恒压过滤实验仿真培训
软件操作说明书

北京欧倍尔

欧倍尔

北京欧倍尔软件技术开发有限公司

2018 年 01 月

目录

一、实验内容.....3

二、实验目的.....3

三、实验原理.....3

四、实验设计.....6

五、实验步骤.....7

六、实验数据处理.....8

七、仿真画面.....8

北京欧信尔

一、实验内容

（1）测定恒压操作条件下的过滤常数 K，qe；

二、实验目的

（1）学习并掌握应用数学模型法处理工程实际问题的研究方法。

（2）了解过滤设备的构造和操作方法。

（3）学习并掌握实验测定过滤常数的基本原理和方法，了解测定过滤常数的工程意义。

三、实验原理

广义地讲，过滤是借助于能将固体物截留而让流体通过的（过滤）多孔介质将固体物从液体或气体中分离出来的单元操作。工业上，过滤多指液固系统的分离。过滤过程的本质是流体通过固定颗粒层（滤饼）的流动，只不过在过滤过程中，固定颗粒层的厚度在不断增加，流体流动阻力也不断增大，因此，在推动力（压差）不变的情况下，单位时间内通过过滤介质的液体量在不断减少。如果将单位时间内通过单位过滤面积的滤液量定义为过滤速率，即

$$u = \frac{dV}{Ad\tau} = \frac{dq}{d\tau} \tag{7-1}$$

$$q = \frac{V}{A} \tag{7-2}$$

式中 u——过滤速率，m/s

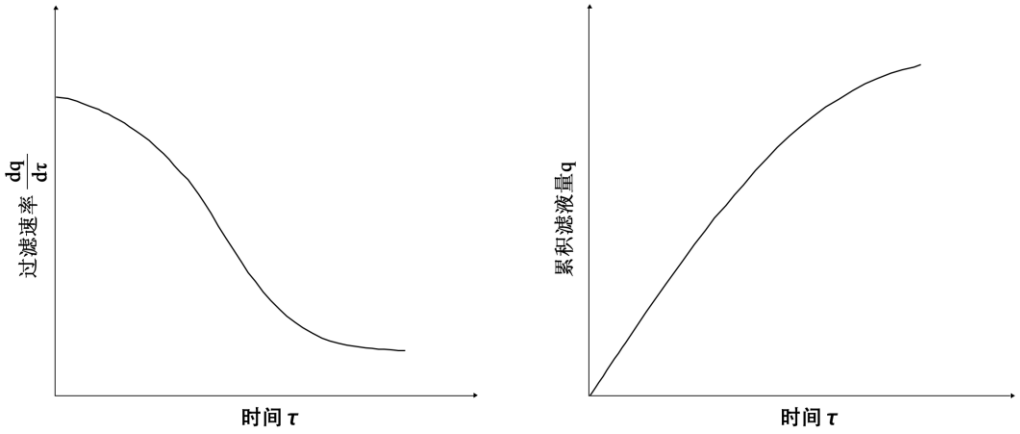
V——通过过滤介质的滤液量，m^3；

A——过滤面积，m^2；

τ ——过滤时间，s；

q——通过单位过滤面积的滤液量，m^3/m^2；

可以预测，在恒定压差下，过滤速率 $\frac{dq}{d\tau}$ 和滤液量 q 与过滤时间有如图 7-1 所示的关系。



(a) (b)

图 7-1　过滤速率和滤液量与过滤时间的关系

尽管过滤是一个流体力学问题，但在过滤过程中，影响过滤速率的主要因素除了推动力（压差）大小、滤饼厚度外，尚有滤饼、悬浮液（含有固定颗粒的原料液）性质、悬浮液温度、过滤介质的阻力等诸多因素，因此，难以直接采用流体在圆管中流动的有关计算公式来计算过滤速率和阻力等问题。

