

动态弯沉角光学自准方法测量

常国忠

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 用凹球面反射镜曲率中心光学自准方法, 通过测量自准像位移来计算弯沉角, 是一种高分辨率、准确、简单地测量方法。它适用于旋转运动中的高精度光学件或机械件相对位置变化的实时动态小弯沉角测量。

关键词: 弯沉角; 动态测量; 模拟

大型光学测角经纬仪的主镜筒在重力与外力作用下跟踪动态目标测角中, 经常出现主系统视轴晃动。若晃动数值较大, 就成为仪器的主要超差源。由于主镜筒、光学件或机械件间的相对位置偏离, 致使出现弯沉角增量, 以及光入的射角的变动等, 这是视轴晃动的主要因素。查找系统中弯沉的部件及其弯沉原因, 是件烦琐的工作。

本文应用光学自准方法, 用凹球面反射镜作测量用的自准镜。自准光源和测量读数显微镜测微系统, 测动态自准球心像位移、由像位移计算入射光夹角变化——弯沉角。

1 自准测量光学系统构成

凹球面反射镜作测量用自准镜, 如图1所示。自准光源S经分光片BS, 照亮十字基准分划板O为物点, 入射光反射像O', 测量读数显微镜M测自准像位移 h , 用像位移计算弯沉角的晃动力量。

凹球面反射镜作自准镜测弯沉角有双重作用: (1) 没像差。像成在物方一侧, 具有定中作用, 可提高像位移测量精度。(2) 当作自准测微系统中的长焦距物镜, 像位移是自准镜弯沉角的二倍函数, 可提高测量分辨率。

2 动态弯沉角与像位移的函数关系

由弯沉产生的视轴晃动是任意方向的, 可连续测量两个相互垂直方向的分量, 求出最大弯沉角。以子午面为例, 垂直图面转动测量。(1) 相对

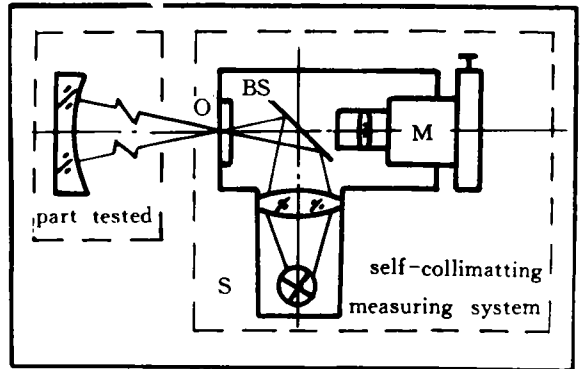


图1 自准光学测微机构

Fig. 1 Self-collimating optical micrometer system

测量:如图 1 大边框所示。自准测量凹面反射镜与自准测量显微镜同时转 180°,扫描测量空间任意角位置自准像的相对位移,很容易测得最大弯沉角值。(2)直接测量:如图 1 中、小框所示。主系统中凹面反射镜直接作测量自准镜,精确标定正倒镜 180°转角两点,由定点自准测量显微镜测像位移,空间最大弯沉角不易测到,这是视轴晃动超差的主要因素。

以下分几种误差状态进行讨论。

2.1 分划板十字中心在曲率中心上。

自准镜装在被测部件上,自准分划板十字中心 O 与自准凹面反射镜曲率中心 C 重合(如图 2 所示)。

过曲率中心 C 光线 CA 与 CB 入射角 i_0 等于零,反回光 AC 与 BC 成像 O' 与曲率中心 C 重合,函数 $P(i_0)$ 等于零。

2.2 自准凹面反射镜平动 e 距离

相对基准分划板中心 O 偏离曲率中心 C 距离 e ,轴外物点光线 OS 与 OB 反回光成像 O' ,入射角的函数 $P(i_1)$ 有下列关系(如图 3 所示)。

$$OC=CO'=e \tag{1}$$

$$OC=CO'=2e$$

$$P(i_1)=\tan i_1 = \frac{e}{f} = \frac{e}{R} \tag{2}$$

式中, f ——被测主系统中光学件焦距;
 R ——凹面自准测量用反射镜半径。

式(2)中 e 经测量读数显微镜放大 M 倍的像 e'

