

# 数控抛光非球面面形误差补偿技术研究

徐海华

重庆三峡学院机械工程学院, 重庆 404000

**摘要** 采用传统方法抛光高精度非球面时,多次面形误差补偿耗费时间占其抛光总时间的80%以上,严重影响非球面的加工效率。根据非球面的面形误差补偿原理,进行抛光非球面面形误差补偿的工艺实验。采用LOH-data-correct软件对非球面进行计算,并修正补偿其面形,可减少面形修正次数,降低成本,提高加工效率。

**关键词** 光学制造;抛光;非球面;面形误差;补偿技术

中图分类号 TH161 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.102204

## Research on Compensation of Computer Controlled Polishing Aspheric Surface-Shape Error

Xu Haihua

Department of Mechanical Engineering, Chongqing Three Gorges University,  
Chongqing 404000, China

**Abstract** When the traditional method is used for polishing high-precision aspheric surface, the time consumption of surface-shape error compensation is more than 80% of the total polishing time. The efficiency of aspheric surface machining is severely affected. According to the principle of compensation for aspherical surface-shape error, process experiments of error compensation of polishing surface figure is conducted. By calculation and compensation of aspherical surface-shape using the software LOH-data-correct, the times of surface-shape correction and the cost are reduced, the machining efficiency is improved.

**Key words** optical fabrication; polishing; aspheric surface; surface-shape error; compensation technology

**OCIS codes** 220.5450; 220.1000; 240.5450

### 1 引言

随着国防、工业和商业等领域技术的迅速发展,光学非球面需求越来越大,精度要求越来越高,影响非球面光学性能的超精密抛光技术面临着严峻挑战<sup>[1-3]</sup>。由于非球面曲率半径沿空间坐标轴发生变化,传统数控抛光非球面的面形误差修正是根据加工经验调整抛光工具在工件各个位置的驻留时间,进而调整面形误差。这种抛光方法加工非球面过程复杂、效率低,并且加工精度受人为因素制约<sup>[4-7]</sup>。因此,本文根据数控铣磨非球面的面形修正原理,采用LOH-data-correct软件对抛光非球面进行计算并且对其面形误差进行补偿。

### 2 抛光技术要求

抛光非球面工艺实验使用的抛光设备为德国Satisloh公司生产的SPS-140-2SL-2精密抛光机,检测设备使用Taylor Hubson轮廓仪。非球面面形精度要求峰谷(PV)值小于等于 $0.3\ \mu\text{m}$ 。抛光辅助工具及材料选择如表1所示,待加工非球面硅透镜参数如表2所示,其中 $D$ 为非球面口径, $r$ 为最接近球面半径, $k$ 为非球面系数, $c$ 为非球面顶点处曲率, $A_{04}$ 、 $A_{06}$ 为非球面短轴系数。

收稿日期: 2014-04-16; 收到修改稿日期: 2014-04-23; 网络出版日期: 2014-09-05

作者简介: 徐海华(1985—),女,硕士,主要从事超精密加工方面的研究。E-mail: xuhaihua98@126.com

表1 抛光辅料

Table 1 Auxiliary materials for polishing

Style of polished die	Diameter of polished die	Material of polished die	Elements of polishing solution	Concentration of polishing solution (mass ratio)
Gasbag polished die	Φ 20	Polyurethane	Cerium oxide	1:9

表2 非球面硅透镜参数

Table 2 Aspheric surface silicon lens parameters

Parameter	$D$	$r$	$k$	$c$	$A_{04}$	$A_{06}$
Value	54 mm	-1332 mm	0	$-7.546030788 \times 10^{-3}$	$1.628 \times 10^{-4}$	$-1.7 \times 10^{-7}$

### 3 抛光工艺实验

非球面抛光工艺过程,首先使用 LOH-data-correct 软件计算绘制出待加工面形,确定抛光运动方式。再根据抛光工艺技术,选择粗、精抛光加工工艺参数。粗抛光加工目标是去除表面瑕疵,降低非球面粗糙度。精抛光主要是为了修正补偿面形,减低 PV 值。

