

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0116-03

电光调 Q CO₂ 脉冲激光的动力学分析

王 骐, 陆 威, 尚铁梁, 田兆硕

(哈尔滨工业大学 可调谐激光技术国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 在实验室前期工作的基础上, 应用 CO₂ 激光器动力学的六温度模型进一步对于 Q 开关 CO₂ 激光器动力学过程进行分析, 计算了气体平均温度和激光器等效腔长的变化导致的激光工作谱线频率偏离增益曲线中心对调 Q 激光脉冲峰值功率、脉冲建立时间和脉冲宽度的影响。目的是为了能够使电光调 Q 射频波导 CO₂ 激光器应用于外场环境工作打下基础。

关键词 激光动力学六温度模型; 电光 Q 开关; 气体工作平均温度; 脉冲建立时间

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

Kinetic Analysis of Electrooptical Q-switched CO₂ Pulse Laser

WANG Qi, LU Wei, SHANG Tie-liang, TIAN Zhao-shuo

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology,
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract On the basis of the previous achievement of research on lasers in our lab the kinetic calculation of Q-switched CO₂ pulse laser was completed using the CO₂ laser six-temperature model. In the calculation, the peak power of Q-switched optical pulse was obtained, the variation curves of peak generation time and pulse width vs ambient temperatures were established, and the different curves of these variables vs increasing laser frequency were worked out, which affords the grounds in theory for solving the problem caused by the working using electrooptical Q-switched CO₂ pulse laser in outfield

Key words the CO₂ laser six-temperature model, electro-optical Q-switched, ambient temperatures, pulse peak generation time

1 引言

越来越多的激光雷达采用射频激励波导 CO₂ 激光器作为发射光源。电光调 Q 技术用于射频波导 CO₂ 激光器形成高重复频率的脉冲激光器, 应用在成像激光雷达上, 取得了良好的效果。但是气体激光器的工作状态受气温和冷却循环水散热能力的影响较大, 在外场环境下应用电光调 Q 射频波导 CO₂ 激光器, 必须对这些因素导致的激光脉冲不稳定有定量的认识, 以便采取相应的措施来克服这一困难。

在本实验室前期工作的基础上, 应用 CO₂ 激光器动力学的六温度模型进一步对于 Q 开关 CO₂ 激光器动力学过程进行分析, 在通常的激光动力学分析中, 都是假设激光器是充分散热的, 因此激光器的等效腔长和腔内的气体平均温度不会因散热不完全而变化, 同时还认为激光器的等效腔长满足 $v \rightarrow v_0$, 即假设激光频率是工作在增益谱线的中心位置, 考虑这些因素, 用 $g(v)$ 代替 $g(v_0)$ 作为增益线型函数,

使激光动力学模型适用于激光频率在增益谱线的任何位置工作。

2 六温度模型理论

文献[1]中, 首先提出了 CO₂ 激光器中的五温度模型, 五温度模型是用等效振动温度与该能级能量的关系, 建立了用温度描述能级上能量变化, 也就是粒子数变化的方程组。

在粒子数变化的方程组中, 有六个变量, 即 T_1, T_2, T_3 为 -CO₂ 分子 ν_1 模, ν_2 模, ν_3 模等效振动温度, T_4 - N₂ 分子等效振动温度, T - 介质激活区气体温度 (环境温度), $I\nu_0$ 激光腔内光强。 E_1, E_2, E_3, E_4 分别为单位体积 CO₂ 分子 ν_1, ν_2, ν_3 和 N₂ 的振动态模的总能量, E_K 为单位体积总气体动能, 它们分别由 T_1, T_2, T_3, T_4, T_K 决定, 由于包括五个温度变量, 称之为五温度模型。然而, 这一模型尚存在不足, 主要是在五温度模型中, 忽略了 CO₂ 的分解, 也就是忽略了

CO₂ 分子在气体放电过程中大量分解成 CO 的过程。将 CO 分子等效振动温度 T_5 作为微分方程组的一个新变量, 这便形成了六温度模型, 并成功地解决了 TEACO₂ 激光器的动力学过程^[2], 本文是将这一六温度模型应用到了电光调 Q 波导 CO₂ 激光器上, 理论计算了输出特性。

在通常的激光动力学分析中, 都是假设激光器是充分散热的, 因此激光器的等效腔长和腔内的气体平均温度不会因散热不完全而变化, 同时还认为激光器的等效腔长满足 $\nu \rightarrow \nu_0, g(\nu_0) = \frac{2}{\pi \Delta \nu_c}$, 即假设激光频率是工作在增益谱线的中心位置, 而本实验所研究的电光调 Q 脉冲激光器的工作环境是比较恶劣的, 因此激光器的散热是不可能充分的, 这将使激光器的等效腔长和腔内的气体平均温度产生变化。也就不能认为 $\nu \rightarrow \nu_0$, 必须用 $g(\nu)$ 的原始公式。

