

光纤瓦斯传感系统研制*

吴晓立

林崇杰

(西南交通大学)

(电子科技大学)

本文所讨论的是一种全光学、本安型光纤瓦斯传感系统。利用瓦斯气体在 $1.331\mu\text{m}$ 的混合吸收带,按lambert定律与双波长差分吸收法,来探测大气中瓦斯气体的含量,由微机实现数据采集与处理,实时显示所测瓦斯浓度,精度可达 0.025% 。

Development of the optical fiber gas sensor system

Wu Xiaoli

(Southwest Jiaotong University)

Lin Chongjie

(University of Electronics Science and Technology of China)

Abstract

A optic fiber gas sensor system, which is a type of all-optics and naturally safe is described. It detects the gas density in air, using the mixture absorbing band of gas in $1.33\mu\text{m}$, according to the lambert law and twowavelength difference absorbing method. It also uses the micro-computer to collect and process data. The precision can reach 0.025% .

一、引言

光纤传感器是70年代中期发展起来的一门新技术。目前,这项技术开发范围有:温度、压力、振动、电场、磁场、流量和化学等许多领域。光纤传感器具有体积小、灵敏度高、耐腐蚀、抗电磁干扰和绝缘好等优点,同时又具有与光纤遥测技术、光纤通信技术的兼容性,易与微机相连接,受到广泛的重视。

* 本工作得到电子科技大学501教研室刘文达副教授,陈永晖、颜孔仁、刘名玉老师以及韦向峰、孙黔等同学的大力支持和热情帮助。

研制的光纤瓦斯传感系统是全光学本安型。该项技术能以光谱分析法远距离探测环境污染，易燃、易爆物的漏散，各种工业矿山以及城市中易燃与有毒气体。因此我们所研制的这种光纤瓦斯传感系统可广泛用于石油、化工、天然气站、管道、煤矿、环境污染等许多领域。

二、系统原理与装置

所要探测的瓦斯气体是处于各种气体共存的大气层中。它们的光谱特性如图1所示，同时也对应标出了光纤损耗曲线图。

很明显，为了避免其它气体分子的吸收影响和光路中参数的变化，系统必须采用双波长差分吸收法的工作原理。由此推出待测气体的浓度如下：

$$N = \frac{1}{(\sigma(\lambda_m)\sigma(\lambda_R)) \cdot L} \ln \frac{k(\lambda_m) \cdot I_0(\lambda_m) \cdot I(\lambda_R)}{k(\lambda_R) \cdot I_0(\lambda_R) \cdot I(\lambda_m)}$$

式中， λ_m 是待测气体的吸收峰波长（工作波长）， λ_R 是参考波长， $\sigma(\lambda_i)$ 是此气体在对应波长处的吸收截面（ $i = m, R$ ）， L 是吸收气室的长度， $k(\lambda_i)$ 是光系统的损耗因子， $I_0(\lambda_i)$ 是输入光功率， $I(\lambda_i)$ 是接收光功率。

当传感器与光系统确定后，浓度 N 与式

$$x = \ln \frac{I_0(\lambda_m) \cdot I(\lambda_R)}{I_0(\lambda_R) \cdot I(\lambda_m)}$$

有线性关系：

$$N = ax + b$$

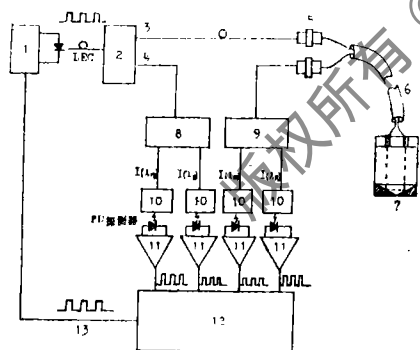


图2 光纤瓦斯传感系统工作框图

1. 驱动电路 2. Y型光分路器 3. m端 4. n端
5. 光纤活动接头 6. 2km光缆 7. 探头
8. Y型光分路器1 9. Y型光分路器2
10. 滤光片 11. 放大电路 12. 微型计算机计算、显示
13. 脉冲调制电信号

