

# 转镜式高速摄影机中旋转反射镜腔体的设计探讨

许家隆

(中国科学院西安光学精密机械研究所)

## 提 要

本文阐述了反射镜腔体设计的一种新设想,并详细研究分析了它的一些主要特性。最后,以实际仪器为例,把按常规设计方法所得的数据与按本文介绍的设计方法所得的数据在理论上进行了比较。

## 一、引 言

反射镜腔体设计的研究对象是改善旋转反射镜的环境工作条件以及实现它的途径。这在转镜式高速摄影机中是一个直接影响仪器性能的重要问题。鉴于国内外腔体设计中广泛采用的改变反射镜周围介质和利用玻璃球面罩实现腔体抽真空两种办法的某些不足,本文通过用平板玻璃代替玻璃球面罩的办法,试图达到既降低反射镜的驱动功率,提高使用寿命、最大限度地发挥仪器的设计性能,又简化设计、改善加工性能的目的。计算表明,这样的设想在理论上是可行的。

## 二、光学原理和像点坐标方程

转镜式条纹摄影机在加入平板玻璃后,其像点由原来  $\bar{A}$  移到  $A(x, y)$  处(如图1所示),

此时其坐标方程为

$$\begin{aligned} x &= (Q + s + \Delta) \cos 2\theta + s - z \sin 2\theta, \\ y &= (Q + s + \Delta) \sin 2\theta + z \cos 2\theta, \end{aligned} \quad (1)$$

其中  $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2$ ,

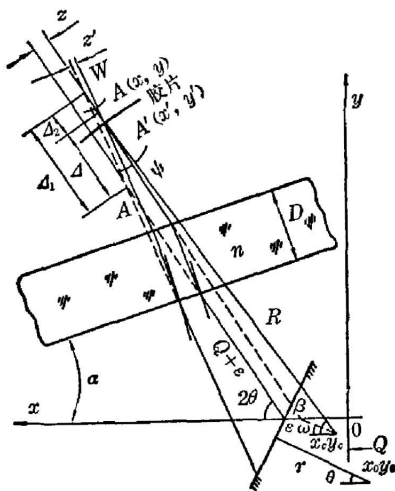


图1 加入平板玻璃后,像点  $\bar{A}$  移到  $A(x, y)$  处

Fig. 1 Image point derive after the plate glass is added

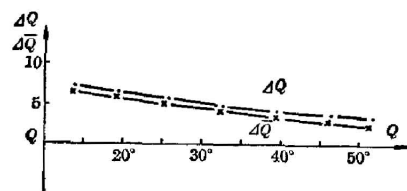


图2  $\bar{A}$ 、 $A$  的运动轨迹

Fig. 2 Trace of  $\bar{A}$ ,  $A$

收稿日期: 1981年9月28日, 收到修改稿日期: 1982年1月21日

$$\begin{aligned}
 A_1 &= D \operatorname{ctg} W [\cos(2\theta + \alpha) - \sin(2\theta + \alpha) \cos(2\theta + \alpha) / \sqrt{n^2 - \cos^2(2\theta + \alpha)}], \\
 A_2 &= D \operatorname{csc} W [\cos(2\theta + \alpha + W) - \sin(2\theta + \alpha + W) \cos(2\theta + \alpha + W) / \sqrt{n^2 - \cos^2(2\theta + \alpha + W)}], \\
 z &= D [\cos(2\theta + \alpha) - \sin 2(2\theta + \alpha) / 2 \sqrt{n^2 - \cos^2(2\theta + \alpha)}].
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

利用上面公式可以画出  $\bar{A}$ 、 $A$  的运动轨迹(如图 2 所示), 其值均用坐标原点到像点之间的距离来衡量。图中可以看出, 像点的运动轨迹在加入平板玻璃后, 其形状基本上不发生变化。

