

学校编码: 10384
学号: 18220051301703

分类号_____密级_____
UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

螺旋锥齿轮数控加工关键技术的研究

On Spiral Bevel Gear CNC Manufacturing Key Technology

石 林

指导教师姓名: 姚 斌 教授

专 业 名 称: 机械电子

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 5 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

螺旋锥齿轮是一种用来传递相交或交错轴且具有定传动比回转运动的齿轮副，它主要分为弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮两种。在传动中，该类齿轮具有重叠系数大、承载能力强、传动更加平稳等一系列优点，所以被广泛应用于航天、汽车、机床等工业领域，因此螺旋锥齿轮已成为现代机械行业必不可少的传动部件。目前螺旋锥齿轮的加工主要使用专用的锥齿轮铣齿机床，由于其成型机理较为复杂，螺旋锥齿轮加工长期以来存在着较多问题，如加工调整繁琐、生产周期较长、成本较高等，而且由于铣齿机床结构尺寸等因素的制约，较难实现尺寸超过其规格产品的加工（如矿山与船舶上用的大模数、大尺寸螺旋锥齿轮副的加工）。因此，解决这些问题对螺旋锥齿轮的加工具有十分重要的意义。

基于数字化制造的思想，把计算机技术和数控加工技术充分的应用于螺旋锥齿轮的加工制造中，来解决现在螺旋锥齿轮加工中存在的问题，无疑对高效、高精度、高柔性化螺旋锥齿轮的加工具有重大的意义。本文正是基于 CAD/CAM 技术和多轴联动数控技术，提出了一种适用于通用多轴机床数控加工格里森螺旋锥齿轮新的加工方法。该方法在普通的铣削加工中心上就能完成各种齿制、各种模数规格螺旋锥齿轮的加工，摆脱受专用设备加工的制约。尤其适合小批量以及特殊规格和大模数齿轮加工。另外，这种方法利用自行开发的软件省去了螺旋锥齿轮实际加工中一些繁琐的计算调整，降低了对操作人员的要求，同时缩短了产品的开发周期，减少了投入成本。所以说这种螺旋锥齿轮新的加工方法能够带来很好的经济社会效益。

论文主要研究了螺旋锥齿轮的加工技术，主要包括以下几方面的内容：

1. 介绍了螺旋锥齿轮的基本概念和相关理论，对螺旋锥齿轮传统的加工方法进行了运动解析。
2. 根据齿面加工的要求进行加工中心结构和数控系统的选型。
3. 编制螺旋锥齿轮的加工工艺，并在 UG 软体下进行刀位轨迹计算，根据加工中心的结构和数控系统的指令格式构建后处理，生成加工代码。
4. 在 UG NX 环境下对螺旋锥齿轮的加工部分进行了二次开发。

5. 进行加工试验，完善基于通用多轴机床加工螺旋锥齿轮的加工工艺。

关键词：螺旋锥齿轮；数控加工；UG 二次开发技术

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

Bevel gears are used for transmitting the rotational motion of the crossing or interleaving axes with the constant transmission ratio. They include spiral bevel gears and hypoid gears. Due to its performance, such as the big overlap coefficient, the high carrying capacity, the smooth transmission, spiral bevel gears are widely used in many industry fields, such as aviation, automobile and machine tool. So bevel gears have become essential transmission components in modern machinery industry. Nowadays its production is mainly finished by the special machine tool. But because of the complexity of machining principle, there are a lot of problems remained for a long time. For example, the manufacture is complex, time-spending and costly. What's more, restriction of the machine structure and size, make it impossible to machine some big dimension gear pairs. Therefore, it is significant to solve these problems on processing of the spiral bevel gears.

Based on Digital Manufacturing theory, it is significant to finish gears with high efficiency, high precision and high flexibility, which use computer technology and CNC technology to solve the problems above. The thesis brought forward a new Gleason spiral bevel gears modeling method fit for NC machining on CNC machine center, based on the CAD / CAM integration technology and multi-axis CNC technology. The method will be able to complete all kinds of gear system and various module spiral bevel gear machining in an ordinary milling machine center, which is from the special machine tool constraint. Furthermore, by using this method, some cumbersome calculate was eliminated in the actual machining, the requirement of the staff was lowered in the operation, the product development cycle was shortened, and the cost was reduced.

The main contents of this paper are as follows:

1. The basic concept and related theory of bevel gears were briefly introduced, and the movements of the traditional machining method of spiral bevel gears were analyzed.

2. According to requirements of the tooth surface machining, machine center structure and CNC system were selected.

3. Make out the processing of spiral bevel gears, and calculate the cutter location under the UG software. Then according to machine center structure and directive format of CNC system, building post processing, and getting the G-code.

