

物理实验



# 利用力传感器测量液体表面张力系数

王佳美 丁益民 徐瑶 张申落

(湖北大学物理与电子科学学院 湖北 武汉 430062)

(收稿日期:2022-05-04)

**摘要:**为了解决传统实验中肉眼观察数字电压表的数值存在较大误差且计算过程繁琐的问题,将力敏传感器引入实验的同时,结合单片机和上位机系统,在实验过程时间段内连续采集数据点,绘制出外力变化的曲线图像,更为精确地确定环形液膜拉断瞬间的脱离力,减小误差,从而使得实验结果更加精确。

**关键词:**力传感器;单片机;上位机;液体表面张力系数

液体表面张力系数的测量是大学物理综合性实验中的一个重要内容<sup>[1]</sup>。目前存在的测量液体表面张力系数的方法有静力学法和动力学法,由于动力学法本身比较复杂,测量的精度不够,采用此类方法成功的案例较少,实际中多采用静力学法,如毛细管上升法、悬滴法、Wilhelmy 盘法等,在大学物理实验室常采用拉脱法来进行测量,该方法通过称量仪器直接测量液体表面张力,测量方法直观,但对仪器要求较高,且受人为因素影响造成的误差较大<sup>[2]</sup>。另有较为准确的测量方法是利用焦利秤或者利用力敏传感器张力测定仪来测量表面张力,但即便是精准的测定仪,最终获得的结果依旧是数字信号,需要利用电压示数来进行数据读取,再通过给定数值的砝码进行相对应的电压记录,最终结果再进行线性拟合计算获得系数值,在此过程中需要肉眼观察环形液膜拉断前后一瞬间数字电压表的数值,不可避免的存在较大误差且过程繁琐<sup>[3]</sup>。

为了解决当前存在的问题,将前人把力敏传感器引入该实验的同时,创新地结合单片机以及上位机系统,利用单片机在环形液膜拉断前后的时间段内连续采集数据点,通过 USB 接口传输至上位机,绘制出力的大小随时间变化的曲线图像,简化原实验繁琐定标拟合数据过程的同时,能通过上位机系统的绘制和零点矫正更为精确地确定环形液膜拉断瞬间的脱离力,减小肉眼判断电压数值变化和多次实验中水的附着带来的实验误差,从而使得实验结

果更加精确。

## 1 实验原理和方法

### 1.1 实验原理

作用于液体表面,使得液体表面积缩小的力,为液体表面张力,因液体与气体接触的表面存在表面层,层内的分子数比液体内部稀疏,分子间距更大,从而使得分子间相互作用表现为引力而形成。而液体表面张力系数是指作用在液体表面单位长度上的表面张力,它是表征液体性质的一个重要参数。

对于一个已知周长的金属片,通过测量它从待测液体表面脱离时需要的力,即可测出液体的表面张力,进而求得液体表面张力系数。此处金属片为环状吊片,考虑一级近似,可以认为脱离力为表面张力系数乘以脱离表面的周长,即

$$F = \alpha \pi (D_1 + D_2) \quad (1)$$

式中, $F$  为脱离力; $D_1$  和  $D_2$  分别为圆环的外径和内径; $\alpha$  为液体表面张力系数<sup>[1]</sup>。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 传统方法

在大学物理实验中,通常采用拉脱法来研究液体的表面张力系数,利用焦利秤或者力敏张力测定仪来测量定值砝码所对应的电压值,该电压值与所加外力成正比,即

$$\Delta U = KF \quad (2)$$

再通过标准砝码对力敏传感器定标求出  $K$ ,即可由

输出电压  $\Delta U$  计算出外力  $F$ , 进而求得  $\alpha$ <sup>[1]</sup>.

### 1.2.2 改进方法

选用误差最小的环形片, 利用力敏传感器来测量外力  $F$ , 能够感知力的准确变化, 然后利用单片机采集不同温度液体数据, 并通过相对应的上位机系统绘制外力变化曲线, 能够省去肉眼读取脱离力时容易出现将脱离瞬间的最大峰值作为脱离力从而误判的实验步骤, 从上位机系统绘制好的力的变化图像分析获得脱离力的准确值, 代入式(1)求得液体表面张力系数, 能够省去定标拟合的繁琐实验步骤的同时, 也能够减少无效的误判实验。

### 1.2.3 实验方法可靠性

实验采用动变压器耦合供电的旋转扭秤传感器中的S型拉压力传感器 JLBS-M2(0.5 kg 量程), 其灵敏度达到 1.0 mV, 综合精度 0.05%F·S, 测量精度达  $10^{-5}$  kg, 如图1所示, 利用 2 g 砝码做精度测试, 放上砝码前的图像波动为砝码盘的晃动, 实验还

