文章编号:1002-1582(2005)04-0611-03

# 检测大口径光学平面镜时干涉 条纹的子孔径拼接方法

杨晓洪, 高必烈, 崔向群

(中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所,江苏南京 210042)

摘 要:提出了用 Ritchey-Common 法检测大口径光学平面镜时干涉条纹的子孔径拼接方法。通过确立基准点将 多幅子孔径检测数据统一到全口径归一化坐标系下进行拼接,解决了在检验光路中因 Ritchey 角所引起的投影变形问题 和如何消去因被检平面的大曲率所造成的像散。通过 Zernike 多项式拟合重建连续波面,可恢复全口径波面图像。

关键词:干涉条纹的子孔径拼接; Ritchey-Common 检测; Zernike 多项式

**中图分类号**: TH706 **文献标识码**: A

# New application of stitching interferometry by using Ritchey-Common method for testing the large aperture optical flat

YANG Xiao-hong, GAO Bi-lie, CUI Xiang-qun

TANG Mao-hong, GRO DI-he, COT Mang-qui

(Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology, National Astronomical Observatories,

Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China)

**Abstract :** Based on stitching interferometry, a new application of stitching of interference fringes was discussed by using Ritchey-Common method for testing a large aperture optical flat by means of a small interferometer. Three datum marks were established, and were used to unify all subaperture testing phasic data to a full aperture coordinate system. The distortion of projection produced by Ritchey is resolved angle on testing lightpath, and how to eliminate astigmatism produced by large curvature of the flat for test is resolved. All these subapertures can be connected, and the full aperture wavefront can be reconstructed by means of Zernike coefficients.

Key words: stitching of interference fringes; Ritchey-Common testing; Zernike polynomials fit

# 1 引 言

随着天文望远镜向着大口径、快焦比、高精度方向的迅速发展,对天文光学镜面检测技术的要求也 越来越高。由于大型平面干涉仪的制造周期长,成 本高,所以利用一般的全口径检验方法已不能满足 对大平面镜检测的需要。因此,为了适应大口径镜 面面形测试的需求,必然要发展子孔径拼接检测技 术来对大型天文光学镜面进行高精度检测。

本文提出了用 Ritchey-Common 法检测大口径 光学平面镜时子孔径拼接的方法,并将此种检测方 法运用到了 LAMOST 天文望远镜 MA 六角形子镜 的检测中。

# 2 子孔径拼接的基本原理

子孔径拼接利用的是小口径干涉仪,用干涉方

法分多次分别检测大口径光学镜面的各个部位(每 一个部位就是一个子孔径),使这些子孔径几乎完全 覆盖整个大光学镜面,且两相邻子孔径之间都有重 叠区域。从重叠区域提取出相邻子孔径参考面之间 的相对平移和旋转信息,并依次将这些子孔径的参 考面拼接到同一个参考面上来,从而恢复出全口径 波面的完整面形。

下面以两个子孔径为 例进行拼接。如图1所示, w<sub>1</sub>和w<sub>2</sub>分别是通过两次 子孔径检测到的波前相位 数据。对经两个子孔径检 测获得的测量数据用最小 二乘法分别进行拟合。每 次测试都可得到一组唯一



**原**理小息含

的位移及倾斜量参数。于是有

 $T_y$ 表示 Y 方向的倾斜量;  $W_{01}(x, y)$  和  $W_{02}(x, y)$ 是各自子孔径系统波前的原始面型数据;  $W_1(x, y)$ 和  $W_2(x, y)$  分别表示经两个子孔径测量得到的面 型数据。

由于重叠部分(阴影区)无论是在 W<sub>1</sub> 还是在 W<sub>2</sub> 中都具有共同的波面信息,因此可以用它作为 基准来衡量各次检测之间的差异,以确定出各子孔 径区域的相对倾斜和轴向位移

 $W = P + T_{x}x + T_{y}y$ **T**, **P** = P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub>;  $T_{x} = T_{x1} - T_{x2}$ ;  $T_{y} = T_{y1}$ -  $T_{y2}$ 

