

文章编号 1004-924X(2013)08-2154-07

离轴三反消像散多光谱相机调焦系统设计

吕世良^{1,2*}, 刘金国¹, 贾平¹, 徐东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. 中国科学院大学, 北京 100039)

摘要:空间环境的恶劣经常导致航天相机的成像平面偏离焦平面产生离焦, 从而影响遥感成像质量。本文针对某航天离轴三反消像散多光谱相机设计了一种调焦系统对成像平面的离焦进行有效补偿。首先, 分析了相机的离轴三反消像散光学系统和 CCD 焦平面的特点, 确定调焦方式并阐述调焦系统工作原理。然后, 介绍了调焦系统构成以及调焦控制器环境适应性、步进电机电矩选择、调焦传动机构的设计参数和位置编码器, 推导出了调焦精度与调焦机构参数及编码器分辨率的关系, 分析了调焦系统所能达到的调焦精度。最后, 通过调焦系统测试了调焦行程内 CCD 焦平面直线位置与编码器码值的对应曲线。对闭环控制方式测试数据的计算分析显示, 闭环调焦精度在 3σ 情况下为 $\pm 3.11 \mu\text{m}$, 满足相机调焦控制精度 $\pm 10 \mu\text{m}$ 的要求。

关键词:离轴三反相机; 多光谱相机; 消像散; CCD 焦平面; 调焦系统; 调焦精度; 闭环控制

中图分类号: TP732; TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132108.2154

Design of focusing system for multispectral camera with off-axis TMA

LÜ Shi-liang^{1,2*}, LIU Jin-guo¹, JIA Ping¹, XU Dong¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

* Corresponding author, E-mail: lvsl@ciomp.ac.cn

Abstract: The defocusing of imaging plane for a space camera in severe space environments will effect the imaging quality. It is necessary to compensate the defocusing effectively for the space camera to improve the adaptabilities and to get a high quality image. A novel focusing system was designed for a multispectral camera with off-axis Three Mirror Anastigmat (TMA) system. Firstly, the focusing method was chosen, and the principle of focusing was described by analyzing the characteristics of the off-axis TMA system and the CCD focal plane. Then, the focusing system was introduced in detail, including the working condition of a focusing controller, the way to calculate the torque of a stepper motor, and the design parameters of focusing mechanism and the position sensor. Furthermore, the correlation between the focusing accuracy and focusing mechanism, sensor resolution was deduced. Finally, the relative curve of CCD position with an encoder was obtained in the focusing range by the

收稿日期: 2013-02-07; 修订日期: 2013-02-26.

基金项目: 国家青年科研基金资助项目 (No. 61008046)

proposed focusing system. Experimental result shows that the focusing accuracy in closed-loop control is $\pm 3.11 \mu\text{m}$ (3σ). It can satisfy the system requirements of $\pm 10 \mu\text{m}$.

Key words: Three Mirror Anastigmat(TMA); multispectral camera; CCD focus plane; focusing precision; closed-loop control

1 引 言

随着航天技术的进步,多光谱成像技术在各个应用领域都有了广泛的应用。多光谱成像的优势在于多光谱相机能同时以多个谱波段对同一目标探测成像,因此它既可获取目标的图像信息,又可获取目标的光谱信息^[1]。因为能够获取目标的物理属性,所得图像具有丰富的地物信息,利用被观测目标的多光谱图像能够对复杂背景进行辨识,清楚地识别出目标物体与背景,从而提高地物目标的精细观测水平和解译分析能力,获得比常规方法更丰富的图像信息^[2]。应用此技术的光学遥感相机在航空航天侦查、国土测绘、普查农作物和植被覆盖、生态环境、城市规划与建设等领域都发挥着越来越来重要作用。

将多光谱遥感技术应用于测绘卫星,能够同时对地物的几何和光谱属性进行识别,具有更广阔的应用前景。因此,研究基于卫星平台的多光谱相机对地观测成像技术是当前航天摄影研究与应用中的一个重要方向;而高精度调焦技术是保证相机能否成清晰图像的关键技术。

