

文章编号: 1672-8785(2012)05-0023-04

环境因素对红外相机成像质量的影响浅析

董 斌 田海英 聂 品

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

中国科学院航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘 要: 针对红外航空相机所处的工作环境进行了研究, 指出相机在高空工作时, 温度和大气压力的变化会使相机的像点产生变化, 导致相机离焦, 从而影响相机的成像质量。总结了关于温度和大气压力对相机成像质量的影响的规律。针对相机工作环境的特点, 分别分析了温度变化和大气压力变化引起相机离焦的规律, 提出了近似计算方法, 并对其进行了试验验证。对于不同种类的相机提出了相应的调焦补偿方式, 对红外相机的研制工作具有一定的参考价值。

关键词: 温度; 大气压力; 调焦; 分辨率

中图分类号: TN214 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.05.003

Effect of Temperature and Atmospheric Pressure Changes on Image Quality of Infrared Camera

DONG Bin, TIAN Hai-ying, NIE Pin

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

Abstract: The environment in which an aerial infrared camera operates is studied and the fact that when the camera operates at high altitude, the variation of temperature and atmospheric pressure can cause the focus of the camera to be changed and hence affect the imaging quality is pointed out. The effect of temperature and atmospheric pressure on the imaging quality of the camera is summarized. According to the features of the operation environment of the camera, the rules of temperature and atmospheric pressure causing the camera to be defocusing are analyzed respectively. An approximate calculation method is proposed and is verified in test. For different cameras, the corresponding convergence compensation methods are given. This work is of a certain reference value to the development of infrared cameras.

Key words: temperature; atmospheric pressure; focus; resolution

0 引言

红外航空相机所处的工作环境非常复杂, 其成像质量除了受光学系统本身制约之外, 还受大气、杂光、温度和振动等诸多因素的影响^[1]。相机在空中成像时, 环境温度和大气压力的变

化会使其像距不断变化和像点偏离像面, 导致相机产生离焦, 从而影响相机的成像质量。

1 原因分析

相机在高空工作时, 环境温度和大气压力会随着照相高度的变化而变化, 使光学系统中

收稿日期: 2012-03-28

作者简介: 董斌(1980-), 男, 吉林长春人, 硕士, 助理研究员, 主要从事航空相机的研制工作。E-mail: dwz_863@126.com

的透镜的折射率、曲率半径,透镜之间的间隔以及透镜材料的内应力等发生改变,引起相机焦距(焦面)变化,从而影响相机的成像质量。一般说来,当离焦量处在焦深范围内时,成像像质不会发生改变。若离焦超出焦深,成像质量则会明显下降,严重时将会导致相机无法成像。

2 温度变化对成像质量的影响

相机在空中工作时,随着照相高度的变化,相机所处的环境温度也会不断变化(大气温度随高度的变化规律见图1)。

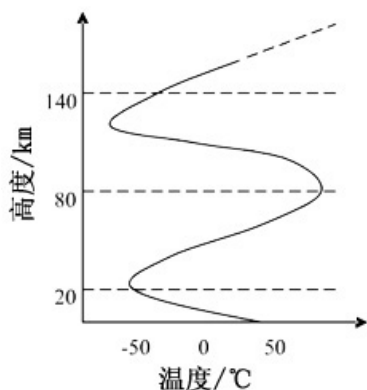


图1 大气温度随高度的变化规律

相机的工作高度一般低于 20 km。在 11 km 以下时,高度每增高 100 m,温度降低 0.65 ℃;在 11 ~ 20 km 范围内,温度保持在 -56.5 ℃。相机在地面的装调温度一般为 20 ℃左右。当相机在高空工作时,随着照相高度的增加,相机所处环境的温度变化可达到 76 ℃,这将会对相机的成像质量造成严重影响。由于相机所处环境的温度不断变化,在相机结构上会形成温度梯度(使镜头中的金属构件产生线性膨胀和收缩,从而产生热应力和变形;而光学玻璃零件的曲率半径、厚度和直径也将改变,使光学玻璃的色散和绝对折射率产生变化)。两者的共同作用会使相机产生离焦,造成影像模糊,从而影响成像质量。

一般说来,由温度变化引起的相机焦距变化量可根据式(1)进行近似计算:

$$\Delta f = \Phi \cdot f \cdot \Delta T \quad (1)$$

式中, Δf 为相机的焦距变化量, Φ 为离焦系数, ΔT 为薄透镜曲面的曲率半径。其中,离焦系数与光学玻璃的折射率、膨胀系数以及环境的大气压力有关。由此可见,相机的温度离焦量随温度的变化呈线性变化。

3 大气压力变化对成像质量的影响

由大气压力变化引起的相机离焦量取决于气压变化导致的空气折射率变化和相机所处环境的大气压力变化所导致的焦距变化两个方面。

空气折射率与光波的波长、空气温度以及大气压强等因素有关,并会随着高度的变化而变化。

$$(n-1) \times 10^{-6} = 77.6(1 + 7.52 \times 10^{-3}/\lambda^2) \times P/T \quad (2)$$

