

文章编号: 0258-7025(2006)09-1172-04

高功率横流 CO₂ 激光器的新型管板式电极

盖玉健¹, 归振兴², 钱红斌^{1,2}, 沈华勤²

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800; ² 上海华中雷鸣激光设备有限公司, 上海 201800)

摘要 提出一种更适用于焊接等场合的低阶模输出的新型管板式电极。阳极块长边沿阴极管方向, 提高了放电均匀性和稳定性, 增加了有效放电长度; 阳极沿气流方向的长度和阴阳两极之间的距离根据输出模式确定, 可充分利用激活体积, 提高选模激光光电转换效率; 其放电均匀稳定, 可减小限流电阻值, 降低外电路电功损耗。与现有管板电极相比, 可提高注入到激活体积内的电功率密度, 明显提高选模激光输出功率和总体效率。多模输出时直接光电转换效率可达 20%; 低阶模 TEM₁₁ 输出时光电转换效率可达 15%, 激光器总效率达 8%。该电极结构适用于国内生产的横流 CO₂ 激光器, 在不同模式输出时均能获得较高的光电转换效率, 从而使其更好地应用于焊接等低阶模输出场合。

关键词 激光技术; 二氧化碳气体激光器; 管板式电极; 高功率横流 CO₂ 激光器

中图分类号 TN 248.2⁺2 **文献标识码** A

New Tube-Plate Electrodes for High-Power Transverse Flow CO₂ Lasers

GAI Yu-jian¹, GUI Zhen-xing², QIAN Hong-bin^{1,2}, SHEN Hua-qin²

(¹ Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)
(² Shanghai Huazhong Leo Laser Equipments Co., Ltd., Shanghai 201800, China)

Abstract A new type of tube-plate electrodes more suitable for low order transverse electric (TE) modes output in fields like laser welding has been developed. It has a bigger size in the direction of the laser beam, so that more uniform discharge and longer discharge length can be obtained. Its width in the direction of gas flow is determined by the output laser mode, so that the active volume can be fully used. Its stable and even discharge makes the ballast resistor smaller which reduces extra power consumption. Compared with the former electrodes, it has greatly increased the input power density, the maximum output power and efficiency of mode-selecting lasers. As a result, high electro-optic conversion efficiency of 20% for multimode output, 15% and laser total efficiency of 8% for low order TEM₁₁ output are obtained. It is suitable for home made transversal CO₂ lasers, making them capable of acquiring high efficiency for different TE modes output and more suitable for low order TE modes output in fields like laser welding.

Key words laser technology; carbon dioxide gas lasers; tube-plate electrodes; high-power transverse flow CO₂ lasers

1 引 言

横流 CO₂ 激光器要获得高功率激光输出, 关键技术之一就是要在高压下获得大体积均匀辉光放电, 并有足够高的电功率注入到激活介质内。为此, 早期国内外在电极结构和放电形式上都进行了大量

的研究工作。目前工业上应用技术比较成熟的是针板式电极结构和管板式电极结构^[1~4]两种, 多数用于多模激光输出。管板式电极结构简单, 成本低, 放电稳定, 是过去几十年来应用在横流 CO₂ 激光器上的主流技术之一。

上述电极结构用于焊接时, 往往采用光阑选模

收稿日期: 2006-01-06; 收到修改稿日期: 2006-05-09

作者简介: 盖玉健(1981—), 男, 山东烟台人, 中国科学院上海光学精密机械研究所硕士研究生, 主要从事横流二氧化碳激光器研究。E-mail: jasper.gai@gmail.com

导师简介: 钱红斌(1967—), 男, 上海人, 中国科学院上海光学精密机械研究所研究员, 主要从事二氧化碳激光器及激光加工技术研究。E-mail: hbqian@mail.shcnc.ac.cn

技术,但这样做使得增益区得不到充分利用,光电转换效率低,一般只有 8%~9%^[5,6]。对此,本文提出了一种新的管板式电极结构,与原管板电极比较,能有效提高放电区(增益)长度,提高注入到激活体积内的电功率密度,并提高增益区利用率,在选模输出低阶模时可以获得较高的效率。

2 电极结构及特性

新型的电极结构如图 1 所示,其主要特点是,由一排铜阳极块阵列和一根紫铜阴极管组成,为了保证放电的均匀性,在阴极的上游,对应于阳极块按间距 10 mm 分布一排预电离针。与原有电极结构不同的是,原有电极结构的阳极块沿气流方向长,每块阳极对应一根预电离针,而新电极阳极块沿阴极方向长,沿气流方向短,每块阳极对应几根均匀分布的预电离针。

