

千瓦级横流连续CO₂激光器流场特性的研究

张宗真 丘军林 龚志伟 孙书华 唐宗化

(华中工学院激光研究所)

本文针对MGL-84型千瓦级横流CO₂激光器,深入研究了流场气动特性对激光放电的影响,提出了使流场速度分布更加均匀的措施,所设计的湍流发生器明显地改善了放电稳定性。

利用气体快速流动使放电气体对流冷却,以此来代替封闭式慢速流动气体激光器中较差的冷却机构。这一技术将单位放电长度所获得的输出功率提高了几个数量级。显然,当流场的平均流速一定时,流速的分布以及流态对激光放电有重要的影响。

一、流速分布对激光放电的影响

由于激光器中流道的水压损失,将造成放电区入口处流场的中心区域速度比两端高,即会产生对流冷却的不均匀性,使中心区域的冷却效果比两端好,且气体在两端停留的时间也较长。因此当注入的电功率达到一定值时,导致放电区两端先起弧,从而限制了电功率的进

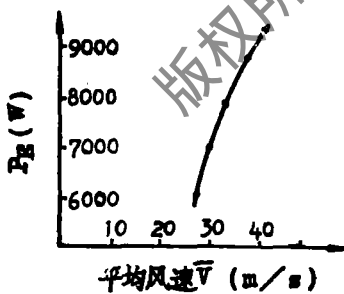


图1 $P_E - \bar{V}$ (m/s) 曲线。62 Torr, CO₂: N₂: Ar = 1.5 : 10 : 10

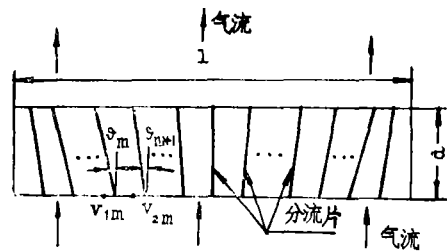


图2 整流器示意图

一步注入,直接影响了输出功率的提高。

由实验数据,可得出第一排针的起辉电压近似值为:

收稿日期:1987年3月26日。

$$V_{s1} \approx p^{0.5} [1644d + 1800v]^{0.5} \quad (1)$$

式中, d 为极间距, 单位 mm ; v 为风速, 单位 m/s ; p 为气体压强, 单位 Torr ; V_{s1} 起辉电压, 单位 V 。

通过测量放电区横向不同位置 V_{s1} 的不同值, 得 $\Delta V_{s1(\text{max})} = 110\text{V}$, 由(1)式可估算出放电中心区域与两端的最大流速差为 5m/s , 由图1可知放电区两端所能承受的最大注入电功率比中心区域小 80GW 左右。为了使流场横断面速度分布均匀化, 可在放电区入口处放置一系列分流片, 如图2所示。

各分流片与气流之间所成的夹角为:

$$Q_{m+1} = \arctg \left\{ \frac{L}{nd} + \text{tg} Q_m - \frac{L}{nd} \exp \left[\frac{\frac{1}{n^2} \left(\sum_{m=0}^n v_{1m} \right)^2 v_{1m}^2}{2C} - \frac{1}{\ln \frac{\sum_{m=0}^n v_{1m}}{v_{1m}}} \right] \right\} \quad (2)$$

式中, v_{1m} 为第 m 个分流片入口处的流速, n 为分流片个数, c 为当地音速。

由图3所示曲线可知, 在无整流器情况下, 因为中心区流速比两端高, 所以有效极间距离也大, 从而造成其极间压降比两端高; 在整流器作用下, 极间压降变得很均匀, 由此可推断其流速分布也得到了-定的改善。

由(1)式还可知, 中心区比两端后起辉, 或者说当所加的电压一定时, 两端的放电电流密度总是比中心区高, 这是导致两端先起弧的原因。

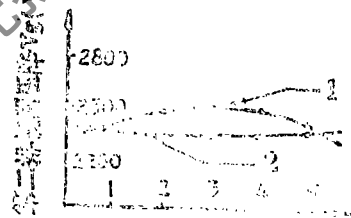


图3 V_s 随横向位置变化曲线。
1. 没有整流器; 2. 有整流器

二、流态对激光放电的影响

湍流与层流相比, 在激光放电中起着更积极的作用, 较强的湍流具有更好的热传导性能而抑制负离子的形成, 使激光放电更加均匀, 对辉光放电过渡到弧光放电有强烈的抑制作用。

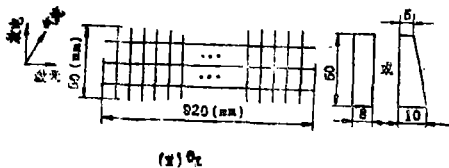


图4 梯形、方形湍流发生器

为了提高湍流强度(T_u)与脉动频率 ν , 采用如图4所示的长方形格状与梯形格状湍流发生器, 可造成速度分布剖面具有许多拐点或奇点, 使流场具有强烈的不稳定倾向而产生激增振荡, 从而使 T_u 、 ν 值得到提高。

