

文章编号: 0258-7025(2001)09-0826-03

# “神光”装置中空间滤波器的鬼点分析\*

李良钰<sup>1,2</sup> 王仕藩<sup>2</sup> 李银柱<sup>1</sup> 刘诚<sup>1</sup> 戴亚平<sup>1</sup> 程笑天<sup>1</sup> 朱健强<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院上海光机所高功率激光物理联合实验室 上海 201800; <sup>2</sup> 电子科技大学应用物理系 成都 610054)

**摘要** 在设计“神光”装置各光学元件时,鬼点反射是主要考虑的因素之一。通过分析神光装置主放大器后的空间滤波器的鬼点,确定了空间滤波器中透镜的选型,以及主放大器中软玻璃片与空间滤波器透镜间的距离。

**关键词** 空间滤波器,鬼点,光线追迹,矩阵光学

**中图分类号** TL 632<sup>\*</sup>.1; TN 713 **文献标识码** A

## Ghosts Analysis of the Spatial Filter in “SHENGUANG” Facility

LI Liang-yu<sup>1,2</sup> WANG Shi-fan<sup>2</sup> LI Yin-zhu<sup>1</sup> LIU Cheng<sup>1</sup>  
DAI Ya-ping<sup>1</sup> CHENG Xiao-tian<sup>1</sup> ZHU Jian-qiang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

<sup>2</sup> Department of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054

**Abstract** Designing the optical elements of the “SHENGUANG” facility, ghost reflecting must be analyzed. By calculating and analyzing the ghosts of spatial filter in “SHENGUANG” facility, the lens style of the spatial filter, and the distance between the spatial filter and the main amplifier are established.

**Key words** spatial filter, ghost, ray tracing, matrix optics

### 1 引言

“神光”装置各光学元件的表面都镀有增透膜,但它们都不可能100%透射。如果有0.5%的反射率,对于“神光”Ⅲ装置,主放级单束激光的能量约为2200 J,因此反射回来的能量是11 J,当这些能量聚焦到光学元件上,或者光学元件放到它的焦点处时,光学元件将毫无疑问地被损坏。因此,在进行“神光”Ⅲ装置各光学元件设计前,控制鬼点反射是预先主要考虑的因素之一。根据图1所示,这些位置应该跟透镜的形状有关,根据鬼点位置与透镜形状的关系,确定透镜的形状及放大器 Amp1, Amp2 分别与透镜  $L_1, L_3$  的距离等。

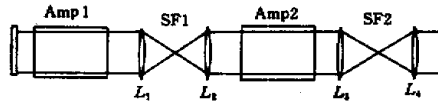


图1 放大器和空间滤波器示意图  
Fig.1 Amplifier and spatial filter

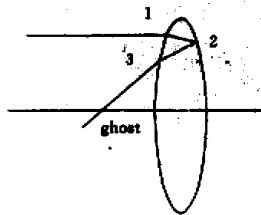


图2 透镜第2面的反射

Fig.2 Light is reflected by the second surface of lens

### 2 鬼点计算

#### 2.1 一阶鬼点

对于任意结构的透镜,如图2所示,两面的曲率

半径分别为  $r_1$  和  $r_2$ ,透镜厚度为  $d$ ,折射率为  $n$ ,光线从透镜表面1入射,经表面2反射后,从表面3射出。根据矩阵光学<sup>[1]</sup>,其矩阵链为

\* 国家863惯性约束核聚变领域资助课题。

收稿日期:2001-03-23

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1-n/r_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d/n \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2n/r_2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & d/n \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1-n/r_1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$

经计算

$$f_g = -\frac{1}{c} =$$

$$-\frac{nr_1^2 r_2}{2[nr_1 - d(n-1)][nr_1 - (r_2 + d)(n-1)]}$$

上式中  $f_g$  为最后出射光线与光轴交点, 即为一阶鬼点与系统主点的距离。

在“神光”Ⅲ装置中, 空间滤波器的焦距很长(大于 10 m),  $r_1, r_2$  远远大于  $d$ , 于是有

$$f_g = -\frac{r_1 r_2}{2[nr_1 - r_2(n-1)]}$$

下面就各种类型透镜的情形进行讨论(以文献[1]要求设计的透镜)。

### 2.1.1 平凸透镜

当平凸透镜(透镜凸面的曲率半径为 5190 mm, 材料为 K9, 透镜焦距为 10251 mm)如图 3 a 放置, 即平面为反射面时:  $f_g = r_1/2(n-1)$ , 它与透镜的焦距之比为

$$f_g/f = 1/2$$

其中,  $f$  为平凸透镜的焦距。将数据代入得  $f_g = 5125.5$  mm。

当平凸透镜如图 3 b 放置时, 即凸面为反射面时:  $f_g/f = \frac{n-1}{2n}$ , 将数据代入得  $f_g = 1745.4$  mm。

