

四连杆抓片机构的设计

王守印

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 阐述了双曲柄四连杆抓片机构的工作原理。提出了抓片机构设计的基本要求, 给出了一种适用于高、低速摄影的抓片机构结构的主要零部件的参数。

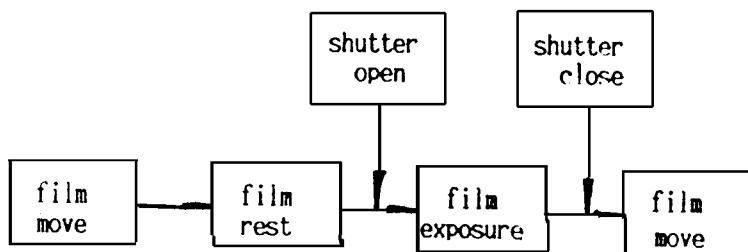
关键词: 抓片机构; 抓片爪; 定片针

1 引言

高速摄影作为一种行之有效的记录和测量手段, 在现代科学技术的各个领域里发挥着重要的作用。随着科学技术的不断发展和进步, 对高速摄影机的各种性能要求也越来越高。间歇式高速摄影作为高速摄影的一个重要组成部分, 在测量高速飞行物体的轨迹等方面有着广泛的应用。而作为间歇式摄影机的主要部分间歇输片机构的性能直接决定摄影机的性能, 因此, 改善间歇输片机构的性能, 对提高整个摄影机的使用性能有着重要意义。

2 抓片机构的工作原理

间歇式摄影机最显著的特点是其输片过程是间歇的。也就是在整个摄影过程中胶片在片道之间的运动是不连续的。当胶片移动一个画幅距后停止不动, 这时, 摄影机的快门打开, 胶片曝光, 曝光结束后快门关闭, 胶片再移动一个画幅距, 进行下一个曝光过程。整个摄影周期可用下框图表示:



胶片间歇移动主要是靠间歇输片机构来实现的。抓片机构是间歇式高速摄影机中应用最多的一种间歇输片机构,它具有做平面运动的抓片爪和做直线运动的定片针。当抓片机构工作时,抓片爪的运动轨迹为一封闭曲线,其运动轨迹的一部分使胶片周期地移动一个画幅距;而定片针运动轨迹的一部分周期地将胶片固定,使胶片准确地静止在某一位置上。抓片爪和定片针对胶片的交替作用实现了胶片的间歇运动。

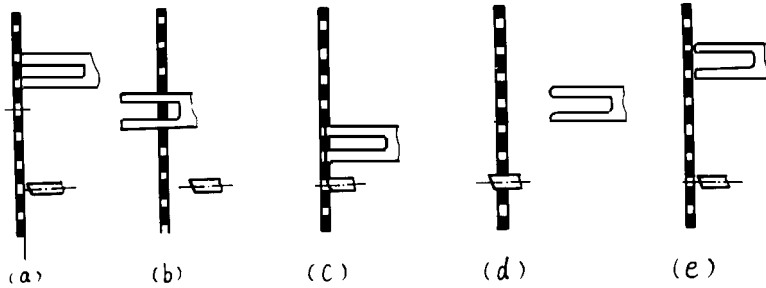


Fig. 1 Principle of pull-down film mechanism

图1为抓片机构的工作原理图,它的工作过程可分为:(1)抓片爪进入片孔,定片针从片孔中退出(a);(2)抓片爪带动胶片移动(b);(3)抓片爪带动胶片移动即将结束,定片针进入片孔(c);(4)抓片爪从片孔中退出,定片针将胶片固定在某一位置(d);(5)抓片爪回到进入片孔前的位置(e),抓片机构就这样完成了一个工作周期。

抓片机构的主要性能指标如下:

胶片规格:	宽35 mm, 厚0.12~0.15 mm
画幅尺寸:	长×宽 19×24 mm ²
摄影频率:	4~240 帧/秒
画幅定位精度:	$\delta_x = 0.015$ mm $\delta_y = 0.015$ mm

