

狭缝相机设计述评

陈良益

在象平面上安置一个狭缝的摄影仪器都可称之为狭缝摄影机。用它可以进行同步弹道摄影和扫描摄影。在进行同步弹道摄影时,目标象的飞行方向与胶片的运动方向一致,如图1所示。目标象的运动速度 $V'_{目}$ 用胶片的运动速度 $V_{片}$ 来补偿,使目标在成像过程中没

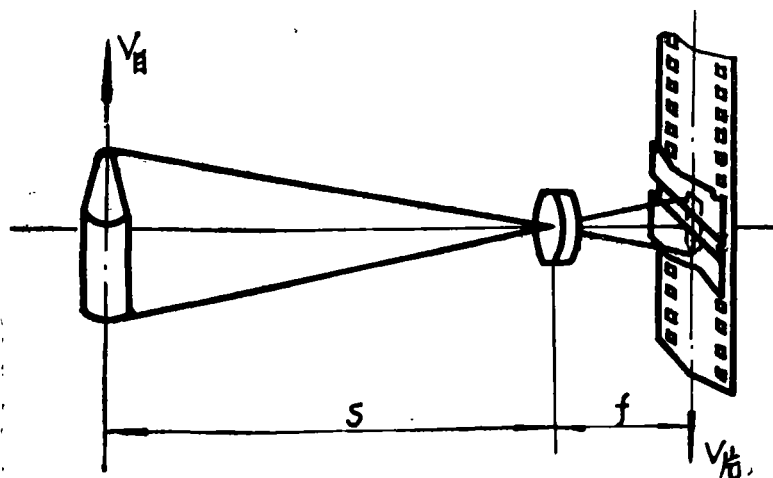


图1 同步弹道摄影的原理

有因目标的运动而产生相对胶片的位移。狭缝垂直于目标象的运动方向,借以限制象的局部曝光时间,控制由于补偿的不完全所引起的象模糊。采用胶片—影像同步的摄影原理,每次拍摄可以得到一张非常清晰的大尺寸照片,取得弹丸部件分离及其损坏机理,测定弹丸的偏航和章动角,自旋和飞行速度等参数。当进行狭缝扫描摄影时,目标象是沿着狭缝长度方向行进的,如图2所示。这时,胶片的运动方向就是时间座标的展开,目标象的运动方向就是

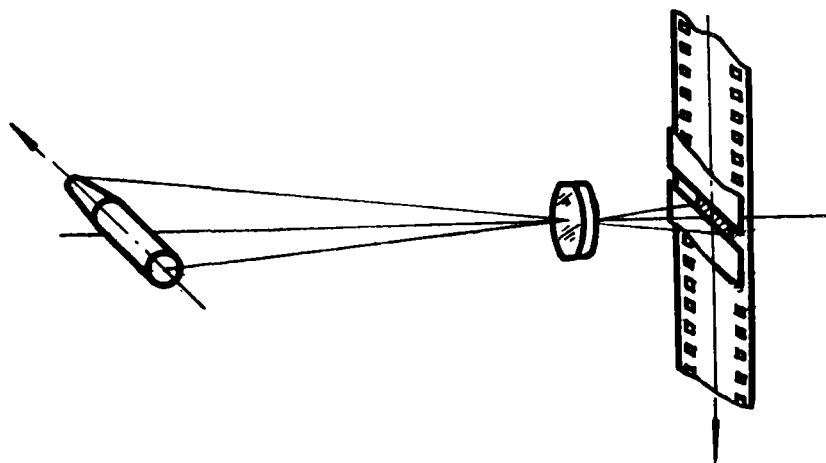


图2 狭缝扫描摄影原理

位移量的展开,这样,在胶片上就可以得到一组位移—时间的关系曲线。借以可以测得弹丸

的加速度和弹丸碰靶时的负加速度。这些资料和数据对研制兵器来说都是非常重要的。此外,这种摄影机比起其他高速摄影机来说,结构要简单一些,造价也比较便宜,现场操作和事后处理都比较方便。正因为狭缝相机有如此明显的优点,几十年来已被广泛地用来对靶场上的飞行弹体进行各项重要技术参数的测试,它在许多测试项目中应用的有效性和广泛性已被人们肯定。在国外的一些靶场所进行的发射试验中,这种摄影机约占全部测试设备中所使用的照相仪器的百分之九十。可见这种摄影机的用途是非同一般的。在我国内,这种摄影机的应用近几年来已逐渐为各靶场所重视。但是由于研制和生产部门跟不上形势,以致使得在应用上受到很大的局限。必须补充说明一下,狭缝摄影机并不只是局限于靶场对飞行弹丸的测试工作,还可以在工业生产和科研工作的其他许多领域中得到应用。我们曾经在纺织部门用狭缝摄影方法对织布梭子的运动机理,回转钢领的运动参数,纱绽的氧圈研究进行过很有意思的拍摄。为了使这种摄影机能在近几年较普遍地装备国内各靶场,并在其他领域中得到普通地应用,首先要求我们能够设计出性能良好,指标先进,结构合理,便于成批生产的产品出来。本文着重从设计角度谈谈几个问题,特别是最常用的同步弹道鼓轮相机的设计问题。

一、狭缝相机的型式

1. 连续输片型

由于狭缝摄影在靶场上使用有其特殊的优点,所以靶场往往把许多分幅高速电影摄影机改成缝缝摄影用。最初的狭缝相机是用“Fastax”棱镜补偿式高速电影摄影机改制而成的。取下补偿棱镜,在片门处安置一个狭缝,狭缝的长度方向与胶片的运动方向相垂直,这样就可以用它进行同步弹道摄影了。五机部123厂把苏制的CKC-1M型16毫米高速电影摄影机进行了同样的改制,在靶场试验中得到弹丸的清晰照片。我国各靶场现存最多最常用的德产《Pentazet》高速电影摄影机是采用反射镜补偿原理进行分幅摄影的。打开后盖,装上该摄影机特备的一块固定反射镜,并把片门处的视场光学调到1毫米左右,就可以进行狭缝摄影了。我所研制成的《LBS-2000》型棱镜补偿式高速电影摄影机也是一种分幅摄影机,但它在设计时已考虑到变成狭缝摄影的可能性。