得到 $I_0(\lambda_m)$ 、 $I_0(\lambda_R)$ 的值。由此便实现了差分吸收法检测。

系统中采用的滤光片其带宽为100Å，峰值透过率为70%，为了使光垂直入射在滤光片

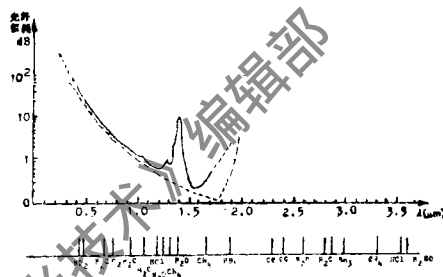


图1 光纤损耗曲线与大气中各分子的吸收谱

根据此工作原理，设计了如下光纤瓦斯传感系统。

工作方式说明：由微机控制D/A转换，输出调制信号，使光源LED在此信号调制下，也输出相应的光信号，这样可减小接收端的直流漂移，提高测试精度。发射光经过大比例的X型分路器，分成两路。一是工作光路（m端），经2 km的光缆、探头，携带信息返回到Y型分路器2处，再分成两路光，由滤光片分别识别出1.331μm与1.27μm的光，进行检测放大，并转换成数字量，这便是 $I(\lambda_m)$ 与 $I(\lambda_R)$ 的值。另一监控光路（n端），由Y分路器1分成两路，直接由滤光片分出1.331μm、1.27μm的光，经同样处理，便得

上,采用自聚焦透镜准直,使发散角从 15° 左右降至 3° 左右。系统采用的Ge探测器与之耦合。

三、系统的参数选取

λ_m 、 λ_R 选取: 所测瓦斯气体的本征吸收谱在 $\nu_1(2913.0\text{cm}^{-1})$ 、 $\nu_2(1523.3\text{cm}^{-1})$ 、 $\nu_3(3018.9\text{cm}^{-1})$ 、 $\nu_4(1305.9\text{cm}^{-1})$ 处, 但为适应光纤传输的波长范围, 只能选取这些波长的谐波或混合带(见图1)。如 $2\nu_3$ 、 $\nu_2+2\nu_3$; 其对应波长是 $1.66\mu\text{m}$ 与 $1.331\mu\text{m}$ 。根据目前国产LED参数, 只能选 λ_m 为 $1.331\mu\text{m}$, 而 λ_R 选在离 λ_m 较近的 $1.27\mu\text{m}$ 处, 这是为了能从同一LED分出, 同时又避免大气中其它分子(如 N_2 、 NH_3 、 H_2O 等)的吸收而定的。

传感探头: 是由一对准直透镜与一棱镜(使棱镜能达全反射)组成。整个探头的几何损耗在 $4\sim 7\text{dB}$ 。它与传统的电催化探测器相比较, 有如下优点: (1)本身不发热, 无电, 无火, 这种固有的安全性消除了爆炸的危险和电磁干扰问题。(2)观察到的气体浓度可单值地得出, 动态范围大; 传统的催化探测器在高浓度时可能会出现模糊响应甚至“中毒”损坏。(3)反应速度快。(4)对气体种类(此处是瓦斯)有很高的选择性。

光源选取: 光源所含波长范围是本系统研制的关键。要求光源: (1)光纤中传输损耗小; (2)有瓦斯气体吸收的波长; (3)纤尾输出功率大。目前国内长波长LED的峰值在 $1.25\mu\text{m}\sim 1.30\mu\text{m}$, 半宽度 $\Delta\lambda$ 在 $500\text{\AA}\sim 1000\text{\AA}$ 。

按实际的LED发光光强度分析接近于高斯型, 其相对的强度分布函数为:

$$I(\lambda, \lambda_0) = A \cdot \exp\left[-0.5 \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\sigma_G}\right)^2\right]$$

或

$$\bar{I}(\lambda, \lambda_0) = A \cdot \exp\left[-4 \ln 2 \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\Delta\lambda}\right)^2\right]$$

取不同的 λ_0 、 $\Delta\lambda$ 值, 可得不同的高斯型分布函数曲线。由此估算并与国产LED的参数比较, 选 $\lambda_0 = 1.30\mu\text{m}$, $\Delta\lambda = 800\text{\AA}$ 较切实际。