对于过滤问题，可以根据过程的本质和特征对实际过程做出适当简化，从而可以采用适当的数学方程（模型）进行描述。

比较过滤过程与流体通过固定床的流动可知，过滤速率即为流体经过固定床的表观速率 u，同时，液体在细小颗粒构成的滤饼空隙中的流动属于低雷诺数范围。因此，可利用流体通过固定床压降的简化数学模型，寻求滤液量与时间的关系。

在低雷诺数下，过滤速率可用康采尼（Kozeny）公式表示：

$$u = \frac{dq}{d\tau} = \frac{1}{K'} \bullet \frac{\varepsilon^2}{(1-\varepsilon)^2 a^2} \bullet \frac{\Delta p}{\mu L} \qquad (7\text{-}3)$$

式中 K'——与滤饼空隙率、颗粒形状、排列方式等有关的常数，当 Re' < 2 时，K'=5；

ε——滤饼的孔隙率，m^3/m^3；

a——颗粒的比表面积，m^2/m^3；

Δp——压差，即过滤推动力，Pa；

μ——滤液黏度，Pa s；

L——滤饼厚度，m。

根据物料衡算并考虑到过滤介质的阻力，可以导出过滤基本方程式：

$$\frac{dq}{d\tau} = \frac{\Delta p}{\gamma \varphi \mu (q + q_e)} \qquad (7\text{-}4)$$

式中 γ——滤饼比阻，m^{-2}，对可压缩滤饼，$\gamma = \gamma_0(\triangle p)^S$，　S 称为压缩指数；

φ——悬浮液中固含量，kg/m^3 清液；

μ——液体黏度，Pa s；

q_e——为形成与过滤介质阻力相当的滤饼层的虚拟滤液量。

为了简便起见，式（7-4）可改写为

$$\frac{dq}{d\tau}=\frac{K}{2(q+q_e)} \tag{7-5}$$

或

$$K=\frac{2\Delta p}{\gamma\varphi\mu} \tag{7-6}$$

$$K=\frac{2\Delta p^{1-S}}{\gamma_0\varphi\mu} \tag{7-7}$$

式中的 K、q_e 都可称为过滤常数。

在恒压操作条件下，△P 为常数，对式（7-5）积分，可得

$$q^2+2qq_e=K\tau \tag{7-8}$$

此即为恒压过滤方程。如若知道了 K 和 q_e，即可在过滤设备、过滤操作条件一定时，计算过滤一定的滤液量所需的操作时间；或者在过滤时间、过滤条件一定时，计算为完成一定生产任务所需的过滤设备（面积）的大小。通常前者称为操作计算，后者称为设计计算。

显然，只要做少量的实验，求得 q-τ 之间的关系，即可通过实验数据的处理得出 K 和 q_e。为此，将式（7-8）变换成如下形式：

$$\frac{\tau}{q}=\frac{1}{K}q+\frac{2}{K}q_e \tag{7-9}$$

实验时，只要保持过滤压力（差）不变，测得对应不同过滤时间所得到的滤液量，以 $\frac{\tau}{q}$ 对 q 在直角坐标系作图，得一直线，读取直线斜率 $\frac{1}{K}$ 和截距 $\frac{2}{K}q_e$，即可求得过滤常数 K 和 qe，或者利用计算机直接对 $\frac{\tau}{q}$ 和 q 的数据进行线性拟合，求得 $\frac{1}{K}$ 和 $\frac{2}{K}q_e$，进而算的 K 和 q_e。

在组织实验时，由于过滤开始时刻在过滤介质上固体颗粒尚未形成滤饼，如若实验一开始即以恒压操作，部分颗粒就可能因在过滤推动力较大时穿过过滤介质而得不到清液。因此，在实验开始后，首先在较小压力下操作片刻，待固体颗粒在过滤介质上形成滤饼后，再在预定的压力下操作至结束。

如此，若在恒压过滤前的 τ_1 时间内已通过了 q_1 滤液量，则在 $\tau_1\sim\tau$ 和 $q_1\sim q$ 内将式（7-5）积分，整理后可得：

$$\frac{\tau-\tau_1}{q-q_1}=\frac{1}{K}(q-q_1)+\frac{2}{K}(q_1+q_e)=\frac{1}{K}(q+q_1)+\frac{2}{K}q_e \tag{7-10}$$

