

激光移动光源法测量三维曲面形状技术

岳亚霖 祁恩荣 徐秉汉

(中国船舶科学研究中心)

龚兴龙 何世平

(中国科学技术大学)

摘要 本文叙述了利用全息干涉法原理发展了移动光源法测量曲面形状的新方法,并将该方法与计算机图像处理技术相结合,应用于螺旋桨形状测量,成功地获得了桨叶表面三维形状参数。文中给出了移动光源法测量曲面形状的光学原理图,详细推导了形状测量理论计算公式,并提出了确定零级条纹的方法及提高实验精度的参数修正方法。本方法可推广应用于其它三维空间工程结构的表面形状测量中。

关键词: 移动光源法 图像处理 激光全息干涉 螺旋桨 形状测量

分类号: U661.4

1 前言

船舶结构试验所采用的模型,大部分为比例模型,模型试验结果,需经过换算才能应用到实船上,为了控制模型加工精度或预测结构的失稳波形,对模型的精确测量尤其重要。此外,在实际工程中,高精度曲面形状测量方法也有着广泛的应用前景。

本文利用全息干涉法原理发展了移动光源法测量曲面形状的新方法^[4,6],并将该方法与计算机图像处理技术相结合,应用于螺旋桨形状测量,成功地获得了桨叶表面三维形状参数。该方法可推广应用于其它三维船舶结构的表面形状测量中。从而为船舶结构表面形状测量提供了一种非接触全场测量的新方法。

2 移动光源法测量三维曲面形状技术

2.1 基本原理

图1为移动光源法的光路图,图中 $S(x_1, y_1, z_1)$ 为物光扩束镜, S' 为移动该扩束镜后的位置, $O(x, y, z)$ 为物体上任一点, O' 为该点在像平面上对应的点。

当物光源从 S 移动到 S' ,使前后各曝光一次,则在像平面上记录下光强为

$$\Delta I \sim \sin \frac{\Delta \varphi_{1,2}}{2} \quad (1)$$

其中: $\Delta \varphi_{1,2}$ 为光源从 S 移到 S' 引起的物光光程相位,即

$$\Delta \varphi_{1,2} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L_{1,2} \quad (2)$$

而

$$\Delta L_{1,2} = \vec{d} \cdot \vec{n} = \frac{(x_1 - x)u + (y_1 - y)v + (z_1 - z)w}{R} \quad (3)$$

