

激光器特性在痕量气体检测中的影响*

张锐¹⁾²⁾ 赵学珏^{1)†} 赵迎¹⁾ 王喆¹⁾ 汪曦¹⁾

1) (天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

2) (天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

(2014年3月3日收到; 2014年3月25日收到修改稿)

研究了激光器扫描步长和线宽两种特性对可调谐半导体激光吸收光谱检测系统的影响, 理论上推导出激光与气体吸收谱线的作用原理, 分析出扫描信号(锯齿波)的台阶间隔和高度影响激光器中心波长的扫描原理. 设定了仿真参数, 仿真出锯齿波台阶数与最大扫描误差关系曲线, 得出扫描信号的一个周期内具有4000个台阶时, 半高全宽(FWHM)大于 0.01 cm^{-1} , 误差小于1%; 仿真出激光器线宽与最大幅值、线宽误差关系曲线, 给出线宽误差最大为1%, 0.5%时激光器线宽对应的最小FWHM. 在温度系数 n 取0.9, 大气展宽系数 γ_{air} 取0.005的条件下, 给出温度 T , 压强 P 与FWHM关系图, 推出了适用的压强与温度范围. 为指导选取激光器与气体吸收谱线、提高系统检测限提供了相关理论依据.

关键词: 可调谐半导体激光吸收光谱, 激光器特性, 线宽误差, 扫描误差

PACS: 07.07.Df, 07.57.Ty

DOI: 10.7498/aps.63.140701

1 引言

可调谐半导体激光吸收光谱(tunable diode laser absorption spectroscopy, TDLAS)技术具有响应速度快、高灵敏度等特点, 可应用于痕量气体检测中^[1-4]. 在TDLAS系统中, 光源多采用分布式反馈(distributed feedback, DFB)激光器, 其具有价格低、窄线宽、可调谐等特性.

对此类激光器特性的研究较多, 文献^[5-11]中提出了用外差法、自外差法、零拍法等原理测量激光器的线宽; 文献^[12-14]研究了激光器相对强度噪声(relative intensity noise, RIN)的测量及对TDLAS系统的影响; 文献^[15-20]研究了激光器相关强度调制(residual amplitude modulation, RAM)信号产生原理及延时光纤消除方法; 文献^[21, 22]利用锁模技术抑制激光器波长漂移; 文献^[23-27]研究了利用一次谐波标准化二次谐波消除

激光光强的变化; 文献^[28, 29]分析了光源波长漂移和扫描步长等因素对系统检测精度的影响. 上述研究成果对激光器的使用、提高痕量气体的检测限和稳定性具有指导意义. 然而激光器线宽大小对检测结果的影响原理与定量分析、激光器扫描步长与扫描信号之间的关系及引起的误差却未见报道.

本文研究了激光器线宽与扫描步长两种特性在TDLAS中的影响原理, 详细分析了具有一定线宽的激光器出射激光与气体吸收谱线的作用原理, 提出了扫描信号引起激光器扫描步长的产生原理, 确定系统允许的锯齿波台阶数. 文中通过仿真, 在不同气体吸收半高全宽(full width at half maximum, FWHM)条件下, 得出激光器线宽与气体吸收谱线最大幅值及产生的线宽误差关系曲线; 给出激光器线宽确定时允许的最小FWHM(FWHM_{min})及适用的温度和压强范围. 为指导选取激光器与气体吸收谱线、提高系统检测限提供了相关理论依据.

* 国家重点基础研究发展计划(批准号: 2010CB327800)、天津市应用基础与前沿技术研究计划(批准号: 14JCYBJC22800)和高等学校博士学科点专项科研基金(批准号: 20090032110053)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: zhaoxh@tju.edu.cn

2 理论分析

2.1 激光与气体吸收谱线作用原理

根据朗伯-比尔定律,

$$I_t = I_0 \exp(-S(T)g(v, v_c)PCL), \quad (1)$$

(1)式中 I_t , I_0 分别是出射和入射激光强度; $S(T)$ 是一定温度 T 下的谱线强度; $g(v, v_c)$ 是气体吸收谱线线型函数; P 是气体压强; C 是吸收气体的体积分数, 表示浓度; v 为气体吸收谱线频率; v_c 为气体吸收谱线中心频率; L 为光程长度. 当 $S(T)g(v, v_c)PCL \ll 1$ 时,

$$\begin{aligned} & \exp(-S(T)g(v, v_c)PCL) \\ & \approx 1 - S(T)g(v, v_c)PCL, \quad (2) \\ I_t & = I_0(1 - S(T)g(v, v_c)PCL) \\ & = I_0 - I_0S(T)g(v, v_c)PCL \\ & = I_{t1} + I_{t2}, \quad (3) \end{aligned}$$

