

基于 ARM 的液体表面张力系数测量系统设计

徐富新,杨晓津,刘雁群

(中南大学 物理与电子学院,湖南 长沙 410083)

摘要:为了解决传统的液体表面张力系数测量中存在的精度低、稳定性差的问题,设计了一种基于 ARM 处理器的液体表面张力系数测量仪。采用功能强、频率高的 STM32 芯片作为主控制器,并对用拉脱法测液体表面张力系数的测量装置进行了改进;系统采用集成了放大器和 24 位 A/D 转换器的芯片 HX711 对力敏传感器输出的模拟信号进行放大并数字化,采用中位值平均算法对 ADC 输出的数据进行滤波;对传感器进行静态标定,获得其线性特性关系,并分析系统的测量误差;最后通过 LCD 显示屏直接显示测量拉力的大小,提高了测量效率。实验结果表明,相较于传统测量仪器,该液体表面张力系数测量仪有效提高了测量精度,误差较小,且重复性好。

关键词:表面张力系数;STM32;力敏传感器;拉脱法;HX711

中图分类号:TP391.8

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)11-0144-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.11.032

Measurement System of Liquid Surface Tension Coefficient Based on ARM

XU Fu-xin, YANG Xiao-jin, LIU Yan-qun

(School of Physics and Electronics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In order to solve the problems such as low precision and poor stability in the experimental instrument of traditional liquid surface tension coefficient, a liquid surface tension coefficient instrument based on ARM microprocessor is designed. The STM32 which has powerful functions and high frequency is used as the controller to improve the experimental device for measuring the liquid surface tension coefficient with pull-off method. This system uses HX711 to amplify the electric signal output from the force sensor, and converts the analog signal to digital signal. The median average filtering algorithm is used to filter. The static characteristic of the sensor is calibrated, getting the linear relationship between features, and the error of the measuring system is analyzed. The LCD screen is used to display the size of the tension directly which improves the efficiency of the measurement. The experimental results indicate that compared with the traditional instrument, this liquid surface tension coefficient instrument improves the measurement accuracy effectively, decreases the errors and has good repeatability.

Key words: surface tension coefficient; STM32; force sensor; pull-off method; HX711

0 引言

拉脱法^[1]是测量液体表面张力系数的基本实验方法之一,传统实验中主要是用焦利秤或扭秤测量。由于焦利弹簧容易发生形变,测量过程中产生的误差较大,且实验过程要求始终保持“三线对齐”,使得操作难度较大。

针对以上这些问题,文献[2]采用力敏传感器测量液体表面张力系数,通过数字电压表进行显示,极大地方便了实验数据的读取。文献[3]利用单片机系统

结合 LabVIEW 程序实现了数据的自动采集,更加准确地读取液体的表面张力值。但是采用 51 单片机这类功能比较简单、时钟频率低的系统普遍存在测量精度低、系统功能扩展困难等缺点。近年来众多高校使用 FD-NST-1 型表面张力系数测定仪^[4]来测量液体的表面张力系数,测量精度较之前提高了不少。但由于实验过程中吊环的水平调节比较困难,且采取手动控制升降台的调节极易引起振动使液膜过早被拉断,导致测量的数据产生偏差。

收稿日期:2016-01-27

修回日期:2016-05-11

网络出版时间:2016-10-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61178017)

作者简介:徐富新(1965-),男,教授,硕士生导师,研究方向为虚拟仪器技术和机器视觉;杨晓津(1986-),女,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20161024.1114.058.html>

针对这些系统的不足,文中开发了一款新型的表面张力系数测定仪。该测定仪采用以 ARM Cortex-M3 为内核的 STM32 作为主控芯片,便于扩展系统的功能。其次,对传统的实验装置进行了改进:将手动调节升降台使液位下降改为通过虹吸原理平稳降低液面;将盛放液体的玻璃器皿改由不锈钢材料制成,器皿所放的升降台改成由磁性材料制成,最大限度地减少实验台的振动对拉膜过程的影响。针对吊环的水平调节问题,将悬挂吊环的三根细线上端固定在三个可调小螺丝上,小螺丝等距离均匀安放在一个圆形塑料片上,轻质的圆形塑料片上端再与力敏传感器相连接,在吊环上施放一个小型水平仪^[5],以此为依据来调节吊环的水平。该系统不仅有效提高了测量的精度和灵活性,便于实验的测量,而且对其他实验仪器的改进也具有借鉴作用。

1 系统的工作原理

该系统基于拉脱法测量液体表面张力系数的原理,将洁净的铝金属圆环垂直浸入待测液体中,通过虹吸管平稳降低液面的高度,随着液面的下降,由于液体表面张力的作用,当金属圆环拉出水面时,圆环底部会拉起一圈液膜。根据表面张力的定义^[6],液体的表面张力近似为:

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

于是得到液体的表面张力系数为:

$$\alpha = \frac{f}{\pi(D_1 + D_2)} \quad (2)$$

其中, D_1 和 D_2 分别为金属圆环的外径和内径。

实验的关键在于表面张力 f 的测量。

该测定仪采用硅压阻式力敏传感器进行物理量的转换,将拉力转换成电信号。该传感器由弹性梁和贴在梁上的传感器芯片组成,其中传感器芯片由 4 个硅扩散电阻集成一个非平衡电桥。当外界拉力作用于弹性梁时,梁发生形变,力敏传感器的电桥失去平衡,此时将输出一个比较小的电压信号 U 。集成了 24 位 A/D 转换器和放大器的芯片 HX711 接收到这个微小的电压信号后,将其放大并进行 A/D 转换,变换成数字信号再传送给 STM32 进行处理,STM32 对该数字信号进行中位值平均算法滤波,再送到 TFT_LCD 显示屏进行显示。

经过这些处理,最后显示的数值即表示相应拉力值的大小。根据记录的数据做出拉力值在整个拉脱过程的变化曲线图,能够直观地找出液膜拉断前后的拉力 F_1 和 F_2 的大小,其差值即为所求的液体表面张力^[7-8]。

为防止所测得的拉力超出力敏传感器的量程而使

传感器受损,设计了极限报警模块,一旦蜂鸣器发出警报,立即通过按键控制使系统复位。

2 系统的硬件设计

该系统主要由液体表面张力系数测定装置、主控器 STM32F103、A/D 转换模块 HX711、按键控制模块、LCD 显示模块 12864、极限报警模块组成。系统的总体硬件结构框图如图 1 所示。

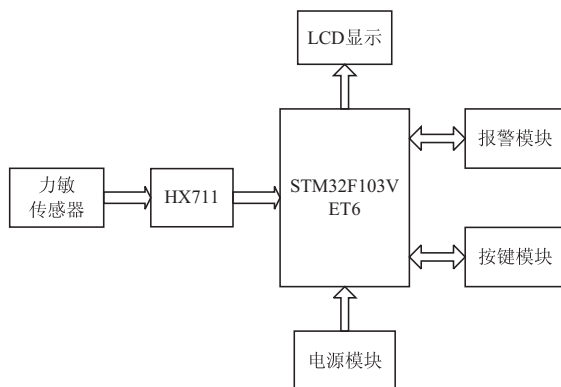


图 1 系统的硬件结构框图

2.1 微处理器 STM32F103

核心处理器采用基于 ARM Cortex-M3 内核的 STM32F103VET6。STM32 系列处理器使用了 ARM v7-M 体系结构,具有可综合、高度可配置的优点^[9]。该处理器的性能高、成本低且功耗低,其时钟频率为 72 MHz,功耗为 36 mA,并能够在待机时达到 2 A。该处理器集成了复位电路、低压检测、调压器和 RC 振荡器等模块,有利于系统的精确稳定运行^[10],并方便后续功能的扩展。

2.2 A/D 转换模块 HX711

HX711 是一款高精度的 24 位 Delta-Sigma 型 A/D 转换器芯片,与同类型芯片相比,该芯片集成了包括稳压电源、片内时钟振荡器等其他同类型芯片所需要的外围电路,具有集成度高、响应速度快、抗干扰性强等优点。该芯片与后端 MCU 芯片的接口和编程非常简单,所有控制信号由管脚驱动,无需对芯片内部的寄存器编程。芯片内提供的稳压电源可以直接向外部传感器和芯片内的 A/D 转换器提供电源,系统板上无需另外的模拟电源。芯片内的时钟振荡器不需要任何外接器件,上电自动复位功能简化了开机的初始化过程。

3 系统的程序设计

该系统的程序设计流程图如图 2 所示。

首先进行 STM32 时钟系统的初始化,然后初始化 GPIO 端口,允许使用 GPIOE 时钟;其次进行时钟同步,将 I/O 端口驱动电路的响应速率设置为 50 MHz,将 STM32 的 GPIO 配置为推挽输出,提高了电路的负

载能力,并具有导通损耗小、效率高、功耗低的优点^[11-12]。主控制器在读取 HX711 的传输数据时,将 GPIO 设置为上拉输入,保证在无信号输入时输入端为高电平。

HX711 串口通讯线由管脚 PD_SCK 和 DOUT 组成,当数据输出管脚 DOUT 为高电平时,表明 A/D 转换器还未准备好输出数据,此时串口时钟输入信号 PD_SCK 应为低电平。当 DOUT 从高电平变低电平后,PD_SCK 应输入 25 ~ 27 个不等的时钟脉冲。其中第一个时钟脉冲的上升沿将输出 24 位数据的最高位(MSB),直至第 24 个时钟脉冲完成,24 位输出数据从最高位至最低位逐位输出完成。

