

《航空相机技术》专题文章导读

丁亚林

中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所

航空遥感是获取地面信息的重要手段,航空相机作为航空遥感器的主要载荷形式之一,被世界各国广泛用于资源普查、地形测绘、军事侦察等许多领域。航空相机按成像介质可分为胶片型和 CCD 传输型两类;按成像方式则可分为推扫式、画幅式、全景式(摆扫式)等。

世界发达国家(如美国、英国等)从 20 世纪初开始研制以胶片为信息载体的航空相机。早期的相机焦距较短、载片量小、画幅窄、地面分辨力低;随着科学技术的发展及其对航空相机需求的牵引,20 世纪 70 年代,研制出了长焦距、大载片量、宽画幅、地面分辨力高的航空相机。至 20 世纪 80 年代,国际先进国家胶片型相机已经发展到相当高的水平。随着技术发展和 CCD 探测器技术的日益成熟,从 20 世纪 80 年代开始,发达国家开始研发 CCD 实时传输型相机,至今已发展到很高的水平。

胶片型相机照相分辨率高,实时性差;CCD 传输型相机照相分辨率较胶片型低,但实时性强。因此,目前两种介质形式的相机处于共存的态势。

影响相机成像质量因素较多,主要有:设计、制造误差;装调、检测误差;载机运动(前向移动、姿态改变、照相距离改变、冲击振动等)引起的误差,以及相机所处的环境条件(温度、压力)引起的误差,以及相机成像过程中的运动(扫描、输片、调焦、补偿运动等)引起的误差。保证相机的成像质量需采用多种相关措施。

本专栏的五篇文章属于航空相机技术的内容,从不同的角度给出了保证相机成像质量所采取技术与方法,包括相机倾斜照相时像移的计算与补偿策略,TDI CCD 积分方向作图方法,凝视模式下画幅相机像移补偿计算与补偿方法,胶片型相机负压展平机构设计,航空图像压缩方法。

《胶片型航空画幅遥感相机中负压展平机构的设计》一文设计了一个较完善的胶片展平机构,采用电磁阀导通和截止来实现真空泵对片台空腔与外界压差的控制,从而实现胶片的吸附和释放,该结构能在瞬间完成胶片吸附,并在 420 ms 内保持吸附状态,完成成像,实践证明该机构展平精度满足要求,且工作可靠。

《斜视状态下航空遥感器像移的计算与补偿》一文运用光线矢量与光轴旋转变换相结合的方法,建立光线矢量与光轴单位矢量间的关系,得到航空遥感器在斜视状态下的像移模型,以实测遥感器的工作参数为条件,分析和计算遥感器的前向像移与姿态像移的综合像移,依据对像移的分析给出像移补偿的方法。

《用作图法判定航空相机 TDI CCD 积分方向》一文介绍了一种基于高斯成像系统原理的作图法,可以清楚、简便、快速地确定 TDI CCD 积分方向与传感器成像运动的关系,并以推扫相机和摆扫相机为例,介绍了这种作图法,经过作图分析和论证可知,TDI CCD 的积分方向与地物在 TDI CCD 级数的像移方向是一致的。

《凝视模式下的画幅相机两轴像移补偿》一文通过提取斜视画幅相机几何模型,选择载机相关坐标系,建立了计算目标航迹速度到像面坐标系下像移速度的数学模型,得到补偿坐标系下的运动矢量补偿角速度,并提出通过采用扫描镜和像面旋转机构相结合的方案实现凝视工作模式下的画幅相机像移补偿。

《基于 EBCOT 的平衡多小波航空图像压缩编码》一文提出多小波“平衡”算法,使得多小波基与单小波基有相同的性质,并充分利用平衡多小波分解系数的结构,采用 EBCOT 图像编码算法,对平衡多小波系数进行压缩处理,得到一种比较有效的航空图像压缩方法,当压缩比为 32 时,峰值信号比(PSNR)为 31.342 7。

文章编号 1004-924X(2007)11-1774-05

胶片型航空画幅遥感相机中负压展平机构的设计

张继超^{1,2},丁亚林¹,张洪文¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

摘要:航拍成像胶片的展平精度是影响相机分辨率的主要因素。长焦距、大画幅、高分辨率的胶片式画幅遥感相机要求

收稿日期:2007-07-22;修订日期:2007-10-18.

