

含有中周期误差的圆光栅刻划误差的评定

杨进堂

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 介绍了圆光栅的中周期误差产生的主要原因、检测方法以及评定带有中周期误差的圆光栅刻划误差的两种方法。

关键词: 圆光栅; 周期性误差; 刻划误差检测

1 引言

圆光栅(或码盘)的刻划误差按频谱分析具有低频、中频和高频的谐量,对应称之为长周期误差、中周期误差和短周期误差。中周期误差的周期一般为 $1^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。尽管光栅读数系统具有多线平均的特点,也只能消除短周期误差,中周期误差一般难以消除。

中周期误差直接影响到圆光栅(或码盘)的使用效果。它该不该列入圆光栅质量的评定指标,一直在精密刻划界有争议。主要是中周期误差能否在直径误差里得到充分反映;即便能充分反映,两种不同频谱的误差混杂在一起如何处理等等。

2 中周期误差的形成

刻制圆光栅产生中周期误差的主要原因是:纯机械式的圆分度刻划机,分度为六十进制,分度基准为蜗轮副,其齿形误差较大(包括从德国进口的OFD圆刻机),用这些圆刻机来实现其它进制的刻划,就可能产生中周期误差。如某圆刻机蜗轮齿数为1080,蜗杆转一圈,蜗轮走一齿。当刻二进制光栅(或码盘),刻划机一周要分度1024次,蜗杆就不是转一圈走一个齿了。这样蜗杆周期误差、蜗轮齿形误差及蜗杆上的齿轮偏心,呈周期性的带入刻划分度误差里,这就是中周期误差,其周期数为56(即 $1080 \sim 1024$),如图1所示。当蜗轮齿数为2160时,刻二进制的码盘,全周分度2048次,形成中周期误差的周期数为112(即 $2160 \sim 2048$)。我们测试过的码盘,中周期误差最大到3。可见中周期误差是不可忽视的。

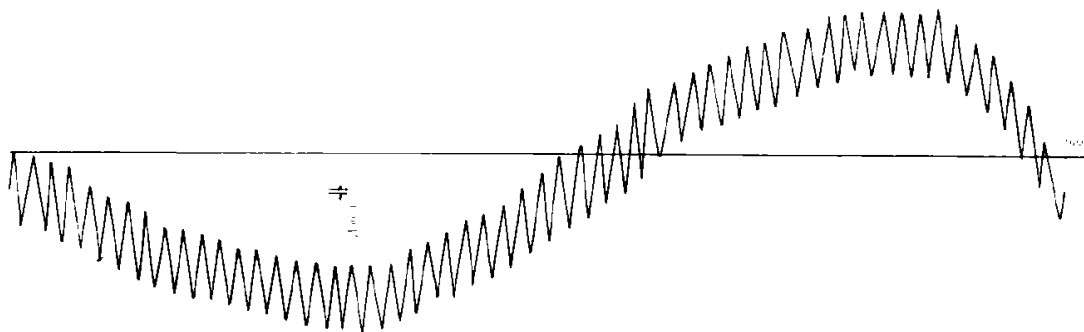


Fig. 1 The dividing error curve of 1° coded disk

3 中周期误差的测量

中周期误差的测量, 目前采用比较法或定角比相法进行动态测量获得^[1-2]。采用比较法测量能全面地反映。

3.1 比较法测量

在画出圆光栅的分度误差曲线上取中周期误差反映较大的一段, 其中周期误差 h 值计算公式为:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} \quad (1)$$

式中 M_i ——所测第 i 个的中周期误差值;

n ——选取中周期误差的个数, 一般取 $n = 10$ 。

3.2 定角比相法测量

定角比相法测量时, 计算公式与式(1)相同。但要注意的是: 所摆常角不能等于中周期误差间隔的整数倍, 而应错开 $1/2$ 中周期误差的周期。调整时, 用其中一个读数头连续微量调整, 使中周期误差值达到最大, 它是实际值的两倍。

由于笔录仪的频响较低, 要充分反映中周期误差, 还要选择适宜的转速。我们做过如下试验。

260° 码盘在正常转速 3.5 分钟下测试, 中周期误差基本反映不出来; 当转速降到每转 15 分钟时, 每周 112 个中周期显现了出来(见图 2)。

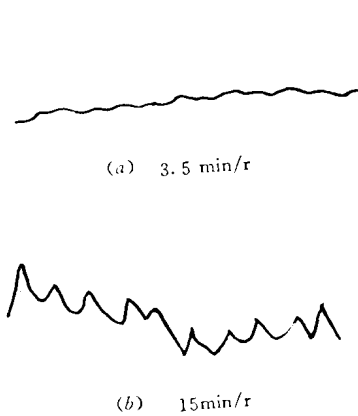


Fig. 2 Middle periodic errors of coded disk with different rotary speed

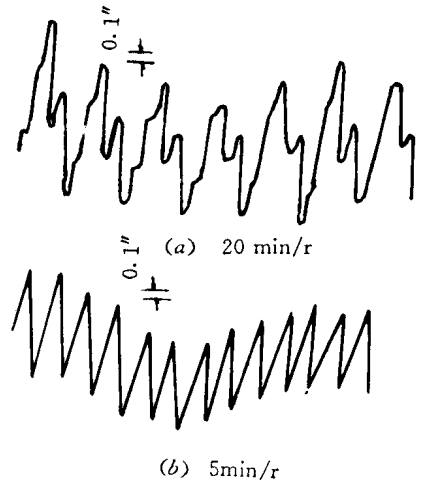


Fig. 3 Middle periodic errors of dividing disk with different rotary speed

说明: a 、 b 图的定标值相同, 从 b 采集, h 为 0.53。

一块度盘, 当检验仪分别在每转 5 分钟和 20 分钟下测试, 其笔录局部曲线见图 3。图 3a 可看到误差的细节^[2], 中周期误差约为 2; 图 3b 就反映不出误差的细节, 误差幅值也变小。

