

基于局部综合的非零变位弧齿锥齿轮切齿仿真

张 华 邓效忠

【摘要】 常规非零变位弧齿锥齿轮的设计与加工,不能预控轮齿的接触区,不能预知齿形的变化。运用非零变位技术进行齿坯设计,利用局部综合法进行齿轮副的加工参数设计,并进行齿轮副的三维造型仿真。研究表明,设计者可利用局部综合法与 TCA 技术进行加工参数设计,使得齿面接触区能够预控;可根据加工参数建立齿面方程,完成对轮齿的三维造型,预知齿形的变化情况。

关键词: 弧齿锥齿轮 非零变位 局部综合法 仿真

中图分类号: TH132.421 **文献标识码:** A

引言

弧齿锥齿轮是农业工程机械中的关键传动部件。文献[1]利用分锥与节锥相对变位的原理,实现了节锥不变而分锥变位的“非零变位”。非零变位弧齿锥齿轮副可用现有机床设备加工,不增加制造成本。当前非零变位弧齿锥齿轮的加工还是采用常规的方法,在变位系数发生较大变化时,不能预控轮齿的接触情况,不能预知齿形的变化情况。局部综合法根据设计参数确定大轮的加工参数,并在大轮齿面上给定参考点处大轮齿面啮合路径的切线方向、传动比变化率以及瞬时接触椭圆长轴的长度,利用微分几何理论,推导出小轮齿面在参考点处的主曲率及主方向,由此得到加工小轮的机床调整参数[2]。

本文结合非零变位齿形设计原理,利用局部综合法得到非零变位弧齿锥齿轮副的机床加工数据,通过计算机仿真完成齿轮副的三维造型。

1 非零变位原理与设计

1.1 非零变位原理

非零变位设计保持节锥不变而使分锥变位,即变位后分锥和节锥分离,使节锥角不变而分锥角变化,保持了轴交角不变[3]。假设变位之后当量节圆与分圆半径的变动比为 K_a 。对于 $K_a > 1$,称之为正变位,齿轮副的传动方式为正传动; $K_a < 1$,称之为负变位,齿轮副的传动方式为负传动。

1.2 非零变位的正传动、负传动设计特点

非零变位的实现使得变位系数的选择范围得以拓宽,可以灵活地选择变位系数以满足齿轮副特定的啮合性能要求。参照圆柱齿轮封闭图,可以绘制弧

齿锥齿轮封闭图进行变位系数的选择。

以一对弧齿锥齿轮副为例:小轮齿数 $Z_1 = 25$,大轮齿数 $Z_2 = 32$,分圆模数为 5.5 mm,齿顶高系数为 0.85,顶隙系数为 0.188,轴交角 90° ,名义压力角 20° ,齿宽 34 mm,大轮右旋。画径向变位封闭图,在图中选择变位系数时,参照目标曲线,满足齿顶不变尖、不根切、不干涉。在图中取两点,分别为正传动设计和负传动设计所选的径向变位系数;切向变位系数之和由等弯曲强度计算得到,并平均分配到大轮和小轮。计算得到弧齿锥齿轮副的几何参数,如表 1 所示。

表 1 正传动设计与负传动设计的轮坯参数

参数	非零正传动		非零负传动	
	小轮	大轮	小轮	大轮
啮合角/ $^\circ$	25.865	25.865	22.337	22.337
节圆模数/mm	5.586	5.586	5.434	5.434
变动比 K_a	1.016	1.016	0.988	0.988
设计端面重合度	1.208	1.208	1.391	1.391
设计总重合度	2.014	2.014	2.170	2.170
径向变位系数	0.673	0.004	-0.175	-0.312
切向变位系数	0.014	0.014	0.008 1	0.008 1
分圆齿顶高/mm	8.240	4.561	3.625	2.872
节圆齿顶高/mm	6.881	2.333	4.674	4.589
分圆齿根高/mm	2.008	5.687	6.672	7.425
节圆齿根高/mm	3.367	7.915	5.623	5.708

2 基于局部综合的加工参数设计

弧齿锥齿轮副的设计与加工是以“局部共轭原理”为基础的[4]。对于理想的完全共轭的齿轮副来

说,其传动比为一常数,而对于局部点接触的局部共轭的齿轮副来说,其传动比是变化的,且存在着传动误差。传动误差是指当小轮匀速回转时,大轮的实际转角与理论转角之间存在的差值,传动误差函数为

$$\delta\varphi_2 = \varphi_2 - \varphi_{0,2} - \frac{Z_1}{Z_2}(\varphi_1 - \varphi_{0,1}) \quad (1)$$

