

文章编号:1002-2082(2015)02-0183-05

近红外成像光学系统设计

吴玲玲,张欢,陈靖

(西安工业大学 光电工程学院,陕西 西安 710032)

摘要:为了明确近红外成像光学系统对杂散光的抑制能力,设计了一个光谱为 $0.75\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$, 焦距 $12.002\ \text{mm}$, $F/1.8$, 视场 $15^\circ \times 15^\circ$ 的光学系统,其结构为改进型的双高斯结构。实验结果表明:设计的光学系统的各视场光斑在艾瑞斑内,焦移量最大为 $4.9\ \mu\text{m}$,球差约为 $1\ \mu\text{m}$,垂轴像差最大为 $3\ \mu\text{m}$,MTF 接近衍射极限。对设计的光学系统进行了杂散光评估和杂散光抑制,得到了杂散光抑制前后的点源透射比。分析结果表明:与未加遮光罩相比,加入遮光罩的光学系统 PST 值下降了 $76.6\% \sim 87.5\%$ 。

关键词:光学系统;像质评价;杂散光

中图分类号: TN216; TH703

文献标志码: A

doi: 10.5768/JAO201536.0201004

Design of near infrared optical system

Wu Lingling, Zhang Huan, Chen Jing

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: In order to clear the suppression ability of optical system to stray light, we designed the optical system with a improved double gauss structure, whose spectrum was $0.75\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$, focal length was $12.002\ \text{mm}$, F was 1.8 , field of view (FOV) was $15^\circ \times 15^\circ$. We obtained a optical system whose spot of every FOV was in the airy, max shift was $4.9\ \mu\text{m}$, spherical aberration was about $1\ \mu\text{m}$, max transverse aberration was $3\ \mu\text{m}$, modulation transfer function (MTF) was closed to the diffraction limity. Furthermore, we carried on the evaluation and suppression of stray light, got the point source transmittance (PST) of stray light. Compared with the optical system without lens hood, the value of PST decreases by $76.6\% \sim 87.5\%$ after adding the lens hood.

Key words: optical system; evaluation of image; stray light

引言

光学系统是各类成像镜头的重要组成部件,目标像可经过光学系统镜片的折射或反射成像于探测芯片上。光学系统(如空间相机和导引头等)因其需要满足不同的使用要求,因此对其指标设计、结构设计及评价指标方面的要求也不同。

光学系统的工作环境常有较强的杂散光,严重影响着光学系统的成像质量,也会降低系统的光学传递函数及信噪比等^[1-3],特别是近红外光学系统尤其如此,所以对杂散光必须进行抑制。

1 光学系统设计

1.1 光学系统指标

光学系统主要有反射式、折反射式、折射式3种结构形式。反射式光学系统采用非球面时加工难度较大;折反射式光学系统具有焦距长、口径大的特点,但比较难实现大视场要求,并且存在中心遮拦;折射式光学系统具有结构紧凑、比较容易实现大视场的优点。因此本文选择折射式结构。

光学系统指标如下为

收稿日期:2014-09-25; 修回日期:2014-10-21

作者简介:吴玲玲(1977—),女,陕西临潼人,博士,副教授,主要从事光学工程和仪器科学与技术方面的研究。

E-mail: 26818191@qq.com

焦距: $f=12.002\text{ mm}$

$F=1.8$

视场角: $15^\circ \times 15^\circ$

光谱范围: $0.75\text{ }\mu\text{m} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$

1.2 光学系统设计

大相对孔径光学系统结构主要有 Petzval 型物镜、Sonnar 型物镜、双高斯物镜等^[4]。其中 Petzval 型物镜、Sonnar 型物镜的视场都比较小, 所以光学系统初始结构采用双高斯物镜。

设计完成后, 成像类折射式光学系统结构如图 1 所示。

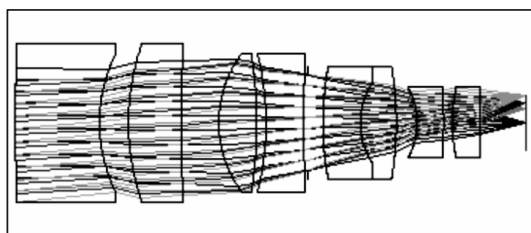


图 1 折射式光学系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of refractive optical system structure

