

文章编号 1004-924X(2003)01-0079-03

数控抛光加工应用于波前畸变校正

王健^{1,2}, 陈贤华², 李洁², 许乔², 蔡邦维¹

(1. 四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064;

2. 成都精密光学工程研究中心, 四川 成都 610041)

摘要:高功率固体激光装置的波前校正通常采用自适应光学或衍射光学的方法,但这些方法的应用都有一定的困难。小磨头数控抛光加工技术已逐渐得到广泛的应用,用它来实现大口径高功率固体激光装置的静态波前畸变校正提供了解决此问题的新思路。文章给出了校正试验模型、试验过程和结果。波前畸变由校正前的PV值4.59 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$), RMS值0.938 下降到校正后的PV值0.43, RMS值0.075。校正的效果是相当明显的,证明了其应用的可行性。

关键词:数控抛光;波前畸变;校正板

中图分类号: TQ171.684 **文献标识码:** A

1 引言

在大口径高功率固体激光装置中,一个光路上使用了近百个光学元件,由于光学元件自身制造误差的累积,以及大口径光学元件在装夹中产生的变形等原因,使得系统不可避免呈现出较大的静态波前畸变,这种波前误差直接影响着系统的光束质量。目前,对此类波前畸变的校正主要采用了两种方法:一是采用自适应光学技术,根据哈特曼波前传感器探测的波前误差,由变形反射镜来实时校正整个系统的波前畸变。这种技术的优点是不但能校正系统的静态波前畸变,而且可以通过对系统光路的检测实时地调整、修正系统的动态波前误差。但变形反射镜的波前校正也有缺点,主要是系统造价很高,其校正精度受变形反射镜子孔径多少的限制,而子孔径数目的增加必将进一步增高费用。另一方面,引入自适应系统后,必然增加了整个激光装置的复杂程度。第二种方法是采用衍射光学元件来校正系统波前误差,目前主要是在激光器的终端光学系统中引入衍射型的波前校正器。从光学原理上分析,衍射光学元件能实现任意的波面校正。主要的问题是

大口径衍射光学元件的制造技术和微结构在强激

光光束中的散射和破坏等。目前,国内尚无制造此类大型衍射光学元件的能力。由于影响系统光束质量的最大因素是系统低频段的波前误差。因此,提出采用数控小磨头加工技术来制造波前校正板,以校正空间频率低的系统静态波前畸变。数控小磨头抛光技术不同于传统抛光,可以通过加工参数的控制来加工出一定面型误差的表面,来实现波前畸变校正。这实际是一个任意曲面的加工。其制造费用远远低于变形反射镜,用它来校正系统的静态波前误差是可行的。

2 数控抛光加工实现波前畸变校正的过程

数控抛光加工实现波前畸变校正如图1所示。在图1中的流程图与一般的数控抛光过程^[1-3]不同的是:指导加工的面形不是干涉仪检测校正元件的检测结果,而是校正元件面形与须校正的波前畸变的合成结果。

3 数控实验装置简介

实验所使用的数控机床是从俄罗斯引进的

收稿日期:2002-10-17;修订日期:2002-11-27.

基金项目:中国工程物理研究院预研基金(No. 20010214)

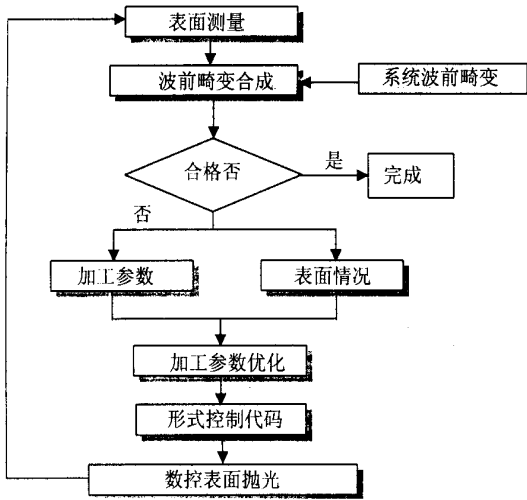


图 1 数控抛光实现波前畸变校正流程图

Fig. 1 Working process of CCOF for wave front error correction

AD1000 型数控抛光机,AD - 1000 采用龙门式结构,可使工具主轴 (Z 轴) 沿 X、Y 坐标移动,工具可沿 Z 轴移动。工具在 X、Y、Z 三个坐标方向上的移动速度和距离可通过计算机来控制。工件固定在工作台上,不可转动。

