

单模 CO₂ 激光器动力学参数的实验研究*

金光旭 张汉壮 高锦岳 姜 云 国秀珍

(吉林大学物理系, 长春 130023)

摘 要 给出以失谐量对输出的影响来独立测定单模 CO₂ 激光器有关动力学参数的方法及所得结果.

关键词 单模 CO₂ 激光器, 腔长调制, 动力学参数.

1 引 言

CO₂ 激光器的弛豫特性以及制约这一特性的动力学参数, 对其性质的研究非常重要. 目前, 人们大多仍根据制作激光器时所充不同气体的比例及气压的高低, 利用经验公式去估算这些参数. 在前期工作中^[1,2], 作者发展了一种利用激光输出对小讯号腔长调制响应测量激光动力学参数的方法, 测得数值与其它文献报道的数值比较接近. 但是, 在上述测量方法中, 极化强度的衰减速率 γ_{\perp} , 仍由经验公式给出. 本文中, 仍依据失谐量对输出的影响完成了完全独立于经验公式的测量方法, 并给出一台典型的选支 CO₂ 激光器的有关动力学参数测量结果.

2 理论方程与动力学参数

CO₂ 激光器的非稳动力学行为不能用简单的两能级速率方程描述^[1], 应采用包含参与激光过程的所有振动-转动能级在内的多能级理论模型, 才能给出与实验符合的分析结果. 本文采用的简化多能级理论方程为^[3]:

$$dI/dt = -2KI[1 - AD/(1 + \delta^2) + \mu^2 AJID/(1 + \delta^2)^2] \quad (1)$$

$$dD/dt = -\gamma_{\parallel} [D - \sigma + ID/(1 + \delta^2)] \quad (2)$$

$$K = -c \ln R/4L \quad (3)$$

式中 I 和 D 为适当归一化后的光强和激光上下能级之间的粒子数几率差, 其相应衰减速率分别为 $2K$ 和 γ_{\parallel} , L 为激光器腔长, c 为光速, R 为包括腔镜及腔内光学元件在内的等效光强反射率, A 为介质增益, σ 为粒子数泵浦常数, $A\sigma$ 为总增益, 且以激光跃迁中心频率与腔的一个模频率共振时激光振荡阈值为单位的. δ 为失谐量, 它是激光跃迁中心频率与空腔最近的一个模频率之差, 并以介质极化强度衰减速率 γ_{\perp} 为单位. $\mu^2 = \gamma_{\parallel}/[(J+1)\gamma_R]$, J 为 CO₂ 分

* 国家自然科学基金资助课题.

收稿日期: 1992年11月30日; 收到修改稿日期: 1993年1月25日

子中与激光有关的那个振动带内参与激光动力学过程的转动能级个数, γ_R 为激光能级与其它参与激光动力学过程的转动能级的相互弛豫跃迁速率. 本文的下一节, 将以上述理论方程为基础, 通过实验, 给出方程中所涉及到的 CO_2 激光器的有关动力学参数 K , $A\sigma$, γ_{\perp} , γ_{\parallel} , γ_R .

3 实验测量结果与分析

所用实验装置与文献[1]中描述的相同.

3.1 K 的测量

由(3)式, R 为激光束在腔内往返一次时的等效光强反射率. 实验中所用的光栅选支 CO_2 激光器腔长 $L = 1.18 \text{ m}$, 全反射金镜的光强反射率 $R_1 = 0.99 \pm 0.01$, 每个激光管布儒斯特窗口单次光强透过率为 $T = 0.96 \pm 0.02$, 光栅衍射效率为 $R_2 = 0.84 \pm 0.01$. 由上述测量数值, 可以算出总的等效反射率 $R = R_1 T^4 R_2$ 及腔的衰减速率 $K = -c \ln R / 4L = (2.2 \pm 0.7) \times 10^7 \text{ s}^{-1}$.

