

空间摄影相机的胶片负压展平系统

陶家生

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要:在大画幅、高分辨力的相机中,胶片展平是其关键技术之一。为了获得高的展平精度和像质,不仅要准确地实现胶片的吸附和释放,还要进行减震和降噪设计。本文介绍了一个较完善的胶片负压展平系统。提出了一种胶片负压展平精度的计算方法。分析了真空泵的极限真空度对胶片展平速度的影响。给出了胶片负压展平系统减振、降噪和排气净化的方法。

关键词:胶片展平; 减振; 降噪; 防污染

中图分类号: V445.8 **文献标识码:** A

1 引言

胶片式相机虽然有胶片容量有限的缺点,但也有画幅大、分辨力高的优势,因此在相当长的一段时期内仍有其存在和发展的空间。对于应用于空间相机上的胶片负压展平系统,由于空间机械的特点,要求系统体积小、重量轻、可靠性高。由于相机是高洁净的光学系统,为防止可挥发性物质对光学系统的污染,胶片负压展平系统的运动环节需要采用固体润滑和自润滑材料。

为实现系统体积小、重量轻、可靠性高的目标,胶片负压展平系统的真空泵可采用直联式叶片泵,其叶片采用有自润滑性能的石墨合金。

这种直联泵的转速高,因此气动噪声、机械噪声和振动较大。而相机是精密的光机系统,因此应对其进行减振降噪。

真空泵在工作时其叶片受摩擦会有石墨粉随气体排出。它不仅会对相机光学系统的镜片产生污染,由于石墨是电的良导体,还易引起相机上的电器污染,因此应采取相应的净化措施。

2 胶片负压展平系统主要参数的确定

2.1 胶片展平精度的确定

胶片展平精度 δ 决定于片台平面度 δ_1 , 胶片厚度误差 δ_2 , 展平残差 δ_3 , 空气尘埃粒子直径 d 四

项因素。

其中 δ_1 取决于机械加工的精度。

胶片厚度误差 δ_2 一般为 $4\mu\text{m}$ 。

展平残差 δ_3 是由于采用负压展平时,胶片受展平压差的作用,向展平的通气槽或通气孔内挠曲形成的。如展平压差为 Δp , 气槽宽度为 l , 胶片厚度为 H , 胶片的弹性模量为 E , 展平残差为

$$\delta_3 = \frac{30\Delta p l^4}{19EH^3}$$

气槽宽度 l 的选取需根据导气槽在片台上的分布,展平压差的大小,展平速度的要求以及 δ_3 的大小来确定。

δ_3 一般较小,在零点几微米。

空气尘埃粒子直径所导致的展平误差具有统计意义。如在空气洁净度为1万级时,每立方英尺的体积内 $8\mu\text{m}$ 以上的空气尘埃粒子数为10个,若胶片与展平片台间的空气体积为 3.56ml ,则其含有 $8\mu\text{m}$ 以上的空气尘埃粒子数为 0.00125 个,由于空气内的尘埃粒子不一定都为硬质点,因此可以说由于空气尘埃粒子导致展平超差的可能性不大于千分之一。

胶片展平的最终精度为

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + d^2}$$

2.2 真空泵极限真空度对胶片展平速度的影响

胶片展平的速度首先取决于系统的抽气速度,但仅有大的抽气速度还不够,还必须有足够的真空度抽吸能力。

对窄槽式展平片台的胶片展平过程所作的计算机仿真有助于对此问题的解释。因相机的画幅为正方形,吸气口位于画幅的中心,相应地展平片台的通气结构也具有对称性,为简化计算仅取画幅的四分之一作为求解域进行数值模拟,模拟的结果如图1。图1中的各幅图依次描述的是展平的起始过程、中间过程及展平的中间状态。每幅图的左下角为吸气口位置,图中的黑点为胶片被展平的区域,图中的重黑点的位置为展平片台上吸气槽的位置。

在模拟过程中,很快就完成了图1、图2的状态,而从状态3到状态4却花费了大部分的展平时间。出现这种现象是因为在吸气口周围的胶片被吸附展平后,一方面展平片台上的吸气槽的节流作用增强,使后续胶片的展平速度降低。另一方面,经实验证实,在胶片展平所需的粗真空范围

