

光电技术

# AVR 单片机在粒谱分析仪中的应用

汪 芳, 刘建国, 黄书华

(中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光学与技术重点实验室, 安徽 合肥 230031)

**摘 要:** 介绍了以 AVR 单片机系列的 ATmega128 芯片为控制核心的粒谱分析仪的设计思路, 针对电子学部分给出了系统的软硬件设计方法, 单片机与上位机通讯对仪器进行控制和气溶胶粒子的分析, 并驱动液晶模块实现二维图形以及仪器状态等的显示, 实现了人机交互。目前该系统正在试运行中并准备投入到环境气体监测中。

**关键词:** 大气光学; 粒谱分析仪; ATmega128; SED1335; CH375; 粒谱分布图

**中图分类号:** TN873; TN202      **文献标识码:** A      **文献编号:** 1673-6141(2008)06-0461-08

## Application of AVR Microcontroller on Aerodynamic Particle Sizer

WANG Fang, LIU Jian-guo, HUANG Shu-hua

(Key Laboratory of Environmental Optics and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** The design method of aerodynamic particle sizer which takes the ATMEGA128 chip as the control core is presented. ATMEGA128 chip is a kind of monolithic integrated circuit series of AVR single chip. The design method of hardware and software of this system is also given. The single chip communicates with computer to control the apparatus, analyze the aerosol particle and drive the LCD module to display the two-dimensional graph and status of the apparatus. Man-machine interaction is realized. At present, this system is in trial operation and prepared to invest in environmental gas monitoring.

**Key words:** atmospheric optics; aerodynamic particle sizer; ATmega128; SED1335; CH375; particle distribution graph

## 1 引 言

空气动力学粒谱分析仪 (aerodynamic particle sizer, APS) 是一种可以连续、实时、在线检测并同

时显示、记录大气气溶胶粒子的空气动力学直径及粒径对应的粒子数的仪器。美国知名公司 TSI 已经有同类型的仪器生产, 但成本较高, 体积较大。本文中就电子学部分提出了我们自己的软硬

收稿日期: 2008-07-15; 修改日期: 2008-09-01

基金项目: 863 项目 (2006AA06A302)

E-mail: wangfang@aiofm.ac.cn

件设计方法,以 ATmega128<sup>[1]</sup> 芯片为核心,配合相应的硬件电路,通过按键输入、接受上位机命令对仪器进行控制和参数的调整;同时对数据采集部分采到的粒子数据进行处理并送至显示模块完成气溶胶粒子的粒径和粒子数的粒谱分布关系、流量参数、粒子总数、高浓度报警、仪器工作状态等的显示。该方法已通过验证,整个产品目前已投入到大气环境监测使用中,仪器运行非常可靠,具有很高的经济效益。

## 2 系统组成结构

空气动力学粒谱分析仪通过复杂的光学系统和精确时序控制技术的结合来完成其测量过程,即通过对粒子在两个红色激光光斑之间飞行时间及散射强度的测量来确定粒子的大小及其物理性能。散射光用雪崩光电二极管来探测,APD 探测的双峰信号经过模拟信号处理电路和数字信号接口电路处理后得到粒子的粒径信息和散射光强信息,最后将得到的粒子数、粒径等信息送至数据显示部分进行显示。

