

# 航天胶片变形实验

姚 俊 杰

## 一、实验目的

胶片的变形是直接影响像机摄影精度的因素之一，而国产新品种航天胶片还处在研制和初期使用阶段，尚无数据可循。在计算航天遥感像机的测量精度时必需对所用胶片的变形值有所了解，为此对国产航天胶片的变形值进行了测量。

## 二、引起胶片变形的因素

胶片从生产厂开始生产要经过一系列的工艺过程。然后经过贮存、运输、装入像机，由运载工具发射到宇宙空间，在空间对目标进行摄影曝光。曝光后具有潜影的胶片，经过拉片，卷片到回收舱，返回地面。在返回地面的过程中，底片要经受一系列变化的空间环境，有时还可能落入海洋。在这一复杂的过程中，胶片受各种因素的影响引起变形，特别是胶片曝光后影像的变形直接影响测量精度。

1. 受力变形 压片，拉片，卷片和冲洗过程中胶片在机器上的运动，都要受到力的作用，而引起变形。

2. 温度、湿度变形 胶片在空间曝光后返回地面以及冲洗干燥过程都要经受较大的温度、湿度变化，因而引起变形。

3. 化学变化引起的变形 胶片经过显影、定影的处理、引起乳剂层的化学变化，也会引起胶片的变形。

4. 结构变形 片基材料的成份和结构以及乳剂的结构成份和不均匀性，受外界条件变化的影响引起变形。

上述的一些物理，化学因素引起胶片产生变形，从变形对误差影响的性质来看可将变形分成两类。一类是系统变形或均匀变形，一类是偶然变形或不均匀变形。对均匀变形（即 $X$ 、 $Y$ 方向的变形相等）可以按焦距误差处理，而不均匀变形必需测出，进行纠正。

## 三、胶片变形的测试

1. 大型精密网格板的设计研制 为了测定胶片的变形量，必须有测定基准，为此设计了精密网格板。板的坐标点刻线范围300毫米 $\times$ 260毫米，网格板坐标点，在板中间120 $\times$ 120毫米范围内间距为10毫米，其余坐标点的间距为20毫米。以“十”字线中心定坐标点的位置。

为了便于瞄准,设计时取刻线宽度为0.02毫米。网格板坐标点的设置,既考虑测定目标相机的大尺寸胶片,也考虑到测量定位像机的小尺寸胶片,坐标点间距刻线误差为5微米。

刻这么大尺寸的网格板,在我所还是第一次,与兄弟研究室及工厂师付一起制定了工艺方案。先加工好光学玻璃平板,在平板上涂上感光乳剂层。将此板放在坐标镗床工作台上,再用“光刻”的办法,进行刻制。即事先刻好坐标点“十”字形状的透光亮线,装在闪光灯下部,经光学系统将“十”字形亮线成象在涂有乳剂层的玻璃板上、按动开关,闪光灯闪亮进行曝光。曝光后将“光刀架”抬起,然后按坐标点刻线间距移动镗床工作台,逐点曝光。这样曝光的板经显影定影处理做出母板。它是亮地黑线。再在镀铬层的光学平板上进行复制,最后经过处理得到所需的网格板,它是亮线黑地,铬层坚固耐用。用上述工艺方法研制出两块网格板,一块在所内用万能测长机对各点坐标值进行检测,鉴定、标定出各点的坐标值。一块带往胶片使用单位,用星点坐标测量仪在使用前对所用各点的坐标进行了测定。测定是按100毫米间距进行的,测定结果是: $X$ 轴方向的刻线平均值相对误差为 $0.89 \times 10^{-4}$  $Y$ 轴方向的刻线平均值相对误差为 $0.22 \times 10^{-4}$ ,误差都小于万分之一。使用单位的同志认为网格板刻线边缘清晰,测量时易于达到较高对准精度。

2. 胶片变形实验 此项工作是与胶片使用单位一起进行的。对几种航天、航空胶片,通过网格板在印相机上进行接触曝光,然后经过不同方式的冲洗,使用不同的显影液和不同的显影时间,再经过定影和干燥等处理,最后对胶片上的象点坐标进行测量。

测量设备用星坐标测量仪,测量精度可达2微米。由双目显微镜对准测量点,其坐标值可由数值显示,也可以打印输出或送入计算机。输出的最小值为0.1微米。

实验中测定工作量较烦重,每确定一个线段值要测定出两个点的四个坐标值, $X_1, Y_1, X_2, Y_2$ 。而每个点至少要瞄准三次,输出六个数据每三个数据作为一组取其平均值,因此测量与计算的工作量很大。而且一张胶片只要上了星坐标测量仪就得一次测完所需数据。

我们所制的网格板的坐标点有两百多个,若对所有的点都进行测量工作量太大,由于时间的限制我们对每张胶片选测了四十个点。

将胶片上的坐标点间的线段距离测出之后与网格板相应的值比较即可求出相应的变形。

$$\Delta \bar{X} = \bar{X}_w - \bar{X}, \quad (1)$$

$$\Delta \bar{Y} = \bar{Y}_w - \bar{Y}, \quad (2)$$

$\Delta \bar{X}, \Delta \bar{Y}$ — $X$ 方向,  $Y$ 方向的平均变形量

$\bar{X}_w, \bar{Y}_w$ —网格板的 $X$ 方向,  $Y$ 方向的平均坐标点间的线段距离,取坐标名义值

$\bar{X}, \bar{Y}$ —胶片上的 $X$ 方向,  $Y$ 方向的平均坐标点间的线段距离

$$x = \Delta \bar{X} / \bar{X}_w \quad (3)$$

$$y = \Delta \bar{Y} / \bar{Y}_w \quad (4)$$

$x, y$ —胶片在 $X$ 方向、 $Y$ 方向的变形率

$$\delta = x - y$$

$\delta$ — $X$ 方向,  $Y$ 方向相对不均匀变形率

### 3. 测试结果列入下表:

胶 片 种 类	天 津 航 空 片	天津160 乙 片	保定160 乙 片	天津160 乙 片	上海160 甲 片	
片基材料	醋酸片基	涤 纶	涤 纶	涤 纶	涤 纶	
冲洗方式	手 工	手 工	手 工	机 器	手 工	
显影液	YII—2	D—76	YII—2	D—76	D—76	
显影时间	5 分	10分	5 分	9 分	10分	
变形率 ( $10^{-4}$ )	$x$	-13.0	-5.1	4.5	0.8	-1.4
	$y$	-9.2	-1.4	-3.5	-1.2	-4.2
	$\delta$	-3.8	-3.7	8.0	2.0	-2.8

## 四、结 语

实验证明我们所用的实验方案和方法是可行的, 我所研制的光学精密网格板为胶片变形测定提供了计量基准。

由于时间有限, 这次实验只是对实验的方法进行了摸索, 并初步测出了航天胶片变形的数据  $\delta$  在 2 ~ 8 / 万的范围,  $x$ ,  $y$  一般在 5 / 万以内, 满足摄影测量软片对变形的要求。这一初步结果为胶片使用单位和仪器研制提供了参数。大量细致的数据有待使用单位今后进一步做工作。

由于我们对具体测定工作缺乏实践, 所设计的网格板, 取的坐标点较多, 为了缩短测定工作时间在实际应用时可适当的减少测量点数, 并对选用的点事先进行标定。如若细致的研究胶片变形的情况, 测量仪器可与电子计算机联接进行逐点测量和计算。