

盘波发生器谐波齿轮传动的计算机辅助设计

吴 一 辉

摘要: 本文对盘波发生器谐波传动在加载状况下的啮合分析理论等进行了较深入地研究, 并在此基础上首次建立了能对该传动进行啮合性分析、选取最佳传动方案、确定相应的啮合参数和结构参数以及实现二维工程图参数化自动绘制等多功能的CAD软件系统。此外还建立了相关的数据库、零件库、标准件库、汉字及工程符号库, 为盘波发生器谐波齿轮传动的研制开发提供了方法和理论依据。

一、前 言

自五十年代中期谐波传动发明以来, 尽管国内外有关专家、学者在此领域内做了大量的研究工作, 但仍有很多问题有待进一步深入研究。本文仅就盘波发生器谐波齿轮传动承载状况下的啮合理论、主要啮合参数、结构参数的选取方法等问题进行较深入研究, 并在此基础上建立起具有理论分析、设计计算、参数化绘制二维工程图等多功能的CAD软件系统。本文的研究工作对该传动的推广应用具有重要意义。

二、盘波发生器谐波传动的啮合分析理论

1. 啮合分析理论

啮合分析理论是研究谐波传动的理论基础。盘波发生器谐波传动在载荷的作用下, 由于柔轮伸长、柔轮扭转以及在波发生器—柔轮系统中的间隙等因素, 均造成柔轮变形形状的改变。本文运用弹性薄壳理论导出该传动加载状况下柔轮的径向变形量 w 、切向变形量 v 和法线转角 μ 的计算式为:

(1) 在 $0 \leq \varphi \leq \gamma$ 区域内

$$W = \frac{\Delta_1 m}{A - B} (A \cos \varphi - B) - \delta \quad (1)$$

$$v = -\frac{\Delta_1 m}{A - B} (A \sin \varphi - B\varphi) - \delta\varphi - \frac{0.375T_2}{Eb_w S_1} [\varphi + 2\cos(\varphi/2) - 2] \quad (2)$$

$$\mu = \{\Delta_1 m / [r(A - B)]\} B\varphi - (1/r) \{\delta\varphi + [0.375T_2 / (Eb_w S_1)] [\varphi + 2\cos(\varphi/2) - 2]\} \quad (3)$$

(2) 在 $\gamma < \varphi \leq \pi/2$ 区域内

$$W = \frac{\Delta_1 m}{A - B} [(1 + \sin^2 \gamma) \sin \varphi + (\frac{\pi}{2} - \varphi) \cos \varphi - 2\sin \gamma - B] - \delta \quad (4)$$

注: 本文作者的导师为谢金瑞

$$v = -\frac{\Delta_1 m}{A-B} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \sin \varphi - (2 + \sin^2 \gamma) \cos \varphi - (2 \sin \gamma + B) \varphi + 2(\cos \gamma + \gamma \sin \gamma) \right] - \frac{0.375 T_2}{E_1 b_w S_1} [\varphi + 2 \cos(\varphi/2) - 2] - \delta \varphi \quad (5)$$

$$\mu = \left\{ \Delta_1 m / [r(A-B)] \right\} [2 \cos \varphi + 2(\sin \gamma + B) \varphi - 2(\cos \gamma + \gamma \sin \gamma)] - (1/r) \left\{ \delta \varphi + 0.375 T_2 / (E b_w S_1) \right\} [\varphi + 2 \cos(\varphi/2) - 2] \quad (6)$$

利用矩阵坐标变换法导出加载状况下该传动柔轮轮齿相对刚轮轮齿的相对运动方程式为:

$$x_k = -0.5 S_{kR} \cos(\Delta \varphi - \mu) \cos\left(-\frac{\int w d\varphi}{l} + \theta_n\right) + (R_{kR} - \gamma) \sin(\Delta \varphi - \mu) + 0.5 B \left(-\frac{\int w d\varphi}{l} + \theta_n\right) \times \cos(\Delta \varphi - \mu) + \rho \sin \Delta \varphi \quad (7)$$

$$y_k = 0.5 S_{kR} \sin(\Delta \varphi - \mu) + (R_{kR} - r) \cos(\Delta \varphi - \mu) - 0.5 B \frac{w}{l} \cos(\Delta \varphi - \mu) + \rho \cos \Delta \varphi \quad (8)$$

$$z_k = 0.5 S_{kR} (\mu + \theta_n) + \frac{w}{l} (R_{kR} - r) \cos(\theta_n + \frac{-s w d\varphi}{l}) - 0.5 B \quad (9)$$

