

## 六面折射转鼓角度误差测量的新方法

王乔方<sup>1</sup>, 罗龙英<sup>1</sup>, 李汝劼<sup>1,2</sup>, 王柯<sup>1</sup>, 王贵全<sup>1</sup>, 彭代东<sup>1</sup>, 张梅<sup>1</sup>

(1.昆明物理研究所, 云南 昆明 650223; 2.北京理工大学, 北京 100081)

**摘要:** 介绍了一种利用光电自准直仪测量六面折射转鼓角度误差的新方法及测量原理及测量步骤。该方法一次测量可同时获得中心角和倾角误差数据, 可用于六面折射转鼓角度误差的高精度测量。针对精度为  $0.5''$  的标准角度块进行测量, 实验表明该方法测量精度优于  $0.5''$ , 可应用到其他多面体类零件角度误差的高精度测量。

**关键词:** 光学测量; 六面折射转鼓; 角度误差

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2016)09-0739-04

## A Novel Method for Angle Error Measurement of 6-face Rotating Drum

WANG Qiaofang<sup>1</sup>, LUO Longying<sup>1</sup>, LI Rujie<sup>1,2</sup>, WANG Ke<sup>1</sup>, WANG Guiquan<sup>1</sup>, PENG Daidong<sup>1</sup>, ZHANG Mei<sup>1</sup>

(1.Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China; 2.School of physics Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** This paper introduces a kind of novel method for angle error measurement of 6-face rotating drum, with the measurement apparatus and experimental procedure. The method not only gets high precision, and can also obtain a central angle and inclination error distribution data that can be used for high precision measurement of 6-face rotating drum angle error. According to the measurement standard angle precision of  $0.5''$ , experiments show that the measurement results of this method is credible, of which accuracy is superior to  $0.5''$ , and such method can be applied to high accuracy measurement of angle error for other polyhedral parts.

**Key words:** optical measurement, 6-face rotating drum, angle error

### 0 引言

六面折射转鼓是红外光机扫描系统重要组成部分, 扫描器制造过程中, 六面折射转鼓的角度误差直接影响红外光机扫描系统的质量, 反映在实际观察效果上会出现图像跳动、模糊<sup>[1]</sup>。传统的测量方法是借助自准直经纬仪, 依靠人眼通过自准直经纬仪目镜进行读数。这种方法效率低, 尤其在测量中心角度时, 由于六面折射转鼓带有倾角, 自准直经纬仪需要上下转动才能读数, 人为因素影响较大。

利用高精度光电自准直仪和光学分度头配合使用, 六面折射转鼓放置在光学分度头转台中心, 对第一面自准直, 光学分度头每次旋转  $60^\circ$ , 通过自准直仪采集转角前、后两个面的空间位姿, 从而获得相邻面间的中心角及 6 个面与基准面的倾角误差。该系统实现了六面折射转鼓的中心角和倾角的测量一次完成, 不仅测量速度快, 而且测量精度高。

### 1 六面折射转鼓的特点

六面折射转鼓(如图 1 所示)为锗单晶制成的斜六面体<sup>[2]</sup>,  $A$  面为面倾角测量基准, 旋转轴  $B$  为中心角测量基准(如图 2 所示)。转鼓的 6 个面分别相对  $A$  基准的面倾角为  $\alpha_n$ ,  $\alpha_n$  为面倾角 ( $n=1, \dots, 6$ ), 面倾角误差为  $20''$ , 6 个面中相邻面的中心角为  $60^\circ$ , 中心角角度误差为  $20''$ <sup>[3]</sup>; 相对面是平行的, 即 1 面与 4 面, 2 面与 5 面, 3 面与 6 面平行, 平行度误差  $15''$ 。

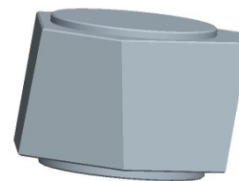


图 1 六面折射转鼓 Fig.1 6-face rotating drum

### 2 六面折射转鼓角度误差测量原理

收稿日期: 2015-09-14; 修订日期: 2016-03-08.

