

# 液体黏度的测定

## 1. 实验目的

学习落球法测量液体黏度的原理和方法

## 2. 实验原理

小球在液体中下落时,除受到重力和浮力的作用外,还受到液体的粘滞阻力,合力可表为

$$F = G - F_b - F_d \quad (1)$$

其中,  $G = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$  表示重力,  $F_b = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g$  表示浮力。 $r$ ,  $\rho$  和  $\rho_0$  分别表示小球的半径, 小球的密度和液体的密度。 $g$  表示重力加速度。

粘滞阻力的表达式与液体的流动形态密切相关。液体的流动形态分为层流和湍流。层流是一种稳定的流动,整个流动可划分成互不干扰的流动层,粘滞阻力的表达式较为简单;湍流是一种非稳定的流动,伴随着涡旋和混沌边界等现象,粘滞阻力的表达式非常复杂。在流体力学中,液体的流动形态由雷诺数来预测。雷诺数越小,流动形态越接近层流;反之,容易产生湍流。对于小球在液体中下落的情形,雷诺数的定义为

$$Re = \frac{2v\rho_0 r}{\eta} \quad (2)$$

其中,  $\eta$  表示液体黏度,  $v$  表示小球下落速度。不难验证,本实验的相关参数可保证  $Re \ll 1$ , 流动形态为层流,且粘滞阻力的表达式可简化为

$$F_d = 6\pi\eta r v \quad (3)$$

此即著名的 Stokes 公式。

由 Stokes 公式可知,在小球加速下落的过程中,粘滞阻力不断增加。最终,小球会达到一个终止速度  $v_f$ , 此时粘滞阻力与重力、浮力达到平衡,即

$$6\pi\eta r v_f = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho_0) g \quad (4)$$

达到平衡后,小球以速度  $v_f$  匀速下落。由方程 (4) 可得黏度计算公式

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 (\rho - \rho_0) g}{v_f} \quad (5)$$

注意,上述黏度计算公式仅适用于液体无限宽广的理想情况。由于本实验中

的液体处在量筒中，因而计算黏度时需要使用 Ladenburg 修正公式

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g (\rho - \rho_0)}{v_f (1 + 2.4r/R)(1 + 3.3r/h)} \quad (5)$$

其中， $R$ 和 $h$ 分别代表液柱的半径和高度。上述方程等号右边分母中的两个因子 $(1 + 2.4r/R)$ 和 $(1 + 3.3r/h)$ 分别是对容器壁效应和液柱有限高效应作出的修正。

### 3. 实验器材

量筒，蓖麻油，温度计，钢尺，游标卡尺，钢球，秒表

### 4. 实验内容

- (1) 用温度计测量室温，实验开始和结束时各测一次，取平均值 $T$ 。查询该温度下的蓖麻油密度 $\rho_0$ ；
- (2) 用钢尺测量油柱高度 $h$ ，测量三次取平均值；
- (3) 用游标卡尺测量油柱半径 $R$ ，测量三次取平均值；
- (4) 用游标卡尺测量钢球半径 $r$ ，测量三次取平均值；
- (5) 将钢球自油面中心附近无初速释放，用秒表依次记录钢球经过800 ml，700 ml，600 ml，500 ml，400 ml，300 ml，200 ml和100 ml八个刻线处的时间。作出 $s - t$ 图像，判断匀速区间并计算终止速度 $v_f$ 。重复此过程三次。
- (6) 更换不同粒径的钢球，重复步骤（4）和（5）。
- (7) 利用不同粒径小球的下落数据分别计算黏度。

### 5. 思考题

- (1) 本实验中的小球下落过程是否均满足 $Re \ll 1$ ？
- (2) 粒径不同的三个小球，哪个先进入匀速区？

### 6. 误差来源分析