

低黏度透明液体黏滞系数测量实验的研究

温建平 张灵辉 张海宁

(嘉应学院 广东 梅州 514015)

(收稿日期:2016-10-25)

摘要:研究小球在低黏度透明黏性液体中以初速度为零状态下落的加速运动过程,通过分析小球在加速下落过程中下落速度与对应时间的关系而得到液体的黏滞系数值.新方法改进了原变速落球法研究拟合小球下落位移与对应时间得到黏滞系数的实验方法.实验结果表明,新方法提高了实验的稳定性和拟合的准确度.

关键词:低黏度 透明液体 极限速度 黏滞系数

黏滞系数是流体的重要物理性质,液体的黏滞性的测量是非常重要的物理量.当液体流动时,平行于流动方向的各层流体速度都不相同,即存在着相对滑动,于是在各层之间就有摩擦力产生,这一摩擦力称为黏滞力,它的方向平行于接触面,其大小与速度梯度及接触面积成正比,比例系数称为黏滞,它是表征液体粘滞性强弱的重要参数.液体黏滞性的研究在流体力学,化学化工,医疗,水利等工业生产和科学研究中也具有重要的实际意义.

测定黏滞系数的常用方法有落球法、落针法、转筒法、扭转法、毛细管黏度测定法、微机控制超声多普勒法等.我们通过研究小球在不同黏度透明液体中下落时的运动状态,通过分析小球在液体加速下落过程中下落时间与速度的对应关系,得到透明液体黏度系数.

1 实验原理

当金属小球进入黏性液体中,在下落运动时受到3个铅直方向的力如图1所示,液体黏性阻力 $F_{黏}$,液体作用于小球的浮力 $F_{浮}$ 和小球的重力 F_g 的作用^[1].液体对小球运动的黏滞阻力为 $F_{黏} = \eta v$.

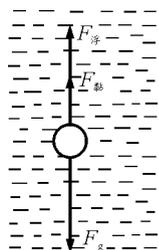


图1 小球在液体的受力分析

如建立竖直向下坐标,小球开始下落时,由于速度尚小,所以阻力也不大;但随着下落速度的增大,阻力也随之增大.根据牛顿第二定律,得

$$F_g - F_{黏} - F_{浮} = ma \quad (1)$$

即

$$mg - \rho g V - \eta v = m \frac{dv}{dt}$$

式中 a 为小球的加速度, m 为小球质量, V 是小球体积, ρ 是液体密度, η 是液体黏滞系数, v 是小球速度.

当小球在 $t=0$ 时,下落初速度为零,随着小球下落速度逐渐增加,受到液体黏滞力逐渐增加,从而,小球下落加速度逐渐减小,在达到极限速度 v_T 时,小球下落加速度为零^[3],故有

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\eta(v_T - v)}{m} \quad (2)$$

两边积分,有

$$\int_0^v \frac{dv}{v_T - v} = \int_0^t \frac{\eta}{m} dt$$

$$\ln \frac{v_T - v}{v_T} = -\frac{\eta}{m} t$$

$$v = v_T (1 - e^{-\frac{\eta}{m} t}) \quad (3)$$

通过实验测量小球不同时刻对应的下落距离,并确定小球下落速度,可根据式(3),运用Origin软件,对测量数据小球下落时间与速度 v 进行非线性拟合,确定 $\frac{\eta}{m}$ 值,进而求得 η 值.

2 实验器材

实验器材有磁性开关控制小球下落装置、水平

垂直方向上的可调节装置、1 000 ml 量筒(高度 40 cm, 内径 6.72 cm)、30 cm 钢尺(精确度为 0.05 cm)、摄像机、电子温度计、镊子、小钢球、待测纯净水、计算机及相关软件。

3 实验方法

实验方法采用磁性开关控制装置^[4], 调节垂直移动尺和水平移动尺使电磁开关吸附小球位于液面以下。将毫米钢尺平行量筒姿态紧贴于量筒固定, 然后接通电磁开关固定小钢球, 启动摄像机开始录像, 断开电磁开关电源, 小钢球初速度为零状态垂直下落, 小球下落完成后关闭摄像机, 并记下实验室环境温度与湿度。运用软件分析读数小球下落过程的单位时间的运动位移。

小球下落速度计算根据小球不同时刻的位置可以得到小球不同时段所对应的位移 h_i , 如每 $\frac{1}{30}$ s 小球下落位移差为

$$\Delta h_i = h_i - h_{i+1}$$

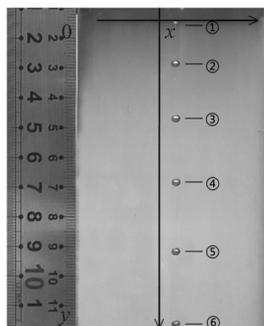
小球平均速度

$$\bar{v}_i = \frac{\Delta h_i}{\Delta t_i}$$

然后对测得到速度与对应时间的数值进行拟合, 确定黏度系数值。同时, 为验证方法可靠性和优越性, 分别与传统实验法和原变速法的实验结果进行比较。

4 纯净水黏度实验结果与分析

实验时, 室温 $\theta = 35.3$ °C; 纯净水的密度 $\rho = 995.646$ kg/m³。小钢球质量 m 为 0.064 04 g, 半径 $r = 1.25$ mm, $\rho = 7\ 828$ kg/m³, 实验记录每 $\frac{1}{30}$ s 小球下落不同时刻对应的位移如图 2 所示。



