

doi: 10.3969/j.issn.1674-8425(z).2013.08.008

基于光学非球面的大尺寸精密检测平台技术

柯晓龙¹, 刘建春¹, 黄海滨¹, 郭隐彪²

(1. 厦门理工学院 机械与汽车工程学院 福建 厦门 361024;

2. 厦门大学 物理与机电工程学院 福建 厦门 361005)

摘 要: 针对光学非球面元件精密面形测量的需要, 提出了一种大尺寸精密检测平台的测量与控制技术。通过讨论检测平台离线测量原理, 采用高精度直线电机、0.1 μm 接触式/非接触式测量传感器以及自主开发测量评价软件为核心的软硬件控制方案, 完成了大尺寸精密检测平台的设计与搭建, 并针对光学非球面元件的测量特点, 开发了配套的测量软件, 以实现大口径光学非球面元件的面形测量与评价。光学非球面元件的测量实验结果表明: 该检测系统可以有效地应用于非球面表面形貌的精密测量。

关键词: 光学非球面; 检测平台; 离线测量; 大尺寸; 高精度

中图分类号: TH711

文献标识码: A

文章编号: 1674-8425(2013)08-0036-05

Study on Large Scale Precision Measurement Platform for Optical Aspheric Lens

KE Xiao-long¹, LIU Jian-chun¹, HUANG Hai-bin¹, GUO Yin-biao²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology,

Xiamen 361024, China; 2. Department of Mechanical and Electrical Engineering,

Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: According to the requirement of precision measurement for optical aspheric surface, this paper presents a measuring and control means, which is based on large scale high-precision measurement platform. Through analyzing the off-machine measuring principle, a large scale measurement platform included high-precision linear motors, contacting and non-contacting measurement sensor of 0.1 μm resolution and a new developed of measuring software, is designed and built. Aiming at the measurement characteristics of optical aspheric lens, measuring software is developed to achieve surface metrology and evaluation for large scale optical aspheric lens. The experiment results indicated that the measuring system has met the needs of high-precision measurement.

Key words: optical aspheric lens; measurement platform; off-machine measurement; large scale; high-precision

收稿日期: 2013-03-29

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2012J05102); 厦门理工学院高层次人才引进项目(YKJ11029)

作者简介: 柯晓龙(1981—), 男, 福建厦门人, 博士, 讲师, 主要从事微纳米加工与检测技术研究。

光学非球面元件是一种非常重要的光学零件。非球面透镜、非球面反射镜、非球面雷达天线广泛应用于航空、航天等领域,投影仪镜头、电视摄像管、条形码读数头等非球面零件在民用光电产品上也扮演着越来越重要的角色^[1-4]。

光学非球面元件的检测技术是影响非球面精密加工的关键要素之一。目前,光学非球面测量的方式主要有两种:在位测量和离线测量^[5-6]。前者是指工件加工完毕后,在机床上不卸下工件的情况下进行检测。这种方式有利于补偿加工的可靠性,但受测量环境影响,测量精度往往相对较低。后者则将工件从机床上取下,并用专门的检测设备进行工件面形检测。检测平台是最为重要的一种离线检测方式。由于离线检测系统采用独立洁净的测量环境和更为合理的运动控制方案,因此通常可获得更高的面形检测精度。

笔者针对非球面元件的测量特点,开发了相应的精密检测系统,用来实现光学非球面元件,尤其是大口径光学非球面元件的精度面形检测。

1 检测平台的测量原理

笔者开发的大尺寸精密检测平台的检测方式与传统的三坐标测量机类似,即通过三轴联动的运动控制系统带动测量传感器在3个相互垂直的空间坐标内移动,从而测量出被测工件表面点的空间坐标数据,并将这些点云数据进行计算机数据处理,以完成工件轮廓的精度测量。下面以笔者自主开发的检测平台为例来阐述其工作原理。

