

文章编号: 1672-8785(2012)11-0027-03

高能 CO₂ 激光器光束质量 测量实验研究

王思雯

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 高能激光已广泛应用于科研、工业和军事领域。由于大气对激光传输过程会产生影响, 测量研究高功率激光器远场光束质量一直是困扰研究者的一项难题。提出了一种远场光束质量相对测量和绝对测量相结合的测试方法, 并测量分析了高功率 1.4 kW 脉冲 TEA CO₂ 激光器在 500 m 处的光强分布。实验结果表明, 高功率 CO₂ 激光器光束经 500 m 传输后达到靶面位置的最大功率密度为 1.65 W/cm², 光束的横向远场发散角达到 0.96 mrad。实验结果为提高系统的优化设计提供了重要的参考依据。

关键词: 高能激光器; 光束质量; 发散角; 功率密度

中图分类号: TP732.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.11.005

Experimental Study of Beam Quality Measurement for High-energy Laser

WANG Si-wen

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: High-energy lasers are widely used in the fields of science, industry and military. Because of the influence of atmosphere on the transmission of a laser, the investigation of far-field beam quality of a high-power laser is always a problem. To obtain the optical intensity distribution of a 1.4 kW pulsed TEA CO₂ laser at the distance of 500 m, a relative measurement method combined with absolute measurement is proposed. The measurement data are discussed and analyzed. The experimental result shows that the maximum power density on the target is 1.65 W/cm² and the divergence angle in the cross direction is up to 0.96 mrad. The result is valuable to the optimization design of laser systems.

Key words: high-energy laser; optical quality; divergence angle; power density

0 引言

高能强激光已广泛应用于科研、工业和军事等领域, 其光束质量的精确计量对激光器性能的评价及激光武器系统作战效能的评估至关重要^[1-5]。CO₂ 激光器由于能够产生高质量的

激光光束而受到广泛重视, 但是如何评价其光束质量一直是困扰激光研究者的一个重要问题。

高能激光在开放的大气中远距离传输时, 由于受一系列的线性效应和非线性效应的影响会随机漂移, 而且其能量在光束截面上会重新分布如发生扩展、畸变、破碎和弯曲等, 使其远

收稿日期: 2012-09-14

作者简介: 王思雯 (1983-), 女, 吉林松原人, 博士, 助理研究员, 主要从事光电对抗、激光干扰等方面的研究。

E-mail: wangsiwen2001@163.com

场光束质量受到破坏。在激光军事与工程应用中,为了准确地判断焦平面处的光束质量,通常需要测得激光束的绝对空间能量分布,从而得到激光束的总能量、光斑大小、光强分布等多种光束质量评价参数。以往采用能量计和 CCD 直接测量的方法是不适用的^[6],因为在实际的强激光远场光强测试中,远场光斑的直径较大,功率和能量密度较低,能量计或功率计无法探测到。因此本文提出一种远场光斑相对测量和绝对测量相结合的测试方法,以便获得高能激光器的更加接近真实的绝对空间光强分布。

1 远场功率密度的测量与分析

1.1 实验方案

如图 1 所示,系统主要由 CCD 相机、主控计算机、激光靶板以及激光功率测试箱、光斑测试拟合软件等部分组成。

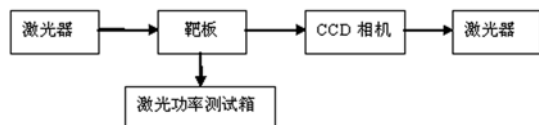


图 1 激光远场测试系统组成示意图

激光器以一定的频率照射位于一定距离外的靶板;光脉冲经靶板漫反射,再经滤光片、衰减片及光学镜头成像于 CCD 光敏面上;图像采集卡将 CCD 相机输出的光斑视频图像采集到计算机,然后对图像数据进行处理,得到激光能量密度的相对分布。激光功率测试箱配合 CCD 相机使用,通过测量靶板上一系列特定点的功率来对 CCD 相机得到的图像灰度值进行标定,确定图像灰度与激光能量(密度)之间的对应关系,从而获取整个光斑的空间能量密度分布。

