

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.04.024

鲜茧茧层含水率与干壳量快速测量研究^①

井 伟, 李光林, 宋 杰

西南大学 工程技术学院, 重庆 400716

摘要: 鲜茧茧层含水率和干壳量是蚕茧品质检测中的两个重要指标, 为了快速测量鲜茧的茧层含水率和干壳量, 研究了一种集称质量、水分检测、数据采集存储、实时计算与显示等功能于一体的鲜茧茧层含水率和干壳量快速测量装置. 该装置将水分检测传感器和质量传感器结合, 信号采集处理系统自动采集传感器检测数据, 并实时计算处理数据, 测量得到的茧层含水率和干壳量实时显示. 该装置结构简单, 操作方便, 智能化程度高, 成本低. 经试验表明, 该测量装置能够快速无损检测出鲜茧茧层含水率和干壳量, 准确度高, 水分检测误差小于 0.98%, 干壳量检测误差小于 2.2%. 实际检测过程中不破坏鲜茧, 达到了无损快速检测目的.

关键词: 鲜茧; 水分传感器; 质量传感器; 茧层含水率; 干壳量

中图分类号: S237

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)04-0158-07

桑蚕茧品质的检测关系到蚕业部门和蚕农的切身利益, 对蚕业的稳定和发展起到重要的作用. 茧层的含水率和干壳量是衡量鲜蚕茧品质的两个重要指标, 也是蚕茧站收购蚕茧评级定价的两个重要指标. 我国蚕茧收购评级从初期的手估目测, 到现在采用仪器检测, 处于不断完善中^[1-4]. 目前市场上主要有依据电容法^[5-8]制成快速水分检测仪, 但对于蚕茧这样颗粒大小和形状不一的物质误差较大; 有基于微波法^[9-10]和红外快速加热^[11]方法制成的水分检测仪精度较高, 但加热需要的时间长, 不符合茧站快速检测的要求, 而且干壳量测量需要破坏蚕茧; 甘勇等^[12]采用数字图像处理技术, 通过对鲜茧的图像进行建模, 推算出鲜茧干壳量等指标, 但图像处理容易受图像质量本身影响; 黄凌霞、金航峰等分别利用近红外光谱^[13-15]和高光谱^[16]快速检测蚕茧含水率, 但这两种仪器价格贵, 同时还处于研究阶段; 胡祚忠等^[17-18]研究开发了鲜茧茧层含水率测定仪和评茧仪, 通过万用表测量蚕茧电阻间接得到茧层含水率, 蚕茧的电阻较大, 万用表的测量误差较大, 干壳量通过破坏茧层倒出蚕蛹后称量得到, 不仅测量不方便, 而且对蚕茧造成损失. 因此, 研究一种快速便捷的智能化无损检测装置具有重要的实际应用价值.

1 系统总体结构及工作原理

1.1 系统总体结构

本文研究的鲜茧茧层含水率和干壳量无损快速测量装置由多路输出直流电源模块、水分传感器、质量传感器、A/D 转换器、PIC 单片机、液晶显示器、矩阵键盘等构成. 图 1 为装置总体结构框图.

1.2 工作原理

取一定数量的鲜茧, 均匀放入四电极板组成的水分传感器中, 传感器采集鲜茧在该含水率下的电压信号, 经 A/D 转换器转换成数字

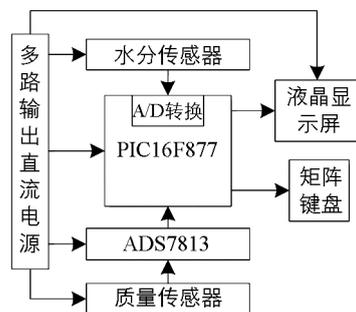


图 1 装置结构框图

① 收稿日期: 2015-06-02

基金项目: 重庆市科委项目(cstc2012ggyyjc80019, cstc2013yykfA80015); 中央高校科研业务费项目(2362014xk13).

作者简介: 井 伟(1988-), 男, 河南邓州人, 硕士研究生, 主要从事智能检测方面的研究.