如图1所示,该检测平台采用基于上位机和下位机双CPU开放式数控系统,并采取“三轴直线电机联动”的运动方式。下位机通过基于DSP的Parker运动控制卡来实现,主要承担实时性任务,如同步控制、插补预算等;上位机为工业控制PC机,主要承担离线检测软件控制、数据采集和数据分析处理等任务。上位机通过PCI总线和检测平台的运动控制卡连接;测量软件生成测量轨迹后经PCI总线传递给运动控制卡,从而经各轴驱动器控制检测平台XYZ三轴的运动;上位机通过RS232/USB接口,带动接触式/非接触式传感

器实现数据采集测量,测得工件表面的一系列离散点的三维坐标值,并将数据传回给上位机,从而按照一定的算法拟合出该工件的表面形貌,进而得到其面形方程以及面形精度等。

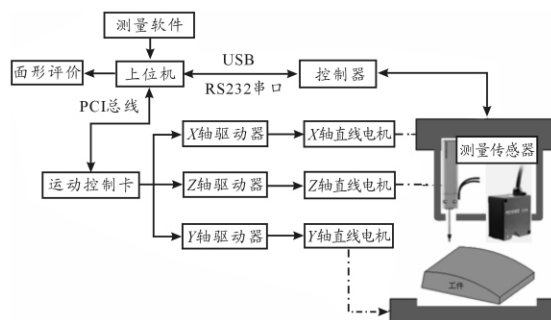


图1 检测平台的测量原理

2 检测平台的硬件搭建

为了获得良好的运动控制精度,笔者采用了高精度直线电机、 $0.1\ \mu\text{m}$ 接触式/非接触传感器以及自主开发测量评价软件为核心的软硬件控制方案,搭建了大尺寸精密检测平台(图2)。该检测平台的测量范围为 $430\ \text{mm} \times 430\ \text{mm}$,面形检测的设计精度为 $2\ \mu\text{m}/400\ \text{mm} \times 400\ \text{mm}$ 。其中:

1) 花岗岩龙门框架结构采用了“济南青”材质,具有质地均匀、刚性好、硬度高、热膨胀系数小的特点。

2) 运动控制卡选用美国Parker公司的ACR-1505四轴运动控制卡,其拥有120 MHz、32字节浮点的DSP高速数字信号处理器,并提供4路30 MHz的编码反馈,可满足高速高精度测量的需要。

3) 光栅尺选用英国Ranishaw公司的开放式高精度光栅尺。其热膨胀系数小于 $1.4\ \mu\text{m}/\text{m}/\text{C}$,读数头分辨率为20 nm。

4) 直线电机采用荷兰Tecnotion的UL系列永磁无铁芯直线伺服电机。采用直线电机传动方式代替传统的“旋转电机+滚珠丝杆”传动方式,可缩短传动链,减小传动误差,提高定位精度,并实现快速运动响应。各轴电机单独配备Parker公司的Compax 3系列伺服驱动器,实现各轴进给控制。

5) 测量传感器采用“德国海德汉 CT6001 接触式 + 日本 KEYENCE LK-G10 非接触式”的 0.1 μm 级高精度测量传感器的双选择性测量方案,既弥补了非接触式传感器测量透光性玻璃精度较差的不足,也避免了接触式传感器可能造成工件表面划伤和细小凹坑处不易测量的缺点。

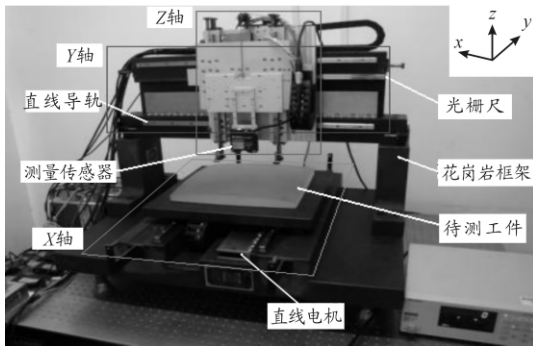


图 2 检测平台的硬件组成

该检测平台的测量流程如图 3 所示。将待测工件装夹到检测平台之后,在自主开发的测量系统软件中选择测量传感器类型,如海德汉接触式传感器或 KEYENCE 非接触式激光传感器,并设置相应的传感器参数。然后,在软件中选择测量工件类型、测量轨迹方式等,并输入相应的测量参数。软件会根据所设置的参数自动生成测量运动轨迹,并开始工件的面形检测。测量完毕之后,将工件的测量数据保存下来,并通过测量软件中的面形评价模块,完成待测工件的面形拟合及精度评价。

