

· 光电系统与 设计 ·

## 转台内部光路测试系统设计

刘海欧, 王佳轶

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

**摘要:**介绍了转台的组成和功能. 利用一束平行光通过离轴抛物镜时汇聚在焦点处的工作原理设计了一套测试系统, 用来调整转台内部光路瞄准精度. 使用测试设备观察指示光光斑位移量, 调整几片反射镜位置使其达到瞄准精度要求. 为了减小测试系统的测量误差, 对离轴抛物镜焦面的离焦量做了严格的控制, 并对测试系统中可能带来的误差进行了分析.

**关键词:**测试系统; 离轴抛物镜; 误差分析

中图分类号: TN491

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)05-0001-02

## Design of Ray Path Test System in Turntable

LIU Hai-ou, WANG Jia-yi

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

**Abstract:** The composition and function of turntable are described. The working principle of a bunch of parallel light gathered on the focus when passing off-axis parabola was applied to design a test system to adjust the internal optical alignment precision for the turntable. The test equipment was used to directly observe the spot displacement, and to make a position adjustment of a few slices of mirrors to reach the target accuracy. In order to reduce the test error of test system, the off-axis parabola on the focal plane of the defocus amount was strictly controlled, and the potential error of the system was analyzed.

**Key words:** test system; off-axis parabolic; error analysis

被测转台是一种复杂的集光机电一体的现代化设备. 可实现二维旋转即水平旋转和俯仰旋转. 由于各个反射镜和指示光安装位置存在公差, 导致指示光光轴与转台旋转轴存在夹角, 当转台绕着旋转轴旋转时, 指示光与理想出光方向形成偏转角, 水平瞄准和俯仰瞄准出现误差. 转台的瞄准性能直接关系到试验任务的可靠性和置信度. 为了转台内部光路达到使用要求, 设计了一套转台内部光路测试系统.

### 1 转台组成及功能

转台安装有 CCD 图像采集设备、测距机、4 块

平面反射镜, 指示光先经过第一个反射镜反射到转台内部, 在转台内部经 4 次反射后射出, 如图 1 所示.

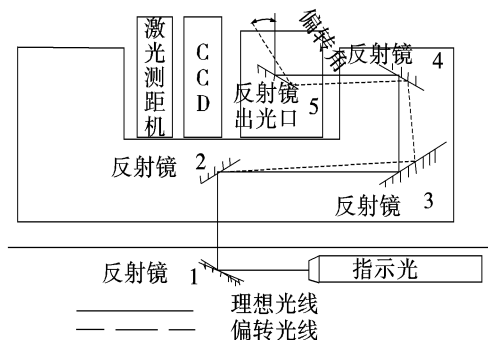


图 1 转台组成示意图

收稿日期: 2010-10-11

基金项目: 国家部委基金项目资助

作者简介: 刘海欧(1982-), 女, 辽宁锦州人, 学士, 研究方向光电工程.

## 2 转台精度要求

转台出光口距探测物体为  $f$  时,光束中心偏离探测物体中心距离为  $h$ . 根据公式:  $\tan\theta = \frac{h}{f}$ , 可推出转台精度  $\theta = \frac{h}{f}^{[1]}$ .

## 3 测试系统组成及原理

### 3.1 测试系统组成

测试系统如图 2 所示,包括:测试架、离轴抛物镜、斜方棱镜、平面反射镜、聚焦像面。

测试架安装在转台上方,为了校正指示光与转台的夹角,在测试架上安装离轴抛物镜、斜方棱镜、平面反射镜、聚焦像纸板,利用离轴抛物镜在其焦点处汇聚的原理来观察指示光光斑位移,计算出指示光光束的偏转角。

