

学校编码: 10384
学号: 18220051301738

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

廈門大學

硕士学位论文

接触区主动控制的螺旋锥齿轮数字化建模
方法的研究

Research on Digitization Model of Spiral Bevel Gears with
Actively Controlled Contact Pattern

陈春榕

指导教师姓名: 姚斌 教授

专业名称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩时间: 2008 年 5 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

弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮统称为螺旋锥齿轮（又称螺旋伞齿轮），是一种用来传递相交或交错轴之间定传动比回转运动的齿轮。由于其承载能力大、传动平稳、噪声小、结构紧凑等优点，因此，在现代化机械制造业中占有十分重要的地位，广泛应用于航空、轮船、车辆、飞机、机械制造装备以及石化机械等产品中。目前螺旋锥齿轮的制造主要使用专用的齿轮加工机床。由于螺旋锥齿轮几何特性与啮合运动的客观复杂性，长期以来锥齿轮加工依然存在着较多问题：一方面，螺旋锥齿轮的工艺计算和加工过程繁琐、加工周期长、成本高；另一方面，由于机床结构尺寸等因素的制约，无法加工一些尺寸超过其技术规格的齿轮副（如大模数的油田、煤矿机械使用的大型螺旋锥齿轮副）。

因此，如何解决加工专机与齿轮副尺寸之间的矛盾以及准确地预报锥齿轮齿形、接触区等问题始终是从事齿轮技术领域学者们致力于研究的内容。

基于此，课题组深入研究了适用于通用多轴机床加工螺旋锥齿轮的数字化制造技术。本论文围绕这种加工方法的齿轮实体建模前期工作展开了研究，提出了一种新的实体建模方法。该方法实现了齿轮实体模型的建立，并通过对齿面造型的优化设计，实现了齿轮接触区的可控性、减少了生产准备时间并降低了生产准备工作成本、解决了专用机床与齿轮尺寸参数的矛盾、准确地预报锥齿轮齿形和接触区等。从一定意义上说，为齿轮领域学者们长期以来致力于研究的简化齿轮生产过程、预报锥齿轮齿形和接触区等重大学术技术问题提供了一个新的研究工具和方法。本方法缩短了锥齿轮产品开发周期、减少了企业对设备的投入、增加了企业的生产柔性能力，提高了企业核心竞争能力。上述的技术更适用于大模数螺旋锥齿轮的数字化设计与制造。

围绕课题的研究，论文主要包括了以下几方面的内容：

1. 概要说明了螺旋锥齿轮的基本概念和相关理论。
2. 阐明了螺旋锥齿轮切齿计算原理。
3. 结合格里森切齿机床的运动原理，基于不同的成形方法，分解其调整过程。

同时利用 Visual Basic 6.0 编制了电子版的 SB（展成法加工弧齿锥齿轮大轮）、

SF（成形法加工弧齿锥齿轮）切齿计算卡。

4. 编制了螺旋锥齿轮的建模软件系统。该软件以UG为平台、GRIP为工具。将由零件图得到的锥齿轮的几何尺寸、利用计算卡得到的机床调整参数，代入软件系统仿真切制了锥齿轮副的实体模型。通过参数调整，在大轮上实现了接触区的主动控制。

5. 对不光滑的齿面进行了光顺重构处理，处理完成后进行了齿面接触区分析（TCA）。为了验证上述方法的可行性，利用多轴数控加工中心进行了钢件齿轮的试切加工。

关键词：螺旋锥齿轮；实体建模；共轭原理；布尔运算

ABSTRACT

Bevel gears include spiral bevel gears and hypoid gears. They are used for transmitting the rotational motion of the crossing or interleaving axes with the constant transmission ratio. Due to its performance, such as the high carrying capacity, the big overlap coefficient, the high stability, the low noise and vibration, spiral bevel gears are widely used as a key part on machines of many industry fields, such as aviation, shipbuilding, vehicle, machine equipment and petrochemical machinery. So the bevel gears possess a very important position in the modern machinery. Nowadays its production is mainly finished by the special gear machine tool. But because of the complexity of geometry characteristic and the engagement locomotion of spiral bevel gears, a lot of machining problems still remained. On the one hand the manufacture is complex, time-spending and costly, on the other hand the structure and size of the existing machine tool is limited, which make it impossible to machine some big dimension gear pairs.

