

doi: 10.3788/LOP47.082201

大型复杂激光器中空间滤波器的在线监测

邱基斯^{1,2,3} 樊仲维^{1,3} 唐熊忻^{1,2,3} 侯立群³ 张晶³ 赵天卓^{1,3} 麻云凤^{1,2,3}(¹中国科学院光电研究院, 北京 100085; ²中国科学院研究生院, 北京 100085)³北京国科世纪激光技术有限公司, 北京 100085

摘要 设计了一种用于大型复杂激光器的紧凑空间中实现在线监测光是否恰好通过空间滤波器小孔光阑中心的检测方法。紧贴空间滤波器小孔光阑上方的窗口片胶合一棱镜,使置于 CCD 前的 LED 发出的光经棱镜后照射到小孔光阑,反射回的图像由 CCD 接收,从而实现在线监测。分析了所需棱镜应满足的条件:棱镜尖角到小孔光阑中心的垂直距离不小于 4 mm,棱镜的角度应尽量小以致照射小孔光阑的出射光尽可能平行。并利用光学设计软件 Zemax 模拟了加入棱镜后的光路,合理的棱镜参数为角度 55°,两直角边分别为 10 mm 和 14.3 mm。实验验证了所设计方法的高效可行性。

关键词 激光器;空间滤波器;棱镜;Zemax

中图分类号 TN248.1

OCIS 220.2740.120.4570

文献标识码 A

On-line Monitoring of Spatial Filter for Large and Complex Laser System

Qiu Jisi^{1,2,3} Fan Zhongwei^{1,3} Tang Xiongxin^{1,2,3} Hou Liqun³ Zhang Jing³
Zhao Tianzhuo^{1,3} Ma Yunfeng^{1,2,3}¹ Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China² Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China³ Beijing GK Laser Technology Co., Ltd, Beijing 100085, China

Abstract In order to monitor whether the light just passes the spatial filter pinhole center, an on-line detection method in compact space for large and complex laser system was designed. A prism is located close to the window of the spatial filter, so that the light from LED before CCD can be irradiated to the small hole. At the same time, the CCD can receive the image of reflected light, and thus on-line monitoring is achieved. The prism meets the required conditions, that the vertical distance between the prism cusp and the center of the hole is not less than 4 mm, and the angle of prism should be as small as possible so that the exit light is in parallel. Using the optical design software Zemax, the light path was simulated and the parameters of the prism were derived. The results show that the angle of the prism is 55°, and the right-angle side is respectively 10 mm and 14.3 mm. The experiment proves the feasibility and efficiency of the designed method.

Key words lasers; spatial filter; prism; Zemax

1 引言

从 20 世纪 80 年代以来,惯性约束聚变(ICF)激光驱动器的研究取得了重大进展。预放系统作为激光驱动器的重要组成部分,其作用为将前端注入的脉冲进行时间和空间上的整形,并将脉冲进一步放大^[1]。为了提高

收稿日期: 2010-01-20; 收到修改稿日期: 2010-02-02

基金项目: 国家 863 计划高技术目标导向项目(003-AA-2007AA03Z448)和国家自然科学基金(60927010)资助课题。

作者简介: 邱基斯(1982—),男,博士研究生,主要从事大型复杂全固态激光器和激光放大器等方面的研究。

E-mail: keith0311@163.com

导师简介: 樊仲维(1965—),男,研究员,主要从事全固态激光器方面的研究。E-mail: fanzw@gklaser.com

系统效率和降低装置造价,预放装置中采用了双程放大系统,激光脉冲两次通过放大器,利用空间滤波器在焦平面上实现光束的注入和倒出。这是一种无开关的同轴式结构,既克服了采用大口径电光开关所带来的技术难度和昂贵费用等缺点,又解决了近场注入离轴双程放大方案中填充因子低的问题。空间滤波器还承担着消除激光束中的高频调制,抑制后续主放大器中的小尺度自聚焦效应,对光束进行像传递的任务。通过空间滤波器实现像传递,可减少衍射效应,从而提高光束质量。此外,空间滤波器还被用来扩大光束口径,将能量逐级变高的激光束的能量密度控制在光学破坏阈值之下。同时,空间滤波器的小孔光阑还具有一定的光隔离能力,有利于抑制自激振荡和反向激光束^[2-7]。

鉴于空间滤波器在预放系统中所起的关键作用,光束能否正好通过空间滤波器小孔光阑中心至关重要。兼顾系统维护时间和在线装调的环境,预放系统使用了自动准直系统,此系统由若干 CCD 在线监视,其中最重要的就是用来监视光束过空间滤波器小孔光阑的 CCD。同时,预放系统在设计上为了满足高增益、高能量、高稳定性的前提,需要数十个光学元件和若干单元组件来实现,这些元器件都密封在充氮箱体内,元器件之间结构紧凑、间隔非常小,沿激光传输正方向已没有足够的空间放置 CCD 实现在线监测光线通过空间滤波器小孔光阑的情况。本文设计了一种在线监测方法来解决此难题,且利用光学设计软件 Zemax 模拟了实验所需的棱镜并追迹了整个调试光线,最后用实验证实了该方法的高效可行性。

