

# 电调制非分光红外(NDIR)气体传感器

熊友辉, 蒋泰毅

(华中科技大学煤燃烧国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 介绍一种采用电调制红外光源的新型非分光红外气体传感器。该传感器通过采用电调制红外光源, 节省了传统方法中的机械调制部件; 同时采用高精度干涉滤光片一体化热释电红外传感器及单光束双波长技术, 配合易拆卸的镀金气室及ADuC812数据采集系统, 可以实现SO<sub>2</sub>、NO、CO<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>等气体的实时测量。

**关键词:** 气体传感器; 红外光源; NDIR; 电调制; ADuC812

中图分类号: TH7; TP212 文献标识码: B 文章编号: 1002-1841(2003)11-0004-02

## Non-dispersed Infrared(NDIR) Gas Sensors Based on Pulsable IR Source

XIONG You-hui JIANG Tai-yi

(State Key Laboratory of Coal Combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A new type of Non-dispersed Infrared(NDIR) gas sensors based on pulsable IR source is introduced. By using the electric pulsable IR source, there is no mechanic modulation part in the sensor. At the same time, the high performance pyroelectric IR sensor with built in interference filter and the single light and two wavelengths' technology are used. Combination with the innovative gas cell which can be replaced easily and the ADuC812 data collecting system. The new sensors can be used for real time measurement of many gases such as SO<sub>2</sub>, NO, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>.

**Key Words:** Gas Sensor; Infrared Source; NDIR; Electric Pulsable; ADuC812

## 1 引言

NDIR 红外气体分析仪作为一种快速、准确的气体分析技术在实际应用中十分普遍。国外 NDIR 仪器占有率在 70% 左右, 国内 NDIR 气体分析仪的主要厂家大都采用国际上 20 世纪 80 年代初的红外气体分析方法, 如采用镍铬丝作为红外光源、电机机械调制红外光、采用薄膜电容微音器或 InSb 等作为传感器等。由于采用电机机械调制, 仪器功耗大、稳定性差、造价也很高; 同时采用薄膜电容微音器作为传感器使得仪器对震动十分敏感, 因此不适合便携测量。此类仪器一般为合资生产, 在我国价格为 3~8 万元, 价格因素也限制了 NDIR 仪器在我国的广泛使用。随着红外光源、传感器及电子技术的发展, NDIR 红外气体传感器在国外得到了迅速的发展。主要表现在无机械调制装置, 采用新型红外传感器及电调制光源, 在仪器电路采用了低功耗嵌入式系统, 使得仪器在体积、功耗、性能、价格上具有很大的优势。

## 2 NDIR 气体分析基本机理

当红外光通过待测气体时, 这些气体分子对特定波长的红外光有吸收作用, 其吸收关系服从朗伯-比尔(Lambert-Beer)吸收定律。设入射光是平行光, 其强度为  $I_0$ , 出射光的强度为  $I$ , 气体介质的厚度为  $L$ 。当由气体介质中的分子数  $dN$  的吸收所造成的光强减弱为  $dI$  时, 根据朗伯-比尔吸收定律:

$$dI/I = -KdN$$

式中  $K$  为比例常数。

积分得:  $\ln I = -KN + \alpha$

(1)

式中:  $N$  为吸收气体介质的分子总数;  $\alpha$  为积分常数。

显然, 有:  $N \propto L$

式中  $c$  为气体浓度。

则式(1)可写成:

$$I = \exp(\alpha) \exp(-KN) = \exp(\alpha) \exp(-\mu c L) = I_0 \exp(-\mu c L) \quad (2)$$