温漂考虑: 由于PN结结温的升高, 会导致LED发光不稳定, 且会产生波谱的漂移。按一般 $3\text{\AA}/^\circ\text{C}$ 的变化, 若温度改变 40°C , 就有 120\AA 的漂移, 按上所取光源, $I(\lambda_r)/A \sim 50\%$ 左右。精选光源, 可以保证信

号光、参考光都会存在于光路中, 采用双波长差分法, 也排除了温漂引起的光功率起伏的影响。

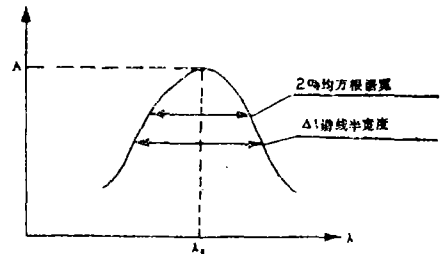


图3 高斯光强度分布示意图

四、实验结果

瓦斯气体在 $1.331\mu\text{m}$ 处吸收系数的测定: 用带宽 100\AA 的滤光片($\lambda_0 = 1.331\mu\text{m}$), 测得此处瓦斯气体的吸收系数为 $0.164 \times 10^{-6} (\text{ppm} \cdot \text{m})^{-1}$ 。与有人用分辨率更好的滤光片(3\AA)测得的值 $5.4 \times 10^{-6} (\text{ppm} \cdot \text{m}^{-1})$ 相吻合。

瓦斯浓度曲线的测定: 在不同的确定的瓦斯浓度下, 由微机对应读取数据, 得出实验曲线(图4)。

曲线保持了线性特性, 可测浓度动态范围是20dB。根据技术条件, 系统分辨率可达0.025%, 采用微机对信号进行同步累积平均的方法, 经过m次, 可提高信噪比 \sqrt{m} 倍。

五、结 论

本处采用 $\lambda_m = 1.331\mu\text{m}$ 的工作波长。瓦斯气体在 $1.66\mu\text{m}$ 处也是一个谐波吸收峰, 其吸收系数为 $1.3 \times 10^{-2} (\text{Torr} \cdot \text{m})^{-1}$ (波长分辨率为 3\AA), 它比 $1.331\mu\text{m}$ 处大近一倍。这样, 若有更长波长的LED, 测量瓦斯气体浓度将更为方便。

若更换滤光片的透过波长, 此技术也能用于检测其它气体的浓度。

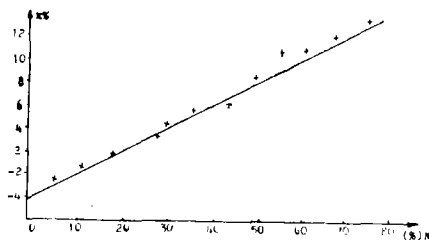


图4 x%~N%实验结果曲线

参 考 文 献

- (1) Appl. Opt., 1984, Vol. 23, P. 3415.
- (2) 《第二届国际光纤传感器会议论文集》, 1984年.
- (3) Appl. Opt., 1983, Vol. 22, No. 23.

* 作者简介: 林崇杰, 男, 1938年5月出生。副教授。现赴美访问, 从事激光技术光纤通讯和传感方面的工作。

* 吴晓立, 男, 1961年8月出生。硕士, 助教。现从事物理教学与科研。

收稿日期: 1988年4月25日。

· 简 讯 ·

DFB二极管激光器获得异常高的频率稳定性

一种新颖的小型二极管激光光源达到异常高的频率稳定性, 它的工作波长是 $1.3\mu\text{m}$ 或 $1.55\mu\text{m}$ 。依靠温度稳定的法布里-珀罗干涉仪的主动反馈控制, 确定这个参数在10s内不超过 $1/10^9$ 。新泽西州Santec有限公司于1988年1月在新奥尔良召开的OFC会议上展出了这种光源。其应用包括相干光纤通讯、光谱学、运动神经学。

译自L. F. /E-Opt., 1988, No.3, P.10.

邹福清 译 刘建卿 校