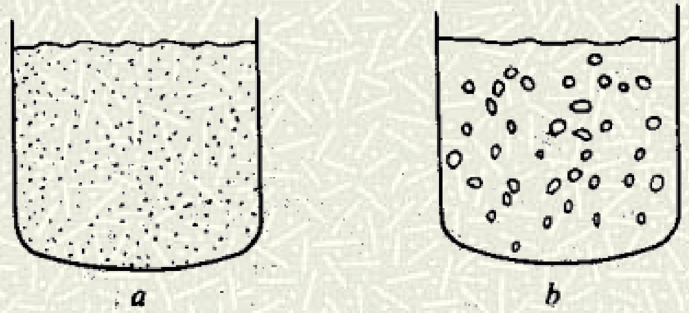
反应器中的混合对反应的影响

第一节　连续反应器中物料混合状态分析

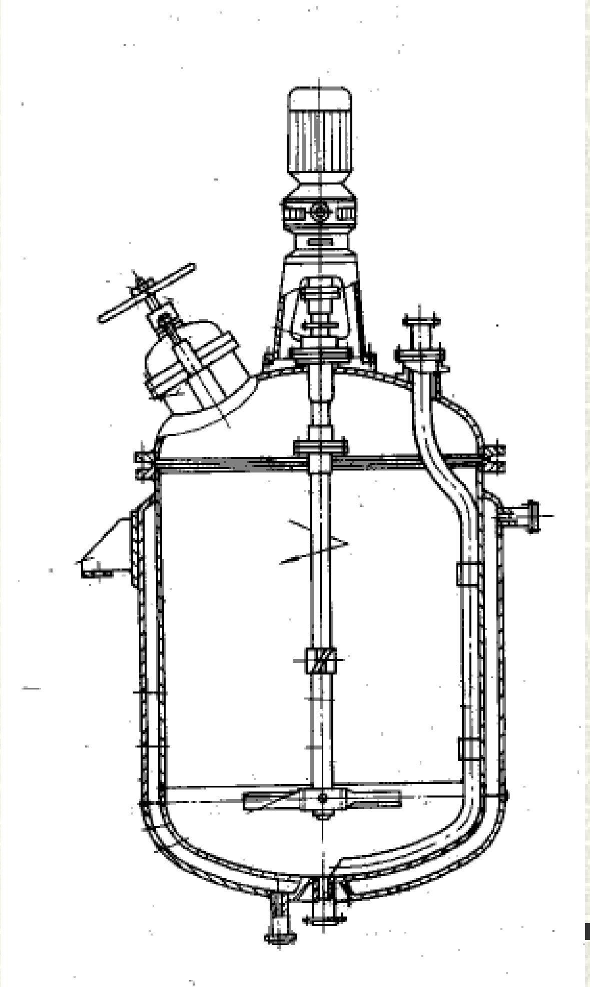
- 按混合对象的年龄可以把混合分成两种：
  （1）同龄混合：相同年龄物料之间的混合
  （2）返混：不同年龄物料之间的混合

