

# 高精度数字光电定心仪

周 长 新

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

## 提 要

本文论述了数字光电定心仪的工作原理, 总体结构方案, 光学系统, 机械结构和电路原理以及试验与使用的结果。该仪器可用于磨边或胶合定中心和检验透镜中心误差。测量球心偏差精度可达 $1\mu\text{m}$ 。

关键词: 透镜定中心。

## 一、前 言

近代空间光学, 微电子学, 生物工程和激光技术的发展, 对光学仪器的成像质量要求越来越高, 分辨率接近衍射极限。从而对透镜加工过程中的中心误差控制要求很严。例如侦察卫星照相机镜头, 大规模集成电路制造用的微缩镜头, 制版镜头以及平场复消色差高倍显微物镜等精密镜头, 均要求透镜中心误差达角秒(或微米)数量级。因此, 研究高精度定中心方法和仪器已成为国内外普遍重视的课题。近几年, 我国也相继研究成功一些以干涉法, 光学法为基础的精密定心仪器。采用高放大倍数的光学对心器和灵敏度很高的干涉定心仪, 虽然也可以获得较高的定心精度, 但读数方法均为通过目镜肉眼观测, 进行估读, 不能精确定量, 带有一定的主观随意性, 并且视场小使用上受到一定的限制。我们与沈阳仪器仪表工艺研究所协作, 研制成功我国第一台以光电法为基础的SGD-1型数字光电定心仪, 测量透镜中心误差为 $1''$ 。它具有测量精度高, 测量数据直观(数字显示)便于实现自动化等优点。该仪器应用于生产, 可解决精密镜头的加工与装配。通过国家鉴定, 认为该仪器的主要技术指标, 达到了八十年代国际先进水平。

## 二、仪器的用途、性能及技术指标

数字光电定心仪主要用于透镜定中心和检测光学零件中心误差。可用于磨边定心, 胶合定心和装配定中心。此外也可用于测量机床精密轴系的回转运动误差或作为光电自准式平行光管用于精密测角(精度 $0.2''$ )。

仪器主要技术指标:

(1) 测量透镜半径 范围  $+\infty \geq R \geq -\infty$ ;

(2) 测量透镜球心偏差精度:  $1\mu\text{m}$ , 折算为中心误差最高可达 $0.5''$ (长半径情况下)。仪器灵敏度 $0.1\mu\text{m}$ 。

(3) 仪器分辨率: 光栅数字显示脉冲当量 $1\mu\text{m}$ ; 差动测微丝检格值 $1\mu\text{m}$ , 示值误差全

收稿日期: 1986年9月8日; 收到修改稿日期: 1986年10月30日

长范围内  $\pm 2 \mu\text{m}$ 。

(4) 仪器工作稳定性和可靠性: 适用于车间生产条件下使用, 当电源负载变化以及存在机械振动, 电磁干扰和光照变化情况下, 仪器读数显示装置指示不变。光电定心放大器在测量期间保持稳定, 零点飘移小于 1。

### 三、工作原理

光电定心仪工作原理与一般常用的反射式光学对心器相似, 它是基于测量球面球心自准反射像的跳动。所不同的是采用高灵敏度光电元件作为接收器, 具有比人眼更高的分辨率, 并且通过高倍率电子学放大, 从而获得更高的灵敏度与测量精度。仪器工作原理简图见图 1。

光源 1 经聚光镜 2 均匀照明位于准直镜 5 焦面上的光阑 3 之圆孔, 圆孔像经物镜 6 聚焦于被检零件 7 的球心, 按自准原理, 球心反射像沿原路对称地返回成像于分光棱镜 8 的棱边 A 处, A 与光阑孔处于共轭位置。圆光斑被棱边分割成两部分, 若被检透镜存在偏心差时, 转动透镜 7, 被分割的两束光能量不等, 其差值大小相应于球心偏数值。它们分别通过对称的双光路分光调制系统 (由直角反射棱镜 9, 物镜 10, 调制盘 11, 反射镜 12 和会聚棱镜 13 组成), 最后重新会合于硅光电池 14, 由此输出一组调幅的电讯号。经过两次选频放大, 相敏检波后获得直流讯号, 其幅值大小与极性反映了偏心差大小与方向, 由微安表指示。将偏心差讯号继续放大用以驱动伺服系统工作, 使分光棱镜作零位平衡位移, 由光栅莫尔条纹数显装置测得位移值即相应于透镜偏心差数值。

