

文章编号 1004-924X(2002)04-0397-05

# 对高速摄影供片阻尼实现方法的改进

达争尚, 陈良益, 何俊华, 罗长洲

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 棱镜补偿式高速摄影机供片阻尼的实现是摄影机调试时必须解决而又难解决的一个问题, 尤其是在高速大片盘时由于惯性的原因往往出现胶片“前冲”堆片现象。传统的供片阻尼装置是一电磁离合器加摩擦阻尼器的复合机构, 手工调节多头螺纹来实现不同拍摄频率下的阻尼。通过对摄影机供片特性的定量分析, 给出了一种改进的供片阻尼实现方法, 该方法用电磁离合器取代原来的电磁离合器加摩擦阻尼器的复合机构来实现供片阻尼, 通过单片机控制调节流过电磁离合器线圈的电流, 从而改变供片阻尼的大小, 简化了结构, 方便了摄影机调节, 实际的工程应用证明该方法是行之有效的。

**关键词:** 棱镜补偿高速摄影; 供片特性; 供片装置; 阻尼器

**中图分类号:** TB872 **文献标识码:** A

## 1 引言

棱镜补偿式摄影机<sup>[1-4,8]</sup>的基本结构包括供片、输片及收片三个单元, 在摄影机工作时, 要求摄影机的供片、输片及收片机构协调的运动, 对供片轴来说, 随着拍摄的继续, 其上缠绕的胶片将逐渐减少, 也就是供片盘的半径逐渐变小, 要维持拍摄频率的不变, 则供片轴的转速必定是在不断地变化; 在供片盘半径变小的同时, 供片盘的惯量也是在不断地变化。在高速大片盘时由于惯性的作用很容易出现供片盘“前冲”现象, 使胶片松散而出现堆片的问题, 因此必须给供片轴提供一合适的阻尼转距。传统的供片装置是采用电磁离合器加摩擦阻尼器的复合结构, 其中电磁离合器作“预备”及刹车用, 摩擦阻尼器通过多头螺纹的调节而获得在不同拍摄频率下的相应阻尼转距。事实上, 由于供片特性的特殊性, 供片轴所需要的阻尼转距在摄影机运转过程中是时刻变化的, 因此在调试时很难“凑”到一个合适的值, 本文旨在对高速摄影的供片特性予以分析, 找出供片阻尼的变化规律, 然后给出用程序可控的电磁离合器替代原有结构实现供片特性的方法。

由于摄影机从静止到稳定运转有一个启动过程, 所以供片特性的分析分两个阶段: 供片启动特性的分析及摄影机稳速运行后的供片特性分析。

## 2 供片特性分析

### 2.1 供片启动特性分析<sup>[1]</sup>

假设在启动过程中胶片线速度  $V_q(t)$  按线性规律变化, 即  $V_q(t) = C \times t$ , 总的启动时间为  $t_0$ , 则在启动末时胶片运动的线速度为:

$$V_q(t_0) = C \times t_0, \quad (1)$$

式中  $C$  为启动斜率;  $V_q(t_0)$  由拍摄频率决定, 在所选的拍摄频率下为一定值, 则在启动过程中  $V_q(t)$  可表示为:

$$V_q(t) = \frac{V_q(t_0)}{t_0} \times t, \quad (2)$$

启动过程中损耗的胶片量可表示为:

$$L_q(t) = \int_0^t V_q(t) dt = \frac{1}{2} \frac{V_q(t_0)}{t_0} t^2, \quad (3)$$

启动末时消耗的胶片总量为:

$$L_q(t_0) = \frac{1}{2} V_q(t_0) \times t_0, \quad (4)$$

假设起始时在供片盘上缠绕的胶片长度为  $L_0$ , 供片盘轴的半径为  $r_0$ ; 则在启动过程中供片盘的半径可表示为<sup>[5]</sup>:

$$R_q(t) = \sqrt{\frac{(L_0 - L_q(t))}{\pi} + r_0^2}, \quad (5)$$

式中  $\frac{(L_0 - L_q(t))}{\pi}$  表示的是胶片厚度和层间间隙之和的一个常量。

由(2)、(5)式可确定在启动过程中供片盘转速的表达式:

$$\omega_q(t) = V_q(t) / R_q(t) = \frac{V_q(t_0)}{t_0} \times t / \sqrt{\frac{(L_0 - L_q(t))}{\pi} + r_0^2}, \quad (6)$$