- 按混合尺度的大小混合也可分为两种类型：
  宏观混合：设备尺度上的混合
  微观混合：物料微团尺度上的混合



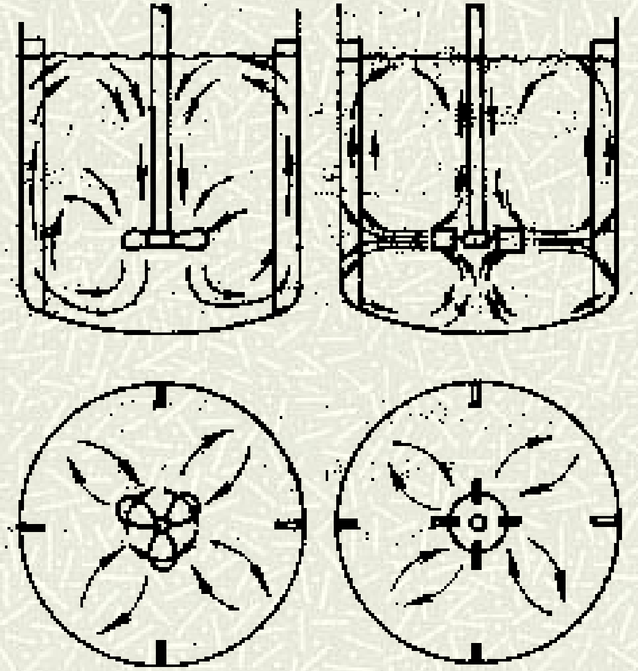
第一节　连续反应器中物料混合状态分析

- 混合的机理
- 总体流动：搅拌器旋转时使釜内液体产生一定途径的循环流动
- 设备尺度上的宏观均匀
- 高速旋转的旋涡与液体微团产生相对运动和剪切力
- 更小尺度上的均匀
- 分子扩散
- 微团最终消失
- 微观均匀

