

# 2.5kW CW CO<sub>2</sub> 激光束远场光强分布 及其方向性的测量

杨逸根 唐士清 查鸿逵 王润文

(中国科学院上海光机所, 201800)

**摘要:** 本文给出探针扫描法测量 2.5 kW CO<sub>2</sub> 激光束一维远场分布及发散角的实验结果; 分析确定了分辨率、误差与结构参数间的关系。

**关键词:** 探针扫描

## Measurement of 2.5kW CW CO<sub>2</sub> laser beam's far-field intensity distribution and its divergence

*Yang Yigen, Tang Shiqing, Cha Hongkui, Wang Runwen*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

**Abstract:** The measurement of 2.5 kW CO<sub>2</sub> laser beam's far-field intensity distribution in one dimension and its divergence by scanning the beam across a wire probe are described, and the dependence of the resolution and the error of the system on the structure parameters are analysed.

**Key words:** scanning by wire probe

不能直接用探测器扫描来测量 kW 级 CWCO<sub>2</sub> 激光束的光场分布, 解决这一问题的关键是要将激光功率进行不失真的衰减, 为此已发展了多种测量方法<sup>[1~4]</sup>。我们选用了探针扫描法测出了 2.5 kW CWCO<sub>2</sub> 激光远场分布, 表明这种方法结构简单, 测量范围较大。本文将对实验装置与结果、设计参数与分辨率、误差等方面分别加以描述。

### 一、实验原理及实验装置

当有一圆柱体垂直放置在宽度为  $\omega$  的光束中时, 光束将在很大范围内发散开来; 当圆柱体如图 1 垂直切割光束时, 柱体在位置 A 时, “光线” 1 在某一角度的反射光将反射到探测器上, 当柱体移到位置 A' 时, “光线” 2 的另一角度的光将反射到探测器上; 如此下去就能实现对激光束的扫描。用一转速为 3000 rpm ( $f = 50$  Hz) 的同步电动机带动探针的转动, 而探针直径做得很小, 如  $\phi = 2$  mm, 这样探针和探测器上实际接收到的激光功率便很小, 从而起到衰减

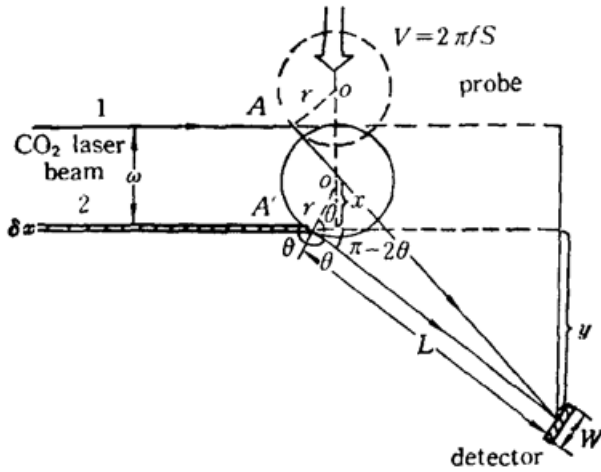


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental principle

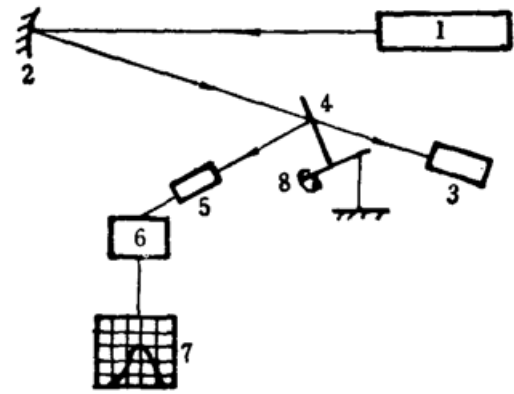


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup

1—CO<sub>2</sub> laser; 2—focusing mirror; 3—laser stop; 4—wire probe; 5—detector; 6—amplifier; 7—oscilloscope; 8—motor

作用, 实验装置如图 2。下面对此装置进行一些分析。

### 1. 分辨本领

如图 1, 接收宽度为  $W$  的探测器对应着光柱宽度为  $\delta x$  的“光线”, 假设  $L \gg \omega$ ,  $L \gg r$ ,  $L \gg W$ , 则  $\delta x = W r / (2L) \cos \theta$ 。若探测器另一维方向的长度为  $B$ , 则探测器接收到的功率正比于  $B \delta x$ , 因而分辨本领是由  $\delta x$  决定的。就我们的条件  $W = 1 \text{ mm}$ , 探针半径  $r = 1 \text{ mm}$ ,  $L = 100 \text{ mm}$ ,  $\theta = 30^\circ$ , 则  $\delta x \approx 0.004 \text{ mm}$ , 可见分辨本领可达  $10^{-2} \text{ mm}$  量级。

