弯的混合扩散参数最小。

选用 $u d^2 / DL$ 对 Re 关联,得出回弯的混合扩散参数的关联式如下:

半圆形回弯:

$$u d^2 / DL = 0.44 - 8.72 \times 10^{-5} Re + 5.15 \times 10^{-9} Re^2; \quad (3)$$

正向斜接形回弯:

$$u d^2 / DL = 0.23 - 3.63 \times 10^{-5} Re + 1.8 \times 10^{-9} Re^2; \quad (4)$$

反向斜接形回弯:

$$u d^2 / DL = 0.17 - 2.62 \times 10^{-5} Re + 1.37 \times 10^{-9} Re^2; \quad (5)$$

式中: d 为管径 (m); Re 为雷诺准数。

(下转第 281 页 Continue on page 281)

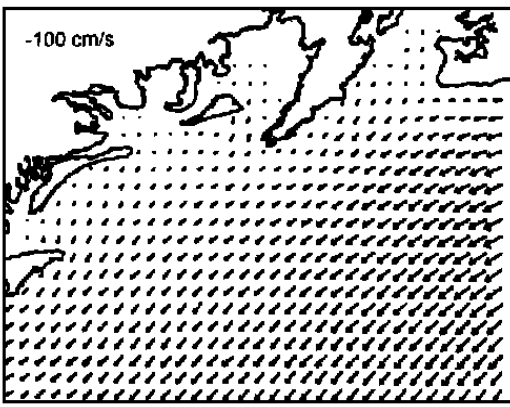


图5 落潮流场 (平潮)

Fig. 5 The currents field of ebb tide at MSL

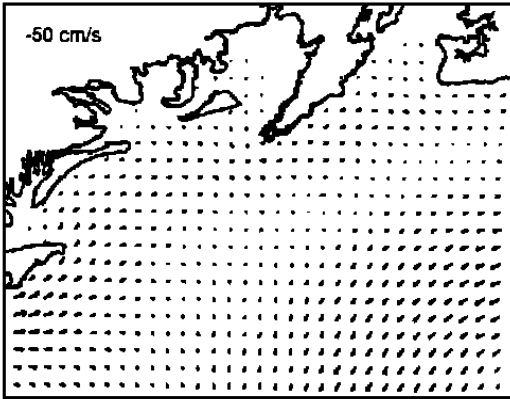


图6 低潮流场

Fig. 6 The currents field at low tide

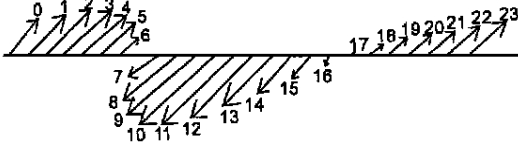


图7 倾倒处潮流流速矢量

Fig. 7 Current vectors at spoil site

较明显 图 7 为倾倒点流速矢量 (箭头为潮流方向, 长短为流速大小, 数字表示时间) 变化图, 从流速矢量可知, 落急流场出现在落平时刻, 而涨平流场却不是涨急流场, 涨急流场出现于潮位涨至高于平均海面约 1 m 时。

4 结语

倾倒点 P 于高潮时刻一水质点的漂移轨迹见图 1, 质点先随落潮流向西南向运动, 随着涨潮流又向东北向运动, 随潮汐涨落而如此反复, 但总的效果却是质点向外海运移。倾倒点于低潮时刻一水质点的漂移轨迹将质点先随涨潮流向东北向运动, 随着落潮流又向西南向运动, 随潮汐涨落而如此反复, 但总的效果也是质点向外海运移。倾倒区抛泥中粗沙会就地沉积, 对于较细的泥沙, 其沉积过程较长, 从质点运动的轨迹可知, 若在落潮时, 细沙随潮流流向西南向, 流向外海; 若在涨潮时, 细沙随潮流流向东北向, 但不会流入防城港内, 且沿途没沉积的泥沙又随潮流流向外海。倾倒区及其附近海域落潮流速大于涨潮流速, 这有利于潮流对细沙的冲刷, 并将其带进外海。综上所述, 将防城港疏浚泥沙抛入选定区域, 可确保疏浚效果, 不会导致疏浚泥沙重新淤积航道。

参考文献

- 1 帕坦卡 S V. 传热与流体流动的数值计算. 北京: 科学出版社, 1984.
- 2 张玉芬, 蔡思忠, 缪克义等. 大连港附近海域疏浚物倾倒区选划研究. 海洋通报, 1992, 11 (6).

(责任编辑: 黎贞崇)

(上接第 278 页 Continue from page 278)

经验算知, 以上三式的平均相对误差分别为 10.2%, 9.3% 和 10.1%。

5 结论

由于回弯的影响范围难以确定, 且所受的影响区也随位置而异, 因此采用由回弯影响而产生的混合扩散系数的增量和虚拟的影响区长度的相乘而成的组合变量 (DL) 来表达回弯的影响。在雷诺准数 $Re = 6300 \sim 25000$ 范围内, 不同形式回弯头的回弯混合扩散参数的关联式为:

半圆形回弯: $ud^2 / DL = 0.44 - 8.72 \times 10^{-5} Re + 5.15 \times 10^{-9} Re^2$;

正向斜接形回弯: $ud^2 / DL = 0.23 - 3.63 \times 10^{-5} Re$

+ $1.8 \times 10^{-9} Re^2$;

反向斜接形回弯: $ud^2 / DL = 0.17 - 2.62 \times 10^{-5} Re + 1.37 \times 10^{-9} Re^2$;

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 黄世钊, 涂江宁, 李宽宏. 垂直管道浸取器直管内单相流的流动模型. 广西科学, 1998, 5 (4): 273-275.
- 5 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: 蒋汉明)