式（7-10）表明，$q+q_1$ 和 $\frac{\tau - \tau_1}{q - q_1}$ 为线性关系，采用与式（7-9）同样的处理方法，亦可方便地求得 K 和 q_e。

如果滤饼是可压缩的，则可在实验中改变过滤压力（差）△p，测得不同的 K 值，则 K 的定义式（7-7）两边取对数得

$$\lg K = (1-s)\lg(\Delta p) + \lg\frac{2}{\gamma_0 \varphi \mu} \qquad (7\text{-}11)$$

将 K 于△p 在双对数坐标上标会得一直线，直线的斜率为（1-S），由此可得滤饼的压缩指数 S。将 S 代入式（7-11）可求出滤饼的比阻。

要说明的是，虽然△p 是过滤的推动力，增大△可使过滤速率增大，但过滤速率亦与过滤阻力有关。工业上，经常采用减小阻力的办法来强化过滤操作，例如采用性能良好的过滤介质，在原料悬浮液中添加硅藻土、活性炭等改善滤饼的结构，或加入其它有机的、无机的添加剂以减小悬浮液的黏度等措施，而这些也是过滤问题研究的重点内容。

四、实验设计

1、实验方案

用轻质碳酸钙（$CaCO_3$）粉和水配制的悬浮液作实验物料，以供料泵提供的压力为过滤动力源，测定不同过滤时间和与之对应的滤液量，通过对实验数据的处理即可求得过滤常数。

在该实验（装置）的设计中采用了计算机在线检测技术，即用电子秤来称量滤液，电子秤的称量信号经只能显示仪表输送至计算机软件程序中，并实时地得以记录并显示。配以实验数据的自动计算处理功能，该实验（装置）系统显示了准确、高效和便捷的技术特点。

2、检测点及测试方法

实验需记录原始数据有过滤时间τ 、对应的滤液量 V 及过滤面积 A。如果滤液量以质量计量，还应测定滤液的温度以便计算其体积流量。

过滤时间τ 用计算机时钟自动记录，必要时也可用两支秒表手工交替计时；滤液量用计量桶下的电子秤计量并将信号输送至计算机软件程序中，必要时也可通过手工测量计量桶的滤液高度变化来计量。

3、控制点及调节方法

实验中应保持连续不断地向过滤器供料，同时要控制过滤压力稳定，为此须设置压力调节阀。

4、实验装置和流程

主要设备：过滤器为板框式过滤器（共 3 层滤板），过滤介质为致密帆布滤网，供料泵，悬浮液槽，清液槽（滤液计量桶），流量控制阀，压力调节阀，压力表，温度计，计算机和过滤实验系统软件。