### 三、像的扫描速度

由图 1 可知, 在代替圆(胶片)上的扫描速度为  $v = R \partial \beta / \partial t = R \partial \beta / \partial \theta \cdot \partial \theta / \partial t$ , 其中  $\beta = 2\theta - \psi$ ,  $\partial \theta / \partial t = \omega$ ,  $R$  为代替圆的半径。由正弦公式可以求出

$$\sin \psi = [\sin 2\theta (\varepsilon - x_c - z / \sin 2\theta) + y_c \cos 2\theta] / R。$$

利用反三角函数的微分不难写出  $\partial \beta / \partial \theta$ , 于是得到

$$\begin{aligned}
 v &= 2R\omega \left\{ 1 - \frac{(y_0 - y_c) \sin 2\theta + (x_0 - x_c) \cos 2\theta}{\sqrt{R^2 - [( \varepsilon - x_c) \sin 2\theta + y_c \cos 2\theta - z]^2}} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{D [\sin(2\theta + \alpha) + \cos^2(2\theta + \alpha) / \sqrt{n^2 - \cos^2(2\theta + \alpha)} - n^2 \sin^2(2\theta + \alpha) / \sqrt{[n^2 - \cos^2(2\theta + \alpha)]^3}]}{\sqrt{R^2 - [( \varepsilon - x_c) \sin 2\theta + y_c \cos 2\theta - z]^2}} \right\},
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

大括号内后两项为速度不均匀性系数。图 3(a), (b), (c) 表示加入平板玻璃前后的速度不均匀性系数与  $\theta$ ,  $D$ ,  $\alpha$ ,  $n$  之间的关系。

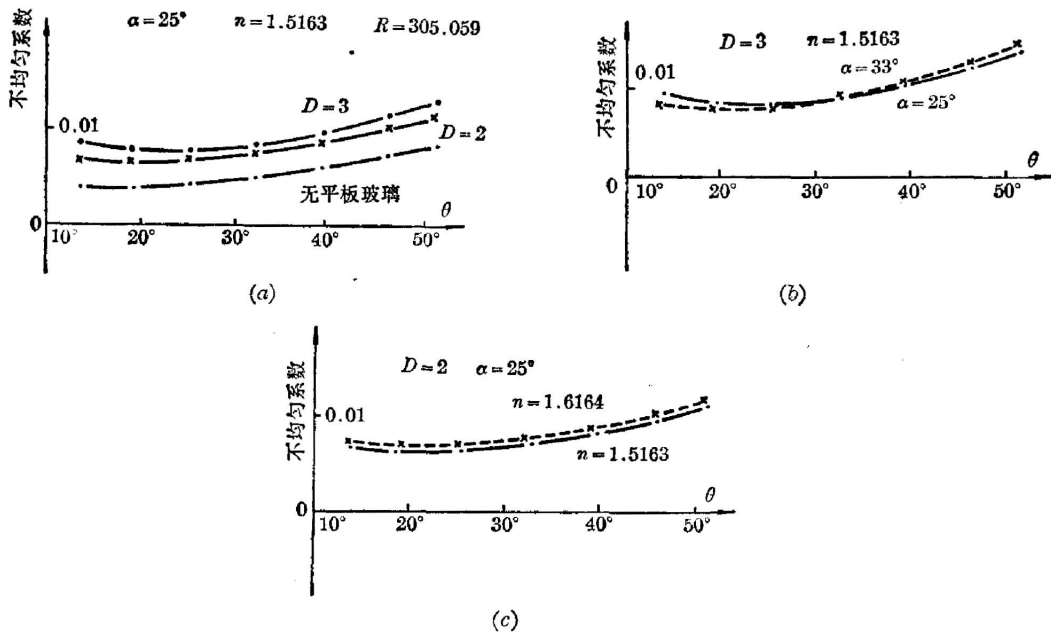


图 3 加入平板前后的速度不均匀性系数与  $\theta$ 、 $D$ 、 $\alpha$ 、 $n$  之间的关系  
 (a) 与  $\theta$ 、 $D$  的关系; (b) 与  $\theta$ 、 $\alpha$  的关系; (c) 与  $\theta$ 、 $n$  的关系  
 Fig. 3 Relationship of nonlinearity of writing rate to  $\theta$ ,  $D$ ,  $\alpha$ ,  $n$   
 (a) to  $\theta$ ,  $D$ ; (b) to  $\theta$ ,  $\alpha$ ; (c) to  $\theta$ ,  $n$

