

# 基于 C8051F120 的可燃气探测器的设计

高国强<sup>1,2</sup>, 黄国梁<sup>2</sup>

(1. 南京工业大学 材料化学工程国家重点实验室, 南京 210009;

2. 无锡高顿传感技术有限公司 无锡(滨湖)国家传感信息中心, 江苏 无锡 214131)

**摘要:** 日常生产和生活中经常需要对可燃气体的浓度进行监控, 以往采用的基于半导体传感器的可燃气体探测器响应速度慢, 测量精度低, 提出一种基于催化燃烧型传感器和微控制器设计的可燃气体探测器; 以 C8051F120 微控制器为核心, 采用惠斯通电桥放大传感器的输出信号, 并采用 C8051F120 的 ADC 模块将模拟信号转换成数字信号, 同时采用微控制器控制继电器, 实现报警输出; 最终将可燃气体的浓度信息通过 C8051F120 的 UART 模块, 结合 MAX485 搭建的通信电路使用 MODBUS 协议发送出去; 在 20 °C、标准大气压条件下, 分别通 20LEL、50LEL、80LEL 的甲烷 (流量均为 1 L/min), 探测器测得的结果分别为 21LEL、50LEL、77LEL; 实验结果表明, 文章设计的探测器精度高、响应速度快、稳定性好, 具有很高的实用价值。

**关键词:** 可燃气体探测器; 微控制器; MODBUS 协议

## Design of Combustible Gas Detector Based on C8051F120

Gao Guoqiang<sup>1,2</sup>, Huang Guoliang<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Materials Oriented Chemical Engineering, Nanjing University of Technology,

Nanjing 210009, China; 2. Wuxi Golden Technologies, Wuxi (Binhu) National

Sensing Information Center, Wuxi 214131, China)

**Abstract:** The monitoring of the density of combustible gas is usually needed in daily production and life. The old detector based on semiconductor sensor has disadvantages, such as low response speed, low measurement accuracy. Propose a detector based on catalytic combustion sensor and MCU. The detector uses C8051F120 as the core MCU, and Wheatstone bridge to amplify the output signal of the sensor. The signal of Wheatstone bridge is then processed by the ADC module of C8051F120, besides this, C8051F120 controls the relay and achieves the alarm output. At last, the density of the combustible gas is transferred to the upper monitor by the UART part of the MCU and the digital communication circuit based on MAX485 with MODBUS protocol. In the conditions of 20 °C, standard atmospheric, aerate the detector with methane in the concentration of 20LEL, 50LEL, 80LEL respectively, the measurement result of the detector is 21LEL, 50LEL, 77LEL. The experimental results show that the detector has high precision, fast response, good stability and very high practical value.

**Key words:** combustible gas detector; catalysis combustion sensor; MCUs; MODBUS agreement

## 0 引言

近年来, 随着石油化工工业的发展, 易燃、易爆气体的种类和应用范围得到了增加, 这些气体在生产、运输和存储过程中一旦发生泄漏, 当体积分数超过爆炸极限后, 极易造成重大安全事故, 严重危害人民生命和财产安全。因此, 及时可靠地探测空气中可燃气体的含量显得尤为重要<sup>[1]</sup>。

可燃气体是指能够与空气 (或氧气) 在一定浓度范围内均匀混合形成预混气, 遇到火源会发生爆炸, 燃烧过程中释放出大量能量的气体<sup>[1]</sup>。检测可燃气体最有效、最经济的方法是利用催化燃烧<sup>[2]</sup>。本文使用超高速、低功耗的 8 位单片机 C8051F120, 结合无锡高顿传感技术有限公司生产的催化燃烧型可燃气体传感器 HC-9G, 设计了一种对可燃气体进行实时检测

和报警的探测器。探测器本身拥有数字通信功能, 符合 MODBUS 协议, 可以将检测到的可燃气体浓度传给上位机, 实现了对可燃气体浓度的远程监控。同时, 探测器本身有三路继电器输出, 可以在检测到可燃气体时做出相应的动作, 如启动声光报警等。

## 1 系统硬件设计

### 1.1 系统硬件框图

可燃气体探测器硬件电路如图 1 所示。其硬件电路主要由可燃气体信号采集及放大电路、数码管显示电路、数字通信电路、继电器输出电路等几个部分组成。探测器硬件电路的工作原理是: 可燃气体传感器将检测到的可燃气体浓度信息转换成电压信号, 信号采集电路采集电压信号并经过信号放大电路放大后接到单片机的 AD 转换模块, 单片机由转换得到的数字量计算出可燃气体的浓度, 并显示在数码管上, 同时将浓度信息通过数字通信电路传输给上位机。当可燃气体浓度超过报警下限值是, 单片机控制相应的继电器闭合, 并产生光报警信号。按键输入电路可以设定报警上下限, 并可以实现对探测器的标定。