3.2 $A\sigma$ 的测量

(1)式、(2)式中, 令 $dI/dt = dD/dt = 0$, 可以求出激光输出的稳态解

$$I_{ss} = A\sigma - 1 - \delta^2, \quad D_{ss} = (1 + \delta^2)/A \quad (4)$$

当失谐量 $\delta = 0$ 时, 激光的稳态输出值与总增益成正比, 且当 $A\sigma = 1$ 时, $I_{ss} = 0$. 实验中, 激光介质保持不变 (A 不变), 在激光工作的放电激发区域内介质的总增益与放电电流成正比, 从而激光输出强度与放电电流成正比. 其实验曲线如图 1 所示. 实验测量中, 当放电电流 $i = 4 \text{ mA}$ 时, $I_{ss} = 0$, 激光稳定工作时, 放电电流 $i = (8.0 \pm 0.3) \text{ mA}$, 因此, 可以求出介质的总增益 $A\sigma = 2.0 \pm 0.3$

3.3 γ_{\perp} 的测量

总增益不变时, 激光输出光强是失谐量 δ 的函数. 当 $I_{ss} = 0$ 时, $\delta = (A\sigma - 1)^{1/2}$. 实验时, 改变固定在反射镜上的压电陶瓷 (PZT) 的电压而改变腔长, 即改变腔的失谐量 δ . 激光输出光强与压电陶瓷上所加电压的关系曲线如图 2 所示. 在实验所加的电压范围内, 压电陶瓷的伸长量与所加电压成正比. 因此图 2 中的 V_0 点对应半个空腔模频率间隔, 即 $0.5 \pi c/L$, 而 V_b 点

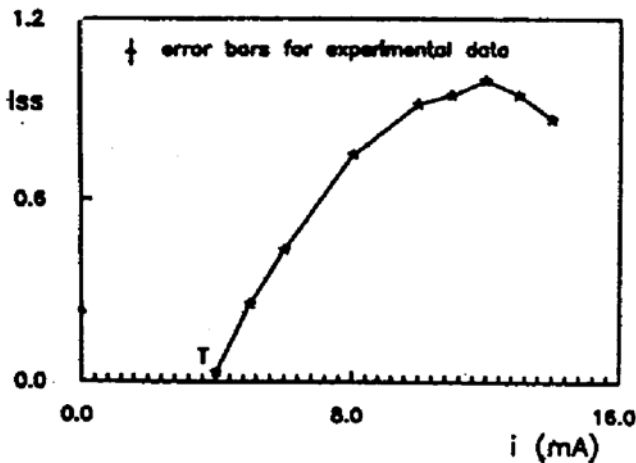


Fig. 1 Experimental plot of steady state laser intensity versus discharge current in the laser tube

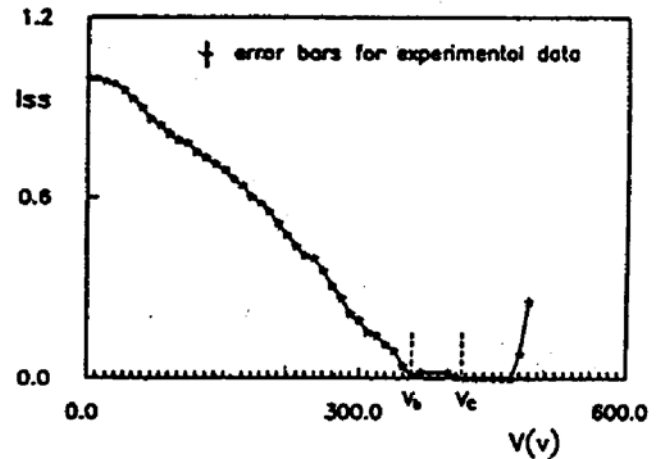


Fig. 2 Experimental plot of steady state laser intensity versus the voltage on PZT which is used to change cavity length

所对应的空腔膜频率与 CO₂ 分子跃迁谱线中心的频率间隔为 $(V_b/V_c) [0.5\pi c/L]$, 该点应与理论公式(4)中当 $I_{ss} = 0$ 时的最大 δ 值, 即 $(A\sigma - 1)^{1/2}$ 相对应, 考虑到 δ 是以 γ_{\perp} 为单位的, 因此, $(V_b/V_c) [0.5(\pi c/L)] = (A\sigma - 1)^{1/2} \gamma_{\perp}$. 由实验中测得的 $L, A\sigma, V_b, V_c$ 等数值可求出 $\gamma_{\perp} = (3.4 \pm 0.3) \times 10^8 \text{ s}^{-1}$.

