



流速对高压电激励 CO₂ 激光器输出功率的影响

楚泽湘 陈丽吟 吴中祥
(中国科学院力学研究所, 北京)

Influence of flow velocity on output power of high pressure CW CO₂ lasers

Chu Zexiang, Chen Liyin, Wu Zhongxiang
(Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract: The influence of flow velocity variation on the output power of high pressure CW CO₂ lasers was investigated, and the gain, saturated gain and coupling degree dependence on the flow velocity at the gas pressure of one atmosphere were calculated.

Key words: flow velocity, high atmospheric pressure electrically-excited CO₂ laser

过去我们研究了运转压力为 20 Torr 时, 较大流速 (20~340 m/s) 对激光器性能的影响^[1~3], 也探讨了固定流速为 70 m/s 时, 运转压力为 40 Torr~2 atm 范围内高压 CW CO₂ 激光器特性^[4]。本文将进一步在高压 (40~760 Torr) 和更大的流速范围 (30~340 m/s) 内研究流速和气压对 CO₂ 激光器特性的综合影响, 以期探索发挥高压器件的潜力。

所考虑的装置见图 1。计算的模型和方程与[1]同。假定电子密度 n_e 在正柱区内沿 x 方向均匀分布, 将一维理想气体的守恒方程和三振型系统的弛豫方程联立求解, 在满足一定的稳定振荡条件下计算出饱和增益和输出功率, 计算参数为: $\psi_{\text{CO}_2}:\psi_{\text{N}_2}:\psi_{\text{Ne}}=0.05:0.27:0.68$; $P_0=40\sim 760$ Torr; $u_0=30\sim 340$ m/s; $T_0=293$ K; $E/N=2.2\times 10^{-16}$ V·cm²; $A=10$ A; 输出耦合度 $C=0.08$ 。

考虑镜长为 5 cm, 镜高为 3 cm, 在较高的压力下, 选取光腔位置 x 为 0.5~5.5 cm, 主要考虑处于靠近气流上游的出光功率较高的位置。另外, 在低压下允许输出功率耦合度范围较大, 高压下范围变窄, 在各种压力下实际上没有共同的最佳耦合度, 为了便于对不同压力和流速的比较, 并参考文献[5]适当地选取输出耦合度为 8%, 此耦合度在本文压力范围内均在最佳耦合度附近, 保证了都是在较好的耦合度范围内进行比较。在以上条件下, 计算出不同压力时, 流速与输出功率的关系, 见图 2。

一般说来, 对任一固定的运转压力, 输出功率最初随流速的增加而增加, 在某一速度时, 输出功率达到最大值, 然后随流速的增加, 又渐渐减小。从图 2 中看出, 在较低的气压时 ($P_0<100$ Torr), 其功率曲线较平缓, 说明低气压时, 流速对输出功率的影响不明显。但在高压时

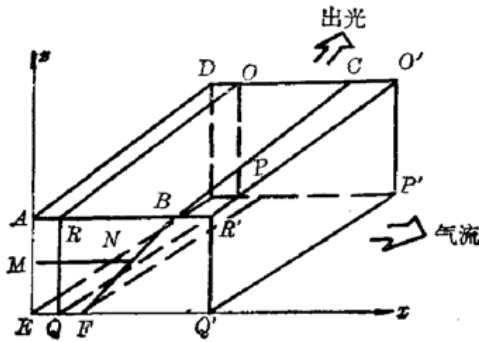


图1 激光器装置图

$MN=5.5\text{ cm}$, $AE=3\text{ cm}$, $AD=100\text{ cm}$, AB 为阳极,
 EF 为阴极, $QQ'R'R$ 、 $PP'O'O$ 为谐振腔镜

