

Kenics 型静态混合器 流动阻力的实验研究*

李洪亮 马晓建 方书起 刘洛娜

(郑州工学院化工系)

摘 要: 本文分析了kenics型静态混合器的工作原理, 分别以空气和水为实验介质, 测定了静态混合器中的流动阻力, 得出了单相流体流动摩擦系数 f 与雷诺数的关联式(测量范围 $R_{eG}=711--15477$)以及气--液两相流体流动阻力的计算方法(适用范围: 气相雷诺数 $R_{eG}=711--4746$, 液相雷诺数 $R_{eL}=1289--15477$), 和文献中所报道的结果基本相同。文中还分析了静态混合元件对流动阻力的影响。

关键词: 静态混合器, 流动阻力, 摩擦系数

中图分类号: TQ021.1

所谓静态混合器, 就是在管路中放置一系列结构相似, 按一定规则排列的静止元件, 借助这些元件和流体的自身动能, 实现流体的不断分割、位移和汇合, 达到流体的充分混合, 来完成各种工艺操作要求的设备。它具有分散混合效果好, 操作成本低, 占地面积小, 能耗低, 结构紧凑和制造安装方便等优点。静态混合器本身是一种混合设备, 但由于动量、热量和质量三种传递过程的类似性和它自身的一些特点, 现在已应用到大部分化工单元操作中。它特别适合于完成粘度较大的流体的混合、传热和传质过程。所以自问世以来发展很快, 已有数十种不同结构的静态混合元件投放市场。在众多的混合元件中, 使用最多的是 Kenics 型。

在各种化工过程中, 流体流经管道和设备时的阻力是很重要的设计数据之一, 估算阻力大小这项工作, 在设计中是不可缺少的。本文对 Kenics 型静态混合器流动阻力进行了研究。

1 Kenics 型静态混合器的结构及工作原理

Kenics 型静态混合器的结构如图 1 所示。它是由许多短螺旋片(元件)置入圆管内

* 收稿日期: 1994-12-15

形成的。相邻两个元件旋向相反，并相错 90° 排列。使用的元件数的多少由具体情况而定。

当流体流过 Kenics 型静态混合器时，有两种独特的混合作用在静态混合器内同时发生，即流体的反复分割和径向充分混合。这样就使流体流经静态混合器时的湍动加强，混合均匀，边界层减薄，对传热和传质有利，但流动阻力加大。

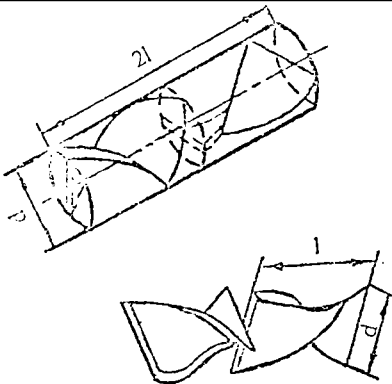


图 1 Kenics 型静态混合器示意图

2 实验装置

实验装置如图 2 所示。

实验介质: 空气、水;

实验压力: 常压;

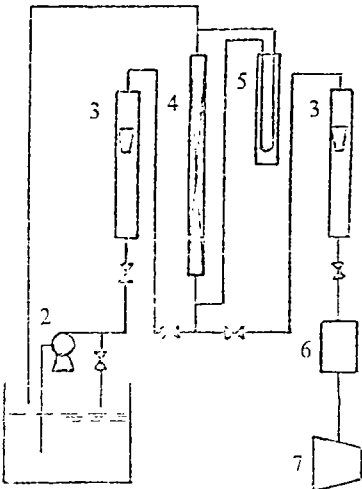
实验温度: 10℃;

实验雷诺数范围;

气相: 711-4746;

液相: 1289-15477。

实验时分别用压缩机和泵输送空气和水，用转子流量计测定流量，用 U 型管压差计测定静态混合器两端的压力降。所用的元件由厚为 1.5mm 的黄铜板制成，长径比为 1.5，静态混合器管子为内径为 21mm 的黄铜管，长 800mm 共装入 24 个元件。



- 1. 水槽 2. 水泵 3. 流量计
- 4. 静态混合器 5. U 型压差计
- 6. 稳压罐 7. 压缩机

图 2 实验装置示意图

3 实验结果

3.1 单相流体在静态混合器中的流动阻力

当流体流经静态混合器时，在其两端的压力降即流动阻力可用下式进行计算:

$$\Delta p = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho u^2}{2} \tag{1}$$

式中:

- Δp —静态混合器的压力降, N / m^2 ;
- f —摩擦系数;
- l —静态混合器的长度, m ;
- d —静态混合器的内直径, m ;
- ρ —流体的密度, kg / m^3 ;
- u —流体的速度 (按空管计算), m / s 。

