

2 kW 横流连续 CO₂ 激光器的工作气体以 Ar 代 He 的研究

国玉军 才庆魁 傅叔云 战效文
(东北大学材料科学与工程系 沈阳 110006)

提要 对管板式低气压放电结构、横流连续 2 kW CO₂ 激光器以 Ar 气取代部分 He 气进行了研究。He 气的取代量(掺 Ar 量)从 20% 增加到 60%, 工作气压在 2.93~ 4.26 kPa, 放电电流在 3~ 11 A 的范围, 激光器放电稳定, 运转正常, 可获得良好的输出特性, 如输出功率为 1.7 kW, 电光转换效率为 16%。

关键词 横流 CO₂ 激光器, 掺 Ar 量, 输出特性

1 引言

目前, 国内外用于金属材料加工的 2 kW 级横流连续 CO₂ 激光器, 其工作气体均采用三元系气体, 即 CO₂+ N₂+ He 按一定配比混合而成, 其中 He 所占的比分最大, 一般在 80% 左右。因为 He 气的价格昂贵, 是 Ar 气价格的 26 倍, 所以造成激光器运转费用高, 故国内外一些国家, 都在致力于降低 He 的比分和无 He 运转研究。

本研究的目的是在不改变水冷热交换器结构、不降低输出功率的前提下, 最大限度地在原有激光器上降低 He 的比分。我们研究了掺 Ar 量与工作气压、放电电流之间的关系及其对输出特性的影响, 一年多的研究证明, 取代 60% He 是可行的。

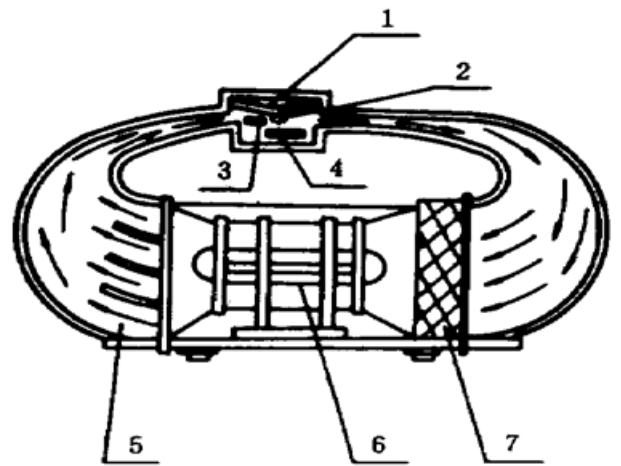


图 1 JK-13 型 CO₂ 激光器结构示意图

1: 光腔; 2: 输出窗口; 3: 阴极; 4: 阳极;
5: 闭合循环腔体; 6: 压气机; 7: 热交换器
Fig. 1 The JK-13 CO₂ laser diagram
1: cell; 2: output window; 3: cathode; 4: anode;
5: close circulation cell; 6: compressor motor; 7: heat interchanger

2 实验设备及方法

实验是在国产 JK-13 型 CO₂ 激光器上进行的, 其结构如图 1 所示。每次实验工作的气体混合比均在 CO₂·N₂·(He+ Ar) = 1·5·15 的基础上进行调整掺 Ar 量。文献[1]指出, 用 Ar 完全取代 He 时的一个现象是总振荡效益下降, 难以维持辉光放电的稳定性。此外, 本文作者认为 Ar 比 He 重, 若完全取代

将加大风机负载,故最大掺 Ar 量为 60%,从 20%开始分 5 个档,每档间隔为 10%进行试验。

3 实验结果与分析

3.1 不同掺 Ar 量 Q_{Ar} 对输出特性的影响

掺 Ar 与不掺 Ar 相比,其输出特性有明显变化,即输出功率 P_L 及效率 η 均有明显提高(见图 2(a))。这是由于掺 Ar 后对 N_2 产生振动激发进而有效地激发了激光上能级,比单独使用 He 时获得的增益高所致^[2,3]。

