

基于AVR单片机的可燃气体报警系统设计

谭翠兰

(江汉大学 物理与信息工程学院, 湖北 武汉 430056)

摘要:利用Atmel公司的AVR单片机和日本Nemoto公司生产的催化燃烧式可燃气体传感器NAP-100AC设计了一套智能可燃气体报警系统,系统由可燃气体控制器和探测器组成,装于探测器上的传感器NAP-100AC用于检测可燃气体浓度,经过信号放大处理电路后由探测器进行AD采样,计算当前测试区域的气体浓度,控制器与探测器之间采用RS-485总线进行通讯。该系统能够在0%LEL~100%LEL范围内对甲烷浓度进行实时监测及动态显示,具有二级报警及历史数据查询等功能,可应用于城市可燃气体监测及工业可燃气体泄漏检测。

关键词:NAP-100AC;催化燃烧;爆炸下限;可燃气体;报警

中图分类号:TH89 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-0143(2016)-0339-08

DOI:10.16389/j.cnki.cn42-1737/n.2016.04.009

Design of Combustible Gas Alarm System Based on AVR MCU

TAN Cuilan

(School of Physics and Information Engineering, Jianghan University, Wuhan 430056, Hubei, China)

Abstract: Intelligent combustible gas alarm system is designed based on AVR series microcontroller and catalytic type gas sensor of NAP-100AC. The system is composed of combustible gas controller and detector, NAP-100AC is employed to convert chemical signal into electric signal and this signal will be amplified by circuit, and the detector calculated out the gas concentration of current test area by sampling the output of amplified circuit. Controller communicated with detector by RS-485 bus. The calibration of the detector and the concentration calculation method are introduced in detail, and the reliability of the algorithm is testified by data. The system can monitor the combustible gas concentration within 0%LEL-100%LEL range, and it has the function of dynamic display, alarm and history data query. The system has broad application prospects in the field of urban combustible gas monitoring and industrial combustible gas leaking detection.

Keywords: NAP-100AC; catalytic burning; lower explosive limit (LEL); combustible gas; alarm

甲烷、一氧化碳、硫化氢等可燃易爆气体是造成煤炭、石化等生产领域中重大安全事故的来源之一^[1]。在此类生产过程中可燃气体易发生泄漏,一旦空气中的可燃气体积累到爆炸极限,便极易发生火灾、爆炸等安全事故。因此,在安全生产中需要对这些环境中的易燃易爆气体进行实时监测^[2]。本文设计的可燃气体报警系统能够实时监测空气中被测区域多点的可燃气体浓度及相关信息,并具有联动功能。

收稿日期:2016-04-14

作者简介:谭翠兰(1981—),女,实验师,硕士,研究方向:检测与自动控制。

1 系统组成与设计原理

报警系统主要由可燃气体控制器和可燃气体探测器组成,系统采用主从式结构,原理框图见图1。系统的工作原理是通过可燃气体控制器巡检探测器,探测器检测气体浓度并判断是否达到报警值,若达到则将报警信号反馈到控制器^[3]。控制器与探测器之间采用RS-485总线进行通信,RS-485总线只是一个硬件标准,设计者可根据要求自己定义通讯协议。此系统中,可燃气体控制器为主设备,所有的探测器为从设备,控制器巡检探测器时,向探测器发送带有地址信息的数据帧,若探测器收到的数据帧地址信息与自身一致,则向控制器反馈当前环境气体浓度及自身状态的相关参数作为应答;若不为自身地址,则不应答。控制器能以广播方式向所有探测器发送命令,适用于对探测器出厂前的调零与标定。

2 硬件组成和设计

2.1 可燃气体控制器设计

图2是可燃气体控制器的总体设计框图,控制器采用220 V市电供电,电源管理模块可以选择220 V转24 V的AC/DC转换器,然后再将24 V转换为各个电路模块需要的供电电压。

