

# 粮食水分检测装置设计

## Design of grain moisture detection device

胥保文<sup>1</sup> 蔡健荣<sup>1,2</sup> 孙力<sup>1</sup> 张文松<sup>2</sup> 安玉亭<sup>2</sup> 何振鲁<sup>2</sup>  
XU Bao-wen<sup>1</sup> CAI Jian-rong<sup>1,2</sup> SUN Li<sup>1</sup> ZHANG Wen-song<sup>2</sup> AN Yu-ting<sup>2</sup> HE Zhen-lu<sup>2</sup>

(1. 江苏大学, 江苏 镇江 212013; 2. 山东同泰集团股份有限公司, 山东 日照 276801)

(1. Jiang Su University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China;

2. Shandong Tongtai Group Corporation, Rizhao, Shandong 276801, China)

**摘要:**开发了一套对射式微波水分检测装置。以 STC89C52 芯片为主处理器, 控制各部件执行顺序。为保证物料装载的一致性, 采用光电开关控制装载量; 为消除温度影响, 实时采集样本料温, 建立温度补偿模型; 为避免微波产生热效应, 采用时序控制采集温度及微波信号, 以实现粮食水分的准确测量。经实验验证, 物料实际水分与微波检测水分之间的相关系数  $>0.96$ , 满足实际检测要求。

**关键词:**粮食水分; 微波; 检测装置

**Abstract:** A set of grain moisture detection device based on incident microwave was designed, and the STC89C52 chip was used as the main processor to control the execution order of each component. Moreover, the photoelectric switch was used to keep the amount of the loading material in line. In order to eliminate the influence of temperature, it was detected in real time, and the temperature compensation model is established. To avoid the thermal effect of microwave, the sequential control system was applied to collect temperature and microwave signals, ensuring the accurate measurement of grain moisture. The results showed that the correlation coefficient between actual moisture content and microwave moisture content was greater than 0.96, and it could meet the requirements of actual test.

**Keywords:** grain moisture; microwave; detection device

粮食在储藏过程中应及时掌握水分变化情况, 水分过高易引起霉变、生虫等, 造成粮食变质; 水分过低会破坏其有机物质<sup>[1]</sup>。因此, 粮食储藏过程中水分测量是一项持续不断的工作。近年来, 关于粮食水分快速检测的方法日趋增多, 主

要有电阻/电容法<sup>[2-3]</sup>、微波法<sup>[4-5]</sup>、近红外光谱法、中子法和高频电磁波法<sup>[1,6]</sup>等, 目前用于现场或在线检测主要有电阻/电容法、微波法。电阻/电容法产品较多, 优势是成本低, 但精度差, 只能作为检测参考; 微波法的优点是检测速度快, 灵敏度高, 但成本高、有热效应<sup>[7-8]</sup>。本研究根据前期微波水分检测研究所得优化参数<sup>[9]</sup>, 自主设计了一套粮食水分检测装置, 通过控制数据采集时序, 消除微波热效应, 以实现粮食水分的现场检测。

### 1 检测系统硬件构成

粮食水分检测装置由控制模块、传感器模块、上料模块、下料模块、显示模块、延时模块、电源模块等组成, 其结构见图 1。

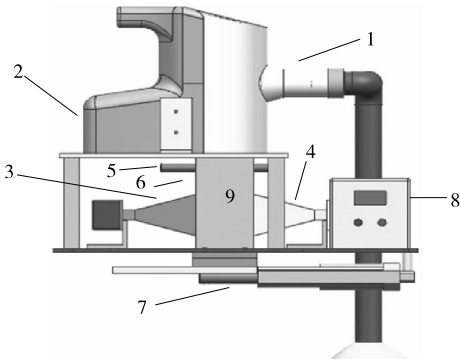


图 1 粮食水分检测装置示意图

Figure 1 Schematic of system for grain moisture detection

控制模块选用 STC89C52 为主处理器, 采用 5 个 SRD-05VDC-SL-C 型继电器 (宁波松乐继电器有限公司) 控制各执行部件的启停, 见图 2。其中 P1.0 与 P1.1 控制下料电机, P1.2 控制微波传感器供电电路, P1.3 控制上料电机, P1.4 控制温度传感器供电电路。上料模块包括上料电机、进料管、检测仓、温度传感器及光电开关。光电开关选用红外对射式

