

# 微波水分测量仪的设计

黎泽伦<sup>1</sup> 黄志诚<sup>2</sup> 黄友均<sup>1</sup> 邓善熙<sup>3</sup>

(1. 重庆科技学院机械与动力工程学院, 重庆 401331; 2. 景德镇陶瓷学院机械电子工程学院, 景德镇 333001;  
3. 合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 合肥 230009)

**【摘要】** 简述了微波干燥法测量物料含水率的原理,进行了微波水分测量仪的整体设计,设计了微波干燥装置、高精度质量传感器及调理电路,同时进行了仪器单片机控制电路的软硬件设计,并制作了仪器实体。从试验结果可以看出,微波水分测量仪对物料含水率的测量时间为4 min左右,测量误差小于0.05%。与常规微波衰减法含水率测量仪相比,采用微波干燥法测量物料含水率具有速度快、精度高的优点。

**关键词:** 含水率 测量 微波干燥 设计

**中图分类号:** TM931 **文献标识码:** A

## Design of Microwave Moisture Measuring Instrument

Li Zelun<sup>1</sup> Huang Zhicheng<sup>2</sup> Huang Youjun<sup>1</sup> Deng Shanxi<sup>3</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China  
2. College of Mechanical and Electronic Engineering, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333001, China  
3. School of Instrument Science and Opto-electronic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

### Abstract

The principle of the moisture measuring with microwave drying was analyzed theoretically, and the microwave heater, the power supply system, the high precision weight sensor and the single chip microcomputer (SCM) system were all designed. The software and hardware of the moisture measuring instrument were developed in the lab. Through the experimental data, it takes only about 4 minutes to measure the moisture ratio with the microwave moisture measuring instrument, and the measurement errors are less than 0.05%. Compared with the traditional moisture measuring instrument using microwave attenuation method, the new instrument with microwave drying can detect the moisture of solid material rapidly with high precision.

**Key words** Moisture, Measurement, Microwave drying, Design

### 引言

目前,微波水分仪测量物体中含水率大多利用微波衰减原理,即在微波频率下,水的介电常数要比其他物质高得多,大多数物质在含有水分后,介电常数都会明显增加,微波在这种媒质中传输时衰减就会增大,通过检验微波的衰减量就可以得到物料的含水率<sup>[1~2]</sup>。但是这种水分测量方法易受物料密度、形变、厚度影响,且仪器复杂,体积大,价格高,同

时精度较低。由此本文设计一种基于微波干燥的水分测量仪,综合水分测量的经典方法及微波干燥的优点。

### 1 仪器的工作原理

在微波加热干燥作用下,物料水分迅速脱离物料而逸失,即物料的含水率为

$$M = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中  $m_0$ ——物料干燥前质量  
 $m_1$ ——物料干燥后质量

微波在物料中传输时,单位体积内介质损耗所消耗的微波功率为<sup>[3]</sup>

$$P = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r f E^2 \tan\delta \quad (2)$$

式中  $\epsilon_0$ ——真空的介电常数  
 $\epsilon_r$ ——介质的介电常数  $E$ ——电场强度  
 $f$ ——电场频率  $\delta$ ——介质损耗角

式(2)表明,微波加热产生的热能(即介质消耗的微波功率)取决于电场的频率、电场强度以及介质的介电常数、损耗角。由于微波加热时电场强度和频率都很高,所以微波加热速度非常快。同时,微波加热具有选择性,水的介电常数为 75.84,远大于其他物质,所以水能强烈地吸收微波热量。另外,微波具有穿透能力,微波的穿透深度近似为<sup>[4]</sup>

$$D = \frac{0.318\lambda}{\sqrt{\epsilon_r} \tan\delta} \quad (3)$$

式中  $\lambda$ ——微波波长

由式(3)可知,微波的穿透深度  $D$  与波长  $\lambda$  是同一数量级,微波加热的波长是厘米级,从几厘米到几十厘米的物体,微波都能内外一起加热,所以微波加热均匀,热效率高。

