

文章编号:1002-2082(2009)02-0199-03

# 宽光谱微光准直镜方案设计

郭城, 王高明, 张亮亮, 杨志文

(长春理工大学 光电工程学院, 吉林 长春 130022)

**摘要:**介绍宽光谱大视场微光准直镜的光学设计和镜组结构方案, 侧重叙述大视场微光准直镜的二级光谱校正方法。根据初级像差理论, 由半部系统出发, 给出了系统的初始结构。通过理论分析和ZEMAX 光学设计软件的优化, 结合工程应用给出了工作波长为 $(0.486 \sim 0.863) \mu\text{m}$ 、全视场, 相对孔径为 $1:7.85$ 的镜头设计实例, 其二级光谱为 $0.01 \text{ mm}$ 。该镜头由6块镜片组成, 包括一个标准抛物面, 在 $20 \text{ lp/mm}$  空间频率处MTF 值超过 $0.8$ 。准直镜的像差满足使用要求。

**关键词:**光学设计; 微光准直镜; 二级光谱; 像差

中图分类号:O439

文献标志码:A

## Design of wide spectrum low-light-level collimating lens

GUO Cheng, WANG Gao-ming, ZHANG Liang-liang, YANG Zhi-wen

(College of Optoelectronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

**Abstract:** The optical design of wide spectrum WFOV LLL collimating lens and the structure of lens set are introduced. The correction of the secondary spectrum of the WFOV LLL collimating lens are described emphatically. According to the primary aberration theory, the initial structure parameters of the system were solved. A design of a lens, whose operating wavelength is  $(0.486 \sim 0.863) \mu\text{m}$ , full field-of-view angle is and relative aperture is  $1:7.85$ , is presented on the basis of the theoretical calculation and the optimization of optical design software ZEMAX. The MTF of the lens, which is composed of five spherical lenses and one asphere lens, is better than  $0.8$  at the spatial frequency of  $20 \text{ lp/mm}$ . The design makes the secondary spectrum of the lens to be at  $0.01 \text{ mm}$  and other aberrations also met the requirement of the application.

**Key words:** optical design; low-light-level collimating lens; secondary spectrum; aberration

## 引言

微光准直镜是某可靠性试验装备的光应力系统的核心组件, 对其像质要求严。微光准直镜的主要技术指标: 口径 $60 \text{ mm}$ , 全视场 $2\omega \geq 20^\circ$ , 焦距 $f' = (500 \sim 550) \text{ mm}$ , 准直镜对 $(0.486 \sim 0.863) \mu\text{m}$  谱段复消色差, 依据 $P-\nu$  值正确选择玻璃, 由初级像差理论求解初始结构, 经ZEMAX 软件对物镜参数进行优化, 给出了满足技术指标要求的光学设计结果及准直镜的结构方案。

## 1 准直镜初始参数的确定

从微光准直镜技术指标来看, 本系统属于大口径, 中等视场的近似照相系统, 故其初始结构选为对称式结构, 孔径光阑位于中央。

先按双薄透镜组对待, 且以平行光入射, 则其二级光谱为<sup>[1]</sup>

$$VL'_{\lambda_1 \lambda_3 \lambda_2} = -f' \times \frac{P_{(\lambda_3 \lambda_2)_1} - P_{(\lambda_3 \lambda_2)_2}}{\nu_1 - \nu_2} \quad (1)$$

式中:  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  和  $\lambda_3$  分别表示 $863 \text{ nm}$ 、 $656 \text{ nm}$  及 $486 \text{ nm}$

收稿日期:2008-07-27; 修回日期:2008-09-05

作者简介:郭城(1984—), 男, 天津人, 硕士, 主要从事精密测控技术与仪器方面的研究工作。

E-mail:guogg119@yahoo.com.cn

3 种色光波长;  $P_{(\lambda_3\lambda_2)_1}、\nu_1$  分别表示第 1 种玻璃的相对色散和阿贝数;  $P_{(\lambda_3\lambda_2)_2}、\nu_2$  分别表示第 2 种玻璃的相对色散和阿贝数;  $f'$  表示准直镜的焦距。

为消二级光谱,应选择  $P$  值相差较小而  $\nu$  值相差较大的玻璃,正透镜选用高折射率材料,这有助于像差的校正。故本系统初步选用 TF3、LaK2 及 ZF3 配对<sup>[2]</sup>。

