

高频激励 CO₂ 激光器 1.5kW 低阶模多折腔研究

陈培锋 丘军林 陈涛 杨天楚

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 介绍了高频激励千瓦级激光器低阶模多折腔的设计过程和实验结果, 获得模式结构 TEM₀₀+TEM₀₁ 的 1.5kW 输出, 发散角为 1.63mrad, $M^2=1.70$ 。

关键词: 高频激励 CO₂ 激光器 多折腔

Design and experiment of multifolded resonator for 1.5kW HF-excited TE-CO₂ laser

Chen Peifeng, Qiu Junlin, Chen Tao, Yang Tianchu

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: This paper introduces the design model of resonator for HF-excited TE-CO₂ laser to provide the 1.5kW industrial applications. Here the three folded resonator structure is employed. According to the design, a experimental system is built to provide TEM₀₀ and TEM₀₁ mode with high power output over 1.5kW, and 1.63 mrad divergence angle, $M^2=1.70$.

Key words: HF-excited TE-CO₂ laser multifolded resonator

一、引言

高频激励 CO₂ 激光器是国际上正在发展的新一代工业用高功率 CO₂ 激光器^[1], 高频激励 CO₂ 激光器由于具有放电较均匀、稳定、可靠、可调制等特点, 有利于输出高光束质量、高功率的激光束。本文介绍横流高频激励 CO₂ 激光器 1.5kW 低阶模多折腔的设计及实验结果。

二、整机结构

从整机结构看, 横流高频激励 CO₂ 激光器与直流激励 CO₂ 激光器^[2]大致相同, 只是激励源和电极分别以高频电源和介质电极取代。关于高频电源和介质电极我们将另文介绍, 本文主要介绍其中的谐振腔系统设计(如图 1)。

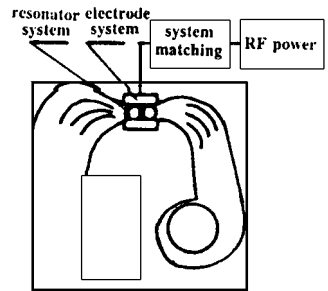


Fig. 1 Overall structure of CO₂ laser

5 Koechner W. Solid state laser engineering, Chapter 7, 2rd, Springer Series Optical Sciences. New York: springer 1988

作者简介: 曹三松, 男, 1959年7月出生。副研究员。现从事激光器件与技术的研究工作。

收稿日期: 1996-09-12



三、谐振腔系统设计

由于放电区横截面大致为 25mm × 50mm 的矩形,因此,谐振腔选取 N 形三折腔,如图 2 所示,机械结构采用全外腔结构,所有四个反射镜均可随机调整,以保证谐振腔始终工作在最佳状态。

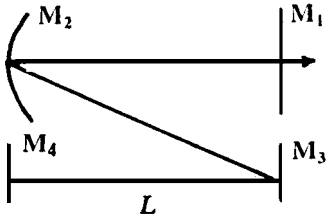


Fig. 2 The simple optical path of the N type three folded resonator

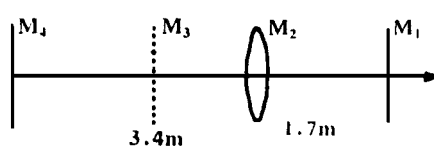


Fig. 3 Schematic drawing for equivalent resonator

腔参数选择如下: $L = 1.7\text{m}$, $R_1 = R_3 = R_4 = \infty$, $R_2 = 18\text{m}$, 因此该谐振腔在不考虑象

散的情况下等效于下面的形式,如图 3。之所以将 R_2 取为凹镜,是为使腔内光束尽可能大小比较均匀,有利于充分利用激发区,实验结果表明由此引入的不对称是可以忽略的。

图 2 所示的谐振腔为一个腔内含一个透镜的多元件腔,采用文献[3]的分析方法,以 M_1 为参考面,则有

$$m = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - l_2/f & l_1 + l_2 - l_1 l_2/f \\ -1/f & 1 - l_1/f \end{bmatrix} \text{HO} \begin{bmatrix} 0.62 & 4.46 \\ -0.11 & 0.81 \end{bmatrix}$$

$$G_1 = a - b/\rho_1 = a = 0.62$$

$$G_2 = d - b/\rho_4 = d = 0.81$$

则 $G_1 G_2 = 0.50$

镜 1 处的基模光斑半径为 $\omega_{01} = \left[\frac{\lambda \sqrt{G_1 G_2 (1 - G_1 G_2)}}{\pi (G_1 + a^2 G_2 - 2a G_1 G_2)} \right]^{1/2} = 5.0\text{mm}$

