

可控温式液体黏度测定仪的设计与测试

张凯悦¹, 潘国华², 贾晓倩¹, 陈英杰¹

(1. 曲阜师范大学物理工程学院, 山东曲阜 273165; 2. 乐陵市第一中学, 山东乐陵 253600)

摘要:针对大学物理实验中落球法测液体黏度实验存在的普遍问题, 设计了基于多传感器系统的可控温式液体黏度测定仪. 测定仪采用了集成霍尔开关传感器、温度传感器、超声波传感器等组成的多传感器系统, 可以实现对透明液体和非透明液体黏度的测量. 结合外部加热装置, 还可以测量不同温度下的液体黏度.

关键词:黏度; 多传感器系统; 控温; 单片机

中图分类号: O351.1; TN382

文献标识码: A

DOI: 10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.05.012

液体黏度是决定液体力学特征的重要物性参量, 影响着液体传热和传质特征, 在化工、食品、医学等领域, 黏度是液体的基础物性数据之一. 在一般高校的普通物理实验中, 用于测量液体黏度的方法有毛细管法、落球法等^[1-6]. 对于甘油等黏度较大的液体, 一般采用落球法测量. 用这种实验方法, 通常用手动秒表计时、CCD 拍照计时等^[7-8]方式测量小球的下落时间, 但这仅限于实验用液体为透明液体的情况. 另外, 温度是影响黏度的重要因素, 因此对于同一液体不同温度下黏度的研究也有着重要意义. 本文对落球法测量液体黏度的实验进行了改进, 解决了传统实验过程繁琐、测不出不同温度下不透明液体的黏度、实验误差较大等弊端.

1 实验原理

传统的落球法的实验装置如图 1 所示. 用手动目测的方式将金属小球自容器中心轴线处释放, 使其沿竖直方向下落, 在下落过程中, 小球受到的黏滞阻力随其下落速度的增加而增大, 最终它所受重力、浮力和黏滞阻力达到平衡, 加速度变为 0, 小球最终以速度 v 匀速向下运动, 则该液体的黏度为^[9]

$$\eta = \frac{(6m - \rho\pi d^3)gt}{18\pi dL} \frac{1}{\left(1 + \lambda_1 \frac{d}{D}\right) \left(1 + \lambda_2 \frac{d}{H}\right)},$$

式中, m 和 d 是小球的质量和直径, ρ 为黏性液体的密度, D 为所用容器的内径, H 为容器内液体的竖直高度. 小球匀速下落距离 L 所用时间为 t , 系数 λ_1 和 λ_2 分别为 2.40 和 1.65^[9]. 另外需测量待测液体的温度, 根据蓖麻油黏度随温度变化经验公式^[13] $\eta = 5.53 \exp(-0.085T)$ 可得出某温度下的标准值, 计算实验误差.



图 1 传统实验装置

2 实验的改进

2.1 传统落球法实验的弊端

黏度测定实验所用容器为高度约 1 m、直径约 12 cm 的玻璃量筒, 待测液体液量需求大, 实验成本高. 实验过程中依靠眼睛观测小球的运动过程, 利用秒表计时, 凭经验找出小球匀速下落的过程并测量小球在该运动过程的下落时间, 如图 1

收稿日期: 2020-02-07; 修改日期: 2020-04-30

作者简介: 张凯悦(1998—), 女, 山东乐陵人, 曲阜师范大学物理工程学院 2016 级本科生.

通讯作者: 陈英杰(1974—), 女, 山东曲阜人, 曲阜师范大学物理工程学院讲师, 博士, 研究方向凝聚态物理. E-mail: sdchenyingjie@126.com



所示. 因视差和反应误差的存在, 测量结果误差较大. 其他待测物理量的测量采用煤油温度计、直尺等简单粗略的测量工具和测量方法, 系统误差大. 根据实验原理, 只有当小球球面的液层与周围其他液层的相对速度相同时, 测得的小球下落时间才会准确, 这就要求小球必须沿容器的中心轴线下落. 在传统的落球法测定液体黏度实验过程中, 实验者只能凭经验释放小球, 很难达到要求, 实验成功率低. 另外, 待测液体的温度受环境温度的限制, 难以在短时间内测量出不同温度下的实验结果.

