FOOD & MACHINERY
食品与机械

Vol. 31, No. 6
Nov. 2015

DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.06.026

基于微波检测技术的卷烟机烟支重量控制系统设计

Design of cigarette weight control system based on microwave detecting technoloty

汪功明

WANG Gong-ming

(安徽职业技术学院,安徽 合肥 230051)

(*Anhui Vocational and Technical College*, *Hefei*, *Anhui* 230051, *China*)

摘要:目前国内外高速卷烟机的烟支重量控制系统主要基于核扫描头进行烟支重量检测与反馈。由于扫描头采用的是放射性材料,因而在实际运行过程中系统对操作人员始终存在辐射危险;此外,控制系统还可能存在隐性不稳定性。采用微波检测技术,利用不同烟支在微波电磁场引起的能量参数变化来检测腔体中的烟条密度及水分含量,最终通过检测烟丝条的重量及含水量,实现对烟支重量的有效控制。试验结果有效验证了算法的有效性和可行性。

关键词:控制系统;卷烟机;微波技术;重量检测

Abstract: At present the cigarette weight control system of high-speed cigarette machine is mainly used the techology of nuclear scanning for cigarette weight testing or feedback at home and abroad. The scanning head is used by radioactive material, so there is always exiting the danger of radiation to operators in actual operation system. In addition, recessive instability also existed in the control system. With the microwave detection technology, the energy parameter change caused by cigarettes in the microwave electromagnetic field was used to detect cavity density and moisture content of the tobacco rod. The weight and moisture content of the tobacco rod was detected and the cigarette weight was then controlled. The experimental results demonstrated the effectiveness and feasibility of the algorithm.

Keywords: control system; cigarette maker; microwave technology; weight detecti

烟支重量控制系统是现代卷烟机一个十分重要的组成部分,其控制效果将直接影响产品的品质及企业生产成本。目前,国内外各类高速卷烟机的烟支重量控制系统普遍采用基于核扫描头的放射源检测探头(如腮 90)进行烟支重量的检测与反馈[1]。腮 90 可以产生 β 射线,当 β 射线穿透烟支时其能量相应衰减,系统通过检测衰减参数值获得烟支的重量及密度。然而,随着系统运行时间的不断增加,密闭的检测室并不可能完全屏蔽 β 射线,因而对外部环境及操作员人体不可避免地产生一定的辐射影响[2]。此外,该系统还容易受外界因素的干扰,造成烟支重量控制系统的不稳定,且该故障通常难于发现,最终产生大量不合格产品,给企业造成不必要的损失[3-4]。

卷烟生产企业急需一种更安全、可靠、灵敏的烟支重量检测系统。微波是无线电频谱的一部分。由于微波信号在进行材料检测时其发射频率高、变化速度快,且其对材料密度及湿度变化极其敏感,因而广泛应用于各类材料检测领域[5-6]。本研究拟在烟支重量控制系统中引入微波检测技术,充分利用不同烟支之间密度和水分含量差异容易引起检测腔体中微波电磁场能量参数变化的特点,建立烟支密度和含水率与微波电磁场能量参数之间的数学关系,计算获得待检测烟支的密度和含水率等参数值[7]。最终实现对烟支重量的有效控制,并提高烟支的品质。

1 总体结构

烟支平均重量控制系统由微波测量单元、削减盘电机、削减盘位移传感器、下位单片机、上位工作站、相位电机、相位传感器、刀头测速装置及编码器等组件构成。其结构框图见图 1。

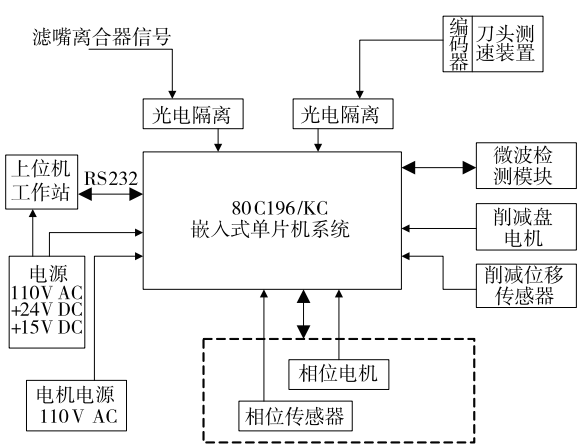

图 1 烟支平均重量控制系统总体结构框图

Figure 1 Overall structure block diagram of the control system of the average weight of cigarette

基金项目:2012 年安徽质量工程项目(编号:2012zy096)