How to solving the conflict between machine tool size and gear workpiece's, and how to predict the tooth flank and tooth contact pattern, has become the focus of scholars in gear researching field.

Based on above problems, the developing team deeply researched on the digitization manufacturing technology of spiral bevel gears, which is fit for machining on multi-axial machine tool. This thesis mainly researched on entity model, which is the the first stage work of this digitization manufacturing technology, and a new modeling method was brought forward. The 3D model of spiral bevel gears was build in this method, and by tooth flank optimize design, the controlling of tooth contact pattern was realized, the production time circle was shorten, the cost was reduced, the tooth flank and tooth contact pattern were predicted. In some meaning, this thesis offered a new research tool and method for the main learning issues, such as production simplification, tooth flank and contact pattern prediction. At the same time,

by utilizing the technology, the R&D period was reduced, facility investment was cut down and the core competitive ability of corporation was promoted. This technology is especially fit for the digitization design and manufactureing of large modulus gears.

The main contents of this thesis are as follows:

1. The basic concept and related theory of spiral bevel gears were briefly introduced.
2. The tooth cutting calculation principle was clarified.
3. The structure of Gleason No.116 Machine tool and locomotion principle were introduced and its setting process was analyzed. Then the SF and SB Summary of Gleason machine settings were programd by using Visual Basic 6.0.
4. Base on UG and GRIP redevelop kit, the Spiral Gear modeling system was developed. Using the geometry size getting from part drawing and setting parameters from Summary, the cutting simulation of bevel gears was accomplished. By adjusting of setting parameters, the actively controlling of tooth contact pattern on wheel was achieved.
5. The unsmooth flank was rebuild and then the TCA was carried on. In order to validate the feasibility of the modeling method introduced by this thesis, an experiment of steel workpiece was processed on multi-axial CNC center.

Keywords: Spiral bevel gears; Entity modeling; Conjugation principle;
Boolean operation

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题的研究背景和意义.....	1
1.2 螺旋锥齿轮传统方法加工和实体建模的发展现状.....	2
1.3 开发工具的选择和确定.....	4
1.4 课题的主要研究内容和创新之处.....	6
第二章 螺旋锥齿轮的基本概念及相关理论	7
2.1 关于螺旋锥齿轮的一些基本概念.....	7
2.2 螺旋锥齿轮的轮胚设计.....	8
2.3 螺旋锥齿轮的啮合原理.....	11
2.4 本章小结.....	15
第三章 螺旋锥齿轮加工切齿计算原理	16
3.1 切齿计算原理.....	16
3.2 切齿方法.....	20
3.3 大轮加工计算.....	21
3.4 本章小结.....	24
第四章 格里森机床及其切齿计算	25
4.1 机床的基本结构及其调整参数.....	25
4.2 调整过程分解.....	26
4.3 格里森切齿计算卡及其软件实现.....	29
4.4 本章小结.....	36
第五章 数字化建模软件系统的设计	37
5.1 UG/OPEN GRIP 简介.....	37
5.2 总体方案概述.....	39
5.3 双面精切刀盘成形法切制大轮过程.....	46
5.4 单面精切刀盘成形法切制大轮过程.....	51
5.5 双面精切刀盘展成法切制大轮过程.....	57
5.6 本章小结.....	64
第六章 齿面重构和接触区分析及其通用方法数控加工实验	65
6.1 齿面重构光顺及其可能存在的误差.....	65
6.2 接触区分析 (TCA)	72
6.3 数控加工实验.....	74
6.4 本章小结.....	75

第七章 结论和展望.....	77
7.1 总结.....	77
7.2 展望.....	78
参考文献.....	80
致谢.....	83
硕士期间发表的论文.....	84

