

MSP430 单片机在激光 CO 气体检测仪上的应用

张永亮^{1,2},熊庆国^{1,2},蒋伟荣³

(1. 冶金自动化与检测技术教育部工程研究中心,湖北武汉 430081;2. 武汉科技大学信息科学与工程学院,湖北武汉 430081;
3. 湖北汽车工业学院电子信息系,湖北十堰 442002)

摘要:利用光纤传感与二次谐波检测相结合的方法设计了一款激光 CO 气体检测仪,并给出了以 MSP430FG437 单片机为核心的仪器 MCU 模块的硬件和软件设计。利用 MSP430 内部 D/A 输出检测所需的正弦波和三角波;再由高精度 A/D 检测一次谐波、二次谐波、温度和压强信息;然后通过 RS232C 和计算机通信。该仪器具有抗干扰能力强、测量精度高、不需经常标定等优点。

关键词:CO 气体;光纤传感;二次谐波检测;MSP430

中图分类号:TP273 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-1841(2009)07-0020-03

Application of MSP430 in Laser CO Gas Detection Instrument

ZHANG Yong-liang^{1,2},XIONG Qing-guo^{1,2},JIANG Wei-rong³

(1. Engineering Research Center of Metallurgical Automation and Measurement Technology, Ministry of Education, Wuhan 430081, China; 2. College of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 3. Department of Electronics & Information Science, Hubei Automotive Industries Institute, Shiyen 442002, China)

Abstract: This paper designed a laser CO gas detecting instrument with the combination of advanced optical fiber sensing technology and second-harmonic detecting technology. And it gave the hardware and software design of the MCU part, which adopted MSP430FG437 microcontroller as the core. The internal D/A of MSP430 was used to output the sine wave and triangular signal needed in detecting. The internal A/D was used to detect first-harmonic, second-harmonic, temperature and pressure. The RS232C was used to communicate with computer. The instrument has advantages of strong ability to resist disturbance, high accuracy, frequent calibration can be omitted, etc.

Key words:CO gas; optical fiber sensing; second-harmonic detecting; MSP430

0 引言

近年来,我国煤炭工业维持高速发展,但是煤矿安全事故也随之不断发生。这些事故大部分是由于没有对现场气体进行实时监测导致瓦斯爆炸引起的。另外在钢铁冶金、石油化工等行业中也要对气体的浓度进行在线检测。因此利用先进的计算机技术、网络通信技术和测控技术对生产现场的气体浓度进行远程采集和实时监控是非常必要的。随着近期红外吸收光谱学的发展,特别是可调谐激光技术及谐波分析技术的应用,使新型的红外气体检测仪的研究提上了日程^[1]。激光气体检测仪具有应对环境的抗干扰能力强、精度高、可靠性好等优点,且可直接安装到现场来完成对 CO 气体浓度的检测这使其代替传统的仪器成为大势所趋。此仪器也正是在这种背景下进行开发设计的。

1 激光 CO 气体检测原理及仪器概述

激光气体检测仪是基于可调谐半导体激光吸收光谱技术来检测气体浓度的。任何物质都具有特征明线光谱和吸收光谱,CO 气体分子也不例外。CO 的吸收中心波长位于 1.56μm 处。根据气体选择性吸收理论可知,当光源的发射波长与气体的吸收波长相吻合时,就会发生共振吸收,且吸收的强度与该

气体的浓度有关,通过测量光的吸收强度就可计算出气体的浓度。当光强为 I_0 的入射光通过待测气体时,如果光源光谱涵盖了气体的吸收谱线,那么光强衰减为 I ,根据 Beer-Lambert 定律:

$$I = I_0 e^{-\mu c L} \quad (1)$$

式中: I_0 、 I 为吸收前后的光强; μ 为气体吸收系数; c 气体浓度; L 为介质长度。

对式(1)变换得到:

$$c = \ln(I_0/I) / (\mu L) \quad (2)$$

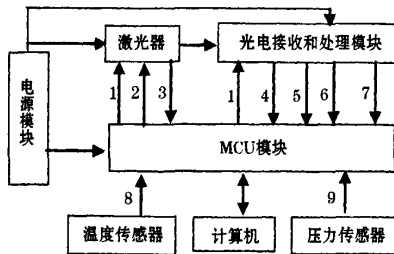
由式(2)可以得知,当 μ 和 L 都已知时,通过检测出 I_0 和 I 就可以计算出气体的浓度 c 。这就是激光检测气体浓度的原理。

