

# 基于 Modbus 协议的 ZigBee 瓦斯检测器的设计

李鹏博<sup>1</sup>, 赵春燕<sup>2</sup>

(1. 河北工程大学 信息与电气工程学院, 河北邯郸 056038, 2. 中国科学院 计算技术研究所, 北京 100190)

**摘要:**针对传统瓦斯检测仪器存在的测量范围小, 布线不便等不足, 设计了一种基于 Modbus 协议的 ZigBee 瓦斯检测器。该系统以 AVR 的 atmega169PA 为核心, 利用智能型非色散红外瓦斯传感器构成瓦斯检测电路, 运用 ZigBee 远程传输与上位机实现信息共享, 通过 Modbus 总线协议实现多地点组网测量。结论证明此设计提高了瓦斯浓度的测量范围, 减少了铺设线路带来的浪费与不便, 可形成大面积区域性的多点检测, 具有较高的应用价值。

**关键词:**红外瓦斯传感器; 温湿度传感器; Modbus 总线协议; ZigBee 网络; 组网测量

中图分类号: TD712

文献标识码: A

## Design of ZigBee mashgas detector basing on Modbus Protocol

LI Peng-bo<sup>1</sup>, ZHAO Chun-yan<sup>2</sup>

(1. College of Information & Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056038, China;

2. Institute of computing technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of small measurement range, low precision, wiring inconvenience of traditional mashgas detection instruments, a ZigBee mashgas detector based on Modbus Protocol was designed. This paper used AVR Atmega series microcontroller 169PA as the core controller, and used intelligent non-dispersive infrared mashgas sensor to form detection circuit, and used ZigBee remote transmission to communicate with the host computer to share information, multipoint measurement was realized by Modbus communication protocol. The conclusion proves that the design improves the measurement range of mashgas concentration and reduces waste and inconvenience brought by laying line, the results can form more large areas of detection, and has a high application value.

**Key words:** infrared mashgas sensor; temperature and humidity sensor; Modbus fieldbus protocol; ZigBee network; network measurement

随着我国煤炭需求量逐年增加, 煤矿开采的深度越来越大, 瓦斯的含量和压力也随之增加, 这导致了煤矿瓦斯事故频频发生, 严重损害了我们的生命财产安全, 制约了经济的发展。瓦斯事故发生的主要原因是瓦斯浓度达到了一定的浓度值<sup>[1]</sup>。因此, 对瓦斯的检测非常重要。由于传统催化燃烧式传感器存在测量范围窄<sup>[2]</sup>, 容易受其他气体干扰和调校困难等缺点<sup>[3]</sup>, 而基于气体对特征光谱吸收原理的非色散红外瓦斯传感器, 具有检测精度高, 检测范围宽, 使用寿命长等优点<sup>[4]</sup>, 是一种快速、准确的气体检测和分析技术。又因为传统有线仪表在铺设电缆成本太高或难于

铺设电缆的场合无法应用, 因此, 本文采用非色散红外瓦斯传感器, 结合 ZigBee 通信和 Modbus 协议来设计瓦斯检测器。

### 1 检测器硬件设计

瓦斯气体检测器以 AVR 8 位单片机 atmega169PA 为核心控制器, 使用非色散红外瓦斯传感器检测瓦斯气体, SHT21 检测温度和湿度, 通过四个按键和 LCD 液晶与用户交互, 用蜂鸣器和报警灯来发出报警信息, 用 2 路继电器控制电源通断, 使用 ZigBee 与监控中心进行 Modbus 通信。可以做到实时监测任意地点的瓦斯浓度情况。系

统总体设计如图 1 所示:

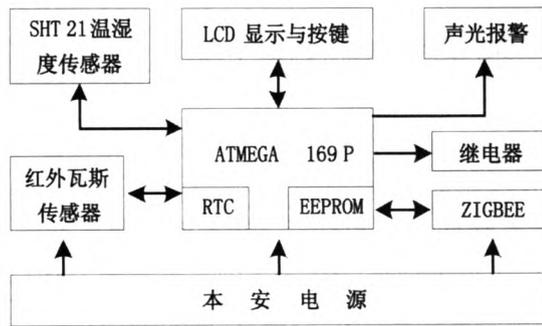


图1 系统结构图

Fig.1 The diagram of system structure

### 1.1 瓦斯传感器

由于每种气体分子具有不同的原子结构,而不同的原子结构会吸收不同频率的光子,通过对气体分子吸收光谱强弱的测量,可以分辨出气体的种类,并计算出浓度值。本文所采用的瓦斯传感器就是利用这个原理工作的。它由一个红外光源,滤光片,气室和一个光强测量部件组成。光源发出的光,经过滤光片后,只有能被瓦斯气体吸收的光透射到气室,这样可以排除其他气体的干扰,从气室透射出的光被光强测量部件接收。根据 Lambert - Beer 定律,

$$I(v) = I_0(v) \exp(-a(v)CL) \quad (1)$$

式中  $I(v)$  - 从气室透射出光的光强;  $I_0(v)$  - 照射进气室光的光强;  $a(v)$  - 气体的吸收系数;  $C$  - 所要计算的气体体积分数;  $L$  - 光在待测气体中的光程。

经过其内置的智能芯片对采集值进行温度补偿,转换成数字信号,由标准 TTL 电平串口输出。用户通过相关的命令可以得到相应的信息。其与传统催化燃烧式传感器相比,测量范围宽,测量准确,不易中毒。将其与单片机的模拟串口相连即可完成硬件部分的设计。

### 1.2 温湿度传感器

通过 SHT21 传感器实现对矿井等环境的温湿度的感知。SHT21 具有标准 I2C 接口,分辨率默认为 12/14bit 的湿度/温度(可更改),自带校验功能。因为 SHT21 使用 3.3V 电压工作,与单片机的工作电压存在压差,导致 I2C 通信异常,所以需要 一个 5V 与 3.3V 异压双向信号传输电路,本设计使用两个 BSN20 场效应管来搭建,电路如图 2 所示:

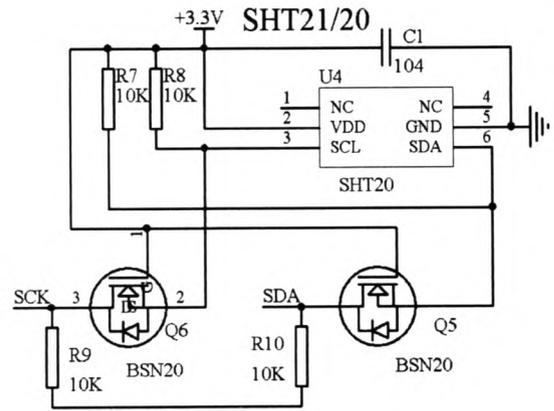


图2 5V和3.3V双向信号传输电路

Fig.2 5V and 3.3V double direction signal transmission circuit diagram

由于 atmega169PA 单片机没有集成 I2C 硬件端口,所以使用单片机的 PF0 和 PE6 管脚通过软件来模拟,PF0 作为 SCL,PE6 作为 SDA。SHT2x 系列的传感器的时钟频率上限为 0.4 MHz,即时钟周期不能小于 2.5 us,过高的时钟频率易使传感器过快老化。

### 1.3 系统显示

气体浓度的读数以及系统参数的设置通过 LCD 来显示。采用定制的 LCD 液晶屏,直接使用单片机集成的 100 段 LCD 控制器,将 LCD 的 COM1 ~ COM4,SEG1 ~ SEG25 引脚与单片机定义的 LCD 驱动引脚相连。上端显示温度和湿度值,下端显示气体浓度值。设置系统参数时,上端显示参数序号,下端显示参数值。

### 1.4 系统通信

检测器与控制中心的通信采用 Modbus 协议,因为 Modbus 协议用地址区分设备,所以可以将很多设备组成网络来测量多点数据,以 ZigBee 的方式来承载。ZigBee 网络耗电少,通信可靠,成本优势明显,可构成区域性的大网络,有加密算法保证安全,经过扩展传输距离可达几公里远,可广泛应用于各种工业及自动控制领域<sup>[5]</sup>。在本系统中以华为 ZigBee 模块 coordinator 为通信收发单元,将模块设置为透传模式,与单片机串口相连实现数据的读写。结合 router 模块,将数据最终传送到监控中心。

