

# 同轴两反光学系统杂散光分析及内遮光罩优化设计

林剑春<sup>1,2</sup> 孙丽崑<sup>1</sup> 陈博洋<sup>3</sup> 王 威<sup>1,2</sup> 范冰清<sup>1</sup> 陈凡胜<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083  
<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049  
<sup>3</sup>国家卫星气象中心, 北京 100081

**摘要** 针对某同轴两反光学系统的空间布局特点设计了内遮光罩,并对内遮光罩不同的高度和直径参数进行了系统的杂散光分析,绘制了系统东西方向和南北方向的点源透射率(PST)曲线并得到系统像面处的辐照度,从而为内遮光罩的杂散光抑制能力提供了量化的对比结果,便于内遮光罩进行优化设计。通过杂散光分析,并对内遮光罩的结构强度等参数进行有限元分析(FEA)校核,确定了该口径为 320 mm 的同轴两反光学系统的内遮光罩高度为 100 mm,直径为 44.8 mm,使得该遮光罩结构在满足空间遥感器力学性能的要求下达到杂散光抑制的最佳效果,实现了杂散光分析及基于结构 FEA 的优化设计。

**关键词** 成像系统;同轴两反光学系统;杂散光分析;点源透射率;内遮光罩

**中图分类号** TN216 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201340.0116001

## Stray Light Analysis of a Coaxial Two Reflect Mirror System and Optimized Design of Inner Photomask

Lin Jianchun<sup>1,2</sup> Sun Liwei<sup>1</sup> Chen Boyang<sup>3</sup> Wang Wei<sup>1,2</sup>

Fan Bingqing<sup>1</sup> Chen Fansheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China  
<sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China  
<sup>3</sup>National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China

**Abstract** The inner light baffle is introduced due to the layout of coaxial two reflect mirror system for stray light elimination. Different point source transmittance (PST) curves of the system are gained by changing diameter and height of the inner photomask which is quite useful for optimization of the inner photomask. By stray light analysis and finite element analysis (FEA), it's ascertained the diameter of the inner photomask is 44.8 mm and the height is 100 mm, then great suppression effectiveness for infrared stray radiation is achieved together with required mechanical capability for the coaxial two reflect mirror system with an aperture of 320 nm.

**Key words** imaging systems; coaxial two reflect mirror system; stray light analysis; point source transmittance; inner photomask

**OCIS codes** 110.3080; 110.6770; 220.4830; 280.4788

## 1 引 言

光学系统的杂散光是指到达系统像面的非成像

视场区域内的光线,即在系统探测器上形成的背景辐射噪声<sup>[1~3]</sup>。对于空间光学遥感器而言,其工作

收稿日期: 2012-07-01; 收到修改稿日期: 2012-08-01

基金项目: 青年自然科学基金(40905013)和中国科学院重大创新项目资助课题。

作者简介: 林剑春(1985—),男,博士研究生,主要从事空间光学遥感器光机结构设计方面的研究。

E-mail: jackeelim@163.com

导师简介: 孙丽崑(1974—),女,博士,副研究员,主要从事空间光学遥感器光机结构设计方面的研究。

E-mail: livsun@163.com

\* 通信联系人。E-mail: cfs@mail.sitp.ac.cn

环境中通常有太阳、地球以及其他星体的外部辐射作用,其环境杂散光辐射常常比所探测目标辐射强度高出几个数量级,因此必须考虑光学系统的杂散光分析和抑制<sup>[4,5]</sup>。以某同轴两反光学系统为例,分析该系统的重要面及点源透射率(PST),并通过改变内遮光罩的参数得到系统杂散光抑制能力的量化指标,从而为内遮光罩的优化设计提供参考。

## 2 同轴两反光学系统

某空间红外成像装置为同轴两反型,由中心带孔的主镜、位于主镜前方的次镜以及主镜背面的后光路组成。远处物体的光线依次被主镜和次镜反射后穿过主镜中心圆孔到达后光路并最终汇聚在像面上,该光学系统可以看作是卡塞格林系统的演化。主镜直径为 320 mm,次镜直径为 54 mm,主次镜间距 336.8 mm,工作波段为 3~4.8 μm,中主镜中心开孔直径为 80 mm。其光路如图 1 所示。

