

双光路烟雾测量系统设计

孙晶华, 邱 健

(哈尔滨工程大学 理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 介绍了一种基于双光路法的烟雾测量系统的设计方案。通过朗伯-比尔定律, 采用双光路法消除了温度、湿度等环境因素对系统的影响, 并结合软件滤波算法, 有效地抑制外界及传感器自身的干扰, 取得了较好的测量效果。实际测量表明, 该系统运行稳定、可靠性高、有效避免干扰, 能实现较高精度的测量。

关键词: 双光路; 朗伯-比尔定律; 滤波算法; 测量系统; 烟雾测量

中图分类号: TH741

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)11-0022-03

The design of double light measurement of smoke

Sun Jinghua, Qiu Jian

(College of Science, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: A design of a measurement system of smoke which based on the double light measurement is introduced. Based on the Lambert-Beer law, with dual optical path measuring method, the scheme achieves the elimination of environmental factors such as temperature and humidity which would affect the system. Along with software filtering algorithm, inference from both external and internal of the sensor itself can be overcome more effectively. Actual measurement shows that the system has great stability and reliability, as well as successful avoidance of interference, all of which contributing to the more accurate measurement.

Key words: double light; Lambert-Beer law; filtering algorithm; measuring system; smoke measurement

火灾烟雾是火灾的前兆和伴随产物, 是可燃物燃烧产生的气溶胶, 是火灾探测研究的重要参量, 其主要成分包括微小固体颗粒、微小液滴及灰尘等^[1]。探测这些烟雾颗粒, 也就可以实施火灾探测。本文基于消光原理, 结合相关硬软件设计, 提出一种基于双光路的烟雾测量系统。采用双光路法, 有效消除了外界温度、湿度等影响, 可以准确测量烟雾浓度。

1 测量原理及分析

Lambert-Beer 定律的推导与分析如下: 当光在吸收介质和混沌介质中传播时, 能量在其传播途径上不断地衰减, 在线性范围内, 对于平面波, 传播途径损耗的能量与光通过的距离成正比^[2], 即:

$$dI\gamma(v) = -I\gamma(v)\gamma(v, z)dz \quad (1)$$

式中, $I\gamma(v)$ 是入射到 dz 所在面上的通量密度, 为频率 v 的函数; dz 是所考虑的微分距离; $\gamma(v, z)$ 是比例因子, 称之为消光系数或衰减系数, 通常是光频 v 和距离 z 的函数。

利用式(1)解得光通过距离为 $Z=Z_1-Z_0$ 区段后的光通量密度为:

$$I_0(v) = I_{00}(v) e^{-\int_{z_0}^{z_1} r(v, z) dz} \quad (2)$$

式中, $I_0(v)$ 为在入射面 Z_0 处的通量密度, $-\int_{z_0}^{z_1} r(v, z) dz$ 为光学厚度。如果介质是均匀的, 则光学厚度为 $r(v, z)$, 式(2)可简化为:

$$I_0(v) = I_{00}(v) e^{-r(v)z} \quad (3)$$

通常把消光系数分为两部分, 一部分描述介质的吸收特性, 另一部分描述散射特性。总的消光特性则表现为该两部分之和:

$$r(v) = r_a(v) + r_s(v) \quad (4)$$

式中, r_a 、 r_s 分别为吸收系数和散射系数, 都是频率的函数(即 r_a 、 r_s 对频率有剧烈的变化。如果入射光不是单一频率, 那么在计算光的总衰减时, 需要在整个入射频谱上积分。

在实际应用中通常采用如下形式：

当一束光在穿过烟雾场之后，与悬浮颗粒相互作用，强度会发生衰减。颗粒对光的衰减影响包括散射与吸收两种方式^[3]。光强在烟雾中随传播距离的强度衰减可用 Lambert-Beer 定律定量地描述：

