

## 长焦距光学系统中反射光路的设计与装调

张继超, 李大伟

(中国科学院航空光学成像与测量重点实验室 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:** 针对双高斯型长焦距光学系统后工作距离较长的特点, 在光学系统的后工作距离内设计两块反射镜折转光路, 缩小光学仪器的尺寸, 节省仪器空间和质量。通过反射作用矩阵计算分析了加入两块反射镜后, 系统成像不改变。设计了精密螺纹幅微调机构, 用于调整反射镜的俯仰和方位角度, 调整后固定; 设计了十字线和辐射状相结合的像面标定工装及多显微镜组合使用的装调观察工具, 提高了装调效率。规划出粗、精相结合的对无穷远目标标定的装调方法, 最终标定像面。所使用的设计方案和装调方法在实际工作中切实可行。

**关键词:** 长焦距; 反射镜; 像面

**中图分类号:** TH745; V248.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)05-1496-04

## Design and adjustment of the reflection optical path in a long optical system

Zhang Jichao, Li Dawei

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** Aimed to the feature for long after work distance of double Gauss long focus optical system, double reflection mirrors was designed to refraction ray, the camera's size was shortened, with saved space and reduced quality. System's image had not change by analyzing reflex action matrix calculation after jionting two pieces of reflection mirror. The precision thread trim mechanism was designed for adjusted the pitch and azimuth angle of reflection mirror, then fixed. A image demacrating tool was designed that combing with corss line and radiation shape, and a adjustable observation tool with multiple microscope combination, efficiency was improved. A method combine with coarse and precision was planned out to demarcate focus, finally the image plane calibration was finished. This method has been proven was feasible in the practical work.

**Key words:** long focus; reflection mirrors; image plane

收稿日期: 2014-09-17; 修订日期: 2014-10-18

基金项目: 国家 863 计划(2009AA7010102)

作者简介: 张继超(1981-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事航空遥感器结构设计方面的研究。Email: zhangjichao@sohu.com

### 0 引言

航空遥感器按照成像介质分类可分为胶片型和数字型两类。随着数字型器件的不断进步和发展,如 CCD 和 CMOS 的逐步发展,胶片型相机将逐步退出历史舞台。但是由于胶片具有分辨率高、画幅面积大的特点,在高分辨率和宽覆盖等遥感器上仍然在使用。胶片的颗粒度越小,分辨率越高,现有的胶片分辨率可达到 800 lp/mm,而数字器件的像元目前可达到的尺寸为 0.005 mm,折算分辨率为 100 lp/mm,与胶片的分辨率相比还有很大的差距。从幅面尺寸来讲,胶片的尺寸可以做到 300 mm×300 mm,而目前成熟数字器件的尺寸在 50 mm 左右,从成像范围上来说与胶片也无法比拟。故胶片相机有其存在的价值。

文中介绍的光学系统为双高斯型光学系统,成像介质为胶片,具有高分辨率的特点。双高斯型光学系统的结构特点为镜片集中,后工作距离较长,在结构设计时,需对后工作距离进行合理的规划<sup>[1-3]</sup>。文中介绍的长焦距光学系统的焦距为 1 700 mm,后工作距离为 500 mm,若将光学系统延轴线设计,光学仪器长度较长,故考虑在光学系统的后工作距离内安装反射镜对光路进行折转,以缩短光学仪器的尺寸和降低光学仪器的质量<sup>[4-6]</sup>。

## 1 光学系统组成及结构设计

### 1.1 光学系统组成

光学系统由扫描反射镜、双高斯型镜头、反射镜(1)、反射镜(2)及成像介质组成。扫描反射镜对地物进行扫描,经双高斯型镜头、反射镜(1)、反射镜(2)成像在焦面上。光学系统简图如图 1 所示。

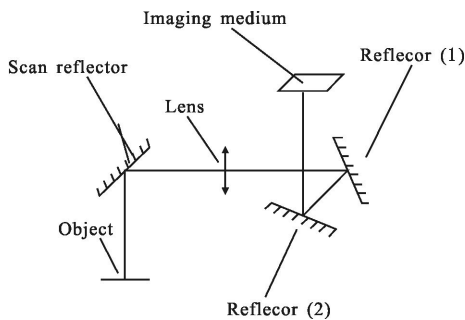


图 1 光学系统简图

Fig.1 Optical system sketch

在光学系统中增加反射镜会给图像带来镜像,利用反射作用矩阵对像方向进行分析。

$$\begin{pmatrix} A_x' \\ A_y' \\ A_z' \end{pmatrix} = R^2 R^1 A$$

反射作用矩阵  $R^1$ :

$$R^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

反射作用矩阵  $R^2$ :

$$R^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

根据计算结果得出结论:在光路的后工作距离内加入两块反射镜后对图像的方向没有影响,只是对光线进行了折转<sup>[7-9]</sup>。

### 1.2 装调结构设计

遥感器的装调主要针对像面展开,包含两个方面:高低和方位。该遥感器的装调需调整两反射镜高低和角度以保证遥感器的焦面位置。反射镜(1)安装在遥感器壳体的内部,不便于装调,故将装调好的组件安装到机体上,调整其高度,使像面处于设计位置,剩余量通过反射镜(2)修正。反射镜(2)安装在遥感器壳体的外部,便于装调,故将反射镜(2)设计成可调整结构,既可以调整高低,又可以调整角度,高低方向的调整量较小,故反射镜(1)要调好高低后才能最终固定。在反射镜(2)的支撑架上设计有便捷微调机构,其简图如图 2 所示。