2.2 改进方法

基于对现有实验的分析, 设计制作了如图 2 所示的实验装置. 装置分为 3 部分: 多传感器系统、加热部分和供电部分.

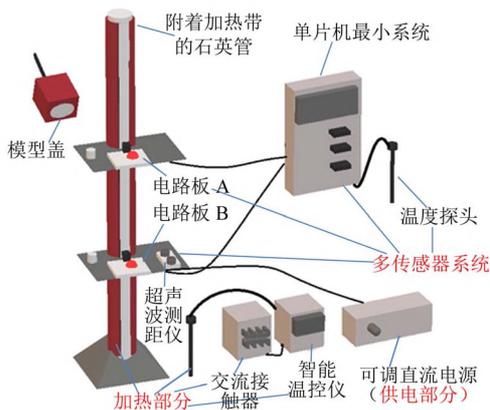


图 2 实验装置

1) 多传感器系统

如图 3 所示, 自行设计并制作了以 STC12C5A60S2 单片机为主控制器, 结合 12864 显示屏、超声波测距模块、DS18B20 温度传感器等组成的集计时、测距、测温及计算于一体的多传感器系统. 其具体功能为:

a. 计时.

待测液体装在细长的石英玻璃管中, 管上套有 2 个装有水平仪的硬板 A 和 B. 将实现感应功能的 2 个电路固定在硬板上, 每个电路中装有 LED 感应指示灯和高灵敏度的集成霍尔开关传感器^[11]. 用钕铁硼强磁性小球替代传统的无磁铁球, 当强磁性小球经过电路板时, 传感器感应到磁场变化即输出低电平触发计时模块工作, LED 指示灯随之熄灭, 小球经 A 和 B 时均触发相应传感器工作, 从而实现计时功能. 计时精度为 0.001 s, 仿真电路如图 4 所示.



图 3 单片机最小系统实物图

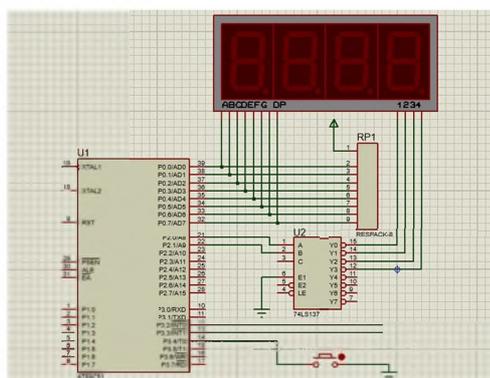


图 4 计时部分电路图

b. 测距. 通过超声波测距模块测量 A 和 B 板之间的距离, 其精度为 0.01 cm. 其工作原理为: 采用 Trig 端触发测距, 至少需要 10 μs 的高电平信号; 模块自动发送 8 个 40 kHz 的方波, 自动检测是否有信号返回; 有信号返回, 通过 I/O 口输出高电平, 高电平持续的时间就是超声波从发射到返回的时间, 测量距离 = (高电平时间 × 声速)^[12-13]. 仿真图如图 5 所示.

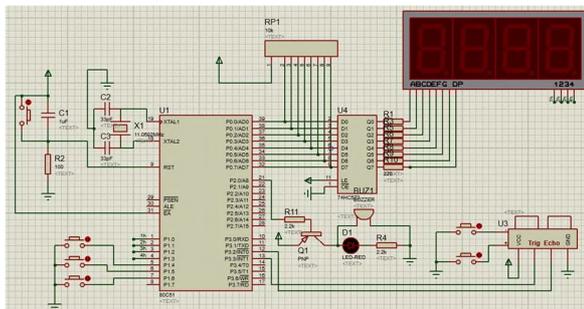


图 5 测距部分电路图

c. 测温. 将温度传感器 DS18B20 的探头浸入待测液体内部, 实时测量待测液体温度, 测量精度为 0.1 °C. 仿真图如图 6 所示.