航天相机在运输和发射过程中会受到振动冲击,在轨工作时空温度复杂多变,空间重力场是不同于地球表面的微重力环境,这些因素都可能导致相机的成像面与焦平面不重合,即产生不同程度的离焦,从而导致成像质量下降^[3-5]。为保证相机成像质量,要求相机对环境因素变化具有良好的适应性,在对相机进行光学系统、结构支撑和电控系统设计时,要保证调焦控制系统具有在轨调焦功能,可对产生的离焦量进行补偿以确保相机成像清晰。具有在轨调焦功能的相机可以放宽对光学系统各光学元件安装位置及其偏移的要求。

本文在分析某卫星平台上的大视场、宽覆盖多光谱 CCD 相机的光学系统特点的基础上,考虑相机对调焦精度的需求,提出了一种基于 80C32E 控制器的调焦控制系统,并对调焦系统的工作原

理和各个组成部分进行分析,主要包括调焦电机、传动机构、编码器。最后对调焦系统进行了测试,分析了调焦系统能够达到的调焦精度。

2 多光谱相机光学系统

2.1 离轴三反消像散光学系统设计

多光谱 CCD 相机以推扫式对地观测实现蓝、绿、红、近红外 4 个光学谱段的成像,在轨工作时视场角 $\theta \geq 7^\circ \times 0.6^\circ$,地面覆盖宽度达 60 km,如此大的视场角和地面覆盖宽度,决定了相机光学系统需采用离轴三反消像散光学系统(TMA)。TMA 系统的特点是不存在中心遮拦,不存在色差和二级光谱,成像谱段范围宽,可实现较大视场角,同时由于改善了光学系统的成像质量^[6-8],使光学系统理论调制传递函数(MTF)较高,获得接近理想的成像效果。多光谱 CCD 相机的光路系统原理图如图 1 所示。光学系统由视场光阑、离轴非球面主镜、非球面次镜、离轴非球面三镜和焦平面组件组成。

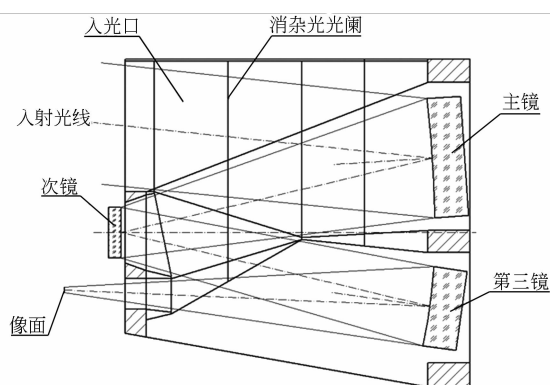


图 1 光路系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of optical system

2.2 成像焦平面

由于多光谱相机实现一次推扫成像要大于 60 km 的覆盖宽度,同时需在蓝、绿、红、近红外 4 个光学谱段上感应成像,因此,选用线阵型 CCD 器件。该器件出厂时,就将 4 列线阵 CCD 器件封装为一体,线阵窗口上 4 条滤光片的透过光谱段

分别对应蓝、绿、红、近红外 4 个光学谱段,每排线阵具有 6 000 pixels,CCD 感光焦平面组件的几何特性如图 2 所示。

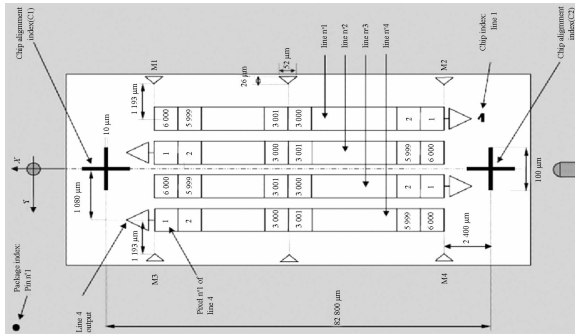


图 2 CCD 感光面像元几何特性图

Fig. 2 Pixel geometrical property of CCD photosensitive surface

3 调焦精度要求

在多光谱 CCD 相机的整体设计过程中,考虑到光学元件的加工装调误差、机械结构的加工装调误差、温度引起的反射镜曲率变化及光学零件轴向间隔改变引起的焦距变化量,以及 CCD 焦平面足够的运动行程,多光谱 CCD 相机焦平面沿光轴方向的调焦行程设计为 ± 2.2 mm。

