

文章编号: 0258-702X(2002)01-0037-03

神光 II 特殊光束强度分布条件下的均匀 线聚焦系统

王 琛¹, 黄关龙², 王 伟¹, 杨 军², 林尊琪², 顾 援¹, 王世绩¹

(高功率激光物理国家实验室¹; 上海激光等离子体研究所²; 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提要 在神光 II 特殊的激光光束强度分布条件下, 通常使用的等宽柱面透镜列阵线聚焦系统不能获得均匀的线聚焦。考虑神光 II 输出激光光束特殊强度分布的影响, 优化设计并制作了不等宽单元柱面透镜列阵, 获得了良好的均匀线聚焦结果, 在 X 光激光实验中良好的使用效果表明这一设计是有效的。

关键词 不等宽单元柱面透镜列阵 均匀线聚焦 X 射线激光

中图分类号 TN 241 文献标识码 A

Uniform Line-focus System Used for Special Laser Beam Intensity Distribution of Shenguang II

WANG Chen¹, HUANG Guan-long², WANG Wei¹, YANG Jun²,
LIN Zun-qi², GU Yuan¹, WANG Shi-ji¹

(National Laboratory on High Power Laser and Physics, ¹Shanghai Institute of Laser Plasma,
²Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Because of special beam intensity distribution of Shenguang II laser facility, the equable-width-element cylindrical lens array line-focus system cannot lead to satisfying line-focus. It's essential to calculate the effect of beam distribution. In this article, optimized design and manufacture of inequable-width-element cylindrical lens array line-focus system were done. It can make very good uniform line-focus with relevant experimental scheme. Good results of X-ray laser experiment proved the resultful design.

Key words inequable-width-element cylindrical lens array, uniform line-focus, X-ray laser

1 引 言

高纵横比、高均匀性的线聚焦激光抽运, 对 X 射线激光研究有重要的意义。目前, 已经发展了多种线聚焦技术^[1~5], 其中由柱面透镜列阵与非球面会聚透镜组成的系统, 对于圆形口径的抽运激光, 能够获得沿长度方向非常均匀的线聚焦, 并且有很高的能量利用率, 在 X 光激光实验中获得了很好的应用^[6]。但是, 在某些特殊条件下, 抽运激光强度分布不是严格的全口径圆, 此时线聚焦的均匀性会受到显著的影响, 甚至会影响到 X 射线激光实验的成

功。因此, 对应于特殊的驱动激光光强分布, 设计相应的聚焦系统才可能获得最佳的线聚焦结果。本文通过理论分析和数值模拟, 改进设计柱面透镜列阵, 使用不等宽度单元结构, 最终获得了适合于神光 II 特殊光强分布的均匀线聚焦方案。实验表明, 这一改进设计确实大大提高了线聚焦的均匀性, 在 X 射线激光实验研究中获得了很好的使用效果。

2 神光 II 光强分布的影响

柱面透镜列阵(CLA: cylindrical lens array)线聚

收稿日期 2000-05-10; 收到修改稿日期 2001-02-06

基金项目 国家高技术 863-410-3 专题资助项目。

作者简介 王琛(1976—), 男, 博士, 主要从事 X 光激光实验研究。E-mail: wangch@mail.shenc.ac.cn

焦系统的基本思想是每个柱面透镜单元分割驱动激光光束,而后分别与非球面会聚透镜在焦面上形成子焦线,重叠辐照在靶面上。由于列阵透镜单元对应着驱动激光光束的不同位置,因此每条子焦线是不均匀的,但是如果叠加上对称单元的强度分布相反的子焦线,就可以获得相对均匀的焦线,所有的列阵单元子焦线叠加起来就可以形成很好的均匀焦线。但是如果驱动激光光束的强度分布本身就是不均匀的,或者有某些特殊的形状,则按通常方式制作的柱面透镜列阵系统并不能获得理想的结果。神光 II 激光装置的激光光束强度分布有一定的特殊性,因此,必须考虑到这一特殊性来设计柱面透镜列阵,才可能得到理想的均匀线聚焦。

