

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0405-03

基于可调谐半导体激光光谱的烟道 CO 监测系统

陈 东, 刘文清, 张玉钧, 刘建国, 阚瑞峰, 王 敏, 王晓梅, 崔益本, 陈玖英

(中科院安徽光学精密机械研究所环境光学与技术重点实验室, 安徽 合肥 230031)

摘要 对烟道 CO 进行连续在线监测, 是实现燃烧过程的控制和优化、减少污染气体排放的有效手段。可调谐半导体激光吸收光谱技术是一种具有高灵敏、高分辨、快速响应特点的气体检测技术。利用半导体激光器可调谐、窄线宽特性, 通过检测气体的一条吸收线实现气体浓度的快速检测。实验研究了基于开放式近红外可调谐半导体激光光谱技术的烟道 CO 检测方法, 采用光通信用分布反馈(DFB)半导体激光器作为光源, 通过检测 1.58 μm 附近 CO 的一条振动-转动吸收线实现对烟道气体中 CO 浓度的实时监测, 光学系统采用开放式双光程设计, 并通过背景信号拟合的方法消除烟道中消光系数变化对检测的影响。系统的检测限约为 0.125 g/m^3 (光程积分浓度), 具有实时在线连续检测的能力, 能够满足工业环境下燃烧炉烟道 CO 连续监测的要求。

关键词 光学技术; 烟道气体检测; 可调谐半导体激光吸收光谱; CO

中图分类号 O433.1 **文献标识码** A

Tunable Diode Laser System for Flue Gas CO Detection

CHEN Dong, LIU Wen-qing, ZHANG Yu-jun, LIU Jian-guo, KAN Rui-feng, WANG Min,
WANG Xiao-mei, CUI Yi-ben, CHEN Jiu-ying

(Key Laboratory of Environmental Optics & Technology, Anhui Institute of Optics & Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China)

Abstract Continuous and in-situ monitoring of flue gas CO is an effective way to optimize combustion efficiency and reduce pollutant emission. Tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS) a trace gas detection technique with a high sensitivity, high selectivity and fast time response, based on the tunability and narrow linewidth features of diode laser. It can implement fast gas concentration measurement through an single isolated absorption line. Flue gas CO detecting system based on open-path near infrared tunable diode laser spectroscopy has been experimentally studied. Using a telecom distributed-feedback (DFB) diode laser as optical source, a rotational-vibrational line of CO near 1.58 μm has been used for real time CO concentration measurement. Open dual-path optical configuration has been adopted in this system. Influence of optical extinction coefficient fluctuation has been avoided by background fitting and subtracting. The system detection limit is about 0.125 g/m^3 (path integrated concentration), and can meet the demands of in situ measurements of combustion flue gas CO in industrial environments.

Key words optical technology; flue gas measurement; tunable diode laser absorption spectroscopy; CO

1 引 言

CO 是几乎所有燃烧过程非完全燃烧的产物, 它不仅是一种重要烟道污染气体, 而且还是很好的燃烧效率指示分子^[1]。对烟道 CO 进行连续在线监测, 是实现燃烧过程的有效控制、减少工业燃烧炉污染气体排放、提高燃烧效率的有效手段^[2]。可调谐半导体激光吸收光谱(TDLAS)是一种具有高灵

敏、高分辨、快速检测特点的气体检测技术^[3,4], 利用半导体激光器可调谐、窄线宽特性, 通过检测气体的一条振转吸收线实现气体浓度的快速检测, 避免了气体取样和其他气体干扰。介绍了一种基于开放式近红外可调谐半导体激光光谱技术的烟道 CO 检测系统, 光学系统采用开放式的光学结构, 不需要气体取样及预处理, 适于工业领域恶劣环境中的应用。