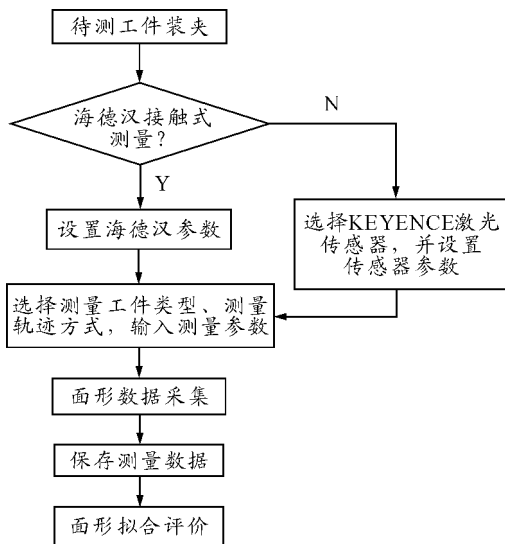


图 3 检测平台的检测流程

3 检测平台的软件设计

根据大尺寸精密检测平台的功能要求,笔者采用由上而下的设计方法,基于 Delphi7 编程开发软件,自主开发专用的光学非球面测量系统软件,实现了检测平台的数据采集、面形测量与精度评价。测量软件框架图如图 4 所示,软件采用模块化设计思路,主要包括了传感器设置、手动操作、顶点查找、面形测量、面形评价和生成报告等功能模块。图 5 为测量软件的控制主界面。

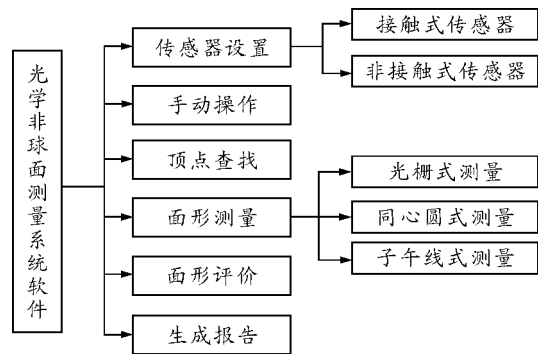


图 4 测量软件框架图

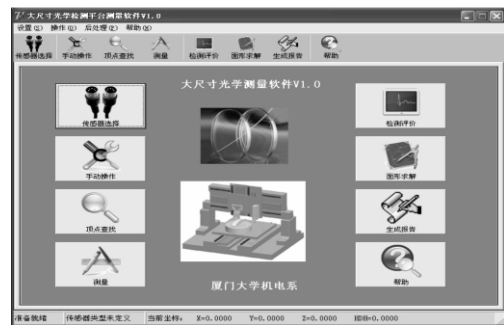


图 5 测量软件的控制主界面

下面以主要的功能模块为例,简要介绍系统功能。

1) 手动操作。该模块用来实现对检测平台的手动操作,如各进给轴的点动操作,手动快速定位,设置检测平台的坐标原点,设置点动进给速度,以及对控制卡的手动指令控制,从而控制工件测量的初始状态。界面如图 6 所示。

2) 面形测量。该测量模块用来完成工件面形的测量轨迹规划及数据采集。测量之前,选择

工件测量轨迹类型,如光栅式测量、同心圆式测量、子午线式测量等。图7为光栅式测量的数据采集界面。设置相应的测量参数,并通过手动操作模块设置测量的起始坐标和终点坐标。软件自动进行测量轨迹规划,并控制检测平台动作,以完成工件表面形貌的数据采集。

