

文章编号 1004-924X(2012)10-2154-07

痕量 N₂O 气体检测系统的设计与实现

郑守国^{1,2,3}, 李 淼^{2*}, 张 健^{2,3}, 张浩东^{1,2}, 胡泽林²

(1. 中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031;

2. 中国科学院 合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031;

3. 无锡中科智能农业发展有限公司, 江苏 无锡 214105)

摘要:建立了基于光谱吸收技术的检测系统,用于快速、准确地测量 N₂O 气体浓度。首先,从理论上证明了二次谐波、一次谐波与 N₂O 气体浓度之间的关系;然后,设计了痕量 N₂O 气体浓度检测系统,利用光源调制、锁相放大等技术,实现了强杂波背景下气体浓度弱信号的解析;最后,实验测试了系统的检测性能、抗干扰能力及检测结果的可重复性。测试结果表明,系统能够在 0~1% 有效检测 N₂O 气体浓度,检测下限为 5.0×10^{-5} ,相对检测误差为 0.11%,检测结果线性方程为 $Y=192.699\ 09X-0.006\ 24$,线性度为 0.998 07。多次检测实验表明,系统相对标准偏差为 0.137%,CO₂、O₂、水蒸气等常见气体对检测结果无影响。改变激光器的中心波长,该方法亦可用于 CO₂、CH₄ 等其它温室气体的检测。

关键词:谐波检测;光谱吸收;N₂O;气体浓度检测;分布反馈激光器

中图分类号:O657.319;X831 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20122010.2154

Design and implementation of trace N₂O detection system

ZHENG Shou-guo^{1,2,3}, LI Miao^{2*}, ZHANG Jian^{2,3}, ZHANG Hao-dong^{1,2}, HU Ze-lin²

(1. *Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;*

2. *Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;*

3. *Wuxi Intelligent Agricultural Development Co., Ltd., Wuxi 214105, China)*

* *Corresponding author, E-mail: mli@iim.ac.cn*

Abstract: A measurement system based on the spectral absorption was established to measure the N₂O concentration accurately. First, the relationship of the second-harmonic, the first-harmonic with N₂O gas concentration was demonstrated in theory. Then, a N₂O detection system for trace concentration was designed based on a Distribute Feedback Laser (DFB). By using the light modulation and lock-in amplifier technologies, weak gas concentration signals in the strong clutter background were analyzed. Finally, the detection performance, anti-jamming capability and the repeatability of test results were verified through experiments. Test results indicate that the system can offer the measuring range from 0 to 1%, detection limit of 5.0×10^{-5} , and the relative detection error of 0.11%. Furthermore, the linear equation is $Y=192.699\ 09X-0.006\ 24$, the linearity is 0.998 07, and the relative standard deviation is 0.137%. It also proves that the CO₂, O₂, water vapor, *et al.* have no effect on the experi-

收稿日期:2012-05-14;修订日期:2012-07-02.

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(No. 2012BAJ24B02);国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2011AA100704);国家自然科学基金资助项目(No. 21107114/B0702)

mental results. By changing the centre wavelength of the laser, the system can be used in the detection of other greenhouse gases, such as CO₂ and CH₄.

Key words: harmonic detection; spectral absorption; N₂O; gas concentration detection; Distributed Feedback(DFB) laser

1 引言

N₂O 气体是主要的温室气体之一,尽管它在大气中的含量很少,浓度为 0.3~0.4 μL/L,但是 N₂O 的增温效应极其明显,约为 CO₂ 的 150~200 倍^[1],而且 N₂O 在大气中极其稳定,其平均寿命可达 120 年^[2]。近几年来,由于农业与工业的迅速发展,导致大气中的 N₂O 浓度以每年 0.3% 的速率增加^[3],所以准确地监测 N₂O 的浓度意义重大。

目前,国内外用于检测 N₂O 的方法主要是气相色谱法,它具有检测精度高、可靠性强等优点^[4],但也存在着一些明显的不足:检测仪器成本高,检测时间长;另外,由于 O₂, H₂O, CO₂ 的干扰会导致在测量 N₂O 时色谱基线迅速抬升^[5],影响气相色谱法对 N₂O 气体测量的准确度。