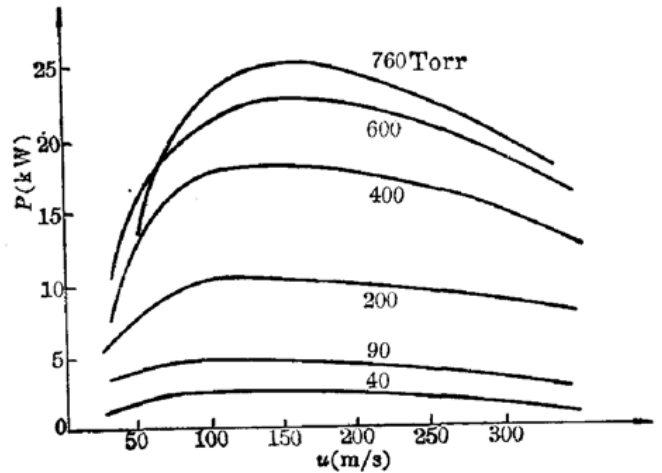


图2 不同压力时流速与输出功率的关系

($P_0 > 200\text{ Torr}$), 流速对于激光器的输出功率的影响比较显著。随着气压的增加, 曲线上升和下降更为剧烈, 以至当压力增加到 760 Torr 、流速为 50 m/s 时, 其输出功率为 13.62 kW , 反而比 $P_0=600\text{ Torr}$ 时的输出功率 15.40 kW 还要小一些。在流速为 30 m/s 、压力为 760 Torr 时, 增益极小, 以致达不到稳定振荡所需的条件。这是由于随压力的增高, 单位时间流过器件截面的激活介质增加, 使单位体积中可用激光能量增大, 但是由于流动过于缓慢, 气流在光腔中停留时间较长, 激光上能级碰撞消激发也因气压的增高而急剧加大。两种因素相互消长, 当气压足够大时, 导致了输出功率的下降。总之, 输出功率随流速的变化规律是较为复杂的, 不能仅从散热快慢和温度高低考虑, 而且必须考虑到在放电、辐射场作用下, 非平衡流动介质的上、下能态所受的泵浦、弛豫的各种传能速率间的竞争、消长作用, 从介质的流速与微观动力学机制予以考查。在高气压运转时, 更要仔细地考虑介质的流速。在不同的气压下, 都有相应的最佳流速, 对本文器件, 当 $P_0 > 200\text{ Torr}$ 时, 最佳流速约在 $125\sim 150\text{ m/s}$ 之间。

图3为不同压力下, 流速与激光器电光转换效率的关系。从图中看出, 当压力较低时 ($P_0 \leq 90\text{ Torr}$), 随流速的增加效率是单调下降的, 但在高压时 ($P_0 \geq 200\text{ Torr}$), 对每个不同的压力, 效率都能在某一流速值时达到最大值。随压力的增高, 效率曲线的上升和下降变得更为剧烈, 故随压力的增大, 流速对效率的影响更大。从图中还可看出在流速较低时, 气压在 $40\sim 90$

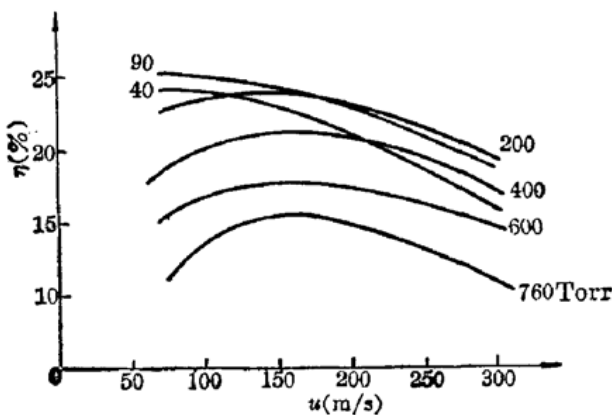


图3 不同压力时流速与效率的关系

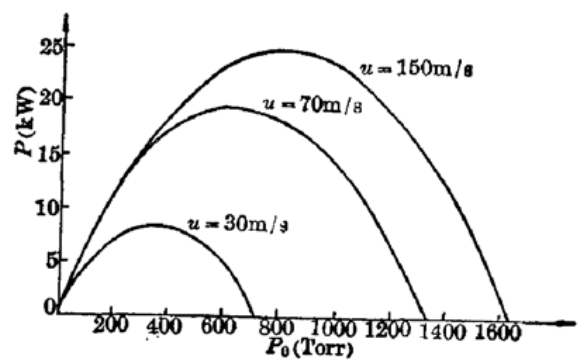


图4 不同流速下激光器的输出功率

Torr 时, 激光器效率较高。当流速增高, 气压在 90~200 Torr 时, 其效率也较高。当压力 $P_0 > 200$ Torr 时, 效率随压力的增加而下降。