### 2. 对探测器的要求

探针经过直径为  $\omega$  的光斑所需的时间为  $\omega / (2 \pi f s)$  ( $s$  为电动机轴心与探针接收光斑处的距离)。当  $\omega = 6 \text{ mm}$ ,  $s = 100 \text{ mm}$  时,  $\omega / (2 \pi f s) \approx 0.2 \times 10^{-3} \text{ s}$ , 可见探测器的响应时间要求小于  $10^{-3} \text{ s}$ 。使用热释电探测器可满足此要求。

### 3. 衰减倍率与测量范围

激光束在探针上的功率密度为  $P / [(\omega/2)^2 \pi]$ , 则探测器接收到的功率为  $\{P / [(\omega/2)^2 \pi]\} (B \delta x)$ , 衰减倍率为  $\pi (\omega/2)^2 / (B \delta x)$ 。当  $B = 1 \text{ mm}$  时, 衰减倍率约为 3000, 热释电探测器一般可承受  $1 \text{ W/mm}^2$  的光强。因而此装置可测量光强约  $3000 \text{ W/mm}^2$  的激光束。

### 4. 误差分析

(1) 当探针截面为标准圆时及探针截面为长短轴分别为  $a = 1.1 \text{ mm}$ ,  $b = 1 \text{ mm}$  的椭圆时探测器上接收的功率分析如表 1, 其中  $\theta_1$  为探针进入光束过程中, 探测器刚接收到光信号时“光线”的入射角;  $\theta_2$  为探针离开光束过程中, 探测器刚刚接收不到光信号时“光线”的入射角。可以计算出当探针截面为标准圆时, 由于探针切割光束时光线的入射角不同引起的误差为  $2(0.00432IB - 0.00416IB) / (0.00432IB + 0.00416IB) \times 100\% = 3.77\%$ , 而探针截面为椭圆时为  $5.37\%$ , 因此由于探针不圆度 (10%) 引起的误差为  $5.37\% - 3.77\% = 1.60\%$ , 这一误差在测量时是允许的, 可见探针的选择并无光学要求。

(2) 探针的扫描速度为  $V = 2 \pi f s$ , 由于探针作圆周运动, 当探针经过宽度为  $\omega$  的光斑时引起  $s$  的变化  $\Delta s = \omega / 2 \sin[\omega / (2s)] = 0.1 \text{ mm}$ , 从而引起扫描速度的不均匀为  $0.1\%$ , 也就使

Table 1 Power on the detector in various conditions

Spape of the wire probe section	Expression of $P(\theta)$ recieved by detector	$\theta_1=30^\circ$	$\theta_2=33.5^\circ$
Circle( $r=1$ mm)	$IB[r \sin(\theta+W/2/L) - r \sin \theta]$	0.00432 IB	0.00416 IB
Ellipse( $a=1.1$ mm, $b=1$ mm)	$IB[c_{\theta+W/2/L} \sin(\theta+W/2/L) - c_\theta \sin \theta]$	0.00440 IB	0.00417 IB

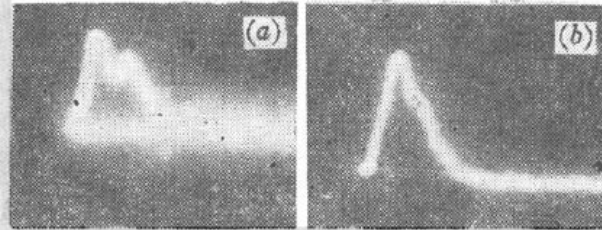


Fig. 3 Oscillogram of the CO<sub>2</sub> laser beam's far-field intensity distribution ( $t=0.1$  ms/div,  $f=1000$  mm) (a) Resonator is misaligned,  $P=2.35$  kW; (b) Resonator is aligned,  $P=2.5$  kW

探测器上接收的功率产生 0.1% 的误差, 与上述误差相比这一误差可以忽略。

## 二、结果与讨论

实验时先用 He-Ne 激光束准直光路, 使探测器上能接收到反射光; 得到信号后调节探测器使得信号幅度最大, 然后调节电动机的前后位置、左右角度及俯仰使信号脉宽最窄; 此时便可得到激光束的一维远场光强分布。

我们对工作在 2.5 kW 的 CO<sub>2</sub> 激光器的输出光束在远场进行了测量, 选用的透镜焦距为 1 m, 谐振腔失调时及准直后光强的远场分布如图 3(a), (b), 可见模式结构发生了变化, 示波器上能够很好地反映出来。从示波器的波形可知其脉宽  $\tau=0.18$  ms, 可算出远场光斑大小为 5.7 mm, 则光束的发散角为 5.7 mrad。

将探针的扫描方向旋转 90° 可得到另一维方向上的远场光强分布。

## 参 考 文 献

- 1 G. C. Lim, W. M. Steen, *Optics and Laser Technology*, June, 149~153 (1982)
- 2 I. W. Boyd, *Optics and Laser Technology*, June, 150~152 (1983)
- 3 J. Chablat, D. Gerbet, J. L. Paradis, *SPIE*, 801, 82~85 (1987)
- 4 蒋丽娟, *激光技术*, 14(1), 39~44 (1990)