本文在分析谐波检测的基础上,采用分布反馈式(Distributed Feed Back, DFB)半导体激光器作为光源,通过对激光光源的调制来实现对含有 N₂O 气体浓度信息的一、二次谐波检测,用二次谐波与一次谐波的比值来反演 N₂O 气体浓度值。检测设备为常见商用激光器、锁相放大器,成本相对较低;利用光谱吸收原理测量,检测速度快;而且检测系统抗干扰能力强,检测结果可靠,不受周围环境与光源功率波动的影响^[6]。

2 N₂O 检测系统的原理及结构

2.1 谐波检测基本原理

根据比尔-朗伯特(Beer-Lambert)定律,激光器发出强度为 I_{in} , 波长为 λ 的激光,通过长度为 L 的气体吸收介质后,在接收端测得的光强为^[7-8]:

$$I_{out}(\lambda) = I_{in}(\lambda) \exp[-\partial(\lambda)CL], \quad (1)$$

式中: $\partial(\lambda)$ 为气体吸收系数,即气体在特定波长 λ 处的吸收线型, C 为气体浓度。变换可得:

$$C = \frac{\ln(I_{out}/I_{in})}{\partial(\lambda)L}. \quad (2)$$

由式(2)可知,当光源的中心波长精确对准 N₂O 气体的吸收峰时,光通过 N₂O 气体就会被吸收,其吸收强度与该气体浓度有关,通过分析输出光强的变化可以反演得到气体的浓度信息。

在系统设计过程中,光源稳定性、环境噪声、电子学噪声等因素都会给检测结果带来干扰。由于 N₂O 气体吸收信号极其微弱,噪声信号相对较强,即系统具有极小的信噪比,利用传统的滤波方法很难提取这种强杂波背景下的微弱信号,因此在本文的系统设计过程中引入了谐波检测技术。

为了产生谐波信号,在激光器的直流工作电流上叠加一个频率为 f 的正弦信号:

$$i(t) = i_0 \eta \sin(\omega t), \quad (3)$$

其中: i_0 为激光器额定直流工作电流, η 为电流调制幅度,角频率 $\omega = 2\pi f$ 。

由于分布反馈式激光器的输出是注入电流的函数,所以调制注入电流经激光器的输出光强将受到相应的调制,且光强调制幅度与输入电流的调制幅度相同,调制后的激光器光强为:

$$I_m(t) = I_0 [1 + \eta \sin(\omega t)], \quad (4)$$

式中: I_0 为没有调制信号激光器的平均光强,将调制后的激光信号带入到式(1)得到:

$$I_{out}(\lambda, t) = I_0 [1 + \eta \sin(\omega t)] \exp[-\partial(\lambda)CL]. \quad (5)$$

在近红外波段,气体的吸收系数很小,当气体浓度也较小时,满足 $\partial(\lambda)CL \ll 1$,可以近似取:

$$\exp[-\partial(\lambda)CL] \approx 1 - \partial(\lambda)CL. \quad (6)$$

在设计过程中,设定光强的调制幅度很小(约 0.05),满足 $\eta \ll 1$,将公式(5)中括号展开,忽略高阶项 $I_0 \eta \sin(\omega t) \partial(\lambda)CL$ 可以得到:

$$I_{out}(\lambda, t) = I_0 [1 + \eta \sin(\omega t) - \partial(\lambda)CL]. \quad (7)$$

根据气体分子的吸收线型,经过相关数学处理^[9-10],将公式(7)展开为傅里叶级数序列,可以得出一次谐波幅值和二次谐波幅值,分别为:

$$I_f = \eta I_0, \quad (8)$$

$$I_{2f} = 0.343CL\alpha_0 I_0. \quad (9)$$

从中可以看出:一次谐波分量主要由调制强度引起,其幅度正比于光源的平均光强 I_0 ,与气体浓度没有直接联系,不能反映气体的浓度值,二

次谐波分量与气体浓度成正比关系。在系统设计过程中,由于光源、环境噪声、电子学噪声等带来的干扰,式(9)中的 I_0 并不是稳定的,为了消除光源功率等不稳定因素带来的 I_0 变化,可用二次谐波和一次谐波的比值作为系统的输出来消除光源波动等共模噪声对检测结果的影响^[11-15],二次谐波与一次谐波的比为:

$$R_{21} = \frac{I_{2f}}{I_f} = 0.343CL \frac{\alpha_0}{\eta}. \quad (10)$$

从式(10)可以看出,决定 R_{21} 值的参数当中,气体吸收光程 L 、光源调制幅度 η 、 N_2O 气体吸收线中心的吸收系数均为确定值, R_{21} 值只与气体浓度 C 有关,只要测量出 R_{21} 的大小,就可以反演计算出 N_2O 气体的浓度 C 。

2.2 系统结构

根据谐波检测理论,本实验设计的系统如图1所示,主要包括功率与波长均可调的DFB激光器,以及激光器的温度和电流调制系统,光路系统,气体的光谱吸收系统,光电探测器,锁相放大器以及嵌入式数据采集与处理系统。根据 HIT-RAN 数据库, N_2O 气体吸收线中心波数为 $6\,568.342\,43\text{ cm}^{-1}$,吸收线强度为 $2.2 \times 10^{-23}\text{ cm/mol} \cdot \text{cm}^{-2}$,所以在本文设计的测量系统中,采用了波长为 $1\,522\text{ nm}$ 、功率为 5 mW 的商用DFB激光器,它是通过改变激光器的注入电流来改变激光器的激活区温度,实现激光器输出强度与波长的可调谐。激光器的工作温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$,中心电流为 60 mA ,实验通过 50 Hz 低频锯齿波扫描电流的调谐,使激光波长扫过 N_2O 气体吸收线 $1\,522.45\text{ nm}$,激光器调谐后的波长扫描为 $1\,520 \sim 1\,524\text{ nm}$ 。同时为了实现二次谐波 I_{2f} 探测,在锯齿波上叠加调制频率为 4 kHz 的高频正弦波来实现激光器输出频率的调谐,试验中通过调整正弦调制信号的幅度来改善信号检测的性能,提高测量精度和检测灵敏度。

实验中,光电探测器选择了 PIN 型 InGaAs 光电二极管,锁相放大器采用哈佛大学的 SR830。在进行二次谐波 I_{2f} 检测时,调制电路同时产生锯齿波扫描信号与正弦波调制信号,通过控制激光器的电流实现对激光波长的调制,调制后的激光 I_{in} 通过气体吸收池,由于气体的光谱吸收作用,在接收端激光信号衰减为 I_{out} 。气体吸收池两端设置渐变折射率 (GRIN) 聚焦透镜,保证了激光平

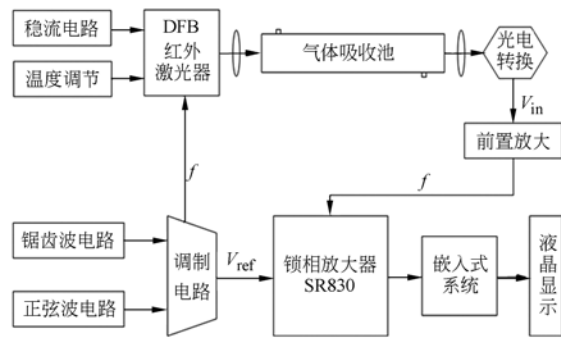


图1 实验系统结构

Fig. 1 Structure of experimental system

行入射进入气体吸收池,并且从吸收池出来的光全部汇聚到光电探测器的感光面上。经过探测器光电转换后的电信号 V_{in} 通过前置放大电路的预处理后接入到锁相放大器输入端,而锁相放大器的参考信号端接调制信号 V_{ref} 。根据互相关检测原理,可以用一个与被测信号频率相同的参考信号来提取被测信息,本实验系统当中参考信号 V_{ref} 与输入信号 V_{in} 中的有效成分频率 f 完全一致,可以达到从强杂波背景中提取微弱信号的目的。锁相放大器的输出信号经过 A/D 转化后进入嵌入式系统,该系统主要完成对气体浓度信号的采集、处理与显示,实现了 N_2O 气体检测的自动化与可视化。