该机床的工具绕 Z 轴作圆环摆动(公转),同时在摩擦力的作用下,工具又有自转运动。工具的自转中心到 Z 轴的距离(偏心距)手动可调,圆环摆动速度(工具主轴转速)可通过计算机控制。

机床加于工具上的压力采用气动加压,压力的大小可视工件材料、尺寸及去除量手动调节(在一个加工循环中,压力是恒定的)。

4 实验设计

选用一个透射元件来实现波前畸变的校正。假设高功率固体激光装置已经基本建设完成,那么可以测得系统总的静态波前畸变。用总的静态波前畸变来指导加工一块透射校正元件,那么将这块校正元件插入光路中就可以实现光路静态波前畸变的校正。

为了验证校正结果,采用一块有波前畸变的反射元件来模拟系统的静态波前畸变,用透射元件对反射元件的波前畸变进行校正,元件均采用 230 mm × 230 mm 方形尺寸,以模拟高功率固体激光器的实际运用,验证检测光路如图 2 所示。

在加工中,用反射元件波前畸变对透射元件

的检测结果作校正后来加工透射校正元件,在加工达到预计结果后将透射校正元件插入反射元件的检测光路来验证波前校正的效果^[4]。

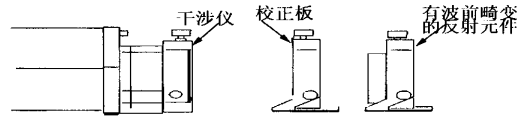


图 2 验证时的检测光路

Fig. 2 Measuring setup for confirmation

5 实验过程和结果

反射元件波前畸变所模拟的系统误差图像如图 3 所示。

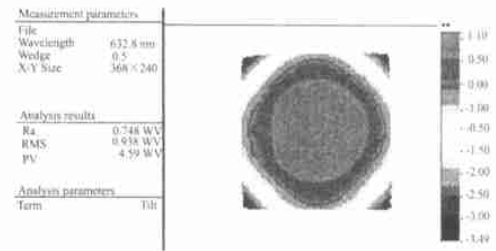


图 3 反射元件模拟的系统波前畸变

Fig. 3 System wave front error simulated by reflected optics

在实验过程中,使用自编的软件将模拟的系统波前畸变与干涉仪检测的校正元件波前畸变作数字合成。由于模拟的须校正波前畸变是随机的,因此很难用公式来拟合此波前畸变,只能给出波前畸变在各平面坐标处的畸变量值,实际是一个波前畸变的二维矩阵。而干涉仪测量的结果实际也是一个波前畸变的二维矩阵。它们的合成是两个长度不同的二维矩阵的合成。因此只需将其中一个二维矩阵做行列长度的变换,使其与另一个矩阵行列长度相同。变换中选用适当的插值算法尽量不改变波前畸变的形状大小就可以了。

在加工中,元件并不是向简单的平面或球面方向加工,而是要加工出的曲面产生固定的波前畸变,因此实际是一个任意曲面的加工。在加工中特别注意到针对不同的曲面形状,即要产生的波前畸变形状,来选用适当的磨头和加工参数。

经过十多次的图像合成和加工,得到图 4 的校正后的结果。由此可见波前畸变由校正前的

PV 值 4.59 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$), RMS 值 0.938 下降到校正后的 PV 值 0.43, RMS 值 0.075。校正的效果是相当明显的。

