

端面谐波齿轮传动的啮合分析方法

曹 玉 红

摘要：在对端面谐波齿轮传动啮合原理、结构特点、运动规律进行深入研究的基础上，提出了较完整的啮合分析理论，建立了应用电子计算机选取最佳传动方案、并确定相应的啮合参数和结构参数的自动设计方法。这些理论和方法对端面谐波齿轮传动的开发和研制有重要的参考价值。

一、前 言

端面谐波齿轮传动是在径向谐波齿轮传动基础上派生出的一种新型传动。它除具有径向谐波齿轮传动的主要特点外，更具有轴向尺寸小、结构紧凑、装调方便、效率高、柔轮扭转刚度大等优点。

二、端面谐波齿轮传动的啮合分析理论

啮合分析理论是研究谐波齿轮传动的理论基础。本文比较完整地阐述了端面谐波齿轮传动的啮合分析理论。

运用弹性板壳理论可以导出在波发生器作用下柔轮的轴向变形量 ω 、径向变形量 U 、切向变形量 V 和法线转角 μ 的计算式为：

$$\omega = \frac{\omega_0}{H_0} [A_0 + \sum_{n=2,4,6} (a_n \beta^n + b_n \beta^{-n} + c_n \beta^{n+2} + d_n \beta^{-n+4}) \cos n\varphi] \quad (1)$$

$$U = -\frac{1}{2} \int \left(\frac{d\omega}{dr} \right)^2 dy \quad (2)$$

$$V = -\int \left(u + \frac{1}{2r} \left(\frac{\partial \omega}{\partial \varphi} \right)^2 \right) d\varphi \quad (3)$$

$$\mu = -\frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial \varphi} \quad (4)$$

在此基础上，利用矩阵座标变换法导出在波发生器作用下该传动柔轮齿廓上的任意点 K 相对刚轮齿廓的相对运动方程式为：

$$\begin{cases}
 x_{2k} = -x_k(\cos\mu \sin\Delta\phi - \sin\mu \sin\beta \sin\Delta\phi) + y_k \cos\beta \sin\Delta\phi \\
 \quad - z_k(\sin\mu \cos\Delta\phi + \cos\mu \sin\beta \sin\Delta\phi) - \mu \sin\Delta\phi + r \sin\Delta\phi \\
 y_{2k} = -x_k(\cos\mu \sin\Delta\phi + \sin\mu \sin\beta \cos\Delta\phi) + y_k \cos\beta \cos\Delta\phi \\
 \quad + z_k(\sin\mu \sin\Delta\phi - \cos\mu \sin\beta \cos\Delta\phi) \\
 z_{2k} = x_k \sin\mu \cos\beta + y_k \sin\beta + z_k \cos\mu \cos\beta + \omega
 \end{cases} \quad (5)$$

侧隙方程为:

$$C_n = (x_{2k} - 0.5S_{k\alpha}) \cos\alpha \quad (6)$$

式中:

ω_0 ——柔轮的最大轴向变形量;

$A_0, H_0, A_n, B_n, C_n, D_n$ ——与柔轮结构有关的常数;

r ——柔轮齿外端所在圆周的半径;

φ ——波发生器的转角;

$\Delta\phi$ ——在柔轮齿外端, 柔轮齿厚对称轴线与柔轮中性线交点 H 的向径相对刚轮齿厚对称轴线与刚轮齿外端所在圆周交点的向径之间的转角;

$S_{k\alpha}$ ——通过与柔轮齿廓上 K 点相对应的刚轮齿廓上相应点的弧齿厚; 由侧隙方程可以看出, 影响该传动主要性能指标的因素有: 柔轮的最大轴向变形量、刚轮和柔轮的轴向变位系数、齿形角、柔轮板厚等。