实验的气体吸收池长度为 50 cm ,由公式(1)可知,气体吸收池长度 L 越长,其光强变化量越大。为了获取更高的灵敏度,需要增加气体吸收光线的长度 L ,但也不能无限地增加吸收池的长度。本实验设计制作了多重反射腔结构,如图2所示,反射腔内部主要由4块平面镜组成,输入端平面镜[1]与[2]的交叉角和输出端平面镜[3]与[4]的交叉角均为 175° ,而且平面镜[1]与[3]、[2]与[4]分别平行。



图2 多重反射式气体吸收池内部结构

Fig. 2 Internal structure of multiple reflection gas cell

通过多重反射结构,在不改变气体吸收池长度 L 的基础上将气体的有效吸收路程增加到

5.5 m,提高了检测系统的灵敏度。

3 实验结果与讨论

3.1 谐波检测实验

实验采用气体浓度配比箱型号为 PQX2002,由北京宏昌信科技有限公司制造。首先,用高纯氮气(99.99%)冲洗配比箱,由于氮气在近红外波段没有吸收,因此不会对光强度变化有影响。然后,分别向配比箱充入 19 组不同浓度的 N₂O 与 N₂ 混合气体(N₂O 浓度=(N₂O 摩尔量/混合气体摩尔量)×100%),分别测量系统输出的一、二次谐波幅值 I_f 与 I_{2f},计算二次谐波与一次谐波的比值 R₂₁,结果列于表 1 中。由于 N₂O 浓度为 0 时,二次谐波存在背景值 113.290,所以在计算时要扣除,即 R₂₁=(I_{2f}-113.290)/I_f。为了直观地反映 R₂₁ 值与 N₂O 气体浓度之间的关系,做出了 R₂₁ 随气体浓度变化的散点图(见图 3)。从图中可以看出,气体浓度在 0~5% 内增大时,R₂₁ 单调增大,在 0~1% 增幅较快,气体浓度超过 1% 后增速变缓。选取气体浓度为 0~1% 观察,发现气体浓度与 R₂₁ 之间成较好的线性关系,线性拟合结果如图 4 所示。

表 1 谐波检测值

Tab.1 Harmonic detection values

气体浓度 / (%)	一次谐波幅值 I _f / mV	二次谐波幅值 I _{2f} / mV	R ₂₁
0	2 469.125	113.290	0
0.1	2 468.235	114.873	0.000 641
0.2	2 467.665	115.665	0.000 962
0.3	2 466.875	116.954	0.001 485
0.4	2 666.015	118.870	0.002 093
0.5	2 465.590	120.080	0.002 754
0.6	2 465.015	121.321	0.003 258
0.7	2 464.032	122.577	0.003 769
0.8	2 463.288	123.589	0.004 181
0.9	2 462.691	124.956	0.004 737
1.0	2 462.185	125.645	0.005 018
1.5	2 456.340	137.420	0.009 824
2.0	2 435.870	194.855	0.033 485
2.5	2 410.430	326.680	0.088 528
3.0	2 388.795	479.465	0.153 289
3.5	2 366.315	618.275	0.213 406
4.0	2 340.755	758.745	0.275 747
4.5	2 314.590	889.835	0.335 500
5.0	2 260.175	1118.405	0.444 707

