

# 70 mm 间歇式同步高速摄影机系统的研究

梁志毅<sup>1,3</sup> 马丽华<sup>1,2</sup> 曹剑中<sup>1</sup> 郝 斌<sup>1</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 空军工程大学电讯工程学院, 西安 710077)

(3 西北工业大学航天学院, 西安 710072)

**摘 要** 70 mm 同步高速摄影机系统主要是用于拍摄激光制导炸弹、火箭、导弹的三维飞行姿态和空间参数的测试设备, 具有画幅大、速度高、机动灵活的特点. 简要介绍了该摄影机系统的总体组成与各部分的工作原理, 并着重描述了摄影机系统的设计及性能指标. 鉴于该系统已成功应用, 因而可为其他摄影机系统的设计提供一定参考.

**关键词** 高速摄影机; 系统组成; 输片机构; 性能指标; 动力学分析

**中图分类号** TB853.1      **文献标识码** A

## 0 引言

高速摄影是记录高速流逝过程的某一瞬时状态或全部历程的手段, 它所获得的大量准确的时空信息, 为研究高速现象的发生机理和运动规律提供了可靠的依据. 高速摄影机发展至今, 其种类繁多, 用途广泛<sup>[1]</sup>. 在各种高速摄影机中, 间歇式高速摄影机由于具有较高的画幅质量(较高的画幅稳定性和分辨率), 光特性好, 结构比较简单, 在频率不是很高的体育运动、中速机械运动、弹道研究等许多方面应用很广泛<sup>[2]</sup>. 70 mm 同步高速摄影机系统主要是用于拍摄激光制导炸弹、火箭、导弹的三维飞行姿态和空间参数的测试设备.

## 1 系统组成和工作原理

### 1.1 系统组成

同步系统高速摄影机由高速摄影机及电控系统组成. 图 1 为 70 mm 同步高速摄影机系统外观图片.



图 1 高速摄影机外观  
Fig. 1 The photo of 70 mm HSPC system

### 1.1.1 高速摄影机系统

高速摄影机系统主要包括输片机构、传动及快门系统、摄影光学系统、数据记录系统、摄影控制系统和取景检焦系统组成, 如图 2.

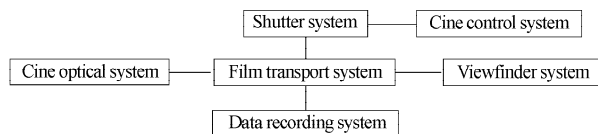


图 2 系统组成  
Fig. 2 The constituents of 70 mm HSPC system

### 1.1.2 电控系统

电控系统由摄影控制系统、点阵信息系统、调光和十字丝系统、操作控制系统、测角系统组成, 如图 3.

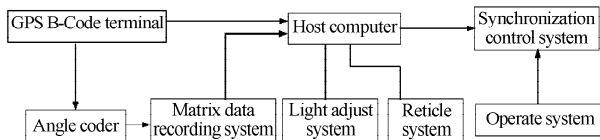


图 3 电控系统组成  
Fig. 3 The constituents of electronics management

### 1.2 系统工作原理

70 mm 同步高速摄影机根据控制系统摄影频率的选择和 B 码时统送来的摄影脉冲, 控制摄影机使其快门中心与摄影脉冲前沿一致. 时统送来一个脉冲信号, 摄影机同步拍摄一幅画面, 达到多站同步工作的目的.

70 mm 同步高速摄影机所拍摄的胶片记录了飞行目标的像、十字丝投影像和点阵全部信息. 点阵信息中方位角度值和俯仰角度值表示胶片画幅十字丝中心的位置, 此角度值再加上目标像到画幅十字丝中心位置的脱靶量, 即是飞行目标相对于高速摄影测量仪的瞬间空间位置数据.

## 2 摄影机系统的设计

摄影机由本体、输片机与检焦镜组成.

## 2.1 输片机

输片机是摄影机的关键部件,它起着供片、间歇式停片、收片的作用,其主要部件有:抓片机构、定片机构、堆断片报警机构、加热器、片量指示器和片门等. 根据拍摄画幅不同,70 mm 同步高速摄影机的输片机构有四片孔和八片孔两套. 两套输片机构的结构形式,接口尺寸完全一致,可以实现用户的快速更换. 图 4 为四片孔输片机构图片.