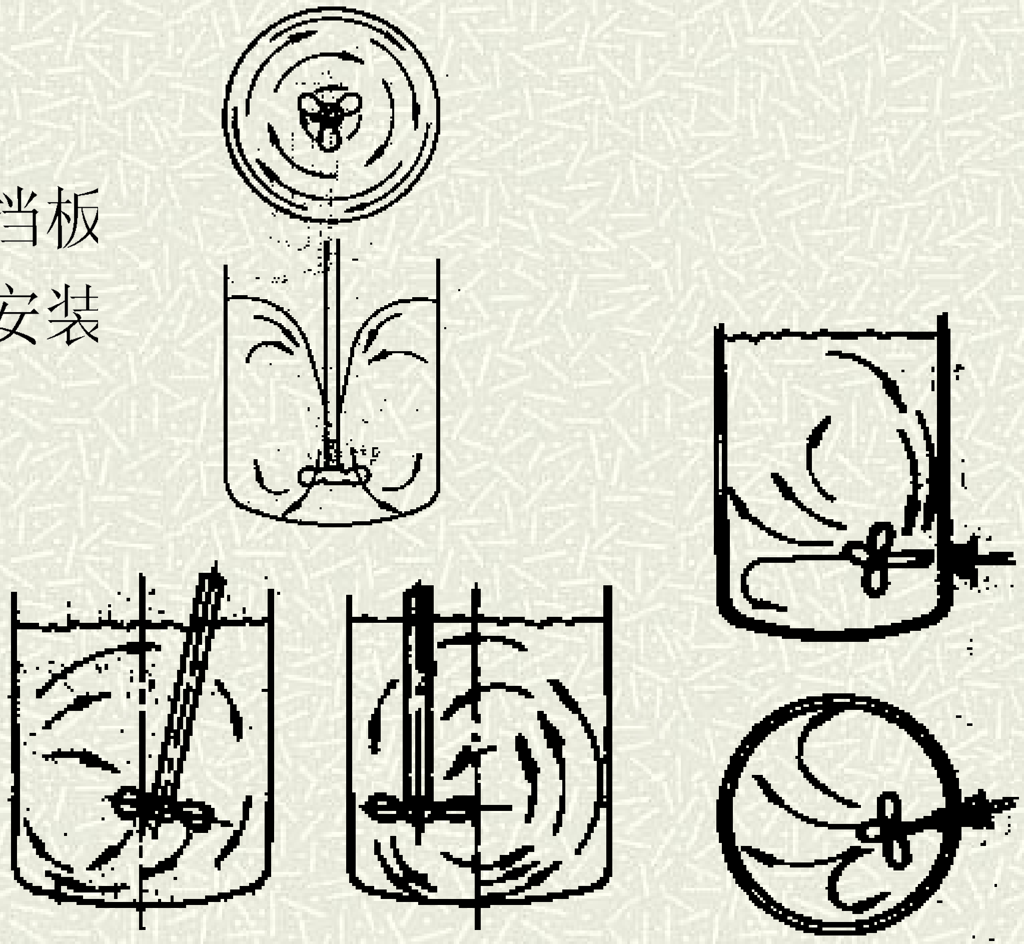


提高混合效果的措施：

- 消除打旋现象：
  - 加设挡板
  - 偏心安装

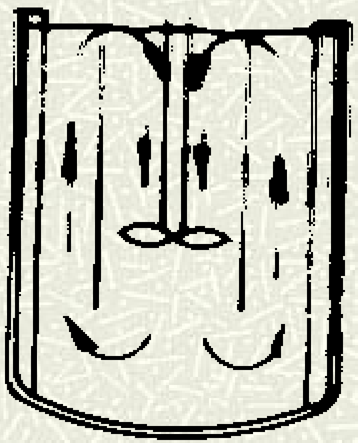


螺旋桨式　　涡轮式

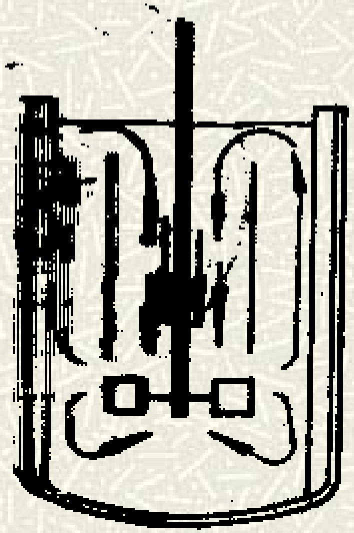


提高混合效果的措施：

- 加设导流筒



螺旋式

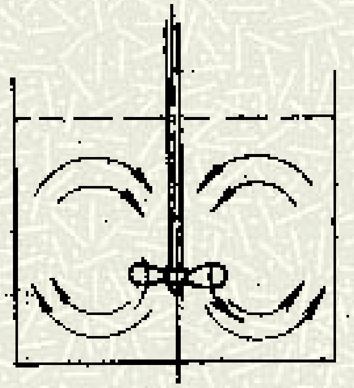


涡轮式

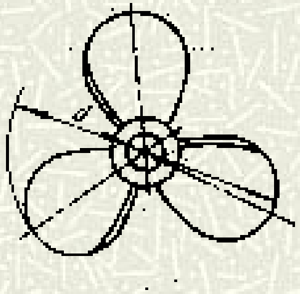
第一节　连续反应器中物料混合状态分析

- 搅拌器的型式
- 高转速搅拌器

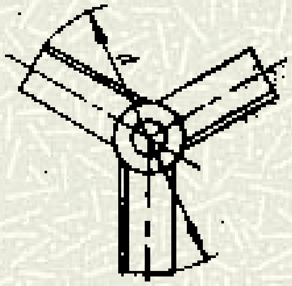
  1、螺旋桨式搅拌器



螺旋桨式搅拌器的总体循环流动



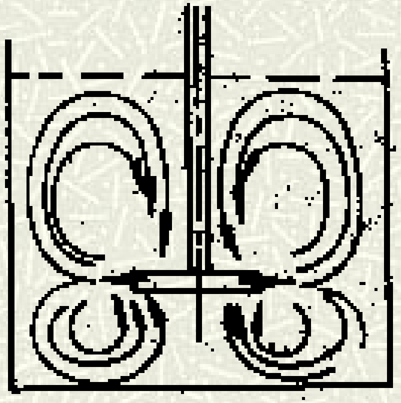
推进式



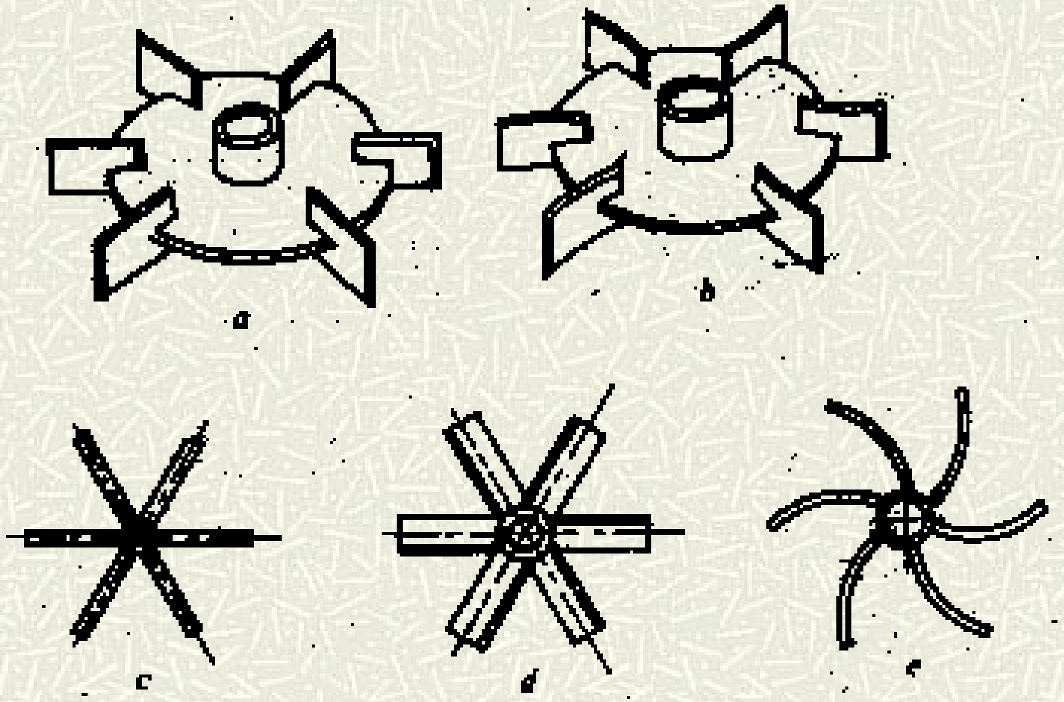
三叶片式

第一节　连续反应器中物料混合状态分析

2、涡轮式搅拌器



