恒压过滤实验

# 一、实验目的

1. 熟悉板框压滤机的构造和操作方法。
2. 通过恒压过滤实验，验证过滤基本理论。
3. 学会测定过滤常数 *K*、*qe*、*te* 及压缩性指数 *s* 的方法。
4. 了解过滤压力对过滤速率的影响。

# 二、实验任务

1. 测定过滤常数 *K*、*qe*、*te* 及压缩性指数 *s*。
2. 了解过滤压力对过滤速率的影响。

# 三、实验原理

过滤是以某种多孔物质为介质来处理悬浮液以达到固、液分离的一种操作过程，即在外力的作用下，悬浮液中的液体通过固体颗粒层（即滤渣层）及多孔介质的孔道而固体颗粒被截留下来形成滤渣层，从而实现固、液分离。因此，过滤操作本质上是流体通过固体颗粒层的流动，而这个固体颗粒层

（滤渣层）的厚度随着过滤的进行而不断增加，故在恒压过滤操作中，过滤速度不断降低。

过滤速度 ***u*** 定义为单位时间单位过滤面积内通过过滤介质的滤液量。影响过滤速度的主要因素除过滤推动力（压强差）△p，滤饼厚度 L 外，还有滤饼和悬浮液的性质、悬浮液温度、过滤介质的阻力等。

过滤时滤液流过滤渣和过滤介质的流动过程基本上处在层流流动范围内，因此，可利用流体通过固定床压降的简化模型，寻求滤液量与时间的关系，可得过滤速度计算式：

𝑢 = 𝑑𝑉

𝐴𝑑𝑡

= 𝐴∆𝑃(1−𝑠)

𝜇𝑟𝑣(𝑉+𝑉𝑒)

（1）

式中：*u* —过滤速度，m/s；*V* —滤液量，m3；*A* —过滤面积，m2；*t* —过滤时间，s；△*p* —过滤压力

（表压）pa ；*s* —滤渣压缩性系数；*μ*—滤液的粘度，Pa.s；*r* —滤渣比阻，1/m2；*v*—单位滤液体积的滤渣体积，m3/m3；*Ve* —过滤介质的当量滤液体积，m3。

对于一定的悬浮液，在恒温和恒压下过滤时，*μ*、*r*、*v* 和△*p* 都恒定，为此令：

𝐾 = 2∆𝑃(1−𝑠)

𝜇𝑟𝑣

（2）

于是式（1）可改写为：

*dV* 

*d*

*KA*2

2(*V*  *Ve*)

（3）

式中：*K*—过滤常数，由物料特性及过滤压差所决定， *m*2 / *s* 。

将式（3）分离变量积分，整理得：

∫𝑉𝑒+𝑉(𝑉 + 𝑉 )𝑑(𝑉 + 𝑉 ) = 𝐾𝐴2 ∫𝑡 𝑑𝑡

（4）

𝑉𝑒

𝑒 𝑒 2 0

即 𝑉2 + 2𝑉𝑉𝑒 = 𝐾𝐴2𝑡 （5） 将式（4）的积分极限改为从 0 到 *Ve* 和从 0 到 *te* 积分，则：

𝑉2 = 𝐾𝐴2𝑡

（6）

𝑒 𝑒

令 q=V/A，qe=Ve/A，则（5）（6）两式可写为

𝑞2 + 2𝑞𝑞𝑒 = 𝐾𝑡 （7）

𝑞2 = 𝐾𝑡

（8）

将式（7）两侧同除以 Kq 得

𝑒 𝑒

𝑡 = 1 𝑞 + 2 𝑞𝑒 （9）

𝑞 𝐾 𝐾

以 t/q 为纵坐标，q 为横坐标将式（9）绘成一直线，该直线的斜率为 1/K 和截距 2qe/K，因此可由

2

𝑞

直线斜率和截距得K 和 qe。由（8）可计算得 𝑡𝑒 = 𝑒 。

𝐾

改变过滤压差△P，可测得不同的 K 值，由 K 的定义式（2）两边取对数得：

## lgK  1 slgp B

(10)