主要使用调制传递函数(MTF)曲线、光学系统球差曲线、光学系统点列图、光学系统垂轴像差图、光学系统波差图、光学系统焦移曲线图评价光学系统的成像质量。

调制传递函数(MTF)曲线表示光学系统输出像与输入像的对比度之比, 是反映光学系统综合成像质量的主要参数。本文设计的光学系统的 MTF 如图 2 所示。

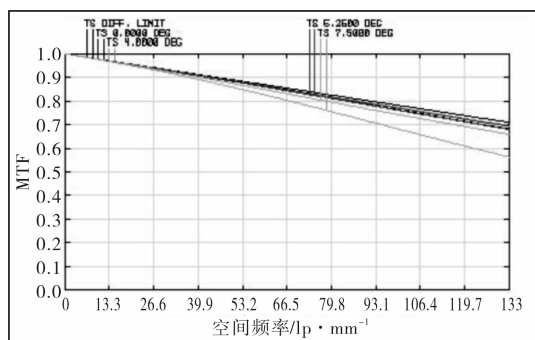


图 2 折射式光学系统 MTF 曲线

Fig. 2 MTF curve of refractive optical system

从图 2 中可以看出, 除 7.5° 视场外, 其余各视场光学系统 MTF 曲线基本接近衍射极限。但 7.5° 视场在 133 lp/mm 时已达到 0.55 , 因此认为系统成像良好。

图 3 为光学系统球差曲线。

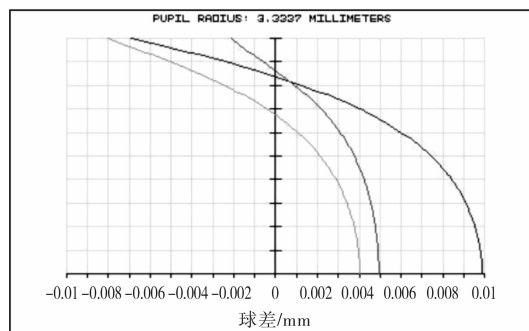


图 3 折射式光学系统球差曲线

Fig. 3 Spherical aberration curve of refractive optical system

从图 3 中可知, 此时球差约为 $1\text{ }\mu\text{m}$, 小于焦深, 满足成像要求。

图 4 为光学系统的点列图。

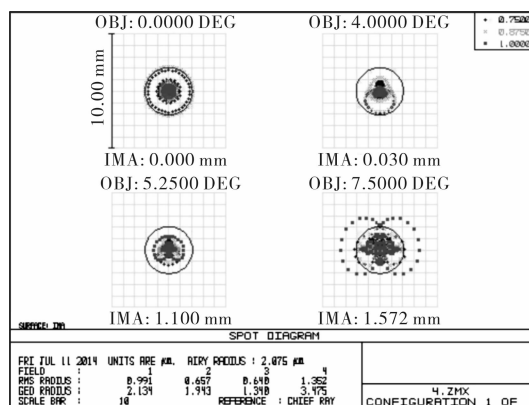


图 4 折射式光学系统的点列图

Fig. 4 Spot diagram of refractive optical system

此时, 除 7.5° 视场外, 系统各视场弥散斑均集中在 Airy 斑以内, 但 7.5° 视场的大部分能量都集中在 Airy 斑以内, 因此可认为系统成像良好。

