

·测试、试验与仿真·

基于光散射法的PM2.5全自动检测仪的实现

周向阳, 张雅琴, 刘 丽

(武昌首义学院 信息科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 基于光散射法的PM2.5检测具有原理简单、数据采集和处理简单、测量结果准确等优点, 成为PM2.5检测的主要方法之一。PM2.5检测系统采用模块化设计, 由光电采集模块、控制处理模块、显示预警模块和电源模块四部分组成, 实现PM2.5的实时监控和预警。Proteus仿真结果显示, 系统检测准确, 误差在可控范围。系统硬件调试测试后, 可实时显示PM2.5的粒子数, 达到预定值时, 蜂鸣器报警。

关键词: 全散射法; PM2.5; AT89S52

中图分类号: O432.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-04-0055-03

Development of PM2.5 Full-automatic Detector Based on Light Scattering Method

ZHOU Xiang-yang, ZHANG Ya-qin, LIU Li

(Information Science and Engineering Academe of Wuchang Shouyi University, Wuhan 430074, China)

Abstract: PM2.5 detection system based on light scattering method has the advantages, such as simple principle, simple data acquisition and processing and accurate measurement results, so it is one of the main methods of PM2.5 detection. Modularization design is adopted in PM2.5 detection system which is composed of four parts such as photoelectric acquisition, control and processing, display and warning and power modules. And PM2.5 monitoring and warning in real-time are realized. Proteus simulation results show that the system has accurate detection ability and the error is within the range of control. After hardware debugging and testing of the system, the PM2.5 particles number can be displayed in real time. When the particles number reaches a predetermined value, the buzzer warns.

Key words: full-scattering light method; PM2.5; AT89S52

PM2.5是指环境空气中空气动力学当量直径小于等于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的颗粒物, 又称细颗粒物(fine particulate matter)。PM2.5测定方法主要有重量法、 β 射线吸收法、微量振荡天平法和光散射法^[1]。分析对比这四种方法的特点可知, 光散射法具有测量速度快、灵敏度高、重复性好、在线非接触测量、适用性强等诸多优点, 成为目前测定PM2.5的常用方法。国外对采用光散射法进行颗粒物测量的研究开展比较早, 技术相对较为成熟, 商业产品也较多, 以美

国SKC和TSI公司为代表。我国对光散射法浓度测量技术的研究起步较晚, 技术还存在不足^[2]。

1 基于光散射法的PM2.5检测原理

1908年, Gustav Mie建立微粒的光散射理论适用于所有微粒的散射。米氏散射理论是在麦克斯韦方程组对于均匀介质中各向均匀同性的单个介质球在单色平行光照射下, 经过严格的数学推导而

得到的关于颗粒散射的精确解。如果微粒的大小远小于光波长时,表现为瑞利散射;当微粒的大小与光波长相差不大时,表现为米氏散射^[3-5]。PM2.5颗粒的检测是基于光的米氏散射原理的。

球形颗粒的散射如图1所示^[6-7]。设颗粒的半径为 α ,以该微粒为坐标原点建立三维坐标系,用沿Z轴正方向传播的完全偏振光照射该颗粒使其产生散射光,设电矢量沿X轴正方向,散射角为 θ , r 是颗粒与观察点之间的距离。

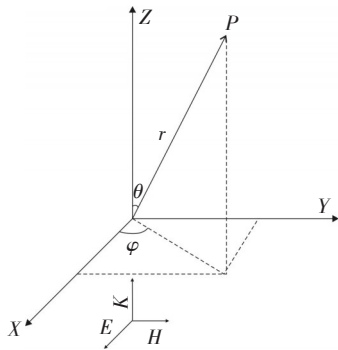


图1 Mie 散射示意图

在计算出相应的米氏散射参数和粉尘颗粒群的归一化分布函数后,可得到群粒子的颗粒粒子数浓度为

$$N_v = \frac{8\pi^2 r^2 (I/I_0)}{\lambda^2 V \sum_i [i_1(\theta) + i_2(\theta)] n_r(D_i) \Delta D_i} \quad (1)$$