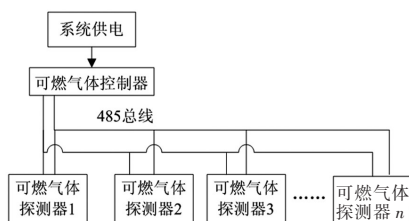


图1 系统原理框图

Fig. 1 System block diagram

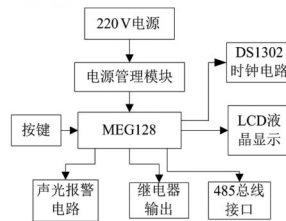


图2 可燃气体控制器总体框图

Fig. 2 Block diagram of combustible gas alarm controller

可燃气体控制器的主控芯片选用Atmel公司的ATmeg128单片机,它采用5 V供电,具有128 K flash的程序存储空间;4 K内部EEPROM可用于记录报警故障等信息;两个可编程的串行USART可以方便地将串口转换为485总线接口^[4],控制器采用USART串口转换为RS-485的接口电路如图3所示,PB0为单片机IO口。

控制器采用320×240点阵LCD液晶显示,时钟电路设计为掉电时钟不丢失。在LCD显示主界面可实时显示当前监测环境是否正常,并可查询每路探测器节点环境区域的当前气体浓度。控制器具有报火警及故障功能并能记录事件发生的时间,火警设有一级报警和二级报警功能,一级报警小于或等于25%LEL,二级报警小于或等于50%LEL。报警值可由用户输入密码设定,当有一级报警发生时,可通过继电器输出动作接通警铃提示用户。二级报警具有联动控制功能,继电器的输出节点信号供连锁保护系统使用,比如自动执行安全停车系统、启动自动灭火系统、打开通风系统、切断可燃气体供应管道阀门等^[5]。继电器控制电路见图4。

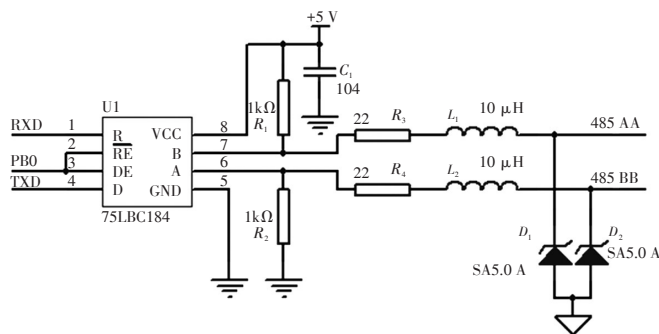


图3 串口转RS-485电路

Fig. 3 Converting circuit from serial to RS-485

图4中,J1选用24V磁保持继电器,用单片机的PB1口线控制继电器的置位和复位,当PB1=1时,Q1导通,Q2截止,set端为低电平,reset端为高电平,继电器动作置位,从而使用户端子L₊和L₋得电,可控制风机或警铃等外部设备。当PB1=0时,Q1截止,Q2导通,set端为高电平,reset端为低电平,继电器复位,外部设备将断电。

2.2 可燃气体探测器设计

图5为可燃气体探测器的总体设计框图,探测器所用电源为工业现场24V电源,将其分别经电源模块转换成5V给单片机系统供电,转换为2.6V给传感器供电。探测器主控芯片采用TQFP封装的ATmeg8单片机,它内部自带8路10位AD转换^[6],采集传感器经放大电路处理后的AD值,并将该值转换为气体浓度在自带LED数码管上显示,同时可通过总线反馈给控制器。传感器的短路或断路故障及火警信息由探测器进行判断,通过485总线将信息反馈到控制器。红外接口电路方便为探测器进行地址编码设定。

传感器所用2.6V电源转换电路采用MC3306A开关电源芯片,典型电压产生电路如图6所示。其输出电压的计算公式为 $1.25 \times (1 + R_{12} / R_{11})$ 。为保证输出电压精确,图中所用电阻R₁₁和R₁₂必须为1%的精密电阻。