图 1 所示是系统总体设计框图,该仪器电路系统中的复杂部分是高速计数电路和高速逻辑识别电路的实现。单片机和上位机的通讯是通过

USB 接口芯片 CH375<sup>[2]</sup> 完成,单片机接受上位机命令对仪器的状态参数进行调整使仪器运行在最佳状态;上位机对单片机发来的内存数据或状态等进行分析 and 处理。由于单片机内部限制 4 k 的 RAM<sup>[3]</sup>,而存储粒子信息所需的内存空间远大于 4 k,所以扩展了两片 32 k 的 RAM,ATmega128 在读一片 RAM 时,另一片 RAM 则在不断地写入数据,这样提高了数据的读写速度,满足实时性要求。读出的数据经过处理得出粒子大小、散射光强度,送至数据显示部分进行显示。显示部分采用内置 SED1335<sup>[4]</sup> 控制器的液晶显示模块,点阵为 320×240,此模块和按键输入模块结合起来实现人机交互,用户可通过按键来选择仪器的启动、停止、粒谱分布图的动态刷新显示,仪器多个工作状态包括流量、粒子总数、粒高浓度报警、激光二极管工作状态、电源工作状态等的显示。其中,粒谱分布图是以二维图形方式动态显示粒子数与粒径的分布关系曲线,这部分是软件编程上的难点。报警部分的作用是:用户可选择当探测到用户设定的粒子浓度时发出声光报警。

## 3 粒谱分析仪硬件设计

### 3.1 模拟信号和数字信号处理电路总体设计

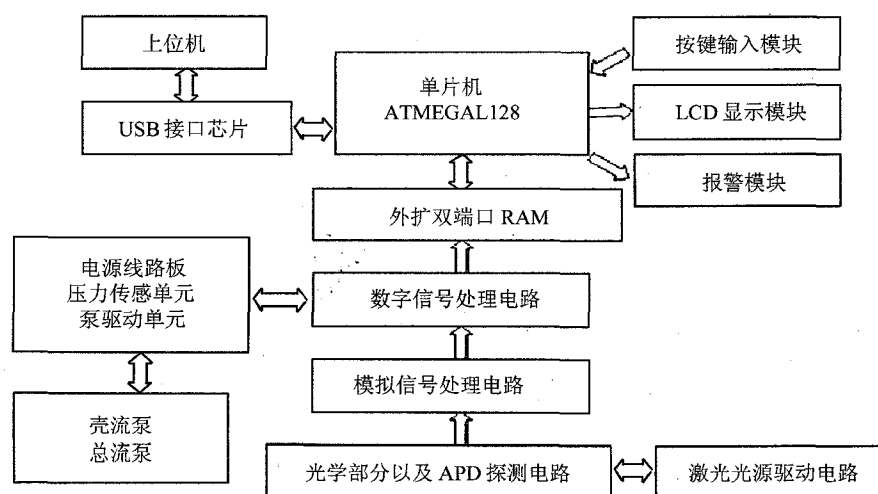


图 1 系统组成结构框图

Fig.1 Schematic diagram of system composition

图 2 所示是模拟和数字信号处理框图, APD 探测的双峰信号需要经过放大电路放大, 再经过延时电路延时, 得到两个具有一定相位差的双峰信号, 这两个双峰信号相加、相减之后得到门控信号 GATE 和差分信号 DIFF 并送到数字信号处理模块进行逻辑处理。散射光的双峰信号时间宽度是粒子穿越双束激光光斑的飞行时间, 飞行时间直接对应着该粒子的空气动力学直径。

逻辑判断电路是数字信号处理电路的关键部分, 逻辑电路控制定时器、计数器和 A/D 转换,

计数电路采用 ECL 高速芯片, 计数精度在 ns 级。如图 3 所示, 整个逻辑电路在 25 MHz 的时钟频率下工作, 它监视 GATE 门信号, 当 GATE 门信号有效时, 便对 DIFF 差分信号进行计数, 当第一个 DIFF 差分信号到来时, 启动定时计数器, 在门信号有效期间, 第二个 DIFF 信号关闭计数器。在定时器没有溢出的情况下, 所记录的飞行时间(定时器值)、散射光值被保存起来送至处理器内存。