3 抓片机构主要参数的确定

3.1 曲柄连杆机构的运动特性分析

如图2所示:

在双曲柄四连杆机构中,连杆的运动特性可用下列各式表示:

$$S = r(1 - \cos\omega) \quad (1)$$

$$V = r\omega \sin\omega \quad (2)$$

$$a = r\omega^2 \cos\omega \quad (3)$$

从以上各式不难看出,连杆的速度和加速度是连续变化的。当画幅距大小一定时,连杆加速度的最大值与摄影频率的平方成正比。而且这种抓片机构与另外几种常见的抓片机构相

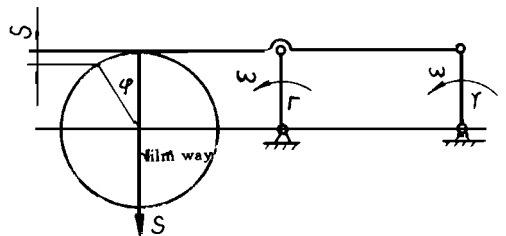


Fig. 2 Principle of dual cranks 4 linkages mechanism

比,在摄影频率相同时,其加速度是最小的。

3.2 胶片收缩对曲柄连杆机构的影响

在双曲柄四连杆机构中,双曲柄的长度,直接决定连杆的行程,在四连杆机构中相当于连杆的抓片爪,它在片道方向的行程上就决定了画幅的大小。从理论上讲曲柄的长度为画幅距的 $1/2$ 就可以完成正常的输片。但是,胶片在正常存储状态下会出现收缩,收缩量随温度的变化而变化,通常它的收缩范围小于 0.5% 。

为保证在胶片正常收缩的范围内都能准确输片,我们取收缩量的平均值,即 0.25% 作为确定曲柄长度的依据,因此,曲柄长度为:

$$r = 1/2 \cdot H(1 - \epsilon) = 1/2 \times 19(1 - 0.0025) = 9.476_{-0.01}^0$$

H : 画幅距

ϵ : 胶片收缩率

3.3 抓片爪参数的选择

抓片爪是抓片机构的核心零件。根据最高摄影频率的不同,可选择不同的爪齿数。通常爪齿数与摄影频率的关系可参考表(1)

为保证80帧/秒的正常工作,可采用两个抓片爪双边配置的方法。每个抓片爪有三个爪齿,共有六个爪齿,这样可以保证在输片过程中六个片孔均匀受力。抓片爪具体结构如图3所示:

Table 1

rate (max) (Hz)	tooth figure
40	2~4
100	4~6
200	10~12
300	12~14

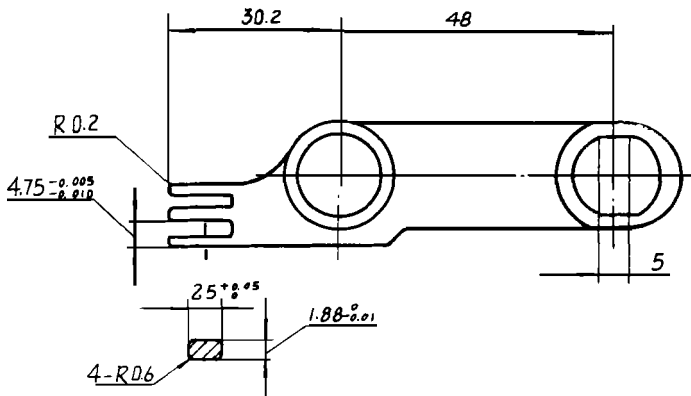


Fig. 3 Structure of claw of pulldown film

为使双曲柄机构正常运转, 必须使两个曲柄长度相等。在加工过程中, 要使两个曲柄长度完全一致是非常困难的。为了适应由于双曲柄在加工过程中二者长度的微小差异, 使得运转平稳。可在抓片爪的后支撑处开一长槽, 用来调节这种因加工带来的误差。这种因两个曲柄长度不一致对抓片爪行程的影响如图4所示。