如果利用传统红外光谱进行测量,由于其谱宽较宽,大概为 100 nm。在其光谱范围内不仅含有被测气体的吸收谱线还会含有一些其它杂质气体的吸收谱线。这样被测气体和杂质气体会共同吸收照射光束的能量,那么测量结果就很难保证其精确性。但是当使用可调谐半导体激光技术就避免了这样的问题。半导体激光气体检测仪中使用的半导体激光的谱宽为 0.0001 nm,远小于被测气体一条吸收谱线的谱宽。这样就可以选择某一特定波长的被测气体的吸收谱线,且在这条谱线附近不包含背景气体成份的吸收谱线^[2]。这样就避免了各种气体成份的交叉吸收干扰,使得结果比较精确。可调谐半导体激光技术通过检测气体选频吸收光源发出的光能的衰减来测量

其浓度。在每次测量时使激光波长扫描过被测气体选择性好的某一吸收谱线,测量出其单线吸收光谱数据,然后分析此数据得到被测气体的浓度。

当对光源的波长进行正弦调制后,调制光通过标准气室(包含有固定浓度的待测气体)。当激光中心波长锁定在气体的吸收峰时,输出光会包含有调制频率的二次谐波,这时一次谐波为零^[3]。如果有偏差,那么就会有不为零的一次谐波信号利用这个信号作为反馈可以将光源锁定在气体的吸收峰上。这时激光器输出的调频光通过待测气室后,由于气体的吸收效应,频率调制转换为强度调制,并且幅度与待测气体的浓度成正比。如果吸收峰对称,则一次谐波为零,由二次谐波的幅值可以得出气体的浓度。那么比较一次谐波与二次谐波的信息就可以计算出吸收气体的浓度。激光气体检测仪通过调制激光频率使其周期性地扫描 CO 气体吸收谱线。激光频率的扫描范围被设置成大于 CO 吸收谱线的宽度,那么在一个周期内肯定包含了 CO 的吸收谱线。从激光器发出的激光分为两束后,一束穿过被测气体室用来检测气体的浓度,另外一束用来锁定激光频率。因为激光频率被调制到了 CO 的吸收谱线上,当该激光穿过 CO 气体吸收室后,接收端会收到调制频率的二次谐波分量。这是由于吸收光谱对激光的非线性作用造成的。且该二次谐波分量幅值与 CO 气体的浓度成比例。这样就可以通过计算得出 CO 的浓度了。由于调制解调技术的应用,使得该仪器检测灵敏度高,对环境的抗干扰能力强,不会产生误判。不需要经常标定,不需采样。

仪器组成框图如图 1 所示,该激光 CO 气体检测仪由电源模块、激光器、光电接收和处理模块及 MCU 模块、标准的计算机等组成。文中主要介绍了该仪器的核心部分 MCU 模块的实现。此部分主要是在德州仪器(TI)公司生产的 MSP430FG437 单片机上来实现的。该部分主要是检测出气体吸收后的一次谐波和二次谐波分量,然后计算出 CO 的浓度。同时还检测出环境的温度和压强信息,最后把数据通过串口发送到计算机。



1—SEND1;2—SEND2;3—READY;4—DETECT1;5—DETECT2;
6—DETECT3;7—PHOTO_LIFE;8—TEMP;9—PRESS

图 1 仪器组成框图

整个 MCU 模块的工作过程如下:首先 MCU 模块上电后,发送一个信号 SEND1(频率为 500Hz,幅度为 0~2.5 V 的正弦波)同时给激光器(用于 CO 浓度检测)和光电接收模块(用于激光频率锁定);此后 MCU 模块要不断通过 A/D 口检测并记录下来从光电接收模块传回的信号 DETECT1(频率为 20 Hz,幅度为 -1.25~1.25 V;一次谐波分量的幅值信号)并等待激

光器回传一个准备好信号 READY(高电平有效的数字信号);

