

对数螺旋锥齿轮的研究现状和发展趋势

李强, 蒋建锋, 常云龙, 闫洪波, 李丽

内蒙古科技大学

摘要: 概述了近年来对数螺旋锥齿轮设计与啮合理论、三维建模与加工制造、轮齿检测分析等方面取得的进展, 对对数螺旋锥齿轮研究现状进行综述, 并分析了其中的不足以及后续发展方向。

关键词: 对数螺旋锥齿轮; 啮合理论; 三维模型; 数控加工; 误差检测

中图分类号: TG61; TH132

文献标志码: A

Research Status and Development Trend of Logarithmic Spiral Bevel Gear

Li Qiang, Jiang Jianfeng, Chang Yunlong, Yan Hongbo, Li Li

Abstract: The development and recent achievements in the field of logarithmic spiral bevel gear technology including meshing theory design and manufacture and gear teeth detection are summarized. Some key technologies of logarithmic spiral bevel gear are studied afterwards, and last the developing trend is presented.

Keywords: logarithmic spiral bevel gear; meshing theory; 3D model; NC; error detection

1 引言

螺旋锥齿轮具有传动平稳、承载能力高等优点, 但齿面几何形状复杂, 加工困难, 精度偏低; 因其属于点接触, 所以对制造和安装误差极为敏感; 螺旋角不相等使得传动不平稳、动力传递效率低^[1]。对数螺旋锥齿轮作为一种新型齿轮, 克服了普通螺旋锥齿轮的缺点——螺旋角为名义螺旋角, 并不是沿齿向线的方向处处相等, 因而使得传动更加平稳、噪音更小和降低摩擦磨损。本文重点介绍对数螺旋锥齿轮的技术理论、三维建模与加工制造、轮齿检测分析等的研究现状与发展趋势。

2 对数螺旋锥齿轮设计啮合理论研究

对数螺旋锥齿轮的技术理论最初由内蒙古科技大学李强教授提出, 后来华侨大学^[3]对对数螺旋锥齿轮的精确建模和加工制造进行了研究。重庆大学^[4]利用有限元分析软件研究了这种新型齿轮的

特性。对数螺旋锥齿轮采用以对数螺旋线为齿向线、球面渐开线为齿廓线的齿制。对数螺旋锥齿轮设计与啮合理论大致经历理论论证、局部共轭原理和齿面特性分析等三个阶段。目前国内学者^[5]正在探究专用机床加工技术和 LTCA 分析技术。

早期的对数螺旋锥齿轮的设计思想是来源于平面对数螺旋线的优点——同一条对数螺旋线上各点螺旋角处处相等。后经过论证在圆锥面上形成的对数螺旋线也具备该特性, 且与母线的夹角为定值, 这样的曲线又称为定倾曲线^[6]。根据斜齿圆柱齿轮齿廓表面的形成可看作一个平面(啮合面)沿基圆柱作纯滚动时, 平面上任意一条不与基圆柱轴线平行的直线在空间走过的轨迹。而各种类型的圆锥齿轮齿廓表面的形成原理也与其相似, 可以看作是其啮合面沿基锥作纯滚动时, 其上任意一条曲线在空间运动所形成的曲面。如将这条曲线取为对数螺旋线, 那么形成的曲面便是对数螺旋线齿锥齿轮齿面。

针对上述理论, 2007 年, 内蒙古科技大学王国平^[7]经过复杂的公式推导得出对数螺旋锥齿轮的齿面方程, 并建立起数学模型, 求解出了其啮合方程和共轭曲面, 为对数螺旋锥齿轮由理论走向实际打

基金项目: 内蒙古自然科学基金(2011MS0702); 内蒙古自治区研究生科研创新资助项目(S20131012703)

收稿日期: 2015 年 12 月

[50] http://www.forbes.com/2005/07/26/surgery-science-medicine-cz_sk_0727surgery.htm.