式中, I 为出射光的强度; I_0 为入射光的强度; λ 为波长; V 是检测的空气体积; $n_r(D_i)$ 是微粒的归一化频率分布函数。因为微粒数浓度 N 和质量浓度 M 有如下关系

$$N = \frac{6M}{\pi\rho D^3} \quad (2)$$

式中, D 为微粒直径; ρ 是颗粒的比重。故质量浓度可表示如下

$$M_v = \frac{4\pi^3 r^2 \rho (I/I_0)}{3\lambda^2 V \sum_i \frac{[i_1(\theta) + i_2(\theta)] n_r(D_i)}{D_i^3} \Delta D_i} \quad (3)$$

可知,在温度和湿度一定环境下,当光照射在空气中悬浮的颗粒物时,产生散射光。在颗粒物性质一定的条件下,颗粒粒子数浓度和质量浓度与散射光强度成正比。因此,在特定的结构设计下,选取合适的散射光接收角和入射光波长,只要计算出微粒的散射光强度,就可确定颗粒粒子数浓度

和质量浓度。

2 PM2.5检测系统的设计

PM2.5检测系统采用模块化进行设计,由PM2.5光电采集模块、控制处理模块、显示预警模块和电源模块组成,如图2所示。在PM2.5光电检测模块中,光源发出的光照射在颗粒上,发生散射,散射光强被光电转换器件接收,转换成电信号。再将电信号传给数模转换模块,将模拟信号转变成为数字信号,随后将数字信号传输给微机控制模块。微机控制模块将传送来的数字信号进行整理分析,一方面将处理得到的结果在显示模块上显示PM2.5浓度;另一方面,如果PM2.5浓度超过一定值时,数据传输给报警模块,从而致使报警器报警。

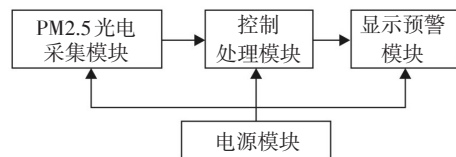


图2 PM2.5全自动检测系统模块化原理框图

DSM501 灰尘传感器采用粒子计数原理实现直径 $1\mu\text{m}$ 以上颗粒的浓度灵敏检测,输出PWM脉宽调制输出。DSM501 灰尘传感器是通过低脉冲比率的检测,从而计算出单位时间内空气中的粒子数目。低脉冲的比率等于 $RT=LT/UT\times 100\%$,得出低脉冲比率后,再通过低脉冲与粒子数之间的关系可以相应得出粒子数,低脉冲与粒子数的特性关系曲线如图3所示^[7-9]。控制脚1脚悬空时会使输出端4脚检测的最小微粒尺寸为 $2.5\mu\text{m}$ 。

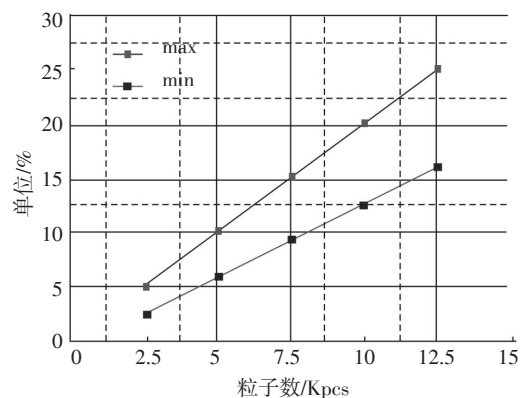


图3 DSM501 输出低脉冲率与粒子数的关系曲线图

设计实时监控依据是低脉冲率与粒子数的关系。由图3可知,有两条曲线描述,可将这两条曲线的数据取平均值,得到关系:比率 $\times 625 =$ 粒子数。如果检测到低脉冲比率,利用这一关系即可得出粒子数。根据现在我国PM2.5空气质量等级划分表^[10],当粒子数大于等于125 Kpcs时,空气处于重度污染。

