

用面阵探测器测量激光光束质量

张 明 辉

摘要: 本文利用面阵 CCD 探测器, 测量各种情况下的激光光束特性。这种方法可以很容易地测得激光光束能量的空间分布, 并由此计算出光束中心、半径和椭圆度等参量。文中描述了这一实验装置和对 He-Ne 激光光束的各种测量的结果, 并对测量精度和影响因素进行了分析和讨论, 系统对激光辐射功率的测量精度可达 $\pm 2\%$ 。

一、引 言

在线性和非线性光学方面的大量实验, 都需要以较高的精度测量光束质量和空间分布, 而以往的线阵探测器法、照像技术和灼烧图形技术都是直接测量光斑尺寸和辐射功率, 由于获得二维信息的困难性或信息记录的非线性, 所以这些方法仅适用于较粗糙的光束特性观察; 针形孔径法需要作大量的实验; 孔径光通测量法^[1]又仅适用于圆形对称光束的测量, 不可能准确地测量椭圆形高斯光束的光通, 本文采用面阵 CCD、图像采集系统和微机, 对 He-Ne 激光光束的质量进行了测量, 利用测得的二维图像计算出了光斑中心、半径和椭圆度等参量, 这种方法克服了以往测试方法复杂和不精确的缺点, 虽然信息的获取与数据处理变得复杂了, 由于采用了计算机使测量工作简便、迅速, 结果也更加精确, 光束能量空间分布的三维显示更富有直观性。

二、测试装置

激光光束质量测定装置如图 1 所示, 被测激光器的出射光经过黑玻璃的多次反射后照到面阵 CCD 上, CCD 的型号为 U₁₀₁, 象元数为 500(水平) × 582(垂直), 象元中心距为 20 μm (水平) × 16 μm (垂直), CCD 的输出信号经 CA5300 图像卡数字化后由计算机采集, CA5300

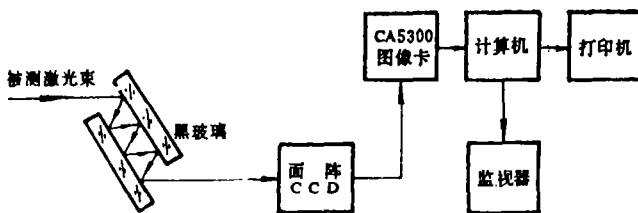


图 1 测试装置原理图

图像卡的模数转换为 8 位，计算机对测得的图像进行各种数据处理以得到所需要的光束特性。光斑图像和计算机处理结果分别由监视器显示和打印机记录。

测试中由于激光器出射光太强，直接照射会使面阵 CCD 达到饱和，所以我们在光路中加入两块黑玻璃，通过两块玻璃之间多次反射，对光强进行衰减，测试中通过调节光束的入射角度和反射次数来衰减激光束的光强。测试中没有采用透射式衰减滤光片，原因是光束通过滤光片时，滤光片各表面的反射光相互作用将产生干涉，破坏了激光光束的质量。采用反射式衰减，避免产生干涉现象，尽量防止或减少了光斑畸变。

三、测量结果及分析

实验中分别测量了 He-Ne 激光器的远场、近场、激光器启动和启动后一小时激光光束的状况。图 2 示出了各种情况下光束的辐射功率分布立体图，图中 (a) 为远场、(b) 为近场、(c) 为激光器刚启动时、(d) 为启动后一小时的光束空间分布。由图 2 可以看出，(a) 和 (b) 形状相似，(c) 和 (d) 的形状相似，但 (a)、(b) 和 (c)、(d) 之间差异很大，这是因为 (a)、(b) 和 (c)、(d) 是分别在不同日期测量的。这说明随着时间和环境温度等条件的变化，激光器输出光束的质量也发生变化。但从空间分布立体图 2 中看不出图 (a) 和图 (b) 之间、图 (c) 和图 (d) 之

