

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 18220051301705

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

四轴精密磨床关键部件的机械设计与结构分析

Mechanical design and structure analysis of Four Axis Precision

Grinding Machine

蔡海洲

指导教师姓名: 郭隐彪 教授

专 业 名 称: 机械制造及自动化

论文提交日期: 2008 年 月

论文答辩时间: 2008 年 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

精密加工水平是衡量一个国家制造能力的标准,发展精密加工机床是发展精密加工的重要内容。精密机床技术是各种高新技术的综合结晶,是要持续发展的技术,是不公开的技术,是不能复制的技术,是决定未来竞争力的技术。

论文首先论述了平面精密磨床的机械总体结构和技术参数,并根据机床设计原则,全面考虑了各影响参数,对其关键部件的结构设计进行了设计。然后介绍了磨床的伺服传动系统的设计和砂轮修整器的设计。利用先进的三维设计软件关键部件进行三维建模,利用有限元分析软件对其进行动、静态分析,最后对其做优化设计。在结构分析中,首先综述了有限元分析和优化设计的现状及发展趋势,简要论述了有限元静、动态分析的基本求解过程。然后介绍了有限元分析软件的基本功能及使用特点。建立了立柱部件有限元分析模型,建模中,正确分析了立柱的载荷、附加质量、以及立柱的约束条件,合理确定了单元类型及形态。对立柱部件三维实体模型,计算了立柱部件整体变形、前十阶固有频率,并对各阶主振型进行了分析。在此基础上对立柱做了优化设计,改进了其机械结构,提高了其工作性能。

本课题主要完成的工作如下:

1. 四轴数控精密磨床的整体机械设计, 以及其关键部件: 床身及工作台、立柱、磨头的设计。
2. 伺服传动系统和砂轮修整器的设计。根据磨床的工作条件以及相关公式, 通过计算选择了合适的伺服传动系统, 经过对比和研究, 独立设计了符合本台精密磨床工作特点的砂轮修整器。
3. 立柱的有限元分析和优化设计。包括静态分析和动态分析, 根据所得结果对立柱结构进行了优化设计, 达到了预期目标。

关键字: 精密磨床、机械设计、结构分析

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Precision engineering is an important standard to scale a Country's manufactory ability. Precision engineering technic is a compositive technology. It needs to be kept developing, and it's not an open technology, it can not be copied, as it determined who will win the future. Recently, the NC machine tool has been used widely for manufacturing's prospering. The proportion of NC machine in enterprise increased greatly.

This thesis, studied grinder's mechanical design, used finite element analysis software to make static and dynamic analysis of grinder's stanchion, and optimized its structure. After these works above, we get satisfying result, it provide credible data for grinder's optimization designing.

In this thesis, took grinder's moving system and grinder wheel correction structure for example, described their mechanical design process; took the stanchion for example, described its optimization process. In the part of structure analysis, introduced finite element techniques status and developing direction, made a brief of the steps for static and dynamic design. Through these work, we got the stanchion's static distortion and dynamic performance, and then optimized it by re-design the stanchion's mechanical structure.

Main content is listed as following:

- (1) Mechanical design of Four Axis Digital Control Precision Grinding Machine and its key department: lathe bed, stanchion and grinding head.
- (2) Mechanical design of the Servo-driving system and the grinder wheel correction structure.
- (3) Static and dynamic analysis of stanchion, made optimization of stanchion base on the result of analysis.

Key words: precision grinder, mechanical design, finite element analysis

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

第一章、 绪论	1
1.1 精密机床设计发展现状	1
1.1.1 精密机床设计的发展.....	1
1.1.2 现代精密机床设计思想.....	1
1.1.3 精密机床设计新发展.....	3
1.2 静、动、热一体化设计与 CAD/CAE 技术	4
1.3 精密机床发展存在问题	6
1.4 精密机床有限元设计及发展趋势	8
1.4.1 有限元设计的发展.....	8
1.4.2 优化设计方法.....	9
1.5 课题研究内容	9
第二章、 基于有限元法的四轴数控精密机床设计	10
2.1 精密机床结构设计准则	10
2.2 精密机床大件的静刚度	12
2.3 精密机床大件的动态特性	12
2.3.1 振动特性的主要指标.....	13
2.3.2 动刚度的主要影响因素.....	16
2.4 有限元法在机床结构设计中的应用	17
2.4.1 用有限元法对结构进行静态力学分析.....	17
2.4.2 用有限元法对结构进行动态分析.....	19
2.5 本章小结	19
第三章、 四轴数控精密平面磨床的机械结构设计	20
3.1 磨床的总体目标及参数	20
3.2 磨床的总体结构设计要求和主要部件	20
3.3 磨床的总布局及主要结构设计要求	22
3.4 伺服进给系统的设计	27
3.4.1 电机控制类型的选择.....	27