将实验结果进行整理，得到单相流体流经静态混合器时的摩擦系数 f 和雷诺数的关

系:

$$f = 6.968 R_e^{-0.142} \quad (711 < R_e < 15477) \quad (2)$$

静态混合器的压力降也可用其高于空管压力降的倍数 K 来表示:

$$K = \Delta p / \Delta p_0 \quad (3)$$

式中 Δp_0 为空管的压力降, 可用式(1)计算, 对于光滑空管⁽¹⁾:

$$R_e < 2000, \quad f = 64 / R_e \quad (4)$$

$$R_e > 2000, \quad f = 0.3164 / R_e^{0.25} \quad (5)$$

单相流体在静态混合器中的流动阻力实验结果见图 3 和图 4。

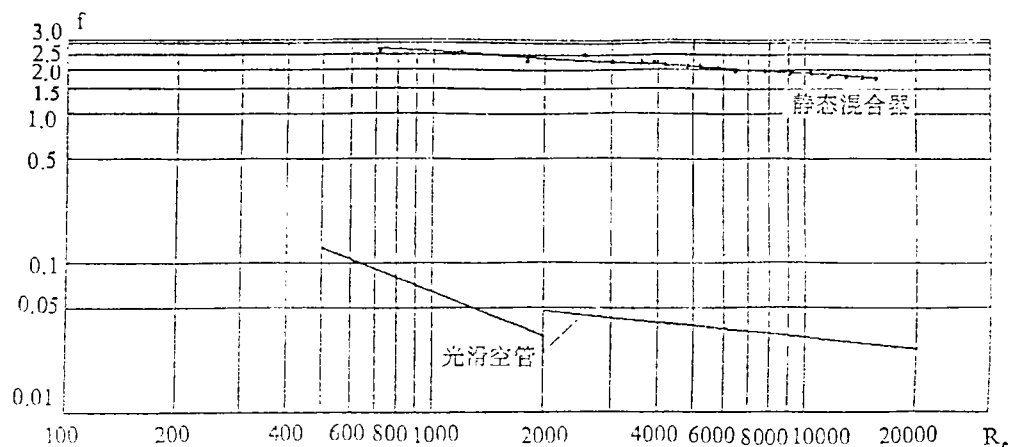


图 3 摩擦系数 f 与雷诺数 R_e 的关系

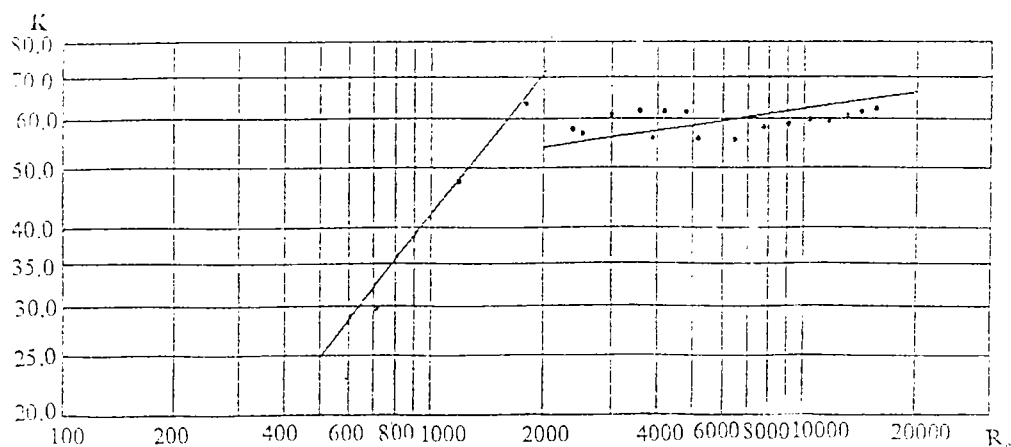


图 4 K 值与雷诺数 R_e 的关系

测量值

—Kenics 公司推荐值

3.2 气—液两相流体在静态混合器中的流动阻力

气—液两相流体同时流过静态混合器时的阻力, 可按 Lockhart 及 Martinelli⁽²⁾ 公式进行计算, 即首先用式(1)和(2)计算出液相和气相单独在静态混合器中的流动阻力 Δp_L 和

Δp_G , 然后按下式计算气-液两相流体的流动阻力 Δp_{GL} :

$$\Delta p_{GL} = \Phi_L^2 \cdot \Delta p_L \tag{6}$$

或
$$\Delta p_{GL} = \Phi_G^2 \cdot \Delta p_G \tag{6'}$$

式中: Δp_{GL} —气-液两相流阻力, N/m^2 ;

Δp_L —液相流动阻力, N/m^2 ;

Δp_G —气相流动阻力, N/m^2 ;

