

地基红外系统内部热控设计

邵 帅^{1,2}, 高云国¹, 郭 劲¹, 宣 明¹

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2.中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 地基红外系统对热辐射比较敏感, 除了来自系统外部的杂散热辐射会影响系统的性能, 系统内部的热辐射也会降低系统的灵敏度。而目前, 对系统内部热辐射的分析与控制方面, 尚未有深入系统的研究工作。通过对某地基红外系统的热控设计, 探讨了地基红外系统内部热辐射的分析与控制方法。最后通过试验, 说明地基红外系统内部热辐射对系统成像质量和辐射测量精度有很大影响, 必须在设计初期就进行详细严谨的分析计算, 并采取有效的热辐射控制措施, 减小其对系统的负面影响。

关键词: 红外; 内部热辐射; 成像质量

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2008)07-0406-03

Control and Analysis of the Interior Thermal Emission from the Ground Infrared System

SHAO Shuai^{1,2}, GAO Yun-guo¹, GUO Jin¹, XUAN Ming¹

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun Jilin 130031, China;

2.Graduate School of Sciences Academy of China, Beijing 100039, China)

Abstract: The ground infrared radiation measure system is sensitive to thermal radiation. The stray radiation affects the performance of the system, whether it comes exterior or interior. But at the present time, it is less study to control and analyse the interior thermal radiation. In this paper discussed the problem in the ground radiation measure system, through analyzing the radiation power in the system interior, the means that restrained the heat radiation was adopted. At last, the experimental shows that interior heat radiation has an important influence in the performance of the ground radiation measure system, and imaging quality and measure precision is dissatisfactory. So it is necessary to analyse and suppress the thermal emission from system interior in the conceptual design stage for reducing the negative effect.

Key words: infrared; interior thermal emission; imaging quality

引言

地基红外系统敏感于热能, 任何来自成像辐射锥之外并到达探测器的热辐射都会降低像面的对比度和调制传递函数, 使整个像面的层次减少, 清晰度变坏, 形成杂光斑点, 降低系统的灵敏度, 严重时使目标信号完全被杂散热辐射噪声所淹没。

而目前, 对于地基红外系统内部热辐射的分析与控制领域方面, 尚未开展系统的、深入的研究, 基本上仍然在沿用传统可见光的消杂光设计思想和技术。因此, 迫切需要开展有关的研究工作, 对地基红外系统内部的热辐射的影响进行分析, 并采取适当的方法控制其热辐射, 优化光机结构设计, 保证系统达到预定的成像质量和辐射测量精度。通过对某地基红外系

统的热设计, 探讨了地基红外系统内部热辐射分析与控制方法^[1-4]。

1 分析和设计过程^[5-9]

某地基红外系统其不仅有红外辐射特性测量功能, 同时有实况纪录、深空探测等功能, 为了提高成像质量和红外辐射测量的精度, 需要对系统内部的热辐射进行控制。

1.1 系统光机结构模型

根据技术指标要求, 某大口径红外辐射特性测量系统的光学系统如图1所示。此光学系统采用卡塞格林系统, 由一块主反射镜和一块次反射镜构成简单的双反射镜望远镜(见图1)。第三、四块平面镜起分光作用, 将主光路分成可见光、中波红外、长波红外三

收稿日期: 2008-04-25.

作者简介: 邵帅(1978-), 女, 汉族, 博士研究生, 主要从事地基大型红外望远镜热控技术的研究。

个不同波段的光学系统。在光学设计的基础上，通过CAD软件建立的系统机械结构简图如图2所示。此系统有三个特点：首先，系统口径大；其次，主、次镜遮拦比大；最后，多波段共口径，设计时选用的光学材料和结构材料表面的辐射特性不同，杂散辐射相当复杂。因此，在光机结构设计时，要综合考虑系统内部结构的热辐射，分析系统中的主要热辐射，并采取有效热控措施。