4 刻划误差的评定

用光电圆分度检验仪检测圆光栅时, 笔录仪画出的分度误差曲线, 其函数 $f(\theta)$ 以 2π 为周期, 展成三角函数为:

$$f(\theta) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1} C_n \cos(2\pi n\theta + \varphi) \quad (2)$$

式中 C_n 和 φ 分别为 $f(\theta)$ 的第 n 次谐量的幅值和初相位。

由于光栅接收的平均效应, 刻划误差中的高次谐量的幅值有效地被抑制。由于接收视场不大, 中周期误差较难被抑制。含有中周期误差的圆光栅, 刻划误差如何评定呢? 有两种方法可以借鉴。

4.1 中周期与平均曲线分别处理——分项评定法

它是在画出的分度误差曲线用中周期的中点连线(亦称平均曲线), 选取适当的点, 求出最大直径间隔误差 \mathcal{Q}_{p-p} , 再求出中周期误差 h , \mathcal{Q}_{p-p} 与 h 的代数和就代表圆光栅的刻划误差。

这种方法可用两种转速测试, 长周期误差用快速档(每转 5 分钟左右); 中周期误差用慢速档(每转 20 分钟左右), 使中周期误差充分反映出来。

4.2 将中周期包含到直径误差里——综合评定法

这种方法是在分度误差曲线上选取足够的点, 使得中、长周期误差综合反映的一种方法, 最后给出最大直径间隔误差, 用符号 $\mathcal{Q}_{(p-p)}$ 表示。这种方法除了注意转速的选取外(计算机实

时处理可不作考虑), 还要有足够多的采样点, 能把中周期误差的波峰、波谷全部采集到。这对笔录是容易实现的。计算机实时处理时, 为节省内存和处理过程, 在采样起始位置和采样方式上要作出合理选择。

4.3 实例剖析

图 1 所示曲线是 1[#] 码盘的实测分度误差曲线。它是在一台光电检验仪用比较法测试的, 测试运转一周为 5 分钟, 中周期数为 56。计算直径误差时, 每个中周期取四点, 即波峰、波谷和两个中点, 一周共采集 224 点, 求出直径误差曲线见图 4。

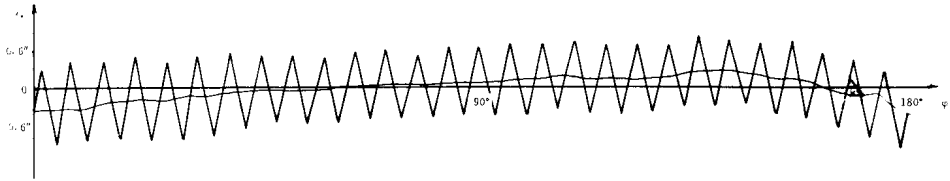


Fig. 4 The diameter error profile of 1[#] coded disk

由这个实例可得出如下结论:

(1) 只要把中周期误差的波峰、波谷全部采集到, 码盘的最大直径间隔误差的两极值 φ_{\max} 、 φ_{\min} 就不会漏掉。

(2) 包含有中周期误差成分的直径误差曲线, 其中点边线即为码盘的长周期误差。

我们对 2[#] 码盘用光电定角比相法也做过实验, 结论同比较法是一致的。

将 1[#]、2[#] 码盘按分项评定法() 和综合评定法() 所求得的结果列表如下(单位: 角秒)

Table 1

				$\varphi_{h(p-p)}$
	φ_{p-p}	h	$\varphi_{p-p} + h$	
1 [#]	0.66	1.22	1.88	1.86
2 [#]	0.86	0.65	1.51	1.47

从上表看出: 在同一组实测分度误差曲线上取数, 用分项评定法与综合评定法评定带有中周期误差的刻划误差, 其结果是非常接近的。这里要说明, 图 1 所示分度误差曲线是快速档测试的, 中周期误差反映得不够充分。

参 考 文 献

[1] 长春光机所 16 室检测组. 检测圆光栅的光电定角比相法. 光学机械, 1983(2): 49 ~ 56

[2] 曹向群主编, 光学刻划技术论文精选, 北京: 机械工业出版社, 1991

Evaluation on Graduation Error of Radial Gratings with Middle Periodic Error

Yang Jintang

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

Abstract

The main reason of middle period errors occurring on radial gratings is discussed, and the methods of measure and evaluation on them are also introduced in this paper.

Key words: Radial gratings, Periodic error, Measure of graduation errors

杨进堂 男, 1941 年出生, 1966 年毕业于太原工业大学无线电技术专业。副研。工作后一直从事线纹计量工作, 现还从事科研产品的开发研究。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。(均为课题负责人之一)。“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。