小球①号位置: 0.013 38 m; 小球②号位置: 0.028 39 m;
小球③号位置: 0.046 50 m; 小球④号位置: 0.067 25 m;
小球⑤号位置: 0.089 66 m; 小球⑥号位置: 0.113 00 m

图 2 每 $\frac{1}{30}$ s 小球位置图

小球对应读数钢尺刻度以球面上切线为基准, 并设每 $\frac{1}{30}$ s 小球下落位移为 s , 位移差为 Δh , 小球速度为 v , v 值近似计算为 $\frac{1}{30}$ s 小球下落平均速度, 如小球⑤号位置速度为 0.672 3 m/s。因此, 小球每 $\frac{1}{30}$ s 下落不同时刻对应的位置、位移与速度如表 1 所示。

表 1 纯净水样品 金属小球每 $\frac{1}{30}$ s 下落不同时刻对应的位置、位移、位移差与速度

t_i/s	对应小球	s/m	h/m	$\Delta h/m$	$v/(m \cdot s^{-1})$
0		0.004 91	0	0	
$\frac{1}{30}$	①	0.013 38	0.008 47	0.008 47	0.254 1
$\frac{2}{30}$	②	0.028 29	0.023 38	0.014 91	0.447 3
$\frac{3}{30}$	③	0.046 50	0.041 59	0.018 21	0.546 3
$\frac{4}{30}$	④	0.067 25	0.062 34	0.020 75	0.622 5
$\frac{5}{30}$	⑤	0.089 66	0.084 75	0.022 41	0.672 3
$\frac{6}{30}$	⑥	0.113 00	0.108 09	0.023 34	0.700 2

由表 1 数据可知, 小球在纯净水下落过程中小

球处于加速运动状态。小球在加速下落运动过程

中,小球的加速运动过程中不同时刻对应的位移和速度,如表1所示.

由表1数据,运用 Origin 软件可绘制小球加速运动过程 $v-t$ 关系图,如图3所示.

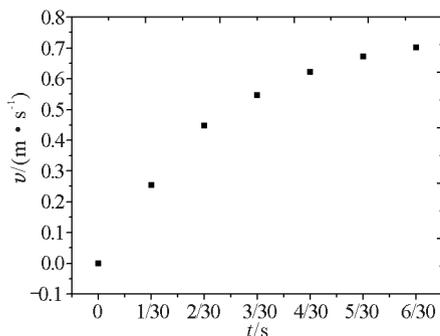


图3 $v-t$ 关系散点图

运用 Origin 软件对数据进行非线性拟合如图4所示.

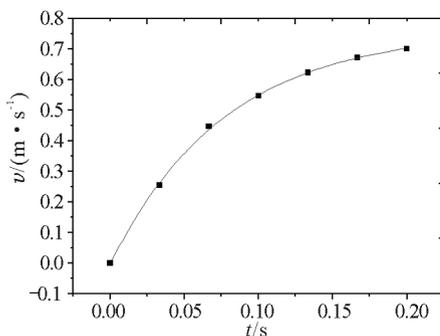


图4 $v-t$ 拟合曲线图

根据公式(3),可以得到 $\frac{m}{\eta}$ 值和标准偏差

$$\frac{m}{\eta} = 0.0878$$

将小球质量代入,得

$$\eta = 729.7 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

对照水的黏滞系数参照表可得,温度 $\theta = 35.0^\circ\text{C}$ 时,黏滞系数

$$\eta = 722.5 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

实验测量值与参照值百分误差为 1.0%.

5 结论

研究小球在低黏度透明黏性液体以初速度为零状态下落的加速运动过程,改变由原变速法中拟合小球下落位移与对应时间的关系^[5]为分析小球在液体加速下落过程中下落时间与速度的对应关系,从而得到低黏度透明液体的黏滞系数.实验结果表明,提高了实验的稳定性和拟合的准确度.

参考文献

- 1 沈元华,陆申龙.基础物理实验.北京:高等教育出版社,2003
- 2 杨述武.普通物理实验(第2版).北京:高等教育出版社,1991
- 3 汤毓骏.创新基础物理(第2版).上海:东华大学出版社,2015
- 4 温建平.球法测液体黏滞系数实验的改进.广西物理,2013
- 5 温建平.变速落球法测液体黏滞系数的研究.大学物理,2014

Study on the Measurement Experiment of Viscosity Coefficient for Transparent Liquid of Low Viscosity

Wen Jianping Zhang Linghui Zhang Haining

(Jiaying University, Meizhou, Guangdong 514015)

Abstract: The small ball in the low viscosity transparent sticky liquid fall with initial velocity is zero state of accelerated motion process, through the analysis of small ball falling speed in the process of acceleration whereabouts and the corresponding time relationship to get liquid viscous coefficient values. The new method to enhance the stability of the experiment and the accuracy of the fitting.

Key words: low viscosity; transparent liquid; speed limit; viscosity coefficient