

# 70/35毫米半自动判读仪精度 分析与检测

胡凤义

**摘要** 根据总测量精度要求,利用误差传递和等精度测量原理,推导出70/35毫米半自动判读仪单轴的测量精度要求,对误差源给予误差分配,最后给出测量精度的实测结果。

## 一、前 言

70/35毫米判读仪是高速摄影机的配套设备,也称高速摄影胶片运动分析系统(High Speed Film Motion Analysis System)。高速摄影机将物态瞬间变化过程记录在胶片上,判读仪对胶片上的各种信息进行精确的定量分析,从而揭示物态瞬变的本质和规律。

在科学技术发达的国家,高速摄影胶片运动分析系统得到广泛地应用。例如,日本有一百多个大学和研究所,都采用这种手段对发动机的燃烧,激光加工、原子弹爆炸、粮食加工、化纤生产及汽车、飞机、船舶构件的破坏性实验过程等等进行分析研究。

本判读仪1988年首先在我国得到了应用,用以分析研究常规武器的各种参数。如炮口摆动角,单个目标的速度,加速度、轨迹、姿态、弹丸下降量、炮口高低角及弹道倾角等等。

本文对这种高精度仪器的精度分析和检测等问题,进行了初步探讨。

## 二、结 构 原 理

判读仪的种类较多,但就其投影光学系统而言,大体上可分为两大类。一类如日本V-100型及长春光机所研制的150-1判读仪等,为透射式光学系统,系统原理如图1所示。该系统结构紧凑,但透射式测量屏的图像清晰度较差,空间分辨率低,只能达到(4~6)条线/毫米

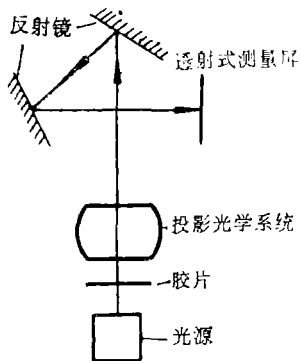


图 1

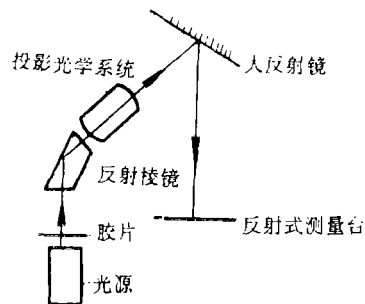


图 2

虽然采用蜡质屏可在一定程度上改善图像的清晰度和提高空间分辨率，但因蜡质屏存在着一定程度的方向性，判读不方便，而且蜡质屏制造工艺复杂，玻璃屏要经过磨砂，酸性腐蚀等处理。目前国内制造（420×610）mm的蜡质屏尚存在着一定的困难。

另一类如EOTS 经纬仪配套用的判读仪及长春光机所研制生产的“160”判读仪等，均为反射式投影光学系统，系统原理如图2所示。该系统结构不如透射式紧凑，但反射式测量屏，制造工艺成熟，图像清晰，空间分辨率高，可达（14~16）条线/毫米，瞄准精度高，观察视轴与光轴夹角较大，操作方便。

70/35毫米判读仪，选用的是反射式投影光学系统，测量屏系经过精密加工的金属铸铝板上喷白磁漆，并经过特殊的表面处理。

### 三、精度分析

网格板作判读对象，在物平面视场中心φ20mm范围内，要求任意两点间距离测量精度均方差 $\sigma_{物} = 0.007\text{mm}$ ，经10.052倍的投影放大系统，在测量屏上的均方差 $\sigma_{像} = 0.07\text{mm}$ 。

#### （一）精度分析

设 $S$ 是网格板视场内一待判读的线段在测量屏上的投影， $N_1$ 、 $N_2$ 是线段 $\delta$ 的两个端点， $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 分别是 $N_1$ 和 $N_2$ 的判读值， $\sigma_{x_1}$ 、 $\sigma_{x_2}$ 、 $\sigma_{y_1}$ 、 $\sigma_{y_2}$ 分别是判读均方差。因为

$$S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

所以

$$\frac{\partial S}{\partial x_1} = -\frac{x_2 - x_1}{S} \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial x_2} = \frac{x_2 - x_1}{S} \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial y_1} = -\frac{y_2 - y_1}{S} \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial y_2} = \frac{y_2 - y_1}{S} \quad (5)$$