神光 II 激光光束典型的近场分布如图 1 所示,场图中间有一个约 $\phi 60 \text{ mm}$ 的圆屏和宽 17 mm 的杆阴影遮挡激光,另外光束口径在 230 mm 左右。这两个明显的特点,使得按口径 $\phi 250 \text{ mm}$,强度分布均匀的驱动激光光束设计的等宽四单元柱面透镜列阵线聚焦系统产生的焦线很不均匀,在两端较大的范围内强度有很大的降低。图 2 是数值模拟计算的结果。同时,利用扩束的 He-Ne 激光,通过遮挡形成类似神光 II 光束分布的特殊形状,模拟测量了对应的情况,结果如图 3 所示。图 2,图 3 中 (a) 为 $\phi 250 \text{ mm}$ 口径、无屏、无杆光束情况下的结果,(b) 为考虑了神光 II 光斑特殊性之后的结果(即光束口径为 $\phi 230 \text{ mm}$,中心部分有 $\phi 60 \text{ mm}$ 的圆屏和宽 17 mm 的杆遮挡)。从图 2,3 中可以看出在神光 II 特殊光束分布条件下,焦线的强度分布是非常不均匀的,特别是在焦线两端有显著的强度下降,不适宜于用作 X 光激光实验的线聚焦。

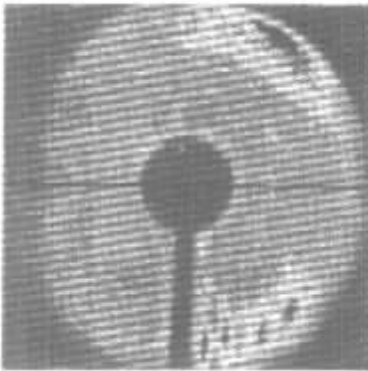


图 1 神光 II 激光光束场图

Fig. 1 Beam distribution of Shenguang II laser

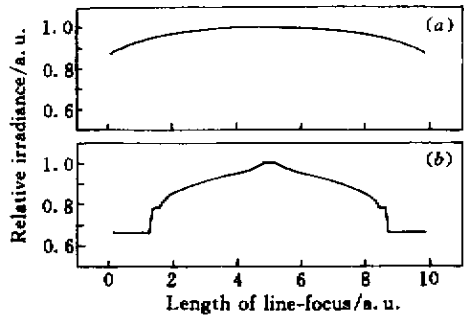


图 2 四单元 CLA 线聚焦计算结果

Fig. 2 Calculated line-focus results of four elements CLA

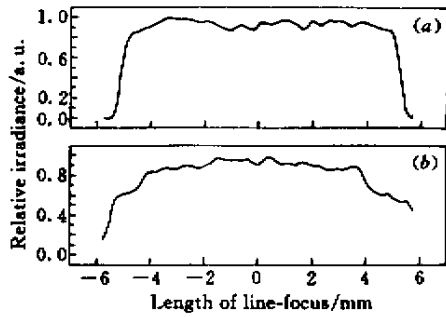


图 3 四单元 CLA He-Ne 光模拟测量线聚焦结果

Fig. 3 Simulative experimental line-focus results of four elements CLA by He-Ne laser

3 改进设计

对于口径 $\phi 250 \text{ mm}$ 的四单元等宽柱面透镜列阵线聚焦系统来说,神光 II 光束分布有两大特殊之处,即实际光斑口径较小和中心部分“圆屏”与“杆”的遮挡,都会引起焦线两端强度的下降。考虑到各方面因素,我们选定采用五单元不等宽度柱面透镜列阵作为新型的元件组成线聚焦系统。新型的不等宽单元柱面透镜列阵,口径总尺寸设定为 $\phi 230 \text{ mm}$,中间柱面单元宽度与光束中心“圆屏”直径一致,为 60 mm ;其他四块单元宽度相同,均为 42.5 mm ,这样可以很好地消除光束中心“圆孔”的影响。列阵单元数取为奇数,使得激光光束中间部分的遮挡不再降低焦线两端的强度,而是减小焦线中间部分的强度,而对于柱面透镜列阵线聚焦系统来说,中间部分强度本就偏高,因此这样反而会得到更均匀的线聚焦。

但是此时光束中竖直方向的“杆”阴影依然会对焦线的强度分布有较大影响。简单的几何光学计算表明,这会造成焦线中心部分强度下降,幅度大约为

13%, 仍然不大适合于类镍系列 X 光激光实验。进一步的分析表明, 如果光束分布中“杆”的方向改为水平, 就可以完全消除“杆”的影响, 获得相当均匀的线聚焦。图 4 是几何光学模拟计算的线聚焦强度分布。新型的不等宽五单元柱面透镜列阵元件加工完成之后, 利用扩束的 He-Ne 光对柱面透镜列阵进行了模拟检测, 结果如图 5 所示。图 4、5 中 (a)~(c) 分别对应入射光束为“无屏”“无杆”“圆口径光束”、“圆屏”加竖直“杆”、“圆屏”加水平“杆”三种情况时的结果。可以看出, 在“圆屏”加水平“杆”情况下, 获得的线聚焦均匀性非常好, 甚至比无屏无杆时情况还好。这些结果表明, 此改进设计是合理和有效的。