工作气压 P 一定时,在给定掺 Ar 量 Q_{Ar} 下,输出功率 P_L 随放电电流 I_d 呈线性关系升高,因为输出功率 P_L 与放电电流 I_d 成正比,见图 2。放电电流 I_d 一定,掺 Ar 量 Q_{Ar} 大者对应的输出功率 P_L 也大,同时效率 η 也随之增大,这是掺 Ar 后的一个显著特点。研究还发现,掺 Ar 量 Q_{Ar} 在 20~30% 范围会获得更高的效率 η ,如图 2(a)② 效率 η 最高,可达 18~20%。而效率 η 随着放电电流 I_d 升高,则有一定限度,即超过某个放电电流 I_d 值时,效率 η 便会缓慢下降。其原因在于放电电流增大,放电电子温度升高,即气体过热造成的。

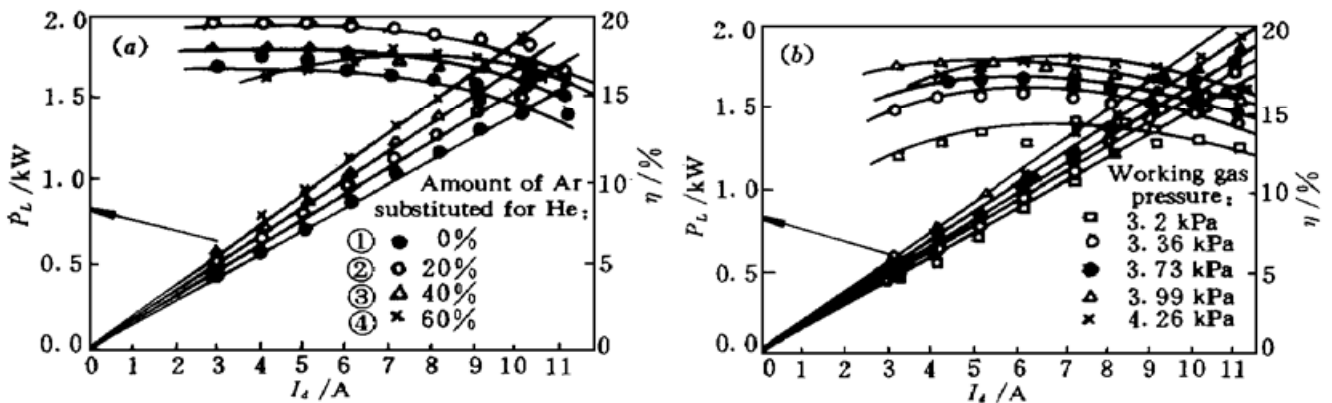


图 2 输出特性

(a) 工作气压 $P = 4.26$ kPa, 气体流速 $u = 24$ m/s; (b) 气体流速 $u = 24$ m/s; 以 Ar 取代 60% He

Fig. 2 Output characteristics

(a) working gas pressure $P = 4.26$ kPa, gas flow rate $u = 24$ m/s; (b) gas flow rate $u = 24$ m/s, 60% He substituted for Ar

3.2 掺 Ar 量 Q_{Ar} 一定, 不同工作气压 P 对输出特性的影响

由图 2(b) 所示可见,在掺 Ar 量 $Q_{Ar} = 60%$,工作气压 P 在 3.2~4.26 kPa,放电电流 I_d 在 3~11 A 范围内均可正常工作。由图看出,在给定的工作气压 P 下,输出功率 P_L 随放电电流 I_d 呈线性关系升高,效率 η 也随之升高。但效率 η 受温度影响,升高有一定限度,如放电电流 $I_d > 7$ A 时便缓慢下降。放电电流 I_d 一定,输出功率 P_L 及效率 η 随工作气压 P 升高而增大,经研究发现,当工作气压 $P > 4.26$ kPa 时,如 4.53 kPa 时,则起辉放电较困难。