$$I = I_0 \exp(-KL) \quad (5)$$

式中， I 为出射光强度， I_0 为发射光强度， K 为消光系数， L 是光程长度。烟雾测量示意图如图 1 所示。

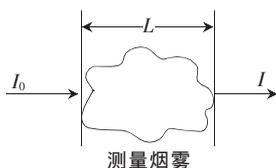


图 1 烟雾测量示意图

采用 Lambert Beer 定律测量烟雾浓度的理论依据成立的前提是：(1)光源是单色光；(2)接收的出射光强中不包括前向散射光成分^[4]。

2 光路设计

利用本系统测量时，只须测量参考光臂和测量光臂的信号强度的差值，即可测出烟雾衰减，通过计算就可得出烟雾浓度。系统采用双光路法测量，其光路设计框图如图 2 所示。



图 2 测量系统光路设计图

本设计中激光器采用体积较小的半导体激光器，波长为 650 nm，激光束通过分光镜分为测量光束和参考光束两种。由于引入激光作为入射光源，克服了光电感烟探测器由于光强限制造成的灵敏度问题，且降低了背景光的干扰，突破了传统的光电感烟技术仅仅针对光强一项参量作为直接或间接的探测依据。传感器采用型号为 2CU68A 的光电池，光电池带有滤光片，工作波长为 530 nm~850 nm，峰值波长为 650 nm。在实际测量中，多少会有前向散射光被收集。对于小颗粒，入射光在各个方向都会被散射，但前向散射光强仅占总光强的很小一部分。随着颗粒粒径的增大，前向散射的光强变得越来越大。对于明火燃烧的烟雾来说，散射效应的影响不大，70%及更多的入射光强衰减都是由吸收造成的。但尽管如此，在测量光路中加了准直镜后，可以尽可能地避免前向散射光强对测量结果的影响。

系统工作时，光学部分分为测量光臂和参考光臂，通过主控制板控制步进电机进行调制，测量光臂和参考光臂分时照到传感器上，实现分时测量。假设在没有烟雾时，测量光臂和参考光臂的信号输出分别为 I_1 、 I_2 ；在

有烟雾时，测量光臂和参考光臂的信号输出分别为 I_3 、 I_4 ，则可得衰减系数，通过微处理器计算，即可得出烟雾浓度。

3 硬件电路设计

系统采用了高精度的模数转换芯片，实现光电信号的快速、精确测量，结合 CAN 总线稳定、高速等特点，实现数据的实时传输，并且采用了 RS232 通信接口，可方便地与 PC 机建立通信，实现用上位机程序对测量数据进行分析及处理。系统电路框图如图 3 所示。

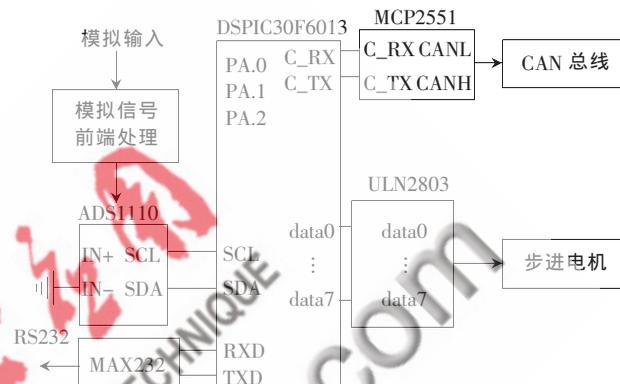


图 3 系统电路框图

由图可知，本电路是以美国微芯公司高性能数字处理器 DSPIC30F6013 为核心处理芯片，整个硬件电路主要由模拟信号前端处理、模数转换、RS232 串口通信、CAN 总线通信及步进电机驱动部分组成。

(1) 模拟信号前端处理主要包括传感器电流信号转换为电压信号、电压信号放大、信号滤波及电压跟随器。本系统的传感器采用型号为 2CU68A 的光电池，输出信号为电流信号，通过电流变电压转换器转换为电压信号，经放大电路对电压信号放大到与其连接的模数转换的合适范围。滤波电路采用压控低通滤波器，用来滤除电压信号的高频噪声。电压跟随器采用 LM358 运放，具有输入阻抗高、输出阻抗低的特点，实现模数转换电路和前端模拟信号电路的隔离，以提高模数转换的精度与稳定性。

(2) 模数转换芯片采用 TI 公司的 ADS1110。ADS1110 是一种精密、可连续自校准的串行 A/D 转换器，带有差分输入和高达 16 bit 的分辨率，其串行接口为 I²C 总线。DSPIC30F6013 主控芯片通过自带的 I²C 总线接口实现与 ADS1110 的连接。ADS1110 通过 I²C 总线(内部集成电路)接口通信。DSPIC30F6013 主控芯片的 I²C 总线接口最多可挂接 8 个 ADS1110，通过 I²C 地址实现对 ADS1110 的识别。ADS1110 只能作为从机，其 I²C 地址是 1001aaa，其中 aaa 是出厂时默认设置。ADS1110 有 8 种不同类型，每种类型都有不同的 I²C 地址。

(3) RS232 串口通信主要完成主控制板和 PC 机的通信及测试。DSPIC30F6013 主控芯片通过串口 TXD、RXD 与 MAX232 的相应管脚相连，DSPIC30F6013 主控芯片把

实时采集到的数据传输到 PC 机,PC 机客户端软件实现对数据的分析、计算及保存等。

(4)CAN 总线通信接口电路。由于主控制器带有片上 CAN 控制器,故接口芯片采用美国微芯公司的 MCP2551,把 CAN 控制器生成的数字信号转化成为适合 CAN 总线传输(差分输出)的信号。MCP2551 采用差分总线,具有很强的抗噪特性,支持 1 Mb/s 的运行速率,可连接节点高达 112 个。本系统中,主控制器的 C_RX、C_TX 引脚与 MCP2551 相应管脚相连,主控制器的 CAN 控制器生成的信号由 MCP2551 转换成适合 CAN 总线传输(差分输出)的信号^[5],其两个输出端 CANH 和 CANL 分别与物理总线的 CAN_H 和 CAN_L 连接^[6]。

