

# 粮情微波水分传感器研制及应用

管超<sup>1</sup>,商晓东<sup>1</sup>,马宝临<sup>1</sup>,张帆<sup>2</sup>,李兴军<sup>3</sup>,陈红娟<sup>3</sup>

(1. 国贸工程设计院,北京 100037; 2. 北京通州大杜社粮食收储库,北京 101103;

3. 国家粮食局科学研究院,北京 100037)

**摘要:**介绍了粮情微波谐振腔水分传感器工作原理和粮堆水分在线监测系统的组成,及其在粮食仓储作业中的相关应用情况。系统的研制,为粮食行业粮堆水分在线监测提供了新的技术手段,对行业粮情测控技术进步起到积极意义。

**关键词:**粮食水分;微波谐振腔水分传感器;粮堆水分在线监测

**中图分类号:**S 379.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7561(2017)01-0092-03

粮食水分是储粮过程的重点检测指标之一,粮库目前主要采用人工抽样方法进行检测。在粮食储藏和通风、干燥水分迁移的变化趋势研究中,快速和连续的粮堆水分监测方式需求强烈。

微波水分检测技术中的谐振腔式水分传感器产品性能优良,检测范围宽(0~60%),精度高(优于0.5%),重复性和长期稳定性好,具有非接触测量特点,可以满足粮情水分在线检测的要求。国内基于微波原理的研究报告多年前已出现,但至今没有量产产品推出,市场上目前主要为价格很高的国外产品。

针对上述状况,结合储粮作业特点,对微波谐振腔水分传感器进行了开发和应用。

## 1 微波水分传感器研制

### 1.1 微波水分检测机理

微波水分检测机理,是基于测量被测材料(介质)的相对介电常数 $\epsilon_r = \epsilon' (1 - jtg\delta)$ 。在微波频率范围内,水的介电常数为60~80左右,损耗角正切 $tg\delta = 0.3 \sim 1.1$ ;而其他大多数材料的介电常数为2~5, $tg\delta = 1 \times 10^{-4} \sim 10^{-2}$ ,其介电常数和损耗角正切主要由其水分含量决定。<sup>[1]</sup>

微波谐振腔微扰水分检测是微波水分测量技术中的一种,其传感器的具体实现是,设计一个开口的谐振腔体(本传感器空载谐振点在2GHz左右),置于腔体窗口外的被测物料将对腔内电磁场产生微扰而使谐振点发生频率偏移,其相对空载谐振点的频差主要随腔外材料的含水量(介电常数)大小而变

化,分别测量腔体空载(无外接微扰时 $f_0$ )、以及放置不同含水量材料时的各谐振频率( $f_1 \dots f_n$ ),计算其相对空载时的差值,即可得到被测材料含水量变化的大小,将测试材料的实际含水量(水分)与对应频偏值进行拟合,可得到谐振点频率偏差与被测材料所含水分的计算方程,将方程直入测量系统,根据测得的谐振频率可计算得到对应的物料水分值。<sup>[2]</sup>

基于测量原理,设计的传感器相关检测电路框图如图1:

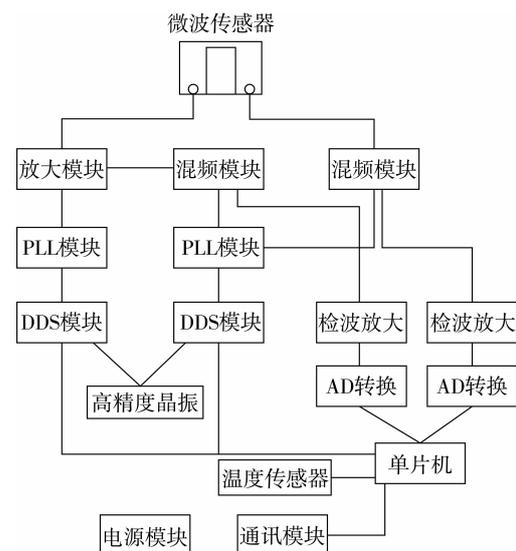


图1 微波水分传感器电路原理图

图1中单片机控制系统各功能模块进行大步幅的扫频工作,确定谐振点大概位置后,转向围绕谐振点附近的小步幅扫频工作,记录下若干个频率—功率数据,处理后找到谐振点,与温度数据(用于补偿温度偏移产生的测量偏差)一起发送给上位计算装置。上述检测过程循环往复,实现了微波谐振腔式粮情水分的连续快速检测。<sup>[3]</sup>

收稿日期:2016-08-29

基金项目:2013年粮食公益性行业科研专项(201313008-3)