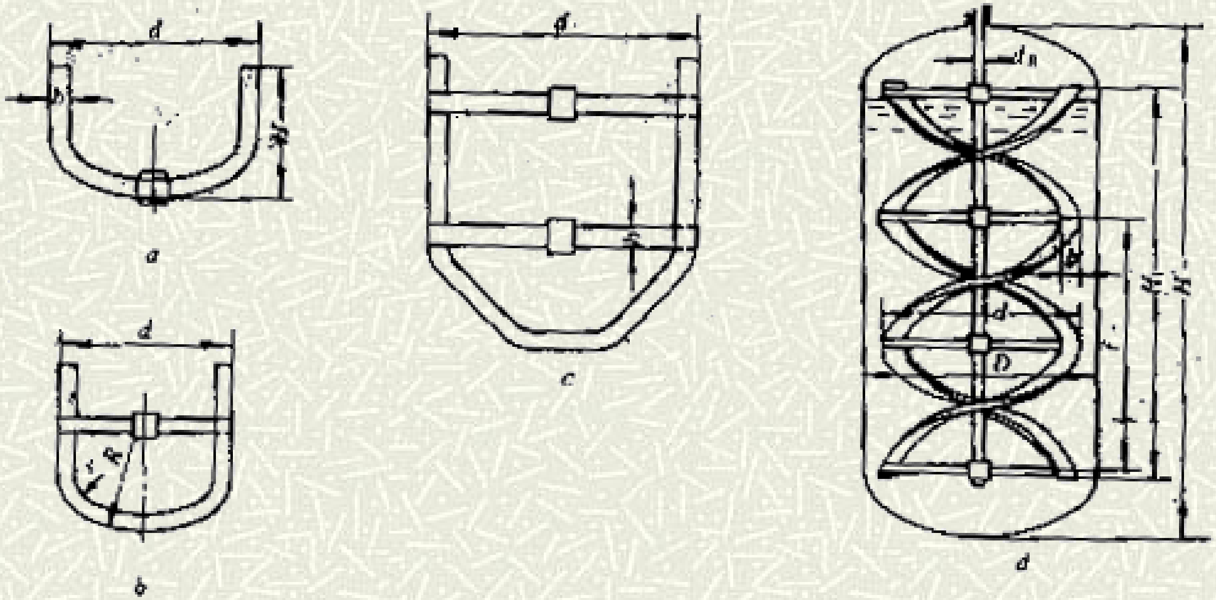
涡轮式搅拌器的总体循环流动



a-直叶圆盘涡轮　b-弯叶圆盘涡轮

c-直叶涡轮　d-折叶涡轮　e-弯叶涡轮

- 大叶片低转速搅拌器
  1、浆式搅拌器
  2、框式和锚式搅拌器
  3、螺带式搅拌器



a-锚式　　　bc-框式　　　d-螺带式

第二节　停留时间分布的测定及其性质

- 停留时间分布的数学描述
- 停留时间分布的实验测定
- 几种流型的停留时间分布函数与分布密度
- 停留时间分布的应用

停留时间分布的数学描述

一、分布密度与分布函数

全混流反应器：机械混合最大

逆向混合最大　　　　返混程度无穷大

平推流反应器：机械混合为零

逆向混合为零　　　　返混程度等于零

间歇反应器：机械混全最大

逆向混合为零　　　　返混程度等于零　　　　反应器内的返混程度

不同—停留时间不同—浓度分布不同—反应速率不同—反应结果不同—生产能力不同

非理想流动反应器：介于两种理想情况之间

停留时间是随机变量，因此停留时间分布是一种概率分布。

停留时间分布的数学描述

- 停留时间（寿命）的概念？？