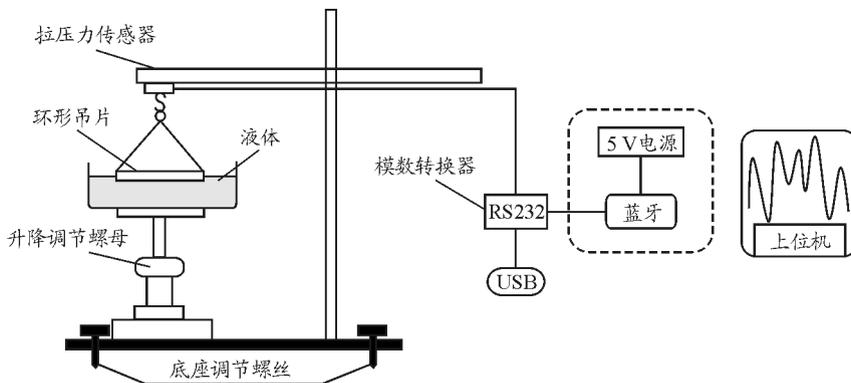


图2 实验装置图

## 2.2 实验基本步骤

(1) 用游标卡尺测量环形吊片的外径  $D_1$  和内径  $D_2$ , 利用无水乙醇浸泡清洗玻璃皿和环形吊片, 除去可能存在的大部分杂质。

(2) 按图2连接实验装置, 对装置进行调平处理, 调节升降台, 使环片下沿部分全部浸没于待测液体, 打开上位机显示系统, 进行串口设置, 主要进行正确串口选择和波特率 9 600 的设定, 等待实时值有所显示后进行零点校准, 如图3所示, 选择单个机位零点校正即可。

采用 RS232 单通道厂家协议模数转换器, 搭载计数和绘图的上位机, 每分钟内可采点 200 次, 以上足以保证能够获取需要的实验数据。

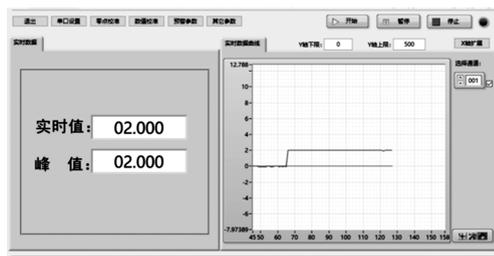


图1 精度测试

## 2 实验装置和步骤

### 2.1 实验装置及器材

本实验设计如图2所示, 实验器材如下: 力传感器, 模数转换器(单片机), 上位机系统, 待测样品, 铁架台, 玻璃皿和配件盒(吊环, 砝码组, 砝码盘, 镊子, 水准泡)。



图3 零点校正

(3) 调节升降螺母, 使液面缓慢平稳下降, 直至环形液膜被拉断, 此时上位机显示系统将直接显示拉断时的脱离力量, 由于力的脱离, 脱离时图像会有明显的下降拐点, 以此可确定脱离力, 35 °C 纯水的

脱离重量为 1.50 g 如图 4 所示。

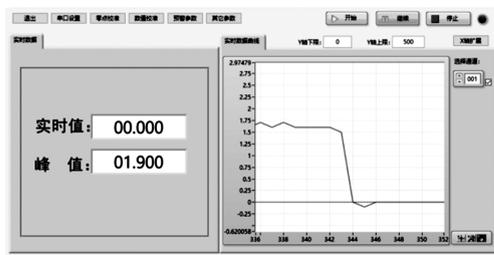


图 4 脱离力量测量值

(4) 重复上述步骤,测量了 35 °C、25 °C 和 20 °C 纯水的脱离力。

### 3 实验结果分析及讨论

(1) 使用游标卡尺多次测量待测圆环的内外径,并取内外径平均值分别为:  $D_1 = 34.78 \text{ mm}$  和  $D_2 = 32.99 \text{ mm}$ 。

(2) 实验室传统测量结果如下。

利用不同砝码进行定标,数据记录如表 1 所示。

表 1 定标数据

物体质量 $m/\text{g}$	输出电压 $U/\text{mV}$
0.50	184.0
1.00	198.5
1.50	213.5
2.00	227.2
2.50	241.6
3.00	255.3

应用最小二乘法直线拟合得传感器灵敏度

$$K = 28.542 \text{ mV} \cdot \text{g}^{-1}$$

水温为 25 °C 时,测量数据如表 2 所示。

表 2 实验数据

测量次数	$U_1/\text{mV}$	$U_2/\text{mV}$	$\Delta U/\text{mV}$
1	233.1	187.0	46.1
2	233.2	187.9	45.3
3	233.4	188.2	45.2
4	234.1	188.5	45.6
5	234.4	188.8	45.6
6	234.6	188.8	45.8

根据表 2 可求得

$$\overline{\Delta U} = 45.6 \text{ mV}$$

以纯水在 25 °C 时液体表面张力系数  $\alpha = 71.97 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$  为标准,将实验所得  $K$  与  $\Delta U$  平均值代入式(1)和(2)计算可得

$$\alpha = 73.54 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

根据标准值计算相对误差得

$$E = 2.18\%$$

根据相对误差结果可知,实验结果引入误差较高,实验过程中通过肉眼和反应速度对电压值的读取存在较大的人为误差,并且十分容易错将电压峰值作为液膜拉断瞬间的电压值,导致读数偏大,也容易为了刻意规避峰值带来的误差而导致读数偏小,造成计算结果偏大,产生较大误差。