作者简介: 王乔方(1970-)男, 硕士, 高工, 主要从事光学测试技术研究。

基金项目: 国防科技工业技术基础科研支撑项目。

## 2.1 测试系统组成

测试系统如图3所示,主要由光学分度头、上反射镜1<sup>#</sup>、上反射镜2<sup>#</sup>、下反射镜3<sup>#</sup>、下反射镜4<sup>#</sup>、光电自准直仪、测试分析软件组成。

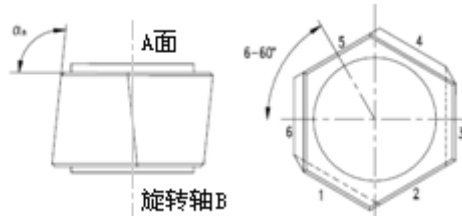


图2 六面转鼓示意图

Fig.2 Schematic diagram of 6-face rotating drum

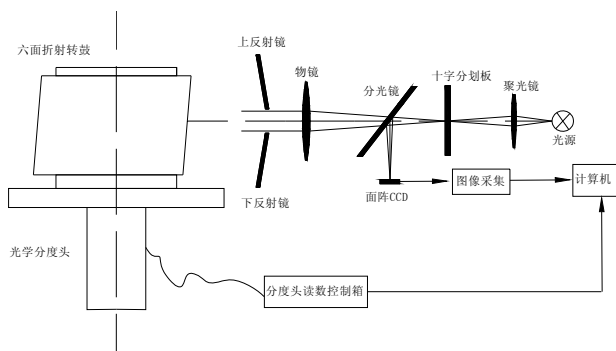


图3 角度误差测试系统

Fig.3 Measurement system of angle error

## 2.2 面倾角误差的测量原理

水平向调整分度头,对六面折射转鼓第1面自准直,微调分度头角度,使光电自准直仪 $x$ 向读数 $x=0$ ,分度头在水平方向依次旋转 $60^\circ$ ,计算机采集光电自准直仪中的 $Y$ 向角度值,通过软件计算得到六面折射转鼓的面倾角误差。

1) 转鼓第1面面倾角检测:光电自准直仪发出的光束投射到转鼓第1面上,通过转鼓第1面反射,投射到上反射镜1<sup>#</sup>上,由上反射镜1<sup>#</sup>反射后,投射到转鼓第1面上,再通过转鼓第1面反射,成像在光电自准直仪 CCD 上,由于经过3次反射,当转鼓第1面在垂直向相对标准角度有微小角度 $\theta$ 的偏离时,反射光线将转过 $8\theta$ 的角度,根据几何光学知识可得到如下关系式: $y=f\tan(8\theta)$ , $f$ 为光电自准直仪的焦距。CCD 信号经计算机分析处理后,就可以得到转鼓第1面的面倾角,计算公式为:

$$\theta=1/[8\tan^{-1}(y/f)] \quad (1)$$

2) 转鼓第2面面倾角检测:光电自准直仪对转鼓第2面准直,如图4所示,当转鼓第2面在垂直向有微小角度 $\theta$ 的偏离时,反射光线将转过 $2\theta$ 的角度,根据几何光学知识可得到如下关系式: $y=f\tan(2\theta)$ , $f$ 为光电自准直仪的焦距。通过对 CCD 信号的处理,就可以得到转鼓第2面的面倾角,计算公式为:

$$\theta=1/[2\tan^{-1}(y/f)] \quad (2)$$

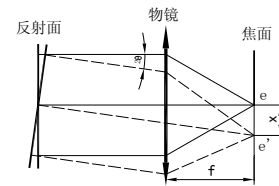


图4 2、5面测量示意图

Fig.4 Two (five)-surface measurement schematic

3) 转鼓第3面面倾角检测:光电自准直仪发出的光束投射到转鼓第3面上,通过转鼓第3面反射,投射到上反射镜2<sup>#</sup>上,由上反射镜2<sup>#</sup>反射后,投射到转鼓第3面上,再通过转鼓第3面反射,成像在光电自准直仪 CCD 上,由于经过3次反射,当转鼓第3面在垂直向相对标准角度有微小角度 $\theta$ 的偏离时,反射光线将转过 $8\theta$ 的角度,根据几何光学知识可得到如下关系式: $y=f\tan(8\theta)$ , $f$ 为光电自准直仪的焦距。CCD 信号经计算机分析处理后,就可以得到转鼓第3面的面倾角,计算公式如式(1)。

