

# 拼接误差对拼接式大口径反射镜成像质量的影响\*

陈荣利<sup>1</sup>, 张涛<sup>2</sup>, 马臻<sup>1,3</sup>, 樊学武<sup>1</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

(2 北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:**以由七片边长为 0.5 m 的正六边形子镜组成的拼接式大口径反射镜为例, 理论分析和数值模拟各种拼接误差对成像质量的影响. 利用傅里叶变换的特殊性质简化求解大反射镜的点扩散函数过程并推导各种误差下的解析表达式. 采用快速傅里叶变换数值模拟边缘失配误差、平移误差及倾斜误差情况下的点扩散函数, 并根据光学系统的成像原理模拟成像效果. 结果表明, 边缘失配误差对成像质量无影响, 而平移误差影响较大, 倾斜误差影响相对较小.

**关键词:**拼接式反射镜; 拼接误差; 傅里叶变换; 点扩散函数; 成像质量

中图分类号: 0439

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)12-3240-5

## 0 引言

大口径反射镜在航天探测系统、空间光学传感器以及天文望远镜等领域具有广泛应用. 通过增大其口径可以有效提高系统的成像质量, 但同时会受到加工、运输和装调等过程工艺和成本的限制. 近年来, 为克服上述矛盾, 人们提出的拼接式大口径反射镜的思想在空间观测领域占据了越来越重要的地位<sup>[1]</sup>. 这种拼接反射镜与普通的大口径反射镜在结构和成像性质上类似, 是利用多块小口径子镜来拼接成主镜以实现单一大口径反射镜的功能. 该技术具有可以单独加工和运输, 具有体积小、质量轻、拼接口径大、分辨率高、部署灵活多变等优点. 但拼接式大口径反射镜技术发展的一个瓶颈是子镜拼接问题, 子镜的面形误差、失调误差会大幅改变系统的光瞳函数, 对像面复振幅分布造成较大影响<sup>[2]</sup>. 拼接过程中, 每块子镜具有 6 个自由度: 沿光轴方向上的平移; 在反射镜平面内的横向平移; 围绕横向  $x$  和  $y$  轴的旋转及在反射镜平面内围绕光轴的旋转, 以上各自由度上的失配均会使拼接主镜在成像过程时存在误差, 如: 边缘失配误差、piston 误差、平移误差、旋转误差和倾斜误差等. 另外, 子镜在制作过程中还存在反射镜面变形、散焦、像散及边缘缺陷等问题. 因此, 在设计和使用拼接式大反射镜前, 应综合考虑各种误差, 以减少其对成像质量的影响. 目前, 大量工作已经围绕拼接式大反射镜的设计<sup>[3]</sup>及其误差分析<sup>[4]</sup>开展, 并且由于点扩散函数 (Point Spread Function, PSF) 可以在空域反映光学系统的成像特

性, 成为评价误差对成像质量影响的标准. Yaitskova<sup>[5-6]</sup> 和 Tory<sup>[7]</sup> 等所在的研究小组近几年针对未来的超大望远镜中拼接反射镜问题进行了深入的研究, 但他们均是利用数值模拟方法, 该方法在反射镜很大时, 由于受到运算量的限制, 无法精确计算较小误差的影响.

本文利用七片边长为 0.5 m 的正六边形子镜拼接成一块大反射镜, 分析各种拼接误差对反射镜成像质量的影响. 首先提出利用傅里叶变换的特殊性质简化求解拼接式大反射镜 PSF 的方法, 并推导各种拼接误差情况下其解析表达式; 然后采用快速傅里叶变换数值模拟误差对 PSF 及成像效果的影响.

## 1 理论分析

由于子镜拼接时其边缘会产生衍射, 如果选取子镜形状为正六边形, 可以使衍射光的主要部分落在衍射图像的六个臂上, 进而使目标图像在比较弱的背景光上显现出来. 因此本文考虑如图 1 的由七片边长为 0.5 m 的正六边形子镜拼接而成的凹面大反射镜. 该拼接大反射镜在单位强度均匀平行光

