

三波谐波齿轮传动啮合性能的分析*

钟 健 何惠阳 张承嘉 王爱东

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 本文利用计算机图形分析法,对三波谐波齿轮传动啮合参数与啮合性能的内在联系进行了分析,获得了一些重要的数据。为三波谐波齿轮传动最佳传动方案的确定提供了理论依据。

关键词:三波波发生器;谐波传动;啮合性能

1 前 言

长期以来,国内外有关学者尽管对双波谐波齿轮传动的啮合理论和性能分析进行了深入地研究,但对三波谐波齿轮传动在这些方面则研究甚少。因此到目前为止,在国内外有关资料上尚未见到报导。

由于三波谐波齿轮传动在啮合过程中,沿刚轮圆周形成了三个均匀分布的啮合区,因此,同双波谐波齿轮传动相比,它具有同时啮合齿数多、啮合深度大、承载能力强、自动定心性好、运动精度高、回差小、刚度高、运转平稳等一系列优点。故在精密数控系统中将是一种较理想的新型传动。

但是,由于当前尚缺乏相关的设计数据和资料,为三波谐波齿轮传动的研制、开发及应用造成了困难。为此,本文在三波谐波齿轮传动啮合分析理论的基础上,利用计算机图形分析法,对三波谐波齿轮传动啮合参数与啮合性能的内在联系进行了详细分析,为三波谐波齿轮传动的研制、开发提供了一些重要的设计数据及结论。

2 三波谐波齿轮传动的工作原理

三波谐波齿轮传动也是由刚轮、柔轮和波发生器三个基本构件组成,在这三个构件中,任一个构件都可作为主动件,其余两个:一个是被动件,一个则固定不动。在图1所示的结构中,柔轮的齿数比刚轮的齿数少三个,即 $Z_g - Z_r = 3$,但周节 t 是相同的。在装配后由于波发生器的作用,迫使圆形的柔轮齿圈变成顶点为圆弧状的三角形,其长半轴部分的齿与刚轮的齿完全啮合,短半轴部分的齿与刚轮的齿完全脱开,中间部分的齿则处于与刚轮不完全啮合的过度状态。从图1可以看出,三波谐波齿轮传动仍属行星齿轮传动的范畴。为此,由相对运动原理可

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1995年1月6日

知,若给整个机构加上一个与波发生器角速度大小相等而方向相反的角速度 $(-\omega_h)$,则各构件间的相对运动关系保持不变。故该转化机构的传动比为:

$$i_{r_g}^h = \frac{\omega_{r_h}}{\omega_{g_h}} = \frac{\omega_r - \omega_h}{\omega_g - \omega_h} = \frac{z_g}{z_r} \quad (1)$$

式中: ω_h —波发生器的绝对角速度; ω_r —柔轮的绝对角速度;

ω_g —刚轮的绝对角速度;

如果在波发生器 3 为主动,柔轮 2 为被动,刚轮 1 为固定的三波谐波齿轮传动中,其传动比可由公式(1)推导得到:

$$i = \frac{\omega_h}{\omega_r} = -\frac{z_r}{z_g - z_r} = -\frac{z_r}{3} \quad (2)$$

式中“ $-$ ”表示波发生器的转向与柔轮的转向相反。

由此,就可以依据三波谐波齿轮传动的运动这特点及其柔轮的变形规律,建立起三波谐波齿轮传动的啮合理论,进行啮合性能分析^[2]。

3 啮合性能分析

由谐波齿轮传动啮合分析理论可知,啮合侧隙的大小直接影响着谐波齿轮传动的工作性能,因此啮合侧隙常被做为评价谐波齿轮传动啮合性能的主要质量指标^[1]。为此,本文以三波谐波齿轮传动啮合理论为基础,利用计算机图形分析法,对三波谐波齿轮传动啮合参数、结构参数与啮合性能之间的内在联系进行了大量分析,获得了一些有价值的数据和结果,分述如下:

3.1 径向变形量系数对啮合侧隙的影响

由谐波齿轮传动的啮合分析理论可知,柔轮的径向变形量 ω 是由径向变形量系数定的,即: $\omega = \Delta m$ (m 为齿轮的模数, Δ 为径向变形量系数)。故径向变形量系数的大小将直接影响柔轮的径向变形量及其啮合性能。图 2 所示是径向变形量系数从 0.9~1.3 的相应侧隙曲线(图中横坐标表示波发生器的转角 φ ,纵坐标表示法向侧隙 cn)。

