

## 实验二十一 连续均相反应器停留时间分布的测定

### 一、实验目的

掌握停留时间分布的实验测定方法及数据的处理,通过脉冲示踪法测定实验反应器的停留时间分布密度  $E(t)$ 和停留时间分布函数  $F(t)$ , 求出其数学特征—数学期望和方差, 并和多级混合模型, 轴向扩散模型关联, 求出模型参数—虚拟级数  $N$ 。

### 二、实验原理

由于反应器内流体速度分布不均匀, 或某些流体微元运动方向与主体流动方向相反, 因此使反应器内流体流动产生不同程度的返混。在反应器设计、放大和操作时, 往往需要知道反应器中返混程度的大小。停留时间分布能定量描述返混程度的大小, 而且能够直接测定。因此停留时间分布测定技术在化学反应工程领域中有一定的地位。

停留时间分布可用分布函数  $F(t)$ 和分布密度  $E(t)$ 来表示, 两者的关系为:

$$F(t) = \int_0^t E(t) dt$$

$$E(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

测定停留时间分布最常用的方法是阶跃示踪法和脉冲示踪法。

阶跃法:

$$F(t) = \frac{C(t)}{C_0}$$

脉冲法:

$$E(t) = \frac{U}{Q_\lambda} C(t)$$

式中:  $C(t)$ —示踪剂的出口浓度。

$C_0$ —示踪剂的入口浓度。

$U$ —流体的流量

$Q_x$ —示踪剂的注入量。

由此可见，若采用阶跃示踪法，则测定出口示踪物浓度变化，即可得到  $F(t)$  函数；而采用脉冲示踪法，则测定出口示踪物浓度变化，就可得到  $E(t)$  函数。