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Research background and meaning of thesis.....	1
1.2 Development history and actuality of Spiral Bevel Gears traditional machining and entity modeling.....	2
1.3 Choose of R&D tool.....	4
1.4 Main content and innovation idea of this paper.....	6
Chapter 2 Basic concept and correlative principle of Spiral Bevel Gears.....	7
2.1 Basic concept of Spiral Bevel Gears.....	7
2.2 Blank design.....	8
2.3 Meshing engagement principle.....	11
2.4 Summary of this chapter.....	15
Chapter 3 Tooth cutting calculation principle.....	16
3.1 Tooth cutting calculation principle.....	16
3.2 Tooth cutting machining method.....	20
3.3 Wheel cutting machining calculation	21
3.4 Summary of this chapter.....	24
Chapter 4 Gleason machine and its setting Summary.....	25
4.1 Machine structure and its setting parameters.....	25
4.2 Analyse of setting process.....	26
4.3 Summary of Gleason machine settings and soft programming.....	29
4.4 Summary of this chapter.....	36
Chapter 5 Design of the parameterized modeling software system.....	37
5.1 Introduction of UG/OPEN GRIP.....	37
5.2 General project of modeling method.....	39
5.3 Process of Format with alternate blade cutter.....	46
5.4 Process of Format with single blade cutter	51
5.5 Process of Generator with alternate blade cutter.....	57
5.6 Summary of this chapter.....	64
Chapter 6 Tooth flank restructure & TCA and CNC machining	

experiment.....	65
6.1 Tooth flank restructure and its error.....	65
6.2 TCA.....	72
6.3 CNC machining experiment.....	74
6.4 Summary of this chapter.....	75
Chapter 7 Conclusion and outlook.....	77
7.1 Conclusion.....	77
7.2 Outlook.....	78
References.....	80
Acknowledgement.....	83
Paper published and honour received.....	84

第一章 绪论

1.1 课题的研究背景和意义

弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮统称为螺旋锥齿轮（又称螺旋伞齿轮）^[1]。它是一种节锥齿线为曲线、用来传递相交轴或交错轴之间的定传动比回转运动的齿轮。弧齿锥齿轮两相交轴轴线在一个平面内，准双曲面齿轮两交错轴轴线不在一个平面内，有偏置距。由于其承载能力大、传动平稳、噪声小、结构紧凑等优点，因此，在现代化机械制造业中占有十分重要的地位，螺旋锥齿轮广泛应用于航空、轮船、车辆、飞机、机械制造装备以及轻工、石化等机械产品中。由于锥齿轮副的啮合传动性能直接影响到所服务的机械装置的质量，因此螺旋锥齿轮的加工制造关系国计民生，具有十分广阔的市场和重大的战略意义^[1-8]。

其制造主要使用专用的齿轮加工机床。目前国内使用的齿轮加工机床主要有美国格里森公司生产的 No.116 铣齿机、No.609 拉齿机、No.463 磨齿机和国产的 Y2280 铣齿机等^[1]。随着科技的进步、技术的创新，数控化的切齿加工机床纷纷涌现。但是由于机床结构、机床尺寸等因素的制约，每一种机床都有对应的技术规格，如最大加工模数、最大加工锥距、最大加工直径等。因此无法加工一些尺寸超过其技术规格的齿轮副（如大模数的油田和煤矿机械使用的大型螺旋锥齿轮）。而且长期以来螺旋锥齿轮加工中依然存在着较多问题。首先，由于螺旋锥齿轮齿面形状与加工原理比较复杂，使得相应的机床结构也非常复杂，除了含传动链、展成链、分齿机构之外，还有变性机构或刀倾机构等。复杂的机床结构给加工带来了一定的误差。其次，螺旋锥齿轮的生产准备工作和加工过程也相当繁琐。应用格里森螺旋锥齿轮铣齿机加工齿轮的一般步骤是：1、根据齿轮图纸要求和现有加工设备，应用相应的计算卡计算出刀具和工件的相对位置（即机床调整参数）和相对运动趋势（机床运动参数）；2、装好刀具和工件按照计算结果调整机床进行试切；3、对齿轮进行测量，如不符合图纸要求，应重新进行参数计算、机床调整等。这样需要反复试切和检验来调整、修正几何设计和切齿调整参数，操作人员的劳动强度大，而且对操作人员本身的要求也非常高，这就使得加

