

## 密封长寿命千瓦级横流 CO<sub>2</sub> 激光器

陈可心 王哲恩 奚全新 吴东来 奚文龙 王亮 王润文

(中国科学院上海光机所)

**摘要:** 报道了高气压密封长寿命千瓦级横流 CO<sub>2</sub> 激光器的结构、放电稳定性和长时间密封运转性能。讨论了在真空室中放入适量硅胶,对腔区进行有效冷却及提高气压对长时间密封运转的作用。

气流速度 45 m/s, 工作气压 82 Torr, 激活区长度 80 cm, 输出功率 1350 W, 效率 15.6%, 连续运转时间大于 30 小时。

### A long life-time sealed-off kW level transverse-flow CO<sub>2</sub> laser

Chen Kexin, Wang Zheen, Xi Quanxin, Wu Donglai, Xi Wenlong, Wang Liang, Wang Runwen

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

**Abstract:** The construction, glow discharge stability and operation characteristics of high pressure long life-time sealed-off kW level transverse-flow CO<sub>2</sub> lasers are reported. The effects of putting silica gel into the vacuum chamber, cooling the cavity region effectively and increasing pressure on the long-term sealed-off operation have been discussed.

With gas flow velocity of 45m/s, gas mixture pressure of 82mmHg, active region length of 80cm, an output power of 1350W is obtained, with an electro-optic efficiency of 15.6% and CW operation time of over 30 hours.

### 一、前 言

为在较短的激活长度上获得较大的激光功率输出,应尽可能采用高的气压工作。在高气压下要达到大体积均匀辉光放电是不容易的。因此,目前国内外常用的数千瓦级连续 CO<sub>2</sub> 激光器一般都为自持放电型,工作气压较低。为了保持输出功率的稳定性,国外大都采用不断部分更新气体的方式,这带来昂贵氦气的消耗。

我们研制的高气压密封型长寿命千瓦级连续 CO<sub>2</sub> 激光器考虑了:

1. 氦气耗量降至最低;
2. 提高气压,使输出功率提高。

下面介绍该激光器的组成、放电稳定性和长时间密封运转的结果。

### 二、激光器装置的组成

激光器由激光器主体和直流高压电源

收稿日期:1986年6月4日。

部分组成。

### (1) 激光器主体

它是一不锈钢体构成的低速闭环风洞,由低速轴流风机、热交换器、放电盒、弯管、光腔和底座构成(见图1)。

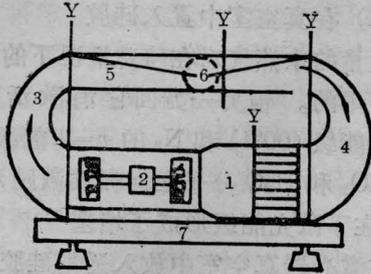


图1. 激光器主体结构示意图

(Y表示法兰盘处)

1—热交换器; 2—鼓风机; 3、4—弯管; 5—放电盒; 6—光腔区; 7—底座  
(箭头方向为气体流动方向)

▲风机为低速轴流型,有两级定叶轮,两级动叶轮,叶轮直径 $\phi 500$  mm,风机采用工频50周市电,转速为2900 r.p.m.,驱动电机为三相380 V,运转电流2~2.5 A,外壳水冷。

▲热交换器为板翅式,自来水冷却,冷却水流量 $3\text{ m}^3/\text{h}$ ,最大换热量 $20000\text{ kcal/h}$ 。在1500~2000 W激光输出条件下,冷却水进出口温差为 $2\sim 4^\circ\text{C}$ 。

▲放电盒喉高45 mm,在该处以毕托管测得混合气体压力为80 Torr时的流速为45 m/s,放电盒喉部截面为 $1000\times 45\text{ mm}$ 。放电盒内的电极引线及冷却水管均由放电盒上下两侧引出,接头处进行了可靠的真空密封处理,以保证良好的气密性能。

▲弯管在激光器中起导流作用。在弯管内装有两层半圆弧状导流板,以降低气流压头损耗和对流经的气流进行整流,改善流经放电区气流的均匀性。

▲光腔固定在由四根 $\phi 40$  mm环氧玻璃钢棒组成的光桥两端板上,光桥通过防振垫固定在激光器底座上,与激光器壳体的轻微振动隔离。主反射镜是镀金全反射水冷铜镜,

曲率半径10 m,输出耦合镜为砷化镓平板,有效通光口径 $\phi 38$  mm,两面分别镀有增反、消反膜,透过率20%。光轴置于沿放电截面测得的小信号增益的最佳值的位置上。

### (2) 直流高压电源

输出电压5000 V,容量50 kW。直流电源采用初级可控硅调压,三相变压器升压,高压硅堆整流。电源配有稳流线路,并与JGJF-2型激光功率监测反馈仪配接,根据给定的光功率对电源进行电流反馈,控制激光器输出功率的长时间稳定性。