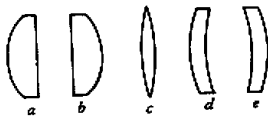


图 3 三种透镜示意图

Fig. 3 Three kinds of lens

### 2.1.2 双等凸透镜

当透镜为双等凸透镜(透镜曲率半径为 10382 mm, 材料为 K9, 透镜焦距为 10250 mm), 即如图 3 c 的情形时:  $f_g/f = \frac{n-1}{2n-1}$ , 将数据代入得  $f_g = 2603.8$  mm。

### 2.1.3 弯月型透镜

$$\text{弯月型透镜: } f_g = -\frac{r_1 r_2}{2[nr_1 - r_2(n-1)]}$$

透镜向右弯时(透镜曲率半径为 2000 mm 和 3230.4 mm, 材料为 K9, 焦距为 10249 mm, 如图 3 d, 将数据代入上式得  $f_g = -2367.2$  mm, 说明鬼点在透镜的右边, 因为计算时, 是以平行光入射, 算出来的实际是当透镜第 2 面为反射面时系统的焦距, 焦点在右说明最后出来的光线是发散的。

透镜向左弯时(透镜曲率半径为 -3230.4 mm 和 -2000 mm, 材料为 K9, 焦距为 10249 mm, 如图 3 e, 将数据代入得  $f_g = 835.6$  mm。

### 2.2 二到六阶鬼点

在一阶鬼点基础上, 计算二到六阶鬼点。鬼点阶数的定义为: 光线从透镜左边入射, 经过一次反射光线出射后与主光轴的焦点即为一阶鬼点(如图 2 所示), 依次类推, 两次反射为二阶鬼点, 三次反射为三阶鬼点, 一直到六次反射为六阶鬼点。随着反射面的增多, 如果再用矩阵光学的方法推算很困难, 即使推出来得到一长串表达式, 也看不出什么规律。这里在光学软件 OSLO 里用光线追迹的方法计算, 同时也可以检验前面用矩阵光学计算的结果。还是前面的几种透镜, 用光线追迹算得的结果如表 1 和图 4 所示。

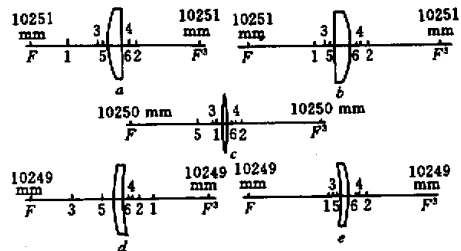


图 4 鬼点分布情况

Fig. 4 Locations of ghosts

从表 1 和图 4 各种透镜鬼点的分布情况可以看出, 除了向右弯的弯月型透镜(图 4 d)外, 透镜两边随阶数即反射次数的增加, 鬼点向透镜表面靠近。在图 4 d 中, 一阶鬼点是一虚点, 即一次反射后光线是发散的, 其余位于透镜两边的鬼点也随级次的增加高透镜越近。

表 1 鬼点分布情况  
Table 1 Locations of ghosts

Lens	The first order ghost /mm	The second order ghost /mm	The third order ghost /mm	The fourth order ghost /mm	The fifth order ghost /mm	The sixth order ghost /mm	Focal length $f'$ /mm
Planoconvex (Fig. 4 (a))	5112.2 (left)	1448.1 (right)	1248.4 (left)	752.5 (right)	677.9 (left)	484.3 (right)	10251
Planoconvex (Fig. 4 (b))	1697.3 (left)	1436.6 (right)	821.9 (left)	738.1 (right)	517.7 (left)	468.7 (right)	10251
Equiconvex (Fig. 4 (c))	2557.3 (left)	1444.9 (right)	993.9 (left)	746.8 (right)	588.7 (left)	477.5 (right)	10250
Meniscus (Fig. 4 (d))	2424.8 (right)	1421.1 (right)	5529.5 (left)	749.0 (right)	1219.6 (left)	490.0 (right)	10249
Meniscus (Fig. 4 (e))	804.0 (left)	1375.0 (right)	517.0 (left)	691.0 (right)	363.0 (left)	427.0 (right)	10249

### 3 结 论

矩阵光学法和光线追迹法两种方法算得的结果一致(用矩阵光学计算的一阶鬼点的结果与用光线追迹的一阶鬼点不一样,那是因为矩阵光学计算的是从鬼点到透镜主平面的距离,折算以后它们是一致的)。由于平凸透镜和弯月型透镜的鬼点离透镜的距离相对于等双凸透镜来说要远,如果空间滤波器用平凸透镜或弯月型透镜,片状放大器与空间滤

波器的距离要远一些,这不利于节约空间,因此惯性约束聚变(ICF)高功率激光器的空间滤波器用等双凸透镜为好。

### 参 考 文 献

1. Zhu Qingchun *et al.*. Matrix Optics. Shanghai: Shanghai Press of the Technology and Sciences, 1991. 24~74 (in Chinese)