

大功率CO₂激光器输出光束远场光强分布测量

蒋丽娟

(桂林光通信研究所, 桂林)

摘要: 本文描述了用二维扫描法测量大功率TE CW CO₂激光器输出光束远场光强分布的实验方法。并对测量系统的可靠性、实用性进行了分析,给出了对2kW TE CW CO₂激光器的实际测量结果。

The measurement of a high-power CO₂ laser's output
intensity distribution in far-field

Jiang Lijuan

(Guilin Institute of Optical Communication)

Abstract: An experimental method for measuring the intensity distribution of a TE CW CO₂ laser beam in far-field by two dimensional scanning is described. The reliability and practicability of the measurement system have been discussed in detail. The measurements of a TE CW CO₂ laser with 2 kW output are given.

一、引言

激光束的远场光强分布是激光器光束质量的重要指标之一。如何准确测量大功率激光束的远场光强分布,是大功率激光器的应用课题。由于大功率激光束功率密度大、模式结构一般很复杂,光场分布也不再是理想的高斯分布,因而传统的测量方法所测得的结果,是相当不准确的。例如打靶法^[1],是用经过标定的记录介质来记录远场光强分布形状的方法,在激光功率密度很高时,激光与物质相互作用的机理很复杂,在受辐照介质表面就会出现各种错综复杂的现象,如光的吸收、反射、散射、热传导、液化、汽化、喷溅等等。再简单地认为辐照痕迹即代表光场分布,显然是不行了。一维扫描法^[2]的测量结果虽然比较可靠,但它只能测量出光束某一截面上的分布,对于远场分布复杂、无对称性的激光束,某一截面上的分布,并不能反映远场分布的全貌,并且在激光器工作的几秒钟内,往往很难确定所测得的是哪一个截面上的分布。可变光阑法^[3]与种种基于远场分布为高斯分布的测量方法,都要求被测光斑为轴对称或按高斯分布,显然也不再适用了。

我们所采用的二维扫描法，基本上弥补了上述种种测量方法的缺陷。原则上可用于各种激光器输出光束的远场分布的测量。该方法的特点是激光束与探测器都固定不动，而用一个带有许多按螺旋规律分布的小孔的旋转圆筒来代替一维的扫描装置，以一维的旋转动作完成二维扫描，从而测出光场的空间分布。我们用此装置对2kW级的TE CW CO₂激光束进行了测量，在后面我们将给出测量结果。

二、测量原理与实验装置

激光束的远场分布是指它在无穷远处屏上所产生的光强分布，亦即它的夫琅和费衍射花样。在实际测量中，是将激光束聚焦后，在聚焦镜的焦平面上观察的。测量装置如图1所示。激光束经衰减后，入射到反光聚焦系统进行聚焦进入扫描筒，扫描筒内反射镜将光束反射到其内壁，再由扫描装置扫描。扫描后的光信号由热释电红外探测器接收，然后送入存储示波器中显示。实验结果由示波器照相机记录。实验系统中的He-Ne管、扩束望远镜、内调焦望远镜以及光功率计，都只用于光路调整及功率监视之用。

扫描原理如图2所示。扫描筒上有许多按螺旋状分布的小孔，各小孔间的轴向间距及小

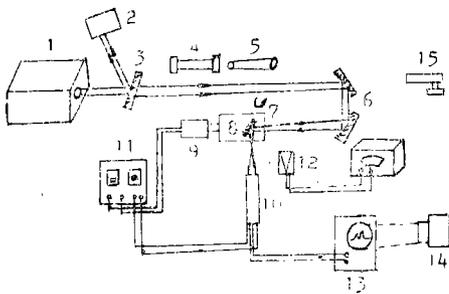


图1 激光束远场光强分布测量装置示意图
1—TE CO₂激光器 2—激光吸收装置
3—激光衰减器 4—He-Ne激光器 5—扩束望远镜 6—聚焦系统 7—扫描圆筒
8—45°反光镜 9—SZ61直流伺服电机 10—热释电红外探测器 11—直流稳压器
12—激光功率计 13—PM-3266型存储示波器 14—示波照相机 15—内调焦望远镜

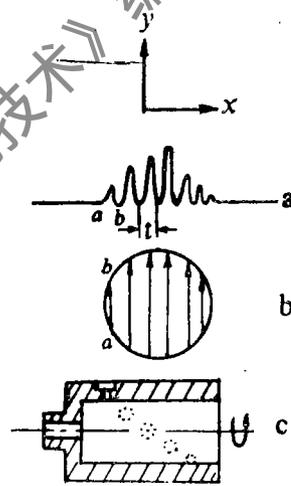


图2 扫描原理示意图
a—实验记录曲线 b—被测光斑
c—扫描筒

孔孔径、以及相邻两孔的圆心角均由被测光斑大小决定。当扫描筒以一定的转速依次扫过被测光斑时，在图2所示坐标系下，示波器记录下来的扫描曲线上的每一个小波代表了在 x 方向上某一特定截面光强沿 y 方向的相对分布。而扫描曲线的包络则代表光强在 x 轴上的分布。根据实验记录下来的扫描曲线及扫描时间 t ，很容易绘出远场光强分布的立体图形^[1]。