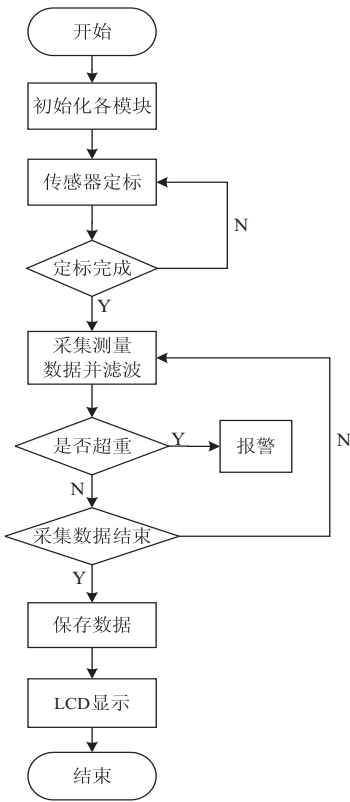


图 2 系统主程序设计流程图

采集测量数据时,采用中位值平均滤波算法对 ADC 输出的数据进行滤波。在该系统中,以连续采样

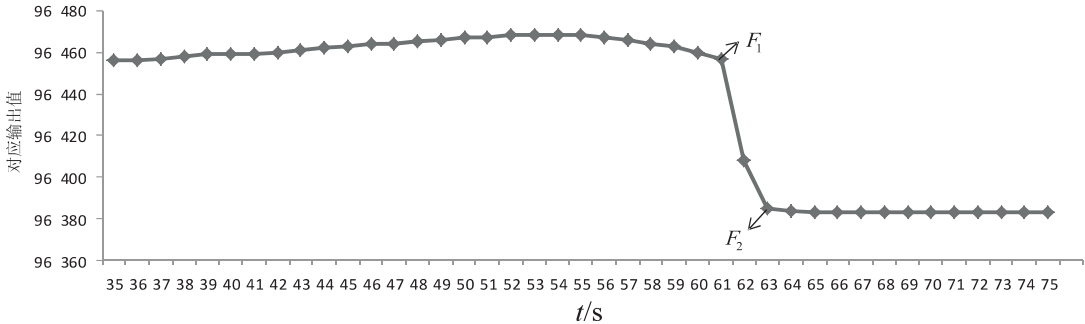


图 4 拉脱过程中吊环的拉力值与时间的关系

从图中可以看出,吊环受到的拉力先是逐渐增大,然后再减小,在数据发生跳变,与预期的结果一致^[13],发

的 10 个数据为一组,去掉最大采样数据和最小采样数据,然后计算余下 8 个数据的算数平均值。通过此滤波算法,可以消除偶然出现的脉冲性干扰带来的采样偏差,对于周期性干扰具有良好的抑制作用。

4 测量结果与分析

4.1 力敏传感器的标定

将砝码盘挂在连接力敏传感器的挂钩上,待系统稳定后,再将 0.5 g 的砝码依次放入砝码盘,此时读取其 A/D 转换数值并做好记录,测量多次取平均值。用同样方法测得多组数据后,利用最小二乘法,选择拟合函数模型 $y = ax + b$ 进行直线拟合。其中, x 为所加载砝码的质量, y 为力敏传感器的输出值, a 和 b 为常数。通过最小二乘法建立线性方程组:

$$\begin{pmatrix} m & \sum_{i=1}^9 x_i \\ \sum_{i=1}^9 x_i & \sum_{i=1}^9 x_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^9 y_i \\ \sum_{i=1}^9 x_i y_i \end{pmatrix} \quad (3)$$

通过方程组求出 a 和 b ,得到标定的表达式,其中 $m = 9$ 。标定结果显示该传感器的线性度非常好,其标定曲线如图 3 所示。

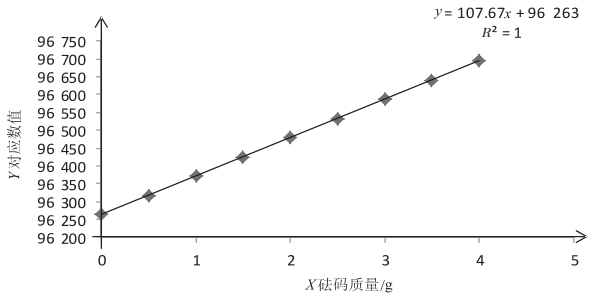


图 3 传感器的标定曲线

4.2 液体表面张力系数的测量

用游标卡尺测量圆环的外径 $D_1 = 34.59$ mm,内径 $D_2 = 33.21$ mm。重力加速度 $g = 9.7915$ m/s²。

图 4 是测量无水酒精在 15° 时的表面张力系数,根据 LCD 显示的数值作出吊环所受拉力的变化曲线。

生跳变前后的数值即表示液膜拉断前后的拉力 F_1 、 F_2 的大小。

利用该系统测量纯水在 15 ℃ 时的表面张力系数的数据见表 1。

表 1 纯水的表面张力系数数据表(水温 15 ℃)

