

学校编码：10384

学号：19920101152726

廈門大學

硕士学位论文

超精密加工光学表面误差检测与质量评估

Error Detection and Quality Evaluation of
Ultra-Precision Machined Optical Surface

韩伟

指导教师：郭隐彪

专业名称：机械工程

答辩日期：2013年6月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈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其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名)：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

摘 要

随着先进光学元件的设计和制造技术的发展,各种超精密加工光学元件被广泛地应用于航天、航空、国防、等领域中。与此同时,对光学元件的面形及其参数的检测、面形质量的评价提出了更高的要求。合理的误差检测方法及面形质量评价指标,对改善光学元件表面质量以及提高补偿加工的制造精度起着重要的作用。长期以来,误差检测技术的发展速度制约到超精密加工光学元件制造技术的进一步发展,各国专家投入大量的人力和物力进行研究。

本文主要针对超精密加工光学元件基于三维坐标测量的误差检测方法,和光学表面质量评估技术进行研究。由三维坐标测量值提取非球面光学表面方程参数,尤其针对面形标准方程复杂的非轴对称非球面,提出一种准确的参数拟合方法。同时,在光学元件表面中频误差评估方面做了较为深入的探索。本文主要研究内容包括:

1. 根据轮廓仪测量的三维光学表面坐标值,提出基于初值估计的非球面光学表面标准方程参数提取方法,经实验验证可以达到较高精度。
2. 对强光系统中引起非线性自聚焦的中频误差,利用一维、二维波前功率谱密度(PSD)进行评价,探讨低频、高频成分对评价过程影响。
3. 基于经验模态分解(EMD)原理,将光学元件表面拟合残差分解为各阶固有模态函数(IMF),分离出光学元件表面空间各频段误差。

关键词: 光学元件; 误差检测; 面形评价

Abstract

With the development of optical design and manufacturing technology, more and more optical lenses have been widely used in aviation, space navigation, national defense and etc. At the same time, the requirement for the accuracy and surface profile equality of optical lens are becoming higher. The reasonable detection methods and evaluation indicators of surface quality play an important role in improving the surface quality and compensation machining accuracy. For a long time, the status of errors detection restricts the further development of manufacturing technology of the optical lens. The different countries' experts spent a long time and much money in doing research in the area.

The paper mainly does research in detection method of precision optical lens based on three-dimensional coordinates, and the evaluation technology of the surface quality. Deep exploration was done in extracting the standard parameters of aspheric equation according to the three-dimensional coordinates, and evaluating the mid-spatial frequency error of optical surface. The main work can be described as follows:

1. According to the three-dimensional coordinates from the profiler, the standard parameters of non-axisymmetric aspheric lens was fitted, and an accurate fitting method was raised. The relevant experiments proved it could reach high precision.
2. The mid-spatial frequency error easily leads to nonlinear self-focusing in highlight optics systems. Power spectrum density (PSD) is employed to evaluate mid-spatial frequency error of optical surface.
3. Based on the empirical mode decomposition (EMD), the fitting residual is decomposed to a series of intrinsic mode functions (IMFs) to acquire high-frequency error or mid-spatial frequency error of optical surface.

