文章编号:1002-1582(2005)03-0341-03

主动抛光盘磨制非球面的工艺与面形检测

朱政, 高必烈, 李新南, 刘鸣

(中国科学院国家天文台/南京天文光学技术研究所,南京 210042)

摘 要: 主动抛光盘技术特别适用于磨制焦比大的深度非球面,能够根据需要对抛光盘面实时地主动变形成偏轴 非球面来磨制非球面镜面。它具有较高的磨削速率和较大范围内的自然平滑(无切带)。用计算机控制磨制,可以像加 工球面一样来加工一个深度的非球面。介绍了用国内首次研制成功的主动抛光盘对加工直径910mm、焦比 F/2 的抛物 面镜的工艺方法的初步探讨,并给出了抛物面镜的检验方案和检测结果。

关键; 记:光学工艺;非球面磨制;主动抛光盘;光学检验;

中图分类号: TG580.61⁺3 **文献标识码**: A

Optical technology and testing method using stressed lap to polish asphere

ZHU Zheng, GAO Bi-lie, LI Xin-nan, LIU Ming

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

Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China)

Abstract : Stressed lap polishing technology is applied to deep aspheric mirror. It can active deform the lap surface to become an off-axis asphere according different lap position on mirror surface and different angle of lap. Because the curvature is difference not only on different position on aspherical surface, but also on different direction, so the classical large polishing lap can 't keep the lap surface as same as the aspherical mirror surface when it moves and spins on the mirror surface. Comparing with traditional polishing methods, it has high polishing speed and natural smooth. It is computer-control polishing technology, using it optician can polish a deep aspherical mirror just as to polish a spherical mirror. How to use stressed lap was introduced to polish Φ 910mm, F/2 paraboloidal mirror and explore the optical technology on the basis of stressed lap. The testing method and testing result were given.

Key words: optical technology; aspherical grind and polish; stressed lap; optical test

1 非球面光学参数和采取的检验方案

1.1 非球面主要光学参数

 $R_0 = 3600 \text{mm}$ $e^2 = 1$ = 910 mm

经计算,取最接近比较球面: R = 3614mm

在镜面中心和边缘处最大非球面度为: max =

0.028mm

1.2 检验方案

采用 offner 补偿检验,检验系统光学参数如下:

C	Define	TT1. 1	C 1	D	C
Surr	Radius	Inickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	Infinity	318.1297		0	0
1	Infinity	12.135	K9	53.70701	0
2	- 75.095	188		54.48739	0
3	198.255	8.11	K9	8.443332	0
4	Infinity	3657.693		7.061359	0
STO	- 3600	- 3657.693	Mirror	900	- 1
6	Infinity	- 8.11	K9	7.059305	0
7	198.255	- 188		8.441279	0
8	- 75.095	- 12.135	K9	54.48622	0
9	Infinity	- 318.1297		53.70588	0
IMA	Infinity			0.003455522	0



图 1 检验光路图 检验系统残余误差 PV 值为 0.0187 波长,检验 光源 = 0.6328µm。



图 2 检验系统残余误差分布图

2 主动抛光盘磨制非球面的方法

2.1 主动抛光盘磨制方法的原理

主动抛光盘磨制技术是追求用磨制球面的方法 磨制大口径、大焦比、大非球面度的光学非球面。主 动抛光盘沿镜面做径向缓慢移动并自转,通过在各

2

个不同位置的精确变形,抛光盘表面始终保持所需 要的理想非球面,这就使得镜面加工过程成为一个 镜面面形逐渐向抛光盘理想面形贴合的过程。抛光 盘的动程、转速以及径向移动的速度等参量均可以 通过计算机主动调节,从而使镜面面形尽快逼近理 想表面。

