

# 快速轴流型与密封型 CO<sub>2</sub> 激光器 超脉冲特性研究

沈宇震

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

**摘要** 快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器和密封型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲运转时, 能够获得前沿迅速上升、脉宽窄、峰值功率高的激光脉冲输出, 在激光加工和激光医疗等领域有重要应用价值。本文从理论和实验两个方面对快速轴流型与密封型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲特性进行了研究, 设计并研制了适合 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲运转的控制电源, 在国内首次实现了快速轴流型与密封型 CO<sub>2</sub> 激光器的超脉冲运转。

**关键词:** 快速轴流 CO<sub>2</sub> 激光器; 密封 CO<sub>2</sub> 激光器; 超脉冲; 速率方程; 快放电; 高功率密度

## 1 超脉冲运转的 CO<sub>2</sub> 激光器理论

根据快速放电泵浦和增益开关思想, 使用速率方程理论建立了超脉冲运转的 CO<sub>2</sub> 激光器速率方程组

$$\frac{dI(t)}{dt} = g_0[I(t) + I_0] \exp(-2S \int_0^t I(t') dt') - \gamma_0 I(t) \quad (1)$$

$$N(z, t) - S_0 \exp(-s \int_0^t I(z, t') dt') (\int_0^t \exp(s \int_0^{t'} I(z, t'') dt'') dt') \quad (2)$$

$$G - N\sigma \quad (3)$$

式中  $I(t)$ 、 $N(z, t)$ 、 $G$  分别为激光强度、反转粒子数密度、增益,  $g_0$ 、 $\gamma_0$  分别为增益系数和损耗系数,  $S$  为饱和参数,  $I_0$  为输入噪声,  $S_0$  为泵浦速率,  $\delta$  为受激辐射截面。然后分别对快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器和密封型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲特性进行了理论研究。

对于快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器, 气体温度随时间的变化方程为

$$\frac{dT}{dt} = \frac{2}{mC_v} \frac{d\sigma}{dt} \frac{2C_p}{C_v} (T - T_0) \frac{m}{m} \quad (4)$$

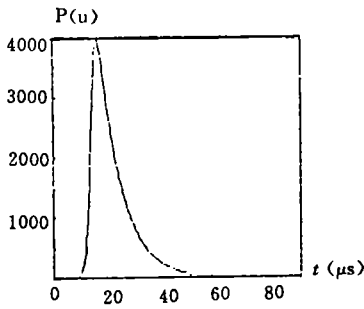
式中  $m$  为气体质量,  $\dot{m}$  为气体质量流速,  $T_0$  为初始温度,  $C_p$ 、 $C_v$  分别为定压、定容热容量。

\* 收稿日期: 1994年3月10日; 本文作者的导师为牛振亚

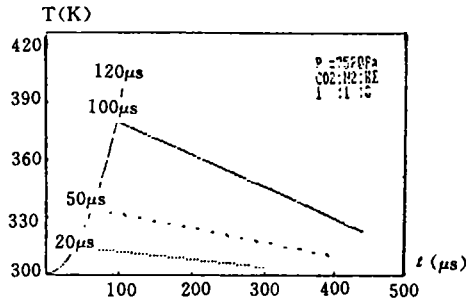
对于密封型 CO<sub>2</sub> 激光器，气体温度随时间的变化方程为

$$T = T_w + \frac{P_{heat}}{4\pi KL} \quad (5)$$

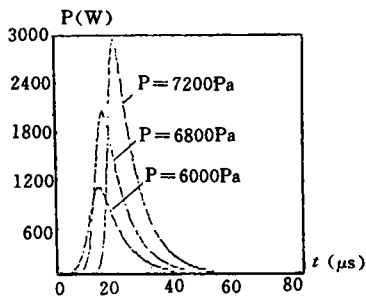
式中  $T_w$  为管壁温度,  $L$  为谐振腔长,  $K$  为热传导系数,  $P_{heat}$  为注入功率中使气体温度上升部分。



