

文章编号: 1006-9941(2011)01-0102-04

电容法火药水分在线检测技术

韩民园¹, 郑建利¹, 宋文爱², 杨顺民²

(1. 山西北方兴安化学工业有限公司, 山西 太原 030008; 2. 中北大学, 山西 太原 030051)

摘要: 结合火药物料的物理特性、加工工艺及加工安全性的相关要求对常用的各种在线水分检测方法进行分析比较的基础上, 采用电容法对水分含量为 8% ~ 20% 的火药物料在不同的测试温度 (10, 15, 20, 25 °C) 下进行了试验研究。结果表明, 火药定容积质量随物料含水量的增加呈单调递减变化, 火药电容值随物料含水量的增加呈单调递增变化。因此, 采用电容法测量物料水分含量具有较高的灵敏性, 电容法火药水分在线检测技术是可行的, 并提出了工程化装置的研制建议。

关键词: 化工测量技术与仪器仪表; 火药水分; 电容法; 在线检测

中图分类号: TJ55; TQ560.5

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.01.024

1 引言

在火药生产过程中, 加入物料的水分含量对产品的塑化质量和安全加工有重要的影响, 传统工艺中工序物料水分的检测均是离线进行, 受多种偶然因素的影响往往使样品的理化分析结果与在线物料的实际值偏差较大, 滞后分析的结果影响工序质量的控制, 易导致生产效率和良品率下降, 能耗加大, 因此研究实时在线水分检测技术是很必要的。这不仅是提高双螺杆工艺控制水平的一个关键环节^[1], 而且在实现双螺杆对物料的稳定塑化、促进绿色制造工艺技术的发展等方面^[2]有着不可忽视的作用。微波法火药水分在线检测技术在工厂的应用研究实践中, 始终因测试数据偏差大而未能付诸使用。直至现在, 火药水分在线检测技术仍是制约火药加工技术发展的一个难点^[3]。为此, 结合火药生产实际, 在对国内在线水分检测技术进行深入分析的基础上, 进行了电容法火药水分在线检测技术可行性研究。

选择确定适宜的在线水分检测方法, 是进行工程化应用研究的先决条件。为此, 对目前常用的水分检测方法从测量原理、优缺点及适用场合等方面进行分析比较, 可以得出以下基本认识: 射线法 (包括中子法、红外法、微波法) 检测易受形状、密度、厚度、物料

颗粒度 (射线的波长较短、易被物料颗粒散射) 的影响, 对内部含水量检测存在局限性^[4-6], 且设备复杂、体积大, 不适于在含有爆炸物的环境中使用; 而对火药进行直接通电, 存在很大的安全问题, 所以电阻法也不适于火药的水分检测。相对于以上各种方法, 电容法比较适合火药的水分检测要求, 电容法易于实现非接触在线测量, 可靠性和精度都较高。因此选择电容法作为火药含水量在线检测的基本方法是适宜的。

2 检测原理

图 1 为理想平板电容结构示意图。由绝缘介质分开的两个平行金属板组成的平板电容器, 当忽略边缘电场的影响时, 其电容量 C 与真空介电常数 ϵ_0 、极板间介质的相对介电常数 ϵ_r 、极板的有效面积 A 以及两极板间的距离 d 有关: $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$

若被测量的变化使上式中 A , d , ϵ_r 三个参量中任意一个发生变化, 都会引起电容量的相应变化。通过配置合适的测量电路, 将电容值的变化转换为电量输出, 即构成电容式传感器。

如果保持其中两个参数不变, 而仅仅改变另外一个参数, 而且使该参数与被测量参数之间存在某一函数关系, 那么被测量参数的变化就可以直接由电容量 C 的变化反映出来。根据电容量参数变化的特性, 电容式传感器可分为极距变化型、面积变化型和介质变化型三种类型。本实验采用的即为第三种类型。

