

过滤过程计算

悬浮液中固含量的表示方法：质量分数 w (kg固体/kg悬浮液) 和体积分数 ϕ (m^3 固体/ m^3 悬浮液)。颗粒不发生溶胀时，两者的关系为

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

物料衡算

设 $V_{\text{悬}}$ 为获得滤液量 V 并形成体积为 LA 的滤饼时所消耗的悬浮液总量： $V_{\text{悬}} = V + LA$ ，固体量： $V_{\text{悬}}\phi = LA(1 - \varepsilon)$ ，
式中 A 为过滤面积， L 为滤饼厚度。由上述关系可导出

$$L = \frac{\phi}{1 - \varepsilon - \phi} q \quad \text{当 } \varepsilon \text{ 不变时, } L \uparrow \rightarrow q \uparrow$$

$$\text{一般有: } \phi \ll \varepsilon, \text{ 则 } L = \frac{\phi}{1 - \varepsilon} q$$

过滤速率：单位时间、单位过滤面积所得的滤液量

过滤速率

液体通过滤饼的流速很小，一般在低雷诺数范围内，此时

$$u = \frac{dV}{Ad\tau} = \frac{\varepsilon^3}{5a^2(1-\varepsilon)^2} \left(\frac{\Delta p}{\mu L} \right)$$

$\downarrow r^{-1} = \frac{\varepsilon^3}{5a^2(1-\varepsilon)^2} = \text{const} \quad \downarrow$

$$\frac{dq}{d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu R} = \frac{\Delta p}{\mu R} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$

r —滤饼的比阻，反映滤饼的特性。 r 表示滤饼结构对过滤速率的影响，其数值大小可反映过滤操作的难易。

不可压缩滤饼 ($s=0$) 的比阻仅取决于悬浮液的物理性质；

可压缩滤饼的比阻随压差而变化： $r = r_0 \Delta p^s$

r_0 —单位压差下的滤饼的比阻，1/m

滤饼的压缩性系数为 s ， $s=0\sim 1$ ，与物料的种类有关。

如硅藻土的 $s=0.01$ ，碳酸钙 $s=0.19$ ，高岭土 $s=0.33$ 等。

过滤速率的基本方程式

通过滤饼及过滤介质的速率式分别是

$$\frac{dq}{d\tau} = \frac{\Delta p_1}{\mu R} \quad \frac{dq}{d\tau} = \frac{\Delta p_2}{\mu R_e}$$

过滤速率 = $\frac{\text{过滤的推动力之和}}{\text{过程的总阻力}}$

将过滤速率方程式推广

$$\frac{dq}{d\tau} = \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{\mu(R + R_e)} = \frac{\Delta p}{\mu(R + R_e)}$$

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{A^2 \Delta p^{1-s}}{\mu r_0 v (V + V_e)}$$

设 v 为单位体积滤液所得到滤饼的体积 (m^3 滤饼/ m^3 滤液)
则任一瞬时滤饼厚度 L 与得到的滤液体积 V 之间的关系为

$$L = vV / A \quad L_e = vV_e / A$$

过滤的两种典型操作方式

- ①恒压过滤—恒压差、变速率
- ②恒速过滤—恒速率、变压差
- ③先恒速后恒压过滤—为避免过滤初期因压差过高而引起滤布堵塞或破损，可先采用较小的压差，然后逐步将压差提高至恒定值。

恒压过滤方程

恒压过滤时， Δp 为常数，滤饼会不断增厚导致阻力逐渐增大，过滤速率逐渐降低。对于一定的悬浮液， ν 、 μ 、 r_0 为常数，令 $k = \frac{1}{\mu r_0 \nu}$ k 为过滤物料特性常数， $\text{m}^2/(\text{Pa}\cdot\text{s})$