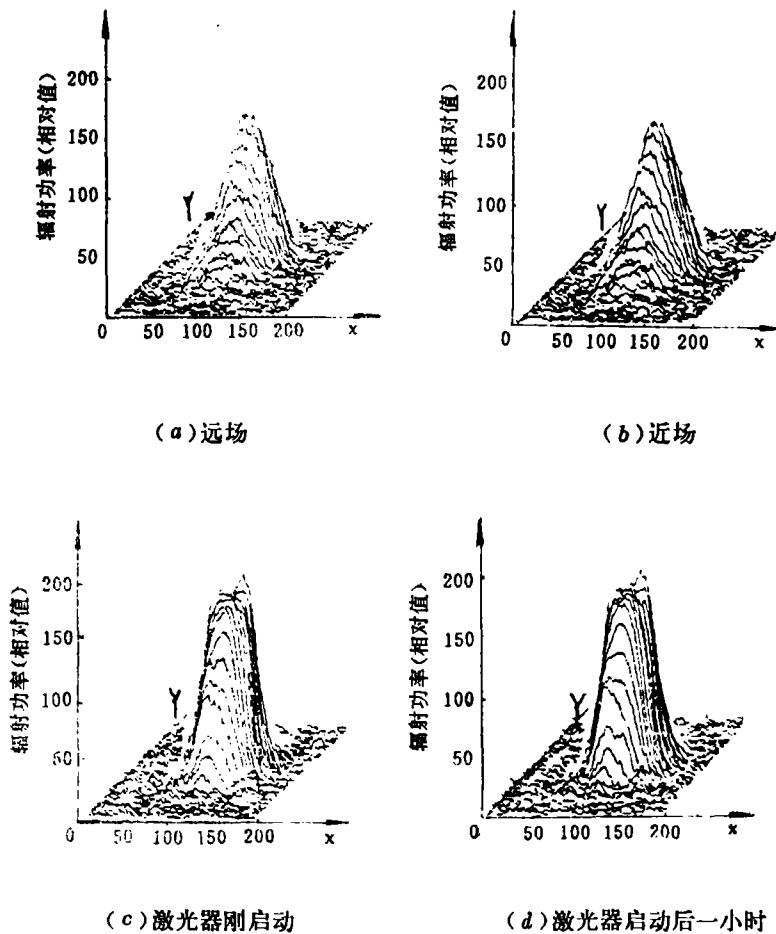


图 2 激光辐射功率空间分布图

间有显著差异。测试中由于 CCD 暗电流和杂散光等因素使背景有一定的强度值，所以在计算光束参量之前，应首先扣除背景。由测得的四帧图像计算出它们各自的背景分别为：4.1ADU、3.3ADU、4.0ADU、4.4ADU (Analogue digital converting unit 模数转换单位)，然后从各图像中分别扣除。

理想的单模激光辐射功率随半径的变化关系应为高斯型，测试激光束辐射功率分布与高斯型的偏离程度也是评价其质量的一项内容，所以实验中对测试数据进行了高斯拟合。拟合之前应首先确定激光束的中心坐标，本文采用重心计算方法获得各图像的中心坐标，这比以前的目视法^[2]更客观和准确，因而提高了测试的精确程度。图 3 示出了各图像在水平方向的高斯拟合结果，垂直方向的拟合结果也大致相似。由图中拟合结果可以看出，(a)、(b) 与

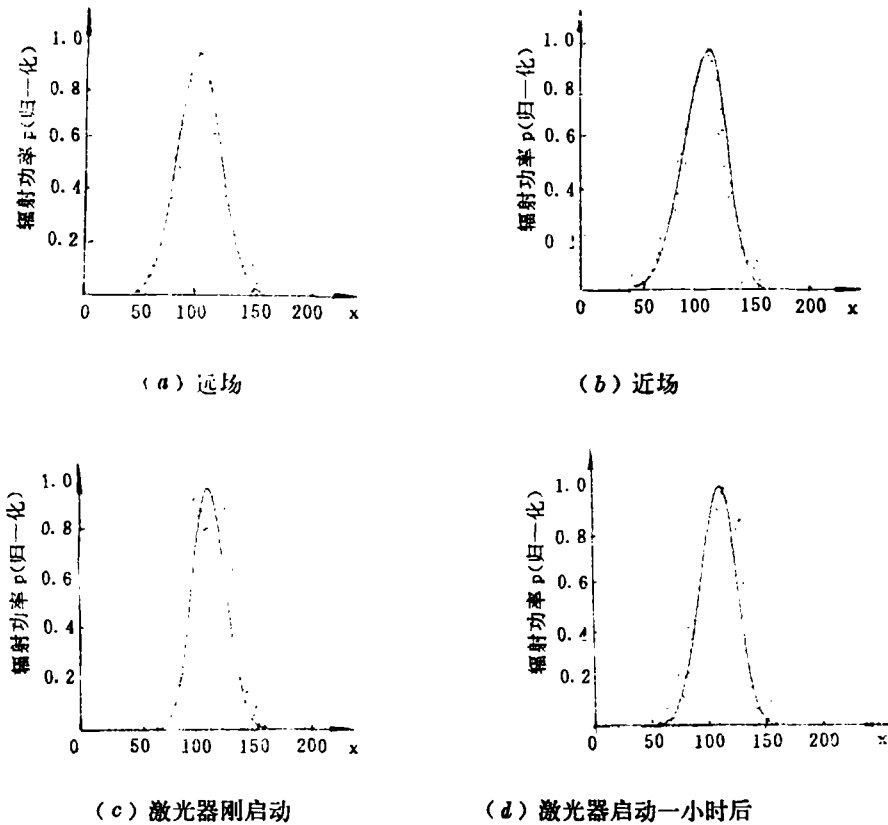


图 3 辐射功率的高斯拟合曲线

(图中 —— 拟合曲线 测量值)