3.4.2 伺服进给系统的设计原则	28
3.5 砂轮修整器的设计	30
3.5.1 砂轮修整方式的对比	31
3.5.2 砂轮修整器技术参数及精度要求	35
3.6 本章小结	39
第四章、四轴数控精密平面磨床部件有限元分析及优化	40
4.1 有限元分析软件	40
4.2 有限元分析类型	43
4.3 立柱的三维建模及前处理	44
4.4 立柱的静态分析	45
4.5 立柱的动态分析	48
4.6 立柱的优化设计	51
4.7 本章小结	55
第五章、总结与展望	56
5.1 全文总结	56
5.2 研究展望	56
附件一 有限元分析流程	58
附件二 磨床图纸	60
参考文献	62
硕士期间发表论文	64
致谢	65

Contents

chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Status of Precision Machine Tool's Design.....	1
1.1.1 Phases of Precision Machine Tool's Development.....	1
1.1.2 Idea of Modern Design Method for Precision Machine Tool.....	1
1.1.3 New Development of the Idea of Precision Machine Tool's Design.....	3
1.2 Integrative Design of Static, Dynamic and Thermodynamics.....	4
1.3 Precision Machine Tool's Status and Problem.....	6
1.4 Finite Element Technic Status and Direction.....	8
1.4.1 Development of Finite Element Technic.....	8
1.4.2 Method of Optimizing.....	9
1.5 Outline of the Thesis.....	9
chapter 2 Machine Tool's Structure Design and Analysis Theory Based on Finite Element Technic.....	10
2.1 Role of Precision Machine Tool's Design.....	10
2.2 Precision Machine Part's Rigidity.....	12
2.3 Precision Machine Part's Dynamic Performance.....	12
2.3.1 Main Factor of Vibrational Characteristic.....	13
2.3.2 Main Factor of Dynamic Rigidity.....	16
2.4 Using of Finite Element Technic in Machine Tool Design.....	17
2.4.1 Static Analysising by Finite Element Technic.....	17
2.4.2 Dynamic Analysising by Finite Element Technic.....	19
2.5 Brief Summary.....	19
chapter 3 Mechanical Design of Precision Grinder Machine.....	20
3.1 General Target and Parameters of Grinder's Design.....	20
3.2 Requirement of Mechanical Design for Main Structure parts.....	20
3.3 Layout and Requirement of the Design.....	22
3.4 Design of the Servo System.....	27
3.4.1 Choose of the Control Style of the Motor.....	27
3.4.2 Principle of the Design for Servo System.....	28

3.5 Grinder Wheel Correction Structure.....	30
3.5.1 Importance of Grinder Wheel Correction Structure.....	32
3.5.2 Technic Requirement and Precision Parameters.....	36
3.6 Brief Summary.....	40
chapter 4 Finite Element Analysis and Optimizing of the parts.....	40
4.1 Software of Finite Element Technic	40
4.2 Types of Finite Element Analysis.....	43
4.3 Modeling and Preprocess of the Stanchion.....	44
4.4 Static Analysis of the Stanchion.....	45
4.5 Dynamic Analysis of the Stanchion.....	48
4.6 Optimizing of the Stanchion.....	51
4.7 Brief Summary.....	55
chapter 5 Conclusion and expectation.....	57
5.1 conclusions.....	56
5.2 expectations.....	56
Accessory one Process of Finite Element Analysis.....	58
Accessory two Pictures of Grinder Machine.....	60
References.....	62
Papers.....	64
Acknowledgement.....	65

