

# 全息图的判读方法研究

张凤林 崔颖文

(天津大学精仪中心, 300072)

**摘要:** 本文对全息干涉图的常用判读方法进行了概括, 介绍了两类不同方法的应用实例: Zygo干涉仪判读系统和条纹飘移判读方法。

**关键词:** 全息图, 判读方法

## Investigations of methods for evaluation and readout of holographic interferograms

Zhang Fenglin, Cui Yiangwen

(Tianjin University)

**Abstract:** This paper has reviewed the existing methods of evaluation and readout of holographic interferograms, and described the two important ways: Zygo interferometer readout system and interferograms floating method.

**Key words:** holographic interferograms, evaluation and readout methods

全息图判读方法有多种, 较为常用的是位相测量法和插值拟合法。位相测法是通过检查条纹图样确定其位相变化, 并把位相变化与物体表面点的矢量位移联系起来。如图1, 物体由位于O点的点光源照明, 由物点P散射的光经全息图到达Q点的观察者。假设在两次曝光之间, 物体位移为L,  $\delta$  为引起的位相变化, 经推导可得

$$\delta = \mathbf{K} \cdot \mathbf{L} \quad (1)$$

式中  $\mathbf{K}$  为灵敏度矢量,  $\mathbf{K} = \mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1$ 。公式(1)即为条纹定量解释的基础, 可以通过矩阵法求解  $\mathbf{L}$  的几个分量, 位相变化  $\delta$  通过数条纹求出。

$$\delta = 2\pi N \quad (2)$$

公式(2)中  $N$  为待测点与零级之间的条纹数, 因此必须首先在物体上确定一个不动点, 令其为零级。

测量三维位移不能只通过单次观察, 因为  $\mathbf{L}$  有三个分量, 所以必须记录三张不同的全息

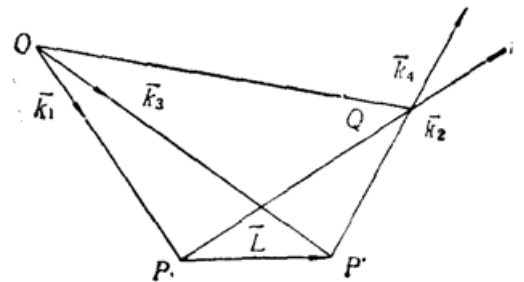


Fig. 1

图, 分别在  $Q_1, Q_2, Q_3$  三点进行位相测量, 得到  $\delta$  的三个分量, 对每个观察点可确定一个传播矢量, 它与照明光波的矢量  $K_1$  一起决定了灵敏度矢量  $K_n$ 。

$$\begin{cases} \delta_1 = (K_2 - K_1)L = K_1L \\ \delta_2 = (K_3 - K_1)L = K_2L \\ \delta_3 = (K_4 - K_1)L = K_3L \end{cases} \quad (3)$$

由上面这个方程组与  $\delta = 2\pi N$  得到下式:

$$\begin{bmatrix} K_1x & K_1y & K_1z \\ K_2x & K_2y & K_2z \\ K_3x & K_3y & K_3z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{bmatrix} = 2\pi \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

求出位移  $L$  的三个分量,  $L$  值即可得到。这种方法精度可达  $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ , 但难点在于相应物点的识别、零级条纹的确定和条纹读数精度。

插值拟合法是用一组 Zernike 多项式去拟合数据, 多项式的展开式提供光学像差的信息并作为内插函数, 由内插函数获得等高图, 进行几何光线的分析及衍射的计算。美国 Arizona 大学光学科学中心研究出的用于判读干涉计量数据的 FRINGE 计算程序可以实现上述功能。

实际中常常需要提取光学零件质量的信息, 而信息与位于零件光瞳处的整个参考球面的光学位相的变化有关, 一般用瞳面内光学位相的均方根值和在整个瞳面上的峰谷差值表征光学质量, 被测的这些值是评价光学零件的重要指标, 由干涉计量数据可以求得瞳面上的光学位相图, 而瞳面上光学位相图可用来产生位相等高图或评价成像质量, 如光学传递函数。

