

液体粘滞系数的测量

各种实际液体具有不同程度的粘滞性。当液体流动时，平行于流动方向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。这一摩擦力称为粘滞力，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 η 称为粘滞系数，它是表征液体粘滞性强弱的重要参数。

测定液体粘滞系数有多种方法，本实验所采用的落球法是一种绝对法测量液体的粘滞系数。

【实验目的】

1. 了解用斯托克斯公式测定液体粘滞系数的原理，掌握其适用条件。
2. 学习用落球法测定液体的粘滞系数。

【实验原理】

1. 当金属小球在粘性液体中下落时，它受到三个铅直方向的力：小球的重力 mg (m 为小球质量)、液体作用于小球的浮力 $\rho g V$ (V 是小球体积， ρ 是液体密度) 和粘滞阻力 F (其方向与小球运动方向相反)。如果液体无限深广，在小球下落速度 v 较小情况下，有

$$F = 6\pi\eta rv \quad (1)$$

上式称为斯托克斯公式，其中 r 是小球的半径； η 称为液体的粘度，其单位是 $Pa \cdot s$ 。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。最后，三个力达到平衡，即

$$mg = \rho g v + 6\pi\eta rv$$

于是，小球作匀速直线运动，由上式可得：

$$\eta = \frac{(m - \rho v)g}{6\pi rv}$$

令小球的直径为 d ，并用 $m = \frac{\pi}{6}d^3\rho'$ ， $v = \frac{l}{t}$ ， $r = \frac{d}{2}$ 代入上式得

$$\eta = \frac{(\rho' - \rho)gd^2t}{18l} \quad (2)$$

其中 ρ' 为小球材料的密度， l 为小球匀速下落的距离， t 为小球下落 l 距离所用的时间。

2. 实验时，待测液体必须盛于容器中（如图 1 所示），故不能满足无限深广的条件，实验证明，若小球沿筒的中心轴线下落，式（2）须做如下改动方能符合实际情况：

$$\eta = \frac{(\rho' - \rho)g d^2 t}{18l} \cdot \frac{1}{\left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right) \left(1 + 1.6 \frac{d}{H}\right)} \quad (3)$$

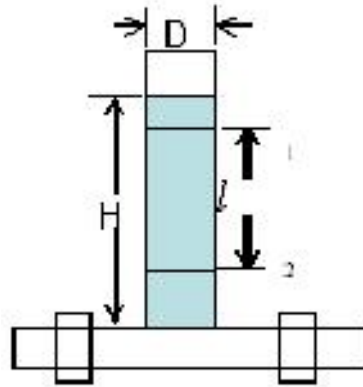


图 1 待测液体盛装的容器

其中 D 为容器内径， H 为液柱高度。

3. 实验时小球下落速度若较大，例如气温及油温较高，钢珠从油中下落时，可能出现湍流情况，使公式（1）不再成立，此时要作另一个修正。

2. 激光光电计时器介绍

激光光电计时仪由激光光源、光敏三极管、直流电源及计时器组成。本计时器内设单片机芯片，并进行适当编程，具有计时和计数功能。可用于单摆、气垫导轨、测量马达转速、产品计数产品厚度测量、车辆运动速度测量及体育比赛计时等与计时相关的实验。它的优点是：1) 抗干扰能力强；2) 光源与接收器可远距离测量；3) 对半透明物质也能透光测量。实验所用的主要装置即为图 1 中盛油的玻璃管筒。在管的上、下部各有一环线作为标记（即 l_1 和 l_2 ），彼此间的距离为 l 。小球在 l_1 至 l_2 间作匀速运动。量筒固定在附有三个水平调节螺旋的平台上，借助一铅垂线可调节玻璃管的铅直。