本实验装置主要由悬浮液槽、供料泵、过滤器、清液槽、空气压缩机和计算机等构成，其流程如图 7-2 所示。

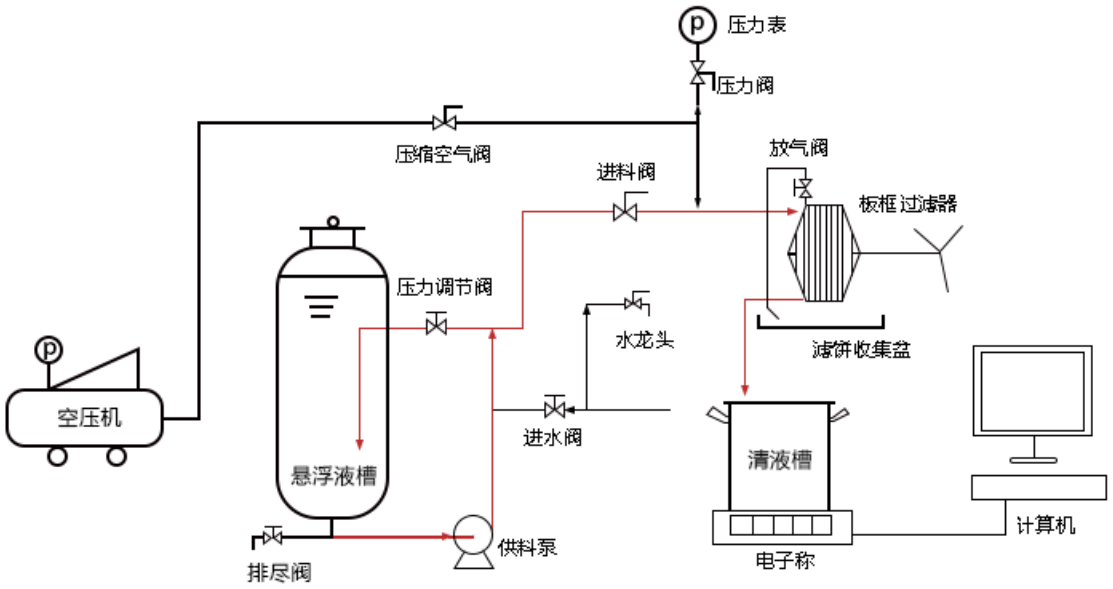


图 7-2　过滤常数测定实验装置流程图

将碳酸钙（$CaCO_3$）在悬浮液槽内配制成浓度约为 1.01%~1.025%（波美度）的悬浮液，由底部的供料泵循环搅动，使浆液不致沉淀；通过调节压力阀的开度，将料液经旁路管路和进料阀送入板框过滤器过滤，滤液流入清液槽并由电子秤称重计量；过滤完毕后，可用压缩空气吹干滤饼。

可在 0.020~0.080MPa 内选定过滤压力。

五、实验步骤

1、实验准备

检查实验装置处在开车前的状态；

2、配料

用工业碳酸钙（CaCO3）粉在悬浮液槽内配制滤液，其量宜为槽容积的 2/3 左右（已配制完成）。浓度约在 1.01%~1.025%（波美度），由供料泵循环搅拌，防止沉淀。检查关闭过滤进料阀后，启动供料泵，全开压力调节阀（同时作为料液循环阀）。

3、装配过滤器

实验用的过滤器依装配顺序由支撑底座、板框、过滤板、滤布、盖板和紧固螺杆组成。

先用水浸湿滤布，点击板框过滤器将滤布覆盖在过滤板上，将过滤器各部件按顺序装好后（本实验除滤布外其余配件已装配好），手动旋转紧固螺杆将过滤器紧固，过滤器不应有明显外渗漏现象。

4、操作准备

（1）打开电子秤开关，称量去皮重。

（2）打开压力表阀。

5、过滤实验操作

（1）在料液循环搅拌一定时间后，打开进料阀，此时计时器自动计时，同时关小压力调节阀，在 0.015~0.035MPa 内选定过滤压力，本实验选定过滤压力为 0.02MPa。

（2）与（1）同时，开、关过滤器放气阀 1~3 次，排尽过滤器中的气体。

（3）压力恒定时，点击右上角的“开始采样”按钮，开始记录过滤时间和滤液质量，每 30 秒采样记录一次，记录 15 组。

6、实验结束

依次开大压力调节阀以卸去过滤压力，关闭进料阀和供料泵；打开压缩空气阀将滤饼吹干约 30s，并关闭压缩空气阀；松开板框过滤器螺杆，再次点击过滤器取出滤布。

六、实验数据处理

数据记录与处理

过滤直径：130mm　悬浮液密度：1019kg/m^3　板框数：3　清液槽质量：13.2kg

序号	过滤时间 τ(s)	滤液累积质量 m(kg)	滤液量 q ×10^{-2}(m^3/m^2)	(q+q1) ×10^{-2}(m^3/m^2)	(τ-τ1)/(q-q1) (m^2 s/m^3)
1	30	2.215	2.73		
2	60	4.030	4.97	7.70	1340.70
3	90	5.661	6.98	9.71	1412.29
4	120	7.023	8.66	11.39	1518.33
5	150	8.350	10.29	13.03	1586.55
6	180	9.513	11.73	14.46	1667.15
7	210	10.634	13.11	15.84	1734.20
8	240	11.622	14.32	17.06	1810.74
9	270	12.601	15.53	18.27	1874.35
10	300	13.560	16.72	19.45	1930.40