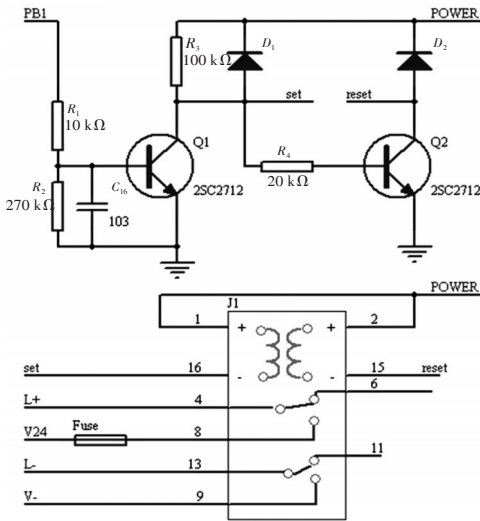


图4 继电器控制电路

Fig. 4 Control circuit for relay

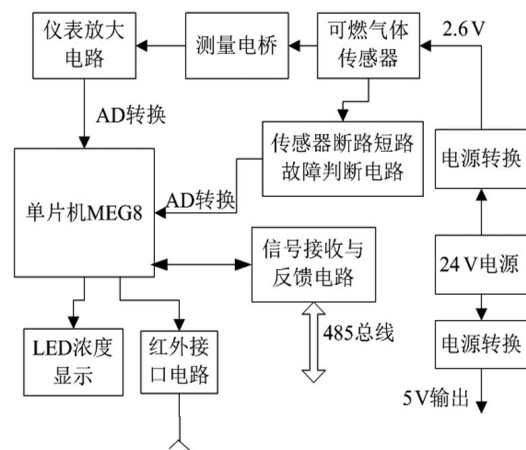


图5 可燃气体探测器总体框图

Fig. 5 Block diagram of combustible gas detector

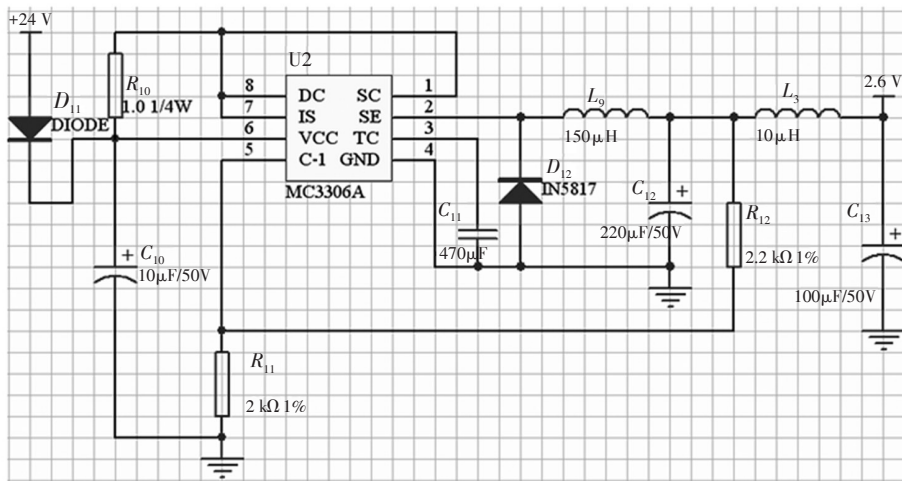


图6 2.6V电源转换电路

Fig. 6 Circuit of power supply (2.6V) for sensor

2.3 传感器原理和检测电路

催化燃烧式气体传感器对绝大多数可燃气体有反应,对于可燃气体爆炸下限以下浓度的气体含量,其输出信号接近线性,且对不可燃气体没有反应,并且不受水蒸气的影响。当低于爆炸下限的易燃气体接触这种催化物覆盖的传感器表面时会发生氧化反应而燃烧,气体燃烧时释放出热量,导致铂丝温度升高,从而使其电阻阻值发生变化,将铂丝电阻放在一个电桥电路中,测量电桥的输出电压即可反应出气体的浓度^[7]。探测器电路设计中选用Nemoto公司生产的一致性和稳定性较好的催化燃烧气体传感器NAP-100AC,该传感器的额定工作电压为 $(2.6 \pm 0.13) \text{ V}$ 。气体检测的基本测量电路如图7所示,其采用催化燃烧的原理,由检测元件(D)、补偿元件(C)和电阻 R_1 、 R_2 以及可调电阻 VR 组成惠斯通电桥电路^[8]。正常情况下,电桥是平衡的,输出电压为零,当有可燃气体存在时,可燃气体在载体表面及催化剂的作用下发生无焰燃烧释放的热量会使测量电桥失去平衡,从而使电桥输出电压差 V_{out} ,该值与可燃气体浓度成正比,通过测量 V_{out} 的值便可检测可燃气体的浓度。