激光功率测试箱是本实验的关键设备之一,它可以在外场测量时提供相当于实验室的暗箱环境,从而屏蔽外界背景光和空气流动对探测结果造成的影响。测试箱里装有导轨和光学支架,可用来精确调整透镜及探测器等设备的位置。它的总体三维效果如图 2 所示,其中反

射镜的反射率、透镜的透过率以及旋转衰减片的衰减率都需要事先给出标定。

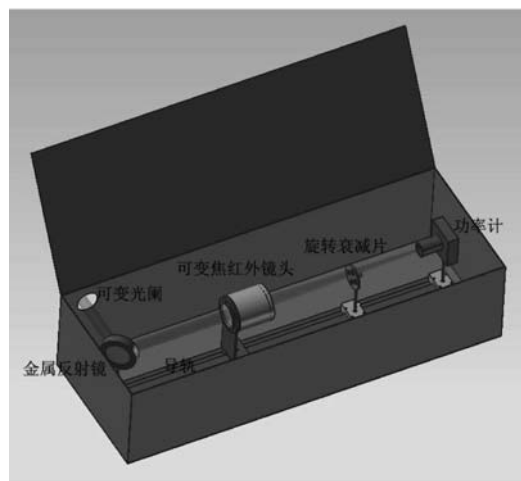


图 2 激光功率测试箱

实验时需要标定漫反射板的测试位置,并根据不同距离在漫反射板上标定不同测试位置。为此制作了一块激光功率测试靶板,其大小和漫反射板大小相同。该靶板上打有 361 个固定螺孔,排列为 19×19 的方式。设左上角为原点,则右下角坐标为 (20,20)。

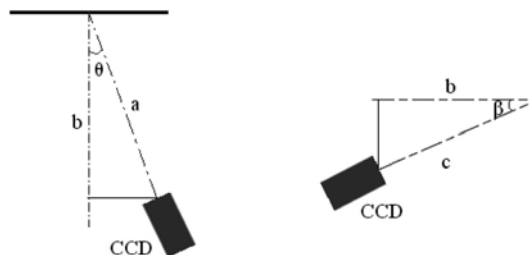


图 3 CCD 和靶板的相对位置

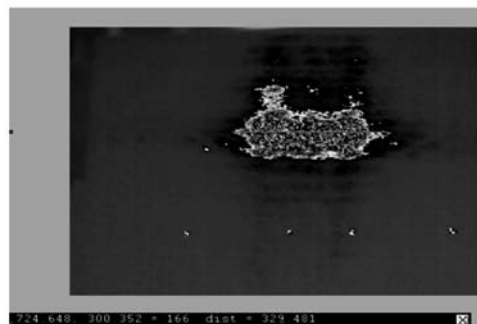


图 4 CCD 记录的光斑图像

1.2 试验结果与分析

激光器和漫反射板的距离为 500 m, CCD 和漫反射板的相对位置如图 3 所示, 水平夹角为 20° , 仰角为 5° , $a=c=2.9$ m, $b=2.5$ m, CCD 记录的光斑形状与大小如图 4 所示。

利用图像处理软件对图像进行处理, 图 4 的左下角记录了光斑长 $\text{dist}=329.481$ (既 330 像素), 同样方法, 光斑的高度为 140 个像素, 至此可知此光斑为 330×140 像素。由于使用 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 漫反射板接收光斑, 且 CCD 视场正好包含漫反射板宽度边缘, 所接收到的图像的尺寸为 1024×768 。据此对应关系, 可以确定光斑尺寸为 $32 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$, 由此可得此激光的远场发散角为 $0.96 \text{ mrad} \times 0.54 \text{ mrad}$ 。