根据误差合成公式，得 $S$ 的均方差为 $\sigma_s$ ，

$$\sigma_s = \left[ \frac{(x_2 - x_1)^2}{S^2} (\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2) + \frac{(y_2 - y_1)^2}{S^2} (\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2) \right]^{1/2} \quad (6)$$

当 $x$ 轴方向和 $y$ 轴方向具有相等的测量精度时，

$$\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = \sigma_{y_1} = \sigma_{y_2} = \sigma, \text{ 则}$$

$$\sigma_s = \sqrt{2} \sigma \quad (7)$$

$$\text{令 } \sigma_s = \sigma_{像} = 0.07 \text{ (mm),}$$

由式(7)得

$$\sigma = \frac{\sigma_{像}}{\sqrt{2}} = 4.95 \times 10^{-2} \text{ (mm)} \quad (8)$$

#### （二）误差估算

判读仪是一台较大的光测设备。它由光学系统，机械结构及信号处理器等组成。影响测

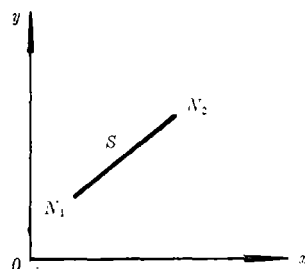


图3

量精度的主要因素如下。

1. 导轨加工误差

导轨长600mm, 不直度, 椭圆度, 锥度等综合制造误差  $\Delta_1 = 0.02\text{mm}$ , 等概率分布,  $\sigma_1 = 0.011\text{mm}$ ;

2. 导轨拖架轴承跳动误差

拖架轴承最大跳动误差  $\Delta_2 = 0.02\text{mm}$  等概率分布;  $\sigma_2 = 0.011\text{mm}$ ;

3.  $x, y$  导轨不垂直度误差

$x, y$  导轨不垂直度可调整到10角秒, 导轨 600mm 长, 线量误差  $\Delta_3 = 0.03\text{mm}$ , 等概率分布  $\sigma_3 = 0.017\text{mm}$ ;

4. 钢带转鼓及轴承误差

转鼓椭圆及轴承跳动误差  $\Delta_4 = 0.02\text{mm}$ , 等概率分布,  $\sigma_4 = 0.011\text{mm}$ ;

5. 测量基准误差

$x, y$  测量传感器, 均采用 16 位增量式光学轴角编码器, 测角精度为 40 角秒, 转鼓直径  $\phi 180\text{mm}$ ,  $\sigma_5 = 0.017\text{mm}$ ;

6. 联轴节误差

采用高精度波纹管做联轴节, 最大回转误差为 30 角秒, 转鼓直径  $\phi 180\text{mm}$ ,  $\Delta_5 = 0.01\text{mm}$  等概率分布  $\sigma_6 = 0.008\text{mm}$ ;

7. 量化误差

仪器测量分辨率  $f = 0.01\text{mm}$ , 最大量化误差  $\Delta_7 = 2 \cdot f = 0.02\text{mm}$ , 等概率分布,  $\sigma_7 = 0.011\text{mm}$ ;

8. 瞄准误差

最大瞄准误差  $\Delta_8 = 0.07\text{mm}$ , 高斯分布,  $\sigma_8 = 0.023\text{mm}$ ;

9. 光学系统误差

光学系统的最大畸变误差做到 0.08%, 可忽略不计了

10. 其它误差

令其它误差  $\sigma_{10} = 0.01\text{mm}$ ;

综合上述各项误差, 则

$$\begin{aligned}\sigma &= [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2 + \sigma_8^2 + \sigma_{10}^2]^{\frac{1}{2}} \\ &= 3.96 \times 10^{-2} \text{ (mm)}\end{aligned}$$