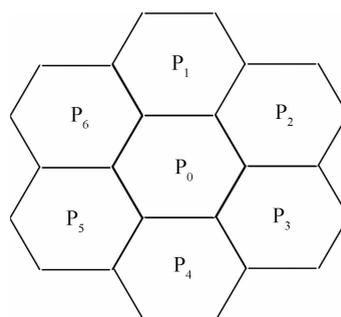


图 1 拼接式反射镜示意图  
Fig. 1 The configuration of the segmented mirror

Tel: 029-88887673

Email: crl@opt.ac.cn

收稿日期: 2009-03-02

修回日期: 2009-06-15

照明下,其光瞳函数可以写为

$$g(x, y) = \sum_{m=1}^7 g_m(x-x_m, y-y_m) \cdot \exp(i2\pi\varphi_m(x-x_m, y-y_m)) \quad (1)$$

式中,  $(x_m, y_m)$  表示第  $m$  个子镜的位置,  $g_m$  和  $\varphi_m$  分别表示子光瞳透射强度和相位函数, 各种拼接误差的具体形式可以由这两个函数来进行表达.

根据夫琅和费衍射理论, 像平面的强度分布与光瞳函数傅里叶变换的模值平方(即 PSF)有关, 同时 PSF 可以在空域反映光学系统的成像特性. 因此本文主要分析和模拟各种误差情况下拼接大反射镜的 PSF 来分析其对成像质量的影响, 其表达式为

$$\text{PSF}(x, y) = (1/\lambda f)^2 \left| \iint \sum_{m=1}^7 g_m(x-x_m, y-y_m) \cdot \exp[i2\pi\varphi_m(x-x_m, y-y_m)] dx dy \cdot \exp[i2\pi(\xi x + \eta y)] \right|^2 \quad (2)$$

式中  $\exp[i2\pi(\xi x + \eta y)]$  为傅里叶积分核,  $\xi$  和  $\eta$  为频域坐标, 且可由式  $\xi = x/\lambda f$  和  $\eta = y/\lambda f$  转化为空域坐标,  $\lambda$  为波长,  $f$  为焦距, 积分范围为整个反射镜区域. 一般地, 根据式(2)对多块子镜拼接后的光瞳函数直接积分十分繁杂, 而且得不到解析表达式, 尤其是在考虑存在拼接误差的情况下. 下面利用傅里叶变换的特殊性质, 对式(2)中的积分过程进行简化. 傅里叶变换具有的性质为

$$F\{g(x, y)\} = G(\xi, \eta) \quad (3)$$

$$E\{\sum_m g_m(x, y)\} = \sum_m F\{g_m(x, y)\} \quad (4)$$

$$F\{g(x-x_0, y-y_0, \theta)\} = \exp(i2\pi(x_0\xi + y_0\eta)) G(\xi\cos\theta + \eta\sin\theta, -\xi\sin\theta + \eta\cos\theta) \quad (5)$$

式中  $F\{\}$  为傅里叶变换算符, 式(4)给出了线性定理, 式(5)对应平移定理和旋转定理,  $(x_0, y_0)$  为平移坐标,  $\theta$  为顺时针旋转角. 结合上述定理可知, 只要各拼接子镜之间没有交叠且傅里叶变换均具有解析表达式, 则可以求出拼接后大反射镜光瞳函数的傅里叶变换, 进而可以得到相应 PSF 表达式.

以图 1 的拼接大反射镜为例推导其傅里叶变换  $G(\xi, \eta)$  的表达式, 并考虑各种拼接误差所产生的具体影响. 拼接主镜面的 PSF 可以看成是两个函数因子共同作用的结果(子镜面可以是任意几何图形, 如六边形子镜, 正方形子镜或圆形子镜<sup>[9]</sup>: 一个是栅格函数(Grating Function, GF), 它是拼接栅格的傅里叶变换, 通常是一个尖峰的周期函数; 另一个是拼接子孔径的 PSF. 这种分析方法是将拼接镜面看作一个周期衍射光栅, 每一个子镜看作一个栅格, 它尤其适用于高密度镜面拼接.

如图 1, 由于七片子镜为相同的正六边形, 因此只要求出其中一片子镜光瞳函数的傅里叶变换表达式, 便可以通过平移和旋转定理得出其余各片子镜

光瞳函数的傅里叶变换, 进而利用线性定理求出大反射镜光瞳函数的傅里叶变换表达式.

