

文章编号: 1001-5078 (2006) 03-0171-03

## 近红外波长 CO 浓度检测技术

李 洁, 严高师

(电子科技大学, 四川 成都 610054)

**摘 要:**文中提出了一种新的 CO 浓度检测系统, 根据光谱吸收原理, 采用双光束气体浓度检测技术。系统选用近红外光源和探测器, 与传统的红外波长工作器件相比, 成本得以降低。近红外波长光信号利用光纤传输, 替代了传统的复杂光路系统, 使器件结构小型化。文章介绍了这项技术的原理及特色。

**关键词:**近红外; 浓度检测; CO 气体

**中图分类号:** TP274. + 52 **文献标识码:** A

## CO Concentration Detection Using Near-infrared Wavelength

L I Jie, YAN Gao-shi

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** A new system of concentration measurement of carbon monoxide is presented. Based on the spectrum absorption theory, double-beam detection technology is used. Near-infrared light source and detector are chosen in the system. Compared to traditional mid-infrared apparatus, the total cost of these devices can be cut down. Optical fiber can be used to transmit near-infrared optical signal instead of traditional complex system, then the structure would become miniaturization. The principle and the main specification of the technology will be introduced in the article.

**Key words:** near-infrared; concentration detection; carbon monoxide

### 1 引 言

在存在可燃气体源的很多场所, 经常因可燃气体大量泄漏引起不幸事故, 例如社会生活与生产中存在的煤气 (CO) 泄露事故, 给国民经济、人民生命安全造成巨大损害。因此对这些气体的浓度检测至关重要, 一旦气体泄漏超过允许标准时, 要及时报警, 以便采取措施, 防患于未然。

光谱吸收法测量 CO 浓度具有精度高、结构简单的特点, 但是现在普遍采用的红外 4.7 μm 工作波长对光学器件的要求很高, 例如需要红外光源、红外探测器, 往往导致很高的成本。这一波长范围还和 CO<sub>2</sub>、水蒸气等气体的吸收峰重叠, 测量结果所表现的光能的减弱并不都来自 CO 的吸收, 若不增加额外手段消除这些干扰气体的影响, 必然影响测量结果的精确性。

本文所述的近红外波长浓度检测技术, 光源和探测器的成本相对较低。这一波长范围位于光纤低损耗窗口, 利用光纤传输信号, 也解决了系统光路设计复杂性问题, 并使测量系统小型化, 便于携带, 测量精度和稳定性也有保证。

### 2 工作原理

由介质的吸收性质可知, 当光波 (单色光或复色光) 通过介质时, 部分光被介质吸收, 余下的部分按原传播方向继续前进。由朗伯 - 比尔定律<sup>[3]</sup>可知, 光的吸收系数与物质的浓度、通过吸收介质的长度与透射光强满足以下关系:

$$I(l) = I_0 e^{-\epsilon c l} \quad (1)$$

作者简介: 李 洁 (1980 - ), 女, 电子科技大学光电工程专业研究生。

收稿日期: 2005-05-29; 修订日期: 2006-01-04

式中,  $I$  和  $I_0$  分别是透射和入射光强;  $\alpha$  是一定波长下的单位浓度、单位长度介质的吸收系数;  $l$  是待测气体与光相互作用的长度;  $c$  是待测气体的浓度。上式可转化为:

$$c = -\frac{1}{l} \ln \frac{I(\lambda, l)}{I_0} \quad (2)$$

由此可知, 在波长  $\lambda$  下, 若气体的吸收系数可以测量, 则气体浓度  $c$  可以从光的输入输出光强  $I$  和  $I_0$  的变化量来求出。

### 3 CO 的吸收光谱

如图 1 所示, CO 的最强吸收峰是在  $4.7 \mu\text{m}$ , 因此该区域被用作主要光谱分析波长<sup>[4]</sup>。但是这个波长范围对光源要求高, 例如红外激光器, 不仅寿命短, 还需要设置冷却系统, 且价格非常高, 增加了设备成本。此外, 该光谱范围还和  $\text{CO}_2$  及水蒸气的吸收峰重叠。

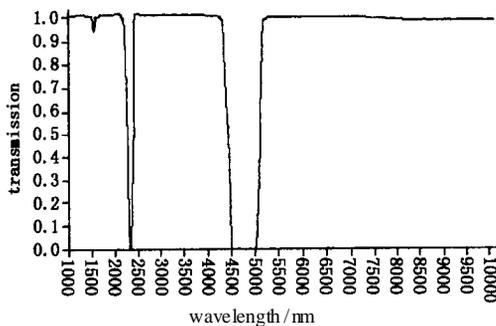


图 1

CO 的另一个吸收峰在  $2.3 \mu\text{m}$  附近。半导体激光器可以满足此波长要求。特别是近年来, 在这个范围对 CO 进行浓度测量的应用有所增加。但是这个范围还是和水蒸气的吸收谱有重合, 增加了测量的复杂性和不准确性。

