第五节　过滤过程计算

一、过滤过程的数学描述

1. 物料衡算：

$$\phi = \frac{\omega / \rho_p}{\omega / \rho_p + (1-\omega) / \rho}$$

φ—悬浮液含固量质量分数，(kg固体/kg悬浮液)

ω—悬浮液含固量体积分数，(m^3固体/m^3悬浮液)

滤饼厚度L为：

$$\left.\begin{aligned} V_{悬} &= V + LA \\ V_{悬}\phi &= LA(1-\varepsilon) \end{aligned}\right\} \Rightarrow L = \frac{\phi}{1-\varepsilon-\phi} q \xrightarrow{\phi \ll \varepsilon} \frac{\phi}{1-\varepsilon} q$$

2. 过滤速率：

$$u=\frac{dq}{d\tau}=\frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2a^2}\times\frac{1}{K'\mu}\times\frac{\Delta\mathcal{P}}{L}$$

把滤饼厚度 $L=\dfrac{\phi}{1-\varepsilon-\phi}q=\dfrac{\phi}{1-\varepsilon}q$ 代入上式得：

$$\frac{dq}{d\tau}=\frac{\rho_p\varepsilon^3}{K'a^2(1-\varepsilon)}\times\frac{\Delta\mathcal{P}}{\phi\mu q}$$

令 $r=\dfrac{K'a^2(1-\varepsilon)}{\rho_p\varepsilon^3}$

$$\therefore\frac{dq}{d\tau}=\frac{\Delta\mathcal{P}}{r\phi\mu q}=\frac{\text{过程的推动力}(\Delta\mathcal{P})}{\text{过程的阻力}(r\phi\mu q)}$$

滤液经过滤饼与过滤介质的速率式分别是：

$$\frac{dq}{d\tau}=\frac{\Delta\mathcal{P}_1}{r\phi\mu q} \qquad \Delta\mathcal{P}_1=\frac{dq}{d\tau}(r\phi\mu q)$$

$$\frac{dq}{d\tau}=\frac{\Delta\mathcal{P}_2}{r\phi\mu q_e} \qquad \Delta\mathcal{P}_2=\frac{dq}{d\tau}(r\phi\mu q_e)$$

$$\therefore\frac{dq}{d\tau}=\frac{\Delta\mathcal{P}_1+\Delta\mathcal{P}_2}{r\phi\mu(q+q_e)}=\frac{\Delta\mathcal{P}}{r\phi\mu(q+q_e)}$$

令 $$K=\frac{2\Delta\mathcal{P}}{r\phi\mu}$$

$$\boxed{\frac{dq}{d\tau}=\frac{K}{2(q+q_e)}}$$

——过滤的基本方程式

$$\boxed{\frac{dV}{d\tau}=\frac{KA^2}{2(V+V_e)} \qquad V_e=Aq_e \quad m^3}$$

3. 过滤常数 K、q_e

s——压缩指数

比阻 $r=r_0\cdot\Delta\mathcal{P}^s$

$$s=\begin{cases}0 & (\text{不可压缩流体})\\ 0.2\sim0.8 & (\text{可压缩流体})\end{cases}$$

二、滤液量与过滤时间的关系

$$\text{过滤的典型操作方式}\begin{cases}\text{恒速过滤：恒速率、变压差}\\ \text{恒压过滤：恒压差、变速率}\\ \text{先恒速、后恒压}\end{cases}$$

1. 恒速过滤方程

$$\frac{dq}{d\tau}=\frac{K}{2(q+q_e)}=C$$

$$\frac{q}{\tau}=\frac{\mathrm{K}}{2(q+q_e)}$$

$$\boxed{\begin{aligned} q^2+q\cdot q_e&=\frac{K}{2}\tau \\ V^2+V\cdot V_e&=\frac{K}{2}A^2\tau \end{aligned}}$$

——恒速过滤方程

2. 恒压过滤方程

根据 $K=\dfrac{2\Delta \mathcal{P}}{r\phi\mu}$ 知，对指定的悬浮液，只有当操作压差不变时，K为常数。

积分 $\dfrac{dq}{d\tau}=\dfrac{K}{2(q+q_e)}$

$$\int_{q=0}^{q=q}(q+q_e)dq=\frac{K}{2}\int_0^{\tau}d\tau$$

$$\boxed{\begin{aligned} q^2+2q\cdot q_e&=K\tau \\ V^2+2V\cdot V_e&=KA^2\tau \end{aligned}}$$

