

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920091152475

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

磨床结构部件温度分析三维数据 可视化及内雕实现

**Visualization and Sub-Surface Engraving in 3D Data of
Temperature Analysis for Structure and Parts of Grinder**

吴 毅 虹

指导教师姓名： 郭隐彪 教授

专 业 名 称： 机械电子工程

论文提交日期： 2012 年 5 月

论文答辩日期： 2012 年 月

学位授予日期： 2012 年 月

答辩委员会主席：_____

评 阅 人：_____

2012年5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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

精密、超精密磨削机床是各种高精度零部件的制造母机，对国民经济和国防建设有着重大的意义，也是反映一个国家制造业水平的重要标志之一。随着计算机技术的发展，有限元技术的进步，有限元分析在超精密机床的设计、结构分析、加工质量影响因素研究以及监测方面起着越来越重要的作用。有限元分析能有效解决机床结构部件的应力分析、温度分析、振动分析、优化设计、加工状态模拟等方面的问题。而随着分析对象结构的日益复杂化，分析数据日益庞大，分析过程和结果需要大量存储空间，并且分析结果的三维动态观察往往依赖于相应的分析软件，影响了工作人员对分析数据的交互。因此，本文以超精密平面磨床主轴的温度分析数据为主要研究对象，提出了一种新的分析数据三维可视化方法。

对于超精密磨床，温度对其加工精度有重要的影响。本文以超精密平面磨床的主轴为例，首先对其进行热分析，提取分析结果；然后经过数据的三维三角剖分、密度点云生成等处理，输出可广泛应用的 DXF 文件，实现分析结果独立于有限元软件之外的三维可视化，方便工作人员对分析结果进行观测、分析与交流；最后验证可视化方法的正确性，将 DXF 文件进行内雕实现。本文主要工作如下：

1. 对主轴热源及边界条件进行研究，全面考虑各种热源的影响，以及热传导、热交换影响，在 ANSYS 软件中完成主轴的热分析，并使用 ANSYS 软件的二次开发功能，提取详细的分析结果数据。

2. 完成有限元分析数据的三维重构，建立了分析结果与原模型结合的数学模型，并提出了 Delaunay 三角剖分的改进映射算法，提高了三角剖分的准确度。

3. 在重构的模型上生成三维密度点云，用疏密不同的点云来表现分析结果数据；并用空间几何算法调整点云之间的光顺性、方向性。

4. 对激光内雕设备进行状态调整及加工参数测试实验，并在此基础上完成了温度分析数据三维点云的激光内雕实现。以此验证了本文提出的有限元分析数据三维可视化方法的正确性与普适性。

关键词： 超精密磨床； 温度； 有限元分析； 数据可视化； 三维点云； 内雕

Abstract

The precision and ultra-precision grinding machines have been the manufacturers of high precision parts, which are of great significance for the national economy and national defense construction. These also become one of the most important indicators of the national manufacturing industry. With the development of the computer technology and the finite element analysis technology, the finite element analysis plays an important role in ultra-precision machine tool design, structural analysis, the research of factors in machining quality and the monitoring. It is an effective solution to stress analysis, temperature analysis, vibration analysis, optimization design and simulation of processing state. As the object structure for analysis becomes more and more complex, and the data huger, large storage space is needed for analysis process and to save the result. Also, three-dimensional dynamic observation of the result depends on the analysis software from which it produced. This has affected the interactive between workers. In this situation, this paper gives a new method of visualization in three-dimensional data from analysis result, base on the temperature analysis result data of the spindle of the ultra-precision surface grinding machine.

Temperature has great affection on machining accuracy of the ultra-precision grinding machine. In this paper, as an example, the spindle of ultra- precision surface grinding machine is given a temperature analysis, and result data was extracted, the model was reconstructed base on three-dimensional triangulation, the data structure of point cloud with density was created, and the DXF files was generated which is widely used. This paper also realizes 3D visualization independent of the analysis software, which is portable for workers to observe and interactive. The point cloud is caved inside glass by laser to verify the correctness of the visualization method. The main work of this paper is as follows:

1. The heat source and the boundary conditions on the spindle are studied; all of the heat source, thermal conductivity and the convection are concerned. Then the thermal

analysis is done in ANSYS. The node information is extracted from the result of ANSYS by secondary development on ANSYS.

