

二维扫描法测量连续型激光器远场分布*

刘建邦 沈世达

(中国科学院力学研究所)

提 要

二维扫描法测量连续型激光器远场分布的原理是, 用一个有一系列螺旋状分布小孔的旋转圆筒扫过被测光斑, 以一维的旋转动作完成二维扫描。它能在 10^{-3} — 10^4 瓦的功率范围内以 10 帧/秒的速度连续记录激光器二维的远场分布。此方法原则上适用于各种波长的连续输出激光器, 特别适合于输出功率高、远场分布不规则并且随时间变化较快的连续激光器。

一、引 言

远场分布是激光器光束质量的重要指标之一。自从激光器问世以来, 出现过多种测量激光束远场分布的方法, 例如有用经过标定的记录介质记录远场分布形状的方法^[1, 2], 有用旋转光学元件使光束扫过探测器的一维扫描法^[3, 4], 有在实验过程中改变光阑直径的可变光阑法^[2, 5]以及种种基于被测远场分布为高斯分布的测量方法^[6]等等。

随着近年来连续型激光器的发展, 连续输出功率已高达 10^4 瓦以上, 在试验阶段, 它们的工作时间往往很短, 例如只有几秒钟, 并且远场分布一般很不规则, 上述种种远场分布测量方法已不能满足需要。例如用激光辐照记录介质的方法精度较低, 并且随着焦平面上激光功率密度的提高, 激光与记录介质相互作用机理越来越复杂, 出现光吸收、反射、热传导、液化、气化、喷溅、等离子体等等错综复杂的过程, 简单地认为辐照的痕迹即代表远场分布的形状是缺乏根据的。一维扫描法结果虽比较可靠, 但它只能测量光斑某

一截面上的场强分布, 对于远场分布不规则的激光束来说, 某一截面上的分布远不能代表远场分布的全貌, 并且在激光器工作的几秒钟之内, 往往很难确定测得的到底是哪一个截面上的分布。可变光阑法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是按高斯分布, 对测量不规则的远场分布是不适用的。

本文提出用二维扫描法测量连续型激光器的远场分布。其主要特点是: 光束与探测器都不动, 用一个旋转的多孔圆筒代替一维扫描法中不动的针孔, 以一维的旋转动作完成二维扫描。此装置典型的性能是: 允许输入功率范围为 10^{-3} — 10^4 瓦, 帧频为 10 帧/秒, 每帧行数为 21 行/帧, 视场(聚焦镜焦距为 1 米时)为 10 毫弧度 \times 10 毫弧度。实践表明, 此方法基本上能满足各种最新连续型激光器远场分布测量的要求。

二、测量原理及仪器结构

二维扫描法测量原理如图 1 所示。由激

* 收稿日期: 1978 年 3 月 24 日。

激光器输出的光束先经衰减器将功率密度衰减至 10^{-2} — 10^{-4} 瓦/厘米²，具体数值由探测器允许输入功率而定。然后经聚焦镜及平镜反射，聚焦于扫描筒内壁之上。扫描筒结构如图 2 所示。在圆筒壁上打一系列螺旋状分布的小孔，各相邻两孔间夹角及轴向距离都相同。首末两孔间轴向距离及相邻两孔圆心间弧线在圆筒截面上的投影长度均应稍大于欲测光斑直径。当圆筒旋转时，各小孔依次扫过光斑。对于 10.6 微米波长，用一个 Ge 透镜将透过小孔的光再聚焦于红外探测器上。探测器输出信号经放大器放大后由示波器记录。

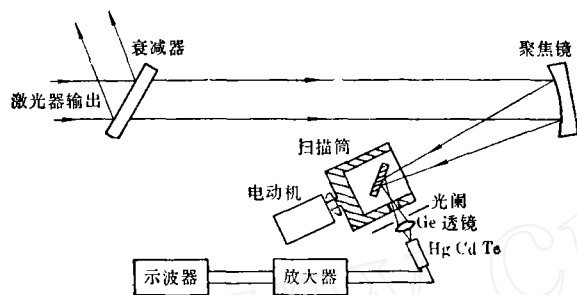


图 1 二维扫描法原理图

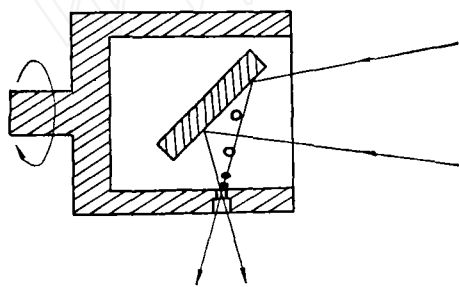


图 2 扫描筒结构示意图

我们采用的扫描筒内径 $\phi 73.2$ 毫米，上有小孔 21 个，相邻两孔间夹角为 15° ，轴向距离为 0.5 毫米，首末两孔间夹角为 60° ，以作各帧分界的标志。这种扫描方法用仅绕一轴旋转的办法完成二维扫描，结构简单，工作稳定可靠，重复性好，并且容易得到较高的帧频。