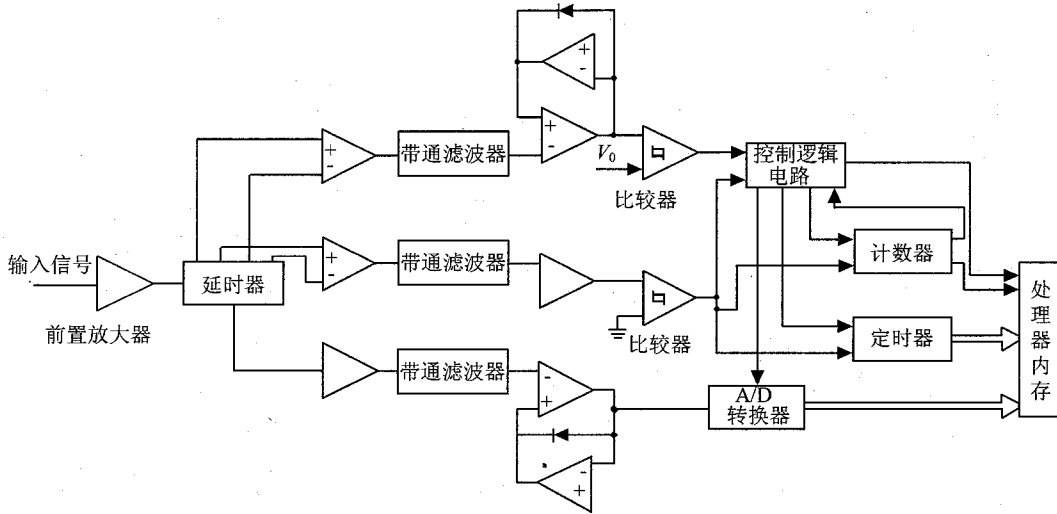


图 2 模拟和数字信号处理框图

Fig.2 Schematic of analog and digital signal processing

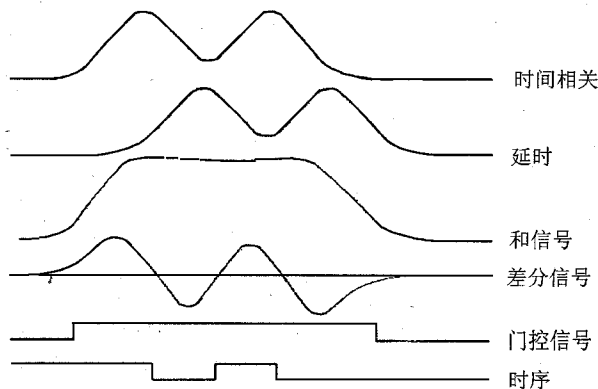


图 3 逻辑处理电路波形图

Fig.3 The oscillogram of logical processing circuit

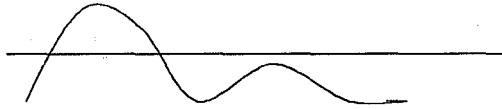


图 4 单峰信号粒子

Fig.4 Single peak signal particle

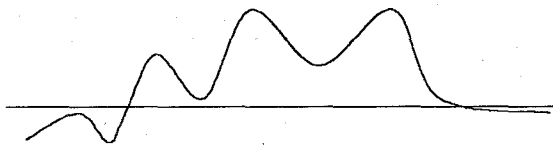


图 5 粒子重叠产生的多峰信号

Fig.5 Multi-peak signal produced by multi-overlapping particles

逻辑电路同时还进行无效信号识别,在 GATE 有效期间只检测到一个过零信号时,对应于粒子信号情况如图 4 所示,这种情况下测量结果无效。在 GATE 有效期间产生 3 个及 3 个以上过零信号 DIFF 时,如图 5 所示,说明有粒子重叠,测量结果无效。