常见的用于电容检测的电桥电路主要有普通交流

收稿日期: 2010-06-21; 修回日期: 2010-09-15

基金项目: 火炸药科研专项

作者简介: 韩民园 (1965 -), 男, 高级工程师, 从事推进剂工艺研究。

e-mail: Rxyb-taiyuan@sohu.com

电桥、紧耦合电感臂电桥、变压器电桥、双 T 二极管交流电桥、惠斯登电桥等,根据已有研究基础,采用改进型的自平衡交流电桥。基本原理如图 2 所示。

它将电容传感器作为电桥的桥臂,调节电容传感器的电容 C (阻抗为 Z_C) 使桥路平衡,输出电压 U_0 为零;当 C 变化时,电桥失去平衡,输出一个和 C 成正比例的电压信号。高频电压源提供交流信号源,其幅值、频率稳定、波形一定。桥路输出信号经放大、相敏检波和低通滤波,最后获得平滑输出。桥的输出电压为:

$$U_0 = \frac{\Delta Z}{Z} U \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z'}{Z} + \frac{Z}{Z'} \right) + \frac{Z + Z'}{Z_0}}$$

式中, Z_0 为电桥输出端放大器的输入阻抗, Ω ; Z 和 Z' 分别代表不同电容臂的阻抗, Ω ; ΔZ 为电容传感器变化时对应的阻抗增加量, Ω 。

现有的电路对电容的测量精度可达到 0.01 pF, 实验证明可以准确测量物料的含水量。

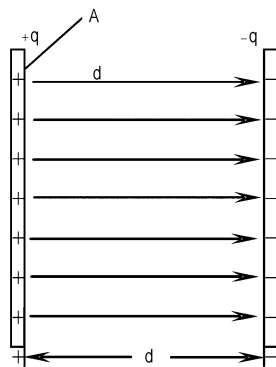


图 1 理想平板电容示意图

Fig. 1 Sketch map of ideal tabulate capacitor

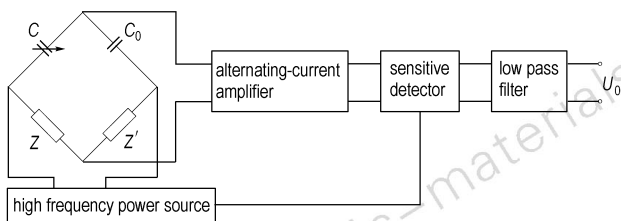


图 2 电容检测电桥电路原理图

Fig. 2 Circuit principle of capacitor testing

3 原理实验及分析

3.1 误差实验分析

实验条件: 取一定量 (60 mL) 颗粒药 ($\Phi 5$ mm 双基推进剂药粒), 测得电容为 4.885 pF; 在此基础上每次加 1 粒药, 并测量其电容值。测量频率是 150 kHz。将实验结果利用 Matlab 可以画出很直观的曲线拟合

图, 如图 3 所示。从图 3 可以看出, 随着火药颗粒的增加, 其电容呈明显上升趋势, 测量结果具有较好的递增性。这说明在一定的精度下, 一粒药的变化, 就能产生电容的变化。

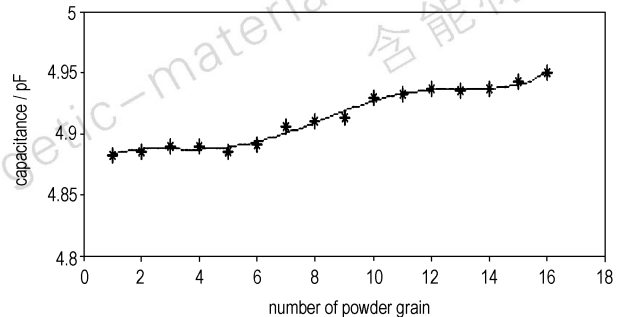


图 3 火药电容曲线

Fig. 3 Curve of capacitor vs powder particle

3.2 含水量变化的实验分析

实验条件: 取一定量 (60 mL) 颗粒药 ($\Phi 5$ mm 双基推进剂药粒), 测得电容为 5.224 pF; 在此基础上每次加 1 滴水 (约 0.2 mL), 并测量其电容。测量频率是 150 kHz。将实验结果利用 Matlab 可以画出很直观的曲线拟合图, 如图 4 所示。