4. The machining part of the spiral bevel gears was redeveloped in UG NX.

5. Test machining of the spiral bevel gears, and perfect the processing of spiral bevel gears based on the ordinary multi-axis tools.

Keywords: Spiral bevel gear; CNC machining; Redevelop technology of UG

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 螺旋锥齿轮加工的发展概况和现状.....	1
1.3 采用通用方法加工螺旋锥齿轮的目的和意义.....	5
1.4 本课题的研究内容.....	6
第二章 锥齿轮的成型原理和及其建模技术	7
2.1 螺旋锥齿轮的基础知识.....	7
2.2 传统加工方法的运动解析.....	8
2.3 接触区主动控制的弧齿锥齿轮建模方法.....	11
2.4 本章小节.....	11
第三章 数控加工技术和加工方法的研究	13
3.1 数控加工中心的选型.....	13
3.2 数控加工及其仿真技术.....	15
3.3 UG-CAM 软件的基础知识.....	19
3.4 UG NX 软件的二次开发技术.....	22
3.5 本章小节.....	23
第四章 螺旋锥齿轮通用加工工艺的研究	25
4.1 大轮的加工工艺的研究.....	25
4.2 小轮的加工工艺的研究.....	39
4.3 刀位轨迹的计算.....	49
4.4 本章小节.....	50
第五章 后处理技术	51
5.1 后处理计算原理.....	51
5.2 利用 UG/Post Builder 建立后处理.....	53
5.3 加工实验.....	57

5.4 本章小节.....	58
第六章 齿轮加工模块的二次开发	59
6.1 UG Open/Grip NC 二次开发.....	59
6.2 UG/Open API、UIStyler 等联合开发.....	63
6.3 本章小节.....	69
第七章 结论和展望	70
7.1 成果总结.....	70
7.2 展望.....	71
参考文献.....	72
致 谢.....	75
攻读硕士期间发表的学术论文和所获奖励	76

CONTENTS

Chapter 1	Preface.....	1
1. 1	Foreword.....	1
1. 2	Development history and actuality of Spiral Bevel Gears machining	1
1. 3	Purpose of Spire Bevel Gears machining in CNC Machine Center	5
1. 4	Content of this paper	6
Chapter 2	Machining principle and Modeling technology of Spiral Bevel Gears	7
2. 1	Basic concept of Spiral Bevel Gears	7
2. 2	Analyzing movement of traditional machining	8
2. 3	Modeling technology of Spiral Bevel Gears.....	11
2. 4	Summary of this chapter	11
Chapter 3	Research on CNC technology and Machining method ..	13
3. 1	Selecting type of CNC machining center	13
3. 2	CNC machining and imitation technology	15
3. 3	Basic knowledge of UG-CAM.....	19
3. 4	Redevelop technology of UG	22
3. 5	Summary of this chapter	23
Chapter 4	Research on Spiral Bevel Gears Processing	25
4. 1	Research on big Spiral Bevel Gear Processing.....	25
4. 2	Research on big Spiral Bevel Gear Processing.....	39
4. 3	Calculate Cutter Location.....	49
4. 4	Summary of this chapter	50
Chapter 5	Post processing Technology.....	51
5. 1	Calculating principle of Post processing.....	51
5. 2	Biliding Post processing use UG/Post Builder	53

5.3 Machining experiments.....	57
5.4 Summary of this chapter.....	58
Chapter 6 Redevelop Technology.....	59
6.1 Selecting Redevelop Tools.....	59
6.2 Redevelop use UG/OPen API and UIStyler.....	63
6.3 Summary of this chapter.....	69
Chapter 7 Conclusion and outlook.....	70
7.1 Conclusion.....	70
7.2 Outlook.....	71
References.....	72

第一章 绪论

1.1 引言

螺旋锥齿轮是齿面节线为曲线的锥齿轮,用来传递相交或交错轴之间的定传动比回转运动和动力,主要包括无偏置距的弧齿锥齿轮和有偏置距的准双曲面齿轮。在相交轴传动中,该类齿轮具有重叠系数大、承载能力强、传动更加平稳等一系列优点,所以被广泛应用于航天、汽车,机床等工业领域。因此,螺旋锥齿轮成为现代机械行业必不可少的传动部件^[1-4]。

工业是国民经济的基础,制造技术是工业的根本,随着我国经济的迅猛发展,振兴传统的制造业势在必行。当前机械制造业面临着前所未有的机遇和挑战,特别是在一些技术附加值高的制品的制造,如螺旋锥齿轮设计和制造技术方面,与国外先进水平还存在着很大的差距,如何赶超将任重而道远。