$$e' = Me \tag{3}$$

$$\Delta P = P(i_1) - P(i_0) = P(i_1) - P(0)$$

$$\Delta P = P(i_1) = \tan i_1 = \frac{e'}{Mf} = \frac{e'}{MR} \tag{4}$$

式(4)中, i_1 无论是正是负都存在。式(2)中 e 是小量,用小角值表示

$$i_1 = \frac{\rho'' e'}{Mf} = \frac{\rho'' e'}{MR} \tag{5a}$$

式(5a)中 ρ'' ——1 弧度的角秒值(206265 秒)。

式(5a)中,位移 e 对主系统中的光学件焦距不同, i_1 入射角函数有大小变化。

2.3 自准凹面反射镜转 i_2 角函数

光轴转 i_2 角,基准十字分划板中心 O 相对光轴距离 d ,光 OA 与 OB 反回光成像 O' ,计算式(1)~(5a)全适用(如图 4 所示)。

$$CO=CO'=d$$

$$CO+CO'=2d$$

(6)

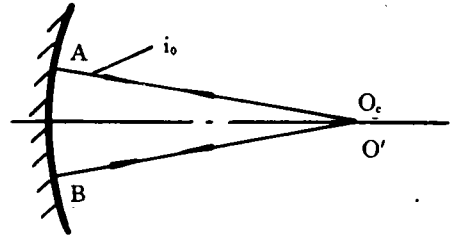


图 2 分划板十字中心在曲率中心上
 Fig. 2 Crossing point of scale plate is at center of curvature

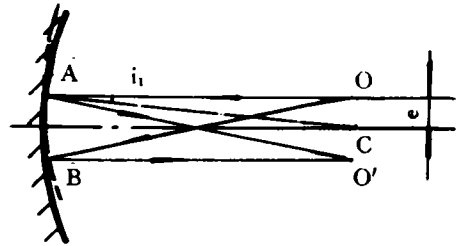


图 3 自准镜平动 e 距离
 Fig. 3 Translation distance e of the self-collimating lens

$$P(i_2) = \tan i_2 = \frac{d}{f} = \frac{d}{R} \quad (7)$$

$$d' = Md \quad (8)$$

$$\Delta P = P(i_2) - P(i_0) = P(i_2) - P(0)$$

$$\Delta P = P(i_2) = \tan i_2 = \frac{d'}{Mf} = \frac{d'}{MR} \quad (9)$$

式(9)中,无论 i_2 是正值还是负值都成立,对于转角 i_2 是定数。式(9)中小量 d' 用小角值表示

$$i_2 = \frac{\rho'' d'}{Mf} = \frac{\rho'' d'}{MR} \quad (5b)$$

2.4 视轴晃动弯沉角合成式

自准凹球面反射镜晃动像位移 $2(e+d)$ 是弯沉角 i_1 加 i_2 的 2 倍 2 维函数。

$$h_1 = 2(e+d) \quad (10a)$$

$$h_1' = 2(e'+d') \quad (10b)$$

e 与 d 的正负和差值,由自准凹球面反射镜在光路中相互叠加或低消。自准测量读数显微镜系统只能读出 2 倍 e 与 d 的和差值 h_1

(如图 5 所示)弯沉角 α 的函数式为

$$P(\alpha) = P(i_1) + P(i_2) \quad (11)$$

$$\alpha = i_1 + i_2$$

$$\alpha = \frac{\rho'' e'}{Mf} + \frac{\rho'' d'}{MR} \quad (12)$$

选准被测部件,确定自准测微系统中凹球面反射镜半径(设计专用测量凹球面自准镜)有下列关系式。当 R 等于主系统中被测光学件焦距 f ,式(12)简化成下式表示弯沉角 α 。