图 4 给出流速变化与输出功率及器件压力的关系。可以看出随流速的增加, 器件运转所允许的压力范围增大, 其相应的最大输出功率也增大。当流速 $u = 30$ m/s 时, 器件的运转压力范围在 0~720 Torr, 最大输出功率 ~ 8 kW, 流速 $u = 70$ m/s 时, 压力范围在 0~1.7 atm, 最大输出功率 ~ 20 kW, 当 $u = 150$ m/s 时, 器件运转压力范围为 0~2.1 atm, 最大输出功率 ~ 25 kW。从以上的讨论可看出, 适当地增大流速, 可使器件的运转压力范围扩大, 输出功率提高, 为尽可能提高激光器件的输出功率给予了理论依据。

下面我们将着重研究在一个大气压 ($P_0 = 760$ Torr) 时流速对激光器增益、平动和振度温度、输出耦合度范围的影响。

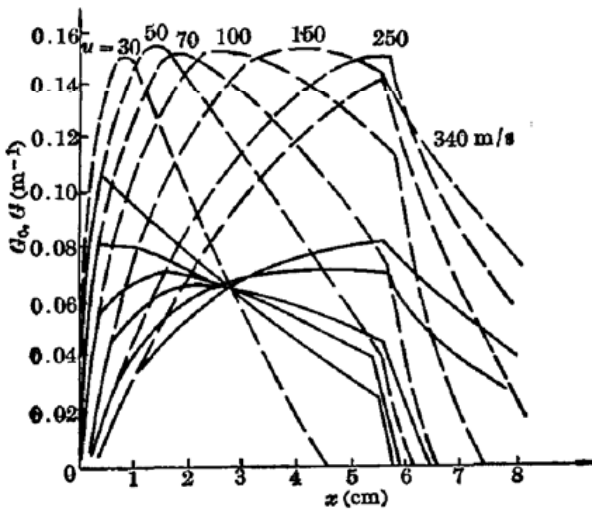


图 5 不同流速时小信号增益和饱和增益沿流动方向 x 的变化

0.14 m^{-1} , 对应的饱和增益曲线上上升很缓慢, 饱和增益值也较高, 在光腔区可取的功率却并不多。这可能是由于流速过大, 激光介质在流经光腔区时停留时间相对较短, 没能充分地起作用, 因而输出功率并不大。总之, 从图中看出最佳流速时对应的增益区较开阔平缓, 饱和增益值较低, 这时输出功率最大。

图 6 为 $P_0 = 760$ Torr, 不同流速下的平动温度 T 和 CO₂(001) 和 N₂($\nu = 1$) 能级的振动温度 T_s 、 T_v 沿流动方向 x 的变化。由于 CO₂(100) 与 CO₂(010) 能级的振动温度与平动温度相差无几, 故在图上没有画出。从图中看出平动温度 T 随流速的增加而下降, 这反映了流速对排除废热的作用。光腔区外 ($x > x_c$) 由于光辐射的终止, 平动温度略有上升。由于电激励的作用, 介质进入放电区后, CO₂(001) 和 N₂($\nu = 1$) 能级的粒子数迅速增加, 相应的振动温度 T_s 、 T_v 迅速上升, 介质的流速越大, 这种上升相应地延缓。流速较小时, 如 $u = 50$ m/s, 激光介质被充分地电激励, 所以在进入光腔区时, 振动温度 T_s 、 T_v 就较高, 在光腔内由于受电激励和辐射的共同作用, 振动温度有些起伏。因流速较小, 振动温度仍处在较高的值, 当取最佳流速 $u = 150$ m/s 时, 光腔中的振动温度变化较平稳。当介质流出放电区, 由于没有电激励的作用, 各种流速下的激光上能级振动温度都显著地下降, 流速越大下降越平缓。

图 7 为 $P_0 = 760$ Torr 时, 流速与输出耦合度的关系, 从中看出, 随流速的增加 ($u = 70 \sim 150$ m/s) 输出耦合度的范围也增大, 相应的最佳耦合率稍有增加, 最大输出功率也有所增加。

