

# 齿轮联轴器齿形优化设计的理论分析

彭书志 宋立维

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 研究了齿轮联轴器这一空间啮合问题。空间啮合可离散为在一系列显示平面的啮合,通过计算机交互图形技术进行数值分析和综合处理。当角位移为某一定值或在一定范围内变动时可对齿轮联轴器中的鼓形齿外齿形进行计算机辅助优化设计,可得到满足共轭状态的优化设计的外齿套,这对于改善齿轮联轴器传动中啮合状态、使用寿命有较大意义。

**关键词** 齿轮联轴器 齿形 优化设计

## 1 引言

齿形联轴器是中型和重型机械中的最常见的联接两传动轴的部件<sup>[1]</sup>,但由于制造及安装等原因,两传动轴总有轴线角位移误差,标准的渐开线圆柱齿轮不再具有较好的啮合接触条件,因此在角位移为一数值或在一范围内对其齿形作优化设计已迫在眉睫,虽然这是生产中急待从理论上解决的问题,但迄今一直未能较好解决,本文采用离散化计算机交互图象技术对其进行了理论研究,取有代表性的截面加以分析,近而得到其共性规律。

根据优化理论首先初选齿形,在此基础上,根据给定条件进行优化,优化后的齿形应保证传动均匀,在与内齿圈啮合工作时接触面积应为最大值。由于渐开线齿形已生产多年且使用情况较好,故取内齿圈的齿形为标准渐开线,只研究与它相啮合的外齿套的齿形优化设计问题。

## 2 离散化计算机交互图像法

内齿圈与外齿套的空间啮合可离散为一系列平面内的啮合,在这些显示平面连续曲线齿形又可继续离散为一系列的点。这些点和连续曲面通过运算可互相联系,相互转换,其啮合情

况可在计算机屏幕上再现, 并可通过人一机对话进行处理, 达到优化目的。

首先建立与外齿套固连的动坐标系  $S_H(X_H, Y_H, Z_H)$ , 再建立与内齿圈相固连的定坐标系  $S(X, Y, Z)$  如图所示, 其坐标之间变换关系为:

$$\begin{pmatrix} X_H \\ Y_H \\ Z_H \end{pmatrix} = A \cdot B \cdot C \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中,  $A$  —— 绕  $Z_H$  转动  $\alpha$  角的变换矩阵

$B$  —— 轴线夹角为  $\beta$  角的变换矩阵

$C$  —— 绕  $Z$  转动  $\gamma$  角的变换矩阵

根据精度要求, 经过离散化处理, 由上述矩阵变换, 就可进行优化设计。确定目标函数, 目标函数为  $F(X) = F(X_1, X_2, X_3)$ , 其中  $X_1 = \alpha, X_2 = \beta, X_3 = \gamma$ , 本设计变量为  $\alpha, \beta, \gamma$ 。设计维数为 3, 约束条件为 1 个。采用的优化方案为: 在节圆柱沿齿长方向取某一截面, 在根据传动中的啮合条件求此截面的齿形。改变不同截面的角度参量, 代入约束条件就可求得最佳值。由此值组成的齿面就是所求的优化齿形。

## 2.1 角位移为一固定数值时的齿形优化

如测定角位移为  $4^\circ$ ; 在已知内齿圈参数的情况下, 在轴向位置一定时, 可由数值法求出每一个齿的相对轨迹的包络线, 在各个显示平面重复上述步骤就可求出外齿套的完整的共轭齿面, 这样求出的共轭齿面消除了两个标准渐开线齿廓相互干涉, 使得传动平稳, 且接触面积大, 承载大<sup>[2]</sup>。