通信作者: 李光林, 教授, 博士研究生导师.

信号并输入到数字信号处理器中, 经过自动计算处理得到鲜茧层的含水率 ω_1 , 将测得的含水率数据自动存储在存储器中. 再将装有鲜茧的水分传感器装置一起放在质量传感器上称质量, 得鲜茧的质量 M_1 , 并将该数据自动存储. 后又将装有鲜茧的水分传感器装置一起放入 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中定时烘 3 min , 再次对鲜茧质量 M_2 和茧层含水率 ω_2 进行测量, 将得到的数据自动存储在存储器中. 数字信号处理器将存储数据进行运算处理, 就得到鲜茧干壳量. 干壳量和茧层含水率在显示器上自动显示. 计算公式如下.

$$M_1 - M_2 = m_1 - m_2 = \Delta m \quad (1)$$

$$\omega_1 = \frac{m_1}{m_0 + m_1} \times 100\% \quad (2)$$

$$\omega_2 = \frac{m_2}{m_0 + m_2} = \frac{m_1 - \Delta m}{m_0 + m_1 - \Delta m} \times 100\% \quad (3)$$

$$m_0 = \frac{\Delta m}{\omega_1 - \omega_2} \times (1 - \omega_1) \times (1 - \omega_2) \quad (4)$$

式中 M_1 、 M_2 (单位: g) 为前后两次称质量的鲜茧质量, m_1 、 m_2 (单位: g) 为前后两次质量对应的鲜茧水分的质量, ω_1 、 ω_2 为对应的茧层的百分含水率; 试验表明, 1 小时内低于 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 环境下茧层内蚕蛹不失水, 因此 Δm 为茧层水分的变化量, m_0 (单位: g) 为干燥茧层的质量即干壳量^[19].

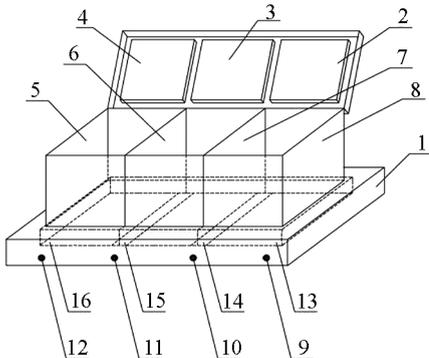
2 系统硬件设计

2.1 水分传感器设计

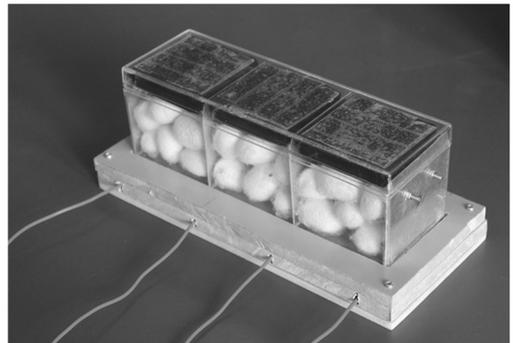
2.1.1 水分传感器

干燥的蚕茧导电能力很弱, 茧层中水分含量增加, 电导增加, 根据这一原理设计水分传感器如图 2(a), 传感器由 4 个平行放置的金属电极板 5、6、7、8 和绝缘材料组成 (电极板 5、8 接直流信号激励端, 电极板 6、7 为信号输出端) 的一个长方体装置, 该长方体的前后板面由绝缘材料构成, 5、8 电极板外面也用绝缘材料包裹, 底面除电极板与底座上的电极片接触处外, 也为绝缘材料. 电极板的长、宽为 $7.5 \times 7.1\text{ cm}$, 厚度为 0.22 cm 、相邻两电极板之间的距离为 7 cm . 电极板与底座上的 4 个电极片充分接触. 装置盖内侧采用绝缘材料构成厚 0.5 cm 的 3 个凸起分别对应 4 个电极板所分成的 3 个空间. 检测时将鲜茧 60 g 左右均匀装入 3 个室内, 3 个室内鲜茧质量偏差为 $\pm 0.1\text{ g}$, 然后在电极板 5、8 上加 30 V 恒定直流电压, 电极板 6、7 间将产生一随茧层含水率变化的直流电压信号 U .