2. Complete the reconstruction of the model from the finite element analysis result data. Establish the mathematical model comprised of analysis result and the original model. At the same time, an improved mapping algorithm for Delaunay triangulation is developed, with which the algorithm becomes more accurate.

3. Generate point cloud with density based on the model reconstruction, which is used to express the data with the distance between points; also the orientation and the fairness of the point cloud are adjusted through the space geometric algorithm.

4. The performance and the parameter of the laser sub-surface engraver is tested and adjusted, the 3D point cloud of the data of thermal analysis is engraved in glass.

Key Words: Machines of ultra-precision grinding; Temperature; Finite element analysis; Visualization; 3D point cloud; Sub-surface engraving

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	IV
Table of Contents	VII
第一章 绪论	1
1.1 选题背景	1
1.1.1 光学非球面技术.....	1
1.1.2 超精密磨削技术.....	2
1.2 超精密磨削机床	3
1.2.1 国内外超精密磨削机床的发展.....	3
1.2.2 超精密磨床结构部件温度分析的重要性.....	4
1.3 科学计算可视化技术	6
1.3.1 科学计算可视化技术及其意义.....	7
1.3.2 科学计算可视化技术的应用领域及研究现状.....	8
1.4 本文主要研究内容	9
第二章 DXF 文件接口研究开发	12
2.1 DXF 文件概述	12
2.2 DXF 文件基本结构	13
2.2.1 DXF 文件中的组.....	13
2.2.2 DXF 文件中的段.....	14
2.3 ENTITIES 段结构分析.....	16
2.4 DXF 文件的写入	18
2.5 本章小结	19
第三章 磨床结构部件温度三维数据建模	20
3.1 磨床结构	20
3.2 机床结构部件热变形相关理论	21
3.2.1 热传递的三种基本方式.....	21
3.2.2 机床热变形过程分析.....	23
3.2.3 精密磨床结构部件热源分析.....	24
3.3 精密磨床主轴热载荷计算	25
3.4 精密磨床主轴热交换方式	27
3.4.1 表面热交换理论基础.....	28

3.4.2 轴承与润滑系统中压缩空气的对流换热.....	29
3.4.3 轴承与冷却系统中冷却液的对流换热.....	30
3.4.4 主轴与周围空气的对流换热.....	30
3.5 精密磨床主轴系统热特性分析	31
3.5.1 精密磨床主轴有限元模型的建立.....	31
3.5.2 热载荷与边界条件的确定.....	33
3.5.3 热稳态分析.....	34
3.6 本章小结	35
第四章 有限元可视化技术及分析数据预处理.....	36
4.1 有限元可视化技术	36
4.1.1 有限元可视化技术概述.....	36
4.1.2 有限元分析数据可视化技术的研究内容.....	37
4.1.3 三维有限元分析数据的可视化方法.....	38
4.2 有限元分析数据及其可视化难点	39
4.2.1 有限元分析结果的数据特点.....	39
4.2.2 有限元分析结果可视化的难点.....	41
4.3 有限元分析结果数据预处理	42
4.3.1 有限元分析数据的获取.....	42
4.3.2 有限元分析数据的预处理.....	44
4.4 本章小结	45
第五章 温度分析数据的三维三角剖分	46
5.1 K 近邻点搜索算法	46
5.2 Delaunay 三角剖分定义及特性	50
5.3 Delaunay 三角剖分优化准则	51
5.4 三角剖分算法	54
5.4.1 平面 Delaunay 三角剖分算法	54
5.4.2 三维 Delaunay 三角剖分算法	56
5.5 小范围翻转映射法	58
5.5.1 现有的 Delaunay 映射算法及其局限性	58
5.5.2 小范围翻转映射算法综述.....	60
5.5.3 小范围翻转映射算法过程.....	63
5.6 本章小结	65
第六章 三维温度密度点云的生成	66
6.1 Delaunay 三角网格排序及分类	66
6.2 三角面片上密度点范围的划分及生成	67
6.2.1 三角面片不受邻近密度点影响的情况.....	67
6.2.2 三角面片受到邻近密度点影响的情况.....	70
6.3 本章小结	73
第七章 三维温度密度点云的内雕实现	74
7.1 激光内雕技术概述	74

