文章编号:1001-5078(2009)05-0486-03

· 激光技术与应用 ·

COIL 光束填充因子 F 的实验研究

陈力子,关小伟,高国昌,张 政 (63655部队,新疆乌鲁木齐 841700)

摘 要:采用 CCD 阵列测量技术,设计了对非稳腔、高遮拦比的 COIL 激光填充因子 F 的测量 系统,利用两台光束质量分析仪同时测量了激光近场和远场光斑,通过 Matlab 软件对光束质 量分析仪所测数据进行处理,给出光束填充因子。在与测得的光束质量数据进行对比后表明, 填充因子 F 与光束质量存在一定的关系,F 值越大,光束质量越好。

关键词:填充因子;氧碘化学激光器;CCD;光束质量

中图分类号:TN248 文献标识码:A

Experimental study on beam fill factor F of COIL

CHEN Li-zi, GUAN Xiao-wei, GAO Guo-chang, ZHANG Zheng (63655 Unit of the PLA, Urumchi 841700, China)

Abstract: Design of the beam fill factor measurement system for unstable resonator and high obstructed ratio chemical oxygen iodine laser by using CCD arrays measuring technique. The near-field and far-field light spot are measured by two laser beam analyzers(LBA). The fill factor is obtained through LBA measuring data that processed by Matlab software. There is a certain relationship with fill factor and beam quality factor after comparing the data, the beam quality factor increases with increasing of fill factor.

Key words: fill factor; COIL; CCD; beam quality factor

1 引 言

在强激光的应用中,激光的作用效果主要取决 于传输到目标上的功率密度,而目标上的功率密度 不仅与激光器输出功率有关,也取决于激光光束质 量,因此为保证发射的激光有较高的能量集中度,就 要求强激光系统有较好的近场光束质量。强激光的 近场光束质量受到多种因素的影响,主要包括激光 器腔镜的热畸变,激光器增益介质的不均匀,光学系 统几何像差,光束强度分布等因素。

目前评价激光束的近场均匀性主要参数有光束 填充因子、通量调制度、通量对比度^[1-2],其中光束 填充因子 *F* 定义为^[3]:

$$F = \frac{\langle I \rangle}{I_{\max}} \tag{1}$$

式中, <*I*>表示平均光强;*I*_{max}表示光强最大值。当 光束强度为均匀分布时,填充因子 *F* 为1,光束强度

起伏峰值越大,填充因子F越小。

传统激光强度分布的测量方法包括:狭缝扫描 法、刀口扫描法、可变光阑法、针孔图法等^[3-6]。但 这些方法对脉冲激光和光束质心漂移量比较大的激 光束并不合适,这就需要用其他方法解决。随着探 测器阵列技术和 CCD 技术的发展,产生了阵列探测 法,采用该方法不仅可以测量连续激光,也可用于脉 冲激光测量,具有准确性高、实时性好等优点。

通常强激光的 F 因子可利用量热阵列直接测量得到,但由于量热阵列空间分辨率低,一般只能做到毫米量级^[7-8],在对高遮拦比的环行光斑进行测量时,有效测量点较少。例如采用空间分辨率为10 mm 的量热阵列对于外径 D = 60 mm,中心遮拦

作者简介:陈力子(1981 -),男,工程师,主要从事激光技术方面的研究。E-mail;lzchen1234@ yahoo.com.cn 收稿日期;2008-10-27

比 $\varepsilon = 0.75$ 的光斑进行测量,有效测量点最多为 20 个,而由于各点所测的光强为瞬时平均值,因此所测 的光强最大值小于真实值,最终导致测得 F 因子往 往偏高。而利用 CCD 测量技术可以很好地解决量 热阵列空间分辨力低的问题,唯一不足的是 CCD 测量动态范围较小,易出现光斑饱和现象,这就要 求对 CCD 衰减倍率的精确控制。本文利用光束质 量分析仪,设计了对外径 D = 60 mm,中心遮拦比 $\varepsilon = 0.75$ 的 COIL 激光填充因子 F 的测量系统,利 用 Matlab 软件对光束质量分析仪所测数据进行处 理,给出光束填充因子。