其中 $\vec{d} = \vec{d}(u, v, w)$ 为光源移动的位置矢量,

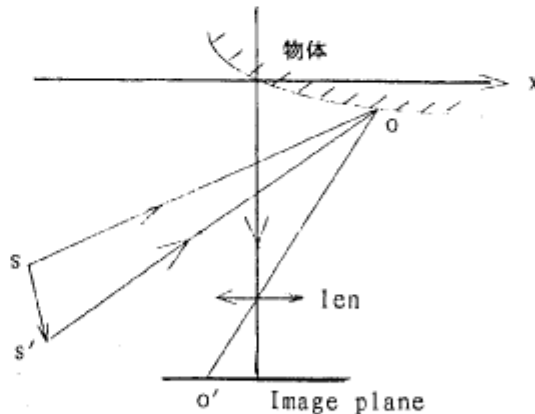


图1

$\vec{n}$ 为物光源到物点的方向矢量。

$$R = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}$$

对于暗条纹,只须有

$$\frac{\Delta\varphi_{1,2}}{2} = N\pi$$

$$\frac{(x_1 - x)u + (y_1 - y)v + (z_1 - z)w}{R} = N\lambda \quad (4)$$

符合上述条件的点的规迹形成形状干涉图的暗条纹。

为处理方便,以下通过适当布置光路对上式进行简化,如图2使物光源与物体中心等高,且光源移动方向与光源到物中心的矢量垂直,即使

$$y_1 = 0 \quad \vec{d} \cdot \vec{n} = 0$$

从而 $u = d \sin \theta$, $v = 0$, $w = d \cos \theta$

其中: $\cos \theta = -x_1/R$

$$\sin \theta = z_1/R$$

$$R = \sqrt{x_1^2 + z_1^2}$$

由此(4)式简化为

$$\frac{(x_1 - x)u + (z_1 - z)w}{R} = N\lambda \quad (5)$$

在原点, $x=y=z=0$; 公式(5)左边

$$\frac{(x_1 - x)u + (z_1 - z)w}{R} = \frac{x_1 u + z_1 w}{R} = 0$$

从而 $N(0,0,0)=0$, 即原点处, 条纹级数为0。据此可判定全息像上各点的绝对条纹级数。

如果物光源离物体足够远, 即 $x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \ll R^2$

则经过推导可得

$$z = \frac{NPR + (NP \cos \theta + tg \theta)x}{NP \sin \theta - 1} \quad (6)$$

其中: $P = \frac{\lambda}{d \cos \theta}$

此即为曲面的形状计算公式。

2.2 实验分析

2.2.1 形状测量实验

众所周知, 螺旋桨是一个典型的三维曲面结构, 因此我们取一螺旋桨为研究对象, 测量其桨叶叶面的形状参数。

试验前, 先将一螺旋桨叶片置于固定架上, 光路如图3所示, 其中M为反射镜, S为光源扩束镜, 该镜均为三维可调的。再将S镜面垂直于该光源到物中心的矢量, 且镜面中心与物中心等高, 以确保 $y_1=0, \vec{d} \cdot \vec{n} = 0$, 然后, 在S旁边置一百分表, 以读取S的移动值。

实验时, 光源在S点干板H先曝光一次, 然后移动S至S', 再曝光一次, 这样在干版上就记录了S移动前后的光波, 经过对干版的显影, 定影后, 将其再现, 就得到了记录有形状信息的干涉条纹图(如图4)。

2.2.2 参数修正

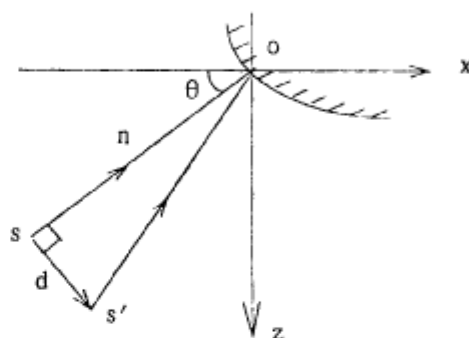


图2

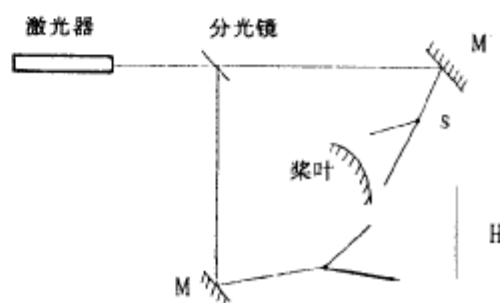


图3

实验前,在与物中心平行处,置一平板,并使板上 $z=0$ (图4给出了平板干涉条纹图),这样式(6)可变为

$$x = -\frac{RNP}{NP \cos \theta + \operatorname{tg} \theta}$$

如 $N\lambda/d \ll \operatorname{tg} \theta$ 则

$$x = -\frac{NP\lambda}{d \sin \theta} \quad (7)$$

而相邻条纹间隔

$$\Delta x = \frac{R\lambda}{d \sin \theta} \quad (8)$$

据此,可修正几何测量的 θ 、 d 及 (x_1, y_1, z_1) 等几何参数,方法如下:

先测取这些参数的几何值,将其代入公式(7)或(8),如有误差,则修正这些值,再往公式中代入,如此迭代,直至误差很小。

2.2.3 数据处理

本文利用计算机图像处理系统对实验图像数据进行处理^[1,11],图像处理系统硬件由计算机、昆明CCD摄像机及MVP-AT专用图像板组成,图像面积为512X512像数,系统工作框图见图5。

