

遥感成像中的胶片展平

陶家生

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

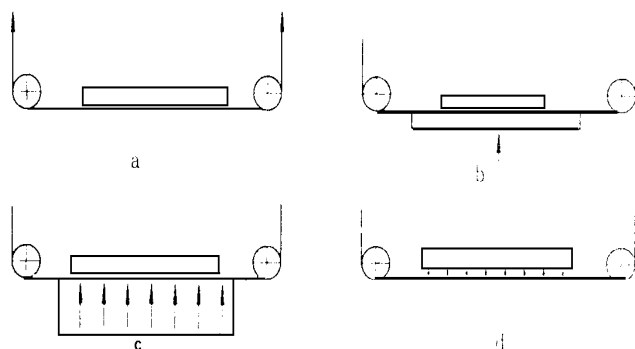
摘要 比较了几种胶片展平的方法,提出了在运用真空展平方法设计中应注意的振动和噪声问题,并给出了受力复杂的真空泵叶片的设计计算方法。

关键词 成像遥感 胶片展平 强度 寿命

1 引言

遥感成像广泛用于大气监测、资源普查、环境保护等许多领域,而且所获信息准确及时。对促进国民经济发展和国防建设有着重要作用,越来越受到重视。在利用摄影技术,用胶片记录信息进行遥感成像时,由于飞机、卫星等运载平台的运动参数及每个画幅的幅面是一定的,因此对应于每个画幅的摄影周期也是确定的,一般较短。在顾及收片、放片等动作,这样胶片展平和释放的时间也要求很短。并且胶片必须严格位于焦平面位置,因此它的位置度和展平精度都要求很高。这就要求胶片的展平不仅要快速而且要准确。

胶片展平一般有如下几种方法:通过适当拉紧胶片将其展平于片台上,如图1(a),也可以用压片板将胶片压平于片台上如图1(b),采用加压的方法使之展平如图1(c),利用真空吸附将其吸附于片台上而展平如图1(d)。在这些方法中,真空展平效果最好,但系统较为复杂。



收稿日期: 1997-08-11

Fig. 1 Style of film flattening

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、真空传感器、及通气管路等组成。

片台的展平面需要有较高的平面度,以利胶片展平,在利用真空展平时,片台的气路结构一般有小孔式和窄槽式两种。小孔式即在片台上开有许多小孔,适用于较大画幅的情况。

真空泵,在应用于航空尤其是航天场合时需要系统重量小、能耗小。为防止胶片被污染,因此真空泵不宜采用油、脂润滑。为减小泵的重量,宜采用直联泵。泵的叶片需采用自润滑材料。

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用摄影周期,因此要求电磁阀不仅通气量大而且还要求响应快,工作可靠。对于大画幅情况可以采用多个电磁阀组合工作。

传感器用于监测系统的工作,并可实现闭环控制。当展平系统产生的压差过大时,会使胶片释放时间延长,以至达不到相机所要求的展平和释放工作时间。通过闭环控制可以较好地解决这一问题。当然也可考虑采用限压阀。

3 系统中主要参数的求解

为了在指定的时间内完成胶片展平和释放必须确定真空泵所需的抽速及所能达到的真空度。

3.1 系统所需的抽气速度

设被抽容积 V , 环境气压 p_0 , 展平压差 Δp , 展平时间 t , 所需抽速 S , 气体向被抽容积 V 的流入速度 Q , 则抽气方程为:

$$V \frac{dp}{dt} = - pS + pQ$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{Q - S}{V} dt$$

