

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 18220051301696

UDC _____

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

二维 PSD 自动对焦非球面测量系统

Auto focus Measurement System

for Aspheric by Planar PSD

王 丹 凤

指导教师姓名: 郭隐彪 教授

专 业 名 称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2008 年 04 月

论文答辩时间: 2008 年 05 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

目 录

第一章. 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 非球面测量技术.....	1
1.1.2 自动对焦技术及其应用.....	4
1.2 课题意义及主要内容	7
第二章. 自动对焦光路的原理和方法	8
2.1 自动对焦检测系统组成	8
2.2 自动对焦镜头的设计	10
2.2.1 自动对焦镜头光路原理.....	10
2.2.2 对焦光路的设计分析.....	11
2.2.3 光路的优化设计比较.....	12
2.3 小结	16
第三章 自动对焦系统的硬件设计和选用	17
3.1 对焦镜头的构成	17
3.1.1 枕形二维位敏探测器.....	17
3.1.2 激光器及透镜的选用.....	20
3.1.3 对焦镜头的设计.....	22
3.2 电路设计及芯片选用	24
3.2.1 PSD 信号处理及信号采集电路.....	24
3.2.2 光栅尺信号的处理和采集	27
3.3 执行机构的构成	30
3.3.1 电机的选择与控制	31
3.3.2 对焦镜头机械驱动装置设计	34
3.4 系统误差分析	36
3.5 小结	38

第四章 自动对焦系统软件设计	39
4.1 下位机 PIC16F877 控制	39
4.1.1 A/D 采集控制	41
4.1.2 数据发送接收控制	44
4.2 下位机 AT89S52 的控制	44
4.3 上位机控制界面编程	47
4.3.1 串口通讯的实现	47
4.3.2 对焦搜索算法的优化设计	48
4.3.3 控制软件功能设计	51
4.4 小结	55
第五章 实验实例与精度分析	56
5.1 PSD 线性测试	56
5.2 测量结果及分析	59
5.3 小结	61
第六章 结论与展望	62
【参考文献】	63
致 谢	65
发表论文	66

Table of Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background	<u>1</u>
1.1.1 Development of Aspheric Measurement.....	1
1.1.2 Application of Auto-focusing Technique.....	4
1.2 Research Value and Main Research Area	7
Chapter 2 The Principle for Auto-focusing	8
2.1 The Module for Auto-focusing Measurement System	8
2.2 Comparison of Auto-focusing Lens	10
2.2.1 Light Path Design for Auto-focusing Lens.....	10
2.2.2 Analysis of Light Path.....	11
2.2.3 Ways for Optimizing Auto-focusing.....	12
2.3 Conclusion	16
Chapter 3 Hardware Designing	<u>17</u>
3.1 Components of Auto-focusing Lens	17
3.1.1 Planar Array Position Sensitive Device.....	17
3.1.2 Choice of Laser Bean and Lens.....	20
3.1.3 Design of Auto-focusing Lens.....	22
3.2 Signal Processing Circuit and MCU	24
3.2.1 PSD Signal Ssampling and Processing Circuit.....	24
3.2.2 Grating Signal Processing and Sampling.....	27
3.3 Drive Machine	<u>30</u>
3.3.1 Choice of Drive and Controlling.....	31
3.3.2 Auto-focusing Lens Machine Designing.....	34
3.4 Error Analysis	36
3.5 Conclusion	38

