

利用转动位相片实现多模激光束的光滑化*

林 强 江晓清 朱精敏 陆璇辉 王绍民

(杭州大学物理系 杭州 310028)

提要 提出了一种利用转动随机位相片来实现多模激光束的光强分布光滑化的方法,实验制作了随机位相片,并在 CO₂ 激光器上得到了令人满意的实验结果。实验结果与理论模拟符合得很好。

关键词 随机位相片,多模光束,光滑化

1 引 言

在激光的许多应用中,光斑功率密度的均匀性是一个关键因素。如激光核聚变中靶场的照明^[1-3]、激光材料表面热处理^[4]、激光涂敷^[5]等。近年来,人们研究了利用二元光学元件改进光束质量的方法,从原理上来说,二元光学元件能够得到任意光强分布的光束。但是二元光学的一个很大缺点是必须预先设定变换以前光束的电场强度复振幅分布,如设定为高斯光束^[6,7],而实际光束的复振幅分布往往是不知道的,而且难以测量。本文提出了一种利用转动的随机位相片(RPP)来实现多模激光束的光强分布光滑化的方法,我们用 10 W 级 CO₂ 激光器作了实验研究,实现了将低阶模变换成类似基模的光强分布。并用计算机作了数值模拟,与实验符合得很好。这种方法具有设计简单、制作方便的优点,而且效果显著,具有实用价值。

2 实验装置与结果

众所周知,大功率激光器的输出光束大多为多模光束。多模激光束的光强分布是非均匀的,并且其图样经自由空间或透镜聚焦后保持不变,这是因为多模激光束各部分之间保持固定的位相关系。为了改变其光强的空间分布,必须改变其位相关系。为此,我们设计了如图 1(a)所示的旋转式多模激光束变换器^[8],由 RPP(1)和旋转装置(2)构成,RPP 安装在传动装置上。RPP 既可做成透射式,也可做成反射式,本文为透射式。图 1(b)为 RPP 上的由位相变化单元区组成的图案结构示意图。RPP 上的位相变化单元区的形状和大小尺寸根据不同的激光束和变换要求而定。本文为直径等于 1 mm 的圆形;位相变化单元区的光学厚度为 $\lambda/2$, λ 为激光波长,使得经过位相变化单元区的光具有 π 的附加位相。

在本实验中,采用 10 W 的低阶模 CO₂ 激光器作为光源,波长 $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$,观察位置离 RPP 的距离为 30 cm。马达的转速为 750 r/min。图 2 给出了 CO₂ 激光束烧灼有机玻璃后制成

* 浙江省自然科学基金和浙江省留学回国基金资助项目。

模型得到的照片和放大以后的光强分布曲线, (a) 为没经过 RPP 变换, (b) 为经过 RPP 变换, 观察位置与 (a) 相同。从图中可以看出, 原来光束中心是暗的, 经变换后已成为类似基模的光束。变换后的光束光斑尺寸略有展宽, 强度分布曲线在细节上有小的起伏, 但这对实际应用影响不大。马达的转速越快, 这种起伏越小。由 RPP 的表面反射、散射和吸收等引起的总功率损耗为 15%。

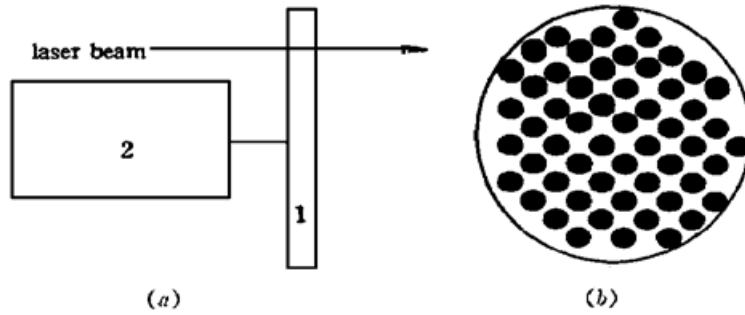


图 1 (a) 旋转式多模激光束变换装置示意图, 1 为位相片, 2 为旋转装置;
(b) 位相片上由随机分布位相变化单元区组成的图案

Fig. 1 (a) Rotating multimode laser beam transformer, 1 is the random phase plate (RPP), 2 is the driving moto;
(b) Schematic layout of a RPP consisting of randomly distributed on-off phase-plate elements