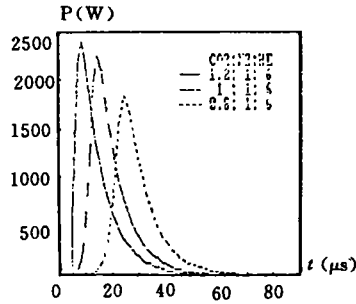
(a) 最大超脉冲激光输出



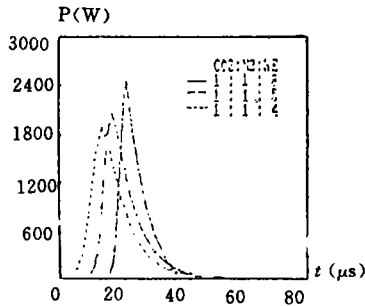
(b) 温度与放电脉宽、放电频率的关系



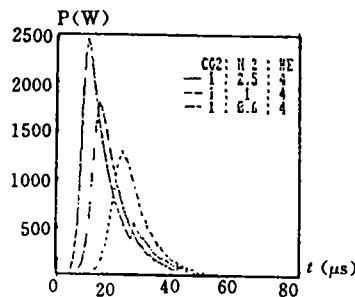
(c) 工作气体气压对超脉冲激光输出的影响



(d) CO<sub>2</sub> 气体含量对超脉冲激光输出的影响



(e) He 气含量对超脉冲激光输出的影响

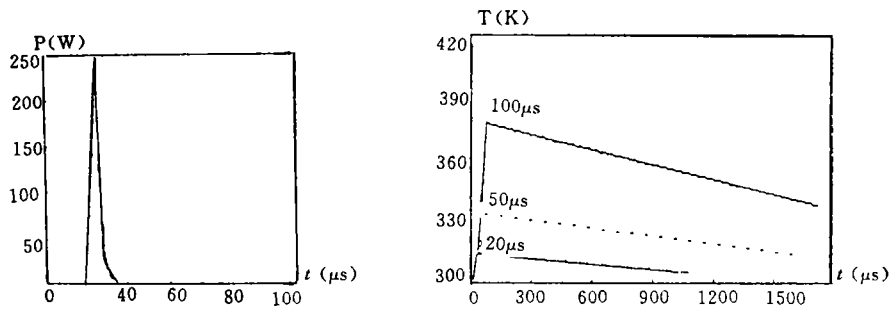


(f) N<sub>2</sub> 气含量对超脉冲激光输出的影响

图 1 快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲特性

通过分别对方程组 (1)、(2)、(3)、(4) 和 (1)、(2)、(3)、(5) 进行数值计算, 详细

地分析了 (1), 快速轴流型与密封型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲激光的产生和变化过程; 电源放电脉冲宽度、放电频率对上述两种激光器超脉冲激光输出的影响; 工作气体气压以及 He、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 气体含量对快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲激光输出的影响。得到了一系列理论计算曲线。



(a) 最大超脉冲激光输出

(b) 温度与放电脉宽、放电频率的关系

图 2 密封型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲特性

分析理论上的研究结果得到以下结论: 对于快速轴流型和密封型 CO<sub>2</sub> 激光器, 快速放电泵浦和高注入功率密度是超脉冲激光产生的条件, 过高的气体温度是不利于激光器超脉冲运转的主要因素。由于快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器冷却性好, 允许的放电脉宽范围大, 放电频率高。而密封型 CO<sub>2</sub> 激光器冷却性差, 允许的放电脉宽范围小, 放电频率低。理论研究还表明, 工作气体充气压、He、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 等气体的合理选取对提高快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器的超脉冲输出, 改善超脉冲激光的时间特性有重要作用。

通过理论计算得到在最佳工作条件下, 对于实验中使用的 500 W 快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器能够获得 3000 W 的最大超脉冲激光峰值功率; 对于实验中使用的 20 W 密封型 CO<sub>2</sub> 激光器能够获得 300 W 的最大超脉冲激光峰值功率。

上述理论分析对设计超脉冲运转的快速轴流型和密封型 CO<sub>2</sub> 激光器及电源有指导意义。

## 2 实验装置

首先根据超脉冲激光的形成机制, 设计并研制了适合 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲运转的控制电源。电源由弱电控制和强电控制两部分组成, 它们通过光耦合器连接。弱电控制部分能够产生阶跃变化的矩形触发脉冲, 它是快速放电的基础。强电控制部分能够在保证恒流输出条件下产生高峰值电流的放电脉冲。为提高脉冲放电速度使用了加速电容。该电源能够产生放电频率 1—2KHz、最小放电脉宽 10 μs、最大注入功率密度 50 W/cm<sup>2</sup> 的快速放电脉冲, 脉冲前沿小于 1 μs, 后沿小于 5 μs, 适合 CO<sub>2</sub> 激光器的超脉冲运转。观察到的触发脉冲和放电脉冲波形如图 3、4 所示。

实验中使用连续输出 500 W 的快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器和连续输出 20 W 的密封型 CO<sub>2</sub> 激光器进行超脉冲特性研究。