### 3.2 数据缓冲及实时处理模块

粒子信号经过逻辑信号处理得到粒子的粒径信息和散射光强信息。由于逻辑电路的处理速度较快,而工控计算机的 PC104 总线的 I/O 处理速

度较慢,为了能实时且完整地处理逻辑电路产生的粒子信息,设计采用扩展的双端口 RAM 来连接稍低速的 I/O 和较高速的逻辑电路。这样的设计不但简化了数字信号处理板的设计,而且简化了编程的工作量,同时还保证了处理效率。RAM 分为高芯片和低芯片,每片寻址空间为 32 k,地址范围为 0x8000~0xFFFF,需要占用扩展端口的 16 位读和写控制位。如图 6 所示, RAM 的片选信号由 GAL 芯片编程产生,单片机的 portF 和 portC<sup>[1]</sup> 作为 GAL 芯片的输入信号,当  $\overline{HCSL}$  为 0 时, ATmega128 访问高芯片。当  $\overline{LCSL}$  为 0 时, ATmega128 访问低芯片。对两片 RAM 的访问切换是利用 ATmega128 内部的定时器 1<sup>[5]</sup> 定时实现。根据系统实际情况设定定时时间,当时间到时产生定时器比较输出中断,通知单片机访问另一片 RAM。

### 3.3 按键输入和 LCD 显示模块

为了实现人机交互,方便用户直观地了解粒径和粒子数的动态分布情况,系统中采用了液晶显示模块。此模块采用 SED1335 控制芯片,结合按键选择以二维图形方式显示粒谱分布图,即粒径-粒子数关系动态柱状图,同时指示仪器工作状态。单片机和 SED1335 的硬件连接如图 6 所示:

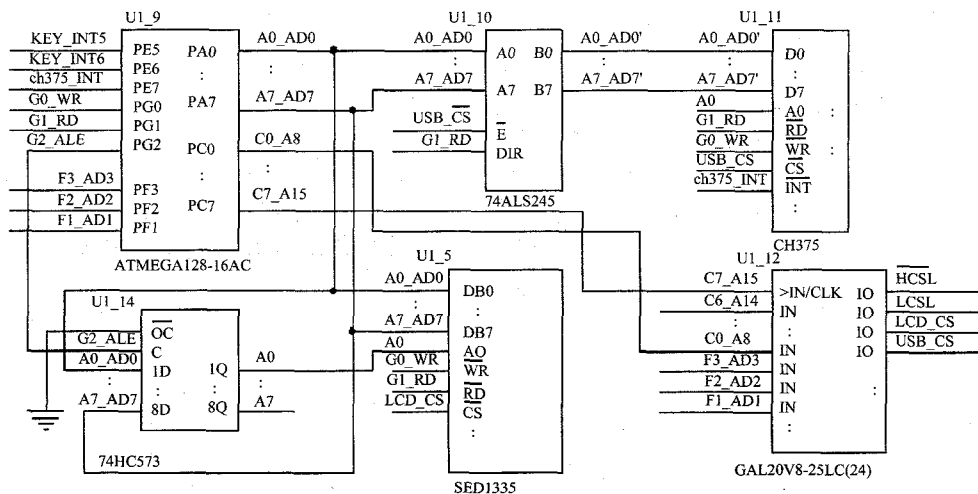


图 6 ATmega128 与 SED1335 以及 CH375 的硬件连接电路图

Fig.6 The circuit diagram of hardware connection among ATmega128, SED1335 and CH375