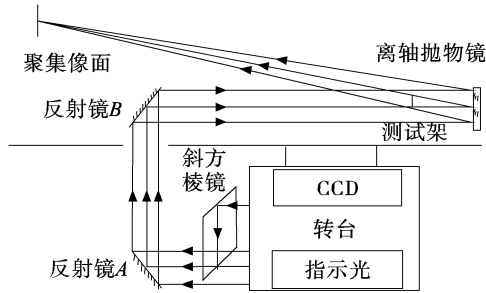


图 2 测试系统组成示意图

### 3.2 测试系统原理

离轴抛物镜因其独特的无像差平行光速光学性质,利用其工作原理,一束平行光经离轴抛物镜反射后,汇聚在焦点<sup>[2]</sup>。如图 3 所示。

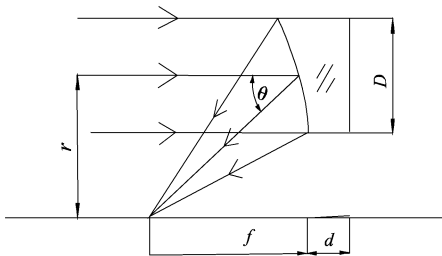


图 3 离轴抛物镜工作原理

#### 3.2.1 离轴抛物镜

离轴抛物镜接收第二面平面反射镜反射出的指

示光光束,经它反射后汇聚在焦点。

#### 3.2.2 斜方棱镜

当光线通过斜方棱镜时,发生全反射<sup>[3]</sup>。利用这个原理在校正 CCD 瞄准误差时,将斜方棱镜(如图 4 所示)切入,改变光路观察方向,观察聚焦像面上的指示光光斑中心是否与十字线中心重合。

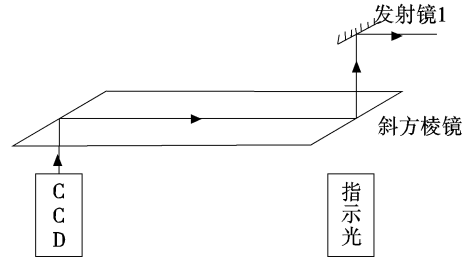


图 4 斜方棱镜光路示意图

#### 3.2.3 平面反射镜

第一面平面反射镜作用将指示光光束从测试架下面反射到测试架上,在经第二面平面反射镜反射到离轴抛物镜上。

## 4 测试步骤

### 4.1 调整指示光光束与转台 Y 轴平行

开启指示光,指示光光束经过平面反射镜反射到离轴抛物镜上,再经离轴抛物镜汇聚在焦点处,焦面像纸上出现指示光光斑。保持俯仰位置不变,将转台以上一个位置为基点,水平旋转 180°,开启指示光,焦面像纸上再次出现指示光光斑。用游标卡尺测量 2 个指示光光斑中心的距离。调整发射镜 1 的位置来计算位移量。

根据转台精度要求

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2}$$

$\delta_1$  为指示光光束与转台 Y 轴夹角的误差;  $\delta_2$  为指示光光束与转台 X 轴夹角的误差;  $\delta_3$  为指示光光束与十字瞄准线的误差。

假设  $\delta_1$  和  $\delta_2$  误差相等,那么  $\delta = \sqrt{2\delta_1^2 + \delta_3^2}$

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} = \sqrt{2\delta_1^2 + \delta_3^2} = \sqrt{2h^2 + 0.145^2}$$

根据  $\delta$  值可推出  $h$  值。

### 4.2 调整指示光光束与转台 X 轴平行

开启指示光,指示光光束经过平面反射镜反射

(下转第 34 页)

Proceedings of SPIE,2004,5626: 551 - 559.

- [11] 楼俊,徐向东,刘颖,等. 全息平面变间距光栅刻线弯曲程度分析[J]. 光学精密工程,2006,14(1): 12 - 15.
- [12] Min Ouyang, Yang Cao, Hua Gao, et al. Analysis on polarization dependence of Fraunhofer diffraction by metallic grating with short period[J]. Optics & Laser Technology, 2008,40: 201 - 207.
- [13] 时轮,郝德阜. 变栅距衍射光栅的原理及应用[J]. 光

学精密工程,2001,9(3): 284 - 287.

- [14] 靳飞飞,刘世炳,朱效立,等. 自聚焦变栅距光栅设计、制作及特性研究[J]. 光电工程,2009,36(11): 48 - 52.
- [15] 时轮. 一种亚纳米级栅距变化量的变栅距光栅分度控制方法的研究[J]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2002:18 - 20.

