

莫尔光栅条纹推算法

曾向群 金 彤 范华良
(浙江大学 光仪系)

提 要

本文提出一种光栅条纹的轮廓推算法,同日本人提出的方法相比,此法简单而且概念明确。文中采用两种方法来验证推算法的正确性,即将常用的计算法计算的及实测的轮廓数值和推算的轮廓数进行比较,结果颇为满意。

关键词: 莫尔花样; 光栅; 光学测试。

一、引 言

近几年来,随着零位光栅的大量使用,对莫尔条纹轮廓特别是光栅条纹的研究也不断深入^[1~3]。日本横关俊介等人^[1]则提出了一种获得莫尔条纹轮廓数值的推算法。但该方法数学推算复杂,八个参数,一个推算式,而且物理概念不够清楚。

针对上述问题,本文提出一种新的推算方法,它仅需提供两个参数,一个推算式,简化了整个推算过程,而且使物理概念与数学分析互为依存。对于通常遇到的光栅条纹问题都能解决。

二、光栅条纹轮廓推算法

众所周知,光栅条纹是由两块栅距相等,栅线互相平行的光栅对叠合后产生的。下面以光栅开口比为0.3的例子来加以说明。

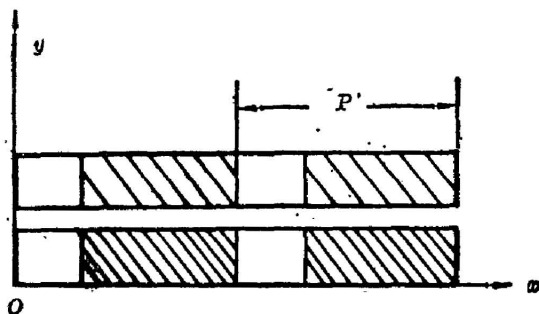


Fig. 1 The grating pairs with the opening ratio pairs (0.3, 0.3)

两块光栅如图1所示,设节距为 P ,开口比为0.3,所以通光和非通光区域分别为三和七个区域。图1中两块光栅每次相对移动0.1节距,则得出整个节距的条纹的光强分布为: 3, 2, 1, 0, 0, 0, 1, 2, 3, 由于在移动过程中,光栅对的通光区域是线性地减小或增加,因此光强也将线性地减弱或增强。于是可以在相邻两点之间用直线连接而得到条纹轮廓图形。图2是开口比为0.3, 0.5, 0.7三种栅距相同的光栅对形成的莫尔条纹轮廓图。可见开口比为0.5时是三角波,开口比小于0.5的是调制度为1的梯形波,大于0.5的为调制度小于1的梯形

波。于是可以在相邻两点之间用直线连接而得到条纹轮廓图形。图2是开口比为0.3, 0.5, 0.7三种栅距相同的光栅对形成的莫尔条纹轮廓图。可见开口比为0.5时是三角波,开口比小于0.5的是调制度为1的梯形波,大于0.5的为调制度小于1的梯形

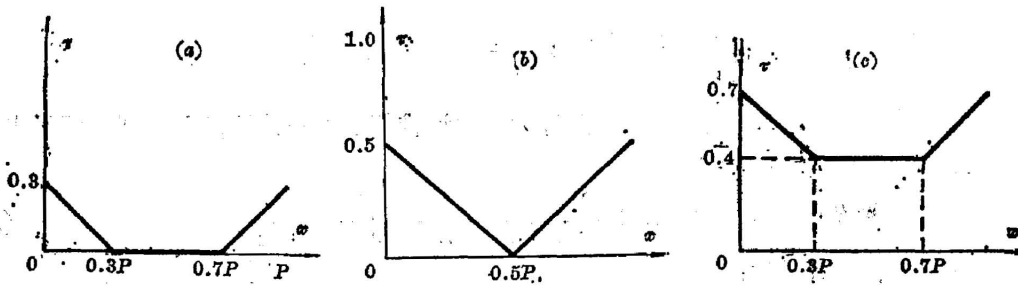


Fig. 2 The Moiré fringe profiles of the light lock Moiré fringe, the opening pairs:
(a)—(0.3, 0.3); (b)—(0.5, 0.5); (c)—(0.7, 0.7)

