

可调谐半导体激光吸收光谱法监测燃烧过程中 CO 浓度的变化

夏 慧, 刘文清, 张玉钧, 阚瑞峰, 陈 东, 崔益本, 何 莹, 陈玖英, 王 敏, 王铁栋

中国科学院环境光学与技术重点实验室, 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031

摘 要 可调谐半导体激光吸收光谱技术(tunable diode laser absorption spectroscopy, TDLAS) 是利用二极管激光器的波长调谐特性, 获得被选定的待测气体特征吸收线的吸收光谱, 从而对待测气体进行定性或定量分析。它具有高灵敏、高分辨以及快速检测等特点, 已经广泛用于大气中多种痕量气体的检测以及泄漏气体的检测, 也是在燃烧环境下对气体进行非侵入式实时测量的理想方法。TDLAS 技术与开放式的多次反射池相结合, 并利用自平衡探测加波长调制的新型检测方法, 测量了酒精喷灯燃烧过程中产生的 CO 浓度, 从测量结果中发现酒精喷灯火焰中 CO 的浓度成一定的周期性, 并且得到火焰中 CO 的平均浓度为 $49.4(10^{-6})$ (体积比)。实验结果表明利用开放式多次反射池, 结合自平衡探测加波长调制探测的新方法, 满足了酒精喷灯燃烧过程中 CO 检测的需要, 此系统为发展基于 TDLAS 的燃烧在线诊断技术奠定了基础。

关键词 可调谐半导体激光吸收光谱; 自平衡探测; 二次谐波探测

中图分类号: O433.5 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2008)11-2478-04

引 言

燃烧是应用最为广泛的能量转换方式, 而燃烧过程中一氧化碳(CO)是反应燃烧完全性的重要指示性气体; 因此对燃烧检测和控制而言, 是很有代表性的参量^[1, 2]。另外, CO 还是重要的大气污染气体, 而燃烧过程是大气中 CO 的主要来源。因此在燃烧过程中对 CO 进行快速、准确的在线检测对燃烧过程优化控制, 提高燃烧效率是非常重要的。

为了实现对燃烧过程的有效控制, 需要对燃烧过程中 CO 浓度进行实时在线测量, 这就使得传统采样的气体检测方法如气相色谱法^[3]、湿化学方法等难以满足测量要求。TDLAS 技术通过调制激光器的波长使其扫描过被测气体的特征吸收谱线, 它是在半导体激光器与长光程吸收池技术相结合的基础上发展起来的新的痕量气体检测方法。具有高灵敏度、高选择性及快速测量等特点。TDLAS 的二次谐波探测与自平衡探测方法相结合, 能够有效地消除激光器、火焰等光强波动等共模噪声和其他同性干扰的影响, 可以实现对燃烧过程中燃烧区 CO 浓度实时在线监测。

1 实验装置

TDLAS 测量气体的浓度是基于对气体分子吸收谱线的

探测, 而吸收谱线的频率及线形是气体分子的固有特性。实验中利用开放式的多次反射池, 测量光路内 CO 的平均浓度, 来提高气体的检测灵敏度。图 1 是实验装置的原理图。实验采用可调谐半导体激光器与 45 cm 长的开放式多次反射池相结合, 通过 CO 气体分子在近红外波段一条吸收谱线的二次谐波信号来实现对燃烧过程中 CO 浓度的测量。

如图 1 所示, 从激光器出射的激光经过分束器后分为两束, 分别通过光纤连接到三维调整架的自聚焦透镜上, 其中一束光通过自聚焦透镜入射到自平衡探测器的参考光进光口, 另一束光经过自聚焦透镜进入 Herriot 结构的多次反射池, 经过 110 次反射后, 光程达到 49.5 m, 由多次发射池出射的光束经平面反射镜反射后经过 10 cm 长的参考池到达自平衡探测器的信号光进光口。自平衡探测器把光信号转换成电信号并由线性输出端口输出, 输出信号进入锁相放大器, 由安装在计算机上的数据采集卡进行采集, 并对采集到的信号进行积分平均。本实验使用 30 次平均, 由计算机对采集到的信号进行处理得到 CO 的浓度值。喷灯位于多次反射池的中间位置。

2 实验原理

2.1 自平衡探测原理

图 2 是自平衡探测器原理图。自平衡探测方法包含两路

使用该数据处理方法得到燃烧中 CO 气体的浓度。

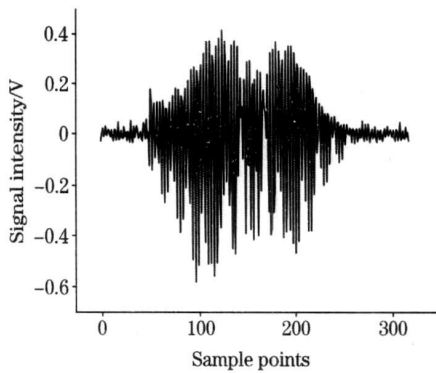


Fig. 3 Output signal of auto-balanced detection

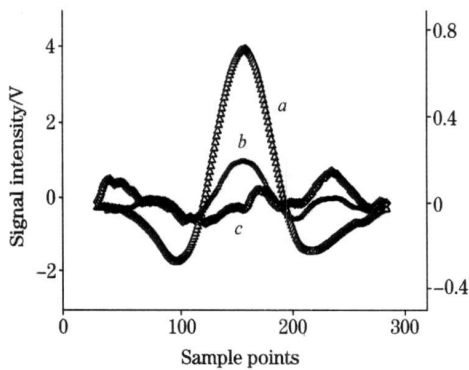


Fig. 4 Signal of acquisition

- a: Background-eliminated standard signal;
 b: Random drawout signal with background eliminated in combustion;
 c: Background signal