4) 转鼓第4面面倾角检测:光电自准直仪发出的光束投射到转鼓第4面上,通过转鼓第4面反射,投射到下反射镜1<sup>#</sup>上,由下反射镜1<sup>#</sup>反射后,投射到转鼓第4面上,再通过转鼓第4面反射,成像在光电自准直仪 CCD 上,由于经过3次反射,当转鼓第4面在垂直向相对标准角度有微小角度 $\theta$ 的偏离时,反射光线将转过 $8\theta$ 的角度,根据几何光学知识可得到如下关系式: $y=f\tan(8\theta)$ , $f$ 为光电自准直仪的焦距。CCD 信号经计算机分析处理后,就可以得到转鼓第4面的面倾角,计算公式如式(1)。

5) 转鼓第5面面倾角检测:光电自准直仪对第5面准直,当转鼓第5面在垂直向有微小角度 $\theta$ 的偏离时,反射光线将转过 $\theta$ 的角度,根据几何光学知识可得到如下关系式: $y=f\tan(2\theta)$ , $f$ 为光电自准直仪的焦距。通过对 CCD 信号的处理,就可以得到转鼓第5面的面倾角,计算公式如式(2)。

6) 转鼓第6面面倾角检测:光电自准直仪发出的光束投射到转鼓第6面上,通过转鼓第6面反射,投射到下反射镜2<sup>#</sup>上,由下反射镜2<sup>#</sup>反射后,投射到转鼓第6面上,再通过转鼓第6面反射,成像在光电自准直仪 CCD 上,由于经过3次反射,当转鼓第6面在垂直向相对标准角度有微小角度 $\theta$ 的偏离时,反射光线将转过 $8\theta$ 的角度,根据几何光学知识可得到如下关系式: $y=f\tan(8\theta)$ , $f$ 为光电自准直仪的焦距。CCD 信号经计算机分析处理后,就可以得到转鼓第6面的面倾角,计算公式如式(1)。

## 2.3 中心角误差测量原理

水平向调整分度头,对六面折射转鼓第1面自准直,微调分度头角度,使光电自准直仪 $x$ 向读数 $x=0$ ,分度头在水平方向依次旋转 $60^\circ$ ,计算机依次采集光

电自准直仪中的  $X$  向角度值, 通过软件计算得到六面折射转鼓的中心角度误差。

3 测量步骤

3.1 测量基准的调整

将平晶固定在光学分度头上, 利用五棱镜将光线折转  $90^\circ$  的原理, 通过光电自准直仪对固定在光学分度头上的平晶自准直, 如图 5 所示。

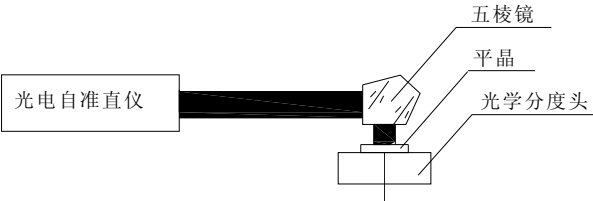


图 5 系统调整示意图

Fig.5 Schematic diagram of the system adjustment

倾斜及俯仰向调整光电自准直仪, 使光学分度头旋转 1 周过程中, 光电自准直仪中标准平晶的自准像静止不动<sup>[4]</sup>。

3.2 角度误差的测量

将六面折射转鼓放置在平晶上, 如图 6 所示, 水平向旋转分度头, 对六面折射转鼓第 1 面自准直, 微调分度头角度, 使光电自准直仪  $x$  向读数  $x=0$ , 分度头位置清零, 分度头依次旋转  $60^\circ$ , 依次测量 6 个面角度, 计算机采集光电自准直仪中的  $X$ 、 $Y$  角度值, 通过软件计算六面折射转鼓的角度误差。