上式中第二项 I_0 和 $g(v, v_c)$ 相互作用, 当激光器出射激光具有一定的线宽时, 假设线宽为 dn_{LD} , $\frac{I_0}{dn_{LD}}$ 可看作是激光器的功率谱密度. 若实验环境为一个标准大气压时, 气体吸收谱线的线型函数可用 Lorentz 曲线描述^[18]. 激光器出射激光与气体吸收谱线作用原理如图 1 所示. 图中曲线 1 表示具有 Lorentz 线型的气体吸收谱线, 曲线 2 表示激光器出射激光, 具有一定的线宽 dn_{LD} , A, B 为两个端点. 为简化问题, 认为激光器出射激光的强度在 AB 两点间是均匀的, 激光器在 AB 线宽内总出射激光强度为 I_0 . A 点的横坐标是 a , B 点的横坐标是 $a + dn_{LD}$, I_{t2} 可写成下式:

$$\begin{aligned} I_{t2} & = -I_0S(T)g(v, v_c)PCL \\ & = -\lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{x=1}^N \frac{I_0}{dn_{LD}} S(T)g(v_x, v_c)PCL \\ & = \frac{-I_0S(T)PCL}{dn_{LD}} \\ & \quad \times \int_a^{a+dn_{LD}} g(v_x, v_c)dv_x \\ & = k \int_a^{a+dn_{LD}} g(v_x, v_c)dv_x, \quad (4) \end{aligned}$$

其中

$$k = \frac{-I_0S(T)PCL}{dn_{LD}}, \quad (5)$$

其中 v_x 是积分区间内变化的气体吸收谱线频率; 当待测气体及环境(温度、压力)、光程确定后, k 是常数. 由(4)式可知, 具有一定线宽的激光经过气体吸收后, 它们之间的相互作用可用吸收线型的定积分表示, 积分区间等于激光器线宽. 在不考虑激光器性能的情况下, 随着激光器中心波长被扫描信号调谐, 积分区间在移动, 但是区间的大小始终不变. 由于激光器出射激光具有一定的线宽时, (3)式中 $g(v, v_c)$ 改写成 $\frac{1}{dn_{LD}} \int_a^{a+dn_{LD}} g(v_x, v_c)dv_x$, 线宽对气体浓度产生影响.

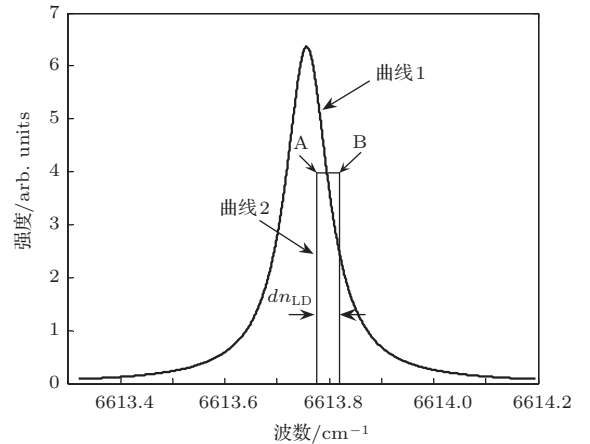


图1 激光器出射激光与气体吸收谱线作用原理

在扫描信号(如锯齿波)的一个周期内, 作者实验室所用的DFB激光器在工作温度不变的条件下, 输入电流 i 在 15—100 mA 范围与激光强度 I_0 之间呈良好的线性关系, 一次拟合曲线的线性度最小可达 0.9997^[30]. I_0 与 i 的线性关系可表示成

$$I_0 = bi, \quad (6)$$

b 是 I_0 与 i 之间的直线斜率, 为常数. k 改写成

$$k = \frac{-I_0S(T)PCL}{dn_{LD}} = \frac{-biS(T)PCL}{dn_{LD}}, \quad (7)$$

k 随 i 呈线性变化, 激光器出射激光经气体吸收后的谱线会存在一个锯齿波特性的背景. 在后续的数据处理中, 利用无气体吸收的基线部分进行曲线拟合实现基线校正, 可将具有锯齿波特性的基线信号消除掉^[31,32]. 因此在本文的研究中, 随着激光器中心波长的变化, 可不考虑扫描信号锯齿波引起的激光强度变化, I_0 为固定值.