基金项目:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所创新工程资助项目(No. ZJ99130B)

在给定的摄影周期内快速、精密地将胶片展平在片台上。为实现画幅尺寸为 $114\text{ mm} \times 114\text{ mm}$ 的胶片展平精度达到 0.034 mm , 吸附时间为 420 ms , 提出了一个较完善的胶片展平机构, 介绍了利用负压将胶片展平在焦平面板上的方法。阐述了该展平机构的组成和工作原理, 给出了片台的结构形式, 并通过分析计算得出关键器件的选择依据。提供了一种利用光学技术来定性检测展平精度的方法。经成像试验验证, 该方法可满足使用要求。

关键词: 航空相机; 胶片; 展平精度; 分辨率; 片台; 负压

中图分类号: V248.3 **文献标识码:** A

Design for negative pressure flatten system in aerial frame film camera

ZHANG Ji-chao^{1,2}, DING Ya-lin¹, ZHANG Hong-wen¹

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

Abstract: Flatten precision is one of the important factors effecting on camera's resolution. It is required that the film in a aerial camera with long focus, wide frame and high resolution should be flattened on film board quickly and precisely during exposure time. Aiming at the film size of $114\text{ mm} \times 114\text{ mm}$, flatten precision of 0.034 mm and absorption time of 420 ms , this paper introduces a perfect film flatten system, and provides a method for flattening the film on the film board using negative pressure. The constitution and operating principle of this system are introduced, the structural style of film board is clarified and the choice basis of key devices are obtained by analyzing and computing. The results show that the proposed method is a excellent optical method used to analyze flatten precision, which can meet the demand for aerial frame film camera.

Key words: aerial camera; film; flatten precision; resolution; film board; negative pressure

1 引言

航空遥感相机广泛应用于资源普查、地形测绘等许多领域, 而且所获得的信息及时准确, 对于促进国民经济和国防建设有着重要的作用。胶片式相机虽然有胶片容量限制的缺点, 但也有画幅大、分辨率高的优势, 因此在相当长的时间内仍有其存在和发展的空间^[1-2]。航空相机镜头的焦深普遍小, 本文研究的相机镜头焦深为 0.068 mm , 大画幅胶片在曝光瞬间对胶片的平整度要求高, 在半焦深范围内, 约为 0.034 mm 。本文针对画幅尺寸为 $114\text{ mm} \times 114\text{ mm}$ 的胶片, 采用负压展平方式, 实现了胶片在曝光瞬间的平整度要求, 胶片展平精度为 0.034 mm 。大画幅胶片负压展平是获得高分辨率影像的主要技术之一。

2 真空展平系统的组成

胶片的真空展平系统主要由片台、真空泵、电磁阀、压力传感器及通气管路等组成。片台的展平面要求有较高的平面度, 以利于胶片展平。应用于航空相机的真空泵, 要求质量小, 能耗小。为了防止污染, 泵的润滑不适合采用油、脂润滑, 而是需要用自润滑材料。另外, 真空泵的压力应为可调解的, 阀门设计成调压阀。电磁阀用于气路的开关控制, 以实现胶片的吸、放。由于电磁阀的响应时间占摄影周期, 因此不仅要求电磁阀通气量大而且还要响应快、工作可靠。压力传感器用于感测监测系统工作状态时的真空度, 并可实现闭环控制。真空展平系统的原理图如图 1。

真空展平机构一般应该满足以下要求:

(1) 为保持像面稳定, 要求吸附和释放准确、均匀和迅速;

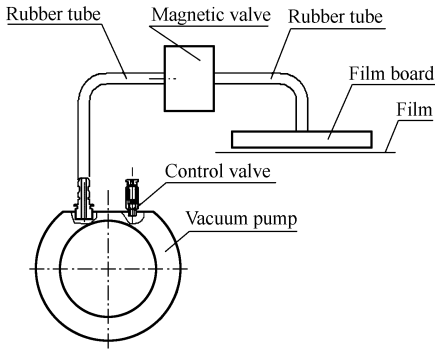


图 1 真空展平系统的原理

Fig. 1 Principle of vacuum flatter system

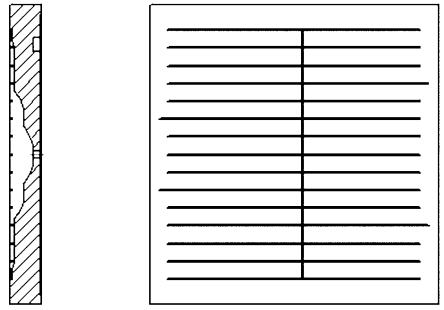


图 2 片台的原理图

Fig. 2 Schematic diagram of film board

(2) 为保证成像质量,要求展平面有足够的面形精度;

(3) 真空展平要有足够的稳定性,有足够的压差。

3 真空展平机构的工作原理

真空泵是胶片展平的真空源,相机在工作状态时,真空泵开始工作,借助真空导管,真空泵将胶片与焦面展平板间的空气导出,形成负压,使胶片展平在焦面展平板上。真空电磁阀控制真空泵的工作情况,当真空电磁阀控制处于开路状态时,真空泵与外界大气导通,真空泵工作,但是并不吸除片台与胶片间的空气,不形成负压,所以没有展平效果;当真空电磁阀处于闭合状态时,真空泵与片台内腔导通,真空泵起作用,形成负压,将胶片吸附于焦面板上,达到展平目的。