再令 $K = 2k\Delta p^{1-s}$ $\frac{dV}{d\tau} = \frac{KA^2}{2(V + V_e)}$

对于给定的过滤设备及介质而言，式中 A ， V_e 亦为常数

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

$$q^2 + 2qq_e = K\tau$$

$$V^2 + 2VV_e = KA^2\tau$$

若介质阻力可忽略，则 $V_e = 0$ ， $q_e = 0$ ，则： $q^2 = K\tau$

恒压过滤速率基本方程

$$q^2 + 2qq_e = K\tau$$

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

$$V^2 + 2VV_e = KA^2\tau$$

$$(V + V_e)^2 = KA^2(\tau + \tau_e)$$

表示某一瞬时的过滤速率与物系性质、操作压差及该时刻以前的累计滤液量之间的关系，亦表明了过滤介质阻力的影响

例3-1 过滤计算

过滤某悬浮液，实验知 $v = 0.25 \text{ m}^3 \text{ 滤饼} / \text{m}^3 \text{ 滤液}$ ， $s = 0$ ， $r_0 = 1.3 \times 10^{11} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$ ，水的 $\mu = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ ， $\Delta p = 9.81 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，过滤介质阻力可以忽略不计。试求：

- (1) 每平方米过滤面积上获得 1.5 m^3 滤液所需的过滤时间？
- (2) 若过滤时间增加一倍，可再获得多少滤液？

恒速过滤方程

$dq/d\tau = \text{const}$ 故:

$$\frac{dq}{d\tau} = \frac{K}{2(q + q_e)} = \text{常数}, \quad \text{即} \frac{q}{\tau} = \frac{K}{2(q + q_e)}$$

$$\text{所以} q^2 + qq_e = K\tau/2 \text{ 或 } V^2 + VV_e = KA^2\tau/2$$

Δp 的增大应受管道及设备受压（耐压）的限制，现实中，几乎没有把恒速方式进行到底的过滤操作。

通常只是在过滤开始阶段以较低的恒定速率操作，当表压升高至给定数值时，便采用恒压操作，即先恒速后恒压过滤操作。

先恒速后恒压过滤操作

若令 V_R , τ_R 分别为恒速升压阶段终了瞬间的滤液体积及过滤时间, 则在此瞬间后开始的恒压过滤操作阶段的 $V \sim \tau$ 关系如下:

$$\int_{q=q_R}^{q=q} (q + q_e) dq = \frac{K}{2} \int_{\tau=\tau_R}^{\tau=\tau} d\tau$$
$$(q^2 - q_R^2) + 2q_e(q - q_R) = K(\tau - \tau_R)$$
$$(V^2 - V_R^2) + 2V_e(V - V_R) = KA^2(\tau - \tau_R)$$

