

文章编号: 1007-2934(2022)04-0037-09

# 液体表面张力系数测定实验设计与制作

罗志高<sup>1</sup>, 宋树芹<sup>2</sup>

(1. 中山大学 公共实验教学中心, 广东 广州 510275; 2. 中山大学 材料科学与工程学院, 广东 广州 510275)

**摘 要:** 用 NI myDAQ 和微型计算机等开发制作了基于 LabVIEW 数据处理的自动测量液体表面张力系数实验仪。将传统手动测量读数据计算液体表面张力系数和用现代数据采集器传感器结合, 计算机自动测量液体表面张力系数两种方法结合分别对纯水、不同浓度酒精进行数据测量, 计算液体表面张力系数并且作曲线图。让学生掌握传统和现代测量方法、拓宽学生知识视野、培养学生用多种方法解决问题以及创新思维能力。

**关键词:** 液体表面张力; 数据处理; 自动测量

**中图分类号:** O 4-34 **文献标志码:** A **DOI:** 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2022.04.010

## 1 实验原理简述

将一洁净的圆筒形吊环浸入液体中, 然后缓慢地提起吊环, 圆筒形吊环将带起一层液膜, 使液面收缩的表面张力  $f$  沿液面的切线方向, 角  $\varphi$  称为湿润角(或接触角)(图 1)。

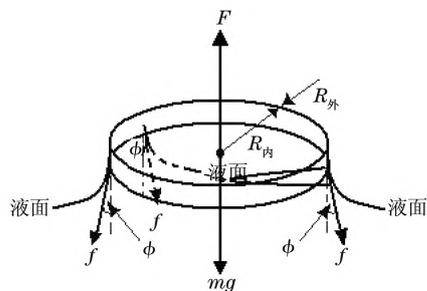


图 1 圆形吊环从液面缓慢拉起受力示意图

当继续提起圆筒形吊环时,  $\varphi$  角逐渐变小而接近为零, 这时所拉出的液膜的里、外两个表面的张力  $f$  均垂直向下, 设拉起液膜破裂时的拉力为  $F$ , 则有:

$$F = (m + m_0)g + 2f \quad (1)$$

式中,  $m$  为粘附在吊环上的液体的质量(单位 kg),  $m_0$  为吊环质量(单位 kg), 因表面张力的大小与接触面周边界长度成正比, 则有:

$$2f = \pi(D_{内} + D_{外}) \cdot \alpha \quad (2)$$

其中, 比例系数  $\alpha$  称为表面张力系数, 单位是 N/m。  $\alpha$  在数值上等于单位长度上的表面张力。

$$\alpha = \frac{F - (m + m_0) \cdot g}{\pi \cdot (D_{内} + D_{外})} \quad (3)$$

由于金属膜很薄, 被拉起的液膜也很薄,  $m$  很小可以忽略, 于是公式(3)简化为:

$$\alpha = \frac{F - m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_{内} + D_{外})} \quad (4)$$

表面张力系数  $\alpha$  与液体的种类、纯度、温度和它上方的气体成分有关。

实验为峰值测量法, 用于测量表面张力系数, 基于环浸入液体中及从液体中拉起时的物理过程和现象<sup>[1-6]</sup>, 当吊环拉断液柱的一瞬间测定仪显示拉力峰值  $V_1$  并自动保持该数据, 拉脱液体静止后其读数值为  $V_2$ , 记下这两个数值。连续做 5 次, 求平均值。则表面张力和表面张力系数分别表述为公式(5)、(6):

$$2f = (\bar{V}_1 - \bar{V}_2) \bar{K} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{2f}{L} = \frac{(\bar{V}_1 - \bar{V}_2) K}{\pi(D_{内} + D_{外})} \quad (6)$$

## 2 基于 NI myDAQ 液体表面张力系数测定仪设计制作

基于 NI myDAQ 液体表面张力系数测定仪由

收稿日期: 2022-04-08

基金项目: 2021 年教育部产学合作协同育人项目(202102226002)

肌张力传感器、实验架、信号放大器、NI myDAQ 数据采集器、微型计算机等组成。

### 2.1 实验架设计

初期采用厂家的 FB326 型实验架,其测水和酒精采用的是两个不同装置,学生经常误把酒精倒入测水的有机玻璃槽中,直接影响测水的性能。为此,自主设计了实验装置架(图 2),其中玻璃漏斗用于盛放水和酒精、实验发现采用有机玻璃或不锈钢制作架子时,效果均不理想,当采用铝合金制作架子时,美观漂亮,获得满意结果(图 3)。