Chapter 4 Software Designing..... 39

4.1 Controlling of PIC16F877 39

4.1.1 A/D Signal Sampling Controlling..... 41

4.1.2 Senting and Receiving Date..... 44

4.2 Controlling of The Gratiing Signal 44

4.3 Controlling Software..... 47

4.3.1 Message Transfer..... 47

4.3.2 Arithmetic of Auto-focusing Controlling..... 48

4.3.3 Function of Software..... 51

4.4 Conclusion 55

Chapter 5 Experiment and Analysis..... 56

5.1 Test of PSD 56

5.2 Result and Analysis 59

5.3 Conclusion..... 61

Chapter 6 Conclusion and Prospects..... 62

Reference..... 63

Acknowledge..... 65

Articles Published..... 66

摘 要

随着非球面元件的广泛应用和非球面加工技术的发展,现代工业对非球面元件的面形参数检测提出了更高的要求。本文是在线阵光电敏感器件 PSD (Position Sensitive Device) 的测量平台基础上利用面阵 PSD 进行三维非球面测量,以 PSD 做为传感器件,光栅尺做为精密测量工具,设计自动对焦非球面测量系统;进行了自动对焦镜头的设计,PSD 信号处理电路及数据采集的设计,光栅尺信号采集的设计,自动对焦控制软件的设计及相关误差分析;实现了对焦镜头在自动对焦过程中的非球面测量;达到非球面元件的非接触精密测量的要求。

本文包含以下内容:

(1) 介绍了当前主要的非球面检测方法,自动对焦技术的发展及应用,非接触测量光电器件的发展。

(2) 详细说明面阵 PSD 自动对焦非球面测量系统的原理,自动对焦光路的设计及各器件的选择、自动对焦的方法的优化。

(3) 设计了 PSD 信号处理及采集电路,光栅辨向计数电路及各模块与 PC 的通讯设计。

(4) 阐述了测量系统中各个模块的组成及特性。

(5) 设计了自动对焦测量系统的两个下位机程序及上位机 PC 控制软件。

(6) 本系统的实验结论及自动对焦精密测量系统的前景。

本文重点在于面阵 PSD 对焦光路的设计和自动对焦方法的选择上。经过实验证明利用 PSD 做为传感器,采用自动对焦系统进行精密测量是完全可行的。本文所论述的自动对焦非球面测量系统的优点在于:

(1) PSD 做为光电探测器,提高了非接触测量的采样速度,降低了成本。

(2) 将自动对焦应用于精密测量,引入光栅尺可达到较高的测量精度,提高了可靠性。

(3) 数据采集方便,采用串口通讯将 PSD 采集的数据和光栅尺计数测量结果实时上传至 PC 显示,便于监控和扩展功能。

关键词: 非球面测量; PSD; 自动对焦

Abstract

The high speed development of designing and machining aspheric parts raises a much higher demand in their measurement. In this article, using planar array sensitive photoelectric device PSD (Position Sensitive Device) as the sensor, designed an auto-focusing system for noncontact measurement. Grating measuring technique is applied in this system to obtain precise aspheric shape data. This paper is on the basis of linear array PSD measurement platform, using planar array PSD to achieve three-dimensional aspheric measurement, mainly includes the optical path design of PSD, the design of hardware and controlling software.

The article includes such contents as below:

(1) Introduction and comparison the development and application of aspheric measurement, planar array photoelectric position sensitive device PSD and CCD, ways of auto-focusing measurement on aspheric measurement.

(2) The principle of optical path for auto-focusing system. And make comparison of the designed paths.

(3) The design of processing circuit of PSD and grating, the communication between PC and singchip.

(4) The component and function of each part for this system.

(5) Program of two singchips and controlling software.

(6) The conclusion and its possible future research aspects.

The keystone of the article is the design of optical path and controlling software. Though experiment was not carried out with perfect background, it does prove this method is feasible to get accuracy data. The advantage of the method is:

(1) Using PSD as sensitive device not only increases the sampling speed, but also decrease the cost.

(2) Apply AF to precise measurement, and use grating to get much higher accuracy and improve its reliability.

(3) It is Convenient to get photoelectric signal. Using serial port to send and receive data of PSD and display the result and grating signal on PC, easy to inspect state and extend functions.

