

航天立体测绘相机调焦机构的设计与实验研究^{*}

张海青^{1,2} 张立平¹ 王智¹

(¹中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

(²中国科学院 研究生院 北京 100039)

Design and experimental research on focusing mechanism of aerial stereo mapping camera

ZHANG Hai-qing^{1,2} ZHANG Li-ping¹ WANG Zhi¹

(¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)(²Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

【摘要】介绍了一种光学结构为准像方远心光路形式的相机调焦机构的设计,其主要指标为:调焦范围 $\pm 2\text{mm}$,调焦精度 $\pm 8\mu\text{m}$ 。通过几种调焦方案的对比,选择了调焦凸轮和导轨配合使用的方案,将凸轮的旋转运动转化成 CCD 靶面沿光轴方向的直线运动,实现了通过调整像面移动来解决离焦的问题。介绍了调焦量的确定、调焦机构的工作原理及可靠性设计,精度分析结果表明,该调焦机构的传动误差为 $\pm 1.71\mu\text{m}$,CCD 靶面的直线移动精度为 X 方向 $11.2''$,Y 方向 $11.8''$,绕光轴方向的旋转量为 $4.7''$ 。满足立体测绘相机对主点主距的要求。通过实验检测,结果表明设计合理,满足使用要求。

关键词:调焦机构;凸轮导轨机构;CCD 靶面;精度分析;自准直仪

【Abstract】The designing of the focusing mechanism for a aerial stereo camera was present. The camera's optical structure is telecentric structure in the quasi image space. The focusing precision was supposed to be $(\pm 8)\mu\text{m}$ in the range of $(-2\sim+2)\text{mm}$. By comparison of several focusing schemes, the method using focusing cam along with guideway was adopted, which could transfer the rotational movement of the focusing cam into the straight line motion of the focal plane. Then the defocus problem could be solved by adjusting the position of focal plane. The experimental results show that the design is reasonable and can satisfy the requirement.

Key words: Focusing mechanism; Cam guiding mechanism; CCD target; Precision analysis; Autocollimator

中图分类号:TH12;V443+.5 文献标识码:A

航天测绘相机是获取地面信息的重要手段之一,精密调焦技术直接影响相机的工作稳定性,是星载长焦距、高分辨率立体测绘相机不可缺少的关键技术之一。由于航天立体测绘相机光学系统焦距较长,卫星发射过程中的振动、冲击以及复杂多变的在轨温度、压力等环境会引起空气的折射率发生变化^[1],同时光学系统中透镜的折射率、曲率半径、厚度、透镜材料内应力变化、金属框架的伸缩等,都会导致相机的 CCD 靶面偏离焦平面从而降低成像分辨率,直接影响测绘精度。因此设计了一套补偿相机 CCD 靶面偏移的调焦机构,介绍了检调焦工作原理、凸轮调焦机构的组成、调焦机构传动原理及误差分析,并通过试验验证了调焦系统的精度。

1 调焦方式的选择

调焦结构主要由光学系统、调焦精度及使用环境条件决定。不同光学系统其调焦方式不同,即使同一光学系统,因结构形式及使用环境条件不同,其调焦方式亦不同,常用的调焦方式有以

下几种。

1.1 镜组移动式

镜组移动式又可分为前组、中组和后组移动,镜头前组移动,通过移动镜头光学前组透镜,改变焦距,从而达到调焦目的,通常用于小型普及型照相机。镜头中组或后组移动,通过移动镜头中组透镜或后组透镜,改变焦距,常用于超望远镜头。

1.2 焦面反射镜移动式

如果光学系统的后截距很长,可以在最后一块透镜和像面之间增加一块反射镜,改变光路缩短相机长度,通过调整反射镜沿光轴方向的位置实现调焦,用于镜头后截距较长、调焦精度要求较高的长焦距相机。

1.3 焦面移动式

通过移动成像介质(胶片或 CCD)感光面使其与光学系统的焦面重合进行调焦,适用于装机空间小、焦距较短的相机。

结合某航天立体测绘相机光学系统的特点,采用沿光轴移动

CCD 摄像靶面(焦平面)的方式,这种方法的优点是相机的光学系统能够很好的保持稳定。

应用于航天相机的调焦机构主要有两种:一种是丝杠螺母调焦;另一种是凸轮调焦。这两种调焦方式各有优缺点,丝杠螺母调焦方式结构简单、成本低,但相机在轨工作环境中(真空、低温等)容易产生卡滞现象,抗振动冲击能力差,而凸轮调焦方式精度高,结构也比较简单,其运动件(齿轮、凸轮、蜗轮、蜗杆)经过防冷焊处理后不会产生冷焊、卡滞现象,但对凸轮曲线的加工要求较高。由于航天立体测绘相机的工作环境及精度要求,我们选择双凸轮曲线调焦方式,通过凸轮的导向作用,把调焦步进电机的旋转运动转化为 CCD 靶面沿光轴的直线运动。

2 调焦量的确定

相机都有一定的允许离焦量,在允许离焦范围内不会造成图像分辨率的下降。允许离焦量的最大值等于相机的半倍焦深,计算公式如下:

$$|\pm\Delta| = 2F^2\lambda \quad (1)$$

式中 $\pm\Delta$ —焦深;