### 三、实验仪器设备及流程

本实验采用脉冲示踪法分别测定单釜与三釜串联反应器、管式反应器、滴流床反应器的停留时间分布，测定是在不存在化学反应的情况下进行的。实验流程见图 1 至图 3。

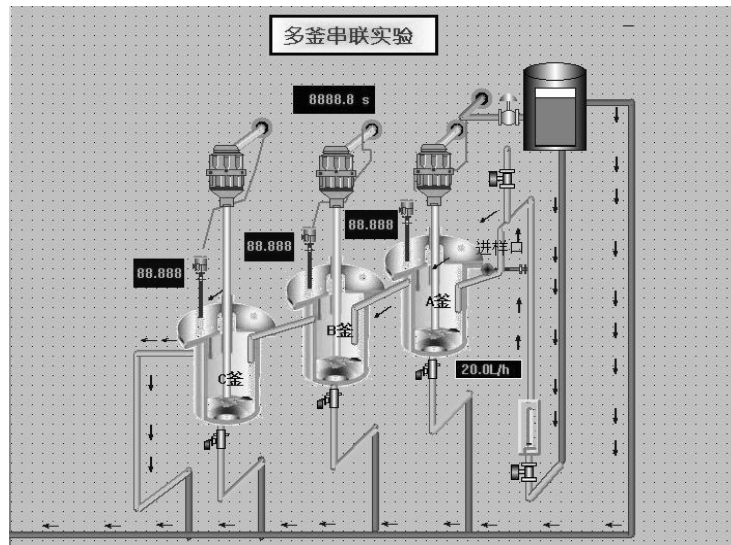


图 1 三釜串联

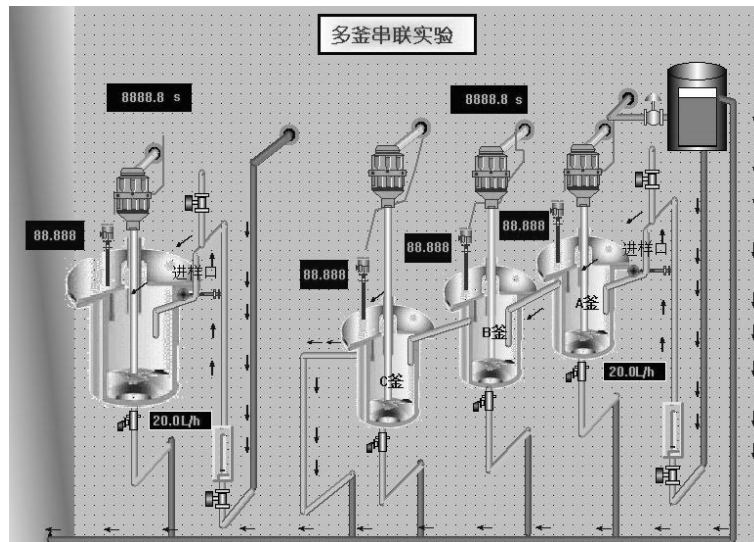


图 2 单釜与三釜串联反应器

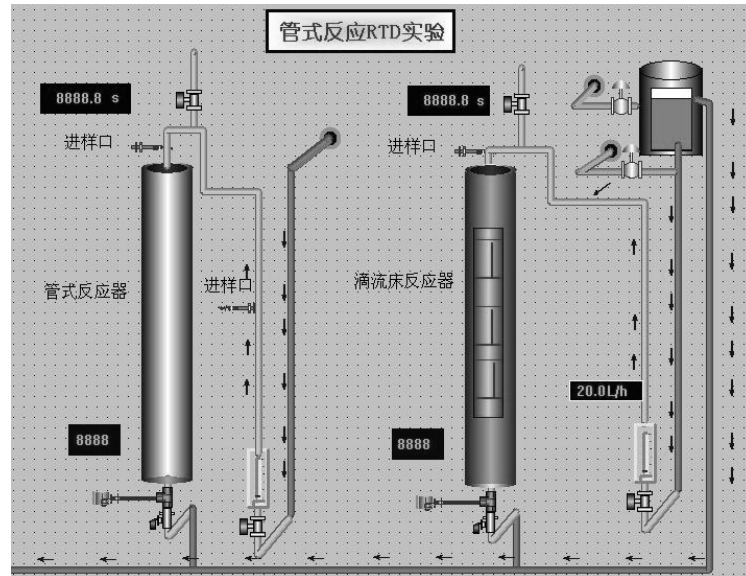


图3 管式反应器、滴流床反应器

#### 四、实验操作步骤

4.1 打开高位槽的上水阀，当高位槽出现溢流后打开各分阀及流量计上的阀门，将流量调为需测的值，并使流量稳定；

4.2 打开搅拌器电源，慢速启动电机，将转速调至所需稳定值；

4.3 接通各电导率仪电源，并调电极常数；

4.4 检查数模转换器连线，接通电源；

4.5 启动计算机，在 Windows 桌面上双击图标启动本采集软件；

4.6 用针筒在反应器的入口快速注入一定量的 1.7N 的氯化钾溶液，同时单击“开始实验”，此时由计算机实时采集数据；

4.7 待反应器浓度不再变化后，单击“退出”以结束采集。接着退出“组态环境”进入数据计算与分析”，可浏览实验结果，最后可打印出计算结果与图形。

#### 五、数据处理

在一定的温度下，氯化钾水溶液的电导率 $\times$ (微姆/cm)或(毫姆/cm)取决于它的浓度  $C$ ，由实验可以确定电导率(或与之对应的数模转换器的毫伏数)—浓度的对应关系，因而测定溶液的电导率(或对应的毫伏数)就可求得浓度。从我们实测的氯化钾水溶液(以自来水作为溶剂)

的电导率(或对应的毫伏数)—浓度数据可以看出：当浓度很低时，在一定的温度下，它的电导率(扣除自来水电导率后的净值)较好地与浓度成正比，故在计算  $F(t)$ 和  $E(t)$ 时同样可用电导率(或对应的毫伏数)代替浓度进行计算。

(1) 停留时间分布函数：

$$F(t) = \frac{\sum_0^t C(t)}{\sum_0^{\infty} C(t)}$$

(2) 停留时间分布密度：

$$E(t) = \frac{C(t)}{\sum_0^{\infty} \Delta t \cdot C(t)}$$

式中， $\Delta t$  为采样时间间隔。

(3) 平均停留时间：

$$\bar{t} = \tau = \frac{\sum_0^{\infty} t \cdot C(t)}{\sum_0^{\infty} C(t)}$$

(4) 方差：

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum_0^{\infty} t^2 \cdot C(t)}{\sum_0^{\infty} C(t)} - \bar{t}^2$$

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_t^2}{\bar{t}^2}$$

(5) 多数混合模型的虚拟级数：

$$N = \frac{1}{\sigma^2}$$

5.1 实验数据记录

表 1

| 反应器类型          | 流量(L/m) | 示踪剂注入体积(ml) | 装水体积(ml) |
|----------------|---------|-------------|----------|
| 单釜与三釜串联<br>反应器 |         |             |          |
| 三釜串联反应器        |         |             |          |
| 管式反应器          |         |             |          |
| 滴流床反应器         |         |             |          |

表 2

| 时间 t(秒) | 浓度 C(t) | $\sum_0^t C(t)$ | F(t) | E(t) |
|---------|---------|-----------------|------|------|
|         |         |                 |      |      |
|         |         |                 |      |      |
|         |         |                 |      |      |

## 5.2 实验结果

| 反应器    | $\tau$ | $\sigma_r^2$ | $\sigma^2$ | N |
|--------|--------|--------------|------------|---|
| 单 釜    |        |              |            |   |
| 釜 A    |        |              |            |   |
| 釜 B    |        |              |            |   |
| 釜 C    |        |              |            |   |
| 管式反应器  |        |              |            |   |
| 滴流床反应器 |        |              |            |   |

## 六、分析讨论题

- 1、示踪剂输入的方法有几种？为什么脉冲示踪法应该瞬间注入示踪剂？
- 2、为什么要在流量  $U$ ，转速  $n$  稳定一段时间后才能开始实验？
- 3、把脉冲法所得出口示踪剂浓度对时间作图，试问曲线下面积为何意义？
- 4、改变流量对平均停留时间有什么影响？

### 附：实验注意事项

- 1、实验过程中应始终保持水流量  $U$  和转速  $n$  不变，否则流型将发生变化，水流量的变动还将引起示踪剂物料衡算的误差。
- 2、示踪剂应尽可能快速注入，否则  $(E)t$  将不与出口示踪剂浓度成正比，同时数学期望和方差也将出现较大的偏差。
- 3、为准确可靠起见，应做 2~3 次平行实验。

( 执笔人：王庭慰)