相机半焦距计算公式:

$$|\pm \Delta| = 2F^2\lambda.$$

式中: $\pm \Delta$ 为相机光学系统半焦距; F 为相机光学系 F 数; λ 为相机光学系统光谱波长。

根据多光谱 CCD 相机的光学设计、机械结构设计和 CCD 焦平面的特点,采用移动 CCD 焦平面的调焦方式。相机的调焦精度应为相机光学系统焦深的 $1/3 \sim 1/4$, 这里以 $1/4$ 焦深即 $\pm \Delta/2$ 为调焦精度。在 CCD 多光谱相机蓝、绿、红、近红外 4 个光谱段中,以蓝光波长 $\lambda = 0.43 \mu\text{m}$ 最短,对应的半焦距为 $\pm 21.5 \mu\text{m}$,所以 CCD 多光谱相机的调焦精度优于 $\pm 10 \mu\text{m}$ 。

4 调焦系统设计

根据相机支撑结构的特点各异、光学系统的设计形式不同,采用的调焦方式也不同,航天相机常用的调焦方式有镜头调焦、反射镜调焦和焦面调焦 3 种^[9]。离轴三反消像散多光谱相机光学系

统的机械支撑结构的自身特点决定调焦精度要优于 $\pm 10 \mu\text{m}$ 。离轴三反消像散的光学系统需要每块反射镜都刚性固定才能确保多光谱相机的成像质量,而 CCD 组件中有 4 条线阵,感光面宽度比单线阵的宽,因此选用移动 CCD 焦平面的方式调焦,即通过步进电机驱动调焦传动机构,使与传动机构刚性连接的 CCD 焦平面运动,并利用编码器实时检测 CCD 焦平面的位置。调焦系统工作原理(如图 3 所示)如下:调焦系统控制器 80C32E 接收到上位机的调焦命令和调焦参数,控制驱动步进电机带动调焦传递机构和 CCD 焦平面运动,调焦完成后采集并将计算出的编码器位置信息反馈给调焦系统控制器,上位机再把这些信息发送给星务主机,作为遥测地面信息。

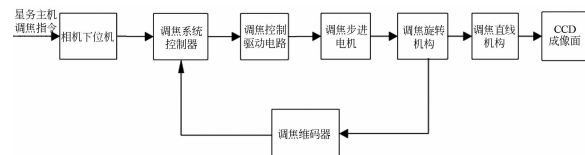


图 3 调焦系统工作原理图

Fig. 3 Schematic diagram of focusing system

这种调焦控制系统方案可以实现以编码器的位置量为输入的闭环控制,可以减少误差累积,从而具有较高的控制精度。当编码器失效后,也可以实现以步进电机步数为输入量的开环控制方式。

4.1 调焦控制器

空间环境温度变化大,另外,由于存在来自宇宙射线和太阳粒子的辐射使得电磁环境复杂,因此,航天相机的电子系统(元器件)不论处于表面还是内部都应考虑空间环境温度差和电磁粒子辐射的影响^[10],故本文选用适合航天应用的宇航级控制器 80C32E 作为调焦系统控制器。

4.2 调焦步进电机

步进电机的控制原理简单,易于直接将电脉冲转化为角位移。当步进电机驱动器接收到一个脉冲信号后,即驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度。通过控制脉冲个数即可控制角位移量,从而进行准确定位;同时通过控制脉冲频率可以控制电机转动的速度和加速度,从而达到调速的目的。步进电机作为控制系统的动力执行元件,其特点是快速起停能力强、精度高、转速容易控制、工作稳定、可靠性高,因此航天相机常以