从图 3 可以看出,速度的不均匀性和平板玻璃的厚度有密切的关系。随着厚度的增加, $\theta$  角两端的不均匀性渐趋严重。 $\alpha$  角的影响也是很明显的。根据积分和偏微分运算,正确的  $\alpha$  值为  $\alpha = 90^\circ - (\theta_1 + \theta_2)$ , 其中  $\theta_1$  和  $\theta_2$  分别为反射镜的起拍角和终止角。由于平板玻璃折射率  $n$  的选择很有限,而且厚度不大,故  $n$  对不均匀性系数的影响不显著。

#### 四、轴向位移 $\Delta$ 和像差

从公式(2)可以看出,  $\Delta$  值与孔径角  $W$ 、平板玻璃厚度  $D$  以及  $\alpha$  角有关。计算表明:仪器的相对孔径越大,允许的平板厚度越薄,对  $\alpha$  角正确性的要求也越严格。图 4 就是根据计算结果绘制而成的二种  $\alpha$  值情况下反射镜旋转时轴上像点的  $\Delta$  曲线,不同相对孔径的  $\Delta$  曲线基本相似。

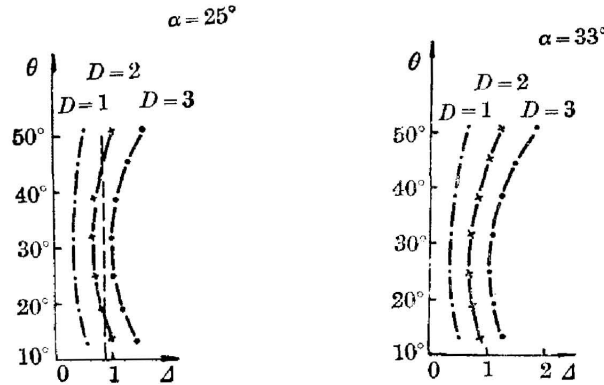


图 4 轴上像点的  $\Delta$  曲线

Fig. 4  $\Delta$ -curve of axial image points

公式  $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2$  也可以写为如下级数形式:

$$\Delta = \frac{n-1}{n} D + \left[ \frac{3(n^2-1)}{2n^3} - \frac{n-1}{2n} \right] (90^\circ - 2\theta - \alpha)^2 D + \frac{3(n^2-1)}{2n^3} (90^\circ - 2\theta - \alpha) W D + \frac{n^2-1}{2n^3} W^2 D, \quad (4)$$

式中第一项为垂直平板的轴向位移量。第四项为垂直平板的固有球差,它只与孔径有关。第二项只与光线在平板上的入射角有关,表示子午截面内无限细光束的成像位置。第三项是孔径角和反射光轴在平板上入射角的函数,是子午彗差在光轴上的投影分量。公式表明:各种像差均与平板的厚度成正比,因此,减少平板的厚度对于提高仪器质量是重要的;球差可与前置光学系统的同类像差综合考虑并予以校正;而与反射光线在平板上入射角有关的像差,随着反射镜的旋转将发生周期性变化,无法得到校正和补偿,只是平板很薄,像差值是很小的。

#### 五、性能比较

下面以一台实际仪器为例子,比较用玻璃球罩和平板玻璃所取得的结果。

### 1. 离焦量 $\Delta S'$

离焦量是条纹摄影机总体设计中一项严格控制的数据,它是用理想成像位置与胶片面之间的轴向距离来度量。

上述两种方法在离焦的成因和包含的内容上是不同的。在用玻璃球罩的情况下,导致离焦的内在原因是旋转反射镜有一定的厚度。当改用平板玻璃后,离焦的产生除上述因素外,还有不同的  $\theta$  角存在着不同的轴向位移  $\Delta$ 。从这个意义上说,它兼有转镜式摄影机和棱镜补偿式摄影机的特点。