图 2 CO₂ 激光束烧灼有机玻璃得到的照片和经放大的光强分布曲线
(a) 不经过 RPP 变换; (b) 经过 RPP 变换

Fig. 2 Experimental intensity distribution curves of CO₂ laser beams
(a) not transformed by RPP; (b) transformed by RPP

3 理论分析

若入射到 RPP 上的激光束的光场复振幅为 $E_1(\vec{r}_1)$, RPP 的位相分布为 $\Phi(\vec{r}_1, t)$, 则从 RPP 出射的光场复振幅为 $E_1(\vec{r}_1) \exp[i\Phi(\vec{r}_1, t)]$ 。在离 RPP 距离为 L 的观察屏上的光场为

$$E_2(\vec{r}_2, t) = A \int E_1(\vec{r}_1) \exp[i\Phi(\vec{r}_1, t)] \exp\left[-i \frac{k}{2L}(r_1^2 - 2r_1r_2 + r_2^2)\right] d\vec{r}_1 \quad (1)$$

其中 A 为常数, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 。由于探测器的响应时间总是有限值, 实际探测到的光强是探测时间 T 内的平均值

$$I_2(\vec{r}_2) = \langle E_2(\vec{r}_2, t) E_2^*(\vec{r}_2, t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T E_2(\vec{r}_2, t) E_2^*(\vec{r}_2, t) dt \quad (2)$$

为简单起见, 下面对一维情况作数值模拟。设入射到 RPP 上的光束为一阶厄米-高斯光束, 其

复振幅为

$$E_1(x_1) = \frac{w_0}{w(z)} H_1 \left[\frac{\sqrt{2} x_1}{w(z)} \right] \exp \left[- \frac{x_1^2}{w(z)^2} \right] \exp \left[- i \frac{k x_1^2}{2R(z)} \right] \exp \left[- i \left[kz - 2 \tan^{-1} \left[\frac{z}{z_0} \right] \right] \right] \quad (3)$$

其中 $H_1 \left[\frac{\sqrt{2} x_1}{w(z)} \right] = \frac{2 \sqrt{2} x_1}{w(z)}$, $w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_0^2}}$, $R(z) = z \left[1 + \frac{z_0^2}{z^2} \right]$, 其光强分布为

$$I_1(x_1) = E_1(x_1) E_1^*(x_1) \quad (4)$$

图 3(a), (b) 分别是一阶厄米-高斯光束不经和经过 RPP 变换的远场光强分布曲线。计算中分别取 $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$, $w_0 = 1.0 \text{ mm}$, $L = 1.0 \text{ m}$, $z = 0.5 \text{ m}$ 。位相单元的尺寸为 1.0 mm 。