式(2)表明: 光强在气体介质中随浓度  $c$  及厚度  $L$  按指数规律衰减。吸收系数取决于气体特性, 各种气体的吸收系数  $\mu$  互不相同。对同一气体,  $\mu$  随入射波长而变。若吸收介质中含  $i$  种吸收气体, 则式(2)应改为

$$I = I_0 \exp(-L \sum \mu_i c_i) \quad (3)$$

因此对于多种混合气体, 为了分析特定组分, 应该在传感器或红外光源前安装一个适合分析气体吸收波长的窄带滤光片, 使传感器的信号变化只反映被测气体浓度变化。

图 1 为 NDIR 红外气体分析原理图。以 CO<sub>2</sub> 分析为例, 红外光源发射出 1~20  $\mu\text{m}$  的红外光, 通过一定长度的气室吸收后, 经过一个 4.26  $\mu\text{m}$  波长的窄带滤光片后, 由红外传感器监测透过 4.26  $\mu\text{m}$  波长红外光的强度, 以此表示 CO<sub>2</sub> 气体的浓度。

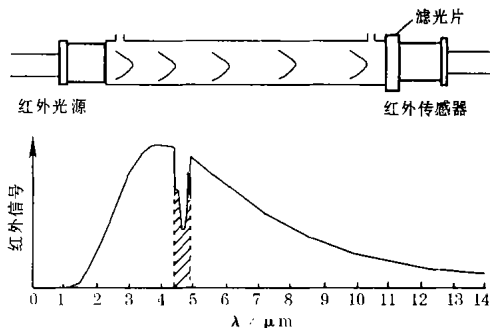


图 1 NDIR 红外气体分析示意图

## 3 关键技术

电调制 NDIR 红外气体传感器系统框图如图 2 所示。

图 2 上方虚线区域为传感器的光学系统部分, 为了减少红外传感器微弱信号的衰减以及外界信号干扰, 将前置放大电路

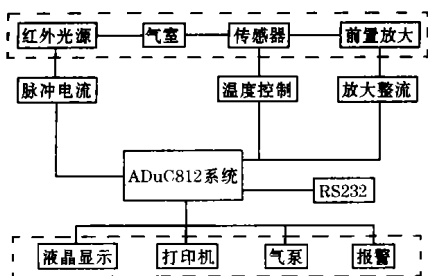


图 2 NDIR 传感器系统框图

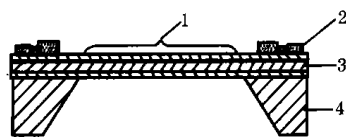
也一并放在光学部件上,并采取了一定的电磁屏蔽措施。为了使气体红外吸收信号具有较好的分辨率,在进行结构设计时,红外光源、气室、红外探测器应设置在同一光轴上。此外为了使得信号足够大,可以使用椭圆型或抛物线型反射镜。红外光源由稳流供电,供电电压和电流根据使用光源不同而不同。工作时,传感器根据预先设定的调制频率发出周期性的红外光,红外光通过窗口材料入射到测量气室,测量气室由采样气泵连续将被测气体通入,气体吸收特定波长的红外光,透过测量气室的红外光由红外探测器探测。由于调制红外光的作用,红外传感器输出交流电信号通过其后的前置放大电路放大,再经过高精密放大整流电路,得到一个与被测气体浓度对应的直流信号送入 ADuC812 系统处理。红外传感器内有温度传感器探测其工作环境温度,并在其外壳上没有微型加热装置,通过 ADuC812 系统控制传感器的温度。红外传感器信号经过 ADuC812 系统,并经数字滤波、线性插值及温度补偿等软件处理后,给出气体浓度测量值,并将其浓度信号通过 RS232 串口输出。

此外,在传感器的控制系统内,除 RS232 外,同时设计有液晶显示(支持  $240 \times 128$ )、微型打印、键盘输入、气泵控制、报警输出等接口。因此传感器也类似一个测量气体浓度的“主板”,只需添加一些“外设”,如液晶显示、打印机等即可成为一个完整的气体分析仪。

