

基于无侧隙啮合方程的角变位齿轮副参数化建模一致性分析

罗光汉

武汉城市职业学院

摘要: 根据齿轮设计的无侧隙啮合方程,运用 PTC/Creo 软件,通过对角变位齿轮副啮合角的求解和渐开线齿廓的复合曲线与螺旋线的分度圆柱面投影曲线的创建,实现轮齿齿廓的可变截面扫描参数化建模。具有齿数与螺旋角的选取范围无限制的特点,保证了齿轮的参数化模型与几何尺寸的一致性,有效提升了齿轮的建模精度与设计效率,为进一步实现角变位齿轮副的变位系数的优化设计和有限元分析提供了解决方案。

关键词: PTC/Creo;无侧隙啮合方程;角变位齿轮副;参数化建模;一致性

中图分类号: TG61;TH132.41;TP391.72

文献标志码: A

Consistency of Parametric Modeling of Angular Deflection Gear Pair Based on No-Backlash Meshing Equation

Luo Guanghan

Abstract: According to the no backlash meshing equation of the gear design, using PTC/Creo software to solve the meshing angle of the angular deflection gear pair, and to create the composite curve of the involute profile and the reference cylinder projection curve of the spiral curve, and to achieve the variable section sweep parametric modeling of the tooth profile, the selection range which the tooth numbers and the spiral angles is unlimited is the remarkable characteristics, and it ensures the consistency of the parametric modeling with the geometric dimensions of the gear, and effectively enhances the model accuracy and design efficiency of the gear, and provides the solution for the further realizing the optimization design of modification coefficient and finite element analysis of the angular deflection gear pairs.

Keywords: PTC/Creo;no backlash meshing equation;angular deflection gear pair;parametric modeling;consistency

1 引言

变位齿轮参数化建模基于一对啮合齿轮,根据齿轮设计中的无侧隙啮合方程,运用 PTC/Creo 软件的关系式对角变位齿轮副的啮合角进行求解,由此确定啮合变位齿轮的几何尺寸是实现其参数化精确建模的关键。为了实现齿轮的参数化建模成功再生并与其几何尺寸协调一致,通过创建位于齿顶圆与齿根圆之间的渐开线齿廓的复合曲线和螺旋线在分度圆柱面上的投影曲线,使之满足并适应齿数、压力角和螺旋角等参数的变化,再运用 PTC/Creo 软件的“可变截面扫描”工具,在沿着螺旋线投影曲线轨迹曲线链的扫描进程中,采用“垂直于曲面”与“恒定剖面”的截面控制方式,使齿槽截面既垂直于分度圆柱面又恒定不变,实现变位齿轮的参数化精确建模^[1],其操作过程简单且具有较高的尺寸精度与较强的实用性^[2]。

2 角变位齿轮副啮合角的求解

实现角变位齿轮的参数化建模与几何尺寸一致的首要条件是利用齿轮设计的无侧隙啮合方程,即

$$\operatorname{inv} \alpha'_i = 2 \cdot \frac{x_1 + x_2}{Z_1 + Z_2} \tan \alpha_n + \operatorname{inv} \alpha_i \quad (1)$$

式中, α'_i 为啮合角; $\operatorname{inv} \alpha'_i$ 为啮合角的渐开线函数; $\operatorname{inv} \alpha'_i = \tan \alpha'_i - \alpha'_i$; x_1, x_2 为变位系数; Z_1, Z_2 为齿数; α_n 为标准压力角; α_i 为端面压力角, $\operatorname{inv} \alpha_i$ 为端面压力角的渐开线函数, $\operatorname{inv} \alpha_i = \tan \alpha_i - \alpha_i$ 。

采用 PTC/Creo 软件中的 SOLVE 和 FOR 关系语句可对啮合角 α_i 进行求解,选择菜单“工具”→“关系”命令,在打开的“关系”对话框中,输入如下关系式。

```
ALPHA_T = ATAN ( TAN ( ALPHA_N ) / COS ( BETA ) )
/* 端面压力角
INVALPHA_T = TAN ( ALPHA_T ) - ALPHA_T * PI / 180
/* 渐开线函数
INVALPHAP_T = 2 * ( X1 + X2 ) * TAN ( ALPHA_N ) /
( Z1 + Z2 ) + INVALPHA_T /* 无侧隙啮合方程
ALPHAP_T = 20 /* 赋值
```

```
SOLVE /* 求解啮合角
INVALPHAP_T = TAN( ALPHAP_T) - ALPHAP_T * PI/
180
FOR ALPHAP_T
```