这种方法对于检测大型的光学零件噪音较大的干涉图像时比位相测量法具有优势, 但是它的精度较低。

## 二

Zygo 干涉仪是一种新型的干涉图自动判读系统, 是插值拟合法的成功应用, 这套系统通过闭路电视完成, 可以进行实时测量; 也可以进行干涉图的判读, 该系统有以下特点: (a) 图样参数自动调整; (b) 采用电检测方法获得数据; (c) 计算峰谷值和均方根值; (d) 附打印机将输出信息打印。

主要测量范围是平面、凸凹球面及非球面的畸变, 窗口、棱镜、透镜系统及光学系统的波前质量和凸凹球面的曲率半径。

系统由以下四部份构成(如图 2 所示): Mark III 主机、电视监视器、处理机和控制终端, 处理机接到代表干涉条纹的电视信号后, 将信号数字化存贮起来, 用最小二乘法对处于条纹中心区域的点阵列进行计算, 这些点的坐标可自动或人工获得, 最小二乘法计算这些条纹区域所代表的干涉图与理想图样的部分偏差, 最后打出波形等高图, 用视频摄像机摄下, 辅助计算机还可计算 Zernike 多项式系数以及点扩散函数等。

我们对二次曝光全息图、时间平均全息图和散斑图进行了测量。实验中被判读的全息干涉图形如图 3 的照片所示。被检测的是一块金属铝板, 在四个边框固定中心受力的情况下拍摄二次曝光全息图。具体判读过程是将照片输入 Zygo 干涉仪后, 监视器的屏幕上显现出以下

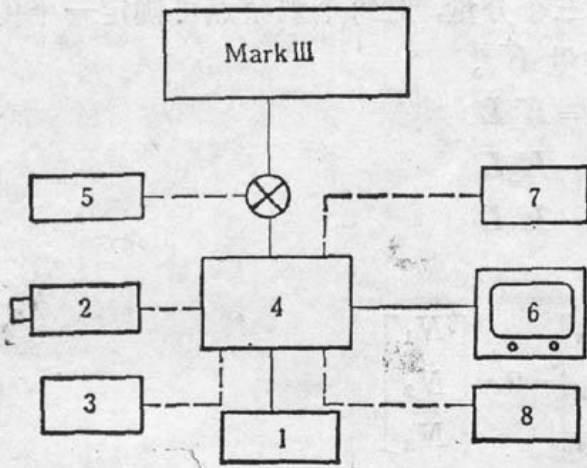


Fig. 2

1—Terminal; 2—Vidicon camera; 3—computer; 4—Processor;  
5—Interferogram reading; 6—Monitor; 7—Printer; 8—Storage unit

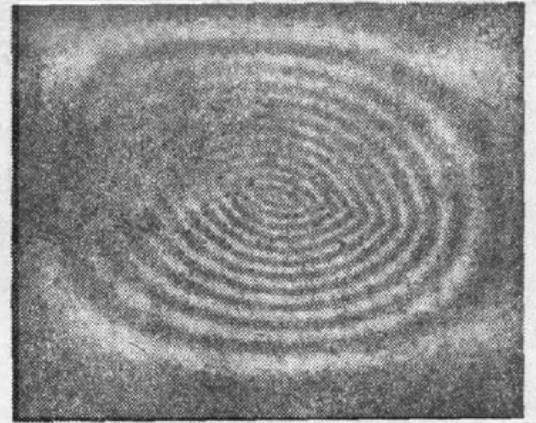


Fig. 3

结果和变形后波面的等高图, 如图 4。PV 值为所测变形表面的峰谷值(以波长为单位); RMS 为表面均方根值(以波长为单位); PTS 为每次计算取点数, 基本上与干涉条纹的疏密成正比。

