

落球法测定液体的粘度

# 1423粘滞系数预习 测试



长按识别二维码

## 一、实验简介

一种液体相对于其他固体、气体运动，或同种液体内部各部分之间有相对运动时，接触面之间存在摩擦力。这种性质称为液体的粘滞性。这种摩擦力也称为粘滞力。

粘滞系数（粘度）是液体的重要性质之一，它反映液体流动行为的特征。粘度与液体的性质，温度和流速有关，因此粘度的测量在工程技术方面有着广泛的使用价值。

测量液体粘度方法有多种，如落球法、转筒法、毛细管法等，其中落球法是最基本的一种，它可用于测量粘度较大的透明或半透明液体。

## 二、实验原理

### 斯托克斯公式

当半径为  $r$  的光滑圆球，以速度  $V$  在均匀的无限宽广的液体中运动时，若速度不大，球也很小，在液体中不产生涡流的情况下，斯托克斯指出，球在液体中所受到的阻力为

$$F = 6\pi\eta vr$$

阻力的大小和物体运动速度成比例，式中  $\eta$  为液体的粘度

## 三、实验方法

当质量为  $m$ ，体积为  $V$  的小球在密度为  $\rho_o$  的液体中下落时，作用在小球上的力有三个，球开始下落时，速度很小，阻力不大。小球作加速下降。随着速度的增加，阻力逐渐加大，速度达一定值时，阻力和浮力之和将等于重力，那时物体运动的加速度等于零，小球开始匀速下落，即

$$mg = \rho_o Vg + 6\pi\eta vr$$

此时的速度称为终极速度。

$$\eta = \frac{(m - \rho_o V)g}{6\pi vr}$$

### 雷诺数的影响

斯托克斯公式是假设在无涡流的理想状态下导出的。实际小球下落时不能是这样理想状态，因此还要进行修正，已知这时的雷诺数为  $Re = \frac{2rv\rho_o}{\eta}$

斯托克斯公式修正为

$$F = 6\pi\eta vr \left( 1 + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1080} Re^2 + \dots \right)$$

### 容器壁的影响

在一般情况下，小球在容器半径为  $R$ 、液体高度为  $h$  的液体内部下落，液体在各个方向上都是无限广阔的这一假设条件是不能成立的。因此，考虑到容器壁的影响，斯托克斯公式变为

$$F = 6\pi\eta vr \left( 1 + 2.4 \frac{r}{R} \right) \left( 1 + 3.3 \frac{r}{h} \right) \left( 1 + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1080} Re^2 + \dots \right)$$

$\eta$  的表示  $\frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_o) = 6\pi\eta vr \left( 1 + 2.4 \frac{r}{R} \right) \left( 1 + 3.3 \frac{r}{h} \right) \left( 1 + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1080} Re^2 + \dots \right)$

式中  $\rho$  为小球的密度， $g$  为重力加速度，由上式得

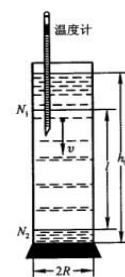
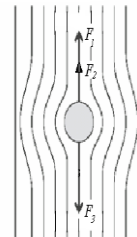


图 5.2.2-1 落球法测量液体粘度装置图

$$\eta = \frac{1}{18} \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{\nu(1+2.4\frac{d}{2R})(1+3.3\frac{d}{2h})\left(1+\frac{3}{16}\text{Re}-\frac{19}{1080}\text{Re}^2+\dots\right)}$$

当  $R_e < 0.1$  时,  $\eta_0 = \frac{1}{18} \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{\nu(1+2.4\frac{d}{2R})(1+3.3\frac{d}{2h})}$

当  $0.1 < R_e < 0.5$  时,  $\eta_1 = \eta_0 - \frac{3}{16}dv\rho_0$

当  $R_e > 0.5$  时,  $\eta_2 = \frac{1}{2}\eta_1[1 + \sqrt{1 + \frac{19}{270}(\frac{dv\rho_0}{\eta_1})^2}]$

做数据处理时, 必须对  $\text{Re}$  进行验算, 确定它的范围并进行修正, 得到符合实验要求的粘度值。

## 四、实验内容

- 1、设计寻找小球匀速下降区的方法, 测出其长度  $l$ ;
- 2、用螺旋测微器测定 3 个同类小球(每一类 6 个球)的直径, 并且利用电子天平称其质量, 记录数据, 数据处理时分别取其直径和质量平均值;
- 3、将一个小球在量筒中央尽量接近液面处轻轻投下, 使其进入液面时初速度为零, 测出小球通过匀速下降区  $l$  的时间  $t$ , 重复 6 次, 取平均值, 然后求出小球匀速下降的速度。
- 4、用相应的仪器测出  $R$ 、 $h$  和  $\rho_0$  (至少应各测量三次) 及液体的温度, 温度  $T$  应取实验开始时的温度和实验结束时的温度的平均值。
- 5、计算雷诺数  $\text{Re}$ , 并根据雷诺数的大小, 进行一级或二级修正。

## 五、其他实验

### ➤ 提升实验

选用不同形状的物体, 如圆柱体、圆片代替小球

- 1、研究物体在液体里下落规律
- 2、找出适用的运动方程
- 3、测量液体的粘度并和落球法进行比较

### ➤ 进阶实验

利用小球做谐振动测定液体的粘滞系数

### ➤ 高阶实验

用手机拍摄视频, 用 Tracker 软件处理数据

## 六、实验注意事项

- 1、量筒内的待测油需经长时间的静止放置, 以排除气泡;
- 2、要使液体始终保持静止状态, 在实验过程中不可捞取小球扰动液体;
- 3、小球应该从容器正中央投下, 初速度为零, 测量时视线应该水平, 一个投完以后应该等一会投另一个;
- 4、寻找匀速下降区(要有详细的寻找方法);

## 思考题

1. 假设在水下发射直径为 1m 的球形水雷，速度为 10m/s，水温为 10℃， $\eta = 1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，试求水雷附近海水的雷诺系数。
2. 设容器内  $N_1$  和  $N_2$  之间为匀速下降区，那么对于同样材质但直径较大的球，该区间也是匀速下降区吗？反过来呢？
3. 落球法所采用的测液体粘滞系数的方法对哪些液体适用？
4. 什么是雷诺系数？说明其物理意义，结合以上实验，分析其影响。