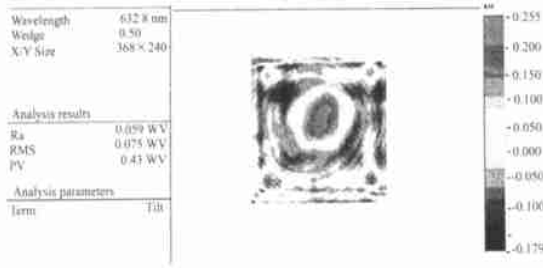


图 4 校正后的波前畸变

Fig. 4 Wave front error after correction

像就有的,图 5 为去掉球差的原始反射畸变图像,可以在其中清晰地看到类似的波纹。而图 3 中不去球差时图像的波纹被球差所淹没,看不出来。

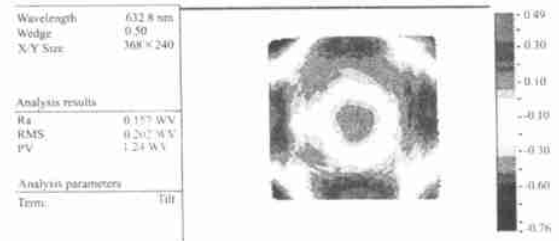


图 5 去球差后的原始反射图像

Fig. 5 System wave front error simulated by reflected optics (remove power)

6 实验分析

由校正后的波前误差图像可以看到波前误差中有很多尺度在数毫米的近似圆形的波纹,但这种波纹并不是在数控加工中产生的,而是原始反射图

试图通过加工来校正这种小尺度的波纹,但实际的实验效果并不明显。这说明小磨头数控加工能有效实现大尺度的低频误差的校正,而对于小尺度的中高频误差^[5]校正效果不明显。

参考文献:

- [1] XU Q. Optimizing parameters for computer controlled polishing precision planar mirror[J]. *SPIE*, 2000, 4231:156-162.
- [2] ZHANG X J, YU J CH, ZHANG ZH Y, *et al*. Analysis of residual fabrication errors for computer controlled polishing a spherical mirrors[J]. *Opt Eng*, 1997, 36:3396-3391.
- [3] 王健. 石英薄板的数控加工技术[J]. *光学技术*, 2001, (6):560-561.
WANG J. Computer controlled optical finishing laminate fused silica[J]. *Optical Technique*, 2001, (6):560-561. (in Chinese)
- [4] 张学军, 张云峰, 余景池, 等. FSG-1 非球面自动加工及在线检测系统[J]. *光学精密工程*, 1997, 5(2):70-76.
ZHANG X J, ZHANG Y F, YU J CH, *et al*. FSG-1 aspheres automatic fabrication an on-line testing system[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1997, 5(2):70-76. (in Chinese)
- [5] LAWSON J K. Specification of optical components using the power spectral density function[J]. *SPIE*, 1995, 2536:38-50.

Computer controlled optical finishing for wave front error correction

WANG Jian^{1,2}, CHEN Xian-hua², LI Jie², XU Qiao², CAI Bang-wei¹

- (1. College of Electronic Information, Sichuan University, Chengdu 610064, China;
- Chengdu Fine Optical Engineering Research Centre, Chengdu 610041, China)

Abstract: Optics or diffraction is usually used for wave front error correction of high power solid laser facility. But there are still some difficulties in applying these technologies in practice. The use of a small lap top computer controlled optical finishing (CCOF) for correcting the wave front error of a large aperture high power solid laser facility provides a new solution to this problem. The experimental result showed that the wave front error decreased from PV 4.59 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) RMS 0.938 to PV 0.43 RMS 0.075 and it is possible to use CCOF for wave front error correction.

Key words: CCOF; wave front error; corrector

作者简介:王 健 (1975 -),男,湖北钟祥人,工程师,现在四川大学攻读硕士学位,主要从事数控抛光技术的研究。