收稿日期: 2013-10-16; 修回日期: 2013-12-25。

作者简介: 高国强 (1963-), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士, 主要从事气体传感器技术、纳米材料与纳米催化电极技术方向的研究。

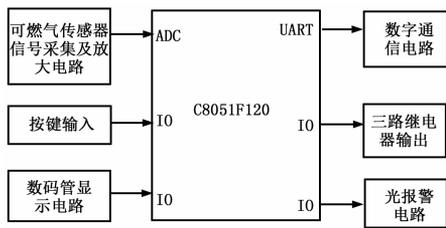


图 1 系统硬件电路框图

### 1.2 硬件选择

#### 1.2.1 可燃气体传感器 HC-9G 及其工作原理

HC-9G 是无锡高顿传感技术有限公司设计生产的高温可燃气体传感器，用于检测 LEL（爆炸下限）浓度级易燃易爆气和挥发性有机溶剂蒸汽如天然气、甲烷、已烷、乙烯、苯、丙酮等。HC-9G 气敏元件采用纳米材料技术和 RTD 级高纯铂丝，故准确、灵敏、稳定可靠、响应迅速。其外壳采用 316 不锈钢，并用耐高温材料灌封，因此可以在 200℃ 高温下使用。HC-9G 在适用温度范围内漂移很小，对湿度和气压不敏感，响应时间快，呈稳定的平台型响应，具有优越的准确性和长期稳定性。

可燃气体传感器 HC-9G 是由两个铂丝线圈组成的：一个线圈外裹覆催化材料作为活性元件；另一个线圈裹覆惰性材料作为温度补偿元件；在元件两端施加电压，将其加热到 400℃ 左右，当空气中含有可燃气体时，可燃气体在催化剂表面发生催化燃烧反应放出热量，使得活性元件的温度升高，铂丝的电阻值随着温度的升高而增大，如此便可以测得可燃气的浓度。

#### 1.2.2 核心单片机 C8051F120

探测器使用高速、低功耗 8 位单片机 C8051F120 作为系统的采集、计算和控制核心。该单片机拥有高速 8051 微控制器内核—CIP51，其最高指令执行速率可以达到 100 MIPS，128 KB 分区 Flash，256 字节数据 RAM，8 K 的外部数据存储地址空间和外部存储接口；同时它还有一个 12 位的逐次逼近型 AD 转换模块，以及两个 UART 串行端口，非常适合探测器的高精度、快速响应、数字通信等的应用。C8051F120 资源丰富，集成外设多，功能强大，可以很好地完成本系统的数据采集、计算以及对系统的控制任务<sup>[3]</sup>。

## 2 系统主要硬件电路

### 2.1 可燃气体传感器信号采集及放大电路

可燃气体传感器信号采集及放大电路如图 2 所示，当空气中含有可燃气体时，可燃气体在催化珠上的催化剂表面发生催化燃烧反应，放出热量，使得催化珠里的铂丝电阻阻值随着温度的升高而增大，但参考珠表面包裹的惰性材料不会与可燃气体发生反应，因此参考珠的电阻几乎没有改变，这样惠斯通电桥的平衡便被打破，有电压输出，输出电压的大小与检测气体的浓度呈正比<sup>[4]</sup>。HC-9G 传感器的灵敏度为 30 mV/1% CH<sub>4</sub>，甲烷在空气中的爆炸极限为 5%~15%，因此，对于爆炸下限（0%~5%）范围内的甲烷，HC-9G 输

出电压的范围为 0~150 mV。而单片机 ADC 模块的参考电压的范围为 0~3.3 V，因此还需对传感器输出的电压进行放大。放大电路采用了一级差分放大和一级反相放大电路，如图 2 所示。假设催化珠和参考珠之间的电压变化为  $\delta V$ （单位：V），输出电压的变化为  $\delta V_{out}$ （单位：V），则  $\delta V_{out}$  和  $\delta V$  之间的关系为<sup>[5]</sup>：

