

离轴非球面的加工与检测

黄正之

(南京 3304 厂 210008)

摘要:非球面的加工需要复杂的操作步骤和操作技能。这里通过对加工离轴非球面的过程,介绍了其加工工艺。在研磨和抛光中采用逼近法,算出各带区的非球面度 δ ,进而加以修正。叙述了经常产生的几种面形误差的修正方法,及测试中的概略、定性、定量三种测试方法。加工的离轴非球面最终结果是令人满意的。

关键词:离轴非球面 加工 检测

Making and testing off-axis aspherical surface

Huang Zhenzhi

(Nanjing No. 3304 plant 210008)

Abstract: To make an aspherical surface needs complicated operating steps and skills. By the process of making an off-axis aspherical surface, the technology is introduced. In grinding and polishing, the asphericity δ , of each zone is calculated using approximation at first, and then the surface is figured some figuring methods for common shape errors, as well as three testing methods: outline testing, qualitative testing and quantitative testing, are related. Very good result was given when an off-axis aspherical surface was processed.

Key words: off-axis aspherical surface; processing; testing

一、前言

光学系统中透镜和反射镜的表面,通常都是球面或平面,它们的工业生产法是很早就解决了的,但其光学性能往往不能满足某个系统的要求,人们也早就知道用非球面可以大大改善光学系统的性能,并到目前为止已经出现制造光学非球面的许多方法,例如:机械方法,化学方法,物理方法,和其它方法,但实际上在操作过程中这些方法需要很复杂的操作步骤和技能。在制造时,诸如研磨抛光和测试方面的困难是必须克服的。由于球面有它共同的曲率中心,而非球面没有,所以加工球面中所用的一般方法,不能用非球面,这就给加工非球面带来的困难。随着光学事业的发展,仪器对非球面镜片的要求越来越多,国内外在非球面加工方面也已有了成功的经验。最近我厂加工了传递函数仪中的离轴非球面经有关方面鉴定,得到了好评,现介绍如下,起着抛砖引玉的作用。

二、要求和加工过程

1. 工作曲线方程

$$y^2 = 4800x$$

2. 曲面顶点 O 的曲率半径

$$R = 2400mm$$

3. 曲面的制造误差对 D 光允许为 $\frac{\lambda}{20}$ 。

见图 1

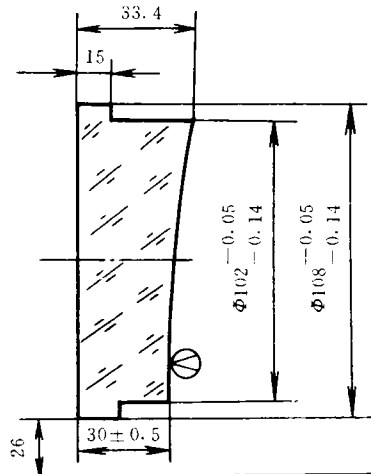


图 1

(一)选料:因为此工件表面精度较高,必须有较高的要求以防变形。材料的主要要求如下:

均匀性 1 双折射 1 条纹度 1C
汽泡度 4C

(二)套大料:因为工件是离轴非球面,故采用大块加工,然后定位套取的方法。为此,大块料的尺寸必须事先算好。用空心钻头在大钻床上进行套钻,转速为每分钟 10 转左右,磨料采用 240[#]绿色碳化硅。

(三)按最接近球面粗细磨凹面,磨至 302[#]砂,使 $N = -4$ 。

(四)在镜面用铅笔作离轴 26mm 据图纸要求作四块图案,并用 280[#]砂在钻床上用空心钻头钻下深度为 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。见图 2

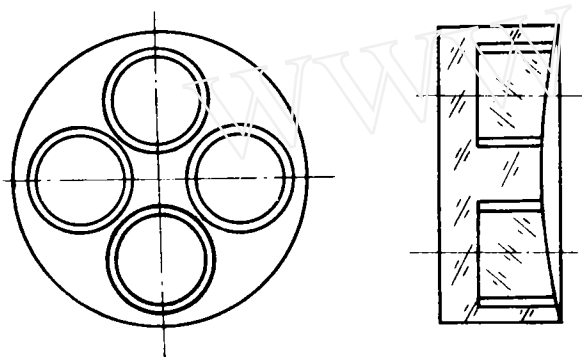


图 2

(五)在四个被钻头磨掉的缝隙中填上密封胶脂,防止磨料填积产生变形。

(六)在专用单轴机上精磨至 303[#]砂。

(七)抛光。

1. 在主轴转速每分钟 4~6 转且装有倒顺开关的单轴机(专用)上进行,工件在下,抛光模在上。

2. 柏油模直径与零件直径相同,柏油厚度约 5mm 且开方槽口 30~40mm,开槽时应故意使槽的图案不对称于模具中心,室温保持在 $23\text{C} \pm 1\text{C}$ 。柏油:厂编号 3[#]7 份与 2[#]3 份混和熔匀。