和以上所提波长相比, CO 在  $1.57 \mu\text{m}$  附近的吸收要相对微弱一些, 但可以通过调节光吸收作用的光程长度来解决。如公式 (1) 所示,  $I(\lambda, l)$  是跟  $l$  有关的参数。在一定的情况下,  $l$  越大, CO 对光能的吸收越大, 则  $I(\lambda, l)$  越小,  $I$  和  $I_0$  的差别就越明显, 也就是说系统的精度越好。所以只要增加光作用的长度, 就能克服该波长下光谱吸收相对微弱的缺憾, 系统的精度就能得到保证, 实验中是通过在气缸两端加反射镜来实现的。重要的是该范围不再和  $\text{CO}_2$  或水蒸气重叠。且降低波长后能引入普通光纤传输光信号, 不用再进行复杂、精细的光路传输设计。并有利于选择更低成本的激光器, 利于工业上的广泛应用。

### 4 系统结构

整个测量系统的结构如图 2 所示。

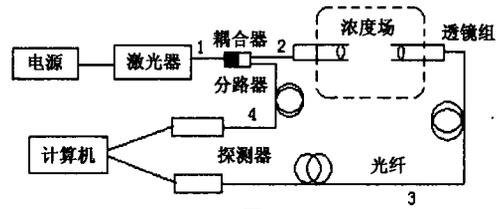


图 2

光源是可调谐半导体激光器, 波长在  $1565.70 \sim 1607.47 \text{nm}$  可调。为了获得稳定的激光输出, 光源可由温控设备控制, 工作温度选为  $296 \text{K}$ 。光源发出的激光经 1 耦合器后分为两束, 一束为参考光, 经光纤后进入探测器, 其值计为  $I_0$ ; 另一束为信号光, 穿过浓度场, 与 CO 气体作用后, 经光纤进入另一探测器, 其值计为  $I$ 。两探测器的信号输入到计算机, 经计算机处理便可计算出 CO 浓度。两探测器选用相同的 InGaAs 光电探测器, 灵敏度高, 响应速度快, 且暗电流小, 适合在本文所述环境下工作。为了减少背景光的影响, 可将探测器封闭。浓度场取纯净的 CO 气体和  $\text{N}_2$  混合,  $\text{N}_2$  在  $1.5 \mu\text{m}$  附近无吸收, 不影响光信号强弱。光作用长度  $l$  可以调节, 或是通过在浓度场两边装置反射镜增加反射次数。光作用长度会直接影响系统的测量精度, 长度太小会降低系统的测量精度, 太大又会导致散射等误差因素增大。本实验中选用  $l = 1 \text{m}$ 。

图 2 中标有 1、2、3、4 处均为光纤。因为采用近红外波长工作, 使得在测量系统中可以引入普通通信光纤作为光信号传输的通道。传统方法采用的  $4.7 \mu\text{m}$  波长, 因为无法使用光纤作为信号传输通道, 只能利用很多光学镜片 (球面反射镜、离轴镜或分光镜等) 来调整光路。整个系统操作繁琐, 设计复杂, 不易实现, 增加额外成本, 对器件的精细度也要求很高。这都是因为中红外波长不能在光纤中传输的原因。光纤的引入使整个系统结构简单、小型化, 利于便携, 能够很轻松的提高测量精确度。

### 5 参数标定

为了实时得到 CO 气体浓度的测量结果, 必须对公式 (2) 中 CO 的吸收系数  $\alpha$  进行标定。标定可以在实验室中完成。即在已知气体浓度的情况下, 通过测得  $I$  和  $I_0$ , 便可测得  $\alpha$  值。在实验室中混合 CO 和  $\text{N}_2$ , 配备  $(1 \sim 1500) \times 10^{-6}$  范围内不同浓度的气体, 在  $296 \text{K}$  温度下进行测量, 再用线性回归的方法求得  $\alpha$  值。

理论分析和实验都表明,气体对光能的吸收与温度有关,从而造成测量误差。变化的一个原因是由于温度变化造成了气体浓度的变化,如果仪器是在室温下得到的定标结果,那么在高温度测量时必须进行相应的线性修正。另外一个比较复杂的原因,是温度的升高导致气体分子内部的更高能级的谱线被激发,导致对光能的吸收增加,从而引起气体浓度测量值的增加。这个误差需要通过下面的公式进行补偿:

$$c(T) = c(T_0) \left( \frac{T}{T_0} \right)^n \quad (3)$$

式中,  $T_0$  和  $T$  分别是定标和实际测量时的温度;  $n$  是一个经验系数,与气体的浓度有关。上面的定标结果和修正参数通过对实验中得到的数据进行处理获得,并固化在单片机的 ROM 中,供仪器进行在线测量时使用。