3 系统仿真与测试

系统仿真由单片机最小系统、LED数码管、蜂鸣器和脉冲发生器组成,如图4所示。DSM501灰尘传感器采用脉冲发生器代替,由脉冲发生器产生不同低脉冲率的高低电平信号,用示波器检测脉冲发生器的输出波形以备直观地调节。

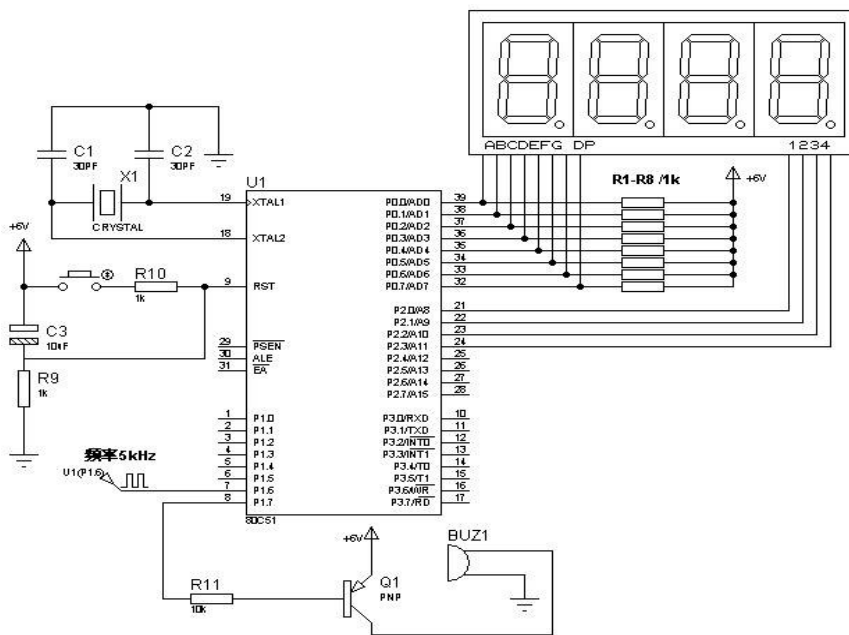


图4 系统软件仿真原理图

当信号发生器的产生脉冲占空比为80%,即低脉冲比率为20%时,显示粒子数为122.2 Kpcs,误差2%;当信号发生器的产生脉冲占空比为75%,显示粒子数为150 Kpcs,显示正确,因为程序中将最大数限制在150 Kpcs。保持环境的温度和湿度稳定时,有颗粒物的环境检测误差保持在10%内,稳定性相对误差保持在 $\pm 2.5\%$ 内。

4 结论

实验结果表明,该系统能满足不同条件环境的检测要求,具有一定的测量准确度、实时性强、成本低廉的优点,可在对环境质量要求较高或环境大气检测领域推广。基于光散射法的PM2.5检测应用很广,可通过优化数学模型和完善光路结构等措施不断改进和创新,环境的温度湿度适应性将不断提

高,精度将不断地提升。

参考文献

- [1] 周利斌,张大臣.一种基于Mie散射的颗粒物浓度测量方法[J].科技导报,2014.
- [2] 陈刚.光散射法测量颗粒尺寸和浓度的实验研究[D].西安:西安电子科技大学,2007.
- [3] 安毓英.光电探测与信号处理[M].北京:科学出版社,2010.
- [4] 毛朔南,马宇明,蔡治强.PM2.5检测标准及量值溯源方法现状及进展[J].中国计量,2013.
- [5] 徐娟.大气的光散射特性及大气对散射光偏振态的影响[J].气象学,2005.
- [6] 胡坤.光散射法探测煤烟粒子粒径和浓度的实验研究[J].光学,2009.
- [7] 孙晴,樊建中,杨永杰.大气颗粒物质量浓度监测系统的研制[J].计算机应用与软件,2011. (下转第73页)