作者简介:汪功明(1968-),男,安徽职业技术学院副教授,硕士。
E-mail:ggmm112525@163.com

收稿日期:2015-09-08

其中系统采用的 110 V AC，+24 V DC 及+15 V DC 电源通过接嘴器引入，而对于削减盘电机部分的 11 V 0CA 电源，则采用卷烟机的单独供电单元进行供电。此外，系统的平均重量控制系统的使能信号采用原机滤嘴离合器信号[8]。

烟支重量控制系统基本组部件见图 2。在系统运行过程中，当烟支以小于设定检测速度运行时，系统将仅启动重量控制及显示单元，当烟支运行速度大于或等于设定参数值时系统的重量及平准器控制单元才启动工作。当烟支以高速通过检测腔时，密度测量探头将实时检测烟支的密度信息，并连续发送给计算单元及控制单元，实时计算该烟支的重量及密度。

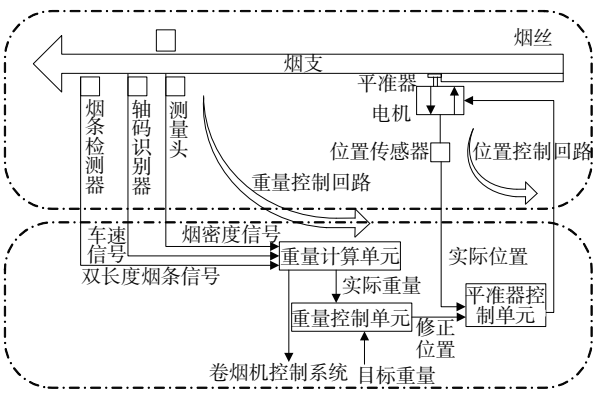

图 2 烟支重量控制系统检测过程示意图

Figure 2 Schematic diagram of the detection process of the cigarette weight control system

在实际使用过程中，由于上述控制系统中的平准器控制单元不可避免地存在一定控制延迟及控制误差。因此，在控制过程中，选择一定数量的烟支，通过检测烟支重量的平均值完成对单个烟支重量的控制，即通过计算单元获得检测过的烟支平均值信息值，然后将该信息值反馈给重量控制单元，重量控制单元根据该测量信息值与系统对单个烟支重量的设定值建立误差控制方程，结算出平准器需要移动的位置信息，反馈给平准器控制单元，最后通过平准器控制电机实现烟支重量的有效控制。

因此，在启动烟支重量控制系统前，需要对其参数进行标定，确定单个烟支理想重量值。一般在标定过程中，通过系统人机交互界面设定和调整平准器与位置传感器的电压值，最终使得二者之间形成平衡。如此即可保证平准器标定位置为最佳重量计算位置。在测量过程中，系统将根据实际测量值对设定参数值进行适当修正，从而最大程度地提高系统的控制精准性。

采用微波对烟支密度进行检测，系统是通过烟支密度测量信号的电压信息或频率信息与实际密度进行比较，建立二者之间的数学关系。在系统实际运行过程中，由于理论重量与实测值之间在一定程度上存在线性关系，因此，通过标定二者的截距和斜率等参数，即可获得实际烟支的密度信息。在烟支理论重量标定时，一般以目标额定重量值为基准值，通过轻烟和重量再对该值的斜率进行重标定，或根据随机样本的测量，计算获得标准差与理论计算标准差，再根据二者的比例情况，对斜率进行重标定，如此当获得的烟支重量在系统可接受误差范围内时可有效反馈烟支的密度信息。

此外，在微波检测过程中不可避免存在信号噪声，这对系统的密度测量与重量测量均存在一定的误差。为了最大程度减小该测量误差，系统在运行前需首先对烟支的切割位置与探测头检测烟支的起始位置进行标校，确保烟支重量测量与计算出的烟支切割位置不存在错位等情况。

在烟支重量控制过程中，由于卷烟机的凹形劈刀的旋转动作产生紧头。为有效实现对烟支同步跟踪，实现烟支的等相位、等分双长控制，系统需实时检测烟支的紧头位置，同时，加装刀头测速装置及旋转编码器。本系统中采用机械同步操作来有效实现对紧头的位置控制。

2 控制系统硬件设计

基于微波的烟支重量控制系统是通过采用微波探测头发射无线电频谱信号进行烟支重量及密度检测。该无线电频率可为 300 kHz(波长 1 m)到 300 GHz。在实际应用过程中，该无线电信号具有波长短、定向性强等特性，且具有在线、实时、快速、无损、无危害等特点。