测量次数	F_1	F_2	ΔF	f/mg	$\alpha/(\text{N/m})$
1	96 533	96 364	169	1 564.8	71.92×10^{-3}
2	96 528	96 357	171	1 583.3	72.77×10^{-3}
3	96 542	96 372	170	1 574.1	72.35×10^{-3}
4	96 540	96 368	172	1 592.6	73.20×10^{-3}

由表 1 可知,纯水在 15 ℃ 时的表面张力系数为 $\bar{\alpha}=72.56 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ 。在温度为 15 ℃ 时,纯水的表面张力系数标准值为 $73.48 \times 10^{-3} \text{ N/m}$,平均相对百分误差为 1.3%。

用该系统测量无水酒精在 15 ℃ 时的表面张力系数的数据见表 2。

表 2 无水酒精的表面张力系数数据表(15 ℃)

测量次数	F_1	F_2	ΔF	f/mg	$\alpha/(\text{N/m})$
1	96 443	96 390	53	490.7	22.55×10^{-3}
2	96 451	96 399	52	481.5	22.13×10^{-3}
3	96 434	96 381	53	490.7	22.55×10^{-3}
4	96 448	96 393	55	509.3	23.41×10^{-3}

由表 2 可知,无水酒精在 15 ℃ 时的表面张力系数为 $\bar{\alpha} \times 10^{-3} \text{ N/m}$ 。在温度为 15 ℃ 时,无水酒精的表面张力系数标准值为 $22.8 \times 10^{-3} \text{ N/m}^{[14]}$,平均相对百分误差为 0.61%。

测量纯水时相对误差偏大,可能是因为虹吸管的清洁度不够,里面残留少量清洗时的无水酒精,测量时待清洗过的虹吸管及吊环干燥之后再开始测量可以减少这部分的误差。另外空气的流动也会对测量过程产生影响,如果在测量装置外面加一个防护罩,将会使测量结果更加精确。

5 结束语

文中基于 STM32 和力敏传感器对传统的拉脱法测量液体表面张力系数的实验系统进行改进,实现了拉力值的直接输出。通过对水和无水酒精表面张力系数的实时测量,证明该系统测量精度较高,误差小且重

复性非常好。其相关技术可用于其他实验装置的改进,具有较大的应用价值。

参考文献:

[1] 杨述武. 普通物理实验(力学及热学部分)[M]. 北京:高等教育出版社,2000:209-217.

[2] 焦丽凤,陆申龙. 用力敏传感器测量液体表面张力系数[J]. 物理实验,2002,22(7):40-42.

[3] 周述苍,郭天葵,周莹,等. 基于 LabVIEW 的液体表面张力系数测定[J]. 物理实验,2012,32(12):30-32.

[4] 马国利,冯伟伟. 液体表面张力系数测量装置的改进[J]. 物理实验,2012,32(3):25-28.

[5] 代伟,徐平川,陈太红,等. 液体表面张力系数实验装置的改进[J]. 大学物理,2011,30(9):38-40.

[6] 沈元华,陆申龙. 基础物理实验[M]. 北京:高等教育出版社,2003:116-119.

[7] Wang C H, Augousti A T, Mason J, et al. The capacitive drop tensiometer—a novel multianalysing technique for measuring the properties the properties of liquids[J]. Measurement Science and Technology,1999,10(1):19.

[8] Cheng Wenlong, Chen Zeshao, Atsushi A, et al. Theoretical and experimental study on surface tension and dynamic surface tension of aqueous lithium bromide and water with additive[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2003,46(2):191-203.

[9] 吴家平,沈建华. 基于 STM32 微控制器的过采样技术研究 与实现[J]. 计算机技术与发展,2010,20(2):209-212.

[10] Zhang Haifeng, Zhao Jing. The design of RF data acquisition system based on STM32 and FPGA[C]//International conference on multimedia technology. [s. l.]: IEEE, 2011: 832-834.

[11] 王永虹,徐炜,郝立平. STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.

[12] 喻金钱,喻斌. STM32F 系列 ARM Cortex-M3 核微控制器 开发与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2011.

[13] 杨亮,朱瑜,左安友. 力敏传感器电压测量值最佳读数 时间的探究[J]. 大学物理实验,2012,25(5):4-6.

[14] Birdi K S. Handbook of surface and colloid chemistry[M]. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1997:92.