

两种激光散斑均化方法研究

孙 嵘¹, 罗振坤¹, 赵映雪², 刘海峰¹

(1. 军事医学科学院放射与辐射医学研究所, 北京 100850; 2. 北京军区总医院第二门诊部, 北京 100125)

摘要: Nd:YAG 倍频脉冲激光器作为激光源, 波长 532 nm, 频率 1 Hz, 光束直径 5 mm。分别将低阶模或高阶模激光发散后, 通过毛玻璃相位板或散斑相移器对激光散斑进行均化, 测量不同大小光斑的均匀性并对比两种散斑均化方法的作用特性。结果表明相位板组与无均化组比较有显著差异 ($P < 0.01$), 相移器组与无均化组比较有统计学差异 ($P < 0.05$)。毛玻璃相位板均化效果更加明显, 但能量衰减更快, 证明毛玻璃相位板更适用于对均化要求高但近距离应用的场合, 而激光散斑相移器均化更适用于远距离应用场合。

关键词: 激光散斑; 毛玻璃相位板; 散斑相移器

中图分类号: TN241 **文献标识码:** A

Study of two methods to average the laser energy based on speckle interferometry

SUN Rong¹, LUO Zhen-kun¹, ZHAO Ying-xue², LIU Hai-feng¹

(1. Institute of Radiation Medicine, Academy of Military Medical Sciences, Beijing 100850, China;

2. The Second Clinic of General Hospital of Military Area Command, Beijing 100125, China)

Abstract: A pulsed multiple-frequency Nd:YAG laser of wavelength 532 nm, repeated frequency of 1 Hz and 5 mm of laser beam diameter was used in the experiment. A ground glass-phase plates or spackle-phase shifter was used in a low-order mode or high-order mode laser optical path, measured the homogenization of laser spot energy at various distance and analyzed the characteristic of the two methods. The effects of two methods are obvious, there was extremely significant differences between ground glass-phase plates group and non-homogenization group ($P < 0.01$), and there was statistical difference between speckle-phase shifter group and non-homogenization group ($P < 0.05$). Homogenization effect of ground glass-phase plates group was more remarkable, but energy attenuation of it was more clearly. The study proved that ground glass-phase plates can be used in the near-field of strict symmetrical energy. Speckle-phase shifter should be used in the far-field.

Key words: laser speckle; ground glass-phase plates; speckle-phase shifter

1 引言

激光器在运行时受到自身及环境等多方面因素影响, 输出光束能量分布不均匀^[1-2], 而在实际应用中往往需要均匀光斑照射^[3-9]。例如激光雷达探测、激光育种、细胞或菌群照射、激光理疗和光学计量等诸多领域^[10-11]。

相干光照射在粗糙表面或者随机介质里会形成散斑结构, 散斑是随机分布在空间的一些亮点。由

于光波强度和相位被介质随机调制, 所以散射场具有随机特性, 散斑的亮度、空间尺寸和方向也就具有了随机性^[12-13]。

当激光透过毛玻璃后, 在其后表面上各点的相

作者简介: 孙 嵘 (1977 -), 男, 在读博士, 主要从事激光辐射防护, 激光医学计量和激光生物医学等方面的研究工作。E-mail: sunrong197756@gmail.com

收稿日期: 2009-09-15; 修订日期: 2010-02-01

位是随机的,根据惠更斯原理,在毛玻璃的后表面观察面上各点可看作是子波源,各子波源在空间中任一点相互叠加,将产生相长或者相消干涉。由于子波源的相位是随机的,所以在空间各点位置上的强度也是随机的,从而达到平滑靶面的目的^[14]。

如果将散斑场在一定条件下记录于全息介质,经过显影漂白或稀释显影处理,可得到相位随机分布的全息散斑相移器。其相位的随机分布是散斑成像后表面起伏和折射率缓慢变化造成的^[15],将其置入光路中可达到均化光束的效果。

毛玻璃随机相位板的作用机理主要是利用干涉和散射,而激光散斑相移器主要是利用干涉和衍射。本文采用两种激光散斑均化装置来对比研究激光散斑均化的作用及其特点。

2 实验装置及方法

2.1 实验方法

如图1所示,Nd:YAG倍频激光器发射脉冲波长532 nm、频率1 Hz、光束直径5 mm,每组脉冲数 $n > 5$ 。由分束镜分束,一路光束由探头 W_1 接收进行实时监测。主光路经由透镜 M_1, M_2 构成的扩束系统扩展成平行光,再由透镜 M_3 发散,由光阑定位,探头 W_2 测试光斑不同位置的的能量分布情况。然后在 M_3 透镜前插入相位板或相移器,均化后再次测试能量分布情况。所有采集的数据均由两个探头直接实时传输到计算机进行数据分析,最后根据结果分析两种均化装置均化特性。