#### 3.1 计算并绘制非球面参数图

将待加工非球面参数输入 LOH-data-correct 软件中,选择加工方式为左边缘到中心,系统默认使用的非球面方程表达式为

$$Z(X) = \frac{cX^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2X^2}} + A_{04}X^4 + A_{06}X^6 + A_{08}X^8 + A_{10}X^{10} + \dots$$

绘制出非球面数据参数如图 1 所示。图中第一条曲线表示非球面硅透镜直径方向上各点去除量,其中默认中心点去除量为 0 mm;第二条曲线表示非球面直径方向上各点对应的非球面度。从图中可以看出非球面透镜弧高和非球面上任一点的非球面度,确定非球面加工复杂程度,根据抛光工艺和实际经验确定抛光加工参数。

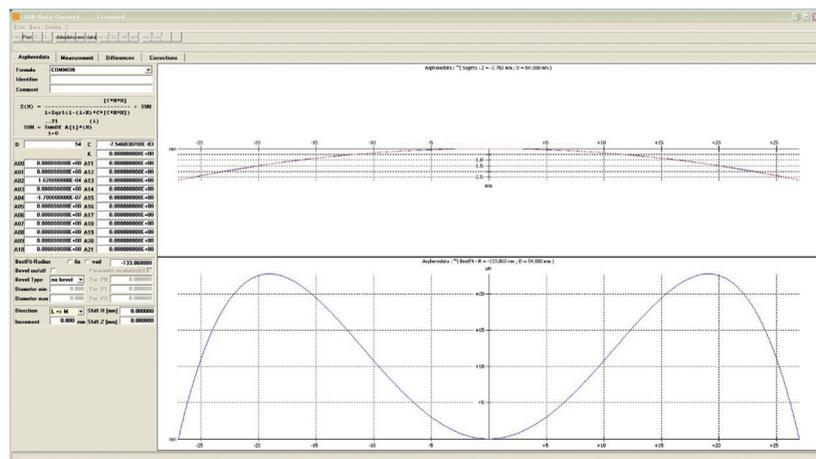


图1 LOH-data-correct 计算非球面面形

Fig.1 Calculation of aspherical surface-shape using LOH-data-correct

#### 3.2 选择抛光加工参数

在数控抛光机上输入非球面数据参数,并编辑加工工艺参数,如图 2 所示。粗抛光用于去除铣磨产生的残余亚表面损伤层,降低工件表面粗糙度,消除铣磨成形加工的表面瑕疵,因此加工耗费时间较长。抛光每个摆动周期为两个半径的路程,即 left-mid-left,一个周期为 60 s,粗抛光共 70 个周期。

#### 3.3 检测第一次粗抛光面形

粗抛光后观察工件表面,除边缘有少许麻点外,大部分表面铣磨痕迹已经被抛光去除,可以进行精抛光工序。剩余麻点在精抛光修正面形时,可局部抛光去除。目前,影响工件表面光学质量的主要因素是非球

