

半共焦腔高反耦合窗口横流 CO₂ 激光器 输出花样的研究

许国良 程兆谷 雒江涛 张赵林 夏金安

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 探讨了利用半共焦腔的“反演”特性及放电区增益分布特性以及调节平面高反膜红外输出耦合窗口来获得不同的对称性、均匀性良好的激光输出花样,并通过实验获得了与理论相符的结果。

关键词 半共焦腔,“反演”,增益分布,激光输出花样

1 引 言

在激光加工中,常根据被加工零件的形状尺寸而采用不同功率密度分布的激光光束,而激光光束的功率密度分布是由光束的横模(通常简称“模式”)决定的。根据激光理论,激光光束的模式主要取决于激光谐振腔的结构形式。基模光束呈高斯函数分布,在光斑中央区域出现光斑能量分布的极大值,而高阶模在光斑截面上有多个能量极大值。在现行的生产应用中,通常利用光束变换系统来改变光斑形状及其能量分布,以达到所期望的激光光斑。对于平板焊接、切割及其他加工,希望得到功率密度分布均匀的矩形、圆形光斑。本文则从半共焦腔具有的对光线的“反演”作用,利用在放电区增益分布的不均匀性,通过调节高反膜红外耦合窗口输出镜从而改变光轴位置使光腔处在不同的增益区域来获得不同形状的均匀的输出光斑。

2 半共焦腔的“反演”特性

对于如图 1 所示的平-凹 (M_1-M_2) 镜组成的谐振腔,腔长为 L ,曲率半径为 R_2 。

假定光线从平面 M_1 上 X_1 发出,与轴夹角为 θ_1 ,经图示路线返回到点 X_2 ,光线与轴夹角为 θ_2 。由光线传播矩阵可得

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



图 1 光线在平-凹镜谐振腔中的传播
Fig. 1 Transmission of light in the plano-concave resonator

其中传播矩阵 自由空间为 $M(L) = \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

平面镜为 $M(R_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

凹面镜为 $M(R_2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_2 & 1 \end{bmatrix}$

对于半共焦腔, $R_2 = 2L$, 将其代入(1) 式得

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X_1 \\ -\theta_1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

由(2) 可知, 点 X_2 与点 X_1 是关于中心对称的, X_2 点处的光又经反射回到点 X_1 处。只要 θ_1 较小, 则在一定的范围内点 X_1 发出的光均可反射返回。以平面镜 M_1 作为输出窗口, 则输出光斑的能量分布将是关于中心对称的。

3 谐振腔光轴位置的调节

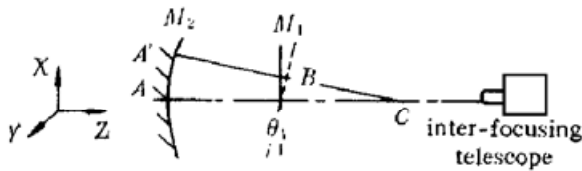


图 2 激光器谐振腔
Fig. 2 Laser resonator

平凹镜腔如图 2 所示, 设初始光轴位置为 AC (AC 平行于管-板电极之阴极), 转动平面输出镜 M_1 使其与初始准直位置成夹角 θ_1 , 则新的振荡光轴为垂直于平面镜 M_1 并且过平面镜 M_2 球心 C 的直线 $A'C$ 。在一般情况下, θ_1 不太大, 为 mrad 量级, 新光轴 $A'C$ 与平面输出镜 M_1 的交点 B , 平移平面镜 M_1 使其中心为 B 点。 B 点到原始光轴的垂直距离 $X = (R - L)\theta_1$ 。

同理在 YZ 平面内得 $Y = (R - L)\theta_2$ 。以内调焦望远镜观察光轴的位置, 所观察的像与实物上下左右相反, 其所成点像与望远镜内部十字叉位置距离为 (X', Y') , 并以此来判断光轴位置和确定调节方向。

4 激光器电极结构及放电区增益分布

我们研制的高功率横流 CO_2 激光器电极结构采用管-板结构, 并采用脉冲预电离技术, 如图 3 所示。阳极板由 55 只分立阳极铜条组成, 间距为 5 mm, 触发针与阳极条一一对应, 沿阴极管均布。

