

实用型 5k W CW CO₂ 光器的研制

唐士清 查鸿逵 王润文 江 淼 陆鸿飞
陈 平 丁克明 张寿祥 杨逸根

(中国科学院上海光机所201800)

提要: 本文描述了一台实用型的 5 kW 级 CW CO₂ 激光器。讨论了有关技术参数和特性, 以及进一步提高技术性能的途径。

关键词: 5 kW 级 CW CO₂ 激光器

Development of practical 5 kW level CW CO₂ lasers

Tang Shiqing, Cha Hongkui, Wang Runwen, Jiang Miao, Lu Hongfei,

Chen Ping, Ding Keming, Zhang Shouxian, Yang Yigen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: A practical 5 kW level CW CO₂ laser is described. The related technological parameters and features are discussed and the approaches to improve its performances are suggested.

Key words: 5 kW level CW CO₂ laser

高功率 CW CO₂ 激光器是目前工业应用的主要器件, 尤其是金属材料的加工, 包括切割、焊接、合金化以及材料表面热处理等。因此, 实用型 CW CO₂ 5 kW 激光器的研制成功有很大价值。

本文报道的器件主要达到的研究性能是: 稳定封闭连续运转时间为 8~10 h; 低阶模时输出 3000 W, 方向性达 3~4 m rad; 运行噪声约 70 dB。

一、结构描述

整个激光系统由主机、电阻箱、电源及排气充气部份组成。主机由放电室、光腔、真空室外壳、热交换器和风机构成(见图 1)。

1. 放电室: 为双通道管板式放电(如图 2)。每边有效激活长度为 1.6 m, 因此两边串联后总有效激活长度为 3.2 m, 每块阳极板由 77 块铜电极条镶嵌在水泥板内。阴极是由 $\phi 10$ mm 的紫铜管做成。阳极板下沿同阴极管上沿取齐, 相距 3.2 cm。直流预电离针离阴极管下沿约 5 mm, 每针对应一阳极条; 2. 激光谐振腔: 光轴垂直于电场方向和气流方向。整个谐振腔系统有独立稳定的机械结构, 通过波纹管同激光器壳体相联。双通道激活区通过两块平面镜成

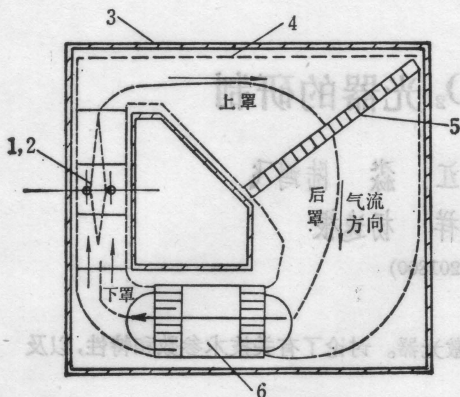


图1 激光器主机结构原理图

1—放电室；2—光腔 3—真空室外壳；
4—导流系统（上罩、下罩、后罩）；5—热
交换器；6—风机

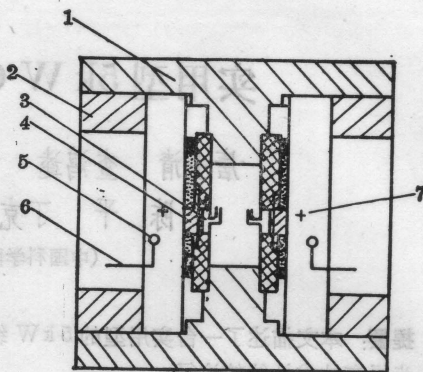


图2 放电盒结构图

1—放电盒框架；2—预电离板；3—阳
极板水冷管；4—阳极板；5—阴极管；
6—预电离针；7—光轴

45°折光，使光轴串联起来。激光振荡是通过全反射面腔镜（用铜镜镀金）和平面半透输出镜 ZnSe 构成。光轴中心，根据经验位于约离阳极板 2cm（水平方向）、离阳极下沿约 3.2cm（垂直方向）的位置；3. 风机：是我所研制成的轴流低噪音风机，两台并联放置，在放电区的风速可达 50 m/s，以保证激光气体的快速对流循环冷却。

二、主要特性

2.1 效率

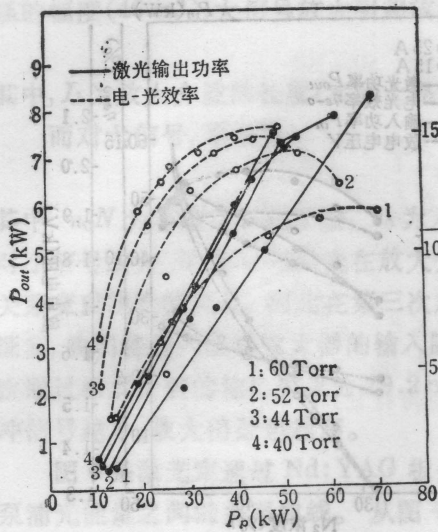
图 3(a) 和 (b) 是激光器在不同气压下测得的输出功率和电光转换效率与输入功率的关系曲线。由图可见，电光效率随气压的升高而降低。在同一气压下随输入功率增加存在最高效率。输出功率和输入功率的关系基本上是线性增加，输入功率达 70 kW 时尚未出现明显饱和。