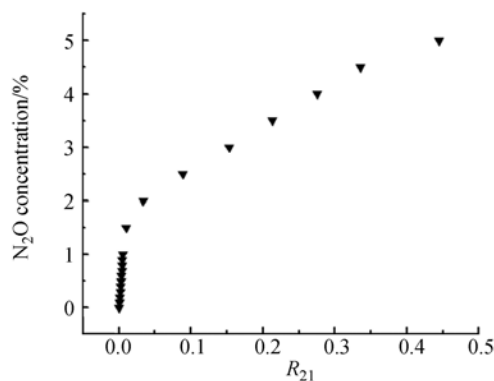


图 3 R₂₁ 与 N₂O 气体浓度关系散点图

Fig.3 Relationship between R₂₁ and N₂O concentration

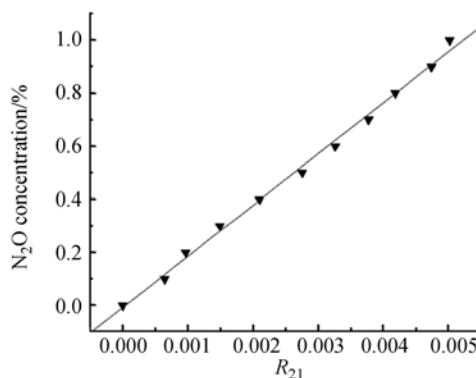


图 4 R₂₁ 与 N₂O 气体浓度线性关系图

Fig.4 Linear relation between R₂₁ and N₂O concentration

从图 4 中可以看出在低浓度情况下 N₂O 气体浓度(Y)与 R₂₁ 测量值(X)的线性关系较好,线性方程为 Y=192.699 09 · X-0.006 24,根据线性相关系数公式:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}}}, \quad (11)$$

可以计算得到线性度为 0.998 07。这说明在低浓度时,通过检测 R₂₁ 的值来测量 N₂O 气体的浓度是可靠的。但随着 N₂O 气体浓度的增大,公式(6)中的 $\partial(\lambda) CL \ll 1$ 条件不再满足,近似取值出现较大偏差,R₂₁ 值与气体浓度不再呈线性关系,无法正确反演 N₂O 气体的浓度值。综上可知,本文设计的系统检测范围 R 为:0~1%。

由于实际测量中,N₂O 气体的浓度都非常小,为了验证本设计系统的实用性,实验进一步测

量了系统的检测下限,分别检测了 N_2O 浓度为 1.0×10^{-3} 、 5.0×10^{-4} 、 1.0×10^{-4} 、 6.0×10^{-5} 、 5.0×10^{-5} 、 4.0×10^{-5} 的混合气体,结果表明该系统可探测的最小浓度为 5.0×10^{-5} 。

3.2 系统重复性实验

本实验中,采用多次测量的相对标准偏差来反应系统的重复性。首先,用氮气对配气室进行“冲洗”,直到系统的输出为零。然后,向气体吸收池内充入浓度为 0.4% 的 N_2O 气体,待稳定后记录系统检测的气体浓度值。重新向配气室通入氮气,重复以上步骤,完成 10 次测量,结果见表 2。最后,根据检测结果,计算测量的系统误差、标准偏差与相对标准偏差。

$$\xi = \frac{\max |a_i - a_0|}{R} \times 100\% = 0.11\%, \quad (12)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=10} (a_i - \bar{a})^2}{n-1}} = 0.000\ 547\ 8, \quad (13)$$

$$C_v = \frac{\delta}{a} \times 100\% = 0.137\%, \quad (14)$$

其中: a_i 为单次测量值; a_0 为气体标准浓度 0.4%; $R=1\%$ 为系统测量范围。

表 2 重复性测量结果

Tab. 2 Results of measurement in repeatability

测量次数	显示值 (%)	平均值 $\bar{a}(\%)$	标准偏差 δ	相对标准偏差 $C_v(\%)$
1	0.400 4	0.400 17	0.000 547 8	0.137
2	0.401 1			
3	0.399 6			
4	0.399 9			
5	0.400 2			
6	0.400 6			
7	0.400 5			
8	0.399 6			
9	0.399 3			
10	0.400 6			

参考文献:

[1] 王敏,张玉钧,刘文清,等. 基于室温量子级联激光器的脉内光谱技术测量 N_2O [J]. 光谱学与光谱分

3.3 干扰实验

在实际环境当中,一般都有如 CO_2 、 O_2 、水蒸气等其他干扰气体,这些气体可能对 N_2O 的检测结果造成交叉干扰。实验中以氮气为平衡气,分别配制含有 10% CO_2 与 0.5% N_2O 、10% O_2 与 0.5% N_2O 、10% 水蒸气与 0.5% N_2O 的混合气体样品 3 份,并分别进行干扰检测实验,检测结果见表 3。根据相对干扰误差公式 $\sigma = \frac{|b_1 - b_0|}{R} \times 100\%$ 可知,干扰气体 CO_2 、 O_2 、水蒸气对本系统的干扰误差分别为 0.07%、0.05%、0.09%,均未超过系统误差 0.11%,可以认为对检测结果无影响。