梯形湍流发生器不但可以提高横向方向的 T_u 、 ν 值, 而且造成放电方向的压力梯度而提

高了该方向的 T_e 、 v 值。因此比方形湍流发生器更好，如图5所示。它们使放电区所能承受的最大注入功率提高20%以上，即提高了放电稳定性并相应增大了最大输出功率。当方形湍流发生器与第I排针的距离 L 变化时，实验发现存在一最佳 L 值，其值约为5cm左右，当 $L > 7$ cm或 $L < 3$ cm时，湍流发生器的效果变得很差，如图6所示。

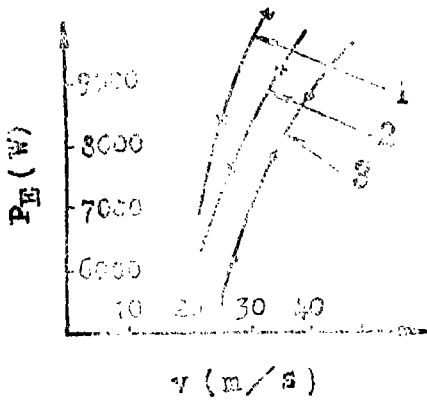


图5 最大注入电功率随风速变化曲线。
1. 梯形湍流器；2. 方形湍流器；3. 没有湍流器；62Torr; $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{Ar} = 1.5 : 10 : 10$

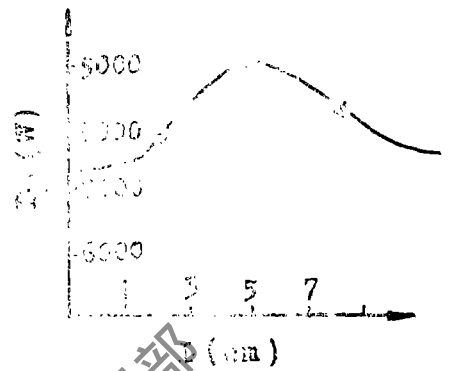


图6 湍流器放置的位置对 P_E 的影响。
62Torr; $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{Ar} = 1.5 : 10 : 10$

三、结果及讨论

1. 流场速度分布不均匀将引起起辉不均匀，同电压下放电电流密度不同，对流冷却不均匀，气体在放电区停留的时间不同。最终导致放电区的两端总是比中心区先起弧，而限制了注入电功率的进一步提高。

2. 湍流除了在流动方向上的热传导外，还由于脉动作用而存在横方向上的热传导，加强了放电区的冷却效果。并且由于其脉动作用而导致电子横向扩散，从而使针-板电极结构中心的放电通道加宽，即在放电总电流不变的情况下，使放电电流分布更均匀，而降低了局部放电电流密度，提高了放电稳定性。

参 考 文 献

- [1] Biblarz, O., and R.E. Nelson, J.A.P., 1973, Vol. 1.45, P. 63.
- [2] Wiegand, W.J., and W.L. Nighan, A.P.L., 1975, Vol. 1.26, P. 554.
- [3] L. 普朗特, 《流体力学概论》, 第200~207页。

The study of gasdynamical properties of kilowatt-level transverse flow CW CO_2 laser

Zhang Zongzhen, Qiu Junlin, Gong Zhiwei, Sun Suhua
and Tang Zonghua

(下转第6页)

Abstract

Combustion Performance of liquid fuel used in DF chemical laser combustor, energy/mass ratio and comprehensive comparison of liquid fuel with gaseous fuel C_2H_4 are described.

作者简介: 王汉成, 男, 1943年3月出生。工程师。现从事化学激光专业工作。

(上接第9页)

(Laser Institute, Huazhong University of Science & Technology)

Abstract

Aiming at kilowatt-level transverse flow CW CO_2 lasers, effect of gas dynamic properties of flow field on laser discharge has been studied in depth. A method to make velocity distribution of gas more uniform is reported. The turbulence generators have improved the discharge stability greatly.

作者简介: 张宗真, 男, 1964年9月出生, 硕士。从事气体激光器及其放电理论研究。

· 简 讯 ·

染料激光器闪光灯

Q-ARC公司将出售QDF系列液体冷却充氙闪光灯, 这种闪光灯是为在高平均功率条件下要求上升时间快的短脉冲而设计的。它们在与这种运转方式相联系的高突加负载条情况下使用时能可靠地运转。

这些闪光灯将使闪光灯泵浦染料激光器的设计和研究人员就象高功率固体激光器设计人员一样容易地确定一个可靠的高平均功率泵浦光源。

由于QDF系列的特殊结构, 在冷却和与激光腔接合等方面, 它们可以象普通液体冷却闪光灯一样处理。

译自 E.O., May, 1987.

邹福清 译 刘建卿 校