步进电机作为执行元件。电机采用低速、变速运行,工作频率为 800 Hz,作用力矩 $T = 0.049 \text{ N} \cdot \text{m}$,安全系数 $k = 3$,则应用的作用力矩:

$$T_y = k \times T = 0.147 \text{ N} \cdot \text{m}, \quad (1)$$

根据调焦系统需要的最大保持静力矩、CCD 焦平面质量、控制精度、步进电机质量和尺寸、输出力矩和转速范围等限制,选用 42BYG020G 型四相步进电机。该电机定位力矩为 $0.0147 \text{ N} \cdot \text{m}$,保持力矩为 $0.167 \text{ N} \cdot \text{m}$,质量为 0.24 kg 。采用 12 V 电源供电。

4.3 调焦机构设计

调焦机构设计采用 CCD 焦平面调焦方案,为了使调焦控制精度优于 $\pm 10 \mu\text{m}$,通过分析相机的光学系统和光机支撑结构设计了如图 4 所示的调焦机构。

调焦机构采用两级减速器,第一级采用精度等级为 5 级的蜗轮蜗杆副,减速比为 33 : 1;第二级采用精度等级为 5 级的齿轮副,减速比为 3 : 1;总减速比为 99 : 1。本文采用步进电机作为驱动部件,以螺距为 5 mm 精度等级为超精密级的 $\Phi 10 \times 5$ 的滚珠丝杠副驱动 CCD 器件由圆周运动转为沿导轨做直线运动。CCD 焦平面沿光轴方向的调焦行程设计为 $\pm 2.5 \text{ mm}$,在行程两端留有 0.3 mm 的设计余量。

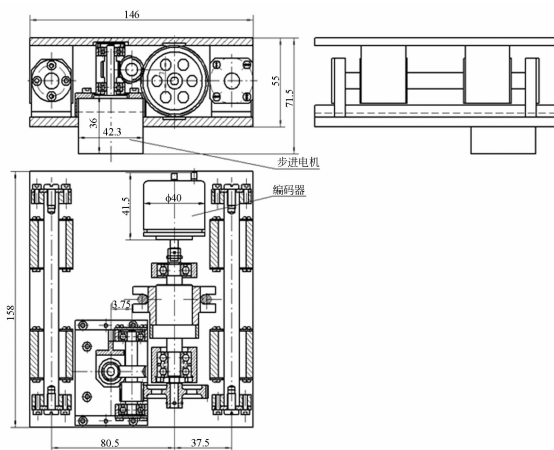


图 4 调焦机构结构图

Fig. 4 Structural diagram of focusing mechanism

4.4 位置编码器及调焦量分辨率

为了实时检测 CCD 焦平面的位置,以 14 位绝对式光电轴角编码器作为检测焦平面位置的反馈传感器,将其联接在丝杠末端。编码器旋转一

周码值数为: $2^{14} = 16\,384$ 个,每个码值换算成角度为:

$$(360^\circ \times 60' \times 60'') / 16\,384 = 79.1'', \quad (2)$$

步进电机的工作方式为四向八拍式,每步转动角度为 0.9° ,通过减速机构变速,电机每走一步丝杠转动角度为:

$$(0.9^\circ \times 60' \times 60'') / 99 = 32.727'', \quad (3)$$

此时丝杠上螺母的直线运动位移为:

$$32.727'' \times 5 / (360^\circ \times 60' \times 60'') = 0.126 \mu\text{m}, \quad (4)$$

根据式(3),电机每走一步,编码器码值跳动值为:

$$32.727'' / 79.1'' = 0.413 \text{ 码/步}, \quad (5)$$

码值跳动 512 个码值时,CCD 焦平面的运动距离:

$$512 \times (0.126) / (0.413) = 156.203 \mu\text{m}.$$

这种调焦控制系统可以实现以编码器位置为输入的位置闭环控制,这样一方面避免了传动链中误差的累积和放大影响,减少了步进电机的控制难度,另一方面还可以实现以步进电机步数为输入量的位置开环控制方式。