$$\alpha = \frac{\rho''(e' + d')}{Mf}$$

$$R = f \quad \alpha = \frac{\rho''(e' + d')}{Mf}$$

$$R < f \quad \alpha < \frac{\rho''(e' + d')}{Mf}$$

$$R > f \quad \alpha > \frac{\rho''(e' + d')}{Mf}$$

主系统中光学件是反射镜时,反射像位移 h 角放大 2 倍用 γ 表示。

$$h_1 = 2R\alpha = \gamma R\alpha \quad (13)$$

装反射镜要慎重,严格控制自检公差。

4 应用实例

实测某大型经纬仪主镜筒时,选择次镜筒三叶支承架结构刚度进行动态弯沉角 α 测量(如

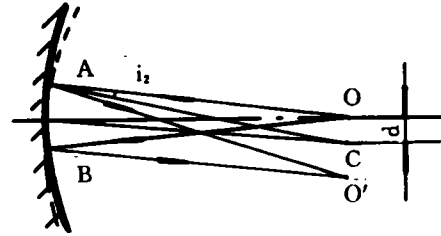


图 4 自准镜转 i_2 角

Fig. 4 Rotating angle i_2 of the self-collimating lens

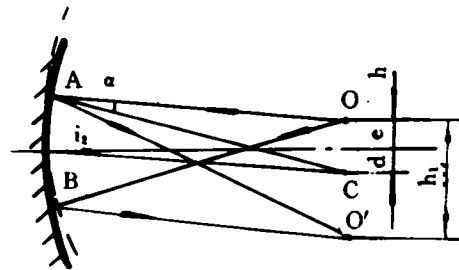


图 5 自准镜转 i_2 角平动 e 距离

Fig. 5 Rotating angle i_2 and translation distance of the self-collimating lens

图 6 所示)。

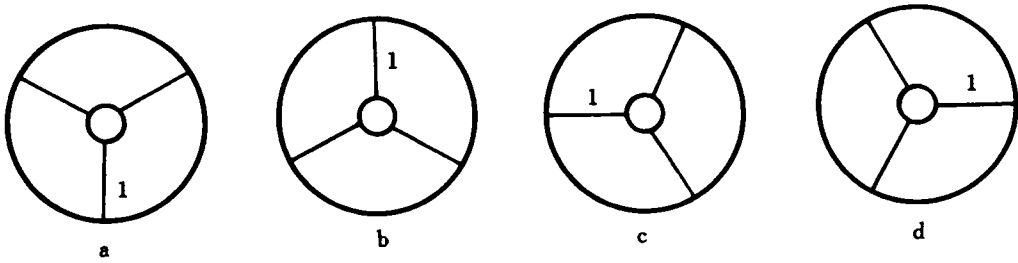


图 6 次镜支承 a 与 b 正倒 180°; 次镜筒转 90° c 与 d 正倒 180°

Fig. 6 The support a of the secondary mirror rotated to b through angle of 180° and tube of the secondary mirror rotated to angle of 90° then the support c of the secondary mirror rotated to d through angle of 180°

设计专用凹球面自准测量反射镜半径 R 等于到测量基准十字分划板距离。面形好于 1 个光圈。将专用测量凹球面自准镜, 次镜、支承三叶架镜筒固定在一起, 装配要按实际使用情况, 正规装配工艺装紧牢固。自准测量读数显微镜固定在主镜筒另一端盲板上, 组成自准光学测量系统(如图 7 所示)