2.2 主动抛光盘磨制方法的特点

(1) 在大焦比、大非球面度的镜面磨制过程中 收敛快、效率高

非球面加工的最大特点就是在由最接近比较球 面形成非球面的过程中,各环带的磨去量不等。传 统加工中,依据加工者经验控制磨削量使镜面由最 接近比较球面向理想非球面过渡。在主动抛光盘磨 制方法中,由于抛光盘表面始终保持所需要的理想 非球面形状,镜面的过渡过程是通过主动抛光盘做 径向往复运动完成的,因此在加工初期镜面向理想 面形变化过程中收敛得比较快,提高了加工效率。 这在磨制大焦比、大非球面度的镜面中,显示出了一 定的优越性^[1]。



图 3 主动抛光盘磨制前后镜面面形的变化 (7月 31 日和 8月 3日)

(2) 镜面平滑,高频误差小

在大焦比的非球面加工中,镜面上各环带曲率 变化比较快,为了达到各环带不均匀磨削的效果,往 往采用小工具加工,这是造成非球面容易产生切带 的根源所在。非球面度越大,不均匀磨去量越大,镜 面也就越容易产生切带使得光学表面不平滑。而用 主动抛光盘磨制非球面时由于抛光盘表面始终保持 所需要的理想非球面形状,它完全可以采用中等口 径的抛光盘磨制大焦比、大非球面度的镜面^[2],在 各带的不均匀磨削中尽可能的平滑过渡,从而克服 了小工具加工容易引起高频误差,不易得到平滑光 学表面的缺点。

2.3 在主动抛光盘磨制方法中解决的工艺问题

(1) 主动抛光盘表层柏油工具的制作

主动抛光盘基板为 450mm 的铝平板,柏油工 具尺寸约 300mm ×300mm。

第31卷

为了充分满足主动抛光盘变形的需要,抛光盘 的柏油工具由许多分离的 25mm ×25mm 的小柏油 块组成,柏油和平面铝基板之间胶一层薄尼龙板,尼 龙板一面是平面,另一面是球面,以完成平面基板、 柏油工具和比较球面之间的过渡。尼龙板上有网状 沟槽,以保持主动抛光盘有一定韧性,又有一定刚 度。抛光盘在镜面的不同位置时,柏油表面的面形 变化由计算机控制铝板的快速变形,并通过尼龙板 传递到柏油工具表面,以保持理想非球面的形状。 由于小柏油块和尼龙板之间接触面非常小,需采取 一些措施避免小柏油块相对于尼龙板有径向位移, 以保证主动抛光盘的准确变形。

的,这就是

工具与镜面



图 4 主动抛光盘柏油工具照片

的吻合程度,两者之间吻合得越好,效果就越好。要 使工具与镜面吻合,环境的温度、柏油工具的硬度、 主动抛光盘的刚性等等都是非常重要的因素,应在 磨制过程中给予足够的重视。

(2) 磨制过程中选择合适的工艺参数 由磨削速率公式

$$R = C(P. V. S. T)$$

即磨削速率是磨削压力 P, 磨削相对速度 V, 工具和镜面的接触面积 S 和磨削时间 T 的函数。

主动抛光盘磨制镜面的过程,实际上就是实践 上述工艺思想的过程。通过不断地调整四个工艺参 数从而有效地控制镜面面形,使镜面逐渐向理想抛 物面逼近。

在计算机控制下,主动抛光盘对镜面的压力可 以任意调节,加工前期压力可以选择大一些,以便提 高磨削效率。后期不希望镜面面形变化过快,可以 逐渐减轻压力。抛光盘的旋转方向和旋转速度,镜 面的旋转方向和旋转速度都可以方便地设定,加工 过程中应适当变化,使镜面得到均匀磨削。

在上述两个参数和抛光盘的大小基本确定之 后,镜面各环带的磨去量主要通过调整主动抛光盘 在镜面各部分的驻留时间来实现精密控制。

首先,可以调整抛光盘的摆幅即抛光盘沿横梁

342

往复移动的范围,针对不同的带区毛病,决定抛光 盘往复移动的中心位置和摆幅大小。值得指出的 是,每一次往复运动,移动范围应该有一些随机的小 量变化,以避免在镜面上产生固定的磨削轨迹。

