

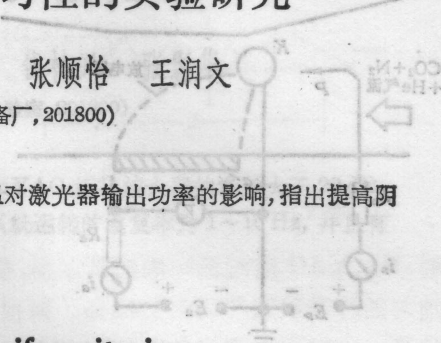
改善横流 CO₂ 激光器放电均匀性的实验研究

归振兴 陈钰明 沈华勤 奚全新 张顺怡 王润文

(中国科学院上海光机所雷鸥激光设备厂, 201800)

提要: 本文研究了横流 CO₂ 激光器中阴极管的冷却水温对激光器输出功率的影响, 指出提高阴极温度有利于改善放电均匀性和稳定性。

关键词: 横流 CO₂ 激光器, 管-板电极, 阴极温度效应



Improvement of discharge uniformity in a transverse-flow CO₂ laser

Gui Zhenxing, Chen Yuming, Sheng Huaqin, Xi Quanxin, Zhang Shunyi, Wang Runwen

(Lei'ou Laser Equipment Factory, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: The influence of water temperature in a cathode tube on the output power of transverse flow CO₂ laser is investigated. It has been shown that the increasing temperature of the cathode is advantageous to improve the discharge uniformity and stability.

Key words: transverse flow CO₂ laser, tube-plane electrodes, temperature effect of the cathode

实现高压大体积均匀辉光放电是闭合循环 CO₂ 激光器获得高功率稳定输出的关键。对此,人们从放电机制、电极结构、流场分布等方面进行了大量的研究工作^[1~3]。迄今为止,较为成熟的横向电激励技术是采用针-板式和管-板式两种电极结构,其中管板式结构比较简单、实用,但其缺点是随着工作气压的升高,气体放电区将收缩,使得放电均匀性和稳定性变差,因此限制了激光器输出功率的进一步提高。实践表明,控制阴极的温度,能明显改善放电的均匀性和稳定性,从而有效地提高激光器的输出功率、电光转换效率等工作特性。

一、实验装置和结果

实验采用了闭合循环千瓦级 CO₂ 激光器,其结构及其参数见文献[4],图1给出的是放电电极结构及测量示意图。阴极 K 是一根长 1m、直径为 8mm 的水冷铜管。阳极 a 由 45 块分立的平板铜条组成,每块铜条平面尺寸为 40×15 mm²,间距为 5mm。在阴极上游有一排 φ1mm 的铜丝均分布,作预放电针。每个电极均通过一限流电阻串联到放电回路中,用电流表测量总的回路电流。

器件经过多次充气放电清洗,以消除吸附的杂质气体对实验的影响,然后,充入 85 Torr 的高纯 CO₂、N₂ 和 He 气体。气体经过导流和整流后以 45 m/s 的速度横向流过放电区,气体

