

散斑法中的干涉条纹级数判别及细分方法

陈 方 云 大 真
(同济大学力学系) (大连工学院力学系)

提 要

本文给出一种判别及细分散斑法中的干涉条纹级数的简单方法。它可以用于确定位移的大小,干涉条纹级数的判别与细分、提高测量精度以及自动分析。

关键词: 散斑法、干涉条纹级数。

一、引 言

用激光、白光散斑法测量物体的微小位移或变形已经在工程上得到广泛的应用^[1~3]。目前判别散斑法中的干涉条纹级数的一般方法是,根据被测物体的受力状态来判别,它要求实验人员具有一定的力学素养。最近发展起来的光截波法^[4]可以用来判别、倍增散斑法中的干涉条纹级数等。本文提出一种很简单的散斑干涉条纹级数的判别及细分方法。用它可以进行干涉条纹的判别及连续细分,给出分数级数,确定被测物体的位移,提高测量精度。此方法还可以和微机、光电设备结合,进行干涉条纹级数的判别及细分以及位移或变形的自动分析与处理,解决微机不能自动判别干涉条纹级数的问题。

二、原理与方法

由散斑全场分析法的位移公式^[5]

$$u = \frac{N\lambda f}{x_0}, \quad N = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (1)$$

$$v = \frac{N\lambda f}{y_0}, \quad (2)$$

(1)、(2)式对应于亮条纹, u 、 v 为被测物体上任意一点 x 、 y 方向上的位移, λ 为激光波长, f 为傅里叶变换透镜的焦距, x_0 、 y_0 为观测光路傅里叶平面上 x 、 y 方向滤波孔的位置, N 为干涉条纹的级数。由(1)、(2)式可知,对于任意点的位移 u 、 v , 随着 x_0 、 λ 、 f 的不同,将有不同的干涉条纹级数 N , 因而 N 是观测光路系统状态参数 x 、 λ 、 f 的函数。

现以 u 场公式为例,推导出干涉条纹级数的判别与细分公式,且令其中的状态参数 λ 、 f 为常量,则(1)式可写为

$$u_j = \frac{N_j \lambda f}{x_i}, \quad (3)$$

式中 j 表示被测物体上的任意点, i 表示观测光路系统状态参数 λ, f, x, y 处在某一 i 状态下即 λ, f, x, y 取某一 λ_i, f_i, x_i, y_i 值。 N_{ji} 为观测光路系统处在 i 状态时, 被测物体 j 点处的干涉条纹级数。

现在改变参数 x_i , 使 i 连续变化到 x_k , 观测光路系统处在 k 状态, 且有 $x_k = nx_i$, (3) 式为

$$u_j = \frac{N_{jk}\lambda f}{x_k} \quad (4)$$

由于在观测过程中, j 点的位移是个常量, 由 (3)、(4) 式可得 $nN_{ji} = N_{jk}$, 两边同减 N_{ji} 可得

$$N_{ji} = \frac{N_{jk} - N_{ji}}{n-1} = \frac{\Delta N}{n-1} \quad (5)$$

式中 ΔN 为干涉条纹漂移数是个整数, 即在 i, k 两状态下, 被测点 j 处的干涉条纹级数 N_{ji}, N_{jk} 都为整数级。 (5) 式中的 $\Delta N, n$ 都可以测出, 因此 N_{ji} 可以求得。同理可得 v 场位移的干涉条纹级数的判别公式如同 (5) 式形式, 只要把式中 $x_k = nx_i$ 换成 $y_k = ny_i$ 即可。

下面进行干涉条纹细分公式的推导。此时假设被测物体上的 j 点处在某一分数级条纹上。改变 (3) 式中的 x_i 至 x_k 且有 $x_k = mx_i$, 使 j 点邻近处的整数级干涉条纹落在 j 点上, 此时观测光路系统处在 k 状态。类同前面的推导可得

$$mN_{ji} = N_{jk1} \quad (6)$$

继续改变 x_{k1} 至 x_{k2} , 且有 $x_{k2} = nx_i$, 使另外一条整数级干涉条纹落在 j 点上, 此时观测光路系统处在 $k2$ 状态。这时又有

$$nN_{ji} = N_{jk2} \quad (7)$$

由 (6)、(7) 式可得

$$N_{ji} = \frac{\Delta N}{(n-m)} \quad (8)$$

由于 N_{jk1}, N_{jk2} 都是整数, ΔN 也为整数, 可以被测得, n, m 可以测出。因此由 (8) 式可以判别出干涉条纹分数级, 进行条纹细分, 提高测量精度。当 $m=1$ 时, (8) 式即变为 (5) 式。