表 3 干扰气体实验

Tab. 3 Interfere Experiment

干扰气体	通入前 测量值 $b_0(\%)$	通入后 测量值 $b_1(\%)$	干扰误差 (%)
CO_2	0.500 0	0.500 7	0.07
O_2	0.500 0	0.500 5	0.05
水蒸气	0.500 0	0.500 9	0.09

4 结 论

本文提出了一种快速检测 N_2O 气体的新方法,利用 DFB 激光器设计了检测系统。测量结果表明:采用谐波检测技术对一、二次谐波信号幅值进行提取,能够在 0~1% 内有效地测量 N_2O 气体的浓度。实验系统的检测下限达到 5.0×10^{-5} ,相对检测误差为 0.11%,检测得到线性方程的线性度为 0.998 07。实验结果表明,本文所设计的痕量 N_2O 检测系统具有较好的重复性,相对标准偏差为 0.137%。该系统对 CO_2 、 O_2 、水蒸气等常见气体具有较强的抗干扰能力,可应用于痕量 N_2O 气体浓度的快速检测。同时,通过改变激光器的中心波长,该方法也可以推广应用于 CO_2 、 CH_4 等其他温室气体的检测。

析, 2009, 29(12): 3181-3184.

WANG M, ZHANG Y J, LIU W Q, *et al.*. Intra-pulse spectroscopy based on room-temperature pulsed quantum-cascade laser for N_2O detection

- [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29(12):3181-3184. (in Chinese)
- [2] COOPER D E, MARTINELLI R U. Near-infrared diode lasers monitor molecular species [J]. *Laser Focus World*, 1992, 28(11):133-146.
- [3] KENT L. *Development of a real-time diode laser mass flux sensor for simultaneous measurement of density and velocity of oxygen* [D]. Stanford: Stanford University, 2005.
- [4] 刘瑾, 车仁生, 王玉田. 一种基于谐波检测技术的光纤甲烷气体传感器[J]. *应用光学*, 2004, 25(2):44-47.
LIU J, CHE R SH, WANG Y T. A methane gas sensor with optic fiber based on frequency harmonic detection technique [J]. *Journal of Applied Optics*, 2004, 25(2):44-47. (in Chinese)
- [5] 王敏, 刘文清, 刘建国, 等. 可调谐二极管激光吸收光谱二次谐波检测方法的研究[J]. *光学技术*, 2005, 31(2):279-285.
WANG M, LIU W Q, LIU J G, *et al.*. Second-harmonic detection research with tunable diode laser absorption spectroscopy [J]. *Optical Technique*, 2005, 31(2):279-285. (in Chinese)
- [6] 李亚萍, 张广军, 李庆波. 空间双光路红外 CO₂ 气体传感器及其测量模型[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(1):14-19.
LI Y P, ZHANG G J, LI Q B. Infrared CO₂ gas sensor based on space double beams and its measurement model [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(1):14-19. (in Chinese)
- [7] de MARCELLIS A, DEPARI A, FERRI G. Low-voltage low-power integrated analog lock-in amplifier for gas sensor[C]. *22nd International Conference on Eurosensors, Dresden, Germany*: ICE, 2010:400-406.
- [8] 陈洪耀, 张黎明. 基于特征吸收波长板的色散型高光谱传感器光谱定标技术[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(12):2442-2646.
CHEN H Y, ZHANG L M. Spectral calibration for dispersive hyper spectral sensor based on doped reflectance standard panel [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(12):2442-2646. (in Chinese)
- [9] KRZEMPEK K, LEWICKI R, NÄHLE L, *et al.*. Continuous wave, distributed feedback diode laser based sensor for trace-gas detection of ethane [J]. *Applied Physics B*, 2012, 106(2):251-255.
- [10] WELDON V. H₂S and CO₂ gas sensing using a 1.57 DFB laser diode[C]. *Proceedings of the 2nd European conference on Optical Chemical Sensors and Bio-sensors, Florence, Italy*: ECOBS, 1994, 26:19-21.
- [11] 陈霄, 隋青美, 苗飞, 等. 高灵敏度腔增强吸收式乙炔气体检测系统[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(1):9-16.
CHEN X, SUI Q M, MIAO F, *et al.*. High sensitivity acetylene detection system based on cavity enhanced absorption technique [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(1):9-16. (in Chinese)
- [12] MUHAMMAD F A, STEWART G. D-shaped optical fiber design for methane gas sensing [J]. *Electron Lett.*, 2009, 28(13):1025-1026.
- [13] 陈霄, 隋青美, 苗飞, 等. 应用单一超窄线宽激光器的多气体检测系统设计[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(7):1495-1502.
CHEN X, SUI Q M, MIAO F, *et al.*. Design of detecting system for multi-component gases based on single ultra-narrow-linewidth laser [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(7):1495-1502. (in Chinese)
- [14] GERARD D, ELFED L, COLIN F, *et al.*. Low concentration monitoring of exhaust gases using a UV-based optical sensor [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2007, 7(5):685-691.
- [15] 赵燕杰, 王昌, 刘统玉, 等. 基于光谱吸收的光纤甲烷监测系统应用[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(10):2857-2860.
ZHAO Y J, WANG CH, LIU T Y, *et al.*. Application in methane extraction of fiber methane monitoring system based on spectral absorption [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(10):2857-2860. (in Chinese)