## 6 结论

本文利用光谱吸收原理,提出了测量 CO 气体

浓度的近红外检测技术,通过可调谐激光器将工作波长选定在 1.57 $\mu\text{m}$  附近,降低了测量成本。这套系统允许在线连续测量,控制好激光器的工作温度可以使系统具有较好的稳定性,光纤的引入也简化了整个系统构造,为工业生产中 CO 浓度的监测与定量分析提供了一种较理想的方法。通过改变工作波长,相同方法也可用于其它气体浓度的测量,具有较灵活广泛的应用范围。

## 参考文献:

- [1] 施德恒,刘建新.利用红外光谱吸收原理的 CO 浓度测量装置研究[J].光学技术,2001,27,(1):91-94.
- [2] 曾宪林,袁永忠.双光源、双探测器红外 CO 浓度测量装置[J].激光与红外,2003,33,(1):57-60.
- [3] 孙圣和,王廷云,徐影.光纤测量与传感技术[M].黑龙江:哈尔滨工业大学出版社,2002.
- [4] Waldemar W Ćwik, Ivan Manak. Application of absorption spectroscopy in optoelectronic analyzer of oxygen and carbon monoxide concentration [A]. Proc of SPIE 2003. 5124, 252 - 257.

# 第八届全国激光加工学术会议征文通知 (第一轮)

中国光学学会激光加工专业委员会定于 2006 年 11 月 25 ~ 27 日在广州举办“第八届全国激光加工学术会议”,本次会议将邀请英国利物浦大学 William Steen 教授等一些国外知名专家参加会议并作报告。会议报告的方式为:中国代表以中文报告论文,国外代表以英文报告论文,配有现场中文翻译。

主办单位:中国光学学会激光加工专业委员会

承办单位:华南师范大学信息光电子科技学院  
广州市光机电工程研究开发中心

学术委员会 主任:刘颂豪(华南师大)

邓树森(激光加工专业委员会)

组织委员会 主任:钟敏霖(清华大学)

宋威廉(中电科技集团 11 所)

征文范围:激光与材料的相互作用机制;激光连接(焊接、钎焊);激光去除(切割、打孔、清洗、抛光等);激光强化(合金化、熔覆、沉积等);激光彩色标记;激光制备新材料(新组织、新性能);激光快速成形、激光板材成形、激光快速制造;轻金属激光加工;激光复合加工技术(复合焊接、复合熔覆、复合切割);激光微纳米技术;激光超短脉冲、紫外、深紫外加工;激光微成形、微连接、微去除等;激光加工新技术及新应用;激光加工过程检测与控制;激光加工过程模拟与理论模型;激光加工软件;高转换效率 CO<sub>2</sub>、Nd YAG 激光器等;光纤激光器、全固态激光器、半导体激光器等;激光光束质量优化及影响;激光加工系统、辅助设备、元器件。

征文要求:已在国内外公开发表过的论文不在应征范围之内;中文论文摘要(500 - 800 字)截止时间:2006 年 6

月 1 日。论文摘要题目下方请注明作者姓名、单位。请务必在文后注明第一作者准确的通讯地址、邮编、email 电话号码及传真。审查录用后秘书组将于 6 月 15 日前通知作者。论文摘要从即日起寄寄,用 email 寄电子版;论文全文截止时间:2006 年 9 月 30 日。录用论文要求提交详细英文摘要,论文全文和详细英文摘要的详细格式要求将在第二轮通知中给出;论文集:经专家评审后,录用论文将参加会议交流并编入论文集。会议将出光盘论文集,在会上发给注册与会代表,优秀论文推荐专业期刊出版;本次会议将评选优秀学位论文(第一作者是研究生,经录用由本人作现场报告的论文)并颁发优秀学位论文证书和奖金。

会议安排:报到时间:2006 年 11 月 24 日;报到地点:广州市(开会宾馆在后续通知中告知);开会时间:2006 年 11 月 25 ~ 26 日;会后(11 月 27 日)由旅行社组织香港一日游(自愿参加,费用自理);会务费(包括用餐):700 元/人,在校研究生:500 元/人;住宿费(在后续通知中告知);会议不安排接站。

会议秘书组通讯处(摘要邮寄地址)

地址:北京清华大学机械工程系激光加工研究中心

邮编:100084

电话:(010) 62772993, 62796446, 手机:13801247220

传真:(010) 62773862, (010) 62796466

联系人:钟敏霖教授, Email: zml@tsinghua.edu.cn

会议秘书:张红军工程师,电话:(010) 62773858

Email: zhhjdme@tsinghua.edu.cn