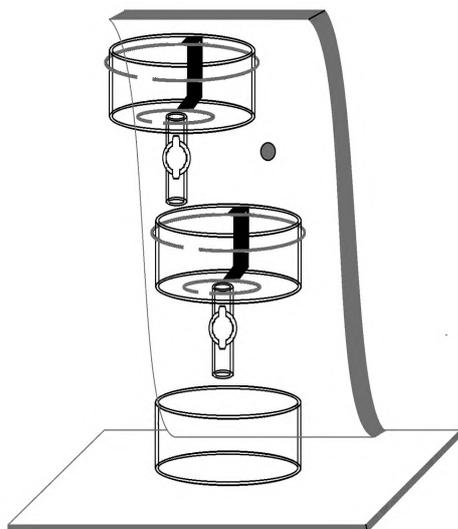


图 2 实验装置架设计图

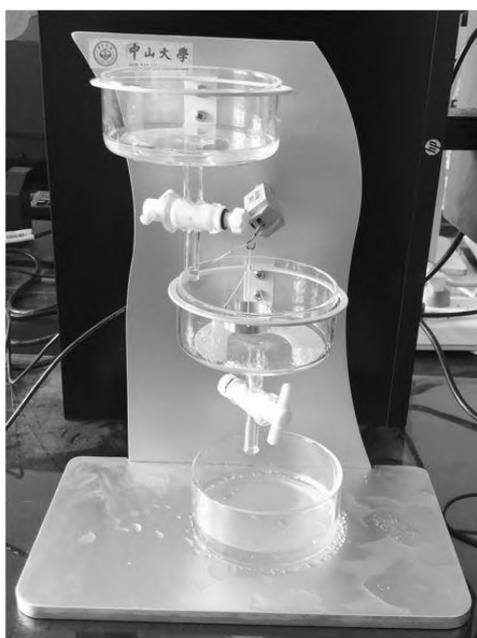


图 3 实验装置架实际图

### 2.2 放大器制作

由于肌张力传感器输出信号为毫伏级,输送到 NI myDAQ 数据采集器的信号太弱,为此制作放大器以放大该信号,图 4 为所自制的信号放大器实物图、图 5 为自动测量装置图。