式中 φ_1, φ_2 ——小轮和大轮的转角

$\varphi_{0,1}, \varphi_{0,2}$ ——在参考点啮合时的小轮和大轮初始转角

将大轮和小轮之间的转角关系函数 $\varphi_2(\varphi_1)$ 表示成

$$\varphi_2 - \varphi_{0,2} = F(\varphi_1 - \varphi_{0,1}) \quad (2)$$

进行泰勒级数展开至二阶,可以得到

$$\begin{aligned} \varphi_2 - \varphi_{0,2} &= F(\varphi_1 - \varphi_{0,1}) = \\ &= \frac{\partial F}{\partial \varphi_1}(\varphi_1 - \varphi_{0,1}) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi_1^2}(\varphi_1 - \varphi_{0,1})^2 = \\ &= m_{21}(\varphi_1 - \varphi_{0,1}) + \frac{1}{2} m'_{21}(\varphi_1 - \varphi_{0,1})^2 \end{aligned} \quad (3)$$

式中 m_{21} ——齿轮副的传动比

m'_{21} ——预置传动比的一阶导数值

将式(3)代入式(1),可知传动误差为

$$\delta\varphi_2 = \frac{1}{2} m'_{21}(\varphi_1 - \varphi_{0,1})^2 \quad (4)$$

由式(4)确定的传动误差函数为一抛物线型函数。预置 m'_{21} 为负值,可得到一中凸的抛物线型传动误差曲线,此时大轮的实际转角滞后于理论值。局部综合法通过预置抛物线型的传动误差函数来控制传动误差,并认为这种抛物线型的传动误差函数能够

“吸收”由安装偏差等所导致的线性传动误差,从而降低振动与噪声。此外,控制 m'_{21} 的绝对值大小,可在参考点邻域内控制传动误差的幅值。

局部共轭的两齿面在理论上作点接触,在载荷的作用下,由于发生弹性变形,两齿面由一点接触延展为一小块面积接触。该接触面在两齿面公切面上的投影为一椭圆,设接触椭圆的长半轴长度为 a ,短半轴长度为 b 。啮合过程中的一系列接触椭圆中心构成了齿面接触路径。大轮齿面接触路径的切线方向 η_2 ,是指大轮参考点处接触路径与大轮根锥之间的夹角。

利用局部综合法,确定弧齿锥齿轮副加工参数的过程为:大轮的加工方法为常规的双面法切齿,易得到大轮的齿面方程,在大轮的齿面上选择切齿计算点作为参考点,并求得大轮在参考点处的主方向、主曲率后,预置 m'_{21}, η_2 和 a 值,唯一确定小轮齿面上参考点处的主方向、主曲率,这时便可以确定小轮的加工参数^[5]。

经过上述步骤得到的加工参数可以保证预先设置的 η_2, m'_{21} 和 a ,所以利用局部综合法可以在加工之前预先控制接触区。对于齿轮副的整个啮合过程,则可通过 TCA(轮齿接触分析)和 LTCA(承载轮齿接触分析)来进行仿真。

以表 1 中的小轮正车面为例。两种设计均预置 $m'_{21} = -0.013, \eta_2 = 40^\circ, a = 4.42 \text{ mm}$,相应的传动误差曲线与接触路径见图 1。

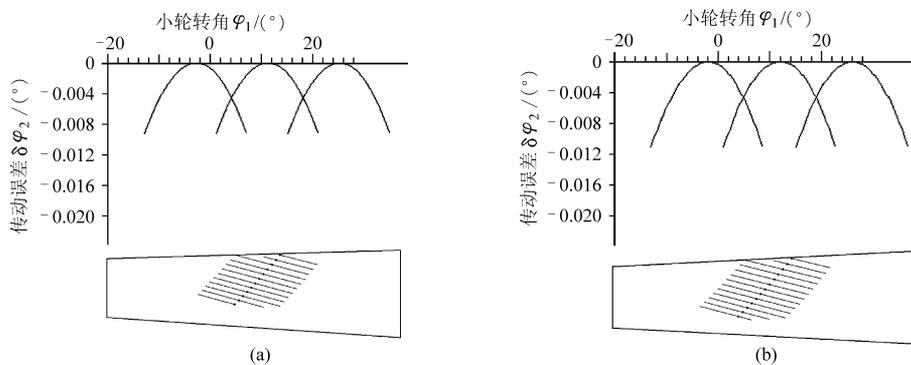


图 1 传动误差曲线与接触路径

(a) 非零正传动设计 (b) 非零负传动设计

本例利用局部综合法,通过 TCA 分析得到齿轮副的加工调整计算参数,见表 2。从图 1 中的传动误差曲线与接触路径来看,传动误差的幅值合适、形状对称,齿轮副的端面重合度分别在 1.2、1.3 左右,与表 1 中的设计重合度相符,齿面接触区的位置和形状较好,达到了预期的设计目的。