以上所列举的这种用光学补偿式高速摄影机改制的狭缝相机虽然很现成,但有很多不足之处。首先由于这种摄影机的胶片都是高速连续运动的,欲使胶片达到某一预定的稳定速度需要一段启动过程,因此每进行一次摄影至少要浪费10米到20米甚至更多的胶片,而只能获得一幅象,这是很不经济的。另外,大量无用的胶片给冲洗和判读带来很大的麻烦。第二,这种摄影机的胶片是依靠输片齿轮拉动胶片来实现的。就目前的水平而言,35毫米胶片的极限拉片速度大约是60米/秒,16毫米胶片的连续输片速度还没能超过90米/秒。第三,光学补偿式高速电影摄影的结构复杂,价格昂贵,把它改制成狭缝摄影是很不合算的。不过,当所要进行研究的现像是一种往复性的运动,并需要在许多次往复运动中进行观察和比较时,这种有一定片容量的狭缝摄影即变得必要了。

2. 鼓轮式狭缝相机

鼓轮型式是狭缝摄影机最常用的一种结构。它的结构比较简单,胶片的运动速度比用输片齿轮输送胶片的速度要快得多,并且调速范围可以做得很大,能适应靶场上很大一部分飞行弹体的测试工作。因此,鼓轮型式的狭缝摄影机是这种仪器的基本型式。

根据胶片依附在鼓轮的外表面还是依附在鼓轮的内表面,又可以分为外鼓轮型式和内鼓

轮式两种。这两种型式比较,外鼓轮式的结构更为简单,设计和使用均较方便。但是,由于高速旋转时胶片的离心力使得它很难与鼓轮外表面贴紧,以致在成像时产生离焦和变形。下面让我们来讨论一下这离心力所产生的影响到底有多大。

假设鼓轮旋转前,胶片被紧包在鼓轮的外表面,形成一个封闭的圆环,以角速度 ω 匀速旋转,如图 3(a) 所示。胶片的横截面积为 F , 比重为 γ , 鼓轮外径为 D , (由于胶片厚度很小,可以近似地看成胶片圆环的平均直径) 胶片的厚度为 t , 则胶片上任意一微段 ds 上的离心力为:

$$f = ma_n = \frac{F \cdot \gamma \cdot ds}{g} \cdot r \omega^2 \quad (1)$$

单位长度的离心力则为:

$$q = \frac{F \gamma ds}{g} \cdot r \omega^2 \cdot \frac{1}{ds} = \frac{F \gamma}{g} \cdot \frac{\omega^2 D}{2} \quad (2)$$

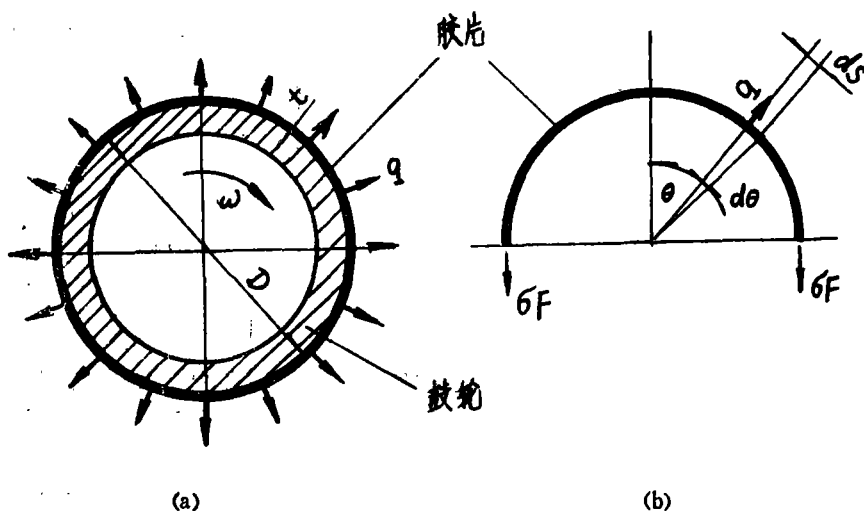


图 3 胶片的受力情况

若用直径平面将胶片圆环切开,如图(3)b所示,则截面上有动荷应力 σ_F 。根据力的平衡条件

$$2\sigma F = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} q \cdot \frac{D}{2} \cos \theta d\theta = 2q \cdot \frac{D}{2} \quad (3)$$

将(2)式代入(3)式得

$$\sigma = \frac{\gamma \cdot v^2}{g} \quad (4)$$

式中 v 为胶片运动的线速度。根据虎克定律,当应力在比例极限范围时,相对伸长与正应力成正比,则相对伸长为:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (5)$$

把(4)式代入(5)式得

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{Eg} \cdot v^2 \quad (6)$$

式中 E 为材料的弹性模数, 对于三醋酸纤维片基来说, $E = 400$ 公斤/毫米², $\gamma = 1.3 \times 10^{-3}$ 公斤/厘米³。若胶片圆环的展开长度为 $L = 500$ 毫米, 当胶片以不同的线速度旋转时, 其绝对伸长 ΔL 以及由此所产生的离焦量 Δf 计算结果列于下表中:

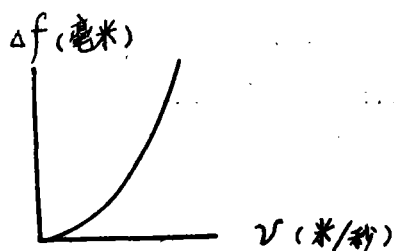


图 4 胶片离焦量和线速度的关系曲线

v (米/秒)	10	20	50	100	200
ε %	0.0033	0.0134	0.08	0.32	1.28
ΔL (毫米)	0.0167	0.067	0.417	1.67	6.67
Δf (毫米)	0.005	0.021	0.13	0.53	2.1

把计算结果画成曲线、为图 4 所示。从计算的数据可以看出, 在所要求的线速度较低的情况下, 可以考虑采用外鼓轮式。但当胶片的线速度要求超过 50 米/秒时, 离心力所生产的胶片变形所引起的离焦量就不容忽视了; 当胶片的线速度再增大时, 离焦量就激烈增大, 以致于彻底破坏了成象质量。此外, 当胶片的线速度达到一定值时, 胶片伸长所引起的长度方向上的畸变也是很可观的。因此, 当胶片速度要求超过 50 米/秒时, 一般考虑采用内鼓轮式的结构较为合适。

