

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0176-03

气动冷却电激励 CO₂ 激光器的研究

卢宏 程祖海 岳凯文

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要 研制了一种气动冷却电激励 CO₂ 激光器, 报道了激光器的基本结构、技术特点和实验结果, 在总注入功率为 2.7 kW 时, 获得了 195 W 的低阶模激光输出, 电光转换效率大于 12%。

关键词 气动冷却, 电激励, CO₂ 激光器

中图分类号 TN248.2⁺2 **文献标识码** A

Electrically Excited CO₂ Laser with Gasdynamic Cooling

LU Hong CHENG Zu-hai YUE Kai-wen

(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract An electrically excited CO₂ laser with gasdynamic cooling has been developed. The structure, technical features and experimental results of the laser are reported. When the total injecting power is 2.7 kW, the power output is 195 W and the electro-optic conversion efficiency is higher than 12%.

Key words gasdynamic cooling, electrically excited, CO₂ laser

1 引言

气动 CO₂ 激光器是目前连续输出激光功率最高的激光器, 气动激光技术仍是获得 10 kW 及以上级高功率连续 CO₂ 激光器的最有效手段。气动 CO₂ 激光器与放电激励 CO₂ 激光器相比具有结构简单, 输出功率大(目前最高达 MW)的优点, 但存在电光转换效率低、比功率小、工作气体温度高、压力大和安全隐患大等问题。采用超音速喷管绝热膨胀冷却与放电激励相结合的办法, 使激光器兼有电激励 CO₂ 激光器电光转换效率高和气动 CO₂ 激光器冷却效果好的双重优点^[1~3], 同时可避免放电激励 CO₂ 激光器采用风机和热交换器复杂的循环冷却结构, 减小了体积, 也无需使用昂贵的 He 气。又改善了气动激光器的热能量转换效率低、比功率小、工作气体质量流量消耗大的缺点。

2 激光器总体结构

激光器系统由直流激励电源、前后级超音速列

阵喷管、放电电极、谐振腔、激光器外壳和排气系统组成。其中由前后级列阵喷管、放电电极、谐振腔和激光壳体组成的激光头, 如图 1 所示。其基本几何尺寸为 813 mm × 85 mm × 40 mm。将高压 N₂ 经前级喷管绝热膨胀注入放电区, 放电激发, 再将 CO₂ 气体经后级喷管注入放电区下游, 与激发态 N₂ 混合, 实现 CO₂ 分子粒子数反转。在此结构中, 省去了电激励 CO₂ 激光器的风机和冷却循环装置, 也无

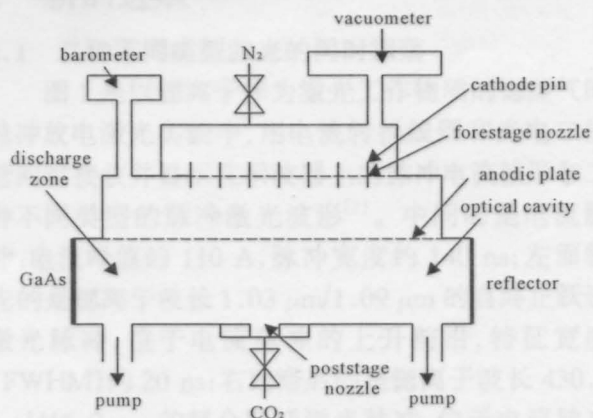


图 1 激光器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the laser

需 He 气。

3 技术特点

3.1 电极结构

在电极结构设计中采用了多根阴极针对阳极平板的放电结构,其目的是在高气压下获得大体积均匀辉光放电。放电方向与气体流动方向一致而与光轴方向垂直,这种形式与两轴垂直横向流动 CO₂ 激光器类似,其特点是放电区域和受激放大体积大,其增益分布较三轴垂直横流方式均匀,有利于提高光束质量和更有效利用增益区间与光腔的匹配,从而提高电光转换效率。

