

摆线齿锥齿轮切齿加工仿真系统的研究*

汤 剑¹, 于水琴², 王志永^{2*}

(1. 衢州学院 机械工程学院 浙江 衢州 324000; 2. 中南林业科技大学 机电工程学院 湖南 长沙 410075)

摘要:为了生成摆线齿锥齿轮的三维实体模型,以验证摆线齿锥齿轮的设计参数和切齿加工参数,分析了 Klingelnberg 齿制摆线齿锥齿轮切齿加工的基本原理,以 AutoCAD 2008 为开发平台,运用 ActiveX Automation 技术和 VBA 编程语言,建立了基于尺寸驱动的齿坯和产形轮的实体模型。基于摆线齿锥齿轮的切齿加工原理以及切齿过程中产形轮与齿坯之间的相对位置、相对运动关系,通过产形轮与齿坯之间的相减布尔运算模拟了切齿加工过程,通过仿真实例验证了仿真算法的正确性。研究表明,切齿加工仿真系统对建立齿轮的三维实体模型,验证齿轮的设计参数和切齿加工参数具有重要的意义。

关键词:摆线齿锥齿轮;实体模型;加工仿真;布尔运算

中图分类号: TG61; TH132. 421; TH16

文献标志码: A

文章编号: 1001 - 4551(2011)09 - 1045 - 03

Study on cutting simulation system of cyclo-palloid bevel gears

TANG Jian¹, YU Shui-qin², WANG Zhi-yong²

(1. College of Mechanical Engineering, Quzhou University, Quzhou 324000, China; 2. College of Mechanical & Electrical Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410075, China)

Abstract: In order to create three dimensional solid models, verify designing parameters and machine setting parameters for cyclo - palloid bevel gears, the machining principle of cyclo - palloid bevel gears with Klingelnberg tooth system was analyzed. Based on AutoCAD 2008 development platform, using ActiveX Automation technology and VBA programming language embedded in AutoCAD, the dimension - driven solid model of the workpiece and generating gear was established. Based on the machining principle of cyclo - palloid bevel gears, the relative position and movement between the workpiece and generating gear, the cutting process was simulated by subtraction boolean operation between workpiece and generating gear. The correctness of simulation system is validated by comparing simulation result with practical machining workpiece. The machining simulation system is meaningful for generating precise three dimensional solid models and verifying machine settings.

Key words: cyclo - palloid bevel gear; solid model; machining simulation; boolean algorithm

0 引 言

Klingelnberg 齿制的摆线齿锥齿轮主要应用于各种重载的传动设备中,近年来,国内厂家从国外进口了大量的摆线齿锥齿轮铣齿加工设备,这种齿轮在国内的应用越来越广泛。

Klingelnberg 齿制的摆线齿锥齿轮采用等高齿,基于平面产形轮原理铣齿加工^[1-5]。进行齿轮设计时需

要选择合适的几何参数和刀具参数,以避免实际加工后的齿轮产生各种缺陷。开发摆线齿锥齿轮切齿加工仿真系统,不但可以为摆线齿锥齿轮强度的有限元分析以及基于加工中心进行仿形加工提供精确的三维实体模型,而且可根据仿真结果检验齿轮的根切、齿底的尖脊、二次切削以及齿长方向齿形的收缩情况,对指导设计人员选择合理的设计参数具有重要的意义^[6]。

本研究主要探讨了摆线齿锥齿轮切齿加工仿真系

收稿日期: 2011 - 03 - 09

基金项目: 浙江省教育厅资助项目(20050440)

作者简介: 汤 剑(1970 -),男,浙江衢州人,讲师,主要从事机械系统控制及优化方面的研究. E-mail: t70jian@126.com

通信联系人: 王志永,男,高级工程师. E-mail: wangzy1230@sina.com

统的研究。

1 摆线齿锥齿轮切齿加工的基本原理

摆线齿锥齿轮采用假想平面产形轮原理加工,如图 1 所示。

在实际加工中,刀盘切削刃的运动轨迹形成假想平面产形轮的齿面,即产形面。产形面的形成原理如图 2 所示,刀盘相对于假想平面产形轮运动,可视为与刀盘固连的半径为 ρ_0 的滚圆,在与假想平面产形轮固连的半径为 ρ 的基圆上做纯滚动,刀齿切削刃上半径为 r ($r > \rho_0$) 的一点在产形轮上形成延伸外摆线,而切削刃的运动轨迹则形成产形面。其中外切刀齿的直线切削刃形成平面产形轮的凸齿面,内切刀齿的直线切削刃形成平面产形轮的凹齿面,且产形面是齿线为延伸外摆线的直纹面。摆线齿锥齿轮的加工过程可以看作是产形面与被加工齿面的啮合过程。Klingelnberg 齿制的摆线齿锥齿轮采用展成法加工,因此最终加工出的齿面是产形面的包络面。