## 三、放电稳定性

我们采用了以下几个技术获得了大体积均匀的辉光放电。

### (1) 无弧电极结构

采用管-板电极,放电方向、光轴和气流方向互相垂直。电极结构如图2所示。阴极处于气流上游,靠近放电盒喉部上方,阳极置于阴极下游,嵌入放电盒下壁并与下壁成一平面。阴极的后沿对准阳极板条的前沿。在阴极上游5~6 mm处均布一组触发针。具体参数如下:

管状阴极: $\phi 10$  mm 水冷抛光铜管。

条状阳极:40只分立等距平板铜条,平面尺寸为 $50\times 15$  mm,间距5 mm,铜条之间电绝缘。

触发针: $\phi 1$  mm 铜丝,视需要沿阴极均

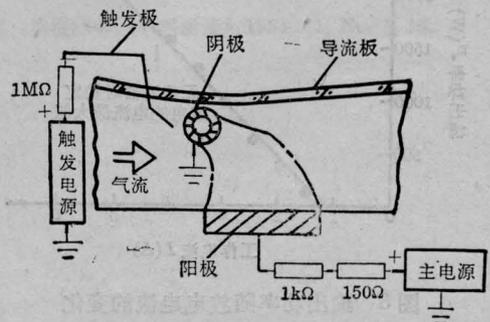


图2 电极结构

布。总电流为 60 mA。为了保证大体积均衡放电, 每块阳极分别串接 1 kΩ 的限流电阻, 并串接一个 150 Ω 的公共电阻。实验表明, 限流电阻对放电的稳定性影响较大, 这在文献 [2] 中已有叙述。

#### (2) 阴极直径的最佳选择

阴极直径的大小对放电和输出都有影响。我们曾用各种直径、各种材料的管子作阴极, 管子直径愈大, 在管子表面形成的局部放电的扫帚花状来回移动的辉斑愈多, 放电均匀性就差, 这主要是气流被横切它的大直径阴极的扰动所致。当使用直径为  $\phi 10$  mm 的铜管便获得较好的效果。

#### (3) 触发针组预电离

在阴极上游合理布置一组触发针用作预电离, 预电离形成的离子被气流带到阴极下游, 从而降低了阴阳极间建立放电所需的电压, 有利于大体积均匀放电 [3]。

#### (4) 整流装置的使用

在对风机出口的气流进行特殊的导流和整流后, 在进入放电区前又进一步进行了整流, 即在放电区的上游设置一个与通道同宽的正方形孔径的整流器 (每方孔截面为  $5 \times 5$  mm), 使流场均匀性得到明显改善。实验表明, 气流的状况对放电的影响是很大的, 没有整流器时, 稳定放电的电流值小, 当注入电流增大时, 放电开始不稳定。在设置了整流

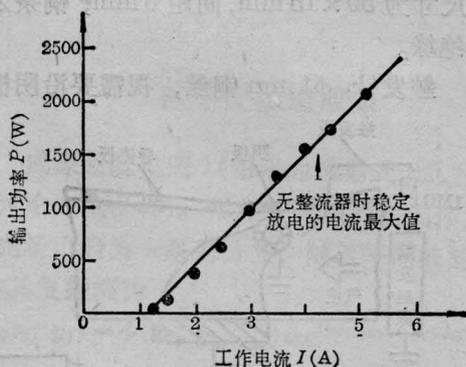


图3 输出功率随放电电流的变化  
 $P_{总}=82$ Torr  $CO_2:N_2:He=1:8:11$   
 $V_{主}=2.4$  kV

器之后, 放电电流值能允许有较大的增长, 从而输出功率也随之线性地增加 (见图 3)。

## 四、长时间密封运转

### (1) 在真空室中置入硅胶

适量的水蒸气对在特殊情况下的激光运转是有用的。但另一方面它消激活  $CO_2$  的上激光能级 ( $00^0_1$ ) 和  $N_2$  的  $v=1$  能级, 而且通过  $CO_2$  和  $H_2O$  分子之间振动激励和弛豫过程, 在下激光能级形成了堵塞 [1]。

在激光器真空室中放入适量硅胶, 则可吸收各部件在运转过程中不断释放出来的水气。有实验表明它可吸收在放电中生成的带负电的有害的杂质, 使工作气体组分的退化速度大大下降 [4]。

### (2) 腔区的冷却

在数十小时不停机连续运转过程中我们发现, 运转了一段时间后腔区开始发热, 输出功率明显下降, 若进行强迫冷却, 输出功率恢复正常。若降低  $CO_2$  的比分, 上述过程可以延缓或不发生; 增大  $CO_2$  的比分, 上述过程的发生加快、加剧。这是由于非激活区的  $CO_2$  分子吸收腔内功率, 引起腔区气体发热造成的。为此, 我们对腔区进行了有效的冷却。实验表明, 经冷却腔区的激光器能长时间运转而输出功率不变。

### (3) 高气压长时间密封运转性能

图 4 示出了混合气体压力为 82 Torr, 放电电流为 3.6 A 时, 激光功率和电光转换效率随时间变化的曲线 (输出功率、电流、电压均每半小时读数一次)。由图可见, 在长达 30 小时的不停机连续运转中, 激光输出功率和电光转换效率基本上恒定不变 (功率不稳定度小于  $\pm 1\%$ )。