2.2 激光器扫描分析

一个周期内的扫描信号在理想情况下是连续线性变化的, 实际中信号发生器采用直接数字频率合成器 (direct digital synthesizer, DDS) 技术, 输出锯齿波特性如图 2 所示.

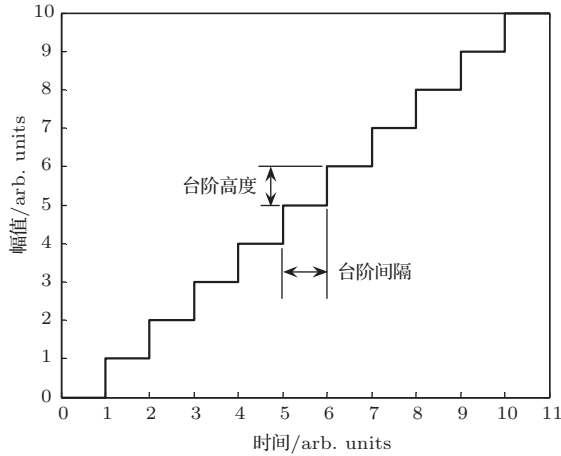


图 2 DDS 台阶波形图

因此, 在锯齿波的一个周期内, 激光器中心波长随着锯齿波台阶的变化而变化, 在每个台阶持续的时间内, 中心波长是固定的, 此时与吸收气体的相互作用可用 2.1 中分析的气体吸收谱线 AB 两点之间的定积分表示.

扫描信号的台阶间隔和高度影响系统的检测精度. 台阶间隔表征激光器中心波长在某个波长处停留的时间, 只要后续的数据采样间隔时间小于台阶间隔, 以保证在每个台阶间隔内至少有一个采样点就不会影响系统的检测精度, 台阶间隔时间设为 $t_{\text{台阶间隔}}$, 变化速率为 $1/t_{\text{台阶间隔}}$, 此时采样率 S_a 应大于台阶变化速率, 即需满足 $S_a > 1/t_{\text{台阶间隔}}$. 台阶高度表征激光器中心波长的步长——激光器扫描步长, 台阶高度可等效为相邻扫描的激光器中心波长间隔, 影响激光器是否能扫描到气体吸收谱线的峰值位置. 在应用 TDLAS 对气体检测时, 通常选取气体吸收谱线峰值处用来反演气体浓度, 扫描误差定义为激光器扫描到的谱线最大值与峰值之间的差, 会对气体浓度产生影响, 台阶高度越大, 则扫描误差就越大. 若气体吸收谱线用 Lorentz 函数表示, 其归一化形式:

$$g(v, v_c) = \frac{\Delta v_L}{2\pi} \times \frac{1}{\left(\frac{\Delta v_L}{2}\right)^2 + (v - v_c)^2}, \quad (8)$$

Δv_L 为气体吸收谱线 FWHM, 当 $v = v_c$ 时, 函数取最大值 G_{max} :

$$\begin{aligned} G_{\text{max}} &= g(v_c, v_c) \\ &= \frac{\Delta v_L}{2\pi} \times \frac{1}{\left(\frac{\Delta v_L}{2}\right)^2 + (v_c - v_c)^2} \\ &= \frac{2}{\pi \Delta v_L}. \end{aligned} \quad (9)$$

当 $v_x - v_c = \frac{\Delta v_{\text{扫描步长}}}{2}$ 时, 激光器扫描气体吸收谱线得到的最大值中取最小值 $G'_{\text{max}}(\text{min})$:

$$\begin{aligned} G'_{\text{max}}(\text{min}) &= g(v_x, v_c) \Big|_{v_x - v_c = \frac{\Delta v_{\text{扫描步长}}}{2}} \\ &= \frac{\Delta v_L}{2\pi} \times \frac{1}{\left(\frac{\Delta v_L}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v_{\text{扫描步长}}}{2}\right)^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