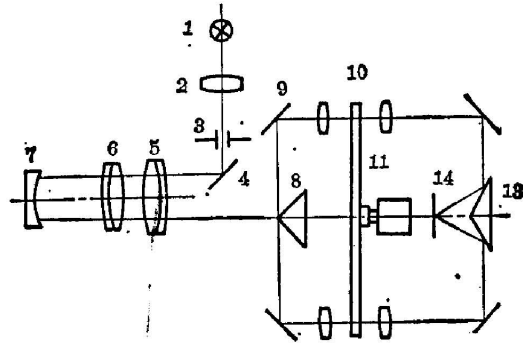


Fig. 1: Principle of the instrument

1—light source; 2—condenser; 3—stop; 4—plane mirror; 5—collimator objective; 6—focusing measuring objective; 7—lens to be tested; 8—separating prism; 9—90° reflecting prism; 10—objective; 11—modulating disk; 12—plane mirror; 13—convergent prism; 14—silicon photocell.

### 四、光、机、电总体结构方案介绍

#### 1. 光电测量灵敏度分析

这种采用分光光电法测透镜中心误差的仪器, 其系统的理论灵敏度决定于能探测到的最小光通量相对变化。在照度均匀条件下, 光通量的相对变化等于光斑面积的相对变化。即:

$$\frac{\Delta\phi}{\phi} = \frac{\Delta S}{S}, \quad (1)$$

式中  $S$  与  $\phi$  分别表示定好中心的光斑面积与光通量的变化量。

由图 2, 当存在偏心差  $\Delta x$  时, 光阑像偏离棱边, 被棱边分割的两部分面积的变化量  $\Delta S$

为阴影所示的长窄条面积, 光斑半径为  $R$ , 并考虑到采用差分测量, 灵敏度增加一倍。那末

由 (1) 式可推算出分光光电法测量偏心差的系统理论灵敏度  $S_T$  的计算公式

$$S_T = \frac{2\Delta S}{S} = \frac{8\Delta x}{\pi R} \quad (2)$$

按设计原始要求  $\Delta x = 1 \mu\text{m}$ , 光阑孔直径设计数据为  $1 \text{mm}$ , 由 (2) 式得  $S_T = 1/200$ 。由此, 欲使仪器能测出  $1 \mu\text{m}$  偏心差, 要求电子线路, 光学系统和光电器件能分辨出二百分之一的光通量变化。其限值决定于电子线路的噪音水平, 光电器件的颗粒噪音, 热噪音, 仪器使用环境的干扰和选频放大器的通频带

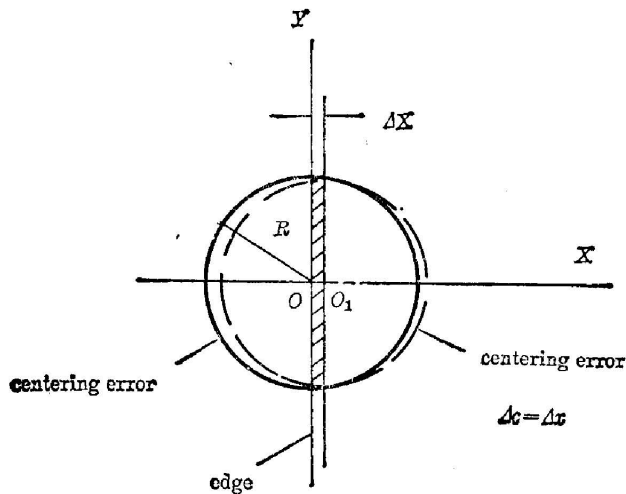


Fig. 2 Stop image in conjugate plane

大小等因素。为此, 本仪器的总体设计方案应保证: 最大限度地提高光学系统的能量, 光源辐射通量稳定, 光阑照度均匀; 光电转换及电子线路要最大限度地消除寄生信号源, 有效地抑制噪音, 有高的讯噪比; 结构设计要求精度与灵敏度高, 刚性和防振性能好。

