

棱镜转向机构在爆轰测试中的应用

韩立石

(西南流体物理研究所)

摘要 本文阐述了别汉棱镜转向机构的原理和应用技术,并给出了技术要求和爆轰试验中应用转向机构获得的实验数据。

关键词 棱镜;转向机构。

1.引言

转镜式高速扫描相机在爆炸实验中得到了广泛的应用。为了满足不同的使用要求,人们为它设计了许多附加光学装置,转向机构是重要的附加装置之一。所谓转向是指相机中的固定狭缝通过转向机构后,对应于被摄物平面的不同方位,这样,当两台扫描相机联用时,一台(不加转向机构)瞄准物平面某一方向,另一台(加转向机构)可以瞄准与前者成任意角度的另一方向,这在爆轰实验中往往是十分必要的。

转向机构除了上述用途外,还可置于分幅相机中,如使之与被摄高速旋转物体配合(转动角速度为被摄旋转体的 $1/2$),便可把高速旋转图象“冻结”成静止图象,然后分幅观察被摄旋转体的变形或破坏过程,这时,转向机构称为图象消转仪^[1]。在实验力学中也有广泛的应用。

本文着重阐述扫描相机中一种新型、小巧实用的别汉棱镜转向机构与扫描相机的配合使用。

2.常用转向机构的简单比较

(1) 三镜转向机构

三镜转向机构在爆轰试验中最早得到应用,它的转向原理如图1所示。

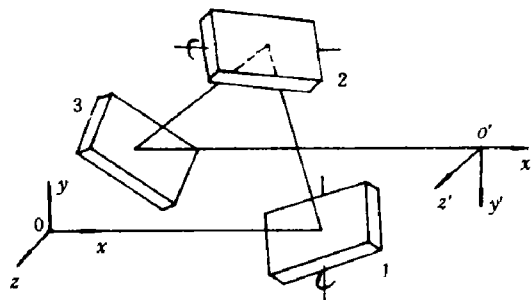


图1 三镜转向机构

右手坐标 $0-xyz$ 依次经过 1, 2, 3 号反射镜反射后, 得到左手坐标 $0'-x'y'z'$, 物象对应关系为“镜象”。

此机构配置于GSJ型相机的第一物镜镜筒上, 当它绕相机光轴转动时, 象即随之旋转, 而相机中的狭缝固定不动, 故可载取象平面的任意方向。

由于反射镜的面形误差以及此机构减小了原相机的相对孔径, 所以目视分辨率略有下降。这样就难以记录光纤导光信号或弱光事件(如雷管爆炸波)。虽然它可实现一台相机同时拍摄同一被摄物体的不同方位, 但是两象的光程不等, 使两象难以同时清晰。操作时需要二人配合, 通常在半小时内完成整个操作程序。

(2) 光楔转向机构^[2]

此机构也可使同一被摄物体在底片上构成两个不同方位的象, 它配置于GSJ相机的第一物镜镜筒上。光楔机构如图2所示, 为了消色差, 选用两种不同玻璃组成消色差光楔。玻璃环1是使光楔所成的象与原象的光程相等。1与2的表面积相等, 以保证两象的照度相同。

由于此机构旋转的角度为 $\pm 15^\circ$, 故被摄过程的方位是有限的, 且测量基准不与底片垂直, 测量不便。若光程补偿不理想, 底片上两象的清晰位置分离, 调焦于折衷位置时, 并考虑光楔引入较大彗差, 相机的分辨率降为17线对/毫米。

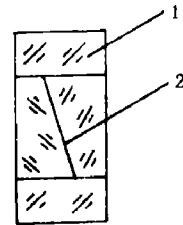


图2 光楔转向

(3) 棱镜转向机构

棱镜和共轴球面系统组合, 此棱镜必须满足以下条件: ①、在平行光路中使用, 展开后等效的玻璃板的两个表面必须平行, 否则会破坏整个系统的共轴性; ②、在会聚光路中使用时还要使棱镜的入、出射表面垂直于系统的光轴, 否则会破坏整个系统的对称性。在平行光路中常用道威(Dove)棱镜, 在会聚光路中常用别汉(Pechan)棱镜(也适用于平行光路中)。

此机构避免了上述两种机构所存在的问题, 其结构紧凑、象质满意、操作简单、迅速。

3. 别汉棱镜的成象方向与转象规律

(1) 确定别汉棱镜成象方向的方法

图3是别汉棱镜($FB-0^\circ$)的结构平面图。

从O点发出的光束射入半五角棱镜的AB面, 经过两次反射后, 通过间隙为0.05毫米(不大于0.1毫米)的空气层进入等腰棱镜, 又经三次反射后由HI面射出。

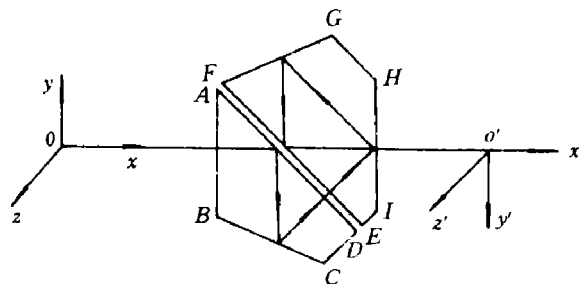


图3 别汉棱镜转向

为了表示物和象的方向关系，规定物空间的直角坐标 $0-xyz$ 的 x 轴与入射光轴重合， y 轴位于棱镜主截面内、 z 轴垂直于主截面。 $0'-x'y'z'$ 表示 $0-xyz$ 坐标通过棱镜后象的方向，它由 $\vec{r}' = A\vec{r}$ 确定。入射光线向量 \vec{r} 经作用后变为出射光线向量 \vec{r}' 。