式中, λ 为光波的波长, P 为某飞行高度上的大气压, T 为某飞行高度上的温度。图2所示为空气的折射率变化量 $(n_a - 1)$ 随高度的变化曲线。

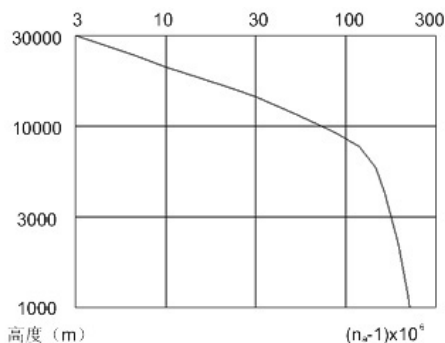


图2 空气的折射率变化量随高度的变化曲线

相机焦距随气压的变化量可根据式(3)进行近似计算:

$$\Delta f_P = n_g \cdot f \cdot \left(\frac{n_a - 1}{n_g - 1} \right) \cdot \frac{P - P_0}{P_0} \quad (3)$$

式中, n_g 为光学玻璃的折射率, n_a 为空气的折射率, f 为相机的焦距, P 为某飞行高度上的大气压, P_0 为地面装配相机时的大气压, Δf_P 为相机焦距的变化量。随着高度的增加,相机所处环境的大气压力降低,焦面位置向靠近相机镜头的位置移动。

若取 $n_g = 1.5$, $n_a - 1 = 2.68 \times 10^{-4}$, $P = 0.5$, $P_0 = 1$, 镜头焦距 $f = 1000 \text{ mm}$, 则由式 (3) 可以得到 $\Delta f_p = 0.402 \text{ mm}$ (远大于相机允许的离焦量)。由此可见, 当环境大气压力的变化量为 0.5 个大气压时, 相机焦距变化量远远超出其所允许的范围。

4 试验验证

将某红外相机 ($f = 1000 \text{ mm}$, $F = 8$, 半焦深为 0.05 mm) 安装在温度-高度试验箱中, 然后控制试验箱中的温度和压力, 以模拟相机不同的工作环境, 并通过相机控制器测量相机在不同环境条件下的离焦量。

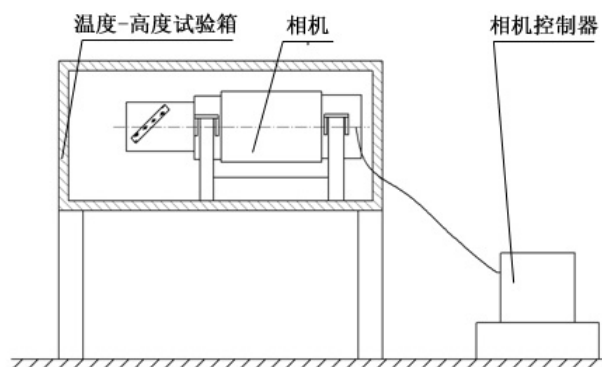


图3 模拟试验的示意图

试验的温度范围为 $-40 \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 温度每次变化 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (稳定 30 min 后, 检测相机的温度离焦量); 模拟的飞行高度由地面增至上方 20 km , 高度每次变化 2 km (稳定 30 min 后, 检测相机的气压离焦量)。

图4所示为相机的温度离焦曲线。

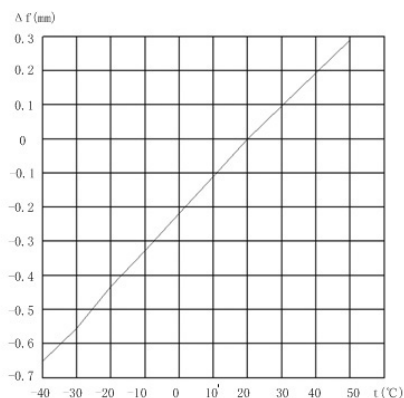


图4 相机的温度离焦曲线

由图4可知, 相机的离焦量 Δf 与温度之间近似呈线性关系: 温度每变化 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Δf 为 0.1 mm , 超过相机的半焦深, 此时相机需要进行调焦补偿。当环境温度在 $-40 \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内变化时, Δf 可达 1 mm 。

图5所示为相机的气压离焦曲线。

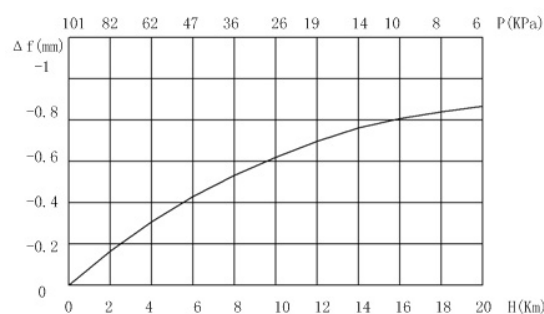


图5 相机的气压离焦曲线

随着飞行高度的增加, 相机所处环境的大气压力下降, 相机的离焦量 Δf 逐渐变大。当相机的工作高度超过 1 km 时, Δf 为 0.1 mm , 超过相机的半焦深, 此时相机需要进行调焦补偿。飞行高度每增加 2 km , 相机的离焦量增量超过 0.1 mm 。