F — F 数;

λ —相机工作的中心波长。

测绘相机的焦深为:

$$|\pm\Delta| = 2F^2\lambda = 2 \times 5^2 \times 0.5876 = \pm 29.38 \mu\text{m}$$

由于影响相机的因素有很多,如光学元件的制造、机械结构的加工、整机的装调以及电控等,综合考虑上述因素,分配给调焦组件的调焦要求是精度为 $(\pm 8) \mu\text{m}$,另外,根据本立体测绘相机光学系统的特点,经过分析计算,只需把 CCD 靶面沿光轴方向移动 $\pm 1 \text{ mm}$ 即可补偿离焦量,结构设计时,在结构允许的空间范围内,尽量增加调焦范围,使调焦量有一定裕度。调焦量的大小由凸轮曲线决定,在满足要求的凸轮的强度、刚度条件下,设计调焦范围 $(\pm 2) \text{ mm}$ 。

3 调焦机构结构设计及分析

航空立体测绘相机调焦机构主要由调焦电机组件、编码器组件、凸轮导向机构、焦平面组件等组成,结构简图如图1所示。

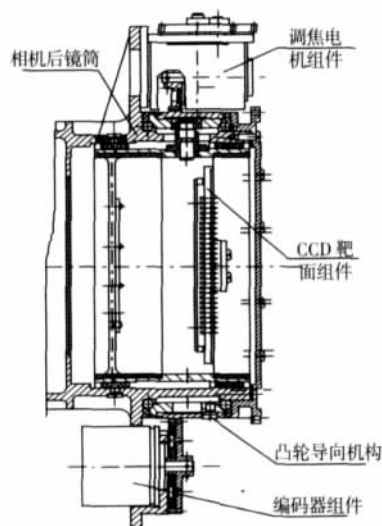


图1 调焦机构结构简图

调焦电机借助减速装置将力传递给凸轮机构,凸轮机构实现了把步进电机的旋转运动转化为 CCD 靶面沿光轴方向的直线移动。

3.1 凸轮导向机构设计

凸轮导向机构是实现调焦电机旋转运动转化为 CCD 靶面沿光轴方向直线运动、决定调焦量大小的执行机构,是反映调焦精度的重要环节。

凸轮导向机构主要由凸轮、齿圈、特殊螺钉、过渡轴及轴座组成,凸轮组件结构图如图2所示。

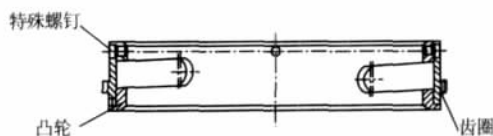


图2 凸轮组件结构图

凸轮借助于多个精密钢球,支承在固定筒上,钢球借助保持架保证相对位置不变,修研支持架与固定筒间的调整圈,保证钢球相对凸轮及固定筒间的间隙很小,凸轮在固定筒上回转自如,凸轮机构相对固定筒轴向位置恒定不变。

凸轮与齿圈通过特殊螺钉联结在一起,过渡轴通过两个精密轴承与凸轮联接(轴承在凸轮槽内移动,每个轴承与凸轮槽的一边间隙为零,此设计是为了消除正反转带来的机构空回,还可以克服由于凸轮槽宽度的不均匀性引起的滚子跳动),过渡轴装在轴座上,轴座固定在像面镜筒上,这样就把凸轮与 CCD 靶面组件的像面镜筒连接起来,当齿圈旋转时,凸轮随之转动,由凸轮传递的运动可分解为沿光轴方向的直线移动和绕光轴方向的旋转运动,而像面镜筒绕光轴方向的转动被限位机构限制,这样,凸轮通过过渡轴、轴座带动像面镜筒沿光轴方向直线运动,从而将调焦电机旋转运动转化为 CCD 靶面沿光轴方向的直线移动。

3.2 调焦机构中的可靠性设计

调焦机构是测绘相机的关键组件之一,测绘相机 CCD 靶面的偏移是通过调焦机构来补偿。为保证相机的成像质量,不但要求调焦机构有高的调焦精度,还要有足够的强度、刚度。调焦机构中,过渡轴及轴座的力学性能相对薄弱,在结构设计时,采用冗余设计,即在凸轮上设计有对称的两条凸轮曲线,形成两个凸轮槽。由双过渡轴、双轴座与 CCD 靶面的像面镜筒联系起来,这样可提高凸轮机构的强度和刚度,保证调焦精度,而且还能减少 CCD 靶面的光轴晃动,提高其沿光轴直线运动平稳性。

4 检调焦机构工作原理

航天立体测绘相机检调焦机构的控制原理框图如图3所示。

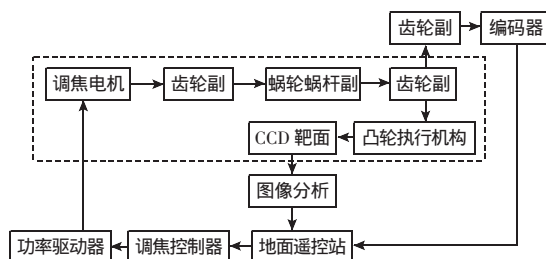


图3 检调焦工作原理框图