3.4 $\gamma_{\parallel}, \gamma_R$ 的测量

当激光器的腔长作小信号余弦调制时, 失谐量 δ 作相应的余弦变化. 令

$$\delta = \delta_0 + m \cos \Omega t$$

当 $\delta_0 \gg m$ 时, 可作如下近似

$$1/(1 + \delta^2) \approx [1/(1 + \delta_0^2)] [1 - 2\delta_0 m \cos \Omega t / (1 + \delta_0^2)] \quad (5)$$

式中, δ_0 为无调制时的失谐量, m 为调制深度, Ω 为调制频率. 再令

$$I(t) = I_{ss} + a(t), \quad D(t) = D_{ss} + b(t) \quad (6)$$

将(5), (6)代入方程(1), (2)中整理得:

$$d^2 a/dt^2 + \beta da/dt + \omega_0^2 a = F \cos(\Omega t + \pi + \varphi) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} F &= 4K \delta_0 m (A' \sigma - 1) (\gamma_{\parallel}^2 + \Omega^2)^{1/2}, & \varphi &= \tan^{-1}(\Omega/\gamma_{\parallel}), \\ \omega_0 &= [2K\gamma_{\parallel}(A' \sigma - 1)]^{1/2}, & \beta &= \gamma_{\parallel} A' \sigma + \gamma_{\parallel} (A' \sigma - 1) J', \\ J' &= 4KJ / [(J + 1) \gamma_R], & A' &= A / (1 + \delta_0^2) \end{aligned} \quad (8)$$

方程(7)的解为:

$$a(t) = a_0 \cos(\Omega t + \pi + \varphi + \theta), \quad (9)$$

$$a_0 = F / [(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + \beta^2 \Omega^2]^{1/2}, \quad \theta = -\tan^{-1}[\beta \Omega / (\omega_0^2 - \Omega^2)] \quad (10)$$

对实际的 CO₂ 激光器, $J > 10^{[1]}$, 所以 $J' \approx 4K/\gamma_R$. a_0 为调制输出幅度, 它与参数 $K, A\sigma, \gamma_{\parallel}, J', \delta_0, \Omega$ 有关. $K, A\sigma$ 已由前面的方法确定, 对给定一组参数值, 其 a_0 与 δ_0 有一函数关系, 如

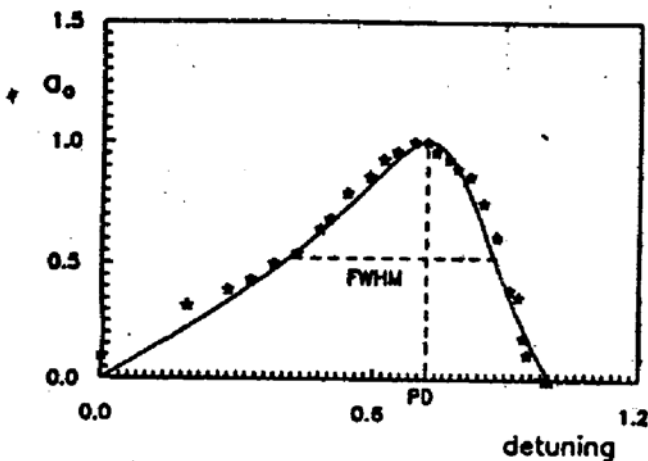


Fig. 3 Plot of modulated laser output intensity versus cavity detuning (δ_0), the circle represent experimental data. Solid curve is a theoretical polt according to the equation (10) with best fitted parameters; $A\sigma = 2.0, K = 2.2 \times 10^7 \text{ s}^{-1}, \Omega = 7.16 \times 10^5 \text{ s}^{-1}, \gamma_{\parallel} = 3.0 \times 10^4 \text{ s}^{-1}, J' = 50$