所选玻璃的  $P、\nu$  值如表 1 所示。

表 1 3 种色光的折射率及  $P、\nu$  值

| 玻璃   | 折射率     |         |         | $P$ 值   | $\nu$ 值  |
|------|---------|---------|---------|---------|----------|
|      | 486 nm  | 656 nm  | 863 nm  |         |          |
| TF3  | 1.622 1 | 1.608 2 | 1.600 6 | 0.646 5 | 44.077 6 |
| LaK2 | 1.701 0 | 1.688 3 | 1.681 3 | 0.644 7 | 54.554 1 |
| ZF3  | 1.734 6 | 1.710 4 | 1.698 5 | 0.670 3 | 29.492 1 |

对于对称式结构,对其半部只要校正球差、像散、场曲、位置色差和二级光谱即可,而彗差、畸变和倍率色差因结构对称而自动消除<sup>[3]</sup>。

对于半部系统而言,用初级像差求解初始结构,光焦度的分配应满足消色差和复消色差公式<sup>[4]</sup>

$$\begin{cases} h_1\varphi_1+h_2\varphi_2+h_3\varphi_3=1 \\ \frac{h_1^2\varphi_1}{v_1}+\frac{h_2^2\varphi_2}{v_2}+\frac{h_3^2\varphi_3}{v_3}=0 \\ \frac{h_1^2\varphi_1}{v_1}P_1+\frac{h_2^2\varphi_2}{v_2}P_2+\frac{h_3^2\varphi_3}{v_3}P_3=0 \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $\varphi_1、\varphi_2$  和  $\varphi_3$  分别为 3 种玻璃透镜的光焦度;  $h_1、h_2$  和  $h_3$  分别为光束在透镜上的入射高度。假如第 1 个透镜与第 2 个透镜相胶合,而与第 3 个透镜分离,将  $h_1、h_2$  规划为 1,可求解出接近合理的光焦度分配方案。再按校正初级球差和初级像散的要求,求解出半部系统的焦距  $f'=1$  时的初始结构。此结构仅仅满足初级球差、初级像散和初级色差的校正,当相对孔径和视场增大时,则产生较大的高级球差和高级像散。高级球差主要是因为 2 个分离透镜离得太远,光线在相邻面上的投射高度之差太大引起的,这就要求两分离的透镜厚透镜化。在分离透镜的两面产生的高级球差大致抵消后,弯曲第 1 透镜,使初级球差和高级球差平衡。高级像散则是主光线在分离透镜相邻面的入射角  $i_p$  和投射高度之差  $\Delta h_p$  太大而引起的。这就要求分离的第 2 透镜和第 3 透镜厚透镜化,减小  $\Delta h_p$ ,以使高级像散在这 2 个面上尽可能相互抵消,再调整光阑的位置把像散校正好。为校正半部系统的场曲,也要求第二透镜和第三透镜厚透镜化。

最后将半部系统组成一个对称式的结构,而准直镜的物体位于无限远,由物像对称过度到物体位于无限远,保持各透镜的间隔不变,弯曲透镜,使光线在光阑上高度不变,得到的准直镜如图 1 所示。

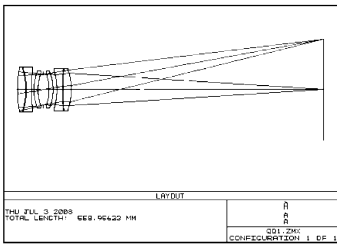


图 1 准直镜结构

Fig. 1 Structure of collimating lens

## 2 准直镜的优化设计

将系统用 ZEMAX 软件初步优化,求得球差曲线,相应的二级光谱为 0.01 mm,色球差为 0.5 mm,高级球差数量也相当可观,显然此结果表明二级光谱较为理想,色球差和高级球差必须进行校正。校正了二级光谱色差的系统,往往色球差为影响成像质量的主要像差,且一般很难校正。单纯靠增加一片透镜来平衡系统的高级像差的方法,在此处并不可取。于是,想到用非球面来校正高级像差,为减少非球面制造误差迭加到系统中,故选定将系统最后一面镜改为抛物面镜来校正高级球差。通过 ZEMAX 软件优化,最终得到准直镜的结构参数及球差曲线、点列图和 MTF 曲线分别如表 2、图 2、图 3 和图 4 所示。

表 2 准直镜结构参数

| Table 2 Structural parameters of collimating lens |          |           |       |
|---------------------------------------------------|----------|-----------|-------|
| Surf                                              | Radius   | Thickness | Glass |
| 1                                                 | 146.89   | 15.10     | LAK2  |
| 2                                                 | -189.67  |           |       |
| 3                                                 | -176.20  | 9.60      | TF3   |
| 4                                                 | -180.30  |           |       |
| 5                                                 | 87.498   | 7.40      | ZF3   |
| 6                                                 | 79.983   |           |       |
| STO                                               | Infinity | 10.00     |       |
| 8                                                 | -81.283  | 10.00     |       |
| 9                                                 | -81.658  | 7.40      | ZF3   |
| 10                                                | -132.74  |           |       |
| 11                                                | 302.00   | 10.00     | TF3   |
| 12                                                | 296.50   |           |       |
| 13                                                | -154.88  | 14.10     | LAK2  |