Key words: aspheric measurement; PSD; auto-focusing

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 非球面测量技术

现代的光学设计通常采用非球面光学零件,它有利于矫正像差,提高系统成像质量,如二次曲面在恰当的共轭位置没有球差,而且某些非球面系统的设计能简化系统结构,使仪器尺寸和重量得以减小,性能大大提高,如在反摄远型短焦广角镜头中,采用非球面镜设计后,在校正高级球差和高级慧差后,镜头口径与长度均能缩小 1/3 左右,在大孔径摄影镜头中引入非球面,能够使结构简化为透镜数量更少的少组元系统。非球面的运用还可以提高系统的相对孔径,扩大视场角,改善照度等,与球面光学零件相比,具有很多无法比拟的优点^[1],故非球面光学产品有着广阔的应用前景。在国防、航空航天领域,大型或超大型光学产品,便携高性能产品及日用品上,非球面零件的加工和制造体现着国家的技术实力和经济发展,如军事上用于航空机载设备(雷达测距仪)、卫星(先进的光学望远系统、高分辨率的电视摄像系统、高灵敏度的红外传感系统)、激光制导、红外探测、夜视以及指挥等方面,尤其是天文领域,大型的天文望远镜主要由非球面镜构成,如卫星红外望远镜;民品上用于 CD, VCD, DVD、光通讯、摄影镜头和取景器、摄像机、激光打印机、电视摄像管、电影放影镜头、光盘、条形码读出头、光纤通信的光纤接头等等;医疗上的激光手术刀、内窥镜等各种诊断和治疗仪器。因而高精度、高质量的非球面元件的需求正与日俱增^[2]。

随着非球面零件市场需求的提升,高精度非球面的加工和检测成为日益紧迫的问题。近几年来非球面的加工有了一定的发展,如小型非球面的数控研磨成型、离子束抛光法、模压成型法、真空镀膜法等现代加工技术,可以加工出高品质的非球面零件^[3]。目前非球面的检测技术也发展出多种,一般分为接触式测量与非接触式测量两种。

(1) 接触式测量

接触式测量发展了较长时间,其系统结构较为成熟,有较高的准确性和可靠性;且接触式测量直接接触工件表面,受工件表面的反射特性、颜色及曲率等

影响较小,配合测量软件,接触式测量可精确测量柱面、球面、非球面等几何球面。但是随着现代测量要求的提高,接触式测量的缺点也越来越凸显出来,如:

- 需根据产品设计不同要求的夹具,导致较高的测量成本。
- 球形的探头容易因接触力造成磨损。要保持精度,需经常校正探头直径,且得到物体真实外型需要补偿探头半径。
- 不当操作容易损害工件的表面精度和探头。
- 检测元件内部有时存在问题,如测量内圆直径,则探头的直径要小于被测内圆直径。
- 接触探头测量时,探头尖端部分与被测件之间会发生局部变形而影响测量值的实际读数。

(2) 非接触式测量

由于接触式测量存在很多不便之处,甚至无法测量某些较软或易损伤表面,所以非接触式测量的研究应用就显得非常重要,一般来说它有以下优点:

- 激光光点直接测量工件表面,不必补偿探头半径。
- 可达到较高的测量速度,无需像接触式探头那样必须逐点接触测量。
- 可直接测量软工件、薄工件、不可接触的高精度工件,而不会破坏工件表面。

传统的非球面检测主要有刀口法、非定量干涉仪等,检测结果难以定量,精度不到。自20世纪60年代开始,激光技术、计算机技术和固态探测器阵列的引入使光学定量检测有了很大发展。而单点金刚石切削技术和金刚石磨削技术的发展,尤其是计算机控制光学表面成型技术(CCOS)的发展,极大地促进了非球面光学元件定量检测工艺的发展^[4-6]。

