

文章编号 1000-5013(2004)01-0067-04

克林贝格螺旋锥齿轮的建模与仿真

房怀英 洪尚任 杨建红

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362011)

摘要 在分析克林贝格螺旋锥齿轮切齿原理和基本运动的基础上, 以一对齿轮副参数为例进行建模. 利用 AutoCAD 2000 中的二次开发工具 VBA (Visual Basic Application) 参数化建模, 开发出该类齿轮的建模软件, 实现克林贝格螺旋锥齿轮三维仿真. 对建模软件的结果进行分析, 说明利用克林贝格螺旋锥齿轮建模软件所仿真出来的图形与理论一致. 对该软件的应用做了简要的介绍.

关键词 克林贝格, 螺旋锥齿轮, 建模, 仿真, 产形轮

中图分类号 TH 132.421; TP 391.9

文献标识码 A

克林贝格制螺旋锥齿轮是我国 80 年代从原西德引进的一种螺旋锥齿轮. 近年来, 该类齿轮副在高速、重载的机械装置中应用广泛. 这种齿制的齿轮采用的是等高齿, 在齿廓方向上是渐开线, 在齿向上是延伸外摆线, 呈鼓形齿接触. 根据平面产形轮原理, 按连续分度法加工^[1,2]. 在加工这种齿轮的过程中, 需要反复试切、对滚、修正才能达到所需的加工要求, 因而造成生产成本的增加. 若能利用计算机建模仿真技术, 进行克林贝格螺旋锥齿轮的三维仿真, 据此指导调整机床加工齿轮的参数, 将会提高加工效率. 该齿向上曲线具有特殊性, 不能用拉伸方法成形, 只能从其加工原理出发进行建模. 本文在分析克林贝格制螺旋锥齿轮的齿形和加工特点的基础上, 先对 1 个齿轮进行建模. 然后, 再用内嵌在 AutoCAD2000 中的 VBA 语言编程, 仿真出处于啮合状态的齿轮副, 开发出 1 个完整的软件. 这对指导实际加工具有重要的意义.

1 切齿原理与产形轮轮齿的形成

1.1 切齿原理

克林贝格制螺旋锥齿轮的加工机床, 通常采用具有特殊结构的分度式万能刀盘. 也即切削刀盘由内切刀盘和外切刀盘组成. 内切刀盘上的内切刀片用来切削齿轮的凸齿面, 外切刀盘上的外切刀片用来切削齿轮的凹齿面, 内切刀片和外切刀片间隔安装^[3]. 加工时刀盘一方面绕摇台轴线公转, 另一方面又绕自身轴线自转, 刀盘和摇台的回转轴线相平行. 当刀盘和摇台回转时, 它们就相当于 1 个以 ρ_0 为半径的滚圆, 在 1 个以 ρ 为半径的基圆上作纯滚动. 加工的过程, 实际上是刀盘、摇台、工件等运动的合成. 外切刀片和内切刀片的刀刃, 分别形成 1 个假想的平面齿轮——产形轮的凸齿面和凹齿面, 分别加工出克林贝格螺旋锥齿轮的凹齿面和凸齿面. 因为外切刀盘的轴线与内切刀盘的轴线不重合, 使得加工出来的齿轮的凸齿面和凹齿面齿线的曲率半径不一样. 也就是说, 克林贝格螺旋锥齿轮副的啮合呈鼓形齿接触.

1.2 产形轮轮齿的形成过程

内切刀片的内切刃 q_v 运动形成产形轮的凹齿面, 如图 1 所示. 由它范成加工出被加工齿轮的凸齿面. 相对于摇台, 刀盘除绕自身的旋转中心 O_q 以 ω_q 逆时针方向旋转外, 还绕摇台的旋转中心 O_p 以 ω_p 作逆时针方向回转. 这时刀刃的计算点 M 在产形轮分度平面内的轨迹, 是产形轮的齿向线, 为延伸外摆

收稿日期 2003-08-02

作者简介 房怀英(1978-), 女, 助教, 硕士, 主要从事新型锥齿轮和传感器的研究. E-mail: yjhong@hqu.edu.cn

基金项目 华侨大学科研基金资助项目(03HZR15)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

线; 而内切刃 q_v 的轨迹形成产形轮的凹齿面, 为直纹面. 如图 2 所示, 刀盘绕摇台轴线 O_p 按逆时针方向转过任一 θ 角的同时, 必定还绕自身轴线 O_q 逆时针方向转 $\frac{\rho}{\rho_0}\theta$ 角. 于是,