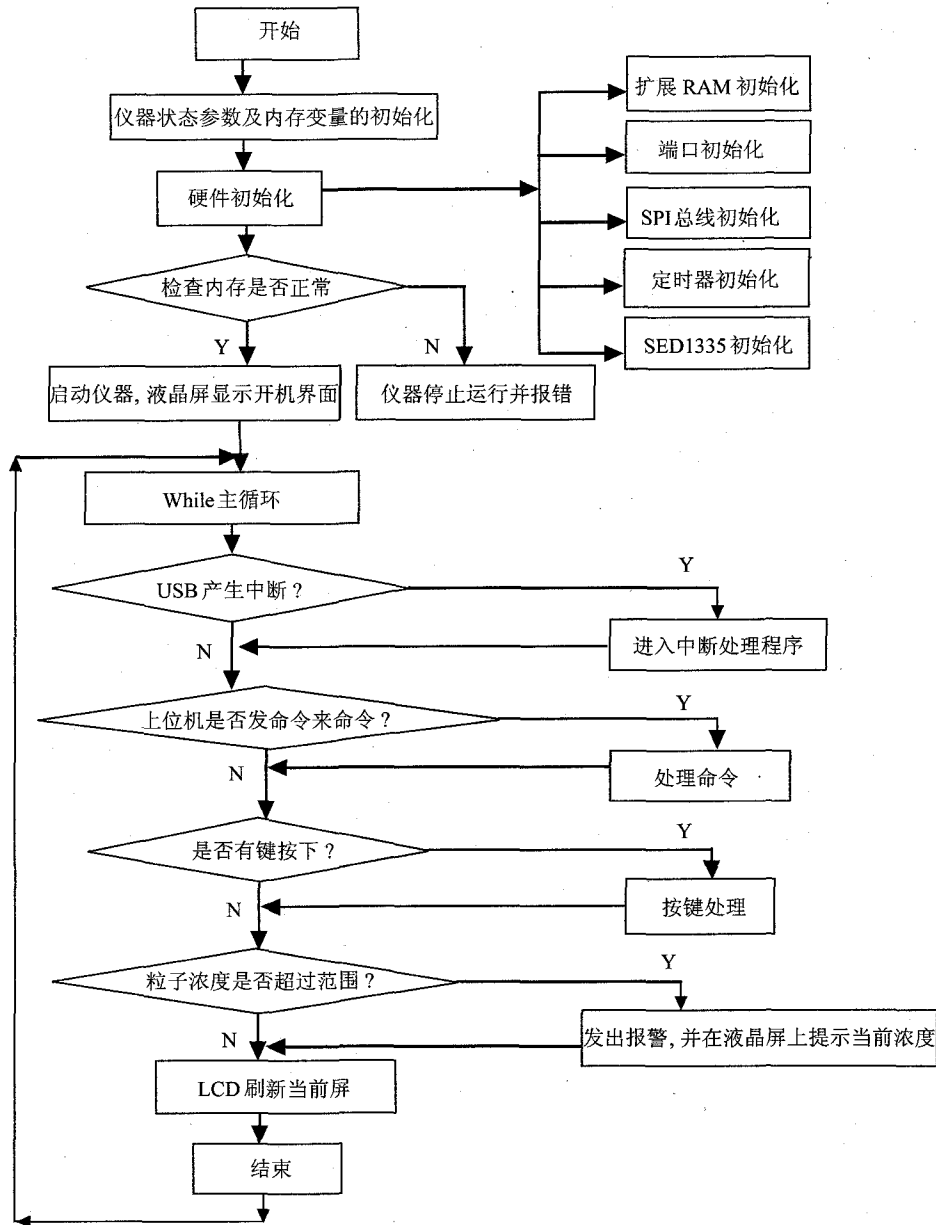


图 7 系统软件设计流程图

Fig.7 Flow chart of system software design

当 LCD 的引脚 A0 为高电平时, 单片机可写命令字或读数据, 当 A0 为低电平时, 单片机可写数据参数或读状态。A0 由地址锁存器 74HC573 输出, 锁存器的锁存使能输入 C 由 ATmega128 的 PG2 端口给出。LCD 的写和读信号与单片机的 PG0 和 PG1 端口连接。LCD 的片选信号  $lcd_{\bar{cs}}$  由 GAL 芯片编程输出产生。本系统中按键模块只有两个按键, 但却可以实现多个菜单功能。硬件

上将单片机的 PE5 和 PE6 端口作为按键中断输入端口, 液晶在显示任一屏时, 屏幕底下都有对应的菜单, 此菜单有两个选项组成, 用户可通过按键选择选项。这两个按键在不同的界面下意义不一定相同, 可以实现很多屏的显示, 但硬件上的实现上却是一样的, 节省了硬件资源。