5 调焦精度分析

相机调焦系统的误差来源主要为调焦系统的控制误差、传动机构的传动误差和编码器的测角误差。

5.1 控制误差

由于惯性等原因,闭环调焦方式控制 CCD 焦平面运动到目标位置后不能立即停止,可能会在目标位置左右往复运动,慢慢地达到目标位置,这一过程会持续相当长的时间甚至是无限振荡,可能超出调焦时间的允许范围,因此在控制软件中设置 CCD 焦平面运动到距期望目标位置前后 ± 8 个码值范围内,即停止运动。所以 CCD 焦平面最终并不一定停在目标位置,从而产生了 ± 8 个码值的调焦控制误差,对应的 CCD 焦平面直线位移为:

$$\pm \frac{5.0 \text{ mm} \times 1\,000 \mu\text{m}}{360^\circ \times 60' \times 60''} \times 8 \times 79.1'' = \pm 2.5 \mu\text{m}$$

所以调焦控制误差为:

$$\sigma_1 = \pm 2.5 \mu\text{m}. \quad (6)$$

5.2 传动机构误差

调焦传动机构采用两级减速器,滚珠丝杠副的丝母与丝杠之间为无间隙配合,总的误差反映

在 CCD 焦平面的定位误差为：

$$\sigma_2 = \pm 1.0 \mu\text{m} . \quad (7)$$

5.3 编码器误差

由式(2)知 14 位绝对式光电轴角编码器测角精度为 79.1", 编码器旋转 360° 对应调焦行程为 5 mm, 所以编码器的测角误差引起的 CCD 焦平面线位移误差为：

$$\sigma_3 = \frac{5 \text{ mm} \times 1\,000 \mu\text{m}}{360^\circ \times 60' \times 60''} \times 79.1'' = \pm 0.3 \mu\text{m} . \quad (8)$$

5.4 误差合成

由调焦传动机构误差、光电编码器误差以及调焦控制误差合成的调焦系统误差为：

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = \pm 2.7 \mu\text{m} . \quad (9)$$

6 实验测试与分析

6.1 调焦行程测试

调焦系统测试平台建立后, 千分表底座固定在调焦机构不动件上, 千分表指针顶在安装 CCD 焦平面调焦机构上的随 CCD 运动的平面上, 当 CCD 焦平面运动到调焦行程的中间位置时, 清零千分表, 这样当 CCD 焦平面运动时, 千分表指针就能显示出对应的直线位移读数。采用开环控制方式控制电机同方向运动 200 步/次, 记录电机每次运动后对应的编码器码值(十进制)和千分表读数(直线位移量)。经测试整个调焦行程内电机共运动 165 次, 码值 15 152 对应 2 118 μm; 码值 8 192 对应 0 μm; 码值 1 508 对应 -2 031 μm。绘制调焦行程内 CCD 焦平面直线位移与位置编码器码值对应曲线如图 5 所示。可以看出调焦行程内 CCD 焦平面直线位移与编码器码值有非常好

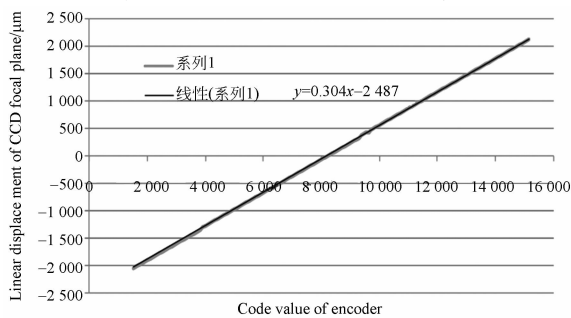


图 5 调焦行程内 CCD 焦平面位置与码值对应曲线
Fig. 5 CCD focal plane position vs code value in focusing distance

的线性对应关系。通过测试数据进行曲线拟合, 得出两者满足如下线性关系式：

$$y = 0.304x - 2.487 . \quad (10)$$

6.2 闭环调焦控制与精度分析

闭环调焦控制以编码器的位置值作为输入量, 同一组测试实验中, 输入值与前一次的输入值差值固定, 驱动调焦步进电机带动 CCD 焦平面运动, 同时记录千分表的读数和编码器码值的变化量, 并将运动后读取的位置码值作为闭环反馈量。