[51] 罗海风. 微创外科手术机器人多构态末端工具设计及实现[D]. 天津: 天津大学博士论文, 2012.

[52] 徐晶晶, 沈磊. 机器人辅助下的脊柱手术: 前瞻性可行性分析[J]. 骨科周讯(Medibone), 2016, 04.

第一作者: 王成勇, 教授, 博士生导师, 国家医疗保健器

具工程技术研究中心—骨科手术器具及牙科设备制造联合工程实验室, 广东工业大学, 510006 广州市

First Author: Wang Chengyong, Professor, PHD Supervisor, National Engineering Research Center for Healthcare Devices - United Engineering Laboratory of Operation Instruments Manufacturing for Orthopedic and Dental (NERCHD/UELOIMOD), Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

下了坚实的基础。

关于齿面特性的分析,内蒙古科技大学何雯^[8]于2010年发表了对数螺旋锥齿轮齿面接触性能的研究,对对数螺旋锥齿轮的接触区相关特性分析,基于EPG检测法的原理,采用Y9550型滚动检查机进行了对数螺旋锥齿轮样件齿面接触区的检测试验。将实验结果与格里森螺旋锥齿轮比较,从实践中论证了该新型齿轮确实优于普通螺旋锥齿轮。2011年,内蒙古科技大学魏子良^[9]发表了对数螺旋锥齿轮曲线与曲面的特性研究,对齿面的法曲率主曲率和主方向、短程曲率和短程挠率的数学特性进行分析计算,为齿面的受力分析、齿面的强度计算、加工制造等提供了理论依据。

3 对数螺旋锥齿轮的三维建模与加工技术研究

3.1 对数螺旋锥齿轮三维建模技术

20世纪90年代,各种大型三维软件(Pro/Engineer、UG、CATIA等)陆续进入中国市场,为精确建立齿轮的三维模型提供了有利条件^[10]。2009年,内蒙古科技大学尚珂^[11]发表了对数螺旋锥齿轮三维建模与几何参数设计,利用对数螺旋锥齿轮的啮合原理及传动特性,推导出了对数螺旋线方程,然后利用渐开线的形成原理推导出方程,并在Pro/Engineer环境下建立了两种曲线:第一条曲线为扫引线,根据第二条曲线建立了齿轮的齿廓面,进而利用其扫描混合命令建立了得到齿轮的一个齿并进行阵列,即可得到对数螺旋锥齿轮的三维模型。采用该方法建立的锥齿轮模型存在一些缺点,如利用平面渐开线代替了球面渐开线,对齿面进行了近似处理,导致三维模型存在一定误差。

内蒙古科技大学刁云龙^[2]于2014年提出了等高齿对数螺旋锥齿轮的建模方法,该方法克服了上述缺点,以球面渐开线形成原理为基础进行坐标变换,实现在锥面上任意点都可作出球面渐开线。依据MATLAB的强大矩阵变换运算功能,借助MATLAB语言对球面渐开线对数螺旋锥齿轮精确理论齿面进行编程计算,求出其齿面坐标点。将所求得齿面坐标点导入Pro/E中,利用其插入基准模型,令坐标点形成齿面骨架曲线,进而生成齿轮齿面,将曲面合并并进行参数化修正设计,最终形成完整齿轮齿面。最后将合并的齿面进行实体化,生成等高齿对数螺旋锥齿轮实体。

2015年,华侨大学向铁明^[3]基于齿轮的加工原

理,运用布尔求差的方法建立对数螺旋锥齿轮,根据对数螺旋锥齿轮的形成机理,建立精确的等螺旋角圆锥对数螺旋线,并作为对数螺旋锥齿轮的齿向线。对数螺旋锥齿轮大小两端的齿廓线采用精确渐开线及圆弧过渡,通过沿引导线精确扫掠的方式建立第一个齿槽。对齿槽进行阵列,用面锥与齿槽进行布尔求差的方式实现对数螺旋锥齿轮三维模型的精确建模。