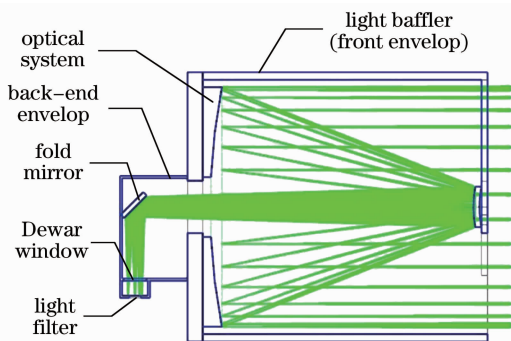


图 1 同轴两反光学系统光路图

对杂光的消除起着主要的制约作用<sup>[6]</sup>。要得到上述同轴两反系统的重要面需要在杂散光分析软件中建立起系统的光机结构模型<sup>[7]</sup>,其中系统各光学元件的表面参数设置如表 1 所示。

在此基础上通过光源的正向、逆向追迹,得到该系统的各个表面在杂散光影响中所占的比例,如图 2 所示。

从仿真结果可以得出,前、后蒙皮和窗口在杂散光影响中占主导作用。这是由于由光源入射的部分散射光线不经过主、次镜反射,直接由主镜通光孔进入光学系统,在探测器焦平面上产生杂散噪声<sup>[8]</sup>。

## 3 系统杂散光分析与抑制

### 3.1 系统重要面分析

在光学系统杂散光分析与抑制中,系统重要面

表 1 光学元件表面特性参数

Table 1 Surface characteristic parameters of optical elements

Component	Wave band /μm	Reflectivity	Transmittance	Scattering coefficient	Absorption coefficient	Emissivity
Optical system	3~4.8	0.978	0	0.009	0.013	0.013
Dewar window	3~4.8	0	0.85	0.023	0.127	0.127
Filter	3~4.8	0	0.83	0.009	0.161	0.161

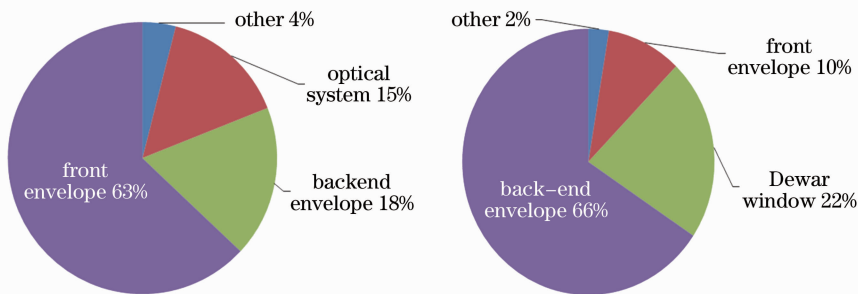


图 2 光线的正向、逆向追迹结果

Fig. 2 Forward and backward trace of light

### 3.2 消杂光方法

根据上述杂散光分析结果,借鉴卡氏系统消杂光方法<sup>[9]</sup>,通过添加内遮光罩和在前后蒙皮内表面涂敷高吸杂光系数的材料进行杂散光抑制。其中内遮光罩为顶部小底部大的圆锥筒,安装在主镜中心孔上,如图 3 所示。

根据图 3 中的光路可知,内遮光罩的高度以及

通光口径可以在一定的范围内选择,以不影响成像光线和满足力学结构要求为设计输入约束条件。针对不同高度和通光直径的遮光罩为模型,采用计算机仿真得到其 PST 曲线,从而对系统优化前后的杂散光抑制情况进行量化分析,得到内遮光罩的优化参数。