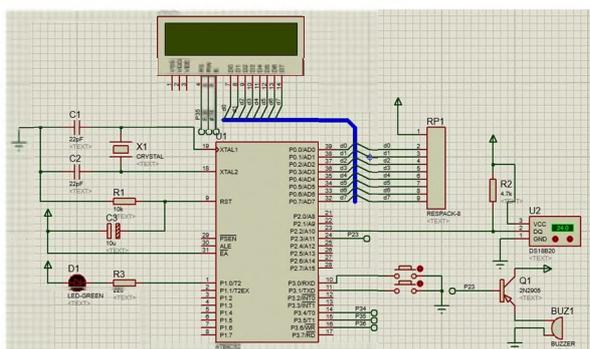


图 6 测温部分电路图

d. 计算. 将各传感器收集到的数据与原有数据代入单片机程序中的计算公式, 得出黏度和实验误差, 最终与其他测量数据一同显示于装置的液晶显示屏.

2) 加热部分

硅橡胶加热带宽度 15 mm, U 型缠绕在耐高温的石英玻璃管外壁, 连接智能数显温控仪、交流接触器及 PT100 探头铂热电阻, 能对管内液体精准控温, 精度为 0.1 °C. 由于管径小, 且加热带几乎覆盖整个外壁, 加热均匀, 升温较快.

3) 供电部分

为了实现高压变低压和电压可调的实验目的, 制作了可调稳压电源. 该电源可将 220 V 的交流输入电压变为 3~12 V 直流电压, 并可为电路板上的电子器件提供低值直流电压.

另外, 为避免传统实验中手动释放小球造成的误差, 制作了如图 7 所示模型盖, 以确保小球在要求位置下落. 铁质拉杆穿过模型的中心轴线与玻璃管口相匹配的圆盖的中心相接触, 磁性小球通过铁杆的磁力作用吸附在盖子的反面中心处, 将铁杆沿模型竖直拉起, 磁球失去磁力作用后, 沿着容器的中心轴线下落, 进入液体. 这样既能使小球精准地沿容器的中心轴线下落又能避免拉杆

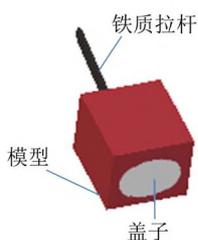


图 7 带铁质拉杆的模型盖

移走过程中方向偏差对小球造成的影响. 在进行实验时, 将盖子盖在管口, 可起到防尘、防污染的作用, 同时还可以提高实验材料的利用率.

3 实验数据及误差分析

选用透明液体蓖麻油和乳白色非透明液体洗发液为实验材料, 用改进后装置测量了不同温度下的黏度.

3.1 透明液体黏度的测量

蓖麻油密度 $\rho = 975 \text{ kg/m}^3$, 量筒直径 $D = 20.00 \text{ mm}$, 小球质量平均值 $m = 0.70 \text{ g}$. 当温度 $\theta = 38.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 个小球的测量结果如表 1 所示. 蓖麻油黏度平均值为 0.216, 平均相对偏差 2.83%.

表 1 蓖麻油温度为 38.5 °C 时小球的测量数据

小球序号	$\eta / (\text{Pa} \cdot \text{s})$	E_r
1	0.212	1.12%
2	0.211	0.64%
3	0.255	7.33%
4	0.222	5.71%
5	0.216	2.83%
6	0.215	2.49%
7	0.217	3.51%
8	0.213	1.57%
9	0.211	0.55%
10	0.215	2.44%

利用加热部分控制待测液体温度, 测量不同温度下的黏度, 测量结果如图 8 所示.