由此,再进一步输入角变位齿轮副两轮齿的几何尺寸计算关系式,为齿轮参数化建模中的参数提供尺寸约束。

3 创建变位齿轮齿廓的复合曲线

3.1 渐开线的柱坐标参数方程

选用柱坐标的渐开线参数方程的优势在于无需设置渐开线展角的区间而使曲线的终点始终位于齿顶圆上,避免因齿数、压力角与螺旋角等参数值的变化范围很大时渐开线与齿顶圆未相交致使齿廓截面再生失败,这是成功实现角变位齿轮参数化建模的重要条件之一,渐开线的柱坐标参数为

$$\begin{cases} P = t \sqrt{(d_a/d_b)^2 - 1} \\ Q = 180/\pi \\ r = 0.5d_b \cdot \sqrt{1 + P^2} \\ \theta = PQ - a \tan P \\ z = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, d_a 为齿轮的齿顶圆; d_b 为齿轮的基圆; t 为系统参数($0 \leq t \leq 1$)。

3.2 创建渐开线齿廓的复合曲线

当角变位齿轮的齿数在一定的范围变化时,齿轮的基圆与齿根圆的大小变化不一致。为使所创建齿根处的过渡圆角在齿数与螺旋角变化时不造成参照的几何缺失,保证齿轮的参数化建模成功再生(见图1),采用“几何”方式复制渐开线曲线的同时在其基圆端点处以“逼近”曲线类型切向延伸曲线,形成变位齿轮齿廓的复合曲线,再添加延伸量的关系式使之与齿根圆相适应。

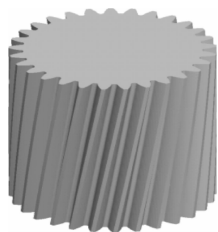


图1 齿轮的参数化造型

4 创建螺旋线的投影曲线

实现变位齿轮几何尺寸与参数化建模一致的另一条件是齿轮的螺旋线与齿槽截面应保持相对恒定的位置,可通过创建齿轮螺旋线用坐标系 CS0 来

实现,即以系统坐标系 PRT_CSYS_DEF 作为基准与坐标轴的方向参照、齿廓复合曲线的镜像平面 DTM# 与齿轮端面所在的基准平面分别作为法向参照进行设置。

4.1 螺旋线的参数方程

齿轮分度圆柱面上的螺旋线参数方程为

$$\begin{cases} PIT = B \tan \beta / (\pi d) \\ x = 0.5d \cos(PIT \cdot 360t) \\ y = DIR \cdot 0.5d \sin(PIT \cdot 360t) \\ z = Bt \end{cases} \quad (3)$$

式中, DIR 取值1、-1、0,分别表示右旋螺旋线、左旋螺旋线、竖直线; d 为分度圆直径; B 为齿宽。

4.2 创建螺旋线的投影曲线

PTC/Creo 软件中由截面圆创建的特征在其截面的水平参照的两侧形成两个曲面几何,可通过定义截面的参照或分割截面圆的端点即重定义截面圆的起始(闭合)点,从而达到控制特征侧表面中的曲面几何边线位置的目的。当圆柱齿轮的齿数、螺旋角等参数的变化值很大时,所创建的螺旋线投影曲线不会因分度圆柱面参照的缺失而引起特征的再生失败,而创建螺旋曲线的投影曲线的目的是为了在运用可变截面扫描功能的“垂直于曲面”方式形成圆柱齿轮的齿槽过程中,使齿轮的齿槽截面沿着分度圆柱曲面进行移动。创建螺旋线的投影曲线或曲面曲线是完成角变位齿轮参数化建模齿槽造型中的重要内容与步骤。

①绘制分度圆柱面的截面圆。选取齿顶圆等所在的平面作为草绘平面,通过“同心”命令绘制分度圆曲线并分别分割曲线左侧的上、下两点,过两个分割点添加一条中心线并约束其与齿廓复合曲线的镜像平面 DTM#垂直,标注与系统坐标系的法向尺寸,添加两个参数的关系式,其值分别为 d 与 $d_b - 2$ 。

②选取螺旋线的公式曲线作为曲线链,以“目的曲面”方式选取分度圆柱面,切换投影方向为“垂直于曲面”,实现螺旋线在分度圆柱面上的投影曲线的创建。

螺旋曲线的创建不能采用轮坯轴向草绘平面上的倾角为螺旋角的斜线在分度圆柱面上的投影曲线,该曲线与轮坯轴向的空间夹角并非齿轮的螺旋角,但可通过“包络”工具创建斜线在分度圆柱面的包络曲线,该曲线即为螺旋曲线。

5 创建角变位齿轮的参数化建模

选取螺旋线的投影曲线作为可变截面扫描的原

表1 轮齿的几何尺寸与模型测量值

(mm)