CCOS(Computer controlled optical surfacing)是由美国 Itek 公司的 W. J. Rutpp 在20世纪70年代初期提出的^[7]。其基本原理是,根据干涉仪等光学表面面形检测仪器测得的面形数据,建立加工过程的控制模型,用计算机控制一个小磨头对光学零件进行研磨或抛光,通过控制磨头在工件表面的运动方式、驻留时间及相对压力来控制材料的去除量。从某种意义上说,CCOS技术的应用基础是对光学元件的定量检测结果。到了80年代中后期,随着计算机技术精密测量技术新工艺新材料等综合技术的发展CCOS技术也得到了进一步的完善^[8]。CCOS技术的发展促进了非球面定量检测方面的发展。Arizona大学的James. Howard Burger^[9-10]等人做了比较系统的研究。Burge在他的博士论文中详细论述了天文望远镜非球面主镜的各种检测方法,特别提到非球面的补偿检验方法是适用于加工过程中的检验,对于3.5m, F/1.75的WIYN双曲面主反射镜,其测量误差小于

5. $Inm(rms)$ 。James Howard Burge 还提出在研磨阶段用扫描细光束测量仪作为检测手段, 可以控制顶点曲率半径 R 及偏心率 K 的偏差使其分别小于 $1/1000$ 和 $5/10000$ 。俄罗斯的普里亚耶夫在其著作《光学非球面检验》中也详尽讲述了非球面的补偿检验法^[11]。

Law rence-Livermore 国家实验室的研究人员在光学元件表面频谱分析的基础上, 提出用功率谱密度 (Power Spectra Density, PSD) 来确定不同频段误差分布的评价光学元件表面质量的方法, 提高了传统仪器的分辨能力。随着现代精密光学系统对光学元件质量要求的提高, 波前 PSD 的检测和分析技术也成为现代光学检测技术的一个研究热点^[12-13]。由电子学、微机和干涉仪结合产生的相移干涉法 (phase shifting interferometry, PSI), 以及电子相位测量技术的提高, 使得光学检测的速度更快、精度更高。相移干涉法与垂直扫描法 (vertical scanning interferometry) 的结合, 可使干涉检测的测量范达到 $500\mu m$, 单次测量的分辨率可达 $3nm$, 而在 1971 年提出的计算全息测量技术 (CGH), 以方便存储和提供各种特定形式光波函数的特点, 被逐渐广泛用于各种干涉计量技术中, 实现了非球面面形的快速、高精度、实时检测, 特别适用于大口径凸面非球面的检测。非接触式测量仪的代表性产品有, ZYGO 的新型数字波面干涉仪, WYKO 公司采用白光相移干涉技术形成的 WYKONTL2000, WYKO_sP300, WYKOSP3200 和 WVKORST500 等^[14]。

国内在 20 世 70 年代的非球面检测较多的是基于干涉计量的零位补偿检验和非零位直接检验, 到 90 年代在理论上对各种二次曲面的补偿法检测及补偿镜设计已经比较成熟^[15]。长春光机所应用光学国家重点实验室研制的数控非球面光学加工中心 FSG-II 集铣磨成型、磨边、精磨抛光和检测于一体^[16], 采用双测头加标准平尺结构的非球面面形测量仪, 通过对两个表头的差分, 实时消除了测量系统误差, 提高了精度, 可适用于离轴非球面研磨阶段的面形检测。浙江大学杨甫英等利用非接触式方法实时扫描测量精密光学元件表面轮廓, 利用干涉模技术抑制各种噪声, 其横向分辨率为 $1\mu m$, 纵向分辨率为 $0.1nm$ ^[17]。张晓青等提出了一种采用平移加旋转对称法对非球面实现非接触式扫描测量的原理及方法, 大连理工大学王殿龙等开发研制的五坐标回转体测量仪, 苏州大学研制的小型非球面轮廓测量仪以及北京理工大学的沙定国网等提出的激光束平移转动法等, 都极大