由于采用微波对烟支进行检测时，不同烟支的密度和水分含量各不相同，而微波信号频率在检测过程中其对烟丝的重量和水分变化信息极其敏感，因此，利用烟支通过检测腔中微波检测信号的检测，即可实时有效地完成烟支重量及密度信息的检测，且在检测过程中，基于微波的烟支重量控制系统还具有实时性、无损性等特点。通过对试验样机的检测，该微波测量单位功耗也小，仅为 10 W 左右。

基于微波的烟支重量控制系统重量测量单位主要包括的部件及其测量过程见图 3。当烟支经过谐振腔时，启动微波发生器，微波发生器向谐振腔中的烟支发射微波信号，当不同烟支通过谐振腔时，由于不同烟支之间密度及含水率存在差异而易引起检测腔中微波电磁场能量参数发生变化。因此，检测该电磁场中微波能量参数变化量并对其进行分析和处理，最终可获得烟支的实际密度信息，然后将该信息值传输给计算单元，实现烟支重量的有效检测与控制[9-10]。

系统的检波电路见图 4，通过该检波电路对叠加在高频载波上低频信号进行检测，实现微弱信号的有效检测。

微波检测的温度检测电路见图 5。

设计信号输出驱动平整器电路见图 6。

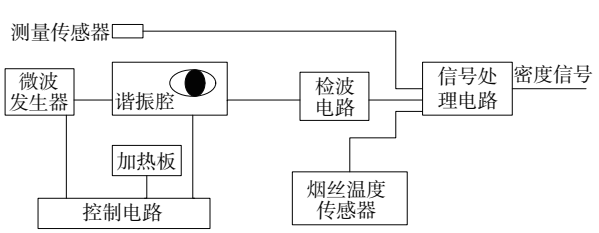

图 3 微波检测原理图

Figure 3 The principle of microwave detection

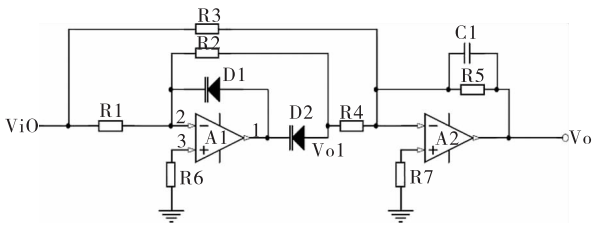

图 4　检波放大电路图

Figure 4　The detection amplifying circuit diagram

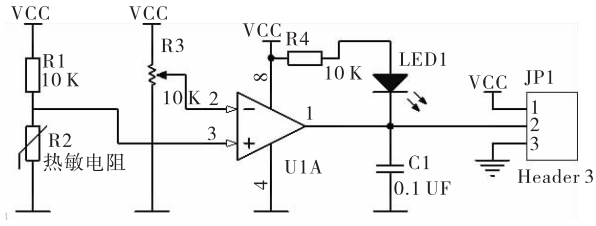

图 5　烟丝温度检测电路

Figure 5　Tobacco temperature detection circuit

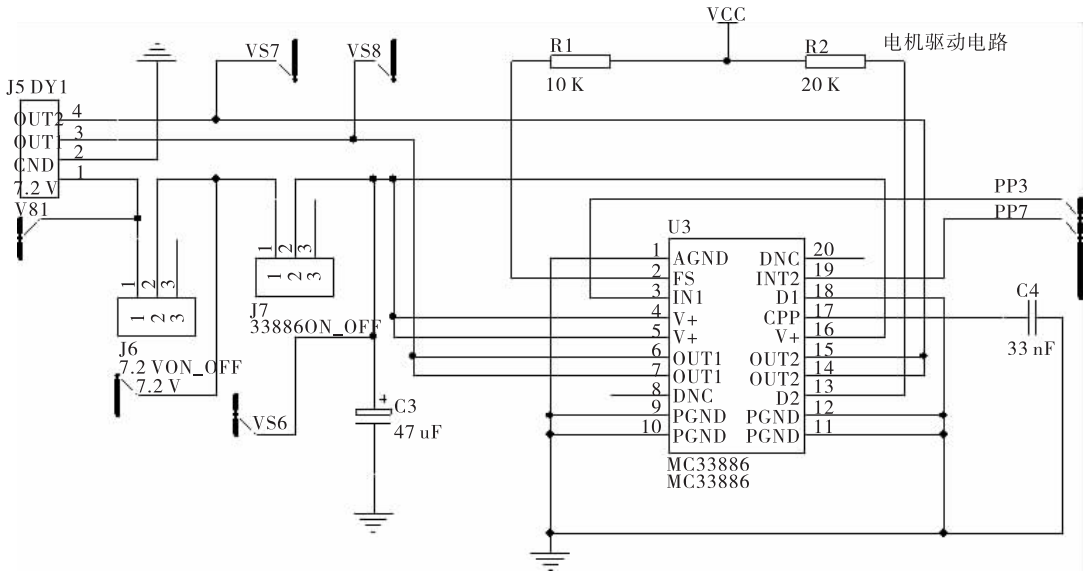

图 6　平整器电机驱动电路

Figure 6　The flat motor drive circuit

3　基于微波的烟支重量控制分析

在烟支重量控制系统中,基于微波的烟支密度及含水率信息的检测是系统运行的核心。其检测原理见图 7,即表示在电磁场中复谐频率之间的关系。由图 7 可知,在电磁场中检测的电磁波谐振频率值实部表示其谐振角频率信息,其谐振频率值虚部则表示谐振曲线的半功率宽度值。因而,在检测过程中可通过传感器对电磁波在自由震荡过程中的衰落时间以及强迫震荡时的反射、传输及其反应频率响应特性等参数的检测,计算获得电磁波的外特性参数信息。在不同的检测环境条件下,可采用调节电磁波激励源的振荡频率值,使得检测金属腔中激励源信号与电磁波之间形成谐振,再通过检测激励源信号即可获取所需检测对象的物理特性值,如对象的温度、湿度、密度等参数[7]。