在启动过程中供片盘角加速度为:

$$\alpha_q(t) = \frac{d\omega_q(t)}{dt}, \quad (7)$$

启动过程中胶片盘的转动惯量可表示为:

$$J_j(t) = K(R_q^4(t) - r_0^4), \quad (8)$$

式中  $K$  表示与胶片本身质量有关的一个常数, 设供片片轴的转动惯量为  $J_0$ , 则供片系统总的转动惯量可表示为:

$$J_q(t) = J_0 + J_j(t) = J_0 + K(R_q^4(t) - r_0^4), \quad (9)$$

由以上各式最终可得到启动过程中供片系统总的转矩表达式<sup>[5]</sup>:

$$M_q(t) = J_q(t) \times \alpha_q(t) + \frac{J_q(t)}{2} \times \frac{dJ_q(t)}{dt}, \quad (10)$$

(10)式中第一项是在启动时产生角加速度所需的转矩, 由于在启动过程中供片盘始终是在加速运行, 所以可知该项符号为正(规定运动方向为正); 第二项是因转动惯量变化而产生的转矩, 由于供片盘的转动惯量是在不断地变小, 所以该项符号为负。这两项之和决定  $M_q(t)$  的大小及正负。若  $M_q(t)$  为正, 则表示供片盘是在胶片的拉动下转动; 若  $M_q(t)$  为负, 则表示供片系统需要一个摩擦阻尼转矩, 否则会出现“前冲”使胶片松散而导致堆片发生。

若摄影机的光机系统、胶片种类及拍摄频率等确定后, 以上各式中的常量即可确定。下面以一种 35mm 胶片补偿式摄影机为例, 在拍摄频率为 1000fps、启动时间为 3s、片盘容量为 150m 时用软件绘制出启动时  $M_q(t)$  的变化曲线如图 1。

由图 1 可知, 在启动过程中供片盘的转矩为正值, 说明在启动过程中供片盘需要外界提供足够的驱动转矩, 这一转矩是由胶片的张力提供。

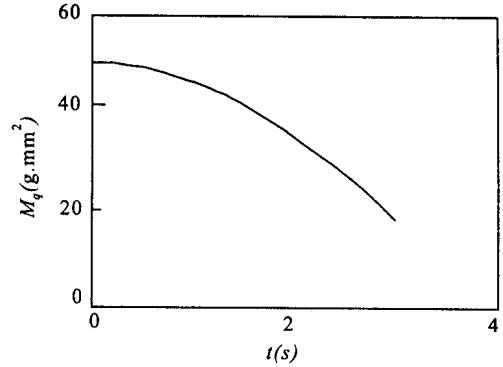


图 1 启动过程中供片盘转矩的变化

Fig. 1 Film-supplying disc's torsion variations during the camera starts.

## 2.2 平稳运行段供片特性的分析

平稳运行段的供片特性分析和启动段类似, 不同的是平稳段各参量是以启动末为起点的, 首先对在启动末时的各个参量进行计算。

启动末时胶片的线速度为一定值  $V_q(t_0)$  (由拍摄频率决定), 由(4)式可求得启动过程中消耗的胶片量  $L_q(t_0)$ , 由(5)式求得启动末供片盘半径  $R_q(t_0)$ , 由(9)式求得供片盘的转动惯量  $J_q(t_0)$ 。若以启动末为时间起点, 则平稳运行时供片特性分析如下:

片盘上还剩余的胶片量:

$$L_p(t) = L_0 - L_q(t_0) - V_q(t_0) \times t, \quad (11)$$

供片盘半径:

$$R_p(t) = \sqrt{\frac{L_p(t)}{\pi} + r_0^2}, \quad (12)$$

供片盘转速:

$$\omega_p(t) = \frac{V_q(t_0)}{R_p(t)}, \quad (13)$$

供片盘的转动惯量:

$$J_j(t) = K(R_p^4(t) - r_0^4), \quad (14)$$

供片系统总的转动惯量:

$$J_p(t) = J_0 + K(R_p^4(t) - r_0^4), \quad (15)$$

供片系统的转矩为:

$$M_p(t) = J_p(t) \times \frac{d\omega_p(t)}{dt} + \frac{J_p(t)}{2} \times \frac{dJ_p(t)}{dt}, \quad (16)$$

同样在以上已知条件下用软件绘制出摄影机平稳运行过程中  $M_p(t)$  的变化曲线如图 2。

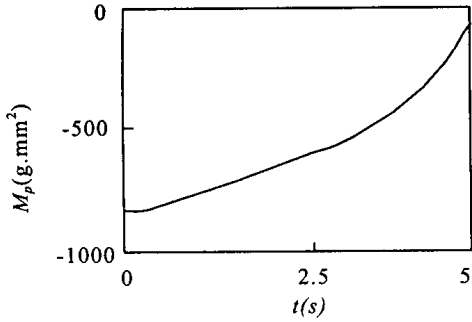


图 2 平稳运行时供片盘转矩的变化

Fig. 2 Film-supplying disc's torsion variations during the camera runs stably.