选择子镜  $P_0$  计算其傅里叶变换, 按图 2 将其分割为两个等腰梯形  $P_{0a}$  和  $P_{0b}$  两部分, 并以上半部分  $P_{0a}$  建立如图 2 坐标系. 在不存在误差时, 即  $g_m(x, y) = 1$  和  $\varphi_m(x, y) = 0$ , 在  $P_{0a}$  的相应区域  $y \in [0, \sqrt{3}/4]$  和  $\in [(y-\sqrt{3}/2)/\sqrt{3}, -(y-\sqrt{3}/2)\sqrt{3}]$  内积分后, 得到的傅里叶变换  $G_{0a}(\xi, \eta)$  的表达式为

$$G_{0a}(\xi, \eta) = \int_0^{\sqrt{3}/4} \int_{-(y-\sqrt{3}/2)/\sqrt{3}}^{(y-\sqrt{3}/2)/\sqrt{3}} \exp[i2\pi(\xi x + \eta y)] dx dy = \frac{1}{4\pi^2(\xi^2 - 3\xi\eta^2)} \{3\eta + \sqrt{3}\xi\} \times [\exp(i\pi(\sqrt{3}\eta + \xi)/2) - \exp(i\pi\xi)] - (3\eta - \sqrt{3}\xi) \times [\exp(i\pi(\sqrt{3}\eta + \xi)/2) - \exp(i\pi\xi)] \quad (6)$$

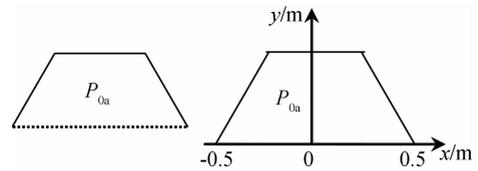


图 2 半反射镜及傅里叶变换坐标系

相应地,  $P_0$  的下半部分  $P_{0b}$  可以认为是  $P_{0a}$  围绕原点旋转了  $180^\circ$ , 由旋转定理可求得  $P_{0b}$  光瞳函数的傅里叶变换  $G_{0b}(\xi, \eta)$  为

$$G_{0b}(\xi, \eta) = G_{0a}(-\xi, -\eta) \quad (7)$$

则子镜  $P_0$  光瞳函数的傅里叶变换可以表示为

$$G_0(\xi, \eta) = G_{0a}(\xi, \eta) + G_{0a}(-\xi, -\eta) \quad (8)$$

由图 1 可看出, 周围六片子镜  $P_1-P_6$  相对于  $P_0$  部分相应的平移坐标  $(x_0, y_0)$  分别为  $(0, \sqrt{3}/2)$ 、 $(3/4, \sqrt{3}/4)$ 、 $(3/4, -\sqrt{3}/4)$ 、 $(0, -\sqrt{3}/2)$ 、 $(-3/4, -\sqrt{3}/4)$ 、 $(-3/4, \sqrt{3}/4)$ , 则各子镜光瞳函数的傅里叶变换可以表示为

$$\begin{cases} G_1(\xi, \eta) = \exp(i2\pi(\sqrt{3}\eta/2))G_0(\xi, \eta) \\ G_2(\xi, \eta) = \exp(i2\pi(3\xi/4 + \sqrt{3}\eta/4))G_0(\xi, \eta) \\ G_3(\xi, \eta) = \exp(i2\pi(3\xi/4 - \sqrt{3}\eta/4))G_0(\xi, \eta) \\ G_4(\xi, \eta) = \exp(i2\pi(-\sqrt{3}\eta/2))G_0(\xi, \eta) \\ G_5(\xi, \eta) = \exp(i2\pi(-3\xi/4 - \sqrt{3}\eta/4))G_0(\xi, \eta) \\ G_6(\xi, \eta) = \exp(i2\pi(-3\xi/4 + \sqrt{3}\eta/4))G_0(\xi, \eta) \end{cases} \quad (9)$$

拼接后大反射镜光瞳函数的傅里叶变换  $G(\xi, \eta)$  为所有子镜光瞳函数的傅里叶变换之和

$$G(\xi, \eta) = G_0(\xi, \eta) + G_1(\xi, \eta) + G_2(\xi, \eta) + G_3(\xi, \eta) + G_4(\xi, \eta) + G_5(\xi, \eta) + G_6(\xi, \eta) \quad (10)$$

由计算  $G(\xi, \eta)$  的过程可以看出, 将大反射镜各子镜光瞳函数的傅里叶变换分开计算, 可以将子镜上的拼接误差引入整个大反射镜的傅里叶变换中,

从而可以方便地分析误差对整个拼接反射镜成像质量的影响. 下面以子镜  $P_1$  为例, 给出其存在各种拼接误差时在频域空间的具体形式.

