

文章编号: 1001-3806(2011)03-0360-04

一氧化碳检测与排放回收综合控制系统的设计

陈虎, 周凤星*, 徐珍, 王芳

(武汉科技大学 冶金自动化与检测技术教育部工程研究中心, 武汉 430081)

摘要: 为了设计一种 CO 气体检测与排放回收综合控制系统, 采用可调谐半导体激光吸收光谱技术, 利用单片机 MC9S12DG128B 作为核心控制器产生激光调制信号, 通过采集经气体吸收后的光功率和 2 次谐波信号来分析气体浓度, 把气体浓度信息上传到工控机进行实时监控。结果表明, CO 激光检测气体灵敏度高、选择性强、响应速度快、能连续分析和抗干扰性能好, 满足工业现场的要求。

关键词: 激光技术; 气体检测; 分布反馈半导体激光器光源; 2 次谐波检测

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2011.03.019

An integrated control system for carbon monoxide detection, emission and recycling

CHEN Hu, ZHOU Feng-xing, XU Zhen, WANG Fang

(Engineering Center of the Education Ministry of Metallurgical Automation and Detection Technology, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: An integrated control system was designed for carbon monoxide gas detection, emission and recycling based on tunable diode laser absorption spectroscopy. A MCU MC9S12DG128B was embedded in the system as its core controller to produce laser modulation signal. By collecting optical power and the second harmonic of the absorbed gas, the gas composition and concentration was analyzed, and then the information of the gas concentration was uploaded to a real-time industrial computer. The results show that the laser detection of gases with high sensitivity and selectivity, fast response, continuous analysis and anti-jamming performance, and it meets the requirements in the industrial field.

Key words: laser technique; gas test; light source of distributed feedback diode laser; second harmonic detection

引言

CO 是一种有毒的可燃性气体, 在化工生产及钢铁冶炼过程中都会产生大量 CO 气体。通常对 CO 采取的处理办法是: 当 CO 的浓度超过一定的浓度范围, 对其进行回收; 当 CO 的浓度低于一定的浓度时, 则已没有应用价值, 对其进行排放燃烧。因此, 对 CO 是进行排放还是回收, 涉及到环保和经济效益。若将 CO 激光在线监测装置与排放控制进行结合, 实现快速检测与快速决定排放或回收, 不仅有利于环境保护, 还会给企业带来明显的经济效益^[1]。

CO 激光检测采用可调谐半导体激光吸收光谱技术 (tunable diode laser absorption spectroscopy, TD-LAS), 与传统技术相比, 其具有选择性好、连续分析、

响应速度快等优点。这些优点使 CO 气体检测不仅适用于普通环境气体检测, 更能适用于工业生产恶劣的检测环境, 具有良好的应用前景^[2]。

1 CO 激光检测原理

1.1 气体光谱吸收法原理

光谱吸收法是通过检测气体透射光强或反射光强的变化来检测气体浓度的方法。每种气体分子都有自己的吸收(或辐射)谱特征, 当一束光强为 $I_0(\lambda)$ 的平行光通过充有气体的气室时, 如果光源光谱覆盖一个或多个该气体的吸收特征谱线, 则光通过气体时会发生衰减, 衰减后的光强为 $I(\lambda)$ 。根据 Beer-Lambert 定律, 衰减后的光强 $I(\lambda)$ 和初始光强 $I_0(\lambda)$ 与气体浓度 C 之间的关系可表示为:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp[-\alpha CL] \quad (1)$$

式中, α 是一定波长下单位浓度、单位长度的介质吸收系数; L 是吸收路径的长度^[3]。

由(1)式可得:

作者简介: 陈虎(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为检测技术与智能仪表。

* 通讯联系人。E-mail: blackghostpeter@163.com

收稿日期: 2010-07-18; 收到修改稿日期: 2010-08-23

$$C = -\frac{1}{\alpha L} \ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} \quad (2)$$

(2)式表明,如果 L 与 α 已知,通过检测 $I(\lambda)$ 和 $I_0(\lambda)$ 就可以测得气体的浓度。

如果光源的线宽远小于气体吸收线带宽,通过对分布反馈半导体激光器(distributed feedback diode laser,DFB LD)光源的注入电流进行正弦调制,光源频率和输出光强也将受到相应的调制。

$$\nu = \nu_0 + \nu_m \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$I_0'(t) = I_0[1 + \eta \sin(\omega t)] \quad (4)$$