三、实验验证

实验 1

圆盘绕光轴刚体转动。图 1(a)、图 1(b)、图 1(c) 中的 j 点为干涉条纹级数待定点。对应于图 1(a) 中的观测光路傅里叶平面 x 方向滤波孔位置 $x_i = 0.5 \text{ cm}$, 图 1(b) 中的 $x_k = 1 \text{ cm}$, 图 1(c) 中的 $x_k = 1.5 \text{ cm}$ 。

由 (5) 式可知对应于图 1(a) 与图 1(b), $n = (x_k/x_i) = 2, \Delta N = 1$ 。因此有

$$N_{ji} = \frac{\Delta N}{n-1} = \frac{1}{2-1} = 1 \text{ (级)}$$

用图 1(a) 与图 1(c) 来判别 N_{ji} 时有 $n = (x_k/x_i) = 3, \Delta N = 2$ 。

$$N_{ji} = \frac{\Delta N}{n-1} = \frac{2}{3-1} = 1 \text{ (级)}$$

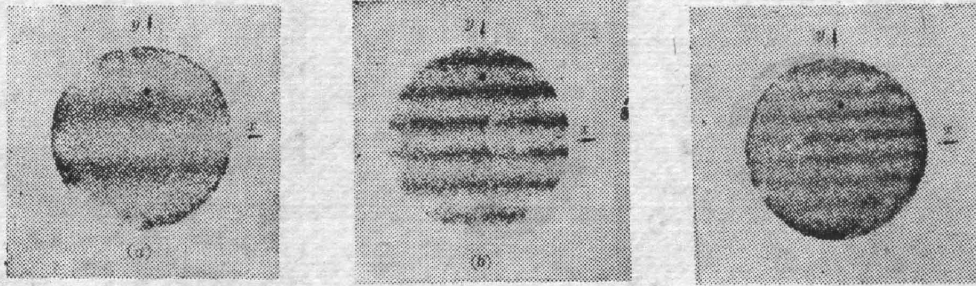


Fig. 1

- (a) To be identified for the fringe order at j point; ($x_i=0.5$ cm)
 (b) Figure of identification ($x_k=1.0$ cm)
 (c) Figure of identification ($x_k=1.5$ cm)

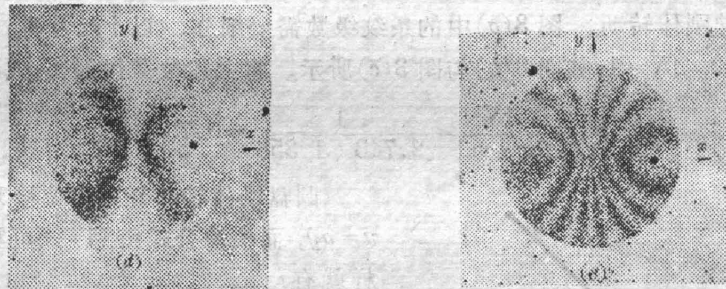


Fig. 2

- (a) To be identified for the fringe order at j point ($x_i=0.5$ cm)
 (b) Identification figure ($x_k=2.0$ cm)

而由圆盘刚体移动可知, 与 x 轴重合的亮条纹为零级条纹, j 点处在 1 级条纹上。由 (5) 式算出的结果与其符合。

实验 2

用散焦散斑法测量中心受集中力简支圆板的斜率, 其公式为

$$\frac{\partial \omega}{\partial x} = \frac{N\lambda f}{2Ax}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{N\lambda f}{2Ay}, \quad (10)$$

式中 $(\partial \omega / \partial x)$ 、 $(\partial \omega / \partial y)$ 分别为 x 、 y 方向上的斜率, A 为散焦量, 其余参数的物理意义同 (1)、(2) 式。通过类似前面的推导, 仍然可以得到散焦散斑法的干涉条纹级数的判别与细分公式, 其公式完全与 (5)、(8) 式相同。图 2(a) 与图 2(b) 中的 j 点为干涉条纹级数待判别点。