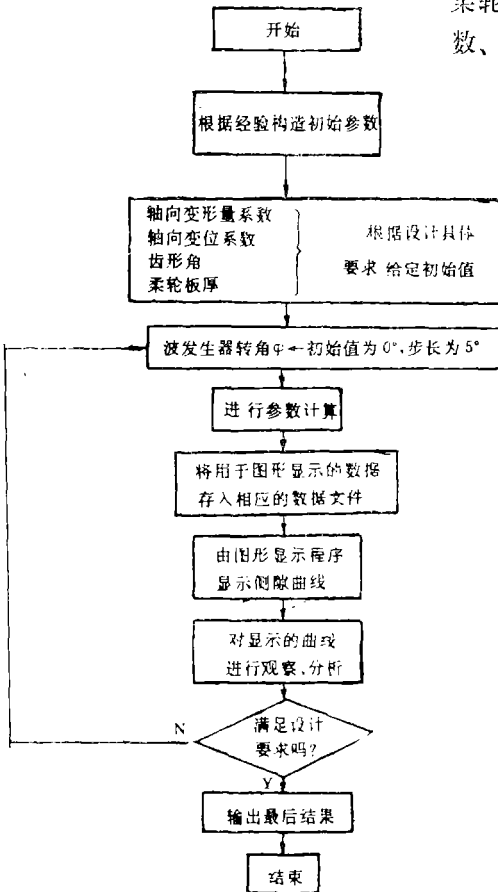


图 1

三、端面谐波齿轮传动的啮合分析程序

为了实现预期的传动质量指标, 选取最佳传动方案, 并确定合理的啮合参数和结构参数。根据上述啮合分析理论, 编制了端面谐波齿轮传动的啮合分析计算程序。该程序主要是利用上面所提出的运动方程和侧隙方程, 通过变化方程中的相应的参量, 在波发生器转角 φ 从 0° 到 90° 的范围内, 对柔轮齿廓上有限个特征点, 分别来求它们各自相对刚轮齿廓的运动轨迹和侧隙的变化规律。这样就可获得大量用来评价传动质量, 并能提供设计参数的传动方案啮合图。之后再根据设计的具体要求, 从中选取最佳传动方案, 并确定相应的啮合参数和结构参数, 如程序框图 1。

四、端面谐波齿轮传动的啮合性能分析

利用上面编制的程序对端面谐波齿轮传动进行啮合性能分析，可以得出以下结论。

1. 当最大轴向变形量增大（减少）时，侧隙值增大（减少）。一般可取 $\omega_0 = 2.3m$ 。
2. 轴向变位系数对侧隙的影响近似于一组等距曲线，轴向变位系数增大（减少）时，侧隙值减少（增大）。
3. 齿形角增大（减少）时，侧隙值减少（增大）。一般齿形角取定为 20° ，这样既可得到好的啮合性能，又适合我国的加工实际情况。
4. 柔轮的板厚对侧隙值的影响很小。

五、结 束 语

1. 本文所采用的计算机图形分析法，能快速方便地进行端面谐波齿轮传动啮合性能的分析，因而为选取最佳传动方案并确定合理的啮合参数和结构参数，提供了一种有用的方法和工具。

2. 齿形角、柔轮的轴向最大变形量等是影响端面谐波齿轮传动啮合性能的主要因素，实验分析证实，采用 20° 齿形角、柔轮的最大轴向变形量在 $(2.1 \sim 2.3)m$ 范围内取值时，能获得较好的啮合性能。

3. 本文在进行端面谐波齿轮传动的啮合分析时，刚轮、柔轮的变位采用高度变位，而不是切向变位。这样将更符合我国目前齿轮加工的实际情况。

参 考 文 献

- [1] 何慧阳、谢金瑞；《光学机械》，1989，5
- [2] 任辉；《光学机械》，1991，2
- [3] 沈允文、叶庆泰；《谐波齿轮传动的理论和设计》，机械工业出版社 1985，9
- [4] 黄克智；《板壳理论》，清华大学出版社 1987，6

Precision Analysis Method of the Contrate Harmonic Gear Drive

Cao Yuhong

Abstract

On the basise of meshing principle, structure feature, law of motion which have deeply reseashed, the paper proposes a complete theory of the meshing analysis and provides an automatic de-

sign method which can select the optimum transimsion scheme and determination of corresponding meshing parameter and structure parameter. These methods and theory have important reference value for the research and development of the contrate harmonic gear drive.