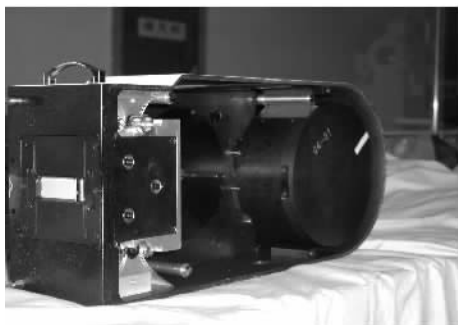


图 4 四片孔输片机构

Fig. 4 The photo of film translation mechanism

### 2.1.1 抓片机构与定片机构

抓片机构的主要作用是间歇输送胶片. 高速抓片机构是间歇式高速摄影机的核心部件,其结构和技术参数决定了摄影机的主要性能. 70 mm 高速摄影机的设计采用双联曲柄摇杆块式抓片机构. 与其他机构相比,该种机构动力学特性较好,而且结构简单、紧凑、刚度好,输片准确性便于调整<sup>[3]</sup>. 抓片机构是通过高精度齿轮使两套曲柄摇杆机构同速同相位运动,即两套抓片爪同时进入胶片片孔,同速带动胶片运动,同时退出片孔.

通过计算可知,对于 70 mm 胶片,当画幅距为 8 片孔,在摄影频率 125c/s 的情况下输片力最大值为 8 kg<sup>[4]</sup>. 设计的抓片爪为单边 6 齿,双边 12 齿,这样,每个片孔上的作用力平均为 0.67 kg,可以保证在高摄影频率和大画幅的情况下胶片受力小于片孔间隔能承受的最大作用力(对于标准胶片为 0.9 ~ 1.2 kg). 为提高抓片机构本身的强度和刚度,抓片爪采用特殊合金钢材料,并进行镀镍处理.

定片针的作用是将胶片停止在画幅框上,以便进行拍摄. 70 mm 高速摄影机定片机构采取双边四齿的形式,置于双联曲柄摇杆机构中间. 定片针是通过偏心轴在导槽中心滑动而实现由圆周运动转为直线运动,从而实现其进入和退出片孔. 由于定片针进入片孔时,胶片的下移速度非常小,则定片针对胶片的作用力也小.

分析表明,为了提高输片的可靠性和画幅稳定性,定片针和抓片爪不仅要有确定的相位关系,而且还要控制一定大小的交错角,即抓片爪和定片针共

处片孔一段合适的角度,使片道中的胶片一直处于控制状态,这对高速尤为重要<sup>[4]</sup>. 交错角  $\Delta\varphi$  方程为

$$\Delta\varphi = \arccos\left(-\frac{\Delta b}{r}\right) - \arccos\left(-\frac{\Delta a}{r}\right)$$

式中  $r$  为抓片爪偏心轴偏心量,  $r'$  为定片针偏心轴偏心量,  $\Delta b$  和  $\Delta a$  分别为平衡位置时抓片爪和定片针的交错线量.

另外,为了得到好的输片质量,抓片爪和定片针的倒角大小和方向也至关重要.

### 2.1.2 其他

堆断片报警机构的作用是当摄影过程中,突然出现堆片、断片故障时能自动切断主机电源,使摄影机停止工作,避免损坏机构和浪费胶片;片量指示器表示输片机内还有多少米的胶片可供拍摄,其拨杆压紧胶片,从窗口可以观察到胶片的长度;前后片门与胶片接触部分镀硬铬,表面光洁度大于 0.1,后片门在画幅窗口处与胶片接触部分为弹性片门,这样既可以保证在成象时将胶片紧压,在画幅框上,又可以保证胶片在运动时有足够的间隙.

## 2.2 本体

本体是为摄影机提供动力传动系统、数据记录系统和调节快门系统.

### 2.2.1 传动系统

传动系统的主要作用是传递和控制动力,使抓片、定片机构、快门系统、输片系统等实现运动. 传动系统由永磁直流伺服电机驱动.

### 2.2.2 数据记录系统

点阵是摄影机记录高低角、方位角及时间等各种数据信息的集成块,它由 105 个微小发光二极管组成,其在胶片中的位置如图 5(四片孔).

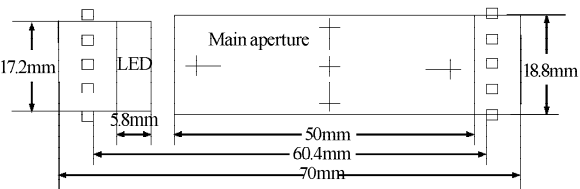


图 5 画幅图

Fig. 5 Layout of aperture

### 2.2.3 调节快门系统

快门机构的主要作用是控制摄影胶片的曝光量. 设计的快门机构采用双开口对开放式叶子板快门,开口角有 2°、6°、10°、20°、40°和 80°六档可选.

## 2.3 检焦镜

检焦镜是用于拍摄前瞄准目标或确定拍摄范围用的,在拍摄前可对十字丝进行检查. 本设计中其主要参数为:  $M=3.75\times$ .

### 3 技术指标

70 mm 同步高速摄影机主要性能指标见表 1.