计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术是实现设计制造自动化、增强企业竞争能力、加速国民经济发展和国防现代化建设的一项关键技术^[5]。近几年,在国内 CAD/CAM 技术已经广泛应用于模具、航空航天、汽车和造船等领域,并推动其迅猛的发展。同时,由于数控技术的日臻完善成熟,我国的工业自动化水平已经提升到一个新的阶段^[6-13]。目前,螺旋锥齿轮的加工正朝着高精度、高效、数字化、柔性自动化的方向发展^{[14][15]}。所以将 CAD/CAM 技术和数控技术应用于螺旋锥齿轮的加工制造中,对我国在螺旋锥齿轮方面的研究具有重大的意义^{[16][17]}。

1.2 螺旋锥齿轮加工的发展概况和现状

随着科学技术的迅猛发展,在螺旋锥齿轮加工方面出现了许多新的加工理念,新的加工方法,新的加工设备,使得螺旋锥齿轮的加工技术不断向更高效、更高精度的方向发展。

1.2.1 国外的发展历史和现状

多年来,螺旋锥齿轮主要有以下三种技术体系:美国格里森公司的圆弧螺旋锥齿轮齿制及其加工方法、瑞士奥利康公司的延伸外摆线螺旋锥齿轮齿制及其加工方法和德国的克林根贝尔格公司延伸外摆线螺旋锥齿轮齿制及其加工方法^[4]。

格里森公司在齿轮理论方面独有造诣,也一直处于世界领先地位,其科研和各种研究成果在世界上享有声誉。世界知名的齿轮科学家威尔德哈泊(E.Wildhaber)^[22-25],巴克斯特(M.L.Baxter)^[26-28]等都是成名于格里森公司的。格里森公司已成为螺旋锥齿轮技术和产品的同义词^[18]。

从格里森齿轮的加工制造技术研究方面来看,在1874年由格里森公司的创始人威廉·格里森先生发明了世界第一台圆锥齿轮刨齿机,从而开创了圆锥齿轮这一新的工业领域,为动力传动提供了更多的形式。1913年格里森公司推出第一台螺旋锥齿轮端面切削机床。1919年格里森公司获得了关于单齿分度加工方法研究的发明专利。20世纪20年代,格里森公司提出了轴线偏置的准双曲面齿轮,并进行了理论研究。同时引入了刀倾法来加工螺旋锥齿轮。1954年,格里森公司推出了No116机床,在当时达到了纯机械齿轮加工机床的顶峰,这种机床能选择应用变性机构或螺旋展成运动,是第一台把高级啮合理论在螺旋锥齿轮副上变成现实的机床。1986年,格里森公司的GMAXX2010型机床使螺旋锥齿轮的加工技术又前进了一步,它是第一台可以选择连续分度加工和单齿分度加工螺旋锥齿轮加工机床,它完全采用数控系统控制刀盘、工件以及摇台之间的相对运动。在上世纪80年代末和90年代初格里森公司相继研制出了Free-Form结构型的PHOENIX450数控铣齿机、PHOENIX450数控磨齿机与PHOENIX600HTL数控研齿机,这类全数控螺旋锥齿轮加工机床实际上是一种5轴联动的万能机床,可加工各种齿制的螺旋锥齿轮齿面,除了更换刀盘、夹具以及装卸工件外,整个加工过程都是自动的,加工精度比传统机床可提高1~2级。Free-Form机床的出现为螺旋锥齿轮的设计制造提供了更广泛的发展空间,被誉为锥齿轮加工机床的一次革命性变革。如今格里森公司又推出了PhoenixIIXXXHC型系列的数控铣齿机,PhoenixIIXXXG型系列的磨齿机等新的齿轮加工机床,并推出了格里森专家制造系统(GEMS),使得螺旋锥齿轮的加工更加高效精密^{[18-19][29-30]}。

在1973年,瑞士Oerlikon(奥利康)公司首次将PLC控制应用于

S17 机床中，标志着螺旋锥齿轮切削机床进入了简单的数控阶段。随后又推出了 6 轴 5 联动数控螺旋锥齿轮铣齿机 C28，加工精度相当的高，可以达到 5~6 级(DIN 标准)，可以实现干切削。克林根贝尔格公司早年生产 AFK 系列铣齿机床，由于这种铣齿机床的锥滚刀具加工复杂，从而限制了 AFK 系列铣齿机床的广泛使用。为此克林根贝尔格公司推出了 AMK 型齿轮加工机床以及 FK41C 系列铣齿机。AMK 型齿轮加工机床的加工刀盘采用特殊结构的两层万能刀盘，利用该种刀盘进行加工使得被加工齿轮在啮合时呈鼓形齿接触，这种刀盘可以进行接触区修正，同时在工艺上也覆盖了较大的模数范围，从而减少了刀盘的规格和数量。近些年，该公司又开发了 KNC 系列全自动八轴数控铣齿机，这种系列机床不仅可以通过与机床相连的微机进行锥齿轮几何设计以及刀具和铣齿机调整参数计算，而且能够通过机床操作位置的显示器进行齿面接触区修正^{[19][29][30]}。