镜 4 处的基模光斑半径为 $\omega_{04} = \left[\frac{\lambda \sqrt{G_1 G_2 (1 - G_1 G_2)}}{\pi (G_2 + d^2 G_1 - 2d G_1 G_2)} \right]^{1/2} = 4.3\text{mm}$

整个谐振腔中最大的基模光斑半径在凹面反射镜上 $\omega_f = 5.1\text{mm}$

由于我们设计的谐振腔应运转于低阶模上,故我们还应计算 1 阶或 2 阶高斯光束的特征尺寸,由于最大的光斑尺寸处于凹面反射镜处,故我们只考虑凹面反射镜上的 1 阶和 2 阶光斑尺寸即可

$$\omega_{1f} = 8.8\text{mm}, \omega_{2f} = 11.31\text{mm}$$

因为放电区高度大致为 25mm,所以实际的增益区高度大致为 22mm,故可以预计的是在我们这个谐振腔中,二阶以上的模式是不可能起振的,因此选择上述参数情况下的三折谐振腔是可以工作在低阶模下的。

如果以 M_1 作为输出镜,则输出光束的基模腰斑半径为 $\omega_0 = 5.0\text{mm}$, 1 阶模光斑尺寸为 $\omega_{1f} = 8.8\text{mm}$, 基模发散全角为 $2\theta_0 = 2[\lambda/(\pi\omega_0)] = 1.35\text{mrad}$, 1 阶模发散全角为 $2\theta_{01} = 2[\lambda/(\pi\omega_0)] \sqrt{2+1} = 2.34\text{mrad}$ 。由于我们的设计指标中输出光束远场发散角应小于 2.5mrad, 因此上述参数情况下的输出光束满足设计要求。

四、实验结果

将上述三折稳定谐振腔应用于高频激励 CO_2 激光器,完全达到了设计参数。在实验过程中,首先我们采用单程稳定腔调试整个激光器参数,至所有参数调至最佳后,再将所设计的三

折稳定谐振腔进行装配实验,结果顺利地获得了大于 1.5kW 的低阶模输出,输出光束的模式结构为 TEM₀₀+ TEM₀₁,测得远场全发散角为 1.63mrad。由于输出镜受热而有聚焦作用,测得的腰斑直径为 14mm,由此求得 $M^{2[4]}$ 参数大致为 1.70,由于 TEM₀₀ 模的 M^2 参数为 1,而 TEM₀₁ 模的参数 M^2 参数为 3,故显而易见的是我们的光束是 TEM₀₀ 和 TEM₀₁ 模的混合模结构,这与烧斑所得的结果是一致的,也与设计的预期结果一致。

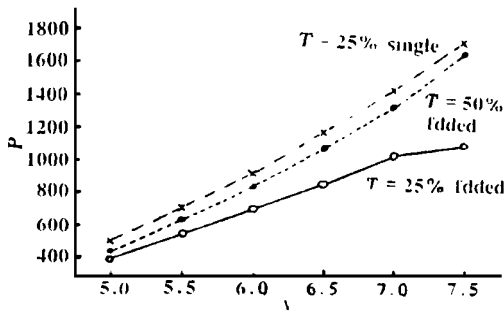


Fig. 4 Output power for different transmission

国家重点实验室研制的硅镜表面镀增强介质膜的方法,成功地解决了这一问题。三折腔低阶模输出功率几乎可以达到单程腔多模输出功率这一事实本身就充分说明了这一点。

三折腔对于各反射镜的失调非常敏感,实验中我们发现三折腔中任何一个反射镜的角度偏转 0.1°,则谐振腔即不可能出光。由此可见,谐振腔的稳定性对于激光器的稳定性是极重要的,设计时必须极小心,对于系统各部分的振动、温差等问题必须极小心处理,这一点对保证高效输出激光是极重要的。

四、结 论

通过并不复杂的设计过程,我们获得了输出大于 1.5kW、发散角为 1.63mrad 的高功率 TEM₀₀+ TEM₀₁ 模输出,同时通过精细的结构设计保证了激光器谐振腔的稳定性,这一点是很重要的。该系统由于采用了全外腔结构,可以方便地对现有普通横流 CO₂ 激光器进行改造,由此得到的低阶模输出对于激光焊接等应用非常适用。

参 考 文 献

- 1 丘军林. 中国激光, 1994; 21(5): 377
- 2 吕百达. 激光光学. 成都: 四川大学出版社, 1992: 234~ 238
- 3 Siegman A. E. SPIE, 1990; 1224: Optical Resonators 2~ 14

作者简介: 陈培锋,男,1963年4月出生。副教授。现从事高功率气体激光器的研究。

收稿日期: 1996-05-27 收到修改稿日期: 1996-11-27