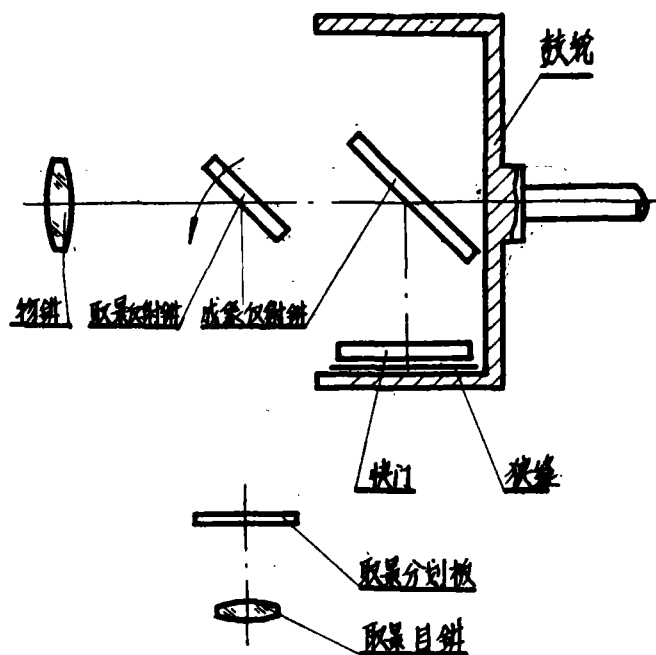


图5 内鼓轮狭缝相机典型光学系统图

内鼓轮式狭缝相机的胶片运动速度完全取决于鼓轮材料的极限速度和驱动动力的功率。采用真空技术和高速轴承,可以使胶片的运动速度提高到300米/秒以上。图5是内鼓轮狭缝相机的典型光学系统图。很显然,它要求摄影物镜有足够大的后工作距离,并且在机构设计和电气布线上都有一定的困难。此外,当胶片的运动速度过低时,由于它所产生的离心力不足以使胶片紧贴在鼓轮内壁上,会产生离焦和滑片现象。只有运动胶片的离心力大于这一段胶片的重量时,才能保证胶片运动时紧贴在鼓轮的内壁上。某一微段 ds 的胶片重量为:

$$G = F \gamma ds \quad (7)$$

假定这一段重量等于它的离心力,则得

$$v_{min} = \sqrt{rg} \quad (8)$$

公式(8)表示内鼓轮狭缝相机使用时有一个速度下限,这速度下限只与鼓轮内壁的半径有关,当鼓轮尺寸决定以后,使用时,胶片的速度就不能低于某一个数值。图6表示最小胶片速度

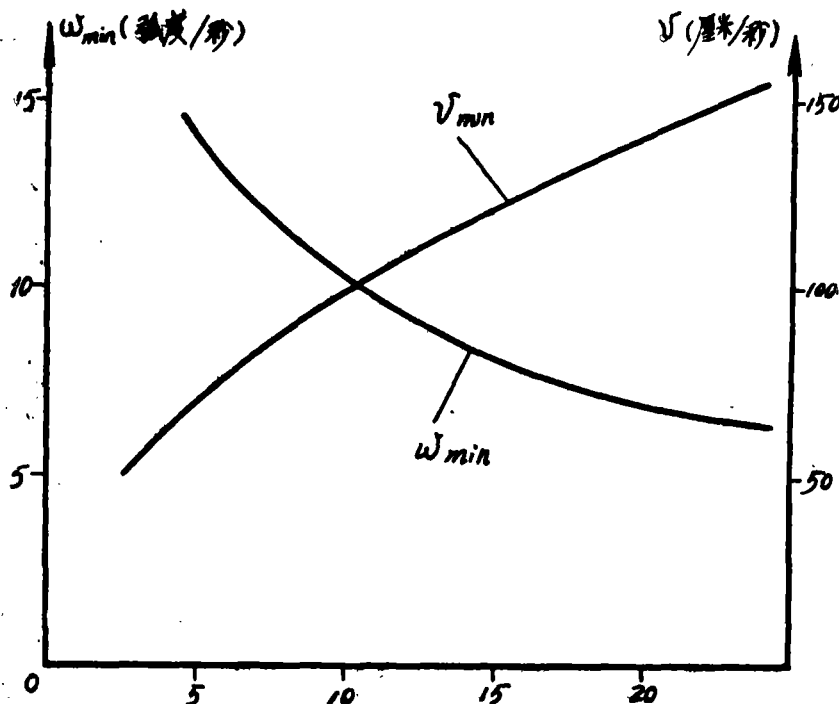


图6 速度下限与鼓轮半径的关系

和最小鼓轮角速度与鼓轮尺寸的关系曲线。若在鼓轮内壁装上精确的胶片槽,使胶片环有很准确的径向位置,这就可以使胶片在更低的速度下进行弹道同步摄影了。

3. 转镜式狭缝相机

转镜式狭缝扫描相机的基本原理如图7所示:被摄物体通过物镜 L_1 在狭缝 S 平面上成一象 A' ,狭缝长度方向垂直于图平面。被狭缝 S 所切割成的一条象元被投影镜 L_2 再次成象,并由反射镜 M 反射后在胶片面 F 上成二次象 A'' 。此时象 A'' 只是物体象的某个截面上的一窄条。反射镜一转动,象 A'' 就沿着胶片的圆弧上进行扫描。若象的扩展方向是沿着狭缝长度方向进行的,则在胶片上的记录结果是现象空间位置和时间的关系函数,所记录下来的曲线正切函数即为现象的扩展速度;若象的扩展方向与扫描方向一致,并实现速度同步,即可以进行一般所说的同步弹道摄影,在胶片上记录的是运动目标的单幅瞬时照片。

用转镜扫描原理可以大大提高狭缝象相对于胶片的运动速度，它的时间分辨率可以达到 10^{-8} 秒，扫描速度达到 60,000 米/秒，这要比鼓轮式狭缝相机的扫描速度高出两个数量级。