对于连续型大功率激光束的光场分布测量，主要要解决如下几个问题：1. 光束的无畸变衰减；2. 聚焦系统的象差校正；3. 扫描筒转速与探测器响应时间的匹配；4. 光路调整等问

题。下面我们逐一进行讨论。

1. 光束的无畸变衰减

由于光探测器所能探测的能量是有限的，因而高能激光束只有经衰减后才能由探测器检测，故而测量中所用的衰减器必须在不改变激光束远场分布的前提下将激光功率密度衰减至所需要的值；同时还要能承受高能激光束辐照。

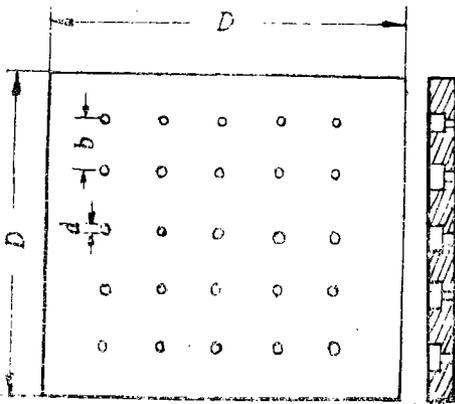


图3 光栅式衰减器结构示意图

由二维取样理论可证明^[1]，任意一束光，只要其发散角小于 λ/d ，它通过光栅后的远场分布是由一系列分立的光斑组成的方阵，各斑点在 x, y 方向间距均为 λ/d 。不难证明方阵中第 m 行第 n 列光斑的光场分布 I_{mn} 与同一光束未经衰减时的远场分布 I_0 几何相似。故而由一系列 $m \times n$ 个小孔按一定间距 b 排列而成的小孔衍射光栅是一种较理想的衰减器，其结构如图3所示。它的衰减作用主要有两种，其一是由于入射到光栅前表面的大部分不能透过，只有小孔处的光能透过。

在光束直径远大于小孔直径的条件下，由光栅输出的总光通量与入射到光栅上的总光通量的关系为：

$$\omega_{出} / \omega_{入} = \pi d^2 / (4b) \quad (1)$$

式中， b 为两孔间距； d 为小孔直径。显然合理选取 b, d 的尺寸，就可以达到预定的衰减效果。第二种衰减作用是由于光的相互干涉，透过光栅的光的远场分布是由一系列分立的光斑组成的。如果在聚焦镜的焦平面处加一光阑，仅让某一阶衍射光斑通过，就可达到再次衰减的目的。光栅式衰减器的特点是能承受很大的入射光功率密度，工作稳定可靠、接收面积大，但只能用在发散角小于 λ/d 的场合，且加工较困难。

在红外平行平晶上镀制有一定透过率膜层来达到衰减的目的，是另一种较为常用的衰减器。其优点是使用方便且反射光尚可作其它测量之用。缺点是窗片在高能激光束作用下，对透射光有一定的畸变作用，必要时必须采取冷却措施。

实验中我们使用的是透过率为15%的ZnSe窗片并加有风冷及水冷措施。

2. 聚焦系统的象差矫正

用单面聚焦镜进行聚焦时，由于聚焦镜与光路呈 45° 角放置，使得入射光与聚焦镜光轴之间产生 45° 的夹角。在用He-Ne光进行光路调整时，我们发现在聚焦镜焦平面上不可能获得一个理想圆斑，而是一个带有倾角的亮线，而在焦平面附近则分别是长半轴平行或垂直于弧矢的椭圆(如图4所示)。为了矫正象散差，可用两个光轴互相垂直的、同样焦距的反射镜来进行相互补偿，这样就可以在第二面反光聚焦镜的焦平面附近获得理想的圆斑。在实验中我们用此方法获得了象差较小的结果。