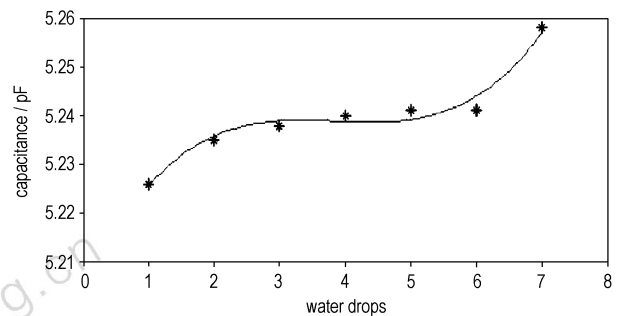


图 4 颗粒药水滴电容曲线

Fig. 4 Curve of capacitor vs water drop

由图 4 可以看出, 随着添加的水滴数逐渐增加, 电容呈上升趋势, 测量结果具有一定的递增性。由于此测量为加水后即时测量, 所以受到水的扩散速度影响, 与实际工况略有不同, 并且存在着叠加效果; 也就是说第 n 滴水的测量效果与前面的 $n-1$ 滴水的扩散情况都有关。但是从数据中仍可看出, 此方法对水含量有足够的分辨力。

3.3 影响水分检测的物理因素分析

采用电容法检测火药水分时, 传感器电容变化量 C 与水分值 Φ 、温度 T 、紧实度 J 及火药种类 N 的关系可以近似表示为:

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \Phi} d\Phi + \frac{\partial C}{\partial T} dT + \frac{\partial C}{\partial J} dJ + \frac{\partial C}{\partial N} dN$$

本次实验对水分、温度、紧实度三个参量进行了分析,品种选用火药物料($\Phi 5$ mm 双基推进剂药粒)为样品。电容检测电路采用线性 C-V 变换电路,输出电压与样品的电容值成正比;紧实度采用定容积质量方法来标定,先用自由落体方式将样品倒入一定容积的装置内,取一定容积的样品,称其质量,然后将其以同样的方式倒入传感器装置内;采样温度取 10, 15, 20, 25 $^{\circ}\text{C}$,分析实验数据得出如下结果^[5]。

(1) 输出电压与水分关系。火药电容值的变化体现在水分的变化上,虽然电容值的变化不只是由火药水分决定的,但是,火药水分是主要决定因素,四个采样温度下的数据见表 1。

图 5 是 15 $^{\circ}\text{C}$ 时输出电压与水分的拟合曲线,其它温度时的拟合曲线与图 5 相似。

表 1 火药的水分电压数据

Table 1 Voltage of moisture-bearing powder

T/ $^{\circ}\text{C}$	water / %				mass / g			
10	9.1	10.1	11.0	12.8	45.3	62.4	77.4	97.9
	14.6	15.3	16.5	17.8	104.4	112.5	140.3	177.6
15	8.7	9.9	11.1	13.0	52.6	76.5	96.8	109.5
	14.9	15.8	16.5	18.3	120.8	137.6	160.5	212.0
20	8.3	10.0	11.5	13.8	49.1	79.7	107.6	121.6
	15.2	16.9	18.4	19.5	132.4	181.5	232.2	266.4
25	8.2	10.0	12.0	14.4	58.0	96.7	113.3	128.2
	15.8	17.6	19.8	20.4	143.6	182.3	250.4	296.1