$V - V_R$, $\tau - \tau_R$ 分别代表转入恒压操作后所获得的滤液体积及所经历的过滤时间。

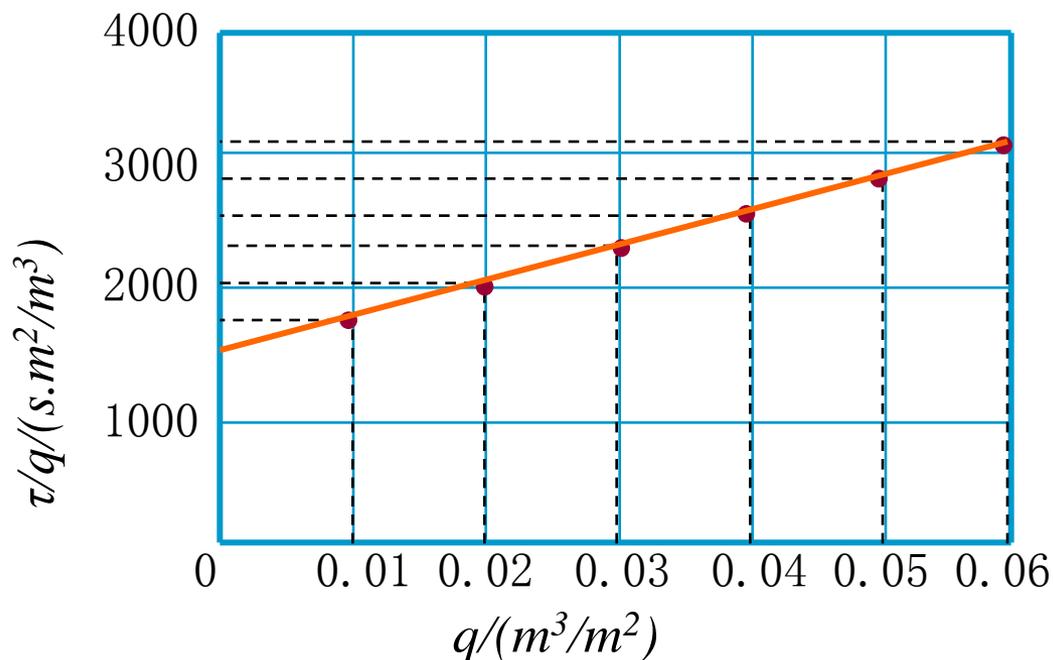
过滤常数(K, q_e)的测定

在恒压条件下，过滤方程可写成

$$\frac{\tau}{q} = \frac{1}{K}q + \frac{2}{K}q_e$$

上式表明：

τ/q 与 q 之间具有线性关系， $1/K$ 是斜率，截距为 $2q_e/K$ 。



压缩性指数 s 和物料的特性常数 k 的测定

$$K = 2k\Delta p^{1-s}$$


$$\lg K = (1-s)\lg(\Delta p) + \lg(2k)$$

上式在双对数坐标中成直线， $(1-s)$ 是斜率，截距为 $\lg 2k$ 。

洗涤速率与洗涤时间

滤饼洗涤的目的：

回收滞留在颗粒缝隙间的滤液，或净化构成滤饼的颗粒。

洗涤速率 $\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_w$

V 为过滤终了时的累计量。

洗涤时间 $\tau_w = \frac{V_w}{\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_w}$

若洗涤与过滤终了时的操作压强相同、洗液与滤液的粘度相等，则叶滤机的洗涤速率与最终过滤速率相等。

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

洗涤速率与洗涤时间

板框压滤机: 洗涤与过滤路径的不同

洗涤面积是过滤面积的一半: $A_w = \frac{1}{2}A$

洗涤路径是过滤路径的两倍: $(L + L_e)_w = 2(L + L_e)_E$

则洗涤速率: $\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_w = \frac{1}{4}\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_E = \frac{KA^2}{8(V + V_e)}$

洗涤时间: $\tau_w = \frac{8(V + V_e)V_w}{KA^2}$

可见, 用同样体积的洗涤液, **板框压滤机的洗涤时间为叶滤机的四倍。**

【例3-2】洗涤时间

生产能力：单位时间得到的滤液量

间歇式过滤机

每一操作周期由三部分组成： $\sum\tau = \tau_F + \tau_w + \tau_D$

①过滤时间 τ_F

②洗涤时间 τ_w

③组装、卸渣及清洗滤布等辅助时间 τ_D

生产能力：

$$Q = \frac{V}{\sum\tau}$$

生产能力

转筒真空过滤机：

过滤时间： $\tau = \varphi/n$

φ —转鼓侵入面积占全部转鼓面积的分率：**浸没度** $\left(= \frac{\text{浸没角度}}{360^\circ} = \frac{\tau}{T} \right)$

n —转鼓的转速， $1/T, \text{s}^{-1}$

由此，转筒真空过滤机的部分表面的连续过滤可用全部表面的间歇过滤表示。

应用恒压过滤方程得：
$$V = \sqrt{KA^2(\tau + \tau_e)} - V_e = \sqrt{KA^2\left(\frac{\varphi}{n} + \tau_e\right)} - V_e$$

生产能力： $Q = nV$

$$Q = n \left(\sqrt{V_e^2 + \frac{\varphi}{n} KA^2} - V_e \right) \xrightarrow{\text{介质阻力可不计时}} Q = \sqrt{KA^2 \varphi n}$$

转筒真空过滤机的生产能力与其各个结构参数和操作参数有关系，其转速越高，浸没度越大，生产能力越大。

加快过滤速率的途径

(1)寻找恰当的过滤方法和设备

(2)提高生产能力：加快过滤速率

①改变滤饼结构：加入助滤剂以形成稳定的滤饼结构；此外，助滤剂还有防止过滤介质早期堵塞和吸附微小颗粒获得清澈滤液的作用。

②改变悬浮液中的颗粒聚集状态：形成大颗粒。
加入聚合电解质如絮凝剂，或加入无机电解质
※加入絮凝剂后，形成的滤饼可压缩性增强。

③动态过滤：限制滤饼厚度的增长。