波。图 2 中还可以看出, 三种情况下的条纹轮廓以 $X=0.5P$ 的直线对称分布, 最大相对光强首先出现在位移 $X=0$ 处, 最小相对光强在 $X=\alpha P$ 处 (α 为光栅开口比), 若最大相对光强值为 α , 则最小相对光强值为 $2\alpha-1$ 。由于光强不可能是负值, 因此若 $2\alpha-1 < 0$ 时, 则令最小光强为零。推算过程就是求出整个栅距内光强分布函数。对于两块栅距和开口比相同的光栅对, 可以用下面分段函数表示, 公式 (1) 为:

当 $\alpha \leq 0.5$ 时,

$$I = \begin{cases} \alpha - x & [0 \leq X \leq \alpha P], \\ 0 & [\alpha P < X < (1-\alpha)P], \\ x - \alpha & [(1-\alpha)P \leq X \leq P]; \end{cases} \quad I = \begin{cases} \alpha - x & [0 \leq X \leq (1-\alpha)P], \\ 2\alpha - 1 & [(1-\alpha)P < X < \alpha P], \\ x - \alpha & [\alpha P \leq X \leq P], \end{cases} \quad (1)$$

其中 $I = \frac{I_x}{I_0}$, I_0 为光栅一个节距内的光强,

I_x 为每次移动后的实际光强;

$x = \frac{X}{P}$, P 为光栅节距, X 为位移。

调制度 M 也可以方便地求出:

当 $\alpha \leq 0.5$ 时, $M = 1$;

当 $\alpha > 0.5$ 时, $M = \frac{1-\alpha}{3\alpha-1}$ 。

从前面整个推算过程看来, 推算法只需确定四个点, 然后把相邻点用直线连接起来, 便可得到光栅条纹轮廓。

不难发现, 只需稍作修改, 此推算法也适用于两块节距相同, 开口比不同的光栅对, 由于工程上这种情况较少用, 因此, 只给出下列推算过程:

当 $X=0$, $X = \frac{|\alpha-\beta|}{2} P$ 时, $I = I_{\max} = \text{MIN}[\alpha, \beta]$ 。

当 $X = \left[0.5 - \frac{|\alpha+\beta-1|}{2}\right] P$ 时, $I = I_{\min} = (\alpha+\beta+1)$ 或 $I_{\min} = 0$ 。判别理由同上。式

中 α, β 为两块光栅的开口比。

找出上述点以后, 再利用对称性找出对应三点, 沿 X 方向将相邻两点用直线连接起来。

三、用算法来评价推算法

在文献[2]中提供了光栅条纹的计算式,为了验证推算法的正确性,可用文献[2]给出的式子计算:

$$T(x_0-x, y_0) = \alpha^2 + \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\sin(n\pi\alpha)}{n} \right]^2 \cos 2\pi n\nu x, \quad (2)$$

式中 α ——光栅的开口比;

ν ——光栅的频率, $\nu = \frac{1}{P}$;

x ——光栅相对位移量;

n ——谐波次数。

(2)式同样也能证明轮廓关于 $X=0.5P$ 的对称性。考虑到大多数常用光栅的谐波次数在 10 级以内,因此计算时取 $n=10$ 。若把计算值与(1)式的推算值进行比较,两者误差不超过 3%,可见推算的数值是相当正确的。用算法和推算法作出的图形其偏离情况可见图 3。

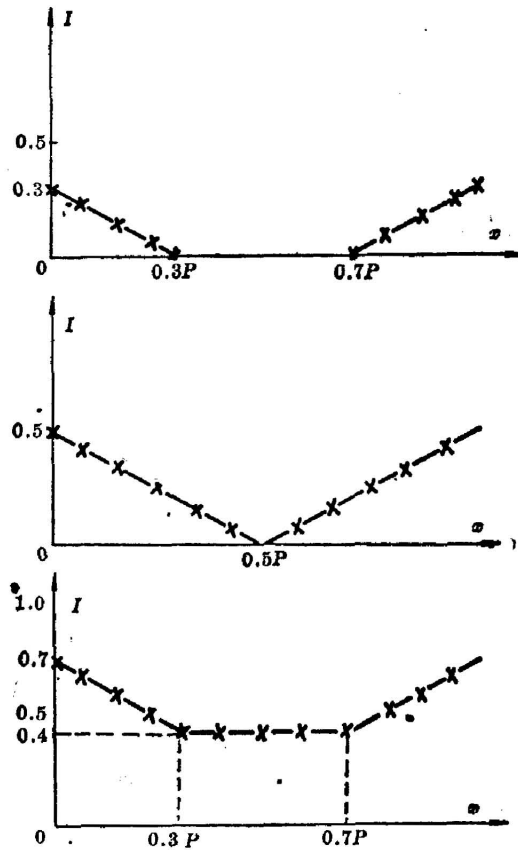


Fig. 3 Computed and deducted Moire fringe profiles:
the solid lines——computed curve
the cross lines——deductive curve