等高图表示变形后的波面与原波面相减所得到的差值, 也就是变形量。峰谷值即相对于基准面(原物面)的最大变形量与最小变形量之间的差值, 在本实验中得到的峰谷值即为最大变形量, 因为最小变量为零。值得说明的是由 Zygo 干涉仪系统得出的等高图是实际等高图的倒数, 因此呈现中间低两边高的形状, 另外在辅助计算机上可以给出点扩散函数等等。

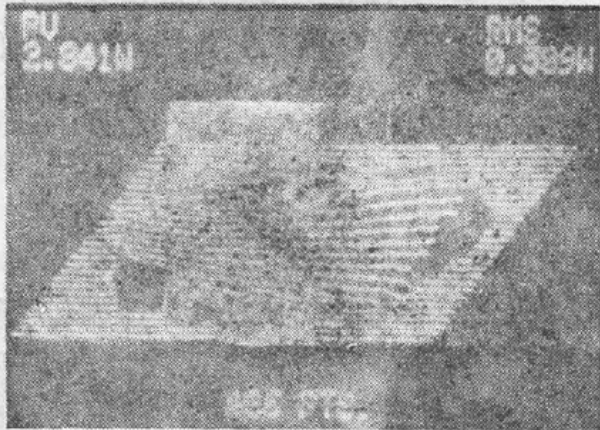


Fig. 4

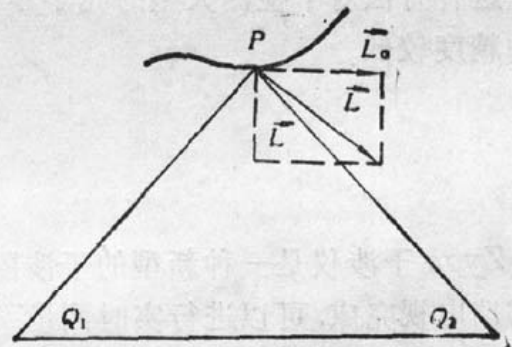


Fig. 5

Zygo 干涉仪能够对复杂条纹如扬声器的振动干涉图形进行处理, 但必须采用局部处理的方法, 对处理的每一部分可以通过 PV 值表明振动的振幅大小, 而且从等高图可以判断扬声器的表面振动情况是否均匀等。Zygo 干涉仪一般不能判读封闭条纹或曲率半径过小的条纹, 对于这种情况, 可以将图形按比例放大, 进行局部探测和判读。

下面介绍一种位相测量法的实际应用——条纹飘移法, 干涉条纹的位相变化与条纹数目有关, 既然条纹的零级难以确定, 是否可以不通过零级直接获得条纹数呢? 只要改变一下观察方向就可以实现, 如图 5, 只要测出观察点  $Q_1$  与  $Q_2$  的条纹差数, 就可以得到面内位移大小。

面内位移  $L_0$  的方向(即  $L$  的运动趋势)可由  $Q_1, Q_2$  点观察的条纹数经推导得出, 当从  $Q_1, Q_2$  点观察时, 垂直位移  $L_1$  对条纹数目变化不作贡献, 而面内位移  $L_0$  在  $PQ_1$  上的投影为  $L_0 \sin \alpha$ , 因此光程  $PQ_1$  缩短距离  $L_0 \sin \alpha$ , 而  $PQ_2$  伸长了同一距离, 全部光程差变化为  $2L_0$ 。

$\sin \alpha$ , 则

$$\begin{aligned} n_1 - n_2 &= 2L_0 \sin \alpha / \lambda \\ L_0 &= (n_1 - n_2) \lambda / 2 \sin \alpha = \Delta n \lambda / 2 \sin \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

式中  $L_0$  为面内位移,  $n_1, n_2$  分别为  $Q_1 Q_2$  点观察的条纹数,  $\alpha$  为  $(1/2) Q_1 P Q_2$ , 即观察方向夹角的一半。从公式(5)可知,  $L_0$  与两个因素有直接关系, 即条纹数之差  $\Delta n$  和观察角度  $\alpha$ 。为改善观察效果, 采用双干板法, 这样物体和干板的几何尺寸也就不受限了。