MCU 模块收到 READY 信号后,再发送给激光器另一个信号 SEND2(频率为 20Hz,幅度为 0~2.5 V 的三角波;用来调制光源的频谱及扫描 CO 的吸收谱线),且正弦信号 1 的 0 相位对应三角波 2 的 0 电压;这时光电接收模块就会传送信号 DETECT2(频率为 20 Hz,幅度为 -1.25~1.25 V;一次谐波的相位信号)和 DETECT3(频率为 20Hz,幅度 0~2.5 V;二次谐波分量的幅值)到 MCU 模块,MCU 模块要对 DETECT1、DETECT2、DETECT3 进行实时采集根据此可得计算出气体的浓度;另外 MCU 模块还要间隔的采集从光电接收模块传来的光电传感器寿命信号 PHOTO_LIFE(0~2.5 V 的电压信号)、温度信号 TEMP(0~2.5 V 的电压信号)和压强信号 PRESS(0~2.5 V 的电压信号);除了采集信号外 MCU 模块还要扫描用户是否有按键输入(用来设置报警界限和修正计算参数),最后 MCU 模块把采集的数据在液晶屏上实时显示的同时并通过串口传送给计算机。

2 MCU 模块硬件设计

2.1 硬件组成框图

MCU 模块的构成如图 2 所示,包括微控制器 MSP430FG437、电源处理模块、AD 输入前的模拟信号调理电路、D/A 输出后的功率放大电路、单片机与 PC 机的串口通信、键盘输入、液晶显示。

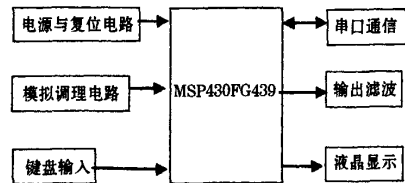


图 2 MCU 模块组成

2.2 单片机的选择

MSP430 单片机应用 16 位 RISC 混合信号处理器,不仅具有低功耗的性能,而且可以方便地连接至模拟信号、传感器和数字组件,这使得其具有其他单片机无可比拟的优点^[4]。因此单片机选用了 MSP430FG437。

单片机的连线如图 3 所示,相关信号说明如下:DETECTIN1 和 DETECTIN2 分别是光电接收模块传过来的 DETECT1 和 DETECT2 经过模拟处理后的信号;DETECT3 是直接由光电接收模块传来;READY 为激光器准备好信号;PHOTO_LIFE 为传感器寿命信号;TEMP 是环境温度;PRESS 为环境压强信号;SEND1 为单片机传送到激光器和光电接收模块的正弦信号;SEND2 为单片机给光电接收模块的三角波信号;LCD_E、LCD_RW、LCD_CS、DB0~DB7 是单片机和液晶显示模块的接口信号;KEY0~KEY7 是键盘输入接口信号;UTX 和 URX 是单片机和 PC 机通信的串口发送和接收信号。

2.3 外围电路设计

2.3.1 输入调理及输出滤波电路

由于从光电接收模块传过来的 DETECT1 和 DETECT2 是 ±1.25 V 的信号,且要送到单片机进行 A/D 转换。而单片机

进行 AD 转换要求输入信号的范围是 0~2.5 V,这就需要将输入信号进行电平提升。在这里使用了两个运算放大器来实现,具体电路见图 4 所示。另外由于系统是单 5 V 电源,所以选用

可以单电源工作的四运放 LM324。其输出电压范围宽:0~-1.5 V;输入共模电压范围 0~-1.5 V。首先运放 U3A 连接成电压跟随器电路这样其输出:

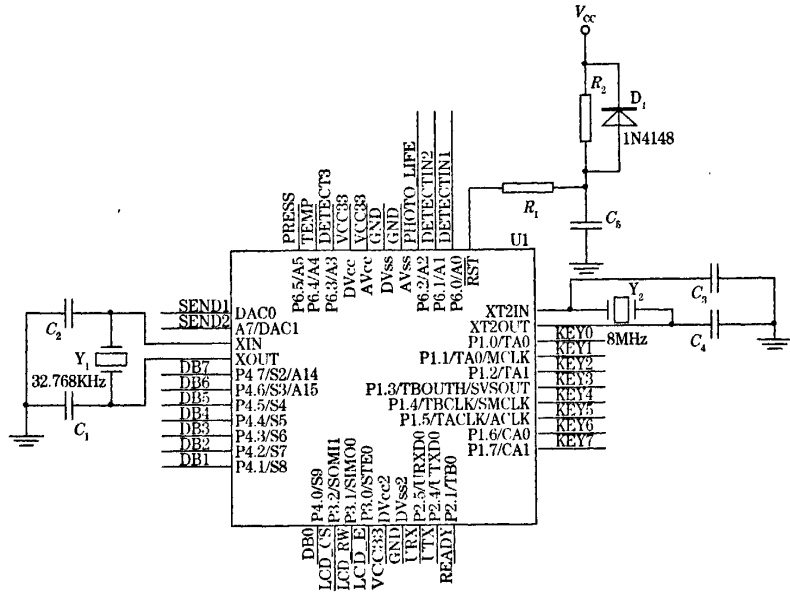


图3 单片机连线图

$$V_{REF} = V_{A+} = 5 \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 1.25 \text{ V} \quad (3)$$

运放 U3B 连接成同相比例电路则有下式成立:

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) V_B + 2V_{B+} \quad (4)$$

且其同相输入端的电压:

$$V_{B+} = \frac{V_{REF} - V_{IN}}{R_5 + R_6} R_5 + V_{IN} = \frac{V_{REF} + V_{IN}}{2} = \frac{V_{IN} + 1.25}{2} \quad (5)$$

将式(5)带入式(4)可得:

$$V_{OUT} = 2V_{B+} = V_{IN} + 1.25 \quad (6)$$

由式(6)可以看出 U_0 的范围为 0~2.5 V, 满足 A/D 转换的输入要求。

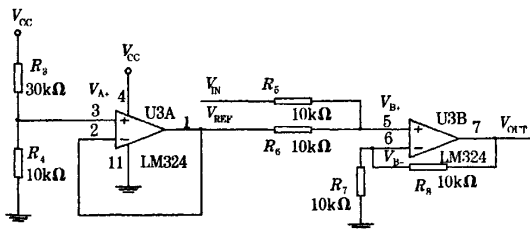


图4 输入信号调理电路

另外,为了提高系统的稳定性单片机,D/A 转换后输出的正弦信号 SEND1 和三角波信号 SEND2 需要进行滤波后再输出。这里考虑到运放 LM324 的线性输出范围(0~3.5 V)和 SEND1、SEND2 信号的幅值,选用了有源单位增益二阶低通滤波器,具体电路见图 5。

该滤波器的传递函数为

万方数据

$$\frac{V_0(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{R_9 \cdot R_{10} \cdot C_6 \cdot C_7 \cdot s^2 + (R_9 + R_{10}) \cdot C_7 \cdot s + 1} \quad (7)$$

$$= \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (8)$$

$$\text{则有: } \frac{R_9 + R_{10}}{R_9 \cdot R_{10} \cdot C_6} = 2\xi\omega_n \quad (9)$$

$$\frac{1}{R_9 \cdot R_{10} \cdot C_6 \cdot C_7} = \omega_n^2 \quad (9)$$

式中: ξ 为阻尼系数(因为巴特沃斯型低通滤波器具有幅频特性单调,且在通带内比较平坦的优点,故在这里选择巴特沃斯型二阶低通滤波器 ξ 为 0.707); ω_n 为自然频率, $\omega_n = 2\pi f_p$; f_p 电路的转折频率(500 Hz 和 20 Hz)。

由式(8)、式(9)对于信号 SEND1 通带截止频率 $f_p = 500$ Hz, 当取 $R_9 = R_{10} = 100 \text{ k}\Omega$ 时;可得 $C_6 = 4.5 \text{ nF}$, $C_7 = 2.25 \text{ nF}$; 同理对于信号 SEND2 通带截止频率 $f_p = 20 \text{ Hz}$, 当取 $R_9 = R_{10} = 100 \text{ k}\Omega$ 时;可得 $C_6 = 113 \text{ nF}$, $C_7 = 56 \text{ nF}$ 。

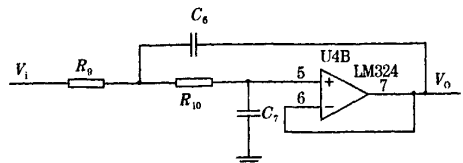


图5 D/A 输出滤波放大电路

2.3.2 其他电路

由于外部电源只提供了 5V 的电源,而系统工作还需要 3.3 V 的工作电压,所以内部还需要有个 5 V 转 3.3 V 的电路。考虑到系统的功耗选用低压差稳压芯 (下转第 65 页)