2.2 5kW 额定功率运转时的特性

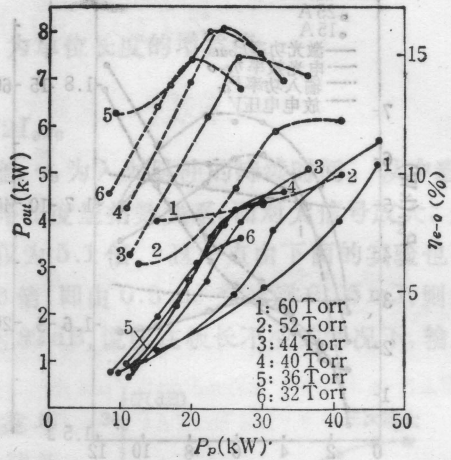
器件连续运转，额定输出功率 5kW 条件下的电光效率、电压和谐振腔温度的变化如图 4 所示。温度是用半导体点温计监测的。实验表明，腔温升到一定程度会直接影响激光器的正常运转，尤其是转折镜腔体温度最灵敏。 T_R 是全反镜腔温， T_W 是输出耦合镜腔温。器件连续运转 10h 后电光效率由 14% 下降到 12.8%。放电电压上升 80 V。三种腔温有显然不同的特性。 T_R 、 T_W 在前 3h 内上升较快，后逐渐平衡，7h 后稍微上升后又进入新的平衡。10h 后 T_R 达 29°C， T_W 达 23°C。 T_{45° 前 8h 一直缓慢上升（上升率为 0.3°C/h）之后稍有加快，10h 后 T_{45° 达 12°C，激光器仍能正常运转，运转时温度为 8°C。

2.3 存放时间内的运转特性

图 5 是在连续运转 10h 后经 12 天的实验观察所获得的特性曲线，每天连续运转 1h。由图可见，在第 12 天时电光效率降为 12.6%，变化不太大，仅腔温出现异常现象。纵坐标温升速率在第 2~11 天内都稳定在 1.5°C/h，但在第 12 天开始，温升速率急剧变快。最终，局部放电出现崩溃（拉弧），已不能正常运转。这可能是由于放电等离子体长期的化学效应造成热不稳定所致。



(a)



(b)

图3 在不同气压下激光输出功率和效率同输入电功率的关系

(a) 气体组分: CO₂:N₂:He=1:6:11.4, 输出耦合: ZnSe板, T=70%, 光学孔径: ϕ 5 cm;

(b) 气体组分: CO₂:N₂:He=1:8:11, 输出耦合: 镀膜 ZnSe, T=40%, 光学孔径: ϕ 4.2 cm

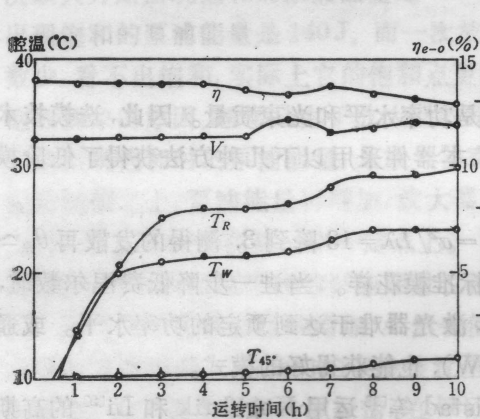


图4 在 5 kW 激光额定功率输出下, 电-光效率、放电电压和腔温随运转时间的变化

气体组分: CO₂:N₂:He=2.5:18.5:25, 总气压: 46 Torr, 输出耦合: ZnSe 板, 光学孔径: ϕ 4.6 cm

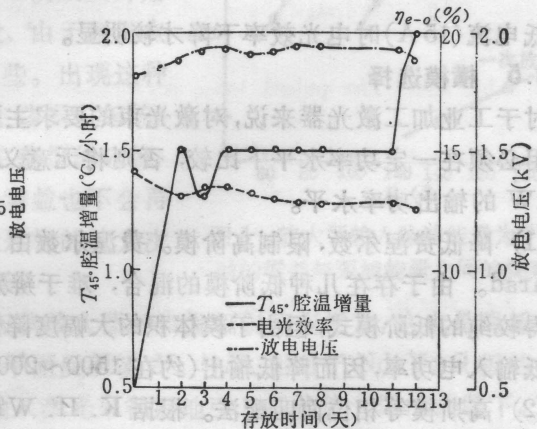


图5 在 5 kW 激光额定输出功率下, 腔温增量、电-光效率和放电电压随气体存放时间的变化

气体组分: CO₂:N₂:He=2.5:18.5:25, 总气压: 46 Torr, 输出耦合: ZnSe 板, 光学孔径 ϕ 4.6 cm,

2.4 气体组分对激光输出及电光效率的影响

(1) 图6是固定 N₂ 和 He 比份改变 CO₂ 浓度, 在二种放电电流(15 A, 25 A) 时的实验结果。随着 CO₂ 浓度的增加, 电光效率有一最佳值。电流为 15 A 时, 最佳浓度是 5.3%; 25 A 时, 最佳浓度是 7.5%。放电电压是随 CO₂ 浓度的增加而急剧增加。