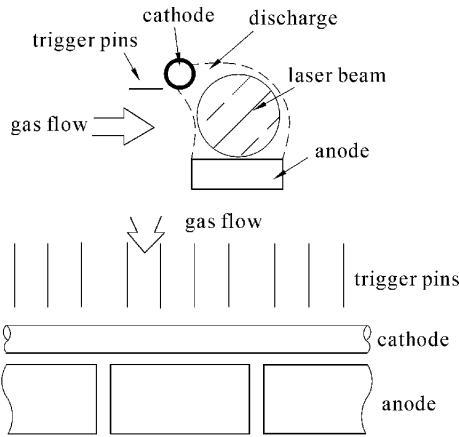


图 1 新型管板式电极结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of new tube-plate electrodes

实验在上海华中雷鸣激光设备有限公司生产的 HJ-3000 横流 CO₂ 激光器上进行,混合气体比例为 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2):V(\text{He})$ 为 1:8:11,流过放电区的气体流速约为 50 m/s。

2.1 放电特性

2.1.1 伏安特性

对新的电极结构进行了一系列实验研究以分析其放电特性。分别采用不同长度的阳极块进行放电实验,取任意一块阳极测量了其放电伏安特性曲线,其中典型的两组数据见图 2。原来电极的放电伏安特性曲线可参考文献[7]。由图可见,放电伏安曲线基本上是个稳压管特性,属于正常的辉光放电特性。实验发现,随着放电电流的增加,辉光沿阳极表面展

开,直至充满阳极表面,阴阳极间电压几乎恒定不变。对于 20 mm × 40 mm 的阳极,气压为 50 × 133.3 Pa 时,随着电流变化,电压波动范围在 ±10 V 以内,气压为 60 × 133.3 Pa 和 70 × 133.3 Pa 时,电压波动范围在 ±20 V 以内;对于 20 mm × 80 mm 的阳极,电压变化范围也均在 ±20 V 以内。如果阳极块沿阴极方向尺寸增大,其辉光充满电极表面的总电流按阳极尺寸成比例增大,电压仍是恒定的。

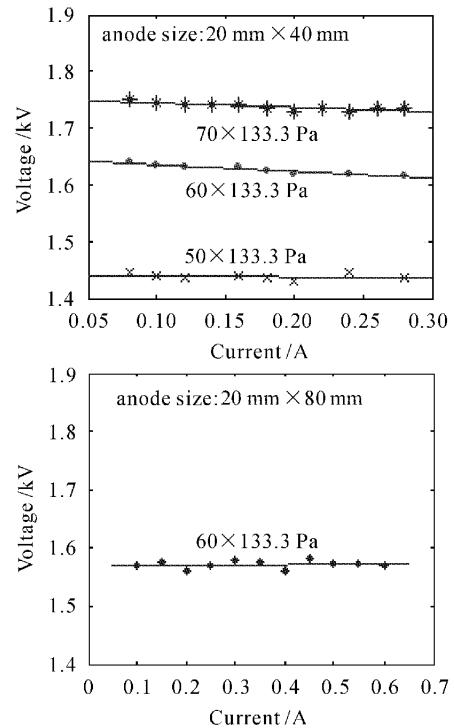


图 2 不同尺寸的阳极块的伏安特性曲线

Fig.2 Volt-ampere characteristic curves of anodes of different size

对于阳极块尺寸为 20 mm × 40 mm 的阳极,平均流过每块阳极块的电流为 300 mA,最大放电电流密度可达 38 mA/cm²。同时,由于气体放电比较均匀稳定,可以避免使用大阻值的镇流电阻,从而减小外电路上的功率损耗。

2.1.2 预电离对放电的影响

该电极放电均匀性的关键在于阴极表面预电离强度分布。预电离针的疏密直接影响到阴极表面电离度强弱及均匀度。如果预电离强度太弱,辉光放电扩展不开而电功率注不进,就如同气压升高的结果一样。如果预电离针离阴极间距太大,会发生几根针对阴极之间的放电合并在一根放电通道内,容易过渡到弧光放电。一般情况下该预电离针相邻间

隔为10 mm左右,每针放电电流在1.0~1.3 mA,放电状况较好。

2.1.3 直流电源纹波的影响

直流电源输出电压的纹波大小对该放电均匀性和稳定性有明显影响。为了稳定放电,且尽量减小限流电阻值以降低外电路中的电功率损耗,要求电源输出电压波动要小,否则放电易过渡到弧光放电。

