

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0143-03

# 光栅楔形平板干涉法动态角度测量系统零点的确定

陶卫, 浦昭邦, 庄志涛, 张琢

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要** 针对所研制的光栅楔形平板干涉动态角度测量系统,提出了一种确定动态测量零点的新方法。利用干涉法找到 $360^\circ$ 自然角度基准中光程差达到最大和最小的特殊点,作为动态测量时的固定零点。采用这种标定方法不需要另外增加光路,结构简单,操作方便。实验表明,定位精度优于 $0.5''$ 。

**关键词** 精密工程测量; 光栅楔形平板; 激光干涉; 角度测量; 零点

中图分类号 TH741.6; TH745.2

文献标识码 A

## Zero-Point Determination of Dynamic Angle Measurement with Grating Wedge-Plate Interferometer

TAO Wei, PU Zhao-bang, ZHUANG Zhi-tao, ZHANG Zhuo

(Department of Automation Measurement & Control Engineering,

Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract** An unchanged zero-point is a main problem in the measurement process of dynamic angle measurement. For the designed dynamic angle measurement system with grating wedge-plate interferometer, a new method of determination of the zero-point of dynamic measurement is proposed. Special points of maximal and minimal optical path differences determined by interference using  $360^\circ$  natural angle standard are used as fixed zero-point of dynamic measurement. No additional optical path is needed by this method which makes the structure simple and operation easy. Experiments show that the positioning accuracy is better than  $0.5''$ .

**Key words** precision engineering measurement; grating wedge-plate; laser interferometry; angle measurement; zero-point

## 1 引言

高精度角度测量技术是工业生产和质量控制中的关键性技术,随着角度测量精度的提高,对相应的检定技术也提出了越来越高的要求。而动态角度测量中如何建立一个固定不丢失的零点是整个测量的重要组成部分。激光干涉测角技术由于具有测量精度和测量分辨力高的优点,在动态角度测量中得到了广泛的应用。本文针对所设计的双频激光光栅楔形平板干涉法动态角度测量系统,提出了一种确定动态测量中固定零点的方法。

## 2 光栅楔形平板干涉法动态角度测量系统

为了实现高精度角度测量,国内外的科研工作者研究了许多方法<sup>[1]</sup>。这些方法大多只能在静态条件下达到很高的测量精度和准确度。激光干涉法由于测量精度高和稳定性好,在小角度测量范围内得到了普遍应用,许多改进的方法用于动态及大角度测量也相继出现。本文提出了一种新的双频激光干涉动态任意角度测量方法——光栅楔形平板干涉角度测量方法,该方法的光路如图1所示,详细原理在文献[2]中已有介绍。这种测角方法将光栅楔形平板引

基金项目: 国家自然科学基金(59875017)资助课题。

作者简介: 陶卫(1975.8-),女,辽宁大连人,博士生,主要研究方向为光电测量技术及数字图像处理技术。

E-mail: taowei822@sina.com

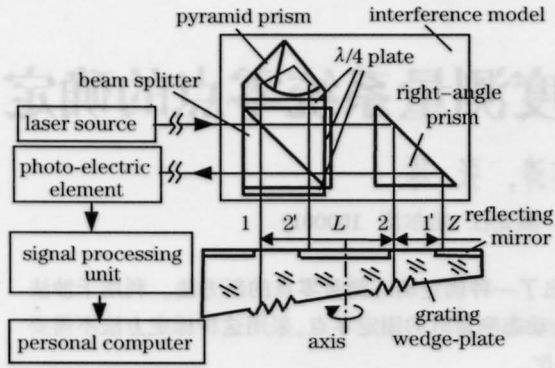


图1 光栅楔形平板干涉仪光路原理

Fig.1 Optical principle of angle interferometer with a grating wedge-plate

入双频激光干涉仪中,将干涉仪的测量范围扩大为整周任意角度,并且可以充分利用干涉仪测量精度高、系统稳定的优点,实现高精度和大的动态测量范围。

### 3 动态测量零点的确定

动态角度测量系统,测量精度不仅取决于干涉仪的精度,还要受到零点定位精度的影响。因此为了保证测量精度及可靠性,需要研制一种高精度的零点确定方法。以往确定测量的零位通常是利用光电自准直仪和光学多面体相结合,产生定位脉冲,作为零位触发信号<sup>[3]</sup>。通常自准直仪的调整比较困难,这样容易引入系统误差,致使零位的确定不是很准确。

另外,干涉测量中许多零位点都是通过干涉信号得到的,这样测量系统比较庞大,而且对光源功率不是很高的情况下,会由于多路分光使得测量信号较弱。本文在不引入新的光路的情况下,利用干涉测量中光程差为零的特征点,采用特殊的信号处理电路形成零位确定系统来获得测量过程中的固定零点。

从测量原理可知,两路光的光程差和被测转角的关系可表示为

$$\Delta = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \tan \delta \cdot \sin \theta \quad (1)$$