在实验压差范围内，若 B 为常数，则 lgK～lg(△p)的关系在直角坐标上应是一条直线，斜率为(1- s)，可得滤饼压缩性指数 s。

对滤饼进行洗涤时，洗涤水经洗涤板角端的暗孔进入板面与滤布之间，因洗涤板下部滤液出口关闭，洗水便在压强差推动下横穿过整块框内的滤饼，在过滤板的表面汇集，经过滤板下端通道排出。板框压滤机的这种洗涤方式称为横穿洗涤法，具有较高的洗涤效果，其特点是洗涤水穿过的路径正好是过滤终了时滤液穿过路径的 2 倍，洗涤面积为过滤面积的 1/2，因此，由式（3）可知，板框式压滤机的洗涤速率约为过滤终了时过滤速率的 1/4，洗涤速率计算式见式（11）。洗涤完毕后，进入卸渣、整理阶段，松开压紧装置，卸除滤饼，洗涤滤布后，重新组装板和框，进入下一个操作循环。

 d*V* 

*A* 2 *p*

( *A* / 2)2 *p*

1 *A*2*K*

##    w  



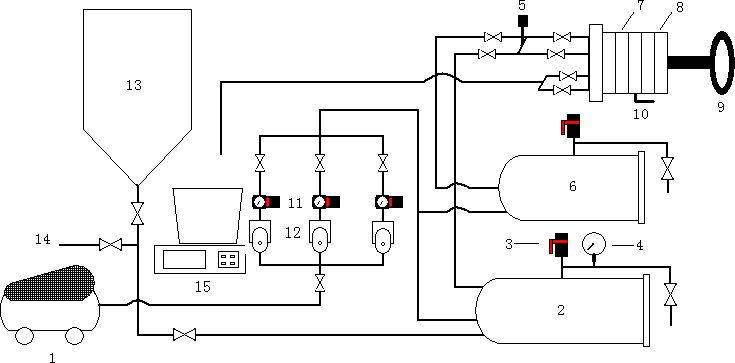
（11）

 d W *r*w (*V*终了 *V*e ) *r*(*V*终了 *V*e )

4 2(*V*终了 *V*e )

# 四、实验装置与流程

本实验装置由空压机、配料罐、压力罐、板框压滤机等组成，其流程示意如图 1。



1－空压机；2－压力罐；3－安全阀；4－压力表；5－压力传感器；6－清水罐；7－滤框；8－滤板；

9－手轮； 10－通孔切换阀； 11－调压阀； 12－电磁阀； 13－配料罐； 14－地沟；15－电子天平

图 1 板框压滤机过滤流程

CaCO3 的悬浮液在配料罐内配制一定浓度后，利用压差送入压力罐中，用压缩空气加以搅拌使CaCO3 不致沉降，同时利用压缩空气的压力将滤浆送入板框压滤机过滤，滤液流到电子天平处称量， 压缩空气从压力罐上排空管中排出。

板框压滤机的结构尺寸：框厚度 20mm，每个框面积 0.0177m2，框数 2 个。空气压缩机规格型号：风量 0.06m3/min，最大气压 0.8Mpa。

# 五、实验操作步骤

1. 实验准备
2. 配料：在配料罐内配制含CaCO310％～30％（wt. %）的水悬浮液，碳酸钙事先由天平称重，水位高度按标尺示意，筒身直径 35mm。配置时，应将配料罐底部阀门关闭。
3. 搅拌：开启空压机，将压缩空气通入配料罐（空压机的出口小球阀保持半开，进入配料罐的两个阀门保持适当开度），使 CaCO3 悬浮液搅拌均匀。搅拌时，应将配料罐的顶盖合上。
4. 设定压力：分别打开进压力罐的三路阀门，空压机过来的压缩空气经各定值调节阀分别设定为

