

# 发散光照明幅光栅的莫尔条纹

朱应时

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 本文推导了发散光照明幅光栅产生的莫尔条纹方程, 并讨论了三种特殊的莫尔条纹轨迹。最后, 根据条纹方程讨论影响条纹附加位移的因素及消除方法。

**关键词:** 莫尔条纹; 幅光栅; 发散光; 附加位移

## 1 引言

幅光栅已被广泛应用在位移测量系统中。这种测量系统一般采用平行光照明。在商品化的幅光栅测量系统中为了简化照明结构, 采用点状光源或具有一定发散角的 LED 光源。在发散光入射条件下幅光栅的莫尔条纹分布情况怎样? 由此引起的条纹的附加位移又是怎样? 这是本文要说明的两个内容。

## 2 莫尔条纹方程的推导

产生莫尔条纹的两块同栅距幅光栅, 按图 1 放置, 取一直角坐标, 其纵坐标与刻线交叉角的平分线重合。在平行光照明下产生的莫尔条纹与  $x$  轴平行。光源  $S$  产生的发散光入射到第一块光栅  $G_1$  (图 2), 光栅的刻线投射到第二块光栅  $G_2$  上的栅距  $w_{12}$  ( $G_1$  和  $G_2$  的栅距为  $w$ ), 可用下式表示:

$$w_{12} = w + t\varphi \quad (1)$$

式中  $t$ —光栅副间隙;

$\varphi$ —与栅距对应的光源发散角。

根据 Guild 条纹方程表示式, 在  $L \gg t$  时,  $x$  约在 30mm 范围内, 便可得到发散光照明时的莫尔条纹的斜率<sup>[1]</sup>:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{t\varphi}{\theta w} \quad (2)$$

式中  $\theta$ —两块光栅  $G_1$  和  $G_2$  刻线交叉角。

式(2)是莫尔条纹轨迹的斜率。由此可得条纹的方程为:

$$y = \frac{t\varphi}{\theta w}x + c \quad (3)$$

式中  $c$ —莫尔条纹初始位置参数, 经过坐标原点时  $c=0$ 。

式(3)为发散光照明时的莫尔条纹轨迹方程。当两块光栅之间隙为常数(即光栅平面相互平行)时,用发散光照明所获得的莫尔条纹是一簇相互平行的直线(图1)中虚线),但不平行于  $x$  轴,与  $x$  轴的倾斜角为:

$$\xi = \text{tg}^{-1} \frac{t\varphi}{\theta w}$$

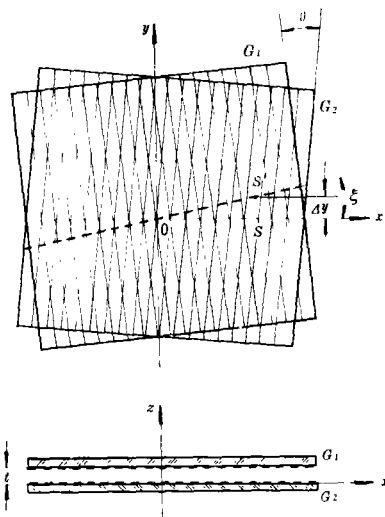


图1

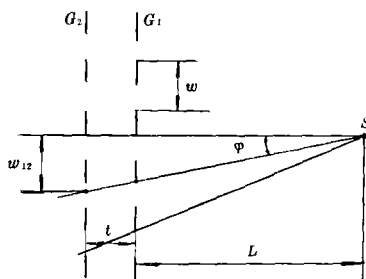


图2

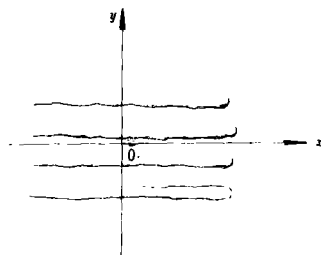


图3

条纹倾斜程度取决于光栅间隙  $t$ 、入射光发散角  $\varphi$ 、光栅之间的交叉角  $\theta$  和光栅栅距  $w$ 。当  $\theta$ 、 $w$  和  $t$  一定时,光源的发散角决定了莫尔条纹的倾斜度。

### 3 几种特殊情况的莫尔条纹

#### 3.1 理想莫尔条纹

理想莫尔条纹是指用平行的( $\varphi=0$ )法向入射光束照明一对等栅距幅光栅所产生的莫尔条纹。用  $\varphi=0$  代入(3)式,便可得到理想条纹轨迹方程

$$y = c \tag{4}$$

(4)式表明:理想的莫尔条纹是平行于  $x$  轴的一组平行线(图3)。在精密测量位移中,为防止引入条纹的附加位移应尽量采用接近理想的条纹系统。

### 3.2 光学投影游标条纹

两块等栅距光栅,光栅间存在一定间隙,刻线相互平行时( $\theta=0$ ),在平行光照明下,条纹宽度形成无穷大,即无条纹。但在发散光照明时却有莫尔条纹产生,用 $\theta=0$ 代入(3)式得:

$$x = c \tag{5}$$

这是平行于 $y$ 轴的一簇平行直线型条纹。这种条纹与游标条纹类似,故称光学投影游标条纹<sup>[2]</sup>。条纹平行于光栅刻线,当一块光栅沿 $x$ 轴移动时,条纹也沿 $x$ 方向移动。条纹宽度 $W$ 是由 $t, \varphi, w$ 等因素决定的。