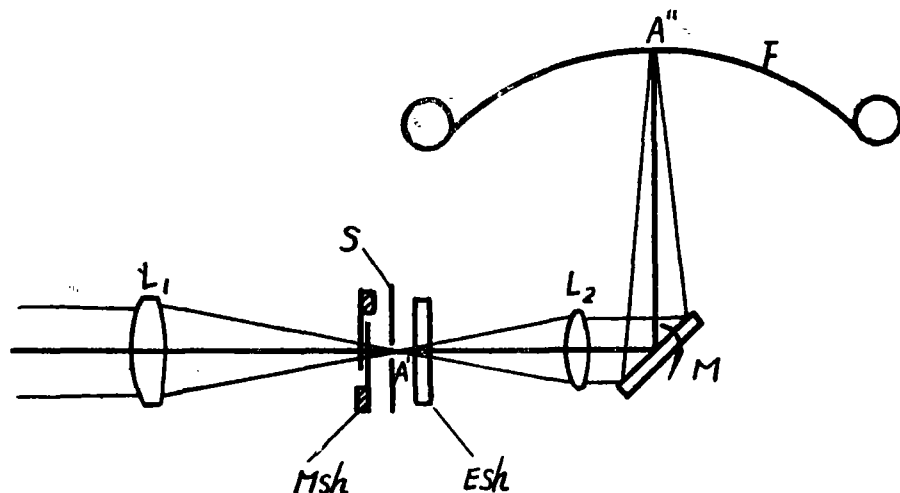


图7 转镜式扫描相机的原理图

转镜式狭缝扫描相机多用来诊断爆炸现象，等离子体及激光核聚变等超高速现象，很少用在常规兵器靶场来测试飞行弹体的参数。这有以下几个原因：一、飞行弹体一般都是非发光体，而转镜式狭缝扫描相机孔径比较小，在高速情况下，照明问题是很难解决的；二、与现象的触发信号很难匹配；三、转镜式相机的价格昂贵，使用条件也比较苛刻，不宜于在野外大量频繁使用；四、单从扫描速度来说，靶场上大部分飞行目标的运动速度都不超过 1000 米/秒，这用各种类型的鼓轮相机也就可以应付了。所以，对于转镜式扫描相机就不作详细介绍了。但是值得参考的是一种新式的触发式转镜扫描相机，它是英国 Hadland 公司为同步弹道摄影专门设计的。采用了触发式旋转反射镜和固定式平面 Polaroid 胶片系统。它的原理如图 8 所示。物镜 L_1 成目标的一次象于狭缝上，被狭缝切割成一窄条象元。准直物镜

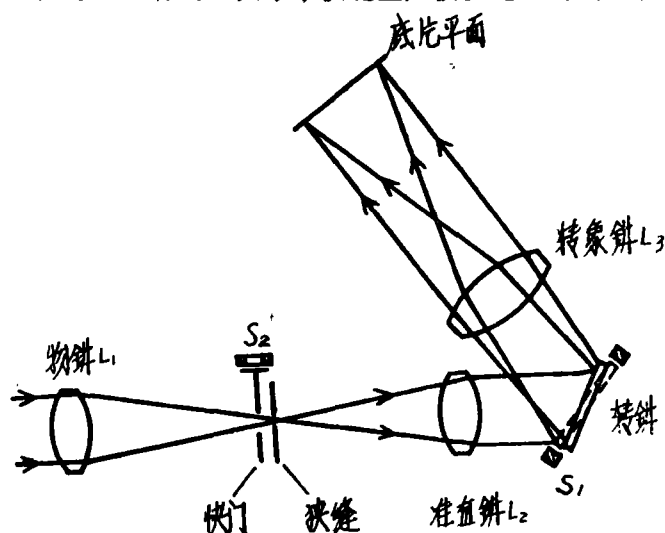


图8 Sychrospeed相机的原理图

L_2 把这象元光束以平行光通过旋转反射镜，再由转象镜 L_3 把象成在胶片平面上。由于 L_3 是接收平行光速，所以最后的象是成在平面上的，这就可以采用 Polaroid 胶片，这不但可

以节省大量冲洗和处理胶片的时间,而且在现场即时可以看到现象的飞行照片,对测试工作会带来极大的方便。旋转反射镜是由定子线圈接收触发式电容器放电来启动的,最高转速达到 200 转/秒,它可以在接收到触发信号后 0.45 毫秒里达到预定的转速。由于旋转反射镜的启动时间很短,这就可以拍摄离炮口很近的飞行弹丸的照片。在胶片平面上的扫描速度从 40 米/秒到 360 米/秒可调,可以很清楚地拍影速度为 1,200 米/秒步轮子弹的飞行照片。一个电子机械式快门装在一次象面附近,有三种速度可供选择。这是一种很理想的靶场测试仪器,它结构简单,工作适应范围大,使用方便。

4. 变象管式狭缝扫描相机

变象管相机的扫描速度目前已经达到 10^6 毫米/微秒。可以用它来进行同步弹道摄影。基本原理如图 9 所示。主物镜把目标的一次象成到狭缝平面上,这一次象被狭缝切出某一个截

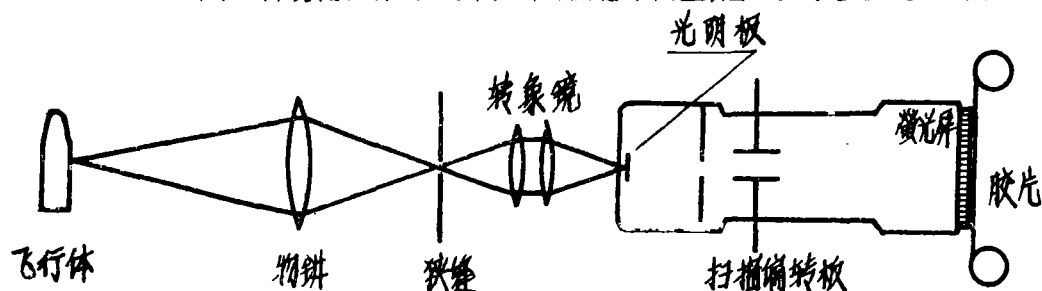


图 9 变象管扫描相机原理图

面后,通过转象镜成在变象管的光阴极上,在光阴极上形成电子象并被加速聚焦在荧光屏上。如果把一个适当的锯齿波加在变象管的扫描偏转板上,使得电子束的偏转速度与目标在荧光屏上所成的象的运动速度相同步,即能实现变象管的同步弹道摄影。最后用接触式光学纤维面板与干板或软片耦合,得到一幅分辨率很高的照片。

变象管狭缝相机比其它类型的狭缝相机有三个优点:一、变象管本身可以做到有很大的光增益,这对于靶场摄影中头痛的照明问题是一个很大的福音;二、扫描速度可以极高,适应拍摄靶场上一些速度极高而尺寸又小的飞行弹体,如手枪子弹之类的目标;三、接收同步开启信号很方便,开启和关闭的时间都要比机械式快门短得多,调节扫描速度也是很方便的,并且可以达到很高的精度。因此,把变象管设计成同步弹道摄影机其前途是很乐观的。

二、旋象系统

胶片的运动方向与目标在胶片面上所成的象的运动方向一致是实现同步弹道摄影的先决条件;而要进行狭缝扫描摄影则要求胶片的运动方向与目标象的运动方向相垂直。但是目标的运动方向是各各不一的。为了使目标所成的象的方向随时可以调整到摄影所需要的方向,必需在摄影的光学系统或机械结构上考虑旋象系统。下面介绍几种在设计时可考虑的旋象方案。

1. 整机转动

使整台摄影机绕其摄影光轴旋转显然可以实现旋象的目的。但这种方法必定会使得结构上庞大,并且在传动系统上必需要考虑到相机处于任何位置时都能保证高速传动的可能性。浙江大学生产的 XG-1 型狭缝摄影机的旋向是利用绕与光轴平行的某一转轴转动来实现的。这样,在结构上比较简单一些,但是不能实现旋向 360° 。