7.1.1 激光内雕技术的基本原理.....	74
7.1.2 大族 PHANTOM II 激光内雕机介绍	76
7.2 激光内雕设备的状态调整	77
7.3 磨床三维结构内雕的过程及问题	79
7.3.1 激光内雕机的一般工作过程.....	79
7.3.2 磨床三维结构内雕加工中遇到的问题.....	81
7.4 激光内雕设备的参数测试	83
7.4.1 内雕质量和主要影响因素.....	83
7.4.2 激光器电源电流对内雕质量的影响实验.....	85
7.4.3 激光聚焦深度对内雕质量的影响实验.....	89
7.5 磨床三维结构的内雕实现	91
7.6 三维温度密度点云的内雕实现	92
7.7 本章小结	93
第八章 结论与展望	95
8.1 总结	95
8.2 展望	96
参 考 文 献	97
硕士期间科研成果	102
致 谢.....	103

Table of Contents

Abstract.....	II
Table of Contents.....	VII
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background.....	1
1.1.1 Technology of Optical Aspheric.....	1
1.1.2 Technology of Ultra-precision Grinding	2
1.2 Machines of Ultra-precision Grinding.....	3
1.2.1 Development of Ultra-Precision Grinder at Home and Abroad.	3
1.2.2 Importance of Temperature Analysis on Parts of Ultra-precision Grinder....	4
1.3 Visualization in Scientific Computing.....	6
1.3.1 Significance of Visualization in Scientific Computing.....	7
1.3.2 Application Field and Status of the Visualization in Scientific Computing.....	8
1.4 Outline of the Thesis	9
Chapter 2 Development of DXF File Interface.....	12
2.1 Introduction to DXF File.....	12
2.2 General DXF File Structure.....	13
2.2.1 Groups in DXF File.....	13
2.2.2 Sections in DXF File.....	14
2.3 ENTITIES Section Structure.....	16
2.4 Write to DXF File.....	18
2.5 Conclusion.....	19
Chapter 3 3D Temperature Modeling of Grinder Parts.....	20
3.1 Structure of the Grinding Machine.....	20
3.2 Theory about Thermal Deflection of machine parts.....	21

3.2.1 3 Basic Mode of Heat Transfer.....	21
3.2.2 Analysis of Thermal Deflection of machine parts.....	23
3.2.3 Analysis of Heat Source in Precision Machine Parts.....	24
3.3 Calculating Thermal Load on Spindle of Precision Grinder.....	25
3.4 Mode of Thermal Transmission of Spindle of Precision Grinder.....	27
3.4.1 Basic Theory about surface Heat Transfer.....	28
3.4.2 Convection Heat Transfer between Bearing and Compressed Air in Lubrication System.....	29
3.4.3 Convection Heat Transfer between Bearing and Coolant in Lubrication System.....	30
3.4.4 Convection Heat Transfer between Spindle and Air around.....	30
3.5 Thermal Characteristic Analysis of Spindle of Precision Grinder.....	31
3.5.1 Founded the Finite Model of Spindle of Precision Grinder.....	31
3.5.2 Analysis of Thermal Load and Boundary Conditions.....	33
3.5.3 Steady Thermal Analysis.....	34
3.6 Conclusion.....	35
Chapter 4 Finite Element Visualization and Preprocessing of Analysis data.....	36
4.1 The Finite Element Visualization	36
4.1.1 Introduction to The Finite Element Visualization.....	36
4.1.2 Research Contents of The Finite Element Visualization.....	37
4.1.3 Visualization Method of 3D-Finite Element Analysis Data.....	38
4.2 Difficulty of The Finite Element Analysis Result Visualization.....	39
4.2.1 Characteristic of The Finite Element Analysis Result.....	39
4.2.2 Difficulty of The Finite Element Analysis Result Visualization.....	41
4.3 Preprocessing of The Finite Element Analysis Result.....	42
4.2.1 Extracting the Result of The Finite Element Analysis.....	42
4.2.2 Difficulty of The Finite Element Analysis Result	44
4.5 Conclusion.....	45
Chapter 5 3D Triangulation of Temperature Analysis Result.....	46
5.1 Algorithm for Finding k neighbors.....	46