$$\delta V_{out} (V) = 20 * \delta V (V)$$

由上式得出，对于爆炸极限内的甲烷，图 2 所示电路输出

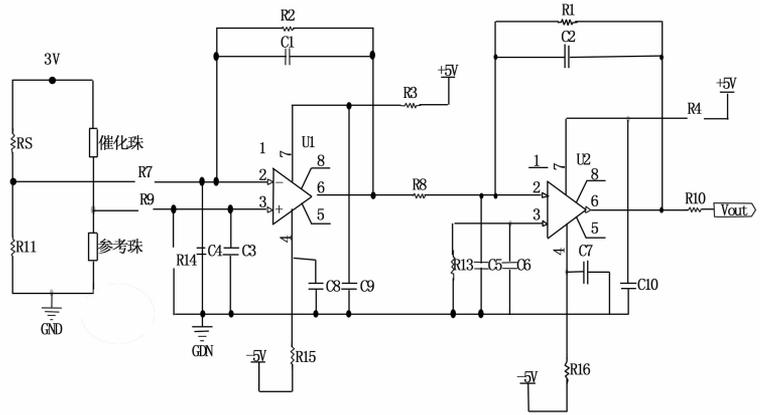


图 2 可燃气体传感器信号采集及放大电路

的电压范围为 0~3 V，这个电压范围充分地利用了单片机 AD 转换模块的参考电压，适合本系统的应用。

### 2.2 数字通信电路

数字通信电路如图 3 所示，图中 MAX485 实现 TTL 电平和 485 电平间的相互转换。RO 和 DI 端分别为接收器的输出和驱动器的输入端，与单片机相连时只需分别与 C8051F120 的 RX 和 TX 相连即可。RE 和 DE 端分别为接收和输入的使能端，将它们连在一起，接到单片机的 IO 口，当 IO 口输出高电平时，器件处于发送状态，当 IO 口输出低电平时，器件处于接收状态。R11 为 120 Ω 终端匹配电阻，在进行远距离高速数据通信时，应在 RS485 总线电缆的开始和末端都接上终接电阻，其阻值大小等于传输电缆的特性阻抗，一般取 120 Ω。由于 MAX485 芯片的特性，接收器的检测灵敏度为 ±200 mV，即差分输入端  $V_A - V_B \geq +200 \text{ mV}$ ，输出逻辑“1”， $V_A - V_B \leq -200 \text{ mV}$ ，输出逻辑“0”；而 A、B 端电位差的绝对值

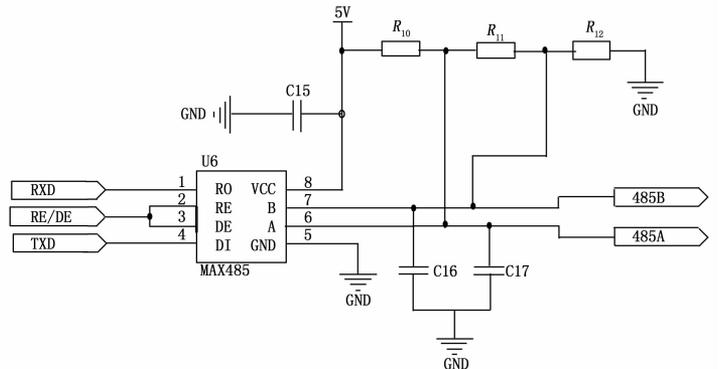


图 3 数字通信电路

小于 200 mV 时, 输出不确定。如果在总线上所有发送器被禁止时, 接收器输出逻辑“0”, 这会误认为通信帧的起始引起工作不正常。因此, 在 A、B 输出端加上上拉、下拉电阻  $R_{10}$ 、 $R_{12}$ , 这样在总线悬浮时, RX 端呈现唯一的高电平, 微控制器不会被误中断而收到乱码<sup>[6]</sup>。

### 2.3 继电器输出电路

继电器输出电路如图 4 所示。本系统中使用的继电器型号为 RY211024, 其工作电压为 24 V, 额定功率为 8 A 250 VAC。采用光电耦合器 TLP521 将单片机与继电器隔离开来, 防止继电器电路对单片机电路造成影响。电阻  $R_7$  起限流作用, 降低晶体管 Q2 的功耗。电阻 R9 使晶体管可靠截止。二极管 D2 反向续流, 抑制浪涌。电容 C2 可以缩短继电器吸合时间。电路的工作原理为: 当 IO 口输出低电平时, TLP521 导通, 晶体管 Q2 导通, 24 V 电压加到继电器线圈两端, 常开端与公共端吸合; 当 IO 口输出高电平时, TLP521 截止, 晶体管 Q2 截止, 继电器没有动作, 公共端与常闭端吸合。