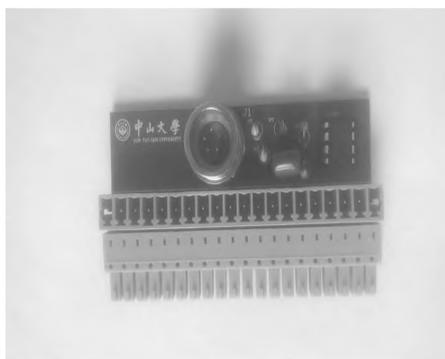


图 4 制作的信号放大器

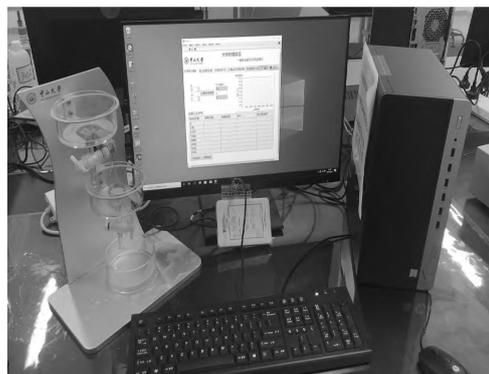


图 5 制作的自动测量系统

### 2.3 myDAQ 数据采集程序情况

#### 2.3.1 myDAQ 数据采集流程图

myDAQ 数据采集流程图如图 6 所示。

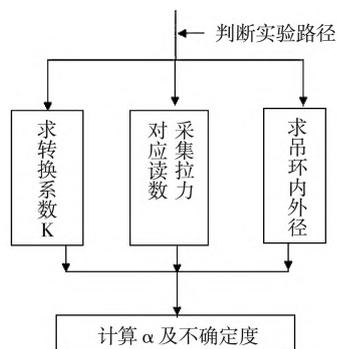


图 6 myDAQ 数据采集流程图

#### 2.3.2 采样率和采样点

利用 DAQ 助手采集压阻力敏传感器的电压信号,采样率为 1 000,采样点数为 100,如图 7

所示。

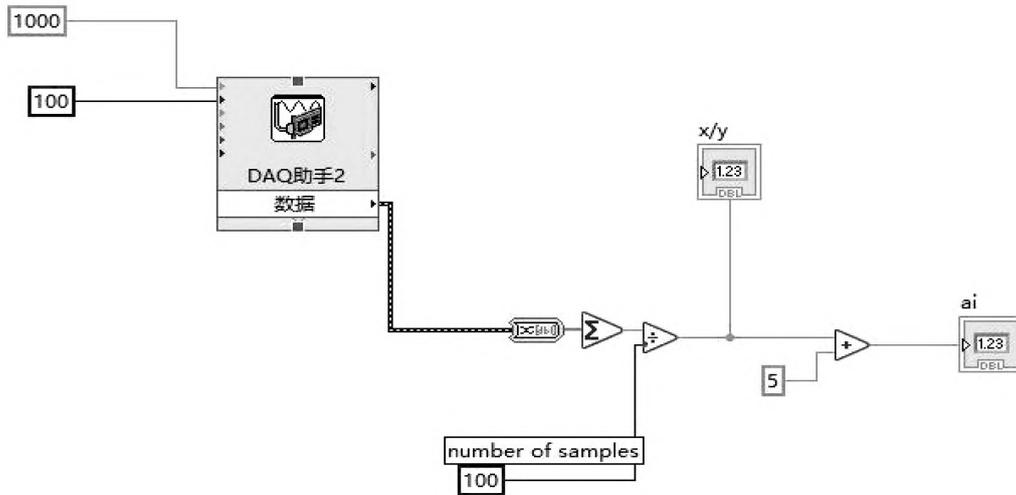


图7 采样率采样点数选择过程程序框图

2.3.3 求 V 值

求 V 值过程程序框图如图 8 所示,具体包括如下步骤:

(1) 获取光标位置,当点击“获取数据”时,数据写入前面板的表格。

(2) 条件结构判断“减重读数“是否有数据,如果是利用表格中的”增重读数“和”减重读数“求出对应的 V 值。

(3) 从表格中提取数据,并用最小二乘法拟合曲线。

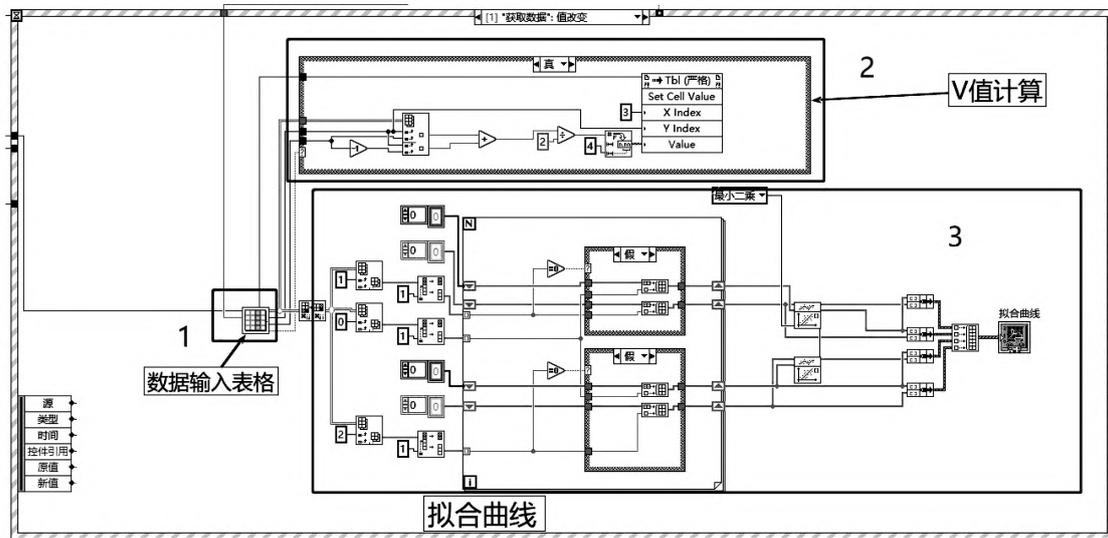


图8 求 V 值过程程序框图

2.3.4 求 ΔK

求 ΔK 过程程序如图 9 所示,具体步骤包括:

(1) 从实验获取到数据的表格中获取数据,并根据  $\delta V_i = V_{i+4} - V_i$  求得等间距逐差  $\delta V_i$  和根据  $\bar{\delta V} = \frac{1}{4}(\delta V_1 + \delta V_2 + \delta V_3 + \delta V_4)$  求得  $\bar{\delta V}$  (图中的平均

值  $\delta V$ )。

(2) 由前面求得的  $\bar{\delta V}$  代入  $K = \frac{g \cdot m}{\bar{\delta V}}$  即可求得  $\bar{K}$  (程序图中的 K), 根据 K 和  $\bar{K}$  可求得  $\Delta K$ 。