高斯分布比较接近，(c)、(d) 在峰值处偏离较大。根据高斯拟合结果，我们分别求出各图像强度下降到峰值强度 $1/e$ 处水平方向和垂直方向半径值，由两个半径值之比求出各图像椭圆度分别为：1.032, 1.041, 1.025, 1.023。

在确定各图像的椭圆度之后，根据其椭圆度选取椭圆形孔径，计算出随着孔径半径值的不同，该孔径内包含的所有象元辐射通量的总和，图 4 示出了不同半径内光束辐射通量的变化情况。从图中曲线可以看出，随着半径的增加，先是光辐射通量迅速增加，然后增加的趋势变缓，最后趋于一稳定值。光束半径的一种定义是，包含激光束总能量 90% 的半径值^[2]。由辐射通量随半径的变化关系，求出各图像水平方向的半径值分别为：6.03mm, 6.18mm, 5.85mm, 5.75mm。在垂直方向上的半径值分别由这些值与椭圆度相乘求出。

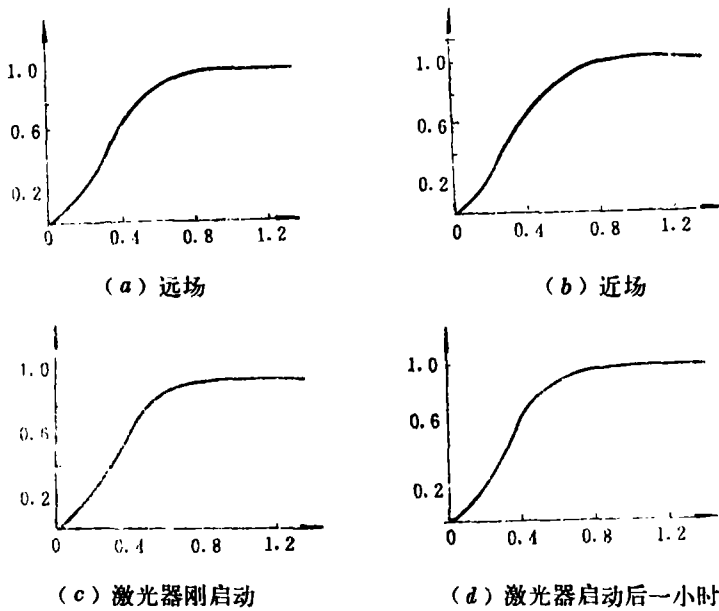


图4 不同半径内光束辐射通量的变化情况

(图中横坐标为半径 R (mm), 纵坐标为光辐射通量的规一化值)

光束参量测量精度是光束空间能量分布测量精度决定的。在所建立的测试装置中, CCD象元中心间距为 $20\mu\text{m}$ (水平) \times $16\mu\text{m}$ (垂直), 这规定了装置在水平和垂直方向所能达到的空间分辨率。影响光束辐射功率测量精度的因素有两个: 一是 CCD 摄像系统的信噪比和动态范围, 二是 CCD 光敏元响应度的不均匀性。装置中采用的面阵 CCD 系统信噪比 40dB, 动态范围为 100, 响应度不均匀性测试结果为 4.6%, 所以辐射功率测量精度约为 $\pm 5\%$ 。如果对测得图像进行均匀性校正, 则可将辐射功率的测量精度提高到 $\pm 2\%$ 左右。

四、结 论

利用面阵探测器和图像采集系统能够方便地测得激光束能量分布的图像, 因而在实验上简化了光束质量的测定。其后的图像处理和分析, 使我们能够快速获得所关心的光束参量, 如光束中心位置、椭圆度、能量分布、半径等, 对光束质量其它有意义的信息要求也可通过相应的数据处理来达到。

这种光束质量测定方法不仅适用于连续激光光束质量的测量, 如果在测试系统中加入脉冲同步装置, 它也可适用脉冲光束 (脉宽 $> 100\text{ps}$) 质量的测定是激光光束质量测定的快速和有效的方法。

本文是在应用光学国家重点实验室完成的, 崔敦杰副研究员对本文提出了宝贵的建议, 同时也得到了任建伟、姚海顺等同志的帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Y.Suzaki and A.Tachibana, *Apple.Opt.*, 14, 2809—2810 (1975)
- [2] Michael D.Duncan and Rita Mohon, *Apple.Opt.*, 28, 4569—4575 (1989)

Laser Beam Quality Measurement Using Area Array Detector

Zhang Minghui

Abstract

This paper reports a method that measures laser beam characteristics by means of area array CCD. This method can easily get the energy distribution of laser beam, and the center, radius and ellipticity of the beam can be calculated from energy distribution. The measurement arrangement is described and measured results about He-Ne laser are given in the paper. Also, the measurement uncertainty is analyzed and discussed.