基金项目: 国家自然科学基金(10270480)和国家 863 计划(2001AA641020)资助课题。

作者简介: 陈 东(1973-), 男, 安徽颍上人, 中国科学院安徽光学精密机械研究所博士研究生, 主要从事光谱技术方面的研究。E-mail: chendong@aiofm.ac.cn

2 实验装置

系统装置如图 1 所示。光学望远镜和角反射镜通过法兰盘固定在烟道对应两侧,利用压缩空气吹扫通光窗片防止烟尘沉积。激光尾纤输出经光纤分束器分成 1:9 的两束,较弱的一束经 10 cm 参考池到达探测器,另外一束由光纤传输到发射望远镜,经准直透镜由望远镜内的离轴抛物镜的中心输出,光束经过烟道后由角反射镜反射后沿原光路返回。反射回来的光被离轴抛物镜收集并聚焦到光电探测器上,输出电信号经前置放大后由计算机采集处理。波形发生电路产生的锯齿波信号叠加在激光器驱动电流上实现激光输出波长扫描。参考吸收池吸收信号被用于浓度校准和激光输出中心波长锁定。数据采集的同步触发信号是由信号发生电路产生的与锯齿扫描信号同步的脉冲触发信号,对采集到的光谱信号进行多次累加平均以提高信号的信噪比。平均时间根据所需要的时间分辨率来确定,实验中采用的平均时间为 1 s。

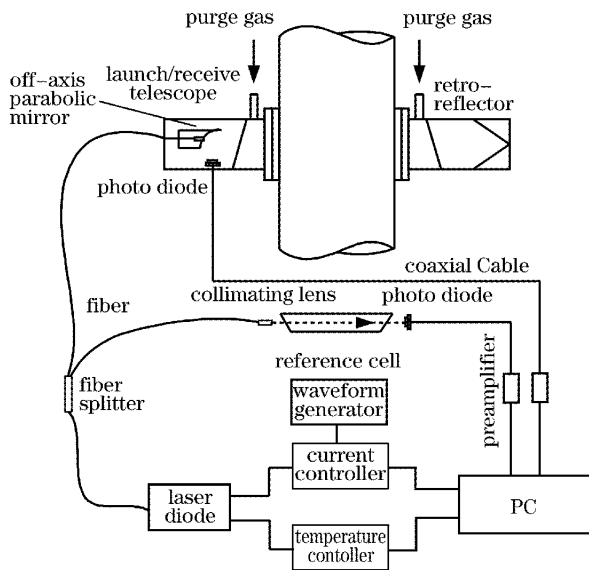


图 1 系统装置原理图

Fig. 1 Schematic of the apparatus

3 实验与分析

3.1 实验原理

根据朗伯-比尔定律,光强为 $I_0(\lambda)$ 的入射光束经过吸收介质后的透射光强可以表示成

$$I(\nu) = I_0(\nu) \exp[-S\varphi(\nu)NL], \quad (1)$$

式中 L 为总的气体吸收光程, N 为吸收气体的分子数浓度, S 为分子的吸收线强, $\varphi(\nu)$ 为分子吸收线线型函数。在大气压下,分子的谱线加宽以压力展宽为

主,可以用洛仑兹线型近似表示:

$$\varphi(\nu) = \frac{1}{\pi} \frac{\gamma_L}{(\nu - \nu_0)^2 + \gamma_L^2}, \quad (2)$$

其中 γ_L 为吸收线型的线宽(HWHM), ν_0 是吸收谱线的中心频率。对于光学厚度较小的吸收介质,(1)式可以近似表示为

$$\Delta I(\nu) = I_0(\nu) S\varphi(\nu)NL, \quad (3)$$

$\Delta I(\nu)$ 为气体对光强的吸收。由上式可以看到,吸收气体的浓度与光强吸收成正比。

3.2 数据处理

实验中检测到的吸收信号是叠加在一个斜坡背景上的。并且由于光学元件的干涉效应,信号基线存在一定的非线性。为了消除斜坡背景,提取吸收气体有效吸收光谱,数据处理过程中利用三次多项式来拟合背景信号。此时信号方程可以表示为