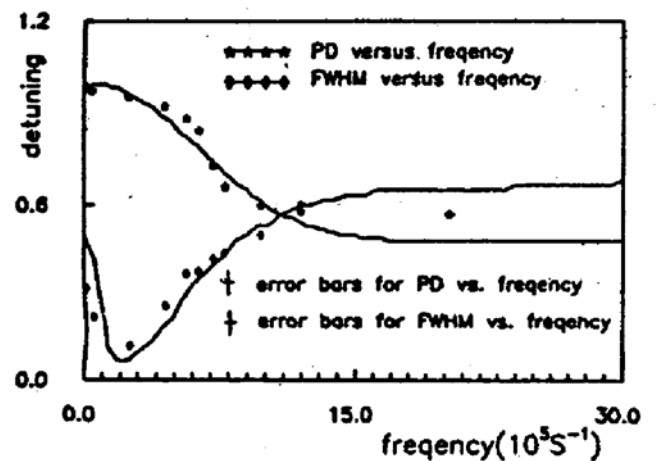


Fig. 4 Collection of theoretical and experimental results for values of PD, at which the modulated laser output intensity has a maximum value, and FWHM at Fig. 3 versus modulation frequency (Ω), respectively, with best fitted parameters; $A\sigma = 2.0, K = 2.2 \times 10^7 \text{ s}^{-1}, \gamma_{\parallel} = 3.5 \times 10^4 \text{ s}^{-1}, J' = 35$

图 3 所示(实线为理论曲线, 圆圈是实验曲线). 由图 3 可以看出, 曲线有一峰值及半宽度, 可以画出峰值位置对应的失谐量及失谐量半宽度与调制频率的关系曲线, 如图 4 实线所示. 理论分析及计算表明, 上述二曲线是 $\gamma_{//}$, J' 的函数, 实验上, 可测出上述曲线, 如图 4 中的圆圈及三角所示. 理论上, 改变 $\gamma_{//}$, J' 的值并与实验点相拟合可得 $\gamma_{//}$, J' 的值, 拟合结果为 $\gamma_{//} = (3.5 \pm 0.9) \times 10^4 \text{ s}^{-1}$, $J' = 35 \pm 10$. 由 $J' = 4K/\gamma_R$, 最后得出 $\gamma_R = (2.5 \pm 0.8) \times 10^6 \text{ s}^{-1}$.

参 考 文 献

- [1] J. Y. Gao, H. Z. Zhang, X. Z. Guo *et al.*, Small-signal response of a laser to cavity-length modulation: A diagnostic for dynamical models parameter values. *Phys. Rev. (A)*, 1989, **40**(11): 6339~6348
- [2] 国秀珍, 高锦岳, 张汉壮等, CO₂ 激光器的腔长调制及动力学参数的测定. *光学学报*, 1992, **12**(9): 859~863
- [3] G. L. Oppo, J. R. Tredicce, L. M. Narducci, *et al.*, Dynamical of vibro-rotational CO₂ laser transitions in a two-dimensional phase space. *Opt. Commun.*, 1989, **86**(5,6): 393~397

Experimental Studies on Dynamical Parameters of a Single Mode CO₂ Laser

Jin Guangxu Zhang Hanzhuang Gao Jinyue
Jiang Yun Guo Xiuzhen

(Physics Department, Jilin University, Changchun 130023)

(Received 30 November 1992; revised 25 January 1993)

Abstract In this paper, we develop a method independently determining the dynamical parameters for a single mode CO₂ laser through experimental process.

Key words single mode CO₂ laser, cavity length modulation, dynamical parameters.