图 2 中转矩为负值,说明在平稳运行过程中供片盘所需转矩的方向与片盘转动方向相反,即供片盘需要一个阻尼转矩。而由图 1 可知在启动过程中供片盘的转矩为正值,这说明在由启动段转入平稳运行的过程中,供片盘的转矩有一个方

向上的突变,在实际调试中这一突变是造成摄影机堆片的一个主要原因;同时发现在启动过程中供片盘转距小,而平稳运行段供片盘的转矩大且变化平缓,这一特点在实现供片特性时也是要考虑的。

### 3 可控电磁离合器实现供片阻尼

由(10)和(16)式给出的转矩由胶片的张力和加在供片盘上的摩擦阻尼力提供。在实现供片特性时,理论上要求胶片提供的驱动转矩(正)和摩擦阻尼提供的制动转矩(负)之和要等于由(10)和(16)式计算出的转矩,但在实际实现供片特性时是没有必要的,因为胶片的张力可以在一个较大的容许范围内变动,工程中主要考虑制动阻尼的实现。该阻尼以前是用电磁离合器<sup>[6]</sup>加摩擦阻尼器的复合结构实现,经过以上对供片特性的分析,用程序可控的电磁离合器替代了原有结构,控制原理框图如图 3。

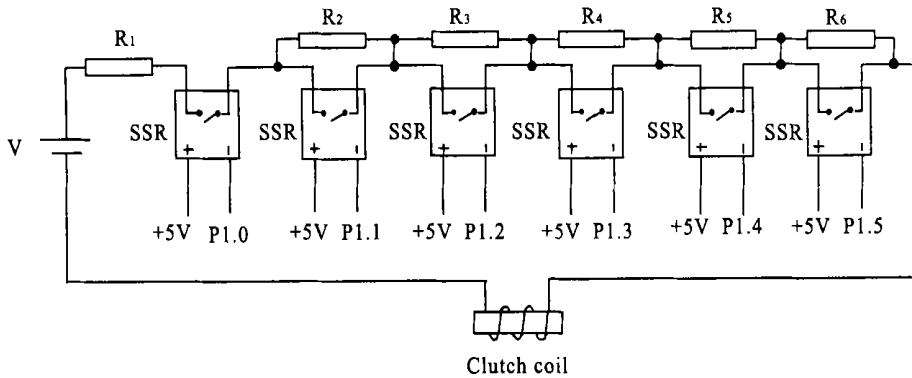


图 3 电磁离合器控制框图

Fig. 3 Controlling diagram of the electromagnetic clutch.

图 3 中,电磁离合器线包的电流由电源电压和线路串联电阻决定,改变电流即可改变电磁离合器的吸和力,进而改变供片阻尼。图中的 SSR 为固态继电器,起电子开关作用,它的开合可由单片机<sup>[7]</sup>的 P1 口控制,其中 P1.0 口控制整个电磁离合器回路的开合。图 4 为单片机控制 SSR 的原理框图。

图中 7407 为同相的 OC 门驱动器,100 为限流电阻。若将某 P1 口置为低电平,则通过

7407 驱动,对应的 SSR 控制端导通,SSR 输出开关闭合,短路于 SSR 并联的电阻,使电路电阻变小,从而使流过电磁离合器的电流增大;反之则反。根据所需阻尼的大小,可以使某一个或多个的 SSR 导通或关闭,从而改变电路电阻的大小,即改变了流过电磁离合器的电流,实现了对供片阻尼的控制。

具体的阻尼实现方法如下:

- 1) 在连机状态下由实验测出离合器的电流

—阻尼曲线。

2) 在摄影机的启动末段加给供片盘阻尼,防止由启动到平稳运行转变过程中转矩方向突变导致“前冲”堆片,阻尼的大小可由(10)和(16)式计算求出,并由步骤 1) 可求得电磁离合器所需电流大小。

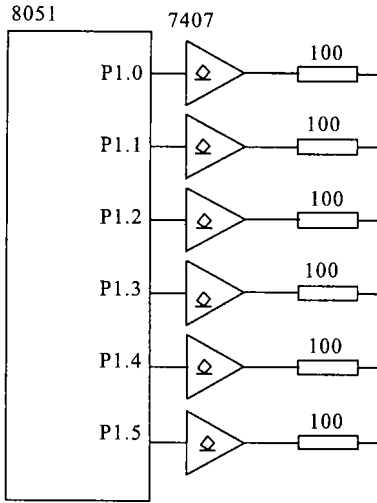


图 4 单片机控制 SSR 原理框图

Fig. 4 Controlling SSR diagram of the single-chip computer.