其次,可以改变抛光盘在横梁各段位置的径向 移动速度,在这种情况下一般选择大的横梁移动范 围,在这个范围内需要多磨的地方采用慢的横梁移 动速度,不需要多磨的地方采用快的横梁移动速度, 这样可以使镜面面形过渡平稳,更趋平滑。

(3) 局部修磨

非球面加工的后期,在大尺寸面形误差比较小 的情况下,会发现一些非对称性局部误差,而且在非 球面度大、加工周期长的光学镜面上,出现这种情况 的可能性大。修磨非对称性局部误差的难点在于磨 去局部差的同时不使整体面形有大的起伏变化。

在主动抛光盘磨制镜面的过程中,由于抛光盘 的自转速度和径向移动速度、镜面的旋转方向、旋转 速度和旋转角度都可以任意设定,而且镜面可以在



主动抛光盘磨制镜面时的照片

(上接第 340 页)

子结构主模态作为保留模态,保留模态越多,子结构 模态缩减模型越逼进实际模型的动力学特性。

另外,在计算时间上,用子结构模态综合法求解 固有频率及模态是整体 FE法的 2/3,求解加速度响 应仅为整体 FE法的 2/5。计算效率有了很大提高。

4 结 论

对于复杂的光机系统结构动响应分析问题,可 以根据结构特点对系统进行子结构划分,用子结构 模态综合法解决。经理论论证以及实例动响应分 析,表明采用子结构模态综合法进行分析能大幅度 减缩系统自由度,减小分析规模,在保证分析精度的 同时提高分析效率,子结构模态综合法具有良好的 工程适用性。 需要指出的是,本课题在用主动抛光盘磨制镜面的 过程中,镜面的边缘部分改善不大,需要配以人工手 修才能达到现有的精度,相信以后通过对主动抛光 盘的进一步改进,尽可能减小边缘效应,镜面的边缘 部分精度会有所提高。

3 镜面最后检验结果

镜面最后用 Shack 干涉仪检验,获得条纹后经 测算,在全口径范围内表面精度达到均方根误差 rms /20。扣除局部非对称的误差(不是主动抛 光盘的作用引起的),在 95%的口径范围内面形精 度达到均方根误差 rms /30,检验波长 = 632.8 nm。

下图为镜面的干涉条纹和三维面形图,采样范 围为镜面的 95 %,经过测算,rms = 0.02µm,pv = 0. 187µm。



图 6 镜面的干涉条纹 图 7 镜面的三维面形图 参考文献:

- Martin H M, et al. Fabrication of mirrors for the Magellan telescopes and large binocular telescope [J]. SPIE, 2002, 4837:609 — 618.
- [2] Walker D D et al. The production of highly aspheric secondary mirrors using active laps[J]. Applied Optics, 1995, 34(7):215-218.

参考文献:

- Hurty W C. Dynamic analysis of structural systems using component modes[J]. AIAA Journal, 1965,3(4):678-685.
- [2] Graig RR, Bampton M. Coupling of substructures for dynamics analysis[J]. AIAA Journal, 1968,6(7).
- [3] Rose T. Superelement technology application and development in dynamic analysis of large space structure [C]. Msc World Users ' Conference, Los Angeles, Ca, 1991.
- [4] The MacNeal Schwendler Corp. MSC/ NASTRAN Superelement Users 'Guide (V70. 5) [R]. Los Angeles, Ca : The MacNeal -Schwendler Corp, 1999.
- [5] 陈国平, 朱德懋. 结构动特性分析的超单元法[J]. 航空学报, 1992, 13(9):464-471.
- [6] 赵会光等. 航天器结构动态响应的外部超单元技术[J]. 航天器 工程, 2001, 10(2):27-33.
- [7] 杨劲松等.基于动态子结构技术的空间相机谱响应分析[J].光
 学精密工程,2003,11(4):34-37.
- [8] 吴存利等. 飞机复合材料壁板稳定性分析[J]. 结构强度研究, 2003(4)18-23,28.