2. 双棱镜旋象器

图 10 所示的是双棱镜旋象器的工作原理。它由两块直角棱镜组成，下面一块棱镜与摄影机的物镜相接，上面一块棱镜可以绕其共同的光轴旋转 360° 。随着这块棱镜的旋转，目

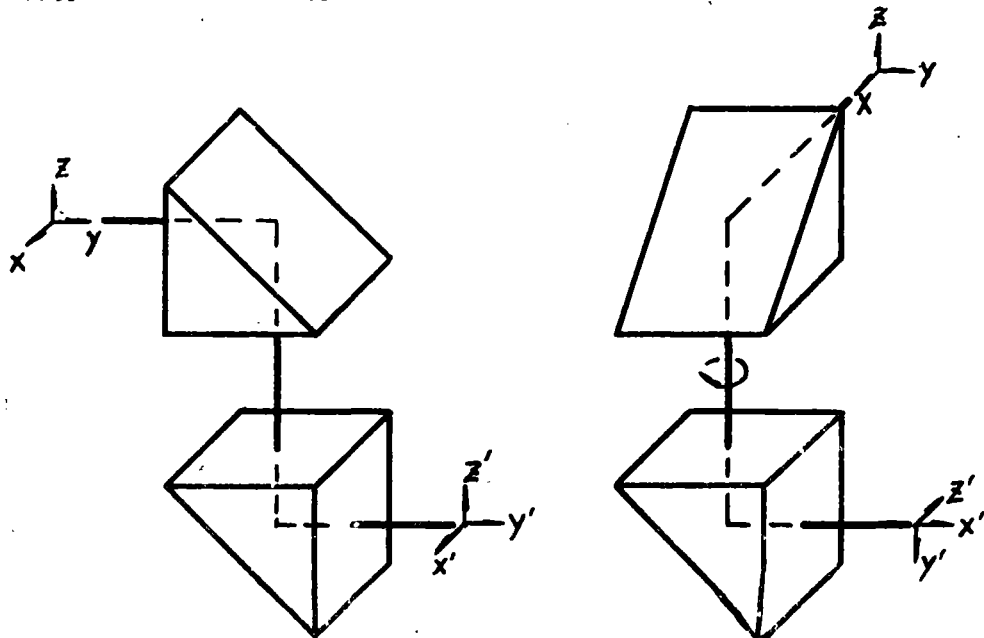


图 10 双棱镜旋象器的工作原理

标象的座标系统也随着变化，实现旋象的目的。德产的 Pentazet-35 高速摄影机就是采用这个原理进行旋象的。它可以很方便地把这双棱镜附件装在摄影物镜前头使用，这对于没有考虑旋象系统的摄影机来说是很实用的。但是，当物镜的口经过大时，这种旋象器就有些庞大了，并且会产生光晕；另外，两个棱镜所产生的象差也会影响成象质量。

3. 道维棱镜或 Δ 棱镜旋象器

把道维棱镜或 Δ 棱镜放在摄影系统的平行光路中都可以实现旋象目的。它的尺寸小，结构简单，精度很高，做旋象器是很理想的。但是系统中必须要有平行光路，所以在描缝相机中是不常用的。

4. 旋转反射镜旋象原理

从图 5 中可以看到内鼓轮摄影机有一块成象反射镜，把主物镜的成象光束折向鼓轮的内壁上。我们可以用此反射镜使其绕物镜的光轴旋转来实现旋象。参看图 11。

假设目标的座标系为 xyz ，反射镜的位置如(a)所示。通过反射镜后，影象的座标系为 $x'y'z'$ 。此时 z' 方向在鼓轮圆周的运动方向上。当反射镜绕其物镜光轴转过 90° 后为(b)所示位置，这时影象座标系中的 y' 方向与鼓轮圆周运动方向一致了。因此，只要转动反射镜就可以适应任何运动方向的被摄目标实现同步弹道摄影或狭缝扫描摄影。

三、快门

通常快门是用来控制一幅象的曝光时间进而控制其曝光量的。但是狭缝相机的快门只是为了在目标进入视场里时开启光路并防止胶片重复曝光。因此，对于连续输片式狭缝相机来说就无需要快门了，因为它工作时，胶片不会重复曝光。变象管相机的曝光是靠电脉冲信号来控制的。这里主要讨论用于鼓轮式狭缝相机的快门。图 12 是快门的工作曲线。 $0-t_a$ 为快门开启段， t_a-t_b 为快门全开段， t_b-t_c 为快门的关闭段。鼓轮式狭缝相机每次装片容量很

少，而运动速度都很快，所以拍摄的时间很短。这就要求快门的开启段 $0-t_a$ 和关闭段 t_b-t_c 要在毫秒级甚至更快。开启段时间 t_a 直接影响到炮弹能否在离炮口很近的地方进行拍摄。离炮口很近处的弹体姿态和参数往往是最重要的。

设计快门时有几下几点要求：

(1) 为了尽量减小快门运动的行程，提高快门运动速度，应该尽可能地把快门位置安排在狭缝附近；

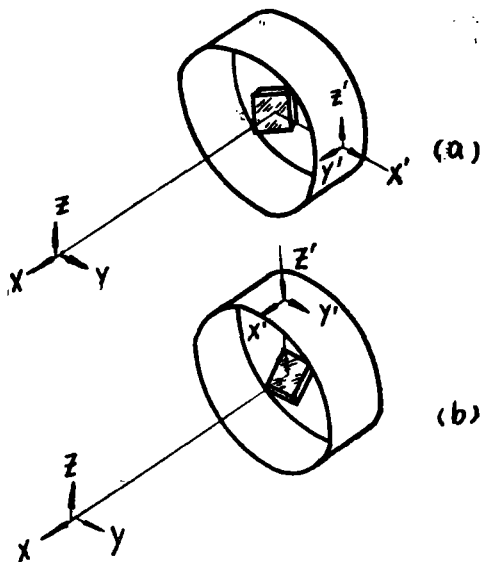


图 11

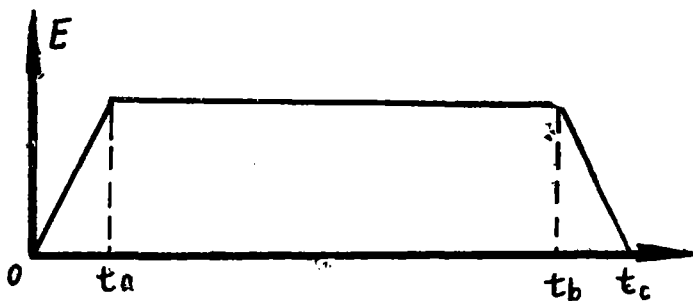


图 12 快门的工作曲线

(2) 快门要便于接收信号，实行有效地控制，开启和关闭两个动作应该单独分开，互不干扰。开启和关闭动作之间的时间间隔（即 t_a-t_b ）要求在较大的范围内可调，以满足胶片在不同速度下进行摄影。