1) 子镜在拼接镜面的横向 ( $x, y$ ) 平面内存在平移误差. 假设其相对于准确位置存在平移 ( $d_{x0}, d_{y0}$ ), 利用傅里叶变换的平移定理, 则平移后子镜  $P_1$  光瞳函数的傅里叶变换可以表示为  $G'_1(\xi, \eta) = \exp(i2\pi(d_{x0}\xi + d_{y0}\eta)) G_1(\xi, \eta)$ .

2) 子镜沿镜面的光轴方向存在平移误差, 即 piston 误差. 此时对于入射在该子镜上的光场会产生一个相位延迟, 并且如果平移距离为  $t$ , 则相应引起反射光的相位延迟为  $4\pi t/\lambda$ . 此时子镜  $P_1$  的光瞳函数可以表示为  $g'_1(x, y) = \exp(i4\pi t/\lambda) g_1(x, y)$ , 其傅里叶变换形式为  $G'_1(\xi, \eta) = \exp(i4\pi t/\lambda) G_1(\xi, \eta)$ .

3) 子镜在镜面横向围绕  $x, y$  轴的倾斜误差. 假设经过倾斜后, 子镜与  $x, y$  轴的夹角分别为  $(\alpha, \beta)$ , 则误差对子镜光瞳函数的影响为:  $g'_1(x, y) = \exp(ik(x\sin\alpha + y\sin\beta)) g_1(x, y)$ , 相应的空间频率变化为  $(\sin\alpha/\lambda, \sin\beta/\lambda)$ , 其傅里叶变换形式为:  $G'_1(\xi, \eta) = G_1(\xi - \sin\alpha/\lambda - \sin\beta/\lambda)$ .

子镜绕光轴的旋转误差. 该误差对整个反射镜成像质量的影响可以通过傅里叶变换的旋转定理得到, 对于旋转角  $\gamma$  有  $G'_1(\xi, \eta) = G_1(\xi\cos\gamma + \eta\sin\gamma, -\xi\sin\gamma + \eta\cos\gamma)$ .

对于存在拼接误差的其它子镜, 其光瞳函数的傅里叶变换受到的调制可以同理求得. 在各子镜光瞳函数傅里叶变换相加后, 可以得到存在误差的拼接大反射镜光瞳函数的傅里叶变换的表达式  $G'(\xi, \eta)$ . 进一步由式  $\xi = x/\lambda f$  和  $\eta = y/\lambda f$  可以得到傅里叶变换及 PSF 与  $(x, y)$  的关系, 从而可以理论分析误差对 PSF 和成像质量的影响.

可以定义有缝隙时中心峰值强度与无缝隙时中心峰值强度的比值为它的斯特列尔比  $S$ , 则有

$$S = \text{PSF}(0)/I_0 = (1 - \omega)^4 \approx 1 - 4\omega + 6\omega^2 \quad (11)$$

式中  $\omega$  为相对缝隙宽度

$$\omega = \frac{d - d'}{d} = 1 - d'/d$$

当没有缝隙时, 除了中心点外, GF 的峰值和 PSFS 的零频位置处峰值完全重合; 当缝隙增加时, GF 的峰值和 PSFS 的零频位置处峰值不再一致, GF 出现高级衍射峰, 每一高级峰都是中心峰值的复制, 随着离中心距离的增大强度逐渐减弱; 峰值强度依赖于缝隙大小和相邻子镜中心距离的比值.

假设相邻两拼接子孔径的中心距离为 1.5 m, 拼接缝隙为 12 mm, 则相对缝隙尺寸为  $\omega = 0.008$ ,

斯特列尔比  $S$  约 0.968. 可以看出能量损耗非常小, 仅仅会出现非常模糊的衍射花样, 对于成像质量的影响可以忽略. 当 GF 和 PSFS 两个函数在  $\omega = 0$  时都归一化了, 所以因子直接地反映了斯特列尔比的减小. 一般来说, 规则衍射花样的减小正比于色散的平方. 衍射花样的总能量分布和角分布是由子镜尺寸大小和拼接缝隙决定的, 衍射花样的能量等效于拼接缝隙的全部区域, 因此, 如果主镜里有 1% 的拼接缝隙或边缘倾斜, 那么相应的就会有 1% 的光能进入拼接缝隙产生达到衍射花样里.

