

三波谐波齿轮传动啮合参数的选择

谢金瑞 钟 健

摘要：本文在阐述三波谐波齿轮传动工作原理和结构特点的基础上，详细地分析了三波谐波齿轮传动参数对啮合性能的影响，从而获得了一些重要的设计数据和资料，为谐波齿轮传动的深入研究和研制、开发新型的谐波齿轮传动提供了设计分析方法和理论依据。

一、前 言

多年来，国内外已提出了多种谐波齿轮传动的几何计算方法和啮合分析方法，关于啮合参数的选择和几何尺寸的计算尽管已给予了不同的推荐。但有关资料都是针对双波谐波齿轮传动的，而关于三波谐波齿轮传动啮合参数的选择和几何尺寸的计算方法，直到目前为止，还未见报导。这就为三波谐波齿轮传动的研制开发造成了困难。

由谐波齿轮传动的工作原理和性能分析可知，三波谐波齿轮传动较双波谐波齿轮传动具有；同时啮合的齿数多、精度高、回差小、承载能力大、刚度高、运转平稳等优点。因此，该传动在卫星、航天站、飞行器姿态控制、定向机构以及各种智能化仪表的精密数控系统中将是一种很有应用前景的新型传动。

为适应我国空间科学技术的发展，近年来，我所对三波谐波齿轮传动的啮合分析理论和设计计算方法进行了深入地研究，获得了一些重要的阶段性成果。现在仅就与啮合参数选择有关的一些问题讨论如下。

二、三波谐波齿轮传动的作用原理及结构特点

1. 作用原理

由谐波齿轮传动的工作原理可知，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，任一个都可作为主动件，其余两个：一个是被动件，一个则固定不动。图 1 所示的传动原理图是波发生器 1 为主动件，柔轮 2 为被动件，刚轮 3 为固定的三波谐波齿轮传动。在这种情况下柔轮的齿数 Z_2 比刚轮的齿数 Z_1 少三个，即 $Z_1 - Z_2 = u = 3$ (u ——波数)，而周节 t 相同。在装配前柔轮齿圈的原始截面是圆形，装配后由于波发生器的作用，迫使柔轮齿圈变成顶点为圆弧状的

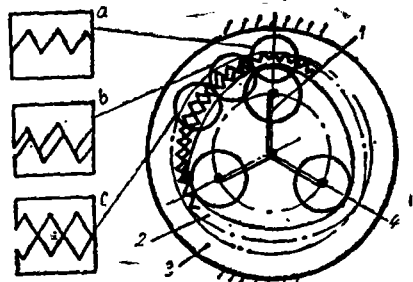


图 1

三角形，其长半轴部分与刚轮完全啮合、短半轴部分完全脱开，中间部分则处于与刚轮不完全啮合的过渡状态，如图1a、b、c所示。

当波发生器按箭头方向转动时，随着啮合位置的逐渐改变，柔轮的齿相对刚轮的齿逐渐产生相对移动。当波发生器转 30° 时，移过 $1/4$ 个齿；转 60° 时，移过 $1/2$ 个齿；转 120° 时，移过1个齿；转 360° 时正好移过3个齿，即波发生器转一转(360°)时，柔轮转过3个轮齿，这时所对应的转角为（即 $\frac{360^\circ}{Z_r} \times u = \frac{360^\circ}{Z_r} \times 3$ ），故波发生器与柔轮之间的传动比为：

$$i = -\frac{360^\circ}{\frac{360^\circ}{Z_r} \times u} = -\frac{Z_r}{u} \quad \text{又} \quad Z_g - Z_r = u = 3$$

故
$$i = -\frac{Z_r}{Z_g - Z_r}$$

式中“-”表示波发生器的转向与柔轮的转向相反。

2. 结构特点

从图1中可以看出，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，柔轮与刚轮同时啮合的齿数显著地增多，啮合深度大，承载能力强，自动定心性好。因而，可使传动系统易于实现高精度，进一步提高其刚度和运转平稳性。所以，该传动在精密工程和高科技领域中的精密数控系统中将是一种较理想的新型传动。