对闭环调焦控制精度进行了多组测试, 选取两组测试数据进行闭环调焦控制精度分析。第一组测试数据码值输入量每次递增 512 个码值, 测试 46 次并记录每次测试数据; 第二组测试数据码值输入量每次递增 256 个码值, 测试 12 次并记录每次测试数据。两组测试数据输入码值与返回码值的差在 8 个码以内。取第一组中 20 次测试数据计算出直线测量残差如图 6 所示; 取第二组 12 次测试数据计算出直线测量残差如图 7 所示。从分析结果可以看出两组测试中每次测量残差都小于 2.0 μm。

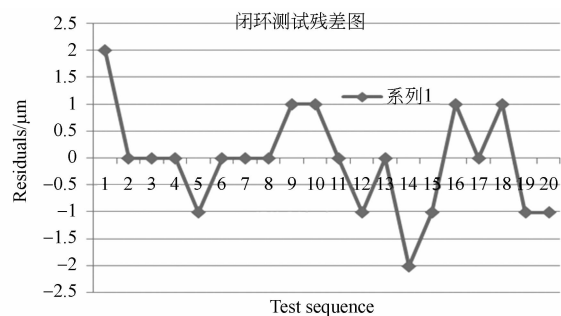


图 6 第一组 20 次闭环调焦测试数据的残差曲线
Fig. 6 Residual curve of closed-loop control for 20 test data in the first group

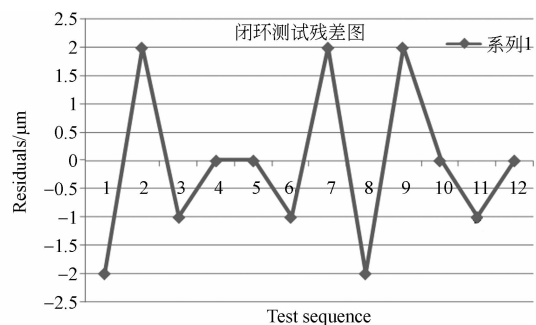


图 7 第二组 12 次闭环调焦测试数据的残差曲线
Fig. 7 Residual curve of closed-loop control for 12 test data in the second group

第一组 20 次闭环测试的调焦控制精度计算结果如表 1 所示。第二组 12 次闭环测试的调焦控制精度计算结果如表 2 所示。

表 1 第一组闭环调焦控制精度测试结果分析与理论设计对比

Tab.1 Comparison results of closed-loop test and theoretical design for the first group

测量次数	测量结果		3σ	理论值
	码值输入量差	直线位移差/ μm		
1	512	158		
2	512	156		
3	512	156		
4	512	156		
5	512	155		
6	512	156		
7	512	156		
8	512	156		
9	512	157		
10	512	157	2.8	156.2
11	512	156		
12	512	155		
13	512	156		
14	512	154		
15	512	155		
16	512	157		
17	512	156		
18	512	157		
19	512	155		
20	512	156		
平均值	512	156		

表 1 结果表明,对于本文设计的调焦系统,采用闭环控制方式,输入量为 512 个码值时,CCD 焦平面实际移动 $156.0 \mu\text{m}$,理论计算位移为 $156.2 \mu\text{m}$ 。经过计算,调焦控制精度为 $2.8 \mu\text{m}$ (3σ)。

参考文献:

- [1] 许洪,王向军.多光谱超光谱成像技术在军事上的应用[J].红外与激光工程,2007,36(1):13-17.
XU H, WANG X J. Applications of multispectral hyperspectral imaging technologies in military [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(1):13-17. (in Chinese)

表 2 试验结果表明,采用闭环控制方式输入量为 256 个码值时,CCD 焦平面实际移动 $78.2 \mu\text{m}$,理论计算位移为 $78.1 \mu\text{m}$,调焦控制精度为 $2.8 \mu\text{m}$ (3σ)。

表 2 第二组闭环调焦控制精度测试结果分析与理论设计对比

Tab.1 Comparison results of closed-loop test and theoretical design for the second group

测量次数	测量结果		3σ	理论值
	码值输入量差	直线位移差/ μm		
1	256	77		
2	256	79		
3	256	78		
4	256	78		
5	256	78		
6	256	77	2.8	78.1
7	256	80		
8	256	77		
9	256	79		
10	256	79		
11	256	78		
12	256	78		
平均值	256	78.2		