由图中的曲线可以看出,相应各径向变形量系数的侧隙曲线均交于 O 点,且当径向变形量系数过小时,侧隙曲线呈直线下降趋势,啮合处于不正常的状态。当径向变形量系数过大时,尽管这时啮合范围大,同时啮合齿数多,但侧隙曲线波动太大。只有当径向变形量系数 $\Delta = 1.1 \sim 1.3$ 时,才能获得较好的啮合状态。这时的啮合范围较大,而且在整个啮合过程中啮合侧隙值波动较小。

3.2 柔轮变位系数对侧隙的影响

在啮合参数中,柔轮的变位系数是影响啮合性能的主要参数。它的大小将直接影响侧隙值的变化。图 3 所示的侧隙曲线是当柔轮变位系数从 1.9~2.3 变化时,啮合侧隙随波发生器转角 φ 变化的规律。

由图 3 中的曲线可以看出,随着柔轮变位系数的增大,刚轮齿与柔轮齿之间的侧隙减小,同时啮合的齿数也相应减少。反之,则情况完全相反。

3.3 刚轮变位系数对侧隙的影响

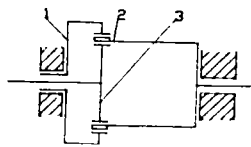


图 1 三波谐波齿轮传动结构

刚轮变位系数同柔轮变位系数一样,也是影响啮合性能的主要因素之一。图 4 中的一组曲线就是刚轮变位系数分别等于 1.9, 2.0, 2.1, 2.2, 2.3 时的侧隙曲线。

由图中的曲线可以看出,当刚轮变位系数增大时,侧隙增大,允许啮合过程加长,同时啮合的齿数增加,反之则情况相反。

3.4 柔轮与刚轮变位系数之间关系的确定

根据三波谐波齿轮传动啮合分析理论可知,柔轮变位系数和刚轮变位系数之间存在着复杂的函数关系。由图 3、图 4 中的曲线也可以看出,柔轮变位系数与刚轮变位系数之间的关系,对侧隙也有很大影响。图 4 中的曲线是在柔轮变位系数固定时,刚轮变位系数变化时得到的。当刚轮变位系数 $X_g < 1.9$ 时,侧隙较早地出现负值,轮齿之间发生干涉。当 $X_g > 2.2$ 时,侧隙太大,且波动也较大。经大量的分析计算表明,在进行实际设计计算过程中,只要按 $X_r - X_g = (0.05 \sim 0.35)$ 的关系式,来确定二者的关系,就能获得较好的啮合性能。

3.5 压力角对侧隙的影响

压力角大小对侧隙的影响,如图 5 中的曲线所示。由图中曲线的变化规律可以看出,当压力角小时,则在整个啮合过程中,啮合侧隙曲线变化平稳,但啮合的范围较小,同时啮合的齿数少。当压力角增大时则情况正好相反。只有当压力角 α 在 $18^\circ \sim 22^\circ$ 范围内时,才能获得最佳的传动方案和较好的传动性能。因此在具体设计中,考虑到我国齿轮制造业的实际情况,可采用 20° 压力角。

