

光栅机分度误差的实时测量与研究

王 晓 琳

摘要: 本文提出了对光栅分度误差进行实时测量的方法。文中阐述了这一方法的原理和实现过程。根据实际测量结果对机器进行了精细调整,并对测量数据进行分析,给出了光栅机的分度精度,同时根据Stroke理论应用 Fourier 变换方法分析了分度误差对光栅谱线产生的影响,实践证明,用运算法得到的谱线与用光谱法得到的谱线基本一致。

一、绪 言

在评定光栅质量的众多因素中,光栅的分度误差是一项具有决定性的关键指标。一块优质光栅,刻线间距要均匀一致,一般刻线间距的累积误差不应大于1/10个光栅常数,周期误差不应大于1/100个光栅常数。但应用传统的测量手段不能对光栅逐条刻线定位测量,以往对光栅的检测均是在光栅刻划完毕进行的,实际上得到的是光栅制造中各种误差的综合效应,很难从量上分离出光栅的分度误差,研究其对光栅质量的影响。本文提出的对光栅的分度误差进行实时测量的方法,解决了这个问题。

二、理论基础和基本条件

根据Stroke理论:光经衍射光栅形成的衍射图样上的复振幅的分布正是衍射波振面上复振幅分布的Fourier变换形式。衍射图样中能量的分布正比于衍射图样中的复振幅与其共轭复数的乘积。如图1设定坐标系,平面 (y, z) 为衍射波振面, x 轴是衍射主光线传播的方向,平面 (y', z') 为衍射光谱的像平面, y' 轴平行于光的色散方向。

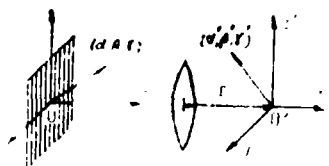


图 1

由Stroke理论,衍射图样的分布表示为:

$$E(y', z') = \frac{if}{\lambda} \iint_D F(y, z) \exp(-ik(yy' + zz')) d, d,$$

Δ —光栅分度误差,它是坐标 (y, z) 的函数。

D —衍射波振面口径。

$F(y, z)$ —衍射波振面的分布。

本文是在微机控制的连续运动的光栅刻划机上完成的。机器的工作原理如图2。整台机器由两部分组成,即分度系统和刻划系统,而上级系统机和其它部分可看成辅助系统,起到管理和协调各部分之间的作用,同时兼作程控放大器。【操作人员可通过键盘和CRT

直观地对机器实施各种操作。

在刻划之前，先将光栅参数及 PID 控制参数赋予计算机。在刻划过程中机器根据预置的参数进行动作。马达A带动刀桥作往复运动，光栅毛坯放在滑座上，马达B带动滑座作直线运动，光栅干涉仪测得的信号是滑座的位置信号，分度系统的参考信号是由稳定后的刀桥信号分频得来的，刀桥信号与时钟锁定，时钟频率的稳定性优于 0.1%。整个系统控制的最终目的就是使滑座的运动与刀桥的运动同步。

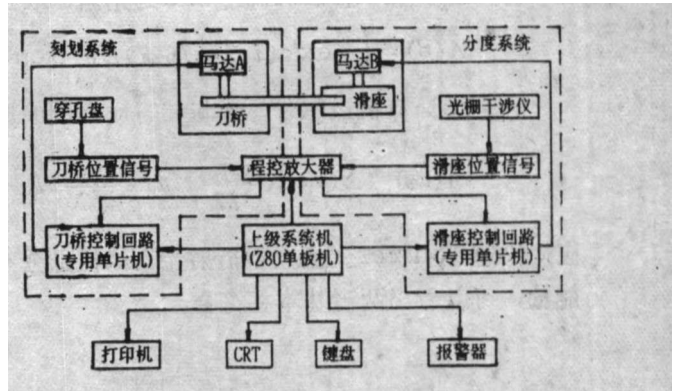


图 2

三、分度误差的测量与数据处理

在对光栅机分度误差进行测量时，我们采用的是脉冲填充法。在分度系统中，信号锁定之后，测得滑座信号的沿在参考信号沿的左右摇摆，这个摆动量即代表着分度误差。我们所要测量的就是这个差值。图中异或门的输出是相位差，在其中填充的脉冲个数就是分度误差值。所填充的脉冲的稳定精度为 0.14%。

根据实际需要，我们设计了测量电路，其结构如图 3。刻划开始后程序开始运行，单片机首先判定分度误差的符号，将其存贮起来，同时滑座位置信号和参考信号经异或门接计数器，计数器根据脉冲填充法记下它们的差值，由单片机放入数据存贮器中，同时送显示电路，及时观察机器的运行情况。测量完毕后，将单片机通过专用接口与 IBM PC 相联，把测得的数据存到软盘上。关机后，掉电保护电路起到保持数据的作用。