### 3.4 USB 通讯模块

本系统中上位机和单片机之间的通讯是通过

USB 接口芯片 CH375 完成的, 单片机接受上位机的命令并进行分析, 控制仪器的启动、停止, 调整激光器电流、调整 APD 高压等, 使仪器工作在最佳状态。单片机读取 RAM 中的数据向上位机发送, 发送完后以中断方式通知单片机。CH375 是一个 USB 总线的通用设备接口芯片, 具有 8 位数据总线 (D0~D7)、地址输入 (A0)、读 (RD#)、写 (WR#)、片选控制线 (CS#) 以及中断输出 (INT#), 可以方便地挂接到单片机的数据总线上。硬件上分别用单片机的 PG0、PG1、PE7 控制 CH375 的写、读以及作为中断输入信号, 片选信号  $usb\_cs$  是通过 GAL 芯片编程输出产生的, 如图 6 所示。

## 4 系统软件设计

### 4.1 系统软件组成部分及流程图

本系统单片机程序采用 C 语言编写, 所用的编译软件是 AVR-GCC, 它是一款优秀的 AVR 编译软件, 是流行的 GUN C 编译器在 AVR 上的移植。GCC 最大的特点是开源, 发展较快。整个程序的编辑、编译都是在 AVR-GCC 中完成。

从功能模块上来说, 软件主要由初始化部分, 主执行界面部分, USB 通讯部分, 数据采集、处理部分, 按键处理部分, LCD 显示部分, 报警部

分等组成。

主执行界面部分: 负责与用户的交互以及整个系统的运行控制。

初始化部分: 系统开机后进行自动测试、调整, 使仪器进入最佳工作状态。自检完毕, 系统即可进行各种相关的测试。

USB 通讯部分: 实现与上位机的通讯。

数据采集、处理部分: 采集计算粒子大小与散射光强度所需要的数据, 以及由各传感器送来的信号, 然后把这些数据送至信号处理部分进行处理。计算出粒子大小, 散射光强度, 送至数据显示部分进行显示。

按键处理部分: 实现人机交互, 用户可通过按键选择来切换 LCD 显示哪一屏。

LCD 显示部分: 以二维图形方式显示处理好的数据结果, 同时显示指示仪器工作状态。

报警部分: 用户可选择当探测到用户设定的粒子浓度时发出声光报警。

### 4.2 系统软件部分程序代码

本系统软件代码复杂, 由于篇幅有限, 只给出粒谱分布图的液晶显示部分程序代码。程序如下:

```
void DRAW_Particle_Number( BYTE origin_line, BYTE origin_column, BYTE num_channel)
{
    BYTE i,j;
    unsigned int StartAddr,average,high1,high2,diff;
    average=y_max/100;
    for(i=0;i<num_channel;i+=2)
    {
        high1=((channel[i])/average);
        high2=(channel[i+1])/average;
        if(high1>high2)
        {
            diff=high1-high2;
        }
    }
}
```

```

StartAddr=(origin_line-high1)*40+ origin_column+i/2;
for(j=0;j<(high1-high2);j++)
{
    LCD_Command = SED1335_CSRW;
    LCD_Data = (BYTE)StartAddr;
    LCD_Data = (BYTE)(StartAddr<<8);
    LCD_Command = SED1335_MWRITE;
    LCD_Data = 0xc0;
    StartAddr=StartAddr + 40; // 计算下一行地址
}
}
}
}
}
. . . . . (以下程序略)

```

粒径与粒子数关系曲线的动态显示是 LCD 程序的一个重点, 需要显示 52 个通道, 每个通道都是一个柱状图形, 柱形图的横坐标是粒径, 纵坐标是粒子数, 条形柱的高度就代表了该粒径对应的粒子数。由于液晶屏幕大小有限, 要将 52 个通道的柱形图都显示, 则一个通道的图形宽度必须小于 8 个点阵, 即小于一个字节, 软件实现时是在一个字节中显示两个柱形图, 每个柱形图的宽占据两个点, 再隔两个点显示下一个图, 这样