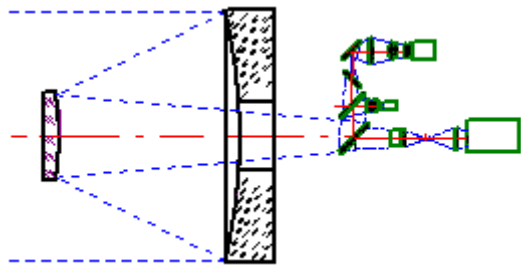


图1 光学系统结构图
Fig.1 Structure of infrared optical system

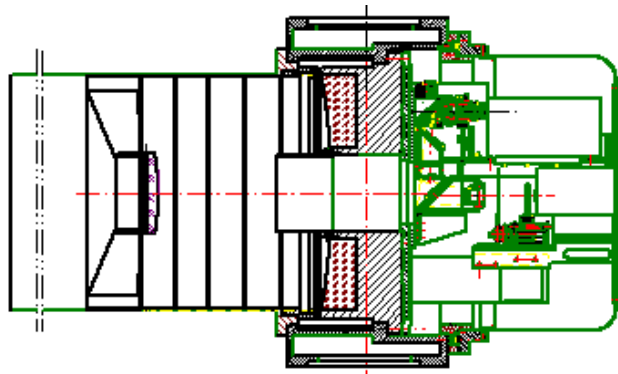


图2 分析系统的光学机械结构简图
Fig.2 Optical-mechanical structure of analysis system

1.2 分析方法

利用杂散光分析软件，分析系统中各个表面到达像面的杂散辐射能大小，判断出系统中产生热辐射的关键表面。计算结果如表1所示。

表1 不同表面和不同发射率下像面接收到的辐射能

Table1 The radiation power on image of different surfaces and emissivity

不同表面	T=300 K 时，不同发射率下比较相面接收 各个表面辐射能量/ (10 ⁻⁵ W)			
	E=1	E=0.85	E=0.5	E=0.15
主镜筒内表面	8.15846	6.19849	4.25430	2.71832
次镜筒支持杆 表面	7.32037	5.89607	3.07638	1.32603
次镜筒外表面	0.00612	0.00492	0.00401	0.00314
次镜筒内表面	5.18479	2.41803	2.01505	0.82361
次镜筒端面	1.23761	1.07382	0.65134	0.19257

由表1可知，主镜筒的内表面是系统内部产生热

辐射的主要关键表面之一，必须对其采取适当的热控措施。因此，对主镜筒机械结构的热辐射功率进行计算。

由辐射的基本定律——普朗克黑体辐射定律可知，单位面积的黑体，在单位波长间隔内向周围空间发射的辐射功率与波长和温度的关系。其数学表达式为：

$$M_{b\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 [\exp(ch/\lambda kT) - 1]}$$

(1)

式中： $M_{b\lambda}$ 为黑体的光谱辐射出射度[W/(m²·μm)]； h 为普朗克常数， $h=6.6262\times10^{-34}$ W·s²； c 为真空中的光速； k 为波尔兹曼常数； λ 为辐射波长(μm)； T 为热力学温度(K)。

某发射面在某波段内的辐射功率的计算公式：

$$M_{s(\lambda_1\sim\lambda_2)} = \varepsilon A \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{b\lambda} d\lambda$$

(2)

式中： ε 为材料的光谱发射率； A 为发射面面积。

由公式(2)可知，在发射面积一定时，某发射面在某波段内的辐射功率与发射率、温度并非线性关系。

在波长范围3~5 μm，主镜筒选择不同材料、表面类型和不同温度下，通过计算像面接收到的辐射功率如表2所示。

表2 主镜筒不同温度和不同发射率下像面接收到的辐射能对比

Table 2 The contrast of main tube radiation of different temperature and emissivity

不同温度/K	不同材料、表面类型和不同温度下辐射能 /(10 ⁻⁵ W)		
	E=0.9	E=0.45	E=0.1
285	3.15846	2.19849	0.25430
300	7.32037	4.89607	1.60638
500	9.00612	4.10492	1.80401

从表2中可以看出，在发射率一定下，主镜筒内表面热辐射功率随温度升高而增加；而在温度一定下，主镜筒内表面热辐射功率随发射率降低而减小。故对主镜筒的热辐射控制方法为：选用低发射率的涂料涂覆在其内表面；并且，在主镜筒壁外包围冷却水管，采用低温水冷环控措施使主镜筒温度稳定在285 K。

对于红外相机及后组箱体内部的热辐射的抑制问题，关键是控制好红外相机工作时的热辐射问题。本系统中的红外相机均是采用斯特格林致冷方式，致冷器把相机内部的热量均导到了相机的壳体上。

红外相机在室温 25℃时,使其处于正常工作状态,测试相机壳体的温度分布,测试结果:相机壳体温度在 35℃~42℃之间,相机的后部温度高于其前部。

根据测试条件及结果进行计算机仿真(仿真温度分布结果如图 3 所示)。表明红外相机的热辐射功率在 22~25 W 之间,其热辐射功率较高。热源分布在相机中后部,约距后部 30 mm,距顶部 35 mm。

