

文章编号: 0258-7025(2001)08-0714-03

多波长激光扩束系统的设计

李良钰^{1,3} 李常春² 李银柱¹ 戴亚平¹ 刘诚¹ 程笑天¹ 朱健强¹ 王仕璠³

(¹ 中国科学院上海光机所高功率激光物理国家实验室 上海 201800;

² 重庆通信学院 重庆 400035; ³ 电子科技大学应用物理系 成都 610054)

摘要 在ICF高功率激光驱动器中,用双胶合透镜代替扩束望远系统中的较大透镜,或用两反射镜做成反射式扩束系统,两种情形都能对多种波长进行扩束,达到了设计要求。

关键词 激光扩束,双胶合透镜,像差,非球面

中图分类号 TL 632⁺.1; TH 743 文献标识码 A

Design of Laser Expanding Systems for Multi-wave Length

LI Liang-yu^{1,3} LI Chang-chun² LI Yin-zhu¹ DAI Ya-ping¹

LIU Cheng¹ CHENG Xiao-tian¹ ZHU Jian-qiang¹ WANG Shi-fan³

(¹ State Key Lab of High Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

² Institute of Chongqing Commnuication, Chongqing 400035

³ Department of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract In the ICF high power laser drivers, a cemented doublet lens laser expanding system and reflectional expanding system for multi-wave length are given.

Key words expanding of laser, cemented doublet, aberration, asphere

1 引言

激光光学系统有时需要有较宽的光束,故应对激光束进行扩束。一般的激光扩束系统结构如图1所示,图中(a)为开普勒望远系统,在扩束系统的中间焦点处加一小孔光阑,以限制聚焦光点的大小,这种结构外型尺寸较长,在激光扩束中用得不多;(b)为伽利略望远系统,由于其外型尺寸小,作为扩束系统更具有其优越性而被经常采用。当采用伽利略望远系统时,图1(b)左边是一小孔径负透镜,右边是一大孔径正透镜,为了校正轴上像差,正透镜的一面采用非球面。这种典型的目镜和物镜都是单片透镜的扩束系统,只能对某一波长的激光扩束。由于色差的存在,要对另一波长的激光进行扩束,必须针对该波长另设计扩束系统,这样很不方便,也不经济。

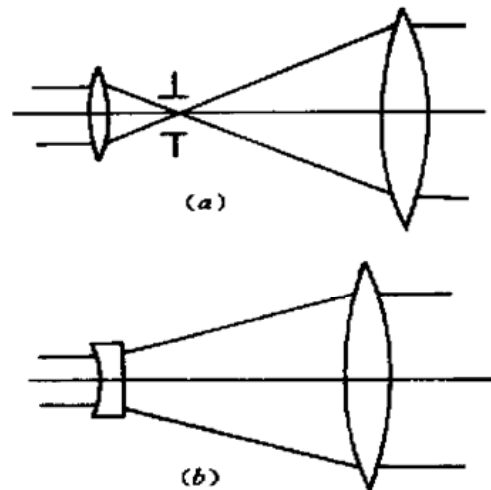


图1 扩束望远系统

(a) 开普勒望远系统; (b) 伽利略望远系统

Fig. 1 Expanding telescope

(a) Keplerian telescope; (b) Galileo telescope

2 多波长扩束系统的设计方案

在实际激光扩束中,如 ICF 高功率激光驱动器中的激光扩束系统,要对基频(波长为 $1.053 \mu\text{m}$)激光进行扩束,同时也希望能对三倍频(波长为 $0.351 \mu\text{m}$)激光进行扩束。如果扩束系统的小孔径透镜和大孔径透镜都是单片透镜时,只能对一种波长校正像差。由于色差的存在,当对另外一种波长的激光进行扩束时,不但要重新调整两透镜的距离,像差也会改变,因此在这种情况下,对多少种波长的激光进行扩束,就必须相应地设计多少个扩束系统,这非常麻烦,也不利于节约系统资源。

2.1 双胶合非球面透射式扩束系统设计方案

为了对激光扩束系统实现多波长消色差,将图 1(b) 中的右边大孔径单透镜改为双胶合透镜,如图 2 所示。由于双胶合透镜的相对孔径系统比较小,必须增加大透镜焦距,使整个扩束系统的长度增加。因为激光束的直径接近透镜的口径,而视场角又较小,此时激光扩束系统的大透镜的一面采用非球面,可以校正轴上点宽光束像差^[1]。

