

文章编号: 1002-2082(2004)04-0063-03

非球面最适球面的确定方法——三点法

王红军, 田爱玲, 杜玉军

(西安工业学院 光电科学与工程学院, 陕西 西安 710032)

摘要: 根据非球面生产的实际情况, 指出非球面最适球面的确定方法, 详细分析最适球面的计算方法, 并对一抛物面进行了实例计算, 通过与最小二乘法的计算结果比较, 指出该方法具有计算简单、与加工工艺过程相符合等特点。

关键词: 非球面; 非球面度; 最适球面

中图分类号: TH162

文献标识码: B

Determination of Aspheric Reference Sphere by Tri-point Method

WANG Hong-jun, TIAN Ai-ling, DU Yu-jun

(Dept of Photo-electronic Eng, Xi'an Inst of Tech, Xi'an 710032, China)

Abstract: Based on the condition of aspheric production, the method how to get the aspheric reference sphere is presented in this paper. The calculating method of the reference sphere is analyzed in detail, by calculating the reference sphere of a paraboloid and comparing it with the result of the least square method. The tri-point method has a merit of simple calculation and it is adapted to the process of the craft.

Keywords: aspheric surface; asphericity; reference sphere

引言

由于非球面光学元件可以有效地消除像差, 提高系统成像质量, 因此越来越多的光学系统采用了非球面元件。然而, 非球面的加工和检测比球面要困难得多, 因此要想将非球面广泛地应用于光学系统中, 首先必须解决加工和检测中的诸多问题, 如非球面加工工艺、成本核算、加工精度等。只有建立起一套完整的理论体系和实验方案, 才能生产出合格的产品。在光学非球面加工时, 一般先加工出该非球面的最适球面, 然后再根据各点对该球面的偏离量(非球面度)进行加工。采用干涉法可以获得较高精度的非球面面形分布, 得到非球面度。但具有良好效果的干涉图需要仪器具有很高的调整精度和较高精度的最适球面。将设计值与最适球面的偏离量和测量的非球面面形与最适球面的偏离量进行比较, 就可得到非球面的面形误差。因此, 由非球面的设计值计算出最适球面对于非球面的加工和测试非常重要。首先要获得最适球面的球心和半

径, 球心和半径的确定目前已经有牛顿迭代法、近似法、最小二乘法等^[1]。本文根据工厂非球面加工的实际情况, 介绍一种非球面最适球面的确定方法——三点法。

1 三点法原理

最常见的非球面为有一个对称轴的旋转非球面。它可表示为^[2]

$$x = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - kc^2y^2}} + a_4y^4 + a_6y^6 + a_8y^8 + \dots \quad (1)$$

式中, $c = 1/R$, R 为非球面顶点的曲率半径; $k = 1 - e^2$, e 为偏心率; $a_4, a_6, a_8 \dots$ 为高次非球面系数。

二次曲线非球面的方程为

$$x = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - kc^2y^2}} \quad (2)$$

一般方程为

收稿日期: 2003-06-12

作者简介: 王红军(1974-), 男, 西安工业学院助教, 西安交通大学定向博士研究生, 主要从事光电测试技术的研究。

$$y^2 = 2Rx - (1 - e^2)x^2 \quad (3)$$

在使用磨盘修磨法加工非球面时, 先设计并加工一个与非球面最接近的球面, 即最适球面, 然后修磨此球面的各带, 成为一个非球面。如果这个球面用来修磨凸非球面, 则使此球面的边缘和顶点分别与要求的非球面的边缘和顶点重合, 最大修磨量在口径 0.707 处。如果该球面用来修磨凹非球面, 则使此球面半径的 0.707 处与要求的非球面重合, 最大修磨量在球面的顶点和边缘处。

因此, 在非球面的加工过程中确定最适球面就显得相当重要, 最适球面确定方法对加工量、加工精度和工艺有很大的影响。本文根据非球面加工的实际情况, 提出一种加工非球面最适球面的确定方法。对于凸非球面, 该方法采用顶点和 2 个端点确定最适球面; 对于凹非球面, 采用 0.707 口径处 2 点和该点的非球面切点斜率来确定最适球面。由于该方法选取设计非球面上的 3 个点 (凸非球面为 3 点坐标值, 凹非球面为 2 点坐标和 1 点处切线斜率), 因此称作三点法。

下面对两种情况下最适球面的计算方法进行分析。

对于凸非球面, 用非球面顶点和边缘 2 点确定的圆弧绕顶点和圆心的连线旋转所形成的球面为最适球面。

设二次非球面的通光口径为 D , 顶点半径为 R , 偏心率为 e , 取图 1 所示截面: 顶点为 o , 口径边缘为 a 和 b 两点。通过这 3 个点与其所构成圆的几何关系可以得到 3 点所形成的圆的半径为