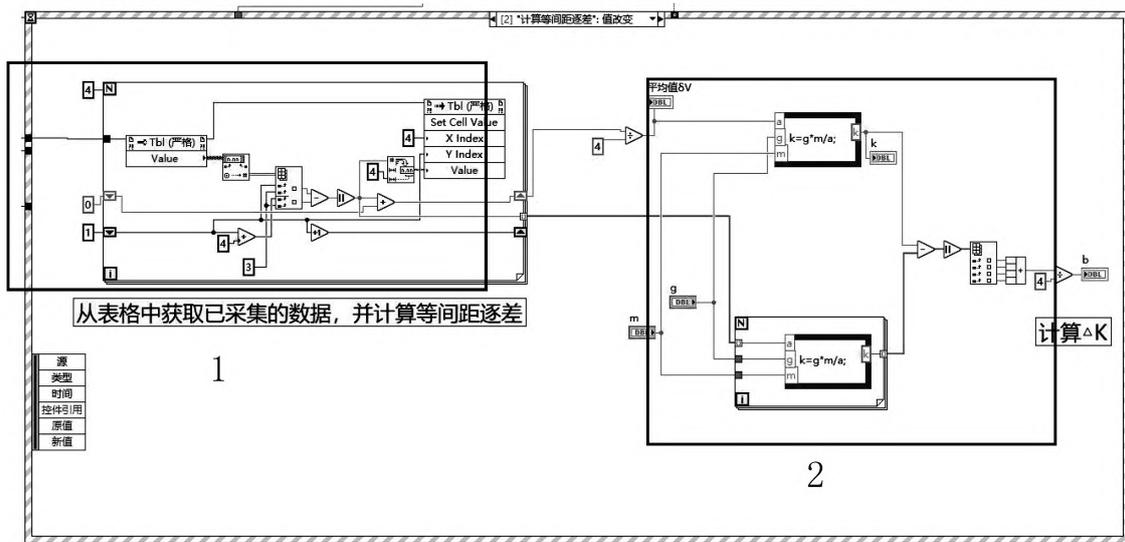


图9 求  $\Delta K$  过程程序框图

2.3.5 求  $\Delta \bar{V}$

求  $\Delta \bar{V}$  过程程序框图图 10 所示,具体包括:

- (1) 从表格中获取采集到的数据, 根据  $V = V_1 - V_2$  求得表面张力对应读数  $V$ ;

(2) 根据每次实验采集到的  $V$ , 利用

$$\bar{V} = (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5) \div 5$$

求得  $\bar{V}$  (程序图中的 C)。

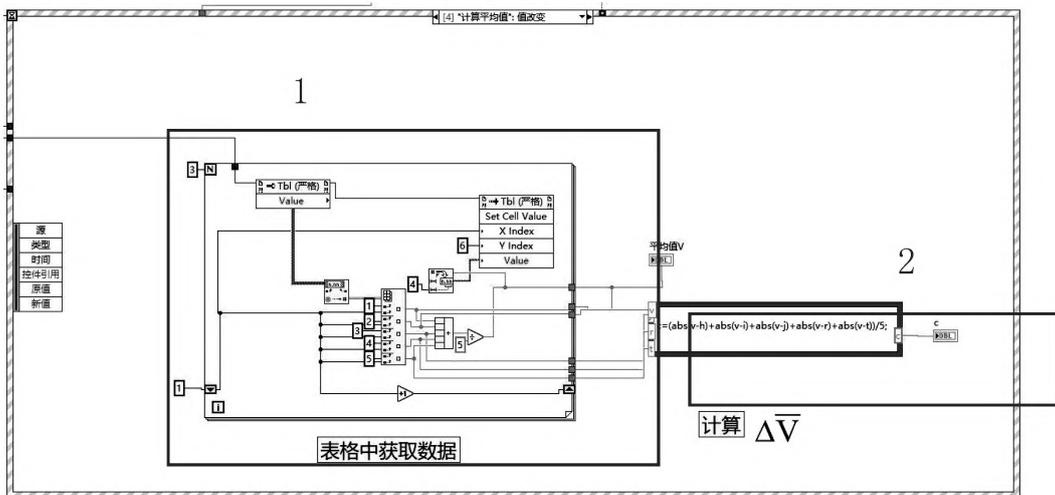


图10 求  $\Delta \bar{V}$  过程程序框图

2.3.6 求吊环的内、外直径

求吊环的内、外直径郭晨程序框图如图 11 所示,具体包括:

- (1) 从表格中获取测量的吊环的内、外直径;

(2) 求得内外径平均值及  $\bar{L}$  (程序图中的 L) ;