积分得:

$$\ln p - \ln p_0 = \frac{Q - S}{V} t$$

$$S = \frac{V}{t} \ln \frac{p_0}{p} + Q$$

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 , 则需进行计算机模拟。但考虑到展平时间很短,一般只有零点几秒,所以这个泄露量也不大,当把 Q 忽略时,则抽气速度为

$$S = \frac{V}{t} \ln \frac{p_0}{p} \quad (1)$$

知道了系统所需的抽速,使可进行真空泵设计。

3.2 真空泵设计

参考液压泵的排量公式

$$Se = 2\pi nDeb\lambda \quad (2)$$

n —— 泵的转速; D —— 定子内径; e —— 偏心距; b —— 叶片宽度; λ —— 泵效率。

由于气体粘度小于液体且弹性大于液体,所以 λ 的数值应小于液压泵,取 $\lambda = 0.4$ 。

考虑系统气路的长短及气路的复杂程度和公式(1)式对 Q 的忽略,应使 S_e 增大25%以上。

在确定了真空泵的几何参数之后需对其叶片进行受力分析。这是因为叶片在随转子以每分钟几千转的转速高速转动外,还在片槽内与转子作相对平动,所以叶片上的受力比较复杂。如图(2)所示,叶片上任意一点的加速度为

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_e + \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_k$$

\mathbf{a}_e ——牵连加速度; \mathbf{a}_r ——相对加速度;

\mathbf{a}_k ——科氏加速度;

其上任一点所受的动态外力为

$$d\mathbf{f} = \mathbf{a}\rho dx = \mathbf{a}_e\rho dx + \mathbf{a}_r\rho dx + \mathbf{a}_k\rho dx$$

ρ ——叶片在长度方向上的质量分布

这个分布力的合力为

$$\mathbf{F} = \int_0^{l_0} \mathbf{a}_e\rho dx + \int_0^{l_0} \mathbf{a}_r\rho dx + \int_0^{l_0} \mathbf{a}_k\rho dx$$

$$= \mathbf{f}_e + \mathbf{f}_r + \mathbf{f}_k$$

a) \mathbf{f}_e 的求解

如图(2),首先将叶片上各点由 \mathbf{a}_e 引起的分布力向 x 轴、 y 轴分解,然后积分。

设 $O_1A = l$, O_1A 与叶片夹角 γ , O_1A 与 O_2A 夹角 φ , ζ 为叶片的位置角度,定子半径为 R , O_1 与叶片上各点距离为 r 。

$$r = \sqrt{x^2 + l^2 - 2xl\cos\gamma}$$

设 r 与叶片所夹锐角为 η 则:

$$\sin\eta = \frac{l\sin\gamma}{r}$$

\mathbf{f}_e 在叶片垂直方向的分力为

$$f_v = \int_0^{l_0} \omega^2 \rho r \cdot \sin\eta dx = \int_0^{l_0} \omega^2 \rho r \cdot \frac{l\sin\gamma}{r} dx = ll_0\omega^2\rho\sin\gamma$$

\mathbf{f}_e 与叶片平行方向的分力为

$$f_p = \int_0^{l_0} \omega^2 \rho r \cdot \cos\eta dx = \int_0^{l_0} \omega^2 \rho r \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{l\sin\gamma}{r}\right)^2} dx$$

$$= \int_0^{l_0} \omega^2 \rho \sqrt{x^2 + l^2(1 - \sin^2\gamma) - 2xl\cos\gamma} dx$$

$$= \omega^2 \rho (l_0^2/2 - ll_0\cos\gamma)$$

这个力的合力大小为

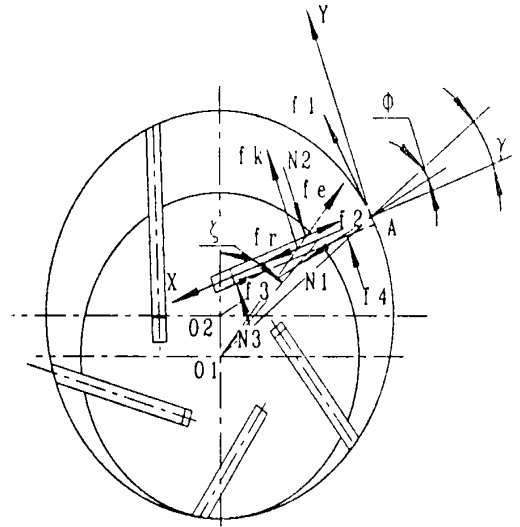


Fig. 2 Force on the vane

$$\begin{aligned}
 f_e &= \overline{f_v^2 + f_p^2} \\
 &= \overline{[c\omega^2\rho(l_0^2/2 - ll_0\cos\mathcal{Y})]^2 + (ll_0\omega^2\rho\sin\mathcal{Y})^2} \\
 &= \omega^2\rho l_0 \overline{l_0^2/4 - ll_0\cos\mathcal{Y} + l^2}
 \end{aligned} \tag{3}$$