作者简介:管超,1962年出生,男,教授级高级工程师。

### 1.2 测量方程拟合

试验结果表明,在0~40%测量范围内,计算模型可拟合为一阶线性方程:  $M\% = a \times (X_o - X_n + (T_o - T_n)K_t) + b$ 。其中  $M\%$  为水分值,  $X_o, T_o$  为空载时的谐振频率值和内部温度,  $X_n, T_n$  为不同水分各点相应的谐振值和温度,  $K_t$  为温度补偿系数,  $a$  和  $b$  为方程系数。

实际使用中,检测系统将  $K_t$  和方程系数  $a, b$  设计为可现场设置的参数,结合对应物料实际检测水分值,可方便对传感器计算方程进行现场校准操作。参数设置界面如图2:

系统将各传感器空载谐振频率值保存为初值,根据拟合方程设置相应温度补偿系数、系数  $a$  (斜

率)和  $b$  (截距),通过传感器检测到的不同谐振频率值,即可计算得到对应水分值。



图2 水分计算方程参数设置界面

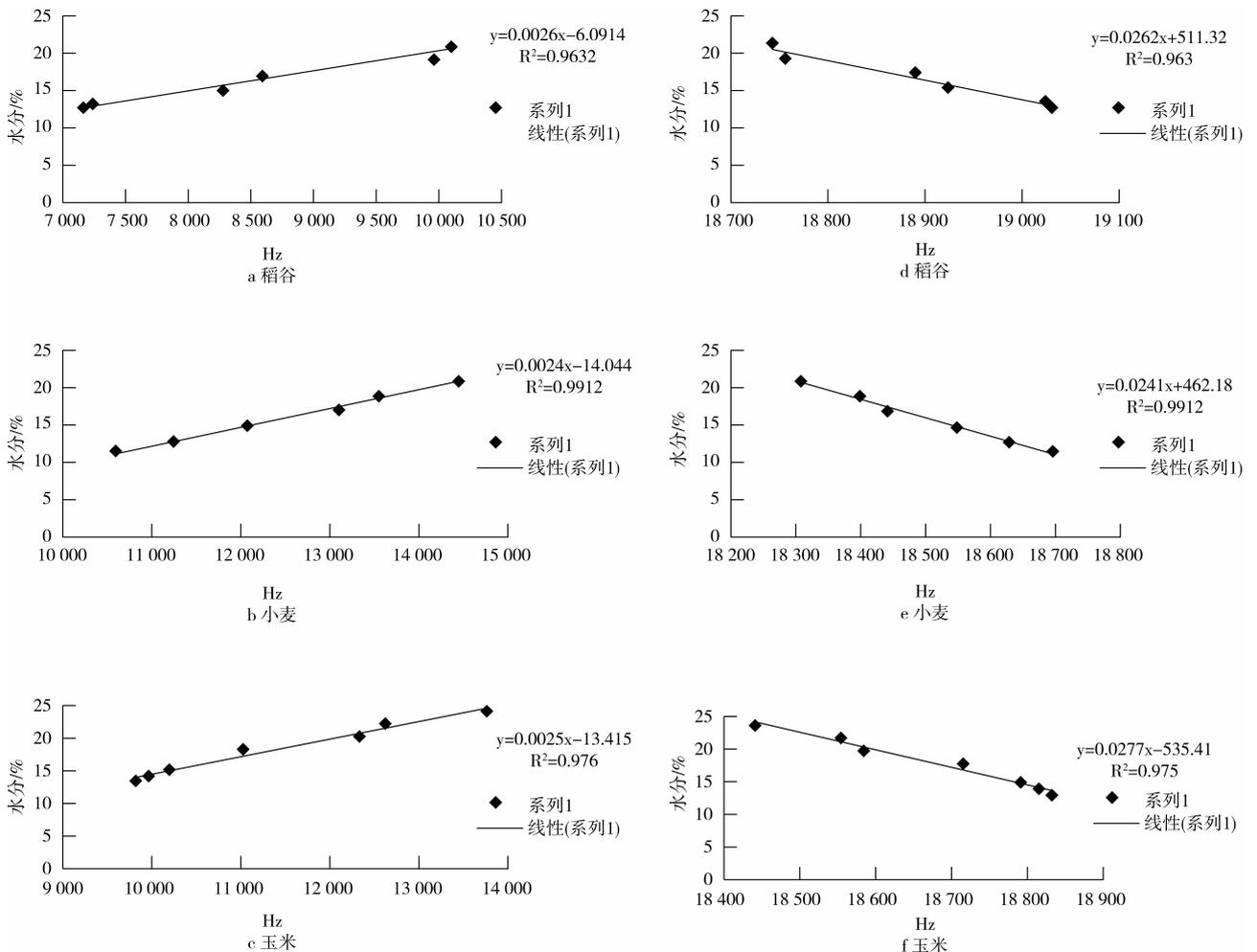


图3 稻谷、小麦和玉米部分实验结果及相应拟合方程

图3a、3b、3c为以空载值与测量值差值为变量的曲线方程,图3d、3e、3f为以测量值为变量的曲线方程。

### 1.3 配套接口装置

粮情微波水分传感器数据输出接口设计为

RS232,其特点是完成了信息采集数字化,使用方便,其对外为一对一形式,因此需要研制配套通讯转换装置,以RS485串口形式传输,实现网络化采集应用。

具体使用中设计了带有地址编码的专用模块,

其功能为自动采集传感器发送的测量数据,接收上位系统指定地址的数据上传指令,匹配完成后,转发所采集的粮情水分数据和温度信息。

目前模块设计有8位地址编码,可实现子系统内64点粮情水分联网监测功能,如需扩容,可通过多子系统设计,实现 $m \times 64$ 点水分网络化监测。系统组成示意图如图4。

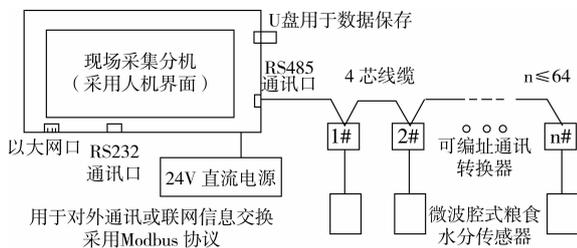


图4 粮情微波水分在线监测系统组成

#### 1.4 对外接口及协议

系统设计了采集分机+通讯转换模块+粮情微波水分传感器部署形式,传感器负责原始数据采集和输出,通讯转换模块负责原始数据采集和联网转发,水分数据计算、校准和对外数据互联在采集分机侧完成。为方便微波水分传感采集系统今后更广泛领域的应用,系统对外数据接口设计为标准串口通讯或以太网口,数据传输协议采用了广泛应用的MODBUS标准数据通讯协议。

这种设计的优势在于,系统可作为标准仪表,方便地集成于各类通用的工业控制监控系统中,当然也包含行业广泛推广的储备粮信息管理系统。