内,叶片式真空泵的抽速基本随所抽得的真空度的提高而线性下降。随着吸气口附近胶片的展平面积的增加,吸气槽的节流作用增强,产生了较高的真空度,这时泵的抽速也在线性下降,从状态3到状态4花费了大部分的展平时间。

所以,真空泵的设计不仅要注意其抽速的设计,其所能抽得的极限真度也是重要指标。

3 胶片负压展平系统的降噪设计

系统的噪声源为真空泵,其主要噪声为气动噪声。噪声控制应从两方面入手。一是对真空泵的腔体利用计算机进行降噪优化设计,从根本上减小噪声。二是采用消音器进行消音。由于真空泵的转速变动范围不大,所以可以采用共振型消音器。

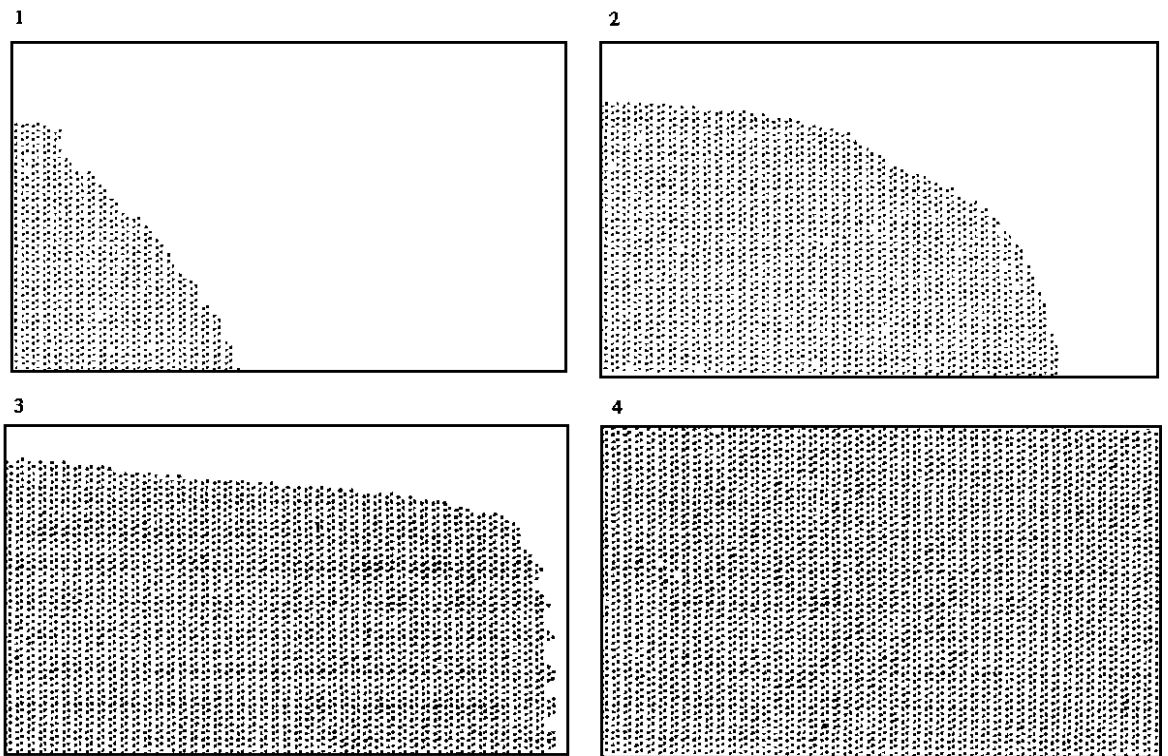


Fig. 1 Computer simulation result of film flattening procedure

通过编制程序进行计算机优化,运行结果如下:

音室体积 26.9cm^3 , 中心频率 240Hz 。消音量见表 1。

如果取通气孔直径 $\varnothing 3.5\text{mm}$, 长度 15mm , 消

Table 1 The attenuation level

upper frequency(Hz)	290	300	310	320	330	340
elimination noisiness(dB)	24	23	22	21	20	19
lower frequency(Hz)	190	180	170	160	150	140
elimination noisiness(dB)	22	20	19	18	16	15