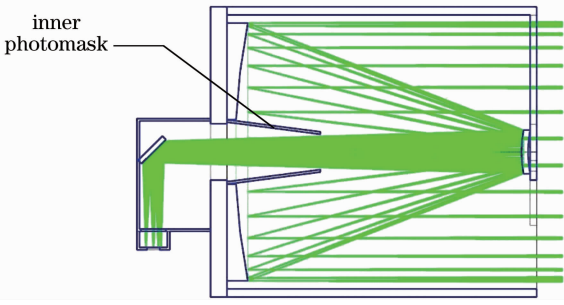


图3 有内遮光罩结构的同轴两反系统示意图  
Fig. 3 Layout of coaxial two reflect mirror system with inner photomask

### 3.3 内遮光罩优化设计

内遮光罩的通光口径由光学系统决定,以入射光线与内遮光罩顶部相交截面的外包络圆为内径,如图4所示。

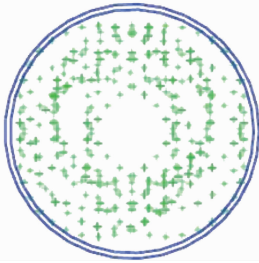


图4 内遮光罩入口处光束截面示意图  
Fig. 4 Light section at the entrance of inner photomask

根据上述方法可设置不同尺寸内遮光罩并进行杂散光分析,如表2所示。

表2 不同尺寸内遮光罩的杂散光分析

Table 2 Stray light analysis for different sizes of inner photomask

Height /mm	Aperture /mm	Radiant flux of the focal plane /W
0	—	89.975
40	41.6	70.049
60	42.8	52.118
70	43.4	52.118
80	43.8	52.054
100	44.8	4.9445

根据表2绘制成曲线如图5所示。可以看出,通过合理设置遮光罩参数,杂散光得到很好地抑制。尤其是后蒙皮和窗口,由于内遮光罩的遮挡和多次散射作用以及路径中涂层的多次吸收,杂光能量减少80%以上,符合该空间红外光学系统的设计要求。当内遮光罩高度为100 mm时,系统的杂散光迅速减少,像面的辐射量从无内遮光罩时的89.975 W下降到4.9445 W。而随着遮光罩高度的

进一步增加,系统的杂散光减小相对较少。因此,从实际工程角度考虑,为了加强相机整体结构的力学稳定性,并降低加工制造难度,可以在保证系统光学性能的前提下,通过适当缩短遮光罩长度,在兼顾杂光抑制效果的同时,实现同轴两反相机的整体性能优化设计。经过有限元分析(FEA)可以得到该同轴系统的内遮光罩结构强度满足使用需求,如图6所示。

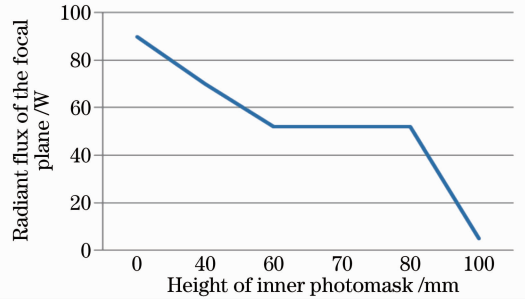


图5 内遮光罩高度与系统杂散光抑制能力  
Fig. 5 Height of the inner photomask and suppression effectiveness of system stray light

