

# 光学动态靶标动态精度检测实验研究

孙宁<sup>1,2</sup>, 夏秀梅<sup>3</sup>, 乔彦峰<sup>1</sup>

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130031;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 吉林信息工程学校, 长春 132000)

**摘要:** 针对光学动态靶标动态精度的测量问题, 研制了一套自准直法检测光学动态靶标动态精度的实验装置, 对实验原理和实验过程进行了阐述, 并对该系统进行仿真计算, 结果表明该系统精度满足使用要求; 介绍了光学动态靶标轴系精度的傅立叶级数展开的分析方法, 对光学动态靶标动态精度进行了分析。研究的光学动态靶标精度自准直检测的方法能在 360° 的旋转锥角范围内进行连续的动态精度测量, 结构简单, 容易实现。

**关键词:** 光学动态靶标; 动态精度; 精度分析; 自准直

**中图分类号:** TP73    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672 - 9870 (2007) 04 - 0037 - 03

## Research of Experiment on Measuring Dynamic Precision of Optical Moving Target

SUN Ning<sup>1,2</sup>, XIA Xiumei<sup>3</sup>, QIAO Yanfeng<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Sciences Academy of China, Changchun 130031;  
2. Graduate School of Sciences Academy of China, Beijing 100039;  
3. Jilin School of Information Engineering, Changchun 132000)

**Abstract:** Focused on the dynamic precision measurement of the optical moving target, a suit of experimental equipment of measuring the dynamic precision of the optical moving target by auto collimation was developed, and the principle and the process of it were proposed in this paper. Moreover, the emulation calculation of this system was also carried on, and the result indicated that the precision of system meets instructions for use. The shafting precision analysis method of the optical moving target by Fourier Progression was introduced and the dynamic precision of the optical moving target was also analyzed in the paper.

**Key words:** optical moving target; dynamic precision; precision analysis; auto collimation

光电经纬仪电视跟踪系统是一个光、机、电、计算机综合的复杂系统, 其动态精度的检测是比较困难的。前期的光电经纬仪有摄影测量系统, 所以一般是先检测出摄影测量系统的动态精度, 然后将电视测量系统的测量结果与电影测量系统的测量结果进行比较, 得出电视测量系统的精度。而光学动态靶标是一种产生模拟无穷远处运动目标的平行光信号, 以供光电经纬仪等电视跟踪系统跟踪的室内检测装置<sup>[1]</sup>。根据靶场光测设备发展的需要, 研制出一种在室内检测光电经纬仪电视测量系统动态精度的方法, 并配有相应的检测装置。

利用自准直光路在光学动态靶标 360° 的旋转锥角范围内对其进行精度测量的方法, 其装置结构简单, 容易实现, 从而可以利用已知其动态精度的光学动态靶标在室内检测光电经纬仪电视测量系统的动态精度。

### 1 光学动态靶标动态精度检测原理

#### 1.1 光学动态靶标轴系精度检测原理

在对光学动态靶标进行动态精度分析时, 首先对其轴系精度进行检测。采用自准直检测原理, 其

结构原理如图 1 所示。

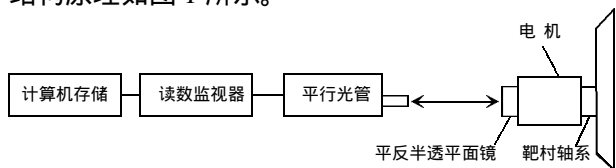


图 1 光学动态靶标的轴系精度的自准直检测原理图

Fig.1 Principle diagram of auto collimating measure of axis's precision

将半反半透平面镜固定在光学动态靶标的轴系上,由自准直平行光管发出的平行光经其反射成自准直像于分划板上,在光学动态靶标旋转的同时,在读数监视器上显示了自准直像的方位角度偏差值( $X$ )和俯仰角度偏差值( $Y$ ),单位:( ),此偏差数据被实时地储存在计算机中,供事后处理并得到光学动态靶标的轴系精度。

## 1.2 光学动态靶标动态精度检测原理

光学动态靶标的动态精度检测仍采用自准直测角原理,如图 2 所示。

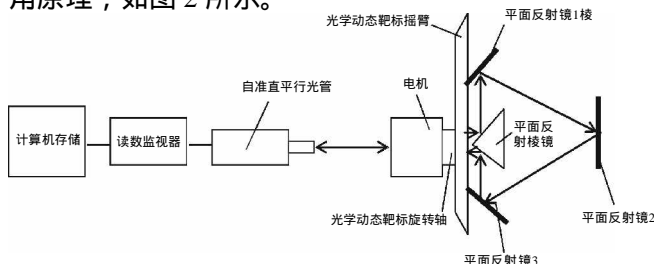


图 2 光学动态靶标动态误差的自准直检测原理图

Fig.2 Principle diagram of auto collimating measure of dynamic precision of optical moving target