侧隙方程式为:

$$C_n = (X_{kR} - 0.5 S_{kR}) \cos \alpha_{kR} \quad (10)$$

式中, $A = \pi/2 - \sin \gamma \cos \gamma - \gamma$, $B = -2 \sin \gamma - (4\gamma/\pi) \sin \gamma + (4/\pi) \cos \gamma$;

$\theta_n = T_2 r / (G I_p)$ —柔轮的扭转角;

$\Delta \varphi$ —柔轮齿廓上H点的向径对刚轮齿对称中线的旋转角度;

r —柔轮中性圆半径; ρ —矢径; T_2 —低速轴上的扭矩;

S_{kR} 、 S_{kG} —分别为刚、柔轮轮齿上k点的弧齿厚;

R_{kR} —变形前柔轮齿廓上K点所在圆周的半径;

α_{kR} —刚轮齿上K点所对应的压力角; E —弹性模量;

G —第二弹性模量; S_1 —齿圈壁厚; δ —最大总径向间隙;

b_w —柔轮齿圈宽; l —柔轮的计算长度; B —齿宽;

$I_p = 2\pi r^3 S_1$ —极惯性矩。

从侧隙方程中可以看出,影响该传动主要性能指标的因素有:柔轮对发生器的包角,柔轮的径向变形量,刚轮和柔轮的变位系数、在分度圆上的压力角、齿数比、柔轮齿圈中性层半径、齿圈宽度、柔轮长度以及载荷的大小等。

三、盘波发生器谐波齿轮传动的CAD软件系统

从上面的分析可以看出,影响盘波发生器谐波传动啮合性能的因素很多,关系较为复杂,计算量大,因而为提高产品的可靠性,缩短设计周期,本文首次编制了该传动的CAD软件系统,此软件系统可分为两大部分:

1. 啮合性能分析及设计计算

这部分主要完成该传动的啮合性能分析、主要啮合参数、结构参数的确定、强度校核以及其他设计计算等。利用该软件对盘波发生器谐波传动的啮合性能进行分析,得出以下结论:

- (1) 柔轮的径向变形系数一般取在0.95—1.05范围内；
 (2) 在3附近给出一个变形系数，再利用两变位系数之间的关系

$$x_2 = x_1 - 1 + \Delta 1 - \Delta x$$

确定另一个（其中 $\Delta x = 0 - 0.08$ ）；

- (3) 包角 γ 取在 35° 左右；

(4) 载荷的作用使整个过程的啮合侧隙减小，啮合区缩短，但长轴附近同时啮合的齿数增多，因而在动力传动中为避免过早干涉，应给出一定的侧隙值。

- (5) 压力角可定为 20° ，通过改变其他参数来获得较好的传动效果。

2. 计算机参数化绘制二维工程图

计算机绘图是CAD的重要组成部分，而计算机绘制谐波传动生产图在我国还处于探索阶段。本文以盘波发生器谐波传动的啮合理论及啮合分析的结果为依据，在总结我所多年来的设计经验，归纳大量国内外谐波产品样本的基础上，建立了盘波发生器谐波传动参数化设计的数学模型。在IBM—PC/AT机上利用智能化较强的Auto LISP语言，完成了盘波发生器系列产品绘图软件的编制，并建立起相关的数据、零件、标准件工程符号以及能在键盘上用双拼音输入的汉字库，达到输入一些参数即可绘出相应的二维工程图的目的。

四、结 论

本论文的研究工作，充实了盘波发生器谐齿轮波传动的啮合分析和设计计算理论，所开发的盘波发生器谐波齿轮传动CAD软件系统为谐波齿轮传动的智能化设计奠定了基础，为该传动的进一步研制、开发提供了重要的方法和理论依据。

参 考 文 献

- [1] Xie Jinrui, Sun Linzhi, Meshing Analysis Method of Harmonic Gear Drive Using Symmetric Disc Wavegenerator, Proceeding of the 1st. Inter. Sym. on Design and Synthesis, 1984, Tokyo
 [2] 谢金瑞：光学机械，1976，No. 3
 [3] 沈允文、李克美译，〈谐波传动〉，国防工业出版社，1988

Computer Aided Design of the Harmonic Drive Using Symmetric Disc Wavegenerator

Wu Yihui

Abstract

Meshing analysis theory of the loaded harmonic drive using symmetric disc wavegenerator was studied in this paper, and a CAD software package is developed. The software not only can analyse the

meshing performance, select the meshing and constructive parameters, but also can realize the engineer drawing of the harmonic drive automatically. Moreover the database, the spare parts pattern and the engineering symbol library is built up.