——恒压过滤方程

3. 先恒速后恒压过滤方程

$$\int_{q_1}^{q}(q+q_e)dq=\frac{K}{2}\int_{\tau_1}^{\tau}d\tau$$

$$(q^2-q_1^2)+2q_e(q-q_1)=K(\tau-\tau_1)$$

$$(V^2-V_1^2)+2V_e(V-V_1)=KA^2(\tau-\tau_1)$$

其中： $q_1^2+q_1\cdot q_e=\frac{K}{2}\tau_1$

$$V_1^2+V_1\cdot V_e=\frac{K}{2}A^2\tau_1$$

4. 过滤常数的测定

过滤常数是指恒压与恒速过滤方程中的q_e与K值，计算时可先应用实验进行测定，方法主要有：

I 直线拟合法

以恒压过滤为例,其过滤方程可改写为：$\tau/q=q/K+2q_e/K$

可知 τ/q与 q间有线性关系，该直线的斜率为 1/K，截距为$2q_e/K$；因此若将τ/q与q数据拟合成一条直线，根据直线的斜率与截距值，便可得到过滤常数K与q_e。

II 微分测定法

将过滤方程用微分式表示出，有：

$$\frac{\Delta\tau}{\Delta q}=\frac{2}{K}q+\frac{2q_e}{K}$$

连续测定τ和q，可算出一系列Δτ及对应Δq，作出关联直线Δτ/Δq～q图，则有：

该直线的斜率为 2/K，截距为$2q_e/K$

讨论：

由 $K=\dfrac{2\Delta\mathcal{P}}{r\phi\mu}$ 知， $K\sim\Delta\mathcal{P}$ $\quad r=r_0\cdot\Delta\mathcal{P}^s$

似乎实验条件必须与生产条件一致时，K值才能使用，实际上这一限制并不必要。

$$K=\frac{2\Delta\mathcal{P}}{r_0\Delta\mathcal{P}^s\phi\mu}=\frac{2}{r_0\phi\mu}\Delta\mathcal{P}^{1\text{-}s}$$

$$\frac{K_1}{K_2}=\left(\frac{\Delta\mathcal{P}_1}{\Delta\mathcal{P}_2}\right)^{1-s}$$

$$r_0=\frac{2}{K_1\phi\mu}\Delta\mathcal{P}_1^{1\text{-}s}$$

解出r_0和s

根据一个压差下的K值推算另一压差下的K值

结论：实验数据可推广使用

三、洗涤速率与洗涤时间

目的 $\begin{cases} \text{回收滞留在滤饼空隙间滤液} \\ \text{净化滤饼} \end{cases}$

洗涤过程中，滤饼厚度不变，洗涤速率基本上为常数

1. 叶滤机的洗涤速率

洗涤液流经滤饼的通道和过滤终了时滤液的通道相同，洗涤液通过的滤饼面积与过滤面积相同，即：

$$(\frac{dq}{d\tau})_w = \frac{\Delta \mathcal{P}_w}{r\phi\mu_w(q+q_e)}$$

w—洗涤；

q—过滤终了时单位过滤面积的累计滤液量

洗涤时间 $\tau_w = \dfrac{q_w}{(dq/d\tau)_w}$

假定：洗涤液粘度与滤液相同；洗涤压力与过滤时相同

$$\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_w = \frac{\mathrm{KA}^2}{2(V+V_e)} \qquad V_e = Aq_e \quad m^3$$

$$\tau_w = \frac{V_w}{(dV/d\tau)_w} = \frac{2(V+V_e)V_w}{KA^2}$$

2. 板框过滤机的洗涤速率

洗涤液流经滤饼的路径为过滤终了时滤液路径的两倍，洗涤面积为过滤面积一半，即：

$$L_w = 2L \qquad A_W = A/2$$

$$\therefore \left(\frac{dq}{d\tau}\right)_w = \frac{\Delta P_w}{2r\phi\mu_w(q+q_e)}$$

$$\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_w = \frac{A_w \Delta P_w}{2r\phi\mu_w(q+q_e)} = \frac{A\,\Delta P_w}{4r\phi\mu_w(q+q_e)} = \frac{A^2 \Delta P_w}{4r\phi\mu_w(V+V_e)}$$