当用无屋脊面的奇次反射棱镜时，所成的象为“镜象”。该性质确定了GSJ相机多狭缝扫描方向的第一条波形是未配置棱镜转向机构时的最后一条波形。

(2) 棱镜转动时象空间方位的变化规律

从应用光学导出的棱镜转动定理——假定物空间不动，棱镜绕某一方位的轴 \vec{P} 转 θ 角，则象空间首先绕 \vec{P}' 转 $(-1)^{n-1}\theta$ 角，然后绕 \vec{P} 转 θ 角。此定理可用下述代号表示

$$[A'] = [(-1)^{n-1}\theta\vec{P}'] + [\theta\vec{P}]$$

符号 $[A']$ 只是作为象空间转动状态的一个代号， $[\theta\vec{P}']$ 和 $[\theta\vec{P}]$ 表示有限转动的符号。 \vec{P}' 代表棱镜转轴方位的单位向量 \vec{P} 的共轭象； θ 为棱镜转角，当对着转轴向量观察时，逆时针为正，顺时针为负； n 为棱镜的总反射次数。

对于别汉棱镜，由于入、出射光轴平行同向，所以有 $\vec{P} = \vec{x}$ ， $\vec{P}' = \vec{x}' = \vec{x}$ ，即

$$[A'] = [(-1)^{5-1}\theta\vec{x}] + [\theta\vec{x}] = [2\theta\vec{x}]$$

这说明棱镜绕 \vec{x} 轴旋转 θ 角后，象就转过 2θ ，象的旋转方向与棱镜的旋转方向一致。图4示意了物坐标 $0-xyz$ 不动，棱镜按顺时针旋转 45° 后转动前的象坐标 $0'-x'y'z'$ 的方位变为 $0''-x''y''z''$ （图中棱镜简化为平行玻璃板）。

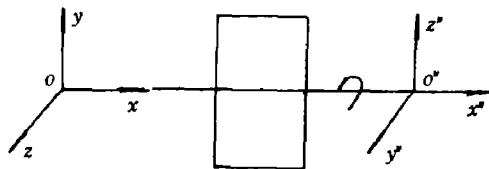


图4 棱镜旋转时图象的旋转

4. 别汉棱镜转向机构研制中的有关技术问题

(1) 制造误差的控制

制造误差将产生色散和象偏转，引起象模糊，而这二者均与棱镜表面的光学不平行度有关。它是由两个互相垂直的分量所构成：光轴截面内的分量称为第一光学不平行度，用 θ_1 表示，常由光轴截面内的角度误差引起；垂直于光轴截面的分量为第二光学不平行度，用 θ_0 表示，常由棱差引起的。由《光学仪器设计手册》查得 θ_1 、 θ_0 的允许量，一般控制在 $2'-3'$ 。若加工能保证，则将有较好的象质。

(2) 棱镜的象差

相当于平行平板玻璃的棱镜在会聚光路里使用时会带来象差（除场曲外），这些正象差需要由相机共轴系统给以补偿。

例如，因不同孔径角的轴上点同心光束入射到与光轴垂直的平行玻璃板上时，有不同的轴向位移，因而产生球差，使成象不完善，经计算球差值为 $+0.43$ 毫米，而GSJ相机的第一物镜轴上点剩余球差为 -0.629 毫米 ($0.7h$ 处)，经补偿后，剩余球差下降。