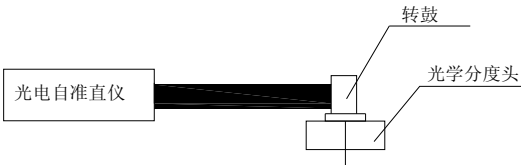


图 6 角度测量示意图

Fig.6 Schematic diagram of angle measurement

4 实验结果

本实验选用微视公司的 1300 型 CCD, 像素数为  $1280 \times 1024$ , 感光面积为  $6.7 \text{ mm} \times 5.6 \text{ mm}$ , 像素大小为  $5.2 \mu\text{m} \times 5.2 \mu\text{m}$ 。测量软件用 VB6.0 编写, 软件界面如图 7 所示。

为了检验系统测量精度, 于 4 块标准角度块作为测试对象, 用该系统对标准块进行测试, 标准角度块角度值如表 1 所示。测试结果如表 2 所示。

从表 2 测试结果可以看出, 用该系统对 1#、2#、3#、4# 标准角度块进行测试, 测试精度优于  $0.5''$ , 满足角度误差的高精度测量。

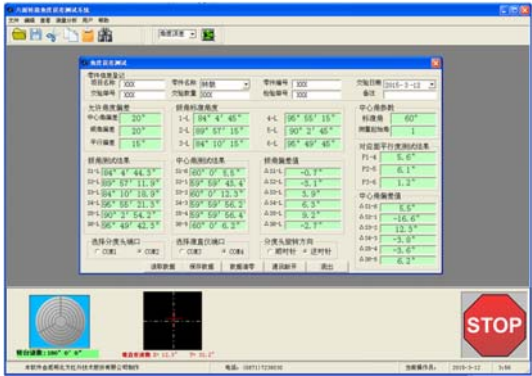


图 7 角度测试界面

Fig.7 Software interface of angle test

表 1 标准角度块角度值 Table 1 Angle of standard block

标准块序号	标称角度值
1#	$84^\circ 10' 21.3''$
2#	$95^\circ 49' 47.4''$
3#	$84^\circ 4' 17.4''$
4#	$95^\circ 55' 36.2''$

表 2 新方法的测试结果

Table 2 Test results of the new approach

序号	标称角度值	测试值	误差
1#	$84^\circ 10' 21.3''$	$84^\circ 10' 21.6''$	$+0.3''$
2#	$95^\circ 49' 47.4''$	$95^\circ 49' 47.2''$	$-0.2''$
3#	$84^\circ 4' 17.4''$	$84^\circ 4' 17.3''$	$-0.1''$
4#	$95^\circ 55' 36.2''$	$95^\circ 55' 36.3''$	$+0.1''$

5 结论

为了改变六面折射转鼓测试系统中目视读数误差大, 测量效率低的问题, 提出一种结合高精度光电自准直仪和光学分度头测量六面折射转鼓角度误差的方法, 增加上下反射镜, 通过 VB 软件设计, 实现了数据自动采集、分析、计算、存储、打印等功能。该系统运行稳定, 操作使用方便, 对六面折射转鼓形位误差的高精度修形加工及检测具有较高的指导意义。应用该测试系统检测六面折射转鼓, 可大大降低劳动强度, 提高检测效率和测量精度, 从根本上克服了使用传统经纬仪进行测量的缺陷, 实现了六面折射转鼓的中心角和倾角的测量一次完成, 不仅测量速度快, 测量精度高, 而且大大降低了零件损伤率。

参考文献:

[1] 樊春丽, 崔莹. 六面体转鼓分度和塔差的检测方法及其测量结果不确定度的评定[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(增刊): 337-339.  
FAN Chunli, CUI Ying. Measurement of rotating hexahedron drum indexing and evaluation in uncertainty of the measuring result[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(Supplement): 337-339.

