

# 离轴三反式多光谱相机的装调

梅 贵, 翟 岩, 苗健宇

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘 要:** 离轴三反系统的装调是遥感相机研制中的一项难点。针对离轴三反式多光谱相机, 利用多种仪器与计算机辅助装调软件相结合, 对系统进行了装调。最终检测结果表明, 相机各谱段实验室静态传函  $MTF > 0.24$  (Nyquist 频率处), 满足指标要求。

**关键词:** 离轴三反系统; 多光谱相机; 装调; 传函

中图分类号: V447.3 文献标识码: A

**DOI:** 10.3788/OMEI20112808.0001

## Alignment of Off-axis Three-mirror Multispectral Camera

MEI Gui, ZHAI Yan, MIAO Jian-yu

*(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,  
Changchun 130033, China)*

**Abstract:** The alignment of off-axis three-mirror system is difficult in the research and development of remote sensor. In this paper, an off-axis three-mirror multispectral camera was developed with the help of many instruments and computer aided alignment software. The final test results showed that the static MTF of each spectrum in library was more than 0.24 (at Nyquist frequency), which could well meet the requirement.

**Keywords:** off-axis three-mirror system; multispectral camera; alignment; transfer function

## 1 引言

多光谱相机是在工作过程中同时用几个谱段对同一位置目标进行成像的相机,可以同时获得目标的图像和光谱信息。因此,目前多光谱遥感技术广泛地应用于资源考察,农林、水文和地质勘查,环境监测,灾害调查以及测绘制图等方面,对于军事和民生都具有重要的意义。

离轴三反光学系统具有可以同时实现长焦距与大视场、没有中心遮拦、调制传递函数高、对杂散光抑制能力强等诸多优点,但是由于其结构的复杂性和非对称性,实际制造和装调难度较大。

本文所述的多光谱相机具有蓝、绿、红、近红外4个谱段,光机结构主要包括主镜组件、次镜组件、第三镜组件、焦面组件及系统整体框架。

## 2 多光谱相机的装调

多光谱相机各光学组件均有各自的光机连接、支承及调整机构,能够满足各光学组件的装配及系统光学调整工作。要求相机镜头装调后的传函  $MTF \geq 0.65$  (Nyquist 频率处,全视场);相机静态传函  $MTF \geq 0.2$  (Nyquist 频率处,四谱段、全视场)。

### 2.1 光学系统组成

多光谱相机光学系统如图1所示,为一次成像离轴三反系统(Cook-TMA)。镜头包括主镜、三镜(两个离轴非球面镜)和一个球面次镜。这种设计使孔径光阑位于次镜处,光学系统相对比较对称,并且由于是像方准远心光路,光学系统发生离焦时(焦深范围内),各视场的像高将基本保持不变,即每个像元与地面对应的点的物像关系基本保持不变。

### 2.2 光机结构布局

通过大量的计算分析以及多次不同量级的各组件级的力学试验,确定了相机镜头的结构形式。多光谱相机由光学镜头和调焦组件、CCD像面组件、机上电箱等部分组成。光学镜头由3个反射镜组件和机身组件组成,机身包括整体式框架、光阑组件

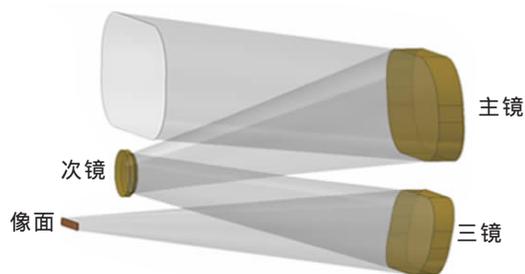


图1 多光谱相机光学系统示意图

和前托架。3个反射镜分别布置在机身组件的相应位置上,主镜组件与第三镜组件安装在机身组件后端面,次镜组件安装在机身组件前端面,次镜组件和主镜组件、第三镜组件均有防尘、防杂光设置的防护罩,并为对应组件热控的实施提供基础。调焦组件安装在前托架下方。机上电箱中的驱动电箱(含CCD器件)安装在调焦组件上板上,处理电箱安装在前托架上方,通过电缆与处理电箱连接。如图2所示。