3.2 对数螺旋锥齿轮加工技术

对数螺旋锥齿轮的加工技术关系到这种新型齿轮能否应用到具体生产和生活中。2009年,内蒙古科技大学居海军^[12]利用数控加工机床加工出了对数螺旋锥齿轮,根据传动原理和齿轮特征,判断对数螺旋锥齿轮属于两大齿制中的格里森齿制,其切齿加工的基本原理与格里森螺旋锥齿轮的加工原理类似。通过格里森齿轮加工原理的分析可知,对数螺旋锥齿轮采用展成法加工。其中大轮采用直接展成法加工而成,为了提高生产效率,多采用双面法加工,即用安装有内切片和外切片的双面刀盘同时切出轮齿的两侧齿面。由于加工刀盘轴线位置的不平行,使小轮不能用直接展成法加工,而必须应用“局部共轭原理”进行切齿。

2014年,内蒙古科技大学孟佳^[13]加工出等高齿对数螺旋锥齿轮,并将其三维模型导入UG中进行刀具轨迹仿真,接着对刀具轨迹进行后置处理后生成数控加工程序。将数控NC程序输入数控加工中心,经过对机床进行调试,加工出等高齿对数螺旋锥齿轮。

上述方法均采用了数控加工中心,大规模加工成本较高,阻碍了新型齿轮的实际应用。2015年,内蒙古科技大学张海宁^[14]对对数螺旋锥齿轮展成加工方法进行研究,从普通滚齿机床滚削齿轮运动出发,求得对数螺旋锥齿轮滚削加工差动运动方程,并研究了变模数滚刀,实现了使用普通滚齿机床加工对数螺旋锥齿轮的目标,使对数螺旋锥齿轮的应用变得更加简单。

4 对数螺旋锥齿轮误差检测技术研究

随着现代工业的发展,汽车、工程机械、飞机发动机等对对数螺旋锥齿轮精度的要求愈来愈高,对数螺旋锥齿轮朝着高速、重载的方向发展,其传动系统的振动、噪声等问题日益突出,如何设计制造低振动噪声、高可靠性的对数螺旋锥齿轮,提高对数螺旋锥齿轮的精度,引起国内外齿轮专家的广泛研究。

内蒙古科技大学孔文^[15]于2012年发表了对数螺旋锥齿轮逆向设计研究。为了减小齿面偏差,利

用激光扫描设备采集齿面离散数据点,从而获得齿面网格点的法向偏差,并通过数值分析对齿面误差进行修正。这种方法克服了传统误差修正周期长和代价高的缺点。由于对数螺旋锥齿轮具有复杂的曲面形状,因此其加工过程比一般的锥齿轮更困难。根据展成法加工出的对数螺旋锥齿轮在加工过程中,要先根据展成原理调整机床的加工参数,加工出大轮,再根据齿轮的共轭原理切制出小轮。因此,实际加工出的对数螺旋锥齿轮齿面与理论齿面有一定的加工误差,即齿面偏差。

内蒙古科技大学闫欢^[16]于2015年提出对数螺旋锥齿轮测量方法研究,该方法在理论齿面上通过建立公式和计算,得出每个结点对应的坐标值和单位法矢,这些数据将被视为理论数据进行使用,齿轮测量中心在测量结束后会显示出实际测量数据,将理论与实际值对比并做简单运算就可得出需要的误差结果。目前国内外都相继完善和采用了这种方法来检测普通螺旋锥齿轮的误差,进而对加工参数进行修正,形成闭环加工系统。

5 未来研究课题

以下几个问题将成为今后研究的重点:

(1)在对数螺旋锥齿轮进行有限元接触分析过程中,可以试着考虑各种安装误差以及不同的摩擦系数对齿轮接触状态及齿面接触应力的影响,并进一步针对齿面疲劳寿命等问题展开研究。