3.1 片台

片台的展平面要求有较高的平面度,以利于胶片展平。片台的气路结构一般有小孔式和窄槽式两种^[3],本文采用窄槽式设计。窄槽式设计由中间竖向的一条主气道和横向的若干条气道组成。吸附时主气道先吸附,然后从中心向两侧逐渐吸附,这样有利于胶片展平。若是同时吸附,胶片容易出现褶皱。片台结构的原理图如图 2。

3.2 真空泵及电磁阀的选择

设被抽容积为 V ,环境气压为 p_0 ,片台内腔气压为 p ,展平压差为 Δp ,展平时间为 t ,所需抽

气速率为 S ,气体向被抽容积 V 的流入速度为 Q ,则气体流速方程为^[4-6]:

$$V \frac{dp}{dt} = -pS + pQ, \quad (1)$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{Q-S}{V} dt, \quad (2)$$

积分得:

$$\ln p - \ln p_0 = \frac{Q-S}{V} t, \quad (3)$$

$$S = \frac{V}{t} \ln \frac{p_0}{p} + Q. \quad (4)$$

胶片展平时气体向被抽容积的泄露速度很复杂,不易求解,若要准确求得 S ,则需要进行计算机模拟。但考虑到展平时间很短,为 420 ms,所以这个泄露量也不大,可以把 Q 忽略,此时的抽气速度为:

$$S = \frac{V}{t} \ln \frac{p_0}{p}. \quad (5)$$

知道了系统所需要的抽速,就可以选择合适的真空泵。胶片展平时,如果展平的负压过大会导致胶片在展平板上气道附近的褶皱,使气道附近的胶片离开焦深,气道处的成像发虚;当负压过小时会导致吸附不牢,使成像清晰程度不均匀。相机镜头的焦深为 0.068 mm,胶片的平整度误差不能大于焦深的一半,所以展平精度应该在 0.034 mm 内。经过试验筛选,选用参数如下的真空泵:工作电压为直流 24 V,额定电流为 2 A,额定功率为 20 W,真空泵的最大压强为 15 kPa。

真空泵负压大小的调节通过调节阀来实现,结构设计如图 3 所示。

通过旋转螺母的配合长度,调节弹簧的受力,弹簧的力传给钢球,利用钢球的受力变化来控制真空泵的抽气速率与受力输出。

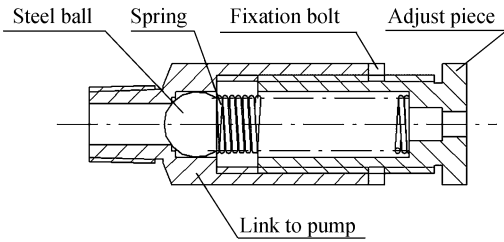


图 3 调节阀示意图

Fig. 3 Sketch of control valve

真空电磁阀是保证胶片与片台间形成负压和解除负压的关键器件,每次快门曝光结束后,系统停止向真空电磁线圈提供直流电,真空电磁阀使片台与外界导通,排除片台和胶片间的负压,进行输片。输片结束后,系统向真空电磁线圈提供直流电,真空电磁阀使片台的真空通道重新接通,片台和胶片间形成负压,使胶片展平在片台上。真空电磁阀的工作原理如图 4。

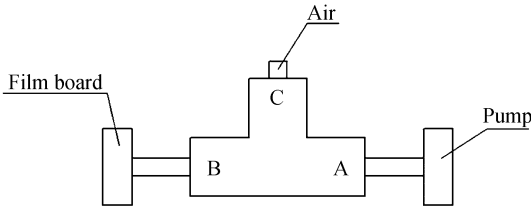


图 4 真空电磁阀的工作原理

Fig. 4 Principle of vacuum magnetic valve

电磁阀通电,AB 接通,电磁阀断电,BC 接通,AC 永远不通。当相机处于准备工作状态时,电磁阀通电,真空泵与片台腔体导通,真空泵将片台腔体内空气吸空,胶片在负压的作用下,实现展平。当一幅照片曝光结束后,电磁阀断电,BC 导通,片台腔体与大气连接,去除负压,使胶片释放,以便输片。

压力传感器用于感测快门曝光过程中片台内是否有负压存在。当有负压存在时,传感器内的微动开关断开,输出低电平,表示负压存在无故障。当无负压存在时,传感器内的微动开关接通,输出高电平,表示无负压,相机控制面板上的故障显示灯亮。