从目视鉴别率与摄影鉴别率（图5）的结果看：图案中线条边缘清晰、黑白分明，边缘

上无颜色, 条纹边缘无亮的“毛刺”和拖尾, 各方向上成象情况基本一致。经检查目视分辨率为53线对/毫米。

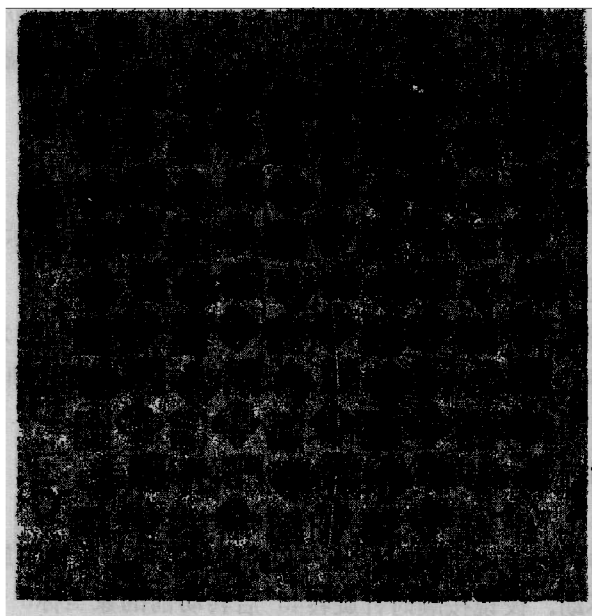


图 5

(3) 光能损失

别汉棱镜光能损失的原因有二个: 第一, 光束在棱镜表面的反射; 第二, 光束通过棱镜介质后的吸收。

据应用光学给出的光学系统中光能损失的计算公式, 得知别汉棱镜的透射系数

$$\tau = (0.90)^{N_2} (0.99)^{N_3+L} \quad (A)$$

式中 N_2 为非全反射面数(2面); N_3 为镀透光膜面数(4面); L 为沿光轴计算的棱镜厚度即棱镜展开后玻璃板厚度, 以厘米计, 现研制的别汉棱镜的通光孔径 $D=50$ 毫米, 由《光学仪器设计手册》查得 $L=4.621D \approx 23$ (厘米)。

将以上数据代入(A)式, 得到该棱镜的透射系数约为61%。实验证明配有此机构的GSJ型扫描相机所摄的光纤导光信号的前沿黑密度仍能满足要求。

(4) 别汉棱镜在高速相机上的安装与调试

别汉棱镜用于会聚光路时, 尽量安置在会聚光锥底面直径较小处, 而GSJ型或SJZ-15型相机的第一物镜与第二物镜之间、靠近狭缝部件处的光锥底面直径较小(<40 毫米), 有利于棱镜通光孔径 D 作得较小, 光能损失小, 便于1人完成相机与转向机构的操作程序。

别汉棱镜是组合棱镜, 为了确保入、出射光线的同轴性, 必须在准直系统中进行此组合棱镜的胶合工序。由于高速相机在垂直于轴向的平面内可调, 因此, 不必苛求它严格的同轴性, 象在 $o'y'z'$ 平面(图3)内的跳动, 可利用相机的调整螺钉使象处于象面内。

(5) 轴向象移量对成象位置的影响

如图6, 相机共轴系统的两个物镜之间加入一块相当于平行玻璃板的棱镜, 第一物镜所成的象通过平行玻璃板后, 象的大小不变, 但象平面产生了一个位移 $A'A'' \approx L(1 - 1/n)$, 式中 n 为玻璃介质的折射率。据所研制的别汉棱镜的计算结果, 它产生的象移量是78.7毫米。

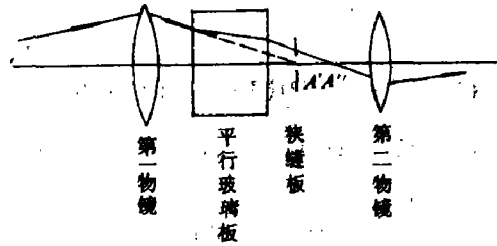


图 6

为了使第二物镜的成象性质不变，必须使通过平行玻璃板以后的象平面到第二物镜的距离和没有加入平行玻璃板前的距离相等。由于第二物镜是固定不动的，只有移动第一物镜，即向棱镜方向移动91毫米，使通过棱镜后仍成象在狭缝板上，这在扫描相机中是允许的。

5. 实验结果

图7、图8分别是未配置与配置棱镜转向机构的GSJ相机拍摄同一个爆炸物所得波形图。对图7、图8测得的数据是：波形最大起伏分别为0.27和0.28微秒；散心爆轰波形差均为0.11微秒。实验证明，使用转向机构后的结果是满意的。

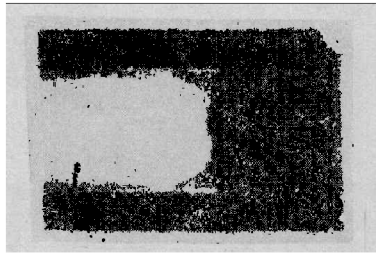


图 7

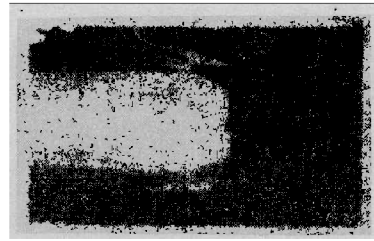


图 8

成文时，曾得到谭显祥同志的指导，特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 冯俊卿，吴敏达，图象消转仪，全国第三届高速摄影与光子学学术会议论文集（1987），127。
- [2] 谭显祥，GSJ高速摄影相机和光楔机构，私人通信（1974）。

APPLICATION OF THE PRISM TURNING MECHANISM IN EXPLOSION MEASUREMENT

Han Lishi

(Southwest Institute of Fluid Physics)

ABSTRACT The principles and applied techniques of Pechan prism turning mechanism are described in this paper. The specifications and the related experimental results obtained from explosion tests using this turning mechanism are also given.

KEY WORDS prism, turning mechanism.