**基金项目:** 山东泰山产业领军人才 (传统产业创新类) 项目 (编号: tscy20160223); 江苏省高校自然科学研究重大项目 (编号: 15KJA550001)

**作者简介:** 胥保文, 男, 江苏大学实验师, 硕士。

**通信作者:** 蔡健荣 (1966—), 男, 江苏大学教授, 博士生导师, 博士。  
E-mail: jrcai@ujs.edu.cn

**收稿日期:** 2017-04-28

OA-D3205NB 常闭型(德国巨龙集团〔上海〕分公司),与主处理器 P3.4 口相连。传感器模块由 AD 转换、温度传感器及微波水分传感器组成,其中 AD 转换选用 ADS1115 型芯片(TI 公司),具备 16 位模数转换精度;为抑制地势不稳产生的电压波动,软件设置差分模式接收温度及微波电压值,见图 3。其中 AIN0 及 AIN1 接受温度电压值,AIN2 及 AIN3 接收微波电压值,SCL 及 SDA 分别与主处理器 P0.0 及 P0.1 端口相连;温度传感器为 PT100 型,变送器选用 SBWZ 型(上海自动化仪表厂);微波水分传感器为自制 X 波段传感器。下料模块由推杆电机、阀门组成,通过继电器改变电机正负极控制推杆伸缩,带动阀门开启或关闭。显示模块选用 LCD12864 型,显示当前温度及检测的物料水分含量。延时模块采用 H3Y-2-C 型(欧姆龙〔中国〕有限公司)延时继电器,以避免通电瞬间的相互干扰。电源模块选用 D-60C 型(苏州明伟科技有限公司)双组输出电源(输出+24 V,+12 V),另外采用 20015 型(深圳市德厚信电子有限公司)降压模块将+12 V 转+5 V,为信号采集模块等供电。

## 2 检测系统软件设计

### 2.1 系统软件工作流程

检测装置的工作流程见图 4,其中上料模块采用真空吸取方式,将受检物料从粮仓中吸入检测仓;当上料量达到满

载时,触发光电开关,上料电机停止工作;此时传感器模块开始工作,先后采集温度传感器、微波传感器信号;将得到的温度、微波电压信号传送到 A/D 转换芯片;A/D 转换芯片将模拟信号转换为数字信号并发送至主处理器;主处理器对信号进行分析及处理,结果发送至 LCD 显示模块及 USB 通讯端口,同时控制下料模块的推杆电机打开阀门,受检物料返回粮仓,关闭阀门等待下一轮检测指令。

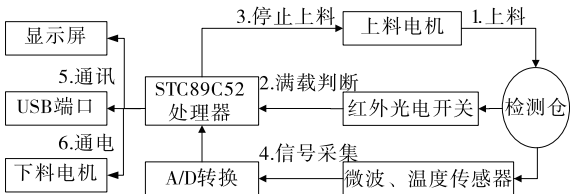


图 4 粮食水分检测流程图

Figure 4 The block diagram of system for grain moisture detection

### 2.2 信号采集时序控制及去噪

为避免传感器之间的相互干扰和电源通断对检测信号的影响,对测温信号、微波水分信号进行分时采集、中值滤波处理,具体流程见图 5。由于微波水分检测时,微波发生器产生的微波信号对测温信号造成干扰,因此先采集温度信号,后采集微波信号。PT100 型温度传感器的保护套管直径为 3 mm,其热响应时间<3 s,微波传感器采用对射式信号采集,因此无响应延时。软件设计时设定测温延时为 5 s,微波水分检测延时为 3 s。对同一样本连续采集 21 次信号,经 A/D 转换后的统计数据表明,得到信号的极差为 0.002 V,误差大多集中在信号采集的开始阶段和结束阶段。因此,将每个样本连续采集的 21 次信号进行大小排序,取第 11 号检测值(中值)作为样本的信号值,以消除外界干扰及电源通断引起的信号波动。