2 实验装置

图 1 是填充因子 F 测量的实验示意图,该实验 装置由分光镜、卡塞格林缩束系统、衰减片、凸透镜、 光束质量分析仪和计算机组成。



图1 实验装置原理图

实验中,激光出射后首先利用分光镜对激光进 行分束,分光镜透过率为0.1%,之后激光束通过卡 塞格林结构的缩束系统,把大口径的光束转换成匹 配 CCD 阵列响应面大小的小孔径光束,为减少测量 光路像差对光强分布的影响,该缩束系统主次镜均 采用抛物面结构,这样可以避免引入球差和彗 差^[8];缩束后利用半透半反分光镜将细光束分别引 入两套测量装置中,其中反射的光束通过焦距*f* = 500 mm 的透镜成像于热释电阵列上,进行光束质量 测量,透射光束经过衰减后直接由红外 CCD 阵列接 收,测量光束的近场光强分布。在热释电阵列和红外 CCD 阵列前均使用中性衰减片控制衰减程度。

实验中测量近场光斑采用的仪器是美国 Spirion 公司的 LBA – 700PC 型光束质量分析仪, CCD 的像 元数为 640pixel × 480pixel,分辨率为 19.8 μm,采样 频率为 15 Hz,光束质量测量则采用的是 Spirion 公 司的 PYROCAM Ⅲ型的热释电相机,像元数为 128pixel × 128pixel,分辨率为 100 μm,采样频率同 为 15 Hz。

3 实验结果与讨论

3.1 实验数据处理

COIL 的近场光斑图像可通过 CCD 直接得到, 但由于光束质量分析仪不能直接计算环行光斑的填 充因子 *F*,因此我们首先通过测试软件将测的图像 转换为 ASCII 格式后输出,然后利用 Matlab 软件对 图像数据进行事后处理。图 2 为光束质量分析仪得 到的激光器近场分布图像,从图中可以明显看出仪 器测得激光光斑的遮拦比小于 0.75,这主要是由于 光斑对周围像元的热影响以及光斑漂移造成的伪光 斑,在数据处理时若将这些噪声点均计算在内,可能 导致最终数值偏小,需根据实际光斑遮拦比值对伪 光斑进行剔除。图 3 是经 Matlab 软件处理后的图 像,环形区域的内外径比值为 0.75,这样可以减少 伪光斑对数据的影响,环形区域的圆心坐标通过对 光束质量分析仪读取的光斑质心坐标的微调后得 到,在对所取环形区域内像素点的光强值进行计算, 可得到填充因子 F。



图 2 LBA 测得光强分布图像



3.2 数据分析与讨论

我们分别进行了 3 次不同时长的出光实验,表 1 中的数据是对其中一次实验中的 15 帧图像(时长 1s)数据进行处理后得到的,包含了各帧光斑的质心 坐标、填充因子 F 和光束质量 β,其中质心坐标单位 为像元(pixel)。在这 15 帧数据中,从第 13 帧至 15 帧,近场光强分布图像中均存在强度饱和区域,因此 测得 F 值略微偏高,剔除该三帧数据后,激光器平 均光束填充因子为 0.25。

激光光束近场分布与远场分布的关系在文献 [1]中有简单的描述,文献[1]将填充因子的倒数称 作光束强度调制度"*M*",设激光近场强度分布为:

 $I(x,y) = \langle I \rangle (1 + A(x,y))$ (2) 其中,A(x,y)为以平均强度 $\langle I \rangle$ 归一化后的近场调 制分布函数。 (3)