		齿顶圆齿厚		分度圆齿厚		节圆齿厚	
		理论值	测量值	理论值	测量值	理论值	测量值
普通齿轮副	文献[4]	3.9852	3.9852	11.2555	11.2553	10.6816	10.6814
		4.8767	4.8766	10.9344	10.9344	8.6513	8.6512
	文献[5]	2.3189	2.3189	8.5889	8.5888	8.3315	8.3315
		3.5965	3.5967	6.8843	6.8843	5.5658	5.5659
少齿数齿轮副	文献[6]	0.3883	0.3882	4.3411	4.3413	4.4305	4.4311
		2.0987	2.0987	4.2279	4.2279	2.3015	2.3015
大变位齿轮副	文献[7]	1.2207	1.2204	7.6101	7.6098	6.7933	6.7938
		2.0649	2.0648	分度圆位于齿根过渡区		4.8306	4.8304

点轨迹并切换其起始点位于齿廓复合曲线一侧,以圆柱齿坯的端面作为“恒定法向”的方向参照,分别选择“恒定剖面”与“垂直于曲面”以创建沿分度圆柱面投影曲线移动的同时径向旋转的“非变化的截面”,再绘制以渐开线的复合曲线及其镜像曲线、齿根圆曲线(以“目的链”选取方式)、过渡圆角曲线构成的齿槽截面图,完成单个齿槽的可变截面扫描“Var Sect Sweep 1”的特征造型。通过齿槽的“Var Sect Sweep 1”特征对齿坯 A_1 基准轴的“轴”阵列,再分别添加齿根的过渡圆角、齿槽阵列的角度与齿数特征尺寸的关系式,实现角变位齿轮的参数化建模并经编程操作完成其程序化的设计(见图2)。鉴于角变位齿轮齿根过渡曲线的复杂性可能导致因齿轮参数的变化而与渐开线齿廓曲线连接失败,为不失一般性,此处采用标准的圆角尺寸来描述齿根的过渡曲线^[3]。



图2 少齿数齿轮副建模

文献[6]中的齿轮参数化建模见图2。表1列出了三种齿轮副的齿顶圆齿厚、分度圆齿厚和节圆齿厚的几何尺寸与模型测量值,对比可见,两者误差极小。

6 结语

结合齿轮设计的无侧隙啮合方程,以最简单的几何条件创建角变位齿轮副的可变截面扫描参数化建模,可实现螺旋角 β 的取值范围为 $0^\circ - 85^\circ$ 、齿数为 $Z \geq 2$ 以及非标准齿制的齿轮造型,且齿廓的参数化模型与几何尺寸一致。通过进一步建立变位齿轮副的几何条件约束函数分析特征,运用PTC/Creo

软件的行为建模技术,可实现角变位齿轮副变位系数和强度设计等的优化与仿真。

参考文献

- [1] 罗光汉. Pro/Engineer Wildfire 5.0 产品设计实例教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2013:167-180.
- [2] 罗光汉. 基于 Pro/E 的斜齿齿轮副变位系数与侧隙的优化设计[J]. 制造业自动化,2016,38(2):115-116.
- [3] GB/Z6413. 1-2003/ISO/TR13989-1:2000 圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮胶合承载能力计算方法 第1部分.
- [4] 张展. 齿轮设计与使用数据速查[M]. 北京:机械工业出版社,2009:127-133.
- [5] American Gear manufacturers Association. AGMA 913 - A98 Method for Specifying the Geometry of Spur and Helical Gears[S]. Virginia:AGMA,1998.
- [6] 陈伟,王保民. 少齿数齿轮副的优化设计[J]. 机械研究与应用,2015,28(1):118-121.
- [7] 涂小广,崔小迷,林彤,等. 高齿大变位齿轮的应用[J]. 机械传动,2003,27(6):53-55.

作者:罗光汉,高级工程师,武汉城市职业学院机械工程与电气自动化学院,430064 武汉市

Author:Luo Guanghan, Senior Engineer, School of Mechanical Engineering and Electrical Automation, Wuhan City Vocational College, Wuhan 430064, China

我国第一项机床行业国际标准正式颁布

根据国际电工委员会(IEC)的最新消息,我国机床行业第一项国际标准——IEC/TS60204-34:2016《Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 34: Requirements for machine tools》(机械安全-机械电气设备-第34部分:机床技术条件)于近日正式颁布成为国际标准。该项标准由北京机床研究所牵头、全国工业机械电气系统标准化技术委员会(SAC/TC231)组织行业骨干企业共同制定完成,标志着机床行业第一项由中国主导制定的国际标准正式诞生,打破了一直以来由欧美等发达国家主导机床行业国际标准制定的局面。