

用移相比相法动态测量 莫尔条纹细分误差

杨进堂

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 采用移相比相法测量高精度测角仪的莫尔条纹细分器的细分误差获得很好效果, 文中叙述了测量原理、测量精度和实测对比结果。

关键词: 测角仪; 动态测量; 细分误差; 相位计; 移相器

1 引言

高精度测角仪其基准分度器大都采用圆光栅。

随着科学技术的发展, 采用圆光栅作分度基准的测角仪, 测角精度和分辨率要求越来越高^[1-3], 测角精度要0.05, 分辨率达0.01以上。为获得高质量的莫尔条纹信号和研制高水平的电子学细分器精度检测, 需要一种测试手段来解决这个问题。

国家计量院研制的激光小角度测量仪较好地解决了细分误差的测量问题^[4]。该仪器在 $\pm 5^\circ$ 的测量范围内, 测量不确定度为0.03, 但仪器比较昂贵, 操作比较复杂。本文介绍一种经济实用、效率高的方法——用移相比相测量法, 测量高精度测角仪动态细分误差, 经使用效果很好。

2 测量原理

这是一种比较测量。用精密型相位计的读数作为标准, 和细分器的读数进行比较得出细分误差, 由于相位计只能测动态光电正弦信号, 这种方法仅适合动态测试。测试电路方框图见图1。

图中的 θ 为圆光栅的角位移; u_1, \dots, u_4 为各路信号的交流分量幅值, 要调整的尽量相等。

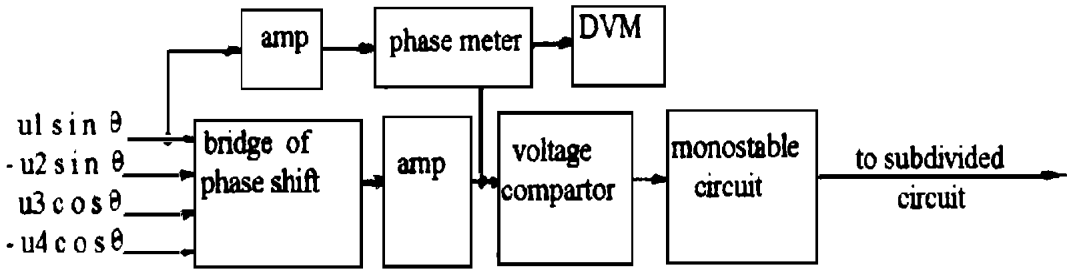


Fig. 1 Block diagram of measuring

测试过程是:测角仪运转后,四路合成标准莫尔条纹信号 $u_1 \sin \theta$ 、 $-u_2 \sin \theta$ 、 $u_3 \cos \theta$ 、 $-u_4 \cos \theta$; 输入桥式电位器移相电路,移相网络通过开关组合和调整电位器(图2)产生 $0 \sim 2\pi$ 的移相信号。移相再经放大分成两路,分别送入相位计和细分器。进入相位计的与其中一路标准信号(如 $\mu_1 \sin \theta$) 鉴相,得到相角值 φ ; 输入细分器的是经移相信号整形、单稳后变成一定宽度的采样脉冲,然后读出对应的细分值 θ_s 。如果在 $0 \sim 2\pi$ 范围内等间隔测20个点,相位计每隔18测一点,就得出一组细分误差值来。数据处理是将初始值归零,随后的每后测量值减去初始值。相位值与细分值都按照光栅栅距的对应关系统一为弧度角秒。