(3) 根据  $\bar{L}$  和每次测量得的内外径平均值

求得  $\Delta \bar{K}$  (程序图中的 d) 。

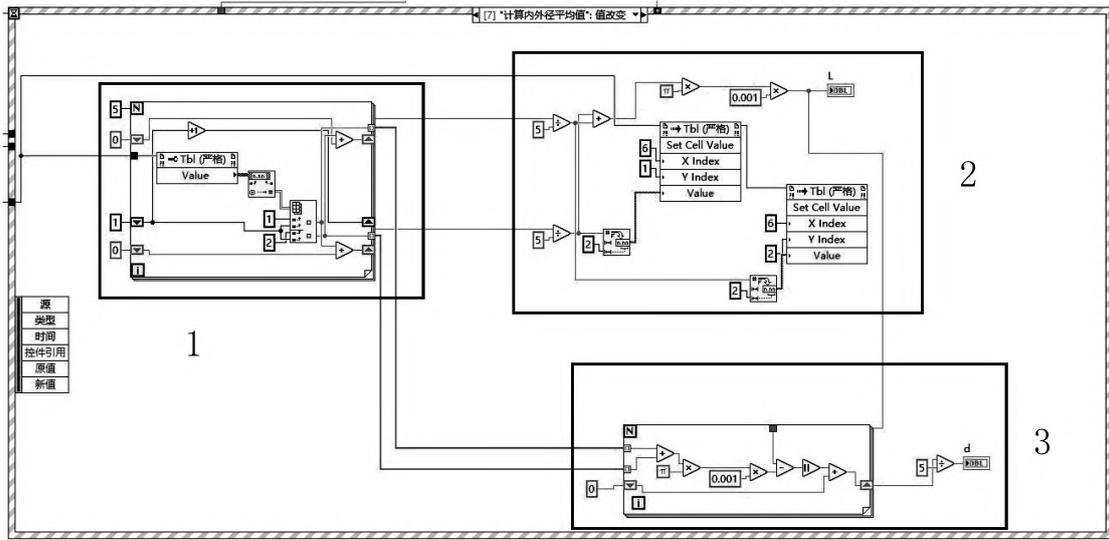


图 11 求吊环的内、外直径过程程序框图

2.3.7 求  $\alpha$  和  $\Delta\alpha$

求  $\alpha$  和  $\Delta\alpha$  过程程序框图如图 12 所示,具体包括:

- (1) 利用前面求得的  $\bar{K}$ (图中的  $k$ )、 $\bar{V}$ (图中的  $V$ ) 和  $\bar{L}$ (图中的  $l$ );
- (2) 根据公式  $\bar{\alpha} = \frac{\bar{K} \cdot \bar{V}}{\bar{L}}$ , 可求得  $\bar{\alpha}$ (图中的

$g$ );

- (3) 利用前面求得的  $\Delta\bar{K}$ (图中的  $b$ )、 $\Delta\bar{V}$ (图中的  $c$ )、 $\Delta\bar{L}$ (图中的  $d$ );

(4) 根据公式  $\left(\frac{\Delta\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}}\right)^2 = \left(\frac{\Delta\bar{K}}{\bar{K}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\bar{V}}{\bar{V}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\bar{L}}{\bar{L}}\right)^2$

可求得  $\Delta\bar{\alpha}$ (图中的  $a$ )。

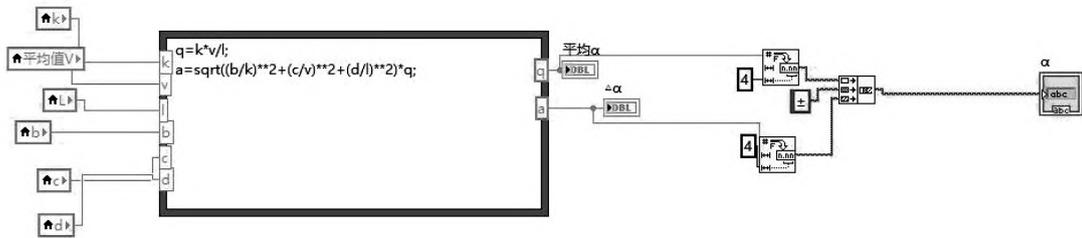


图 12 求  $\alpha$  和  $\Delta\alpha$  过程程序框图

2.3.8 实时读数

实时读数过程程序框图如图 13 所示,具体包括:

- (1) 转换前面板实时数据标题;

