

# 用ZYGO数字干涉仪检测非球面的新方法

王淑荣 韩昌元

(应用光学国家重点实验室)

**摘要:** 提出了在ZYGO数字干涉仪上用计算机全息术检测非球面的新方法。这一方法利用了菲索干涉仪光路, 并合理设计光学系统使非球面波完全自准返回, 消除了非球面检验中的波面的变形传播引起的测量误差。同时, 充分保留了ZYGO数字干涉仪本身具有的位相法干涉图处理机能。以抛物面为例加以对比、验证, 证明了将数字干涉仪与计算机全息术巧妙地结合用于检测非球面是行之有效的方法。

## 一、引言

应用于空间光学中的大型空间望远镜系统多采用离轴的高次非球面反射镜, 近年来光学玻璃的模压成形技术的发展, 使非球面透镜在光盘读取装置中和照相物镜中得到大量的应用; 另外, 利用非球面光学件, 可以大批量生产非球面金属反射镜以及塑料和晶体透镜, 相应地非球面面形的检验方法日益引起光学工程界的重视。

目前, 国际上采用的非球面检测方法有: 机械触针式, 光学探针式, 剪切干涉术及利用补偿镜的干涉检验, 计算机全息干涉术和激光自准直方法等。已达到的水平是非球面面形检测精度优于 $0.1\mu\text{m}$ , 重复性精度达 $0.02\mu\text{m}$ 。

非球面检测虽然有许多方法, 但至今没有一种令人十分满意的技术。国外已有的机械接触式轮廓仪虽然能一维在线测量金刚石切削表面, 但由于是接触式测量, 容易损坏表面, 所以

对高精度非球面面形检测不适用。干涉术是应用得最普遍的检测光学表面面形的方法<sup>[1]~[5]</sup>, 但应用于非球面检测也存有很多问题。

以往用于非球面检验的干涉装置常采用泰曼—格林干涉仪。图1所示, 被检镜面的反射波面直接通过全息图, 保持非球面波前, 平面参考波的+1级衍射波再现标准非球面波前, 这两个波面干涉产生直条纹, 其不直度表征非球面的加工误差。此装置中, 由于被检非球面是将球面波反射成非球面波, 其中存在着波面的变形传播引起的测量误差。

纵观检测非球面的各种方法, 比较泰曼—格林干涉仪与菲索干涉仪的特点, 本文提

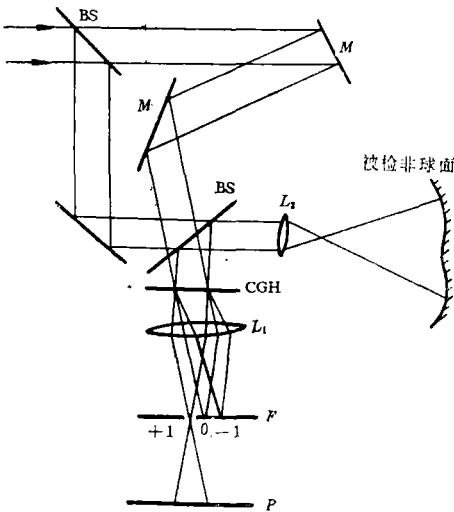


图1

出了在ZYGO数字干涉仪上实现计算机全息术检测非球面的新方法。

## 二、在ZYGO数字干涉仪上检测非球面

ZYGO数字干涉仪是利用干涉方法实时快速检测平面、球面的精密仪器。其光学部分采用的是菲索干涉仪原理；数字处理部分采用条纹法和位相法两种方法进行干涉图判读，其中位相探测法精度较高，重复性精度可达1/100波长峰谷值。

如何利用数字干涉仪检测精度高，并能实时判读干涉图这一优势进行非球面测试呢？为此，我们在原菲索干涉仪的基础上设计了一套附加光路（图2），利用此光路，通过制备各种计算机全息图（CGH），即可在数字干涉仪上检测相应的非球面。