实验中所用的均化装置均分为1#、2#两种。其中,毛玻璃相位板1#、2#是根据磨砂颗粒度而分为细、粗两种规格;散斑相移器1#、2#分别采用显影漂白和稀释显影两种技术制作而成。

所有统计学处理均采用SPSS10.0软件进行双样本等方差 t 检验分析。 $P < 0.05$ 表示有统计学差异, $P < 0.01$ 表示有显著统计学差异。

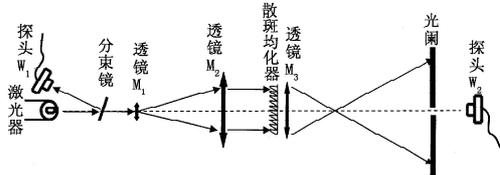


图1 激光散斑均化实验光路

2.2 光斑均匀性的评定^[16-17]

如图2所示,光束横截面由光斑中心 O 取适当半径 R 作圆基本覆盖光斑。取 $R/2$ 为半径再作圆,在此圆周上选择测量点。在光斑中心和周围四个象限处(上、下、左、右)各点进行测量,每点的测量次

数不少于5次,取平均值为该处的测试结果,计算五个测量点的平均值 D 及其标准偏差 S ,根据下式计算光斑非均匀性: $\Delta = S/D$ 。此值越小,则说明光斑均匀性越好。

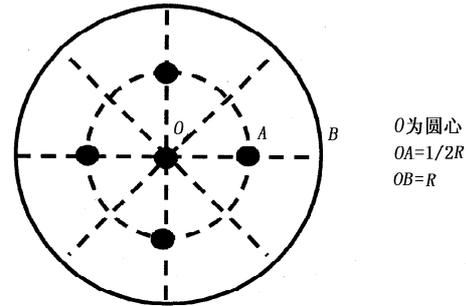


图2 光斑均匀性评定测量点选取示例图

3 实验结果及分析

3.1 毛玻璃相位板与散斑相移器均化效果对比

3.1.1 光斑成像图比较

如图3所示,低阶模无均化组的原始光斑光强分布不匀,中心有局部热点。经相移器均化后,光强分布有明显改善且能量比较集中。而相位板均化效果更好但是能量损耗多,光斑发散严重。

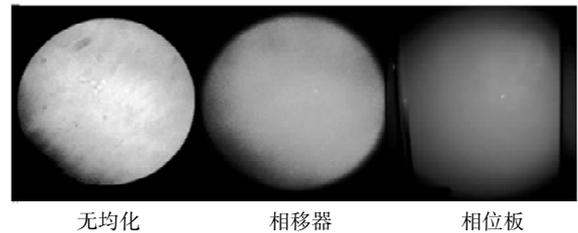


图3 不同均化条件下低阶模远场照射光斑

如图4所示,高阶模无均化的原始光斑光强分布很不均匀,其中各个子斑内部情况更明显。经散斑相移器均化后的光斑光强分布有明显改善且各子斑内部能量比较集中。而毛玻璃相位板均化最好,已经将各个子斑融合成为一个大光斑,但是发散较严重。

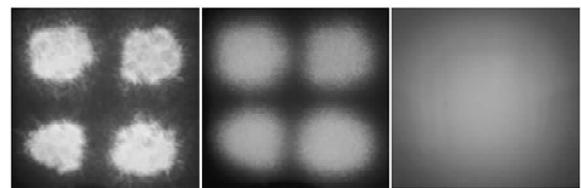


图4 不同均化条件下高阶模远场照射光斑

3.1.2 均化效果比较

分别在低阶模及高阶模输出状态,测试不同均化条件下光斑直径20 cm(近场)、40 cm(中场)、100 cm(远场)时的非均匀性和平均辐照量,结果如表1所示。

表 1 不同条件所测光斑均匀性

源 模 式	均化条件	近场		中场		远场	
		非均匀性	辐照量 $/(\mu\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$	非均匀性	辐照量 $/(\mu\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$	非均匀性	辐照量 $/(\mu\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$
低 阶 模	无均化	0.5971	73.24	0.4042	68.64	0.6052	0.8982
	相移器 1#	0.5839	35.55	0.3586 *	29.65	0.2728 **	0.7679
	相移器 2#	0.5539 *	33.45	0.3657 *	28.35	0.2808 **	0.7515
	相位板 1#	0.2895 **	33.54	0.2106 **	26.28	0.2104 **	0.3497
	相位板 2#	0.2506 **	29.69	0.1979 **	19.56	0.1120 **	0.1641
高 阶 模	无均化	0.7747	78.29	0.7130	50.04	1.2350	0.9910
	相移器 1#	0.6877 *	27.18	0.6361 *	15.31	0.6304 **	0.3481
	相移器 2#	0.6591 *	17.36	0.5212 *	9.10	0.3509 **	0.2359
	相位板 1#	0.1880 **	9.24	0.1060 **	4.22	0.0905 **	0.1068
	相位板 2#	0.1135 **	3.52	0.0625 **	1.49	0.0383 **	0.0372