放电阴极针材料选用溅射小和电子发射能力强的钨针,80 根钨针排成一排,有效放电长度为 800 mm。阴极阵列喷管由陶瓷板上均排列的陶瓷管和其中的阴极针之间形成的环形通道构成,阴极阵列喷管将储气腔和放电室隔离为两个独立空间,通过阴极阵列喷管的 N₂ 被绝热膨胀而冷却。由于阴极阵列喷管沿放电室空间均匀分布,放电室内气体流速、压力、温度、密度分布均匀,利于大体积辉光放电的稳定均匀性。采用针-板放电结构必须合理选择镇流电阻 r 和排镇流电阻 R ,据公式^[4]

$$r > \frac{K_p r_l \sqrt{n-1}}{(1-K_p)(n+\sqrt{n-1})}$$

式中, K_p 为镇流电阻消耗功率与总功率比值,一般取 0.25; n 为放电针总数; r_l 为板间等值直流电阻。由此得出 $r > 3.33 \text{ k}\Omega$, 取 $r = 5 \text{ k}\Omega$ 。排镇流电阻根据

$$R < \frac{K_p r_l}{(1-K_p)(n+\sqrt{n-1})}$$

得出 $R < 38 \Omega$, 取 $R = 30 \Omega$ 。

阳极采用无氧铜制造,均匀排列阵列小孔,小孔中心非对应于阴极针;阳极阵列小孔将放电室与光腔连通,使受激 N₂ 混合进入混合激励室(光腔区)。由于放电室静压力高于光腔区静压力,由放电室进入光腔区的 N₂ 将再次被阳极阵列小孔绝热膨胀冷却;阳极阵列小孔的另一作用是造成针板放电和气体流动方向一致,使激光器能获得大体积均匀辉光放电,又能提高光束质量。

3.2 喷管

喷管的喉道尺寸和个数由工质气体质量流量、储气室气体压力和温度等因素决定。前级喷管的喉道直径为 2.6 mm,阴极针直径为 2 mm,则每个喷

管喉道面积为 $A = 2.168 \text{ mm}^2$,经计算得出每个喷管的质量流量为 0.1135 g/s,80 个喷管喷出 N₂ 的质量流量为 9 g/s,喷管的出口面积为 2.714 mm²;设计后级喷管直径为 3.1 mm,则喉道面积为 7.548 mm²,出口直径为 4.94 mm,每个喷管质量流量为 1.505 g/s。按此喷管设计参数,当注入功率达到 1800 W 时, N₂ 经放电后的温升约为 120 K,当 N₂ 和 CO₂ 初始温度为 300 K 时,经放电和前后级喷管进入混合激励室(光腔区域)温度为 320 K 左右,从实验和计算情况看,光腔区的温度较放电区的有很大下降。

3.3 谐振腔

光腔采用了平-凹稳腔,主要考虑因素是结构简单和稳定性好。所选用全反镜为硅基底增强介质膜全反镜,具有反射率高和热变形小的特点。反射率大于 99%,曲率半径 $R = 30 \text{ m}$;窗口选用砷化镓材料,透过率 $T = 12\%$,整个谐振腔腔长 $L = 0.86 \text{ m}$ 。根据激光谐振腔中高斯光束传播特性,激光束束腰在窗口处,且基模束腰半径 w_0 可表示为^[5]

$$w_0 = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi n}} [L(R-L)]^{1/4}$$

式中 $\lambda = 10.6 \times 10^{-3} \text{ mm}$, $L = 0.86 \text{ m}$, $R = 30 \text{ m}$, $n \approx 1$ 。计算得 $2w_0 = 8.2 \text{ mm}$,再根据

$$w_m = w_0 \sqrt{2m+1},$$

m 为模的阶次,得出一阶模束腰直径

$$2w_{10} = 2\sqrt{3}w_0 = 14.2 \text{ mm}$$

4 激光器运行特性

当工作气体混合比为 CO₂:N₂ = 1:2,在混合激励室气压分别为 5.3 kPa,7.99 kPa 和 11.99 kPa 进行放电实验,其 V-A 特性曲线如图 2 所示,辉光放电非常稳定,放电电压几乎不随电流变化而变化;气