(2) 图7是固定 CO₂ 和 He 浓度, 改变氮浓度的实验结果。由图可见, N₂ 浓度的改变对电光效率的影响不大, 在二种放电电流下最佳浓度几乎均在 40%。总的来看, 随 He 浓度的增加, 电光效率缓慢下降, 但在高 CO₂ 浓度和放电电流 25 A 条件下变化不大, 只有在低 CO₂ 浓

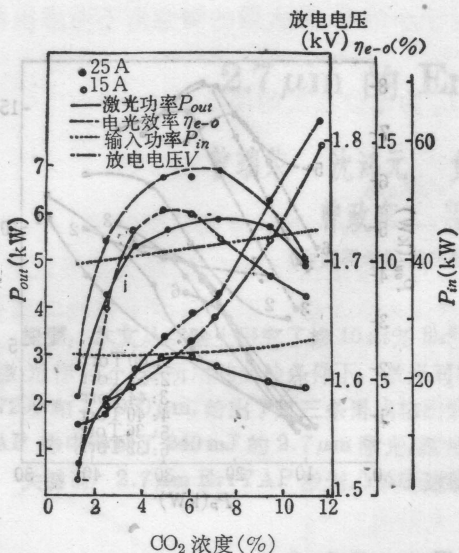


图6 在二种电流下,激光输出功率、电-光效率、输入功率和放电电压随 CO_2 浓度的变化
气体组份: $\text{N}_2:\text{He}=16:22$, 输出耦合: ZnSe 板, 光学孔径: $\phi 5\text{ cm}$

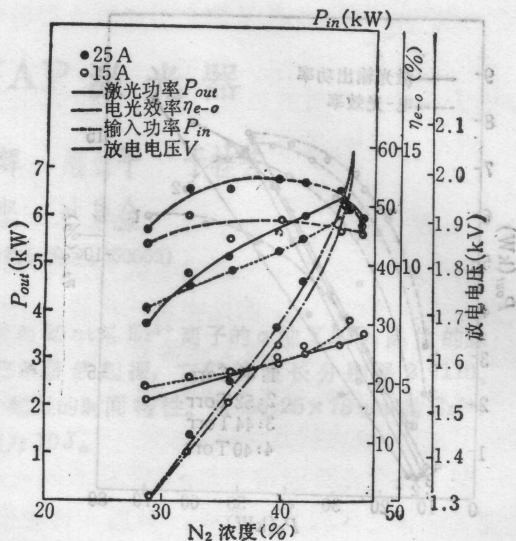


图7 在二种电流下,激光输出功率、电-光效率、输入功率和放电电压随 N_2 浓度的变化
气体组份: $\text{CO}_2:\text{He}=3:22$ Torr, 输出耦合: ZnSe 板, $\phi 4.2\text{ cm}$,

度和低电流(15 A)时电光效率下降才较明显。

2.5 横模选择

对于工业加工激光器来说,对激光束的要求主要是功率水平和光束质量。因此,选模技术的采用必须在一定功率水平下比较,否则将无意义。本器件采用以下几种方法获得了低阶模为 3 kW 的输出功率水平。

(1) 降低费涅尔数,限制高阶模。费涅尔数由 $N = a^2/L\lambda = 13$ 降到 3,测得的发散角 $\theta_{\text{全}} \sim 4.5\text{ mrad}$ 。由于存在几种低阶模的混合,难于辨别标准模花样。当进一步降低费涅尔数时,能获得较纯的低阶模式,但由于模体积的大幅度降低,激光器难于达到预定的功率水平。或通过降低输入电功率,因而降低输出(约在 1500~2000 W),也能获得好的模式。

(2) 高斯模等相位面匹配法。根据 K. H. Wroldstad 等^[1]运用 Kogelnik 和 Li^[2]的高斯束方程设计适当的反射镜,输出光阑同样取 $\phi 25\text{ mm}$,也得到低阶模式,这些光束的发射角经远场测量为 4 mrad。

(3) 增大全反腔镜的曲率半径(R)。当腔长不变,输出镜为平板,全反镜的 R 增大后,模体体积也相应增大,由于衍射效应,可限制高阶模,光束发散角也可以获得改善。其实验结果表明,也未出现单纯标准模式, n 种低阶模同时存在,但束散角大有改善, $\theta_{\text{全}} \sim 3\text{ mrad}$ 。

由于本器件具有低噪声($<70\sim 80\text{ dB}$)、连续运转寿命长($>8\text{ h}$)、多模输出和低阶模输出兼有、光束发散角小($3\sim 4\text{ mrad}$)等优点,因此用途广,适用性强。已进行了各种金属材料的焊接、切割、表面合金化和热处理等各种试验,获得许多满意的结果。

参 考 文 献

- 1 K. H. Wroldstad et al., *GEA*, **87**(5), 143(1987)
- 2 Kogelnik H., Li T., *Appl. Opt.*, **5**, 1550(1966)