(下转第 757 页)

- [6] 柯洪昌, 孙宏彬. 图像序列的显著性目标区域检测方法[J]. 中国光学, 2015, **8**(5): 768-774.  
KE Hong-chang, SUN Hong-bin. A saliency target area detection method of image sequence[J]. *Chinese Optics*, 2015, **8**(5): 768-774.
- [7] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, USA: IEEE, 2005(1): 886-893.
- [8] Geronimo D, Lopez A M, Sappa A D, et al. Survey on pedestrian detection for advanced driver assistance systems[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, **32**(7): 1239-1258.
- [9] Dollar P, Wojek C, Schiele B, et al. Pedestrian detection: A benchmark[C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, USA: IEEE, 2009: 304-311.
- [10] 张春风, 宋加涛, 王万良. 行人检测技术研究综述[J]. 电视技术, 2014, **38**(3): 157-161.  
ZHANG Chunfeng, SONG Jiatao, WANG Wanliang. Survey on pedestrian detection technology[J]. *Video Engineering*, 2014, **38**(3): 157-161.
- [11] 许腾, 黄铁军, 田永鸿. 车载视觉系统中的行人检测技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2013, **18**(4): 359-367.
- XU Teng, HUANG Tiejun, TIAN Yonghong. Survey on pedestrian detection technology for on-board vision systems[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2013, **18**(4): 359-367.
- [12] 侯旺, 孙晓亮, 尚洋, 等. 红外弱小目标检测技术研究现状与发展趋势[J]. 红外技术, 2015, **37**(1): 1-10.  
HOU Wang, SUN Xiao-liang, SHANG Yang, et al. Present state and perspectives of small infrared targets detection technology[J]. *Infrared Technology*, 2015, **37**(1): 1-10.
- [13] Yang J C, Yu K, Gong Y H, et al. Linear spatial pyramid matching using sparse coding for image classification[C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, USA: IEEE, 2009: 1-8.
- [14] Bao C Q, He L T, Wang Y L. Linear spatial pyramid matching using non-convex and non-negative sparse coding for image classification[C]//*IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP)*, China: IEEE, 2015: 186-190.

(上接第 741 页)

- [2] 杨彦辉, 谢启明, 岳清, 等. 锗单晶二维六面扫描转鼓的数控精密成形[J]. 新技术新工艺, 2010(12): 94-96.  
YANG Yanhui, XIE Qiming, YUE Qing, et al. CNC precision shaping for two-dimension polygon scanner of Ge crystal[J]. *New Technology & New Process*, 2010(12): 94-96.
- [3] 金宁, 曹凌, 崔勤. 红外六面折射转鼓扫描轨迹的仿真分析[J]. 红外技术, 2007, **29**(5): 249-252.  
JIN Nin, CAO Ling, CUI Qin. Analysis for scanning footprint of infrared 6-face rotating drum system[J]. *Infrared Technology*, 2007, **29**(5): 249-252.
- [4] 郑子文, 翁雷, 陈善勇, 等. 高精度六面体垂直度误差测量的一种新方法[J]. 光学技术, 2008, **34**(3): 391-394.  
ZHENG Ziwen, WENG Lei, CHEN Shanyong, et al. A novel method for perpendicularity measurement of high precision hexahedron[J]. *Optical Technique*, 2008, **34**(3): 391-394.
- [5] 徐凤茹, 林玉池, 赵美蓉, 等. 基于视觉跟踪式自准直仪的十字线提取技术[J]. 激光与红外, 2011, **41**(11): 1211-1214.  
XU Fengru, LIN Yuchi, ZHAO Meirong, et al. Reticle extraction technology based on visual tracking autocollimator[J]. *Laser & Infrared*, 2011, **41**(11): 1211-1214.