图 5 是对点燃的酒精喷灯连续测量的浓度曲线以及拟合浓度的相关系数, 从图中的相关系数曲线可以看出, 整个测量过程中最小的相关系数为 0.90111。图中的浓度曲线是开始点燃喷灯的预热盆中的酒精到关闭喷灯整个过程所测量的浓度曲线, 预热盆中的酒精点燃前, 打开酒精喷灯的开关, 使其处于酒精蒸汽喷出量最小的状态, 开关是可调的, 通过调节开关可以控制酒精蒸汽的喷出量。其中图中的 1 点是指预热盆中酒精燃烧时测量的浓度, 此时, 喷灯内的酒精处于加热状态, 还没有达到完全燃烧, 所以 CO 的浓度比较高, 出现了一个峰值点, 等到喷灯内压强达到一定

值, 液体酒精气化, 并与来自气孔的空气混合, 喷灯达到连续喷火状态, 此时 CO 的浓度相对稳定, 并具有一定的周期性, 浓度变化范围在 $15 \sim 100 \times 10^{-6}$ 之间, 2 是在调节开关的过程中测量的 CO 浓度, 调节过程中限制了气化酒精与空气的混合, 导致酒精蒸汽的不完全燃烧, 所以得到一个较高的浓度值, 调节稳定后, 喷焰再一次达到稳定状态, CO 的浓度也在一定范围内处于稳定状态。3 点是关闭酒精灯的瞬间测量的值, 利用一个小铁片阻止空气与气化酒精隔离, 即可关闭酒精喷灯, 停止喷火。根据图中 1 点到 2 点之间的稳定燃烧过程计算得到的火焰中 CO 的平均浓度为 49.4×10^{-6} 。

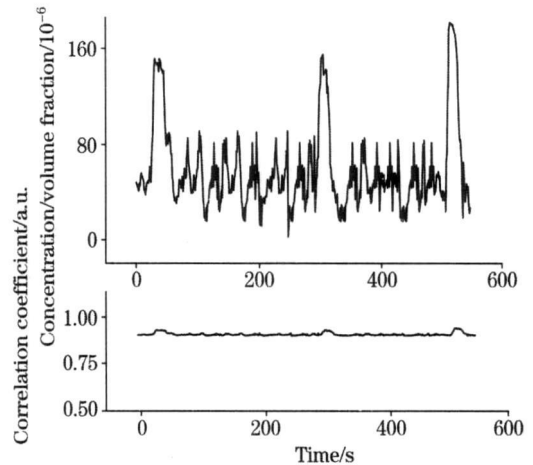


Fig. 5 Continuous measurement of CO concentration in flame of alcohol lamp

5 结 论

建立了基于可调谐二极管激光器吸收光谱技术实时测量酒精喷灯火焰中 CO 浓度的实验方案。利用开放式的多次反射池结合自平衡加波长调制探测的新方法, 提高检测限的同时也抑制了光强波动噪声的干扰。实验中使用的光程为 49.5 m, 连续测量得到酒精喷灯火焰中 CO 平均体积分数为 49.4×10^{-6} 。

燃烧过程中 CO 的排放具有快速、高温的特点, 作为碳氢化合物燃烧的主要产物之一, CO 的排放量是燃烧效率的重要指示, 对燃烧过程排放的 CO 浓度进行实时测量, 根据燃烧情况对燃料输入进行调整, 可以提高燃烧效率、节约能源。可见, 对燃烧过程排放的 CO 进行实时测量对相关的各工业过程控制而言十分重要, 有着广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Brouwer J, Ault B A, Bobrow J E, et al. Proc. Combust Inst., 1990, 23: 1087.
- [2] Fujii S, Tomiyama S, Nogami Y, et al. International Journal Series C - Mechanical Systems Machine Element and Manufactur (JSM E), 1997, 40: 279.
- [3] Merja Kontro, Leena Korhonen, Terttu Vartiainen, et al. Journal of Chromatography B, 2006, 831: 281.
- [4] Reid J, Labrie D. J. Appl. Phys. B, 1981, 26: 203.
- [5] Cassidy D T, Reid J. J. Appl. Phys. B, 1982, 29: 279.
- [6] QI Feng, LIU Wen qing, ZHOU Bin, et al(齐 锋, 刘文清, 周 斌, 等). Acta Phys. Sin. (物理学报), 2003, 52: 2197.

Monitoring the Change in CO Concentration in Combustion with Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy

XIA Hui, LIU Weir qing, ZHANG Yur jun, KAN Rui feng, CHEN Dong, CUI Yr ben, HE Ying, CHEN Jiu ying,
WANG Min, WANG Tie dong

Key Lab of Environmental Optics & Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Hefei 230031, China

Abstract In the present paper, the technology of tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS) in conjunction with the open path multi pass Herriot cell and the new style detection method of auto balanced detection combined with wavelength modulation technology were used, and the concentration of CO produced in combustion of alcohol blowtorch was measured. It was found in the measured result that the change in CO concentration in the flame of alcohol blow torch presented a stated periodicity in the process of combustion and the average concentration of CO was calculated to be 49.4×10^{-6} ratio by volume. The experiment is showed that with the conjunction of auto balanced detection and the second harmonics detection method, adopting the open path multi pass Herriot cell to detect the concentration of CO in the combustion of alcohol blowtorch is accurate and contents the detection requirement. It was proved that the system made for measuring the concentration of CO in the flame of alcohol blow torch in combustion establishes foundation well for developing online combustion monitoring based on TDLAS.

Keywords Tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS); Auto balanced detection; Second harmonic wave detection

(Received Jun. 28, 2007; accepted Sep. 29, 2007)