除了上述三大公司从事螺旋锥齿轮的加工制造方面，还有许多国家的专家也致力于该方面的工作，探寻新的加工方法，例如韩国的 S.-H. Suh, D.-H. Jung 等人利用计算机技术完成齿面的建模，然后在普通的四轴铣削加工中心完成螺旋锥齿轮的加工，并开发出一套 GearCAM 软件系统^[31]。另外，还有众多的学者及其公司从事着螺旋锥齿轮设计与啮合理论的研究^{[32][33]}（主要针对齿形的设计）、动力学的研究^{[34][35]}（主要是对噪音、振动方面的研究）和齿面精度控制技术的研究等方面^{[36][37]}（主要是对齿面修正方面的研究和误差补偿技术方面的研究）。

1.2.2 国内的发展历史和现状

早些年，发达国家对我国在螺旋锥齿轮加工技术上实行技术封锁，使我国在螺旋锥齿轮方面的研究起步较晚。自 1972 年以来，我国首先由数学工作者对齿轮啮合理论的数学基础方面，作了系统的研究，其后原机械工业部把锥齿轮及准双曲面齿轮的研究列为重点课题^[3]，如曾把“格里森成套技术的研究”列为重点研究课题^[38]，组织多家科研院所、工厂对 Gleason 技术进行攻关。其中，南开大学吴大任、严志达教授、上海工业大学陈志新教授对齿轮啮合理论进行了系统的研究，推导出了共扼曲面的诱导法曲率公式，为彻底弄清 Gleason 技术秘密奠定了数学建模理论基础。重庆大学郑昌启教授、西安交通大学的吴序堂教授、中南大学的曾韬教授在此基础上全面研究了 Gleason 的手算卡和 TCA 程序，揭示

了其编制原理并推导了各种计算公式。经过“七五”、“八五”，我国基本上摸清了格里森齿轮的成形理论基础和加工原理，建成了一套我国自有的螺旋锥齿轮的工业技术体系。目前，我国通行的仍然是该套技术，尽管较当今技术已经有些陈旧，但在生产中仍然发挥着重要作用^[19]。

上世纪七十年代以前，我国的弧齿锥齿轮加工机床主要从苏联进口。七十年代后，随着美国取消了对中国的禁运，格里森机床才涌入国内。国产弧齿锥齿轮加工机床，主要由天津第一机床厂生产，如 Y2250A、YA2150 型号的弧齿锥齿轮铣齿机。从九十年代后，我国开始把数控技术引入锥齿轮加工中。1999 年，我国秦川机床厂与西安交通大学联合研制了 YH2240 型数控螺旋锥齿轮铣齿机。中南大学齿轮研究所分别于 1999 年和 2001 年研制成功了 YK2212 和 YK2245 六轴五联动数控铣齿机。天津第一机床总厂研制生产了 YKD2212、YKD2280 等数控弧齿锥齿轮铣齿机。2005 年，天津精诚机床制造有限公司研制成功加工直径为 1250mm 的 YH6012 数控弧齿锥齿轮铣齿机。重庆机床厂的 YKS3112 和 YKS3140 既可湿式滚齿，又可干式滚齿。2005 年底，我国自主建设的第一条螺旋锥齿轮数字化加工闭环生产线在湖南中大创远建成，并投入规模化生产，改变了过去高档全数控螺旋锥齿轮机床全部依赖进口的局面。目前，该公司已能够生产全数控弧齿锥齿轮铣齿机和七轴五联动数控弧齿锥齿轮磨齿机。在软件开发方面，重庆大学、华中科技大学和西安交通大学等研究机构分别研制的螺旋锥齿轮设计制造应用软件系统，可以完成齿轮几何参数设计、加工时机床和刀盘的调整参数计算等，并且还开发出了螺旋锥齿轮加工仿真软件^{[19-20] [29-30] [39-42]}。

另外，在国内也有许多专家学者在研究利用通用的铣削加工技术完成锥齿轮的加工，如王延忠博士后在通用五坐标数控机床上实现螺旋锥齿轮加工，确定出螺旋锥齿轮 NC 加工方法^[43]。辽宁工学院的黄恺等人，对利用四轴联动加工中心加工弧齿锥齿轮的方法进行研究和探讨^[44-46]。还有东南大学的刘鹤然、重庆大学的郭晓东等人也从事过该方面的研究^[47-48]。

总之，虽然我国在螺旋锥齿轮加工制造技术上取得了巨大的发展，但是由于起步晚，与欧美等发达国家还存在一定的差距。目前在国内螺旋锥齿轮生产仍以传统机床为主，精度控制采用传统的滚动检验，切齿精度低，齿轮热处理变形的控制能力差，同类产品的精度及使用寿命明显低于国外产品^[19]。为了缩小差距，

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