在掺 Ar 量 $Q_{Ar} = 50%$ 时,不同的工作气压 P 下,输出功率 P_L 及效率 η 随放电电流 I_d 的变化规律与图 2(b) 相同。不同点在于工作气压 $P = 4.53$ kPa 时,虽然放电不稳定,但能维持正常的输出状态。

3.3 掺 Ar 后对工作气压 P 的控制

掺 Ar 后使放电电阻增加,不易维持辉光放电稳定性^[3];另一方面降低了 He 的比分,减弱

了 He 对放电稳定性的有利作用。故掺 Ar 后对工作气压 P 的控制宜低不宜高, 并由实验得到证明, 见图 3。

由图 3 可见, 在相同实验条件下, 稳定放电工作气压 P 的变化范围, 不掺 Ar 时较宽为 3.3~6.13 kPa, 而掺 Ar 后明显变窄在 2.80~4.26 kPa, 这是掺 Ar 后的另一个特点。工作气压 $P = 4.53$ kPa 时, 因放电不稳定, 输出功率 P_L 相应降低。工作气压 $P = 4.26$ kPa 时, 放电稳定, 输出功率 P_L 可达 1.7 kW, 而不掺 Ar 时工作气压 $P = 6.13$ kPa 才能达到相同的输出功率 P_L 。

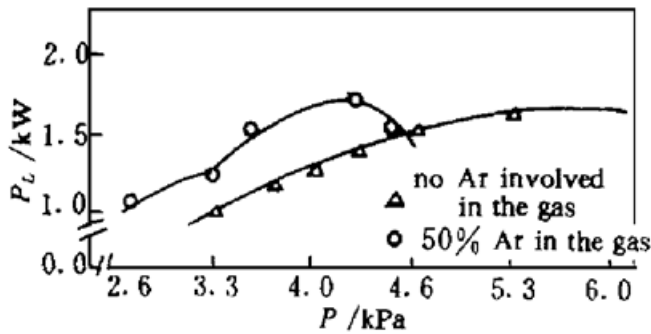


图 3 P_L 与 P 之间的关系曲线

放电电流 $I_d = 9$ A; 气体流速 $u = 24$ m/s

Fig. 3 Curve of P_L vs P

discharge current $I_d = 9$ A; flow rate of gas $u = 24$ m/s

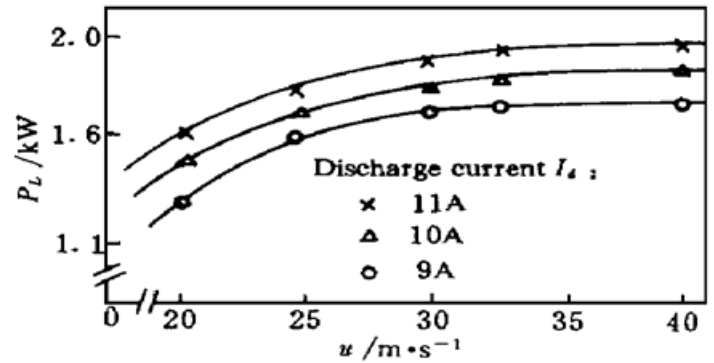


图 4 P_L 与 u 的关系曲线

工作气压 $P = 3.59$ kPa; 以 Ar 取代 60% He

Fig. 4 Curve of P_L vs u

working gas pressure $P = 3.59$ kPa; 60% He substituted for Ar

3.4 掺 Ar 后气体流速 u 对输出功率 P_L 的影响

如图 4 所示, 放电区气体快速流动的滞留时间常为 10^{-2} s 或更短, 因为气体流速高, 可使气流形成均匀的湍流, 能使辉光放电稳定^[4,5]。为了提高输出功率 P_L , 就要提高输入放电功率 P_E , 导致气体温升, 为了使气体冷却就必须相应地提高气体流速 u 或质量流速 m^{d} ^[6]。所以气体流速 u 增加输出功率 P_L 增大。气体流速 u 一定, 放电电流 I_d 大者所对应的输出功率 P_L 也大, 这种变化规律与不掺 Ar 的情况完全一致。