气体激光器的谱线展宽主要是碰撞加宽引起的, 其线型函数为

$$g(\nu) = \frac{\Delta \nu_c}{2\pi} \frac{1}{(\nu - \nu_0)^2 + (\Delta \nu_c/2)^2} \quad (1)$$

3 理论计算

在文献[3]工作的基础上, 应用 CO₂ 激光器动力学的六温度模型进一步对于 Q 开关 CO₂ 激光器动力学过程进行分析, 计算了各种条件对调 Q 激光脉冲峰值功率、脉冲建立时间和脉冲宽度的影响, 不仅考虑了气体平均温度变化所产生影响, 而且还考虑了激光器的工作谱线频率偏离增益曲线中心所产生的影响, 理论计算的调 Q 激光脉冲峰值功率、脉冲建立时间及脉冲宽度随气体平均温度和激光工作谱线的改变与实验观测符合得较好。

根据在实验中光栅选支电光 Q 开关射频激励波导 CO₂ 激光器的有关工作条件: 气体比例 CO₂:N₂:He=1:1:3, 充气气压 8 kPa, 射频注入功率 200W, 射频源频率 120 MHz。Q 开关打开前气体温度为 500 K, 可以认为单位体积内电子密度为常数 $n_e = 1.5 \times 10^{11}$, 腔内单程损耗为 17%, 输出镜透过率为 10%, 假设 CO₂ 有 60% 分解。

3.1 气体平均温度对激光脉冲的影响

从图 1 可看到激光工作气体平均温度对激光均匀加宽谱线的宽度 $\Delta \nu_c$ 有一定的影响, $\Delta \nu_c$ 随工作气体平均温度的变化, 几乎是直线变化, 当工作气体平均温度升高 100 K, $\Delta \nu_c$ 减小 9%, 约为 23 MHz。只有温升比较高时才会有较明显的影响。 $\Delta \nu_c$ 减小会影响

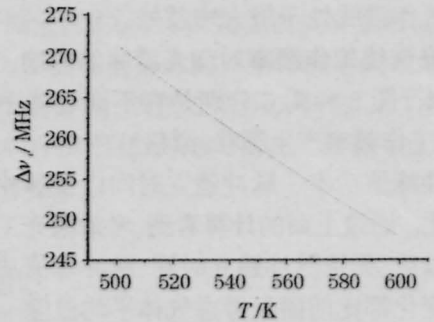


图 1 工作气体平均温度对 $\Delta \nu_c$ 的影响

Fig.1 Effect of the ambient temperature on $\Delta \nu_c$

碰撞展宽线型函数的形状, 从而对光脉冲产生影响。

图 2 所示, 可以看出随着工作气体平均温度的上升, 脉冲的建立时间延长, 从 500 K 时的 820 ns 上升到 590 K 时的 1759 ns, 增加 114%, 脉冲峰值功率则从 500 K 时的 142 W 下降到 590 K 时的 53 W, 降低了 63%, 脉冲宽度从 500 K 时的 330 ns 上升到 590 K 时的 445 ns, 增加 34%。

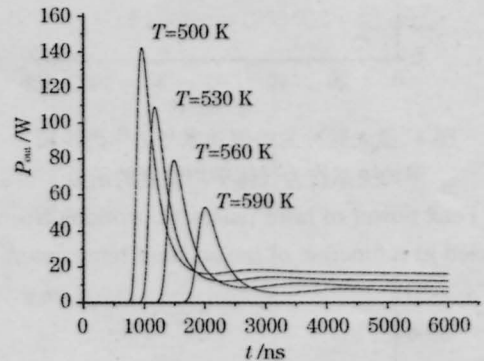


图 2 调 Q 脉冲激光波形作为气体平均温度的函数

Fig.2 Q-switched laser wave shape used as the function of the ambient temperature

图 3 表示的是与图 2 相应的, 工作气体平均温度的上升, 导致上下能级粒子数密度的变化, 从 500 K 上升到 590 K 时的上下能级粒子数密度减小 39%。上述计算都是假设激光器的等效腔长没有变化, 因

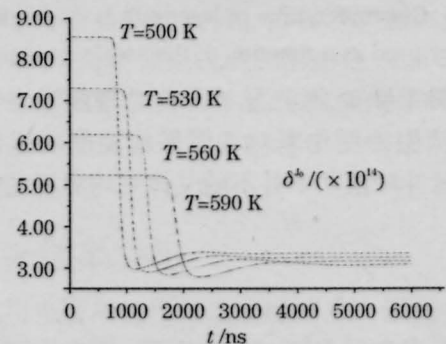


图 3 上下能级粒子数密度作为气体平均温度的函数

Fig.3 Population differences between upper and lower laser levels used as a function of the ambient temperature