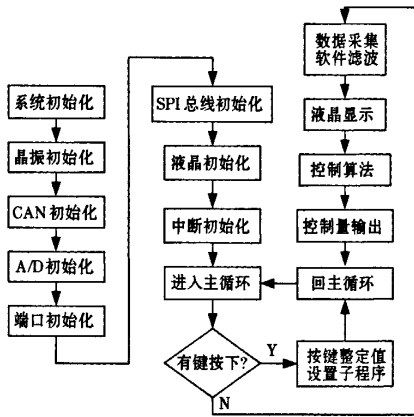


图6 主程序流程图

优先级顺序配置到 P0 ~ P3 口上,因此需先进行端口初始化。键盘模块设定液位要求值、PID 控制程序的参数等。液晶模块通过 SPI 总线控制,显示当前液位、液位设置上下限等值。控制模块首先将测得的值与设定值进行比较,进而确定控制算法,计算出控制量,输出到调节阀。

(上接第 22 页)片 TPS76833,其可以提供 3.3 V 电压、1 A 的输出电流。仪器采用的是标准 4 × 4 矩阵键盘输入,对应连接单片机的信号是 key0 ~ key7。串口通信选择了 3.3V 逻辑的 MAX3232。显示部分选用了 OCMJ4 × 8C 内嵌中文字库的 128 × 64 图形点阵液晶显示模块。这个模块可以显示字母、数字符号、中文字型及图形,具有绘图及文字画面混合显示功能,可以显示 4 行 8 列共 32 个 16 × 16 点阵的中文汉字,满足了本检测仪器的显示要求。另外该模块还可以直接和 3.3 V 逻辑的 MSP430 单片机连接。

3 MCU 模块软件设计

单片机的软件设计采用模块化的设计思想。程序流程图如图 6 所示。单片机初始化完成后,调用正弦波产生模块来产生 SEND1 信号。然后就不断对 DETECT1 进行 AD 转换,并找出其最小值。当收到 READY 后就调用三角波产生模块产生 SEND2 信号;没有收到 READY 信号就返回继续对 DETECT1 进行检测。产生 SEND2 后接着采集传感器寿命、温度和压强信号;并对 DETECT1、DETECT2、DETECT3 进行实时采集然后根据式(2)计算出气体浓度。调用显示模块进行显示,并将数据通过串口传送到计算机。对按键进行扫描,当有按键输入时根据按键值对仪器进行标定。最后在返回到信号采集模块顺序向下运行。

4 结束语

实践证明利用光纤传感技术和二次谐波检测相结合的方法设计的此款仪器,具有精度高、安装方便、不需要经常进行标定等优点。试验证明该仪器可以在恶劣的环境下进行使用。因此可以被广泛应用在空气质量检测、生产环境在线测量、安全生产防护等方面。另外,该仪器也为测量其它气体的浓度提供了一种行之有效的设计方法。可以通过简单的改变激光器的中心波长使其锁定在待测气体的吸收峰处并结合二次谐波检测技术来完成对气体浓度的检测。

参考文献:

[1] 王玉田,李晓昕,刘占伟,等. 甲烷气体多点光纤传感器系统的研万方数据

控制器与上位机及其他 CAN 节点通过 CAN 总线通讯。CAN 总线接收和发送通过中断方式进行。当 CAN 控制器成功接收到一帧数据时,就向 CPU 发出一个中断请求,等待数据处理。当启动发送命令时,CAN 控制器自动向 CAN 总线上发送数据。

5 结论

通过现场实验验证,基于 C8051F040 和 CAN 总线的液位控制器可实现对水箱液位快速、无超调、高精度控制,并能通过 CAN 总线,实现与上位机及其他 CAN 节点的通讯。控制器使用的主控芯片 C8051F040 自带 A/D、D/A、CAN 控制器等,体积小、结构简单、功耗低,集成度高,控制器中采用先进控制算法,提高了液位控制的精度。由此类器件构成的控制系统通信速率高,抗干扰能力强,传输距离远,适于现场环境较复杂、实时性要求较高的场合,性价比较高,应用前景广泛。