则通量调制度为:

$$M = \frac{1}{F} = \frac{I_{\max}}{\langle I \rangle} = \frac{NI_{\max}}{\sum_{i=1}^{N} I(x, y)} = 1 + \text{Max}(A(x, y))$$

其中,N为取样区域内采样点数。对于激光远场强度分布,通量调制度值越大,远场中心光强强度越低,所以大通量调制度对激光光束质量是不利的。同理可知,填充因子越小,远场中心光强强度越低, 光束质量也越差。

NO.	C_X	C_Y	F	β	NO.	C_X	C_Y	F	β
1	317	239	0.211	3.19	9	312	235	0.262	2.12
2	317	238	0.274	2.38	10	312	234	0.246	1.93
3	317	236	0.286	2.13	11	311	233	0.233	2.43
4	315	236	0.271	2.13	12	310	233	0.252	2.21
5	310	235	0.256	2.21	13	310	232	0.269	2.56
6	310	235	0.241	2.21	14	309	231	0.284	2.56
7	313	236	0.258	2.33	15	308	230	0.314	2.57
8	313	236	0.252	2.48					

表1 填充因子F与光束质量 β 的实验测试数据

图 4 是 1 s 内填充因子和光束质量随时间的变 化曲线。从图中可以看出,在 0 ~ 0.8 s 之间,光束 质量基本随着填充因子 F 值的增大而提高,随着填 充因子 F 值的减小而变差,而在 0.8 ~ 1.0 s 之间, 由于所测 F 值偏高,虽然 F 值在不断增大,但光束 质量却变化不大。



光近场光强分布是可行的,但由于化学激光器存 在增益介质不均匀,以及高功率情况下腔镜热变 形等因素的影响,光束强度变化较大,导致近场光 束均匀性较差,因此为得到较好的远场作用效果, 除了不断改进激光器设计,同时应在激光器出口 安装光束整形系统,如自适应光学系统,以改善激 光的作用效果。

4 结 论

本文利用 CCD 阵列测量技术,设计了对非稳 腔、高遮拦比的 COIL 激光填充因子 F 的测量系统, 同时测量了激光近场和远场光斑,通过 Matlab 软件 对光束质量分析仪所测数据进行处理,给出光束填 充因子 F 的测量数值,通过与所测光束质量数据进 行对比后表明,填充因子 F 与光束质量存在一定的 关系,F 值越大,光束质量越好。与量热阵列测量近 场光强分布的方法相比,采用 CCD 测量具有测量精 度高、响应速度快等优点,但在对强度变化幅度较大 的激光进行测量时,如何控制衰减强度,防止 CCD 饱和还是有一定的难度。

参考文献:

- [1] 李恪宇,向勇,冯斌,等.高强度三倍频近场测量实验
 与模拟计算的误差分析[J].强激光与粒子束,2002,
 14(5):731-734.
- [2] M L Spaeth, K R Maned, C C Widmayer, et al. The national ignition facility wavefront requirements and optical architecture [J]. SPIE, 2004, 5341:25 - 42.
- [3] 苏毅,万敏.高能激光系统[M].北京:国防工业出版 社,2004.
- [4] 糜长稳,王克逸,李明,等.基于光探针技术的自聚焦透镜光斑测量方法[J].光子学报,2004,33(2): 244-247.
- [5] 雷訇,李强,左铁钏.大功率激光光束参数的测量方法
 [J].光电子·激光,2000,11(4):372-374.
- [6] 刘玉周,赵斌.无衍射微光斑能量分布测量系统的研究[J].半导体光电,2007,28(2):287-293.
- [7] 刘峰,吴振森,谢永杰,等.量热阵列测量远场激光能量的重构方法[J].中国激光,2006,33(12): 1615-1620.
- [8] 关有光,傅淑珍,高学燕,等.一种新型高能激光束能量分布探测器[J].强激光与粒子束,2000,12(2): 175-177.
- [9] 潘君跸.光学非球面的设计、加工与检测[M].北京: 科学出版社,1994.