

文章编号: 1002-2082(2006)SO-0058-03

非球面光学零件测量中调整误差消除方法

杨朋利

(西安应用光学研究所, 西安 710065)

摘要: 针对非球面光学零件测量及测量过程中存在的调整问题, 利用 Zygo 万能激光干涉仪对非球面光学系统进行了测量, 并对测量过程中非球面光学系统装调不完善而产生的调整误差进行了确认及分离。根据像差与装调误差之间的关系, 采用优化设计方法计算出装调过程中的调整方向及调整量大小, 按照调整方向及调整量大小对非球面光学系统进行了调整。实验结果表明: 该方法重复性较好, 多次试验均得到了较为理想的结果; 通过这种方法可使调整精度达到 $1/10$ 波长。

关键词: 非球面; 光学测量; 调整误差

中图分类号: TN247-32

文献标志码: A

Elimination method of adjustment error in measurement of aspheric optical elements

YANG Peng-li

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: The aberration of aspherical optical systems were measured, analyzed and calculated with Zygo universal laser interferometer, and the adjustment error coursed by adjustment imperfectness of aspherical optical systems was confirmed, so as to solve the problems appearing during the measurement process of aspherical optical elements. The adjusting direction and magnitude in assembly and adjustment process were calculated with a method of optimization design based on the relationship between the aberration and assembling errors, and then the aspherical optical systems were adjusted with the method. The experimental results show that the repeatability of the method is ideal. The typical adjustment accuracy of this method is $1/10$ of the wavelength.

Key words: aspherical surface; optical measurement; adjusting error

引言

非球面光学系统由于其本身几何特性使得其具有球面光学系统无法比拟的优点, 如具有无像差共轭点、可简化系统结构、减轻整机质量等。因此, 非球面光学系统被广泛地应用于现代光学产品中, 特别是随着光学加工设备的不断改进和完善, 非球面光学系统更是越来越多地被采用。然而, 非球面

光学零件测量及测量过程中的调整问题一直困扰着非球面光学系统的进一步应用。由于其调整方向难以确定, 在测量时往往需要有经验的人员经过较长时间逐步摸索来完成, 且测量过程中调整稍不细心就有可能调整过量, 导致重新进行调整。因此, 非球面光学系统测量的结果直接影响到非球面系统设计的成功与否。本文旨在通过一种简单易行的操

收稿日期: 2006-07-30; 修回日期: 2006-08-20

作者简介: 杨朋利(1961—), 男, 陕西长安人, 西安应用光学研究所研究员级高级工程师, 主要从事光学计量检测工作。E-mail: yangpl191@sohu.com

作方法实现非球面光学系统的快速测量和调整。

1 测量基本原理及思路

对于任何一个光学系统来讲,其性能的优劣都可以用其成像过程中的波像差来表示。因此,可以将被测非球面系统按照系统工作状态的要求放置在干涉系统中,并测量其系统波像差;然后利用干涉图处理软件分解出像差的大小,通过分析不同光学系统可能产生像差的各个误差源,建立起各个误差源与系统波像差之间对应的数学关系式。通常来讲,这种函数关系是一个多元的函数关系,由于系统本身存在的固有误差及这种函数关系的多元性,要想直接求解出调整过程的机械调整误差是十分困难的,直接采用逐步逼近尝试的办法当然也是一种常用的办法,但往往事倍功半。为此,我们可采用优化设计方法对上述关系式进行求解,计算出调整过程的机械调整误差,以此为依据对需要调整的非球面光学系统进行测量,然后再次对非球面光学系统进行测量。有时可能一次不能满足设计需要,需要进行几次重复测量。

2 应用实例

为了验证上述方法的正确性及合理性,我们对一反射式抛物面进行了测量,所测抛物镜面相关信息如下:

$$\text{曲线方程 } y^2 = 1000 x$$

$$\text{口径 } D = 200 \text{ mm}$$

误差及测试光路示意图分别如图 1 和图 2 所示。在反射式抛物面中,调整误差一般可分为轴向调整误差 δ_1 、垂轴调整误差 δ_2 以及倾斜调整误差 β ,其波像差可近似地表示为

$$\omega = 4 \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \sin^3 [1/2 \arctan(y/f')] \sin [1/2 \arctan(y/f') + \arctan(\delta_2/\delta_1)] / (1 + \sqrt{f'^2 - y^2/f'^2}) + y^3 \beta / 4f'^2$$