参考文献:

[1] 李含善,王政,任永峰. 基于双处理器和 CAN 总线的现场液位智能控制器. 仪表技术与传感器,2008(1):13-15;54.
 [2] 胡敦利,马秀坤. 基于 LonWorks 的 PID 控制器在过控系统中的应用. 仪器仪表学报,2003,24(4):323-325.
 作者简介:胡敦利(1967—),副教授,博士,硕士生导师,主要从事现场总线技术和智能控制方面的研究。E-mail:dunlihu@126.com

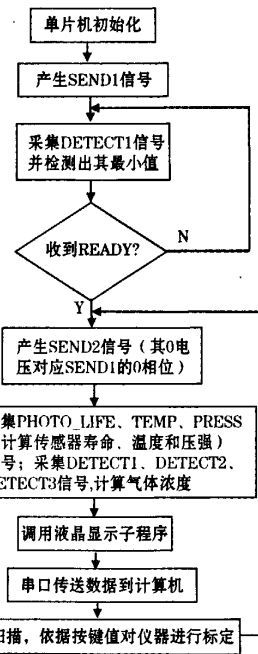


图6 软件流程图

究. 光电工程,2004,31(6):21-23.
 [2] 王欣,陈人,宛立君,等. 半导体激光工业现场在线气体分析仪的研制及其性能分析. 现代仪器,2004(5):41-43.
 [3] 赖蔚,钱进,原宗. 光学检测法用于工业气体检测的研究. 工业安全与环保,2007(5):37-39.
 [4] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计. 北京:清华大学出版社,2005.

作者简介:张永亮(1979—),硕士研究生,从事电子信息技术研究。E-mail: RoyZhang006@yahoo.com.cn

MSP430单片机在激光CO气体检测仪上的应用

作者: [张永亮](#), [熊庆国](#), [蒋伟荣](#), [ZHANG Yong-liang](#), [XIONG Qing-guo](#), [JIANG Wei-rong](#)
 作者单位: [张永亮,熊庆国,ZHANG Yong-liang,XIONG Qing-guo\(冶金自动化与检测技术教育部工程研究中心,湖北武汉,430081;武汉科技大学信息科学与工程学院,湖北武汉,430081\)](#), [蒋伟荣,JIANG Wei-rong\(湖北汽车工业学院电子信息系,湖北十堰,442002\)](#)
 刊名: [仪表技术与传感器](#) **ISTIC|PKU**
 英文刊名: [INSTRUMENT TECHNIQUE AND SENSOR](#)
 年,卷(期): 2009,(7)
 引用次数: 0次

参考文献(4条)

1. 王玉田,李晓昕,刘占伟,郭媛,王书涛,车仁生. 甲烷气体多点光纤传感系统的研究[期刊论文]-[光电工程](#) 2004(6)
2. 王欣,陈人,宛立君,顾海涛,王健. 半导体激光工业现场在线气体分析仪的研制及其性能分析[期刊论文]-[现代仪器](#) 2004(5)
3. 赖薇,钱进,原宗. 光学检测法用于工业气体检测的研究[期刊论文]-[工业安全与环保](#) 2007(5)
4. 沈建华,杨艳琴,翟晓曙. Msp430系列16位超低功耗单片机实践与系统设计 2005

相似文献(6条)