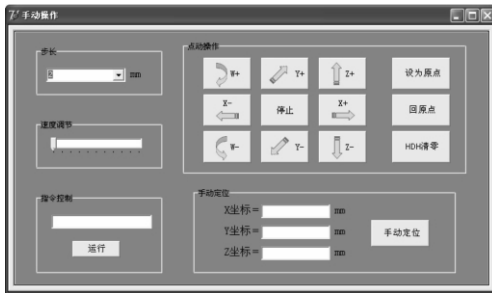


图6 测量软件的手动操作界面

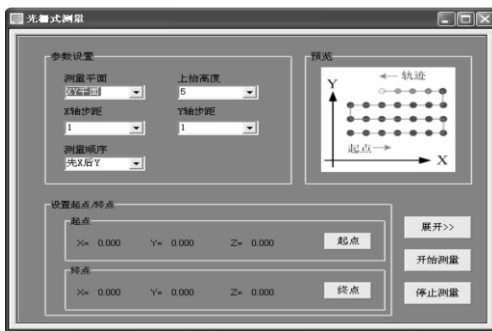


图7 测量软件的面形测量界面

3) 面形评价。该模块主要用于所采集的工件面形数据的分析及评价。获取测量工件的面形数据之后,采用 Delphi 与 Matlab 混合编程的方式,完成测量数据的粗大误差剔除、滤波、插值和最小二乘法拟合等数据处理,以实现工件面形精度的评价。图8为混合编程下光栅式测量的面形评价界面。经数值处理后,可以得到工件面形方程及 PV、RMS 等。

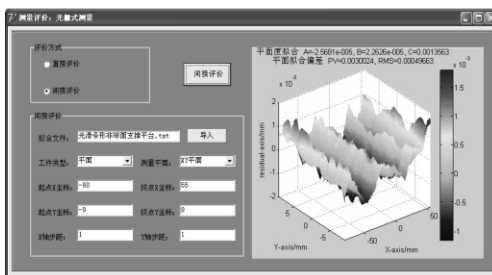
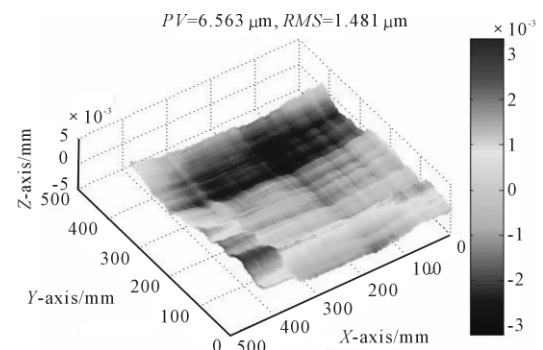


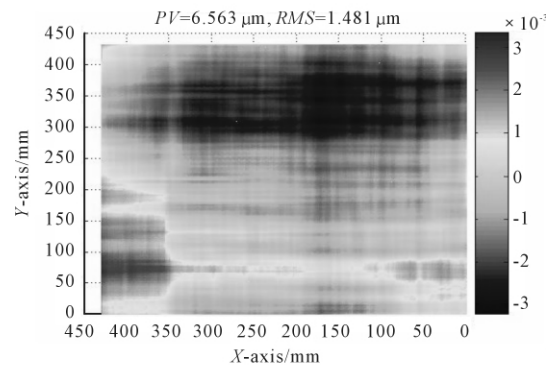
图8 测量软件的面形评价界面

4 实验

笔者设计的检测平台主要应用于光学非球面元件,如轴对称非球面、非轴对称非球面、楔形非球面元件等光学非球面的精密面形检测。当然,同样也可以作为常规光学元件或普通工件的表面测量与校验工具,如双0级精密平板的测量、标准球的校验等。图9为一大尺寸光学非球面元件通过该检测平台测量后得到的拟合偏差图。