### 3.1 红外光源及其调制

传统的气体分析仪采用连续红外热辐射型光源,如镍铬丝、硅碳棒等红外加热元件,它们发出的红外光波长在  $2 \sim 15 \mu\text{m}$  之间。由于它们的热容量大,通常采用切光片对光源进行调制。因此需要一个同步电机带动切光片旋转,缺点在于存在机械转动、抗振性差、功耗大,不适合作便携设备;另外,为保证调制的频率,还需要严格选择同步的电机以及驱动电路,使得系统复杂化,成本也大大增加。

采用了一种类金刚石镀膜红外光源。该光源采用导电不定型碳(CAC)多层镀膜技术,热容量很低,因此升降温速度很快,其调制频率最高可以达到  $200 \text{ Hz}$  光源电阻  $45 \Omega$ ,采用  $6 \sim 8 \text{ V}$  供电,最大功率  $1.5 \text{ W}$ ,如图 3 所示。



1—红外发射区域;2—粘结衬垫;  
3—导电不定型碳多层膜;4—硅质支架  
图 3 脉冲红外光源剖面示意图

发射的红外光波长在  $2 \sim 9 \mu\text{m}$  范围内,适合对常规的气体如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{SO}_2$  等进行测量;另一方面,由于窄带干涉滤光片在  $9 \mu\text{m}$  以上一般都有一定的通过率,因此去除  $9 \mu\text{m}$  以上的红外光将提高传感器的精度,也可以阻止外界环境对光源温度的影响;采用电调制光源,频率稳定,不受外界条件影响,如机械震动、环境温度等,适合便携式及小型化系统。

### 3.2 镀膜气室

传统气室采用了与外支撑一体化设计,具有制造容易、安装方便等优点,但受外界温度波动影响较大;由于被分析气体成分复杂,具有一定的腐蚀性,如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  等,长时间使用后气室极易被污染,直接影响测量精度。采用气室与外支撑分离结构,气室选用镀金石英玻璃管,安装时只需将镀金石英玻璃管固定安装在支撑结构的中心即可。此种结构设计保证了该部件易于装卸、更换;同时,由于与外支撑分离,进一步减小了外界条件的影响,使仪器能在复杂环境下工作。一些需要较长气室的传感器,加工镀膜十分困难,采用这种加工镀膜工艺将十分容易,成本也将大大降低。

### 3.3 红外探测器

红外探测器是该分析仪的核心部件,NDIR 气体传感器的测量精度很大程度取决于传感器的性能。采用高灵敏度热释电红外传感器,并且在  $\text{TO5}$  的封装上固定安装有针对不同气体的窄带干涉滤光片及一种参考滤光片。通过使用固定有不同波长滤光片的红外传感器,可以实现对不同气体的测量。为了确保红外探测器得到较强的稳定信号,设计了一种红外探测器定向轴,即使在前置放大板上焊接的红外探测器位置有一定的偏差,传感器也可确保与红外光源和气室位于同一光学中心轴上。

红外探测器接收红外光产生的信号十分微弱,极易受外界的干扰,因此稳定可靠的前置放大电路是仪器的关键,所以采用了高精度、低漂移的军品级模拟放大电路,并采用了窄带滤波电路。通过示波器的跟踪表明:采用的前置放大电路具有精度高、漂移小、响应快的特点。前置放大出来的信号通过二级放大整流电路,直接输出一个与气体浓度对应的直流信号,并送入 ADuC812 系统,通过非线性校正得到气体浓度。

随着使用时间的增加,NDIR 红外探测器及光源的红外发射功率及红外探测效率会降低,因此会出现信号的衰减,气体浓度信号会发生失真。由于采用了“单光束、双波长”的方法,可以随时减少以上因素对气体浓度测量信号的影响。红外探测器采用双元探测器,并在探测器前安装固定有 2 片波长不同的干涉滤光片,一种为待测气体特定波长;另一种为参考滤光片(如  $3.95 \mu\text{m}$ )。放大电路对两路信号分别放大后直接输出两路不同波长的红外吸收信号,ADuC812 系统根据两路信号的大小和比值确定被测气体的浓度。