作者简介:



郑守国(1985—),男,安徽庐江人,博士研究生,2008年于合肥工业大学获得学士学位,2010年于哈尔滨工业大学获得硕士学位,主要从事温室气体在线监测技术的研究。E-mail: zhshg1985@163.com



张浩东(1980—),男,安徽合肥人,讲师,博士研究生,主要从事农业专家系统与新型传感技术的研究。E-mail: zhd_otto@sina.com



李 森(1955—),女,安徽庐江人,研究员,博士生导师,现为中科院合肥智能机械研究所智能信息中心主任,主要从事农业信息获取与传感技术方面的研究。E-mail: mli@iim.ac.cn



胡泽林(1977—),男,江西会昌人,博士研究生,2002年于中国科技大学获得学士学位,2006年于中国科学院研究生院获得硕士学位,主要从事农业远程监控与智能决策系统,农业物联网技术的研究。E-mail: hzlin@ustc.edu



张 健(1954—),男,陕西延安人,研究员,博士生导师,现为中科院合肥智能机械研究所智能信息实验室主任,主要从事农业信息获取与传感技术方面的研究。E-mail: jzhang@iim.ac.cn

● 下期预告

制作高密度衍射光栅的闭环控制系统

蔡锦达¹,王 英¹,颜廷萌²,秦绪祥¹,王 亮¹

(1. 上海理工大学 机械工程学院,上海 200093;

2. 大连理工大学 机械工程学院,辽宁 大连 116024)

系统刻划的光栅主要应用于光谱仪器,高精度的运动控制系统是制作高密度母光栅的关键技术,以 S3C2440A 为控制核心,设计了衍射光栅刻划机的高密度运动控制系统,可实现现场显示、实时控制等功能。S3C2440A 微控制器控制伺服电机和步进电机完成光栅刻划的分度运动和刻划运动,通过 SiGNUMTMRELM 直线光栅尺反馈和 PD 加前馈控制算法处理,补偿由于惯性等原因造成的分度误差,并用 MATLAB 对使用 PD 加前馈控制算法的分度运动进行仿真;采用 RON225 增量式角度编码器反馈以补偿刻划运动的步进电机因失步造成的误差;通过对实验数据的分析和处理,获得分度运动最佳速度和伺服电机在此分度运动速度下停止时的过冲距离。对可能产生控制误差的原因进行了初步的分析,并提出改进和需要进一步完善的地方。