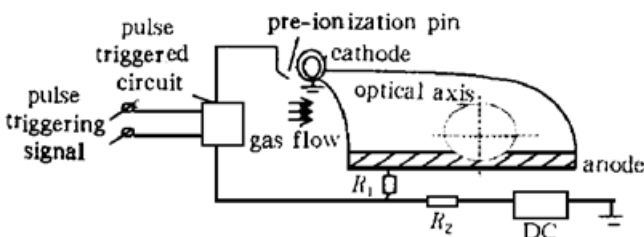


图 3 CO_2 激光器电极结构
Fig. 3 CO_2 laser electrode structure

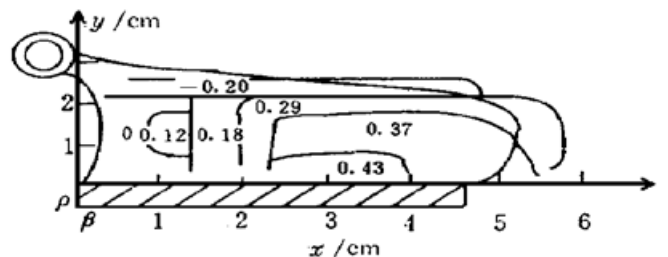


图 4 放电区增益分布
Fig. 4 Gain distribution in the discharge zone

放电方向、光轴和气流方向互相垂直。放电过程为脉冲触发信号与电离电路接通, 高压脉冲加在预电离针和阳极条之间使在放电区内预电离, 产生大量的初始电子, 然后进行以复合为主的主放电过程。在放电区内增益并非均匀分布, 经大量实验得出相对增益分布如图 4。

5 不同激光输出花样的获得

光在腔内来回反射时, 其光强为 $I = I_0 \exp[(\alpha - \gamma)Z]$, 其中 I_0 为初始光强, α 为增益系数, γ 为损耗系数, Z 为光程。只有当 $\alpha > \gamma$ 时, 光才能在腔内得到振荡增强, 形成激光输出。

调节平面输出镜 M_1 使光轴处在不同的增益区域, 使其全部或部分处在 $\alpha > \gamma$ 区域, 以获得不同的激光输出花样。由于半共焦腔具有的“反演”作用, 只有当图 1 中点 X_1 到点 X_2 的往返路程中, $\alpha > \gamma$ 时才在点 X_1, X_2 处输出激光, 输出花样具有很好的中心对称性, 如图 5 所示。用平行光管观察平面输出镜, 记录像点位置。由于平面镜 M_1 为镀高反射膜的输出耦合窗口, 其反射率在 80% 以上, 这样光可以在腔内多次来回反射, 经过各不同的增益区域, 从而抵消增益分布不均匀的影响。同时增益随着光强的增大而减小, 这些都使得输出变得均匀, 因而输出光斑是均匀的。

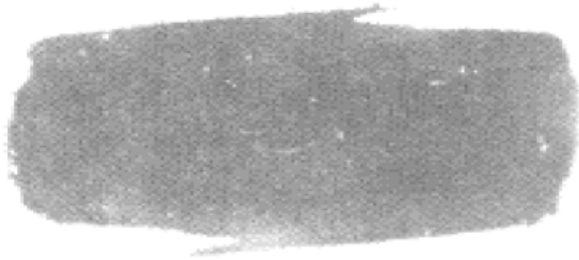


图 5 具有良好对称性、均匀性的激光输出花样
Fig. 5 Laser output pattern with good symmetry and homogeneity

