

检测计量光栅均匀性误差的探讨

杨进堂

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 叙述了统一计量光栅均匀性误差的检测方法。采用莫尔条纹对比度系数, 将均匀性误差百分比表示转换成位移值表示。最后对影响均匀性误差的因素作了讨论。

关键词: 计量光栅; 均匀性误差; 莫尔条纹对比度

均匀性误差是衡量计量光栅栅线质量和尺面质量的一项综合性指标, 它可表现在计量光栅刻线区内透光量不均匀所引起的位移测量误差, 此项指标在某种意义上讲比刻划误差还重要, 它直接影响光电信号的质量, 造成细分精度下降, 甚至引起计数的错误。这项指标, 往往被人忽视, 研制计量光栅的单位对这项指标的检测很不统一, 造成在使用计量光栅的测量位移设备精度得不到有效控制。

中国计量测试学会几何量专业委员会角度学组于 1983 年组织了一次全国性的圆光栅量值比对^[1], 六个单位对三块圆光栅进行了均匀性误差测试, 提供均匀性误差检测数据(表 1)差别较大(表中数据以百分数表示)。

Tab. 1

No. of unit No. of disk	01	02	03	04	05	06
1"	1.3	0.4	2.2	1.5	1.5	1.4
2"	7.2	8.7	8.9	8.5	12.8	6.5
3"	0.7	0.8	1.8	0.9	3.6	0.7

按理讲, 检测计量光栅均匀性误差的方法不复杂, 怎么会有较大差别呢? 笔者认为在检测均匀性误差时下述三个问题不可忽视。

1 统一测量和计算方法

国内在计量光栅均匀性误差的检测方法中, 有文献介绍过的三种方法, 以分流法和光量法为主。

均匀性误差如何度量? 国内曾用光栅信号的直流电平最大变化量与信号幅值之比来计算均匀性误差(图 1)。以圆光栅为例, 其公式为:

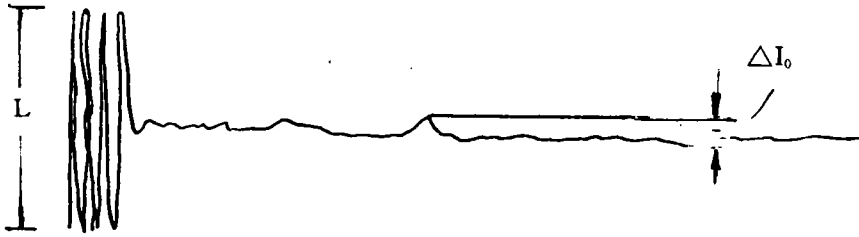


图 1 分流法测量图

Fig. 1 Measured curve by dividing method

$$\delta I_0 = \frac{T \Delta I_0}{2\pi L} \quad (1)$$

其中 δI_0 ——均匀性误差(角秒);
 ΔI_0 ——光电信号直流电平最大变化量(格);
 L ——光电信号幅度峰-峰值(格);
 T ——光栅栅距(角秒)

这样处理必然用指示光栅拾取信号,须引入对比度的概念。同一块圆光栅在不同对比度下均匀性误差是不一样的。指示光栅的位置不同对比度也不同。有时候按照给定的对比度来测量均匀性误差调整有一定困难。在这种情况下,即使同一块圆光栅每一次检测的均匀性误差值也是不一样的。

圆光栅均匀性误差的表示也不统一。有的按百分比表示;有的按角秒给出。

既然一块圆光栅的均匀性误差是客观存在的,应该是固定的值,不应该因人为因素而异。这样才对统一此项指标的量值有利。这里提出的实施办法是:

检测时不管带不带指示光栅,将接收的光电信号在记录仪上划出零电平线(也称闭灯电平线)和开灯后圆光栅旋转一周的均匀性变化曲线(图 2),按其变化量以百分数示。其均匀性误差为:

$$\delta I_0 = \frac{2(I_{0\max} - I_{0\min})}{I_{0\max} + I_{0\min}} = \frac{I_{0\max} - I_{0\min}}{I_{0a}} = \frac{\Delta I_0}{I_{0a}} \quad (2)$$