3) 将摄影机平稳运行段划分为几个时间段,每一段供片盘所需阻尼可由(16)式求出,由步骤 1) 求得电磁离合器的电流。

4) 求得电磁离合器的电流后即可确定相应的 SSR 开合,在摄影机运行过程中通过程序控制实现阻尼的调节。

相应的程序控制框图如图 5。

### 4 结 论

经过对供片阻尼的分析,用程序可控的电磁离合器取代原来的电磁离合器和摩擦阻尼器的复

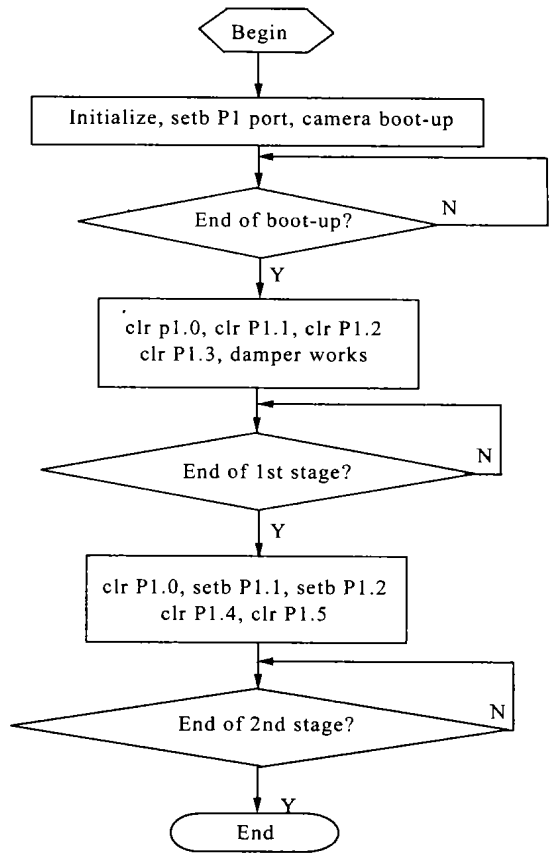


图 5 程序控制流程图

Fig. 5 Programme controlling block diagram.

合结构实现供片阻尼,其意义在于简化了摄影机结构,方便了摄影机的调试。该方法已应用在 GW-180 摄影机中,经过实际的验证是行之有效的。

### 参考文献:

[1] 乔亚天. 光学补偿高速摄影[M]. 北京:科学出版社,1984. 183 - 186.  
 [2] 谭显祥. 光学高速摄影测量技术[M]. 北京:科学出版社,1990. 56 - 73.  
 [3] 周绍祥. 高速摄影[D]. 合肥:中国科学技术大学,1990. 80 - 86.  
 [4] Mikhail A, Monastyrski. Optomechanical high - speed photography[J]. SPIE, 1999, 3516:2 - 3.  
 [5] 称守洙, 江之永. 普通物理[M]. 北京:高等教育出版社,1982. 120 - 140.  
 [6] 葛伟亮, 汪渤. 电磁控制元件[M]. 北京:北京理工大学出版社,1994. 72 - 74.  
 [7] 周明德. 微型计算机原理及应用[M]. 北京:清华大学出版社,1997. 23 - 41.  
 [8] 沈宏海, 刘晶红, 贾平, 等. 摄像稳定技术[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(4): 115 - 120.

## New method for realizing the film-supplying characteristic of a high-speed camera

DA Zheng-shang , CHEN Liang-yi , HE Jun-hua , LUO Chang-zhou

( *Opt-electronic Testing Department , Xi 'an Institute of Optics  
and Precision Mechanics , Chinese Academy of Sciences , Xi 'an 710068 , China* )

**Abstract :** The realization of the film-supplying disc 's damped torsion of a prism compensation high-speed camera is one hard-to-solve problem when the camera adjusted , especially when the speed is high and the film long , because of the inertial , the film-supplying disc 's rush for ward leads to film crushing up . The traditional damped torsion-supplying device is composed of both a mechanical friction damper and an electromagnetic clutch , manually adjusting a multi-screw thread to get different damped torsion at different speed . Qualitatively analyzing the film-supplying characteristic of the camera in derail , a new method for realizing the film-supplying disc 's damped torsion is presented , in which a program controllable electromagnetic clutch is used to replace the former device to fulfill the damped torsion , and a single-chip computer is used to control the electric current of the electromagnetic clutch 's coil , so that the damped torsion is changed . By this method , the device is simplified and makes the adjusting of the camera easier . The practical use shows this method is effective and valid .

**Key words :** prism compensation high-speed camera ; film-supplying characteristic ; film-supplying device ; damper

**作者简介:**达争尚(1973 - ) ,男 ,陕西渭南人 ,2000 年于西安工业学院获得光学工程专业硕士学位 ,现在中科院西安光机所攻读光学工程专业博士学位 ,主要从事靶场测量设备及水下光学方面的研究工作。