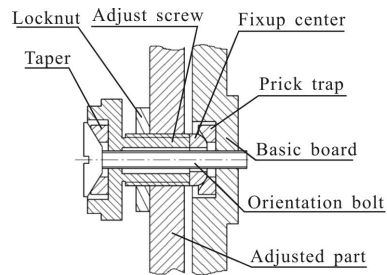


图 2 微调机构简图

Fig.2 Sketch of inching structure

微调机构主要由基板、被调整件、定位螺钉、锥套、调整螺纹套、锁紧螺母、定心环、锥套组成。基板为设备的基体;被调整件上安装有光学元件,调整其

角度使光学元件的角度改变,从而满足整机光学系统的要求;定位螺钉用来固定被调整件的位置;锥套与定位螺钉配合起到定心的作用;调整螺纹套用来调整被调整件与基板的位置;锁紧螺母将调整螺纹套的最终调整位置固定;定心环以平面与调整螺纹套接触,另外一面为球面与锥套接触,起到定心作用,定心环的球面起到释放应力的作用;锥套起到定心的作用。

调整螺纹套、锁紧螺母和被调整件上面带有螺纹,为了增加调整精度,螺纹均选用细牙螺纹,螺距选用 0.25 mm。

## 2 标定要求及工装

光学系统的装调首先要保证各分系统的精度,各分系统调整后再安装到整机上。分系统装调时,保证反射镜(1)镜面和反射镜(2)镜面与安装基准角度误差在 $\pm 5''$ 范围内,紧固后,检测镜面面型精度,全口径范围内 PV 值应小于  $\lambda/6$ ,合格后方可安装在遥感器的机体上。

### 2.1 像面的标定要求

标定像面需调整反射镜的位置将成像介质标定在焦深内,相机焦深的计算公式如下:

$$\delta = \pm \Delta / 2 = \pm F^2 \lambda$$

式中: $\delta$ 为相机半焦深; $\Delta$ 为相机焦深; $F$ 为镜头相对孔径的倒数; $\lambda$ 为工作波长。

遥感器允许的离焦误差应小于镜头的半焦深,在该遥感器中,焦深为 0.068 mm,半焦深为 0.034 mm。

成像介质需放置在焦深范围内,如成像介质为线阵 CCD 器件,只要将 CCD 线阵放置在焦深内即可。该成像介质为胶片,面积为 114 mm $\times$ 114 mm,画幅对角线为 161 mm。需将整个平面放置在 0.034 mm 范围内,给装调带来了困难。

### 2.2 标定工装

由于像面尺寸较大,故需利用像面工装对相机像面进行标定,根据成像介质位置设计玻璃工装,在工装上设计有观察目标,分别为十字线和弥散圆,工装上的目标与胶片的安装位置相同,将该面调整到焦深内即可,工装如图 3 所示。

调整遥感器后工作距离内两反射镜的位置和角度使光学系统像面移动,实现像面与工装面重合。为

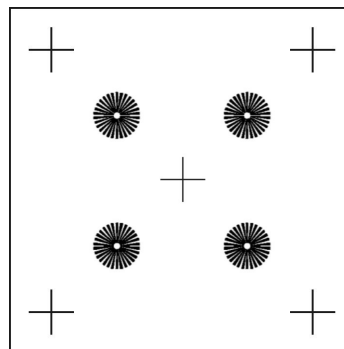


图 3 像面标定工装

Fig.3 Demarcated of image's tool

了便于标定,将 9 个显微镜安装到同一个工装上,同时对 9 个目标进行标定,以减少移动显微镜带来的误差和麻烦。组合显微镜如图 4 所示。

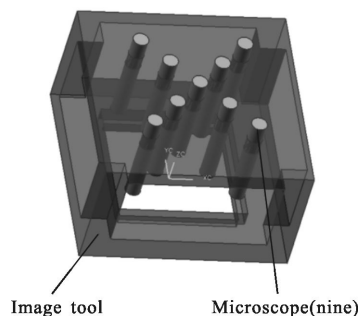


图 4 组合显微镜简图

Fig.4 Sketch of combination microscope

## 3 标定步骤

像面的标定要求整个胶片面都在焦深范围内,即要求整个像面同时达到目视分辨率要求。

像面误差分为两个方面进行调整:像面高度和像面角度。通过调整反射镜(1)的高度调整像面的高度,通过调整反射镜(2)的角度调整像面的角度。

### 3.1 初步装调

反射镜的装调分步进行,首先将反射镜用柔性支撑安装到反射镜支架上,用经纬仪测量反射镜镜面与安装基准面的角度。然后将反射镜组件安装到机身上,利用短焦平行光管进行粗装调。对像面进行标定,观察像面的中心视场,使像面的中心视场像面与工装面重合,确定反射镜(1)的高低,修整调整垫,固定反射镜(1)。装调简图如图 5 所示。