2 在线监测方案设计

空间滤波器的外形如图 1(a)所示,由不锈钢外壳和位于左右以及小孔光阑上下的窗口片组成,小孔光阑密闭在抽成真空的不锈钢壳体内,其中小孔光阑上方窗口片尺寸如图 1(c)所示为 30 mm×18 mm。空间滤波器的密闭结构给观察光线是否刚好通过小孔光阑中心带来了极大的不便。

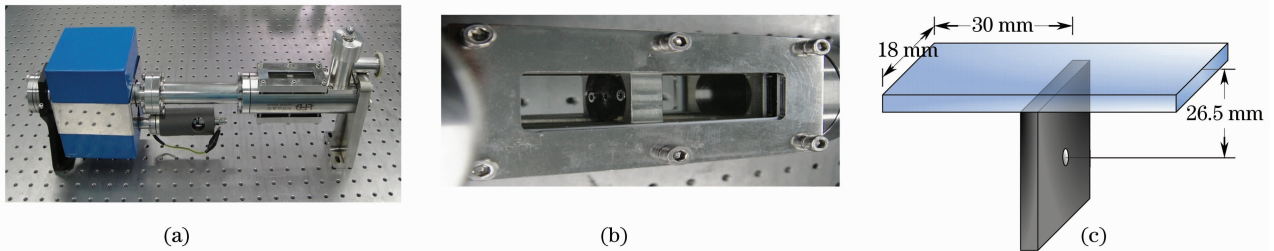


图 1 (a)空间滤波器的总体结构;(b)小孔光阑;(c)窗口片尺寸

Fig. 1 (a) General structure of spatial filter ;(b) pore close-up;(c) the size of window

若在空间滤波器小孔光阑上方的窗口片上胶合一块三棱镜,窗口片上方 20 mm 处放置一个透镜,并在透镜上安装一个发光波长为 950 nm,发散角为 8°的 LED 照明光源,照明光经透镜、窗口片、三棱镜全反射后照射到小孔光阑上。由小孔光阑表面漫反射的光再反射回来,经棱镜、窗口片和三透镜成像在 CCD 上。这样就可以通过观察 CCD 监测光束是否恰好通过小孔光阑中心,此时整个光路如图 2 所示。棱镜和窗口片所用玻璃选用同样的材料 BK7,折射率 $n_{BK7} = 1.52$ 。

由布儒斯特角公式 $n \sin \theta = 1$ 知,若在棱镜的斜边上实现全发射需满足 $\theta > 41.1^\circ$,在棱镜的另一条直角边实现透射需满足 $\theta < 65.6^\circ$,即 $41.1^\circ < \theta < 65.6^\circ$ 。另一方面,欲使棱镜不挡住进入小孔光阑的光束,棱镜顶点到孔中心的垂直距离必须大于 4 mm。光线经过棱镜后向下照射到小孔光阑 θ 必须大于 45° ,于是, θ 的范围调整为 $45^\circ < \theta < 65.6^\circ$ 。同时,用 Zemax 设计棱镜时要使 θ 尽量小,使照射到小孔光阑的出射光趋于水平,这样 LED 在透镜上做较大范围的移动,光仍会照射到小孔光阑。图 3(a)所示为 Zemax 模拟的棱镜角度 $\theta = 50^\circ$ 时 LED 所发光的光线追迹图,但棱镜左边缘到小孔光阑所在平面的位置超过了 30 mm,不可取。图 3(b)所示为

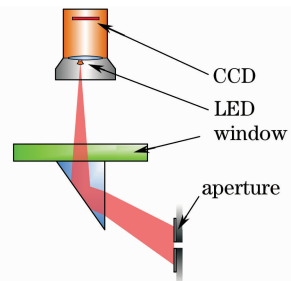
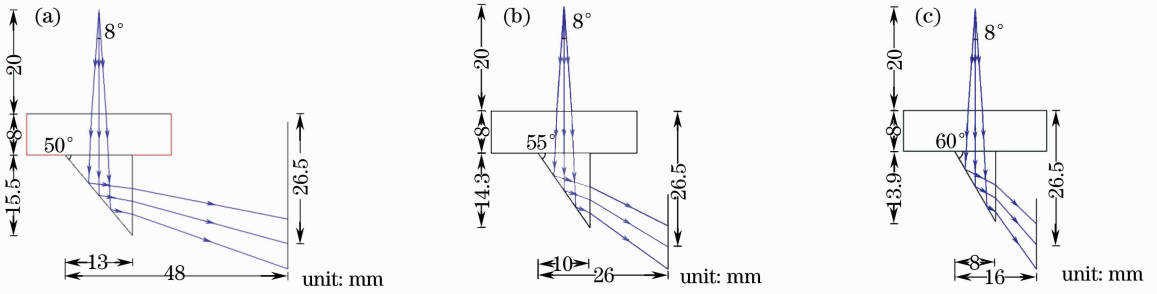