刀刃 q_v 在固定平面内的总转角为 $(1 + \frac{\rho}{\rho_0})\theta$ 角. 根据以上分析, 在产形轮的右旋凹齿的建模中, 把这个 θ 角分成若干等份(设为 n 等份, n 为正整数). 当摇台顺时针绕自身中心旋转 $\frac{\theta}{n}$ 的角度时, 同样刀具也会绕其自身中心旋转以这样的规律旋转摇台和刀盘, 刀刃的计算点 M 点就会不断地出现在新的位置. 用 B 样条曲线依次连接这一系列点, 即可得出在产形轮分度平面内由刀刃的计算点所产生的延伸外摆线. 根据 $\frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{\theta}{n}$ 的角度. 此时, 刀刃的计算点就会出现在新的一点. 产形轮齿面形成原理, 建模时, 在垂直于产形轮分度圆平面内画一刀具形状的平面域. 刀刃的计算点过 B 样条曲线的起始端点, 且刀具面域垂直于 B 样条曲线. 此平面域沿 B 样条曲线拉伸就形成了产形轮的凹齿.

产形轮的凸齿与凹齿的形成只是刀盘发生圆半径不同, 其形成原理相同. 用外切刃刀具面域沿凸齿面延伸外摆线拉伸后, 就形成了产形轮的凸齿. 此时将凸齿绕摇台的回转中心旋转 1 个产形轮齿宽所对应的圆心角, 再将凸齿和凹齿做布尔运算的交操作, 得出相交齿的三维实体. 用产形轮的外圆与内圆之间的面域拉伸 1 个齿高再与刚形成的齿相交, 即可得到产形轮的 1 个齿.

产形轮的凸齿与凹齿的形成只是刀盘发生圆半径不同, 其形成原理相同. 用外切刃刀具面域沿凸齿面延伸外摆线拉伸后, 就形成了产形轮的凸齿. 此时将凸齿绕摇台的回转中心旋转 1 个产形轮齿宽所对应的圆心角, 再将凸齿和凹齿做布尔运算的交操作, 得出相交齿的三维实体. 用产形轮的外圆与内圆之间的面域拉伸 1 个齿高再与刚形成的齿相交, 即可得到产形轮的 1 个齿.

2 克林贝格螺旋锥齿轮三维实体产生

根据克林贝格螺旋锥齿轮的切齿原理, 齿轮的加工过程可以看作产形轮与齿轮坯作范成运动. 产形轮固定在摇台上, 建模时在一个位置处, 用齿轮坯与产形轮的这个齿做布尔运算的减操作. 完成后, 让两者分别绕其自身轴线旋转一个角度. 这一角度必须符合齿轮坯与产形轮啮合的角度关系. 到这一新的位置, 再用齿轮坯与产形轮的这个齿做布尔运算的减操作. 如此进行, 直到齿轮坯与产形轮的这个齿不相交为止. 这时在齿轮坯上就会“切制”出一个齿槽, 插入一个齿轮坯块. 用这个没有任何加工的齿轮坯与刚切制出带有齿槽的齿轮坯作布尔运算的减操作, 可得到一个齿槽的实体(图 3). 如图 4 所示, 再用一个未完全加工成的齿轮坯每隔 $360^\circ/Z$ 与齿槽实体作布尔减运算, 可以得出要加工出的齿轮.