* 表示该组与同模式无均化组对比, $P < 0.05$; ** 表示该组与同模式无均化组对比, $P < 0.01$ 。

可见两种方法的均化效果还是很明显的, 各组的光斑非均匀性曲线如图 5 所示。

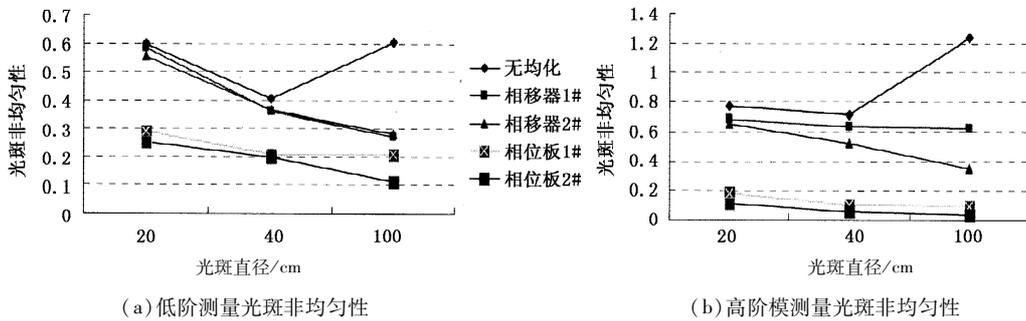


图 5 光斑非均匀性随光斑直径变化曲线

由图 5 可知:

- (1) 毛玻璃相位板组的均化效果强于散斑相移器组。
- (2) 均化组的光斑均匀性随着光斑扩大有所改善。

将各组近场的辐照量定义为“1”, 然后分别将中场和远场的辐照量与近场辐照量的比值定义为“能量衰减系数”。此值越小证明衰减越快, 发散严重。

各组能量衰减系数变化曲线如图 6 所示。

3.1.3 能量衰减比较

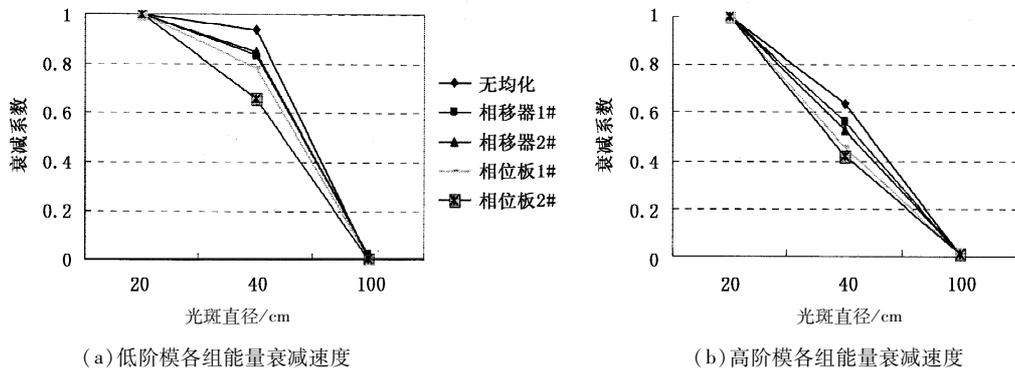


图 6 衰减系数随光斑直径变化曲线

中场(光斑直径 40 cm)的“衰减系数”可看出, 无均化组的衰减系数最小, 其次是散斑相移器组, 而

毛玻璃相位板组衰减最快。远场(光斑直径 100 cm)的“衰减系数”已经非常小, 图中不太好分

辨,但计算出来的结论与中场也是一致的。

3.2 均化组内部均化效果比较

(1)相位板 2#(粗)在同样条件下均化效果强于相位板 1#(细),但是能量衰减更快。

(2)相移器 2#和 1#在低阶模照射条件下,均化效果差异不明显,但是高阶模照射时,相移器 2#(稀释显影)均化效果更好,且随着光斑的扩大,优势更加明显。

3.3 光斑内部均化效果比较

以低阶模远场为例,分别在光斑内侧取 9 点,光斑外侧取 16 点,比较非均匀性和辐照量均值,如表 2 所示。

表 2 低阶模远场(光斑直径 100 cm)测量结果

均化条件	内侧 9 点		外侧 16 点	
	非均匀性	辐照量 $/(\mu\text{J}\cdot\text{cm}^{-2})$	非均匀性	辐照量 $/(\mu\text{J}\cdot\text{cm}^{-2})$
无均化	0.3333	1.3559	0.6389	0.6408
相移器 1#	0.2087**	0.9287	0.2267**	0.6519
相移器 2#	0.1438**	0.8541	0.1731**	0.6257
相位板 1#	0.0892**	0.4281	0.1306**	0.3556
相位板 2#	0.0655**	0.1833	0.0969**	0.1534

** 表示该组与同模式无均化组对比, $P < 0.01$ 。

(1)无论内外局部,毛玻璃相位板总体均化效果都强于散斑相移器,但辐照量衰减更多。

(2)从均匀性比较,内外差异最大是无均化组(约 50%),其次是相位板组(约 30%),相移器组差异最小(10%~20%)。

(3)从辐照量比较,内外差异最大是无均化组(约 50%),其次是相移器组(约 30%),相位板组差异最小(约 20%)。

(4)在光斑外侧,散斑相移器组在提高均匀性的同时,其辐照量接近甚至已经超过无均化组。

4 小 结

本文重点研究了激光散斑均化的两种方法及其特点。

毛玻璃相位板在近场均化效果明显强于散斑相移器,但其发散性强,能量损耗快,照射距离有限,所以相位板适用于对均化要求高但近距离应用的场合,比如医学上应用的皮肤理疗、美容等,然后根据需要来选择粗细程度。

散斑相移器均化后能量呈高斯分布,近场均化效果不及毛玻璃相位板,但从光斑分布可看出其能量集中,方向性强,所以散斑相移器均化适用于远距

离应用场合。如果对光斑均匀性要求很高则更适用稀释显影工艺的散斑相移器。

参考文献:

- [1] 雷刚,冀翔.军用激光器的光束质量特征分析和探讨[J].计算机仿真,2003,20(9):20-22.
- [2] 陈志华,杜太焦,王建国.激光大气传输热晕与光束抖动综合效应的数值模拟[J].激光与红外,2009,39(3):251-256.
- [3] Jeff H. Lasers advance slowly into the battlefield[J]. New Scientist,2006,191(2566):26-27.
- [4] 孙嵘,罗振坤,刘海峰.激光损伤防治研究进展[J].激光与红外,2007,37(8):705-708.
- [5] 张雏,沈洪斌,徐春梅.测距激光的能量分布及其对光轴校正的影响[J].激光与红外,2008,38(11):91-94.
- [6] 刘海峰,罗振坤.激光的意外损伤与防护[J].中国实用医学月刊,2004,2(6):491-493.
- [7] Liu Haifeng, Luo Zhenkun, Zhang Jian. Study of laser ocular effect and damage[J]. U. S. Chinese Health and Hygiene Journal,2005,8(9):66-68.
- [8] 刘海峰,张建,罗振坤.激光职业危害研究-激光对眼的影响[J].中华实用医药杂志,2005,5(15):1576-1578.
- [9] 刘海峰,张建,罗振坤,等.激光作业环境对人眼健康潜在危害的研究[J].中国激光医学杂志,2006,15(4):264-265.
- [10] 张鸿雁,李言俊,张科,等.激光干扰技术的现状与发展趋势[J].激光与红外,2007,37(1):14-17.
- [11] 张胜国,黄元庆.激光技术在医学上的若干应用[J].世界医疗器械,2000,10(6):12-15.
- [12] 王仕.信息光学理论与应用[M].北京:北京邮电大学出版社,2004:282-321.
- [13] 林树,刘馨.漫射面作轴面位移时散斑图样的变化[J].四川大学学报:自然科学版,1999,36(4):703-706.
- [14] 谢永杰,刘晶儒,赵学庆. ICF 中光束平滑及靶面辐照均匀性技术评述[J].激光技术,2001,25(6):454-459.
- [15] 徐敏,郑庸,江铁良,等.散斑随机相移器[J].北京工业大学学报,1983,9(1):69-75.
- [16] 国家质量技术监督局. GB/T 17736-1999 激光防护镜主要参数测试方法[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [17] 罗振坤,刘海峰,孙嵘,等.激光防护镜自动检定装置与技术研究[J].医疗卫生装备,2009,(7):17-20.