

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0176-03

高功率大口径激光束无畸变衰减压缩系统

张来明^{1,2}, 李殿军¹, 郭 劲¹

(¹ 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033
² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 为了诊断高功率、大口径光束的质量,设计搭建了一套光束衰减压缩系统,用以实现大口径高功率激光光束的大比率衰减和 x, y 方向上的二维压缩,从而在常规光束质量诊断仪器如 Pyrocam III 等上进行诊断。该系统能将光束平均功率衰减 10^4 倍,二级压缩系统可以对光斑口径实现 16 倍的压缩比。使用 Light Tools 对该压缩系统在强 CO_2 激光辐照下的行为进行了模拟,结果表明该方法是一种简单、准确的变换方式,能够有效地实现设计指标。

关键词 激光技术; 强激光; 光束质量; 衰减压缩系统

中图分类号 TN242 **文献标识码** A

Aberration-Free Attenuation and Compression System for High Power Large Aperture Laser Beam

ZHANG Lai-ming^{1,2}, LI Dian-jun¹, GUO Jin¹

(¹ Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
The Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jiling 130033, China
² Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract To diagnose the beam quality of high power and large aperture laser, a system of attenuation and compression is designed and built to realize big minification and 2D compression and diagnosis by conventional beam quality diagnosis systems such as Pyrocam III. Average power is attenuated to 10^4 and compression ratio reaches 16 times of original beam aperture. The performance of the compression system irradiated by high power CO_2 laser is simulated using Light Tools, and results indicate that this transformation method is simple and exact, which can realize the design targets efficiently.

Key words laser technique; high power laser; beam quality; attenuation and compression system

1 引 言

高功率激光器在国防、工业、科研中的应用日益广泛,其光束质量的好坏直接影响其应用效果,因此,高功率激光器的光束质量日益受到人们的关注^[1~5]。而常用的光束质量诊断仪器如 Pyrocam III, M^2 因子测量仪等无法直接在强光辐射的条件下工作,因此需要有一套行之有效的衰减系统。大功率激光器例如高功率高重复频率 TEA CO_2 激光器的一个显著特征是大口径光斑,为了使用只有 $12.5 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm}$ 口径的 Pyrocam III 进行光束质量诊断,必须对其进行压缩。

常用的光束衰减技术有漫反射屏取样、小孔光栅取样、反射光栅取样和部分透射/反射式取样技术

等^[6,7]。部分透射/反射式取样技术是一种方便、准确的取样方式。采用两片 ZnSe 平镜和四片 Ge 光楔搭建大口径光斑衰减压缩系统:利用 ZnSe 平镜对光束强度进行衰减,利用 Ge 光楔对衰减后光束的口径进行压缩。为了获得最大的压缩比,使用了楔角接近全反射角的 Ge 光楔。通过压缩系统后的光束在 x, y 方向上得到同比例的压缩,通过二级压缩系统可以将大口径光斑压缩到需要的口径。

本文结合实际工程任务,自主设计、搭建了一套高功率激光束的衰减压缩系统,探讨如何将大口径、高功率的 TEA CO_2 激光束衰减、压缩到 Pyrocam III 能够诊断的范围。并使用光学设计软件 Light Tools 对该压缩系统在强 CO_2 激光辐照下的行为进

作者简介: 张来明(1979—),男,山东青州人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生,主要从事大功率激光器及其性能诊断的研究。E-mail: lightcoming@ciomp. ac. cn

行了模拟,结果表明该方法是一种简单、准确的变换方式,能够有效地实现设计指标。

2 实验装置及理论计算

2.1 实验装置

强光衰减压缩系统用于衰减和压缩平均功率为 10 kW 级、光斑口径为 40 mm×50 mm 的高重复频率 TEA CO₂ 激光束,实验装置原理如图 1 所示。

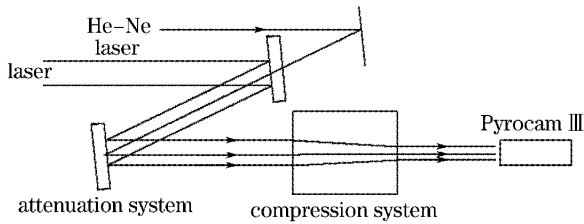


图 1 强光衰减压缩系统光路图

Fig. 1 Sketch of attenuation and compression system for high power laser

整个系统由强光衰减装置与压缩装置组成。衰减装置使用了 ZnSe 平镜,为了避免干涉效应,其中一面设计了 1.5° 的楔角,口径为 10 cm×10 cm,照射面镀上中心波长为 10.6 μm,透射率为 99% 的增透膜,另一面镀上增透膜。ZnSe 镜后面放置吸收体,用以吸收透过的强光,避免对操作者造成伤害。

