

非球面补偿板三维面形检测方法的研究

徐金强

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文对准直激光束检测非球面方法进行了研究。它不用接触被检件表面, 同时也无须处理干涉条纹。测量时只要保证激光细束保持一致的入射方向扫描被检表面, 用 CCD 光电探测器检出面形的斜率变化, 而后在扫描范围内积分便能获得面形高度。本文以测量光学系统中用于波面补偿目的的旋转对称镜面为例对测量系统进行分析。该系统不仅可以进行一维测量, 通过转台旋转亦可进行二维测量, 通过面形重构获得三维的被测体面形。给出了三维面形重构方法, 并编制数据处理软件, 可以把测量数据处理成高度曲线或三维面形。

关键词: 三维面形测量; 激光准直; 非球面测量

1 引言

中科院 1992 年基金课题“大型非球面自动加工和在线检测”中的在线检测部分需要两个非球面检测装置。一个是实时检测大型非球面表面加工情况, 这一装置用的是补偿式泰曼格林干涉仪, 它能对大表面中局部面形变化在线检测, 但需各类补偿板。另一个是对前一装置补偿臂上的小型非球面补偿板进行面形检测, 用的是扫描测量方式。本文的目的是要为即将成形的后一个非球面检测仪进行测量方法探讨, 为系统设计和参数选取提供理论依据。

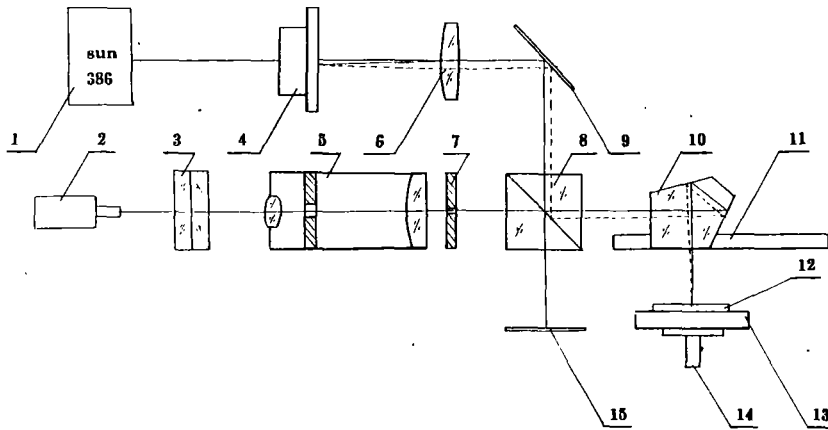
2 测量系统设计

非球面补偿板要用在光路中调整波面, 所以掌握其表面三维结构是必要的。查阅相关方面的国内外文献, 非球面的扫描测量方法一般都是一维方向测量, 所以只能得到二维的面形信息, 而且许多是针对平板或沿柱面的母线进行测量, 由于非球面补偿板面形起伏远大于平板和柱面母线方向, 所以测量分析差别较大。对非球面的三维面形的测量, 一般文献只作简单的设想。例如参考文献⁽²⁾中探讨了一个连杆双臂法, 通过两臂的相对立柱的运动实现对被测面形高度的二维扫描。我们感到在测量非球面补偿板时实现起来比较困难, 经过分析并借鉴一维测量中的斜率积分法原理, 我们提出了自己的利用机械极坐标方式扫描的三维面形测量方法。

一般说来, 对非球面面形测量可通过测量装置的二维运动, 采样面形上的高度信息, 最后

经数据处理,对被检面进行三维面形重构。本文中的非球面测量即是采用此种方法。我们设计的测量系统原理图 1 所示是这样的:

图中 1 是氦氖激光器,它输出基横模模态的高斯光束,这种模态光束截面光强呈旋转对称分布,便于 CCD 上的光点细分。因为 CCD 灵敏度很高,为避免饱和后面加一减光器 3。再后面的一部分是 5 是准直滤波装置,用以产生准直光并去掉杂散光。这个对准直光起拦截作用的光阑有的文章中也叫剪裁光阑主要用来形成大小适宜的测量细光束。半反半透镜用来分出一束光来调校光路和把非球面反射回的带有斜率信息的光线偏转到 CCD 探测光路,通过聚焦到 CCD 上的光点移动把面形上的斜率信息提取出来。五角棱镜来保证在扫描测量过程中入射到被检面上的光线方向一致。



1—386 微机 2—He—Ne 激光器 3—减光器 4—CCD 探测器 5—准直滤波组合
6—会聚透镜 7—剪裁光阑 8—分光镜 9—反射镜 10—五角棱镜 11—精密导轨
12—被检面 13—标准面 14—转台 15—反射镜

图 1 测量系统构成示意图

斜率积分法测量面形原理就是把很细的准直光束在反射行为上近似看成一条光线在被检面上反射,我们保持入射光方向不变,那么反射光线的出射角度就反映了被检面入射点处的斜率,如此沿一定方向采样若干点得到斜率信息,通过区间积分,就可获得面形高度分布。

如果沿旋转非球面直径方向测量一条子午截线,这相当于通常的一维测量。我们通过转动承载非球面的转台,重复前述测量就得到若干条各方向子午截线,这些子午截线就形成了一个包络面。显然用这一包络面就可形成被测量轮廓,但这一包络面含有测量时转台的偏摆误差,这就要求精度很高的转台来保证降低这种偏摆影响,选用精密气浮转台能达到要求但造价太高。为解决这一问题我们在转台上加入了一标准平面,在每次子午截线测量的前后采样标准平面,用以校正转台偏摆,这样转台的精度要求可降低一个数量级。