从表中数据可以看出,经消音器降噪后噪声平均下降 20dB 。

实验测得的噪声指标如表 2。

Table 2 The noise level

voltage(V)	13	15	17	19	21	23	25	27
noise(dB)	41	43	45	48	52	55	57	57

降噪设计应同时兼顾系统的体积和抽速损失。通过采用如上的泵腔降噪优化设计和采用消音器,系统的抽速损失约 20% 。要想减小抽速损失则需增大消音器的体积,同时也增加了重量。所以设计中必须同时兼顾体积、重量和抽速损失。

经减振后传到相机上的激振力被削减 60% , 使之对像质的影响可以忽略。

4 胶片负压展平系统的减振设计

5 排气净化及胶片负压展平系统的体化设计

由于真空泵采用的是直联式叶片泵,其转速在 $3000\text{r}/\text{min}$ 左右,因此气动噪声、机械噪声和振动较大。真空泵若直接联接于相机上则振动较大,将引起像质下降,所以需采取减振措施。减振器采用单自由度弹性联接的主动隔振减振器。

由于胶片负压展平系统组成部分较多,为减小系统的体积和重量,可以对真空泵、减振器、消音器及空气过滤器进行一体化设计。可利用消音器的消音室对排出的气体进行吸附沉积。将空气过滤器与消音器串联,用多孔质材料作过滤介质,对排出的气体进行过滤净化,同时也起进一步的消音降噪作用。总之,通过合理的结构设计最终可将真空泵、减振器、消音器及空气过滤器设计在一个共同的基体上,在减小了体积、重量的同时也提高了可靠性。

减振器的刚度 $k = 1.767 \times 10^3 \text{N}/\text{m}$ 。

减振器的质量 $m = 60.9 \times 10^{-3} \text{kg}$ 。

减振器的固有频率

$$\omega = \frac{k}{m} = \frac{1.767 \times 10^3}{60.9 \times 10^{-3}} = 170 \text{rad}/\text{s}$$

激振频率为 $\omega = 2\pi n = 2 \times 3.14 \times 3000/60 =$

$314.16 \text{rad}/\text{s}$

频率比

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{314.16}{170} = 1.85$$

绝对传递率为

$$\eta_h = \frac{F_T}{F_0} = \frac{1}{\lambda^2 - 1} = \frac{1}{1.85^2 - 1} = 0.4$$

F_T 传到相机上的力; F_0 激振力

6 结束语

胶片负压展平系统涉及到空气动力学、理论力学、材料力学、真空技术、空气净化技术、自润滑、振动、消音、非金属材料等诸多领域。它的测试涉及到瞬态干涉测量技术、流体测量技术、噪声测量技术等,因此也应采取如计算机仿真、优化等方法以保证系统参数确定的准确、合理、安全、可靠。

参考文献:

- [1] Clark J M T. Film Flatness in Survey Cameras[J]. Photogrammetric Engineering, 1972, 38(3) : 277- 284.
- [2] Meier Dr H K. Film Flattening in Aerial Cameras[J]. Photogrammetric Engineering. 1972, 38(3) : 367- 372.
- [3] 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.

Film flattening system in space cameras

TAO Jia-Sheng

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China*)

Abstract: In the large-size photograph and high-resolution film camera, film flattening is one of the most important technologies to the camera. In order to get high film flattening precision and high graphic quality, not only film flattening and releasing should be done well, but also vibration absorption and noise reduction should be designed well. In the paper a more perfect film flattening system is introduced. A calculation method about film flattening accuracy is presented. The effect of limiting vacuum of vacuum pump on the speed of film flattening is analyzed. The methods of vibration absorption, noise reduction and ventilation purification are described.

Key words: film flattening, vibration absorption; noise reduction; prevent pollution

作者简介: 陶家生(1964-), 男, 吉林省公主岭市人, 硕士。1988年毕业于吉林工业大学机械工程系, 现从事光学精密机械及气体润滑领域的研究, 目前, 从事国家重点项目的研究工作, 已有多篇论文在不同刊物上发表。