最大扫描误差 $E_{S-\text{max}}$ 定义为 (11) 式, 表示激光器扫描得到的气体吸收谱线最大值与谱线最大值的最大偏差程度:

$$E_{S-\text{max}} = \frac{G_{\text{max}} - G'_{\text{max}}(\text{min})}{G_{\text{max}}} \times 100\%. \quad (11)$$

3 仿 真

3.1 激光器扫描步长相关结果

根据谱线的展宽原理, Lorentz 线型的谱线 FWHM 数学描述如下:

$$\Delta v_L = 2\gamma_{\text{air}}(296/T)^n P. \quad (12)$$

根据 HITRAN 谱库, 大气展宽系数 γ_{air} 取值范围约为 0.005—0.15, 温度系数 $n < 1$ (取 0.9); 根据相关厂商 DFB 激光器特性, 其线宽范围设为 1—15 MHz; 根据检测现场环境, 气体开氏温度 T 取值范围设为 200—3000 K, 气体压强 P 设为 1 个标准大气压. 将上述参数代入 (12) 式中, 得出 Δv_L 取值范围 0.0012—0.4269 cm^{-1} , 仿真中取 0.001—0.45 cm^{-1} .

锯齿波台阶数取值范围 500—20000 个, 锯齿波台阶数与 $E_{S-\text{max}}$ 关系曲线如图 3 所示. 从图中可以看出, $E_{S-\text{max}}$ 随台阶数增加而减少, 开始减小的速度较快, 当台阶数大于 3000 后, 下降速度趋于平缓. 当 FWHM 小于 0.01 cm^{-1} 时, 台阶数在

500—20000 范围内误差较大, 在台阶数小于 3000 时, 最小 $E_{S-\max}$ 均在 0.1% 以上.

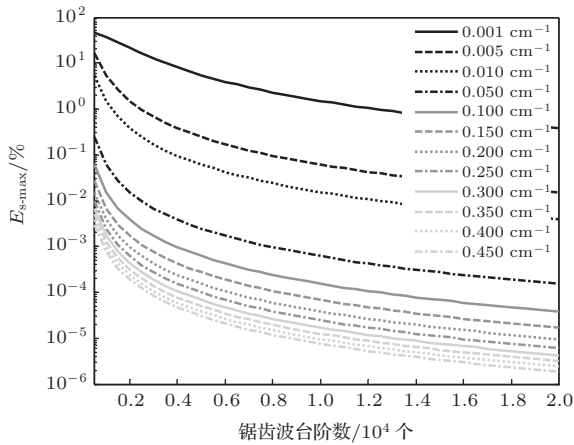


图3 锯齿波台阶数与 $E_{S-\max}$ 关系

作者实验室所用信号发生器为美国 Tektronix 公司的 AFG320. 若产生峰值为 200 mV, 频率为 5 Hz 的锯齿波, 经测试在锯齿波的一个周期内, 共有 4000 个台阶, 台阶高度为 $200 \text{ mV}/4000 = 0.05 \text{ mV}$, 台阶间隔为 $10^6/(4000 \times 5) = 50 \mu\text{s}$. 改变 FWHM, 得到 $E_{S-\max}$ 如图 4 所示. 由图可见, FWHM 小于 0.1 cm^{-1} 时, $E_{S-\max}$ 随 FWHM 增加下降速度较快, FWHM 大于 0.1 cm^{-1} 时, 误差下降速度趋于平缓. FWHM 大于 0.01 cm^{-1} , $E_{S-\max}$ 小于 1‰ 时, 不同气体检测系统中扫描信号导致的 $E_{S-\max}$ 可以根据图 3 和图 4 进行推算.

