

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

王欣 陈人 宛立君 顾海涛 王健

(聚光科技(杭州)有限公司 杭州 310012)

摘要 本文介绍半导体激光在线气体分析仪的测量原理、硬、软件设计及性能特点。该仪器实现工业过程气体的现场在线连续自动检测,无需采样预处理系统,提高测量响应速度和仪器可靠性,同时降低维护工作量。

关键词 半导体激光 气体分析仪 现场在线 工业过程

概述

目前在钢铁冶金、石油化工等行业中,对生产过程中的 CO、CO₂ 和 CH₄ 等气体浓度的在线检测主要采用基于非色散红外光谱 (NDIR) 技术的气体分析仪。这类仪器的光源谱宽较宽,在其谱宽范围内除了被测气体的吸收谱线外,还有一些其他背景气体(如水分)的吸收谱线,这些背景气体将对被测气体的测量产生干扰。同时,过程气体中的粉尘、焦油和液滴等也会污染分析仪内的光学视窗。因此,这类气体分析系统首先使用采样探头对需要分析的过程气体进行采样,然后经过预处理系统脱去样气中的粉尘和水分等背景气体后再送入气体分析仪进行气体分析。这类气体分析系统存在的一些缺陷包括:(1) 气体的采样和预处理系统达不到分析仪要求,导致仪器容易损坏,维护和检修周期短;(2) 采样和预处理系统价格昂贵、维护工作量大、运行成本高;(3) 系统响应时间迟滞,不能很好满足工业过程实时控制的要求。这些缺点制约在线气体分析系统的发展和运用,已成为实现工业过程分析和控制自动化的一个瓶颈。与采用非色散光谱技术的传统红外在线分析仪不同,聚光科技(杭州)有限公司开发的半导体激光现场在线气体分析仪采用可调谐半导体激光吸收光谱技术,较好地解决背景气体的交叉干扰、粉尘和视窗污染对测量的干扰。具有无需采样预处理系统、现场安装测量、测量精度高、响应速度快等优点。

1 工作原理

1.1 基本原理

半导体激光气体分析仪主要由发射装置、接收装置、中央分析仪器和吹扫装置构成(见图1)。其中发射装置和接受装置通过标准法兰安装在现场的气体管道上。安装在中央分析仪器中的半导体激光

器发出的激光通过光纤传输到发射装置,经过准直后穿过气体管道中被测气体,被安装在管道直径相对方向上的接收装置中的光传感器接收,获得的测量信号通过缆线传输到中央分析仪经分析处理获得气体浓度。

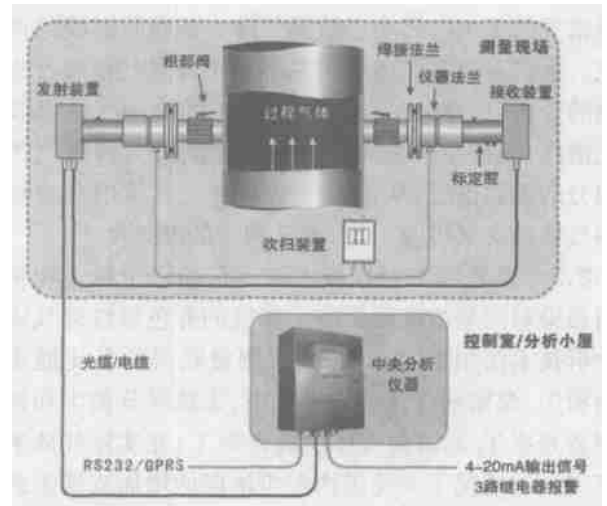


图1 半导体激光气体分析仪组成示意图

半导体激光气体分析仪基于可调谐半导体激光吸收光谱技术来分析气体含量。与传统红外技术相同,该技术通过检测被测气体分子“选频”吸收光源发出的光能量的衰减来测量气体浓度。但与传统非色散红外技术测量多根吸收谱线共同对光能量的衰减不同,可调谐半导体激光吸收光谱技术通常测量选择好的某一吸收谱线对光能量的衰减。另外,该技术在每次测量时,使激光频率(或波长)扫描过选择的吸收谱线获得“单线吸收光谱”数据,通过分析此“单线吸收光谱”数据得到被测气体浓度。假设频率扫描的激光束通过长度为 L , 压力为 P , 浓度为 X 的气体介质,则此气体介质对激光能量的吸收满足 Beer-Lambert 关系,

$$I = I_0 \exp[-S(T)g(\nu - \nu_0)PX] \quad (1)$$

其中, I_0 和 I 分别为频率为 ν 的入射激光和透射

激光强度, $S(T)$ 代表吸收谱线的吸收强度, 线形函数 $g(\lambda - \lambda_0)$ 反映了吸收谱线的形状 ($S(T)$ 和 $g(\lambda - \lambda_0)$ 可由吸收谱线的基本光谱数据获得)。由 Beer-Lambert 关系可知, 激光强度的衰减与被测气体浓度 X 成正比, 因此, 通过分析激光强度衰减信息就可以分析获得被测气体的浓度。