$$V(n) = Bg_3(n) + \text{Lorenz}(n). \quad (4)$$

图 2 所示是积分浓度为 0.625 g/m^2 CO 吸收信号的拟合结果,从图中可以看到,拟合曲线和检测数据有很好的相关性,基线也较为平坦,利用拟合残差得到的信噪比为 6,由此得到的系统检测限约为 0.125 g/m^2 。为了消除烟道消光系数变化对检测的影响,利用拟合背景曲线的平均值作为光强信号对吸收信号进行归一。

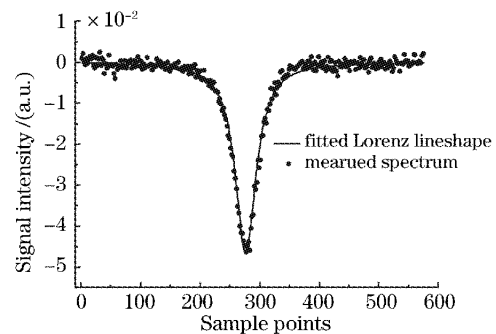


图 2 吸收光谱拟合

Fig. 2 Absorption spectrum fitting

3.3 系统定标与校准

在参考池中充入大气压下的已知高浓度标准 CO 气体,参考池吸收信号的处理方法与检测气体信号的处理方法相同。系统利用参考池信号对检测气体浓度进行定标,检测信号的幅值与参考池吸收信号的幅值的比乘一个实验确定的校准系数即可得到检测气体的积分浓度,系统的光程是已知的,检测气体的积分浓度除以光程即为烟道 CO 的浓度。需要的时候可以通过在光路中插入一个校准池进行校准,校准过程只需要修改系统的校准系数。图 3 所

示为在实验室中通过在校准池中通入不同浓度的标准气体得到的标准值和检测值关系曲线,图中气体浓度用积分浓度表示。

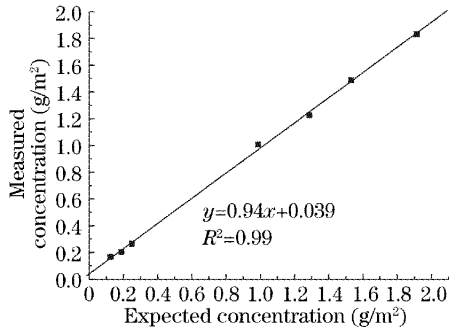


图 3 检测值和标准值关系曲线

Fig. 3 Relations between measured and expected concentrations

4 结 论

实验研究了基于可调谐半导体激光光谱技术在

烟道 CO 气体检测中的应用,采用开放式双光程设计,不需要气体取样和预处理,系统的检测限约为 0.125 g/m³,具有实时在线连续检测的能力。系统结构紧凑,具有较高的稳定性,能够满足工业环境下燃烧炉烟道 CO 连续监测的要求,为控制工业燃烧炉污染气体排放、实现燃烧过程的优化控制提供了非常好的检测方法。

参 考 文 献

- 1 Jia Wang, Mikhail Maiorov, Douglas S. Baer *et al.*. *In situ* combustion measurements of CO with diode-laser absorption near 2.3 μm [J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(30): 5579~5589
- 2 I. Linnerud, P. Kaspersen, T. Jaeger. Gas monitoring in the process industry using diode laser spectroscopy [J]. *Appl. Phys. B*, 1998, **67**(3): 297~305
- 3 Peter Werle. A review of recent advances in semiconductor laser based gas monitors [J]. *Spectrochimica Acta, Part A*, 1998, **54**: 197~236
- 4 William von Drasek, Olivier Charona, Ken Mulderinka *et al.*. Multi-functional industrial combustion process monitoring with tunable diode lasers [C]. *SPIE*, 2001, **4201**: 133~141