

机载航空侦察相机调焦机构设计

董 斌, 田海英, 郑丽娜, 许永森

(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: 本文针对一种机载和航空侦察相机, 研究了导致航空相机焦面偏离的各种原因, 指出温度、大气压力变化和照相距离的变化, 是导致相机离焦的主要原因。通过对该原因的分析、研究, 确定了自动调焦系统方案, 设计了一套原理简单、结构可靠的调焦机构。对该调焦机构进行精度分析并进行了相关的试验。试验结果表明, 该调焦机构设计合理可行。

关键词: 调焦机构; 凸轮; 直线导轨; 误差分析

中图分类号: V447.3 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI 20102712.0073

Design of Auto-focusing Gear on Airborne Reconnaissance Camera

DONG Bin, TIAN Hai-ying, ZHENG Li-na, XU Yong-sen

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

Abstract: Aiming at a kind of airborne reconnaissance camera, different defocusing reasons were researched in this paper. It was concluded that the changes of temperature, pressure and imaging distance were the key culprits. By analyzing the defocusing reasons, a scheme of auto-focusing system was proposed and a simple, reliable focusing gear was designed. Some precision analysis tests for the focusing gear were fulfilled. The results showed that the gear was feasible and reasonable.

Keywords: focusing mechanism; cam; liner guides; error analysis

1 引 言

航空相机所处的工作环境条件 (如冲击、振动、

压力、温度等) 非常复杂, 相机的成像质量除了受光学系统形式制约外, 还受大气、杂光、温度等诸多因素的影响^[1]。在影响像质的诸多因素中, 环境条件

变化(大气压力、温度变化)是影响相机成像质量的主要因素,一套稳定、可靠的调焦机构是相机在复杂的环境条件下保证成像质量的关键。本文对由于环境条件和照相距离变化引起的航空相机光学焦面的变化进行深入研究,设计了一套高精度调焦补偿机构。

2 引起离焦的因素分析

相机在高空照相时,大气压力、温度变化以及照相距离的变化使相机像点产生变化,是造成相机离焦的主要因素。

由几何光学成像关系可知,对于焦距一定的物镜,物、像之间存在共轭关系,即满足高斯公式:

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{l'} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

式中, f 为镜头焦距, l 为地物到镜头前主面距离, l' 是镜头后主面到像面的距离。

相机在工作时,随着工作高度变化,大气压力和温度发生改变,使相机镜头焦距改变,引起焦面的移动。此外,随着飞行高度的变化,物距是不断变化的,因而使像距发生改变。相机镜头焦距和相机照相距离的改变都会导致像距的改变,使像面产生变化。为了保证获得清晰可靠的图像,需要对相机进行调焦补偿。所谓调焦就是指沿光轴方向改变物面(或镜头)的位置,使物像关系满足高斯公式,以获取清晰的图像^[2]。

3 调焦机构设计

航空相机常用的调焦方法主要有镜头移动式、像面移动式、反射镜移动式等,具体的调焦结构也多种多样。

该机的光学结构如图1所示。

该相机镜头体积、重量比较大,不利于采用镜头移动式的方法实现调焦;而像面移动式结构较为复杂,精度要求相对较高,不适合采用。因此,在光学系统的后截距处增设一个与光轴成45°的反射镜,通过沿光轴方向移动反射镜,调整相机的后截

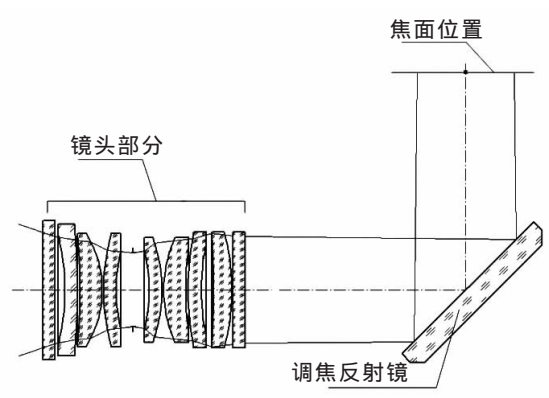


图1 相机光学结构示意图

距,改变光学焦面的位置,实现调焦^[3]。

相机允许的离焦误差是相机的半倍焦深(简称半焦深),在半焦深范围内,像质不改变,若离焦超出半焦深,会使光学成像质量显著变坏^[4]。半焦深的计算公式如下:

$$\delta = \frac{\Delta z}{2} = 2F^2 \lambda \quad (2)$$

式中, Δz 为焦深; δ 为半倍焦深; F 为镜头相对孔径的倒数,即 F 数;