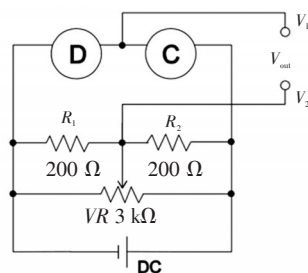


图7 传感器电桥测量电路

Fig. 7 Wheatstone bridge for sensor

因电桥的输出电压 V_{out} 为mV级,故需要对电压差 V_{out} 进行放大处理,图8是在工程实践中应用很广的具有高输入阻抗和低输出阻抗的仪表放大电路。

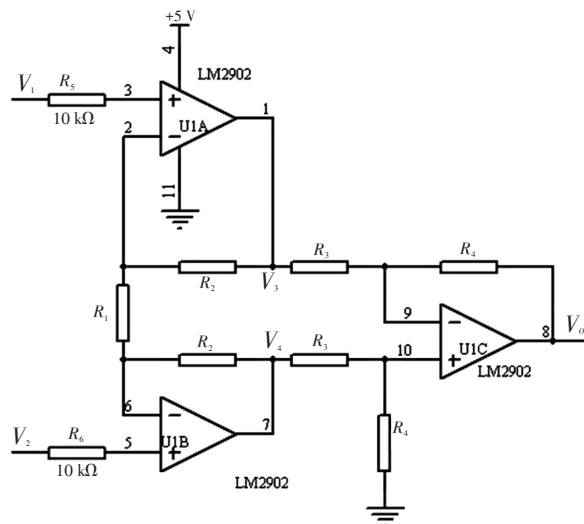


图8 仪表放大电路

Fig. 8 Amplifying circuit

LM2902是四输入运放,此放大电路由运放U1A、U1B组成第一级差分式电路,U1C组成第二级差分式电路。在第一级电路中,传感器测量电桥的输出电压 V_{out} 接到 V_1 、 V_2 两端, R_1 和两个 R_2 组成的反馈网络引入了深度电压串联负反馈,故它的输入电阻很高。U1A和U1B在同一个集成运放里,具有相同特性,因此它们的共模输出电压和漂移电压也都相等,再通过U1C组成的差分式电路可以互相抵消,故它有很强的共模抑制能力和较小的输出漂移电压,同时该电路有较高的差模电压增益^[9]。两运放U1A和U1B的两个输入端形成虚短和虚断,记 R_1 上的电压为 V_{R_1} ,则有

$$V_{R_1} = V_1 - V_2, \quad (1)$$

$$V_{R_1}/R_1 = (V_3 - V_4)/(2R_2 + R_1), \tag{2}$$

由(1)式和(2)式得

$$V_3 - V_4 = (1 + 2R_2/R_1)(V_1 - V_2), \tag{3}$$

对于第二级差分式电路,其输出电压 V_o 为

$$V_o = R_4(V_4 - V_3)/R_3 = R_4(1 + 2R_2/R_1)(V_2 - V_1)/R_3. \tag{4}$$

经过放大处理后,输出电压 V_o 可直接送到 ATmega 8 单片机的 AD 采样端 RC1 口进行测量,适当选取放大电路中 $R_1 \sim R_4$ 的值,让输出电压 V_o 控制在单片机的测量范围之内。

3 探测器标定与软件设计

3.1 探测器标定

因传感器存在个体差异,为保证传感器准确检测气体浓度,需在出厂前对可燃气体探测器进行标定。这里的标定是记录探测器在某一气体浓度下对应的电压输出 AD 值,通过红外线分析仪检测当前的气体浓度,当达到需要标定的浓度值时,通过控制器发送标定命令可让探测器记录与此浓度对应的 AD 值,并将该值与此刻浓度保存在单片机内部 EEPROM 中。采用相对 AD 使变送器校正变得简单,只要将气体探测器放在洁净空气中调零一次就可以避免零点漂移干扰。