系统的第二部分为压缩装置。原光束的口径为 40 mm×50 mm,而 Pyrocam III 热释电阵列的口径仅为 12.5 mm×12.5 mm,因此需要大比率的压缩。压缩装置使用大口径的 Ge 光楔。为了获得尽量大的压缩比,将光楔的楔角设计为 13°,接近光线在光楔斜面 14° 的全反射角,如图 2 所示。使用两片 Ge 光楔对光束进行单方向上的压缩。

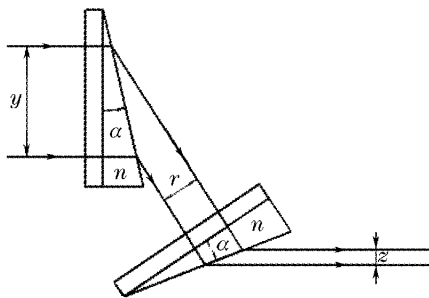


图 2 压缩装置光路图

Fig. 2 Setup of compressor

同理,在另外一个方向上也可以对光斑进行二次压缩。通过组合使用两片 Ge 光楔可以对矩形光

斑在 x, y 方向上做到同比率的压缩。由于平面光学系统是理想的光学系统,所以压缩后得到的光斑能量分布不会失真。压缩后得到的光斑直接进入 Pyrocam III 的探测器,通过计算机输出光斑能量的二维或三维分布。

2.2 理论计算

2.2.1 衰减后的功率及脉冲峰值功率计算

衰减系统中的两个反射面均镀透射率为 99% 的增透膜,所以可以将原光束功率衰减 10^4 倍。平均功率为 10 kW 的激光光束衰减后的光束功率为 1 W,满足 Pyrocam III 的损伤阈值条件。

对于能量为 53 J,脉宽 100 ns 的脉冲,其峰值功率为 5.3×10^8 W。如果衰减比率为 10000:1,那么衰减后的脉冲峰值功率为 5.3×10^4 W,脉冲能量为 5.3×10^{-3} J。

2.2.2 压缩后的光斑面积计算

Ge 材料 10.6 μm 处的折射率为 4.0,可以计算出其全反射角为 14°。压缩装置中为了得到最大的压缩比,使用了楔角为 13° 的光楔。通过几何光学的知识可以计算出关系

$$z = x(1 - n^2 \sin^2 \alpha) / (1 - \sin^2 \alpha),$$

将 $\alpha = 13^\circ, n = 4.0$ 代入上式,可以计算得到 $y = 0.4x, z = 0.16x$,因此通过二级压缩系统可以将原 40 mm×50 mm 的光斑压缩为 6.4 mm×8 mm 的光斑,可以被 Pyrocam III 12.5 mm×12.5 mm 的阵列充分覆盖,从而一次性完整显示光斑能量的二维或三维分布情况。

2.2.3 衰减压缩后的脉冲能量密度计算

$$\rho = Q/S = \frac{5.3 \times 10^{-3} \text{ J}}{6.4 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}} = 9.74 \text{ mJ/cm}^2, \text{ 将}$$

此值与 Pyrocam III 在脉冲模式下工作的能量密度损伤阈值 20 mJ/cm² (1 ns pulse) 与 600 mJ/cm² (1 ms pulse) 相比,此能量密度不会对热释电阵列造成损坏。

3 Light Tools 软件模拟

使用了光学设计软件 LightTools 对压缩系统进行了模拟,用以检验压缩系统的性能表现,如图 3 所示。光源使用了 40 mm×50 mm 的面光源,发出波长为 10.6 μm 的光束,光束发散角设定为 1.7 mrad。

由图 3 可见,口径为 40 mm×50 mm 的光束经过了光楔 wedge 1 和 wedge 2 压缩,设置 receiver 3 接收压缩的最终结果。同时在 wedge 1 和 wedge 2