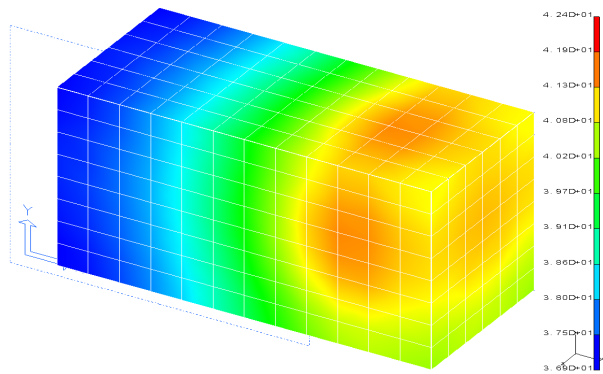


图 3 红外相机温度分布图

Fig.3 Temperature distribution of infrared camera

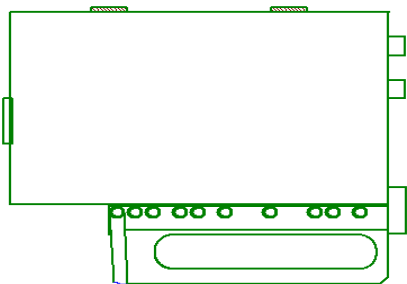


图 4 红外相机热控方法简图

Fig.4 The thermal control means of infrared camera

根据分析对红外相机进行热控设计(设计结果如图 4 所示),相机的主要发热部位贴靠制冷水管,通过循环致冷方式,把红外相机壳上的热量传导到系统外部。

1.3 设计结果和实用效果

通过对某地基红外辐射特性测量系统内部热辐射的分析,对全系统采用了相应的热控措施,其光、机结构设计结果如图 5 所示。

某地基系统在定标和试验中,复杂环境情况下,环控系统工作正常,使仪器具有良好的成像质量和辐射测量精度,具有高可靠性特点。其中该系统拍摄的一幅图像如图 6 所示。可见,其图像清晰度比较好,没有杂散斑点。

2 结论

试验证明,在地基红外系统中,内部热辐射对系统成像质量和辐射测量精度有很大影响,必须在设计

初期就进行分析并采取适当的方法控制其自身热辐射,减小其对系统的负面影响,确保系统达到预定的成像质量和辐射测量精度。

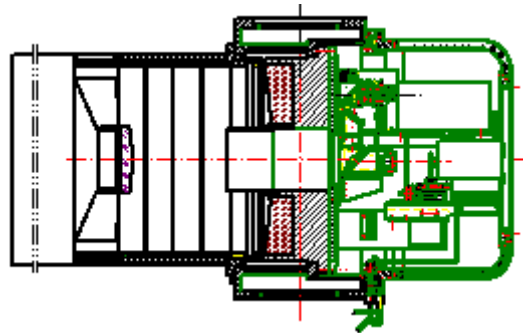


图5 系统的光机结构简图

Fig.5 Optical-mechanical structure of system

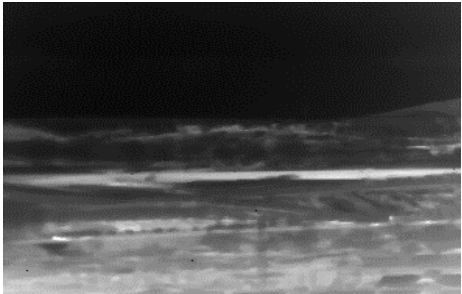


图 6 红外图像

Fig.6 Infrared image

参考文献:

[1] 王骞, 张景旭, 郭劲. 红外系统中杂散辐射的抑制方法[J]. 光机电信息, 2002, (12): 21-24.

[2] 卫红, 葛军, 周起勃. 多波段红外目标跟踪与辐射特性测量系统[J]. 红外技术, 2006, 28(2): 74-76.

[3] 张雷, 安源, 张小伟, 金光. 地面反射太阳光对 CCD 探测系统影响的研究[J]. 半导体光电, 2006, 27(5): 645-648.

[4] 赵鹏, 卢鄂, 王家骥. 空间光学仪器光、机、热一体化总体设计[J]. 光学精密工程, 1996, 4(6): 17-21.

[5] 黄强, 钮新华, 沈学民. 红外光学系统内部热辐射引起的杂散辐射分析[J]. 红外技术, 2006, 28(6): 348-352.

[6] Marija S. Scholl. MEMBER SPIE, Stray-light issues for background-limited far-infrared telescope operation[J]. Optical Engineering, 1994, 33(3): 681-684.

[7] Francis Reininger Officine Galileo, Via A. Einstein 35 Campi Bisenzio, Firenze, Italy 50013. Stray light performance optimization through system design[C]//SPIE, 1994, 2260: 17-28.

[8] Riad Haidar, Sylvain Maine, Nicolas Gu é rineau J é rôme Primot. Scatter-based interpretation of infrared stray light from warm windows in optical instruments[J]. Optical Engineering, 2006, 45(11): 116402.1-116402.7.

[9] Breault R P. Problems and techniques in stray radiation suppression[A]. Stray Light Problems in Optical Systems, SPIE, 1977, 107: 2-23.