装调过程在恒温室内进行,恒温 20 $^{\circ}$ C。需要的

工具如下:照明设备、分辨率板、平行光管、遥感器、微调机构等。

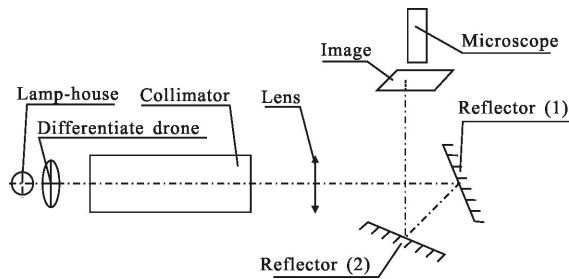


图5 装调简图

Fig.5 Sketch of adjust

### 3.2 精确装调

将反射镜(2)安装到遥感器机体上,将遥感器放置在平台上并对准平行光管,平行光管焦距应大于遥感器焦距的2.5倍,以保证像面精度。调整反射镜(2)的角度,使中心视场像面与设计像面重合。转动相机的俯角和位角使光斑移动到遥感器的0.5视场、1视场,即像面工装的位置,标定像面与工装的位置,调整反射镜(2)进行校正,使整个像面均匀,目视分辨率相同。反复校正,直到9个位置全部达标,装调完成,固定反射镜(2),装调完成。

遥感器装调完成后,将遥感器装上胶片,对目标成像,以验证遥感器的成像质量。

## 4 结论

不同类型的载机平台提供的装机尺寸是不同的,根据实际的装机要求,遥感器有时设计成筒状,不需要光线折转,设计简单,装调也简单。但是在装机尺寸有限时需要光线折转,以提高空间利用率,实现顺利装机。文中就后工作距离较长的光学系统进行了反射镜设计,适合实际装机要求。可供其他遥感器的研究与实践借鉴。

### 参考文献:

- [1] Zhang Shuqing, Ding Yalin. Image motion compensation method of a step-frame LOROP camera [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(3): 501-504. (in Chinese)  
张树青,丁亚林.斜视步进画幅遥感相机像移补偿方法研究[J].红外与激光工程,2008,37(3):501-504.
- [2] Wan Zhi, Ren Jianwen. Analysis of signal-to-noise ratio for remote sensing TDI CCD camera based on radiative transfer model [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(3): 497-500. (in Chinese)  
万志,任建伟.基于辐射传输模型的TDI CCD遥感相机信噪比分析[J].红外与激光工程,2008,37(3):497-500.
- [3] Lu Jianfeng. Design of real-time processing system for IR image tracking based on digital signal processor[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(4): 622-625. (in Chinese)  
鲁剑锋.基于DSP的实时红外图像处理系统的设计[J].红外与激光工程,2008,37(4):622-625.
- [4] Ding Zhenyong Ye Lu. Detection method of parallelism of optic axes between laser and visible optical systems [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(5): 890-893. (in Chinese)  
丁振勇,叶露.激光与可见光系统光轴平行性检测[J].红外与激光工程,2008,37(5):890-893.
- [5] Wang Dejiang. Effects of gyro de-noising algorithm on aerial camera motion compensation system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(5): 968-978. (in Chinese)  
王德江.陀螺去噪算法对航空相机像移补偿系统的影响[J].红外与激光工程,2010,39(5):968-978.
- [6] Zhang Dexin. Design of super-wide-angle aerial reconnaissance CCD camera [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(6): 1060-1065. (in Chinese)  
张德新.宽角航空侦察CCD相机设计[J].红外与激光工程,2010,39(6):1060-1065.
- [7] Wang Junshan. Characteristic analysis and correction technique about the image rotation of aerial camera [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(3): 493-496. (in Chinese)  
王俊善.航空相机的像面旋转特性分析及其补偿方法[J].红外与激光工程,2008,37(3):493-496.
- [8] Geng Wenbao. Characteristic analysis for image rotation of aerial camera [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(6): 1053-1057. (in Chinese)  
耿文豹.航空相机的像面旋转特性分析[J].红外与激光工程,2008,37(6):1053-1057.
- [9] Zheng Fei. Analysis of image rotation for sweeping aerial camera with CCD area array [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(5): 897-900. (in Chinese)  
郑飞.摆扫式面阵CCD航空相机的像旋转分析[J].红外与激光工程,2009,38(5):897-900.