可燃气体探测器检测气体的关键元件为传感器 NAP-100AC,该传感器经测量电桥及放大电路输出的电压与处于爆炸下限的气体浓度基本呈线性关系,经过大量实验数据测得 NAP-100AC 检测甲烷的曲线如图 9 所示,在 50%LEL 处划界将气敏响应曲线分为两段,记第①段 0%LEL ~ 50%LEL 的斜率记为 k ,在相对坐标系可设曲线为 $y=kx$,那么第②段在 50%LEL ~ 100%LEL 之间的直线斜率约为 $0.7k$ 。

根据该传感器的特点,检测浓度可采用如下算法:标定时只标一个点,计算浓度时,将标定点浓度的 AD 值转换为 50%LEL 时的 AD 值参与计算。若标定点的 AD 值低于 50%LEL 时的 AD 值,计算 50%LEL 浓度对应的 AD 值则按前一段斜率 k 来计算;若标定点的 AD 值高于 50%LEL 时的 AD 值,则按后一段的斜率 $0.7k$ 来计算。

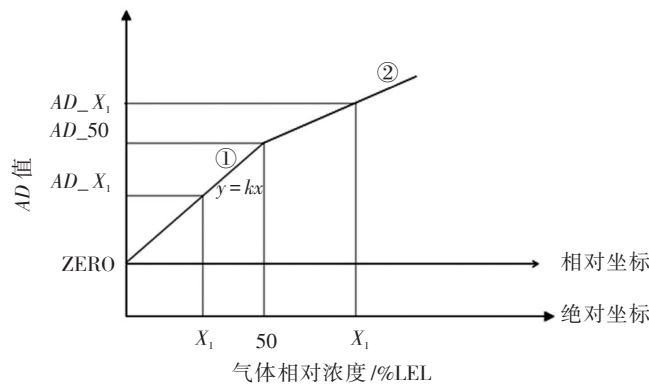


图 9 气敏响应曲线

Fig. 9 Gas sensitive response curve

如图 9 所示,假设标定点为 X_1 ,除零点 ZERO 为绝对坐标 AD 值外,其余的 AD 值均在相对坐标系里取值(相对于零点 ZERO 的 AD 值),记标定点的相对 AD 值为 AD_X_1 ,标定点的浓度值为 X_1 ,记 50%LEL 浓度的相对 AD 值为 AD_50 ,先将标定点的 AD 值转换为 50%LEL 的 AD 值,分两种情况:

- 1) 若 $X_1 \leq 50$,则 $AD_X_1/AD_50 = X_1/50$,求得 $AD_50 = 50AD_X_1/X_1$;
- 2) 若 $X_1 > 50$ (注:第二段与第一段斜率之比为 0.7),设第一段斜率为 k ,则 $0.7k = (AD_X_1 - AD_50)/(X_1 - 50) = (AD_X_1 - 50k)/(X_1 - 50)$,

推导得

$$0.7kX_1 - 35k = AD_{X_1} - 50k,$$

求得斜率 k 的表达式为

$$k = AD_{X_1} / (0.7X_1 + 15),$$

故求得 50%LEL 时的 AD 值为

$$AD_{50} = 50k = (50AD_{X_1}) / (0.7X_1 + 15)。$$

一旦标定一个点后,便可按上式求得 50%LEL 时的 AD 值,那么当前的浓度可根据当前采集的相对 AD 值来计算,即已知 AD_{X_1} 和 AD_{50} ,求浓度 X_1 ,下面分两种情况:

- 1) 若 $AD_{X_1} \leq AD_{50}$, 则 $AD_{X_1} / AD_{50} = X_1 / 50$, 推得 $X_1 = 50AD_{X_1} / AD_{50}$;
- 2) 若 $AD_{X_1} > AD_{50}$, 则

$$X_1 = 50 + (AD_{X_1} - AD_{50}) / (0.7k) = 50 + [(AD_{X_1} - AD_{50}) / 0.7] (50 / AD_{50}) = 50 + 500 / 7 (AD_{X_1} - AD_{50}) / AD_{50}。$$