### 3.3 抛物线状莫尔条纹

产生莫尔条纹的一对光栅,两光栅平面相互不平行,形成楔形,楔形顶棱平行于刻线即光栅之间的间隙 $t=ax+b \neq \text{常数}$ (图4)。式中 $a$ 和 $b$ 表示楔形间隙张开程度和初始宽度的两个常数。把 $t=ax+b$ 代入(2),解微分方程得:

$$y = \frac{a\varphi}{\theta w}x^2 + \frac{b\varphi}{\theta w}x + c \tag{6}$$



图4

式(6)是抛物线方程,它表示了楔形间隙的光栅副在发散光照明下,形成的莫尔条纹是一簇抛物线。这种条纹在实用上没有多大意义。莫尔条纹弯曲时,如果光栅无二次累积误差,表明一对光栅间的间隙不等厚,即两光栅不平行,这一现象可给调平光栅提供判断条件。

## 4 莫尔条纹的附加位移及其消除方法

莫尔条纹应用于位移测量,是因为条纹的位移与光栅的位移成线性关系,当光栅移动一个栅距,条纹相应移动一个条纹宽度。但是在发散光照明下,光栅不作 $x$ 轴方向位移,只作 $z$ 方向位移,(理应条纹无位移)也产生条纹位移,这种条纹位移称为附加位移。

在图1中,取距离坐标原点为 $x_s$ 的 $S$ 点作为被研究的点,根据式(3),此点的条纹附加位移为:

$$\Delta y = \frac{\varphi x_s}{\theta w} \Delta t \tag{7}$$

式中 $\Delta t$ —光栅副的间隙变化

式(7)表明:除了光栅副的间隙变化,在 $S$ 点引起条纹附加位移 $\Delta y$ 外,还有光源发散角、光栅的栅距和条纹视场轴外距离等因素也影响条纹的附加位移。由于条纹附加位移使光栅测量系统测量精度下降,所以消除或减弱条纹附加位移是十分必要的。其方法有:

(1)减小光栅副间隙 $t$ 的变化。在莫尔条纹的光学和机械系统中,影响间隙 $t$ 变化的因素有:光栅表面不平,安装光栅的导轨在移动时有跳动(圆光栅的轴有轴向窜动),光栅表面与导轨移动平面不平行(圆光栅平面与其轴线不垂直)以及光栅间隙中介质的折射率变化等。在设

计莫尔条纹读数系统时,根据测量精度的要求,权衡其经济性,选择适当的光栅平面度、导轨和轴系的精度及装调精度,控制间隙的变化,目前有些光栅测量系统采用浮动的等间隙方法消除间隙变化带来的影响。

(2)尽量采用粗光栅。光栅栅距与条纹的附加位移成反比,在同样的各种条件下,光栅线条越细产生的附加位移越大。在位移精度允许下,采用粗光栅比细光栅更有利。

(3)取光轴处的条纹。所谓光轴处是指发散光照明光源的发光点离光栅表面最近点处。从式(3)可得,当光栅间隙改变时,条纹通过坐标原点(即光轴处)改变方向,即条纹在  $x_1=0$  点上,条纹没有附加位移。为了消除刻划的短周期误差和局部误差的影响,采取包含大量刻线的长狭缝,狭缝中心置于光轴处即坐标原点(图5),此处当光栅间隙改变时,莫尔条纹轨迹围绕原点转动,在狭缝范围内条纹的合成位移为零,即无附加位移。

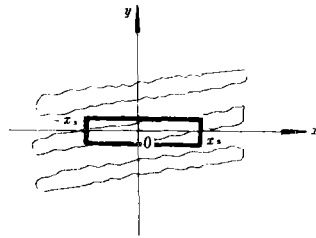


图5

#### 参 考 文 献

- [1]J. Guild, The Interference Systems of Cross Diffraction Gratings, Oxford Press, 1956
- [2]А. В. Мироненко, Взаимозаменяемость и Технические Измерения В Машиностроении, Межвузовский Сборник, No2, МАИПИЗ, Москва, 1960, 506—517

### Moiré Fringes of Amplitude Gratings Illuminated by Scattering Light

Zhu Yingshi

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

#### Abstract

In this paper we describe the equation of Moiré fringes obtained for amplitude gratings illuminated by scattering light. And we show three special cases of Moiré fringe locuses. Finally according to the equation, we discuss the facts that affect the extra displacement, and the methods to eliminate the extra displacement.

Key words: Moiré fringes, Amplitude gratings, Scattering light, Extra displacement