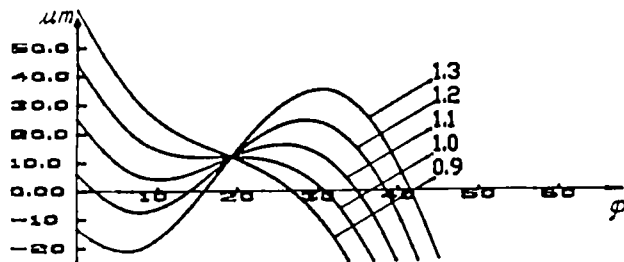


图 2 径向变形量系数(0.9~1.3)的相应侧隙曲线

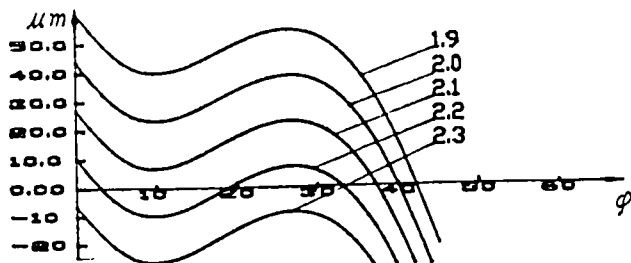


图 3 柔轮变位系数(1.9~2.3)的相应侧隙曲线

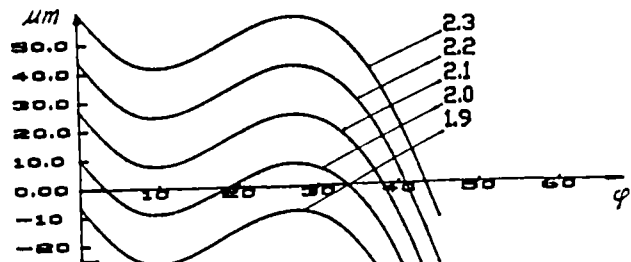


图 4 刚轮变位系数(1.9~2.3)的相应侧隙曲线

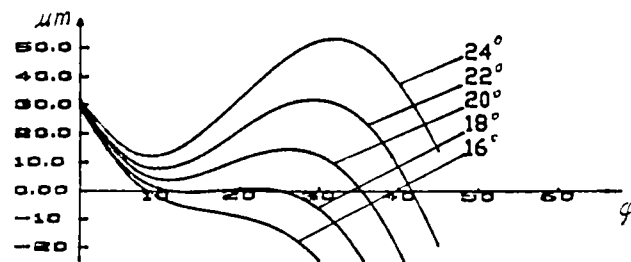


图 5 压力角对侧隙的影响

业的实际情况,可采用 20° 压力角。

4 电算实例

现以 $m=0.5, Z_r=240, Z_g=243$ 的三波谐波齿轮传动装置为例,对其啮合性能进行分析。经计算分析后,得到相应的侧隙曲线和啮合图,如图 6、图 7 所示。综合分析图 6、7 可以看出,在啮合参数选择适当时,柔轮齿廓将近似沿一直线轨迹以较小的侧隙相对刚轮齿廓移动。在波发生器转角 φ 为 60° 的范围内,轮齿啮合的过程达 $30^\circ\sim 35^\circ$,这证实了三波谐波齿轮传动易于实现多对齿同时啮合。也说明了要获得最佳传动方案,实现予期的传动性能,关键在于能否选用合理的啮合参数和结构参数。

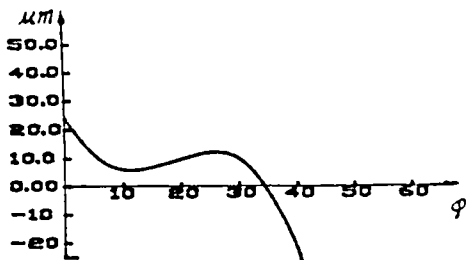


图 6 计算的相应侧隙曲线

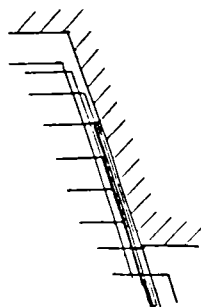


图 7 啮合图

5 结 论

(1)通过分析啮合参数、结构参数对传动性能的影响可知,三波谐波齿轮传动只要啮合参数和结构参数选择适当,就可较容易地获得同时啮合齿数多、回转精度高、回差小、运转平等动态性能。

(2)由啮合性能分析表明,影响啮合性能最主要的因素是径向变形量系数,只要径向变形量系数选择适当时,就可获得满意的啮合性能。一般取 $\Delta=1.1\sim 1.3$ 。

(3)柔轮与刚轮变位系数之间的关系,对啮合性能有很大影响。因此,在具体设计中可按本文分析的结果,确定二者的相互关系。

(4)啮合性能分析可知,三波谐波齿轮传动采用 20° 压力角的渐开线齿廓,较适应我国齿轮行业的现状。有利于该传动今后在我国的研制和开发。

参 考 文 献

[1]谢金瑞,椭圆凸轮波发生器谐波齿轮传动的啮合分析方法,光学机械,1980,(3)
 [2]钟健,三波谐波齿轮传动的计算机辅助设计,光学机械,1990,(1)

Meshing Performance Analysis of Harmonic Drive with Three-wave Wavegenerator

Zhong Jian, He Huiyang, Zhang Chengjia and Wang Aidong
(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese
Academy of Sciences, Changchun 130021*)

Abstract

This paper analyzes the internal relation between the meshing parameters and the meshing performance of harmonic drive with three-wave wavegenerator by using the computer graphics analysis method. Some important design data are obtained and provided theoretical basis for determining the best drive scheme of Harmonic Drive with three-wave wavegenerator.

Key word: Three-wave wavegenerator, Harmonic drive, Meshing performance