学校编码：10384　　　　　　　　　　　　　　　　分类号______密级______
学　　号：1992031152894　　　　　　　　　　　　　　　　UDC______

硕　士　学　位　论　文

磨削阶段大口径非球面光学元件拼接测量技术研究

Research on stitching measurement technology for large aspheric optics during grinding process

叶世蔚

指导教师姓名：　彭云峰　教授
　　　　　　　　杨　平　助理教授
专 业 名 称：　机械电子工程

论文提交日期：　2016 年　　月
论文答辩时间：　2016 年　　月
学位授予日期：　2016 年　　月

答辩委员会主席：__________
评　　阅　　人：__________

2016 年　　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

大口径非球面光学元件能校准像差，提高像质，减小光学系统的体积和重量，并增加光学系统的可靠性，因此其被广泛应用于航空航天、国防等先端科研技术领域。磨削阶段大口径非球面元件的面形检测是制约其推广应用的重要因素。坐标测量技术是实现磨削阶段光学元件面形检测的重要手段，但是该技术在解决大口径、高陡度非球面元件的高精度测量上仍存在一系列技术问题需要解决，比如自主开发的轮廓仪因成本高昂大多难以推广，轮廓仪测头传感器有效测量行程不足，待测工件的大尺寸相比轮廓仪运动量程受限，多段拼接方法测量效率与精度不足且无法实现对非球面三维面形的测量等。针对上述问题，本文对基于商用式小量程高精度轮廓仪的磨削阶段大口径非球面光学元件拼接测量技术进行了研究。论文的研究工作包括以下几部分。

（1）提出轮廓线多段拼接测量前的分段方法，并确定了分段方法中的参数。提出多段拼接算法，并仿真分析算法中运动误差对拼接精度的影响。搭建三轴拼接辅助平台，并用 Talysurf PGI 1240 轮廓仪对长条状非球面工件上两条不同轮廓线进行三段拼接的验证实验。实验结果表明，两条轮廓线的全口径拼接误差标准偏差值分别为 0.16μm 与 0.14μm。

（2）将轮廓线拼接测量拓展至非球面三维面形拼接，提出基于四轴运动平台的子区域拼接测量方法，建立了相应的子区域拼接算法，并仿真分析绕 Z 轴旋转误差对三维面形拼接精度的影响。在三轴拼接辅助平台上增设绕 Z 轴旋转平台，并分别对离轴抛物面工件和轴对称非球面工件进行三维面形拼接测量的实验验证。实验结果表明，两块非球面工件的全口径拼接误差标准偏差值分别为 0.21μm 与 0.42μm。

（3）本文开发了非球面拼接测量软件系统，包括轮廓线拼接测量模块与三维轮廓拼接测量模块，便于测量数据处理。

关键词：大口径非球面光学元件；拼接测量；亚微米级精度

Abstract

Large aspheric optical elements are extensively applied in aerospace and military field, because large aspheric optics can calibrate aberrations, improve image quality, reduce the volume and weight of the optical system, and increase the reliability of the optical system. The surface measurement of large aspheric optics during the grinding process is a key influence factor for its application. The coordinate measurement technology is an important way to realize the surface measurement of large aspheric optics during the grinding process. However, there are still a series of technical problems when the coordinate measurement technology is applied to achieve surface measurement for large aperture and high steep optics: the self-designed profilers are difficult to be popularized due to the high cost, the measurement range of profiler sensor is limited, the moving range of profiler is limited compared to the size of aspheric optics, the measurement efficiency and stitching accuracy of existing multi-segment stitching measurement technology are insufficient and the technology can't realize three-dimensional surface measurement. To solve the mentioned problems, the stitching measurement technology based on small-range commercial profiler is proposed to achieve high-precision surface measurement for large aspheric optics during the grinding process. The research work of this paper includes the following parts.

(1) To propose the segment planning method before measuring the aspheric optics, determine the parameters of the segment planning method, present the multi-segments stitching algorithm, and analyze the influence of motion errors affecting the stitching accuracy through simulations. Then to build the experimental setup with Talysurf PGI 1240 and self-developed three-axis fixture. Three-segments stitching is applied to measure two different aspheric profile lines to verify the proposed multi-segments stitching technology. The experimental results indicate that the standard deviations of stitching errors are 0.16μm and 0.14μm, respectively.

(2) To expand the multi-segments stitching technology to three-dimensional surface stitching technology, propose the sub-region stitching measurement method based on the four-axis fixture, build the corresponding sub-regions stitching algorithm, and analyze the influence of the rotation error along *Z* axis. Then to add a rotation stage along *Z* axis to the three-axis stitching fixture. The off-axis parabolic surface and axisymmetric aspheric surface are applied for experiments to verify the sub-region stitching technology. The experimental results indicate that the standard deviations of stitching errors are 0.21μm and 0.42μm, respectively.

(3) To develop the software system of stitching measurement technology for aspheric optics. The software system, including the multi-segments stitching module and the sub-region stitching module, is convenient for data processing.

Key words: Large aspheric optical surface; stitching measurement; sub-micron accuracy.

目 录

Contents