## 2 数值模拟

快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform, FFT) 技术经常被用来分析光学成像系统的成像效果<sup>[8]</sup>, 下面利用该技术数值模拟拼接反射镜在各种误差条件下的 PSF. 模拟过程中, 选取  $2000 \times 2000$  的数据点对图 1 中的大反射镜进行描述. 对于一个扩展物体的几何光学像经过成像系统所成的像, 等于系统的 PSF 与几何光学像的卷积, 即

$$p(x, y) = o(x, y) * \text{PSF}(x, y) \quad (12)$$

利用上述成像理论, 可以进一步模拟存在误差的反射镜的成像效果并分析误差对成像质量的影响.

### 2.1 无拼接误差反射镜的成像质量分析

对于理想拼接反射镜, 系统本身为一个衍射受限的成像系统, 物体成像受镜面孔径限制, 高频信息会损失, 因此在所成像的边缘处会有轻微的模糊, 成像结果分析如图 3. 其中图 3(a) 给出无拼接误差反射镜, 从图 3(b) 的点扩散函数分布图可以看出完美反射镜的 PSF 为一个中心峰值很大且沿六个方向展开为弥散斑. 为研究其成像效果, 给出图 3(c) 中一个“十”字形的物体, 其所成像见图 3(d), 旁边箭头所指的小图为对应椭圆部分的放大图, 可以看出物体在经过反射镜反射后基本没发生变化, 只是由于受限衍射而在边缘处产生了模糊.

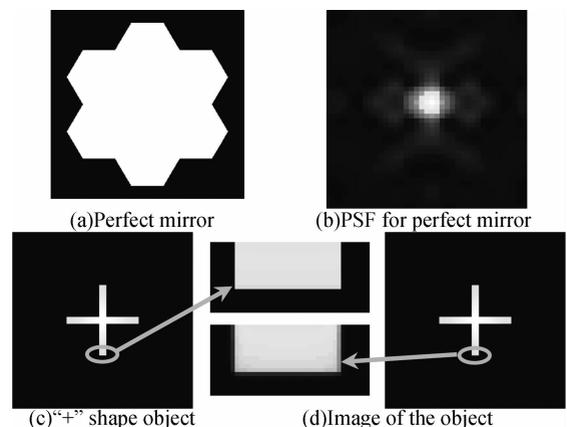


图 3 无误差拼接反射镜的性能

Fig. 3 Performance of the perfect segmented mirror

## 2.2 子镜边缘失配反射镜的成像质量分析

如果在拼接前,子镜形状在加工过程中存在误差,这就使得在拼接过程中由于边缘失配而产生缝隙,这将导致物体成像时损失一些频率信息.图4为 $P_0$ 与 $P_1$ 界面处空隙为1 cm时的成像效果分析.图4(a)~(d)对应各插图的意义分别与图3(a)-(d)相同,可以看出此时反射镜的点扩散函数仍然为一个中心峰值比较明显的弥散斑,所成像仍然是边缘存在衍射而比较模糊.与完美的拼接反射镜所成像效果相比,这种误差对点扩散函数和物体所成像的影响都不明显.

