

图象叠加法测试 CO₂ 激光功率密度分布*

李俊昌 任恩杨 林 渝 吴保枢

(昆明理工大学激光应用研究所, 昆明, 650093)

摘要: 在红外大功率激光功率密度分布检测的研究中, 我们曾经提出平动狭缝采样, 并根据采样图象获得激光功率密度分布的方法。为提高测试质量, 本文提出扩大探测材料量程, 提高测量精度的图象叠加法, 简要讨论探测材料热敏特性的定标问题, 并给出相应的实验结论。

关键词: 图象叠加 红外激光功率密度检测

Measuring the distribution of CO₂ laser beam power density using picture superposed method

Li Junchang, Ren Enyang, Lin Yu, Wu Baoshu

(Laser Application Institute, Kunming University of Science & Technology)

Abstract: In research of measuring the distribution of infrared powerful laser power density, we put forward the method of moving narrow chink sampling and processing the sampling pictures to obtain laser beam power density distribution. To raise measurement quality, we advance a method which extends survey-material's measurement range and raises measurement precision, and discuss the calibration of survey-material hot sensitive briefly, and give relevant experiment conclusion.

Key words: picture superposed measuring infrared laser beam power density

一、引 言

近年来, CO₂ 激光器获得了令人瞩目的应用。但是, 由于激光处在难于探测的红外波段, 功率密度分布的检测一直是一个难于解决的课题。在以往的研究中, 我们曾经提出利用平动狭缝及热敏纸对激光采样, 然后通过计算机对光斑图象处理获得激光功率密度分布的方法^[1, 2]。由于这种测量方法对测试环境及测量装置均无特殊要求, 对于非实时测量, 是一种简单可靠易于推广的测试技术。为提高测量质量, 经进一步研究, 我们提出采样图象叠加的数据处理方法。利用这种方法, 不但提高了测量的灵敏度, 扩大了量程, 而且可以大大降低对采样