(3) 运动部件要求灵活、可靠，尽可能减小运动部件的惯量。

下面介绍几种快门结构：

浙江大学生产的 XG-1 型狭缝相机所采用的快门结构如图 13 所示。它是由正反两块完全一样的活动板和相应的构件组成的。两活动板分别开有一通槽，平时槽与槽的位置相互错开，以防漏光。在准备摄影前，用手拧动拨杆 1，把活动板 2 向右移动直至接通微动开关 3，使电磁线圈 4 通电带磁、吸住活动板。当相机的控制线路送入开启信号时，切断电磁线圈的电

路，使其失去磁性，活动板即靠扭簧 5 的弹力弹回原来的位置，活动板上的开槽位置也移过一段距离，正好与反面活动板的开槽位置吻合，光路即通，胶片进行曝光；当关闭信号送入

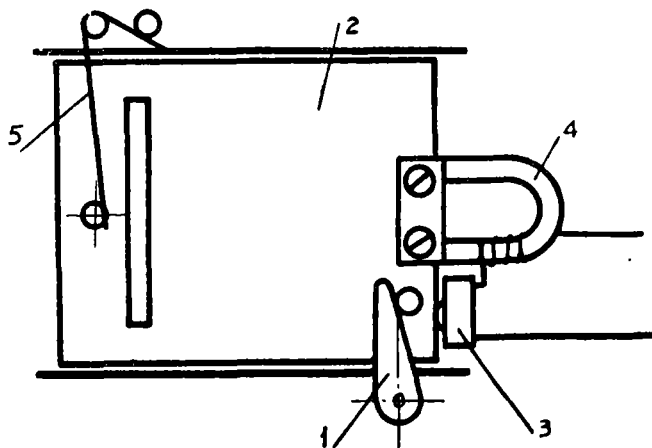


图 13 XG-1 型狭缝相机的快门结构

时，切断反面活动板的电磁线圈电路，反面活动板同样移过一个距离，使开槽错开，光路关闭，完成一次摄影。

这套快门装置结构简单，工作可靠，从给出指令信号到快门全开的时间以及从给出关闭信号到全闭的时间都为 3.5 毫秒。快门开启的持续时间由电子线路控制。

由于它是平面安排的，比较适用于外鼓轮狭缝相机。

下面介绍另外一种圆柱体快门的结构。参看图 14。图中 1 是一个铝制圆柱体，中间沿

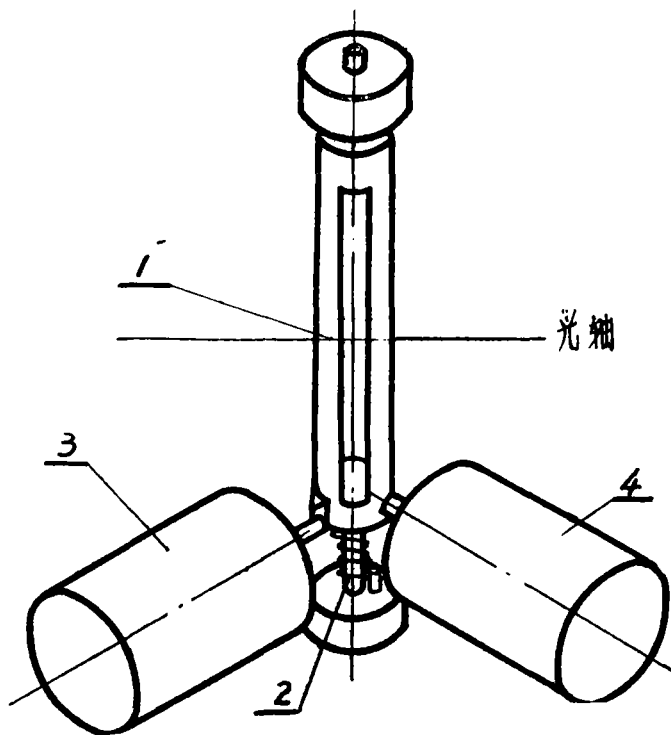


图 14 圆柱体快门

轴方向开一长槽所作通光用。工作前先把圆柱体顺时针旋转上紧扭簧2（图示位置即为快门上紧的位置）用电磁线圈3的轴头顶住圆柱体1的一个凸缘，此时圆柱体上的开口槽与成象光束垂直，光路被遮拦。当摄影的开启信号送给电磁线圈3时，电磁线圈3的轴头向后动作，释放圆柱体，使圆柱体旋转90°，被另一个电磁线圈4的轴头档住圆柱体的凸缘，使它不能继续转动。此时圆柱体的开槽正与成象光束一致，使胶片感光。当控制线路中的关闭信号送出时，由电磁线圈4接收，驱使它的轴头向后运动，再次释放圆柱体使其转过90°，把光路遮住。完成一次快门“关—开—关”的动作。这种快门的结构简单紧凑，开启和关闭的动作可以达到5毫秒以内。适合于内鼓轮狭缝相机。但是就其结构原理来说，它每一次动作都是由两个步骤叠加而成的，即电磁线圈的轴头依靠电磁力克服与圆柱体凸缘的摩擦力所进行的动作以及圆柱体本身依靠弹簧的扭矩所作的旋转动作。而前一个动作是多余的，这样势必拉长了快门整个动作的反应时间。用高速摄影技术对它进行拍摄研究结果表明，以上这两个动作的时间均为2-3毫秒左右。若能在结构上省去一个动作的话，快门的反应速度将能大大提高。

图15是改进了的圆柱体快门。

它由两个空套在一起的独立的圆柱体组成。两个圆柱体分别开有通光槽，其中圆柱体1的缝槽与光轴垂直，档住光路；圆柱体2的缝槽与光轴平行，可以让光路通过。每个圆柱体上都有两个对称的凸缘分别与一个“门”字的电磁线包铁芯相衔接，组成一个电磁回路。上紧快门的同时，电磁线圈即通上电，铁芯就牢牢抓住快门圆柱体，使它不能转动。当控制线路给出“开启”信号时，电磁线圈的电路突然切断，随之磁路也被切断了，圆柱体靠扭簧的扭矩转过90°，使两个圆柱体的光缝重合，光路即通光。当第二个电磁线圈由于接到“关”信号而切断电路时，圆柱体2也作90°的转动，把光路关上，完成快门的一次完整的动作。