- (2) myDAQ 的数据实时采集,读取每添加一个砝码后的最大值数据,是否小于 0.02 是判断是否添加或减少了砝码。

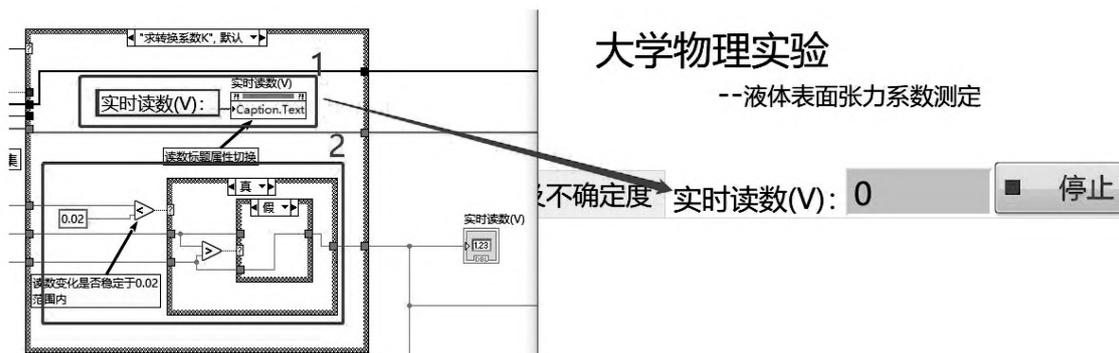


图 13 实时读数过程程序框图

### 2.3.9 求最大值

求最大值过程程序框图如图 14 所示, 具体包括:

(1) 如图 14 所示将实时数据捆绑成波形数据并显示出来;

(2) 转换前面板实时数据标题;