(5)步进电机驱动芯片采用 ULN2803,其驱动负载电流为 500 mA,驱动电压可达 50 V。系统所用的步进电机为 3546BYJ46 型四相八拍永磁式步进电机,其工作电压为直流 12 V。DSPIC30F6013 主控芯片产生的脉冲信号按照 35BYJ46 型四相八拍永磁式步进电机的励磁顺序进行信号分配,信号经过驱动电路功率放大后,再与步进电机相应励磁线圈的引脚相连,即可驱动步进电机,实现对测量光路和参考光路的切换。

4 软件设计

本系统软件设计主要分为主控制芯片软件和 PC 机客户端软件两部分。

(1)主控制芯片软件设计流程如图 4 所示。由图可知,DSPIC30F6013 先对自身进行初始化。首先,对片上 CAN 总线模块进行初始化,以便主控芯片与 CAN 总线之间快速建立通信连接,这是建立 CAN 总线通信的关键部分,主要包括在复位模式下设置通信的波特率、报文滤波器、发送和接收邮箱设置及屏蔽滤波器设置。其次,主控芯片对 RS232 模块初始化,包括波特率设置、停止位及数据通信位等设置。

系统初始化完毕后,主控制芯片开始采集数据,先对参考光臂进行连续的数据采集,然后对测量光臂进行连续的数据采集。对采集数据的处理采用滤波算法,连续采样 N 个数据,去掉一个最大值和一个最小值,然后计算 $N-2$ 个数据的算术平均值。这种方法融合了两种滤波方法的优点,可以消除由于偶然出现的脉冲干扰所引起的采样值偏差。

主控芯片对测量数据处理完毕后,通过 CAN 总线发送至 CAN 总线其他节点,并通过 RS232 串口发送至 PC 机,PC 机客户端程序接收数据,用户可以对数据进行分析、存盘及打印等。

(2)PC 机客户端软件设计。主要采用 Visual C++ 6.0 编程,利用 VC 自带的通信控件 MSComm 编写 PC 机与主控制板客户端程序,在 PC 机上实现友好的人机操

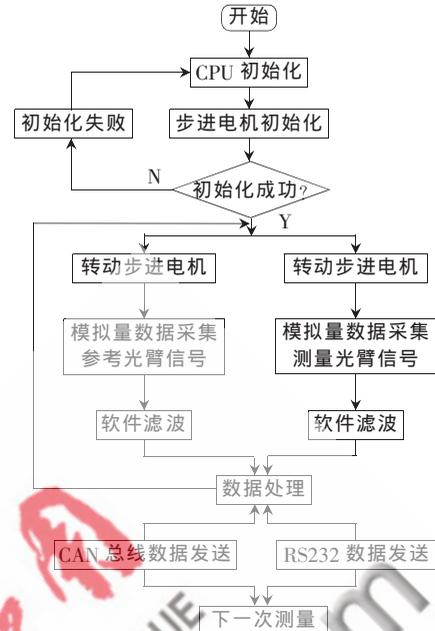


图 4 主控制芯片软件设计流程图

作界面,并实现实时控制、实时故障报警、现场情况显示、数据存储、打印报表及历史数据查询等功能。

本文利用了双光路法的抗干扰、抗温漂等特点,结合 CAN 总线、RS232 等总线数据传输优点,设计了双光路法烟雾测量系统,详细介绍了双光路烟雾测量系统的原理、硬件电路及软件设计。由于本系统只使用了一个传感器,一个激光器,因此,可以有效避免因传感器及激光器自身不稳定造成的干扰。软件上采用合理的滤波算法,实现了较好的测量效果。

参考文献

- [1] 范维澄,王清安,姜冯辉,等.火灾学简明教程[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1995.
- [2] 吴健,杨春平,刘建斌,等.大气传输的光传输理论[M].北京:北京邮电大学出版社,2005.
- [3] 石林雄.粉尘浓度测量仪[J].计量技术,1996(10):24-27.
- [4] 赵建华.基于多波长激光散射的火灾烟雾识别研究[D].合肥:中国科学技术大学,2000.
- [5] 邬宽明.CAN 总线原理和应用系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,1996.
- [6] 王毅峰,李令奇.基于 CAN 总线的分布式数据采集与控制系统[J].工业计算机,2000(5),34-35.

(收稿日期:2010-12-08)

作者简介:

孙晶华,男,1963,教授,硕士生导师,主要研究方向:物理实验教学,光电技术,红外技术和信号与图像处理。

邱健,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:光电检测与信号处理。