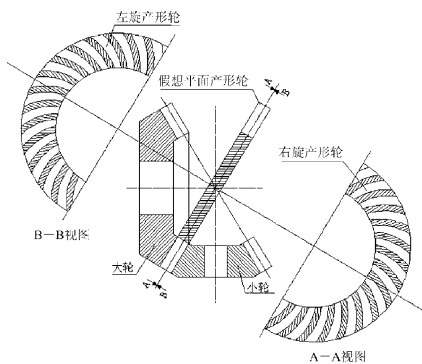


图 1 摆线齿锥齿轮的切齿原理

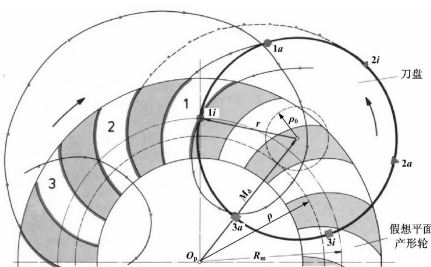


图 2 产形面的形成原理

2 摆线齿锥齿轮铣齿机的结构模型

Klingelnberg 公司生产的数控摆线齿锥齿轮铣齿机 C100 U 的结构示意图如图 3 所示。该机床最大加工工件直径为 1 150 mm,可加工的端面模数范围为 6 mm ~ 27 mm。在图 3 中,A 轴是刀具旋转轴,B 轴是工件旋转轴,C 轴是调整工件轴线与刀具轴线夹角的

旋转轴,3 个直线轴 X、Y、Z 用于调整工件与刀具的相对位置,此外,V 轴是精确调整 C 轴转角的旋转轴,A₁ 轴是调整外刀盘安装角的旋转轴。

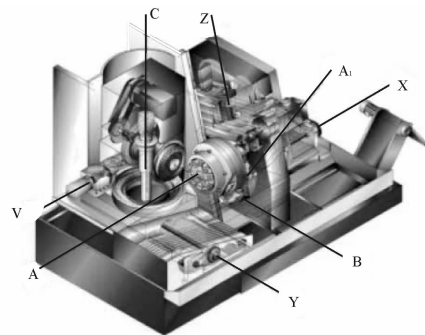


图 3 数控铣齿机的结构示意图

在数控铣齿机 C100U 上加工摆线齿锥齿轮时,本研究通过数控系统控制 X、Y、Z、A、B、C、A₁ 共 7 个轴的运动,使工件和刀具之间的相对位置、相对运动与在机械式机床上加工时的相对位置、相对运动一致,实现齿轮的精密加工。其中,Y、Z 轴的联动模拟机械式机床的摇台运动,A₁ 轴实现机械式机床上摇台对刀具轴产生的附加旋转运动,而刀具轴、工件轴以及 Y、Z 轴模拟的摇台轴之间的转角关系由数控系统来精确控制。

3 切齿加工仿真

3.1 建立切齿加工仿真系统的基本思想

在摆线齿锥齿轮的切齿加工过程中,刀具切削刃在齿槽中运动并从齿坯上切除部分金属,而被切除的金属正是刀具与齿坯之间存在的重叠区域,因此,可通过实体间的布尔运算模拟切齿加工过程。

在实际加工中,刀齿的运动轨迹形成了假想平面产形轮的轮齿,因此,为了降低仿真软件的难度,本研究根据内、外刀盘在产形轮分度平面上的位置、刀齿的几何参数以及刀盘与产形轮之间的运动关系生成平面产形轮的轮齿,并通过产形轮的轮齿与齿坯之间的布尔运算模拟切齿加工过程。

3.2 实现切齿加工仿真的基本过程

摆线齿锥齿轮切齿加工仿真的具体实现过程为:

- (1) 本研究根据假想平面产形轮的几何参数、切齿机床调整参数以及产形面的形成原理,可以得到右旋或左旋产形轮凸、凹齿面的齿线方程^[7]。
- (2) 本研究根据内、外刀齿前刃面的几何参数,分别生成内、外刀齿前刃面的面域(Region)。将内刀齿的面域沿产形轮凹齿面的齿线拉伸(AddExtruded Soli-

dAlongPath)生成产形轮轮齿凹面的实体,将外刀齿的面域沿产形轮凸齿面的齿线拉伸生成产形轮轮齿凸面的实体。

(3) 本研究将产形轮轮齿凸面的实体绕产形轮的轴线旋转 ψ 角 (ψ 为分度平面内产形轮中点弧齿厚所对应的圆心角),并将旋转后的实体与产形轮轮齿凹面的实体进行布尔“并”(acUnion)运算,形成一个完整的产形轮轮齿。

(4) 本研究根据齿坯的几何参数,分别生成大轮和小轮的齿坯实体^[8]。

(5) 本研究根据切齿加工的机床调整参数,基于数控铣齿机的数控加工数学模型,可得到各离散加工时刻机床各数控轴的位置参数。

(6) 基于数控铣齿机的机床结构以及机床各数控轴的位置参数,本研究将齿坯实体和产形轮轮齿实体调整到初始加工位置,并将两实体对象的拷贝(Copy)进行布尔“交”(acIntersection)运算,得到两实体对象拷贝的交集(相当于实际加工中切除的金属),称之为去除材料实体。

(7) 本研究根据下一离散加工时刻各直线数控轴的位置参数,调整齿坯实体、产形轮轮齿实体以及去除材料实体的位置。同时,将产形轮轮齿实体绕产形轮的轴线旋转 Δq 角 (Δq 为两离散加工时刻间摇台角的差值),将齿坯实体和去除材料实体绕齿坯的轴线旋转 $\Delta q \times z_p/z$ 角 (z 为被加工工件的齿数, z_p 为产形轮的齿数),并再次将齿坯实体和产形轮轮齿实体对象的拷贝进行布尔“交”运算,然后将交集实体与上一离散加工时刻得到的去除材料实体进行布尔“并”运算。

(8) 重复步骤(7),直至完成所有离散加工时刻的布尔运算,则最终得到的去除材料实体就是被加工齿轮齿槽上所有去除材料的集合。

(9) 本研究将齿坯实体与去除材料实体的拷贝进行布尔“减”(acSubtraction)运算,生成一个齿槽。将齿坯实体绕其轴线旋转 $360^\circ/z$,再次将齿坯实体与去除材料实体的拷贝进行布尔“减”运算,则在齿坯上形成一个轮齿。重复该过程,可生成一个完整齿轮实体。

3.3 切齿加工仿真软件的开发

摆线齿锥齿轮切齿加工仿真系统是以 Windows 为开发平台,基于 AutoCAD 2008 内嵌的 VBA 编程语言,运用 ActiveX Automation 技术编制的。仿真系统的总体结构图如图 4 所示,主要由数据输入、齿坯实体创建、产形轮实体创建、数控加工代码生成以及切齿加工过程仿真 5 个模块构成。

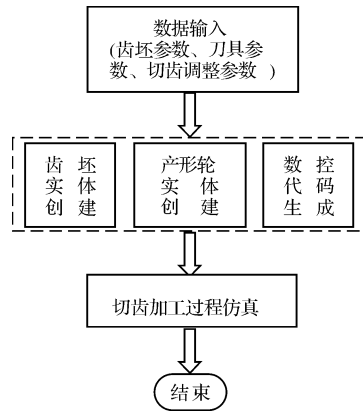


图4 切齿加工仿真系统的总体结构

3.4 切齿加工仿真实例

仿真实例所用摆线齿锥齿轮副的基本参数如表 1 所示。

本研究采用切齿加工仿真系统,通过模拟实际切齿加工过程得到的大轮实体模型,如图 5 所示。在数控铣齿机上基于相同的加工参数齿坯加工后得到的实物照片如图 6 所示。将二者进行比较可知,仿真结果与实际加工齿轮的齿形和齿向是一致的。这样就验证了切齿加工仿真系统的正确性。此外,加工仿真系统可以精确地模拟机床的实际加工过程,生成摆线齿锥齿轮的三维实体模型。

表 1 齿轮副的基本参数

齿数比	端面模数	轴交角	平均压力角	小轮中点螺旋角	大轮齿面宽
12/36	18.75 mm	90°	20°	30°	110 mm

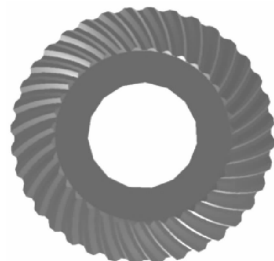


图5 仿真加工结果



图6 实际铣齿加工结果

(下转第 1059 页)

