

6kW 单模 CO₂ 激光器的输出光路和气体动力窗口

李力钧 秦玉忠 赵仲黑

(湖南大学激光研究所, 长沙, 410012)

提要: 本文叙述了一种用于 6kW 单模 CO₂ 激光器的横向耦合输出光路和小孔径喷管 气体动力窗口。它具有工作气体漏泄量小, 能有效阻止空气分子向激光器工作腔内扩散, 大大降低工作气体消耗等优点, 且能显著改善输出光束模式。

关键词: 高功率连续 CO₂ 激光器, 横向输出光路, 气体动力窗口

An output optical system and gas dynamic window for 6 kW level CO₂ lasers

Li Lijun, Qin Yuzhong, Zhao Zhongpi

(Laser Institute, Hunan University, Changsha)

Abstract: A transverse output optical system and gas dynamic window of small diameter orifices for a 6 kW level CO₂ laser is described. It has the advantages of less leakage of lasing gas and higher efficiency to prevent air molecules from diffusing into the laser cavity, and much lower consumption of lasing gas. It can also improve the laser beam modes.

Key words: high power CW CO₂ laser, transverse output optical system, gas dynamic window

我校最近研制成功 6kW 单模 CO₂ 激光器, 其最大输出功率 8.5kW, 输出 6kW 时, 可连续运转 1h 以上。该激光器采用了专门研制的输出光路和气体动力窗口, 保证了它的稳定可靠运行。

一、横向耦合输出光路

美国的一种万瓦激光器采用如图 1 所示的纵向耦合输出光路和气动窗口, 其焦距大于谐

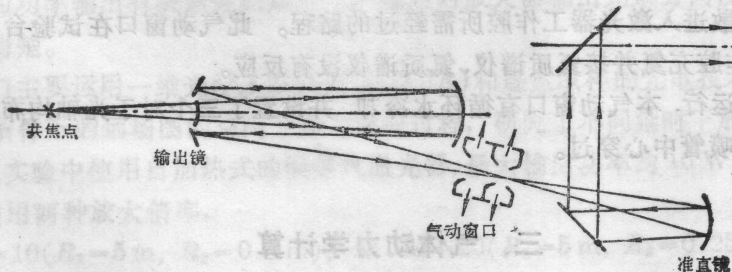


图 1 纵向耦合输出光路

振腔长, 约 2 m 左右。如果激光束发散角的全角为 2 mrad, 则焦斑直径约为 4 mm, 气动窗口的最小喷管直径需 5 mm^[1, 2]。

工作气体泄露量与喷管截面积成正比, 且空气分子经喷管扩散进入激光器工作腔的几率也随喷管直径的加大而增加。为了减少工作气体的消耗, 保持其纯净, 需减小气动窗口喷管的直径。为此, 我们设计了如图 2 所示横向耦合输出光路。利用环形光的特点进行穿插, 用 45°

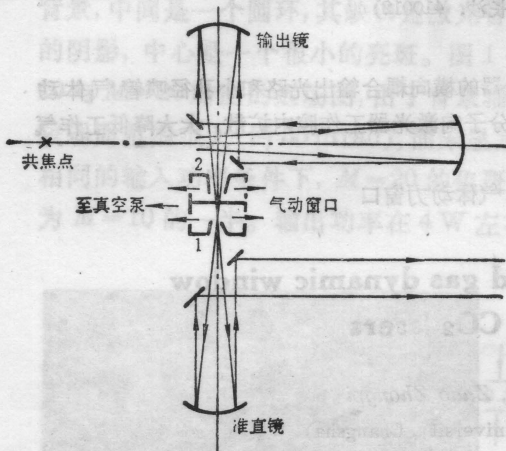


图 2 横向耦合输出光路

各反射镜均共轴, 输出光束的近场图样为均匀的圆环, 提高了输出光束的质量。

镜将光束偏折后再用球面输出镜聚焦。其焦距不受谐振腔长的影响, 可以做得较小。取输出镜焦距为 0.5 m, 在发散角仍为 2 mrad 的条件下, 焦斑直径仅 1 mm, 仅为前述方案的四分之一, 气动窗口喷管的直径和面积大为减小。

纵向耦合输出光束从谐振腔的顺气流侧穿过, 有一定光放大作用。但输出光所经过的是不对称的增益区, 环状光各部分经过不均匀的放大, 功率密度不一致; 而且输出镜、准直镜、谐振腔镜等均不共轴, 相互间有一定夹角, 导致输出光环的畸变, 从圆形变为椭圆形, 近场光斑图样差。而横向耦合输出光路不存在上述问题,