三、主要啮合参数的选择

由上述三波谐波齿轮传动的工作原理和结构特点可知，三波谐波齿轮传动较双波谐波齿轮传动具有很多无可比拟的优点。又由谐波传动的啮合理论可知，啮合侧隙的大小将直接影响谐波齿轮传动的工作性能。而影响啮合性能的主要因素有：径向变形量，变位系数、压力角等。因此，正确地选择径向变形量系数、变位系数、压力角、齿圈厚度系数等主要参数，就可以获得三波谐波齿轮传动的最佳传动方案。

1. 径向变形量系数的选择

径向变形量系数是影响谐波齿轮传动啮合性能的最主要因素，它的大小不仅直接影响柔轮变形量的大小和运动规律，而且对柔轮的变位系数、刚轮的变位系数……等啮合参数的选择也有重要的影响。

图2所示是径向变形量系数是从0.8变化到1.5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 c_n ）。

由图中的曲线可以看出，随着径向变形量系数的变化，相应的侧隙曲线交于一点 O_1 ，并随径向变形量系数的增大，呈现出绕 O_1 点逆时针旋转的趋势。当径向变形量系数过小时，则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，但侧隙波动太大。只有当径向变形量系数 $\Delta_1 = 1.1 \sim 1.3$ 时，才能获得较好的啮合状态。这时的啮合范围较大，同时啮合的齿数超过了刚轮齿数的50%，而且在整个啮合过程中，啮合侧隙值波动最小。

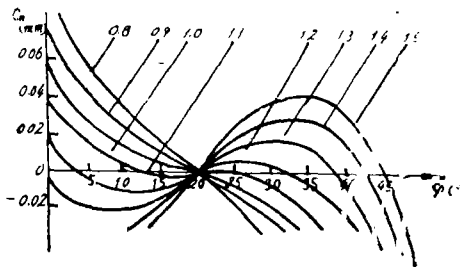


图 2

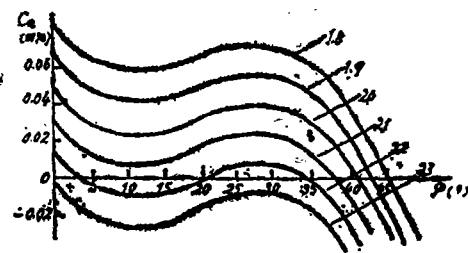


图 3

2. 变位系数的择选

(1) 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 所示的曲线是当柔轮变位系数从 1.8~2.3 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，在这些等距曲线中，随着柔轮变位系数的增大，曲线均匀地向下平移。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。

(2) 刚轮变位系数对侧隙的影响

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 中的一族曲线就是当刚轮变位系数分别等于 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.2, 2.3 时的 c_a — φ 曲线。

由图中的曲线可以看出，当刚轮变位系数增大时，啮合侧隙曲线均匀地向上平移。这说明当刚轮变位系数增大时，侧隙增大，允许啮合的过程加长，同时啮合的齿数增加。

(3) 变位系数关系的确定

由图 4 中的曲线还可以看出，柔轮变位系数与刚轮变位系数之间的关系，对侧隙也有很大的影响。图 4 中的侧隙曲线都是在柔轮变位系数 $x_r = 2.2$ 时，变化刚轮的变位系数而得到的。当刚轮变位系数 $x_g < 1.9$ (即 $x_r - x_g > 0.3$)，侧隙较早地出现负值，而使轮齿之间发生干涉。当 $x_g > 2.2$ (即 $x_r - x_g < 0$) 时，侧隙太大。只有当 $x_r - x_g = (0.1 \sim 0.3)$ 时，才能获得较好的啮合性能。

3. 压力角的选择

压力角的大小对侧隙的影响，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，但随着压力角的增大则情况正好相反。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，一般可采用 20° 压力角。

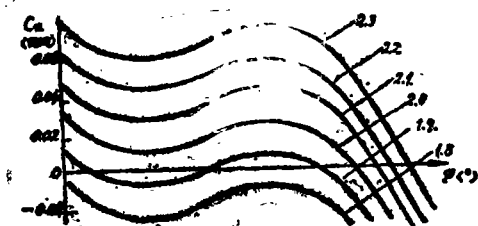


图 4



图 5

4. 柔轮齿圈厚度对啮合侧隙的影响

柔轮齿圈厚度的大小常以齿圈厚度系数 E 来反映,因此,我们可以通过改变齿圈厚度系数来观察齿圈厚度对侧隙的影响。图6是柔轮齿圈厚度系数分别为0.4、0.7、1.0、1.3、1.6、1.9时相应的侧隙曲线。