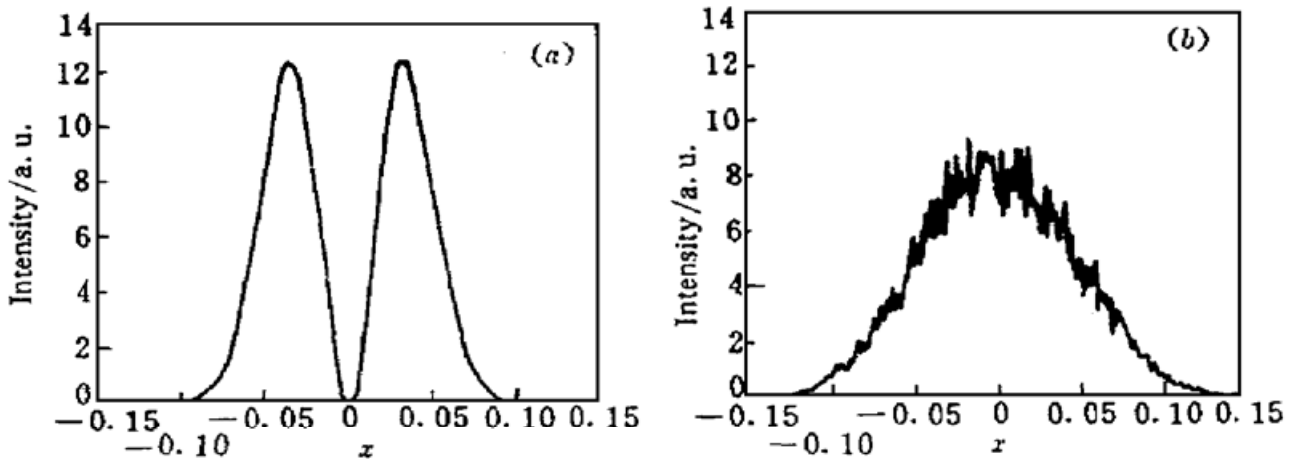


图 3 一阶厄米-高斯光束的光强分布计算曲线

(a) 不经过 RPP 变换; (b) 经过 RPP 变换

Fig. 3 Theoretical curves of intensity distribution for the first-order Hermite-Gaussian beam

(a) not transformed by RPP; (b) transformed by RPP

从图 3 可以看出, 光强分布已大大光滑化。对比图 2 与图 3, 可见理论模拟与实验符合得非常好。

4 小 结

本文提出了一种能将多模激光束变换成光强分布类似于基模光束, 或某种特定光强分布的特殊光束, 同时功率损耗较少的旋转式多模激光束变换器, 从而达到改善光束质量的目的。由于该旋转式多模激光束变换器可以置于激光谐振腔外, 不改变原来激光器的工作状态, 只要需要在需要时插入光路即可。因此这种光束变换器适合于各种类型的激光器。通过改变旋转位相片的单元结构, 可以获得不同的光强分布, 以满足各种不同的要求。由于 RPP 是纯位相型的, 在原理上不会引起功率损耗, 在实际中可以通过镀增透膜(对透射式)或增反膜(对反射式)的办法降低功率损耗。在高功率情况下, 为使位相片在长时间工作时不致于损坏, 可采用风冷等措施。需要指出的是, 本文提出的使多模激光束光滑化的方法与严格意义上的均匀化不同, 后者除要求光强分布的局部起伏小(光滑)以外, 还要求光斑的整体形状呈近似矩形的分布。

参 考 文 献

- 1 Deng Ximing, Liang Xiangchun, Chen Zezun *et al.*. Uniform illumination of large targets using a lens array. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(3): 377~ 381

- 2 Qiu Yue, Deng Ximing. Optimization design of the optical array uniform illumination systems. *High Power Laser and Partical Beams* (强激光与粒子束), 1997, **9**(4): 507~ 510 (in Chinese)
- 3 Deng Xuegong, Li Yongping, Qiu Yue *et al.*. Quantitative description of beam quality in uniform illumination experiments. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(11): 1021~ 1026 (in Chinese)
- 4 Qiu Junlin. The beam quality of high power lasers and its influences on the laser processing. *Laser Technology* (激光技术), 1994, **18**(2): 86~ 91 (in Chinese)
- 5 Wang Yunshan. Analysis for laser beam pattern of wide-band scanning mirror. *Optoelectronics Laser* (光电子·激光), 1997, **8**(4): 282~ 290 (in Chinese)
- 6 Zhou Chongxi, Zhou Yu, Shui Biji *et al.*. Design of binary optics beam shapter used in laser quench. *Applied Laser* (应用激光), 1997, **17**(4): 164~ 166 (in Chinese)
- 7 R. Bourouis, K. Ait Ameer, H. Ladjouze. Optimization of the Gaussian beam flattening using a phase-plate. *J. Modern Optics*, 1997, **44**(7): 1417~ 1427
- 8 Lin Qiang, Zhu Jingmin, Jiang Xiaoqing *et al.*. Rotating multimode laser beam transformer. *Chinese Patent* (中国专利), 97229455.4 (in Chinese)

Laser Beam Smoothing by a Rotating Random Phase Plate

Lin Qiang Jiang Xiaoqing Zhu Jingmin Lu Xuanhui Wang Shaomin
(*Department of Physics, Hangzhou University, Hangzhou 310028*)

Abstract A novel method for laser beam smoothing by a rotating random phase plate is presented. A random phase plate for CO₂ laser was made, and satisfactory results were obtained. The experimental results coincide very well with the theoretical analysis.

Key words random phase plate, multimode laser beam, smoothing