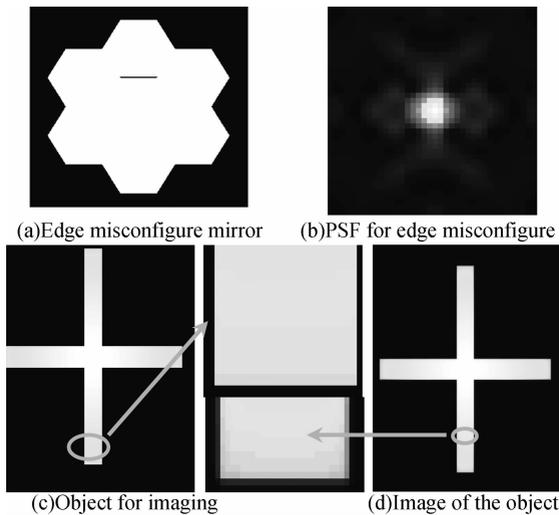


图4 边缘失配时反射镜的PSF及其物和像对比  
Fig. 4 Performance of the edge misconfigure mirror

## 2.3 横向偏移误差反射镜的成像质量分析

在子镜拼接过程中,如果子镜与其它子镜没有完全拼接,即该子镜整体偏离其位置在横向的( $x$ ,  $y$ )面内产生一个横向偏移.该情况有别于边缘失配,因为此时子镜的焦点将偏离大镜的焦平面.一般情况下,根据傅里叶变换的平移不变性,镜片的横向偏移对点扩散函数只会添加一个常数相位因子.对于相干情况,在适当条件下会造成不同镜面所成像的相消干涉,使图像变暗,并不影响成像质量.但实际上,由于所用的镜面为凹面,镜面的偏移会使其焦点也随之偏移,此时可以将其成像效果等效为相对于原镜面有一定角度的倾斜.

图5给出了 $P_1$ 向上具有一个偏移量时的成像质量分析,所用的物体同前述.其中图5(a)为具有偏移误差的反射镜示意图,图5(b)左右分别给出点扩散函数和所成像.从图中可以看出,在存在偏移误差时点扩散函数呈现为两个距离较大的分散点,并且从所成像中可以看到存在一个明显偏离主像的强度较小的子像.因此在该种情况下将明显影响成像效果.研究还发现横向偏移较小时,子像偏离主像较近.

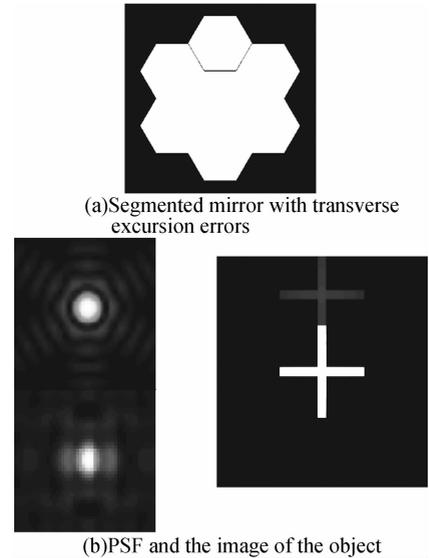


图5 具有横向偏移的反射镜成像质量分析结果  
Fig. 5 Analyses of the image quality

## 2.4 倾斜误差反射镜的成像质量分析

当子镜面绕横向的 $x$ 或 $y$ 轴旋转了一个很小的角度时,其相对于整个拼接镜面将发生倾斜.此时整个反射镜的主轴将发生旋转,使得部分成像偏离,点扩散函数会呈现为几个分散的点.图6给出了具有倾斜误差拼接反射镜的成像质量模拟结果(所用物体与前几种情况相同),其中图6(a)、(b)分别对应子镜 $P_1$ 围绕 $y$ 和 $x$ 轴旋转后的结果,此时子镜相应地分别与 $x$ 轴和 $y$ 轴具有一个 $0.1^\circ$ 的倾斜角.可见子镜的倾斜使得拼接大反射镜的点扩散函数成为两个点,且沿不同方向倾斜时,另一个点相对于中心极大值点具有不同的位置.由右侧的强度对比曲线可看到,在与 $x$ 轴和 $y$ 轴具有倾斜角时,分别对应地在主像的右侧和下侧出现子像.

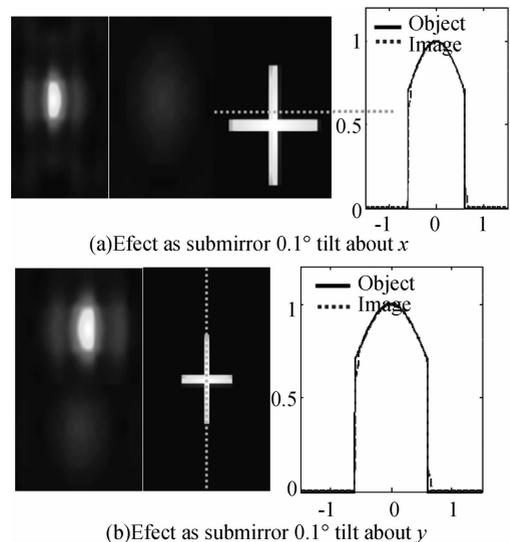


图6 子镜具有倾斜误差情况的成像质量分析  
Fig. 6 Image quality for the segmented mirror with tilt errors

