

文章编号 1004924X(2003)02016204

长焦距斜视实时航空相机离焦补偿

惠守文

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要: 基于一种长焦距斜视实时航空相机的研制, 探讨了导致相机离焦的原因, 指出环境(大气压力、温度)变化和照相斜距的变化是导致相机离焦的主要原因, 分别从温度、大气压力、照相斜距这三个方面的变化对相机离焦的影响进行讨论, 给出了计算相机离焦量的简易数学方程。通过对相机斜距离焦的分析, 提出了一种新的离焦补偿方法, 研制出一种双层导轨、双层凸轮的自动调焦补偿机构, 使相机在照相过程中保持像面稳定, 并对斜距调焦原理进行了实际检验。

关键词: 离焦; 温度; 大气压力; 照相斜距

中图分类号: V447.3 文献标识码: A

Compensation for long focus oblique real_time aerial camera being out of focus

HUI Shou_wen

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: Based on the experience gained from the development of a long focus, oblique, real_time, aerial camera, it is pointed out that the camera maybe out of focus is due to changes in temperature, atmospheric pressure and oblique photographic distance. The effect of these three factors on a camera is discussed and a simple mathematical equation is proposed for calculation of how much a camera is out of focus. A new simple method is to compensate out of focus of oblique photographic distance. The principle is very easy to implement. Finally, the paper introduces a auto_focusing system with double_deck guideway and double_deck cam, and its focusing of oblique photography is tested.

Key words: out of focus; atmospheric temperature; atmospheric pressure; oblique photographic distance

1 引言

随着技术的进步, 国内外的航空侦察相机已经由短焦距或中焦距胶片式相机发展到长焦距 CCD 实时传输型相机。以往的航空相机, 都是以固定焦距的方式工作的, 由于相机的焦距不长, 加上照相时拍照高度变化有限, 因而照相高度变化、

环境条件变化引起像面的移动对具有中等分辨率的照相系统的像质影响不大。而目前高性能航空侦察相机, 多以高空斜视、向远距离目标侦察照相为特点, 为了得到大比例尺的照片, 相机的焦距大为增加, 随之而来的问题是, 长焦距相机由于环境条件(大气压力、温度)变化引起的镜头后截距变化较大, 这样, 其它各种提高照相分辨率的努力会因相机后截距变化所引起的分辨率急剧下降而前

功尽弃。此外,由于不同飞行高度不同扫描角照相距离的变化,也会明显导致长焦距相机像面的偏离,因而新型高性能、长焦距航空相机都拥有自动调焦补偿机构。本文从研制一种长焦距斜视实时航空相机出发,系统分析了导致航空相机离焦的原因,重点研究了大气压力、温度的变化对相机像面的影响,以及相机斜视扫描照相时照相距离的变化导致像面的偏离,并给出了计算相机离焦的简易数学方程,研制出一种精密的调焦机构,既能补偿环境变化造成的离焦又能实时补偿斜距变化造成的离焦,相机照相时焦平面能保持稳定,从而保证长焦距相机获得高清晰度的图象。

2 相机离焦主要原因及简要分析^[1-2]

高空照相条件下相机离焦主要是由大气压力和温度的变化以及照相距离的变化造成的。大气压力和温度的变化使空气的折射率发生变化,同时光学系统中透镜的折射率、曲率半径、厚度、透镜之间的间隔、透镜材料内的应力变化和金属框架的伸缩等,都会导致相机后截距的变化;相机扫描照相时,物距是不断变化的,像距也不断变化,导致像点偏离像面。而长焦距航空相机的焦深很小,允许的离焦误差应不超过相机的半倍焦深,其计算公式如下:

$$\delta = \Delta/2 = 2F^2\lambda, \quad (1)$$

式中: δ —半倍焦深; Δ —焦深; λ —工作波长; F —镜头相对孔径倒数。

2.1 大气压力变化对相机离焦的影响

空中照相,随着飞行高度的变化大气压力也随之变化,大气压力变化会引起相机光学焦面的位移。高度增加,大气压力减小,空气密度变小,空气的折射率发生变化,必然会使焦面产生位移。单一薄透镜焦距随大气压力变化的计算公式^[3]为:

$$\Delta f(P; 20^\circ\text{C}) = f \cdot n_g \cdot \frac{(n_a - 1)(P - P_0)}{(n_g - 1)P_0}, \quad (2)$$