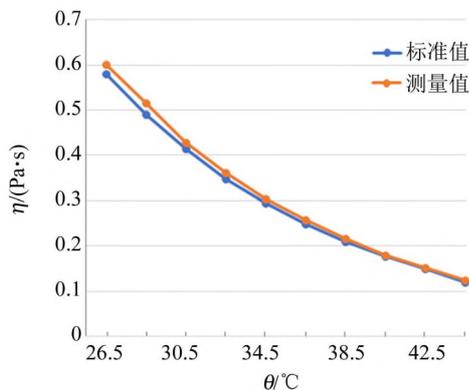


图 8 蓖麻油的黏度随温度的变化

3.2 非透明液体黏度的测量

某种洗发水的密度 $\rho = 1.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 温

度为 31 °C 时黏度为 16.546 Pa·s. 测量结果表明,洗发水温度升高黏度降低,但变化不明显.

4 结束语

对传统落球法测量液体黏度实验装置进行改进,在容器顶部加装中心带铁质拉杆的盖子,能精确控制小球沿容器的中心轴线下落又能防尘防污染,利用精度较高的传感器测量各待测量,不仅克服了传统实验不可测量不透明液体黏度的弊端,而且大幅度减小了实验误差. 此外,增添了加热装置,能在短时间内测量出不同温度下的待测液体的黏度. 在测量液体黏度的实验中融入霍尔开关实验,并结合了数字电路、单片机、程序设计等多方面知识,既提高了实验的准确性,又可引导学生进行多方位学习.

参考文献:

- [1] 刘继英. 毛细管法测液体的粘滞系数[J]. 八一农学院学报,1994,17(4):89-91.
- [2] 赵敏,强晓明. 落球法测液体黏度的改进[J]. 物理实验,2011,31(11):25-26.
- [3] 衡耀付,张宏. 转筒法测定液体粘滞系数实验的改进[J]. 天中学刊,2002,17(5):65-66.
- [4] 孙伯耳. 多管落球法测液体黏度实验的探讨[J]. 实验科学与技术,2009(6):28-30.
- [5] 魏俊波. 用升球法测量液体的粘滞系数[J]. 纺织高校基础科学学报,2003,16(2):175-177.
- [6] 胡德旺. 旋转球体法测粘滞系数的方法研究[J]. 实验技术与管理,2006,23(1):30-31.
- [7] 安郁宽. 利用高速 LED 秒表与数码相机测量液体黏度[J]. 物理实验,2018,38(1):14-18.
- [8] 黄秋萍. 落球法液体粘滞系数实验的改进[J]. 大学物理实验,2015,28(3):38-41.
- [9] 李亚亚,王国华,柯莎,等. 落球法测量液体粘滞系数的细节探索[J]. 山东工业技术,2017(15):261-262.
- [10] 濮兴庭,戚世瀚,王楠. 落球法测定液体粘滞系数误差的研究[J]. 实验室科学,2014,17(1):22-24.
- [11] 贾晓倩,张凯悦,李秉阳,等. 集成霍尔开关传感器液体黏度测定仪的设计与测试[J]. 物理实验,2019,39(4):53-56.
- [12] 曹月真. 基于 51 单片机的超声波测距系统的设计[J]. 电子世界,2011(10):55-56.
- [13] 杨鑫琦,喻秋山,季伟驰,等. 超声测距测速系统的设计及应用[J]. 物理实验,2018,38(11):39-44.

Design and test of a temperature controlled liquid viscosity tester

ZHANG Kai-yue¹, PAN Guo-hua², JIA Xiao-qian¹, CHEN Ying-jie¹

(1. School of Physics and Engineering, Qufu Normal University, Qufu 273165, China;

2. Laoling First Senior High School, Laoling 253600, China)

Abstract: In view of the common problems in the experiment of measuring liquid viscosity by falling balls in university physics experiments, a temperature controlled liquid viscosity tester based on multi-sensor system was proposed. The instrument adopted a multi-sensor system composed of integrated hall switch sensor, temperature sensor and ultrasonic sensor, which could measure the viscosity of transparent liquid and non-transparent liquid. Combined with external heating device, liquid viscosity at different temperatures could be measured.

Key words: liquid viscosity; multi-sensor system; temperature control; single chip microcomputer

[责任编辑:郭伟]