将平面反射棱镜和平面反射镜 1、3 固定在光学动态靶标的摇臂上,由自准直平行光管发出的平行光经平面反射镜的一侧反射面反射到平面反射镜 1 上后被反射到平面反射镜 2 上,然后分别被平面反射镜 3 和平面反射棱镜的另一侧反射面反射回自准直平行光管。自准直平行光管的光源在其目视分划板上成自准直像。在光学动态靶标旋转的同时,在读数监视器上显示了自准直像的方位角度偏差值( $X$ )和俯仰角度偏差值( $Y$ ),单位:( ),此偏差数据被实时储存在计算机中,供事后处理以得到光学动态靶标的动态误差。

## 2 棱光学动态靶标动态精度分析

### 2.1 棱光学动态靶标轴系精度分析

轴系的晃动和轴系的倾斜综合影响叫做轴系的误差。轴系的误差大小与轴的转角位置有关,它可

以展开成傅立叶级数表示:

$$V(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{\infty} (a_j \cos j\varphi + b_j \sin j\varphi) \quad (1)$$

其中  $j = 1, 2, 3, \dots$ ;  $\frac{a_0}{2}$  为常数项,  $\varphi$  为转角位置,即各个特征点位置,  $V$  为轴系误差。

当  $j$  为有限数 ( $1 \sim n$ ) 时系数可以表示为:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V(\varphi) \quad (2)$$

$$a_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V(\varphi) \cos j\varphi; \quad b_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V(\varphi) \sin j\varphi \quad (3)$$

当  $j = 1$  时,  $V(\varphi)$  表示轴系的倾斜,即:

$$V(\varphi) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \varphi + b_1 \sin \varphi;$$

当  $j = 2, 3, \dots$  时,  $V(\varphi)$  表示轴系的晃动<sup>[2]</sup>。

如图 3 所示为光学动态靶标在周期为 9 秒的旋转速度下轴系精度检测实验的数据。

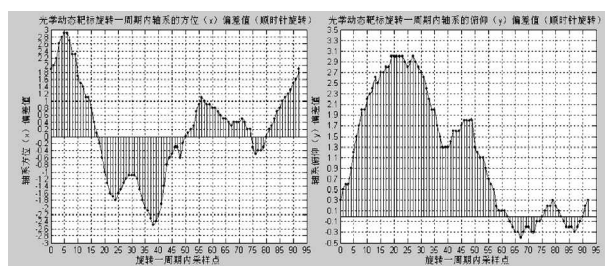


图 3 一个旋转周期内自准直法检测轴系精度的实验数据拟合曲线

Fig.3 Data cures of axis's precision measured by auto collimation in a period

根据实验所得数据结果及傅立叶级数展开的分析方法,测得光学动态靶标轴系精度如下:

方位方向( $x$ 方向)轴系晃动误差  $x_{\max} = 2.0435$  ;  
俯仰方向( $y$ 方向)轴系晃动误差  $y_{\max} = 1.5819$  ;  
轴系总晃动误差  $\delta_{\max} = 2.1842$  。

### 2.2 光学动态靶标动态精度分析

#### 2.2.1 光学动态靶标动态模型

光学动态靶标的运动公式是由球面三角原理推导所得,如图 4 所示。

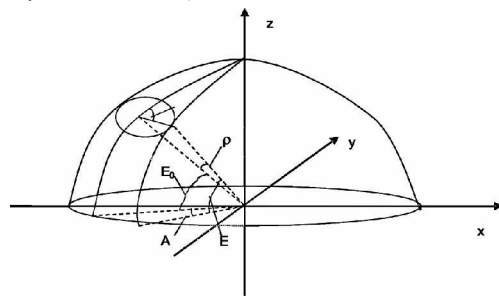


图 4 根据球面三角原理推导光学动态靶标运动公式的示意图  
Fig.4 Diagram of educing moving formulae according to spherical trigonometry

$$\sin E = \sin \rho \cdot \cos \theta \cdot \cos E_0 + \cos \rho \cdot \sin E_0 ;$$

$$\sin A = \frac{\sin \rho \cdot \sin \theta}{\cos E} \quad (4)$$

其中  $E$  和  $A$  分别是电视跟踪系统跟踪光学动态靶标时,光电经纬仪的高低角度值和方位角度值; $E_0$  是光电经纬仪跟踪光学目标时,圆锥扫描的轴线与水平面夹角的角度值; $\rho$  是光电经纬仪跟踪光学动态靶标时,圆锥扫描的半锥角度值; $\theta$  是光学目标在圆周运动轨迹上相对参考坐标点(即光学动态靶标转动的零点)处的角度变化值<sup>[1]</sup>。