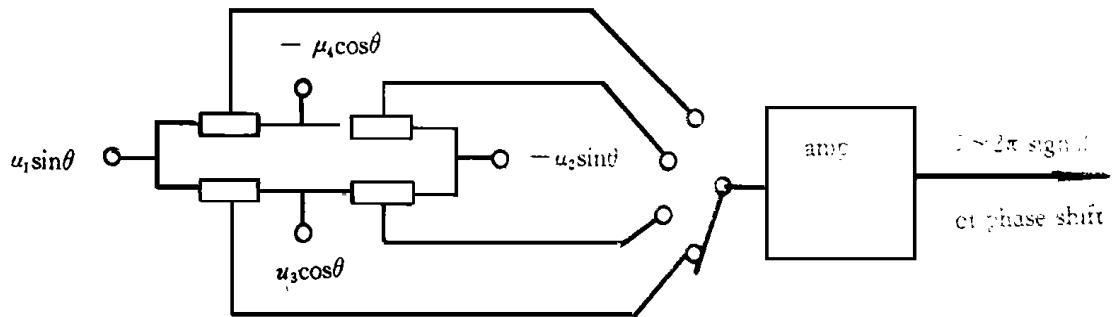


Fig. 2 Bridging circuit of phase shift

桥式电位器移相网络是空间移相网络。它是利用两个相位不同的交流电压加在电位器两固定端,由于电压合成的移相作用,再靠开关选择和移动电位器的中心抽头获得 $0 \sim 2\pi$ 的任意相位的移相信号。

3 测量精度

用相位计测量测角仪的动态细分误差,其测量精度由相位计的精度(即 $0 \sim 2\pi$ 的线性度)、分辨率和进入相位计前信号直流电平变化带来的影响。这种方法是通过信号的相位差确定微小位移量,它不受波形质量影响^[4]。

由于相位计的输入信号频率由测角仪基准圆光栅光栅栅距确定,所以测量精度又与基准圆光栅的刻线数有关。设基准圆光栅的光栅栅距为 T (角秒)。那么

- 1) 相位计的精度为 $\Delta\varphi$ 时,引起的角度误差为 $\frac{\delta\varphi \cdot T}{360}$;
- 2) 相位计的分辨率为 β 时,引起的角度误差为 $\frac{\beta \cdot T}{360}$;

3) 设输入信号幅度(峰—峰)为 u (mV), 直流电平变化为 ΔL (mV), 引起的角度误差为 $\frac{T}{2\pi} \cdot \frac{\Delta L}{u}$ [5]。

于是这种方法的测量精度为:

$$\Delta = \sqrt{\left(\frac{\delta\varphi \cdot T}{360}\right)^2 + \left(\frac{\beta \cdot T}{360}\right)^2 + \left(\frac{T}{2\pi} \cdot \frac{\Delta L}{u}\right)^2}$$

由此看出, 这种方法的测量精度与测角仪基准圆光栅刻线数有关。圆光栅刻线越密, 测量精度越高。

4 实测比对

移相比相测试法和中国计量院的激光小角仪进行过实测比对。测试是在“国家角度基准”的转台上进行的。精密转台的基准圆光栅刻线为64800, 光栅栅距为20。

相位计用上海第二电表厂生产的PX-1C, 其分辨率为0.1°; 测量精度为0.3°; 输入到相位计的信号幅值(峰—峰)为11 V, 信号直流电平变化为8 mV, 这时测试仪器动态细分误差的精度为:

$$\begin{aligned} \Delta &= \sqrt{\left(\frac{0.3 \times 20}{360}\right)^2 + \left(\frac{0.1 \times 20}{360}\right)^2 + \left(\frac{20}{2\pi} \cdot \frac{8}{11 \times 10^3}\right)^2} \\ &= \sqrt{0.017^2 + 0.006^2 + 0.002^2} = 0.018 \end{aligned}$$

激光小角度仪在测量范围 ± 1 时, 仪器总不确定度 $\Delta\alpha$ 为0.017, 测量仪器细分误差时, 测量范围较少, 所以 $\Delta\alpha$ 会更小。

首先测试仪器未经修正的细分误差, 两种方法测试结果比较吻合, 二者的最大差异为0.016 (表1)。

Table. 1

θ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
①	0	-0.009	-0.008	0.003	0.014	0.018	0.016	0.016	0.035	0.053
②	0	-0.006	-0.008	0	0.016	0.020	0.018	0.018	0.019	0.052
①~②	0	-0.003	0	0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.016	0.001
θ	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
①	0.058	0.030	-0.007	-0.038	-0.044	-0.030	-0.015	-0.019	-0.011	-0.004
②	0.060	0.031	-0.011	-0.042	-0.045	-0.030	-0.016	-0.009	-0.005	0
①~②	-0.002	-0.001	0.004	0.004	0.001	0	0.001	-0.010	-0.006	-0.004