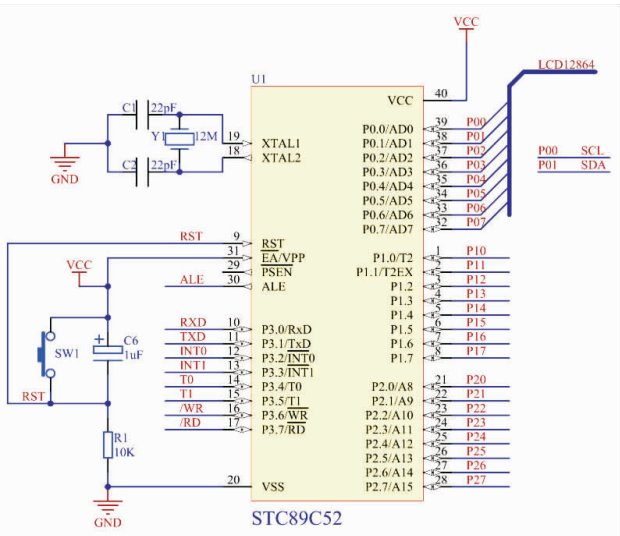


图 2 STC89C52 引脚连接定义

Figure 2 Pin Definitions of STC89C52

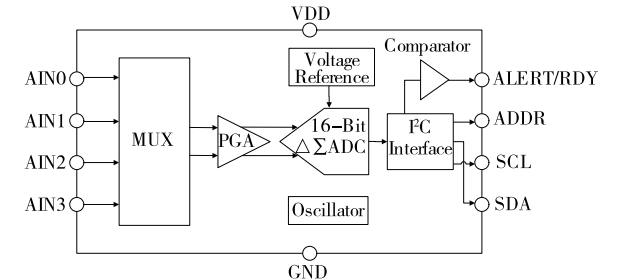


图 3 ADS1115 功能图

Figure 3 Function diagram of ADS1115

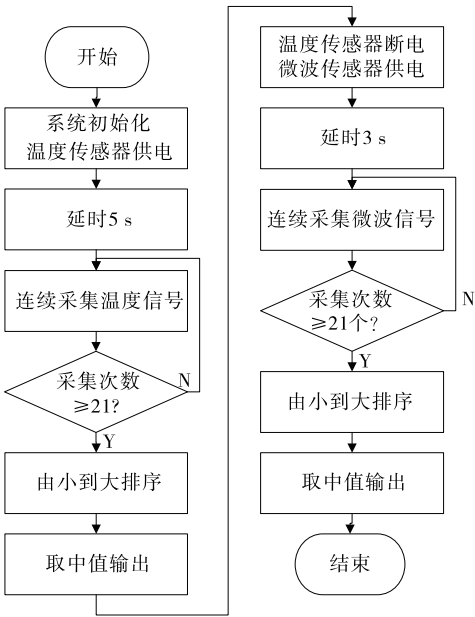


图 5 信号采集流程图

Figure 5 Flow chart of signal acquisition

### 3 试验结果与分析

基于微波的水分检测方法,其检测精度主要受粮食品种、密度、装载高度、测量厚度和物料温度的影响。根据前期研究结果,装置设计时按照优化后的参数布置,由红外光电开关控制物料的加载量;由于物料厚度为 50 mm 时水分检测精度最高,因此探测器之间距离以该值为设计依据;同一品种的粮食可假设其密度、容重基本一致,通过建立该粮食的模型数据库消除系统误差;物料温度因受存储环境的影响而无法控制,需做温度补偿处理。