### 1.5 继电器输出

系统有两路继电器输出,第一路在瓦斯浓度

达到报警值时断开,第二路在瓦斯浓度达到报警值时闭合。这样可以灵活选择检测器的工作方式,需要在瓦斯浓度达到报警值时断开某些工作设备的供电的,接第一路继电器;需要在达到报警值接通供电的,接第二路继电器,例如风机等。

## 2 系统软件设计

按照将各个功能模块化的思路,设计系统软件,主流程图如图3所示。

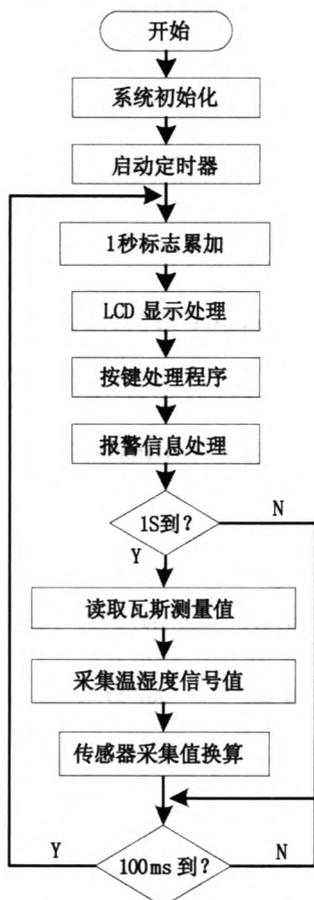


图3 程序流程图

Fig.3 The diagram of program flow

上电后系统初始化,包括各硬件模块的初始化和各种工作参数的初始化。然后启动定时器,在 100 ms 的中断处理程序中处理 LCD 显示扫描,按键扫描,报警标志扫描,1 s 标志累加。当时间达到 1 s 时,在 1 秒中断处理程序中读取瓦斯数字信号值、温度值和湿度值,并对其进行滤波和换算。

例如,当按钮被按下时,程序跳转到按键处理部分。用户可以修改仪器的 Modbus 地址,波特率等通信参数,以及温湿度补偿值等等。没有按钮按下,则进行正常的采集和显示。如果有通信中断发生,则程序转到通信子程序中运行,进行数据

的解包打包收发。

### 2.1 瓦斯值读取

通过模拟串口与瓦斯传感器的命令交互,可以得到瓦斯的数字信号测量值。为了防止矿井下的噪声干扰,这里对瓦斯的读取值采用软件滤波的方法。建立一个 12 个元素的数组,存取最近 12 次瓦斯的读取值。以后每读取一次数据,就去掉一个最早的读数值,保证 12 个数据是最新的。然后去掉 12 个数里的最大值和最小值,对剩下的数求平均值,以这个平均值作为每一次测量的读数。

### 2.2 温湿度采集换算

I2C 通信需要严格的时序,起始信号 S - 之后,往总线上发送十六进制数 0X80,表明是写入操作,然后器件会回复一个应答信号 ACK。延时一段时间,往总线上发送十六进制数 0XFE,表明器件地址,地址为 0XFE 的器件会发送一个应答信号 ACK,接着主机发送一个停止信号 P -,结束本次通信。

另起一个通信,表明写入操作后,发送十六进制数 0XE3 命令字,表示开启温度测量,ACK 应答后发送十六进制数 0X81,表示准备读取测量值。温度值默认为 14 位精度,以 0x69D4 为例,前 14 位代入温度换算公式:

$$T = -46.85 + 175.72 \times \frac{S_t}{2^{16}} \quad (2)$$

式中  $S_t$  - 读出的测量值,  $T$  - 室内的实际温度值,  $^{\circ}\text{C}$ 。

即可算出当前温度,湿度的计算同此。若要转成华氏度,需按式(3)进行换算。

$$T_h = T_c \times \frac{9}{5} + 32 \quad (3)$$

### 2.3 Modbus 协议实现

Modbus 协议完全开放,被广泛的支持和使用<sup>[6]</sup>。工业上通常采用的通信模式为 RTU(远程终端单元)模式,每两个十六进制的字符构成一个 8 位的信息字节。这种通信方式的优点是:波特率相同时,可以比 ASCII 方式传送更多的信息。Modbus 协议帧格式见表 1。