* 云南省应用基础研究基金资助。

探测材料的要求,利用涂有简单热敏涂料的白纸,甚至用通常白纸亦可较满意地对 CO₂ 激光光束的功率密度分布进行测试。其测量原理亦可推广到连续输出式其它激光设备。

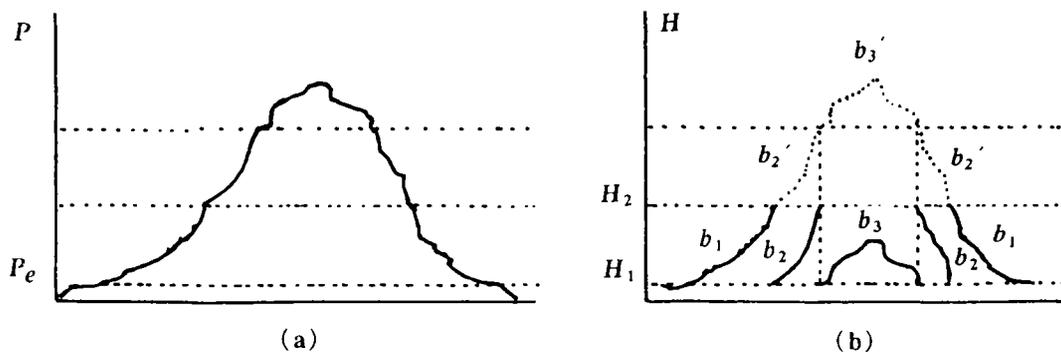


Fig.1 Principle schematic diagram of picture superposed method

二、图象叠加法测量原理

设图 1a 为某待测光束的功率密度分布。为叙述简明起见,我们用虚线将它按功率密度的高、中、低分割为三个部分。

根据探测纸面受激光辐照后灰度变化与吸收光能的多少(或辐照时间的长短)相关的物理机理,当辐照时间较短时,纸面仅对该光束的高功率密度区起反映(见图 1b 中曲线 b_3);随着作用时间加长,激光中功率密度分布在纸面产生反映(图 1b 中曲线 b_2);此后,作用时间进一步加长,纸面可以记录下低功率密度区的激光功率密度分布(图 1b 中曲线 b_1)。虽然,在实际测量中,由于探测纸面量程窄,当纸面记录下低功率密度区的分布时,对应于高功率密度区的纸面可能已经因碳化而达到灰度的饱和极大值,但是,我们给终可能利用不同作用时间测量得的光斑,取其有效部分经数据处理后进行叠加,从而获得作用光束的功率密度分布(参见图 1b 中 $b_1 - b'_2 - b'_3 - b'_2 - b_1$ 曲线)。因此,只要我们根据光斑的采样时间确定灰度分布与实际作用光束功率密度分布之间的关系,妥善衔接不同光斑有效区域所获得的功率密度信息,便可以降低对热敏探测材料的要求,用几个不同采样时间获得的光斑较满意地实现激光功率密度分布的测量。

为便于定量研究,图 2 给出某探测材料的灰度曲线。
设该灰度曲线的表达式为:

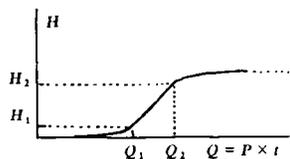


Fig.2 Grey scale curve of a kind of survey-material

$$H = F(P \times t) \tag{1}$$

或者

$$P \times t = f(H)$$

式中, H 为灰度(利用图形扫描仪可将其测量值分为 0~255 个灰度等级); P 为观察点作用激光的功率密度; t 为激光作用时间。对于狭缝采样, t 可以用狭缝宽度 a 、狭缝平移速度 v 以及狭缝平面到探测平面光束的横向放大率 M 表为^[1]:

$$t = \frac{a}{vM^2}$$

(在通常情况下,为避免狭缝衍射对测量结果的不良影响,总是让采样平面临近狭缝平面,

这时上式中 M 可视为 1)。

设光斑上灰度分布在 H_1 及 H_2 之间的部分为我们准备使用的有效区域(通常可选择灰度曲线近线性区),即对(1)式再加上如下约束条件:

$$H_1 \leq H \leq H_2 \quad (2)$$

对于给定的探测材料,灰度曲线函数 $f(H)$ 是确定的形式,从(1)式可以看出,通过对狭缝宽度及狭缝平动速度的控制,我们可以变换等效作用时间 t ,使待测光束的任意功率密度区域落在我们所选择的灰度曲线区内。换言之,一束实际激光在观察截面的功率密度分布可由采样时间分别为 $t_1, t_2, \dots, t_n (t_1 > t_2 > \dots > t_n)$ 的一系列光斑的灰度分布表示出来:

$$P = \begin{cases} \frac{f(H)}{t_1} & \left(\frac{Q_1}{t_1} \leq P \leq \frac{Q_2}{t_1} \right) \\ \frac{f(H)}{t_2} & \left(\frac{Q_1}{t_2} \leq P \leq \frac{Q_2}{t_2} \right) \\ \dots\dots\dots \\ \frac{f(H)}{t_n} & \left(\frac{Q_1}{t_n} \leq P \leq \frac{Q_2}{t_n} \right) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $Q_1 = f(H_1)$, $Q_2 = f(H_2)$ 。

这样,只要找到各表达式之间的衔接关系,便可以利用多个光斑的“叠加”获得测量结果。

根据灰度曲线(图2)可知,为恰当衔接相邻光斑的有效灰度区,必须让反映光束高功率区域光斑的灰度 H_1 对应的功率密度,与相邻的反映光束低功率区域光斑的灰度 H_2 所对应的功率密度相吻合,即第 k 及第 $k+1$ 个光斑的采样时间 t_k 及 t_{k+1} 必须满足:

$$\frac{f(H_2)}{t_k} = \frac{f(H_1)}{t_{k+1}}$$

或者

$$t_{k+1} = \frac{Q_1}{Q_2} t_k \quad (4)$$

上式即相邻光斑采样时间的递推公式。在实际测试中,通常是期望测量达到的功率灵敏度 P_e (参见图1a)考虑如何测量的问题。按照 P_e 的物理含意,第一个光斑的采样时间 t_1 可表为:

$$t_1 = \frac{Q_1}{P_e} \quad (5)$$

由此可见,只要确定了第一个光斑的采样时间 t_1 后,我们即可按照(4)式逐一确定后续光斑的采样时间。在实际测量中,当所获得的光斑的最大灰度值已处于 H_1 与 H_2 之间时采样结束。利用与计算机联用的扫描仪读取所采集的光斑的灰度信息,便能通过上述图象叠加法进行功率密度的具体求值工作。

