

基于枚举法的锥齿轮传动优化设计

程 进

(四川省工业贸易学校, 四川 成都 610081)

【摘 要】本文首先讨论了枚举法在小型机械优化设计中的优点,给出了运用枚举法进行机械优化设计的方法,然后建立了锥齿轮传动优化设计的数学模型,最后运用枚举法对该模型进行了求解。

【关键词】枚举法;锥齿轮;优化

【中图分类号】TH132.421 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2009)01-0044-03

引言

机械优化设计大多数属于约束优化设计。目前,约束优化设计一般采用随机搜索法、复合形法、可行方法、罚函数法以及遗传算法等方法。这些方法是建立在设计变量是连续量的基础之上的,而机械设计中很多变量是由国标规定的,它们是非连续的一系列离散量,如齿轮的模数、V带的长度、轴颈的直径、键槽的宽度等。对于这些设计变量,要对优化的结果进行圆整,以圆整后的设计变量作为最终设计变量。对于设计变量为离散量的优化问题,采用上述无约束优化方法求解,存在两个问题:一是程序编写复杂;二是圆整后的设计变量有可能并非是最优化的结果。对于小型离散变量的优化问题,采用枚举法进行优化设计就有很大的优越性。锥齿轮传动用于传递相交两轴之间的运动和动力,是一种应用很广泛传动。本文以锥齿轮传动设计为例,介绍运用枚举法对机械产品进行优化设计的方法。

1 枚举法简介

1.1 枚举法及其优点

机械优化设计中的枚举法,就是将满足约束条件的设计变量进行组合,对各个组合方案进行既不遗漏也不重复地列举,对各方案进行比较寻优,从而得到最优设计结果。当然,并不是所有的机械设计问题都可以使用枚举法来寻找答案的,仅当问题的所有可能解的个数不太多时,才有可能使用枚举法,在可以接受的时间内获得问题所有的解。如果设计变量过多,就有可能出现“组合爆炸”效应。对于小型离散变量的优化问题而言,枚举法是一个不错的算法,其优越性体现在三个方面:一是优化结果是全局最优解,不是局部最优解;二是算法简单,思路清晰,程序编写容易;三是优化设计的结果不用圆整。

1.2 设计变量的数据结构

为方便编程,要对一些标准化的离散设计变量的取值进行存储。一般有两种方式来存储这些取值:数组或数据文件。例如可以建立一个数组来存储国标规定的齿轮的模数系列值。如果离散量用数组存储,则数组与优化程序为一体;如果离散量用数据文件存储,则数据文件与优化程序相互独立。如果设计变量绝大多数为离散量,只有个别为连续量,可以人为地将连续量离散化,也就是以一系列的离散量来代替一个连续量,离散量的多少由实际情况决定。

2 锥齿轮优化设计的目标函数及约束条件

2.1 目标函数

目标函数应根据设计要求的不同来确定。通常在满足使用要求的前提下,为节约金属材料,以锥齿轮传动的最小体积为目标函数。可用锥体体积计算公式来求目标函数 V ,可以写成

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 + V_2 \\
 &= \frac{\pi}{3} b \cos \delta_1 \left[\left(\frac{mZ_1}{2} \right)^2 + \frac{mZ_1}{2} \left(\frac{R-b}{R} \frac{mZ_1}{2} \right) + \left(\frac{R-b}{R} \frac{mZ_1}{2} \right)^2 \right] \\
 &\quad + \frac{\pi}{3} b \cos \delta_2 \left[\left(\frac{mZ_2}{2} \right)^2 + \frac{mZ_2}{2} \left(\frac{R-b}{R} \frac{mZ_2}{2} \right) + \left(\frac{R-b}{R} \frac{mZ_2}{2} \right)^2 \right]
 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, b 为齿宽; m 为模数; R 为锥距; δ_1 , δ_2 分别为小齿轮和大齿轮的分锥角; Z_1 , Z_2 分别为小齿轮和大齿轮的齿数。

收稿日期:2008-11-17

作者简介:程进(1958-),男,讲师,长期从事机械原理及机械设计的教学与研究。

由锥齿轮各参数间的关系可知:目标函数的值由三个独立参数 Z_1 、 Ψ_R 、 m 决定。 Ψ_R 为齿宽系数。所以设计变量

$$x = [Z_1, \Psi_R, m]^T \tag{2}$$

2.2 约束条件

所有可行的解都必需满足以下条件

(1)圆周速度条件

$$V_m < 8\text{m/s} \tag{3}$$

(2)模数条件

$$1.5 < = m < = 20 \tag{4}$$

(3)齿宽系数 Ψ_R 应满足的条件

$$0.25 < = \Psi_R < = 0.3 \tag{5}$$

(4)小齿轮不根切条件

$$17\cos \delta_1 = > Z_1 = > Z_{\text{MAX}} \tag{6}$$

(5)接触强度条件

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_z \sqrt{\frac{4.7KT}{\Psi_R \times (1 - 0.5\Psi_R)^2 d_1^3 u}} < [\sigma_H] \tag{7}$$