对应于图 2(a) 的观测光路, 傅里叶平面 x 方向滤波孔的位置 $x_i=0.5$ cm, 图 2(b) 中的 $x_k=2$ cm。由 (5) 式及图 2(a)、(b) 可知, $n=(x_k/x_i)=4$, $\Delta N=3$ 。因而有

$$N_{j1} = \frac{\Delta N}{n-1} = \frac{3}{4-1} = 1 \text{ (级)}$$

根据弹性理论可知, y 轴上的干涉条纹级数为零级, j 点处的干涉条纹级数为 1 级。显然由 (5) 式所判别出的 j 点干涉条纹级数与其符合。

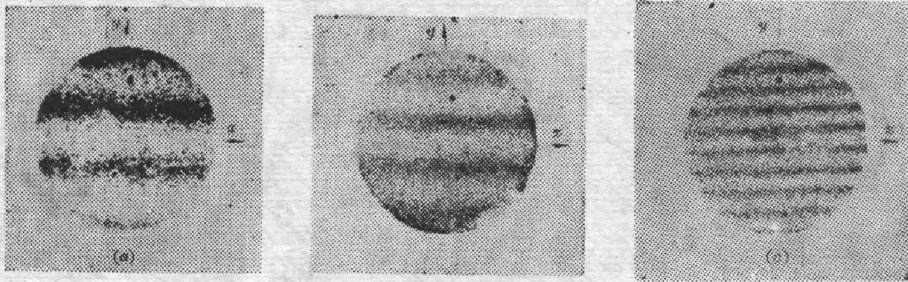


Fig. 3

(a) To be identified for the fringe order at j point;
 (b) Identification figure; (c) Identification figure

实验 3

圆盘绕光轴刚体转动。图 3(a) 中的条纹级数需要细分。以 j 点为例, 测得 m 、 n 分别为 1.358, 2.742, $\Delta N = 1$, 如图 3(b) 与图 3(c) 所示。将上述数据代入 (8) 式可得

$$N_{ji} = \frac{\Delta N}{n - m} = \frac{1}{2.742 - 1.358} = 0.73 (\text{级})$$

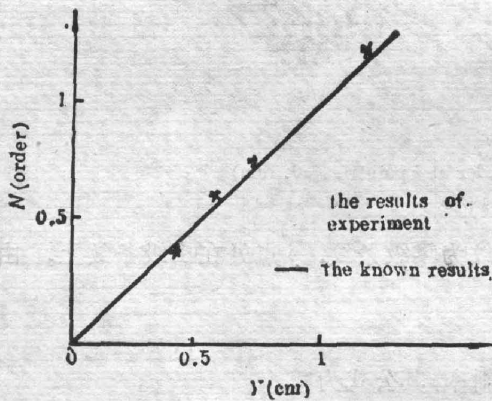


Fig. 4 Comparison between experimental results and the known results

圆盘刚体转动 u 方向位移理论值可写成 $u = ay$, 而实验公式由 (1) 式可写成 $u = bN$, 这样就有

$$N = \frac{a}{b} y. \quad (11)$$

由此可知条纹级数是 y 轴坐标的线性函数。本实验中 $y = 1 \text{ cm}$ 时, $N = 1$ 级, 因此可得 $(a/b) = 1$ 。图 4、表 1 为用 (8) 式算出条纹细分级数与已知值的比较。其相对误差在 4% 之内。

由上述实验可见, 用 (8) 式对条纹级数进行细分, 等于条纹加密。这样就可以提高直接测量精度, 而不是采用各种数值插值或逼近方法来求得非整数级条纹测点的位移值。

Table 1 Comparison between experimental results and the known results

The Known Results (N)	0.42	0.6	0.725	1.2
The Experimental Results (N)	0.41	0.62	0.73	1.23
The Relative Errors (%)	2.3	3.3	0.7	2.5

四、结 束 语

用本文提出的方法, 可以很简单地判别散斑法中的干涉条纹级数, 可以连续细分干涉条纹给出各不同点处的干涉条纹分数级数, 提高测量精度。

用本文提出的方法, 还有可能解决微机不能自动判别干涉条纹级数的问题。当采用微机与光电设备时, 可期望进行测量的自动分析与处理。

参 考 文 献

- [1] A. P. Khetan, F. P. Chiang; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 9 (Sep), 2205~2215.
- [2] M. Francon; *Laser Speckle and Applications in Optics*, (Academic Press, New York, San Francisco, London, 1979), 73~87.
- [3] 王祥林, 郭靖华; 《地震工程与工程振动》, 1986, **6**, No. 1 (Mar), 44~50.
- [4] 徐铸等; 私人通讯。

Identification and division of fringe orders in speckle method

CHEN FANG

(Division for Photomechanics Research, Department of Mechanics, Tong Ji University, Shanghai, China)

YUN DAZEN

(Laboratory for Photomechanics Research, Department of Mechanics, Dalian Institute of Technology, Dalian)

(Received 2 May 1986; revised 11 July 1986)

Abstract

This paper presents a new simple method to determine and divide the fringe orders in speckle method. Therefore, the displacements are measured and the accuracy is improved. It also can be used with computer for automatical analysis.

Key Words: speckle method; fringe order.