(3) myDAQ 的数据实时采集, 读取每次拉力的最大值数据, 是否小于 0.5 是判断是否重新把吊环放进液体里。

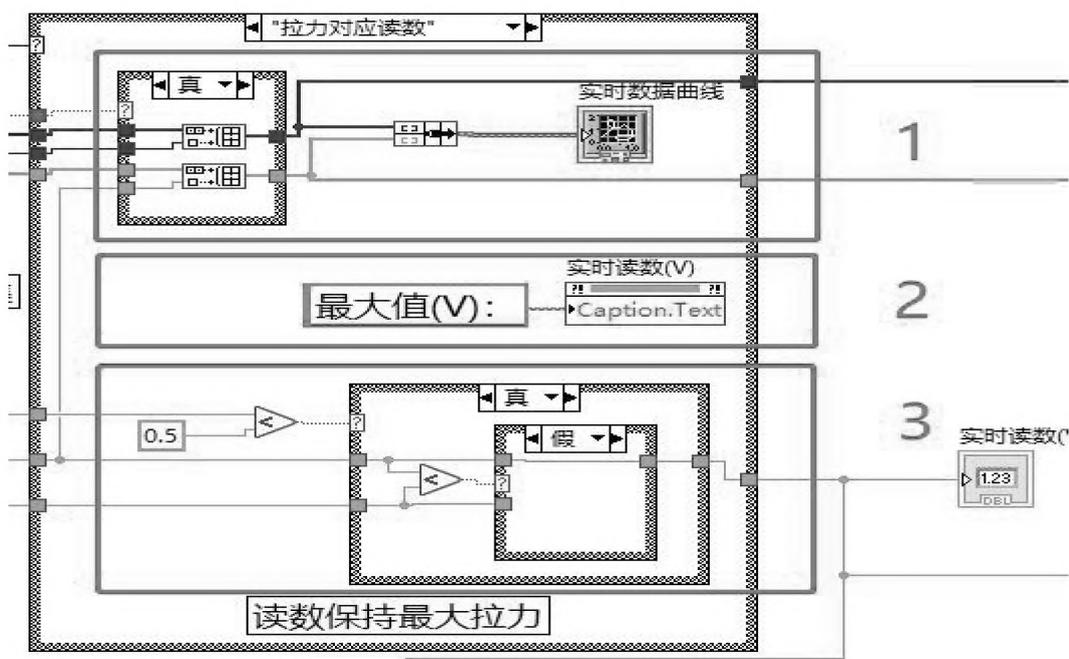


图 14 求最大值过程程序框图

以纯水为例, 实际效果如图 15, 16, 17, 18 所示。

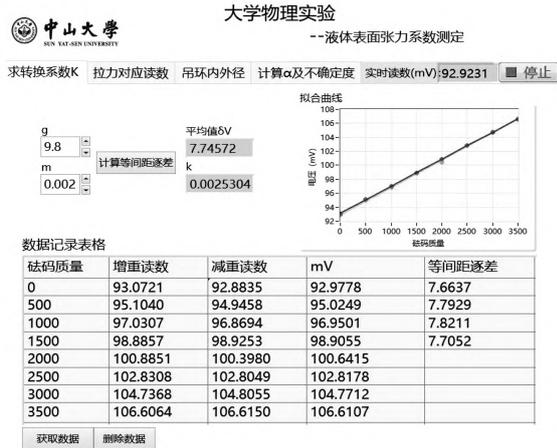


图 15 求转换系数 K 效果图



图 16 求拉力对应读数效果图



图 17 吊环内外径计算效果图



图 18 计算  $\alpha$  及不确定度效果图

### 3 手动测量与自动测量(即基于 myDAQ 液体表面张力系数测定仪)实际效果对照分析

#### 3.1 手动测量

##### 3.1.1 设备

采用 FB326 型液体表面张力系数测定仪,如图 19 所示。

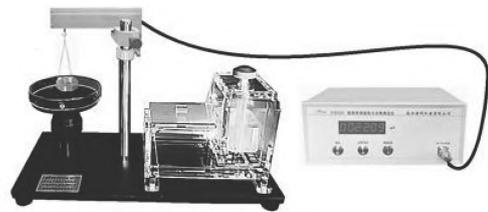


图 19 FB326 型液体表面张力系数测定仪

##### 3.1.2 结果

###### (1) 手动测量结果

手动测量结果汇总于表 1 中(25 °C)。

表 1 手动测量计算求得的值汇总表

酒精或纯水	转换系数 K /N/mV	吊环内外径平均值 L/mm	计算 $\alpha$ N/m
纯水	0.009 598 433	0.212 862	0.074 085 714
10%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.060 692 405
20%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.054 038 588
30%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.038 941 693
40%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.038 256 290
50%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.036 587 876
60%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.035 586 827
70%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.032 727 977
80%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.031 772 020
90%酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.029 319 000
无水酒精	0.009 598 433	0.212 862	0.027 019 294

#### 3.2 自动测量结果

自动测量结果汇总于表 2 中(25 °C)。

表 2 自动测量结果汇总表

酒精或纯水	转换系数 K/N/mV	吊环内 外径平均值 L/mm	计算 $\alpha$ (N/m)	不确定度 $\Delta\alpha$
纯水	0.002 553 6	0.212 862	0.086 66	0.001 50
10%酒精	0.002 530 4	0.212 862	0.064 60	0.000 55
20%酒精	0.002 553 6	0.212 862	0.048 69	0.001 02
30%酒精	0.002 553 6	0.212 862	0.045 33	0.000 85
40%酒精	0.002 553 6	0.212 862	0.040 89	0.000 76
50%酒精	0.002 533 7	0.212 862	0.037 92	0.000 51
60%酒精	0.002 533 7	0.212 862	0.036 85	0.000 45
70%酒精	0.002 533 6	0.212 862	0.034 31	0.000 69
80%酒精	0.002 496 5	0.212 862	0.032 25	0.002 76
90%酒精	0.002 496 5	0.212 862	0.030 60	0.002 62
无水酒精	0.002 496 5	0.212 862	0.028 42	0.002 44