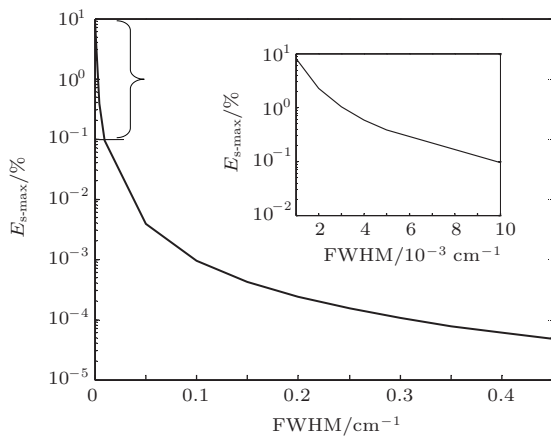


图4 锯齿波台阶数为 4000 时 FWHM 与 $E_{S-\max}$ 关系

3.2 激光器线宽相关结果

为分析问题方便, 对气体吸收谱线最大幅值进行归一化, 取吸收谱线与激光器作用前后的比值作

为归一化最大幅值. 为独立分析激光器线宽引起最大幅值的线宽误差 (E_L), 仿真中锯齿波台阶数取 4000 个, 激光器中心波长的取值点包括吸收谱线最大幅值处对应的波长, 以避免锯齿波台阶引起的扫描误差影响结果. 图 5 为不同 FWHM、不同激光器线宽时的最大幅值曲线. 由图可知, 最大幅值随着激光器线宽的增加单调递减, 随着气体吸收谱线 FWHM 的增加, 最大幅值的变化量趋于平缓. 图 6 为不同激光器线宽时, E_L 与 FWHM 之间的关系曲线. 由图可知, E_L 均小于 7.5%; FWHM 超过 0.01 cm^{-1} 时, E_L 小于 0.1%; FWHM 超过 0.1 cm^{-1} 时, E_L 趋于 0, 可忽略 E_L 不计. 若选取 1%, 0.5% 分别为系统允许的最大 E_L 范围, 则不同激光器线宽对应的 FWHM_{\min} 如表 1 所示. 例如, 所使用激光器线宽为 5 MHz, 允许 E_L 为 0.5%, 则该系统能检测的 FWHM_{\min} 为 0.002 cm^{-1} ; 或者, 待测气体的 FWHM 为 0.002 cm^{-1} , 允许 E_L 为 0.5%, 则该系统所使用激光器线宽最大为 6 MHz.

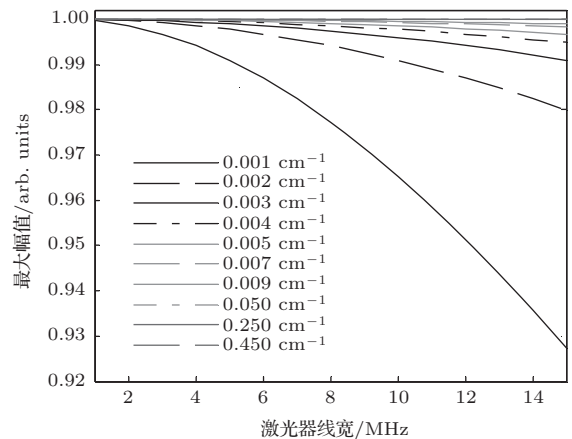


图5 激光器线宽与最大幅值关系

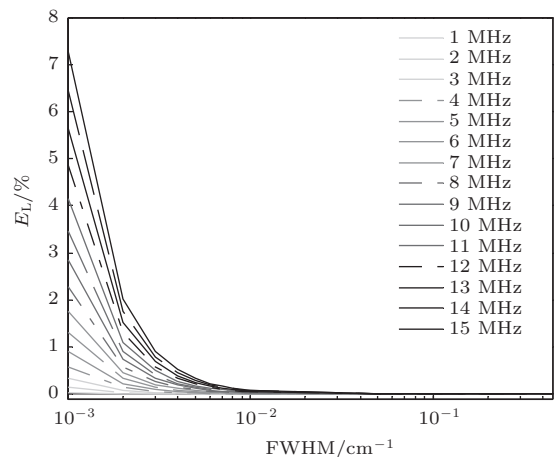


图6 激光器线宽与线宽误差关系

表1 E_L 为 1%, 0.5% 时激光器线宽对应的 $FWHM_{min}$

| 激光器线宽 /MHz | $FWHM_{min}$ ($E_L = 1\%$)/ cm^{-1} | $FWHM_{min}$ ($E_L = 0.5\%$)/ cm^{-1} | 激光器线宽 /MHz | $FWHM_{min}$ ($E_L = 1\%$)/ cm^{-1} | $FWHM_{min}$ ($E_L = 0.5\%$)/ cm^{-1} |
|------------|---|---|------------|---|---|
| 1 | 0.001 | 0.001 | 9 | 0.002 | 0.003 |
| 2 | 0.001 | 0.001 | 10 | 0.002 | 0.004 |
| 3 | 0.001 | 0.001 | 11 | 0.003 | 0.004 |
| 4 | 0.001 | 0.002 | 12 | 0.003 | 0.004 |
| 5 | 0.001 | 0.002 | 13 | 0.003 | 0.004 |
| 6 | 0.002 | 0.002 | 14 | 0.003 | 0.005 |
| 7 | 0.002 | 0.003 | 15 | 0.003 | 0.005 |
| 8 | 0.002 | 0.003 | | | |