光学系统的 F 数为8,允许的半焦深为0.09 mm。综合考虑温度、气压以及零位误差、热控误差、非线性误差等因素的影响,调焦机构的设计精度选择应优于0.02 mm。

调焦机构采用步进电机作为驱动,以多圈绝对式编码器为检测元件,以精密凸轮作为传动元件,利用精密直线导轨将旋转运动转换为直线运动。调焦机构方案如图2所示。

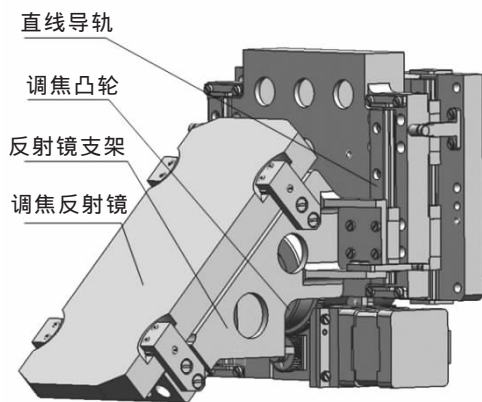


图2 调焦机构设计方案图

本调焦机构具有如下优点:

- (1) 能够同时对大气压力、温度变化和照相距离变化引起的离焦量进行补偿, 补偿精度高;
- (2) 精密滚动直线导轨运动摩擦阻力较小, 行走和定位精度及重复定位精度较高。

4 调焦机构误差分析

调焦机构的误差主要包括调焦机构的误差和调焦反射镜的位置精度误差^[5]。其中, 调焦机构误差主要是指齿轮副传动的空回和直线导轨的传动误差。采用最大误差法进行分析, 齿轮副传动的空回不大于 0.01 mm, 直线导轨的传动误差 < 0.002 mm。

由调焦机构的结构特点可知, 调焦反射镜须与光轴成 45°, 若发生偏离, 则将使调焦时的实际像面偏离理想像面一定角度, 从而使像面处产生不同程度的离焦现象, 直接影响到相机的成像质量。调焦反射镜位置偏差简图如图 3 所示。

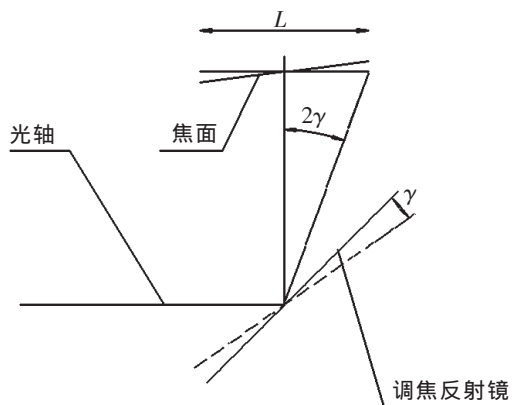


图 3 调焦反射镜位置偏差简图

可以用下面的公式近似计算调焦反射镜所允许的最大偏转角 $\Delta\gamma$:

$$\Delta\gamma = \frac{1}{2} \arcsin \frac{2\delta}{L} \quad (3)$$

其中, δ 为半焦深, L 为像面大小。

经过计算, 得出 $\Delta\gamma = 1'$ 。考虑到调焦机构的装调误差和控制系统的误差同时存在, 因此调焦反射镜允许的极限偏转角度为 $\Delta\gamma/4$ 。