### 3 总结

本文以由七片边长为 0.5 m 的正六边形子镜拼接成而成的一块凹面大反射镜为例,分析由边缘失配、平移以及倾斜等引起的各种拼接误差对其成像质量的影响.首先利用傅里叶变换的特殊性质给出存在误差的拼接大反射镜光瞳函数的傅里叶变换解析表达式,该方法可以方便地将子镜上的各种误差引入拼接大反射镜光瞳函数的傅里叶变换中,为理论分析由更多片子镜拼接而成的大反射镜在各种拼接误差下 PSF 和成像质量提供了一种思路.采用快速傅里叶变换数值模拟了边缘失配误差、平移误差、倾斜误差等情况下的 PSF,并根据光学系统的成像原理模拟了对应情况下的成像效果.结果表明,边缘失配误差对成像质量无影响,而平移误差影响较大,倾斜误差影响相对较小.

#### 参考文献

- [1] MEINEL A B. Aperture synthesis using independent telescope [J]. *Appl Opt*, 1970, **9**(11):2501-2504.
- [2] DENG Jian, ZHANG Wei, LONG Fu-nian. Optical design of large aperture segmented mirror system [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, **16**(1):29-34.  
邓键,张伟,龙夫年.大口径拼接式合成孔径光学系统设计[J].*光学精密工程*, 2008, **16**(1):29-34.
- [3] HAN Li-hui. Optical design of 22 m focal length space telescope[J]. *Laser & Infrared*, 2008, **38**(6):583-585.  
韩丽辉.22 m 焦距太空望远镜光学设计[J].*激光与红外*, 2008, **38**(6):583-585.
- [4] DENG Jian, ZHANG Wei, ZUO Bao-jun, et al. Misadjustment tolerance study of the submirror's for segmented mirror synthetic aperture optics[J]. *Optical Technique*, 2007, **33**(1):130-133.  
邓键,张伟,左保军,等.拼接式合成孔径光学系统的失调误差分析研究[J].*光学技术*, 2007, **33**(1):130-133.
- [5] YAITSKOVA N, DOHLEN K. Tip-tilt error for extremely large segmented telescopes: detailed theoretical point-spread-function analysis and numerical simulation results[J]. *J Opt Soc Am A*, 2002, **19**(7):1274-1285.
- [6] YAITSKOVA N, DOHLEN K, Dierickx P. Analytical study of diffraction effects in extremely large segmented telescopes[J]. *J Opt Soc Am A*, 2003, **20**(8):1563-1575.
- [7] TOYRY M, CHANAN G. Diffraction effects from giant segmented-mirror telescopes [J]. *Appl Opt*, 2003, **42**(19):3745-3753.
- [8] LONG Wei-jun, WANG Zhi-le, ZHOU Yan-ping. Imaging analysis and computer simulation of optical synthetic aperture telescope[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(8):1009-1014.  
龙伟军,王治乐,周彦平.光学综合孔径望远镜成像分析及计算机仿真[J].*光学学报*, 2004, **24**(8):1009-1014.
- [9] ZEIDER G, MONTGOMERY E. Diffraction effect with segmented aperture[C]. *SPIE*, 1998, **3356**:799-809.

## Influences of the Alignment Errors on Image Quality of Large Segmented Mirrors

CHEN Rong-li<sup>1</sup>, ZHANG Tao<sup>2</sup>, MA Zhen<sup>1,3</sup>, FAN Xue-wu<sup>1</sup>

(1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

(2 Beijing Institute of Tracking and Telecommunication Technology, Beijing 100094, China)

(3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Influences the alignment errors on the image quality of the large segmented mirror are theoretically analyzed and numerically simulated formed by seven hexagonal segments in the thesis. By employing the properties of the Fourier-transform, an analytic Fourier-transform method is presented that can be used to deduce the point-spread-functions of the segmented mirror with alignment errors. Based on the Fast-Fourier-transform technique, the point-spread-functions in the presence of edge misconfigure, transverse excursion, and tilt errors on an individual segment are simulated. And the image qualities are numerically simulated according to the imaging principle. It is revealed that the edge misconfigure errors almost have no influence on the image qualities, but the influences due to the transverse excursion errors are relatively intensive in comparison with that due to the tilt errors.

**Key words:** Segmented mirror; Alignment error; Fourier-transform; Point-spread-function; Image quality



**CHEN Rong-li** was born in 1973. He received the Ph. D. from Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy Sciences in 2006. Now he works as an associate professor, and his research interests focus on space optical remote.