由于 CCD 视场正好包含漫反射板宽度边缘, 但未全包含高度, 可知 CCD 视场覆盖了漫反射板的 $1 \text{ m} \times 0.75 \text{ m}$ 的面积。已测得激光出口处输出平均为 7.0 J , 光斑大小为 $35 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$, 能量密度为 0.57 J/cm^2 , 测试靶板螺孔半径为 6 cm , 表 1 列出了测量多点后图像与所测数据匹配结果。图 5 给出了考虑匹配系数后的光强分布三维图和实际记录的光斑三维分布图。

表 1 图像与所测数据匹配参数

坐标	功率 (W)	图像中对应的坐标	对应的像素	功率密度 (W/m^2)
(6, 9)	1.9	(307,345)	65	168
(6,10)	1.3	(307,384)	50	115
(6,11)	1.8	(307,422)	70	159

由于大气湍流的作用, 脉冲光束会偏离原来的传播方向, 造成靶面上的光斑随机漂移。由于散射体的衍射作用, 光斑的直径也会扩大。如果在强湍流下, 光斑还会分裂成多个随机斑点, 不再保持原有的形状。这些都会给我们后期的测量带来一定的误差, 为此我们采用光斑复原的方法, 试图还原真实的光斑空间光强分布, 并和采用光束质量分析仪记录的光斑形状进行对比。

从图 5 中可以看出, 此光斑功率集中于中心位置, 由于大气湍流的影响分布不均匀且在边缘存在较强的衍射峰值, 即出现了旁瓣现象。

同时光斑出现了光轴漂移, 偏离了中心的靶面位置。通过用表 1 中的数据 and CCD 记录的光斑相对分布的灰度值进行复原 (图 5(a)) 和实测图 (图 5(b)), 三维光强分布相当吻合。这说明我们提出的实验方案能够满足高功率激光远场光斑分布的测量要求, 是一种简单易行且精度较高的方法。通过对复原图进行最小二乘拟合可知, 到达靶板的总功率为 1.21 kW , 即 500 m 处的大气透过率为 86.8% 。

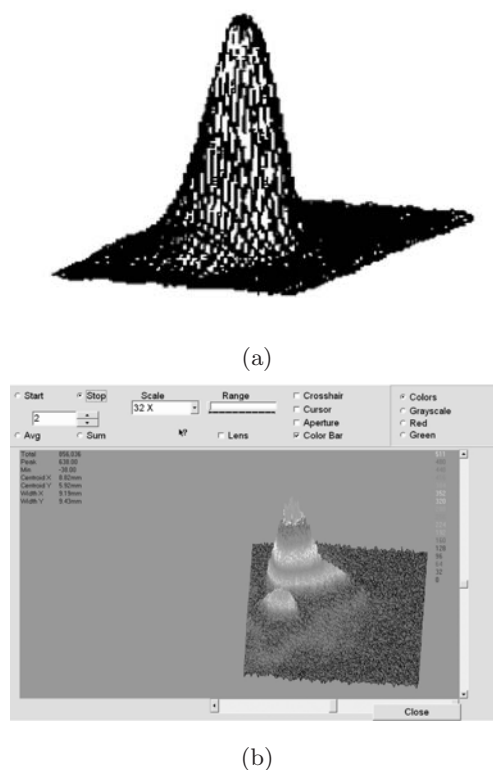


图 5 远场光强三维分布对比图, (a) 为光强分布复原图, (b) 为实测光强分布图^[24]

2 结论

根据激光军事与工程应用需要准确判断焦平面处的光束质量的要求, 提出了一种远场光斑相对测量和绝对测量相结合的测试方案。首先给出了非稳腔输出光束远场分布的理论模型及光束的传输特性。通过实验与理论分析得到了高率非稳腔激光器的更加接近真实的绝对空间光强分布。实验结果表明, 影响高功率非稳腔激光器远场光束质量最主要的因素为大气传输

(下转第 38 页)