(2) 当 $t_1 < t$ 时,说明塔臂先停止再调整结束。塔臂所扫过的角 θ_1 与情况 1 一致,塔臂剩余角速度为 $\omega_1 = \omega - \beta t_1$,重物出调整区后正常运行获得角速度 ω ,所以重物获得能量 ∇ 为:

$$\nabla = \frac{1}{2}m\omega^2 R_1^2 - \frac{1}{2}m(\omega - \beta t_1)^2 R_1^2 + \frac{1}{2}mV_1^2 \quad (11)$$

同理也可计算得到 $t_1 < t$ 时的 \sum 值。

将情况 1 和情况 2 所计算的 \sum 值进行比较,选择 \sum 最小的策略即可实现一种能在效率和耗能间做到均衡的最优避让策略。

4 结束语

本研究所讨论的塔机智能避让系统与传统防碰撞方法相比,实现了智能控制,防止了塔机与障碍物间的碰撞,在避让障碍物策略上也有了新的突破,提高了塔机的运行效率,节省了塔机耗能,对本课题的进一步研究可着眼于对障碍物进行不同的建模分析,从而提出不同的算法。

参考文献 (References):

[1] 门长根. 塔机常见事故的分析与预防[J]. 建筑安全,2002

(上接第 1047 页)

4 结束语

本研究根据摆线齿锥齿轮的切齿加工原理,建立了利用计算机技术模拟齿轮铣齿加工过程的基本方法,通过编程实现了加工仿真的功能,并用实例验证了仿真系统的正确性。加工仿真结果可为摆线齿锥齿轮强度的有限元分析以及基于加工中心进行仿形加工提供精确的三维实体模型。

此外,通过仿真结果可直观地了解齿轮的根切、齿底的尖脊、二次切削以及齿长方向齿形的收缩情况,对指导设计人员选择合理的设计参数和刀具参数具有重要的意义。

参考文献 (References):

[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] 董学朱. 摆线齿锥齿轮及准双曲面齿轮设计和制造[M].

(8):18-19.

- [2] 刘晓胜,周进. 塔机运行的关键控制算法研究[J]. 科学技术与工程,2010,24(10):5890-5894.
[3] 王保路. 塔机防互撞及区域保护系统[J]. 建筑机械,2001(8):44-46.
[4] 万宏权,蔡亮,马荣章,等. 塔机监控系统的工作区域限制逻辑算法[J]. 建筑机械化,2009,30(11):41-43.
[5] MOON S, BERNOLD L E. Graphic - based human - machine interface for construction manipulation control [J]. **Journal of Construction Engineering and Management**, 1998(7):305-311.
[6] RONIE N. Automated project performance control of construction projects[J]. **Automation in Construction**, 2005, 14(4): 467-476.
[7] YEHIEL R, AVIAD S. Automation of existing tower cranes: economic and technological feasibility[J]. **Automation in Construction**, 1998,7(4): 285-298.
[8] 马燕明,朱冬梅,杨清泉,刘春林. 塔机防碰撞及工作区域限制技术[J]. 建筑机械,2004,26(7):78-90.
[9] 彭万仓,王水波,王全州. 基于编码技术的塔吊防碰撞系统设计[J]. 现代电子技术,2008,31(16):51-58.
[10] 刘卫兵. 塔式起重机吊钩远离危险区域的自动控制[J]. 建筑安全,2000,15(12):18-19. [编辑:张 翔]

北京:机械工业出版社,2003.

- [3] 董学朱. 摆线齿锥齿轮连续分齿法铣齿原理的研究[J]. 机械传动,1999,23(2):29-30.
[4] STADTFELD H J. Handbook of Bevel and Hypoid Gears, Calculation, Manufacturing and Optimization [M]. New York: Rochester Institute of Technology, 1993.
[5] SHI Y P, FONG Z H, LIN C Y. Mathematical model for a universal face hobbing hypoid gear generator [J]. **ASME Journal of Mechanical Design**, 2004, 129(1): 38-47.
[6] FAN Q. Enhanced algorithms of contact simulation for hypoid gear drives produced by face-milling and face-hobbing processes [J]. **ASME Journal of Mechanical Design**, 2004, 129(1): 31-37.
[7] 王志永. 摆线齿锥齿轮数控加工装备及其数字化制造关键技术的研究[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2010: 52-87.
[8] 于水琴,曾 韬. 数控螺旋锥齿轮磨齿机加工仿真系统的研究[J]. 机械制造,2008,46(3):5-7. [编辑:罗向阳]