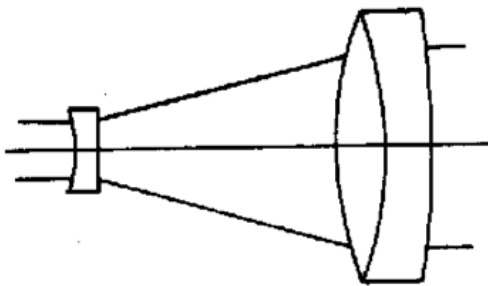


图 2 非球面双胶合透射式激光扩束系统

Fig. 2 Laser expanding system in cement refractive asphere

2.2 双非球面反射式扩束系统设计方案

任何一种透射式(包括双胶合非球面透射式)激光扩束系统都不能实现完全消色差。根据光的反射原理,采用双反射镜非球面系统^[2],其结构简单且又不产生色差,是设计优质激光扩束系统的有效方案。该方案的结构如图 3 所示,这种扩束系统跟光的波长无关,选定非球面系数校正轴上像差后,可以对任

何波长的非吸收激光进行扩束。

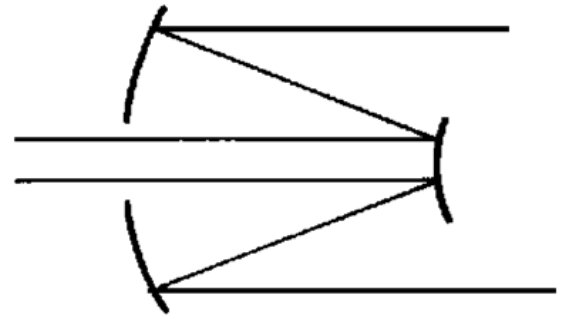


图 3 双非球面反射式激光扩束系统

Fig. 3 Laser expanding system in two reflective asphere

3 设计实例

根据 ICF 高功率激光驱动器对激光扩束的要求,需要将直径为 2 mm 的激光束扩为 200 mm ,激光的波长范围是从基频(波长 $1.053 \mu\text{m}$)到三倍频(波长 $0.351 \mu\text{m}$),主要是在 $0.351 \mu\text{m}$ 和 $1.053 \mu\text{m}$ 之间切换。

3.1 双胶合非球面透射式激光扩束系统的设计

基于这一要求,根据 2.1 的设计方案,我们用 Gold 软件进行了设计,设计结果如表 1 所示,其中第 5 面为非球面,其余各面是球面。如果以非球面顶点为坐标原点,向左为 z 轴方向,垂直于 z 轴为 xy 平面建立坐标系,非球面方程为

$$z = \frac{3.850e^{-4}(x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - 1.486e^{-7}(x^2 + y^2)}} + 1.292e^{-16}(x^2 + y^2)^2 + 9.802e^{-21}(x^2 + y^2)^4$$

系统总长为 1559.706 mm ,小透镜和大透镜之间的距离为 1520.9 mm ,该系统在 $0.351 \mu\text{m}$ 和 $1.053 \mu\text{m}$ 之间切换时(实际上可以对 $0.351 \mu\text{m}$ 和 $1.053 \mu\text{m}$ 之间的任何一种波长的激光扩束),小透镜和大透镜之间的距离不用重新调整,使用起来非常方便,达到了 ICF 高功率激光驱动器的要求,只是系统比较长。从胶合透镜的像差曲线中可以看出, $0.351 \mu\text{m}$ 和 $1.053 \mu\text{m}$ 两种波长的色球差^[3]已消除,达到了设计要求。

表 1 双胶合非球面透射式激光扩束系统结构数据

Table 1 Structure data of laser expanding system in cement refractive asphere

Surface No.	Radius/mm	Thickness/mm	Aperture Radius/mm	Glass
1	- 10.7368	1.8060	2.5000	K9
2	180.5253	1520.9000	2.5000	Air
3	879.7375	25.0000	105.0000	K9
4	- 806.3735	12.0000	105.0000	ZF2
5	- 2594.1000		105.0000	Air