### 2.2.2 光学动态靶标动态仿真

根据光学动态靶标动态精度检测实验原理可知,当在自准直平行光管处测得 $\Delta = \alpha$ 的角度偏差值时,光学动态靶标的光锥点处即光电经纬仪的跟踪点处产生 $\Delta \rho = \frac{\alpha}{2}$ 的 $\rho$ 角偏差。

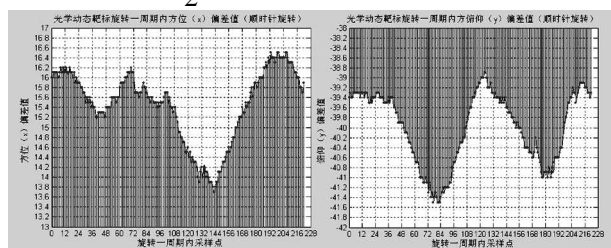


图5 一个旋转周期内自准直法检测动态精度的实验数据拟合曲线

Fig.5 Data cures of dynamic precision measured by auto collimation in a period ( direct )

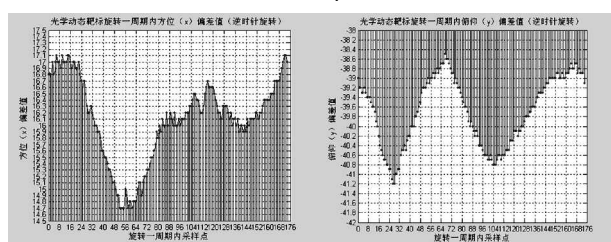


图6 一个旋转周期内自准直法检测动态精度的实验数据拟合曲线(逆时针)

Fig.6 Data cures of dynamic precision measured by auto collimation in a period ( anti clockuise )

如图5所示为光学动态靶标在周期为22秒(顺时针旋转)的旋转速度下动态精度检测实验的数据。

方位方向( $x$ 方向)轴系晃动误差:

$$x_{\max} = 15.6144$$

俯仰方向( $y$ 方向)轴系晃动误差:

$$y_{\max} = -38.5254$$

轴系总晃动误差:

$$\delta_{\max} = 42.4295$$

如图6所示为光学动态靶标在周期为17秒(逆时针旋转)的旋转速度下动态精度检测实验的数据。

方位方向( $x$ 方向)轴系晃动误差:

$$x_{\max} = 16.2437$$

俯仰方向( $y$ 方向)轴系晃动误差:

$$y_{\max} = -40.2105$$

轴系总晃动误差:

$$\delta_{\max} = 43.3675$$

## 3 结论

由上述结果可以看出,当光学动态靶标被作为跟踪靶标使用时,不需要对其精度提出很高的要求,但是当其作为高精度测量靶标使用时,就需要对其精度进行较为准确的测量<sup>[3]</sup>。本文研究的光学动态靶标精度自准直检测的方法能在 $360^\circ$ 的旋转锥角范围内进行连续的动态精度测量,结构简单,容易实现。通过大量的实践证明该光学动态靶标可实现在室内装调、检测光电经纬仪电视跟踪系统的动态测量精度及跟踪性能。

## 参考文献

- [1] 于虹. 电影经纬仪电视跟踪系统动态模拟靶标设计[J]. 光学机械, 1990(6): 40 - 43.
- [2] 高福晖. 机械零件强度许用值新标准及大型经纬仪机械设计[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1998.
- [3] 张波. 可编程动态旋转靶标标定方法[J]. 光学精密工程, 2003(2): 176 - 180.
- [4] 张波. 远距离准直方法探讨[J]. 宇航计测技术, 1989(6): 10 - 16.
- [5] 清源计算机工作室. MATLAB基础及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [6] MAJG. Tracking and Measuring Technology of a Tracking Theodolite[J]. SPIE, 1992, 1979: 719 - 728.