以第三组数据为例：

过滤总面积：

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times 3 \times 2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times (\frac{130}{1000})^2 \times 3 \times 2 = 0.079599\,m^2$$

滤液体积：

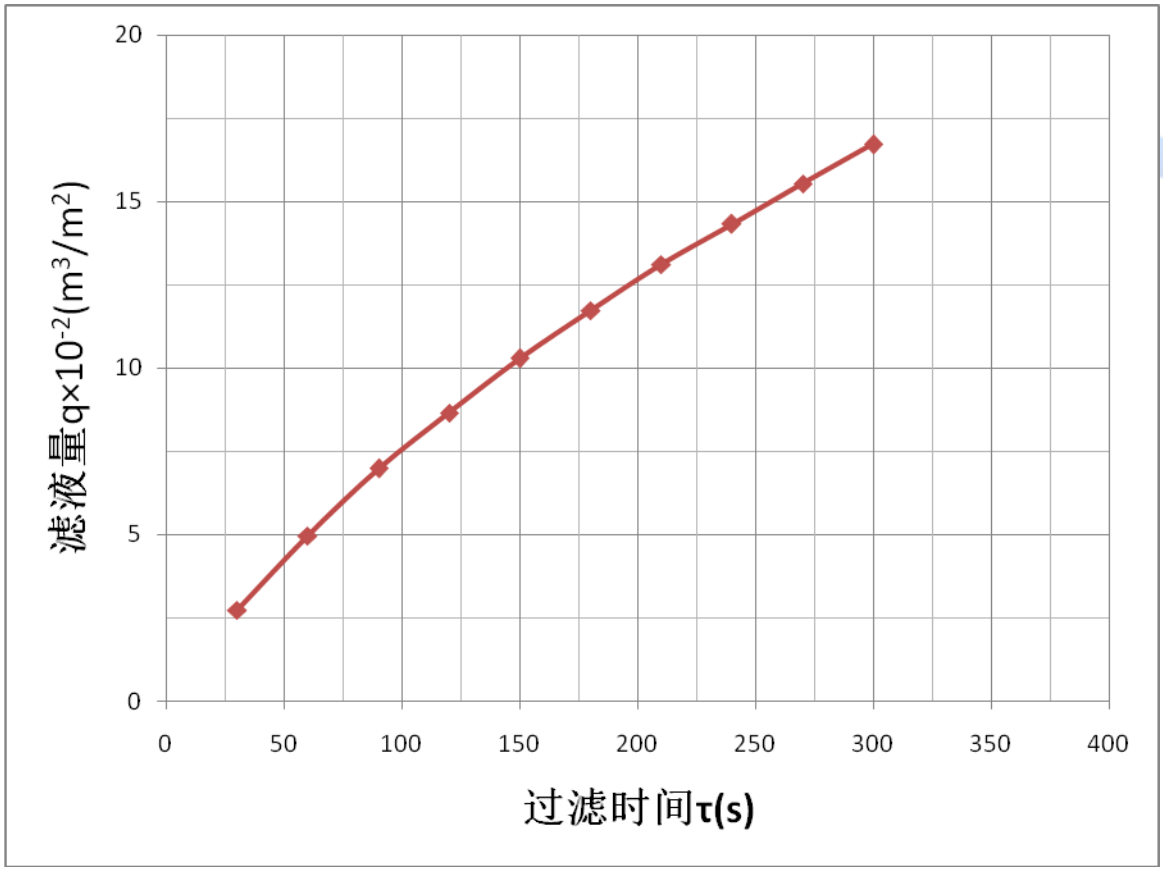
$$V = \frac{\mathrm{m}}{\rho} = \frac{5.661}{1019} = 0.00556\,\mathrm{m}^3$$