为进一步验证激光器的密封性能和寿命, 上述工作气体在密封 20 天后, 以 1619 W 的输出功率再运转了大于 3 小时, 功率未见

(下转第 486 页)

## 参 考 文 献

- [1] L. L. Wilkening; Comets (The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1982).
- [2] W. M. Jackson; *J. Photochem.*, 1976, **5**, 107.
- [3] R. J. Cody *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1985, **82**, 3100.
- [4] M. H. Yu *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1980, **72**, 3789.
- [5] M. J. Sabety-Dzvonik *et al.*; *Chem. Phys. Lett.*, 1976, **44**, 131.
- [6] L. Fernholt, K. Kveseth; *Acta Chem. Scand.*, 1979, **A33**, 335; K. Kveseth; *ibid*, 1978, **A32**, 131.
- [7] R. L. Webb *et al.*; *J. Amer. Chem. Soc.*, 1955, **77**, 3491.
- [8] C. S. Rondestvedt *et al.*; *J. Amer. Chem. Soc.*, 1956, **78**, 6115.
- [9] Xie Xiaoxiang *et al.*; *J. Phys. Chem.*, to be published (1986)
- [10] Fu-Ming Pan *et al.*; *J. Phys. Chem.*, 1985, **89**, 862.
- [11] J. J. Hinkel, J. P. Devlin; *J. Chem. Phys.*, 1973, **58**, 4750; S. Matsuzaki *et al.*; *Chem. Phys. Lett.*, 1982, **91**, 296.
- [12] I. A. McLaren; Submitted to *rev. Sci. Instr.* (1985).
- [13] M. B. Robin; "Higher Excited States of Polyatomic Molecules", Vol. 1, Academic Press, New York, 1974.
- [14] T. L. Cairns *et al.*; *J. Amer. Chem. Soc.*, 1958, **80**, 2775; D. L. Jeanmaire *et al.*; *ibid*, 1975, **97**, 1699; K. H. Michaelian *et al.*; *Spectrosc. Lett.*, 1977, **10**, 99; J. C. Moore *et al.*; *J. Phys. Chem.*, 1971, **75**, 325.
- [15] T. Fujiyama *et al.*; *Spectrochem. Acta*, 1964, **20**, 415.
- [16] J. A. Dean; "Lange's Handbook of Chemistry" Thirteenth Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.

(上接第 472 页)

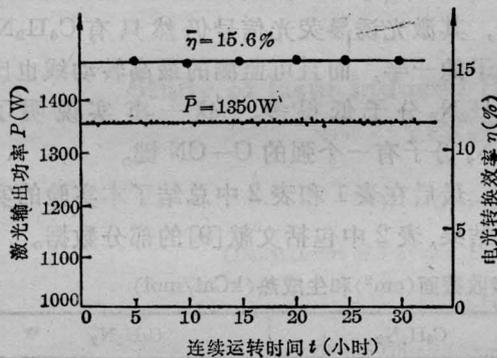


图 4. 激光功率和电光效率随时间的变化  
 $P_{总}=82 \text{ Torr}$   $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:8:11$   
 $V_{工作}=2.4 \text{ kV}$

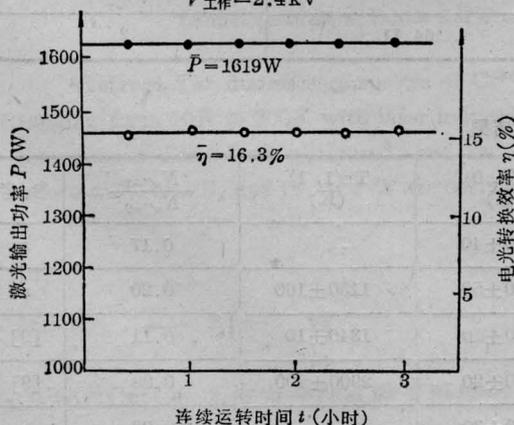


图 5. 密封 20 天后激光功率和效率随时间的变化  
 $P_{总}=81.9 \text{ Torr}$ ;  $I=4.2 \text{ A}$ ;  $V=2.35 \text{ kV}$

下降趋势(见图 5), 气压仍保持 20 天前的 82 Torr 不变。输出功率随放电电流的变化是线性的, 未出现饱和现象(见图 3)。

## 五、讨 论

不采用气体催化再生装置, 仅以提高工作气体压力和其它有效的工艺措施, 使千瓦级  $\text{CO}_2$  激光器达到长达 30 小时以上的密封连续稳定运转。这对高功率  $\text{CO}_2$  激光器在工业加工上的推广应用有重大意义, 一方面结构紧凑, 无附加设备, 另一方面又大大降低了运转成本。

激光器的高气压运转电极结构, 腔内非激活区的有效冷却及水气的排除方法都对激光器的长时间密封运转极为有效。

## 参 考 文 献

- [1] Haruhiko Nagai *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1982, **QE-18**, No. 3, 416.
- [2] 王哲恩等;《激光》, 1980, **7**, No. 7, 1.
- [3] J. D. Foster *et al.*; U. S. Patent 3772610(1973).
- [4] *Природа*, 1984, No. 4, 108.