由(12)式, $FWHM$ 与 T, P, n, γ_{air} 有关, 其中与 P, γ_{air} 成正比, 与 n, T 成反比. 当待测气体及其吸收谱线选定后, $FWHM$ 只与气体的 T, P 有关, 其中气体温度取200—3000 K, 气体压强取1—10个标准大气压, 它们之间的关系如图7所示, 曲面A是 $FWHM$ 和 T, P 之间的关系曲面, 平面B对应的 $FWHM$ 取 0.005 cm^{-1} .

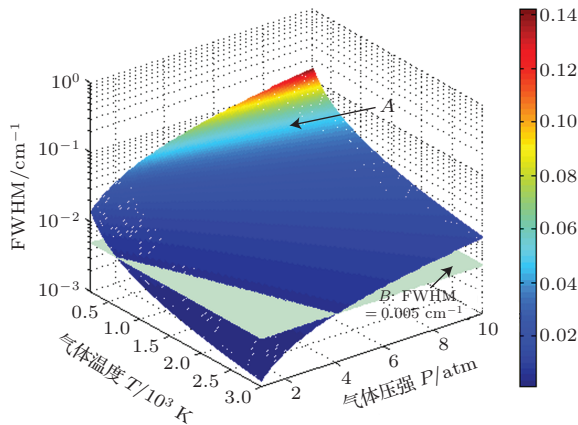


图7 (网刊彩色) $n = 0.9, \gamma_{air} = 0.005$ 时 P, T 与 $FWHM$ 关系

按表1结果, 在激光器线宽小于15 MHz条件下, 若要实现 E_L 在0.5%以内, 则 E_L 需 $FWHM$ 在 0.005 cm^{-1} 以上, 图7中B平面上方 E_L 小于0.5%, 下方大于0.5%. 当 P 不变时, 设为1个标准大气压, 适合分析待测气体的温度范围. T 与 $FWHM$ 的关系如图8(a)所示. 当气体温度大于600 K时, $FWHM$ 小于 0.005 cm^{-1} , 不满足线宽误差要求, 此时通过增加 P , 或选择待测气体 γ_{air} 较大、 n 较小的其他吸收谱线. 当 T 不变时, 设为3000 K, P 与 $FWHM$ 的关系如图8(b)所示. 当气体压强小于

2.7个标准大气压时, $FWHM$ 小于 0.005 cm^{-1} , 不满足线宽误差要求, 此时通过增加 T , 或选择待测气体 γ_{air} 较大、 n 较小的其他吸收谱线.

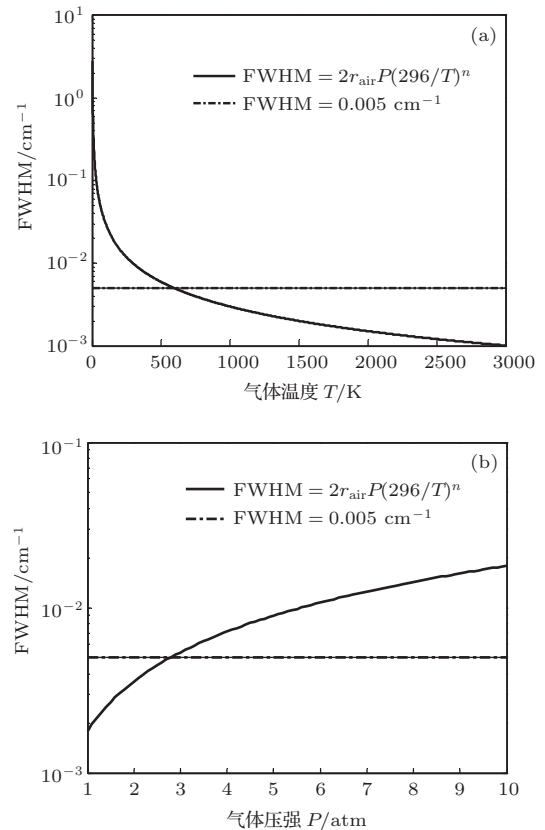


图8 (a) $P = 1\text{ atm}, n = 0.9, \gamma_{air} = 0.005$ 时 T 与 $FWHM$ 关系; (b) $T = 3000\text{ K}, n = 0.9, \gamma_{air} = 0.005$ 时 P 与 $FWHM$ 关系