7 结 论

本文根据离轴三反消像散多光谱相机对调焦精度的实际需要,结合相机的离轴三反消像散光学系统和 CCD 焦平面的特点,设计了一套高精度调焦系统。介绍了调焦系统的工作原理及系统组成,并详细分析了调焦系统的参数设计,最后对调焦系统进行了实际测试,对两组测试数据进行分析。分析结果表明,闭环调焦控制精度达到 $2.8 \mu\text{m}$ (3σ),满足多相机调焦精度为 $\pm 10 \mu\text{m}$ 的技术要求。

- [2] 张丹枫,付跃刚,柏公欣.星载多光谱相机光学系统设计[J].长春理工大学学报(自然科学版),2012,35(2):33-34.
ZHANG D F, FU Y G, BAI G X. The optical system design of space-borne multi-spectral camera[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2012, 35(2):33-34. (in Chinese)

- [3] 王智,张立平,李朝辉,等. 传输型立体测绘相机的调焦机构设计[J]. 光学精密工程, 2009, 17(5): 1051-1056.
WANG ZH, ZHANG L P, LI ZH H, *et al.*. Design of focusing mechanism of space tridimensional mapping camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(5): 1051-1056. (in Chinese)
- [4] 张新洁,颜昌翔,谢涛. 星载光学遥感器调焦机构的设计[J]. 光学精密工程, 2009, 17(11): 2758-2761.
ZHANG X J, YAN CH X, XIE T. Design of focusing mechanism of space remote sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(11): 2758-2761. (in Chinese)
- [5] 李朝辉,王智,乔克,等. 三线阵立体测绘相机高精度调焦技术及实现[J]. 光电工程, 2009, 36(10): 41-46.
LI ZH H, WANG ZH, QIAO K, *et al.*. Focusing technique for three-line stereo mapping camera and realization [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2009, 36(10): 41-46. (in Chinese)
- [6] JURANEK H J, SAND R, SCHWEIZER J, *et al.* Off-axis telescopes: the future generation of earth observation telescopes [J]. *SPIE*, 1998, 3439: 104-115.
- [7] 韩昌元. 高分辨力空间相机的光学系统研究[J]. 光学精密工程, 2008, 16(11): 2164-2172.
HAN CH Y. Study on optical system of high resolution space camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11): 2164-2172. (in Chinese)
- [8] 杨永彬. 空间光学相机调焦技术研究[J]. 航天器工程, 2011, 20(2): 20-24.
YANG Y B. Study on focusing technique for space optical camera [J]. *Spacecraft Engineering*, 2011, 20(2): 20-24. (in Chinese)
- [9] 安源,齐迎春. 空间相机直线调焦机构的设计[J]. 光学精密工程, 2009, 17(3): 609-614.
AN Y, QI Y CH. Design of straight-line focusing mechanism for space camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(3): 609-614. (in Chinese)
- [10] 赖祖武,包宗明,王长河,等. 抗辐射电子学: 辐射效应及加固原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
LAI Z W, BAO Z M, WANG CH H, *et al.*. *Radiation Hardening Electronics: Radiation Effects and Hardening Techniques* [M]. Beijing: Defense Industry Press, 1999. (in Chinese)

作者简介:



吕世良(1974—),男,山东郓城人,博士研究生,助理研究员,1999年、2006年于哈尔滨工业大学分别获得学士、硕士学位,主要从事伺服控制和空间遥感成像方面的研究。E-mail: lvsl@ciomp.ac.cn



刘金国(1968—),男,吉林蛟河人,硕士,研究员,硕士生导师,1991年于吉林工业大学获得学士学位,1994年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事空间遥感与图像处理方面的研究。E-mail: liujg@ciomp.ac.cn



徐东(1972—),男,甘肃正宁人,学士,副研究员,1996年于吉林工业大学获得学士学位,主要从事空间遥感成像技术的研究。Email: xudong720910@sina.com

导师简介:



贾平(1964—),男,吉林延吉人,博士生导师,研究员,1985年于吉林工业大学获得学士学位,1988年于中国科学技术大学获得硕士学位,主要研究方向为航空成像与测量仪器技术。E-mail: jiap@ciomp.ac.cn