衰减器应能在不改变激光束远场分布的条件下将入射光束功率密度衰减至 10^{-2} ~

10^{-4} 瓦/厘米²，同时要能承受 10^4 瓦以上的输入功率。我们采用了两种形式的衰减器。第一种为光栅式衰减器，其结构如图 3 所示。光栅由列成方阵的圆孔组成。由二维取样理论可以证明^[7]，任意一束光，只要它的发散角小于 λ/d ，它通过光栅以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 方向上间距都是 λ/d 。不难证明方阵中第 m 行第 n 列光斑的场强分布 I_{mn} 与同一束光不经光栅衰减而得到的远场分布 I_0 几何相似，其关系是

$$\frac{I_{mn}}{I_0} = C \left(\frac{2J_1(kbW)}{kbW} \right)^2;$$

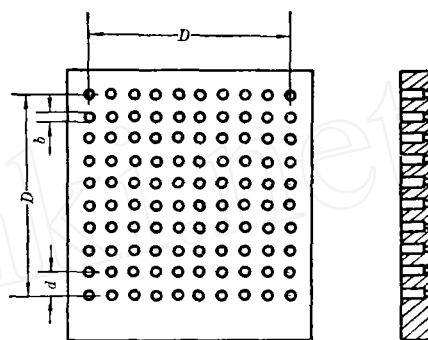


图 3 光栅式衰减器结构示意图

其中 J_1 是一阶贝塞尔函数， $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ， λ 是波长， b 是光栅小孔直径， $W = \frac{\lambda}{d} \sqrt{m^2 + n^2}$ 是该光斑中心至光轴的距离， d 是光栅小孔间距， C 是常数。

光栅的衰减作用主要有两种：第一种衰减作用是入射于光栅前表面的光大部分不能透过，而只有小孔处的光可以透过。在光束直径比孔径大得多的条件下，由光栅输出的总光通量与入射于光栅的总光通量之比是

$$\frac{W_{\text{出}}}{W_{\lambda}} = \frac{\pi b^2}{4d^2}.$$

例如当 $\frac{b}{d} = \frac{1}{10}$ 时， $\frac{W_{\text{出}}}{W_{\lambda}} = 7.85 \times 10^{-3}$ 。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,仅让某一阶衍射斑通过,而挡去其余所有的衍射斑,就可以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功率密度,工作稳定可靠,接收面积大,被测光束发散角越小则光栅加工越容易。缺点是仅适用于截面积较大并且发散角小于 λ/d 的光束。我们采用的光栅系用黄铜制成,典型的数据是: $D=10$ 厘米、 $b=0.5$ 毫米、 $d=2.5$ 毫米。

我们采用的第二种衰减器是半透膜式衰减器,其结构如图4所示。在Ge平行平晶的前表面上镀上厚度适当的Au膜。Au膜的第一个作用是使透射光减弱到所需程度。第二个作用是把约98%的入射光反射出去,以减少Ge平晶发热。反射的光束尚可作其它测量之用。

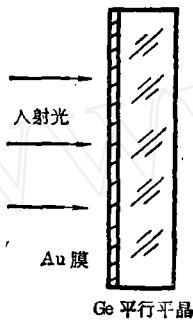


图4 半透膜式衰减器

半透膜式衰减器的优点是对被测光束的发散角没有限制,加工较容易,可用于截面积

较小的光束;缺点是不能承受很大的入射功率密度。我们使用的半透膜式衰减器Au膜厚约140埃,衰减系数小于1%。

聚焦镜系由K9玻璃制成,直径 $\phi 160$ 毫米,焦距97.2厘米,表面镀Au。红外探测器采用HgCdTe。记录仪器采用光线示波器或者阴极射线示波器加示波器照相机作连续记录。采用连续记录方式的优点是可省去复杂的同步系统,从而大大简化了仪器的结构。

三、实验数据处理与结论

典型的记录曲线如图5所示。由处理记录曲线而得到的“三维”远场分布如图6所示。处理的方法是:先求出每行的扫描时间 T 。为此可在记录曲线上选出激光输出比较稳定的一段,在其中找出相隔一个周期的两点,例如图5中的A、B点。设A、B点对应的时间为 t_A 与 t_B ,则 $t_A - t_B$ 应等于扫描筒旋转一周的时间,于是扫描筒角速度是

$$\omega = \frac{2\pi}{t_A - t_B}$$

于是

$$T = \frac{\Omega}{\omega}$$

其中 Ω 是相邻两孔间的夹角。由此不难画出类似于图6的“三维”远场分布图,其中相邻两次扫描间的 y 向间隔 Δy 应相应于扫描筒
(下转第35页)