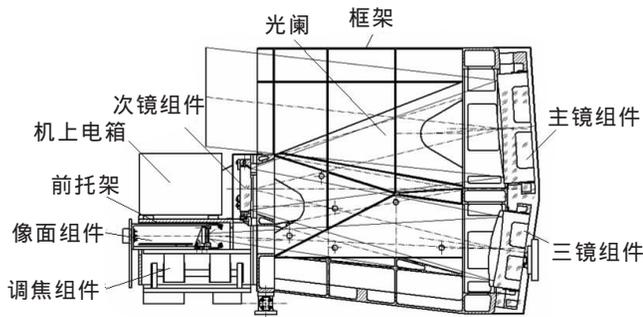


图2 多光谱相机结构示意图

### 2.3 反射镜检测

带背板的各镜在系统装调之前需要检测各镜的状态是否满足装调要求。

(1) 主镜和三镜检测:利用ZYGO干涉仪、补偿器检测面形精度,如图3所示。

(2) 次镜检测:次镜背面加工成高精度平面,可以用ZYGO干涉仪直接检测次镜面形。

离轴量的大小对装调时各镜面的位置影响很大,因此,各镜在系统装调前还需要检查离轴量是否超差。首先用0.5"自准经纬仪使ZYGO干涉仪光轴与双零级大理石气浮平台平行,光轴与大理石边缘垂直。

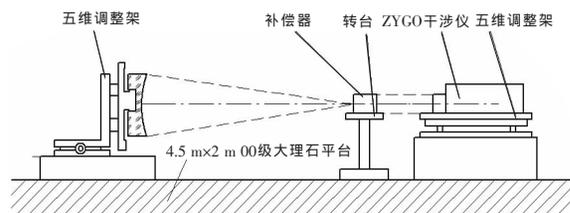


图3 主镜和三镜检测平台

用平板玻璃紧靠反射镜补偿器端面（补偿器的装调以端面及外缘为基准）进行自准，可得到横向与纵向离轴量。

### 2.4 光学系统的粗调

在双零级大理石气浮平台上将主镜和三镜固定在五维调整架上。主镜补偿器放置于V型大理石台上，调整ZYGO干涉仪的位置，使主镜补偿器光轴与干涉仪光轴同轴。调整主镜五维调整架，在保证主镜侧面与大理石气浮平台垂直的前提下，用ZYGO干涉仪观察主镜面形，直至RMS达到约 $1/50\lambda$  ( $\lambda=632.8\text{ nm}$ )。

在V型大理石台上放置三镜补偿器，测量主镜补偿器与三镜补偿器的同轴度，要求其同轴度优于 $0.02\text{ mm}$ 。调整三镜五维调整架，保证三镜侧面与大理石气浮平台垂直，用ZYGO干涉仪观察三镜面形，直至RMS达到约 $1/50\lambda$ 。

将次镜安装于五维调整架上，根据次镜与主镜的间距摆放好次镜，调整次镜五维调整架，使次镜背面与ZYGO干涉仪光轴垂直。

将标准平面镜置于大理石气浮平台上，调整平面镜和ZYGO干涉仪，使光学系统成像。检测+1视场、0视场、-1视场的像质情况，通过判定3个视场的像质情况来确定次镜的位移方向及旋转方向。

### 2.5 光学系统的精调

经过粗装调，光学系统已经较为接近理想装调结果。接下来利用软件进行辅助装调，精确调整次镜的位置<sup>[1-4]</sup>。如图4所示，用ZYGO干涉仪检测各视场的像质情况，根据现有反射镜的面形结果和位置关系，用CODEV软件模拟理想状态下的 $\pm 1$ 视场、 $\pm 0.5$ 视场、0视场的干涉图，利用粗装调后的干涉图