图 5 为不同流速时小信号增益和饱和增益沿流动方向 x 的变化。从图中看出流速在 30~340 m/s, 小信号增益的峰值都相差不多, 约为 0.15 m^{-1} , 但曲线上升和下降的趋势却不相同。当流速较小时, 小信号增益曲线上上升、下降都较快, 增益区很小, 相应的饱和增益随 x 的增加而急剧下降。当流速增大至 $u = 100 \sim 250$ m/s 时, 增益曲线上上升、下降都较缓慢, 增益区较为平缓, 相应的饱和增益值在整个光腔区较低, 变化十分平缓稳定, 此时光腔区可取出的功率也相应较大。但是随着流速的进一步增大, 如 $u = 340$ m/s 时, 小信号增益上升很慢, 其峰值为

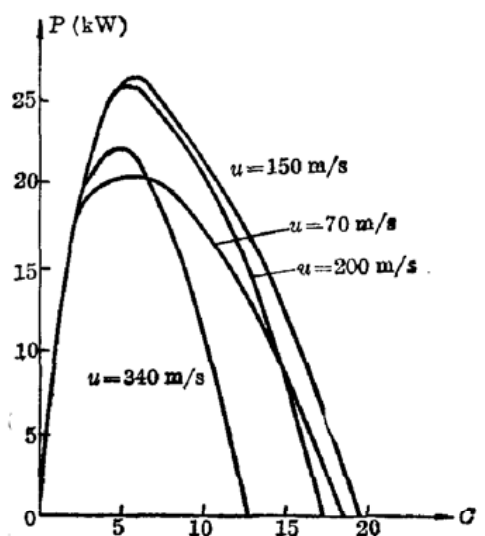
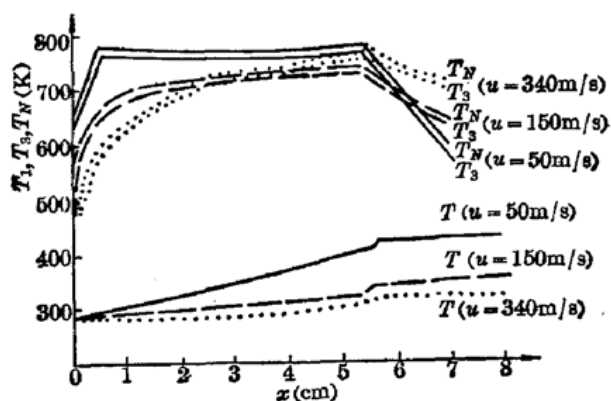
图6 不同流速时平动、振动温度沿流动方向 x 的变化

图7 不同流速下耦合度与输出功率的关系

当流速进一步增加时 ($u=200\sim 340$ m/s), 输出耦合度的范围反而随之减少, 相应的最佳耦合度和最大输出功率也减少。也就是说, 随流速的增加, 截止耦合度也有一极大值, 此极大值与最佳流速相对应。只有在最佳流速下选出最佳耦合率时, 才能得到器件的最大输出功率。

本文得到的结果和规律, 可为设计研究高压流动 CO_2 激光器提供依据和参考。

参 考 文 献

- 1 陈丽吟 *et al.*, 光学学报, **5**(2), 135(1985)
- 2 吴中祥 *et al.*, 中国激光, **15**(4), 207(1988)
- 3 吴中祥 *et al.*, 中国激光, **15**(7), 431(1988)
- 4 楚泽湘 *et al.*, 中国激光, **15**(1), 49(1988)
- 5 秋业稔先しまお, レーザ研究, **4**(3), 242~248(1976)

(收稿日期: 1988年6月28日)

(上接第320页)

参 考 文 献

- 1 Diamond I. *et al.*, *Lancet*, **2**, 1175(1972)
- 2 Hayward, *Ann. Roy. Coll. Surg.*, **54**, 272(1974)
- 3 R. Bennett *et al.*, Chemical and biological studies on hematoporphyrin derivative: an unexpected photosensitisation in brain. "Porphyrins in Tumor Phototherapy", Edited by Alessandra Andreoni, Rinaldo Cubeddu (Plenum Press, (1984), p67
- 4 叶衍铭 *et al.*, 中国激光, **14**, 241(1987)
- 5 S. Pezzotta *et al.*, Experimental ENU induced brain tumors with HpD and dye laser light. "Porphyrin in Tumor Phototherapy", Edited by Alessandra Andreoni, Rinaldo Cubeddu. (Plenum Press, (1984)), p227.
- 6 Yang Yuanlong *et al.*, *Laser in Surgery and Medicine*, **7**, 528(1987)

(收稿日期: 1988年7月13日)