- 例：在连续操作的反应器内，如果在某一瞬间（t=0）极快地向入口物流中加入100个红色粒子，同时在系统的出口处记下不同时间间隔流出的红色粒子数，结果如下表。

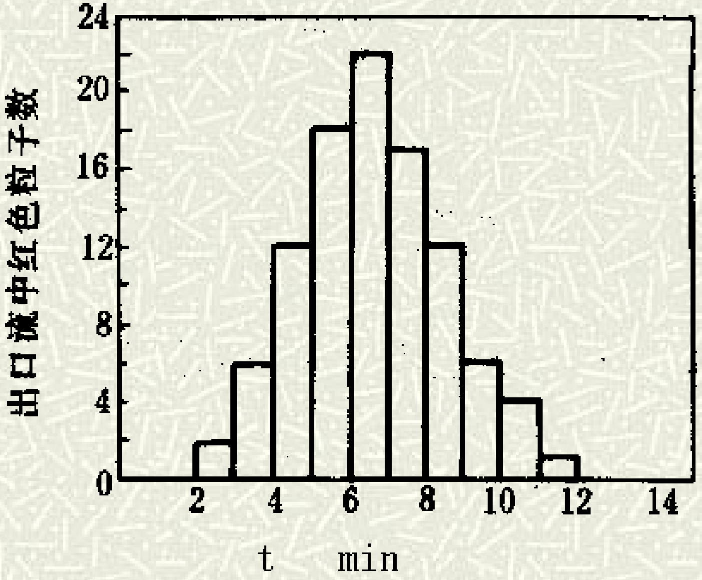
停留时间范围 $t \to t+\triangle t$	0-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-14
出口流中的红色粒子数	0	2	6	12	18	22	17	12	6	4	1	0
分率 $\triangle N/N$	0	0.02	0.06	0.12	0.18	0.22	0.17	0.12	0.06	0.04	0.01	0

- 如果假定红色粒子和主流体之间除了颜色的差别以外，其余所有性质都完全相同，那么就可以认为这100个粒子的停留时间分布就是主流体的停留时间分布。

停留时间分布的数学描述

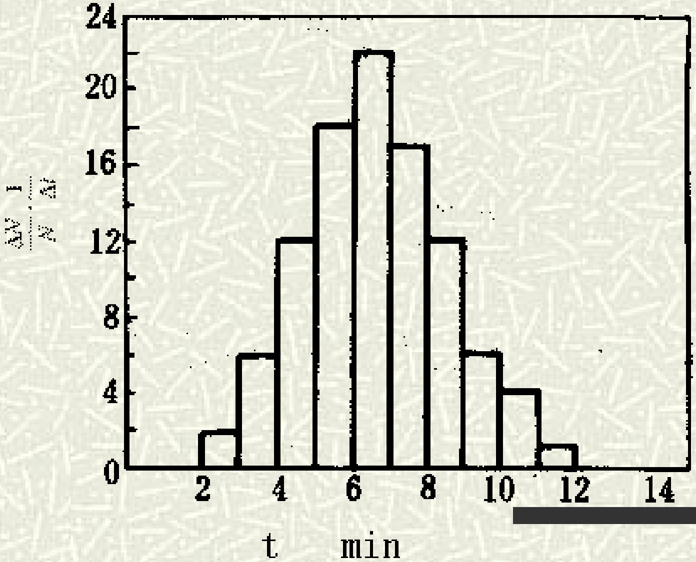
$$\frac{\Delta N}{N}=\frac{\text{停留时间为}t\rightarrow t+\Delta t\text{的物料量}}{t=0\text{时瞬间进入反应器的物料量}}$$