加上间隔距离正好 8 个点显示两个柱形图。接下来的问题是: 液晶上显示柱状图是通过将相应的点赋值为 0 或 1, 且这种赋值是按字节来赋的, 而此处一个字节内有两个图形, 这两个图形的高度通常是不一样的, 所以程序中设了个变量 *diff*, 它是相邻两个图形的高度差所占据的行数, 对这些行赋值 0xc0 或 0x0c, 接下来的行没有高度差, 赋值 0xcc 即可。如图 8 所示是粒谱分布简单示意图。

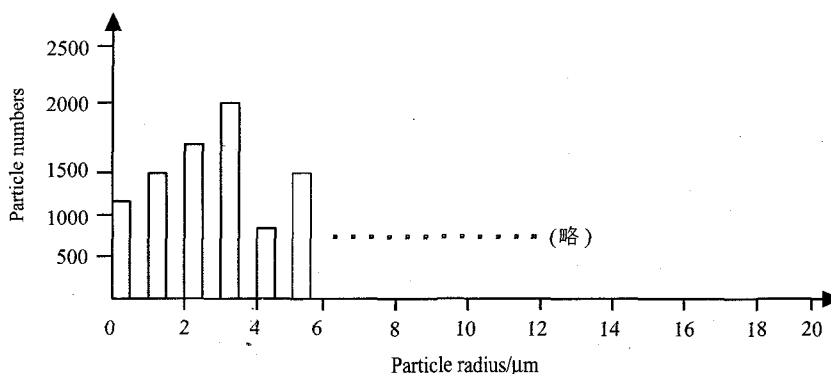


图 8 粒径-粒子数分布示意图

Fig.8 Distribution of particle numbers relative to particle radius

## 5 结 论

本文所设计的系统以 AVR 单片机系列芯片 ATMEGA128 为控制核心, 通过复杂的硬件电路采集粒子数据并存储, 软件上通过上、下位机的通讯对数据进行分析 and 处理后得到粒子的相关信息。整个系统实现了大气气溶胶粒子重要信息的实时、在线检测, 并把结果和仪器的状态信息通过液晶界面显示出来, 方便了人机交互。该系统已经过软件和硬件方面的严格测试和验证, 目前正处在试运行阶段并且运行稳定、可靠。不久该系统将会投入到环境气体监测中, 在空气质量监测领域发挥举足轻重的作用。

### 参考文献:

- [1] Atmel Corporation. ATmega128 Datasheet[OL]. <http://www.atmel.com>.
  - [2] Tang Jianling, Gao Yu. The application of USB communication chip CH375 in data exchange[J]. *Electronic Engineer*, 2007, **33**(10): 61-63(in Chinese).
  - [3] Li Yaoqiu, Wang Zhixing, Yuan Jiren. Digital reformation of optical level based on AVR MCU[J]. *Jiangxi Science*, 2006, **24**(6): 496-499, 512(in Chinese).
  - [4] Zhou Yanrong, Zhang Maoqing. SED1335 LCD display concept based on TMS320LF2407A control[J]. *Electronic Engineer*, 2006, **32**(5): 42-44, 65(in Chinese).
  - [5] Weng Lihua, Gu Yaolin. Multi-channel data acquisition device based on ATmega128[J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2007, **8**: 53-55(in Chinese).
- 李要球, 王志兴, 袁吉仁. 基于 AVR 单片机的光学水准仪数字化改造 [J]. *江西科学*, 2006, **24**(6): 496-499, 512.
- 周艳荣, 张茂青. 基于 TMS320LF2407 控制的 SED1335 液晶显示方案 [J]. *电子工程师*, 2006, **32**(5): 42-44, 65.
- 翁丽华, 顾耀林. 基于 ATmega128 的多回路数据采集器 [J]. *仪表技术与传感器*, 2007, **8**: 53-55.

作者简介: 汪 芳 (1984-), 女, 在读研究生, 从事电子学方面的研究。