## 2 粮食水分在线监测系统应用

水分传感器尺寸直径49(mm)×高62(mm),防护等级IP55。粮食水分检测范围0~40%,检测周期小于1s,检测分辨率0.1%,校准后测量精度优于±0.6%,长期测量稳定性优良,可满足静态和低速流动储粮水分在线检测使用要求。目前实现了产品小批量试制,成本较国外同类产品也实现大幅下降,系统在多个粮库使用一年多,稳定性优良。

考虑到应用成本,目前示范应用中每个廋间配置3~6只传感器,采用传感器组粮堆直埋方式;将来考虑再提供一种便携移动传感器插杆应用形式,可以根据需要部署观测点,进行临时或定

期粮堆水分监测。

采集分机为彩色人机界面,可实时显示和定时记录物料水分检测数据,并以曲线和记录表形式展现。检测数据可保存于外置U盘,或以通讯形式对外传输。

系统已成功应用于粮库上层信息系统对接和通风作业控制,实现了粮情水分实时在线监测及粮堆水分变化趋势记录和展示。

本系统在某粮库对仓储玉米通风过程粮堆上层水分的变化进行了监测,由于通风采用了精准的大气窗口边界条件自动控制技术,风机使用安装在仓房两侧的轴流风机,使通风过程中粮堆水分下降减缓,达到了降温保水通风的良好效果。在未来的粮食通风作业中,通过监测大气温湿度,结合粮堆水分解析吸附方程研究成果和本系统的使用,可根据相应通风策略(降温保水、降温降水、降温增湿)实时计算粮堆通风窗口边界条件,实现真正意义上的储粮智能精准通风控制。

## 3 有待改进的问题

通过近一年的粮食实仓应用,粮情微波水分传感器还有待进一步改进,主要为:(1)降低自身温升(目前有5~10度内部温升,铝制机壳对外温升约1~2度)以获得更高测量精度;(2)进一步缩小体积,以利于粮堆中的深层敷设;(3)扩大传感器检测范围,以适应更广泛的应用领域;(4)目前传感器谐振点测量稳定,但对测试物料形态稳定性亦要求严格,形态改变会引起测量偏移,这需要通过现场校准或引入谐振点波束宽度加以改良。

粮情微波水分传感器及粮堆水分在线监测系统的研制,为国内粮食行业增添了新的粮堆水分在线连续监测和粮食水分抽样检测先进技术手段,在粮食储藏、干燥等储粮作业领域推广应用前景广阔。

#### 参考文献:

- [1]傅允章.新编传感器技术手册[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [2]姜宇,王琢.微波谐振腔物料水分测量技术[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2007.
- [3]张旭峰,刘宇,张婷.微波谐振腔谐振频率实时测量系统的实现[J].传感技术学报,2009,22(10):1451.