2. 总体结构方框图及电路原理

仪器结构方框图如图 3 所示。由光学测量装置 1 测得的透镜球心反射像被棱镜 2 分像成两束不等能量光束, 并使这两束光同时到达调制盘 3 的两端, 调制盘是半周开槽, 两束光轮流通过槽孔, 其相位差  $180^\circ$ , 因而其输出后转换成一组调幅经光电转换器 4 的光电讯号, 如图 4 所示, 载波频率为  $1000 \text{Hz}$ , 调制频率为  $25 \text{Hz}$ 。此调制讯号经前置放大器 5 预放大后输入到主电路系统电器箱(由图 3 中 6、7、8 部分组成)。经过直流放大器 8 放大后的电

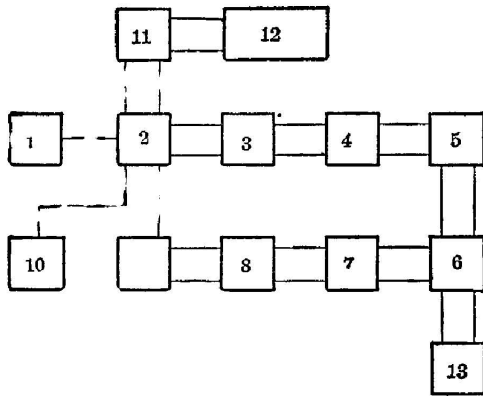


Fig. 3 Block diagram of the instrument

1—optical measuring unit; 2—separating prism; 3—modulator; 4—photo-electric conversion; 5—pre-amplifier; 6—circuit of twice selective amplifier; 7—phase-sensitive detector; 8—D. C. amplifier; 9—servomechanism; 10—differential screw; 11—grating reading head; 12—digital display; 13—oscilloscope

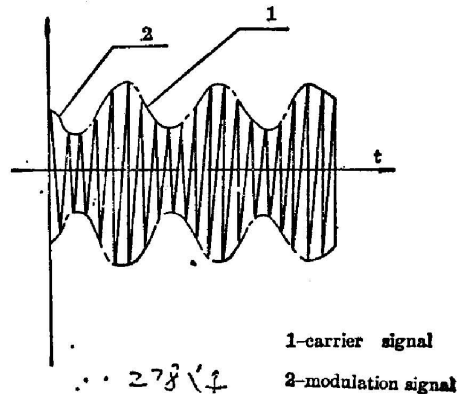


Fig. 4 Shape of photoelectric signal

压讯号, 反馈至伺服机构 9、驱动分光棱镜 2 自动跟踪光斑作归零的直线移动, 直到偏心差讯号为零完成测量过程。系统总放大系数:  $\beta=2.4 \times 10^6$ 。光栅读数头 11 与数字显示装置 12 组成位移测量系统, 测出分光棱镜的位移即偏心差数值。此外, 还可以利用差分螺旋 10 移动分光棱镜, 使微安表指零, 该时自动测量系统被切断, 系统工作在开环状态, 由差分螺旋读数鼓和光栅数显装置同时给出球心偏数值和方向。两种读数装置测量数据完全吻合。整个电路可满足高增益和低噪声的设计要求。

光栅数显电路比通常的数为简单。光栅刻线为 100 line/mm, 即栅距 0.01 mm。经过电路十倍频可获得  $1 \mu\text{m}$  的脉冲当量。该电路抗干扰性强, 简单实用, 稳定可靠。

### 3. 光学系统与结构设计

光学系统由光学测量装置和分光调制, 光电变换两大部分组成。前者为一个长焦距的反射式光学对心器, 由自准式平行光管, 可调焦测量物镜组和读数显微镜组成。其特点首先是采用了离轴系统, 避免了通常采用半透反射镜带来的光能损失。其次是采用了可调焦测量物镜与固定物镜相组合, 使得被测透镜半径范围可由  $+\infty$  至  $-\infty$ , 从而避免了频繁地更换物镜。分光调制与光电变换是两支完全对称的光路, 保证偏心差为零时, 两束光到达硅光电池的能量相等。这是一个双光路零位平衡法光电自动测量系统, 光路中还包括有非球面光栅读数头与光电参考讯号两个辅助光学系统。