图 5 为光学系统垂轴像差图。

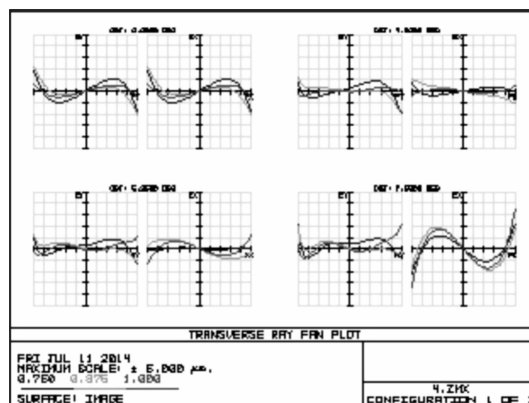


图 5 折射式光学系统垂轴像差图

Fig. 5 Ray aberration of refractive optical system

从图 5 可知,光学系统垂轴像差非常小,最大为 $3\text{ }\mu\text{m}$ 。

图 6 为光学系统波差图,PV 值约为 $\lambda/13$ 。

根据瑞利判据可知,当实际波面与理想波面的差值为 $\lambda/4$ 时,可以认为光学系统完善成像,所以本系统成像质量良好。

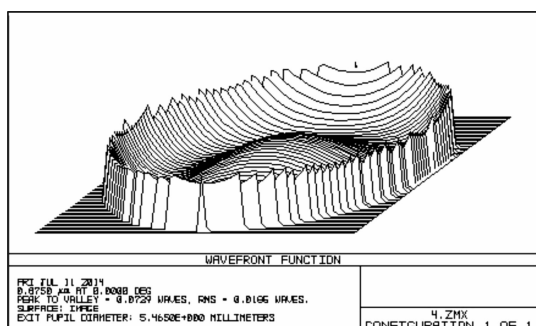


图 6 折射式光学系统波差图

Fig. 6 Wavefront map of refractive optical system

图 7 为光学系统焦移曲线图。

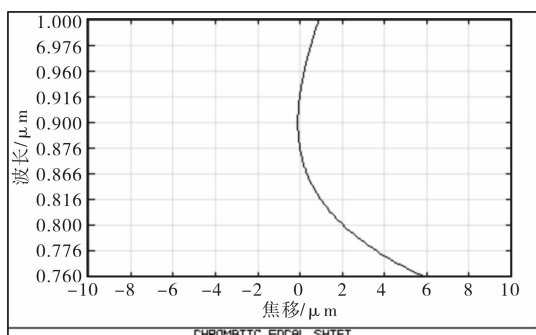


图 7 折射式光学系统焦移曲线图

Fig. 7 Focal shift of refractive optical system

由图 7 可知,此时系统的焦移量最大为 $4.9\text{ }\mu\text{m}$,在焦移范围以内。故优化后的系统具有良好的像质。

2 杂散光评估

将光学系统模型导入 Tracepro 软件中,并对其杂散光分析。镜筒表面涂黑,其材料 Abg 参数如表 1 所示。杂散光追迹图如图 8 所示,光学系统的辐照度如图 9 所示,点源透射比(PST)曲线如图 10 所示。

从图 9 和图 10 可知,当光线入射角小于 17° 时,PST 值较大,给光学系统带来较强的杂散光,极易淹没目标信号。当光线入射角大于 17° 时,PST 值较小,但此时的能量非常集中,对图像进行处理时不能区分噪声与目标。

表 1 材料 Abg 参数

Table 1 Parameters of Abg material

吸收率	镜面反射率	A	B	g
0.9	1e-005	0.063	1	0

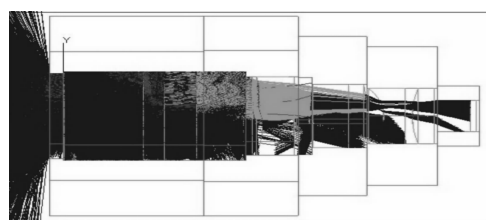
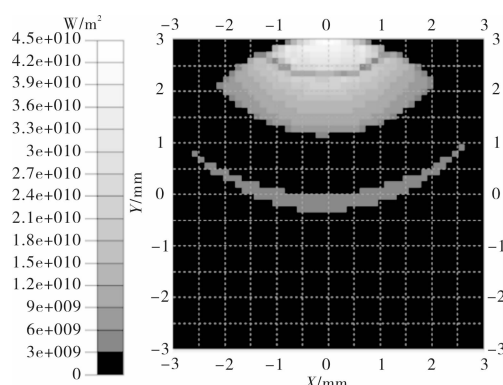
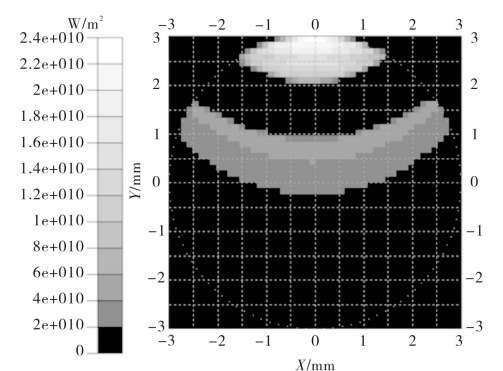


图 8 杂散光追迹图

Fig. 8 Stray light tracing diagram



(a) 16° 光线辐照图



(b) 20° 光线辐照图

图 9 折射式光学系统光学辐照图

Fig. 9 Radiation diagram of refractive optical system

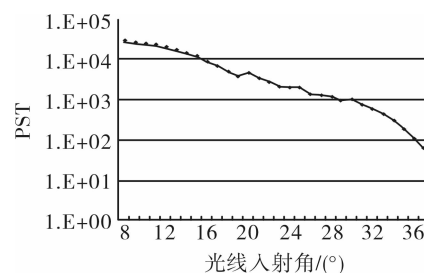


图 10 折射式光学系统 PST 曲线图

Fig. 10 PST curve of refractive optical system

3 杂散光抑制

目前,在杂散光消除方面主要有利用光阑^[5-7]和遮光罩^[8]两种方法。本文利用遮光罩进行杂散光抑制,它能在不改变光学系统的同时对杂散光进行有效抑制。遮光罩主要由遮光罩筒和光栏组成。传统遮光罩根据外形与光栏的布置,可分为圆柱状且光栏等高布置、圆柱状且光栏梯度布置、锥状且光栏等高布置、锥状且光栏梯度布置^[9-10]。

本文设计了一种圆柱状且光栏梯度布置的遮光罩,并对加有遮光罩的光学系统进行了杂散光评估,加遮光罩后的杂散光追迹图如图 11 所示,其 PST 曲线如图 12 所示。