1.2 关键技术

1.2.1 “单线吸收光谱”技术——不受背景气体交叉干扰的影响 传统红外气体分析仪中光源谱宽较宽 ($\sim 100 \text{ nm}$), 在此光源谱宽范围内除被测气体的吸收谱线外通常还有一些背景气体如水分吸收谱线, 这些背景气体的吸收谱线和被测气体的吸收谱线一起共同吸收测量光束的能量, 导致测量的不准确性。半导体激光气体分析仪中使用的半导体激光的谱宽小于 0.0001 nm , 为传统红外气体分析仪中光源谱宽的 $1/10^6$, 远小于被测气体一条吸收谱线的谱宽。通过对被测气体和测量环境中背景气体吸收光谱的分析, 选择某一位于特定波长的被测气体吸收谱线, 使得在所选吸收谱线波长附近无背景气体组分的吸收谱线, 从而避免这些背景气体组分对被测气体的交叉吸收干扰, 保证测量的准确性。

1.2.2 激光频率扫描技术——自动修正粉尘和视窗污染对测量浓度的影响 传统的非色散红外气体分析技术使用固定波长光源, 测量获得的是光通道内粉尘、视窗和气体的总透光率, 无法区分粉尘和视窗透光率 T_d 和被测气体的透光率 T_g ; 在实际气体浓度未变的情况下光通道内粉尘浓度的增加或视窗透过率的下降均表现为光传感信号的减弱, 仪器就会给出错误的比实际气体浓度高的浓度测量值。

但是, 半导体激光气体分析仪通过调节半导体激光器的温度和驱动电流来调制激光频率 (或波长), 使之周期性地扫描过被测气体吸收谱线。激光频率的扫描范围被设置成大于被测气体吸收谱线的宽度, 从而在一次频率扫描范围中包含有不被气体吸收谱线衰减的“Ⅰ”区和被气体吸收谱线衰减的“Ⅱ”区。从“Ⅰ”区得到的测量信号可以获得粉尘和视窗的透光率 T_d , 从“Ⅱ”区得到的测量信号可以获得粉尘和视窗以及被测气体的总透光率 $T_{gd} = T_d \cdot T_g$ 。因此, 激光现场在线气体分析系统通过在一个激光频率扫描周期内对“Ⅰ”、“Ⅱ”两区的同时测量可以准确获得被测气体的透光率 $T_g = T_{gd} / T_d$, 从而自动修正粉尘和视窗污染产生的光强衰减对气体浓度测量的影响。

2 仪器构成

2.1 中央分析仪器

该部分是整个仪器的核心部分, 主要包括半导体激光器、半导体激光器驱动电路、信号处理电路、锁相放大电路、接口电路和人机界面等部分构成。接收装置传回的电信号经信号处理和锁相放大后模数转化成数字信号送至以微处理器 (MCU) 为核心的信号处理与控制电路, 经过数据处理后得到气体浓度值。同时信号处理与控制电路还负责产生相应控制信号, 如控制半导体激光器驱动电路产生调制电流和温度控制电流, 实现激光频率扫描。锁相放大电路可以从大背景中提取出吸收率小于 10^{-5} 的吸收信号, 从而实现高精度的测量。人机界面电路通过液晶显示器、薄膜键盘实现人机交流。接口电路提供标准的 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 输入输出信号和警告、报警等继电器功能, 并且通过 RS232 接口实现气体分析仪和服务端计算机之间的数据和仪器状态信息的通讯。中央分析仪器也可选配 Modem 和 GPRS 模块来实现远程数据传输和分析仪运行状态的远程监控。

2.2 发射和接收装置

2.2.1 发射装置 由激光发射模块、光学视窗、精密光路调整机构等组成, 主要功能是发射准直激光束。该激光束通过被测气体后到达接收装置。这一光信号的高效率传输是通过调节发射和接收单元上的精密光路调整机构来实现的。

2.2.2 接收装置 由光传感器、信号处理电路、光学视窗、精密光路调整机构等组成, 主要功能是接收发射装置发出的激光信号, 并实现光电转换和信号处理。

2.3 吹扫装置

为防止被测环境中污染物如粉尘、焦油等污染发射和接收装置上的光学视窗, 发射装置和接收装置上都配备气体吹扫接口, 由吹扫装置连续提供干燥压缩空气、氮气等在光学视窗前形成一干净气幕保护光学视窗。

2.4 仪器的软件部分

仪器的软件包括仪器内嵌入 MCU 系统软件和 PC 服务器端软件。

2.4.1 分析仪内嵌入软件 气体分析仪内 MCU 中内嵌的运行程序, 可实现信号处理、数据计算和人机界面中的键盘操作和液晶显示等功能, 同时执行系统的自检和标定等功能。操作界面采用直观易操作的菜单式界面, 主要画面包括主选菜单、显示设定、系统设定、标