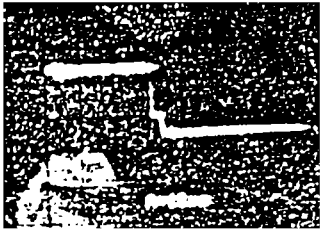
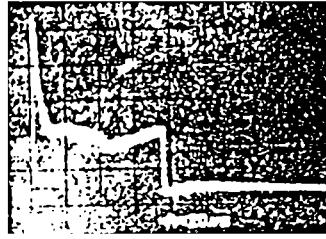
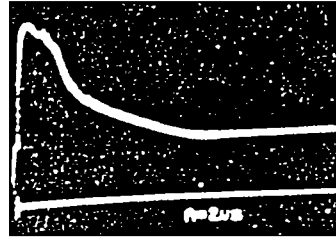


图3 触发脉冲波形



(a)



(b)

图4 放电脉冲波形 (a) 波形 (b) 前沿

### 3 快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲特性实验研究

通过电学调制提高放电脉冲注入功率密度从而实现激光器的超脉冲运转。在此基础上对激光器最佳工作条件进行了研究。实验结果表明,由于快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器冷却性好,放电脉宽和占空比范围大,工作频率特性好,能满足同时获得高峰值功率和高平均功率超脉冲激光输出的要求。实验结果还表明增加工作气体气压以及在一定范围内适量增加 He 气, CO<sub>2</sub> 气体含量,减少 N<sub>2</sub> 气含量有助于提高超脉冲激光输出,改善超脉冲激光的时间特性。

在最佳工作条件下,对于实验中使用的连续输出 500W 的快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器获得了峰值功率 2000W、平均功率 230W 的最大超脉冲激光输出,激光波形如图 5 所示。

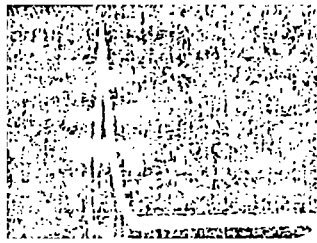
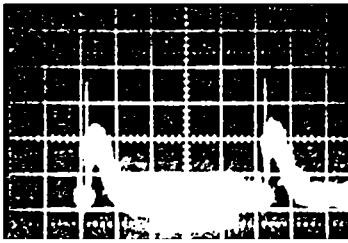


图5 快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器产生的超脉冲激光波形 图6 密封型 CO<sub>2</sub> 激光器产生的超脉冲激光波形

### 4 密封型 CO<sub>2</sub> 激光器超脉冲特性实验研究

通过电学调制在实验上实现了超脉冲运转,在此基础上研究了最佳激励条件。实验结果表明,由于密封型 CO<sub>2</sub> 激光器冷却性差,允许的放电脉宽和占空比范围很小,频率特性较差,无法同时获得高峰值功率和高平均功率的超脉冲激光输出。在最佳工作条件下,对于实验中使用的连续输出 20W 的密封型 CO<sub>2</sub> 激光器获得了峰值功率 200W、平均功率 8W 的最大超脉冲激光输出,其波形如图 6 所示。

## 5 结束语

快速轴流型与密封型 CO<sub>2</sub> 激光器的超脉冲性比较

结果表明,在同等连续输出功率下,密封型 CO<sub>2</sub> 激光器产生的超脉冲激光能量大于快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器,合理设计密封型 CO<sub>2</sub> 激光器有助于进一步提高超脉冲激光能量,而这是快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器不易实现的。但快速轴流型 CO<sub>2</sub> 激光器良好的频率特性的保证同时获得高峰值功率和高平均功率的超脉冲激光输出同时,能够弥补脉冲能量较低的不足。

### Study on Super Pulses Characteristics of the Fast-Axial-Flow CO<sub>2</sub> Laser and Sealed-off CO<sub>2</sub> Laser

Shen Yuzhen

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Science,  
Changchun130021)

#### Abstract

The rate equation theory is used to study the basic equations of super pulse operation of CO<sub>2</sub> laser, super pulse characteristics of a fast-axial-flow CO<sub>2</sub> laser and a sealed-off CO<sub>2</sub> laser is simulated and the factors concerned is discussed. A control power for super pulse operation of CO<sub>2</sub> laser is designed, which can produce fast discharge and high power density. By means of electronic modulation, super pulse operation of a fast-axial-flow CO<sub>2</sub> laser and a sealed-off CO<sub>2</sub> laser is achieved in the experiment. On the basis of researching and analysing the relative factors, optimal operational conditions for above lasers are determined. The differences between a fast-axial-flow CO<sub>2</sub> laser and a sealed-off CO<sub>2</sub> laser in super pulse characteristics are compared. The experimental results are in agreement with the theoretical predictions.

**Key Words:** Fast-axial-flow CO<sub>2</sub> laser, Sealed-off CO<sub>2</sub> laser, Super pulse, Rate equation, Fast discharge, High power density