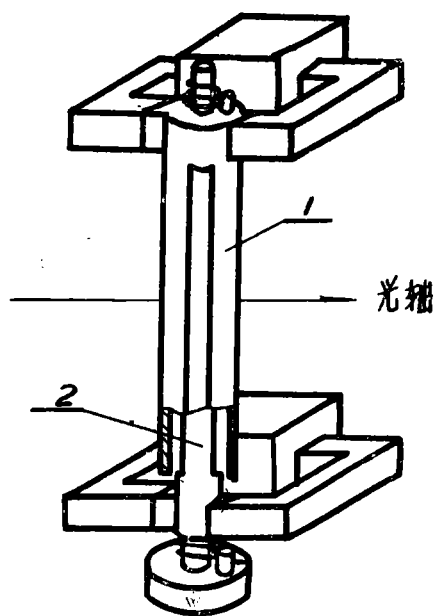


图15 改进了的圆柱体快门

这种快门的每一个动作只有一个步骤，所以它的反应速度要比前一种快门来得快。

快门的开启信号可以由铜丝网，天幕靶或压力开关加上延时线路来提供。关闭信号可以由延时线路提供，也可以设计成记录鼓轮转一圈所产生的磁信号或光信号数目来提供。

应该指出，用于靶场上对飞行弹体进行同步弹道摄影时，由于快门动作缓慢而造成胶片的重复曝光也没有多大关系。因为目标是不会重复在胶片上出现的。重复曝光只是背景部分。而背景部分是不成象的。但是若作阴影摄影时，背景很亮，那就又是另一码事了。

四、装片装置

鼓轮狭缝相机的胶片是装在鼓轮的外圆周面或内圆周面上的。但鼓轮却密封在摄影机箱体的里面，装片或取片都需要越过箱体在活动的鼓轮表面进行，显得相当麻烦。因此，设计一套理想的装片机构是这类相机设计时需要重点考虑的问题之一。

早期的一些鼓轮式狭缝相机的装片或取片过程都需要把整台相机搬进暗室里进行。拍摄

以前，把相机搬进暗室，打开箱体门，在鼓轮的圆周面上装好片，再拧紧箱体盖子，才能把相机搬到现场的固定测点上去。拍摄以后又得把相机搬入暗室把胶片取出来冲洗。这在野外使用是极不方便的。

为了能在现场装片和取片，设计者们想出了很多方法和机构来解决这个问题。我国近年来研制成功的各种鼓轮型狭缝相机的装片机构虽然结构方法各有不同，但在实践中都还行之有效。浙江大学研制的 XG-1 型狭缝相机的装片是利用一只特制的暗袋，蒙住相机的箱体，打开后盖门、露出鼓轮、进行装片和取片。为了便于卡住片头，鼓轮的母线方向开有一条片缝、见图 16。将予先准备好的长度为 0.54-0.56 米的胶片一端塞进鼓轮的片缝中，并且用一只卡簧卡住该片头，然后把胶片绕鼓轮外圆一周，将另一端胶片也塞进该片缝中，再用另一卡簧卡住、关上后盖，即可进行摄影。取片时也同样利用暗袋进行操作。

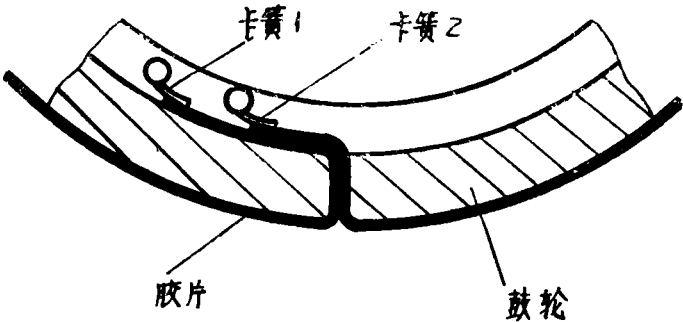


图 16 XG-1 型狭缝相机的装片机构

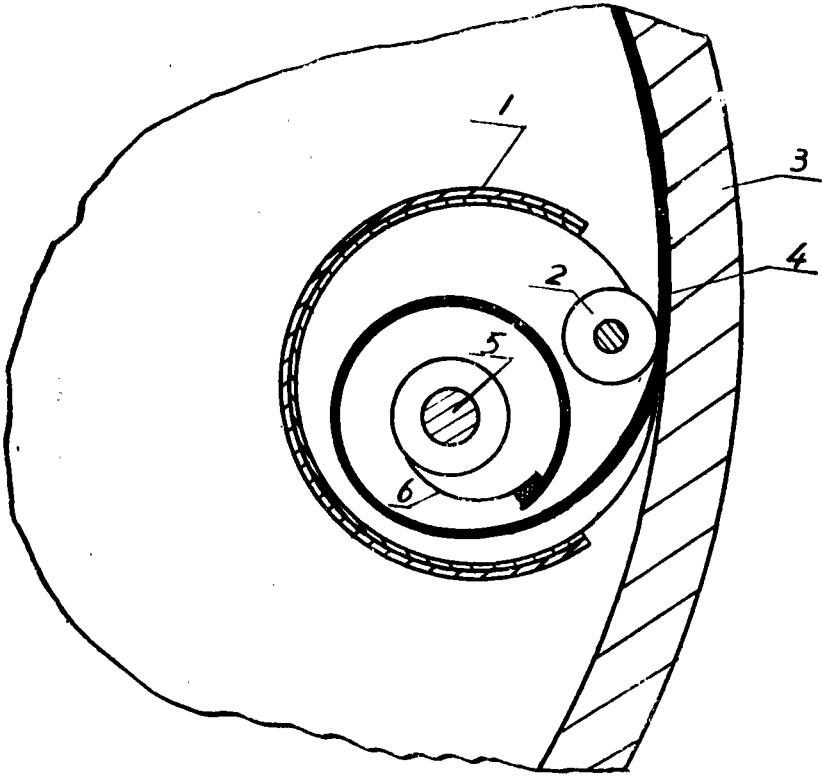


图 17

203 所研制的外鼓轮狭缝相机的装片方法也很巧妙。由于它的鼓轮直径较小，索性就把鼓轮本身设计成暗盒型式。每台相机配备有若干个暗盒式鼓轮，现在场即以换鼓轮的方法装片和取片。

以上两种装片机构是在外鼓轮相机上使用的。但是对于内鼓轮相机来说，现场装片就更困难一些了。它是一个特殊的带输片机构的暗盒体。将它插入箱体里以后可以用箱体外部的机构操作鼓轮里的装片动作，把胶片全部装入鼓轮的内表面。摄影完后，通过这套机构从鼓轮内壁把拍摄过的胶片密封取出，送去显影。下面介绍两种用于内鼓轮相机的装片机构。