研究结果表明, 这种方法理论上可探测  $0.1\lambda$  以下的位移和变形。

### 三

在综合现有全息图判读方法和装置的基础上, 这里提出一种新的全息检验和干涉图形的

判读系统, 其特点是: 一、对被测物体的全息图可进行实时判读; 二、对各种干涉图形(正片或负片)都可以定量判读。该系统的原理框图如图 6 所示。

为了实现对干涉条纹的实时判读, 对被测物体作二次曝光全息摄影, 其主要过程为:

物体移动或变形前进行一次曝光, 移动或变形后再进行一次, 由步进电机 2 带动的细光束扫描及再现装置对全息图进行细光束扫描再现, 为避免离面位移误差随全息图到被测物点距离增大而增大, 并且加大观察角度和降低对记录材料几何尺寸的要求, 采用双全息图, 当细光束扫描不同部分时, 在原物体位置出现的实像和干涉条纹也随之移动。物体后面的成像透镜将像成在 CCD 光电转换器件上, CCD 对图像上不同的光强部分

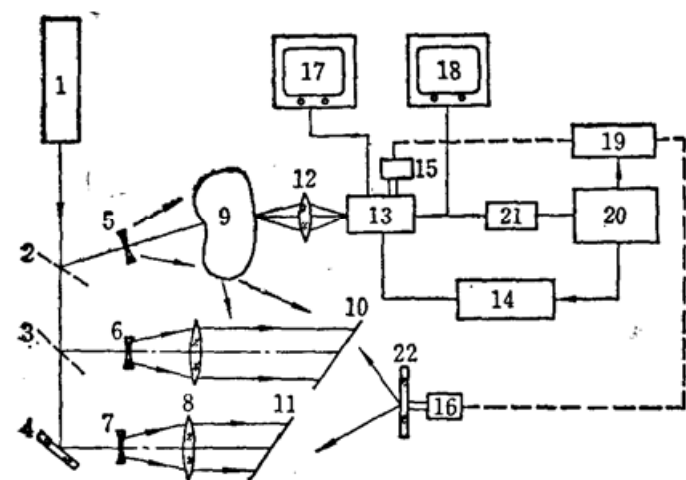


Fig. 6

1—Laser; 2, 3—Beam splitters; 4—Mirror; 5, 6, 7—Diverging lenses; 8—Collimating lens; 9—Object; 10, 11—Photographic plates; 12—Imaging lens; 13—CCD; 14—CCD driving circuits; 15, 16—Stepmotors; 17, 18—Monitor; 19—Motor-driven; 20—Microcomputer; 21—A/D transformer; 22—Reconstruction and scanning unit

进行检测, 在两个全息图的不同再现方向上飘过被测点的条纹数被采样。

电视监视器将细光束再现出的物体各个不同部分的干涉条纹显示在屏幕上, 与 CCD 采样过程对应, 实行监测, CCD 采样值由 CCD 驱动电路输出, 经 A/D 转换后输入到计算机内进行分析处理。若对干涉图进行处理, 则关闭系统的实时测量通路, 实现另一功能。同理, CCD 器件对干涉图进行扫描, 经 A/D 转换输入微机, 得出所需结果。

### 参 考 文 献

- 1 Vest, C. M.; Holographic Interferometry, John Wiley, New York, 1979
- 2 [美] A. H. 格恩瑟, D. H. 利本伯; 《光学干涉图的处理与判读》, 机械工业出版社, 北京, 1988
- 3 Yu. I. Ostrovsky, M. M. Butusov, G. V. Ostrovskaya; Interferometry by Holography, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980
- 4 R. Berggern; 光学工程, 1(55), 69(1985)
- 5 刘月爱; 光学工程, 4(58), 1(1985)
- 6 Zygo Corporation; Manual of Zygo Phase Measuring Interferometer, 1985