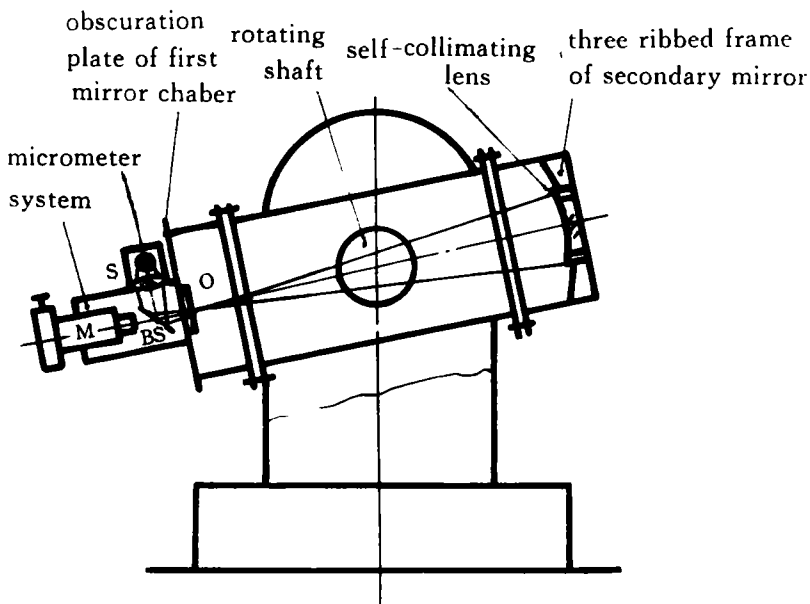


图 7 实测主镜筒次镜三叶架弯沉角。

Fig. 7 Angle-bended of three ribbed frame of secondary mirror tube by means of relative measurement

有了自准系统,我们对次镜筒三叶支承架结构刚度进行两种支承方式动态相对测量(如图 6 中 a 与 b 和 c 与 d)。

第一种支承状态 a 正镜 b 倒镜,第二种状态是次镜筒顺时针转 90° c 正镜 d 倒镜(如图 6 中所示)。转动 180° 动态测出 a 与 b ; c 与 d 最大像位移,测量五次平均值应用式(13)计算弯沉角 α 列表 1。

Tab. 1

position		max. lm. displ.	bending and setting angle α	
		$h = \gamma(e+d)$	α	$\gamma\alpha$
measuring	a	0.126	9.88"	19.76"
mirror	b	0.130	10.15"	20.30"
rotated	c	0.140	10.93"	21.86"
to 180°	d	0.133	10.38"	20.76"

测量计算结果表明:旋转 180° 相对测量中,最大像位移不在 180° 正倒镜两点,正倒镜像位移数值差小; a 与 b 支承状态好于 c 与 d 支承状态; a 与 b 和 c 与 d 相对测量弯沉角 α 占总体测角指标权过大。验证式(13)能测出影响总测角精度的部件,原因及误差量,可以区别是装配问题或设计结构问题。

5 结 论

自准光学方法动态测量大半径光学件或长机械件弯沉角,测量范围为 $30' \sim -30'$;测量灵敏度很高,测量精度可达 $0.5''$;它是准确、迅速地测量弯沉角的简单方法;可以预测总测角精度及主系统影响量;适用于单轴晃动测量及双轴垂直轴与水平轴垂直正交检调。成为研制生产大型经纬仪过程中自检、预测角精度的主要手段。

参 考 文 献

- [1] 胥素兰,刘德军摘译,光学透镜的偏心问题,舰船光学,1983(增刊 2):1—25
- [2] 刘德军译,光学系统的偏心测量与计算方法,舰船光学,1983,(增刊 2):26—36;
- [3] 胥素兰译,光学系统的装配误差与调整,舰船光学,1983,(增刊 2):37—47
- [4] 马素琳译,测量小旋转角的新的光学方法,光学技术,1990,23—25

Optical Self-collimating Measurement Method of Dynamic Bending and Settling Angle

Chang Guozhong

(*Changchun institute of Optics and Fine Mechanics,
chinese Academy of sciences, Changchun 130022*)

Abstract

The paper describes a high resolution, high accuracy and simple method of measuring dynamic angle by means of optical self-collimating of concave mirror curvature center. The measurement method can be used for real-time measuring dynamic small bending and settling angle introduced by relative position changing under rotating.

Key words: Bending and settling angle, Dynamic measurement, Analogue

常国忠 男, 59岁, 1963年来长春光机所。主要工作: 仪器设计、大型电影经纬仪光机装校、光学检测。曾任装校车间主任, 工厂总技术室主任。编制“地标角反射视线诱导器”标准已出版。现设计中小型辐照面、高准直太阳模拟器; 研制生产高精度太阳角计测角转台等测角仪器。