表 2 双非球面反射式激光扩束系统结构数据

Table 2 Structure data of laser expanding system in two reflective asphere

Surface No.	Radius/mm	Thickness/mm	Aperture radius/mm
1	50.40	604.80	6.00
2	1260.00		105.00

3.2 双非球面反射式激光扩束系统的设计

根据前面的设计要求,因为反射系统不产生色差,利用 2.2 的设计方案,其结构参数的计算可以分两步进行:首先从高斯光学的要求,可以得到双反射镜的顶点曲率半径,以及两反射面之间的空气间隔距离;其次,根据消像差的要求,求得镜面的非球面面形。利用 Gold 软件,设计出了一双反射面的伽利略式激光扩束系统,该系统的结果如表 2 所示。

两个反射面为二次旋转对称抛物面,如果分别以非球面顶点为坐标原点,向右为 z 轴方向,垂直于 z 轴为 xy 平面建立坐标系,两个非球面的面形方程分别为

$$z - (x^2 + y^2)/100.8 = 0$$

和
$$z - (x^2 + y^2)/2520.0 = 0$$

因反射面镀膜后跟材料无关,系统材料选用 K9 玻璃即可,整个系统总长为约 650 mm。该结构跟 3.1 的结果相比,系统要短得多,也达到了 ICF 高功率激光驱动器的要求,是一个很好的扩束系统。

3.3 双非球面反射式激光扩束系统的实际性能

双非球面反射式激光扩束系统的装置如图 4 所示,“神光 II 装置”正用它作三倍频模拟光扩束,效果非常好。这主要表现在三个方面:(1) 能量利用率达到 97%;如果用透射式(原扩束系统的材料是 K9 和 ZF2),仅考虑玻璃对光的吸收因素,理论计算能量的利用率最大只有 20%。这一点在 ICF 中非常重

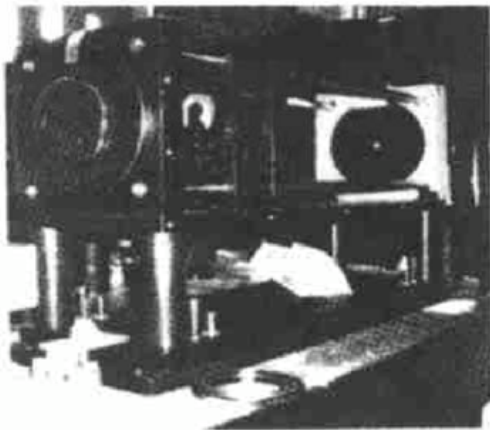


图 4 反射式扩束系统

Fig. 4 Photograph of reflectional expanding system

要,因为评价激光驱动装置的一个重要指标就是能量,如果能量上不去,核聚变就难以实现。(2) 由于副镜的调节采用精密机械,可在上下、左右和空间立体角范围内随意调整,使主镜和副镜严格同轴,而且最后扩束出来的激光束发散角只有 1.03×10^{-8} rad。(3) 扩束后激光束的干涉图如图 5 所示,从图中可以看出,从主镜反射出来的是很好的平行光。



图 5 干涉图样

Fig. 5 Interference photograph

4 结 论

在 ICF 高功率激光驱动器中,本文设计的非球面双胶合透射式和双非球面反射式激光扩束系统能对多种波长的激光进行扩束,具有目镜和物镜都是单透镜的扩束望远系统所没有的优点,达到了 ICF 高功率激光驱动器中对基频激光(波长为 $1.053 \mu\text{m}$)和三倍频激光(波长为 $0.351 \mu\text{m}$)进行扩束的目的。由于很多材料对 $0.351 \mu\text{m}$ 波长的光吸收严重(包括 K9 和 ZF2 玻璃),因此,在“神光 II 装置”中采用反射式扩束系统对 $0.351 \mu\text{m}$ 的激光进行扩束。

参 考 文 献

- 1 Lin Dajian. Design of Engineering Optical Systems. Beijing: Mechanics Industry Press, 1987. 265~ 292 (in Chinese)
- 2 David Shafer. Optical design with only two surfaces. SPIE, 1980, 237: 256~ 261
- 3 Zhang Yimo. Application Optics. Beijing: The Publishing Mechanics Industry Press, 1984. 244 (in Chinese)