下面再求力的作用点

$$\frac{\int_0^{l_0} \omega^2 \rho r \cdot \frac{l \sin \mathcal{Y}}{r} x dx}{\int_0^{l_0} \omega^2 \rho r \cdot \frac{l \sin \mathcal{Y}}{r} dx} = \frac{\int_0^{l_0} x dx}{\int_0^{l_0} dx} = l_0/2$$

于是等效合力的作用点在叶片的质心处,其方向为

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{2l \sin \mathcal{Y}}{l_0 - 2l \cos \mathcal{Y}} \tag{4}$$

b) f_r 的求解

如图2, 叶片在 O_2A 方向的速度为零, 所以叶片在 A 点的牵连速度 v_e 及叶片相对片槽的速度 v_r 在 O_2A 上的和为零。

$$v_r \cos(\mathcal{Y} - \mathcal{Q}) = v_e \sin \mathcal{Q}$$

$$v_r = \frac{v_e \sin \mathcal{Q}}{\cos(\mathcal{Y} - \mathcal{Q})} \tag{5}$$

$$a_r = \frac{dv_r}{dt} = d\left[\frac{v_e \sin \mathcal{Q}}{\cos(\mathcal{Y} - \mathcal{Q})}\right]/dt$$

由于叶片在片槽内相对平动, 所以叶片上各点的相对加速度相等, 所以只需求出 A 点的相对加速度。

$$v_e = 2\pi n \cdot l \tag{6}$$

在泵的几何参数确定后, $\mathcal{Y}, \mathcal{Q}, l$ 仅是叶片的位置角度 ζ 的函数, 而 ζ 是 t 的函数。

该转子偏心距 e , 即, 即 $O_1O_2 = e$ 。

$$\mathcal{Q} = \cos^{-1} \frac{R^2 + l^2 - e^2}{2Rl} \tag{7}$$

R 为定子半径

为求得 l, \mathcal{Y} 如图3建立直角坐标系则 B 点坐标为 $B(r \sin \zeta, r \cos \zeta)$, 设 A 点为 (x, y) 。由叶片所在直线方程和定子内圆组成的方程组为

$$\begin{cases}
 y - r \cos \zeta = \operatorname{tg}(60 - \zeta)(x - r \sin \zeta) \\
 x^2 + (y - e)^2 = R^2
 \end{cases}$$

解之得:

$$x = \frac{-\operatorname{tg}(60 - \zeta) \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2(60 - \zeta)u^2 - [\operatorname{tg}^2(60 - \zeta) + 1](u^2 - R^2)}}{\operatorname{tg}^2(60 - \zeta) + 1}$$

$$y = r \cos \zeta + \operatorname{tg}(60 - \zeta)(x - r \sin \zeta)$$

其中间变量 $u = r \cos \zeta - \operatorname{tg}(60 - \zeta) r \sin \zeta - e$

又设 AB 间距离为 l_2 则:

$$l = \frac{R^2 - e^2 + 2ey}{2R}$$

$$l_2 = \frac{(r \sin \zeta - x)^2 + (r \cos \zeta - y)^2}{2R}$$

于是可求得 y

$$y = \cos^{-1} \frac{l^2 + l_2^2 - r^2}{2ll_2} \quad (8)$$

将(6)、(7)、(8)代入(5)则求得了 v_r , 可以看出这个关系式将是相当复杂的, 再对其求导将更加困难, 所以应借助计算机, 用数值方法求 a_r 。

$$\zeta = 360 \cdot n \cdot t$$

$$d\zeta = 360ndt$$

$$a_r = \frac{dv_r}{dt} = \frac{360ndv_r}{d\zeta}$$

而

$$\frac{dv_r}{d\zeta} = \frac{\Delta v_r}{\Delta \zeta} \quad (9)$$

只要结出 $\Delta \zeta$ 即可通过方程(5)、(6)、(7)、(8) 求得 Δv_r 从而求得 a_r , 则 f_r 为

$$f_r = m \cdot a_r \quad (10)$$

m 为叶片质量

c) f_k 的求解

科氏加速度 $a_k = 2\omega \cdot v_r$, $\omega \cdot v_r$ 在叶片上各处相等, 所以叶片上各点的 a_k 大小相等并且垂直于叶片, 其等效合力作用于叶片的质心并且垂直于叶片, 大小为