### 3.4 ADuC812 测控系统

为了实现 NDIR 气体传感器的测量、控制以及自动标定等功能,需要一个合适的微控制器来管理传感器,采用 ADI 公司的 ADuC812 系统。ADuC812 系统是一个全集成的 12 位数据采集控制系统,除含有 8 路 12 位 A/D 外,还具有 2 路 D/A、8052 内核、8k ROM、640 byte RAM 及 UART、 $\text{I}^2\text{C}$ 、SPI 等串行 I/O 功能。

ADuC812 通过采集参考和测量两路红外直流信号,确定信号的差值和比值,通过测量标准气体曲线,采用非线性校

红外光源发射窗口上安装了透明萤石窗,一方面可以保证

(下转第 9 页)

件的摆放等方面也应考虑,如图 1。

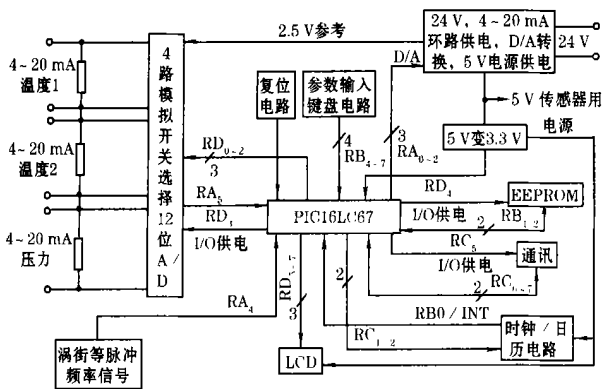


图 1 流量显示仪硬件结构图

图 2 所示为流量显示仪软件编制的框图。该显示仪的软件和接口调试是在具有 PIC 单片机的 C 编译器功能的仿真开发机上进行的。软件全部用 C 语言编写成模块式的子函数,这样利于软件集成和调试。在接口调试过程中解决的难点主要是数据采集、显示和 I<sup>2</sup>C 总线上数据发送与接收的时序匹配与单片机寄存器的设置问题,因为基本上全用串行方式,这有利于减少接口芯片,降低功耗。必须注意 I<sup>2</sup>C 总线上上拉电阻的匹配问题,否则会影响数据的读写。

## 5 结束语

利用 PIC 单片机作微处理器开发出的两线制低功耗流量显示仪具有体积小、成本低、功耗低、可靠性好等优点,它可与输出为频率或脉冲信号的传感器配套,集成出高精度的智能化

过程在线检测和控制仪表,具有广泛的实用和经济价值。

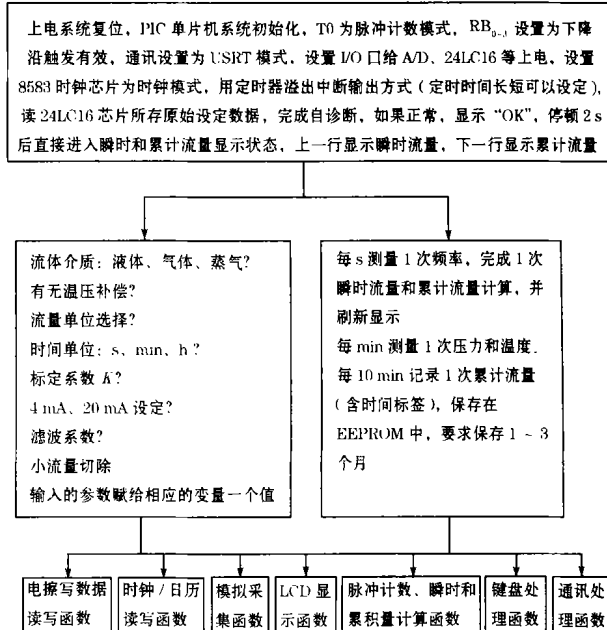


图 2 软件设计流程图

## 参考文献

- [1] 龚振中. PIC 系列单片机原理和程序设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [2] 苏彦勋, 李金海. 流量计量. 北京: 中国计量出版社, 1990.
- [3] 莫德举, 孙丽. 低功耗多变量涡街变送器的研究. 仪器仪表学报, 2002(3): 860-862.