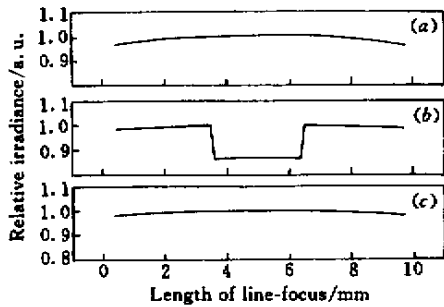


图 4 不等宽五单元柱面透镜列阵线聚焦计算结果

Fig. 4 Calculated line-focus results of five inequale width elements CLA

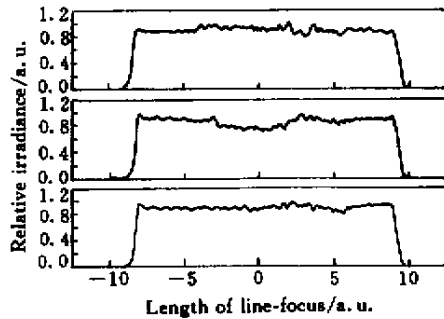


图 5 不等宽五单元柱面透镜列阵线聚焦 He-Ne 光模拟测量结果

Fig. 5 Simulative experimental line-focus results of five inequale width elements CLA by He-Ne Laser

4 实验结果

利用改进设计的五单元不等宽柱面透镜线聚焦系统, 我们进行了一轮 X 光激光实验, 获得了很好的实验结果, 13.9 nm 类镍银软 X 光激光输出达到增益饱和, 输出能量约 250 μJ 。

实验中, 利用 X 光双狭缝相机^[7]对线聚焦系统

打靶产生的等离子体成像, 图 6 是典型的实验结果。由图 6 可见, 采用这种线聚焦系统形成的柱状等离子体的自发辐射是相当均匀的, 这也定性地表明, 新型的线聚焦系统能在靶面形成强度相当均匀的驱动激光焦线。

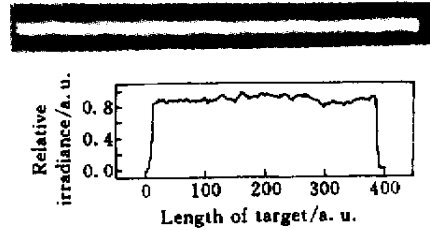


图 6 双狭缝相机实验结果

Fig. 6 Experimental results of double-slit camera

5 结论

利用改进设计的五单元不等宽柱面透镜列阵, 与非球面会聚透镜配合, 并且通过合理地安排靶场光路, 使得光束中“杆”的方向成水平, 可以获得均匀性很好的焦线, 完全能够满足“神光 II”特殊光束强度分布条件下的 X 射线激光实验的要求。在已经进行的类镍银 X 光激光实验中, 使用这一新型的不等宽五单元柱面透镜列阵线聚焦系统, 取得了增益饱和和输出的好结果。

参考文献

1. I. N. Ross, E. M. Hoagson. Some optical design for the generation of high quality line foci [J]. *J. Phys. (E): Sci. Instrum.*, 1985, **18**(1):169~173
2. I. N. Ross, J. Boon, R. Corbett *et al.*. Design and performance of a new line focus geometry for X-ray laser experiments [J]. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(9):1584~1588
3. D. M. V. Villeneuve, G. D. Enright, H. A. Baldis *et al.*. Novel laser line focus geometry applied to X-ray lasers [J]. *Opt. Comm.*, 1991, **81**(12):54~58
4. Chen Wannian, Wang Shushen, Chen Bin *et al.*. Cylinder lenses array line focus system for X-ray laser experiments [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1991, **11**(9):829~833 (in Chinese)
5. Huang Guanlong, Wang Shiji, Lin Zunqi *et al.*. Convex cylindrical lens array line focusing system [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(5):713~717 (in Chinese)
6. S. J. Wang, Y. Gu, G. L. Zhou *et al.*. Experimental research on saturated-gain for soft X-ray laser from neon-like germanium plasma [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 1991, **8**(12):618~621
7. Fu Sizu, Mao Chusheng, Gu Yuan. X-ray double-slit camera for line-plasma observation [J]. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 1991, **3**(1):79~84 (in Chinese)