

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920071151182

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

螺旋锥齿轮的齿面造型及其五轴数控加工技术

Modeling of Tooth Surface and 5-axis CNC Machining
Technology for Spiral Bevel Gears

张德云

指导教师姓名: 姚 斌 教授

专 业 名 称: 机械电子工程

论文提交日期: 2010 年 6 月

论文答辩时间: 2010 年 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 6 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

螺旋锥齿轮具有传动平稳、噪声小、承载能力大、结构紧凑等优点，被广泛应用于航空、轮船、车辆、机械制造装备等领域相交轴或交错轴传动的机械产品中，在现代化机械制造业中占有十分重要的地位。

螺旋锥齿轮在设计过程中考虑加工的可行性，通常按照齿轮的局部共轭啮合原理推导计算出切齿机床的调整参数，并计算出齿面接触轨迹和传动误差，最后根据接触区情况对设计参数进行修正计算。该计算过程需要推导一系列逻辑关系公式，还要求求解非线性方程组，过程比较复杂。本论文总结了螺旋锥齿轮这一复杂的设计与制造过程，参考目前国内外其他学者的研究，在螺旋锥齿轮的三维实体建模与加工方法上面提出了一些改进与创新。

从国内外学者在螺旋锥齿轮三维实体模型的研究上看，虽然能够通过齿廓扫描、仿真加工、齿面数学模型三种方法实现螺旋锥齿轮三维实体模型的建立，但是实现的结果都不理想。在螺旋锥齿轮的加工方面，我国离格里森凤凰 II 型数控加床及其专家制造系统（GEMS）的技术相差甚远。对于通用数控机床的加工方法，学者们很少有进行有效可行的实际加工和滚动检验实验。

针对以上目前螺旋锥齿轮的在三维实体建模与加工上面存在的问题，论文作者提出了相应的对策，具体内容如下：

- （1）阐述了螺旋锥齿轮的切齿原理，建立螺旋锥齿轮的齿面数学模型。
- （2）编制为切齿仿真使用的计算卡（SFT），借助 UG/Open 二次开发工具开发切齿仿真加工系统，利用商业软件的 NURBS 曲线曲面造型方法光顺重构离散齿面。
- （3）分析了螺旋锥齿轮副在虚拟传动下的接触区情况。
- （4）研究制定一套螺旋锥齿轮通用五轴数控加工的加工工艺。
- （5）开发了基于牧野-V33-5XB 五轴立式加工中心结构的专用加工螺旋锥齿轮的后置处理器。
- （6）结合理论研究，进行螺旋锥齿轮的数控加工及其滚动检验实验。

关键词：螺旋锥齿轮；仿真加工；接触区分析；五轴数控加工；后置处理

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Because of its stable transmission, small noise, heavy carrying capacity, compact structure and many other strong points, spiral bevel gears are widely used in intersecting or interlaced transmission of airplane, steamship, vehicle, manufacturing machine tool and some other mechanical products. It's obvious that spiral bevel gear takes an important role in modern manufacturing.

On designing spiral bevel gears, the machining feasibility is generally taken into consideration and, according to the meshing theory of part area conjugation, the adjusting parameters of milling machine are deduced and calculated. Then tooth contact path and transmission errors are worked out. Finally, designing and adjusting parameters are usually modified until a perfect tooth contact area is obtained. The calculation involves deducing an array of related formulas and solving non-linear equations, therefore, it's a complex work. This thesis focuses on summarizing the complex designing and manufacturing process of spiral bevel gears and, referring to the other scholars' study, providing some amelioration and innovation on modeling and machining of them.

As for modeling technology of spiral bevel gears, although their 3D model can be derived from ways of scanning of tooth outlines, virtual machining and mathematical model of tooth, the results don't meet actual requirements. Concerning to the machining technology, we have a far way to go compared with the technology of Phoenix II bevel cutting machine with Gleason Expert Manufacturing System. And with regards to the new technology of machining with a general CNC milling machine, practical effective machining and tooth contact checking experiments are seldom carried out.

Aiming at the current problems about modeling and machining spiral bevel gears, the author has come up with some countermeasure shown as follows:

- (1) Summarize the gear cut principle and build mathematical model for it.
- (2) Work out SFT cards for simulating machining, develop a spiral bevel gear

simulating cut program system with the aid of UG/Open tools and smoothen and rebuild scattered tooth surface by NURBS surface performance of commercial software.

(3) Successfully analyze the tooth contact area by means of simulating meshing transmission.

(4) Come up with an acceptable machining process for machining spiral bevel gears with a general 5-axis CNC milling machine tool.

(5) Develop a specialized 5-axis post-processor for MAKINO-V33-5XB 5-axis vertical machining centre.