以时间t为横坐标，出口流中红色粒子数为纵坐标，将上表作图：



若以停留时间t为横坐标，$\frac{\Delta N}{N}\cdot\frac{1}{\Delta t}$ 为纵坐标作图，则每一个长方形的面积为$\frac{\Delta N}{N}$

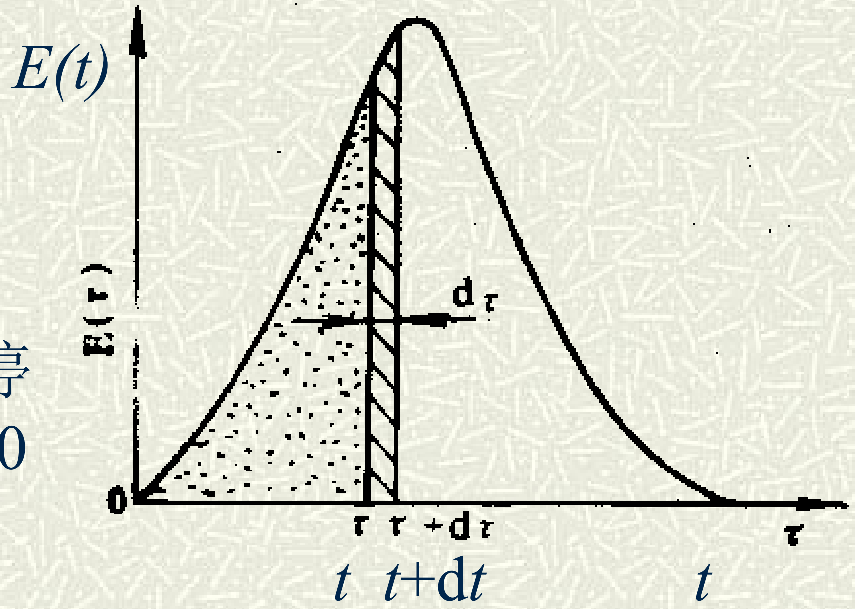
即表示停留时间为t→t+△t的物料占总进料的分率。



停留时间分布的数学描述

- 假如示踪剂改用红色流体，连续检测出口中红色流体的浓度，如果将观测的时间间隔缩到非常小，得到的将是一条连续的停留时间分布曲线。

图中曲线下微小面积$E(t)\mathrm{d}t$表示停留时间在t和t+dt之间的物料占t=0时进料的分率。



停留时间分布的数学描述

- 停留时间分布密度*E(t)*:同时进入反应器的*N*个流体质点中，停留时间介于*t*与*t*+d*t*间的质点所占分率d*N*/*N*为*E(t)*d*t*。
  - *E(t)*曲线下的全部面积代表不同停留时间的物料占进料分率的总和。
  - *E(t)*归一