此外, 实验中发现提高气体流速 u , 放电电压 V 也随之提高, 见表 1。

表 1 气体流速 u 与放电电压 V 的关系

Table 1 Gas flow rate (u) and discharge voltage (V)

gas flow rate / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	20.5	24	29.6	32.5	38.4
discharge voltage / V	1090	1130	1150	1170	1200
others	(1) 60% He substituted for Ar (2) working gas pressure $P = 3.59$ kPa				

参 考 文 献

- 1 K. Sibayama, H. Nagai, A. Nagai. Power characteristics of high pressure sealed-off CW CO₂ laser. *OYO BUTURI* (应用物理), 1981, **A50**(1): 41~49 (in Japanese)
- 2 Qiu Junlin, Gong Zhiwei, Tang Zhonghua et al.. Study of 1 kW transverse flow CW helium-free CO₂ laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1988, **15**(2): 110~112 (in Chinese)
- 3 K. Sibayama, H. Nagai, A. Nagai. Small-signal gain of high pressure sealed-off CW CO₂ laser. *Laser Calender* (レザ - サ - 研究), 1980, **8**(2): 46~53 (in Japanese)

- 4 Tran. by Zhuang Guoliang, Chu Cheng. Principles of laser and plasmas. G. Bekefi ed., Shanghai : Shanghai Science and Technology Press, 1981. 155 (in Chinese)
- 5 U. Naoki. The characteristics of laser resonator and focusing system. *Tool Engineer* (机械と工具), 1987, 10 : 123 (in Japanese)
- 6 Yin Yuanzhao. CW high power recycled CO₂ electric discharge laser. *Physics* (物理), 1979, A8(4) : 342 ~ 348 (in Chinese)

Investigation of He Substitution for Ar as Working Gas of an Across-flow CW 2 kW CO₂ Laser

Guo Yujun Cai Qingkui Fu Shuyun Zhan Xiaowen
(Northeast University, Shenyang 110006)

Abstract A JK-13 across-flow CW 2 kW CO₂ laser of tube-plan low-gas pressure discharge structure, using argon-helium mixing gas, was studied. The substituted amount of He gas (Ar doped amount) increased from 20% to 60%. When the working gas pressures were 2.93~ 4.26 kPa and the discharge currents were 3~ 11 A, the laser discharged steadily and operated normally. An output power of 1.7 kW and an efficiency of electro-optic conversion of 16 percent can be obtained.

Key words across-flow CO₂ laser, Ar doped amount, output characteristics

全固态连续波可调谐钛宝石激光器

全固态连续可调谐激光器具有效率高、寿命长、可调谐范围宽、体积小、结构紧凑和光束质量好等优点,可以在许多基础科学和应用科学研究中取代液体染料调谐激光器,特别适用于野外、军事、太空等环境的使用,具有广阔的应用前景。目前,固体激光器中以钛宝石激光器的调谐范围最宽,传统以氩离子激光器作为泵浦源。我们研制了一台全固态连续可调谐钛宝石激光器。采用我们自己研制的半导体激光器泵浦的连续波腔内倍频 Nd:YVO₄ 激光器作为泵浦源,波长为 532 nm。连续可调谐钛宝石激光器采用四镜 X 型折叠腔,钛宝石尺寸为 5 mm × 5 mm × 4 mm,腔长约 1 m。使用一组宽带腔镜,单棱镜调谐,激光可调谐范围为 750~ 820 nm。单向泵浦,泵浦光功率为 4 W,注入腔内功率为 2.5 W,钛宝石的吸收功率为 1.8 W。激光模式是 TEM₀₀模,中心波长输出功率为 300 mW,转换效率为 16.7%。

本课题得到“九·五”863 重大项目资助。

陈毓川 何京良 李健 侯玮 房晓俊 魏志义 许祖彦
中国科学院物理所光物理实验室 北京 100080
邓佩珍 徐军 周永崇 乔景文
中国科学院上海光机所 上海 201800

收稿日期: 1998-5-11