4 结 论

本文从理论上研究了激光器扫描步长和线宽对TDLAS系统中扫描误差和线宽误差的影响

原理并做了定量分析. 针对扫描误差, 确定扫描信号的一个周期内具有 4000 个台阶时, FWHM 大于 0.01 cm^{-1} , 最大扫描误差小于 1%. 针对线宽误差, FWHM 大于 0.01 cm^{-1} 时, 线宽误差小于 0.1%; FWHM 超过 0.1 cm^{-1} 时, 线宽误差趋于 0, 可忽略不计; 系统允许的线宽误差确定时, 给出了不同激光器线宽对应的最小 FWHM. 在激光器线宽小于 15 MHz 条件下, 在一定线宽误差内, 给出了适用的温度和压强范围. 可以指导激光器与气体吸收谱线的选取, 确定适用的压强与温度范围, 为减小扫描误差、线宽误差、提高系统检测限提供了相关理论依据.

参考文献

- [1] Gustafsson J, Chekalin N, Axner O 2003 *Spectrochim. Acta Part B* **58** 123
- [2] Zhang R, Zhao X H, Hu Y J, Guo Y, Wang Z, Zhao Y, Li Z X, Wang Y 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 070702 (in Chinese) [张锐, 赵学珺, 胡雅君, 郭媛, 王喆, 赵迎, 李子晓, 汪曦 2014 物理学报 **63** 070702]
- [3] Li J Y, Du Z H, Ma Y W, Xu K X 2013 *Chin. Phys. B* **22** 034203
- [4] Zhang Y G, Gu Y, Zhang X J, Li A Z, Tian S B 2008 *Chin. Phys. Lett.* **25** 3246
- [5] Okoshi T, Kikuchi K, Nakayama A 1980 *Electron. Lett.* **16** 630
- [6] Richter L E, Mandelberg H I, Kruger M S 1986 *IEEE J. Quantum Electron.* **22** 2070
- [7] Wu Z, Kin M C, Hong G 2008 *Phys. Lett. A* **372** 4327
- [8] Iiyama K, Hayashi K, Ida Y, Tabata S, Sakai Y 1989 *Electron. Lett.* **25** 1589
- [9] Liu J W, Li Z Y, Fan Q H, Gong Z Q, Zhang B Y 2012 *J. Optoelectr. Laser* **23** 939 (in Chinese) [刘景旺, 李忠洋, 樊清海, 宫自强, 张博洋 2012 光电子·激光 **23** 939]
- [10] An Y, Du Z H, Xu K X 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 174208 (in Chinese) [安颖, 杜振辉, 徐可欣 2013 物理学报 **62** 174208]
- [11] Wang J W, Dong X P, Zhou J L 2007 *J. Xiamen Univ. (Natural Science)* **46** 322 (in Chinese) [王劲文, 董小鹏, 周金龙 2007 厦门大学学报 (自然科学版) **46** 322]
- [12] Lins B, Zinn P, Engelbrecht R, Schmauss B 2010 *Appl. Phys. B* **100** 367
- [13] Vaezi-Nejad S M, Cox M, Cooper N 2012 *Trans. Institute of Measurement and Control* **34** 477
- [14] Jin X M, Bennet Y T, Shun L C 2009 *Solid-State Electron.* **53** 95
- [15] Ruxton K, Chakraborty A L, Johnstone W, Lengden M, Stewart G, Duffin K 2010 *Sensors Actuators B* **150** 367
- [16] Chakraborty A L, Ruxton K, Johnstone W 2010 *Opt. Express* **18** 267
- [17] Li L, Arsal N, Stewart G, Thursby G, Culshaw B, Wang Y D 2011 *Opt. Commun.* **284** 312
- [18] Duffin K, McGettrick A J, Johnstone W, Stewart G, Moodie D G 2007 *J. Lightwave Technol.* **25** 3114
- [19] McGettrick A J, Duffin K, Johnstone W, Stewart G, Moodie D G 2008 *J. Lightwave Technol.* **26** 432
- [20] Johnstone W, McGettrick A J, Duffin K, Cheung A, Stewart G 2008 *IEEE Sensors J.* **8** 1079
- [21] Werle P W, Mazzinghi P, D'Amato F, De Rosa M, Maurer K, Slemr F 2004 *Spectrochim. Acta Part A* **60** 1685
- [22] Werle P 2011 *Appl. Phys. B* **102** 313
- [23] Farooq A, Jeffries J B, Hanson R K 2009 *Appl. Opt.* **48** 6740
- [24] Rieker G B, Jeffries J B, Hanson R K 2009 *Appl. Opt.* **48** 5546
- [25] Ren W, Jeffries J B, Hanson R K 2010 *Meas. Sci. Technol.* **21** 105603
- [26] Cai T D, Gao G Z, Liu Y 2012 *Appl. Spectrosc.* **66** 1210
- [27] Chao X, Jeffries J B, Hanson R K 2012 *Appl. Phys. B* **106** 987
- [28] Li N, Wang F, Yan J H, Ma Z Y, Cen K F 2005 *Chin. Soc. Elec. Eng.* **25** 121 (in Chinese) [李宁, 王飞, 严建华, 马增益, 岑可法 2005 中国电机工程学报 **25** 121]
- [29] Cao J N, Zhang K K, Wang Z 2010 *Chin. J. Sci. Instrum.* **31** 2597 (in Chinese) [曹家年, 张可可, 王琢 2010 仪器仪表学报 **31** 2597]
- [30] Zhang R, Zhao X H, Hu Y J, Guo Y, Liu Y L, Wang Y 2013 *Acta Opt. Sin.* **33** 0430006 (in Chinese) [张锐, 赵学珺, 胡雅君, 郭媛, 刘艳丽, 汪曦 2013 光学学报 **33** 0430006]
- [31] Xu Z Y, Liu W Q, Kan R F, Zhang Y J, Liu J G, Zhang S, Shu X W, Geng H, He Y, Tang Y Y 2010 *Spectrosc. Spectral Anal.* **30** 2201 (in Chinese) [许振宇, 刘文清, 阚瑞峰, 张玉钧, 刘建国, 张帅, 束小文, 耿辉, 何莹, 汤媛媛 2010 光谱学与光谱分析 **30** 2201]
- [32] Li N, Yan J H, Wang F, Chi Y, Cen K F 2008 *Spectrosc. Spectral Anal.* **28** 1708 (in Chinese) [李宁, 严建华, 王飞, 池涌, 岑可法 2008 光谱学与光谱分析 **28** 1708]