整台仪器在结构设计上可分解成完全独立的两部分: 光学测量装置和分光调制及光电变换装置。前者也可以单独作为高精度光学对心器用; 后者可作为通用部件推广应用, 它由六个精密仪器部件组成: 精密差分螺旋测微计, 谐波齿轮伺服微动机构、分光系统、调制盘部件、光栅读数头、光电变换装置。

## 五、使用效果及国内外水平对比

### 1. 仪器的检测与使用

用感量为  $0.1 \mu\text{m}$  的 DGB-5 型电感测微仪对仪器的读数系统进行检测并进行了多种测量与试验: 定心精度、重复性、灵敏度、抗干扰能力以及工作稳定性等。全部指标均达到设计要求。

仪器与高精度液体静压轴承磨边机床配套使用, 在静压主轴上定心磨边, 不管是长半径还是短半径零件, 均获得满意结果。例如  $R71.34 \text{ mm}$  的凹面(镀有增透膜)、定心精度达  $0.29 \mu\text{m}$ ;  $R1949.8 \text{ mm}$  的凹面可定心到  $6 \mu\text{m}$ (面倾角  $0.4''$ );  $R894 \text{ mm}$  的凸面, 定心磨边后, 球心偏为  $2.5 \mu\text{m}$ (面倾角  $0.5''$ ), 磨边后零件不圆度均小于  $1 \mu\text{m}$ 。对平场复消色差高级显微物镜多片透镜定心到球心偏小于  $2 \mu\text{m}$ 。该仪器还与一个专门设计的锥形精密滚珠轴转台配套使用, 组成光电胶合定心仪, 用反射法胶合定心, 球心偏也可以控制到  $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 。装配定心时, 可在高精度车床精密导轨上移动定心仪, 对各片透镜每个表面逐个测量球心反射像, 以精密主轴为基准轴, 逐个进行定心。该仪器主要与磨边机配套, 已应用于生产, 使用效果证明, 精度稳定可靠, 操作维修方便, 以数字显示代替肉眼观察, 深受生产者欢迎。

### 2. 国内外水平对比

本仪器与国外同类仪器相比, 在设计方案与工作原理上有独创之处。国外通常均采用

四像限探测器进行分光, 差分直流放大, 示波管显示, 往往抗干扰性较差, 难以达到高精度。如英国 Sira-Beck 光电定心仪<sup>[1]</sup> 和联邦德国 LOH 厂的 M<sub>2</sub> 型激光光电定心仪精度均为 10''; 美国 Bausch & Lomb 公司的透反射干涉光电定心仪精度为 8''<sup>[2]</sup>; 法国光学研究所的反射式光电定心仪精度为 5''<sup>[3]</sup>; 苏联的透反射光电定心仪精度为 3 μm<sup>[4]</sup>。我们由于采用了棱镜分光, 机械调制, 双光路零位平衡法原理, 以棱镜位移数字量测量代替偏心差电压模拟量测量, 从而大大提高了测量精度与稳定性, 使仪器的主要技术指标超过了国外, 比国内生产上常规使用的光学对心器定心精度提高了一个数量级。

本工作曾得到唐九华同志的关心与支持, 在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] G. Jaunet, J. P. Marioge; *Nouv. Rev. Optique*, 1975, 6, No. 6 (Nov.-Dec.), 353~360.
- [2] Donald. D. Nord; *U. S. Patent 3, 542, 476*, Nov. 24, 1976.
- [3] G. Jaunet et al.; *J. Optics (paris)*, 1978, 9, No. 1 (Jan. -Feb.), 31~44.
- [4] A. A. Белоглазов, A. H. Орнис; «ОМП», 1972, №0. 10 (Окт.), 57~62.

## Precision digital photo-electric centering instrument

ZHOU CHANGXIN

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 8 September 1986; revised 30 October 1986)

### Abstract

The working principles of a digital photoelectrical centering instrument, its completed construction project, optical system, mechanical design, circuit principles and the results of testing and using of the instrument are described in this paper. This instrument can be used for centering during edging and cement, and testing centering error of lenses. We can measure deviation of spherical center with an accuracy as small as 1 μm.

**Key Words:** lens centering.