3 计算机切齿仿真

利用表 2 中的刀盘参数与机床调整参数,可以

推导大轮和小轮的齿面方程^[6],根据齿面的边界条件就可以确定空间齿面的曲面片。利用 AutoCAD 软件,可以将整个齿轮副用三维图形模拟出来。图 2 上方为小轮大端齿形,下方为大轮大端齿形,结合表 3,可以直观地看出正变位齿形与负变位齿形的不同。以非零负传动设计为例,图 3 为其小轮和大轮完整的三维仿真图形,从图中可以观察轮齿的收缩、根切、齿顶变尖等情况。

表2 刀盘参数与机床调整参数

参数	非零正传动		非零负传动	
	小轮(凹面)	大轮	小轮(凹面)	大轮
切齿刀盘直径/mm	191.88	190.5	235.752	228.6
刀盘错刀距/mm		2.54		2.50
刀盘刀号	12	12	12	12
机床安装角/(°)	36.298	48.009	35.081	49.040
径向刀具/mm	87.462	88.396	100.139	97.625
角向刀具/mm	66.792	-61.966	76.519	-73.550
切削滚比	1.609 772	1.265 917	1.634 278	1.267 302
垂直轮位/mm	-0.988	0	-0.322	0
水平轮位修正值/mm	-0.790	0	0.388	0

表3 齿厚数据

参数	非零正传动		非零负传动	
	小轮	大轮	小轮	大轮
大端齿顶厚/mm	2.475	4.207	3.573	3.973
大端齿根弦齿厚/mm	11.533	11.530	11.417	12.007

4 结论

(1) 非零变位设计的弧齿锥齿轮副,可利用局部综合法进行加工参数设计。由于非零变位设计使

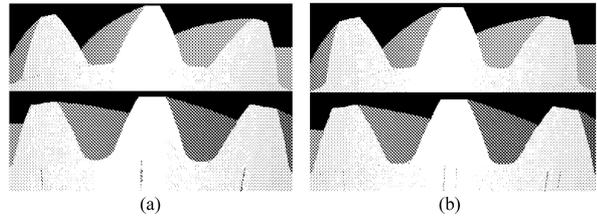


图2 齿轮副大端仿真齿形对比
(a) 非零正传动设计 (b) 非零负传动设计

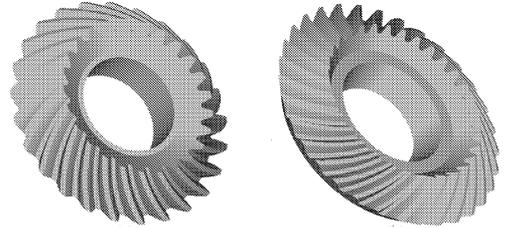


图3 齿轮副三维造型仿真结果

得齿坯节锥与分锥分离,利用局部综合法进行加工参数计算时,输入数据要利用非零设计所得到的节锥参数。

(2) 利用非零变位技术,当采用较大的变位系数时,齿形变化较大。利用三维仿真技术,可以在试制前确定轮齿的尺寸,检查齿形是否发生异常。这样可以节约产品试制成本,缩短试制周期。

参 考 文 献

- 1 梁桂明. 螺旋锥齿轮的新齿形——分锥角综合变位原理[J]. 齿轮, 1981(2): 19~34.
- 2 Litvin F L. Local synthesis and tooth contact analysis of face-milled spiral bevel gear[R]. NASA, CR, 4342, 1991.
- 3 梁桂明, 邓效忠, 何兆旗. 新型非零传动齿锥齿轮技术[J]. 中国机械工程, 1997, 8(1): 97~101.
- 4 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.
- 5 田行斌. 弧齿锥齿轮啮合质量的计算仿真和控制[D]. 西安: 西北工业大学, 2000.
- 6 方宗德, 杨宏斌. 准双曲面齿轮传动的轮齿接触分析[J]. 汽车工程, 1998, 20(6): 350~355.

(上接第 196 页)

- 3 Fumito Y, Kazuo T, Koichi W, et al. On a grading system for beef marbling[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21(12): 1 037~1 050.
- 4 Jeyamkondan S, Ray N, Kranzler G A, et al. Beef quality grading using machine vision [C] // Conference on Biological Quality and Precision Agriculture II, Boston, USA, 2000: 91~101.
- 5 Tan J. Meat quality evaluation by computer vision[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(1): 27~35.
- 6 Gerrard D E, Gao X, Tan J. Beef marbling and color score determination by image processing[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(1): 145~148.