3.2 探测器软件设计

可燃气体探测器 AD 采样子程序编写如下,其中数组 Data[4] 存放最近 4 次的 AD 采样值,counter 用于记录采样的次数,当次数大于 10 次时跳出采样的 for 循环,当最近 4 次的采样值基本一致时也退出采样的 for 循环。该子程序如下编写保证了所采样的 AD 值稳定^[10]。

```
#define VALUE 3 //常量 VALUE 可定义为一较小值
ADCSRA = 0XC3; //ADC 使能,8 分频
ADMUX = 0x21; //选择 RC1 通道进行 AD 采样
for (Vmax=20, Vmin=0; Vmax > (Vmin+VALUE);)
{
    counter++;
    if (counter >= 10)
        break;
    Data [3] = Data [2];
    Data [2] = Data [1];
    Data [1] = Data [0];
    while (!(ADCSRA & (1<<ADIF))); //等 ADC 准备好
    Data [0] = ADCH;
    Vmin = Data[0]; //Vmin 为 AD 采样最小值
    Vmax = Data[0]; //Vmax 为 AD 采样最大值
    //保存此轮采样的 AD 最大值与最小值
    for (i=0; i<4; i++)
    {
        if (Data [i] > Vmax)
            Vmax = Data [i];
        if (Data [i] < Vmin)
            Vmin = Data [i];
    }
}
per_ad1 = ADCH; //保存当前浓度对应的 AD 值
ADCSRA &= 0X7F; //关断 ADC 功能
```

可燃气体探测器的软件流程图见图 10。

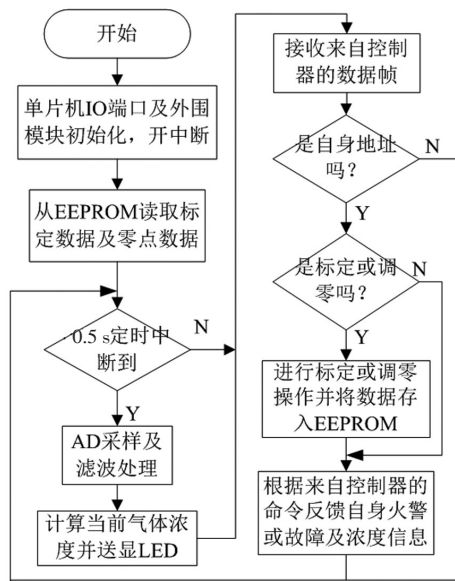


图 10 可燃气体探测器软件主流程

Fig. 10 Software flowchart of the gas detector

可燃气体控制器软件主要对探测器按地址进行巡检,探测器被巡检到时会把自身状态(火警、故障或正常)反馈给控制器,控制器可对探测器进行标定、调零等特殊操作,能对历史数据及事件进行查询,对探测器浓度进行动态曲线显示,能进行报警连锁控制等。控制器的主流程见图 11。

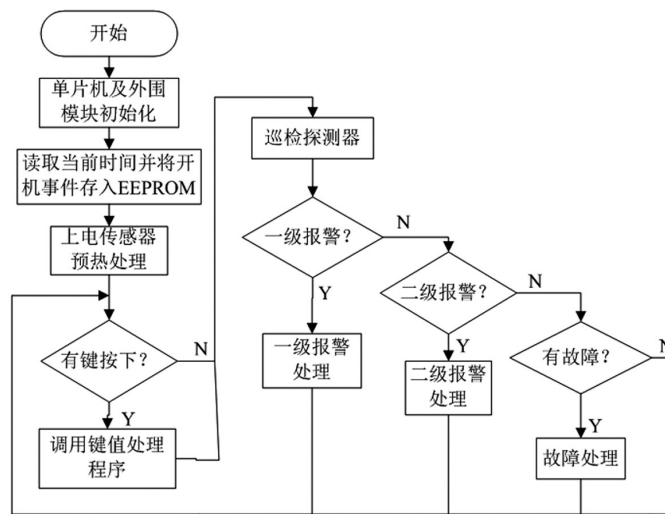


图 11 可燃气体控制器软件主流程

Fig. 11 Software flowchart of the controller

4 实验结果

实验环境为甲烷-空气混合气体测试环境,测试前先将一组探测器放在洁净空气中调零一次,可由控制器发送调零命令让每个探测器采样零点时的输出端 AD 值,并将其存储在 EEPROM 中。