(上接第 5 页)正算法可以直接得到测量气体的浓度,并通过 ADuC812 系统的串口,每 s 向外部设备发送测量浓度数据,同时也可以根据传感器的量程和实际测量数据,通过 ADuC812 的 D/A 控制,输出与浓度成正比的 12 位精度电压信号。

为便于采用此传感器组成完整的气体分析仪,在 ADuC812 多余的数据线和地址线基础上,设计了液晶显示驱动模块、打印驱动模块、键盘输入模块、气泵控制、报警等接口,用户可以通过安装这些标准模块,快速形成一套完整的气体分析仪器。

通过采用以上技术,NDIR 红外气体传感器的结构得到简化,仪器功耗及传感器的成本也大幅度降低(只有以往的 1/4)。此类传感器可以实现模块化和标准化,因此更加适合在我国广泛使用。

## 4 气体传感器性能测试

为了验证传感器的性能,对传感器的进行了长期的测试。

### 4.1 采用 CO<sub>2</sub> 传感器的测量结果

CO<sub>2</sub> 传感器气室长 8 cm, 内径 8 mm, 采用石英玻璃管内层镀金处理作为气室,两端采用 CaF<sub>2</sub> 密封,此传感器的量程为 2%。试验采用武钢氧气厂提供的标准钢瓶配气,浓度为 0.98% 的 CO<sub>2</sub>, 平衡气为 N<sub>2</sub>, 流量为 1.5 L/min。通过采用 PC 采集 ADuC812 系统串口数据,在 PC 上保存数据并进行数据分析,测量时间 24 h。试验结果表明:测量准确度可以达到 2% 以上。

### 4.2 采用 SO<sub>2</sub> 传感器的测量结果

SO<sub>2</sub> 传感器气室长 13 cm, 内径 8 mm, 也采用石英镀金气室,根据试验确定传感器的量程为 8 000×10<sup>-6</sup>。试验采用浓度为 4 200×10<sup>-6</sup> 的 SO<sub>2</sub>, 平衡气为 N<sub>2</sub>, 流量为 0.5 L/min, 同样通过采用 PC 采集传感器串口数据,在 PC 上进行分析,测量时间 12 h。试验结果表明:测量准确度同样可达到 2% 以上。

对于传感器的响应时间,由于采用了较高的调制频率,传感器一般在通入气体 3~5 s 就可以达到平衡,响应速度很快。

## 5 结束语

(1)通过使用新发展的电调制红外光源,省却了传统 NDIR 仪器复杂和昂贵的电机调制系统,降低了系统成本和功耗。

(2)使用了新型的镀膜红外气室,工艺简单、安装更换方便、受环境的影响更小。

(3)采用了新型一体化的红外探测系统和高精密前置放大电路,并采用了“单光束、双波长”一体化设计,进一步减少了环境因素对测量的影响。

(4)通过采用以上技术及新型的微控制器 ADuC812 系统,大大降低了 NDIR 仪器的成本,并可实现模块化和标准化,因此更加适合在我国广泛使用。

## 参考文献

- [1] 康永济. 红外线气体分析器. 北京: 化学工业出版社, 1993.
- [2] 杨光. 非色散型红外线气体分析仪及其在环境监测中的应用. 环境监测管理与技术, 1994(3): 56-59.
- [3] 王智. 内嵌 MCU 的高性能、多通道 12 位采集系统 ADuC812. 国外电子元器件, 1998(11): 22-26.