## 2 微波水分仪系统设计

### 2.1 总体设计

微波水分仪系统如图 1 所示,由高精度电源系统、微波磁控管、微波干燥腔、质量传感器系统以及单片机控制系统组成。其中,微波磁控管和高精度电源可以直接选型,微波水分仪设计的重点是微波干燥装置、传感器调理电路以及单片机系统的硬件和软件。

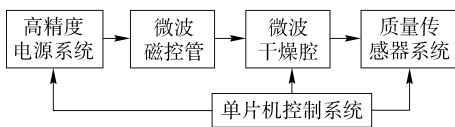


图 1 微波水分仪系统总体框图

Fig. 1 System of microwave moisture measuring instrument

### 2.2 微波干燥装置

微波水分仪干燥装置,也就是微波加热器,它是微波电磁场和物料相互作用的空间,是物料吸收微波能而得到加热干燥的工作区域,设计原则是:加热均匀,微波利用率高,微波泄漏小。本文选择箱型微波加热器,箱型微波加热器是一种多模腔,适当选择腔体尺寸,可使腔中电磁场分布均匀,功率密度低。

设箱型加热器矩形腔的边长分别为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ,腔的谐振频率为

$$f_c = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2} \quad (4)$$

式中  $v$ ——光速  $m$ 、 $n$ 、 $p$ ——模式标号

由于在加热时,磁控管输出的频率除中心频率外,还会由负载变动引起频率牵引,所以工作在 2 450 MHz 的磁控管,会产生 30 MHz 左右的频率牵引。以此段频率作为磁控管的工作频率,可计算出一定腔体尺寸的可能模式数。本文编制了一个专用程序,在磁控管工作频率范围内,可以直接由谐振腔的边长计算出谐振腔的模式数  $m$ 、 $n$ 、 $p$  以及其谐振频率  $f_c$ 。根据所设计的微波水分测量仪的具体情况,通过计算机进行模式计算,结合硬件条件,最终选用微波加热器谐振腔边长为 31 cm、31 cm、31 cm。

经过改进和测试,最终设计出的微波水分仪干燥装置性能指标为:OM75S31 型磁控管;工作频率  $(2\ 450 \pm 30)$  MHz;额定微波输出功率 700 W;外形尺寸 470 mm × 325 mm × 340 mm;使用电源  $220 \times (1 \pm 0.10)$  V,  $50 \times (1 \pm 0.10)$  Hz;工作环境温度  $0 \sim 40^\circ\text{C}$ ;输入电压驻波比 1.4 ~ 1.8;微波泄漏符合国家标准,在距装置 5 cm 处,微波泄漏量在  $1\ \text{mW}/\text{cm}^2$  以下。

### 2.3 高精度质量传感器及调理电路

微波水分仪选用 GZL - 608 - 0.5 型质量传感器,质量传感器接口电路选用 INA114 和 AD654,并由此制作了调理电路。微波水分仪在连续测量时仪器外壳温度会有  $15^\circ\text{C}$  左右变化,从而引起传感器调理电路的漂移,针对这一情况,采用硬件和软件补偿方案解决了测量稳定性和温度漂移问题。

### 2.4 单片机控制系统硬件电路

微波水分仪是以 AT89C52 微型单片机为数据采集测定和控制中心,外加输入输出接口辅助电路,其原理如图 2 所示。

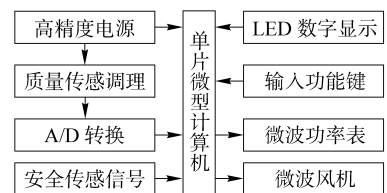


图 2 微型单片计算机控制系统原理框图

Fig. 2 Principle and constitution of SCM system

微波水分测量仪根据图 2 制作 PCB 图,进行系统仿真调试后加工印刷电路板,再进行安装调试,在安装前将元器件进行筛选及老化处理,最终制作仪器实体。

### 2.5 系统软件

微波水分测量仪单片机控制系统软件完成的功能主要有:称皮重、称料重(自动去皮)和物料含水率

的测量计算,其中前两部分实现了电子秤的功能,称料重时程序自动判断物料是否完全干燥。而软件设计就是围绕此3部分展开,单片机控制系统软件由主程序框架和子程序组成,包括中断服务子程序在内,共有17个子程序,目的是为了软件的清晰化、高效率,和较好的编程延续性。