式中, ν 表示光源经调制的频率, ν_0 表示光源未经调制时的中心频率, ν_m 表示频率调制幅度, $I_0'(t)$ 代表光源调制后的光强, I_0 代表光源未经调制时的光强, η 代表光强调制系数, $\omega = 2\pi f$, f 是电流调制频率。将(3)式、(4)式代入(1)式,则得到:

$$I(t) = I_0[1 + \sin(\omega t)] \exp[-\alpha CL] \quad (5)$$

当光源输出中心波长被精确地锁定在气体吸收峰上时,用MATHEMATICA将(5)式展开为傅里叶级数序列,得到输出光强的1次谐波和2次谐波的傅里叶系数分别为:

$$I_F = \eta I_0 \quad (6)$$

$$I_{2F} = k\alpha C L I_0 \quad (7)$$

由(6)式和(7)式可知,1次谐波分量幅度正比于光源的平均功率,和气体浓度无关。2次谐波信号与气体浓度和光强直流分量 I_0 有关,所以,通过检测2次谐波来提取CO气体浓度信息。

1.2 光源的选择

光源的选择是CO激光检测系统中极其重要的环节,光源应满足以下几点:(1)光源的中心波长应与CO气体的吸收谱特性相吻合;(2)光源的线宽远小于被测气体单吸收谱线的宽度,且可进行调制,频率调制后扫描范围仅包含被测气体单吸收谱线;(3)光源具有较高的稳定性、良好的光谱和噪声特性。

通过对CO吸收谱线的分析,作者确定选用中心波长为1567.3nm的DFB LD。在环境温度25℃时,中心波长为1567.3nm,电流阈值为14mA,其监控电流可达100mA。可调谐半导体激光吸收光谱技术是利用气体对近红外波段光源的吸收,是目前实用方法中光谱分辨率最高的,而且能够精确测量待定的某种气体,可避免其它气体吸收的干扰^[4]。

1.3 半导体激光器的调制

由于气体的光谱吸收线很窄,所以半导体激光器输出的中心波长很难与气体的光谱吸收峰对准。最早采用参考气室反馈的方法,将光源输出光的中心频率锁定在气体的光谱吸收峰位置,但这种方法容易受漏

气、温度、器件选择、制造工艺等因素的影响,控制不稳定,长期运行效果不佳等^[5]。

本文中采用低频三角波与余弦调制信号叠加的方式,以固定的频率对气体的光谱吸收线进行扫描,这样输出频率稳定。在三角波的每个周期内,总存在一点使激光器输出中心波长与气体的吸收峰重合(见图1),此时气体的吸收系数最大,具有最高的信噪比。

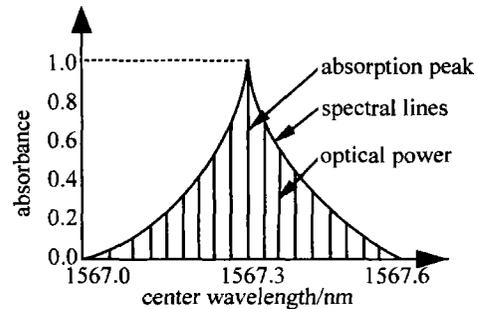


Fig. 1 Modulation of semiconductor lasers

由于系统选用的是DFB LD,其输出的功率和中心波长与注入电流有密切关系,提供稳定且可调的工作电流,是LD输出稳定功率和频率的基础。激光器驱动电流由3部分叠加组成:10Hz的三角波由单片机控制8位的D/A转换芯片DAC0832输出,调节幅值来控制激光器的扫频范围;60kHz的调制余弦波由DDS芯片AD9832输出;直流偏置由14位D/A转换芯片MAX5141输出,为激光器提供平均值60mA的工作电流,三者信号叠加起来的波形如图2所示^[6]。

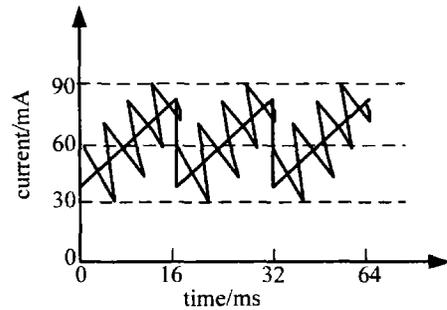


Fig. 2 Laser drive current

2 系统硬件设计

2.1 系统构成原理图

实验中激光检测的系统原理图如图3所示。

单片机选用 Freescale 公司的 16 位单片机 MC9S12DG128B 作为核心控制器。该系统由单片机产生调制信号驱动激光二极管,激光透过标准气室经CO气体吸收后发生衰减。光探测器输出电信号经前置放大后,得到光功率信号和包含CO气体浓度的2次谐波信号,单片机定时对滤波后的光功率和2次谐波进行采集,经过数字信号处理最后算出CO浓度。按照工业生产的排放标准,对CO气体的浓度进行对比,