三、探测材料热敏特性的测定

为实现图象叠加,必须知道探测材料的灰度曲线。现在介绍我们采用的灰度曲线测定方法。由于一种已经经过正确定标的热敏纸^[4]是我们对未知探测材料定标的基础,在进行阐述前先将这种热敏纸的色彩变化与吸收能量的对应关系列如下^[4]:

纸面吸收的能量密度 $Q(\text{J}/\text{cm}^2)$	纸面色彩
$Q \leq 0.8$	白色
$0.8 \leq Q \leq 4.5$	黑色
$4.5 \leq Q \leq 5.5$	白色
$5.5 \leq Q \leq 7.3$	黄色
$7.3 \leq Q \leq 10.7$	棕色
$10.7 \leq Q$	褐色(烧毁)

1. 定标方法

使用一台输出功率及模式均较稳定的小功率 CO₂ 激光器(根据现有的实验条件,我们使用了长春光学精密机械研究所产的 Model - 921 型便携式医用 CO₂ 激光器),选择并固定一个合适的激光器工作电流,在距离激光器输出窗口前某一确定位置放置狭缝光栏;通过狭缝宽度及狭缝平移速度的控制,逐步变化采样时间,用基准热敏纸在光栏后采集一系列光斑,在所采光斑中,根据相邻光斑中央区域的色彩变化情况,选出一组光斑,使光斑中央区域的色彩尽可能处于相邻两种色彩变化的交界。若某选出光斑的等效采样时间为 t_i ,从基准热敏纸热敏特性表查得相对应的光能密度为 Q_i ,参考光束中央处的功率密度即可表为:

$$P_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{t_i} \quad (6)$$

式中, N 为所选出的光斑总数。

沿用上述参考光束的工作参数,通过变换作用时间在同一探测位置用涂有待测热敏探测

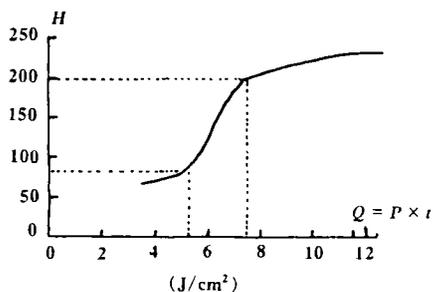


Fig. 3 Hot sensitive paper grey scale curve of experiment measurement

材料的纸面重新采集一系列光斑,使光斑中央区域的灰度变化能覆盖待测材料的全部灰度变化范围。利用与计算机联用的灰度扫描仪读出不同作用时间 t 所对应光斑的中央灰度值 H 。由于参考光束中央的功率密度 P_c 已经确定, $Q = P_c \times t$ 即为光斑中央区域的能量密度,根据实验结果,便可作出待测探测材料的灰度曲线。

2. 定标实例

根据上述定标方法,我们对一种探测用白纸的热敏特性进行了定标。求得该白纸的灰度曲线如图

3。由图可以看出,这种纸的灰度变化线性区很狭窄,并不是一种理想的探测材料。但在下面的测试实例中我们将看到,采用图象叠加法后,仍然可以十分满意地测量激光的功率密度分布。

四、激光束功率密度的实际测量

1. 测量实例

利用上面定标后的白纸,我们对 Model - 921 型便携式医用 CO₂ 激光器的输出光束进行了测试。为数据处理方便,我们让采样平面邻近狭缝平移平面,这样可以基本不考虑衍射的补偿问题^[1],其次,我们选择图 3 中灰度的近线性变化区作为有效叠加区,其有关参数为 $H_1 =$

版权所有 © 《激光技术》编辑部

版权所有 © 《激光技术》编辑部