Keywords: Optical lens; Errors detection; Surface evaluation

参考资料

- [1] J.M.Hil, P.Salinari. The Large Binocular Telescope. Proc. SPIE, 2000
6267: 36-46.
- [2] 周志雄,邓朝晖,陈根余. 磨削技术的发展及关键技术[J]. 中国机械工程,2000,11(01-02): 186-190.
- [3] V.C. Venkatesh. Precision manufacture of spherical and aspheric surfaces on plastics, glass, silicon and germanium[J]. Current Science, 2003, 84 (9): 1211-1219.
- [4] 杨辉, 吴明根. 现代超精密加工技术[J]. 航空精密制造技术, 1997, 33(1): 1-8.
- [5] 何永辉, 蒋剑峰, 赵万生. 基于扫描白光干涉法的表面三维轮廓仪[J]. 光学技术, 2001,27(2): 150-152 .
- [6] Wolfe C R, Lawson J K. The measurement and analysis of wave front structure from large aperture ICF optics[A]. Proc of SPIE[C]. 1997, 2633: 361-383.
- [7] [苏]普里亚耶夫. 光学非球面检验. 北京: 科学出版社, 1982: 1-3, 5-9, 90-96, 280-284.
- [8] 辛企明. 近代光学制造技术. 北京: 国防工业出版社, 1997: 17-24.
- [9] 乔玉晶, 吕宁. 非球面及非球面测量技术. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2005,21 (5): 357-361.
- [10] 张海洪. 凸非球面的检验方法[J]. 红外, 2002, 12: 23-26.
- [11] 倪颖. 小型非球面轮廓测量仪的原理和应用[D]. 苏州大学, 2003.
- [12] 李圣怡, 戴一帆等. 大中型光学非球面镜制造与测量新技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [13] 杨力. 先进光学制造技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [14] 廖华奎, 王宝富. 解析几何[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 102-110.
- [15] 宋卫东. 解析几何[M]. 北京: 高等教育出版社. 2004: 47-52.
- [16] 熊艳艳, 吴先球. 粗大误差四种判别准则的比较和应用[J]. 2010, 23(1): 66-68.
- [17] 沙定国. 误差分析与测量不确定度评定[M]. 北京: 中国计量出版社. 2003: 68-76.
- [18] Enommo T, Shimazaki Y, Tarsi Y. Study on precision grinding of axisymmetric form. JSPE, 1996, 62(4): 564-568.
- [19] 于瀛洁, 李国培. 关于光学元件波面测量的功率谱密度[J]. 计量学报, 2003, (4):103-107.
- [20] 沈卫星, 徐德衍. 强激光光学元件表面功率谱密度估计[J]. 强激光与粒子束, 2000, 12(8): 392-396.
- [21] English R E. Optical system design[R]. UCRL-LR-105821-97-3, 122.
- [22] AikensDM, Wolfe C R, Lawson JK. The use of power spectral density (PSD) functions in specifying optics for the National Ignition Facility[A]. Proc of SPIE[C]. 1995, 2576: 281-292.
- [23] Xuejun Zhang, Jingchi Yu, Zhongyu Zhang, Quandou Wang, Weiping Zhen. Analysis of residual fabrication errors for computer controlled polishing aspherical mirrors, SPIE, 1997, 36(12): 3386-3391.
- [24] Lawson J K, Wolfe C R, Manes K R, et al. Specification of optical components using the power spectral density function[C]//Proc of SPIE. 1995, 2536: 38-50.
- [25] Elson J M, Bennett J M. Calculation of the power spectral density from surface profile data[J]. Appl Opt, 1995, 34(1): 201-208.

- [26] SONG Jianfeng, YAO Yingxue, XIE Dagang, et al. Effects of polishing parameters on material removal for curved optical glasses in bonnet polishing[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 37(5): 29-33.
- [27] 任寰, 蒋晓东, 黄祖鑫, 等. 高功率激光光学元件面形参数表征[J]. 强激光与离子束, 2005, 1(3): 409-411.
- [28] 张以谟. 应用光学(下)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982: 192-193.
- [29] 粟敬钦, 魏晓峰, 马弛, 等. 激光低频畸变波前模型的计算模拟[J]. 强激光与离子束, 2000, 12(s1): 163.
- [30] D. Malacara. Optical shop testing. Joh wiley&sons, Ine., (Second Edition) New York, 1991.
- [31] HARVEY J E, KOTHA A. Scattering effects from residual optical fabrication errors [J]. Proceeding of SPIE, 1995, 2576: 155-174.
- [32] J. K. Lawson, C. R. Wolfe, K. R. Manes, J. B. Trenholme, et al. Specification of optical components using the power spectral density function, SPIE, 1995, 2536: 38-50.
- [33] 张蓉竹. ICF系统光学元件高精度波前检测技术研究[D]. 四川: 四川大学, 2003.
- [34] Aikens D. Derivation of preliminary specifications for transmitted wave front and surface roughness for large optics used in Inertial Confinement Fusion ICF[A]. Proc of SPIE[C]. 1997, 2633: 350-360.
- [35] Aikens D M, Wolfe C R, Lawson J K. Use power spectral density (PSD) functions in specifying optics for the National Ignition Facility[A]. Proc of SPIE[C]. 1995, 2576: 281-293.
- [36] 程晓峰, 郑万国, 蒋晓东, 等. 用功率谱密度缺陷评价光学元件波前中频误差特性[J]. 强激光与离子束, 2005, 17(15): 1464-1468.
- [37] 曾昭. FIR线性相位数字滤波器优化设计研究[J]. 信号处理, 2001, 17(4).
- [38] Ingle. V.K. 数字信号处理及其MATLAB实现[M]. 电子工业出版社, 1998.
- [39] 周旭升, 李圣怡. 光学表面中频误差的控制方法—确定区域修正法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(11): 1668-1673.
- [40] JONES R A. Computer simulation of smoothing during computer-controlled optical polishing [J]. Applied Optics, 1995, 34(7): 1162-1169.
- [41] 邹红星, 周小波, 李延达. 时频分析回溯与前瞻. 电子学报: 2000, 28(9):78-84.
- [42] 刘红星, 左洪福, 姜澄宇. 往复机械特征频段信号的解调分解及其应用[J]. 振动工程学报, 2000, 13(2): 283-289.
- [43] Huang N E, Shen Zheng. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-Stationary Time Series Analysis. Proc. R. Soc. London. A454, 1998: 903-995.
- [44] 周旭升, 李圣怡. 光学表面中频误差的控制方法-确定区域修正法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(11): 1668-1673.
- [45] Boualem Boashash. Estimating and Interpreting the Instantaneous Frequency of a signal-Part I: Fundamentals. Proc. IEEE. 1992, 80(4): 520-538.

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