### 3.3 手动测量与自动测量结果比较

手动测量和自动测量都是用同样的吊环和砝码。将手动测量计算得到的  $\alpha$  与自动测量得到

的  $\alpha$  对照作图比较手动与自动测量的结果如图 20 所示。两种方法都能得到相同的结果,两者偏差不大。

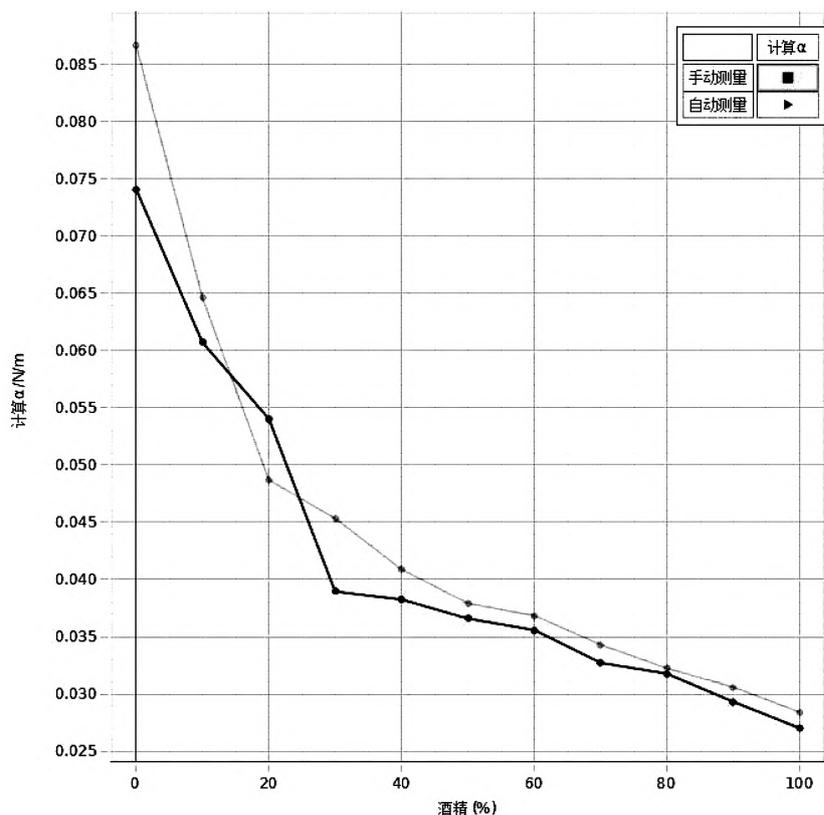


图 20 手动测量与自动测量  $\alpha$  对照图

手动测量结果如下表1: (25℃)

酒精或纯水	计算 $\alpha$ (N/m)
纯水	0.074085714
10%酒精	0.060692405
20%酒精	0.054038588
30%酒精	0.038941693
40%酒精	0.038256290
50%酒精	0.036587876
60%酒精	0.035586827
70%酒精	0.032727977
80%酒精	0.031772020
90%酒精	0.029319000
无水酒精	0.027019294

自动测量结果如下表2: (25℃)

酒精或纯水	计算 $\alpha$ (N/m)
纯水	0.08666
10%酒精	0.06460
20%酒精	0.04869
30%酒精	0.04533
40%酒精	0.04089
50%酒精	0.03792
60%酒精	0.03685
70%酒精	0.03431
80%酒精	0.03225
90%酒精	0.03060
无水酒精	0.02842

## 4 实验分析总结

学生通过 FB326 型液体表面张力系数测定仪进行手动测量纯水和不同浓度酒精表面张力系数,每个样品测试 5 次,求其转换系数  $K$  和吊环内外径平均值,通过计算求出不同液体的表面张力系数,计算不确定度。用基于 NI myDAQ 液体表面张力系数测定仪测量纯水和不同浓度的酒精表面张力系数,并作误差分析,将这两种方法结合分别对纯水、不同浓度酒精进行数据测量,计算液体表面张力系数且作曲线图,发现这两种方法都有误差,但差别不大,都能达到教学的主要目的。

实验让学生了解液体表面张力系数测定仪的基本结构,学会使用 myDAQ 和 LabVIEW 分别进行数据采集和处理;掌握用标准砝码对测量仪进行定标的方法;学会用多种方法做同一实验同时

掌握传统和现代测量方法;这有助于拓宽学生知识视野、培养学生用多种方法解决问题以及创新思维能力。

基于 NI myDAQ 液体表面张力系数测定仪自 2017 级本科生开始用于物理实验教学至今已经 5 年,有 1 万多名中山大学本科生使用其进行实验,受到师生们的一致认可,也根据实验中出现的题目进一步完善。受此启发也在尝试开发其它实验,并鼓励学生参与到实验仪器的自主研发,以提高学生的学习力、思想力和行动力,有助于培养创造型人才。

### 参考文献:

- [1] 崔新图,沈韩,方奕忠,等.基于 NI myDAQ 数据采集器的表面张力系数测量系统[J].物理实验,2015, 35(3),6-9.
- [2] 沙振舜,周进,周非.当代物理实验手册[M].南京:

- 南京大学出版社,2012.
- [3] 杨宁选,王雪燕,曹海滨,用力敏传感器测液体表面张力系数的不确定度分析及影响因素分析[J].大学物理实验,2016,29(6):113-116.
- [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] 罗志高.电子荷质比实验设计与实现[J].大学物理实验,2019,32(5):9-12.
- [6] 罗志高,陈泽民.数字化物理实验[M].广州:中山大学出版社,2020.

## Design and Manufacture of Experiment for Measuring Liquid Surface Tension Coefficient

LUO Zhigao<sup>1</sup>, SONG Shuqin<sup>2</sup>

(1.Public Experimental Teaching Center; 2.School of Materials Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** An experimental instrument for automatically measuring liquid surface tension coefficient based on LabVIEW data processing has been developed with Ni mydaq and microcomputer. The traditional manual measurement and reading data to calculate the liquid surface tension coefficient and the modern data collector sensor combined with the computer to automatically measure the liquid surface tension coefficient are combined to measure the corresponding data of both pure water and different concentrations of alcohol. Based on the above data, the liquid surface tension coefficient is further calculated and the corresponding curves are drawn. Through this experiment, students will master both traditional and modern measurement methods for liquid surface tension coefficient, which will help to broaden students' knowledge vision, and cultivate students' ability to solve problems and innovative thinking with various methods.

**Key words:** liquid surface tension; data processing; automatic measurement