定设定、通讯设定和报警设定等 6 个画面。

2.4.2 服务端软件 通过 RS232 串口(支持 RS232, GPRS, Modem 等多种通讯方法同气体分析仪进行通讯),基于 WINDOWS 操作界面的 PC 服务程序定时从气体分析仪器读取、显示并保存气体浓度和透过率等各种数据,还能自动生成错误日志。另外,该程序还可通过各个设定菜单对气体分析仪器各工作参数进行设定,如系统标定、设置报警参数、设置环境压力、设置光通道长度等。

3 性能特点

半导体激光气体分析仪较传统气体分析仪具有以下优点:(1)光学非接触测量,无需放置一个采样探头到被测环境中,对高温、高粉尘、高水分、高流速、强腐蚀等恶劣环境适应能力强;(2)现场测量,避免复杂和需要大量维护的气体采样预处理系统,降低系统成本和维护工作量;(3)实时测量,响应速度非常快,仅取决于仪表的数据处理时间($\sim 0.1s$);(4)不受背景气体交叉干扰,自动修正粉尘及光学视窗污染干扰;(5)智能化程度高,仪器自控自检,保障系统运行;(6)无线数据传输等网络化功能,实现数据的远程传输和气体分析仪运行状态的远程监控;(7)无样气排放,对环境安全无污染。

4 应用实例

半导体激光气体分析仪已成功应用于钢铁、石化和水泥等工业领域的众多应用场合,如高炉喷煤安全控制系统,转炉、高炉和焦炉煤气回收分析控制系统,焦炉电捕焦安全分析系统和催化裂化分析系统等,均获得了较好的应用效果。图 2 示意高炉喷煤安全控制系统在磨机入口处测量的高时间分辨率氧气分析数据。由于煤粉仓内气体为热风炉后烟道中引入的燃烧废气,如果废气中的氧气浓度过高,在煤粉仓中的煤粉就容易发生爆

炸。因此需要实时分析煤粉仓中气体的氧浓度,以便进行及时报警和冲氮稀释,避免煤粉仓发生爆炸。高炉喷煤安全控制系统为典型的安全控制应用,半导体激光气体分析仪的高测量精度和快速测量时间响应可非常好地满足这类应用需求。

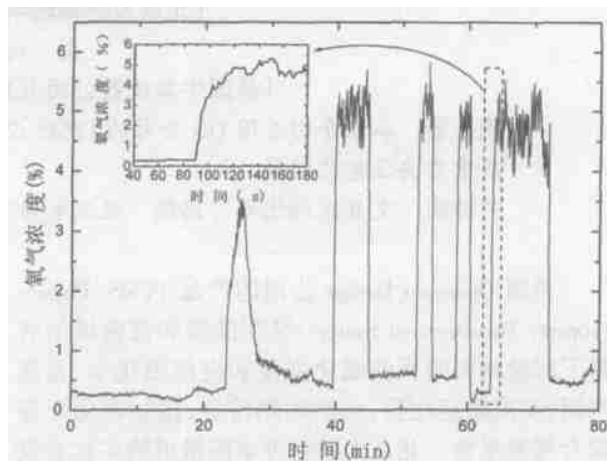


图 2 磨机入口高时间分辨率氧气分析数据

5 结束语

半导体激光气体分析仪技术先进、现场应用效果良好,能光学非接触、连续实时、高精度、高可靠地现场在线分析气体浓度,特别适用于高温、高粉尘、高水分、强腐蚀性等恶劣工业环境。该仪器的研制成功较好地满足各工业领域不断增长的过程在线气体分析的需求,可广泛应用于石油化工、钢铁冶金、生化制药、水泥建材、能源电力和环境监测等领域的在线过程气体分析和控制。

参考文献

- 1 P. Werle, R. Mücke, F. D'Amato, T. Lancia, Near - infrared trace - gas sensors based on room - temperature diode lasers, Applied Physics B, 1998, 67: 307~315
- 2 G.C. Bjorklund, Frequency - modulation spectroscopy: a new method for measuring weak absorptions and dispersions, Optics Letters, 1980, 5(1):15~17

The development of in situ semiconductor laser online gas analyzers

Wang Xin Chen Ren Wan Lijun Gu Haitao Wang Jian

(Focused Photonics (Hangzhou) Inc. Hangzhou, Zhejiang 310012)

Abstract The article presents the work principle, hardware and software design and the characteristics and specifications of Semiconductor Laser Online Gas Analyzers. The analyzers are capable of automated in situ online continuous industry process gas concentration measurement in lieu of sampling and pretreatment, demonstrate superb fast time response and reliability, and require limited maintenance.

Key words Semiconductor laser diode Gas analysis In situ online Industrial process