Φ_L 、 Φ_G —系数, 由下式计算⁽³⁾:

$$\Phi_L^2 = 1 + c/x + 1/x^2 \tag{7}$$

$$\Phi_G^2 = 1 + cx + x^2 \tag{7'}$$

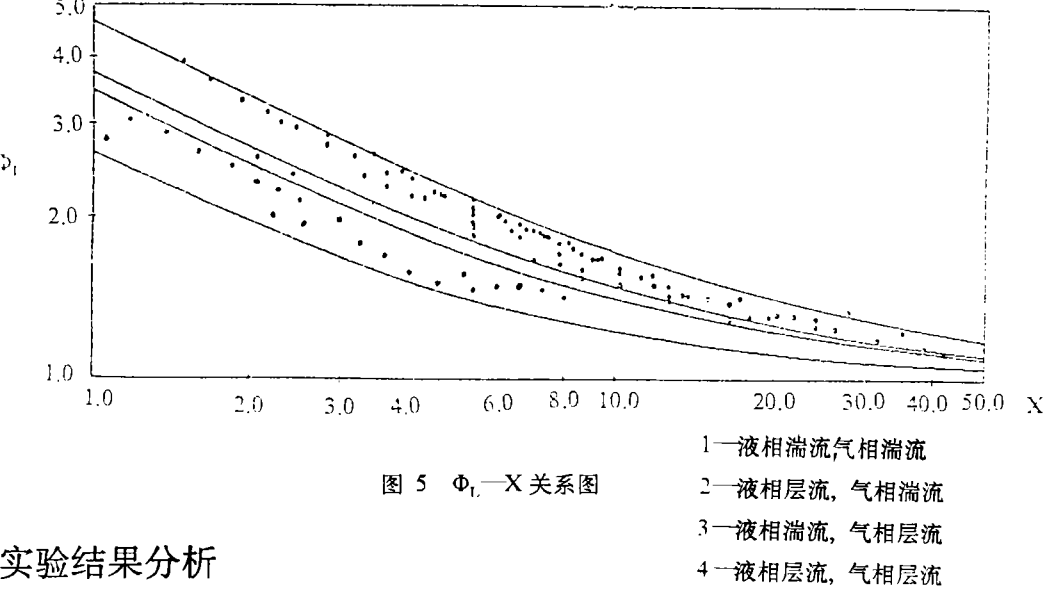
x —系数, 由下式计算:

$$x^2 = \Delta p_L \cdot \Delta p_G \tag{8}$$

c —系数, 由下表确定:

液相	气相	
	层流($R_e < 2000$)	湍流($R_e > 2000$)
层流($R_e < 2000$)	$c = 5$	$c = 12$
湍流($R_e > 2000$)	$c = 10$	$c = 20$

气-液两相流实验结果见图 5。



4 实验结果分析

4.1 从图 3 和图 4 可以看出, 单相流体在静态混合器的流动阻力, 其实验值与本文所得关联式的计算值基本吻合, 而从图 5 看出, 气-液两相流体的流动阻力则存在一定的偏

差, 最大偏差[(实验值-计算值)/实验值]为 25%左右, 且层流向湍流过渡区偏差较大。

有人曾对气-液两相流体流经 H₁ 型静态混合器时的流动阻力进行了研究^[4], 同样采用 Martinelli 的方法进行处理, 误差在 30%左右。由此可见, 流体流经 Kenics 型静态混合器时的阻力按本文所述方法进行计算, 误差不算太大。

两相流体流经静态混合器时的阻力是不稳定的, 本实验采用 U 形管压差计进行测定, 取其上、下波动的平均值作为实验值, 其本身就存在一定的误差。再者, 当流动状态由层流向湍流过度时, 阻力是逐渐增加的, 而系数 C 是由一个值变化到另一个值, 变化较大, 这就使得在过渡区的实验值与计算值差别也较大。

4.2 影响静态混合器流动阻力的因素有: 元件扭角和扭率与所要求值的偏差, 元件前后缘的光滑程度, 元件的形状偏差, 相邻元件的联接状况等。

4.3 静态混合器中由于混合元件的加入, 阻力是空管的数十倍, 这主要是形体阻力增加造成的, 它们随粘度变化较小, 主要由速度决定。

4.4 因摩擦系数与元件数的多少无关, 所以上述结果可用于元件数为任何值时的情况。

4.5 静态混合器的阻力较大, 但由于它具有很好的分散、混合效果, 对传热、传质十分有利, 可广泛地使用于各种化工单元操作过程中。

参 考 文 献

- 1 上海化工学院等编. 化学工程(第一册). 化学工业出版社. P30. 1980
- 2 R. W. Lockhart and R. C. Martinelli. Chem. Eng. May 19, P105, 1973
- 3 D. Chisholm. Int. J. Heat Mass Transfer. 10. P1767, 1967
- 4 王德成. 马保东译. 静态混合器. 纺织工业出版社. 1985

An Experimental Study of the Pressure Drop about Kenics Static Mixer

Li Hongliang Ma Xiaojian Fang Shuqi Liu Luona
(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: The operating principle of Kenics static mixer was analyzed. It was measured that the pressure drop in the static mixer by air and water. The experimental equation of friction factor f and Reynolds Re about single-phase fluid was obtained ($Re=711-15477$). The calculated method of the pressure drop about gas-liquid two-phase fluid was also obtained (gas phase $Re=711-4746$, liquid phase $Re=1289-15477$). It is the rough same as the calculative data recommending in the literature concerned. Author also analyzed the effect of static mixer elements on pressure drop.

Keywords: static mixer, pressure drop, friction factor