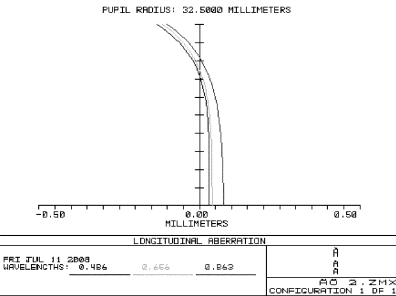


图 2 球差曲线

Fig. 2 Curves of spherical aberration

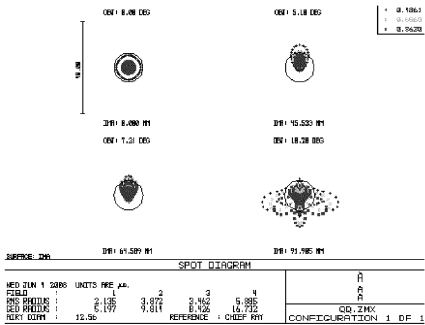


图 3 点列图

Fig. 3 Spot diagram

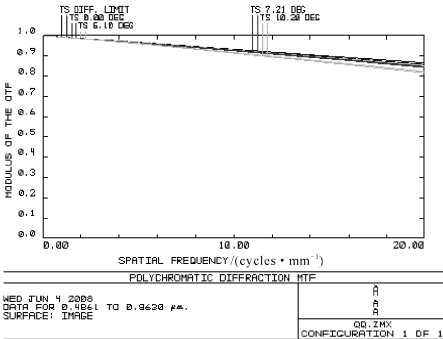


图 4 MTF 曲线

Fig. 4 Curves of MTF

由图 2 和图 3 可以看出,色球差已减小到 0.1 mm,高级球差也明显减小,点列图也在合理的范围内。由图 4 可知,20 lp/mm 的 MTF 值达到 0.8,已接近衍射极限。

为确保准直镜的实际像质,应按玻璃折射率与色散实测值以及优选样板曲率半径值,用 ZEMAX 软件对参数进行必要的微调。本设计结果较为理想,能满足准直系统的使用要求。

### 3 准直镜结构方案设计

准直镜的结构方案设计应确保各镜片间隔准确,各镜面曲率中心共轴<sup>[5]</sup>。准直镜的结构框图如图 5 所示。

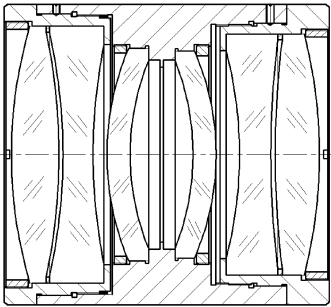


图 5 镜组机械结构

Fig. 5 Mechanical structure of lens assembly

准直镜分为前组、镜框和后组。先将 3 组各自装校好,各组间隔和同轴度通过修正定位端面 and 精密定位凸台保证。最后将 3 组镜组组装成准直镜。

### 4 结论

进行宽光谱微光准直镜设计时,适当引入非球面,使成像质量大大改善。本文从半部系统出发,从初级像差理论解出了准直镜初始结构参数,通过 ZEMAX 软件的优化设计,给出了具体的设计实例。对设计实例成像质量的分析表明,该设计是可行的。最后给出了准直镜的结构框图。

#### 参考文献:

[1] 袁旭沧. 光学设计[M]. 北京:科学出版社,1983.  
YUAN Xu-cang, Optical design [M]. Beijing: Science Press,1983. (in Chinese)  
[2] 陈立武,杨建峰,洪新华,等. 宽谱段折射式长焦距光学镜头[J]. 光子学报,2004,33(9):1123-1126.  
CHEN Li-wu, YANG Jian-feng, HONG Xin-hua, et al. Wide bands long focal refracting lens[J]. Acta Photonica Sinica, 2004, 33 (9): 1123-1126. (in Chinese)  
[3] 尚华,刘钧,高明,等. 头盔式单目微光夜视仪中光学系统的设计[J]. 应用光学,2007,27(3):292-296.  
SHANG Hua, LIU Jun, GAO Ming, et al. Lens design in helmet-mounted LLL night-vision system [J]. Journal of Applied Optics, 2007, 27 (3): 292-296. (in Chinese)