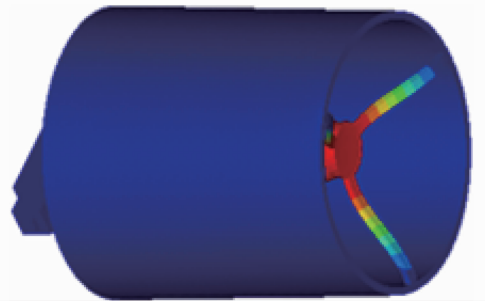


图6 同轴两反光学系统 FEA 模型  
Fig. 6 FEA model of the coaxial two reflect mirror system

### 3.4 系统的点源透射率曲线分析

通过光学追迹可以得到系统南北方向的 PST 曲线如图7所示。

由图7可知,在中心视场附近,PST 值较大,当

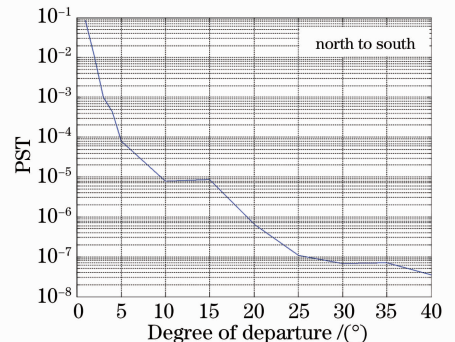


图7 南北方向的 PST 曲线  
Fig. 7 PST curve along the north-south direction

偏离角度大于  $10^\circ$  时, PST 值已经小于  $10^{-5}$ , 且在向南方向上  $10^\circ \sim 15^\circ$  之间 PST 值基本不变。因此在设计遮光罩时需要综合考虑系统视场的影响。通过验证可知, 该设计结果可满足空间成像的应用要求。

## 4 结 论

对某同轴两反光学系统进行了杂散光仿真分析, 确定了系统的重要面, 并针对该系统光路特点提出了增加内遮光罩的抑制杂散光措施, 最终通过杂散光定量分析和结构有限元分析确定了内遮光罩的尺寸参数。结果显示, 采用这种综合考虑结构有限元分析和杂散光抑制能力的设计方法有利于在后续的空间光学遥感器中杂散光抑制措施的定量化评估和优化设计提供充分的理论和工程依据。

## 参 考 文 献

- Niu Jinxing, Zhou Renkui, Liu Zhaohui *et al.*. Analysis of stray light caused by thermal radiation of infrared detection system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(8): 2267~2271  
牛金星, 周仁魁, 刘朝晖等. 红外探测系统自身热辐射杂散光的分析[J]. *光学学报*, 2010, **30**(8): 2267~2271
- Yuan Yukai. Stray light suppressing measure of optical system [J]. *Journal of Atmospheric and Environment Optics*, 2007, **2**(1): 6~10  
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): 6~10
- Niu Jinxing, Zhou Renkui, Liu Zhaohui *et al.*. Analysis and calculation of space-based infrared detecting system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(3): 768~771  
牛金星, 周仁魁, 刘朝晖等. 天基红外探测系统的杂散光分析与计算[J]. *光学学报*, 2010, **30**(3): 768~771
- Wei Caiying, Zhang Xiaohu, Qiu Kangmu. Analysis of scattered signal in geostationary meteorological satellite image [J]. *J. Appl. Meteorol. Sci.*, 2004, **15**(5): 564~571  
魏彩英, 张晓虎, 邱康睦. 风云二号静止气象卫星图像杂散信号分析[J]. *应用气象学报*, 2004, **15**(5): 564~571
- Yuan Yukai, Li Xinyao, Pei Yuntian. Simulating first order stray light of FY-2 VISSR using templates [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, **15**(1): 45~49  
原育凯, 李欣耀, 裴云天. 基于模板的 FY-2 一级杂散光模拟 [J]. *光学精密工程*, 2007, **15**(1): 45~49
- Gao Guopeng. The Study of Suppressing Stray Light in Two-Mirror Optical System [D]. Xi'an: Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy of Sciences, 2009. 24~26  
高郭鹏. 双反射系统杂散光抑制研究 [D]. 西安: 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2009. 24~26
- Liao Zhibo, Fu Ruimin, Zong Xiaoying. Optimal designing of baffle of star sensor [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(4): 987~990  
廖志波, 伏瑞敏, 宗肖颖. 星敏传感器遮光罩的优化设计 [J]. *中国激光*, 2010, **37**(4): 987~990
- Cen Zhaofeng, Li Xiaotong, Zhu Qihua. Stray light analysis for optical system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, **36**(3): 300~304  
岑兆丰, 李晓彤, 朱启华. 光学系统杂散光分析 [J]. *红外与激光工程*, 2007, **36**(3): 300~304
- T. Y. Andrew. Design of Cassegrain light shields [J]. *Appl. Opt.*, 1967, **6**(6): 1063~1067

栏目编辑: 韩 峰