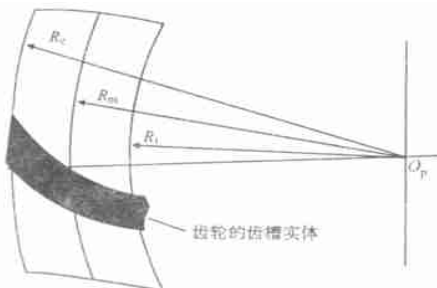


图 3 齿轮的齿槽实体



图 4 要加工出的齿轮实体

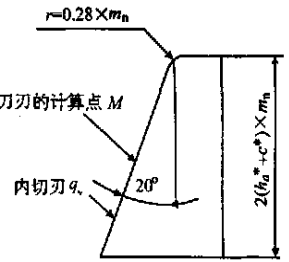


图 1 内切刀片

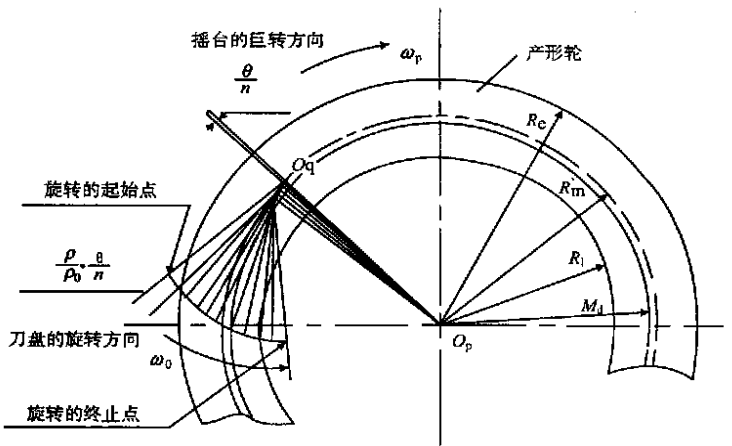


图 2 延伸外摆线的形成

3 仿真软件的实现

3.1 VBA 程序简介

Microsoft VBA 是一个面向对象的编程环境, 并和 VB 一样具有很强的开发能力. 它采用 VB 语言的全部语法和崭新格式. VBA 和 VB 两者之间的区别是 VBA 和 AutoCAD 运行在同一处理空间, 为 AutoCAD 提供智能和快速的编程环境. VBA 通过 AutoCAD ActiveX Automation 接口, 向 AutoCAD 发送消息. VBA 不但可以控制 AutoCAD 对象, 而且可以向其它应用程序发送或接收数据. 1998 年, Autodesk 公司开始在 AutoCAD R14 版中内置了 VBA 开发工具, 同时提供了运用的对象模型和开发环境. 到 AutoCAD 2000, 相应的功能得到了加强^[4].

3.2 仿真软件的构造

启动 AutoCAD 2000, 从菜单中进入 VBA. 单击“插入用户窗体”快捷图标, 插入用户主界面. 加入程序代码对主界面窗体进行初始化, 如图 5 所示. 在 VBA 编程环境下单击工具条中的“插入模块”快捷图标,

加工齿轮所需基本参数的输入

小齿轮齿数 Z_1	<input type="text" value="14"/>	AMK 机床型号	<input type="text" value="AMK852"/>
大齿轮齿数 Z_2	<input type="text" value="45"/>	刀盘的头数 Z_0	<input type="text" value="5"/>
大、小齿轮齿宽 b	<input type="text" value="70"/>	刀盘发生圆半径 r	<input type="text" value="135"/>
大齿轮节锥大端直径 d_{o2}	<input type="text" value="435"/>	刀盘的偏心距 E_{xb}	<input type="text" value="3.2674"/>
法向模数 m_n	<input type="text" value="7"/>	刀具压力角 α_p	<input type="text" value="20"/>
切向变位系数	<input type="text" value="0.36"/>	齿顶高系数 h_a	<input type="text" value="1"/>
径向变位系数	<input type="text" value="0.025"/>	齿顶隙系数 c	<input type="text" value="0.25"/>
小齿轮的旋向	<input type="text" value="左旋"/>		
		<input type="button" value="开始绘图"/>	<input type="button" value="取消"/>

图 5 主界面

分别加入大齿轮模块、小齿轮模块和两者相啮合的模块. 这 3 个模块既互相独立又组成一个有机的整体. 按照以上分析的克林贝格螺旋锥齿轮三维实体, 产生过程编写程序. 从而, 编制出克林贝格螺旋锥齿轮的仿真软件.

3.3 仿真软件运行实例、检验及其应用

当用户要对该类齿轮进行仿真时, 只需要采用这个仿真软件. 单击 VBA 界面工具条上的“运行”快捷按钮, 在主界面中输入适当的参数. 再单击“开始绘图”按钮, 系统将会提示用户在 AutoCAD 2000 的绘图环境下任取一点, 图形就会自动生成. 主界面参数所生成的图形, 如图 6 所示. 若用户不想绘图, 单击“取消”按钮即可. 图形绘制完后, 用户还可进行其它的 AutoCAD 操作. 为了将驻留在内存中的程序清除, 用户只需在 AutoCAD 2000 环境下单击菜单 [Tools]/[Macro]/[VBA Manager], 按“unload”按钮即可卸载程序^[5, 6]. 理论上一对处于正确啮合状态的克林贝格螺旋锥齿轮副应不发生干涉. 对于图 6, 我们利用 AutoCAD 中的 CheckInterfere 命令来检查两者啮合时的干涉情况. 其运行结果为假 (False), 即两者不发生干涉, 这与理论研究的结果一致. 理论分析还表明, 克林贝格螺旋锥齿轮副小齿轮比大齿轮更易发生根切, 对于同一个轮齿来说, 小端比大端更容易发生根切. 因此, 对于图 6 的这对齿轮副来讲, 易发生根切的应该是小齿轮轮齿的小端. 根据避免根切的几何条件, 这个小齿轮应无根切现象. 实际上通过本建模软件仿真出来的小齿轮也不发生根切, 这再一次证明本建模软件的正确性和可行性. 为分析方便, 现取大、小齿轮处于啮合状态的 4 个齿进行分析. 当用产形轮的分度

