

实验 7 液体粘滞系数的测定

引言

粘滞系数是表征液体粘滞程度的重要参数,是液体流动时内摩擦作用大小的量度。在工程技术和科学研究的许多领域中,测定液体的粘滞系数是非常重要的。如机械的润滑,船舶的航行,石油在封闭管道中的输送以及与液体性质有关的研究中,都需要测定液体的粘滞系数。测量液体粘滞系数的常用方法有落体法、转筒法、阻尼法和毛细管法。落体法(又称斯托克斯法)是最基本的一种,本实验中用落体法测量粘滞系数较大的液体。此实验用秒表来测量小球在液体中下落的时间。

实验目的

1. 观察液体的内摩擦现象。
2. 学会用落体法测量液体的粘滞系数。
3. 学会用秒表测量小球在液体中下落的时间

实验原理

在稳定流动的液体中,由于各层的液体流速不同,互相接触的两层液体之间存在相互作用,快的一层给慢的一层以阻力,这一对力称为流体的内摩擦力或粘滞力。实验证明:若以液层垂直的方向作为 x 轴方向,则相邻两个流层之间的内摩擦力 f 与所取流层的面积 S 及流层间速度的空间变化

率 $\frac{d_v}{d_x}$ 的乘积成正比:

$$f = \eta \cdot \frac{d_v}{d_x} \cdot S \quad (1)$$

其中 η 称为液体的粘滞系数,它决定液体的性质和温度。粘滞性随着温度升高而减小。如果液体是无限广延的,液体的粘滞性较大,小球的半径很小,且在运动时不产生旋涡。根据斯托克斯定律,小球受到的粘滞力 f 为:

$$f = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (2)$$

式中 η 称为液体的粘滞系数, r 为小球半径, v 为小球运动的速度。若小球在无限广延的液体中下落,受到的粘滞力为 f , 重力为 $\rho \cdot V \cdot g$, 这里 V 为小球的体积, ρ 与 ρ_0 分别为小球和液体的密度, g 为重力加速度。小球开始下降时速度较小,相应的粘滞力也较小小球作加速运动。随着速度的增加,粘滞力也增加,最后球的重力(垂直向下)、浮力及粘滞力(垂直向上)三力达到平衡,小球作匀速运动,此时的速度称为**收尾速度**。即为:

$$\rho \cdot V \cdot g - \rho_0 \cdot V \cdot g - 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = 0 \quad (3)$$

小球的体积为:

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = \frac{1}{6}\pi \cdot d^3 \quad (4)$$

把(3)式代入(2), 得

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0) \cdot g \cdot d^3}{18v} \quad (5)$$

式中 v 为小球的收尾速度, d 为小球的直径。

由于(1)式只适合无限广延的液体, 在本实验中, 小球是在直径为 D 的装有液体的圆柱形有机玻璃圆筒内运动, 不是无限广延的液体, 考虑到管壁对小球的影响, (5) 式应修正为:

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0) \cdot g \cdot d^2}{18v_0 \cdot \left(1 + K \cdot \frac{d}{D}\right)} \quad (6)$$

式中 v_0 为实验条件下的收尾速度, D 为量筒的内直径, K 为修正系数, 一般取 $K = 2.4$ 。收尾速度 v_0 可以通过测量玻璃量筒外两个标号线 A 和 B 的距离 S 和小球经过 S 距离的时间 t 得到, 即

$$v_0 = \frac{S}{t} \quad \circ$$

实验仪器

1、FB328 型液体粘滞系数测定仪 1 台; 2、电子秒表 1 只; 3、 $\Phi 3, \Phi 4\text{mm}$ 小钢球各 20 颗; 4、磁性拾物器 1 个; 5、1m 钢卷尺 1 把; 6、蓖麻油 若干。7、游标卡尺、螺旋测微计各 1 把 (用户自备)。