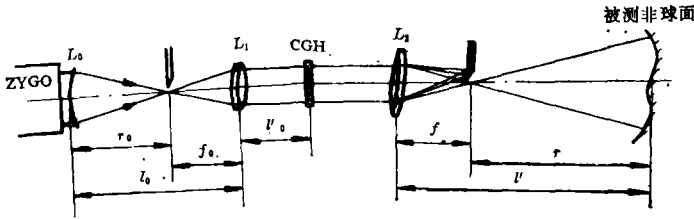


图 2

图2所示，由原干涉仪的标准镜头 $L_0$ 的最后一面直接反射的标准球面波作为参考波前，同时透射出一球面波，它经过透镜 $L_1$ 变成平面波，经过CGH及透镜 $L_2$ 后，+1级衍射波再现非球面，这一理想非球面波经被测非球面自准反射按原光路返回，直接通过全息图及透镜 $L_2$ 和标准镜头 $L_0$ 形成测试波前。该测试波前与参考波前干涉成直条纹，其弯曲度表征被测件的加工误差。因为这套系统是被测非球面把理想非球面波完全自准返回（只附加上了被测非球面的加工误差），从而没有附加上泰曼干涉仪检测非球面中的那种波面变形传播引起的测量误差。

## 三、实 验 验 证

为了验证上述检测非球面的新方法，我们加工了一个旋转对称抛物面，其  $f = 386.26$  mm，口径  $D = 85$  mm，实用  $d = 80$  mm。

### 1. 用自准法标定其表面面形

根据抛物面的特性，可用图3所示的自准法标定所加工的抛物面，图4是测得的干涉图。由于此种测量方法的波像差等于四倍的面形差，所以干涉图中一个条纹间隔等于四分之一波长。据此可从图4判读出该抛物面除去塌边部分，在所需要范围内（ $D = 85$  mm，实用  $80$  mm）面形好于1/10波长（由于我所现有的数字干涉仪的数据处理系统出了故障，暂不能实时判读干涉图，只好人为估读）。

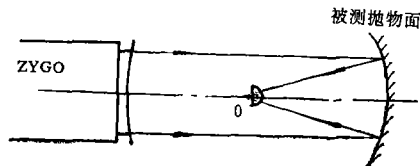


图 3

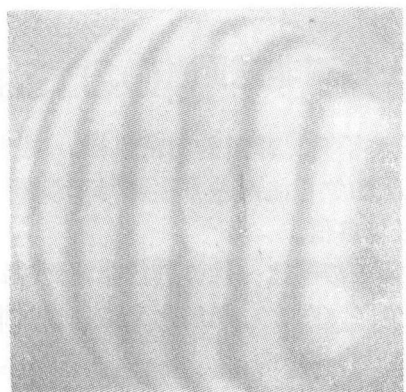


图 4

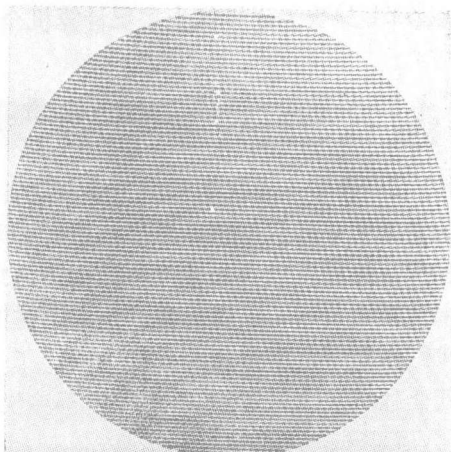


图 5

## 2. 用新方法检验

用图 2 所示的方法检测非球面，用了以下镜头：

$L_0$ :  $f/3.3$ ,  $d = 86\text{mm}$  ZYGO干涉仪的标准镜头

$L_1$ :  $f_1 = 39.21\text{mm}$ ,  $D_1 = 13\text{mm}$

$L_2$ :  $f_2 = 80\text{mm}$ ,  $D_2 = 20\text{mm}$

再根据被测抛物面数据 ( $f = 386.26\text{mm}$ , 实用口径  $D = 80\text{mm}$ ), 进行光线追迹, 可得如下数据:

CGH口径 =  $8.28\text{mm}$

$-l_0 = 337.21\text{mm}$

$l'_0 = 44.37\text{mm}$

$-l = 88.28\text{mm}$

$l' = 852.52\text{mm}$

根据上述有关数据, 在IBM PC机上用BASIC语言编制绘图软件, 在ROLAND绘图仪上绘制CGH图形, 见图 5。该绘图仪的定位精度为 $0.02\text{mm}$ , 所画图形直径为 $273\text{mm}$ , 条纹间隔约为 $2.5\text{mm}$ 。由此可知, 理论上绘图仪带来的误差在 $1/100$ 波长以下 (但实际绘图过程中, 绘图笔尖粗细变化将直接给CGH带来误差)。图形经照相缩小到所需尺寸 ( $D = 8.28\text{mm}$ )、冲洗, 最后完成计算机全息图制备工作。

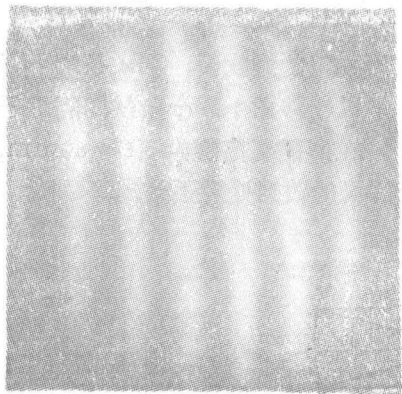


图 6

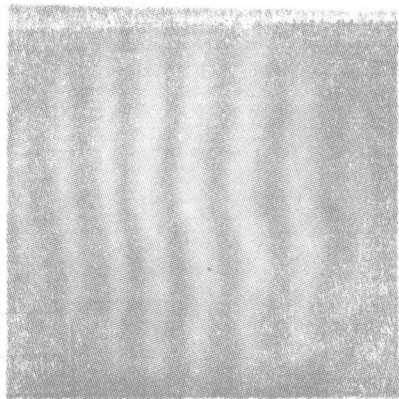


图 7

用上面提到的镜头按图2所示的光路进行装调,得到图6所示的干涉图。为了消除全息干板表面变形的影响,实验中采用了液膜法,即用两块光学玻璃(面形好于 $1/20$ 波长)夹住全息干板,中间滴入匹配液,从而大大地减少了全息干板表面变形引起的误差。图7为未加液膜时的干涉图,与图6比较,可见全息干板表面不平带来的误差是不可忽略的。

## 四、结 论

将自准法得到的干涉图(图3)与新方法得到的干涉图(图6)进行比较,在图3不考虑边缘的情况下(图3测试口径为85mm,图6测试口径为80mm),二者基本吻合。这足以说明用ZYGO数字干涉仪检测非球面这一新方法是行之有效的。它不仅利用了计算机全息术对各种非球面检验都适用的优点,且消除了以往泰曼干涉仪用于检测非球面时波面变形传播所引起的测试误差,又可利用数字干涉仪能实时评价干涉图的特点,对用全息术得到的条纹进行实时、快速数据处理,从而达到高精度测量非球面之目的。

## 五、说 明

由于我所的ZYGO数字干涉仪的数据处理部分出了故障,正等待修复,所以我们的工作还有很多没能进行,比如:干涉图的数据评价,以及新方法中系统误差的消除等。如果处理系统恢复正常,系统误差在CGH中得以消除,再加上位相法实时处理干涉图,非球面检测精度将能大大提高。这些都有待于进一步完善。

## 参 考 文 献

- [1] 韩昌元,《信息光学》,长春出版社,1989
- [2] P.Hariharan,《Optical Interferometry, Academic》,New York,1985
- [3] J.Schwider,Appl.Opt.,22,3421,1983
- [4] T.Yatagai,et al.,Opt.Eng.,23(4),401,1984
- [5] B.S.Fritz,Opt.Eng.,23(4),379,1984
- [6] T.H.Barnes,Appl.Opt.,26(14),2804,1987

## A New Method of Measuring Aspheric Surfaces Using ZYGO Interference System

Wang Shurong, Han Changyuan

### Abstract

This paper represents a method of measuring aspheric surfaces with CGH, using ZYGO interference system. Testing a parabolic surface is used as an example in the paper. It proves that it is effective that ZYGO interferometer is used together with computer holography for measuring of aspheric surfaces.