试验以市售杰翠康大米为原料,通过恒温培养箱模拟环境温度的变化,将大米塑封放置在相应的温度下 24 h,以保证米温与环境温度一致;通过加湿和干燥处理将大米含水率形成梯度分布放置 48 h,保证水分能渗入大米内部,共制备试验样本 40 份,并用 HB43-S 型水分检测仪(梅特勒-托利多国际有限公司)测量样本实际水分。图 6 为不同大米温度下测得相同含水率大米的微波电压信号的变化,可见电压值随温度的升高而降低,即微波的透过率随温度增加而降低。

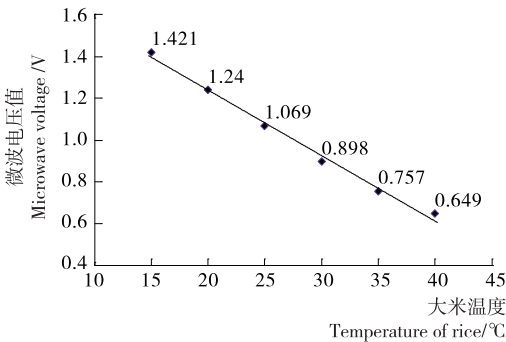


图 6 大米温度与微波电压值关系

Figure 6 The relationship between temperature of rice and microwave voltage signal

结合温度变化和物料含水率的变化,建立大米检测校正模型,其方程见式(1)。

$$y = -0.025\ 5x_1^2 - 0.000\ 3x_2^2 - 0.054\ 4x_1x_2 - 0.565\ 1x_1 - 0.034\ 2x_2 + 21.648\ 7, \tag{1}$$

式中:

- y——含水率, %;
- $x_1$ ——微波电压值, V;
- $x_2$ ——大米温度, °C。

将建立的校正模型进行回判,相关系数为 0.967,均方根误差为 0.297,对未建模样本进行预测,相关系数为 0.982,均方根误差为 0.194,表明所建模型具有较好的代表性。对原始数据进行分析发现,大米温度为 5 °C 时微波水分检测值与实际值最接近,随着大米储存温度的升高,检测值与实际值离散度增大;同一批样本重复装载后的微波测量值也存在误差,说明每次装载时其密度也会有所变化,需通过重复试验消除误差。

### 4 结论

自主研发一套粮食水分自动检测系统。以 STC89C52 单片机为核心,控制各执行部件;采用光电开关控制装载量,实时采集测试样本温度建立温度补偿模型,采用时序控制采集温度及微波信号避免微波产生的热效应。检测试验表明,物料实际水分与微波检测水分之间的相关系数>0.96,满足实际检测要求,为粮食水分的快速无损测量提供了一个可行性方案。

#### 参考文献

[1] 周显青, 赵希雷, 张玉荣, 等. 谷物水分检测技术现状与展望[J]. 粮食加工, 2015, 40(4): 29-34.

[2] 汪安, 吴扬, 刘权. 针刺式谷物含水率检测仪设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 67-70.

[3] 臧俊, 董玉德, 万志强, 等. 一种快速检测粮食水分的数据处理方法研究[J]. 装备制造技术, 2012(9): 23-25.

[4] 刘培, 林建华, 王宏伟. 基于微波的粮食水分检测密度无关算法[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(6): 113-116.

[5] 伟利国, 张小超, 李福超, 等. 基于微波的粮食水分检测系统设计[J]. 电子设计工程, 2010, 18(4): 1-3.

[6] 李博识, 赵晨, 赵晶. 粮食水分检测技术的研究[J]. 农业科技与信息, 2017(2): 27-28.

[7] AICHHOLZER A, ARTHABER H, SCHUBERTH C, et al. Non-destructive evaluation of grain angle, moisture content and density of spruce with microwaves[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2013, 71(6): 779-786.

[8] WANG Hong-wei, LI Qi-jun, WANG Zhan-hou. Study on the frequency bands applied in grains' moisture measurement[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 421: 438-443.

[9] 顾颖, 张世庆, 蔡健荣, 等. 基于微波的大米水分快速检测研究[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 318-321.