图6

从这一组曲线可以看出,侧隙受齿圈厚度系数的影响较小,随着齿圈厚度系数的增大侧隙逐渐减小。但是齿圈厚度系数又不易过大,当齿圈厚度系数过大时,柔轮的应力增加,一般情况下可取 $E = 0.8 \sim 1.1$

四、电算示例

现以 $m = 0.5, Z_r = 240, Z_g = 243$ 的三滚子波发生器的谐波齿轮传动为例。当选取有关参数为:径向变形量系数 $\Delta_1 = 1.2\text{mm}$ 、柔轮变位系数 $x_r = 1.58$ 、刚轮变位系数 $x_g = 1.38$ 、齿圈厚度系数 $E = 1.0$ 时,可得出相应的侧隙曲线和相应的啮合图,如图7、8所示。综合分析图7、8可以看出,在啮合参数选择适当的情况下,柔轮齿廓将近似沿着一条直线以较小的侧隙相对刚轮的齿廓移动。而且在波发生器转角为 60° 的范围内,轮齿相互啮合过程可达 $30^\circ \sim 35^\circ$,这证实了三波谐波齿轮传动易于实现多对齿同时啮合。另一方面也说明了,要想获得最佳传动方案,使预期要求的传动性能得以实现,关键在于设计时能否选用合理的啮合参数和结构参数^[2]。

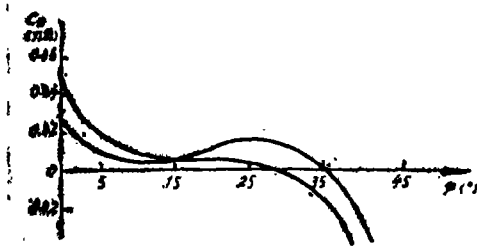


图7

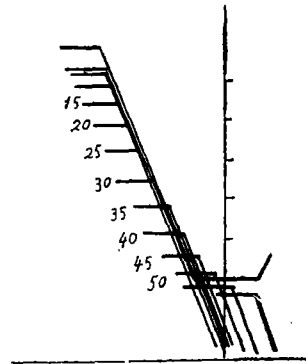


图8 $m = 0.5 \quad Z_r = 240 \quad Z_g = 243 \quad \Delta_1 = 1.2$

五、结 论

1. 通过分析啮合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,就能很容易地达到同时啮合齿数多、回转精度高、回差小、运转平稳等特点。

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 $\Delta_1 = 1.1 \sim 1.3$ 。

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 $x_r = x_g + (0.1 \sim 0.3)$ 的关系式, 确定二者的相互关系。

4. 分析啮合性能可知, 三波谐波齿轮传动采用 20° 压力角较为合适, 这较适合我国齿轮加工的实际状况。因此, 有利于该传动的研制和开发。

5. 各参数的选择, 应根据各自对啮合性能的影响规律, 来适当调整各参数值的大小, 以获得满意的啮合性能。

参 考 文 献

- [1] Иванов М. Н, Шувалов С. А, Артанов А. К; Волновые зубчатые передачи. Изв. Вузов. Машиностроение, No. 8, 1963
- [2] 谢金瑞; 光学机械, No 3, 1980
- [3] Sun Linzhi, Xie Jinrui, Li Yuanxie; Analysis of Meshing Performance of Harmonic Gear Drive, Proceeding of Inter. Sym. on Gearing and Power Transmission, 1981
- [4] Xie Jinrui, Wen Shimin, Zhong Jian; Computer Graphic Analysis Method of Meshing Performance of Harmonic Gear Drive, Proceeding of the Inter Conference on ADVANCED MECHATRONICS, 1989

The Selection of the Meshing Parameter of the Harmonic Gear Drive with Three-wave Wavegenerator

Xie Jinrui Zhong Jian

Abstract

In this paper the principle and the design feature of harmonic gear drive(HGD)with three-wave wavegenerator are described. The effects of parameters on meshing performance are analyzed in detail. Some important design data and materials are obtained. The method of design analysis and theoretical basis are provided for a thorough research of HGD and the development of new type of HGD.