式中: f —镜头焦距, n_g —玻璃折射率, P —某飞行高度的大气压力, P_0 —相机在地面装配时的大气压力, n_a —空气折射率。

大气压力减小将造成焦距变短,焦面向镜头方向移动,变化原理图如图 1 所示。

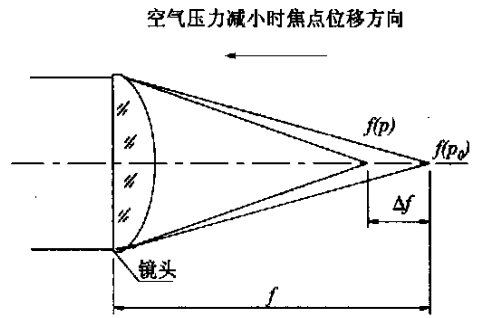


图 1 单一薄透镜焦点随空气压力的位移

Fig. 1 Displacement of focal point for change in atmospheric pressure

2.2 温度变化对相机离焦的影响

温度变化会使相机不同膨胀系数的零件因结构上受到约束而产生热应力和变形,热应变表现为线性膨胀和收缩,玻璃零件的曲率半径、厚度和直径也将随温度的变化而变化,玻璃内部的光学性能也随之改变,以上都会导致相机离焦。温度变化引起单片薄透镜焦点的位移量^[4-5]可以由下式给出:

$$\Delta f = \frac{n_g - \eta_a - \eta_g}{n_g - 1} \cdot \Delta T \cdot f, \quad (3)$$

式中: f —透镜焦距; n_g —玻璃折射率; ΔT —温度变化量; η_a —空气折射率随温度的变化量; η_g —玻璃折射率随温度改变的绝对变化量。温度变化严重影响相机焦面的稳定,图 2 是一焦距为 100 cm 的航空相机温度变化使焦点位置发生变化的曲线,可以看出,环境温度在 $-20 \sim 40^\circ\text{C}$ 变化时, Δf 变化量可达 0.2 mm。由此可见,环境温度变化直接导致相机焦点位置的变化,必须采取切实可行的补偿措施。

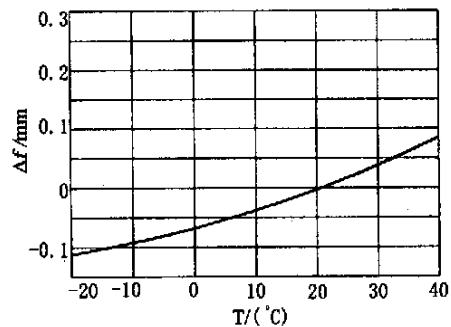


图 2 温度变化对相机焦点位置的影响

Fig. 2 Displacement of focal point for change in temperature

2.3 照相距离的变化对相机离焦的影响

对于焦距一定的物镜来说,物像之间存在如下关系:

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{l'} = \frac{1}{f}, \quad (4)$$

式中: f —光学镜头焦距; l —被照相物体到镜头前主面距离; l' —镜头后主面到像面的距离。

根据成像公式可知:只有当物距为无限远时像距才等于焦距,物距小于无限远时,像距大于焦距,也就是说当照相距离减小时,像面向远离镜头的方向位移。照相时,如果成像焦平面的位置不能随之变化,就造成了离焦,使图象清晰度和分辨率下降。对于斜视航空相机,照相距离为斜距,它由飞行高度和相机的扫描角确定,不同的斜距所对应的像面位置不同,当斜距变化时焦面位置不变,因而造成离焦。这种由于飞行高度和扫描角变化引起像点位置变化是和环境变化无关的,为了便于说明问题,假设飞行高度固定,相机在扫描工作时物距、像距变化关系如图 3 所示。由图 3 及公式(4)存在如下关系:

$$\frac{1}{\Delta f + f} + \frac{1}{H/\sin \theta} = \frac{1}{f}$$

考虑到 $f \gg \Delta f$, 可得

$$\Delta f \approx \frac{f^2}{H} \cdot \sin \theta, \quad (5)$$

式中: H —飞行高度; θ —扫描角

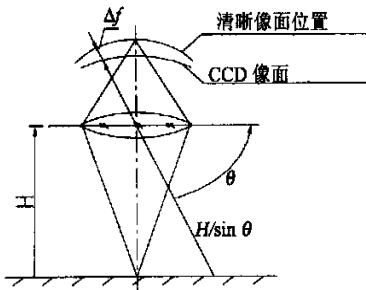


图 3 相机物距、像距变化关系

Fig. 3 Changes in object distance and image distance

由公式(5)可知,在焦距 f 一定的情况下,由斜距变化引起的离焦量 Δf 是高度 H 和扫描角 θ 的函数。对于斜视航空相机,通过在焦面反射镜上安装一个斜距调焦凸轮,把凸轮初始位置相对镜筒在 $\theta = 90^\circ$ 的位置上设置一个偏心量等于 f^2/H 的方法补偿斜距离焦的,其原理如图 4 所示。此时的偏心量: $e = \Delta f_{\max} = \frac{f^2}{H}$, 由几何关系知,在任意扫描角 θ 处,由偏心量产生的焦距补偿量为:

$$\Delta f = e \cdot \sin \theta + \sqrt{r^2 - (e \cdot \cos \theta)^2} - r$$

式中: e —凸轮偏心量; r —像面致凸轮回转轴线的距离; θ —扫描角。因 $\sqrt{r^2 - (e \cdot \cos \theta)^2} - r$ 近似为零,故 $\Delta f = e \cdot \sin \theta = \frac{f^2}{H} \cdot \sin \theta$ 。

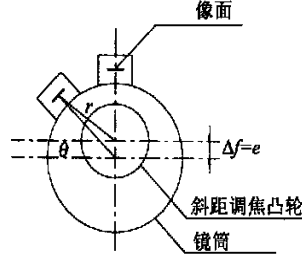


图 4 相机斜距调焦原理

Fig. 4 Focusing principle of oblique camera

相机在执行任务期间,其飞行高度可能是变化的,要求偏心量随之变化,这在结构上实现比较困难,所以只能使偏心量对应某一典型的飞行高度,在这一高度做到完全补偿,在其它飞行高度上,采用此偏心量造成的剩余离焦量由电子学来完成补偿。

3 长焦距相机调焦补偿机构^[6]

根据上述分析,环境条件的变化和照相斜距的变化都会造成相机离焦,由于离焦量的存在,使相机的分辨率下降。因此,从实际出发,研制了一套自动调焦机构,补偿相机的大气压力、环境温度和照相距离变化所造成的离焦误差,从而使航空相机在整个飞行照相过程中保持不离焦。

调焦机构是一个由光、机、电组成的伺服系统,主要由焦面反射镜、两层直线导轨组件、补偿环境调焦的凸轮组件、驱动电机组件、斜距调焦凸轮组件等构成。结构简图如图 5 所示。调焦机构的工作原理是:焦面反射镜及其镜座通过一根轴安装在补偿环境调焦的凸轮上,驱动电机接收电信号后带动凸轮转动,凸轮转动带动焦面镜沿直线导轨做上下位移,大气压力、补偿温度变化造成的离焦。焦面反射镜组件、凸轮组件和直线导轨组件通过支架安装在斜距调焦凸轮和直线导轨上,相机扫描照相时,斜距调焦凸轮固定不动,其余组件随镜筒一同旋转,实时补偿照相斜距变化造成的离焦。

4 相机斜距调焦测试^[7-8]