地推动非球面光学元件的检测技术的发展^[18]。

零位补偿检验由于对补偿器的设计、制作、安装精度要求非常高，且每种非球面需单独设计补偿器；若采用自适应补偿器来测量各种类型的非球面又降低了其测量精度；非零位直接检验有分为干涉测量和非干涉测量，干涉测量法精度不如零位补偿，且存在干涉条纹的密度和共路假设的缺陷，非干涉测量法精度更低。计算机全息 CGH 相位干涉测量能够实现超深度的非球面测量，但复杂的 CGH 的制造相对困难，同时，单个 CGH 只能测量一种面型的非球面^[19]。因此研究新的非球面的检测方法仍是非常有必要的。

1.1.2 自动对焦技术及应用

自动调焦技术在精密仪器中有着广泛的应用。在 20 世纪 70 年代后期，由于精密仪器向高精度、自动化方向发展、因而自动调焦技术不断发展，应用范围迅速扩大，成为精密仪器中的一项重要技术。现在，自动调焦的主要应用于显微镜、照相机、摄影机。工业的自动控制，产品检测等^[20]。

从原理来说，自动调焦可以分成两类：直接调焦和间接调焦。直接调焦是由于光学系统在理想像面上边缘的对比度最大，通过直接检测像边缘的光强分布来获取离焦信息，如对焦深度法，离焦深度法，模拟滤波法；间接调焦是把物镜的理想成像位置作为参考面，用各种传感器检测像面位置相对于参考平面偏离信息，如三角测距法，红外测距法，超声波测距法，相位法等。从是否从被测物体获取评价信息可分为主动式和被动式。主动式对焦是由成像系统向成像目标发出某种形式的波，然后用相应的器件接收成像目标反射回来的波，按照一定的算法计算当前物距，由此确定调节量，并由执行机构完成，如红外测距法，超声波测距法。它对光照条件要求不高，且被摄物体的明暗变化对对焦效果不会产生明显影响。但有效对焦距离短，对一些反射率较小的物体或反射光束不能返回镜头时，将导致测距失灵或对焦不准。被动式对焦是直接利用成像目标的亮度或图像进行，不需借以成像系统的光源。由于无需光源，故可应用于体积要求较小的产品，但在物体亮度较暗或者亮度对比度较低时，分辨能力较低，容易造成对焦的误差，应用范围受到一定的限制。

在自动对焦系统中，最重要的器件是光电传感器。光电传感器是各种光电检

测系统中实现光电转换的关键元件,把光信号(红外、可见及紫外光辐射)转变成电信号的器件。它可用于检测直接引起光量变化的非电量,如光强、光照度、辐射测温、气体成分分析等;也可用来检测能转换成光量变化的其他非电量,如零件直径、表面粗糙度、应变、位移、振动、速度、加速度,以及物体的形状、工作状态的识别等。光电式传感器具有非接触、响应快、性能可靠等特点,因此在现代工业中获得广泛应用。近年来,新的光电器件不断涌现,目前较为精密的光电器件是 CCD(Charge Coupled Device)和 PSD(Position Sensitive Device)。

CCD 是一种半导体光电耦合器件,它分为线阵 CCD 和面阵 CCD 两种,是 20 世纪 70 年代初发展起来的新型半导体集成光电器件,具有测量精度高、无温度系数、使用寿命长等特点。它在一块硅面上集成了数千个各自独立的光敏元,当光照射到光敏面上时,受光光敏元将聚集光电子,通过移位的方式,将光量输出,产生光位置和光强的信息,可以形成光学图案,但是由于它每个独立的光敏元都有输出,致使它的取样和信号处理较慢,且由于其结构复杂,加工较为困难,成本高。