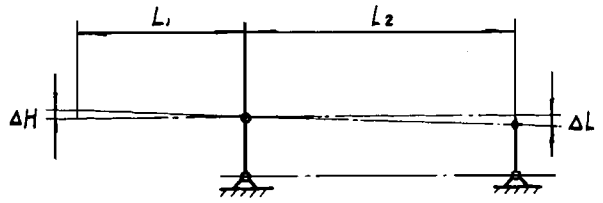


Fig. 4 Effecton distance of claw of pulldown film caused by dual cranks

$$H_{(max)} = L_1/L_2 \cdot r = 30/48 \cdot 0.01 = 0.00625$$

可见这种误差是会不会对正常输片产生影响的。

抓片爪的材料为超硬铝, 牌号为LC4, 表面镀层为厚0.03的磷镍合金, 这种合金硬度高, 耐磨性好。

3.4 胶片定片方式和定片针结构

在高速摄影机抓片机构中, 没有定片针是难以想象的。定片针不仅保证了画幅的稳定性, 而且也保证了较高摄影频率的实现。在抓片机构中定片针是靠曲柄滑块机构驱动的, 曲柄的长度为1.5 mm。

我们选用四个定片针分布在画幅的四个角上, 具体结构及定片针尺寸如图5所示。定片针的材料为GC-15。

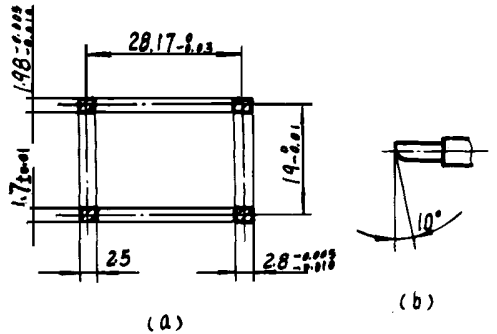


Fig. 5 Way to fix film and pin structure

3.5 抓片爪与定片针之间的关系

从图1我们可以看出, 在间歇输片过程中, 抓片爪带动胶片运动的时间基本上用1/2的周期。而定片针将胶片定位的时间也是1/2周期。为保片画幅的稳定和实现较高的摄影频率。应使定片针在抓片爪拉动胶片结束前进入片孔, 如图1(c)所示。

这里可把交错角设计为8°; 同时, 为保证定片针在提前入孔时不撞到片孔边沿。可将定片针的端部设计为图5(b)所示的形状。

为了兼顾高低速摄影, 我们将抓片爪与定片针之间的尺寸L设计为胶片孔距加空程, 即:

$$L = L_{片} + H = 4.75 + 0.1 = 4.85$$

片孔距 $L_{片}$: 4.75

空程 H : 片孔高与抓片爪齿高之差

片孔高: 1.98

爪齿高: 1.88

如图6所示:

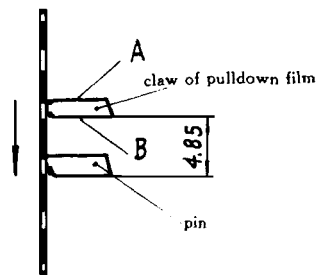


Fig. 6 Relationship between the claw of pulldown film and the pin

这样,在高速摄影状态下,输片结束时,胶片与抓片爪的A面接触。在低速摄影状态下,输片结束时,胶片与抓片爪的B面接触,此时的残余输片量由定片针来完成。

4 抓片机构的结构设计

如图7所示,抓片机构的主动齿轮1由电机驱动。齿轮1与齿轮2啮合,齿轮2驱动定片针做直线往复运动。齿轮2同时与齿轮3、4啮合。齿轮3、4驱动抓片爪做平面运动。

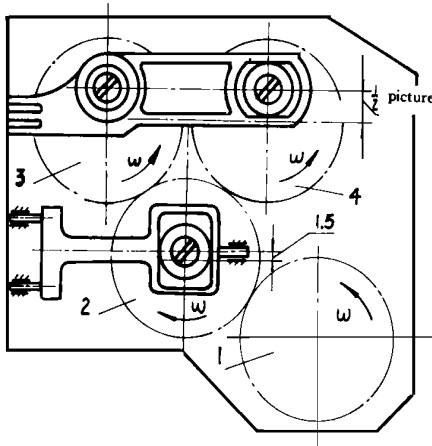


Fig. 7 Pulldown film mechanism drive system

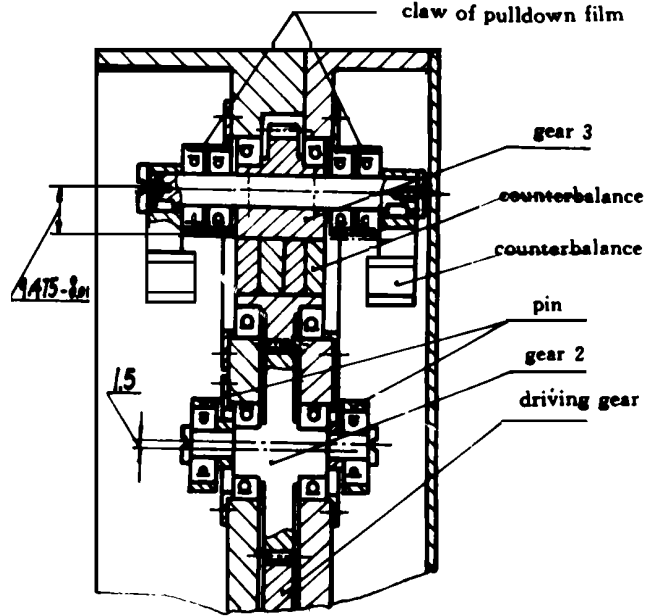


Fig. 8 Structure of axle system of claw of pulldown film and pin

齿轮3、2的轴结构如图8所示,两个抓片爪相对于齿轮3对称布置。平衡块1用于平衡轴相对齿轮3偏心所带来的惯性力,平衡块2用来平衡由于抓片爪相对于齿轮3偏心而引起的惯性力。这里平衡块1的材料为W,比重为19.3。平衡块2的材料为H62。所有轴系静平衡后进行动平衡。各轴系动平衡后不平衡量引起的轴线偏移均小于0.01

5 结束语

经过这几年的工程实践证明:这种双曲柄四连杆抓片机构可以满足300帧/秒以内的摄影要求。各项性能指标比较稳定。经过已经出厂的几台摄影机检测表明:画幅稳定性均符合要求:

$$\delta_{x(\max)} = 0.012 \text{ (mm)}$$

$$\delta_{y(\max)} = 0.012 \text{ (mm)}$$

由于摄影机良好的定位精度和画幅稳定性,获得了较好的摄影鉴别率,由于对抓片机构进

行了精确的动平衡,使得振动对摄影鉴别率的影响很小,高速时200(帧/秒)与低速时(4帧/秒)的摄影鉴别率之间相差不超过5对线/mm。

参 考 文 献

- [1] 龚祖同,张耀明等著. 高速摄影总论与间歇式摄影机. 科学出版社, 1983
[2] 易选松,李景镇. 间歇输片过程的计算机模拟和实验研究. 光子学报, 1993, 22(21): 293 ~ 297

Approach to Four Linkages Pulldown Film Mechanism

Wang Shouyin

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

Abstract

The principle of dual cranks 4linkage pulldown film mechanism is described, and basical requirement of design for such pulldown film mechanism is put forward. The structure which meets both high and low speed photography and the parameters of related key part is also depicted in this paper.

Key words: Pulldown film mechanism, Claw of pulldown film, Pin

王守印 男, 1956年8月出生, 1992年1月毕业于长春光机学院精密仪器制造专业。十多年来, 一直从事间歇式高速摄影机的机械设计, 曾参加过260、662、160F、EOTS等多种型号摄影机的研制工作。