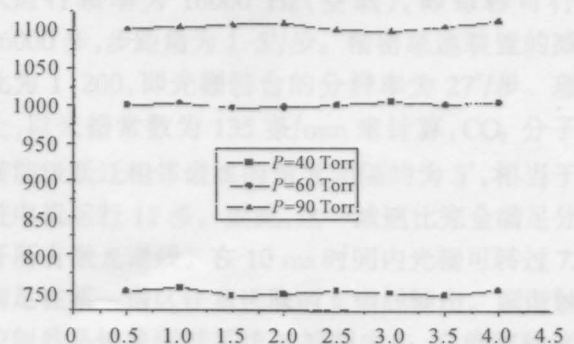


图 2 不同气压下 V-A 特性曲线

Fig.2 V-A characteristics at various pressure

压越高,起辉电压越高,注入功率越大。在 11.99 kPa 气压,电压为 1100 V,电流为 2.5 A 时,获得了功率为 195 W,光束直径为 15 mm 的低阶模 CO₂ 激光输出。实验表明,采用气动冷却技术和电激励技术结合是一个切实可行的优化方案。根据 CO₂ 激光器特性,继续提高气体循环流动速度,改进谐振腔参数,增大气压,激光输出功率将会进一步提高。

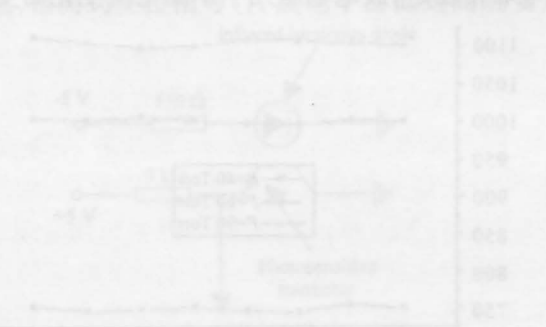
参 考 文 献

1 R. Roux. LATEX program stretches French military

expertise. *Laser Focus World*, 1994, 30(6):26~28
 2 T. Hazhimoto, S. Nakamo. Characteristics of a downstream-mixing CO₂ gasdynamic laser caused by behavior of two supersonic flowers in a laser cavity. *Appl. Opt.*, 1993, 32(30):5936~5943
 3 Dymshits. 400 kW CW CO laser. GCL/HPL'96, 1996, UK
 4 李适民等. 激光器件原理与设计. 北京:国防工业出版社,1998.136~139
 5 周炳琨,高以智等. 激光原理. 北京:国防工业出版社,1984. 98~107



为了进一步提高定位精度,采用双以外传感器确定光栅的初始位置。在初始位置处安装两个光栅和两个光电耦合器,光栅由交变电压驱动光栅一极板驱动电压由控制电路产生,光电耦合器接收光栅的位移信号,经放大电路放大后送入计算机处理,计算机根据接收到的位移信号计算出光栅的初始位置。



为了进一步提高激光输出功率,在激光管出口处安装气动冷却系统,使激光管出口处的气体温度降低,从而提高激光管的输出功率。实验表明,采用气动冷却技术和电激励技术结合是一个切实可行的优化方案。根据 CO₂ 激光器特性,继续提高气体循环流动速度,改进谐振腔参数,增大气压,激光输出功率将会进一步提高。

3 实验结果与分析

激光输出功率与气压的关系如图 3 所示。由图 3 可以看出,激光输出功率随气压的增大而增大,在 11.99 kPa 处达到最大值 195 W,之后随着气压的继续增大,激光输出功率开始下降。

为了进一步提高激光输出功率,在激光管出口处安装气动冷却系统,使激光管出口处的气体温度降低,从而提高激光管的输出功率。实验表明,采用气动冷却技术和电激励技术结合是一个切实可行的优化方案。根据 CO₂ 激光器特性,继续提高气体循环流动速度,改进谐振腔参数,增大气压,激光输出功率将会进一步提高。