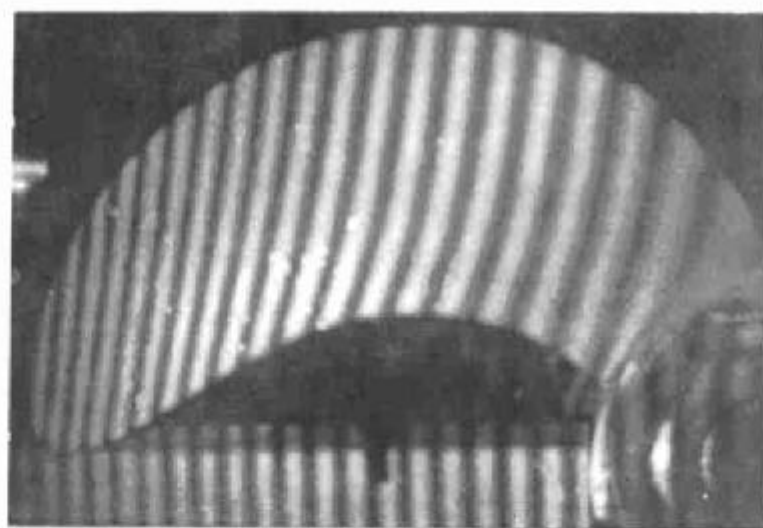


图4

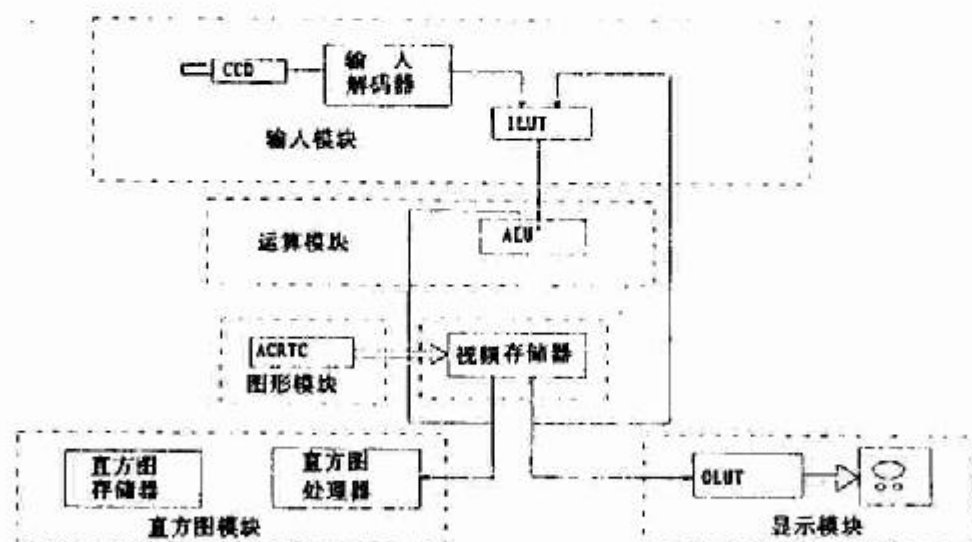


图5 图像处理系统工作框图

本文开发了专门的形状测量计算软件,从实验得到的干涉条纹图由CCD摄取,经数字化后送入计算机中,再经过图像处理得到条纹级数^[2],然后利用公式(6)、(7)、(8)计算各点的形状参数。