2.2 输出激光特性

阳极块尺寸为20 mm×40 mm,阳极块间距为5 mm,共25块阵列一线,阴极管直径为8 mm,阴极管底部到阳极高度为20 mm,激光器安装谐振腔,后腔镜为一块水冷全反射铜镜,半径 R 为10 m,输出窗口用硫化锌镜片,反射率为80%,透过率为20%。

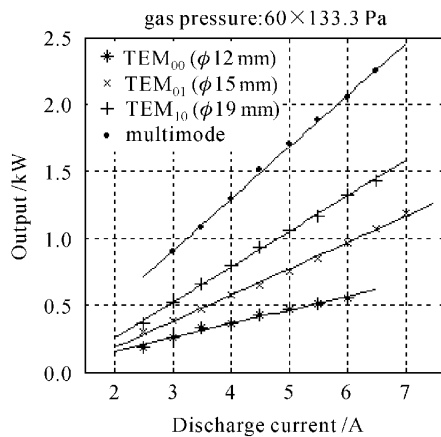


图3 输出各种模式时的输出功率

Fig. 3 Laser output power dependence on discharge current for different TE modes

采用光阑选模技术,测量了在常用工作气压下输出多模和几种低阶模的输出功率特性,结果如图3所示。

多模光斑近似正方形,尺寸为20 mm×20 mm。当采用直径为19 mm的光阑输出低阶模时,能够充分利用激活体积,因此光电转换效率比较高,其输出功率正比于所占多模时截面的面积比,此时输出的是 TEM_{10} 与 TEM_{11} 混合模式,输出时其光电转换效率可达15%,激光器总效率达8%。典型的输出近场光斑如图4所示。长期运行时,可密封连续运行超过8 h,功率不稳定性在±2%以内。对于不同要求的激光器,可以选择合适的电极尺寸,以保证最大的输出功率和光电转换效率。

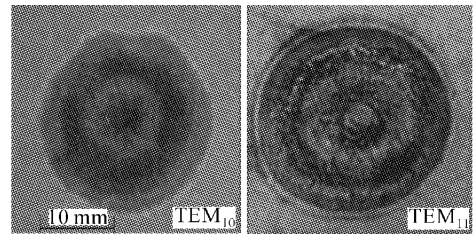


图4 输出激光近场图

Fig. 4 Near field of laser output

2.3 性能优点

为比较新电极与原有电极的性能,进行了一组实验,具体电极参数和实验结果如表1所示。两种电极均选低阶模输出,功率为3.2 kW。新电极如果采用工作气压 70×133.3 Pa,最大输出功率可达3.6 kW。

表1 两种电极性能的比较

Table 1 Comparison between two kinds of electrodes

| | Electrode size /mm ² | Electrode gap /mm | Trigger pins | Ballast resistor /Ω | Gas pressure /Pa | Electro-optic efficiency | Resistors power consumption /W | Total efficiency |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|---------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|
| New electrodes (34 blocks) | 20×60 | 21 | 6×34 | 800 | 60×133.3 | 14% | 3166 | 9.7% |
| Original electrodes (110 blocks) | 40×15 | 24 | 1×110 | 5100 | 80×133.3 | 10% | 6800 | 6.4% |

anode block gap: 5 mm; mode control aperture diameter: 21 mm; output power: 3.2 kW; laser mode: TEM_{11}

对新电极的优点,可着重从以下几个方面来分析:

1) 阳极块沿阴极管方向较长而沿气流方向短。这样做的好处:一是可在光轴方向上减少阳极块数,在相同的电极长度内,有效放电长度(即可利用的增益长度,可近似认为在阴极方向上阳极块表面的长

度之和)获得较大提高,若原电极结构沿阴极方向阳极块长度为 l_1 ,新电极结构长度为 l_2 ,阳极块间距均为 d ,则提高倍数可以表述为 $(l_1 + d)l_2 / (l_2 + d)l_1$,表1实验中在总长度相同时有效放电长度比原来电极增加约23%;二是此电极结构可采用较小的限流电阻阻值,从而降低外电路中的电功损耗。在放电

稳定性达到要求的前提下, 每块电极的限流电阻可降到 0.5~1.0 kΩ, 是通常管板电极的五到十分之一, 从表 1 中可看出功率损耗减少了一半多。

2) 阳极沿气流方向长度可根据输出激光需要确定, 作为基模振荡或低阶模振荡, 阳极沿气流方向长度稍大于光斑尺寸, 表现在放电区横截面上, 则输出光束横截面面积与放电区横截面面积之比更接近 1, 这样放电区与模体积可以很好地匹配, 提高光电转换效率。从表 1 可见, 在采用了同样的选模技术, 输出同样的功率时, 气压减小的情况下, 效率由 10% 提高到 14%。