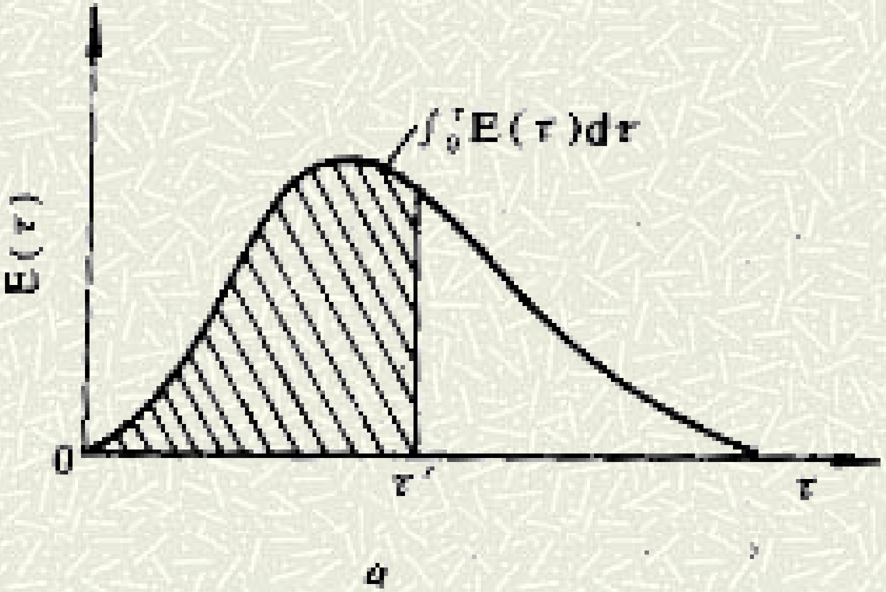
$$\int_0^\infty E(t)\,\mathrm{d}t = 1$$

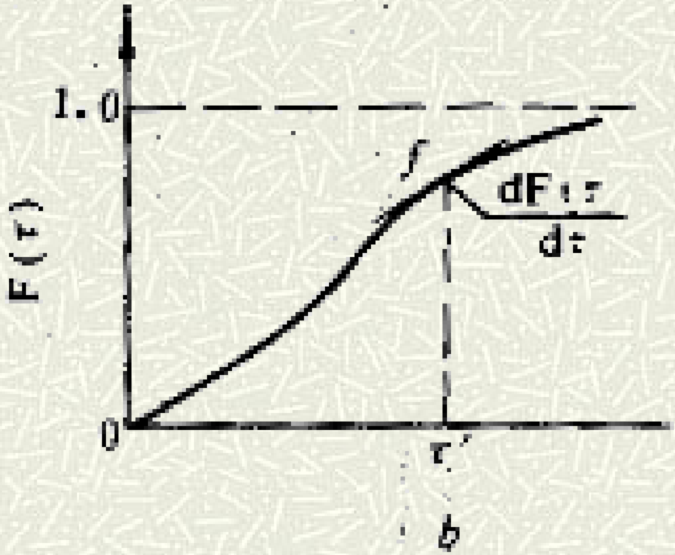
- 停留时间分布函数*F(t)*:停留时间0-*t*范围内的物料（停留时间小于*t*的质点）占进料的分率。
  - 有：

$$F(t)=\int_0^t E(t)\,\mathrm{d}t$$

  - t=0, F(t)=0, t=∞, F(t)=1, F(t)是单调增函数

停留时间分布的数学描述





在某一时间t时，E(t)和F(t)之间的关系为：

$$F(t)=\int_0^t E(t)\mathrm{d}t \qquad E(t)=\frac{\mathrm{d}F(t)}{\mathrm{d}t}$$

停留时间分布的数学描述

二、停留时间分布的数字特征

- 研究不同流型的停留时间分布，通常是比较它们的统计特征值。常用的特征值有两个：
  - 数学期望—平均值
  - 方差—离散程度
- 平均停留时间

$$t_m = \frac{V_R}{V}$$

  - 它是指整个物料在设备内的停留时间，而不是个别质点的停留时间。
  - 不管设备型式和个别质点的停留时间，只要反应体积与物料体积流量比值相同，平均停留时间就相同。

停留时间分布的数学描述

- 数学期望：所有质点停留时间的“加权平均值”

$$t_m = \hat{t} = \frac{\int_0^\infty tE(t)dt}{\int_0^\infty E(t)dt} = \int_0^\infty tE(t)dt = \int_0^\infty t\frac{dF(t)}{dt}dt = \int_0^1 tdF(t)$$

  - E(t)dt=dF(t)
  - F(t)：所有停留时间为0—t的质点所占的分率
  - F(t+dt)：所有停留时间为0—t+dt的质点所占的分率
  - dF(t)= F(t+dt)- F(t)
  - dF(t)：所有停留时间为t—t+dt的质点所占的分率