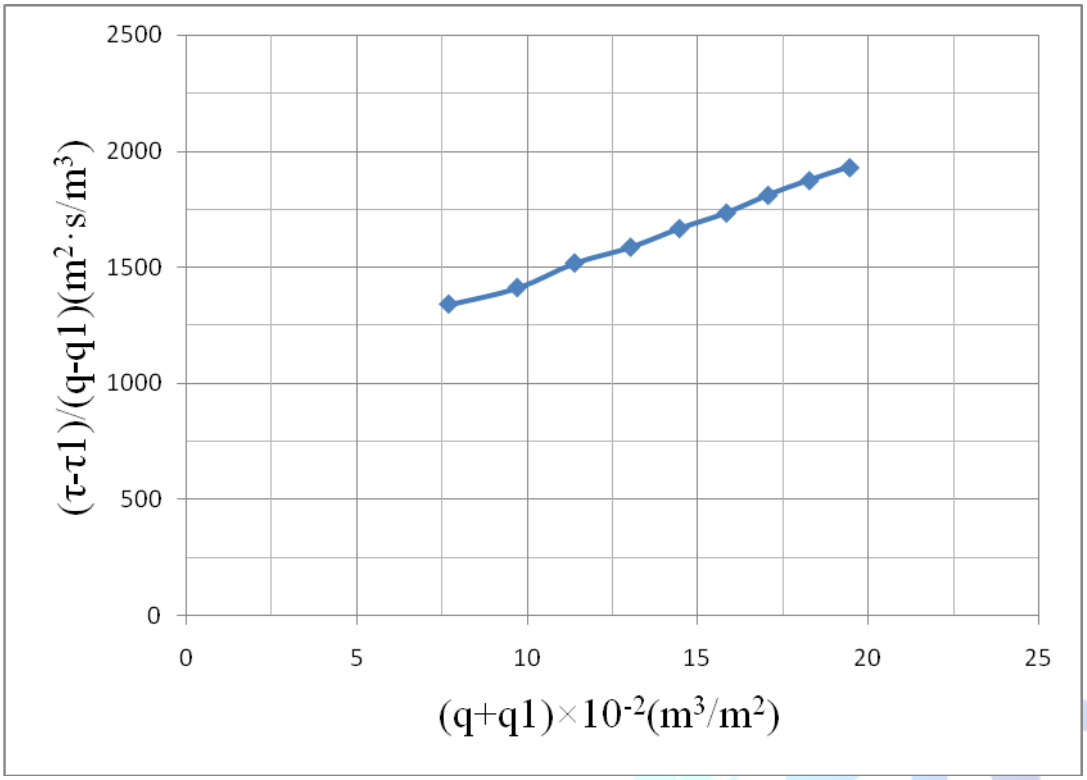
单位面积滤液量：

$$\mathrm{q} = \frac{V}{A} = \frac{0.00556}{0.079599} = 6.98 \times 10^{-2}\,\mathrm{m}^3 / m^2$$

$$q+q1=6.98\times10^{-2}+2.73\times10^{-2}=9.71\times10^{-2}\ \mathrm{m}^3/\mathrm{m}^2$$

$$\frac{\tau - \tau_1}{q - q_1} = \frac{90 - 30}{6.98 \times 10^{-2} - 2.73 \times 10^{-2}} = 1412.29 m^2\ s / m^3$$





1/K=5141

$\frac{2}{K} q_e$ =927.7

K=1.95×10-4

qe=0.090

七、仿真画面



北京欧信尔

地址：北京市海淀区清河永泰园甲 1 号建金商厦 420-423 室　　邮编：100085

E-mail: bjobe@163.com　　电话：010-82830966　　网址：www.bjobe.com