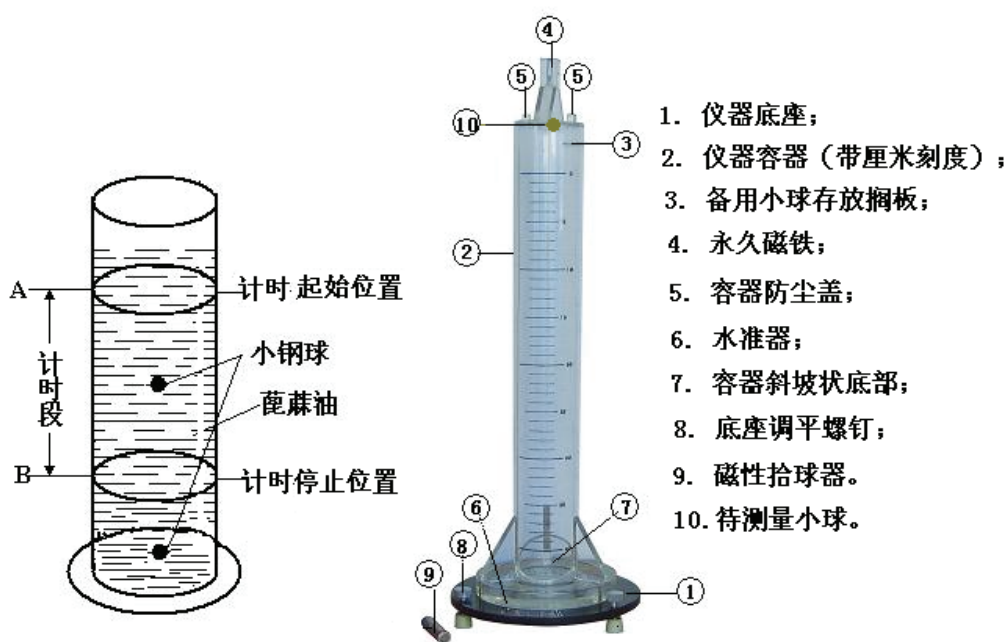


图1 粘滞系数测定仪示意图 图2 FB328型液体粘滞系数测定仪实物照片

实验内容

1. 根据水平器的指示，调节仪器底座水平，即容器筒处于铅直位置。
2. 用游标卡尺测量有机玻璃容器的内直径 D ；记下实验时的室温 T 。
3. 用螺旋测微器测量小钢球的直径 d ，共测 6 个钢球，并记下螺旋测微器的初读数 d_0 。
4. 用手将一颗 $\phi 3\text{mm}$ 小钢球，放到容器内待测小球存放搁板上。
5. 用磁性拾球器“蓝色端”隔着容器壁从搁板上吸住一颗小球将其移动到容器中心的永久磁铁下面吸住。
6. 用磁性拾球器“红色端”在容器顶端碰触永久磁铁的上端，利用同性相斥的原理，使永久磁铁下端的小球脱离，沿圆筒轴线下落。
7. 先观察小球在什么位置开始作匀速运动（收尾速度）。把小球进入收尾速度时略低的位置作为开始实验测量的起始位置，以容器壁刻度 40cm 处作为停止点，再用钢皮尺（或容器壁刻度尺直读）测量出该“小球下落测量段”的总距离。
8. 用磁性拾球器“蓝色端”隔着容器壁从容器底部将小球吸住，拖回到容器顶部永久磁铁的下端，准备下一次实验操作。
9. 按步骤 6 进行正常测量：当小球下落到“测量段”起始位置 A 时，立即启动秒表，使秒表开始计时，当小球到达“测量段”下端位置 B 时，再按一下秒表，停止计时，于是秒表记录了小球从 A 下落到 B （即经过距离 S ）所需的时间 t ，将该数值记录到表格 2 中。
10. 重复实验步骤，连续测量 6 次相同质量小球下落的时间。
11. 实验结束时可用磁性拾球器将小钢球回收，妥善安置，也可放在搁板上待下次实验时使用。
12. 更换不同直径的小球，重复实验。（选做）

思考题

1. 试分析选用不同的密度和不同直径的小球作此实验时，对实验结果有何影响？
在特定的液体中，当小球的直径减小时，它的收尾速度如何变化？当小球的速度增加时，又将如何变化