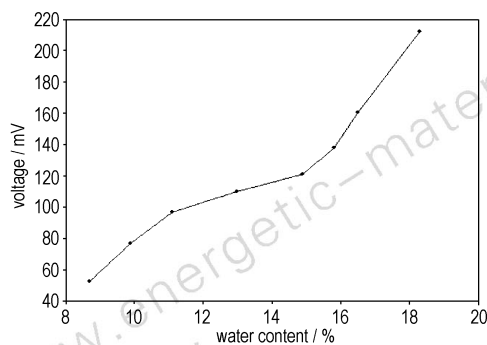


图 5 电压水分曲线

Fig. 5 Curve of voltage vs water content

从采样数据及拟合曲线看,当样品的水分升高时,检测输出电压也随之升高。水分与电压的函数为单调增值函数,但并非线性函数。另外,从拟合曲线可以看

出,曲线存在着两个拐点。在两拐点之间,电压上升较平稳,而两个拐点之外,电压变化显著。即如果水分增加,样品的电容值将增大。

(2) 输出电压与温度关系。在水分检测中,样品的温度对检测结果也是一个重要的影响因素。从检测结果看(10, 15, 20, 25 $^{\circ}\text{C}$),对于同一含水量的样品,当温度升高时,样品电容值将增大,检测电路输出电压也随之升高。当温度降低到零下时,样品中的自由水将冻结,样品的电容值发生突变。所以,对于电容法检测火药水分,当样品温度 ≤ 0 $^{\circ}\text{C}$ 时,应当采取措施,使之达到正常的温度检测范围,然后再检测,这样检测结果才是正确的。

(3) 水分与定容积质量关系。采用电容法检测水分时,样品的紧实度也是影响检测结果不可忽略的一个因素。实验采用定容积取样法,所以,每次取样的质量可以代表这次装入样品的紧实度。表 2 给出不同温度下,各个水分点的定容积质量数据。

图 6 是 15 $^{\circ}\text{C}$ 时水分与定容积质量的拟合曲线,其它温度时的拟合曲线与图 6 相似。

表 2 火药的水分和质量数据

Table 2 Water content and mass of powder

T/ $^{\circ}\text{C}$	water / %				mass / g			
10	9.1	10.1	11.0	12.8	231.8	230.0	230.1	228.6
	14.6	15.3	16.5	17.8	226.9	223.5	221.5	217.3
15	8.7	9.9	11.1	13.0	234.7	232.2	232.6	230.5
	14.9	15.8	16.5	18.3	228.6	223.8	220.6	215.4
20	8.3	10.0	11.5	13.8	235.3	232.4	231.8	230.7
	15.2	16.9	18.4	19.5	227.9	223.4	218.9	214.8
25	8.2	10.0	12.0	14.4	235.4	232.5	230.6	229.8
	15.8	17.6	19.8	20.4	226.5	222.9	214.5	212.2

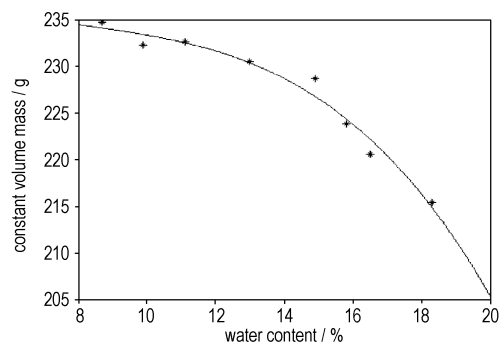


图 6 水分与定容积质量曲线

Fig. 6 Curve of water content vs constant volume mass

在同一温度下,从整个水分分布区域上看,水分与紧实度为单调递减关系。即随着水分的增加,紧实度越松散,也就是样品间的空隙越大,体现在质量上,质量相应减小。另外,由于操作上的原因,对于同温度下同一产品的多次检测,质量值重复性不稳定。这一问题可采用严格操作、多次检测、合理设计实验装置来减小不稳定的影响。