面形精度,检测结果如图3所示。可以看出,在评定长度内面形精度评定参数 $R_t$ 为 $2.9787\ \mu\text{m}$ ,非球面需要多次面形修正补偿。

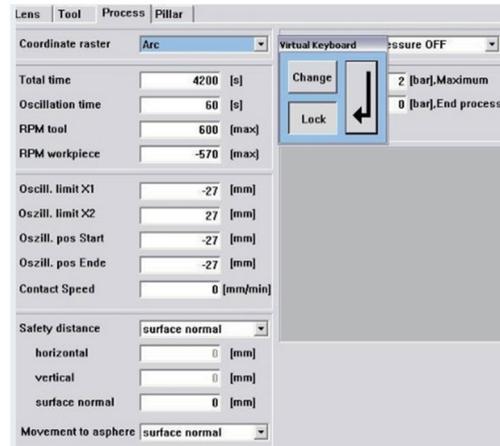


图2 抛光加工工艺参数

Fig.2 Process parameters of polishing

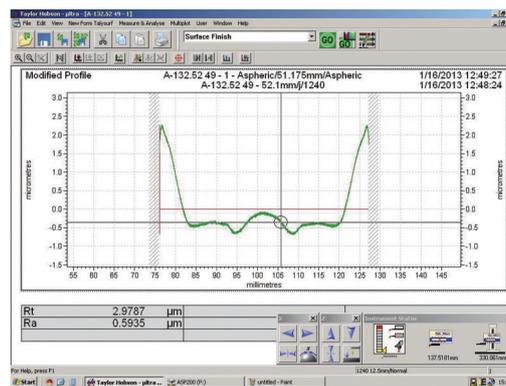


图3 粗抛光面形检测结果

Fig.3 Test results of surface figure after rough polishing

#### 4 精抛光修正补偿面形

将轮廓仪检测的粗抛光面形文件转换成MOD格式,导入LOH-data-correct软件中进行计算。进入软件窗口的面形误差显示界面,即“different”界面,显示区域显示出检测面形与理论面形的误差曲线如图4所示,根据误差曲线计算补偿面形误差的补偿曲线如图5所示。图5中线I为平均补偿误差曲线,线II为复合补偿修正曲线,线III为滤波处理的补偿修正曲线。

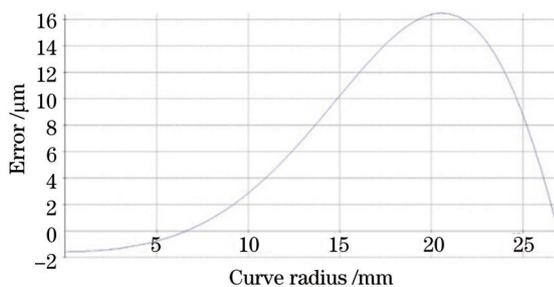


图4 非球面面形误差曲线

Fig.4 Curve of aspherical surface-shape error

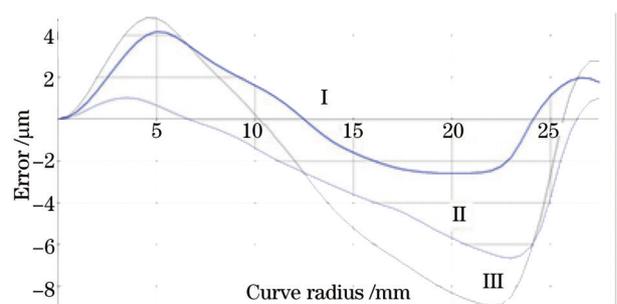


图5 非球面面形修正曲线

Fig.5 Correction curves of aspherical surface-shape

根据非球面参数,在用户模块处设置非球面上各点驻留时间,然后利用软件将LOH-CNC文件生成新的LOH-CNC补偿文件,导入数控抛光设备中进行精抛光。根据数控抛光工艺技术,更改精抛光部分工艺参数为:抛光时间为1800 s,抛光液质量比为1:8,抛光模转速为450 r/min,工件转速为360 r/min。轮廓仪检

测精抛光非球面面形如图6所示,面形精度评定参数 $R_t$ 为 $1.2986\ \mu\text{m}$ ,由此可知,加工精度有明显提高。

由图6面形评定参数 $R_t$ 值可知,非球面要达到抛光光学加工要求PV值小于等于 $0.3\ \mu\text{m}$ ,仍需要多次补偿修正面形,修正补偿方法与前面相同。第五次修正面形之后,检测面形精度如图7所示。由检测结果可以看出,此时非球面面形修正补偿已经达到实验数控抛光面形精度的要求。