(a) 三维视图



(b) 俯视图

图9 光学非球面元件测量的拟合偏差图

5 结束语

根据光学非球面面形测量的需要,笔者设计搭建了大尺寸精密检测平台,并开展了相应的研究工作。

1) 采用花岗岩龙门框架、三轴联动直线电机和上下位机通讯控制方式,实现刚性好、运动精度高、响应快的精密测量要求,并利用接触式/非接

触式的双选择性检测方式,满足了不同类型工件的测量需要,具有很好的测量柔性。

2) 基于模块化设计思路,开发了配套的光学非球面测量及评价软件,具有较好的人机交互和自动化处理的能力。

3) 下一步目标将研究检测平台系统误差分离与补偿技术,以便进一步提高检测平台的测量精度。

参考文献:

- [1] Hong X H, Yang J F, Chen L W. Use of diffractive-refractive optical system for correction of secondary spectrum [J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12(1): 1-5.
- [2] Kato K, Nishi I. Low-loss laser diode module using a molded aspheric glass lens [J]. Photonics Technology

Letters, 1990, 2(7): 473-474.

- [3] Yang Z H, Leger J R, Shchegrov A V. Three-mirror resonator with aspheric feedback mirror for laser spatial mode selection and mode shaping [J]. Quantum Electronics, 2004, 40(9): 1258-1269.
- [4] 刘丽萍,王骥,李琦. 折衍混合式相干激光雷达天线系统的设计 [J]. 激光与红外, 2002, 32(1): 15-17.
- [5] 郭隐彪,郭江,柯晓龙,等. 非球面在线检测的系统误差分离与修正 [J]. 纳米技术与精密工程, 2010, 8(5): 416-421.
- [6] GAO W, Kiyono S. On-machine profile measurement of machined surface using the combined three-probe method [J]. JSME International Journal, 1997, 40(2): 253-259.

(责任编辑 刘 舸)

(上接第 13 页)

- [5] 秦孟苏. 基于模糊神经网络的汽车安全气囊智能点火控制算法 [D]. 长沙: 湖南大学, 2008: 36-38.
- [6] 武涛. 汽车安全气囊控制系统及碰撞分析系统的设计 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011: 20-24.
- [7] 周润景, 张丽娜. 基于 MATLAB 与 fuzzy TECH 的模糊

与神经网络设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 122-136.

- [8] 李国勇. 神经·模糊·预测控制及其 MATLAB 实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 201-214.

(责任编辑 刘 舸)

(上接第 31 页)

参考文献:

- [1] 王健,李宏东,朱守梅,等. 冲压发动机用轴对称进气道设计和试验 [J]. 推进技术, 2009, 30(6): 682-686.
- [2] 张晓嘉,岳连捷,张新宇. 大内收缩比二元高超声速进气道波系配置特性 [J]. 推进技术, 2012, 33(4): 505-509.
- [3] 金志光,张堃元. 高超侧压式进气道高焓脉冲风洞实验 [J]. 推进技术, 2005, 26(4): 319-323.
- [4] 肖雅彬,岳连捷,龚鹏,等. 三面压缩式高超声速进气道流动结构研究 [J]. 实验流体力学, 2008, 22(2): 64

-67.

- [5] 孙波,张堃元,金志光,等. 流线追踪 Busemann 进气道设计参数的选择 [J]. 推进技术, 2007, 28(1): 55-59.
- [6] 尤延铖,梁德旺,黄国平. 一种新型内乘波式进气道初步研究 [J]. 推进技术, 2006, 27(3): 252-256.
- [7] 潘瑾,张堃元,金志光. 弯曲激波压缩型面的设计及数值分析 [J]. 推进技术, 2008, 29(4): 438-442.
- [8] 潘瑾,张堃元. 移动唇口变内收缩比侧压式进气道反压特性和自启动性能 [J]. 航空动力学报, 2009, 24(1): 104-109.

(责任编辑 杨黎丽)