其中,Δ为两束测量光的光程差,L为两测量光束之间的距离(系统中L=180 mm),θ为转角,δ为光栅楔形平板楔角(δ=4.5°)。二者的关系可用图2表示。

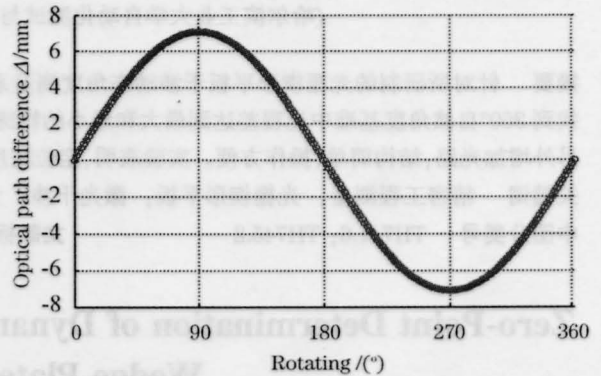


图2 光程差随转角变化曲线

Fig.2 Curve of the optical path difference with the rotating angle

从图中可以看出,在被测角转过360°角度范围内,两路相干光的光程差将由大到小、由小到大变化2次,对应的干涉条纹的移动方向将正交替替2次。利用光程差达到最大和最小的特征点(即干涉条纹移动方向发生变化的点)作为标志点,在系统中加入一套用于确定零位的信号处理电路,通过计算机判断光程差的变化或干涉条纹移动方向的变化,可以确定系统中的特征点,从而得到动态测量时系统的零点。利用该点作为参考零点,可以进行绝对测量。采用这种方法不需要另外增加光路,结构简单,容易实现,而且可以满足精度要求。

加入指零电路后的信号处理电路原理如图3所示,干涉信号处理电路为测量路,在电路中加入另外一路用作指零,两路电路由微机控制交替工作。测量路中采用脉冲计数法测量被测角度,指零路通过相敏探测器检测到两路信号的相位差,从而得到对

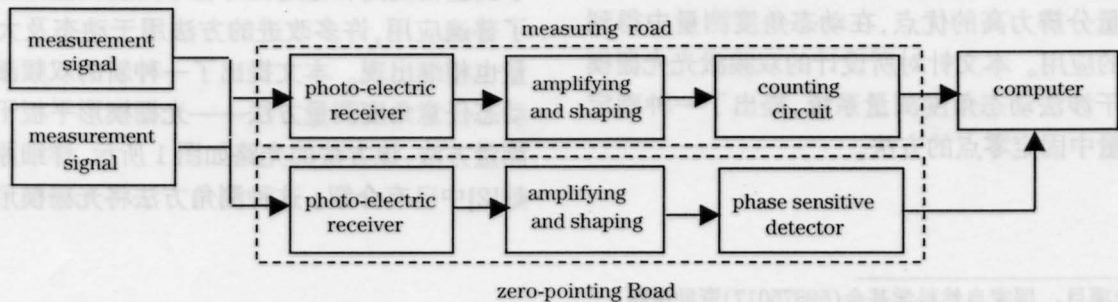


图3 零点确定系统信号处理原理框图

Fig.3 Principle of signal processing of zero-pointing system

应的光程差,通过计算机软件对光程差进行判断,可以确定光程差为零的特征点,即系统零点。确定系统零点后微机控制器发出一个计数脉冲,测量时以该点为起始点进行计数,通过记得的脉冲数的多少即可以得到被测角度的大小。

由于鉴相器变化一个周期( $2\pi$ )所对应的光程差为 $\lambda/2$ ,因此在不进行任何细分的情况下,用这种方法确定的零点的定位精度就是光程差变化 $\lambda/2$ 所对应的角度值,从测量原理可知,这个值可以达到 $9''$ 。如果采用20倍相位细分计数,则可以达到优于 $0.5''$ 的定位精度,完全可以满足测量的精度要求。

#### 4 实验结果

为了验证零点确定方法的精度和灵敏度,对所设计的光栅楔形平板干涉法角度测量系统进行了实验。采用MOTOROLA公司的MC4044鉴相器作为相敏探测器,探测两路测量光的相位差,从而得到相应的光程差,采用Visual C++6.0编制的数据采集

和分析软件对光程差进行判断,结合计数电路便可以得到零点的位置,测得的不同转速下零点的定位精度如图4所示。

从图中可以看出,零点的定位精度随着转速的变化是不同的。最佳定位精度为 $0.3''$ ,正常情况下最大误差为 $0.6''$ 。当转速达到 $200''/s$ 时,由于电路和软件的速度限制,已经超出了系统的正常工作范围,因此这时的定位精度是不确定的。

#### 5 结论

对动态角度测量中的一个重要问题——动态零点的定位方法进行了设计分析。理论和实践都表明,利用 $360^\circ$ 自然角度基准中的特征点,用软件判断的方法确定系统的零位,可以避免采用实物基准所引入的系统误差。该方法定位精度高,而且可以自动确定动态测量的零点,操作方便。实验结果表明,该方法的定位精度优于 $0.6''$ ,采用相应的补偿措施还可以进一步提高。

#### 参考文献

- 1 Jiang Zuomin. *Angle Measurement* [M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing Company. 1995.23~38
- 2 Tao Wei, Pu Zhaobang, Zhang Zhuo. Grating wedge disk and its application in the measurement of rotating angle [J]. *J. Optoelectronic Laser* (光电子·激光), 2002, 13(4): 371~377 (in Chinese)
- 3 Huang Shaomei, Ye Shenghua, Duan Fajie. Self-calibration of multiplication optic fiber's length in the optic fiber interferometer for distance measurement [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, A27(9):805~808 (in Chinese)

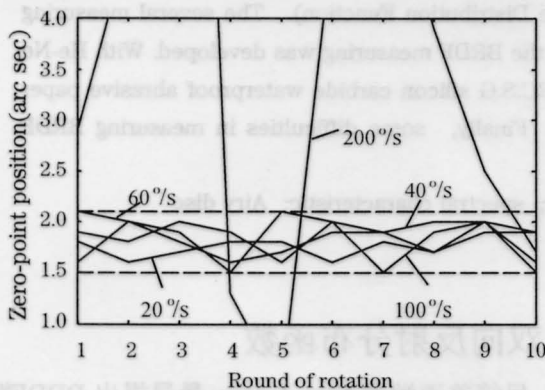


图4 动态零点误差实验结果

Fig.4 Experiment of dynamic zero-point errors