3 系统分析

本文这一测量方法进行论证,对测量系统分几个部分进行详细分析。

- (1)分析了测量时间和准直对测量精度影响,这主要从激光方向漂移方面考虑。
- (2)分析光路中物象变换关系,得出五角棱镜微转角对测量的影响。

(3)分析了导轨定位、转台偏摆和被检面偏置对测量精度影响。

(4)分析了 CCD 响应不均匀性对测量精度影响。

(5)分析影响系统参数选取的各方面因素。

本文借鉴了一维非球面测量的理论基础,对每一部分的分析根据实际情况都作一定的修正。其中本文的核心问题也是独到之处是:

(1)提出了对旋转非球面三维测量和面形重构方法

利用转台和导轨形成的极坐标系统,以标准平面作参考,对被测面进行二维采样,经数据处理后重新布点图 2 所示,用 ZERNIKE 多项式重构被测表面三维面形。

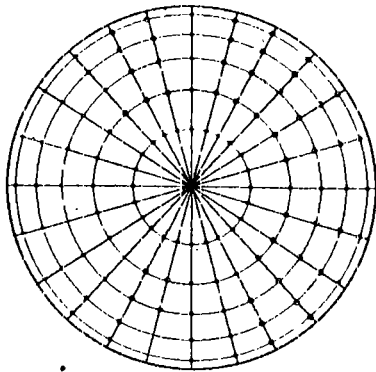


图 2 面形拟合采样布点图

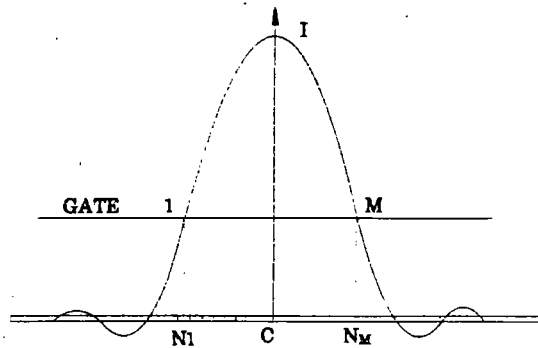


图 3 阈值积分法求光点中心示意图

对表面起伏大的面表,决定采样点在 CCD 上位置变动,要受参算象元响应不均匀性影响。对标准平面,由于参算象元基本不变,所以受该影响较小,主要受量化误差影响。

(2)给出部分测量参数选取依据

参数选取主要是扫描光束直径,会聚物镜焦距,参算象元数等。

(3)用 C 语言编制了数据处理面形重构软件

主要包括 CCD 光点位置确定,CCD 输入信息转换,线逆合,ZERNIKE 面拟合,CCD 输出,曲线,曲面显示等。

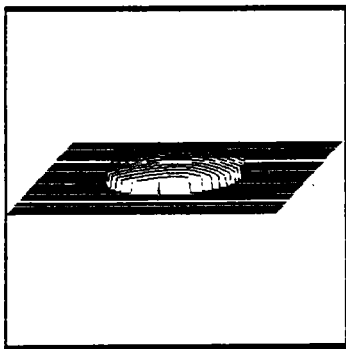


图 4 重构三维面形

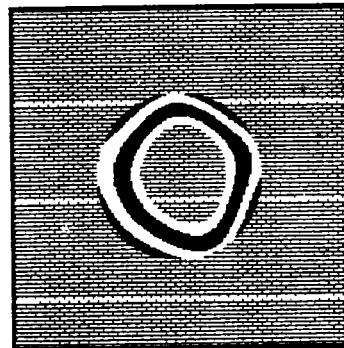


图 5 重构面形等高图

4 结 论

文中对系统的分析表明,测量误差受 CCD 输出响应非均匀性影响较大,故对 CCD 进行非均匀补偿是必要的。在文中所述情况下,测量精度可达 1/40 波长。由于实验条件的限制,在面形重构的实例中,面形拟合精度不是很高,但通过实例表明,文中所阐述的三维面形测量方法是可行的,面形重构软件是实用有效的(拟合图形实例如图 4 所示)。

参 考 文 献

- [1] 沈勇男,超光滑非球面检测·光机所硕士论文,1991
- [2] A. E. Ennos etc, Precision measurement of surface form by laser autocollimation. SPIE, 966
- [3] 余景池,由干涉图计算波差和传递函数·光学学报,1984
- [4] 王启华,《激光实用测量》. 中国铁道出版社,1991

Investigation on 3-D Profile Measurement of Aspheric Compensator

Xu Jinqiang

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

abstract

A method of aspheric surface measurement by laser autocollimation is discussed in this paper, which is a non-contacting method but no fringes to be processed as interferometers need to do. Using CCD to detecting the output of surface slope, then the slope values obtained are integrated with respect to distance to obtain profile height. The measurement system is carefully analyzed in this paper by which rotational symmetrical mirrors used as a wavefront compensator in optical system can be surveyed along their meridians. Two dimensional surveying can be carried out by rotating the mirror around its symmetrical axis in order to obtain the information data about the three dimensional profile of the test mirror. A reliable software to process the source data and to reconstruct the 3D profile of the test mirror is completed which can output height curve or surface profile and can also achieve other functions.

Key words: 3-D profile measurement, Laser autocollimation, Aspheric measurement