3. 抛光的摆幅为 30~50mm,一般采用一个摆杆居镜盘中心,另一个摆杆通过镜盘中心点摆动。若摆动量过大,将会使加工面向球面方向发展。修改时主要是修刮柏油模,以镜面在刀口仪上判断的“谷”为准,某部位低,则在柏油模

同部位修刮。操作者须要有较高技能并有一定实践经验。

4. 修刮模盘,采用单面刀片及双面刀片,根据不同修刮量来选用,修刮后一寂要用纱布擦净,否则抛光时柏油会起毛,不能用冷水冲洗,以免变形。

5. 以刀口仪及横向剪切干涉仪测试合格后,在镜面贴上医用胶布,并在反面(麻砂)根据外圆找出中心点,通过四块产品用金刚刀划出十字线,以定厚薄方向,作为标记便于装配。再在钻床上用空心钻头按原来位置钻下四块。

6. 在外圆磨床上按图纸加工外圆,并用立铣机床铣出 $\Phi 102\text{mm}$ 台阶。

7. 倒边检验。

三、问题与体会

1. 研磨和抛光我们是采用逼近法,即先按最接近球面研磨和抛光,再据算出的非球面各带区的非球面度 δ ,用修边修中法修改成所需非球面。抛光时用最接近球面的球面样板作参考检验,一开始可以用传统方法加工成球面,将光圈修改到 $N = -0.5$,第二阶段则利用修刮抛光模将其抛成非球面,并且也是用最接近球面样板检验,即最接近球面样板与工件接触产生干涉条纹,由于干涉条纹判断的各带区的面形,应与所需的非球面面形基本一致,这是概略测试。第三阶段当抛光逼近所需非球面时,先用刀口仪定性检验,最后用横向剪切干涉仪定量检验,这样可减少用刀口仪测试的次数和时间,给大批生产带来一条可行途径。

2. 用抛光的方法将球面改制成非球面的过程中常出现的翘边现象较难排除,如果加大抛光模直径和加大偏轴摆动量,都会使逼近的非球面朝相反方向发展,变成球面或造成其它局部误差。我们针对以上情况采用内模套外模的分离模抛光方法,在 0.7 区断开。见图 3,以内模失去外模,内外模又靠与工件摩擦作轴向自转,这样可以在外圈模上单独加压达到克服翘边的目的。

3. 四块合一加工,再定位套取,对加工离轴非球面的确是个好方法,但如何套取得探

讨。当整块加工好后套取,遇到的问题是,套取时容易产生应力条形以及定位不准,套取中会出现加工面擦伤等。我们采用的是粗磨成型后先套钻 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 深度,当表面加工完成后再套钻下来,这样就可避免上述问题的出现。但其最大缺陷是,在钻槽部位产生顺方向边缘塌边且排除较难,我们根据抛光机理和机械传动力学原理,采用定时或不定时将主轴顺反转动,这样边缘塌边现象能明显消除。由于机床转速每分钟仅4~6转,故工件的螺纹连接部位并不会出现松动现象。

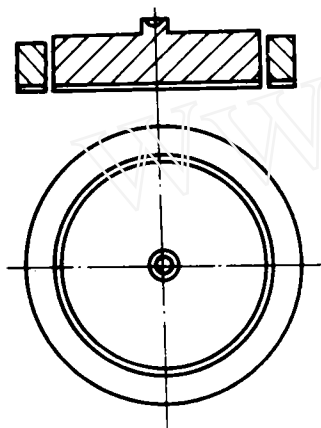


图3

4. 虽然我们已经采用先在大块镜片上定位套取约深度为 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。但为了避免在再套取中因摩擦造成应力变形,故将原套钻内径增大0.3mm,以使套钻与工件减少摩擦。

四、测试

当非球面加工进入最后测试阶段时,我们采用刀口仪定性,横向剪切干涉仪定量测试。

刀口仪定性测试,也就是著名的阴影检验,主要观察阴影分布的图形和阴影图的明暗对比,阴影图形决定了波面形变类型,明暗的对比,决定了波面形变的大小,刀口切割中半明半暗的交界部位,标志着波面的最高处和最低处,或者说是峰点和谷点。阴影检验的光源形状,可以用点孔,也可以用狭缝。用点孔检验精度较低,用狭缝则较高。阴影检验的灵敏度,在刀口切割方向最高,在平行刀口方向为零,根据亮度分布判断波面高低部位,特别有效,尤其是有浮雕感觉,显得很直观。总之它的优点是灵敏度高,设备简单。其不足处是阴影图的明暗对比,不能定量,而且与观察者的经验有关,因此我们仅用来定性测量。