(上接第 2 页)

到离轴抛物镜上,再经离轴抛物镜汇聚在焦点处,焦面像纸上出现指示光光斑.保持方位不变,将转台俯仰旋转  $30^\circ$ ,开启指示光器,焦面像纸上再次出现指示光光斑.用游标卡尺测量 2 个指示光光斑中心的距离.调整发射镜 4 位置来计算出  $h$  的位移量.

#### 4.3 调整指示光光束与显示器十字线重合.

当指示光光束与转台 X 轴和 Y 轴平行,将斜棱切入测试系统,观察像面光斑位置.调整发射镜 5,使十字线中心与指示光光斑中心重合.

## 5 系统误差分析

当转台旋转时转台存在轴晃动量,因为轴晃动量远远小于系统误差,所以将离轴晃动量忽略.

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2}$$

假设  $\delta_1$  和  $\delta_2$  误差相等,那么  $\delta = \sqrt{2\delta_1^2 + \delta_3^2}$

$\delta_1$  主要误差来源有离焦量  $\theta$ 、位移量  $h$ ,则公式

$$\theta = \frac{h}{f} \Rightarrow h = \theta f. \text{ 此时的 } h \text{ 是不存在系统误差时的位移量.}$$

假设指示光光束与十字线重合, $\delta_3$  主要误差还应包括斜方棱镜的误差、离轴抛物镜误差、人眼的瞄准精度.标准人眼的瞄准精度为  $10''$  ( $0.048 \text{ mrad}$ ).离轴抛物镜误差如图 5.

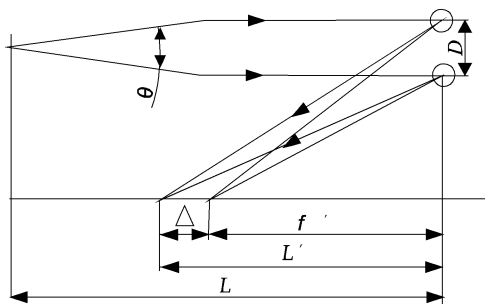


图 5 离焦量示意图

根据公式  $\frac{1}{L'} - \frac{1}{L} = \frac{1}{f'}$ ,  $L' = \Delta + f'$ ,  $\theta = \frac{D}{L}$ ,

$$\theta = - \frac{D}{(f' + \frac{f'^2}{\Delta})}$$

由于  $\theta$  的存在导致了焦面的离焦量<sup>[5]</sup>.  $D$  取 2 mm,  $f'$  取 800 mm,当离焦  $\Delta \leq 1 \text{ mm}$  时,  $\theta \leq 3.12 \times 10^{-3} \text{ mrad}$ . 由于  $\theta$  远远小于 2 mrad,所以忽略不计.斜方棱镜的加工误差为  $30''$  即 0.145 mrad.

$$\delta_3 = \sqrt{0.048^2 + 0.145^2} = 0.15 \text{ mrad}$$

根据  $\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} = \sqrt{2\delta_1^2 + \delta_3^2}$ ,可推出系统误差.

## 6 结束语

经过上述误差分析得出系统误差远远小于转台精度要求,测试系统的误差对系统的测试精度几乎无影响.测试系统利用离轴抛物镜的工作原理,对转台精度进行校正.由于增大了系统焦距使测量精度有很大的提高,而且更方便直观地观察到结果.不仅提高了测试精度,而且提高了工作效率.

### 参考文献

- [1] 郁道银,谈恒英. 工程光学[M]. 北京:机械工业出版社,2004:16 - 17.
- [2] 杨力,吴时彬,高平起. 420 离轴抛物镜的制造[J]. 光学技术,2008,(3):44 - 47
- [3] 李士贤,李林. 光学设计手册[M]. 北京:北京理工大学出版社,1996:197 - 214.
- [4] 沙定国. 误差分析与测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社,2006:97 - 110.
- [5] 王响. 反射式准直系统设计与检测[D]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库,2007.