二、小孔径气体动力窗口

采用横向耦合输出光路, 由于光束焦斑直径小, 故气动窗口喷管直径也可以减小。但此时输出镜的焦深也小, 在轴线方向离开焦平面后, 光束直径增长很快, 因而气动窗口的小喷管之间无法拉开较大的轴向距离, 而又要保证空气不进入激光器工作腔, 这是本气动窗口设计的困难所在。

本气动窗口采用两个喷管和一个中隔板的结构。通大气端的为喷管 1, 通工作腔端的为喷管 2, 为了引偏空气流, 喷管 1 是斜置的, 把空气流引向真空泵抽气口一边。试验和激光器运行实践表明, 此喷管斜置对光束质量无明显的影响。通过真空泵抽气, 使喷管 2 出口处的压强显著低于工作气体的压强 (76 Torr), 工作气体以一定速度经此喷管流出。为了增强此气流对空气分子向激光器内扩散的阻挡作用, 此喷管做成锥角略大于会聚激光束锥角的长锥形, 以增加空气分子逆流扩散进入激光器工作腔所需经过的路程。此气动窗口在试验台上试验, 在大气端喷氮, 模拟工作腔充氮并接氮质谱仪, 氮质谱仪没有反应。

为了长期稳定运行, 本气动窗口有循环水冷却, 并设置了三个对于光轴均布的热电偶, 以监控保证激光束沿喷管中心穿过。

三、气体动力学计算

所述气动窗口两喷管进气端压强恒定, 一边为 1 atm 的大气, 另一边为 0.1 atm 的工作气

体, 两压强相差 10 倍。两喷管的出口端径中隔板上的孔相通。通过真空泵抽气, 喷管 2 出口处的压强应显著低于工作气体压强。

喷管 1 通空气, 空气绝热指数 $k=1.4$, 临界压强比 $\beta_{cr} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = 0.528$ 。只要喷管 1 出口压强等于或低于 0.528 atm, 通过喷管 1 有最大或临界质量流 G ;

$$G = AP_0 \sqrt{\frac{k}{RT_0}} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \quad (\text{g/s}) \quad (1)$$

式中, A ——喷管最小截面积; P_0 ——总压; T_0 ——总温; R ——气体常数。

此空气流量由真空泵排出, 忽略工作气体的流量, 则真空泵吸气口压强为

$$\rho_0/P_0 = \rho/p \quad \text{即 } p = GP_0/Q\rho_0 \quad (\text{atm}) \quad (2)$$

式中, ρ_0 ——标准大气压下空气密度 (g/L); P_0 ——标准大气压 (atm); Q ——真空泵排气速率 (L/s); G ——空气流量 (g/s)。

真空泵吸气口压强 p 为决定真空泵工作状况的重要参数, 它也是喷管 2 出口压强的下极限。从喷管出口到真空泵吸气口, 气体处于扩张减压的过程中, 真空泵吸气口压强必然显著低于喷管 2 的出口压强。 p 值应和所要求的喷管 2 出口压强相适应。

本激光器取电子束维持放电万瓦级激光器的典型气体配比 CO₂:CO:N₂:He=1:1:4.5:6, 工作气体的绝热指数 $k=1.475$, 临界压强比 $\beta_{cr}=0.516$ 。只要喷管 2 的出口压强等于或小于 0.0516 atm, 则喷管 2 有最大或临界质量流, 在喷管 2 最小截面处气体流速达到音速, 这对于阻挡空气分子向激光器工作腔内的扩散是很有效的。但是工作气体的消耗也达到最大值。如果参数选择适当, 可以适当提高喷管 2 出口压强, 在保证杜绝空气分子向激光器工作腔内扩散的前提下, 尽量减小工作气体通过喷管的漏泄消耗。

与纵向耦合输出光路相配合的气动窗口, 取喷管最小直径 5 mm, $T_0=300$ K, 则喷管 1 的空气质量流 $G=4.64$ g/s, 选用排气速率 70 L/s 的真空泵, 空气密度 $\rho_0=1.220$ g/L, 则真空泵吸气口压强 $p=0.054$ atm。此值已大于喷管 2 出口处的临界压强 0.0516 atm, 因而喷管内工作气体流速必然远低于音速。在这种情况下, 能否有效阻挡空气分子向激光器工作腔内扩散? 再者, 真空泵长期工作在吸气口压强较高的工作状况下 (例如 40 Torr), 泵发热严重, 抽速下降, 吸入口压强还会升高。