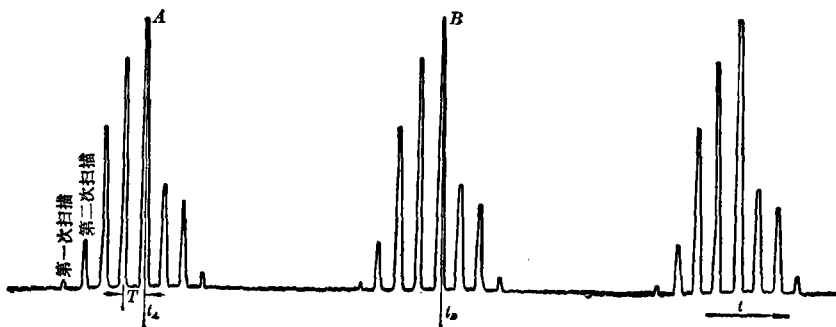


图5 典型的实验记录曲线

$\bar{\delta}_{腔内}$ 为振荡光子在腔内往返一次由于工作物质的散射和杂质吸收所导致的相对减少。 T 为两反射镜透过率之和。 $L_{等效}$ 为等效腔长， $\bar{\alpha}$ 为单位时间内工作粒子向一个振荡模内的平均自发辐射几率。

$$\bar{\alpha} = A_{32} \frac{\lambda^2 / \bar{S}}{4\pi} \frac{C / 2L_{等效}}{\Delta\nu_{自发}}$$

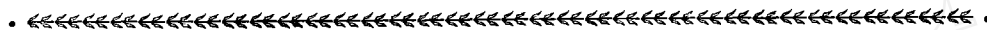
\bar{S} 为平均光束截面， $\Delta\nu_{自发}$ 为自发辐射的荧光线宽。

显然，当泵浦功率变化时， W_{14} 和 Q_s 也随着变化。而多模体积 Q_s 的变化又引起腔内所包含的全部粒子数 $n_{总}$ 的变化，也引起平均光束截面 \bar{S} ，因而平均自发辐射几率 $\bar{\alpha}$ 也跟着变化，这些关系最后决定了输出功率随泵浦功率的变化关系。

5. 利用类似的矩阵处理方法，我们可以处理一些热稳态过程问题，诸如连续激光器腔内倍频的光谱谐振腔的光学设计，连续激光器电光调制光谱谐振腔的光学设计以及采用自孔径化实现单横模运转的连续激光谐振腔^[5]的光学设计。

参 考 文 献

- [1] J. H. Boyden et al., AD-733050 (1972).
- [2] В. Р. Кушнир и др., Квантовая электроника, **2** (1975), 1312.
- [3] H. Kogelnik, T. Li; Appl. Opt., **5** (1966), 1550.
- [4] H. Kogelnik, B. S. T. J., **44** (1965), 455.
- [5] W. C. Scott et al., Appl. Phys. Letters, **18** (1971), 3.



(上接第 40 页)

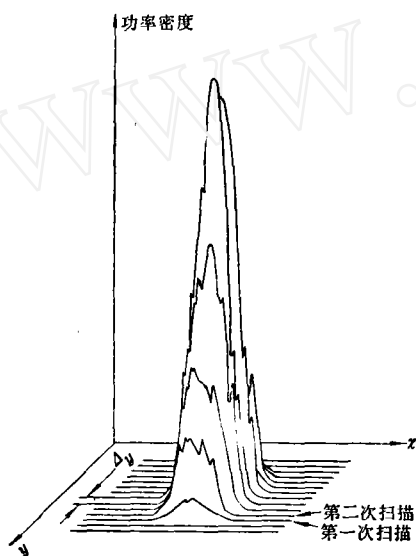


图 6 “三维”远场分布图

上相邻两孔的轴向间距。

上述装置已对功率大小不同的 CO₂ 激光器作过多次测量。实践表明，本装置能适应很宽的功率范围，能观察与记录空间与时间分布都不很规则的远场分布图，结构简单可靠。

参 考 文 献

- [1] Ю. А. Поляков; Теплофизика высоких температур, 1975, **13**, №4, 825.
- [2] P. J. Brannon; J. Appl. Phys., 1975, **46**, No. 8, 3576.
- [3] И. Ф. Бурматов; ПТЭ, 1973, №6, 141.
- [4] C. P. Wang; J. Appl. Phys., 1974, **45**, No. 1, 350.
- [5] T. G. Bergman; Laser Focus, 1973, **9**, No. 12, 58.
- [6] L. M. Vallese; Appl. Opt., 1971, **10**, No. 4, 959.
- [7] J. W. Goodman; Introduction to Fourier Optics, 1968.