表 1 70 mm 同步高速摄影机技术指标  
(注:所有指标均为检测指标)

摄影频率	四片孔:10,20,40,50,100,125,160c/s 八片孔:10,20,40,50,100,125c/s
胶片规格	70 mm 标准负片
画幅尺寸	四片孔输片机:50×18.8 mm 八片孔输片机:50×36 mm
同步时间	≤3 s
摄影同步精度	≤±0.3 ms(100c/s 时)
测角精度	指向误差≤10''( $f'=1000$ mm 时)
作用距离	≥5 km
摄影物镜焦距	$f'=1000$ mm、 $f'=500$ mm、 $f'=300$ mm 三种
片容量	≥100 m
摄影分辨率	中心:≥40 Lp/mm 边缘:≥30 Lp/mm
快门开口角	快门开口角多档可调,各档开口角值为: 2°、6°、10°、20°、40°、80°

### 4 70 mm 同步高速摄影机系统优点

#### 4.1 先进性

70 mm 同步高速摄影机是我国第一台大画幅、同步、间歇式、高速摄影机,它填补了国内空白,是继美国之后第二个拥有该项技术的国家.

1) 视场大、分辨率高:35 mm 摄影机的画幅面积为 18×18.8 mm,而 70 mm 摄影机的画幅面积为 50×36 mm,其成像面积大将近 6 倍,视场大将近 3 倍. 2) 摄影频率高:该摄影机的摄影频率在八片孔时为 125c/s,在四片孔时为 160c/s(相当于 35 mm 摄影机 300c/s 以上),这在以往靶场的间歇式摄影机中是前所未有的. 3) 精度高:该系统精度为 10 s,在小型经纬仪上达到了大型经纬仪才能达到的精度. 4) 在摄影机驱动回路中串入电感滤波器,抑制了 PWM 脉冲跳变时辐射的干扰;在伺服电机两极间并入近似零残存电压的感生电势吸收泄放回路,系统驱动回路更加安全.

#### 4.2 创新性

1) 设计上的创新:首次采用双联曲柄摇杆式抓片机构实现了高精度、大画幅的高速输片运动,并运用无误接触技术,使胶片的高速、间歇式运动准确、可靠. 设备研制完成后,在整个检测和使用过程中,没有发现断片问题. 2) 使用上的创新:首次实现了四、八片孔输片机的快速更换,达到了共像面、共联接轴的一机多用的功能. 3) 系统采用 GPS/B 码时统,既能接收中心时统 B 码信号作为时间基准,也能接收 GPS 定时信号作为时间基准,在 4 个分站均能正确接收 GPS 信号的情况下,站间时间同步精度为 4  $\mu$ s 以内,对测量布站的机动灵活非常有利.

### 5 结论

70 mm 同步高速摄影机可广泛应用于靶场的火箭、导弹的姿态、特征点参数以及弹道轨迹测量;如果推广到大型经纬仪上,可以大幅度提高大型经纬仪的探测视场和探测距离,实现远距离、大范围的态度测量,这是高速电视所无法替代的.

70 mm 间歇式同步高速摄影机现已交付用户使用. 事实证明,该摄影机的研制是成功的.

#### 参考文献

- 1 龚祖同,张耀明. 高速摄影总论与间歇式高速摄影机. 北京:科学出版社,1983  
Gong Z T, Zhang Y M. Pandect of High Speed Photography and Intermittent High Speed Photography Camera. Beijing: Science Press, 1983
- 2 刘波,徐国华,张昕. 高速摄影机虚拟制造体系结构. 光子学报,2001,30(12):27~28  
Liu B, Xu G H, Zhang X. Acta Photonica Sinica, 2001, 30(12):27~28
- 3 刘波,徐国华,梁志毅,等. 曲柄摇杆式抓片机构的非线性动力分析. 光子学报,2001,30(9):1153~1156  
Liu B, Xu G H, Liang Z Y, et al. Acta Photonica Sinica, 2001, 30(9):1153~1156
- 4 李景镇,杨芝藩,周泗忠,等. 微型机载高速摄影机研究. 光子学报,1992,21(12):1520~1521  
Li J Z, Yang Z F, Zhou S Z, et al. Acta Photonica Sinica, 1992, 21(12):1520~1521

## A Study of 70 mm High Speed Photography Camera

Liang Zhiyi<sup>1,3</sup>, Ma Lihua<sup>1,2</sup>, Cao Jianzhong<sup>1</sup>, Hao Bin<sup>1</sup>

*1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710068*

*2 The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077*

*3 College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072*

Received date: 2005-04-27

**Abstract** A set of 70mm high speed photography camera(HSPC) system has been developed, which is such an instrument that it can record the 3D flying position and space parameter of object such as laser-guided bomb, rocket and guided missile. The main constitutes and the principle is introduced and the design of camera is described in detail. Because 70 mm HSPC System has successful application, it can offers a few ideas to the design of other HSPC.

**Keywords** HSPC(high speed photography camera); Constitutes; Film translation mechanism; Performance parameter



**Liang Zhiyi** received his M. S. degree from Xi'an Institute of Optics and Mechanics, Chinese Academy Sciences and has worked there since then. He has been engaged in research on high-speed photography, infrared target simulation and digital printing.