(3) 针对传统实验中存在的问题,利用改进的实验设计装置,根据实验步骤分别采集 35 °C、25 °C、20 °C 的纯水形成的环形液膜拉断前后的时间段内的连续数据,并分析由数据点在上位机系统内形成的脱离力连续变化图像,放大并读取不同温度纯水脱离力数值,如表 3 所示。

表 3 实验数据

次数	35 °C 纯水	25 °C 纯水	20 °C 纯水
1	1.500	1.560	1.570
2	1.520	1.570	1.580
3	1.530	1.570	1.590
4	1.540	1.570	1.590
5	1.560	1.580	1.590
平均值	1.530	1.570	1.586
$\sigma$	0.035	0.011	0.018

根据表 3,以纯水在 35 °C 时液体表面张力系数  $\alpha = 70.38 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$  为标准,将实验所得平均值代入式(1),武汉市  $g = 9.79 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,取  $g = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,计算可得

$$\alpha_1 = 70.42 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

根据标准值计算相对误差得

$$E_{35\text{ °C}} = 0.56\%$$

同理有

$$\alpha_2 = 72.27 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$E_{25\text{ °C}} = 0.41\%$$

$$\alpha_3 = 73.00 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$E_{20\text{℃}} = 0.34\%$$

根据相对误差结果可知,实验结果基本符合测量结果引入误差不大于0.5%标准,25℃纯水实验中,改进实验结果与传统实验结果相比较得出,新的实验装置能够明显降低实验误差,使得实验结果更为准确;另外,在改进实验过程中发现,35℃纯水较25℃和20℃水温误差较高,经实验发现其源于不可避免的水温下降,导致后续取得数值偏大,接近室温时实验结果理想.

#### (4) 实验室传统测量结果如下

本实验方案,优势在于在传感器的基础上引入了单片机及上位机系统,可以更为准确地捕捉环形液膜拉断前后一瞬间的脱离力数值,克服了肉眼观察数字电压表数值变化的时间反应误差,同时也克服了将电压峰值等同于脱离力电压峰值的误判问题.由于单片机的高频率自动采点和上位机系统的变化图像描绘以及零点矫正功能,可以看到物理量的变化并能够对图像进行放大分析和计算,同时零点矫正能够纠正多次重复实验导致环形铁片上水渍的重量带来的误差,一定程度上缩短了实验时间,使得实验的精度和效率均得以提升.

#### 4 结束语

将单片机和上位机系统引入液体表面张力系数

实验,可以克服传统实验中难以避免的主观误差、实验过程繁琐易出错等缺点,除此之外,通过传感器、单片机和计算机的综合运用,能够促进所学知识的网络交汇,加深原有知识的印象,打破传统实验方法的思维定式,学以致用、用以促学、学用相长.

#### 参考文献

- [1] 丁益民,徐扬子.大学物理实验(基础与综合部分)[M].北京:科学出版社,2008:161-164.
- [2] 王美玉,赵秀英,白彦魁,等.有关液体表面张力系数测定实验中的现象研究[J].大学物理实验,2020,33(2):56-59.
- [3] 李艳琴.基于力敏传感器测量液体表面张力系数及其表面张力再认识[J].实验室研究与探索,2010,29(8):18-20.
- [4] 秦平力,余雪里,张昱.拉脱法测量液体表面张力系数实验中影响实验误差的因素及几个被忽略问题[J].大学物理实验,2019,32(4):92-95.
- [5] 魏秀芳,马云云,董向成.液体表面张力系数与金属线框直径关系的实验探究[J].大学物理实验,2018,31(1):13-15.
- [6] 叶智丰,蔡文君,巴佳燕,等.基于杠杆原理的测量液体表面张力系数新方法[J].大学物理实验,2020,33(6):7-10.
- [7] 王本阳,毛晓芹,刘一,等.基于光纤拉力传感器测量液体表面张力系数[J].物理实验,2020,40(7):16-18.

## Measuring the Liquid Surface Tension Coefficient Using Force Sensor

WANG Jiamei DING Yimin XU Yao ZHANG Shenluo

(School of Physics and Electronic Science, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

**Abstract:** In order to solve the problem of large error in the value of digital voltmeter observed by the naked eye and cumbersome calculation process in the traditional experiment, while introducing the force sensor into the experiment, combined with the single chip microcomputer and host computer system, continuously collect data points in the time period of the experimental process, draw the curve image of the change of external force, more accurately determine the separation force at the moment of breaking the annular liquid film, and reduce the error, this makes the experimental results more accurate.

**Key words:** force sensor; single chip microcomputer; upper computer; liquid surface tension coefficient