Laser characteristic effect on the trace gas detection*

Zhang Rui¹⁾²⁾ Zhao Xue-Hong^{1)†} Zhao Ying¹⁾ Wang Zhe¹⁾ Wang Yan¹⁾

1) (College of Precision Instruments and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

2) (College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

(Received 3 March 2014; revised manuscript received 25 March 2014)

Abstract

In this paper, we study the effects of laser scanning step length and width characteristic on tunable diode laser absorption spectrum detection system, theoretically derive the principle of interaction between laser and gas absorption line, and analyse the principle of effects of step duration and height about scanning signal (ramp) on the laser central wavelength. After setting the simulation parameters, the curve between the number of ramp steps and the maximum scanning error is obtained. If the scanning signal has 4000 steps in one cycle, the error is less than 1‰ with full width at half maximum (FWHM) value being greater than 0.01 cm^{-1} . The curves between laser linewidth and maximum amplitude or linewidth error are simulated, and also the relationship between laser linewidth and minimum FWHM is given with linewidth error maximum values being 1% and 0.5%. On condition that temperature coefficient n is 0.9 and air-broadened coefficient is 0.005, this paper gives the relationship among pressure, temperature and FWHM, from which the suitable pressure P and temperature T range are deduced. It can provide the relevant theoretical basis for selecting the laser and gas absorption lines and also for improving the system detection limit.

Keywords: tunable diode laser absorption spectroscopy, laser characteristics, linewidth error, scanning error

PACS: 07.07.Df, 07.57.Ty

DOI: [10.7498/aps.63.140701](https://doi.org/10.7498/aps.63.140701)

* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2010CB327800), Tianjin Research Program of Application Foundation and Advanced Technology, China (Grant No. 14JCYBJC22800), and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20090032110053).

† Corresponding author. E-mail: zhaoxh@tju.edu.cn