采用该方法设计水分传感器, 可以降低极板与蚕茧之间的接触电阻^[20]; 采用稳恒直流电压供电, 可以消除电源内阻对测量的影响; 水分传感器采用装鲜茧的盒体和底座分离设计, 鲜茧放入后可以将盒体摇动, 使鲜茧分布更加均匀, 便于重复测量; 装置的盖子有一定的质量, 该质量通过盖子内侧的绝缘软垫对鲜茧施加一定的压力, 使得鲜茧之间以及鲜茧与电极板之间的接触更加紧密. 水分传感器实物结构如图 2(b) 所示.



(a) 水分传感器结构示意图



(b) 水分传感器实物图

1. 底座; 2~4. 绝缘软垫; 5~8. 电极板; 9~12. 信号传输线; 13~16. 弹性电极片.

图 2 水分传感器实物与结构

2.1.2 水分传感器标定

取不同含水率的鲜茧 60.0 g, 随机等分为 3 份, 放入水分传感器的 3 个室内, 各室中鲜茧质量偏差在 ± 0.1 g, 盖上盖后, 加 30 V 恒定直流电压, 测量电极板 6、7 板间电压信号. 鲜茧去蛹后放在 50 °C 烘箱烘到恒质量即为干壳量, 并计算对应茧层含水率. 茧层含水率与电极板 6、7 板间电压信号如表 1 所示.

表 1 水分传感器标定结果

茧层含水率/%	传感器输出电压/v	茧层含水率/%	传感器输出电压/v
10.77	0.01	20.52	1.27
11.95	0.02	21.86	2.41
13.72	0.16	23.61	5.86
15.47	0.78	25.07	8.08
17.98	1.02	25.99	8.74

对表 1 中的茧层含水率和传感器输出电压利用 matlab 对数据进行曲线拟合, 得到茧层含水率 w 与传感器输出电压 v 的关系式如式(5)所示, 其相关系数为 0.989. 单片机内部的 A/D 转换器将传感器检测到的电压模拟信号转化为数字量, 并利用 C 语言编程写入单片机内的公式(5)计算得到茧层的含水率值.

$$w = 0.00186v^5 - 0.0542v^4 + 0.6353v^3 - 3.665v^2 + 10.59v + 10.61 \quad (5)$$

2.2 质量传感器模块

质量传感器采用 XJC-D02 单点式质量传感器设计^[21], 供电电压为 5~15 V, 称量范围为 0~300 g, 采用 16 位模数转换器 ADS7813, 测量精度可达 0.005 g. 通过标定得质量传感器的输出电压与物体质量之间的线性关系如式(6), 其相关系数为 0.999 9. 利用 AD7813 将质量传感器检测到的模拟信号转化为数字信号, 并利用 C 语言编程写入单片机内, 用公式(6)计算其质量.

$$m = 248.2v - 46.4 \quad (6)$$

2.3 电源模块设计

多路输出电源模块由交流 220 V 供电, 经整流、滤波转化为 36 V 和 15 V 直流电压. 36 V 经芯片 LM317 稳压, 转化为 30 V 的稳定直流电压, 为水分传感器供电; 15 V 电压分别经芯片 LM7812 和 LM7805 稳压, 转化为 12 V 和 5 V 的稳定直流电压. 为质量传感器和各芯片供电. 电源模块电路如图 3 所示.