表中 θ 为一个莫尔条周期内被检测的位置, 单位为角秒, ①为激光小角度仪测试值(单位: 角秒); ②为移相比相法测试值(单位同上); ①~②为两种方法的差值。

将表1数据划成曲线(图3), 看出仪器细分器存在十分明显的系统误差。

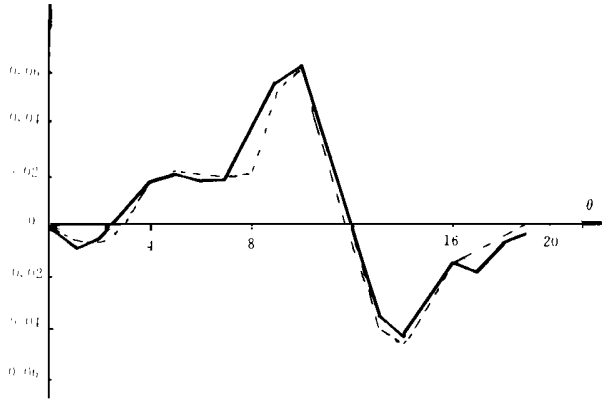


Fig.3 Contrast curves unrevised

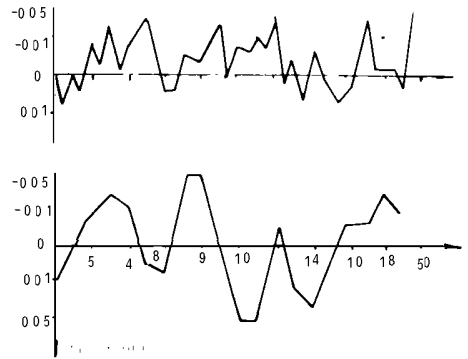


Fig.4 Subdivided error curve revised

经单片机修正,两种方法测得的细分误差由图4所示。经过修正,仪器的细分误差分布以随机误差占据了主导成份。

5 结 论

1. 通过实测比对,证实了移相比相法测量高精度测角仪动态细分误差是切实可行的。
2. 通过实测比对,证实了本文有关移相比相测试法的精度分析是可信的。因为从精度分析来看,当基准圆光栅的光栅栅距为20时,两种方法的测量精度是相当的,实测结果比对完全证实了这一点。
3. 移相比相法适合于动态测量,测量点多,测试时间短。测20个点,半小时足够(小角仪需两小时)。建立这样一套设备花费较少。

参 考 文 献

- [1] 朱应时等. 圆光栅用于角度基准的研究. 计量技术, 1995(8): 5~7
- [2] 朱应时, 杨进堂. 圆光栅的高精度高质量莫尔条纹信号的研究. 计量学报, 16(4): 280~285
- [3] 周世红. 一种莫尔条纹400等分的电子学系统. 光学机械, 1983, (2): 19~24
- [4] 角度计量编写组. 角度计量. 北京: 中国标准出版社, 1984
- [5] 李明媛, 杨进堂. 计量光栅均匀性误差的检测. 光学机械, 1983, (2): 32~38

Moire Fringe Subdivided Error Measured by Using the Comparison Phase Method of Phase Shift

Yang Jintang

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

Better results of subdivided error of Moire fringe subdividing meter of the goniometer of high precision could be obtained by using the comparison phase method of phase shift. In this paper the measuring principle, the measuring accuracy as well as the contrast results with real measurements are described.

Key words: Goniometer, Dynamic measurement, Subdivided error, Phase meter, Phase-shifter

杨进堂 男, 1941年出生。1966年毕业于太原工业大学, 副研究员。工作后一直从事线纹计量工作。两项课题获中科院科技进步一等奖, 其中角度基准获国家科技进步二等奖(是两课题的负责人之一), 曾在各种刊物发表专业性论文七篇。