### 3 试验结果与讨论

为了对基于微波干燥法的水分测量仪与传统微波水分测量仪的性能进行比较,本文同时开展了基于微波衰减法的水分测量仪研制。基于微波衰减法水分测量仪工作流程如下:微波信号源发射的微波信号经过隔离后到达衰减器,衰减器将微波信号的传输功率衰减到一定值后送至料盒。微波信号穿透料盒中物料,经过物料吸收后的微波信号由接收天线接收,再传递至检波器。检波器将高频的电磁信号转换成低频的直流信号,A/D转换器将模拟信号转换成单片机能够识别的数字信号后送入单片机。单片机芯片内部已经存入了物料含水率的标准曲线,不同含水率对应着不同的地址,传递到单片机的每个数字信号对应着相应的地址,单片机将最终的物料含水率值显示出来。采用微波衰减法测量物料含水率,关键在于得到微波衰减曲线数据库,但本文在绘制含水率与接收微波功率曲线时发现,物料大小、密度、含水率高对微波衰减功率都有很大影响,特别是在物料含水率较高时,个别功率值甚至出现波动情况,说明这种水分测量方法精度较低。

选取不同含水率的物料,在不同的环境温度下,利用基于微波干燥法的水分仪测量其含水率,并由烘箱法得到的物料含水率标准值作比较,得出试

验数据如表1所示。

表1 物料含水率测量数据  
Tab.1 Measurement data of microwave moisture measuring instrument

样品序号	标准含水率/%	测量温度/℃	测量结果/%	误差/%
1	28.96	20	28.99	0.03
2	28.72	20	28.70	0.02
3	17.27	25	17.23	0.04
4	16.98	25	16.93	0.05
5	27.70	27	27.72	0.02
6	27.51	27	27.53	0.02
7	52.49	30	52.46	0.03
8	52.86	30	52.81	0.05

基于微波干燥的水分测量仪对物料含水率测量时间在4min左右,从试验数据可以看出,其测量误差小于0.05%。而采用传统的基于微波衰减的水分测量仪在测量物料时,物料含水率的高低对测量的精度影响较大,个别值甚至会出现不合理的波动。与常规微波衰减法水分测量仪相比,采用微波干燥法测量物料能显著提高测量精度。

### 4 结束语

基于微波干燥的水分测量仪测量物料含水率速度快,测量误差小。该仪器软、硬件结合,操作方便,测试时间短,样品检测在几分钟内给出数据,非常适合测量固态物料的含水率。同时,基于微波干燥的水分测量仪解决了传统的微波衰减型水分仪测量时间与测量精度的矛盾。

### 参 考 文 献

- Zhang Y J, Okamura S. New density-independent moisture measurement using microwave phase shifts at two frequencies [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1999, 48(6): 1 208~1 211.
- 李玉忠.微波水分测量技术发展历史及微波水分计制造业现状[J].分析仪器,2006(3):49~53.  
Li Yuzhong. History of microwave moisture measurement technology and present situation of microwave moisture meter manufacture[J]. Analytical Instrument, 2006(3): 49~53. (in Chinese)
- Kim K B, Kim J H. Measurement of grain moisture content using microwave attenuation at 10.5 GHz and moisture density [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2002, 52(1):72~77.
- Johnm O. A history of microwave heating applications[J]. IEEE Transactions on Microwave and Techniques, 1984, 32(9): 1 200~1 224.