PSD 器件设计简单,直接输出光点的中心位置,有着稳定和可靠的优点。它的信号处理电路非常简单,价格低廉,能在纳米以内检测出结果,且分辨率也可达到纳米级,线性度可以达 0.1%。PSD 可以被制造成任何形状,如:螺旋状,圆形,球形 PSD 被用在 2-D, 3-D 角度测量上,对于平面检测装置上,可使用面阵 PSD。PSD 也可以在低温下测量,如固氮的测量。它的缺点是所测量的工件表面状况会影响测量值,如颜色斜率,反射特性等;另外被测件表面纹理变化时,会造成测量中光点的形状变化,由于 PSD 测量光点的中心值,所以也导致了 PSD 测量误差。ON-TRAK Photonics 公司已制作出高分辨率,低响应时间,线性度为 0.1% 的 60mm 的线阵 PSD 和 10*10mm 的面阵 CCD;浙江大学也有了位置分辨率小于 $< 0.1 \mu\text{m}$ 的一维 PSD 和分辨率小于 $< 5 \mu\text{m}$ 的二维 PSD。由于 PSD 在制造、精度、速度及信号处理的方便上较 CCD 均有较大优势,且随着半导体激光器的发展,PSD 具有很大的应用前景。

目前自动对焦技术在测量领域的发展主要以图像分析和处理为主,如机器视觉,数码相机,安防系统与精密测量等,但在数码产品上的应用尤其广泛。国外早期比较典型的有德国卡尔斯鲁厄大学研制的微操作视觉系统,它包含两部分:

光学显微镜、全局 CCD 摄像机和局部 CCD 摄像机。全局视觉系统用来观察显微机器人的工作空间和估计机器人的位置和方向，能将机器人定位在显微镜的视野中，精度达到 0.5mm。局部视觉系统对被测对象的位置定位精度为毫米级。它的对焦方式是采用多次对焦 (Multi-focusing) 的办法解决小焦深的问题：采集连续的几幅图像，把各自准确对焦的部分合成一幅图像，作为物体识别算法的输入，实现系统的显微对焦的视觉功能^[21]。自动对焦技术在数码相机和安防监控系统方面已经比较成熟。如 CDM optics 公司的专利 Wavefront Coding 利用波表光编码技术自动修正影像光学偏差，大大简化了自动聚焦难度。Wavefront Coding 技术能够让传统数码影像系统在非传统方式下工作，该系统通过改变光的相位进行工作，而不是依靠改变光圈的大小，不会有光线损失。一旦光线相位改变，CCD 上的影像会改变到焦点范围以外，产生一个锐利的影像，根据影像的锐利程度来判断物体的对焦状况。

对焦准确度的判断对于获取精确的图像信息起着极为重要的作用。在自动对焦技术领域的研究中，人们提出了多种多样的自动对焦评价方法。其中，光学显微镜自动聚焦的技术研究 22 一文中，在对普通光学显微镜进行一定改装的基础上，设计了一套显微镜自动聚焦系统，并且给出了图像的灰度差分绝对值之和算子，解决了自动聚焦过程中是否正确聚焦的判断问题，最后还给出了一套基于启发式搜索算法的聚焦搜索策略，以加快焦平面的搜索。文献 23 提出了一种基于小波变换的多分辨率分析方法来实现数字图像自动聚焦的算法，它通过对小波变换后清晰图像和模糊图像的高频系数的能量值进行计算比较，从而可以判断图像是否聚焦。还有的对焦算法根据边缘检测判断函数是否对焦，在自动对焦的跟踪速度和精度上达到较高要求^[24]。

浙江大学在自动对焦技术领域研究较多，对数字成像系统的自动对焦技术进行了一系列的研究。浙江大学光电系在图像非均匀采样^[25]、自动对焦区域设计^[26]、等方面进行了深入的研究，并提出了基于分辨力空间变化^[27]、基于彩色图像 RGB 分析^[28]等的自动对焦算法，在数码相机系统中，提出了瞳孔控制自动对焦技术^[29]和基于皮肤探测的自动对焦技术，并且还设计出了几种用于数字成像的自动对焦系统^[30]。

以图像分析和处理为主的测量方法，在提高测量精度时，若对图形成像效果

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库