【实验方法】

1. 调整粘滞系数测定仪及实验准备

(1) 调整底盘水平，在仪器横梁中间部位放重锤部件，调节底盘旋纽，使重锤对准底盘的中心圆点。

(2) 将实验架上的上、下两个激光器接通电源，可看见其发出红光。调节上、下两个激光器，使其红色激光束平行地对准锤线。

(3) 收回重锤部件，将盛有被测液体的量筒放置到实验架底盘中央，并在实验过程中保持位置不变。

(4) 在实验架上放上钢球导管。小球用乙醚、酒精混合液清洗干净，并用滤纸吸干残液，备用。

(5) 将小球放入铜质球导管，看其是否能阻挡光线，若不能，则适当调整激光器位置。

2. 用温度计测量油温，在全部小球下落完后再测量一次油温，取平均值作为实际油温。

3. 用电子分析天平测量 10—20 颗小钢球的质量 m ，用比重瓶法测其体积，计算小钢球

的密度 ρ' 。用液体密度计测量蓖麻油的密度 ρ 。用游标卡尺测量筒的内径 D ，用钢尺测量油柱深度 H 。

4. 用秒表测量下落小球的匀速运动速度

(1) 测量上、下二个激光束之间的距离。

(2) 用千分尺测量小球直径，将小球放入导管，当小球落下，阻挡上面的红色激光束时，光线受阻，此时用秒表开始计时，到小球下落到阻挡下面的红色激光束时，计时停止，读出下落时间，重复测量 6 次以上。最后计算蓖麻油的粘度。

5. 用激光光电门（关于光电门，请参阅产品说明书）与电子计时仪器代替电子秒表，测量液体的粘度（注意：激光束必须通过玻璃圆筒中心轴），将测量结果与公认值进行比较。

小钢珠的直径 $\Phi 1.0\text{mm}$ 或 $\Phi 1.2\text{mm}$

【思考题】

1. 如何判断小球在作匀速运动？
2. 如果遇到待测液体的 η 值较小，而钢珠直径较大，这时为何须用（5）式计算？
3. 用激光光电开关测量小球下落时间的方法测量液体粘滞系数有何优点？

【实验仪器】

落球法粘滞系数测定仪（参见图 2）、小钢球、蓖麻油、米尺、千分尺、游标卡尺、液体密度计、电子分析天平、激光光电计时仪、温度计和比重瓶等。（若实验室给出钢球材料密度，可不必用电子分析天平）

1. 粘滞系数测定仪结构简图

如图 2 所示。

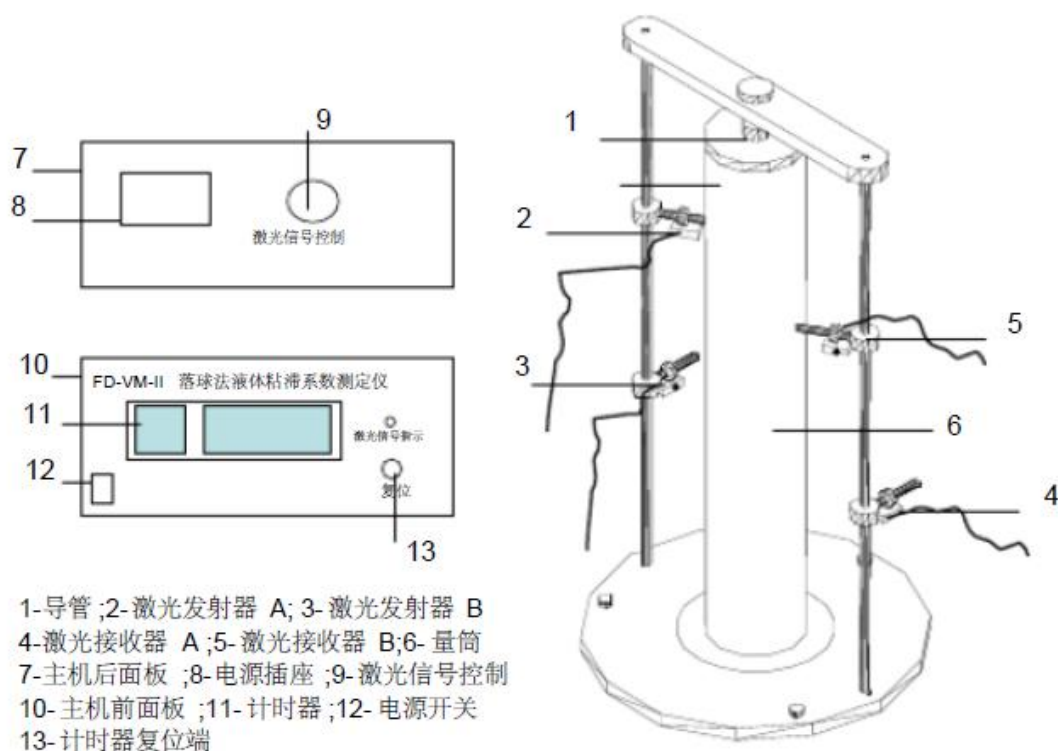


图2 FD-VM-II 落球法液体粘滞系数测定仪结构图