为达到高精度测量的目的, 除上述各单项加工和装调误差, 都应小于或等于误差分配值外, 光学系统还采用了物方远心光路, 消除由物面位置变化而引起的测量误差。在结构设计上, 也应尽量遵守阿贝原则, 以减少设计原理误差。

## 四、精度检测

在一块特制的光学平板玻璃上, 按一定要求刻上互相垂直的网格线, 称之为网格板, 如图 3 所示。在 20℃ 恒温条件下, 用阿贝比长仪对网格板格值进行标定, 每点测量 10 次, 取算术平均值作为真值。

网络板放在物面上, 经 10.052 倍投影放大光学系统, 将网格板的像投影到测量台上, 移

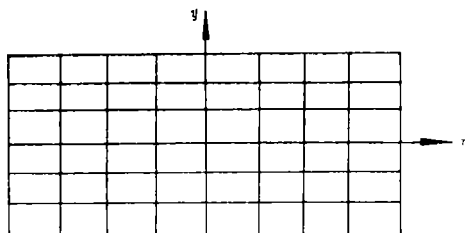


图 1

动判读仪测量钢带的“十字”刻线，瞄准网格板各点，读取各点坐标值，每点采样10次，取均方差值，得出网格板各线段的测量值，与真值比较，求出网格板各对应线段的误差值列入表 1。

表 1 70/35毫米判读仪精度检测数据

次数 线段	真 值 与 测 量 值 偏 差 量										均方差 $\sigma$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$y_{1-1}$	-0.007	0.053	-0.007	0.003	-0.017	-0.007	-0.007	-0.017	0.003	0.003	$\pm 0.019$
$y_{2-2}$	-0.04	-0.04	-0.02	-0.07	-0.03	-0.02	-0.04	-0.05	-0.01	-0.04	$\pm 0.041$
$y_{3-3}$	-0.035	-0.015	-0.045	-0.015	-0.035	-0.035	-0.035	-0.045	-0.025	-0.045	$\pm 0.036$
$x_{1-1}$	0.033	0.053	0.043	0.033	0.023	0.053	0.043	0.013	0.043	0.023	$\pm 0.011$
$x_{2-2}$	-0.021	-0.041	-0.021	-0.031	-0.021	-0.041	-0.021	-0.021	-0.021	-0.011	$\pm 0.027$
$x_{3-3}$	-0.043	-0.043	-0.013	-0.053	-0.033	-0.043	-0.063	-0.013	-0.043	-0.053	$\pm 0.047$
$x_{4-4}$	-0.027	-0.027	-0.017	-0.027	-0.027	-0.027	-0.057	-0.047	-0.027	-0.037	$\pm 0.031$

说明：测量值为屏幕上测量值，换算到底片上缩小10.052倍。

## 五、结 语

误差估算是按可能产生最大误差条件下计算的。最大误差源是瞄准误差，为减小瞄准误差，采用金属反射式测量屏及柯勒照明等技术措施，提高了图像清晰度和测量屏的空间分辨率。

表中的数据，70/35毫米半自动判读仪测量精度的实测结果。它是光学系统，机械结构及信号处理器的综合误差，最大的均方差 $\sigma = 0.047\text{mm}$ ，实测数据与精度分析结果是一致的。

## 参 考 文 献

- [1] 肖明耀，《误差理论与应用》，计量出版社，1985年
- [2] 刘智敏，《误差与数据处理》，原子能出版社，1981年
- [3] 斯图尔特，L. 迈耶，《科技工作中的数据分析》，原子能出版社，1981年
- [4] 谢远愚等，光电工程，No.2，1986

## Accuracy Analysis and Testing of the 70/35mm Semi-Automatic Film Reader

Hu Fengyi

### Abstract

According to the total accuracy requirements, principles of the error transmittion and the equi-accuracy measurement, the accuracy requirements of single axle are derived for the 70/35mm semi-automatic film reader. Also the error distribution is made to every error source. Finally, the real results of the accuracy are given.