而激光工作谱线处于最大增益处。

3.2 激光谱线工作频率对激光脉冲的影响

图4, 图5和图6分别是在不同气体平均温度下, 激光工作频率产生漂移, 漂移量在0~90 MHz时, 激光脉冲峰值功率、脉冲建立时间以及脉冲宽度的相应变化。通过上面的计算看到, 考虑激光工作频率的变化以后, 无论脉冲建立时间、脉冲峰值功率还是脉宽的变化都比前面只考虑气体平均温度一个因素大了许多。例如在气体平均温度上升50 K, 激光工作频率偏离激光增益谱线中心50MHz的情况下与前面的计算相比, 激光脉冲建立时间增长了90%, 脉冲峰值功率下降了50%, 脉宽加宽了25%。

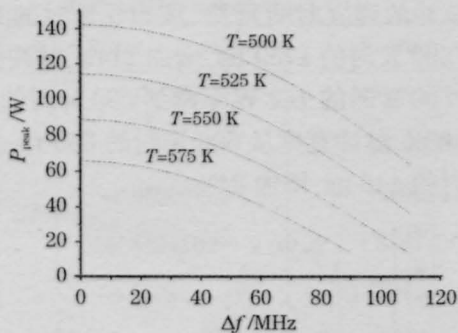


图4 激光脉冲的峰值功率与工作谱线频率的关系作为气体平均温度的函数

Fig.4 Peak power of laser pulses vs. working frequency used as a function of the ambient temperature

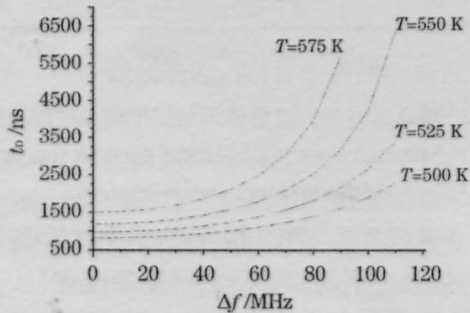


图5 激光脉冲的建立时间与工作谱线频率的关系作为气体平均温度的函数

Fig.5 Generation time of laser pulses vs. working frequency used as a function of the ambient temperature

从图4可知, 激光脉冲峰值功率随激光工作频率漂移产生的变化率对气体平均温度的变化不敏感, 即脉冲峰值功率并不随气体平均温度的升高而

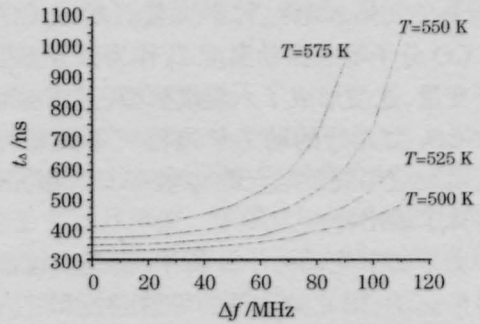


图6 激光脉冲的宽度与工作谱线频率的关系作为气体平均温度的函数

Fig.6 Laser pulse breadth vs. working frequency used as a function of the ambient temperature

加快或减慢。从图5和图6可以看出, 随着气体平均温度的继续升高, 图中曲线变化会加剧, 激光工作频率对激光脉冲的建立时间以及脉冲宽度的影响会越来越大。可见这个因素是不能忽视的。气体平均温度和激光工作频率这两个因素是相互依赖的, 不是独立对激光脉冲起作用的。

4 结论

通过实验和计算发现影响调Q CO₂ 脉冲激光器的工作状态的主要因素可能有两个, 一个是激光器内的气体平均温度, 本来它应该是与循环冷却水之间形成稳态平衡的; 另一个是激光器等效腔长变化导致的激光工作频率的漂移, 这两个可能, 一是由于激光器内的气体平均温度的变化导致激光腔内气体折射率的变化引起的, 二是由于激光器内的气体平均温度的变化导致激光器的几何腔长的变化引起的。

参考文献

- 1 K. Smith, R. M. Thomson. Computer Modeling of Gas Laser[M]. New York: Plenum Press, 1978
- 2 M. Seukied, B. A. Ghani, M. Hammadi. Mathematical modeling of CO₂ TEA laser[J]. *Optics & Laser Technology*, 1998,(30):451-457
- 3 Tian Zhaoshuo, Wang Qi, Wang Yusan. Kinetic Modeling of Q-switched CO₂ Laser[J]. *Optical and Quantum Electronics*, 2002, 34(4): 331-341