另外,在平板玻璃的情况下,离焦量将包含平板玻璃像差的影响。但在采用玻璃球罩时,习惯上总是不计它的像差对于离焦的贡献。如果我们能把用本文介绍的方法的离焦量控制到采用玻璃球罩时一样的程度,那末,前者的像质无疑可以比后者更好些。

表 1 输入数据

Table 1 Input datums

	$x_0$	$y_0$	$r$	$Q$	球罩半径 $r_1, r_2$ 或平板厚度 $D$	$n$	$x_c$	$y_c$	$R$	$D/f$
I	0	-2.29	4	300	$r_1=60.67, r_2=66.07$	1.5163	2.713	-1.701	305.065	1/19
II	0	-2.29	4	300	$D=2$	1.5163	1.970	-3.280	307.490	1/19

图 5 为按表 1 所给的数据,用二种方法计算结果所绘成的胶片面上的离焦曲线。显然,若在原仪器中用 2mm 厚的平板玻璃去代替玻璃球罩,则在整个工作角内将会取得更为满意的离焦结果。

### 2. 速度的不均匀性 $\Delta V\%$

扫描速度的不均匀性在  $\theta$  值较小、反射镜厚度较大的条件下,有可能达到 2% 左右。当不均匀性低于 0.3%,则在一般的使用场合已无需进行修正。两者的速度不均匀性  $\Delta V\%$ ,比较如图 6 所示。从图 6 可见,两者的速度不均匀性  $\Delta V\%$  在整个工作角内都小于 0.2%。而且在改用平板玻璃后,  $\Delta V\%$  略有改善。

综上所述,说明用平板玻璃代替玻璃球面罩的设计在理论上是可行的。

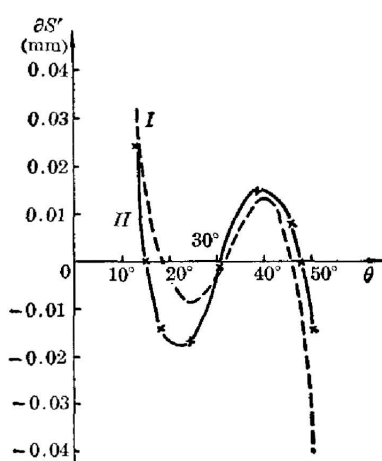


图 5 胶片面上的离焦曲线

Fig. 5 Defocusing curve in the film surface

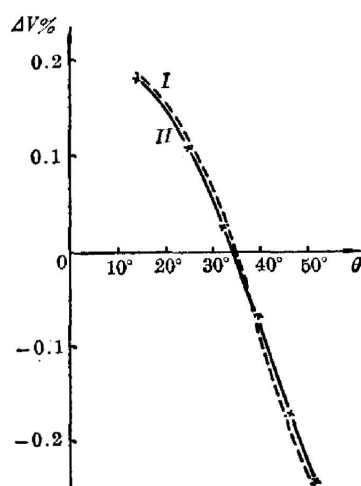


图 6 扫描速度的不均匀性  $\Delta V\%$

Fig. 6 Nonuniformity  $\Delta V\%$  of writing rate

## Inquiry about the design of rotating mirror house of the streak camera

XU JIALONG

(*Xian Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 28 September 1981, revised 21 January 1982)

### Abstract

The design of mirror house at home and abroad has been reviewed simply in this paper. A new consideration for design of the house is proposed, analysis of the chief characters and application vista are given.

According to the optical principle of the streak camera, the coordinate equations of the image point have been derived before and after the plate glass is added. Since the plate glass is added, the writing rate of the image on the film track is given.

The calculation indicates: the larger relative aperture of the instrument, the thinner plate glass is allowed, the rigorouser the requirement of axial displacement. When mirror rotates, the  $\Delta$ -curve of the axial image points for different relative aperture is shown.

Proceed from actual instrument, the performances of the instrument using a spherical corver or plate glass are compared. The defocusing  $\partial S'$  is a critical data for streat camera, it will directly affect the imaging quality of the instrument.