5 试验与测试

调焦机构处在重力场、相机内部温度环境场共同作用的环境中, 还要承受一定的随机振动。因此, 要求调焦机构具有很强的环境适应能力, 具有结构稳定性^[6]。

为了验证调焦机构的设计是否合理, 能否满足使用要求, 对调焦机构进行了振动实验。根据载机环境条件要求, 随机振动加速度功率谱密度的均方根值为 9.18 g。

在振动实验后, 对整个机构进行了通电测试, 导轨运动平稳, 机构可正常工作。精度检测示意图如图 4 所示。

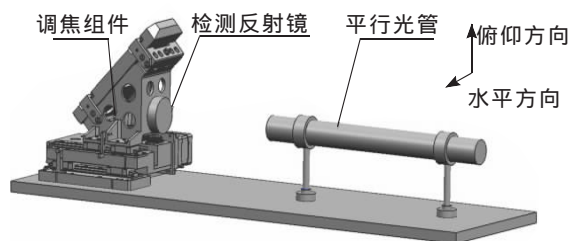


图 4 精度检测示意图

对实验机构的行走精度进行检测, 每隔相同段距离控制反射镜座停止一次, 并记录此时调焦机构的位置, 计算出与上次位置的数值差, 作为调焦机构在这段运动行程中的精度变化值。多次测量, 并取平均值, 作为机构的行走精度的静态数值。

驱动反射镜座沿水平方向往复运动, 观察平行光管中的读数在一个行程中的最大和最小值, 两者的差值即是机构在一次行程中的行走精度的动态数值。多次测量, 并取平均值, 作为机构行走精度的动态数值^[7]。

检测数据如表 1 所示。

由表 1 可知, 调焦机构在水平和俯仰两个方向上的静态运动精度分别为 8" 和 6", 动态运动精度分别为 9" 和 7", 均满足使用要求。

表1 振动后直线运动机构精度检测数据

	水 平			俯 仰		
	机械位置 (mm)	读数	差值	机械位置 (mm)	读数	差值
静态精度	-2.5	4'55"	-	-2.5	4'56"	-
	-2	4'57"	2"	-2	5'00"	4"
	-1.5	4'59"	2"	-1.5	4'57"	3"
	-1	4'55"	4"	-1	5'00"	3"
	-0.5	4'56"	1"	-0.5	4'57"	3"
	0	4'55"	1"	0	4'56"	1"
	0.5	4'52"	3"	0.5	4'59"	4"
	1	4'56"	4"	1	5'00"	1"
	1.5	5'00"	6"	1.5	5'01"	1"
	2	4'54"	6"	2	5'03"	2"
	2.5	4'50"	4"	2.5	5'03"	0"
	2	4'54"	4"	2	5'01"	4"
	1.5	4'55"	1"	1.5	4'59"	2"
	1	4'55"	0"	1	5'02"	3"
	0.5	4'54"	1"	0.5	5'00"	2"
	0	4'52"	2"	0	4'55"	5"
	-0.5	4'53"	1"	-0.5	5'00"	5"
	-1	4'54"	1"	-1	5'02"	2"
动态精度	-1.5	4'56"	2"	-1.5	5'03"	1"
	-2	4'59"	3"	-2	4'59"	4"
	-2.5	4'51"	8"	-2.5	5'00"	1"
		9"			7"	

6 结 论

本文对航空相机引起离焦的因素进行了分析，

并提出了相应的解决方法。设计了一套高精度的调焦机构，该调焦机构传动误差不大于 0.015 mm，运动精度不大于 10"。满足设计、使用要求。

参考文献

- [1] 修吉宏, 翟林培. 影响航空图像质量的主要因素分析[J]. 红外, 2005, 8(8): 10-16.
- [2] Lareau A G. Flight demonstration of the CA-261 step frame camera[J]. SPIE, 1997, 3128: 17-28.
- [3] 惠守文. 长焦距斜视实时航空相机离焦补偿[J]. 光学 精密工程, 2003, 11(2): 162-165.
- [4] 丁亚林, 田海英, 王家骥. 空间遥感相机调焦机构设计[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(1): 35-38.
- [5] 张洪文. 空间相机调焦技术研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士学位论文, 2003.
- [6] 林为才, 王晶. 一种新型调焦机构的设计[J]. 长春理工大学学报, 2007, 30(4): 46-48.
- [7] 毛英泰. 误差理论与精度分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982: 147-151.

作者简介: 董斌 (1980-), 男, 汉族, 吉林长春人, 硕士, 助理研究员, 2009年于中科院长春光机所获得硕士学位, 主要从事航空遥感器的研制。E-mail: dwz_863@126.com