工一对齿轮的周期长，成本高。由此增加了人力和资金的投入、延长了开发时间、增加了开发成本^[6-11]。

过去市场需求相对单一，一般采用大批量生产加工方式，试切一对锥齿轮副的时间可以忽略。但在今天产品市场化、个性化、多样化的时代，大批量加工方式的比重降低，中小批量加工日益增多，试切加工时间在生产加工中的比重增加，就需要工程技术人员运用现代科学技术知识来解决这一现实问题。

因此如何解决加工专用机床与齿轮副尺寸之间的矛盾，以及准确地预报锥齿轮齿形、接触区等问题始终是齿轮领域学者们致力于研究的内容。

基于此，本论文为适用于通用多轴机床数控加工提出了一种格里森螺旋锥齿轮的新的建模与加工方法。该方法首先建立实体模型，再利用通用多轴数控加工方法实现了螺旋锥齿轮的试切加工试验。通过对齿面造型的优化设计，实现了齿轮接触区的可控性、减少了生产准备时间并降低了生产准备工作成本、解决了专用机床与所制齿轮尺寸参数的矛盾（只要数控加工中心足够大即可）、准确地预报锥齿轮齿形和接触区等。从一定意义上说，为齿轮领域学者们长期以来致力于研究的简化齿轮生产过程、预报锥齿轮齿形和接触区等重大学术技术问题提供了一个新的研究工具和方法。同时本方法缩短了锥齿轮产品开发周期、降低了生产成本、减少了企业对设备的投入、增加了企业的生产柔性能力。本方法更适用于大模数螺旋锥齿轮的数字化设计与制造。

1.2 螺旋锥齿轮传统方法加工和实体建模的发展现状

1.2.1 采用专用机床加工螺旋锥齿轮的发展和现状

螺旋锥齿轮的设计与制造理论是由美国格里森 (GLEASON) 公司的杰出科学家 E. 威尔德哈泊 (E. Wildhaber) ^[12-15]、M. L. 巴斯特尔 (M. L. Baxter) ^[16-18] 等人提出，后来瑞士的奥利康 (Oerlikon) 公司和德国的克林贝格 (Klingelberg) 公司也拥有了自己的螺旋锥齿轮技术，并各自制定了自己的标准，而且都按照各自的齿轮成形原理生产相应类型的机床。在以上生产螺旋锥齿轮的三大公司中，格里森采用的是圆弧齿制，这种齿制是收缩齿，间歇分度切齿。奥利康采用的是延伸外摆线齿制，是等高齿，连续分度切齿。克林贝格采用的是准渐开线齿制，这种齿

制是等高齿，连续分度切齿。前苏联和日本也进行了大量的螺旋锥齿轮的研究。尽管取得了一定的进展，但与三大公司相比，仍有大的差距^{[2][7][11][19-20]}。

对于螺旋锥齿轮，国内的学者和工程技术人员也进行了大量的研究工作。我国螺旋锥齿轮发展大致可分为两个时期。1973 年以前，齿轮行业确定了以圆弧齿制为主的发展方向，这期间圆弧齿制的加工机床主要来自苏联、东德、日本，部分为中国自己制造，同时大量引进延伸外摆线齿制的奥立康机床。1973 年后，由于美国对中国取消了禁运，大量格里森机床进入中国，我国螺旋锥齿轮的生产效率、产品质量有了很大提高。在理论方面，我国学者和研究人员在此期间也进行了大量的研究。数学家严志达、陈志新、陈惟荣等在齿轮啮合原理方面都提出了相应的理论和方程^[21-24]，齿轮科研工作者郑昌启、曾韬、吴序堂、董学朱等对螺旋锥齿轮原理及其切齿参数计算和调整进行深入研究^[25-34]。他们为国内螺旋锥齿轮的发展作出了巨大的贡献。