图 2 设计的在线监测的光路示意图

Fig. 2 Diagram of optical path of designed on-line monitoring

图3 棱镜角度为 55° (a), 55° (b), 60° (c)时的光线追迹Fig. 3 Diagram of ray-tracing when the prism angle is 55° (a), 55° (b), 60° (c)

棱镜角度 $\theta=55^\circ$ 时,Zemax 模拟的光线追迹图,棱镜紧贴窗口片的直角边长度为 10 mm,且图中标出的各数据都满足设计要求。图 3(c)所示为 $\theta=60^\circ$ 时的光线追迹图,虽然 LED 发出的光能照射到小孔光阑,但出射光线与水平线的夹角变得很大,LED 在透镜上稍做移动,出射光就会偏离小孔光阑所在位置,CCD 将监测不到小孔光阑。此时,LED 在透镜上可移动范围变得非常小,不利于实际观测。

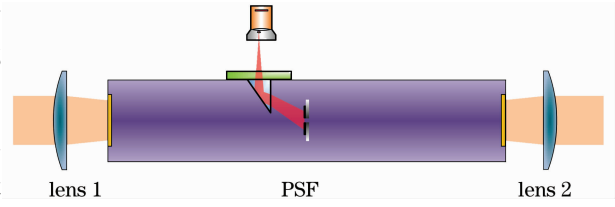


图4 实验光路图

Fig. 4 Experimental optical path

3 实验验证

按图 4 所示,搭建好测试光路,并按照设计的在线监测方法在空间滤波器小孔光阑上方放置透镜、LED 和 CCD 探头。图 5(a)为调试空间滤波器前从 CCD 探头上接收到的图像,此时光并没有从小孔光阑的正中心通过。将空间滤波器略做调试,光正好从小孔光阑中心穿过,如图 5(b)所示。

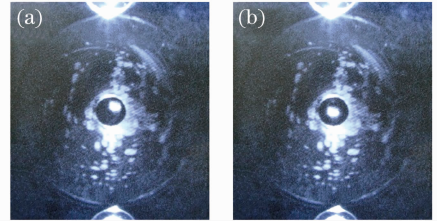


图5 (a)调试前光未过小孔光阑中心;(b)调试后光正好穿过小孔光阑中心

Fig. 5 (a) Light does not exactly transmit through the center of the hole before debugging; (b) light exactly transmits through the center of the hole after debugging

4 结论

通过设计一块胶合于空间滤波器窗口片上角度为 55° ,两直角边分别为 10 mm 和 14.3 mm 的三棱镜,使 LED 发出的光通过棱镜后照射到小孔光阑上,利用 CCD 能清晰地观察到小孔光阑所在平面,从而成功调试空间滤波器,使得激光光束顺利地从小孔光阑正中心穿过。设计的空间滤波器的监测方法使得在紧凑的空间里实现了在线实时监测,能快速准确地调试光路,在很大程度上提高了光束成像质量。

参考文献

- Deng Qinghua, Peng Hansheng, Gao Songxin *et al.*. Laser diode array pumped high-gain Nd:glass rod amplifier [J]. *Chinese J. Laser*, 2009, **36**(1): 70~76
- 邓青华, 彭翰生, 高松信 等. 激光二极管阵列抽运高增益钕玻璃棒状放大器 [J]. *中国激光*, 2009, **36**(1): 70~76
- W. W. Simmons. A high energy spatial filter for removal of small scale beam instabilities in high power solid state laser [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1975, **11**(9): 852
- J. T. Hunt, P. A. Renard, W. W. Simmons. Improved performance of fusion lasers using the imaging properties of multiple spatial filters [J]. *Appl. Opt.*, 1977, **16**(4): 779~782
- W. W. Simmons, D. R. Speck, J. T. Hunt, Argus laser system; performance summary [J]. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(7): 999~1005
- Xu Shixiang, Guan Fuyi, Lin Zunqi *et al.*. Design and measurement of focal lengths of lenses of large f-number used in

- spatial filters in a high power solid-state laser system [J]. *Chinese J. Laser*, 1996, **A23**(12): 1077~1080
徐世祥, 管富义, 林尊琪 等. 高功率激光系统空间滤波器透镜焦距的选择及其测量 [J]. 中国激光, 1996, **A23**(12): 1077~1080
- 6 Peter M. Celliers, Kent G. Estabrook, Russell J. Wallace *et al.*. Spatial filter pinhole for high2energy pulsed lasers [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37** (12): 2371~2378
- 7 Wang Guiying, Zhao Jiuyuan, Zhang Mingke *et al.*. Basic study on spatial filter used in Nd-glass high power laser system [J]. *Acta Physica Sinica*, 1985, **34**(2): 171~181
王桂英, 赵九源, 张明科 等. 钕玻璃高功率激光系统中的空间滤波器的基本研究 [J]. 物理学报, 1985, **34**(2): 171~181