测量读数的分辨率为 1.33nm。

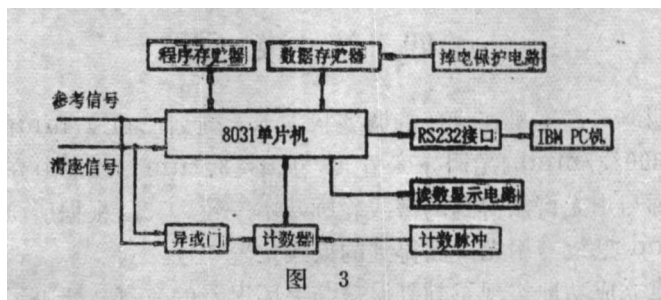


图 3

在研究测量数据时，我们以刻划 1200 线/mm 光栅为例，抽样采集了 5268 个数据。对应给定的某一衍射级次，Stroke 理论给出了衍射图样一维的归一化表达式为：

$$A(\beta) = \int_{-1}^{+1} g(\eta) \exp(i\beta\eta) d\eta$$

$$I(\beta) = A(\beta) \cdot A^*(\beta)$$

其中 $g(\eta) = A(\eta) \exp[i\varphi(\eta)]$ 是衍射波振面上的复振幅分布，在光栅均匀照明均匀闪耀的情况下， $A(\eta)$ 为常数，可以不考虑，衍射波振面相位的变化就体现着分度误差的变化。光栅在自准直状态下有：

$$\varphi(\eta) = (2\pi/\lambda) 2\Delta \sin i'$$

Δa 为分度误差, 对应1200线/mm的光栅, 取一级谱线, 统一式中各量的单位, 则:

$$A(\beta) = \int_{-1}^{+1} \exp[i(2\pi/627)\Delta a] \exp(i\beta \eta) d\eta$$

在利用计算机运算时, 需将其写成离散的形式:

$$A(x_s) = \sum [\cos(\frac{2\pi}{627} \Delta a + \frac{\pi \lambda}{\lambda f N} nk) + i \sin(\frac{2\pi}{627} \Delta a + \frac{\pi \lambda}{\lambda f N} nk)]$$

应用快速Fourier变换, 得衍射光谱的能量分布如图4.(a), (b)是用光谱法得到的谱线能量, 可以看出两者基本相符合。

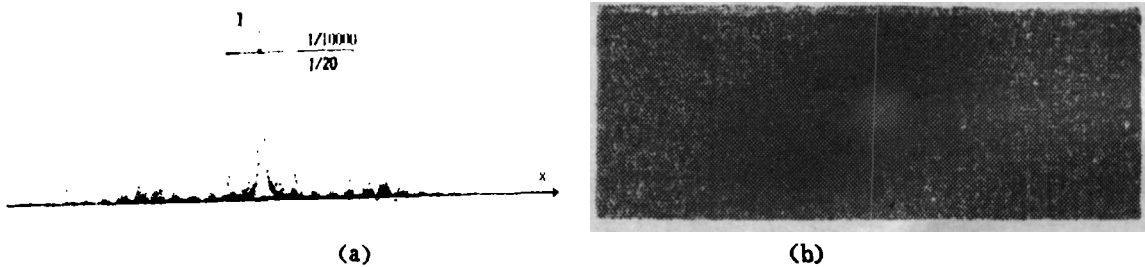


图 4

在研究测量数据时, 我们对光栅Rowland鬼线的位置和能量进行了计算。由 Stroke 理论, 对给定衍射级次的光栅, 算得一级和二级Rowland鬼线距主线的距离为:

$$\Delta x_1 = 14.85\text{mm} \quad \Delta x_2 = 29.70\text{mm}$$

一级和二级鬼线相对主线的能量为:

$$G_1 = 0.29\% \quad G_2 = 0.0002\%$$

二级鬼线的能量相当小, 一般观察不到, 所以研究光栅时可以不考虑它。鬼线的位置与实际对照基本一致。

四、结 束 语

测量结果表明: 1. 本机在优良的调整状态下, 刻划1200线/mm的光栅分度精度为 $\sigma < 13\text{nm}$, 刻划800线/mm的光栅分度精度为 $\sigma < 3.1\text{nm}$ 。2. 由分度误差作Fourier变换得到的谱线轮廓与用光谱法得到的谱线轮廓基本一致。3. 根据所测分度误差进行谐波分析得到的Rowland 鬼线与用光谱法得到的鬼线位置一致。

这种方法的建立成功地实现了刻划误差与毛坯误差的分离, 解决了传统测量方式难以解决的光栅分度误差的测量问题, 并且将分度误差与光栅谱线联系起来, 这不仅能准确评估刻划精度, 而且为进一步研究光栅特性、分析各种误差的作用, 提高光栅质量开辟了新的途径。

本文提供的光栅刻线间距的测量方法已经作为机器分度精度实时检测的重要手段。

参 考 文 献

- [1] M. C. Huttly, «Diffraction Grating», English London, 1982
- [2] G. W. Stroke, «Encyclopedia of Physics», Vol. XXIX 1967

- [3] 梁浩明, 庄夔, 张庆英, 杨厚民; 光学学报, 1980. No. 1
- [4] 杨厚民; 光学机械, 1980, 2
- [5] E. G. Loewen; SPIE, 815, 1987. p88

The Real Time Measurement and Study on Ruling Error of Grating Engine

Wang Xiaolin

Abstract

In this paper, a new method to measure the ruling errors of grating engine is given, its theory and realizing process are shown. The ruling accuracy of the engine is given by this method. According to Stroke, we analysis the effect of the ruling errors to diffraction pattern. It is proved the calculated result is coincident with the actual pattern. On the basis of the result, we adjust the engine accurately.