高性能的螺旋锥齿轮加工机床目前还主要依靠从国外进口。虽然国内的科研单位和一些厂家在螺旋锥齿轮刀具设计、机床生产等方面取得了一定成果，但与国外发达国家相比差距还很巨大。国内厂家（如：天津第一机床厂等）生产的机械式螺旋锥齿轮加工机床基本上是仿制前苏联设计的 525、528 等型号的铣齿机，生产了 Y2250、Y2280 铣齿机，它是我国各行业加工螺旋锥齿轮的主要设备。在“八五”期间，天津机床厂曾研制开发了 NC 铣齿机，但只是在保留原摇台刀倾机构的基础上进行局部 NC 化。从九十年代末期开始，长沙铁道学院曾韬教授负责开发的全数控弧齿锥齿轮加工机床 YK2212、YK2245、YK2045 等相继获得成功。天津精诚机床制造有限公司也推出了数控螺旋锥齿轮铣齿机床。

总体来讲，国内齿轮行业各大企业螺旋锥齿轮生产还是采用进口的或者国产的机械式加工机床为主。由于数控化螺旋锥齿轮加工机床价格昂贵，特别是国外进口的设备，如螺旋锥齿轮数控铣床每台价格为 80 到 120 万美元，而磨床则高达 200 万美元^[7]，因此它的消化吸收、推广和普及还有很长的一段时间和距离。

1.2.2 国内外螺旋锥齿轮实体建模和采用通用方法加工的发展和现状

国内目前从事螺旋锥齿轮理论、建模、加工和机床开发等方面研究工作的单位很多，主要有：重庆大学齿轮传动国家重点实验室、西安交通大学、中南大学、

西北工业大学、华中科技大学、郑州大学、郑州机械研究所等。在齿轮研究方面取得了很多成果。例如，重庆大学齿轮传动国家重点实验室郭晓东教授研制了“GSHGears 锥齿轮制造分析软件系统”，已经在第一汽车制造厂、第一拖拉机厂等单位推广使用^{[4][35-36]}。西安交通大学机自研究所完成了国家自然科学基金课题“基于功能需求的齿面主动设计和先进制造技术研究”，研制了一套锥齿轮主动设计和模拟加工软件^[10]。这些软件以 Auto CAD、Pro/E 或者其他软件为平台或者自主开发，都在计算机上建立了螺旋锥齿轮的模型，实现了齿形查看和接触区分析等功能。但最终螺旋锥齿轮的加工主要还是依赖现有的机械式或数控齿轮加工机床来完成。

目前上述的研究主要还是停留在计算机仿真的理论开发方面。因此即使通过开发的软件建立了大模数大规格锥齿轮的实体模型，但由于齿轮加工机床尺寸并没有增大，并不能从根本上解决专用加工机床与大模数、大尺寸齿轮尺寸参数之间的矛盾。螺旋锥齿轮三维实体模型建立后，采用通用多轴数控机床来加工的方法目前在国内也吸引了越来越多的齿轮研究人员的兴趣，但用该方法产业化加工螺旋锥齿轮的例子还不多见。

1.3 开发工具的选择和确定

依据目前使用的软件开发平台，可以将专用开发系统方法分为两种。第一种是用 OpenGL 等共享图形库自主从底层开发实体建模与仿真模拟软件。该方法需要自己建立一个三维实体建模操作环境，涉及的知识面广、人员多、开发周期长、难度大，但这种方法的优点是无需其他商业工程软件支持，可以拥有自主知识产权。第二种是在现有的商业工程软件基础上进行二次开发。目前大部分流行的商业二维平面和三维实体造型软件都提供了相关的开发工具^[10]。

例如，Auto CAD 提供了第一代的 AutoLISP 语言，第二代的基于 C 语言的 ADS (AutoCAD Development System)，第三代的 Visual AutoLISP、ObjectARX 以及 VBA 等。目前第一代的 AutoLISP 已经被第三代的 Visual AutoLISP 完全取代，第二代的 ADS 在 Auto CAD 2000 中已经不在支持，所以第三代开发工具将成为今后 Auto CAD 二次开发的必然选择^[37]。

Solidworks 为用户提供了采用标准 Windows “对象链接与嵌入 (OLE)” 技

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