图6为测量所得的紫叶面三维形状图,具体操作过程详见文献[4]、[5]。

2.2.4 精度分析

本实验的本质是干涉方法,其精度为 $10 \sim 100 \mu\text{m}$ 。

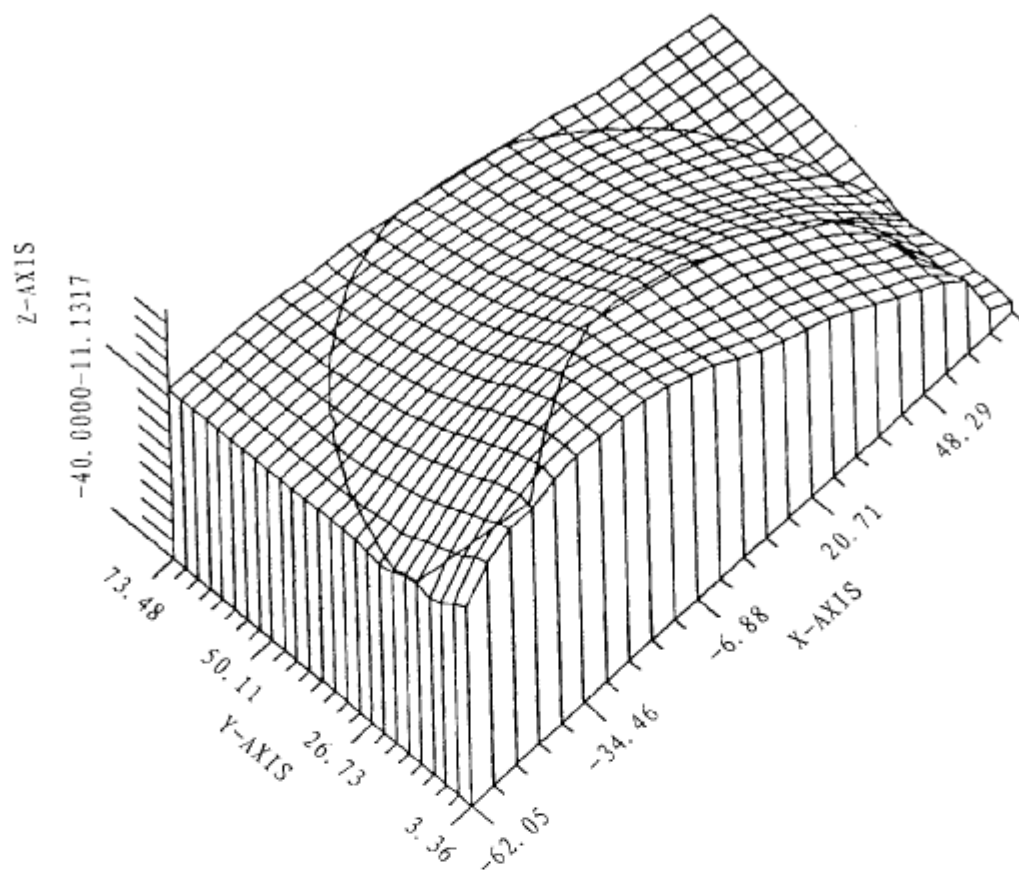


图6 桨叶叶面三维形状图

3 结 论

本文详细介绍了移动光源法测量曲面形状技术的光学原理及计算公式,指出了确定零级条纹级数的方法及提高实验精度的参数修正法,利用这一技术对某一螺旋桨桨叶面进行了测量,成功地获得了螺旋桨桨叶表面三维形状参数。

此方法测量光路简单,条纹图像清晰,测量精度较高,可推广应用于其它船舶结构及工程结构的三维曲面形状测量中。

参 考 文 献

- 1 Reid G T. Automatic fringe pattern analysis;a review. *Optics and Lasers in Engineering* 7,1986. (7):37
- 2 William W, Macy Jr. Two-dimensional fringe pattern analysis. *App. Opt.*, 1983, 22(23)
- 3 Hariharan P, Oreb B T, Brow N. Real-time holographic interferometry;a microcomputer system for the measurement of vector displacements. *APP. Opt.*, 1983, 22(6)
- 4 岳亚霖. 螺旋桨静位移测量技术研究报告. 中国船舶科学研究中心科技报告, 1992
- 5 岳亚霖. 螺旋桨三维形状测量技术研究报告. 中国船舶科学研究中心科技报告, 1992
- 6 岳亚霖, 祁恩荣. 舰船结构测试技术研究. 中国船舶科学研究中心科技报告, 1996

Study of 3-D Shape Measurement by Light-Moving Holographic Interferometry

Yue Yalin Qi Enrong Hsu Pinhan

(China Ship Scientific Research Center)

Gong Xinglong He Shiping

(University of Science and Technology of China, Hefei)

Abstract A new method has been developed to survey 3-D shape of ship structure, which is based on light-moving holographic interferometry combined with computer image processing. The light route arrangement, technique and principle of the measurement are introduced. The results of the typical test for a propeller face shape are presented and the measurement accuracy is discussed. The method can also be applied to measure the 3-D shape for other engineering structures.

Key words: light-moving holographic interferometry computer image processing propeller shape measurement