(2)对数螺旋锥齿轮不同于技术成熟的其他形式的等高齿以及渐缩齿螺旋锥齿轮,是一种采用新型曲线作为齿向线的新型齿轮。为使其在工程实际中得到更好的应用,有必要在以后的研究中对已加工出来的两种齿制的样轮进行综合比较,例如观察在相同负载转速的情况下两种齿制的啮合情况、噪音参数、齿面实际接触区域分析等来确定同一种齿向线在两种齿制下的性能优劣,以便进行更好的改进。

(3)进一步优化选择齿轮参数。根据格里森和奥利康这些技术成熟的齿轮参数标准,对对数螺旋锥齿轮的参数(如螺旋角)进行选取,有可能不符合对数螺旋锥齿轮的特点,需要对参数进行重新选取。从目前的研究情况看,参数的二次选择可从三方面获得:一是根据大量工程试验的数据利用数值分析方法建立经验公式;二是根据不同参数条件的数据结果建立基于数学优化法的数学模型,通过软件分析计算得出最优解;三是利用逆向研究对参数反推求解。通过正确的参数可以使齿轮的性能得到最大发挥从而

进一步完善对数螺旋锥齿轮的设计理论体系。

6 结语

虽然对数螺旋锥齿轮的出现只有短短十几年,但表现出优于普通螺旋锥齿轮的特性,而且在现在更高技术要求和计算机数控技术的冲击下,又面临新的工程实践的挑战和存在理论创新的发展空间。只有通过不断专研,主动迎接挑战,才能不断完善对数螺旋锥齿轮技术,打破国外先进技术的封锁,进一步提高锥齿轮的技术水平。

参考文献

- [1]曾韬.螺旋锥齿轮设计与加工[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1989.
- [2]刁云龙.等高齿对数螺旋锥齿轮共轭理论研究[D].包头:内蒙古科技大学,2014.
- [3]向铁明,顾立志,李鹏,等.基于布尔求差的对数螺旋锥齿轮精确建模[J].华侨大学学报,2015(2):121-126.
- [4]杨妍妮.螺旋锥齿轮系统动力分析及动态性能优化[D].重庆:重庆大学,2009.
- [5]李兆文,王勇,陈正洪.螺旋锥齿轮技术的研究现状[J].工具技术,2007(10):3-6.
- [6]武淑琴.对数螺旋锥齿轮啮合仿真及强度计算研究[D].包头:内蒙古科技大学,2011.
- [7]王国平.对数螺旋线齿锥齿轮啮合原理研究[D].包头:内蒙古科技大学,2007.
- [8]何雯.对数螺旋锥齿轮齿面接触性能研究[D].包头:内蒙古科技大学,2010.
- [9]魏子良.对数螺旋锥齿轮曲线与曲面的特性研究[D].包头:内蒙古科技大学,2011.
- [10]高晓娟,张福生,程良飞.螺旋锥齿轮的三维参数化建模[J].起重运输机械,2012(5):55-58.
- [11]尚珂.对数螺旋锥齿轮的三维建模与几何参数设计[D].包头:内蒙古科技大学,2009.
- [12]居海军.对数螺旋锥齿轮加工工艺的研究[D].包头:内蒙古科技大学,2009.
- [13]孟佳.等高齿对数螺旋锥齿轮数控加工方法研究[D].包头:内蒙古科技大学,2014.
- [14]张海宁.对数螺旋锥齿轮展成加工方法研究[D].包头:内蒙古科技大学,2015.
- [15]孔文.对数螺旋锥齿轮的逆向设计研究[D].包头:内蒙古科技大学,2012.
- [16]闫欢.对数螺旋锥齿轮测量方法研究[D].包头:内蒙古科技大学,2015.

第一作者:李强,博士,教授,内蒙古科技大学机械工程学院,014010 包头市

First Author:Li Qiang, Doctor, Professor, School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China