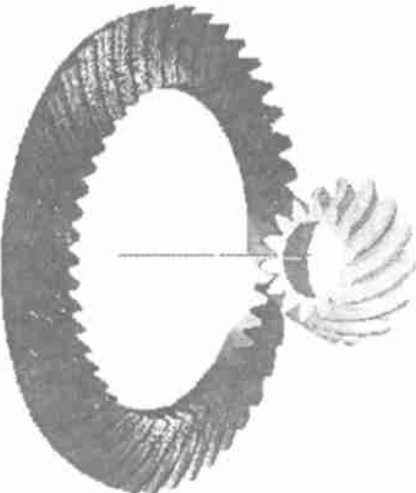


图 6 处于啮合状态的齿轮副

平面把两个处于啮合状态的齿轮副截开之后(用 AutoCAD 中的 Slice 命令),去掉其中小齿轮的那一面,图 7 所示是其中的一个啮合位置,而图 8 所示的是两者传动中旋转一个角度后的位置. 我们也可以用任



图 7 中间截面内的啮合状况



图 8 旋转一角度后的啮合状况

意截面截开处于啮合状态的齿轮,再利用 AutoCAD 2000 中的放大窗口(Zoom Window)命令,以直观地观察该截面内两齿廓的接触位置以及其接触情况. 根据其接触情况,调整相应的机床参数. 因此,当这对齿轮副模型仿真出来后,用户可以根据各自的需要对其进行相应的分析. 此不一一举例说明.

4 结束语

克林贝格螺旋锥齿轮是一种特殊齿制的齿轮,齿面形状比较复杂,通常难以直观表达. 计算机及仿真技术的发展为研究齿轮提供了有力的工具. 本文根据平面产形轮原理和范成法,对齿轮进行三维实体建模. 用 VBA 语言实现克林贝格螺旋锥齿轮的三维仿真,因而使设计人员在齿轮加工之前,就能全方位地观察未来齿轮副的啮合状况. 这既提高了齿轮的设计质量和效率,有利于降低设计、制造成本,又为推广这种高性能的锥齿轮提供了有效的手段.

参 考 文 献

- 1 冯忆艰. 克林贝格螺旋锥齿轮啮合理论和有关应用问题的研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 淮南矿业学院, 1990. 2~ 55
- 2 北京齿轮厂. 螺旋锥齿轮[M]. 北京: 科学出版社, 1974. 12~ 15
- 3 卢贤占, 高业田, 王树人. 齿轮啮合原理[M]. 上海: 上海科技出版社, 1984. 457~ 500
- 4 陈堂功, 张 强, 杨 茜. 用 VBA 开发 AutoCAD 2000 应用程序[J]. 微型电脑应用, 2000, 18(2): 58~ 59
- 5 王 钰. 用 VBA 开发 AutoCAD 2000 应用程序[M]. 北京: 中国人民邮电出版社, 1999. 55~ 70
- 6 徐 源, 荆冰彬, 贺利乐. AutoCAD 2000 二次开发技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000. 50~ 66

Modeling and Simulation of Klingelnberg Spiral Bevel Gear

Fang Huaiying Hong Shangren Yang Jianhong

(College of Electromech. Eng. & Auto., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

Abstract Based on an analysis of gear cutting principle and basic motion of klingelnberg spiral bevel gear, the modeling is carried out by taking parameters of a gear pair as example. 3D simulation of klingelnberg spiral bevel gear is realized by using secondary development tool VBA in AutoCAD 2000, modeling of parametrization, and development of modeling software of this kind of gears. As illustrated by an analysis of the result of modeling software, the graph simulating by modeling software of Klingelnberg spiral bevel gear is identical with that by theoretical inference. The application of this software is briefly.

Keywords Klingelnberg, spiral bevel gear, modeling, simulation, crown gear