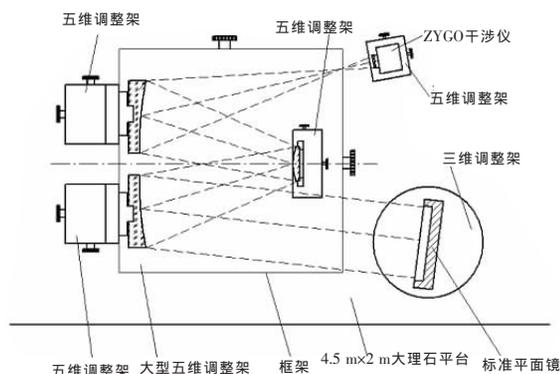


图4 整机精调示意图

与理想状态的干涉图进行比对，从而分析出次镜失调量。调整7个视场的波像差达到 $1/14\lambda$ ，传函 $MTF \geq 0.65$ 。

指标合格后，用 $0.2''$ 光管和小平面反射镜监测主镜、次镜和三镜的角度值，各镜轴向位置由镜后端面放置的数显表监测。将框架由平台推入，在保证主镜位置不动的前提下，将主镜背板连接到框架上，用ZYGO干涉仪与标准平面镜监控系统，然后，将次镜与三镜依次通过修整垫连接到框架。

### 2.6 相面组件的装调

将相机连同五维调整架安装于二维转台上，用 $2\text{ m}$ （焦距）光管和显微镜监控相机CCD。调整相机视轴与光管光轴平行，照亮CCD，在光管焦面处用显微镜观察CCD绿谱段。转动转台，调整CCD谱线，使其在全视场内保持水平，在此基础上安装前托架，测量前托架调整垫、调焦组件调整垫尺寸，并修研至与实际尺寸一致，固定前托架和调焦组件，使CCD感光面位置不变。至此，多光谱相机光机结构装调完毕。

## 3 多光谱相机的传函检测

调制传递函数MTF是评价相机成像质量最常用的指标，多光谱相机有4个谱段，因此需要所有谱段的各视场全部达到设计指标才能完全满足成像要求。表1为检测结果。可以看出4个谱段全视场MTF均满足设计指标。

表1 多光谱相机各谱段MTF

	谱段	+1视场	0视场	-1视场
MTF	蓝	0.261	0.262	0.260
	绿	0.294	0.295	0.292
	红	0.263	0.263	0.261
	近红	0.244	0.246	0.243

## 4 结 论

本文对离轴三反多光谱相机的装调过程和方法进行了详述,利用补偿器、干涉仪、调整架等工具初步确定主镜、次镜和三镜的位置,然后借助计算机软件进行辅助精调,降低了系统的装调难度。装调结果表明,相机各谱段  $MTF > 0.24$ , 满足设计指标。

## 参考文献

- [1] 杨晓飞, 张晓辉, 韩昌元. Zemax 软件在离轴三反射镜光学系统计算机辅助装调中的应用[J]. 光学 精密工程, 2004, 12(3): 270-274.
- [2] 张伟, 刘剑峰, 龙夫年. 离轴三镜系统光学元件间补偿关系研究[J]. 光子学报, 2005, 34(8): 1160-1164.
- [3] 刘剑峰, 龙夫年, 张伟. 离轴三镜系统计算机辅助装调方法研究[J]. 光学技术, 2004, 30(5): 571-573.
- [4] 杨晓飞, 张晓辉, 韩昌元. 用像差逐项优化法装调离轴三反射镜光学系统[J]. 光学学报, 2004, 24(1): 115-120.

作者简介: 梅贵 (1984-), 男, 江苏高邮人, 硕士, 研究实习员, 2009年于清华大学获得硕士学位, 主要从事机械结构设计。  
E-mail: meigui840428@163.com

## 长春长光奥立红外技术有限公司揭牌

2011年7月19日, 由吉林省光电子产业孵化器有限公司和长春奥普光电技术股份有限公司共同出资成立的长春长光奥立红外技术有限公司开业揭牌。

长春长光奥立红外技术有限公司由长春光机所光电技术研发中心红外热像领域相关成果发展而来, 主要从事与红外技术相关的光电仪器的研制、开发、生产、销售与服务, 目前已形成红外成像仪、激光照明器、红外光学镜头及车载成像设备等多个产品。公司依托长春光机所在光、机、电等方面的技术优势和设备优势, 成立之初已有多项原创性发明专利技术, 目标是面向高端民用产品市场, 打造拥有自主核心技术的国内一流企业。该公司是吉林省光电子产业孵化器孵化成功的第一家企业, 公司揭牌也成为吉林省光电子产业孵化器发展历程中的里程碑事件。