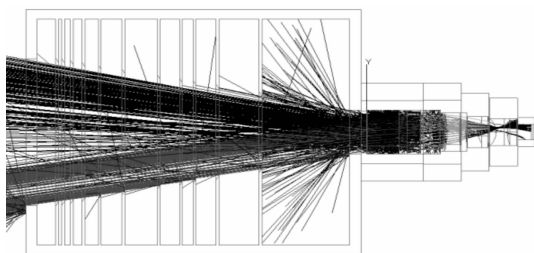


图 11 加遮光罩后杂散光追迹图

Fig. 11 Stray light tracing diagram after adding lens hood

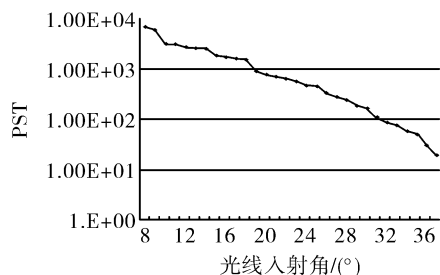


图 12 加遮光罩后光学系统 PST 曲线图

Fig. 12 PST curve of optical system after adding lens hood

从图 12 中可知,与未加遮光罩的光学系统相比,加有遮光罩的光学系统的 PST 值明显降低 76.6%~87.5%。

3 结论

本文设计了一种折射式光学系统,并对其进行了杂散光评估。通过各类像差图分析可知,此光学系统像质良好。经过 Tracepro 仿真可知,当光线入射角大于 17° 时,杂散光能量较小,但能量集中,在对图像进行处理时无法区别目标与杂散光;

当光线入射角小于 17° 时,杂散光到达探测芯片的能量较大,容易淹没目标像。当对光学系统加入遮光罩后,其 PST 值降低 76.6%~87.5%。因此,当一个成像像质良好的光学系统用于存在杂散光的特殊环境时,采取杂散光抑制等措施可有效地降低杂散光对光学系统的影响,提高光学系统的成像质量、信噪比和光学传递函数等,有利于后续图像处理时目标与背景杂散光的区分。

参考文献:

- [1] Breault R P. Stray light technology overview in 1998 [J]. SPIE, 1988;967:2-9.
- [2] Lin Futiao. Stray light analysis and design of infrared detected optical system[D]. Xi'an:Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, 2010: 37-55.
林福跳. 红外探测光学系统设计与杂散光分析[D]. 西安:中国科学院西安光学精密机械研究所, 2010: 37-55.
- [3] Gao Guopeng. Suppression study of stray light of two-mirror system[D]. Xi'an:Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, 2009:1-4.
高郭鹏. 双反射系统的杂散光抑制研究[D]. 西安:中国科学院西安光学精密机械研究所, 2009:1-4.
- [4] Wang Hu, Miao Xinghuan, Wen Desheng, et al. Optical system design of star sensor of wide field of view and large relative aperture[J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(12):1822-1823.
王虎, 苗兴华, 汶德胜, 等. 宽视场大相对孔径星敏感器光学系统设计[J]. 光子学报, 2005, 34(12): 1822-1823.
- [5] Edward R F. SOAR: a program for rapid calculation of stray light on the IBM PC[J]. SPIE, 1990, 1331: 107-117.
- [6] Liao Sheng, Shen Mangzuo. Stray light suppression of Casey Glenn optical system and design of lens hood [J]. Opto-Electronic Engineering, 1997, 24(4): 34-35.
廖胜, 沈忙作. 卡塞格伦光学系统的杂光抑制和遮光罩设计[J]. 光电工程, 1997, 24(4): 34-35.
- [7] Du Shusong, Wang Yongmei, Du Guojun, et al. Stray light analysis of Fabry-Perot interference imaging spectrometer[J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(2):248-251.
杜述松, 王咏梅, 杜国军, 等. 干涉成像光谱仪的杂散光分析[J]. 应用光学, 2009, 30(2): 248-251.

-
- [8] Li Xinyao, Chen Fuchun, Chen Guilin. Stray light suppression in FY-2 radiometer with shutter[J]. Journal of Applied Optics, 2014,35(1):136-137.
李欣耀,陈福春,陈桂林. 风云二号辐射计百叶窗式遮光罩杂散光抑制研究[J]. 应用光学,2014,35(1):136-137.
- [9] Yuan Yukai. Method to eliminate the stray light of optical system[J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2007,2(1):6-7.
原育凯. 光学系统杂散光的消除方法[J]. 大气与环境光学学报,2007,2(1):6-7.
- [10] Li Yun, Xiang Libin, Li Libo. Design and simulation of a new type of space camera lens hood[J]. Opto-Electronic Engineering, 2010, 37(7):41.
李芸,相里斌,李立波. 一种新型空间相机遮光罩的设计与仿真[J]. 光电工程,2010,37(7):41.