由此可见, 相机在工作时, 温度和大气压力对相机焦距的影响很大, 因此必须对相机进行调焦补偿。

5 调焦补偿方法

由前面的分析可知, 环境温度和大气压力的变化对红外相机成像质量的影响主要表现在它们会使相机的光学焦面位置发生改变。因此, 为了保证相机能够正常成像, 我们必须对相机采取调焦补偿措施。调焦方式主要由光机结构、调焦精度和使用环境等因素决定。对于不同的光学系统, 所采用的调焦方式也不尽相同。常用的调焦方式主要有移动镜组式、焦平面移动式和焦面反射镜移动式几种^[5]。

对于镜头焦距较短的相机, 一般采用移动校正镜组调焦补偿方法或者焦平面移动式调焦补偿方法。图6为移动校正镜组调焦补偿的示意图。在镜头中设置补偿镜组, 通过移动补偿镜组

进行调焦,使焦面始终与像面重合,保证相机清晰成像^[3]。

图 7 为焦平面移动式调焦补偿的示意图。相

机工作时,通过移动镜头或像面调整镜头与像面的位置,使相机焦面处于理想的像面位置,从而保证相机清晰成像。

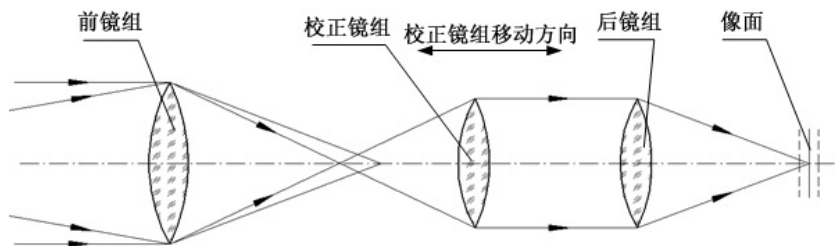


图 6 移动校正镜组调焦补偿的示意图

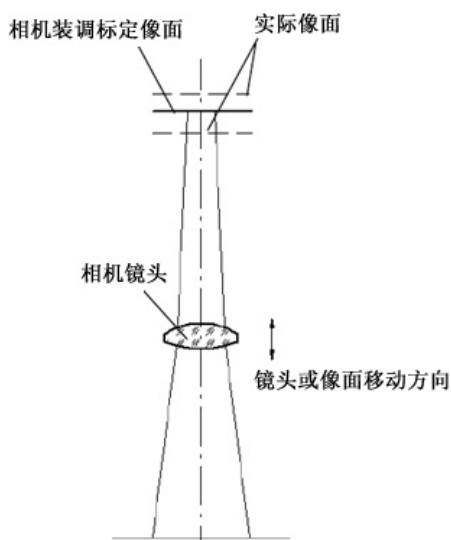


图 7 焦平面移动式调焦补偿的示意图

对于镜头焦距较长的相机,由于相机焦距比较长,镜头体积比较大,大多采用焦面反射镜移动方式进行调焦补偿:在相机镜头与成像介质之间设置平面反射镜,通过调整反射镜位置的方法实现调焦补偿^[4]。图 8 为焦面反射镜移动式调焦补偿的示意图。

相机工作时,在外界环境条件发生改变后,通过移动反射镜和调整相机镜头与像面的距离来实现调焦补偿。

6 结论

大气压力和温度的变化会引起相机的焦面位置发生改变,导致相机光学系统的分辨率下降,从而影响相机的成像质量。为了保证相机的

成像质量,必须采用相应的补偿方式。针对不同类型的相机,可以分别采用移动镜组方式、焦平面移动方式和焦面反射镜移动方式等调整方式,以消除焦面变化对相机成像质量的影响。

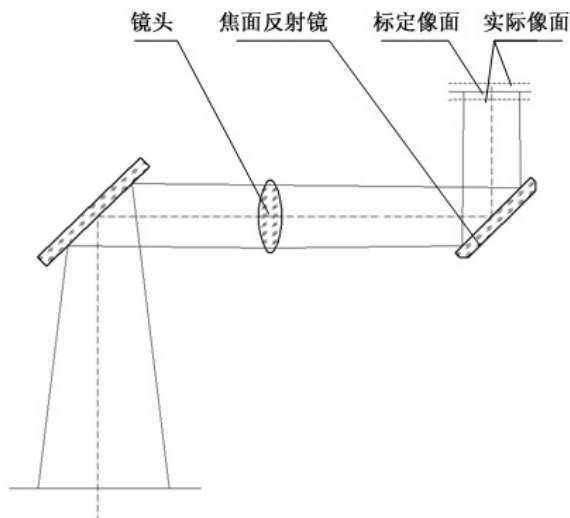


图 8 焦面反射镜移动式调焦补偿的示意图

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, 26(8): 10-16.
- [2] 吴瑞贤,章立源. 热学研究[M]. 成都: 四川大学出版社, 1987.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 张新洁,颜昌翔,谢涛. 星载光学遥感器调焦机构的设计[J]. 光学精密工程, 2009, 11(17): 2757-2761.