图 12 是红外分析仪和探测器测得的浓度与探测器输出端电压对应关系曲线,横坐标为相对浓度,单位%LEL;纵坐标为传感器经放大电路后的输出电压值,单位为 V。

由图 12 可知,探测器测得的可燃气体浓度与标准浓度基本一致。对实验数据进行分析可知,探测器经过标定后有很好的测量精度,气体浓度监测精度可控制在 3%LEL 以内,满足国家标准中关于可燃气体控制器显示当前气体浓度误差不超过±5%LEL 的要求^[11]。

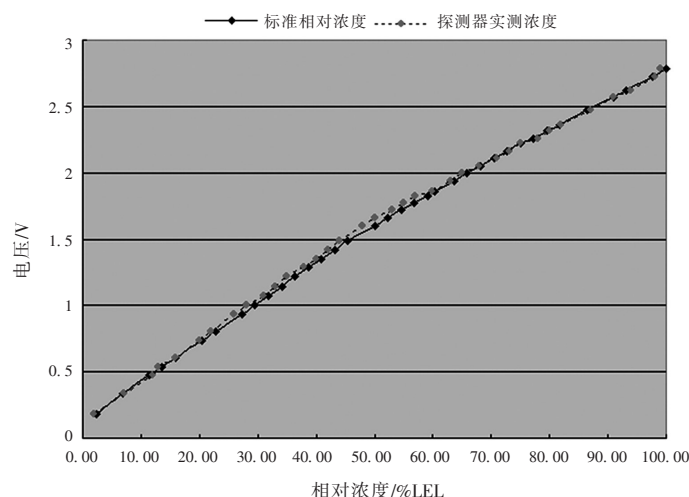


图12 浓度电压对应关系图

Fig. 12 Relationship of concentration and voltage

5 结语

利用NAP-100AC和AVR系列MCU设计的可燃气体报警系统可以监测被测区域多点的状态,能实现对被测区域可燃气体浓度的高精度测量和智能化处理。该系统的安装和使用能对燃气泄漏及时准确报警,提醒人员撤离或采取相关措施,确保了安全生产。系统可广泛应用于煤矿、石化场所、城市燃气站等有燃气监测和报警需要的应用领域。

参考文献 (References)

- [1] 熊贤志, 吴汉华. 基于MSP430的可燃气体报警系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2005(7): 59-60.
- [2] 禹春生, 王朝晖, 焦斌亮. 具有无线收发功能的可燃气体检测装置[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(6): 118-119, 127.
- [3] 包立, 王晓荣. 基于SI4432的可燃气体报警仪设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010(9): 30-32, 35.
- [4] 丁化成, 耿德要, 李群凯. AVR单片机应用设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 151-157.
- [5] 宋勇刚. 一般场所可燃气体探测报警系统的设置[J]. 河南城建学院学报, 2009, 18(3): 25-27.
- [6] 马潮, 詹卫前, 耿德根. ATmega8原理及应用手册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 7-11, 150-161.
- [7] 郁有文, 常健, 程继红. 传感器原理及工程应用[M]. 4版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014: 264-266.
- [8] 根本传感技术株式会社. 民用传感器NAP-100系列[EB/OL]. [2015-09-24]. <http://www.nemoto.co.jp/cn/products/sensor/PDF/NAP-100.pdf>.
- [9] 康华光, 陈大钦. 电子技术基础: 模拟部分[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 1998: 332.
- [10] 陆旭明. 基于AVR单片机及MCGS软件的可燃气体检测系统[J]. 实验室研究与探索, 2014, 33(12): 126-130, 134.
- [11] 王湘云, 董大波, 吴南健, 等. 基于短距离无线/有线通信的燃气监测报警系统[J]. 电子技术应用, 2013, 39(7): 83-86.

(责任编辑: 曾 婷)