这样处理,圆光栅的均匀性误差与光电信号的对比度就没有关系了,也不必把对比度(或调制度)定为辅助指标^[1],这对统一计量光栅均匀性误差的量值极为有益。

测量时,有无指示光栅均可。根据我们的经验,不带指示光栅为好,直接将计量光栅的光通量转换成光电流记录下来,影响因素少。为了便于误差分析,均匀性误差需要用位移值表示时,在测试时可带指示光栅。

2 建立对比度系数

按照上述的实施办法检测对统一光栅均匀性误差带来很大的方便。但是这个方法与以前的方法有什么内在联系呢?它们之间能不能换算?这是计量光栅的使用设计者和刻制者关心的问题。刻制者利用测试数据指导其工作,设计者想知道在特定的对比度下(如 5:1)可能带入多大位移误差,便于光栅位移传感器的精度分析和各项指标的合理分配。根据我们的研究,采

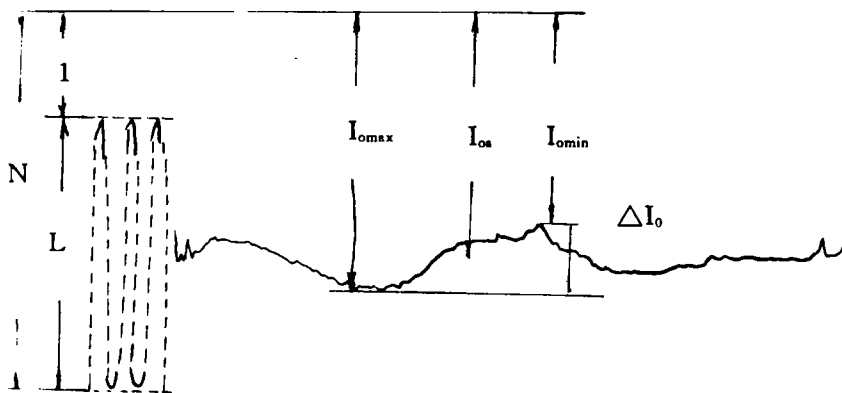


图 2 实施办法示意图

Fig. 2 Schematic diagram on operation

用对比度系数可以建立它们之间的联系。

在图 2 的误差曲线上假定画出相应的光电信号(用虚线表示),设其幅值为 L ,信号的对比度为 $N:1$, I_{0a} 为平均直流电平,列出比例式为:

$$I_{0a} : (N+1)/2 = L : (N-1)$$

$$I_{0a} = \frac{N+1}{2(N-1)} \cdot L = \alpha N \cdot L \quad (3)$$

$$\text{设 } \alpha N \text{ 为光栅信号的对比度系数,即 } \alpha N = \frac{N+1}{2(N-1)} \quad (4)$$

将(3)式和(2)式代入(1),经整理便得:

$$\delta I_{\theta} = \alpha N \cdot \frac{T}{2\pi} \cdot \delta I_0 \quad (5)$$

从(5)式可知,以圆光栅为例,只要知道均匀性误差 $\delta I_0(\%)$ 、对比度 N 值和光栅栅距 T ,便可求得均匀性误差的角值。

我们有一块作为测量挑对用的圆光栅,其刻线数为 64800,光栅栅距 T 为 $20''$,经多次测得其 δI_0 为 5.8%,按照公式(5),在不同的对比度下求出对应的 δI_{θ} (角秒)。列表 2 给出。

Table 2

N	1.4	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6
δI_{θ}	0.55	0.46	0.28	0.22	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13

按照(4)式,对比度 $N=3$ 时, $\alpha N=1$,所以计量光栅均匀性误差公式(2)是在对比度为 3:1 时的特例,这点正好在对比度曲线趋于稳定处(图 3)。在此点给出均匀性误差是适宜的。我们检测均匀性时一般采用 $N=3$ 时的值。