3) 放电激活体积的调整使得激活体积内的注入功率密度增加。新的电极结构使得放电区横截面积减小, 从而在激活长度一定的情况下激活体积也减小, 因此在注入功率相同的情况下注入功率密度相应增加。根据文献[8~10], 在其他条件相同的情况下, 放电区域横截面的减小几乎不影响注进的功率大小, 如保证放电区宽度 w 与放电区高度 d 同时减小, 这个规律在很大范围内都成立 (w : 15~45 mm, d : 20~40 mm)。由此可见, 如果其他条件不变而放电区横截面积减小, 最大输入功率密度可以随之提高。在表 1 实验中, 在工作气压不同的情况下输出相同功率, 新电极注入功率密度约为 26.7 W/cm³, 原来电极约 20.2 W/cm³。

3 结 论

从实验结果来看, 新的电极结构在放电特性方面有了显著的提高, 在提高光电转换效率和激光器总体效率方面效果也很好, 尤其是选模激光输出时更为显著。实验过的阳极块长度从 20 mm 到 100 mm, 均得到令人满意的结果, 但是由于对电源要求较高等原因, 目前实际使用较多的仍为 40 mm 阳极块。此电极结构试用于激光焊接, 表现出很好的稳定性和经济效益。

参 考 文 献

- 1 Cheng Zhaogu, Li Xianqin, Chai Xiongliang *et al.*. High power pulse CO₂ laser with preionization burst-mode switch technology [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(5):1362~1366
程兆谷, 李现勤, 柴雄良等. 预电离脉冲群开关技术高功率脉冲 CO₂ 激光器[J]. *物理学报*, 2004, **53**(5):1362~1366
- 2 Gui Zhenxing, Chen Yuming, Sheng Huaqin *et al.*. Improvement of discharge uniformity in a transverse-flow CO₂ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 1990, **17**(1):31~34
归振兴, 陈钰明, 沈华勤等. 改善横流 CO₂ 激光器放电均匀性的实验研究[J]. *中国激光*, 1990, **17**(1):31~34
- 3 Chen Kexin, Wang Zheen, Xi Quanxin *et al.*. A long life-time sealed-off kW level transverse-flow CO₂ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 1987, **14**(8):470~486
陈可心, 王哲恩, 奚全新等. 密封长寿命千瓦级横流 CO₂ 激光器[J]. *中国激光*, 1987, **14**(8):470~486
- 4 Wang Zheen, Su Baorong, Hu Shaoyi *et al.*. 2 kW transverse-flow closed-cycle CO₂ laser [J]. *Lasers*, 1980, **7**(7):1~4
王哲恩, 苏宝熔, 胡绍衣等. 2 千瓦横向流动闭合循环 CO₂ 激光器[J]. *激光*, 1980, **7**(7):1~4
- 5 Cha Hongkui, Lu Hongfei, Chen Ping *et al.*. Experimental investigation on a 10 kW transversal flow discharge CO₂ laser with tube-plate electrodes [J]. *Chinese J. Lasers*, 1992, **19**(10):728~734
查鸿逵, 陆鸿飞, 陈平等. 管板式横流 10 kW CO₂ 激光器的实验研究[J]. *中国激光*, 1992, **19**(10):728~734
- 6 Cheng Zhaogu, Wang Runwen, Zha Hongkui *et al.*. A long lifetime sealed-off operation industrial CW 5 kW level transverse-flow CO₂ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 1990, **17**(1):19~23
程兆谷, 王润文, 查鸿逵等. 长寿命密封运转工业用 5 kW 横流 CO₂ 激光器[J]. *中国激光*, 1990, **17**(1):19~23
- 7 Shen Junquan, Lu Peihua, Gui Zhenxing *et al.*. A high power transversal CO₂ laser [P]. China, patent for invention, 97106614.0, 1999-03-31
沈俊泉, 陆培华, 归振兴等. 高功率横流 CO₂ 激光器[P]. 中国, 发明专利, 97106614.0, 1999-03-31
- 8 A. K. Nath, T. Reghu, C. P. Paul *et al.*. High-power transverse flow CW CO₂ laser for material processing applications [J]. *Optics & Laser Technology*, 2005, **37**(4):329~335
- 9 I. Gutu, C. Petre, I. Ivanov *et al.*. Optical resonator for high-power transverse flow CO₂ lasers [J]. *Optics & Laser Technology*, 2003, **35**(2):105~113
- 10 I. Gutu, T. Julea, V. Draganescu *et al.*. Development of a high power gas transport CO₂ laser with cylindrical geometry [J]. *Optics & Laser Technology*, 1986, **18**(6):308~312