图 17 是美国 W.E. Buck 发明的一种内鼓轮相机的特殊片盒机构。它由暗盒体，一套送片机构和一套保险装置组成。装片时，把暗盒体插入摄影机的箱体里。旋转暗盒体外部的一个手柄，带动暗盒盖 1，使暗盒体敞开出一部分；与此同时，滚轮 2 把胶片压住鼓轮的内表面，旋转暗盒体外部的另一手柄，带动主轴，并通过一些齿轮传动机构带动滚轮 2 和鼓轮 3，以一定的速度把胶片 4 装入鼓轮的内表面上。这时通过一套偏心机构使滚轮 2 和鼓轮脱开，摄影机就可以进行拍摄了。拍摄完毕以后，还要借助于偏心机构使滚轮压住胶片，反方向旋转手柄，并依靠主动轴 5 上的小刷子 6 的帮忙，把胶片徐徐收回到暗盒体内，然后旋转暗盒盖 1，把开开的门关上，暗盒体即可从相机中取出。

另外，这暗盒体还有一套保险装置，为了保证在装好胶片之前不能开机或在未完成收片动作之前不能从相机中取出。结构巧妙，设计新颖，很值得参考。由于装置复杂，限于篇幅，不多妄抄了。

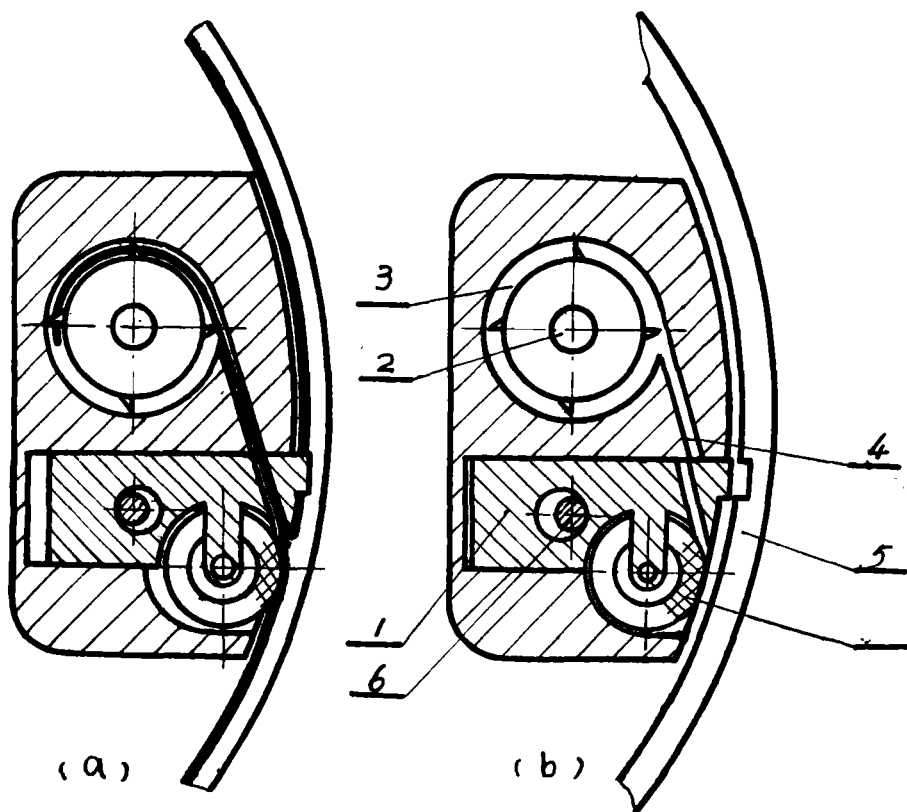


图 18

图 18 是又一种装片机构。它是由中国科学院西安光机所与中国人民解放军 59182 部队共同研究而成的。

这装片机构实际上是一个带偏心滑块 1 的暗盒。2 为片轴，片轴上带有若干个弹性的抓片爪。事前，把固定长度的胶片装片暗盒腔体 3 中，并把片头塞进片盒缝 4。在现场装片时，把暗盒体插入相机靠近鼓轮 5 内壁的一定部位，如图 18b 所示。在暗盒体外部旋转偏心轴 6，使滑块移动到(a)图所示的位置。这时，滑块上的摩擦轮与鼓轮内壁接触，同时滑块上的顶头正好卡住鼓轮，使之固定不动。转动片盒体外部的一个手轮，顺时针转动片轴和摩擦轮（片轴和摩擦轮用齿轮啮合），胶片就慢慢地输送到鼓轮的内壁上。胶片输送完毕以后，把滑块恢复到原来的位置，滑块上的摩擦轮和顶头均脱离了鼓轮，这时才可以启动相机，进行摄影。拍摄完毕以后，再把摩擦轮和顶头靠到鼓轮上，逆时针转动摩擦轮，就能够把胶片收回暗盒腔里。把滑块恢复到原先的位置就可以把暗盒体从相机里取出来，送到暗室里进行冲洗。一台相机配备若干个暗盒，在现场使用时就方便多了。

五、结束语

鼓轮式狭缝相机结构简单，价格便宜，能够胜任靶场中许多项目的摄影测试工作，因此便于大量使用；触发式转镜狭缝相机由于用了 polaroid 胶片，在靶场中将会受到特别的欢迎；变象管狭缝相机很大的光增益和很高的扫描速度大大提高了狭缝摄影的价值，对于一些照明困难，速度很高的使用场合将是特别有效。

我们在狭缝相机设计方面的工作做得还很有限，许多体会还需要在今后工作中去摸索。各行各业应用狭缝相机的同志们在实际工作中积累了丰富的经验，它将会大大促进和丰富设计工作的完善和成熟。

参 考 资 料

1. Stanley.M.keen. Application of the slit-aperture camera for abservation and date acquisition in projective studies. Proceedings of 5 th C.on HSP. P375
2. 陈良益：《狭缝相机设计的初步尝试》光机技术 1977 年第 1-2 期
3. 陈俊人：转镜扫描高速摄影机的理论基础 光机技术
1972 年第一期
4. A.E.Haston, High-speed photography and photonic recoding J. Phys.E, Sci Instrum, Vol.11.1978
5. А. С Дубовик. Фотографическая регистрация Быстропротекающих Процесов
6. A.E.Huston, A.Tabrar, Synchrospeed—a new synchroballistic Camera. Proc. of 12th Int. Conf. on High-speed Photography. 1976. P230-233
7. Hollock.F. SWIFT Survey of Recent High-Speed Photographic developmant in North America.
8. 浙江大学仪系：“XG-1 型狭缝相机”说明书，1978.
9. W.E.Buck. Film loader for rotating drum camera U.S.P 3.007.384.