$$f_k = 2\omega \cdot v_r \cdot m \quad (11)$$

此外, 叶片还受到定子片槽的支持力 N_1, N_2, N_3 。若叶片与定子和片槽间的摩擦系数为 α_1, α 则它们之间的摩擦力为 $f_1 = N_1\alpha, f_2 = N_2\alpha, f_3 = N_3\alpha$ 。

叶片两面的空点压差为 Δp , 叶片露出片槽的面积为 S , 则气体对叶片的压力为 $f_4 = S \cdot \Delta p$ 。

至此求得叶片上当力共 10 个, f_1, f_2, f_3 为间接已知力, f_4, f_e, f_r, f_k 可求得, 只有 N_1, N_2, N_3 未知, 在如图 2 建立直角坐标系后可得: $F_x = 0, F_y = 0, M_A = 0$ 恰可解出三个未知数。求得所有的力后就可校核叶片的强度、刚度、寿命等指标。

4 展平精度

胶片展平的精度, 主要取决于展平片台的平面度、胶片厚度误差和空间环境洁净度、展平

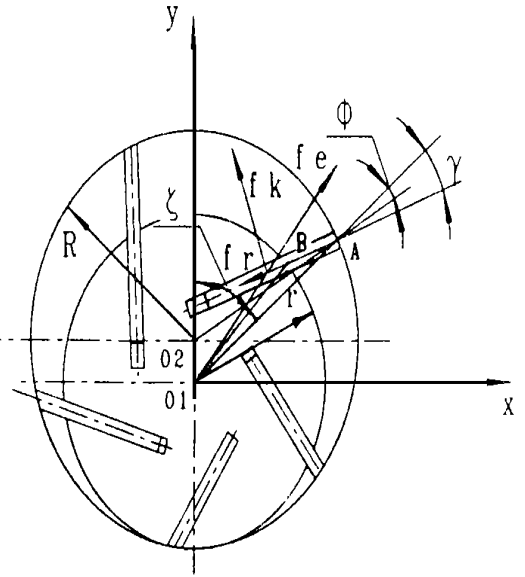


Fig. 3 Calculating the dynamic force

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需给予关注。如空气洁净度在一万级时,每立方英尺有 $8\mu\text{m}$ 以上的粒子约10个。当采用窄槽型的展平板时,槽宽的选取对展平胶片的挠曲的影响是显著的,所以不易过大。

展平时,出现了局部的小凸起,导致局部展平精度下降。经实验和分析得知,这种现象与展平的压差、抽气速度及展平板上气槽分布的相关性不强。通过对两种不同厂家胶片的实验证明,它与胶片关系较为密切。

5 相关问题的讨论

在本例中泵的叶片上的三种加速度分别为 $a_e = 1877\text{ms}^{-2}$, $a_r = 302.8\text{ms}^{-2}$, $a_k = 2104.9\text{ms}^{-2}$,可见其数值都比较大,所以由此产生的动态外力是不容忽视的。叶片材料的密度越小越好。

由于真空泵的转子相对定子偏心高速运转,其振动和噪声较大,应采取相应的减振降噪措施。

Film Flattening in Image Remote Sensing

TAO Jia-Sheng

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

Abstract

A few mothed of film flattening are compaered. It must be pay attention to the noise and vibration in the pneumatic method. Method of caculation about vane of vaccum pump is described.

Key words: Image remote sensing, Film flattening, Intensity lifetime

陶家生 男,1964年9月生。硕士,1998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,从事国家重点工程项目的研究工作,已有多篇论文在不同刊物上发表。