0.1MPa、0.2MPa 和 0.25MPa（出厂已设定，实验时不需要再调压。若欲作 0.25MPa 以上压力过滤，

需调节压力罐安全阀）。设定定值调节阀时，压力罐泄压阀可略开。

1. 装板框：正确装好滤板、滤框及滤布。滤布使用前用水浸湿，滤布要绷紧，不能起皱。滤布紧贴滤板，密封垫贴紧滤布。（注意：用螺旋压紧时，千万不要把手指压伤，先慢慢转动手轮使板框合上， 然后再压紧）。
2. 灌清水：向清水罐通入自来水，液面达视镜 2/3 高度左右。灌清水时，应将安全阀处的泄压阀打开。
3. 灌料：在压力罐泄压阀打开的情况下，打开配料罐和压力罐间的进料阀门，使料浆自动由配料罐流入压力罐至其视镜 1/2~2/3 处，关闭进料阀门。
4. 过滤过程
5. 鼓泡：通压缩空气至压力罐，使容器内料浆不断搅拌。压力罐的排气阀应不断排气，但又不能喷浆。
6. 过滤：将中间双面板下通孔切换阀开到通孔通路状态。打开进板框前料液进口的两个阀门，打开出板框后清液出口球阀。此时，压力表指示过滤压力，清液出口流出滤液。
7. 每次实验应在滤液从汇集管刚流出的时候作为开始时刻，记录过滤时间及获得的滤液量。每个压力下，测量 8～10 个读数即可停止实验。若欲得到干而厚的滤饼，则应每个压力下做到没有清液流出为止。电子天平将测得滤液质量的数据传给计算机，计算机将其转换成体积后显示在组态软件上。
8. 一个压力下的实验完成后，先打开泄压阀使压力罐泄压。卸下滤框、滤板、滤布进行清洗，清洗时滤布不要折。每次滤液及滤饼均收集在小桶内，滤饼弄细后重新倒入料浆桶内搅拌配料，进入下一个压力实验。注意若清水罐水不足，可补充一定水源，补水时仍应打开该罐的泄压阀。
9. 洗涤过程
10. 关闭板框过滤的进出阀门。将中间双面板下通孔切换阀开到通孔关闭状态（阀门手柄与滤板平行为过滤状态，垂直为洗涤状态）。
11. 打开洗涤液进入板框的进出阀门（板框前两个进口阀，板框后一个出口阀）。此时，压力表指示洗涤压力，清液出口流出洗涤液。洗涤速度比同压力下过滤速度小很多。
12. 洗涤液流动约 1min，可观察混浊变化判断结束。结束洗涤过程，可关闭洗涤液进出板框的阀门， 关闭定值调节阀后进气阀门。
13. 实验结束
14. 先关闭空压机出口球阀，关闭空压机电源。
15. 打开安全阀处泄压阀，使压力罐和清水罐泄压。
16. 卸下滤框、滤板、滤布进行清洗，清洗时滤布不要折。
17. 将压力罐内物料反压到配料罐内备下次使用，或将该二罐物料直接排空后用清水冲洗。

# 六、实验数据记录

表1 数据记录表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 压差△(MPa) | 12 | 滤液重量G(g) |
| 12 | 123 | 345 |
| 123 | 3453 |
| 123 | 45345 |
| 123 | 35345 |
| 1234 | 53 |
| 2 | 44 |
| 234 | 435 |
| 1234 | 345 |
| 1234 | 345 |
| 345 | 435 |
|  | 34 | 435 |
| 345 | 243 |
| 54 | 345 |
| 234 | 554 |
| 345 | 435 |
| 121 | 435 |
| 5 | 345 |
| 145 | 34 |
| 435 | 345 |
| 3425 | 345 |
|  | 3245 | 345 |
| 345 | 345 |
| 343 | 345 |
| 45 | 234 |
| 345 | 3423 |
| 435 | 223 |
| 34 | 234 |
| 45 | 234 |
| 435 | 213 |
|  |  |

表2 数据处理表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 压差△(MPa) | 过滤时间t(s) | 相对滤液体积q(m³/m²) | t/q(s/m³/m²) | K(m²/s) | qₑ(m³/m²) | tₑ(s) |
| 12 | 123 | 344.150265 | 0.3574020203064496 | 24.0 | 16.270477274333505 | 11.030351280608462 |
| 123 | 3444.495261 | 0.03570915059534466 |
| 123 | 45233.315265 | 0.0027192346897281974 |
| 123 | 35257.945265 | 0.003488575385647902 |
| 1234 | 52.869461 | 23.340506535521516 |
| 2 | 43.891628 | 0.04556677642487994 |
| 234 | 433.92859500000003 | 0.5392592299661653 |
| 1234 | 344.150265 | 3.585643032993161 |
| 1234 | 344.150265 | 3.585643032993161 |
| 345 | 433.92859500000003 | 0.7950616852065256 |
| 23 | 345435 | 433.92859500000003 | 796.0641542878731 | 46.0 | 50.08513585220004 | 54.5330615942029 |
| 34 | 433.92859500000003 | 0.07835390520875905 |
| 345 | 242.401491 | 1.423258572283287 |
| 54 | 344.150265 | 0.15690820403697786 |
| 234 | 552.635498 | 0.4234255686557435 |
| 345 | 433.92859500000003 | 0.7950616852065256 |
| 121 | 433.92859500000003 | 0.2788477214782307 |
| 5 | 344.150265 | 0.014528537410831283 |
| 145 | 33.916258 | 4.275235788099029 |
| 435 | 344.150265 | 1.2639827547423217 |
| 12 | 3425 | 344.150265 | 9.95204812641943 | 24.0 | 42.356267625972876 | 74.75222530012657 |
| 3245 | 344.150265 | 9.429020779629504 |
| 345 | 344.150265 | 1.0024690813473587 |
| 343 | 344.150265 | 0.9966576663830261 |
| 45 | 233.423658 | 0.1927825156437228 |
| 345 | 3414.569151 | 0.10103763747146909 |
| 435 | 222.450751 | 1.9554890151843094 |
| 34 | 233.423658 | 0.14565790070859055 |
| 45 | 233.423658 | 0.1927825156437228 |
| 435 | 212.475381 | 2.047296011202352 |