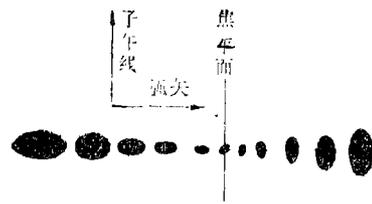


图4 以 45° 角入射到聚光镜所产生的象散

3. 扫描筒各参数的选取及其转速与探测器响应时间的匹配

扫描筒上小孔的尺寸，要综合两方面的因素来考虑。从测量的准确性来考虑，小孔要尽可能小。这样才能保证每一小孔的波形代表的是在x方向某一截面的分布。然而小孔过小会造成加工困难。另外考虑到小孔衍射效应，小孔也不能取得过小。在我们的实验装置中，小孔取为 $\phi 0.7\text{mm}$ 。此外，为保证测量精度，要求首末两孔间的轴向距离及相邻两孔圆心角间弧线在圆筒截面上的投影长度稍大于被测光斑直径。为此我们取圆筒的内径为 $\phi 78\text{mm}$ ，外径为 $\phi 80\text{mm}$ ，相邻两孔轴向间距为 0.5mm ，其间圆心角为 15° 。为了区别每帧信号，首末两孔间的圆心角为 60° ，圆筒上共有小孔21个。

探测器的响应时间，至少要保证远大于毫秒级，才能保证测量精度。对于 $10.6\mu\text{m}$ 的红外光，可供选择的探测器类型较多。HgGdTe具有响应时间快的特点(可达微秒级)，但是光敏面较小，而钽酸锂热释电探测器相对来说响应时间慢些(毫秒级)，但光敏面较大、承受的光功率密度较大。对于高能激光束光场分布的测量，很重要的问题是光能密度的衰减。因而我们选取热释电探测器。再者热释电探测器比起HgGdTe器件来，工作条件要低得多，可在

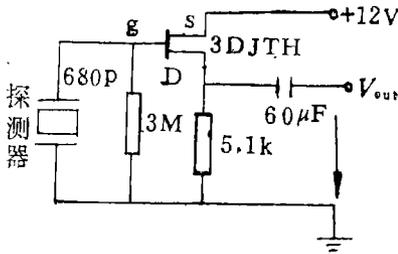


图5 探测器等效工作电路

室温下工作，成本较低，线性工作范围较大。另外还有一大优点，它可以通过调整其工作电路中的匹配电阻来获得不同的响应时间。我们用的探测器工作电路如图5所示，其响应时间为 2.04ms 。选定探测器后，扫描筒的转速就可随之而定。考虑到与示波器信号同步，经实验比较后其转速定为 400RPM 。

4. 光路调整问题

实验时，我们是先用He-Ne光来调整光路。用内调焦望远镜对准 CO_2 激光器输出镜中心，然后将He-Ne光置于光路中，使其输出镜中心对准望远镜分划板中心，调整后He-Ne光固定。再用He-Ne光来调整衰减器位置及聚焦系统，使聚焦光斑完全为圆斑为止，然后再调探测器位置。

5. 实验可靠性分析

影响可靠性的因素有如下几个：1. 衰减器对光束的畸变作用；2. 探测器响应时间与扫描筒转速的匹配及与示波器信号的同步；3. 扫描筒壁厚的影响。前两个问题在前面已讨论，在采取冷却措施及合理选择参数的前提下，可以认为这两个因素对实验可靠性的影响是可忽略的。下面我们主要分析扫描筒壁厚的影响。我们考虑扫描筒壁上沿轴向正中央的小孔(第11孔)在沿光斑的一边到另一边转动时，最大偏角时，小孔处于光斑边缘的情况。设外壁处光斑直径为 D ，壁厚为 ΔR ，扫描筒外径为 R (如图6所示)，则光斑在内壁处的直径 D' 为：

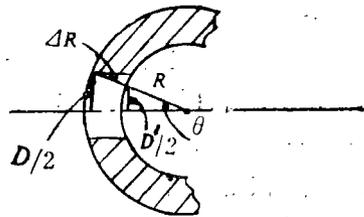


图6 壁厚的影响分析用图

$$D'/2 = (R - \Delta R) \sin \theta' \approx (R - \Delta R) \cdot \frac{D/2}{R} \quad (2)$$

$$\text{则通光面积比 } S'/S = \pi(D'/2)^2 / [\pi(D/2)^2] = D'/D \quad (3)$$

将 $R = 40\text{mm}$, $\Delta R = 0.5\text{mm}$, $D = 5\text{mm}$ (聚焦光斑) 代入上两式, 可得出 $S'/S = 0.9875 = 98.75\%$ 。可见壁厚的影响是可以忽略不计的。

三、实验结果

我们用此实验装置对华中理工大学激光研究所的 2kW 级 TE CW CO_2 激光器输出光束的远场光场分布进行了测量, 对激光束不同的运转条件下光束质量进行了研究^[8], 结果表明我们的实验是成功的, 实验装置是可靠的。