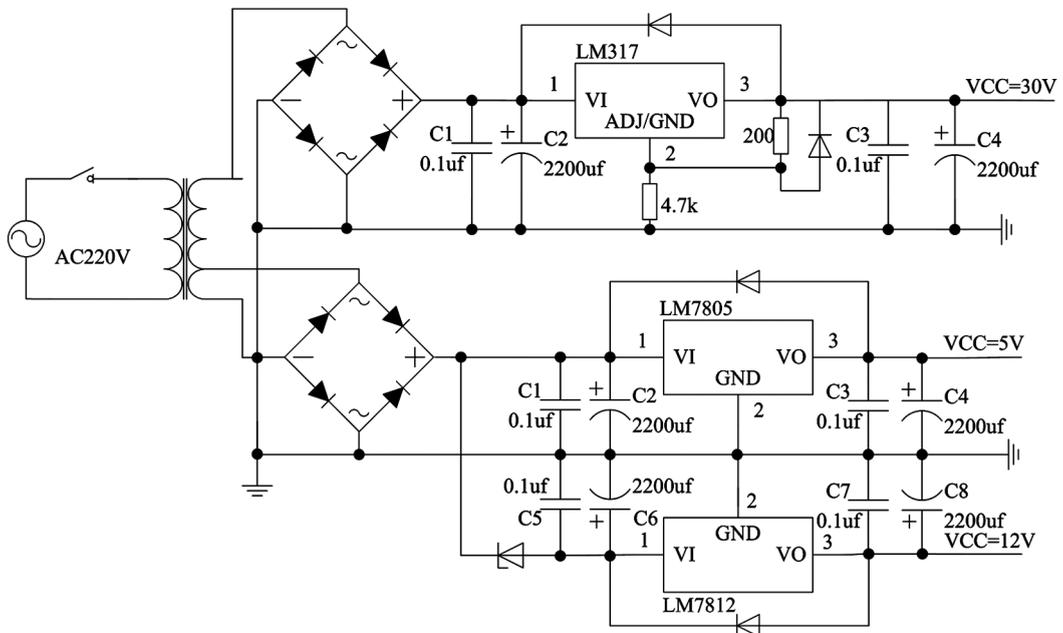


图 3 电源模块电路

ADS7813 模数转换程序流程如图 5 所示, 主程序流程如图 6 所示。

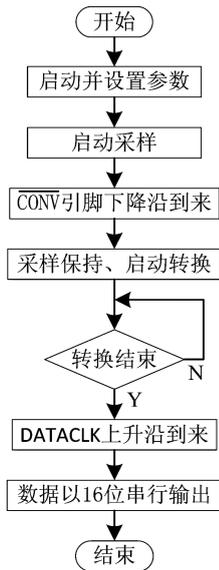


图 5 ADS7813 转换程序框图

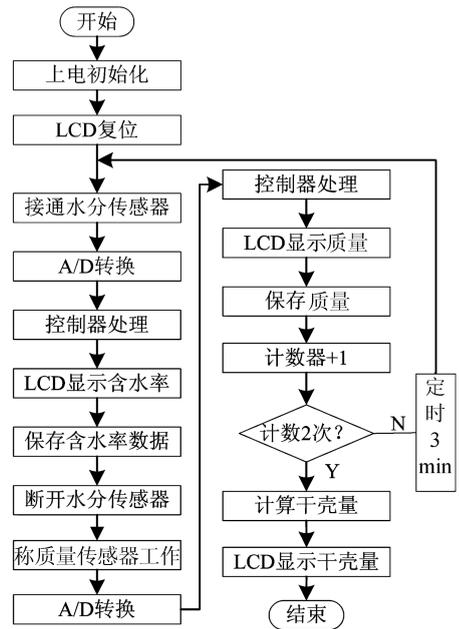


图 6 主程序框图

4 系统测试试验

4.1 质量传感器试验

将设计的电子质量秤与实验室精度为 0.000 1 g 的 FA1004A 型电子质量秤进行精度实验对比, 设计的电子秤称量的结果为测量值, FA1004A 型电子秤测量结果作为标准进行比较. 试验结果如表 2 所示.

表 2 电子秤精度对比

标称值/g	测量值/g	绝对误差/g	相对误差/%
10.006 3	10.000	0.006 3	0.063
30.002 1	29.985	0.017 1	0.057
50.002 8	49.990	0.004 8	0.026
80.001 5	79.995	0.006 5	0.008
95.006 2	94.990	0.008 2	0.012

从表 2 看出, 设计的质量传感器最大相对误差不超过 0.063%, 精度高, 符合使用要求.