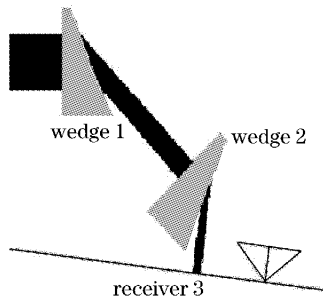


图 3 单向压缩模拟图

Fig. 3 Simulation of 1D compression

上分别设置接收器,记录下原始光斑和经过一次压缩后的光斑,结果如图 4 所示。

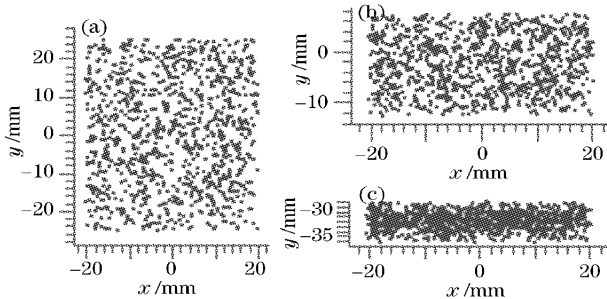


图 4 光斑压缩效果图

Fig. 4 Result of compression

从图 4 可读出,原光斑面积为 $40 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$,一次压缩后的光斑面积为 $40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$,二次压缩后得到的光斑面积为 $40 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 。与理论计算完全符合。

4 结 论

使用 ZnSe 平镜与 Ge 光楔设计搭建了一套大口径光斑、高功率光束的衰减和压缩系统。通过使

用该系统,能将平均功率为 10 kW ,光斑口径为 $40 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的光束衰减为平均功率 1 W ,光斑面积 $6.4 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 的光束,从而传输到 Pyrocam III 相机中,诊断出光斑能量的二维及三维分布。通过该分布得到的光斑信息也可以得到其他感兴趣的参量,比如 M^2 因子、光斑中心抖动情况等。

使用了光学设计软件 LightTools 对压缩装置的行为进行了模拟,模拟结果表明该系统能很好地对大口径光斑进行压缩,与理论计算完全符合。

参 考 文 献

- 1 Lü Baida, Ji Xiaoling, Luo Shirong *et al.*. Parametric characterization of laser beams and beam quality [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, **33**(1): 14~17
吕百达,季小玲,罗时荣等. 激光的参量描述和光束质量 [J]. *红外与激光工程*, 2004, **33**(1): 14~17
- 2 Lei Hong, Li Qiang, Zuo Tiechuan. Measurement method of high-power laser beam parameters [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2000, **11**(4): 372~374
雷 旬,李 强,左铁钊. 大功率激光光束参量的测量方法 [J]. *光电子·激光*, 2000, **11**(4): 372~374
- 3 Wu Jin, Peng Xianzhao, Tan Rongqing *et al.*. Evaluation of beam quality of a high average power pulse TEA CO₂ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 1999, **A26**(7): 589~593
吴 谨,彭先兆,谭荣清等. 高平均功率脉冲 TEA CO₂ 激光器输出光束质量评价 [J]. *中国激光*, 1999, **A26**(7): 589~593
- 4 Cui Tieji, Duo Liping, Zhou Dazheng. Beam quality measurement of high energy supersonic chemical Oxygen-Iodine laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 1997, **9**(1): 13~16
崔铁基,多丽萍,周大正等. 高能超音速碘化学激光光束质量的测量 [J]. *强激光与粒子束*, 1997, **9**(1): 13~16
- 5 Li Qiang, Lei Hong, Huang Minshuang *et al.*. Research on high power laser beam and focus power intensity distribution directly measuring instrument [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(3): 257~262
李 强,雷 旬,黄民双等. 大功率激光光束聚焦光斑功率密度分布直接测量仪的研究 [J]. *中国激光*, 2002, **A29**(3): 257~262
- 6 Su Yi, Wan Min. High energy laser system [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004. 244~246
苏 毅,万 敏. 高能激光系统 [M]. 北京:国防工业出版社, 2004. 244~246
- 7 Douglas L. Franzen. Precision beam splitters for CO₂ lasers [J]. *Appl. Opt.*, 1975, **14**(3): 647~652