图7是一组在不同的输出功率下的扫描曲线及处理后(处理方法见文献[1])的光场空间分布曲线, 图8表示对应的光斑烧痕。

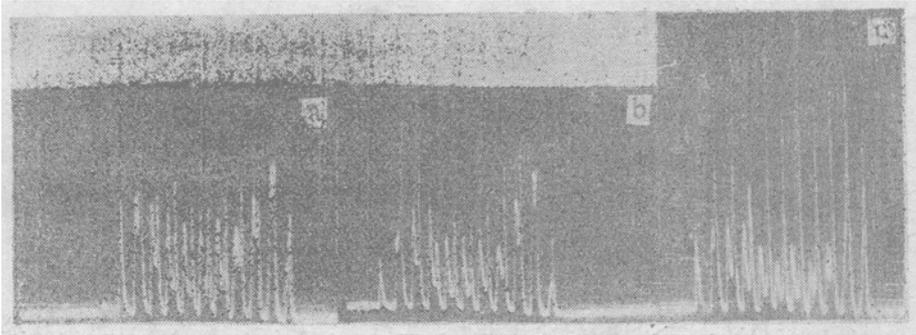


图7-1 不同输出功率下的光场远场分布扫描曲线
扫描筒转速400RPM 聚焦系统组合焦距490mm a—
 $P_{out} = 1.250\text{kW}$ $t = 5\text{ms/cm}$ b— $P_{out} = 1.744\text{kW}$
 $t = 5\text{ms/cm}$ c— $P_{out} = 2.356\text{kW}$ $t = 2\text{ms/cm}$

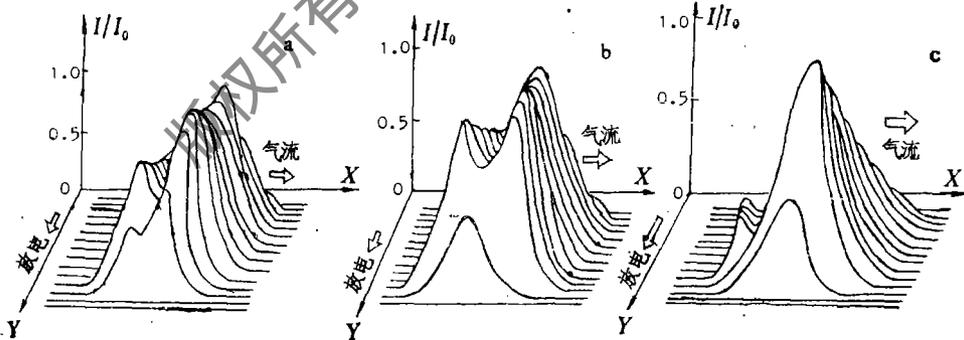


图7-2 不同输出功率下的光场远场分布空间分布曲线(对应于扫描曲线)

- a— $P_{out} = 1.250\text{kW}$ 注入电流 $i = 3.5\text{A}$ $P_{in} = 8.717\text{kW}$ 对应光斑号119
b— $P_{out} = 1.744\text{kW}$ 注入电流 $i = 4.5\text{A}$ $P_{in} = 12.333\text{kW}$ 对应光斑号121
c— $P_{out} = 2.356\text{kW}$ 注入电流 $i = 6.0\text{A}$ $P_{in} = 15.258\text{kW}$ 对应光斑号124



图8 对应于图7的激光光斑烧痕(距窗表面1.5m处烧得)

- a— $P_{out} = 1.250\text{kW}$ 对应光斑号119
 b— $P_{out} = 1.744\text{kW}$ 对应光斑号121
 c— $P_{out} = 2.356\text{kW}$ 对应光斑号124

四、结 论

实际测量结果表明,我们所讨论的这种二维扫描法对大功率激光束的远场光强分布的测量结果是可靠的,对于研究激光器运转特性及光束质量,它是不可缺少的装置。

感谢华中理工大学激光研究所李再光所长、李适民教授对作者的指导。并向该所大功率 CO_2 激光器研制小组全体同志的支持表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 《激光》, 1979年, 第1期, 第36~38页。
 [2] J.A.P., 1974, Vol.45, No.1, P.350~356.
 [3] 《中国激光》, 1986年, 第13卷, 第9期, 第600页。

作者简介: 蒋丽娟, 女, 1957年5月出生。工程师, 硕士。曾从事过激光技术、光纤通信无源器等方面的研究工作。现从事相干光纤通信研究工作。

收稿日期: 1989年8月26日。

· 简 讯 ·

一次充气的ArF准分子激光器发射了7千5百万次脉冲

加拿大安大略省卡纳塔的Lumonics公司研制了一种新型准分子激光器, 创造了ArF气体寿命的纪录。600型准分子激光器用冷冻气体处理机运转, 创造了一次充气后发射7千5百万次脉冲的纪录。在3天试验期间, 该激光器保持稳定的50W平均功率电平, 脉冲重复频率300Hz。

据市场销售负责人R.Sandwell说, 七千五百万次数字表明“比以前的技术水平提高了大约20倍”。

摘自L.F.W., 1989, Jan., P.9.

卢中尧 译 封鸿渊 校