第一章 绪论

1.1 精密机床设计发展现状

精密机床是现代先进制造技术的工作母机，在某种意义上，一个国家精密机床设计和制造水平的高低，决定着这个国家整个制造业水平的高低。在信息革命的推动下，现代工业技术发展迅猛。近年来，各国在信息工业，航空航天工业，军事工业，电子工业，能源工业等领域竞争日益激烈。随着这些高科技领域日益向高速、高效、精密、轻量化和自动化的方向发展，对精密机床的要求也越来越高。现代精密机床正向超精密、高速、大功率、方向发展^[1-3]。

1.1.1 精密机床设计的发展

随着社会生产的发展和科学技术的进步，精密机床设计思想也在不断进步、发展和完善。现代精密机床设计思想的形成，主要经历了这样几个阶段：

(1) 经验设计阶段：二十世纪40年代中期之前，机床设计思想的主要任务是解决加工与强度问题，即刀具与工件之间需要某种相对运动，以加工出一定形状的工件。同时机床零部件还应具有足够的强度，不受破坏。

(2) 试验设计阶段：在二十世纪40年代中期到60年代初期，随着科学技术的发展及工艺水平的提高，机床设计的任务不仅要解决加工与强度的问题，更主要的是还要解决机床的精度及各种性能问题。如机床的运动精度、刚度、抗震性、低速运动平稳性、热变形、噪声和磨损等问题。

(3) 计算机辅助设计阶段：二十世纪60年代中期以来，科学技术的新成就为机床设计提供了大量的测试数据，理论研究也取得了更大发展，特别是电子计算机的出现和应用，使机床设计思想进入了一个崭新的阶段。机床设计思想的主要内容是，把实际问题简化为模型，根据提供的数据和选定的目标函数，用计算机进行分析、计算并选定最佳方案^[4]。

1.1.2 现代精密机床设计思想

本世纪初以来随着科学技术的飞速发展，对精密机床产品的质量要求越来越高，新材料、新技术的应用也同时有了很大发展，国内外出现了许多新型设计理论和方法，这

些都使得现代机床设计思想进入了一个以试验研究及理论计算为基础的较高级阶段。研究设计程序、规律及设计思维和工作方法，不仅寻求产品本身的最佳化，还要实现从产品设计到制造、试验、检验的全过程以至整个系统的最佳化。现代精密机床设计思想是与现代科技发展相适应的一种先进的设计思想。其主要内容包括：

(1) 设计对象系统化，把设计对象即机床产品视为一个系统不仅关注其组成单元要素，还要考虑边界、环境和输入输出等特征，避免传统设计的那种局部、孤立地处理问题，而是整体、系统地对待设计对象。这还有助于引入系统论、信息论和控制论等现代科学理论，用系统观点进行全方位设计。

(2) 设计内容完善化，现代机床设计思想已超出常规的运动设计、动力设计和结构设计范畴，扩展到概念设计、可靠性设计和宜人性设计等更加完善的内容。使机床产品实用、经济、美观及舒适，具有更强的竞争力。

(3) 设计目标最优化，现代机床设计思想追求的是目标最优化，不仅是对某项设计参数的单一目标优化，而且要对系统的诸多参数进行多目标的整体优化，利用计算机求得理论上的精确解即最佳方案，使产品设计在各项技术性能、可靠性及经济性等方面，实现最优效果。

(4) 设计问题模型化，模型是对设计问题的高度概括和抽象，数学模型是最适于分析和研究的一种形式。通过数学模型就可把工程问题与数学理论紧密结合起来，借助计算机对设计问题进行定量运算和优化处理，并可应用动态设计和动态仿真等现代设计技术。

(5) 设计过程动态化，现代机床设计思想更加注重产品的动态性能，在设计阶段就要对产品动态性能进行预测和优化。动态设计首先要建立系统的动力学数学模型，并通过验算或实际测试加以验证。然后用计算机对模型进行动态分析，修改某项参数，比较相应结果。直至达到满意的动态性能，最后获得最优动态设计方案。

(6) 设计手段计算机化，计算机辅助设计(CAD)已成为现代设计方法中必不可少的设计手段和强大支柱。在初步设计阶段，可进行方案的分析、选择、评价和决策。在技术设计阶段，可进行结构和参数确定，运动、动力或其他特性分析，材料选择，成本计算，参数优化和绘图等工作。在工作图设计阶段，可绘制零件图、标注尺寸及公差配合，编制、存贮和管理各种技术文件。