4.2 水分传感器试验

取不同含水率的鲜茧 60.00 g, 用水分传感器测量茧层的含水率, 重复 3 次求平均并记为 w_1 ; 将蚕蛹取出, 在 50 °C 的恒温箱中烘到恒质量, 差值即为含水量, 计算得含水率并计算测量误差. 结果如表 3 所示.

表 3 茧层含水率测量结果对比

烘箱烘干法/%	传感器测量/%	绝对误差/%	相对误差/%
13.19	13.06	0.13	0.98
15.94	16.02	0.08	0.50
18.01	18.13	0.12	0.67
20.02	19.83	0.19	0.95
23.61	23.39	0.22	0.93
25.86	25.63	0.22	0.89

传感器测得的茧层含水率与传统烘干法测得的茧层含水率最大相对误差不超过 0.98%, 比智能评茧仪^{[18]238}的含水率测量最大误差 1% 略小, 比微波加热水分测量仪^{[9]83}和市场上的卤素灯加热法测得的水分误差稍大, 但采用加热烘干方法测量水分耗时较长, 一般都大于 10 min.

4.3 干壳量测量试验

取不同含水率鲜茧 60.000 g, 用质量传感器测量鲜茧的质量 M_1 , 水分传感器测量茧层含水率 w_1 ; 加热 3 min 后再次测量鲜茧的质量 M_2 和茧层的含水率 w_2 , 通过装置中的微处理器的处理自动计算干壳量 m_0 . 然后将鲜茧去蛹, 并将茧壳放进恒温 50 °C 烘箱中烘烤至恒质量, 用 FA1004A 天平称质量, 此质量即为鲜茧的干壳量的标定值. 实验结果如表 4 所示.

表 4 干壳量实验结果对比

削茧烘干法/g	装置测量/g	绝对误差/g	相对误差/%
11.424	11.175	0.249	2.2
10.960	11.730	0.230	2.1
11.572	11.360	0.212	1.8
11.847	11.620	0.227	1.9

从表 4 可看出, 用传感器测量干壳量值的误差不超过 0.249 g, 比智能型评茧仪^{[18]238}报道的测量误差 0.2 g 略大, 但我们方法不破坏茧层, 但比基于图像处理技术^{[12]41}和近红外光谱^[13-15]等无损检测方法的测量误差要小得多.

5 结 论

本文研制的茧层含水率和干壳量快速无损测量装置, 以 PIC16F877A 单片机为控制核心, 将水分传感器和质量传感器有效结合, 实现了鲜茧茧层含水率和干壳量的快速无损测量. 主要研究结论如下:

1) 建立了传感器输出电压与茧层含水率之间数学模型, 其相关系数为 0.989, 茧层含水率的测量误差不超过 0.98%.

2) 将水分检测传感器与质量传感器有机结合, 在不超过 5 min 时间内采用两次测量茧层含水率和鲜茧的重量并自动计算得到干壳量, 避免了切割蚕茧造成的经济损失. 干壳量的测量误差不超过 2.2%, 满足实际测量的要求.

3) 整个装置将稳压电源、水分检测、称质量、数据采集、数据存储、数据计算集成一体. 实现了数据采集、存储、计算自动化和智能化, 测量快速方便, 装置成本低, 操作方便, 实现了无损快速检测的目的.

参考文献:

- [1] 唐科梦, 谢启凡, 杨明英, 等. 蚕茧质量检验方法及检测新技术概述 [J]. 蚕业科学, 2014, 40(5): 924-927.
- [2] 吴 恢, 孙 波, 叶楚华. 桑蚕茧质量检测研究进展 [J]. 中国蚕业, 2009, 30(1): 91-93.
- [3] 叶澄宇, 徐红梅. 桑蚕鲜茧收购实施仪评计价难点与出路的调研 [J]. 中国纤检, 2004(6): 36-38.
- [4] 胡祚忠. 蚕茧质量测试技术与设备 [J]. 丝绸, 2005(7): 28-31.
- [5] 胡建东, 赵向阳, 李振峰. 参数调制探针式电容土壤水分传感技术研究 [J]. 传感技术学报, 2007, 20(5): 1057-1060.
- [6] 邱 禹, 李长友, 徐凤英. 基于平板结构的电容式粮食水分检测仪的设计 [J]. 农机化研究, 2013(1): 78-82.
- [7] KANDALA C V, PUPPALA N. Parallel-Plate Capacitance Sensor for Nondestructive Measurement of Moisture Content of Different Types of Wheat [C]. //Sensors Applications Symposium (SAS), 2012 IEEE. IEEE, 2012: 1-5.
- [8] KANDALA C V, RACHAPUTI R C N, O'CONNOR D. Capacitance Sensor for Nondestructive Determination of Total Oil Content in Peanut Kernels [J]. Journal of Sensor Technology, 2013, 3(3): 42.
- [9] 黎泽伦, 黄志诚, 黄友均, 等. 微波水分测量仪的设计 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 81-83.
- [10] LEWIS M A, TRABELSI S. Integrating an Embedded System in a Microwave Moisture Meter [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2012, 28(6): 923-931.
- [11] 潘忠礼, ATUNGULU G G, 马海乐. 食品和农产品干燥的一种有效方法—红外加热法 [J]. 干燥技术与设备, 2013, 11(1): 61-66.
- [12] 甘 勇, 孔庆华, 韦荔甫. 基于图像处理技术的蚕茧干壳量无损检测方法及其影响因素分析 [J]. 丝绸, 2008(12): 39-41.
- [13] 黄凌霞, 吴 迪, 金航峰, 等. 基于变量选择的蚕茧茧层量可见—近红外光谱无损检测 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 231-236.

- [14] 金航峰,黄凌霞,谢琳,等. 桑蚕鲜茧干壳量的可见/近红外光谱无损检测 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 147-151.
- [15] 黄凌霞,金航峰,金佩华. 基于可见-近红外光谱的蚕茧含水率无损检测研究 [J]. 蚕桑通报, 2013, 44(4): 31-34.
- [16] 黄凌霞,金航峰,何勇. 基于高光谱的蚕茧茧层含水率无损检测 [EB/OL]. [2013-12-26]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201312-895>.
- [17] 何勇政,胡祚忠,毕海忠,等. 智能型评茧仪: 中国, 03233259. 9 [P]. 2004-01-14.
- [18] 胡祚忠,刘俊凤,沈则宏. 智能评茧仪研制报告 [J]. 蚕业科学, 2005, 31(2): 235-238.
- [19] 中国国家标准化管理委员会著. 桑蚕鲜茧分级(干壳量法)非书资料: GB/T 19113-2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 1.
- [20] MIRONOV V S, KIM J K, PARK M, et al. Comparison of Electrical Conductivity Data Obtained by Four-Electrode and Four-Point Probe Methods for Graphite-Based Polymer Composites [J]. Polymer testing, 2007, 26(4): 547-555.
- [21] 彭炜峰,李光林. 便携式智能电子质量测定和数据处理系统的研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(4): 192-197.

Research of Quick Measurement of the Water Content of Fresh Silkworm Cocoon Shells and Dried Shell Quantity

JING Wei, LI Guang-lin, SONG Jie

School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Dried shell quantity and water content of fresh silkworm cocoon shells are important indexes in the quality detection of fresh cocoon. In order to achieve rapid measurement of the two indexes, this paper designs a rapid measurement device, which integrates weighing, moisture detection, data acquisition and storage, real-time calculation, display and other functions. The device combines the moisture detection sensor with the weighing sensor, a signal collecting and processing system automatically gathers the data of the sensors, performs real-time data processing, and real-time displays the measured moisture content of cocoon shells and dried shell quantity. The device is simple in structure, convenient for operation, highly intelligent and cost-efficient. A test has shown that this device can quickly and non-destructively measure the dried shell quantity and the water content of fresh silkworm cocoon shells. The water content measurement error is less than 0.98%, and the dried shell quantity measurement error is less than 2.2%. The whole detection process does no damage to the fresh cocoon and thus realizes nondestructive testing.

Key words: fresh cocoon; moisture sensor; weighing sensor; water content of the cocoon shell; dried shell quantity

责任编辑 汤振金