实际上在同一次测试过程中重叠部分和非重叠 部分的调整状态都是一样的。只要求出在两次测试 过程中重叠部分调整状态的相对变化,也就求出了 两个子孔径在测试过程中调整状态的相对变化。因 此可用一个子孔径的调整状态来统一另一个子孔径 的测试数据。

多个子孔径的拼接方法与两个子孔径的拼接方 法是相同的,也就是说以某一子孔径为基准,依次与 相邻的子孔径进行拼接,逐步推进,直至完成所有子 孔径的拼接工作。为了避免两两拼接所造成的误差 传递和积累,必须确定一个基准坐标系,将每次子孔 径的测量数据都统一到该基准坐标系上来,以实现 将各子孔径数据拼接到全口径坐标系下。最后将这 些已经统一到基准坐标系下的多个子孔径数据进行 拟合,重建连续波面,即可得到所求的大口径光学平 面的面型数据,以便精确地确定出大平面镜的面形 和不平度。

# 3 子孔径拼接实验

图 2 是利用 Ritchey-Common 方法检测六边形

平面镜镜面的实验装 置图。由图 2 可知, 由于口径为 630mm 标准 的标准球面镜一次只 能覆盖大平面镜的一 部分,即一次只能检

测一部分,因此必须



图 2 Ritchey-Common 方法检测示意图

利用子孔径拼接法进行面形检测。根据子孔径拼接的原理,只要将待测镜面每转一定角度检测一次,则

旋转一周后可得到数组检测数据,将其拼接,可得出 待测镜面的全孔径波面。

由图 2 可以看出,在用 Ritchey-Common 方法检 测时,与一般的干涉检验不同,光线在被检平面上反 射了两次,由此引起的结果是将被被检镜面的面形 误差放大了两倍。不管是在一般的干涉检验中还是 在 Ritchey-Common 方法检验中,通过检验得到的 波面面形数据都被被检镜面放大了两倍。因此必须 将检验得到的波面面形数据缩小四倍,只有这样才 能真实地反映出被检镜面的面形情况。

在 Ritchey-Common 检测中,虽然被测区域在

为了检测直



图 3 子孔径重叠示意图

径为 1100mm、厚为 25mm 的六边形超薄平面镜,在 本实验中做了 9 次子孔径检测。为了避免两两拼接 所造成的传递误差,实验中采用了确定基准参考面 的方法,即在对每次子孔径进行检测时,把被覆盖到 的共同区域内的三个基准点确定为基准参考点(图 3),也就是说每个子孔径的椭圆检测区域都覆盖住 了这三个基准点。事实上,这三个基准点除了确定 基准参考面以外,还担负着在后期数据处理中确定 椭圆位置的作用。

# 4 数据处理

## 4.1 消像散

由于被检平面可能是一个曲率半径非常大的球 面,采用 Ritchey-Common 法检验时,它在所检验的 干涉图中将表现为像散,而这个像散不能真实的反 映被检平面的面形情况,因此在数据处理时必须将 其消去。因为9个子孔径区域均取自具有同一个曲 率的波面,因而由该曲率造成的像散在9个子孔径 干涉图中应是完全一致的,即像散的符号和量级是 一样的,这样就可以消去由平面镜的大曲率所造成 的像散。由于被检平面除了存在曲率所造成的像散 以外,还存在本身所固有的像散,而这部分像散也将 反映出被检平面的面形情况,所以必须将其完整的 保留下来。对于9个子孔径区域来说,它们所表现 出来的像散都是检测区域的像散。因此它们在9个 子孔径干涉图中的符号和量级是各不相同的。因为 由大曲率所造成的像散在9个子孔径区域表现出来 的符号和量级是完全一致的,所以在进行干涉图数 据处理时,只要消去每个干涉图数据中像散的共同 部分,则即可消去由大曲率造成的像散,残余的像散 就是平面固有的像散,这样就能将大曲率造成的像 散和本身固有的像散完好的区分开来,较好地反映 出了被检平面的面形情况。