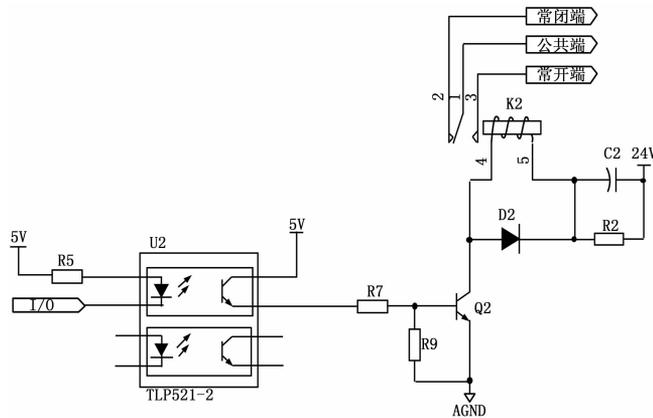


图 4 继电器输出电路

### 3 MODBUS 通信程序设计

MODBUS 协议是 MODICON 公司推出的一个开放式现场总线的通信协议, 由于得到众多仪表厂家的支持, 正在成为仪表及智能终端的标准。常用的 MODBUS 通信规约有两种: MODBUS ASCII 和 MODBUS RTU。由于探测器通信数据量大且使用二进制数值通信, 所以采用了 MODBUS RTU 规约<sup>[7]</sup>。探测器通信波特率位 9 600, 字符数据格式为: 1 位起始位, 8 位数据位, 无校验位, 1 位停止位。MODBUS RTU 典型信息帧如表 1 所示。

表 1 MODBUS RTU 典型信息帧

开始	地址	功能码	数据	CRC 校验码	结束
3.5 个字符 时间间隔	1 字符	1 字符	0~252 字符	2 字符	3.5 个字符 时间间隔

一次典型的 MODBUS RTU 通信过程如下: 当微控制器接收到来自上位机的数据后, 进入串口中断, 缓存接收到的数据, 当没有接收到数据 (或者接收完毕) 后, 跳出串口中断,

同时定时器开始计时, 若超过 3.5 个字符时, 微控制器仍然没有接收到新的数据, 则认为本次接收完成, 将接收完成标志置 1。当接收完成标志置 1 以后, 对接收到的数据进行处理, 首先判断接收的第一个数据 (1 个字节) 与本机地址是否相同, 如果不相同不发送任何信息。如果接收的第一个数据与本机地址相同, 则对接收到的数据进行 CRC16 校验, 如果接收的校验数据与本校验结果不同, 则不发送任何信息。如果 CRC16 校验正确, 则根据数据串口中的功能码进行相应处理。

### 4 试验结果与分析

为了验证探测器的准确性, 在 20℃、标准大气压条件下, 分别通 20LEL、50LEL、80LEL 的甲烷 (流量均是 1L/min), 探测器的读数如表 2 所示。

表 2 探测器准确性实验数据

给定甲烷 气体浓度 (LEL)	0	20	50	80
探测器测得甲 烷气浓度 (LEL)	0	21	50	77

从表中数据可以看出, 探测器测得的甲烷浓度与实际甲烷浓度的偏差没有超过 3LEL, 小于量程 (100LEL) 的 5%, 由此可见探测器的准确性很好。

### 5 结束语

本文设计的可燃气体探测器采用高灵敏度、高可靠性以及响应迅速的催化燃烧型可燃气体传感器 HC-9G, 低功耗、高性能单片机 C8051F120, 实现了对可燃气体浓度的准确测定及快速报警。RS485 数字通信模块用于远程监测可燃气体浓度, 继电器模块用于对报警信息做出相应动作。这种新型的可燃气体探测器响应速度快、稳定性好、测量精度高, 具有很高的实用价值。

#### 参考文献:

- [1] 栗秋芳, 杨长明, 刘学民, 等. 可燃气体探测器及检测方法研究 [J]. 舰船防化, 2012, (2): 29-33.
- [2] 丁黎明, 赵景波. 催化燃烧型甲烷传感器的研究 [J]. 微计算机信息, 2007, 23 (1): 177-178.
- [3] 王洪海, 李珍珍, 余鑫, 等. 基于 C8051F120 单片机实现端面镀膜光纤氢气传感器 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (10): 2453-2456.
- [4] 张旭俊, 李欣, 修小云. 直流双臂电桥原理的再分析 [J]. 江西电力, 2008, 32 (6): 42-43.
- [5] 胡宴如, 耿苏燕. 模拟电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [6] 潘群, 向军, 王琳. RS-485 串行通信接口电路的设计与应用 [J]. 常州工学院学报, 2009, 22 (3): 38-42.
- [7] 周光宇, 高为民, 贺卫红. 基于 MODBUS 协议的串行通信的设计与实现 [J]. 湘南学院学报, 2006, 27 (2): 62-64.