(6) Carry out CNC machining experiments for spiral bevel gears and check their meshing performance on a transmission checking machine based on the fundamental research.

Keywords: Spiral bevel and hypoid gears; Simulating machining; Tooth contact analysis; 5-axis CNC machining; Post-process

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 螺旋锥齿轮的国内外研究现状	3
1.3 螺旋锥齿轮实体建模与加工技术的国内外研究现状	5
1.4 主要工作	7
第二章 螺旋锥齿轮的切齿原理	9
2.1 螺旋锥齿轮的啮合原理	9
2.2 螺旋锥齿轮的切齿加工	14
2.3 本章小结	17
第三章 螺旋锥齿轮齿面数学模型的建立	18
3.1 切齿刀具的数学模型	18
3.2 成形法大轮的数学模型	20
3.3 刀倾法小轮的数学模型	22
3.4 本章小结	25
第四章 螺旋锥齿轮的切齿仿真与造型	26
4.1 格里森切齿计算卡	26
4.2 UG/Open 二次开发简介	31
4.2 小轮的切齿仿真	32
4.3 大轮的切齿仿真	42
4.4 齿面光顺重构	44
4.5 本章小结	49
第五章 齿面接触分析	50
5.1 传统的齿面接触分析 (TCA)	50
5.2 虚拟传动下的齿面接触分析	52
5.3 本章小结	54
第六章 螺旋锥齿轮的五轴数控加工	55

6.1 螺旋锥齿轮的制造工艺	55
6.2 刀位轨迹的计算	55
6.3 螺旋锥齿轮的数控加工工艺	58
6.4 刀位轨迹的后置处理	62
6.5 数控加工实验	71
6.6 接触区滚动检验	77
6.7 本章小结	78
第七章 总结与展望	79
7.1 总结	79
7.2 展望	79
参考文献	81
致 谢	85
硕士期间发表的论文	86

CONTENTS

Chapter 1 Preface	错误！未定义书签。
1.1 Research background and meaning of thesis	错误！未定义书签。
1.2 Newest research development about Spiral Bevel Gears	错误！未定义书签。
1.3 Newest modeling and machining development about Spiral Bevel Gears..	错误！未定义书签。
1.4 Main content of the study	错误！未定义书签。
Chapter 2 Tooth cutting principle of Spiral Bevel Gear.	错误！未定义书签。
2.1 Meshing theory of Spiral Bevel Gear	错误！未定义书签。
2.2 Machining of Spiral Bevel Gear.....	错误！未定义书签。
2.3 Summary of this chapter	错误！未定义书签。
Chapter 3 Mathematical modeling of Spiral Bevel Gear	错误！未定义书签。
3.1 Mathematical model for cutters.....	错误！未定义书签。
3.2 Mathematical modeling of non-generated gear.....	错误！未定义书签。
3.3 Mathematical modeling of generated pinion with tilting cutter	错误！未定义书签。
3.4 Summary of this chapter	错误！未定义书签。
Chapter 4 Simulating machining and modeling of Spiral Bevel Gear	错误！未定义书签。
4.1 Gleason calculating card for gear cutting machine tools	错误！未定义书签。
4.2 A brief introduction of customized development on UG	错误！未定义书签。
4.2 Simulating machining of pinion	错误！未定义书签。
4.3 Simulating machining of Gear	错误！未定义书签。
4.4 Rebuilding and smoothening of tooth surface	错误！未定义书签。
4.5 Summary of this chapter	错误！未定义书签。

Chapter 5 Tooth contact analysis	错误！未定义书签。
5.1 Traditional tooth contact analysis (TCA)	错误！未定义书签。
5.2 Tooth contact analysis under imaginary transmitting	错误！未定义书签。
5.3 Summary of this chapter	错误！未定义书签。
Chapter 6 5-axis machining of Spiral Bevel Gear	错误！未定义书签。
6.1 Manufacturing process for Spiral Bevel Gears	错误！未定义书签。
6.2 Tool path calculation	错误！未定义书签。
6.3 CNC manufacturing process for Spiral Bevel Gears	错误！未定义书签。
6.4 Post-processing of tool path	错误！未定义书签。
6.5 CNC machining experiments	错误！未定义书签。
6.6 Tooth contact analysis on a meshing check machine tool	错误！未定义书签。
6.7 Summary of this chapter	错误！未定义书签。
Chapter 7 Conclusion and outlook	错误！未定义书签。
7.1 Conclusion	错误！未定义书签。
7.2 Outlook	错误！未定义书签。
References	错误！未定义书签。
Acknowledgements	错误！未定义书签。
Papers published	错误！未定义书签。