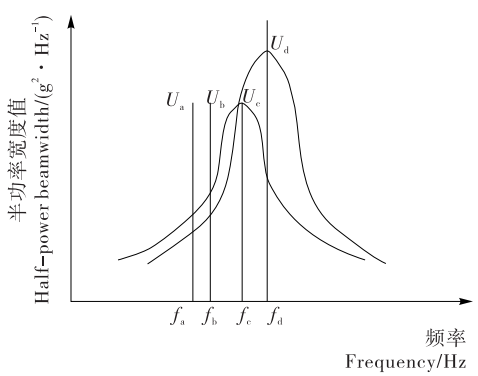

图 7　电磁场中复谐频率关系示意图

Figure 7　Schematic diagram of the complex relationship between the frequency of electromagnetic field

在烟支重量控制系统中,系统测量单元主要包括检测烟支的金属腔体、微波信号发生器、微波信号检测单元、信号输出单元、数据采集与处理单元及祸合器。在烟支重量控制过程中,调节外部微波激励源信号,当该激励源信号与谐振腔的谐振频率一致时,金属腔将存于电磁谐振状态。在调节微波激励源信号过程中,金属腔中谐振频率信号幅度值将随调节的频度不断变化,当微波激励源信号能量与腔体损耗能量形成平衡时,再将待检测的试验烟支样品置于金属腔中。此时,试验烟支样品将作为金属腔的一部分,通过传感器采集此时金属腔中电磁波的谐振频率和半功率带宽变化量,即 ΔW 与 ΔQ;通过介质微扰法建立介质密度与湿度函数关系,即可获得试验烟支样品的密度与湿度参数值。

由于不同试验烟支样品的密度及含水量不同,当该烟支样品通过谐振腔时,微波探测头将向金属腔发射微波信号,此时,微波电磁场中谐振参数与幅度参数均发生明显变化,检测该参数变化量,并通过分析与处理,即可获得烟支样品

的密度及重量信息。然后，系统将该计算值反馈给烟支重量计算单元，采用平均值控制法实现烟支重量控制系统的有效控制。

如图 7 所示，定义谐振参数变化量 Δf 和 ΔU 为：

$$\Delta f = f_0 - f_1 \quad (1)$$

$$\Delta U = U_0 - U_1 \quad (2)$$

式中：

f_0、U_0 ——分别表示未放入待测试验烟支样品前金属腔的谐振曲线频率值与半功率宽度值；

f_1、U_1 ——分别表示放入试验烟支样品后金属腔的谐振曲线的频率值与半功率宽度值。

基于微波检测方法及算法种类较多，本研究选择基于微波探测头的发送微波频率与微波输出信号量实现烟支密度及含水量的检测。

假设 f_a 和 f_b 分别表示微波探测头的微波发生器发射的微波频率值，U_a 和 U_b 则分别表示检波器检出的输出微波信号。定义用于反应被测烟支密度的参数 $U_+ = U_a + U_b$，当 U_+ 值越大时表示该检测的烟支密度值大。假设 m 表示被测烟支样品的密度参数值，则 m 与 U_+ 的数学关系可表示为：$m = a + bU_+ + cU_2$，式中参数 a、b、c 均为常数值，其通过对已知密度的烟支进行标定获得。如此，当被测烟支样品进入金属腔时，系统通过对参数 U_a、U_b 的检测，再通过数据处理器计算参数 U_+ 和 m，即可获得被测烟支样品的密度参数值。