假定：洗涤液粘度与滤液相同；洗涤压力与过滤时相同

$$\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_w = \frac{1}{4}\frac{KA^2}{2(V+V_e)} = \frac{1}{4}\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_E$$

结论：用同样体积洗涤液，板框过滤的洗涤速率为过滤终了时滤液速率的四分之一。

板框压滤机的洗涤时间为：

$$\tau_w = \frac{V_w}{(dV/d\tau)_w} = \frac{8(V+V_e)V_w}{KA^2}$$

四、过滤过程的计算

设计型问题：

过滤任务给定（V、 τ ），选择适当条件（操作压强、 τ_1），计算A

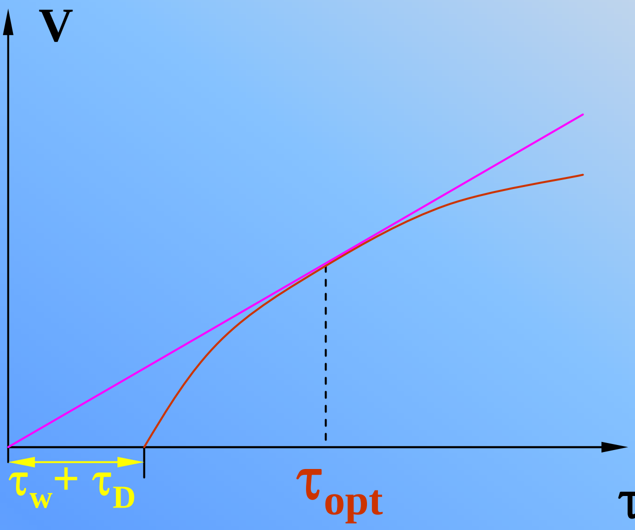
操作型问题：

A已知，计算：(1) V、 τ ；

(2) 操作压强 P、V_1

1. 间歇过滤机的生产能力

生产能力Q：是指在一个操作周期中，单位时间得到的滤液或滤饼体积。即：$Q=\dfrac{V}{\Sigma\tau}$



间歇过滤中，每一操作周期都由三部分组成：$\Sigma\tau=\tau+\tau_w+\tau_D$

- I 过滤时间τ：过滤阶段所需时间
- II 洗涤时间 τ_w：洗涤阶段所需的时间
- III 辅助时间τ_D：拆卸、组装、清洗板框和滤布所需的时间

由图知存在τ_{opt}，使得间歇过滤机的生产能力最大。

2. 回转真空过滤机的生产能力

转筒过滤机，每秒n周，则 $\tau_C=1/n$ —每圈用时

转筒表面浸入分数： ϕ=浸入角度/ 360

一个周期中全部面积经历过滤时间 $\tau = \phi\,\tau_C = \phi/n$

部分面积，全部时间——→全部面积，部分时间

$A\phi$ τ_C A ϕ/n

把恒压过滤方程 $q^2+2q\cdot q_e=K\tau$ 改写

$$(q+q_e)^2=K\tau+q_e^2$$

$$q=\sqrt{K\tau+q_e^2}-q_e$$

2. 回转真空过滤机的生产能力

将转筒表面浸入滤浆中的分数称为浸液率φ。

φ= 转筒浸液面积/转筒总表面积= 浸液角度/360°

若转筒的转数为n(1/s)，则转筒任一部分表面经过过滤区的有效过滤时间为：　τ=φ /n

把恒压过滤方程改写为：$q=\sqrt{q_e^2+K\tau}-q_e$

则回转真空过滤机的生产能力为：

$$Q=nqA=n\left(\sqrt{V_e^2+\frac{\varphi}{n}KA^2}-V_e\right)$$

滤介阻力忽略时（$V_e=q_e=0$）：$Q=\sqrt{KA^2\varphi n}$