式中, Z_E 为弹性系数; Z_H 为节点区域系数; Z_z 为重合度系数; K 为载荷系数; T 为扭矩; d_1 为小齿轮公称直径, u 为齿数比, $u=Z_2/Z_1$; $[\sigma_H]$ 为许用接触应力。

(6)弯曲强度条件

$$\sigma_F = \frac{4.7KT}{\Psi_R (1 - 0.5\Psi_R)^2 Z_1^2 m^3 \sqrt{u^2 + 1}} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_z < [\sigma_F] \tag{8}$$

式中, Y_{Fa} 为齿形系数; Y_{Sa} 为应力修正系数; Y_z 为重合度系数; $[\sigma_F]$ 为许用弯曲应力。

3 锥齿轮优化设计的流程

该优化模型的三个设计变量中, m 和 Z_1 为离散变量, Ψ_R 为非离散变量,可以将它离散化后再求解。求解流程如图1所示。

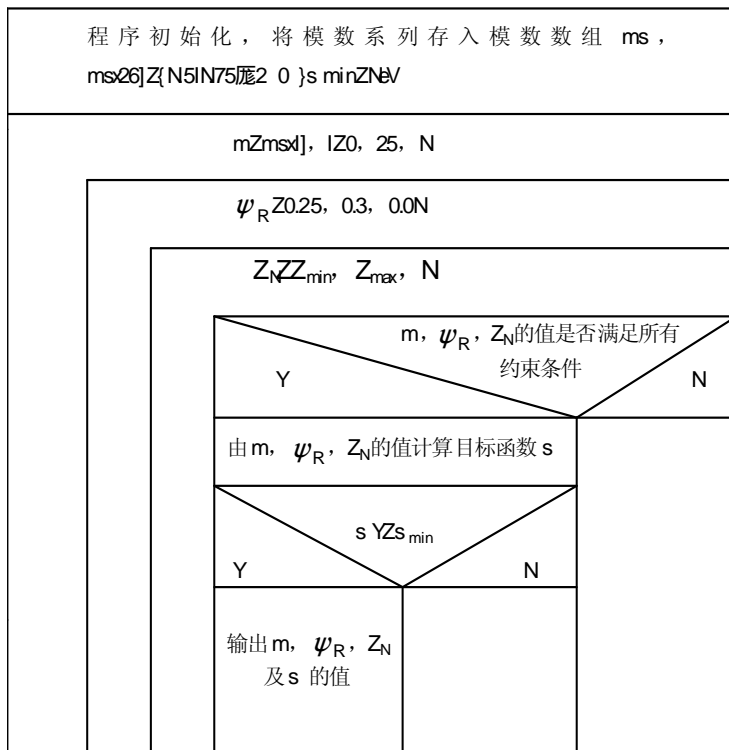


图1 优化设计流程图

4 计算实例

试设计一个直齿闭式圆锥齿轮传动,要求体积最小。已知条件如下:轴交角为90°,小齿轮悬臂支撑,大齿轮两端支撑,小齿轮传递扭矩 $T_1=40\text{n.m}$,小齿轮转速 $n_1=960\text{ r/min}$,齿数比 $u=3$,精度等级7级,电机驱动,工作机载荷平稳,二班制工作,期限8年,小齿轮40Cr调质处理,硬度241HB~286HB,大齿轮42SiMn调质处理,硬度217HB~255HB。

根据题设数据查表求出许用接触疲劳极限 $[\sigma_H]$ 及许用弯曲应力 $[\sigma_F]$,应用图1所示流程编程求解,优化结果输出如下(目标函数值的单位为 mm^3)。

- m=1.50 z1=47 ck=0.30 v=361562.281250
- m=1.50 z1=48 ck=0.27 v=358159.968750
- m=2.00 z1=36 ck=0.27 v=358159.968750
- m=2.25 z1=32 ck=0.27 v=358159.968750
- m=2.50 z1=29 ck=0.26 v=355973.687500

由输出结果可知,最后一个方案为最好的设计方案。

5 结语

运用枚举法进行机械优化设计具有思路清晰、编程简单、不会出现局部最优解、求解结果不需圆整等优点。通过优化实例求解表明:枚举法求解以离散设计变量为主的小型机械优化设计问题是非常有效的。

注释及参考文献:

[1]机械工程手册编辑委员会.机械工程手册(第32篇),齿轮传动[M].北京:机械工业出版社,1980
 [2]张艳,黄乾贵.基于遗传算法的弧齿锥齿轮传动的优化设计[J].机械仪表,2003,27(4):32-33.

Optimization Design of Bevel Gears Transmission Based on Enumeration Method

CHENG Jin

(Sichuan Industry-trade School, Chengdu, Sichuan 610081)

Abstract: In this paper, the virtues of enumeration method for small mechanical optimization design are discussed at first, and the steps of using enumeration method are introduced, then the mathematical model of bevel gear's optimization design is established, and the model is resolved by enumeration method finally.

Key words: Enumeration method; Bevel gears; Optimization