1.1.3 精密机床设计新发展

1. 意识性生产

在第6次国际机床技术工作者会议(IME)上瑞典皇家工科大学的三位讲师(Prof. G. Soblenius先生, Dr. A. Kjellberg女士和Dr. H. Hadeby先生)提出了一种新的机床设计思想,对精密机床设计提出一种新的要求,即要求精密机床设计能适应“意识性生产”(Conscious Production)并就这种观念的各种基本概念、设计方法论、硬件系统进行了广泛的论述。所谓“意识性生产”,就是应该重新认识在与国际性IMS(Integrated Manufacturing System)观念有关的最新意识生产活动中的人的价值或社会地位的重要性,要求制造业增强环保意识、全球共存协调意识,增强企业与社会、企业与国家、企业与国际社会之间关系的意识。具体地说,对机床设计提出以下9个方面的新要求:

1) 具体化(Concrete); 2) 有序性(Order-oriented); 3) 精巧性(Neat); 4) 耐久性(Sustainable); 5) 协调与相互制约性(Concurrent&cross-disciplinary); 6) 独创性(Ingenious); 7) 最优化(Optimized); 8) 统一化、隐形化、集约化(Unifying invisible Contraction); 9) 自我反映性(Self-reflective)。这九项内容的英文词首恰好构成了“CONSCIOUS”(意识的)一词。

2. 与多民族习惯协调的全适应型生产

日本工业大学伊东谊教授在有关机床设计的课题中,也提出一种全新的精密机床设计思想CDBM,即“与多民族习惯协调的全适应型生产”(Cultural Difference-Based Manufacturing意为基于文化差异的生产),其核心就是地域适应型精密机床的开发应用。由于在世界各地用电的标准电压不尽相同,环境温度、湿度差异等物理性设计参数方面的区别,而且还有各地用户的技术水平,用户对先进技术的接受能力和掌握程度的高低不齐以及人的精神面貌、风俗习惯等精神因素区别。因此所谓“地域适应型机床”实际上是一种含有“生产文化”设计思想的新概念机床。而“生产文化”则是将政策学、民族学、地域学及社会科学等多品种学科合为一体的综合文化。

3. EPD设计思想

EPD (Electronic Product Definition)是CV公司面向21世纪提出的具有划时代意义的产品自动化定义的新概念和设计方法,开辟了精密机床设计思想的新领域。EPD设

计新方法的主要特征是：

(1) 实现了CAD/CAM从面向工件到面向装配的转变。

(2) EPD实际上模糊了设计与制造的界限。它延伸了设计过程，使得设计与制造实现了有机结合，即实现了CAD/CAE/CAM的高度一体化。

(3) 全新的产品概念。它包括：

- ①柔性的模块化的设计方法；
- ②在整个产品生命周期内，使用户满意；
- ③“虚拟产品”开发；
- (4) 全新的生产模式。

①计算机、自动化、新材料、管理技术的引入及其与传统制造技术的结合，使制造技术成为一个能驾驭生产过程的物质流和信号流的系统工程；

②EPD贯穿了从产品设计、加工制造到产品销售及使用维修等全过程，成为集“市场—产品设计—制造—市场”为一体的大系统；

③生产规模的扩大及最佳经济效果的追求，使EPD比传统技术更加重视技术和管理的结合，重视制造过程组织和管理体制的简化及合理化。

④EPD的目的在于能够实现优质、高效、灵活、降低成本、大幅度缩短产品投放市场的时间^[4]。

1.2 静、动、热一体化设计思想与CAD/CAE技术

由对机床设计思想的发展可以看出，现代机床设计一方面更加强调整体性和全局性，避免局部地、孤立地处理问题。另一方面，现代机床设计更加重视计算机的作用，使设计更精确，更经济，更高效。当今信息产业突飞猛进的发展，也给传统的机床设计带来了一系列新的变化。首先，计算机硬件性能的不提高使以往只能在大型工作站上才能进行的设计和计算的计算工作可以转移到廉价的微机上。第二，计算机软件的巨大丰富不但使以往价格昂贵的工程应用软件变得相对低廉，而且越来越友好的界面，令使用者越来越容易学习和操作。第三，网络技术日益广泛的使用更是令制造业的新概念层出不穷。比如PDM及并行开发技术；由对物质的操作转向对信息的操作；基于因特网的设计与制造等等^[6-8]。

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