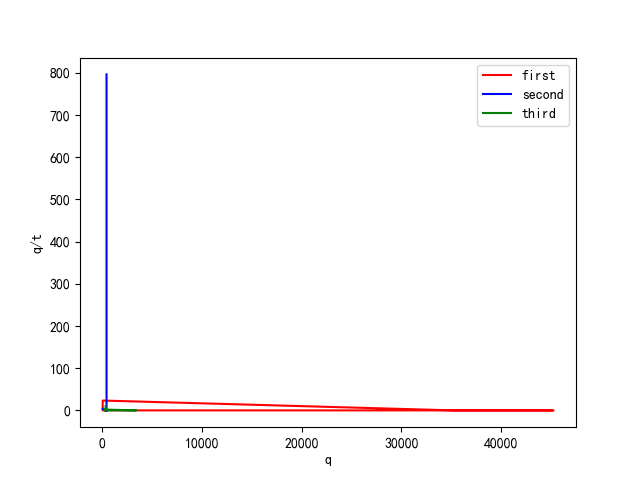


表1 数据记录表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 压差△(MPa) | 12 | 滤液重量G(g) |
| 12 | 123 | 345 |
| 123 | 3453 |
| 123 | 45345 |
| 123 | 35345 |
| 1234 | 53 |
| 2 | 44 |
| 234 | 435 |
| 1234 | 345 |
| 1234 | 345 |
| 345 | 435 |
|  | 345435 | 435 |
| 34 | 435 |
| 345 | 243 |
| 54 | 345 |
| 234 | 554 |
| 345 | 435 |
| 121 | 435 |
| 5 | 345 |
| 145 | 34 |
| 435 | 345 |
|  | 3425 | 345 |
| 3245 | 345 |
| 345 | 345 |
| 343 | 345 |
| 45 | 234 |
| 345 | 3423 |
| 435 | 223 |
| 34 | 234 |
| 45 | 234 |
| 435 | 213 |

表2 数据处理表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 压差△(MPa) | 过滤时间t(s) | 相对滤液体积q(m³/m²) | t/q(s/m³/m²) | K(m²/s) | qₑ(m³/m²) | tₑ(s) |
| 12 | 123 | 344.150265 | 0.3574020203064496 | 24.0 | 16.270477274333505 | 11.030351280608462 |
| 123 | 3444.495261 | 0.03570915059534466 |
| 123 | 45233.315265 | 0.0027192346897281974 |
| 123 | 35257.945265 | 0.003488575385647902 |
| 1234 | 52.869461 | 23.340506535521516 |
| 2 | 43.891628 | 0.04556677642487994 |
| 234 | 433.92859500000003 | 0.5392592299661653 |
| 1234 | 344.150265 | 3.585643032993161 |
| 1234 | 344.150265 | 3.585643032993161 |
| 345 | 433.92859500000003 | 0.7950616852065256 |
| 23 | 345435 | 433.92859500000003 | 796.0641542878731 | 46.0 | 50.08513585220004 | 54.5330615942029 |
| 34 | 433.92859500000003 | 0.07835390520875905 |
| 345 | 242.401491 | 1.423258572283287 |
| 54 | 344.150265 | 0.15690820403697786 |
| 234 | 552.635498 | 0.4234255686557435 |
| 345 | 433.92859500000003 | 0.7950616852065256 |
| 121 | 433.92859500000003 | 0.2788477214782307 |
| 5 | 344.150265 | 0.014528537410831283 |
| 145 | 33.916258 | 4.275235788099029 |
| 435 | 344.150265 | 1.2639827547423217 |
| 12 | 3425 | 344.150265 | 9.95204812641943 | 24.0 | 42.356267625972876 | 74.75222530012657 |
| 3245 | 344.150265 | 9.429020779629504 |
| 345 | 344.150265 | 1.0024690813473587 |
| 343 | 344.150265 | 0.9966576663830261 |
| 45 | 233.423658 | 0.1927825156437228 |
| 345 | 3414.569151 | 0.10103763747146909 |
| 435 | 222.450751 | 1.9554890151843094 |
| 34 | 233.423658 | 0.14565790070859055 |
| 45 | 233.423658 | 0.1927825156437228 |
| 435 | 212.475381 | 2.047296011202352 |