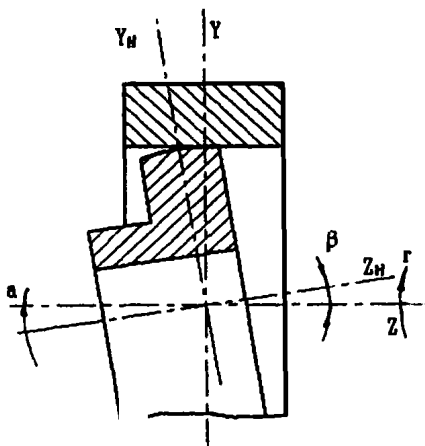


Fig. 1 The mutual coordinate relation

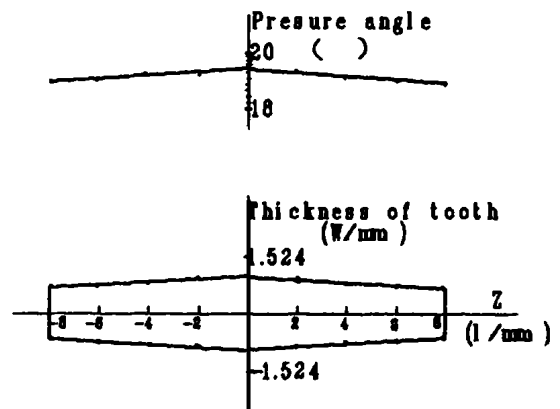


Fig. 2 The result of optimum profile

经过计算, 优化齿形的结果见图 2, 图中所示是优化齿形在齿长方向的齿形, 它与轴线的倾角与  $\beta$  角数值相近, 但不是一个恒定值, 在每个显示平面的端面齿形仍可相当近似拟合成渐开线, 但压力角已不是标准值, 略小些, 故可看出, 优化后的外齿套是一个变齿厚变压力角的特殊渐开线齿轮。

## 2.2 角位移在一定数值范围内的齿形优化

上述讨论的为特殊情况,在通常情况下,由于制造误差及装配等不可精确预见,且在实际工作中角位移也可能有较小的变化,因此,更多的情况是按角位移在一定数值范围内进行齿形优化设计。

在给定范围内的各个角位移都可用上述方法逐个的求得其对应的外齿套共轭齿面,但这些共轭齿面在空间上是彼此相交的,不可能找到一个曲面同时包络这些齿面,只能找到一个能与这一系列齿面相切的优化齿面。求解的步骤为:

(a) 选择节圆柱沿齿长方向的优化齿形 (b) 根据相切条件求出此齿形,各个角位移共轭曲面相切的各个切点 (c) 在各切点处选择显示平面,以对应的角位移为定值得各显示平面内的优化齿形,这就是外齿套在各端面的齿形,由此组成的齿面就是外齿套的优化齿形。

## 3 在优化设计中的几个相关参数

齿长方向齿形的选择应使其有最大的曲率半径,曲率半径  $R$  与最大角位移  $\theta_{\max}$  及齿宽  $B$  之间关系式为

$$R(\theta) \cdot \cos\theta \cdot d\theta = B/2 \quad (2)$$

当  $R(\theta) = R_0$  即为常数,上式变换为  $R_0 = b/(2\sin\theta_{\max})$ ,由此可见增大曲率半径往往相应增大了齿宽。如已知  $R(\theta)$  的分布函数,经过积分就可求出在不同  $\theta$  下的  $B$  值。当  $R(\theta)$  的分布函数按线性规律变化时,其对应的齿长方向的齿形为渐开线;当  $R(\theta)$  的分布函数按阶梯形状分布时,其对应的齿长方向的齿形为多段具有不同半径的圆弧。

齿厚受最大角位移时靠近外端面处不发生干涉条件的限制,可由  $\theta_{\max}$  决定  $B_{\max}$ ,其它的齿厚可由齿长形状要求决定。

## 4 结 论

目前经常被推荐的外齿套是标准渐开线齿廓的鼓形齿,即只有齿长方向修形,在各端面内齿形相同,当有角位移时,它不是共轭齿形,采用计算机交互图像分析技术,当  $\theta$  较大时,接触质量不好,只有较少的齿工作,齿极易因疲劳强度而损坏,或断齿。因此,沿轴向个端面齿廓进行修形才能获得最佳的啮合状态<sup>[3]</sup>。

随着计算机交互图象技术的普及,再此基础上组成计算机 CAD/CAM 系统,通过人一机对话或完全自动输入速控机床加工中心,就可加工出完全满足共轭状态的外齿套。这对于齿形联轴器推广起重要作用。

### 参 考 文 献

- 社启权. 鼓形齿加工工艺的研究. 北京: 矿山机械出版社, 1986, 9: 35~37
- 彭书志. 鼓形齿轮齿面共轭滚切规律. 长春: 吉林工业大学出版社, 1992, 22(4): 82~87

- 3 彭书志. 按共轭原理滚切鼓形齿轮联轴器齿面的理论分析. 北京: 机械工程学报出版社, 1998, 6(1): 88 ~ 90

## Theoretical Research of Optimum Design on Profile Shape of Gear Coupling

PENG Shu-Zhi, SONG Li-Wei

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

### Abstract

This paper discusses the gear coupling as the space engagement. The space engagement can be divided into a series of engagement of showing surfaces. It can be made mathematical analyses and syntheses by the computer mutual graph technology. When the angle displacement is a numerical value or in a limited range, we carry on the Computer Aided Optimum Design about the outer profile of the coupling. The optimum outer clutch meeting within conjugation condition can be gained. This will have a great meaning its working condition and use life.

**Key words:** Coupling, Profile, Optimum design

彭书志 男, 1967年8月17日出生。1990年吉林工大机械系毕业, 获硕士学位, 主要从事于齿轮的理论及加工工艺的研究, 先后发表了近30篇文章。