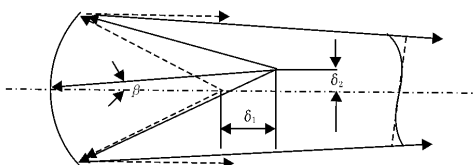


图 1 误差示意图

Fig. 1 Schematic diagram of error

为了对上述函数进行求解,得到轴向调整误差

δ_1 、垂轴调整误差 δ_2 和倾斜调整误差 β ,建立如下方程:

$$f(\delta_1, \delta_2, \beta) = \omega - \{4 \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \sin^3 [1/2 \arctan(y/f') / f'] \sin [1/2 \arctan(y/f') + \arctan(\delta_2/\delta_1)] / [1 + \sqrt{f'^2 - y^2/f'^2}] + y^3 \beta / 4f'^2\}$$

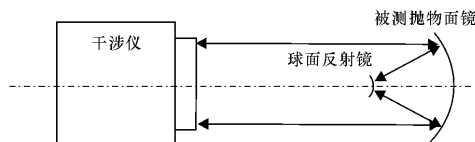


图 2 测试光路图

Fig. 2 Diagram of testing light path

求出 $f(\delta_1, \delta_2, \beta)$ 极小值 ϵ 下的轴向调整误差 δ_1 、垂轴调整误差 δ_2 和倾斜调整误差 β 的大小,即可求得下一步的调整量。 $f(\delta_1, \delta_2, \beta)$ 的极小值一般取决于抛物面的加工精度及系统的像差容限。用优化设计中的直接法对其进行求解,求解的简单框图如图 3 所示。

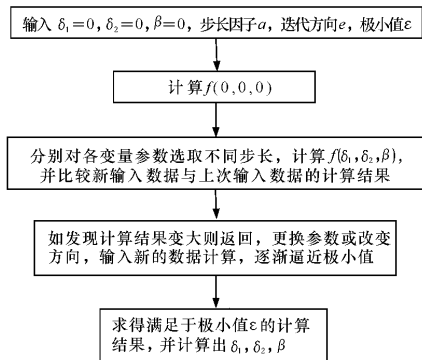


图 3 测量过程框图

Fig. 3 The block diagram of measurement process

实际计算过程中的程序要比图 3 中描述的复杂得多。利用上面的程序计算出 δ_1 、 δ_2 和 β 后,按照计算结果进行测量,如结果满足系统要求,则不需调整;如不满足被测系统的要求,重复上述的步骤,直至达到要求。

在本文的实例中,利用 Zygo 万能激光干涉仪对被测光学系统进行测量,并对测量过程中非球面光学系统不完善而产生的像差利用移相干涉仪进行测量。实验的有关数据如下:

初始位置 $\omega(0,0,0) = 0.0041 \text{ mm}$,取 δ_1 、 δ_2 的步长为 0.01 mm , β 步长为 0.001 rad , ϵ 为 0.001 mm 。经过求解得到

$$\delta_1 = 4.61 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 4.61 \text{ mm}$$

$$\beta = 0.019 \text{ rad}$$

理论计算 $f(\delta_1, \delta_2, \beta)$ 的最小值为 0.0098 mm ,

按照上述计算结果调整最终测量结果,则有

$$w = 0.11\lambda \quad (\lambda = 0.6328 \mu\text{m})$$

3 结束语

本文所给出的实例证明了用文中所提出方法实现非球面光学系统的快速测量与以往的测量方

法相比具有一定的优点,但要求知道各项测量参数与系统误差之间的数学关系式,因此本方法在应用时需先建立起数学模型。

参考文献:

- [1] MALACARA D. Optical Shop Testing [M]. New York:Willie & Son Inc,1978.
- [2] 南京大学编写组. 优化设计[M]. 北京:科学出版社,1978.
- [3] TOYOHICO Yatagai. Influence of system aberrations on aspheric testing[J]. SPIE,1986,680:180-188.