当设备监测到主机查询命令时,进入中断子程序,首先根据自己的地址判断该信息是否是发给自己的,如果是则继续接收;如果不是,则不接收并退出子程序。信息被成功识别并接收后,从

机根据信息中的命令字判断是几号命令,并跳转到相关命令的打包程序中去。常用到的命令有:1号命令查询继电器线圈状态,3号命令读取内部保持寄存器,4号命令读取输入寄存器,6号命令写入单个寄存器等。从机根据主机所的命令,进行数据打包或者执行相应的动作,然后把信息发送到485网络上,回复给主机。

表1 系统通信帧格式

Tab.1 System communication frame format

序号	主机命令帧组成		从机数据帧组成	
	帧元素	所占字节	帧元素	所占字节
0	设备地址	1byte	设备地址	1byte
1	命令字	1byte	命令字	1byte
2	起始寄存器	2byte	数据数量	2 byte
3	寄存器数量	2byte	数据内容	N byte
4	CRC 校验	2byte	CRC 校验	2byte

### 3 实验验证

在气体标定柜中,验证2台检测器的测量效果。向气体标定柜中冲入纯净的甲烷气体和净化空气混合,配成 $(0 \sim 12000) \times 10^{-6}$ 范围内不同浓度的瓦斯气体,在不同进气流速和温度下验证检

测器的准确度。

首先,在10℃时用两台检测器测定不同浓度的瓦斯气体,数据如表2所示。然后,将标定柜升温到30℃,用净化空气冲洗标定柜,重新冲入纯净的甲烷气体和净化空气混合,调整二者比例得到不同浓度的待测气体,测试数据如表3所示。

由实验结果可以看出,检测器的最大误差为0.51%,在提高了瓦斯浓度检测范围后,检测的准确度依然符合要求,显示出了红外瓦斯气体传感器测量范围大,测量准确度高的优良特性。

### 4 结语

本文设计的瓦斯检测器,采用非色散红外瓦斯传感器,使瓦斯浓度的检测范围得到了提高,避免了催化燃烧式传感器检测范围窄、易中毒等缺点。利用数字滤波方法大大提高了检测的稳定性。检测器使用 ZigBee 通信方式,节省了线材,便于布设,结合 Modbus 协议可以实现仪器的组网多地点、远距离、区域性的测量,便于搭建高可靠性的集中统一监控系统,应用前景广阔。

表2 10℃时两台仪器测试数据

Tab.2 Two instrument testing data at 10℃

浓度%	1.0	4.0	7.0	10.0	30.0	60.0	80.0
数据1	1.00	4.00	7.01	10.04	29.87	60.23	81.37
数据2	1.00	4.00	7.00	10.01	29.90	60.27	81.41

表3 30℃时两台仪器测试数据

Tab.3 Two instrument testing data at 30℃

浓度%	1.0	4.0	7.0	10.0	30.0	60.0	80.0
数据1	1.00	4.00	7.00	9.97	30.03	60.20	81.35
数据2	1.00	4.00	6.99	10.01	29.91	60.17	81.38

### 参考文献:

- [1] 程远平,付建华,俞启香.中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2009,26(2):127-139.
- [2] 付华,刘娜,周坤,等.基于ATMEGA16的便携式瓦斯检测仪[J].传感技术学报,2012,25(9):1322-1326.
- [3] 张记龙,王志斌,李晓,等.基于气体特征光谱吸收

和谐波检测的瓦斯浓度测量技术[J].煤炭学报,2009,34(1):24-27.

- [4] 刘莉娜,刘任庆.瓦斯检测设备现状与对比研究[J].现代电子技术,2011,34(15):159-160.
- [5] 李文江,魏娟.ZigBee无线传感器网络在瓦斯监控系统中的应用[J].黑龙江科技学院学报,2008,18(6):414-417.
- [6] 高旭彬.基于MSP430单片机的Modbus协议软件设计方法[J].工矿自动化,2013,39(4):87-90.

(责任编辑 马立)