4.2 系统探测概率

系统探测概率表示为

$$T(D) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (4)$$

式中, $T(D)$ 为系统的探测概率; n 为设备数; P_i 为第 i 个探测设备探测概率。

4.3 系统的综合防护效能 E_w

决定和影响系统作战效能的主要因素是探测威胁源的告警能力和干扰能力。系统作战效能可表示为

$$E_{SR} = E_w \cdot E_c \quad (5)$$

式中, E_{SR} 为系统作战效能; E_w 为告警分系统的告警能力; E_c 为干扰分系统的干扰能力。

系统作战效能得出如下结果:

- (1) 给出系统探测概率;
- (2) 给出系统干扰成功率;
- (3) 给出系统的综合防护效能;
- (4) 给出了目标的毁伤情况;
- (5) 给出系统效费比;
- (6) 给出威胁源数目与系统防护成功概率的关系;
- (7) 给出威胁源数目与系统防护代价的关系;
- (8) 给出威胁源数目与系统的作战效能的关系。

5 结束语

区域目标电子防护系统作战效能评估由于影响因素众多, 其中又有不少不确定因素, 所以只能在合理的假设条件下, 根据威胁分析, 交战模式, 环境及影响, 确定系统任务, 对区域目标生存能力进行评估。然后再利用试验和仿真结果, 对模型进行验证和修正。

参考文献

- [1] 解凯, 陈永光, 汪连栋, 等. 多假目标干扰评估准则体系研究[J]. 战术导弹技术, 2005:10-14.
- [2] 方辉熠. 防空导弹武器系统仿真[M]. 北京: 宇航出版社, 1995.
- [3] 单家元, 孟秀云, 丁燕. 半实物仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [4] 掌亚军. 空中目标易损性建模及应用[J]. 航空兵器, 2008(2).
- [5] 江静, 张雪松. 基于计算机视觉的深度估计方法[J]. 光电技术应用, 2011, 26(1):51-55.
- [6] 马胜贤, 孔晓玲, 王立新, 等. 基于实时网络的半实物仿真系统控制方法[J]. 光电技术应用, 2012, 27(3):14-17.
- [7] 袁瑾, 宁提纲, 李月琴, 等. 面向全光信号处理的三角形光脉冲产生技术[J]. 光电技术应用, 2014, 29(5):60-64.
- [8] 范永金, 吴刚. 基于BOM的光电信息控制仿真系统设计[J]. 光电技术应用, 2014, 29(6):13-17.

(上接第57页)

- [8] 冯进. PM2.5 监测技术的发展及测量数据准确性的保障[J]. 计量与测试技术, 2014.
- [9] 何强, 文卉. 基于单片机和DSM501 测量PM2.5[J]. 电子

世界, 2014.

- [10] 纪跃芝, 贺莉, 周欣. 空气质量的预测预报[J]. 长春工业大学学报: 自然科学版, 2006.

(上接第65页)

- 真技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [4] 潘成胜, 张馨, 李定主. STK/Connect 模块在 GPS 仿真演示系统中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(10): 117-120.
- [5] 张守玉, 姜振东. 基于 STK 的卫星轨道机动模型设计与仿真[J]. 计算机仿真, 2004, 21(10):25-28.
- [6] 杨颖, 王琦. STK 在计算机仿真中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [7] 曹裕华, 冯书兴, 管清波, 等. 航天器军事应用建模与仿

真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.

- [8] 陈波, 张刚, 王娜, 等. 基于 STKX 组件的视景仿真关键技术[J]. 计算机工程, 2011, 37(19):261-263.
- [9] 何思捷, 杨磊, 陈小前. 基于 LabView 与 STK 的卫星轨道预报可视化仿真平台设计[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(23):5702-5707.
- [10] 郗晓宁, 王威. 近地航天器轨道基础[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2003.