流场沿光轴方向上基本是均匀的。激光器的谐振腔采用平-凹结构稳定腔，多模输出，输出功率用 JGXX-1 型激光功率显示控制仪测量。

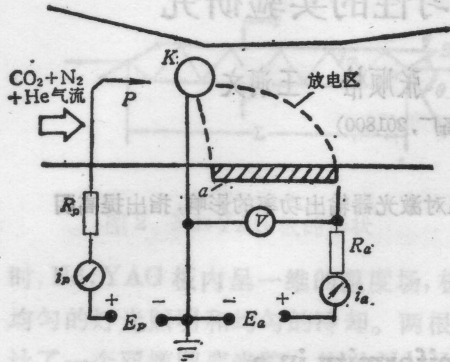


图1 实验装置示意图

实验是在充分放电半小时后，待器件工作状态基本稳定下进行的。固定放电电流 $I_0=4\text{ A}$ ，通过改变阴极管中的水流量 Q_w (进水水温 T_{in} 恒定) 和改变阴极管的进水温度 T_{in} (Q_w 恒定)，观察了激光器输出功率的变化，发现随着水流量减小，出水温度升高，输出功率明显增大。反之水流量增大，出水温度降低，输出功率也随之降低，而且输出功率的起伏量增大。典型结果见图2。图2(a)中箭头方向表示实验进行的过程，图2(b)给出的是水流量与出水温度的关系曲线。从图2(a)可以看到，当出水温度从高到低，再又低到高的反复过程中，输出功率变化的曲线并不完全重合，这可能是阴极的“热惯性”时间较长所造成的，尽管阴极中冷却水温变化了，并且测量点都稳定了一段时间(约10 min)，但在阴极表面的放电状态要达到一新的平衡需要较长时间。不管怎样，实验反复多次，其基本规律是一致的，即随着水流量减小输出功率增大，并且功率稳定度提高，反之亦然。

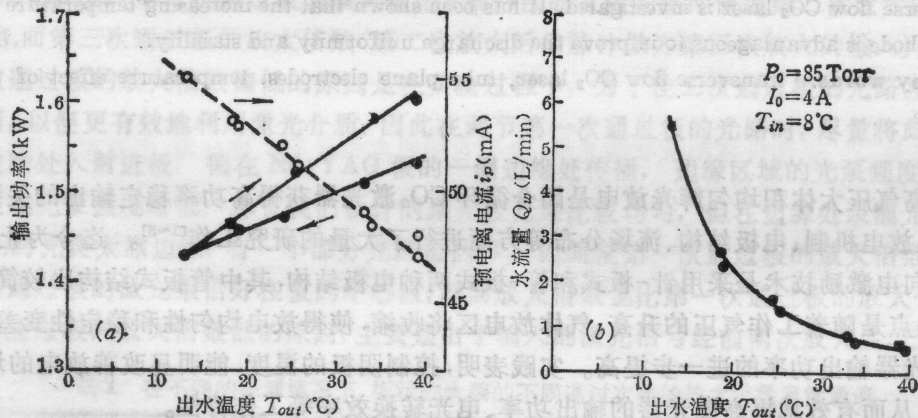


图2 阴极冷却水流量对激光器输出功率的影响

当恒定阴极管中的水流量，改变进水的温度(本实验使用一循环水泵，水流量约3 L/min)，与上面同一实验条件下，发现激光器输出功率随进水的温度升高而增大，反之，水温降低，输出功率则下降，结果见图3。

在固定的放电电流下，不论是改变水流量，还是改变进水温度，从取样的阳极块上测得的电压在 $2700\pm 10\text{ V}$ ，基本不变，这表明，水温的变化，并不改变输入功率，而输出功率则从1430 W增加到1600 W，电光转换效率从13.2%提高到14.6%。

再一个值得注意的是，随着水温的升高，预放电回路中电流却呈线性下降，结果见图2(a)中虚线部分，这反映了与主放电状态是密切相关的，下面将作详细讨论。

在不同的放电电流和工作气压下，改变阴极冷却水温或流量对激光器输出功率的影响其规律基本是相似的。

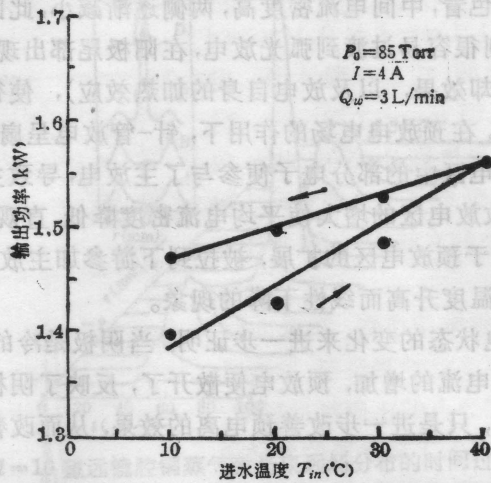


图3 阴极冷却水温度对激光器输出功率的影响

二、讨 论

控制阴极冷却水的温度或流量将引起激光器输出功率的变化,其根本原因是阴极管的温度直接影响到气体放电的均匀性和稳定性。

实验发现,当阴极温度过低时(如本实验的进水温度低于10°C,水流量大于2L/min),沿光轴方向观察,放电由一小段、一小段分立的小放电区组成,而且不稳定,沿阴极管来回移动,在阳极块的尾部还出现不稳定的亮弧。典型结果见图4(a)、(b),此时,激光器的输出功率较低、起伏大。随着阴极冷却水温升高(如 $\geq 30^\circ\text{C}$),各分立的小放电区会逐渐扩展开来,与相邻的放电区连成一片,这时整个激光腔内放电均匀且稳定,原先的亮弧也随之消失,见图4(c)。可见阴极温度的变化对放电状态的影响是十分灵敏的,响应也是很快的。