停留时间分布的数学描述

- 对于离散型测定值，可以用加和代替积分值

t	t_1	t_2	t_3	…….
E(t)	$E(t_1)$	$E(t_2)$	$E(t_3)$	……

$$\hat{t} = \frac{\sum tE(t)\Delta t}{\sum E(t)\Delta t}$$

- 在等时间间隔取样时：

$$\hat{t} = \frac{\sum tE(t)}{\sum E(t)}$$

停留时间分布的数学描述

- 方差：各个物料质点停留时间t与平均停时间$\hat{t}$差的平方的加权平均值。

$$\sigma_t^2 = \frac{\int_0^\infty (t-\hat{t})^2 E(t)dt}{\int_0^\infty E(t)dt} = \int_0^\infty (t-\hat{t})^2 E(t)dt = \int_0^\infty t^2 E(t)dt - \hat{t}^2$$

- 方差是停留时间分布离散程度的量度
- 方差越小，越接近平推流
- 对平推流，各物料质点的停留时间相等，故 $t = \hat{t}$ 方差为零。

停留时间分布的数学描述

- 如果是离散型数据，将积分改为加和：

$$\sigma_t^2 = \int_0^\infty t^2 E(t)\Delta t - \hat{t}^2$$

- 取样为等时间间隔时：

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum (t-\hat{t})^2 E(t)\Delta t}{\sum E(t)\Delta t} = \frac{\sum t^2 E(t)\Delta t}{\sum E(t)\Delta t} - \hat{t}^2 = \frac{\sum t^2 E(t)}{\sum E(t)} - \hat{t}^2$$

停留时间分布的数学描述

- 对比时间（无因次时间）：

$$\theta = \frac{t}{t_m} = \frac{t}{\hat{t}}$$

- 平均对比时间：

$$\theta = \frac{\hat{t}}{t_m} = 1$$

- 停留时间为t时，$\theta = \frac{t}{t_m}$，因此，θ和t一一对应，且有：F（θ）=F（t），此时：

$$E(\theta) = \frac{dF(\theta)}{d\theta} = \frac{dF(t)}{d(t/t_m)} = t_m \frac{dF(t)}{dt} = t_m E(t)$$

- 归一性：

$$\int_0^\infty E(\theta)d\theta = 1$$

停留时间分布的数学描述

•用θ表示的方差：
$$\sigma_t^2=\int_0^\infty (t-\hat{t})^2E(t)dt$$

$$\sigma_\theta^2=\int_0^\infty(\theta-1)^2E(\theta)d\theta$$

$$=\int_0^\infty\theta^2E(\theta)d\theta-2\int_0^\infty\theta E(\theta)d\theta+\int_0^\infty E(\theta)d\theta$$

$$=\int_0^\infty\left(\frac{t}{t_m}\right)^2t_mE(t)\frac{1}{t_m}dt-2\int_0^\infty\frac{t}{t_m}t_mE(t)\frac{1}{t_m}dt+1$$

$$=\frac{1}{t_m^2}\int_0^\infty t^2E(t)dt-\frac{2}{t_m}\int_0^\infty tE(t)dt+1$$

$$=\frac{1}{t_m^2}\int_0^\infty t^2E(t)dt-1$$

$$\therefore \sigma_\theta^2t_m^2=\int_0^\infty t^2E(t)dt-t_m^2=\sigma_t^2$$

$$\therefore \sigma_\theta^2=\sigma_t^2/t_m^2$$

停留时间分布的实验测定

- 描述停留时间分布的两个函数：
  - 停留时间分布密
  - 停留时间分布函

- 应答技术：
  - 用一定的方法将示踪剂加到反应器进口，然后在反应器出口物料中检验示踪剂信号，以获得示踪剂在反应器中停留时间分布的实验数据。
- 选择示踪剂的原则

- 测定常用方法：
  - 脉冲法
  - 阶跃法

脉冲法

- 方法概述
  - 使物料以稳定的流量V通过体积为V_R的反应器，然后在某个瞬间t=0时，用极短的时间间隔Δt_0向物料中注入浓度为C_0的示踪剂，并保持混合物的流量仍为V，同时在出口处测定示踪剂浓度C随时间t的变化。