4 真空展平精度测试

胶片展平的精度,主要取决于展平片台的平

面度、胶片厚度误差、空间环境洁净度和展平残差。由于空气尘埃粒子的大小恰处于展平精度的量级,所以环境对展平精度的影响应予以关注。

考虑胶片展平的精度应该在 0.034 mm 内,胶片展平精度测试在洁净间恒温室中进行,胶片吸附平面度测量采用光反射法测量。将胶片安装好,临时将真空泵外置,实现吸附,导通跑片,并在某幅胶片处停止跑片,保持吸附,用光反射法测量吸附后胶片平面的平面度。

光反射法原理见图 5。根据胶片的乳剂层具有很强的光反射能力的特性,对于大面积的定性观察,可以通过研究平行光入射后,未展平胶片表面的反射光在接收屏上形成的影像,了解哪点未展平,未展平程度如何。

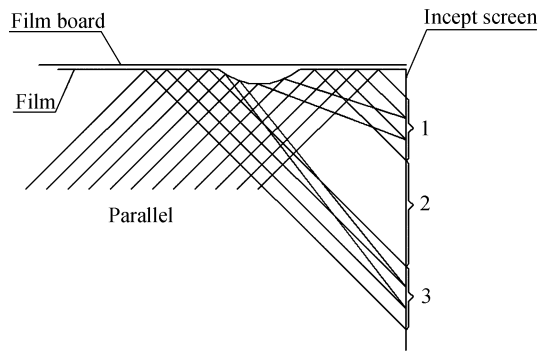


图 5 光反射法原理图

Fig. 5 Principle of optical mirror method

按镜面反射,接受屏 1、3 区域由于 2 区域反射光的叠加,光能增强,出现了一个亮斑中有一个暗斑点的现象。暗斑点大小不同反映了胶片上凸起大小的不同,以此可以定性地判别胶片的展平情况^[7]。

凸起的形成原因是气体没有及时被排除,周围的胶片就吸附完毕,凸起范围最大为片台上面吸气槽之间的宽度,本设计片台吸气槽之间的宽度为 7 mm。由于张力的作用,凸起部分的外沿近似圆形。根据几何光学中光的直线传播原理,暗斑的范围基本上和凸起部分大小是一致的。光斑越小,说明凸起范围越小;反之,光斑越大,说明凸起范围越大。凸起越高,亮暗的界限越清楚;凸起越小,亮暗的界限越模糊。展平时亮度应该为均匀的。

按照此种方案对胶片进行展平,展平后再进行成像试验,照片的均匀性很好。说明胶片的展

平情况良好。

5 结 论

本文所介绍的胶片负压展平机构,采用电磁阀的导通和截止来实现真空泵对片台空腔与外界

压差的控制,从而实现胶片的吸附和释放。该结构能在瞬间完成吸附,并在 420 ms 内保持吸附状态,完成成像,并且工作可靠。通过成像试验验证,该机构的展平精度能满足使用要求,从而说明这种结构是合理的。

参考文献:

- [1] 陶家生,王家骥.画幅相机胶片负压展平的数值模拟[J].仪器仪表学报,2002,23(2):115-120.
TAO J SH, WANG J Q. Numerical modeling of film flattening system in space cameras[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2002, 23(2): 115-120. (in Chinese)
- [2] 陶家生.空间摄影相机的胶片负压展平系统[J].光学精密工程,2000,8(2):150-153.
TAO J SH. Film flattening system in space cameras[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000, 8(2): 150-153. (in Chinese)
- [3] 陶家生.遥感成像中的胶片展平[J].光学精密工程,1998,6(2):71-76.
TAO J SH. Film flattening in aerial camera[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1998, 6(2): 71-76. (in Chinese)
- [4] 范洁川.近代流动显示技术[M].北京:国防工业出版社,2001.
FAN J CH. *Modern Flow Visualization*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [5] [英]L. M. 米尔恩-汤姆森.理论流体动力学[M].北京:机械工业出版社,1984.
L. M., THOMSON M. *Theoretical Hydrodynamics*[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1984. (in Chinese)
- [6] 景思睿,张鸣远.流体力学[M].西安:西安交通大学出版社,2001.
JING S R, ZHANG M Y. *Fluidic Mechanics*[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001. (in Chinese)
- [7] 肖淑琴.航天相机胶片展平精度测试[J].航天返回与遥感,1993,14(1):39-42.
XIAO SH Q. Detect precision of film flattening in space camera[J]. *Spacecraft Recovery and Remote Sensing*, 1993, 14(1): 39-42. (in Chinese)

作者简介:张继超(1981—),男,辽宁清原人,长春光学精密机械与物理研究所在职硕士研究生,主要从事航空相机结构设计工作。E-mail: zhangjichao@sohu.com