我们最后采用横向剪切干涉仪进行定量测试也就是精测。测试示意图见图4。

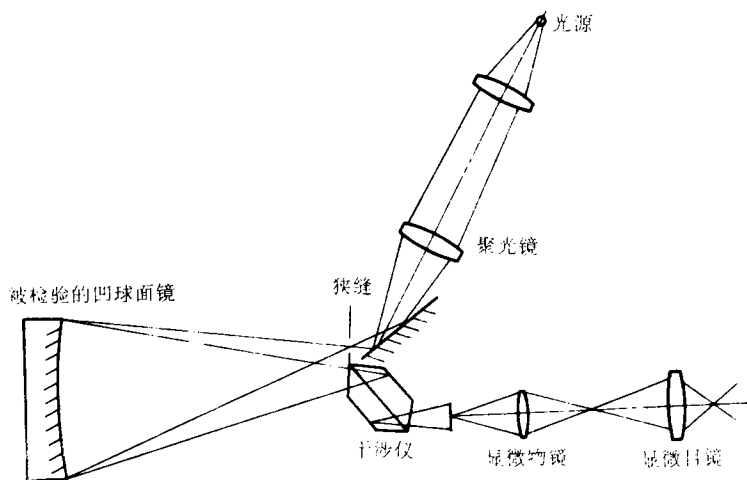


图4

横向剪切干涉仪的基础是阴影检验和双光束干涉,也可以认为是一种阴影分光方法,检验会聚波面变形量的横向剪切棱镜干涉仪它有多

种形式,我们采用的是梯形棱镜结构,它由两个梯形棱镜胶合再加上同心透镜而成。见图5。

F 面为分光面, M_1M_2 为反射镜面, F 面与

M_1M_2 均成一角度,它决定了剪切量的大小, M_1 和 M_2 平行,一束从被检验系统出身的等检验波面进入棱镜,由 F 面反射透射分光后,经 M_1M_2 反射,再经过 F 面的透射,反射,就形成

了不完全重合的两个波 W_1 和 W_2 ,两个波面错开的宽度称为剪切宽度,在重合区域可以看到干涉条纹。见图 6。

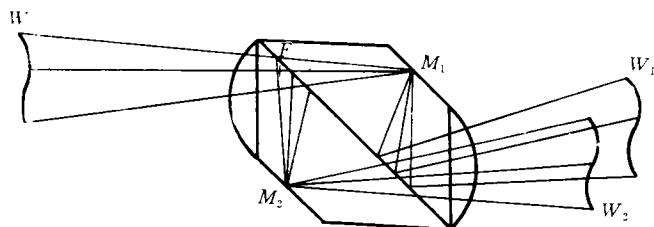


图 5

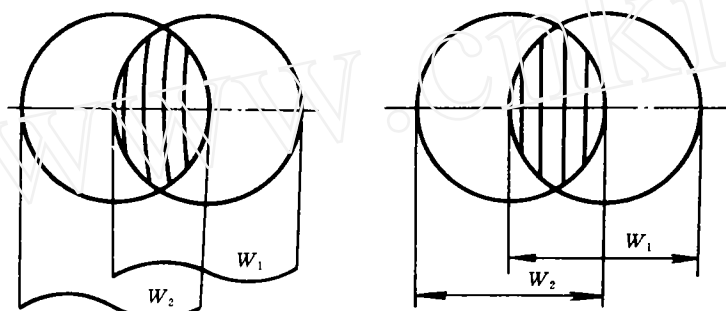


图 6

(上接第 4 页)

3. 离焦量和波长影响的测量

离焦量和波长对传递函数影响的测量同样采用图 4 所示的光路。测量离焦量对传递函数影响时,沿光轴前后移动 CCD,即可测量各离焦量下的传递函数。测量波长对传递函数的影响时,用不同波长的非相干光源照明狭缝,即可以在 CCD 上得到对应于不同波长的传递函数。

4. MTF(γ)的计算

CCD 所测得的采样值送入计算机后,由自编的 MTF(γ)计算程序进行计算,从而求得关于相对孔径、视场、离焦量的 MTF(γ)曲线族,由此评价变折射率透镜阵列的像质。有关计算程序在此不作赘述。

在本文所讨论的情况下,MTF(γ)测量值通常只用于对不同变折射率透镜阵列的像质和同一变折射率透镜阵列在各种不同使用情况下的像质的相对比较,因而是完全可行的;经过标

定后,该方法也可用于变折射率透镜阵列的像质的绝对测量。

作者采用本文所述的测量方法测量了多个作为光电图文扫描仪成像器件的变折射率透镜阵列,综合测量结果与各变折射率透镜阵列在扫描仪中的使用效果一致(该扫描仪是以分辨率和扫描对比度来判定成像质量的)^[3]。

四、结 论

综上所述,利用 CCD 像感元件测量变折射率透镜阵列像质具有测量环节较少,简便易行的特点,这不仅可以减少各测量环节所引入的累积误差,提高精度,获得较为全面的测量结果,而且无需专用精密仪器,测量速度较快,这显然是有利于实际应用的。

参考文献

- 1 Kerichi Iga. Theory for gradient-index imaging. Appl. Opt., 1980, 19(7):1039
- 2 James D. Rees. William Lama. Some radiometric properties of gradient-index fiber lenses. Appl. Opt., 1980, 19(7):1065
- 3 裴敏. 光纤阵列像感技术在计算机图像输入中的应用. 第五届全国光纤通信学术会议论文集. 天津, 1991. 5:493