5.2 Definition and Properties of Delaunay Triangulation.....50

5.3 Optimal Criterion for Delaunay Triangulation.....51

5.4 Algorithms for Delaunay Triangulation.....54

 5.4.1 Algorithms for Delaunay Triangulation in the plane.....54

 5.4.2 Algorithms for Delaunay Triangulation in 3D.....56

5.5 Triangulation Algorithm of Turning Mapping in Small Sector.....58

 5.5.1 Imperfection of the Existing Algorithms of Mapping.....58

 5.5.2 Introduction to Triangulation Algorithm of Turning Mapping in Small Sector.....60

 5.5.3 Process of Triangulation Algorithm of Turning Mapping in Small Sector.....63

5.6 Conclusion.....65

Chapter 6 Creation of 3D Point Cloud with Temperature Density.....66

6.1 Classify and Sort of the Delaunay Triangular Mesh.....66

6.2 Set Boundaries and Create Point Cloud with Temperature Density.....67

 6.2.1 In Case Boundaries Not affect by Point with Temperature Density.....67

 6.2.2 In Case Boundaries Be affect by Point with Temperature Density.....70

6.3 Conclusion.....73

Chapter 7 Realization of Sub-Surface Engraving of 3D Point Cloud with Temperature Density.....74

7.1 Introduction of Laser Sub-Surface Engraving Technology.....74

 7.1.1 Basic Principle of Laser Sub-Surface Engraving Technology.....74

 7.1.2 Introduction of DAZU PHANTOM II Laser Sub-Surface Engraver.....76

7.2 Adjusting the State of Laser Sub-Surface Engraver.....77

7.3 Process and Problems Sub-Surface Engraving for 3D structure of Grinder.....79

 7.3.1 Working Process of Laser Sub-Surface Engraver.....79

 7.3.2 Problems in Process of Sub-Surface Engraver for 3D structure of Grinder.....81

7.4 Parameters test of the Laser Sub-Surface Engraver.....83

 7.4.1 Quality of Sub-Surface Engraving and its Main Factors.....83

7.4.2 Experiment of How the current affect on the Quality of Sub-Surface Engraving.....85

7.4.3 Experiment of How the Focusing Depth of Laser affect on the Quality of Sub-Surface Engraving.....89

7.5 Realization of Sub-Surface Engraving of 3D Structure of Grinder.....91

7.6 Realization of Sub-Surface Engraving of 3D Point Cloud with Temperature Density.....92

7.7 Conclusion.....93

Chapter 8 Dissertation Conclusion and Outlook95

8.1 Dissertation Conclusion.....95

8.2 Outlook.....96

Reference.....97

Papers.....102

Acknowledgement.....103

第一章 绪论

1.1 选题背景

1.1.1 光学非球面技术

非球面,是指与球面有所偏离的曲面,一般分为轴对称非球面和非轴对称非球面(柱面)两种^[1]。和传统球面光学元件比较,非球面光学元件拥有着相对极为优良的光学性质。光学中采用非球面元件能够优化光学系统结构,减轻重量;减少光能损失;扩大视场;还能够很好地矫正球面元件的球差、彗差、场曲、畸变等多种像差,从而获得高质量的图像效果。