1. 期刊论文 [刘瑾,杨海马,LIU Jin,YANG Hai-ma](#) 光谱吸收型光纤多气体传感系统 -[仪表技术与传感器](#)2006(2)
 基于气体的近红外吸收机理,研究了一种可以检测多种气体的全光纤传感方法,采用光纤光栅波分复用技术,通过光纤光栅和压电陶瓷(PZT)对宽带光源LED进行波长调制,获得与相应气体吸收峰相对应的窄带反射光,检测二次谐波,实现对多种气体的较高灵敏度测量.利用二次谐波与光纤光栅透射光强的比值来消除光路干扰.建立了谐波检测的数学模型,进行了光纤CO₂和CO气体测量系统的实验研究.
2. 期刊论文 [郑德忠,王会颖,韩昭明,ZHENG De-zhong,WANG Hui-ying,HAN Zhao-ming](#) 光纤传感器测量煤气发生炉中CO气体温度的研究 -[传感器与微系统](#)2007,26(8)
 阐述了光纤传感器的优点及其基本工作原理,蓝宝石单晶光纤是目前在高温环境下最适用的光波导材料之一,其测量温度最高为2000℃,温度高于800℃时,采用单晶蓝宝石棒做高温探头具有较高的灵敏度和温度分辨力.在800℃以上时,灵敏度优于1℃,在1000℃以上时,温度分辨力优于0.1℃,将其用于光纤高温传感器并测量煤气发生炉中CO气体的温度,其测量精度为0.1℃.
3. 期刊论文 [王立新,田卡丽,Wang Lixin,Tian Kali](#) 光纤CO气体传感器的研究 -[中国科技信息](#)2008(9)
 研究了一种光谱吸收型CO光纤气体传感器.利用CO气体的近红外吸收光谱,用二次谐波与一次谐波的比值来消除光路干扰,建立了谐波检测的数学模型,给出了CO气体的测量结果,实现7CO气体浓度的较高灵敏度测量.
4. 会议论文 [郑龙江,黄新彦,李彦文](#) 基于近红外吸收的光纤CO气体传感器的研究 2007
 基于CO气体的近红外吸收机理,本文设计了一种新的检测CO浓度的系统.选用CO气体在近红外波段的吸收光谱,利用可调谐半导体激光器作为激发光源,通过光源调制将光源波长锁定在气体吸收峰中心波长处.采用锁相放大器来提取信号,并通过谐波检测技术对所提取的微弱信号进行处理,使系统可以实现CO气体低浓度的检测.与传统的中红外波长检测系统相比,具有更高的灵敏度和实用性.
5. 学位论文 [王艳菊](#) 基于光谱吸收的光纤式有害气体测量技术的研究 2006
 随着石油、天然气工业以及煤炭工业的发展,煤矿爆炸事故日益增加.我国是世界上最大的煤炭生产和消费国,也是世界上少数以煤为主要能源的国家之一.在煤炭的生产、加工过程中产生的大量甲烷(CH₄)及一氧化碳(CO)等易燃易爆气体,带来了煤矿安全、环境污染等一系列的问题.因此,对煤矿生产、加工过程中产生的有害气体进行高灵敏度检测变得十分重要. 通信技术的发展使得光源及各种光纤器件性能更加完善.因此,在各种气体传感器中光纤气体传感器受到国内外研究者的广泛关注.光纤气体传感器因其敏感元件与检测电路和信号处理电路实现了完全的隔离,使系统更加安全可靠. 本文以煤矿井下主要有害气体甲烷(CH₄)和一氧化碳(CO)为检测目标气体,进行基于光谱吸收的全光纤传感系统的理论和实验研究.研究的主要工作如下: (1)应用气体分子光谱理论和实验,研究甲烷分子及一氧化碳分子的近红外光谱吸收特性,选择吸收波长,消除交叉敏感. (2)研究基于光谱吸收理论的气体传感技术,抑制检测信号中与气体浓度无关的各种干扰成份,提高系统的检测灵敏度. (3)基于光纤布拉格光栅的窄带滤波特性,设计了以光纤布拉格光栅为滤光元件的差分吸收系统和谐波检测系统. (4)利用光纤布拉格光栅作为光学滤波器,设计CH₄和CO两种气体在线监测系统,进行光学传感气室的设计与研制.研究光源和光探测器的光电特性,研究分析光纤与光源、光探测器与光纤以及光纤与气室之间高效耦合技术. (5)研究微弱光信号的检测技术,设计具有较高信噪比的光电微弱信号检测电路. (6)对系统进行实验与结果分析.包括光源特性、探测器特性及系统对CH₄和CO气体的吸收实验.
6. 期刊论文 [李洁,严高师,LI Jie,YAN Gaoshi](#) 测量CO浓度的光纤传感器 -[激光与光电子学进展](#)2006,43(1)
 根据近红外光谱吸收原理提出了测量CO气体浓度的测量装置,引入普通通信光纤进行光信号传输,降低了光路设计中的技术难度.介绍了该装置的工作原理,基本结构及主要技术指标,着重讨论了技术特色及相应优势.与中远红外光谱吸收相比,该装置大大降低了器件成本.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ybjsycgq200907007.aspx

下载时间: 2010年1月3日