四、用实验来评价推算法

多年来,由于我们对莫尔信号进行了较为广泛的研究,为此自制了一台能测定多种莫尔条纹参数的信号测定仪(该仪器于1985年通过鉴定),在这台测定仪上对开口比为0.11及近似等于0.5和大于0.5的光栅对进行了实测,测得的轮廓图分别见图4(a)、(b)、(c)。

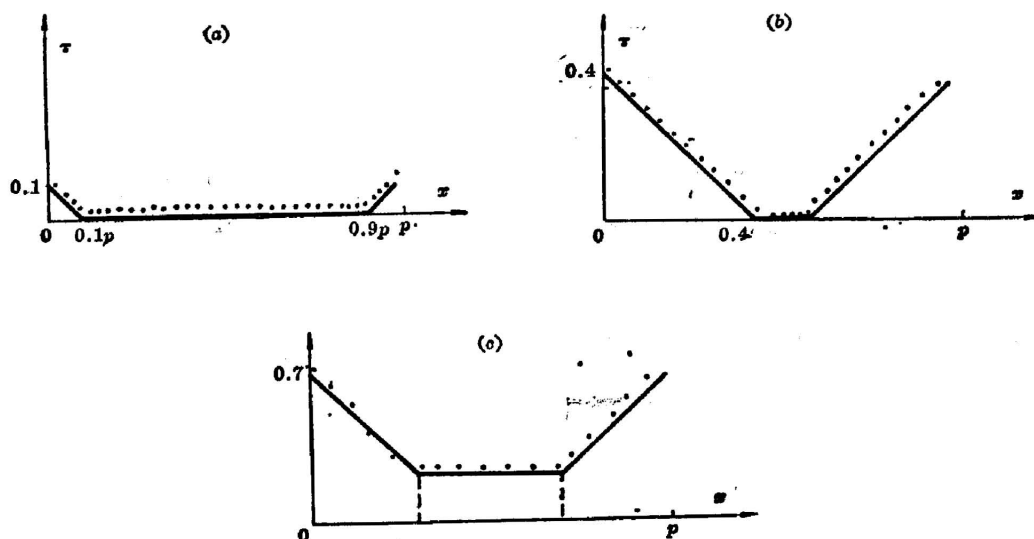


Fig. 4 Experimental and deductive Moiré fringe profiles, the opening ratio pairs:
 (a)—(0.11, 0.11); (b)—(0.44, 0.44); (c)—(0.7, 0.7)
 the solid lines—the deductive Moiré
 the dash lines—the experimental Moiré

从上面的数据可以看到实验值同推算值吻合较好,但由于有一定的实验误差,并不能做到完全一致。

实验误差分析主要来自以下两个原因:

1. 光栅对的间隙引起的误差,在实际测量中两光栅必须留有一定的间隙,而推算法是在无间隙条件下得出的,由于光源和衍射将影响信号的幅值。

2. 开口比 α 的误差。照相法制作的光栅,由于曝光和显影时的原因,刻划腐蚀的光栅由于腐蚀扩散不均匀都会引起开口比误差,而测定时仅抽其中局部区域的 α 值,这中间也带进了误差。

综上所述,根据计算和实测,莫尔光栅条纹推算法较为简单正确,能满足工程上的需要。

参 考 文 献

- [1] 横关俊介 *et al.*; 《光学》, 1976, 5, No. 4 (Aug), 125~131.
 [2] S. Yokozeki *et al.*; *Appl. Optics*, 1976, 15, No. 9 (Sep), 2223~2227.

The deductive method of the light lock Moiré fringe

CAO XIANGQUN, JIN TONG AND FAN HUALIANG

(Department of Optical Instrument, Zhejiang University, Hangzhou)

(Received 26 January 1986; revised 15 May 1986)

Abstract

This paper describes a deductive method of the light lock Moiré fringe profile. This is more brief and pronounced concept than the method proposed by Japanese. In comparison the theoretical calculated value with the experimental data, the results are satisfactory.

Key Words: Moiré pattern; Grating; Optical testing.