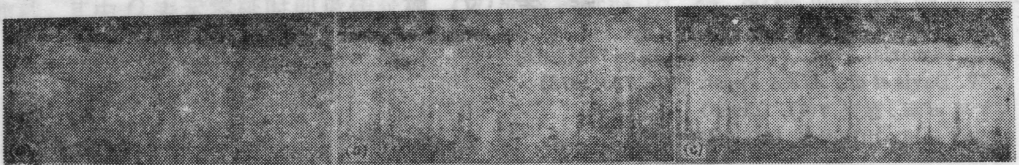


图4 几种典型的横向放电状态

(a) 收缩的放电状态, (b) 闪弧的放电状态 (c) 均匀稳定的放电状态

与辉光放电区相呼应的是阴极表面处亮斑的变化,随着阴极温度升高,亮斑沿阴极向两侧延伸,最终连成一片,从而获得大体积的均匀放电。由此可见,阴极温度直接影响到阴极表面的电子发射。

众所周知,气体放电随着气压的升高而发生收缩。为了在高气压下获得大体积横向放电,我们采用多针预放电技术,在阴极表面提供一大面积的初始电子分布,因此,主放电将强烈依赖于预放电状况。本实验所观察到的阴极温度对主放电的影响,正是通过改善预放电而得以实现的。

以一组针-管-板电极为例,当阴极冷却比较充分时,主放电收敛在对称于预放电针附近的

一小区域中,从辉光放电颜色看,中间电流密度高,两侧逐渐减小,此区阴极表面的温度梯度比较大,如果放电过分收缩,则很容易过渡到弧光放电,在阳极尾部出现拉弧现象。随着阴极温度的升高(包括降低外部的冷却效果,以及放电自身的加热效应),使得阴极表面的气体密度减小,电子的平均自由程增大,在预放电电场的作用下,针-管放电呈扇形扩展开,在阳极电场和气流的作用下,这扇形预放电区中的部分电子便参与了主放电,导致主放电区的辉区也相应扩散。由于总回路电流恒定,故放电区的增大使平均电流密度降低,直观上看,放电辉区分布显得较均匀,也不容易成弧。由于预放电区的扩展,被拉到下游参加主放电的电子数目也增多,所以,出现预放电电流随阴极温度升高而线性下降的现象。

上述解释也可从预放电状态的变化来进一步证明,当阴极是冷的时候,针-管之间为一收缩的丝状放电,随着主放电电流的增加,预放电便散开了,反映了阴极表面的温度效应对放电的影响,人为提高阴极温度,只是进一步改善预电离的效果,从而改善主放电的均匀性和稳定性。

提高阴极温度,扩展了放电辉区,有效地提高了激活介质的增益长度,所以在相同输入电功率的情况下激光输出功率提高了。

三、结束语

在横流 CO_2 激光器中,影响放电均匀性的因素是多方面的,其中阴极表面电子源产生的质量是一重要方面,采用辅助的预放电,并适当提高阴极温度,以提供一大面积的初始电子分布,再给合其它一些有效措施,实现在较高气压下的大体积均匀放电是不难的。

目前,我们在原有器件的基础上,提高工作气压到 85 Torr,以至更高,获得了大体积横向放电,激光器输出功率为多模 2kW,连续稳定运转 8 小时以上,性能是令人满意的。

参加本工作的还有吴东来、傅宝祥、郭世海等同志。在此,谨表示感谢。

参 考 文 献

- 1 A. J. Demaria, *Proc IEEE*, **63**(6), 731~748(1973)
- 2 J. W. Davis *et al.*, *AIAA Paper*, (72), 733(1972)
- 3 王哲恩 *et al.*, *激光*, **7**(7), 1(1980)
- 4 陈可心 *et al.*, *中国激光*, **14**(8), 470(1987)