采用与横向耦合输出光路相配合的小孔径气体动力窗口, 工作情况大为改善。由于喷管直径减小, 还是采用 70 L/s 抽速的真空泵, 其吸气口压强低于 0.013 atm (10 Torr), 远小于喷管 2 出口压强的临界值 0.0516 atm。不但降低了真空泵的负荷, 利用它长期稳定运行; 更重要的是可以通过调节喷管 2 出口端至真空泵吸气口的气流阻力, 在临界压强附近一个很大的范围内自由调节喷管 2 的出口压强, 达到有效阻止空气分子进入激光器工作腔的前提下, 尽量减少工作气体消耗的目的。本激光器气动窗口喷管 2 的压强比调整到 0.65 左右, 稍高于其临界值, 工作气体通过喷管 2 的流速略低于音速。

四、使用效果

所述横向耦合输出光路和小孔径气动窗口, 经激光器长期运行考核, 能稳定可靠地工作。

(下转第 49 页)

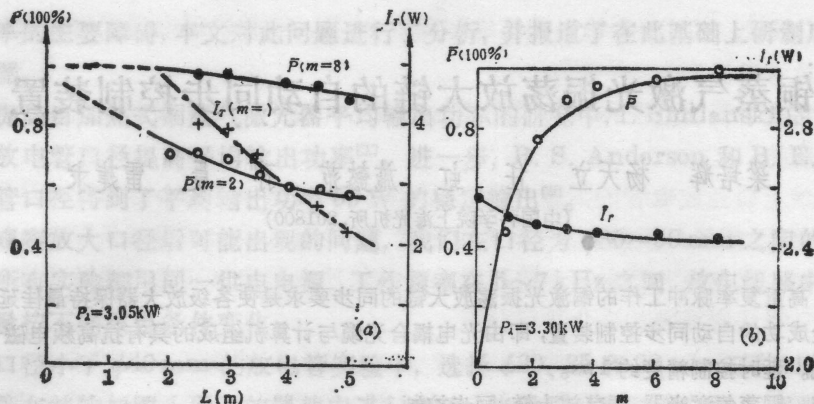


图 8

(a) 平均偏振度随腔长变化的实验结果; (b) 平均偏振度和平均输出功率随插入起偏玻璃数 m 变化的实验结果

较图 8(b) 和图 4, 可以看出二者的结果基本一致。在实验中, 当 $m=8$ 时, 获得了输出功率为 2.33 W, 平均偏振度为 97.6% 的激光输出。实验结果表明, 增加起偏玻璃数 m , 亦即增大损耗比 M , 是一个有效的提高输出激光偏振度的方法。

参 考 文 献

- 1 R. J. Drake, *Laser Focus*, **5**, 120(1988)
- 2 M. J. Kushner, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17**(8), 1555(1981)
- 3 H. Haken, *Laser Theory*, Springer Verlag., Berlin Heidelberg, New York, 1983, p. 115~142
- 4 Murray Sargent *et al.*, *Laser Physics*, Addison-Wesley., London, 1974, p. 249~271
- 5 任虹, 梁培辉 *et al.*, *中国激光* **16**(3), 164(1989)

(上接第 37 页)

AVCO	0~20 min	20~40 min	40~60 min	60~75 min
------	----------	-----------	-----------	-----------



图 3 烧砂熔改理机

图 3 右边四个环为本激光器 6kW 下连续出光 75 min 的激光烧砂熔斑, 每 20 min 烧一个, 四个环都是相当理想的圆环。而左边那个为采用纵向耦合输出光路和气动窗口的激光器的烧砂熔斑, 为一功率密度不均匀的椭圆。相比之下, 采用横向耦合输出光路和小孔径气动窗口的本激光器输出激光的模式和近场图样要好得多。

本激光器气动窗口工作气体消耗率小于 0.1 mPa 下 7 l/min。一次充气, 在上述低的换气率下能连续稳定运行。耗气量比国外同类型激光器大为降低。

参 考 文 献

- 1 Ethan Hoag *et al.*, *Appl. Opt.*, **13**(8), 1959(1974)
- 2 Ethan Hoag *et al.*, *US PAT*, 3-851-273(1974)