图6 精抛光中第一次修正补偿检测结果

Fig.6 Test results of fine polishing after the first correction

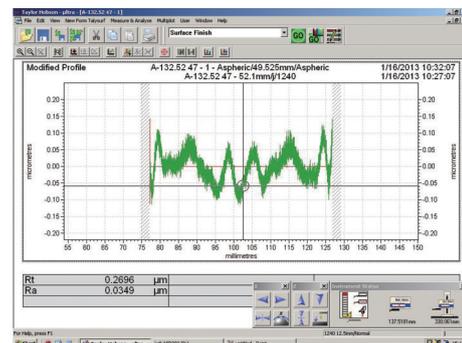


图7 精抛光中第五次修正补偿检测结果

Fig.7 Test results of fine polishing after the fifth correction

由于设备、工装精度和环境的影响,第五次面形修正补偿试验检测结果与第四次的检测结果很接近。由此可知,此工艺方法加工非球面的精度很难再有所提高。若加工更高精度的非球面,则需要根据实际经验对驻留时间、压力等参数进行人工微量调整,或者采用传统柏油小触点抛光方法。

## 5 结 论

主要针对 $\Phi 54$ 中等口径的非球面硅透镜进行抛光工艺实验,采用LOH-data-correct软件补偿抛光面形误差。使用LOH-data-correct软件对非球面检测误差曲线的数据进行计算,然后计算非球面面形误差修正曲线参数,再通过加工修正抛光面形误差。因此,对于锗、玻璃等其他红外材料和口径范围不同的非球面透镜,仍然可以使用此方法进行抛光。

与传统非球面数控抛光面形补偿方法相比,本文工艺实验的面形误差修正次数明显减少,抛光非球面材料去除量的确定性得到提高,改善了传统补偿方法对人工经验的依赖性,使加工过程中随机误差降低。通过实验可知,使用LOH-data-correct软件补偿抛光非球面面形误差,可以使抛光效率得到明显提高。此技术取代了传统数控抛光工艺中,根据轮廓仪等检测系统检测出的面形误差,操作人员依靠经验调整非球面径向方向上各点的抛光压力或者抛光时间来修正面形误差的做法。

## 参 考 文 献

- 1 Song Jianfeng, Yao Yingxue, Xie Dagang, *et al.*. Orthogonal experiment and analysis on polishing parameters of bonnet polishing [J]. *Optical Technique*, 2009, 25(2): 315-318.  
宋剑锋,姚英学,谢大纲,等.气囊抛光工艺参数的正交实验分析[J].*光学技术*, 2009, 25(2): 315-318.
- 2 Zhang Feng. Study on Aspheric Flexible Polishing [D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2006.  
张 峰.非球面柔性抛光技术研究[D].西安:西安工业大学,2006.
- 3 Li Hongyu, Zhang Wei, Yu Guoyu. Removing characteristics of ultraprecise bonnet polishing on spatial optics elements [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(3): 811-817.  
李洪玉,张 伟,于国彧.空间光学元件超精密气囊抛光的去除特性研究[J].*光学学报*, 2009, 29(3): 811-817.
- 4 Miao Shujie. Study on Removal Mechanism and Experiment of Bonnet Polishing on Optical Aspheric Parts [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.  
苗淑杰.光学非球面零件气囊抛光去除机理及试验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- 5 Mu Guangyuan, Fu Xiuhua, Su Jiani. Computer controlled polishing for middle or small double-sided aspheric lens [J]. *Journal of Applied Optics*, 2009, 30(5): 818-822.  
牟光远,付秀华,苏佳妮.中小口径双非球面数控抛光技术研究[J].*应用光学*, 2009, 30(5): 818-822.

- 
- 6 Chen Fengjun. Study on Ultra-Precision Aspheric on-Machine Measurement and Error Compensation Grinding/Polishing Technology [D]. Changsha: Hunan University, 2010.  
陈逢军. 非球面超精密在位测量与误差补偿磨削及抛光技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- 7 J R R Mayer, Y A Mir. Touch probe radius compensation for coordinate measurement using kriging interpolation [C]. Proc Inst Mech Eng, Part B, 1997, 211: 11-18.