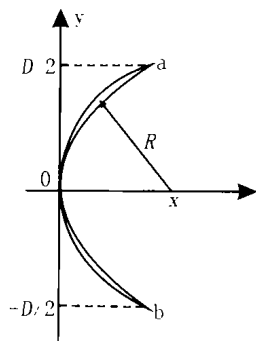


图 1 凸非球面截面示意图

Fig. 1 The section sketch of convex aspheric surface

$$R' = \frac{l_{oa} \cdot l_{ob} \cdot l_{oo}}{4\Delta} \quad (4)$$

式中, l_{oa}, l_{ob}, l_{oo} 分别为 o, a, b 3 点之间的距离。其中

$$\Delta = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad (5)$$

$$s = \frac{1}{2}(l_{oa} + l_{ob} + l_{oo}) \quad (6)$$

由以上公式可得最适球面的球心坐标 $(R', 0, 0)$ 和半径 R' 。

对于凹非球面, 使最适球面在 0.707 口径处与二次曲面相切, 如图 2 所示。对 (3) 式求导可得曲线上 0.707 口径处 $a(x', y')$ 的切线斜率:

$$K_{x', y'} = [R - (1 - e^2)x'] / y' \quad (7)$$

由对称性可知, 该最适球面的圆心 y 轴坐标为

$$y_c = 0 \quad (8)$$

其 x 轴坐标为

$$x_c = x' + \frac{-1}{K_{x', y'}} \cdot (y' - y_c) \quad (9)$$

将 (7) 和 (8) 式代入 (9) 式, 可得

$$x_c = R + e^2 x' \quad (10)$$

该最适球面的半径为

$$R' = \sqrt{(x' - x_c)^2 + (y' - y_c)^2} \quad (11)$$

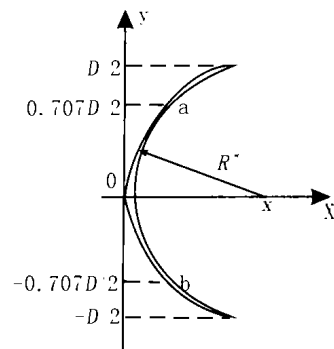


图 2 凹非球面截面示意图

Fig. 2 The section sketch of concave aspheric surface

由以上公式就可确定该二次曲面的最适球面的球心坐标 $(x_c, 0, 0)$ 和半径 R' 。

2 计算实例

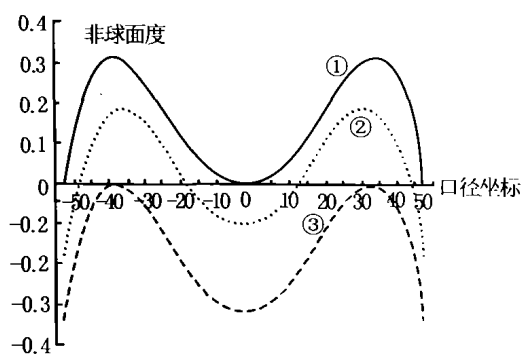
以一个抛物面镜为例, 其顶点曲率半径为 960 mm, 孔径为 100 mm。当抛物面镜分别为凸非球面和凹非球面时, 利用前面推导的三点法计算公式和最小二乘法分别得出的非球面度见表 1 所示, 最适球面的半径和球心坐标见表 2。表 1 和表 2 中 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ 。由计算数据可以得到的非球面度曲

线如图3所示。

表1 两种方法计算的非球面度

Table 1 The asphericity calculated by two methods

孔径值 (mm)	PV 值(λ)		最小二乘法
	三点法		
	凹非球面	凸非球面	
±50	-0.321477	0.000000	-0.160691
±45	-0.128572	0.192905	0.000000
±40	0.000000	0.321477	0.128572
±35	0.000000	0.321477	0.225024
±30	-0.032119	0.289358	0.192905
±25	-0.096405	0.225072	0.128619
±20	-0.096429	0.128596	0.032143
±15	-0.225024	0.096453	0.000000
±10	-0.289328	0.032149	-0.064304
±5	-0.289326	0.032150	-0.064302
0	-0.321477	0.000000	-0.096453



(1)三点法用于凸非球面; (2)最小二乘法;
(3)三点法用于凹非球面

图3 非球面度曲线

Fig. 3 The curves of asphericity

表2 最适球面参数

Table 2 The parameters of reference sphere

计算方法	圆心坐标	曲率半径	PV 值(λ)
三点法	960.650818	960.650635	0.321477
(凹非球面)	0		
三点法	960.617676	960.608887	0.321477
(凸非球面)	0		
最小二乘法	960.608948	960.617676	0.385716
	0		

3 结论

由以上计算实例可以看出,三点法在计算非球面口径时与最小二乘法相比有较小的pv值,并且采用修磨法加工时,修磨量容易确定,且修磨量比较少。在确定最适球面时计算方法简单,不涉及积分、求导、迭代,适合编写计算程序,圆心坐标易于求得,计算环节少、计算舍入误差小,计算精度高。该方法与非球面的实际加工工艺相吻合,易于实现非球面加工过程中的高精度快速测量。

参考文献:

- [1] 杜玉军,任海霞,刘中本. 光学非球面元件非球面度计算方法[J]. 应用光学, 2002, 23(5): 42-45.
- [2] 查立豫,林鸿海. 光学零件工艺学[M]. 北京:兵器工业出版社, 1987.
- [3] 张权,等. 大型非球面镜的加工和检测[J]. 光学技术, 2001, 27(3): 204.