非球面光学元件有着极其优良的光学性能,可以满足国防军事、能源、航空航天、天文、光电技术等高新科技领域需求,同时还大量应用于高端民用产品中,提高生活质量。经过精密磨削加工的大口径光学非球面元件在军事上有重大用途,如红外探测及热成像、微光夜视、导弹引导头、激光武器以及指挥等方面;在能源、航空航天、天文等尖端科技中,大口径非球面元件是激光核聚变装置、卫星用光学系统、高能激光、大型天文望远镜等系统的核心组成部分之一;在医疗领域中激光手术刀、内窥镜等各种治疗和诊断设备对非球面元件的需求也急速增长。而中小型非球面元件则更多的服务于高端民用光电产品领域,例如在计算机、光通讯、摄影摄像设备以及激光打印机等各领域高端电子产品中,光学非球面元件作为信息传递的关键组件,起着非常重要的作用^[2-3]。

目前,非球面的加工制造一般是首先加工出与非球面的最为接近的球面,然后利用不同的加工方式将球面加工成所需要的非球面。加工种类按照不同的成型方法可以分为四类^[4-6]:模压成型方法、附加成型方法、特种加工方法和去除成型方法。其中模压成型法是指将可塑化材料注射或模压非球面模具上,加温加压并且在无氧的条件下,一次性直接模压成型非球面零件,效率高,适合于中小零件的大批量生产,但其模具精度要求极高,加工成本很高。附加成型方法是指按照一定的尺寸要求将光学涂层使用电镀或者蒸镀法,附加在球面或平面上;特种加工方法一般用离子束、电子束方法以原子级别的去除材料,加工精度高。但

是这两种加工工艺往往存在效率低、成本高等问题^[7]；而且由于光学元件和模具多数为脆硬材料，因此，大型非球面的加工主要采用精密磨削、超精密研磨与抛光等去除成型方法。光学非球面元件采用精密与超精密磨削技术制造，不仅有着较高的加工效率，而且可以获得高质量、高精度的表面，表面粗糙度较低。这极大地促进了光学非球面元件的推广应用。同时，随着光电系统对非球面光学零件的需求越来越迫切，其表面质量及轮廓精度的要求越来越高，光学非球面零件的超精密磨削技术的研究越来越受到世界各国的高度重视。

1.1.2 超精密磨削技术

磨削加工是当前机械制造业中进行精密加工、超精密加工的重要加工技术，其最大的优点是加工精度高、加工材料范围广。磨削技术可用于加工多种材料，如普通黑色金属材料、非金属硬脆材料等。

精密和超精密加工技术一般是指加工精度达到某一量级的所有制造技术的总称。以我国当前科学技术发展水平为依据，通常把尺寸、形状精度在 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 R_a 为 $0.04\sim 0.16\mu\text{m}$ 的磨削加工归于精密磨削技术。超精密磨削加工技术是指当代能达到最高尺寸、形状精度和最低磨削表面粗糙度值的磨削方法，其尺寸、形状精度 $\leq 0.1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度可达到 $R_a \leq 0.025\mu\text{m}$ ^[8]。精密与超精密磨削技术，是加工精密金属陶瓷、工程陶瓷、玻璃、碳素纤维塑料、花岗岩等硬脆材料及钛合金、高强度钢、高温合金和不锈钢等难加工材料的有效手段。

超精密磨削加工在加工过程中受到许多复杂因素的综合影响，这些影响因素在很大程度上决定了磨削加工精度。实现精密与超精密磨削加工的首要条件就是要解决存在于这些因素中的主要矛盾，如：超精密磨削机床，超精密磨具，超精密加工材料，超精密磨削工艺，超精密加工环境控制（包括恒温、隔振、洁净控制等）和超精密磨削的检测和控制技术等。同时，为了提高磨削加工的精度，精密、超精密磨削技术不断的采用当前最新的尖端科技，其所涉及的学科领域范围广泛；所以精密与超精密磨削过程的研究，是一个跨学科的、复杂的系统问题，它已不仅是一个专门的工艺技术，而是包括当前最尖端科技成果的一个复杂系统工程。

正是由于磨削加工过程的复杂性与多样性，而且精密与超精密磨削加工技术的精度要求极高，在此研究领域，还存在着许多问题没有定论，甚至还没有被

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