具体测试中,当计量光栅的设计者对莫尔条纹对比度没提出要求,就按公式(2)提供的方法给出数据;当设计者对对比度提出要求,参照公式(5)给出数据。

3 照明、光电接收及其它

在检测光栅均匀性误差时,照明及光敏接收系统是造成检测误差的重要因素,这些往往被人忽视。根据我们的工作谈谈体会。

1) 照明灯

在检测光栅均匀性误差的设备上,照明灯一般采用仅用白炽灯,照明光束通过均匀移动光栅到达接收器,灯光的波动,直接造成均匀性曲线的波动,导致测试不准确。灯光波动的原因:(i)照明电源的波动;(ii)灯丝内阻变化,特别在启动或灯的寿命接近终了时内阻变化明显。为此,供给照明灯电源采用直流稳压电源或频率高于 400 周的交流稳压电源。为了确保检测准确,灯源点亮十多分钟后,光栅在静止状态,记录仪画一段线。此线是直的,说明光源照明稳定,即可进行均匀性误差的测试。检测完毕,再画一段线,此线也是直的,这次测量有效。

另外,照明灯前加一个透镜使用平行光照明,照明孔径规定为直径 $\varnothing 5\text{mm}$ 或方孔 $4 \times 4\text{mm}^{(2)}$ 。额定 6 伏的灯泡,使用在 4~5 伏为好。

2) 接收器

在检测光栅均匀性误差设备上,光电接收器也是十分重要的环节。目前常用的有硅光电二极管和硅光电三极管。在研究检测圆光栅均匀性误差时,对同一块圆光栅测试,采用不同的接收器件,有时测得的均匀性误差不同,甚至相差较大,经多次实验发现,在强光照明时有的元件均匀性误差总是偏小。这是由于不同的元件其光强(μW)—光电流(i_0)特性曲线的线性范围不同造成的,如图 4 所示。当零电平至亮电平超过线性段 AB 时,均匀性误差就会偏小,造成测量不准。每次更换新接收元件时,通过用同一块圆光栅在不同的照明强度下进行均匀性误差值重复性测试,选择适当的照明光强使测试处在光电元件的线性区中。根据我们的研究,硅光电二极管的线性范围、稳定性等比三极管好,使用二极管为宜。

另外如记录仪等环节也得实验,用于其线性区中。只有各个环节做得准确,测得的光栅均匀性误差才能可信。

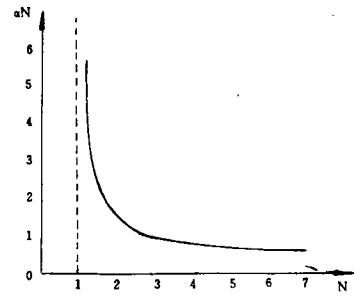


图 3 对比度曲线($aN-N$)

Fig. 3 Contrast curve ($aN-N$)

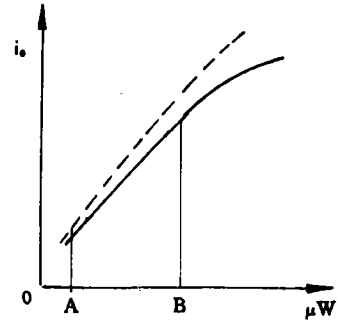


图 4 不同硅光电接收器不同的特性曲线

Fig. 4 Characteristic curves of receiver

参 考 文 献

[1]中国计量测试学会几何量专业委员会角度学组编写,角度学组十周年文选,1992:6—42
 [2]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

Discussion on Homogeneity Error-calibrating of Metrology Gratings

Yang Jintang

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

Abstract

A method on uniting calibration of homogeneity error of metrology gratings is described in this paper, by means of the contrast coefficient of Moire fringe, the percent expression of homogeneity error is transferred into displacement value expression. Finally, some factors of affecting homogeneity error are discussed.

Key words: Metrology gratings, Homogeneity error, Contrast of Moire fringe

杨进堂 男,生于1941年9月,1966年毕业于太原工业大学无线电技术专业,副研究员。毕业后一直从事线纹计量工作,是“六十进制光电圆分度检验仪”和“圆光栅用于角度基准的研究”的课题负责人之一。两项课题获得中科院科技进步一等奖,其中“角度基准”获国家进步二等奖。“圆光栅高质量莫尔条纹光电信号系统的研究”获中科院自然科学三等奖。曾在《计量机械》、《计量技术》、《计量学报》发表四篇专业性论文。