改变光轴位置, 可获得对称性很好的各种输出激光花样, 如图 6 所示。

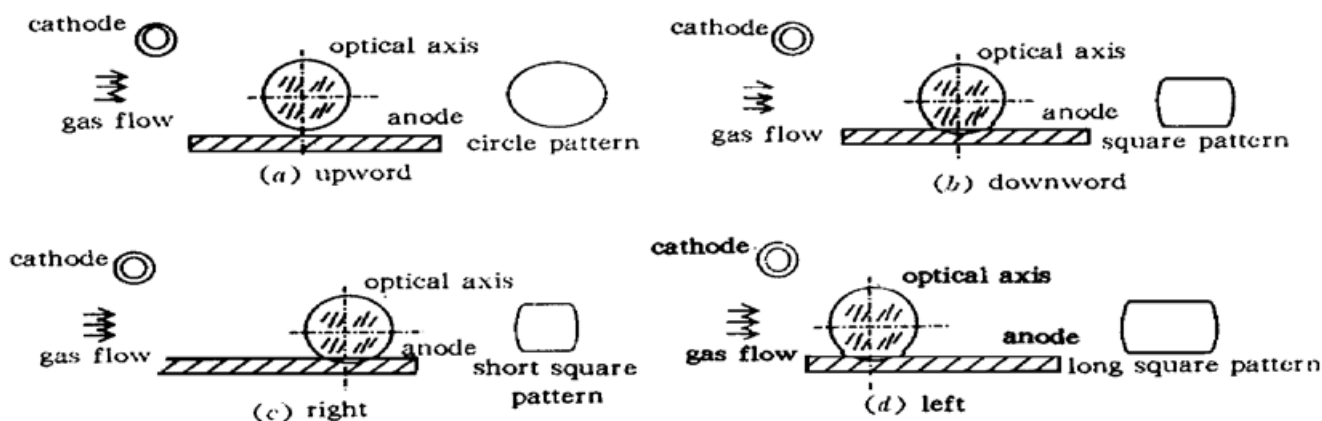


图 6 激光输出花样随光轴位置而改变

Fig. 6 Laser output patterns vary with the position of the optical axis

6 结 论

为了使结构紧凑, 谐振腔采用 Π 型结构。在不同的工作气压及输出功率下的实验结果表明, 在半共焦腔中调节平面输出镜 M_1 的位置而改变光轴位置可以获得对称性很好的均匀的激光输出花样, 如圆形、方形、矩形等, 图 7 所示花样是在工作压力为 10.64 kPa, 触发电流为 100 mA, 主放电电流为 6 A 下获得的。

程兆谷在文献[3]中对高斯光束低阶模焦点能量的相对分布作了论述, 其计算结果表明,

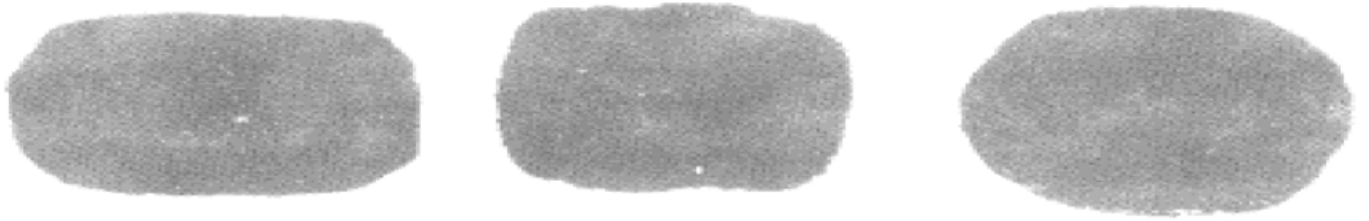


图 7 激光输出的实验结果

Fig. 7 The experimental result of laser output

在某些情况下利用稳腔选模,可得到接近甚至优于非稳腔选模的良好光学质量,在此处就不再对光束质量进行深入的研究。

参 考 文 献

- 1 Cheng Zhaogu, Wang Zhe'en, Zha Hongkui *et al.*. Choice of the optical axis position for a transverse flow CO₂ laser resonator. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1985, **12**(8): 455~ 458 (in Chinese)
- 2 Wang Zhe'en, Su Baorong, Hu Shaoyi *et al.*. 2 kW transverse-flow closed-cycle CO₂ laser. *Laser Journal* (激光), 1980, **7**(7): 1~ 4 (in Chinese)
- 3 Cheng Zhaogu, Wang Runwen. Relative distribution at focal plane of low-order modes for Gaussian laser beams. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1986, **13**(6): 321~ 327 (in Chinese)

Study on Output Patterns of the Half Confocal Cavity of a TEA CO₂ Laser with a High Reflective Coupling Window

Xu Guoliang Cheng Zhaogu Luo Jiangtao Zhang Zhaolin Xia Jin'an
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Based on the "inversion" of the half confocal cavity and the curve of gain distribution in the discharge zone, the various laser output patterns can be acquired by adjusting an infra-red coupling mirror coated with high reflective film. The output pattern is uniform and symmetrical. The result of experiment is in accordance with theory.

Key words half confocal cavity, "inversion", gain distribution, laser output pattern