用刀口检验法进行验证,用同时具有上下、左右 切的刀口进行检验,发现子午焦点和弧矢焦点并不 重合,子午焦点在前,弧矢焦点在后。由此可以证 明,被检平面的确存在一个大曲率,实际上该平面是 一个微凹的球面,由此造成的像散的大小和方向与 所消去的像散完全一致。因此较好地解决了此问 题。

#### 4.2 消倾斜

由于摄取干涉图像是在转动平面镜的基础上进 行的,每幅干涉图像相对于基准平面都存在或多或 少的倾斜,因此必须消去每组数据的倾斜量,使它们 处于同一状态。在此之前,还必须将9个椭圆区域 的坐标都统一到一个坐标系中来,即统一到全口径 归一化坐标系下,这是通过三个基准点的位置来确 定的。

#### 4.3 拉伸和拼接

在完成消像散和消倾斜的工作之后,紧接着就要 将9个子孔径的检测数据沿着各自在 Ritchey-Common 检测中的倾斜方向拉伸,即将各自的检测数据还 原到检验时检验光束在被检镜镜面上的投影形状, 然后进行拼接还原成为原始的六角形平面形状。

#### 5 误差分析

本课题在对大口径光学平面镜的检测中耗资 少,实验简便易行,但也不可避免地会带来一些误 差。误差主要来源有两点:椭圆区域的位置确定,虽 然有三个点作为基准点,但由点到面的扩展,也将扩 大原本可以忽略不计的误差;由于所检的波前为六 边形而不是圆形,故用 Zernike 系数拟合时也必然 会带来一些误差。尽管如此,本课题中所有误差的 总和也不会很大,相对于采用全口径干涉仪进行检 测的投入而言,是完全可以接受的。

# 6 检测结果

在LAMOST项目中,在 $M_A$ 子镜的装调阶段,

由于超薄镜面极易变形,为了防止装配时引起的变形,所以在把 *M<sub>A</sub>* 镜装入镜室后还必须进行复检。 复检时由于费用、时间和地点等原因,既不可能采用 加工时所用的同一套检验装置,同时又不可能再做

一套同样的检测装置, 为此提出了在 LAM-OST  $M_A$  子镜的装配 中用于复检的子孔径 拼接法。目前因  $M_A$ 子镜尚未最后加工出 来,故在本试验中用的 是一块尚在加工中的  $M_A$  子镜,并完成了本 试验。

经过对实验数 据的计算,得出了待 检镜面的面型数据。



图 4 峰谷值(PV)=0.472200 均方根值(RMS)=0.076538



其三维图形、峰谷值 图 5 干涉条纹图 和均方根值如图 4 所示。由拼接后的面型恢复成的 干涉条纹图如图 5 所示。

由检验结果可以看出,虽然消去了被检平面的 大曲率误差在 Ritchey-Common 法中引起的像散, 但是被检镜镜面固有的马鞍型像散并没有消去,而 是被完好的再现出来了。

## 7 结 论

实验研究证实了用 Ritchey-Common 法拼接检 验大口径光学平面镜的方法是可行的。这为今后检 测LAMOST中的大口径光学平面子镜提供了一个 经济、适用的检验方法。

#### 参考文献:

- [1] 张蓉竹,杨春林,等.使用子孔径拼接法检测大口径光学元件
  [J].光学技术,2001,27(6):516-517.
- [2] 高必烈. 光学测量[R]. 北京:中国科学院教育局, 1989. 132— 133.
- [3] Turner T S. Albuquerque, subaperture testing of a large flat mirror
  [J]. Proceedings of SPIE, 1992, 1752: 90 -94.
- [4] Qing Wang, Jinbang Chen. New technique for testing large optical flat[J]. Proceedings of SPIE, 1993, 2003: 389-397.
- [5] Ming-yi Chen, et al. Multi-aperture overlap-scanning technique for large aperture test [J]. Proceedings of SPIE, 1991, 1553: 626-635.
- [6] Michael Bray. Stitching interferometry: side effects and PSD[J]. Proceedings of SPIE, 1999, 3782: 443-452.
- [7] Weiming Cheng, Mingyi Chen. Transformation and connection of subapertures in the multi-aperture overlap-scanning technique for large optics tests[J]. Opt Eng, 1993, 32: 1947–1950.