为检验相机斜距调焦原理成立,在相机装调

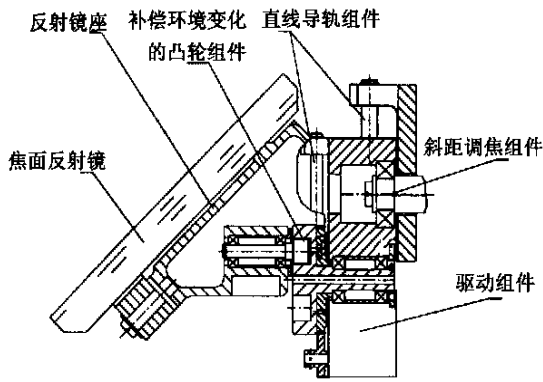


图5 调焦机构结构简图

Fig.5 Structure of focusing system

完成后对其进行了测试,测试装置如图6所示。首先将目标移动到光管标定为无穷远的位置,调整显微镜直到看清楚目标在焦面所成的像,固定好显微镜,此时斜距调焦凸轮轴线相对相机光轴不偏离;移动目标到光管上标定为10 km的位置,也就是航空相机空中照相经常使用的高度,通过显微镜观察目标所成的像,发现像变得模糊,说明像面位置移动了。根据斜距调焦原理分析,斜距调焦凸轮应与相机光轴偏离最大才能得到清晰的像,将斜距调焦凸轮旋转 90° ,使其轴线相对光轴偏离最大,再次通过显微镜观察像,发现焦面上

的像又变得清晰了。重复上述过程,当目标位置改变时,将斜距调焦凸轮调整到与目标距离对应的位置时,均获得清晰的像。由此可见,航空相机的斜距调焦原理正确,能够实时补偿在特定飞行高度上照相斜距的变化导致的离焦。

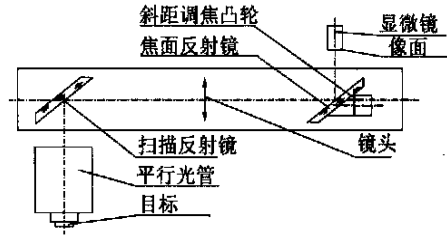


图6 斜距调焦原理测试

Fig.6 Test of oblique focusing principle

5 结束语

在以研制长焦距斜视航空相机为背景的前提下,分析了环境(大气压力、温度)变化及照相距离变化是造成相机离焦的主要原因,提出一种双层导轨、双层凸轮的补偿机构,其原理简单,结构上容易实现,可靠性高,达到了相机自动补偿离焦的目的。实验测试证明了该机构的合理性,可为研制其它航空相机提供相关技术支持。

参考文献:

- [1] 李朝晖. 空间相机相关法实时检测调焦技术研究[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(2):166-169.
LI ZH H. Study of real-time autofocusing technique using correlation method [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2002, 23(2):166-169. (in Chinese)
- [2] 李朝晖. 图像矩心内插法在空间相机实时检焦中的应用[J]. 光学精密工程, 2000, 8(4):335-339.
LI ZH H. Application of centroid sensing method in real-time autofocusing system used in space camera [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8(4):335-339. (in Chinese)
- [3] 王光. KS-146长焦距航空照相机[M]. 北京:中国人民解放军空军司令部情报部, 1989.
WANG G. *KS-146 A long focus aerial camera* [M]. Beijing: The information Ministry of PLA air command, 1989. (in Chinese)
- [4] THOMAS A. *KS-146A long range oblique photography camera system* [M]. Bellingham, Washington, USA: SPIE, 1981, 309:76-85.
- [5] RICHARD R. *Design versatility of the prism panoramic camera: the KS-116 and KA-95 cameras* [M]. Bellingham, Washington, USA: SPIE, 1981, 309:69-75.
- [6] 谢尔巴科夫 я E. 航空照相机的设计与计算[M]. 长春:吉林省科技翻译协会, 1995.
XEBKF я E. *Design and calculation of aerial camera* [M]. Changchun: Translation institute of science and technology in Jilin, 1995. (in Chinese)
- [7] 王之江. 光学技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1994.
WANG ZH J. *Handbook of optics and techniuqe* [M]. Beijing: Defence Industry Press, 1994. (in Chinese)
- [8] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1994.
XU H. *Mechanical handbook* [M]. Beijing: Defence Industry Press, 1994. (in Chinese)

作者简介:惠守文(1974),男,吉林白城人,1997年毕业于吉林大学(原吉林工业大学)机械科学与工程学院,现为中科院长春光学精密机械与物理研究所硕士研究生,主要从事航空相机的研究。