同理，定义用于反应被测烟支含水量的参数 $U_- = U_a - U_b$。在测量过程中当 U_- 参数值越大时，表示该被测烟支的含水率也越大。假设被测烟支含水率为 w，建立参数 w 与参数 U_- 之间的数学关系为 $w = d + eU_+ + fU_-$，其中系数 d、e、f 为常量，其通过对已知含水率的烟支进行标定后确定该参数值。

4 验证实验结果与分析

为了有效验证本研究中基于微波的某型烟支重量控制系统的控制精确性及性能可靠性，试验选择 1 台传统的基于核扫描探头的烟机与安装有本研究设计的微波烟支重量控制系统的烟机进行对比试验。在试验过程中，由于单只烟支重量控制存在一定的随机测量误差，因而实际测量值较难与理论计算值等同。为了有效验证本研究设计系统的性能，选择 50 支试验烟支样品为首批测量组，通过对该组烟支的测量，计算出烟支平均值，再通过该平均值实现对 100 支烟的重量控制。具体测量结果见表 1。

表 1 试验样机与传统核扫描卷烟机控制系统部分试验结果对比

Table 1 Comparison of experimental results with the control system of the conventional nuclear scanning cigarette machine mg

基于核探测头		基于微波探测头	
平均值	标准差	平均值	标准差
765	7.3	762	6.5
762	7.0	761	6.0
763	8.1	762	6.2
761	7.5	763	6.3
764	8.4	762	6.0
766	8.0	763	6.8
762	7.5	761	6.1
760	7.3	761	6.2
763	8.2	763	6.1
761	7.5	762	6.2
平均值	7.68	平均值	6.24

由表 1 可知，基于微波探测头的烟支的标准测量误差介于 6～7 mg，其平均值为 6.24 mg，而基于传统核探测头的烟机重量控制系统其测量标准差为 7.0～8.5 mg，其平均值为 7.68 mg，因此，基于本研究设计的微波烟支重量控制系统，其控制平均值的效果明显优于传统烟机。

通过反复试验可以发现，虽然传统烟机重量控制系统在测试初期其标准误差仅 5～6 mg，但随着运行时间的不断增加，该标准误差值也将不断增加，最大可达 10 mg，此时，该系统核探测头将需要进行标校调整或直接进行报废处理。而基于微波的烟支重量控制系统，在经过出事时刻的标校后，系统测量标准误差值始终控制在 8 mg 以下，可有效满足系统的使用需求。

相对于传统基于核探测头的烟支重量控制系统，基于微波探测头的烟支重量控制系统的控制精准度更高，系统性能更可靠，且在运行过程中不会对环境和操作人员造成潜在威胁，运用前景更好。

参考文献

1 吴云春. PASSIM12K 卷烟机红外式烟支平均重量控制系统的研究[D]. 重庆：重庆大学，2003.

2 韩聃，田兆福，王宏生，等. 基于低场核磁技术和环境扫描电镜的卷烟吸湿机制研究[J]. 食品与机械，2015，31(4)：14～18.

3 孟庆华. 烟支平均重量控制器在生产中的应用[J]. 烟草科技，2013，36(2)：1～3.

4 刘运平. 探讨微波检测技术在烟支重量控制系统中的应用[J]. 科协论坛，2013，21(8)：82～85.

5 任应习. 微波技术在烟草干燥和水分测定中的应用研究[D]. 长春：吉林大学，2012：2～23.

6 杨涛，李敏，李姗姗，等. 微波膨胀过程中烟梗及由其制备的颗粒的物理化学变化[J]. 烟草科技，2008(2)：33～38.

7 费业泰. 烟支重量控制的数理分析[J]. 烟草科技，2012，35(4)：121～124.

8 董胜利，周雪军，李利. 交流伺服技术在 ZJ17 卷烟机盘纸拼接系统中的应用[J]. 中国机械，2013(13)：93～94.

9 袁战军，王瑾. 微机控制系统的烟支测重技术研究[J]. 现代电子技术，2015，38(15)：142～144.

10 孔德萍，孟令邦. 计算机技术在烟支重量控制系统中的应用[J]. 硅谷，2014，32(21)：38～42.