第一章 绪 论

1.1 研究背景及意义

“螺旋锥齿轮”是对于齿面节线为曲线的锥齿轮的习惯叫法（也称螺旋伞齿轮）^[1]。螺旋锥齿轮副重叠系数大，在传动中是从轮齿的一端向另一端接触的，而且至少有两个或两个以上的轮齿同时接触，具有传动平稳、噪声小、承载能力大、结构紧凑等优点。因此，螺旋锥齿轮被广泛应用于航空、轮船、车辆、机械制造装备等各领域相交轴或交错轴传动的机械产品中，在现代化机械制造业中占有十分重要的地位。

弧齿锥齿轮的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)与 M. L. 巴斯特尔(M. L. Baxter)等人提出。1874年美国格里森(Gleason)公司研制成功世界上第一台加工直齿锥齿轮机床。1913年研制成功齿面节线为圆弧形的弧齿锥齿机，并于1915年开始用于汽车工业，而后伴随着汽车工业和其他行业的发展，形成了引导世界弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮制造业先驱的格里森齿制螺旋锥齿轮制造系统。我国于上世纪50年代末接受前苏联的援助，引进同属格里森制的弧齿锥齿轮制造技术，由天津第一机床厂生产出中国的弧齿锥齿轮加工机床，并形成我国以格里森制为基础的中国螺旋锥齿轮标准及成套装备。

G. A. Klingelberg 博士(1880—1947)于1923年用圆锥形滚刀加工出齿面节线为准渐开线的螺旋锥齿轮，即所谓克林根贝格(Klingelberg)制齿形。由于锥形滚刀制造很复杂等原因，限制了它的推广，因此应用范围较小。我国没有引进这种技术。

E. G. Bührle (1890—1956)，1924年到瑞士创建了奥林康(Oerlikon)公司，并于1944年研发齿面节线为延长外摆线的铣齿机，形成奥林康(Oerlikon)齿制。上世纪七十年代以前，由于邦交问题，美国政府把格里森机床列入战略物资，从1949年以后对中国禁运，而50年代中期，我国开始发展汽车行业，因此引进部分奥林康制机床^[2]。

“格里森”、“奥林康”和“克林根贝格”这三家当前世界上三种螺旋锥齿轮

齿制的设计与制造公司之间既相互竞争,又相互借鉴与合作,共同推动了锥齿轮技术的不断进步与发展。它们的技术发展历程基本相似,但由于加工方法和齿面几何结构之间的差异,三家公司分别制定了各自不同的标准。鉴于我国采用格里森齿制,特别是1975年以后大量进口格里森机床(包括二手设备),因此在我国,以汽车工业为主的各个行业保有的螺旋锥齿轮加工设备中,除了极少数为奥林康机床以外,绝大部分为格里森制机床,其中包括国产机床,从美国进口的格里森机床,还有少量从前苏联进口的格里森制加工机床,因此本文的研究内容针对格里森制弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮的齿面造型与加工技术。

螺旋锥齿轮的设计与制造是一项复杂工作过程,其型面复杂、技术参数繁多、工艺性强、加工参数不唯一,其中关键技术包括加工设计与加工仿真、主动设计及制造技术、数字化齿面的设计与制造、齿面的精度控制、几何啮合仿真与承载啮合仿真、强度计算(有限元分析)、振动分析、实际齿面的测量与分析、非标准弧齿锥齿轮的设计与制造、改进动态性能的设计与制造、免调整安装等技术。而这些关键技术的基础是齿轮的几何设计与加工。

由于受设备和技术的限制,多年来国内螺旋锥齿轮的加工一直凭经验,单独配对,盲目性大,成本高。因此,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,特别是在矿山、冶金、钢铁、石油、港口机械、煤炭等行业中使用的大直径规格的螺旋锥齿轮的设计与制造中,技术和装备都缺乏,依赖进口周期长、成本高昂。传统的加工方法精度高、效率高,仍然是制造螺旋锥齿轮主要方法,而通用数控机床普通刀具加工的方法更适合单件小批量和大模数的加工,以及新型螺旋锥齿轮的研发制造。

由于高速切削加工技术具有高切削率、小切削力、低切削温度、能切削高硬材料等优点,现在工业发达国家已成为切削加工的主流,日益广泛地应用于模具、航空、航天、高速机车和汽车工业等,并取得巨大的经济效益。

高速切削的概念是上世纪二十年代由德国 Carl J. Salomon 博士首先提出的,他进行大量的切削实验后发现,在常规切削范围内,切削温度随着切削速度的增加而增加,当实际切削速度超越临界切削速度后,切削速度继续提高,切削温度反而下降。截至现在,高速切削加工大致经历了基础理论研究和探索、应用基础

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.