本系统主要采用分段线性插值方法对信号进行了非线性补偿。线性处理流程图如图 7 所示,该程序用

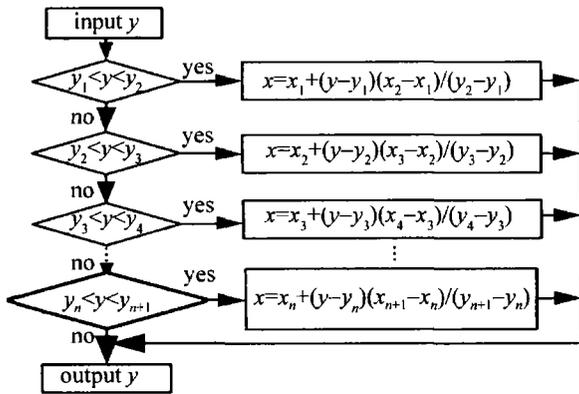


Fig. 7 Piecewise linear interpolation algorithm process

于数据的分段线性插值计算。探测器的检测量 x 和程控放大输出 y 曲线上取 $n + 1$ 个点,即 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$ 用于分段线性插值计算,第 n 段区间计算式为: $x = x_n + \frac{(x_{n+1} - x_n)}{(y_{n+1} - y_n)}(y - y_n)$,通过线性插值算法可以很好解决由于光源、探测器和前置放大电路等存在的非线性特性,改善了系统的检测精度。

4 系统监控界面

本系统上位机软件运用 NI 公司的 LABVIEW8.0 编写,下位机通过 RS485 把 2 次谐波和光功率采信号发送到上位机,也可以通过上位机对系统的参量进行设定。系统监控界面如图 8 所示。图中左侧波形为

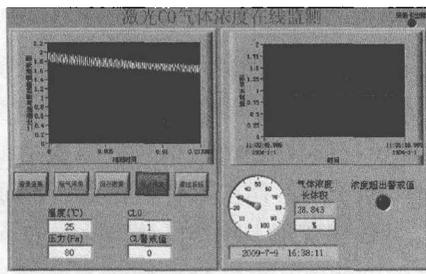


Fig. 8 System monitoring interface

CO 气体的吸收峰,根据图 1 中的描述,在吸收峰的最高点处 CO 气体对红外光的吸收系数最大,经过多次重复实验对光功率和 2 次谐波信号进行数字信号处理,根据 Beer-Lambert 公式计算出 CO 浓度值^[3]。

5 结 论

本系统利用可调谐半导体激光器的传感技术和 2 次谐波检测结合的方法设计。谐波检测技术能得到与被测气体浓度成正比的谐波信号^[11],将检测频率移到噪声较低的高频处,这样可以有效地抑制外部干扰和低频噪声,从而可以实现较高的检测灵敏度。CO 气体的分析测量,对钢铁冶金企业的生产优化、能源气回收、环保节能和安全控制具有非常重要的作用。通过大量标定实验、稳定性实验、干扰实验等测试,本系统能够满足复杂工业生产环境下 CO 浓度检测要求。

参 考 文 献

- [1] MI X K. Detection of carbon monoxide gas in coal mine [J]. Coal Technology, 2009, 28(7):111-112 (in Chinese).
- [2] ZHAND J Ch, LIU J, WANG Y T, et al. Study on a novel optical fiber CO gas sensor[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2004, 15(4):428-431 (in Chinese).
- [3] WANG L X, TIAN K L. Study on carbon monoxide fiber optical sensor [J]. China Science and Technology Information, 2008(9):32-33 (in Chinese).
- [4] DOU H X, WANG Y. Studying of in-situ gas monitoring system based on TDLAS [J]. Modern Instruments, 2007, 13(6):52-54 (in Chinese).
- [5] WANG Y T, LI X X, LIU Zh W. Study of C₂H₂ optic-fiber monitoring system based on spectrum absorption[J]. Chineses Journal of Sensors and Actuators, 2004, 17(4):620-621 (in Chinese).
- [6] YU Q X, LI Sh Ch, LIANG X P, et al. Study of sensitive photoacoustic spectrometer and biological application [J]. Laser Technology, 2001, 25(1):15-17 (in Chinese).
- [7] GU H T, CHEN R, YE H J, et al. An field gas concentration analyzer based on diode-laser absorption spectroscopy [J]. Chineses Journal of Sensors and Actuators, 2005, 26(11):24-25 (in Chinese).
- [8] LIN Y. Industrial control with 4~20mA current transmitter [J]. Electronic Components Application, 2006, 10(7):28-30 (in Chinese).
- [9] WANG Zh D, ZHAO F F. Design of industrial 4/20mA two-wire transmitters [J]. Instrumentation Technology, 2009(11):75-76 (in Chinese).
- [10] KAN B Q, ZHANG A T, WANG J Y, et al. Nonlinear software sensor signal compensation [J]. Air Force Engineering University School Report (Natural Science Edition), 2005, 6(2):25-27 (in Chinese).
- [11] WANG Y T, LIU J, ZHAN J Ch, et al. A methane gas sensor with optic fiber based on frequency harmonic detection technique [J]. Measurement & Control Technology, 2003, 22(11):10-21 (in Chinese).