4 结 论

(1) 电容法对物料质量和水分含量的变化有较强分辨力,用电容法测量物料水分含量有较高的灵敏性。

(2) 对于水分含量为 8% ~ 21% 的火药物料,在不同的测试温度(10, 15, 20, 25 °C)下,火药定容质量随物料含水量的增加均呈单调递减变化,火药电容值随物料含水量的增加均呈单调递增变化。

(3) 电容法火药水分在线检测技术是可行的。

5 发展建议

进行火药水分在线检测装置工程化设计时,宜采用定量计量辅助措施,以确保装药质量的稳定;通过对装药质量辅助精确测量^[7],以提高水分含量测试精度。调控系统数学模型的建立要综合考虑现场温湿度、防火防爆、防震动等因素的影响。

参考文献:

[1] 任务正,王泽山. 火炸药理论与实践[M]. 北京:中国北方化学

工业总公司,2001,4: 928-929.

REN Wu-zheng, WANG Ze-shan. Theory and Practice of Explosive[M]. Beijing: China North Chemical Industries Corporation, 2001, 4: 928-929.

[2] 张春海,王昕,王敬念. 火炸药绿色制造技术的发展概况[C]//2006年火炸药新技术研讨会论文集. 深圳,2006: 656-657.

ZHANG Chun-hai, WANG Xin, WANG Jing-nian. Explosives overview of green technology[C]//2006 New Technology Symposium Explosive Technology. Shenzhen, 2006: 656-657.

[3] 任务正. 火炸药技术及工艺的发展[G]//双螺杆技术讲座资料汇编. 北京:中国兵器工业集团公司第三事业部,中国兵工学会火炸药专业委员会,2003,3: 11-13.

REN Wu-zheng. Explosives technology and process development [G]//Twin-screw Technology Seminars Complications. Beijing: China North Industries Group Corporation Third Division, Professional Committee of China Ordnance Society of Explosives, 2003, 3: 11-13.

[4] 北京化工学院,华南化工学院. 塑料机械设计[M]. 北京:中国轻工业出版社,1994,10: 398-399.

Beijing Institute of Chemical Technology, South China Institute of Chemical Technology, Eds. Plastic Mechanical Design [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1994, 10: 398-399.

[5] 杨河清,程冰,叶正文,等. 多种物料水分在线自动检测技术的开发[J]. 烧结球团,2009,34(3): 41-44.

YANG He-qing, CHENG Bing, YE Zheng-wen, et al. A variety of materials, water-line automatic detection technology development[J]. Sintering and Pelletizing, 2009, 34(3): 41-44.

[6] 张茜. 微波水分仪的设计[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2007.

ZHANG Xi. The design of microwave moisture meter [D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2007.

[7] 沈立人,贾颐康. 称重传感器的准确度[J]. 衡器,2001,30(3): 19-20.

SHEN Li-ren, JIA Yi-kang. Accuracy of weighing sensor[J]. Heng Qi, 2001, 30(3): 19-20.

On-line Testing Technique for Moisture-bearing Powder by Capacitor Method

HAN Min-yuan¹, ZHENG Jian-li¹, SONG Wen-ai², YANG Shun-min²

(1. Shanxi North Xing'an Chemical Industry Co. LTD., Taiyuan 030008, China; 2. North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: According to the requirements of the physical characteristics, the manufactural process and the manufactural safety for the powders, the capacitor method was selected on the basis of the comparison and analysis for all kinds of the methods for the on-line moisture-bearing powders. The experimental research was carried out for the powder of moisture content from 8% to 20% under different temperatures (100 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C). Results show that the powder weight of the given capacity is monotonic decreasing and the powder capacitance is monotonic increasing while the moisture content is increasing. Therefore, the capacitor method for the moisture content powder has high sensitivity and the on-line testing technique is feasible. Finally, some manufactural suggestions for the engineering equipments were put forward.

Key words: chemical surveying technology and instrument & meter; moisture-bearing powder; capacitor way; on-line testing

CLC number: TJ55; TQ560.5

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.01.024