

文章编号:1673-0062(2012)01-0027-04

基于 Matlab 轧辊滚动轴承的优化设计

唐永辉,周 炬,陈艾华

(南华大学 机械工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:滚动轴承是轧钢生产设备中重要的部件之一,也是较易损坏的部件.本文在建立轧辊滚动轴承优化数学模型的基础上,以 Matlab 为平台对优化模型进行了求解,并对优化前后的轴承结构参数进行了比较分析,其结果表明优化效果良好.

关键词:轧辊;滚动轴承;优化设计;Matlab

中图分类号:TH133.3;TH122 **文献标识码:**B

Optimum Design of Rolling Bearing for Roller Based on Matlab

TANG Yong-hui, ZHOU Ju, CHEN Ai-hua

(School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Rolling bearing is one important part of the production equipment of steel rolling, and is also more fragile to damage. After the optimum model of rolling bearing for roller was presented, the paper solved the model by matlab software and compared the data between no-optimization and optimization. The result shows that the effect of optimization is good.

key words: roller; rolling bearing; optimum design; matlab

0 引 言

在冶金、轧钢、矿山等生产设备上,滚动轴承是一种精密的机械基础件,具有很强的通用性、互换性.由于恶劣的工作条件,轧辊轴承是较易损坏的部件.尽管设计选轴承时考虑了这些因素,滚动轴承的实际寿命往往只是设计寿命的一半,甚至更低^[1].为此,对滚动轴承进行优化设计具有重要的现实意义.

1 优化模型

对轧辊滚动轴承进行优化设计,首先要建立滚动轴承优化模型,即确定目标函数、约束条件和优化算法.

1.1 目标函数

在优化设计中,对同一分析对象,不同的设计目标其建立的目标函数必然不同的.如文献[2]和文献[3]都从不同的设计目标来实现滚动轴承

收稿日期:2011-12-06

基金项目:湖南省高等学校科研基金资助项目(10C1148)

作者简介:唐永辉(1979-),男,湖南常宁人,南华大学机械工程学院讲师,硕士.主要研究方向:CAD/CAM、设备故障、系统检测.

的优化,最终都取得了良好的效果.

从轧辊滚动轴承的使用情况来看,轧辊轴承出故障的主要表现为滚珠磨损.因此,要提高轧辊滚动轴承的使用寿命,从外部因素来讲,主要是改善其使用环境,如润滑和冷却条件;从内部因素来讲,主要是实现结构参数的优化.

轴承的主要结构参数有滚珠直径 d 、滚珠所在圆的直径 D 、滚珠数 z 、滚道的位置角 α .由文献[4]可知轴承的寿命直接跟轴承轴向力 F_s 和轴承径向力 F_R 有关.根据文献[5],可以建立力矩 M 与结构参数之间的函数关系式,即

$$M = 0.04 \left(\frac{1.5F_s + 1.5F_R \tan \alpha}{z \sin \alpha} \right) \times \frac{d}{D} \quad (1)$$

由上式可知,本设计的变量为

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T = [d, z, \alpha, D]^T \quad (2)$$

目标函数为

$$F(X) = 0.04 \left(\frac{1.5F_s + 1.5F_R \tan x_3}{x_2 \sin x_3} \right) \times \frac{x_1}{x_4} \quad (3)$$

1.2 约束条件

从上文所述的目标函数可以看出,轧辊滚动轴承的结构约束条件具体表现为 d, z, α 和 D 的约束.

实际使用中,轧辊滚动轴承失效主要表现为滚珠磨损.因此有必要考虑滚珠的接触强度,其条件为

$$d \geq \frac{207.2}{(HB)\sqrt{}} \sqrt{\frac{1.5F_s + 1.5F_R \tan x_3}{x_2 \sin x_3}} \quad (4)$$

其中 (HB) 为布氏硬度,由式(4)可得约束函数为

$$g_1(X) = x_1 - \frac{207.2}{(HB)\sqrt{}} \sqrt{\frac{1.5F_s + 1.5F_R \tan x_3}{x_2 \sin x_3}} \geq 0 \quad (5)$$

轧辊滚动轴承实际结构尺寸需满足如下约束条件: $8 \leq d \leq 18, 1.6(D/d) \leq z \leq 2.45(D/d), \pi/6 \leq \alpha \leq \pi/3, 215 \leq D \leq 270$.

则约束函数为

$$\begin{aligned} g_2(X) &= x_4 - 215 \geq 0; g_3(X) = 270 - x_4 \geq 0; \\ g_4(X) &= x_1 - 8 \geq 0; g_5(X) = 18 - x_1 \geq 0; g_6(X) = \\ x_2 - 1.6(x_4/x_1) &\geq 0; g_7(X) = 2.45(x_4/x_1) - x_2 \geq 0; \\ g_8(X) &= \pi/3 - x_3 \geq 0; g_9(X) = x_3 - \pi/6 \geq 0 \end{aligned}$$

由上述条件得该设计的数学模型为

$$\begin{cases} \text{求 } X \in R^4 \min F(X) \\ = \min \left[0.04 \left(\frac{1.5F_s + 1.5F_R \tan x_3}{x_2 \sin x_3} \right) \times \frac{x_1}{x_4} \right] \\ X = [x_1, x_2, x_3, x_4] \\ \text{满足 } g_j(X) \geq 0, j = 1, 2, \dots, 9 \end{cases} \quad (6)$$

2 遗传算法

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法,由美国 J. Holland 教授于 1975 年最先提出来^[6].遗传算法不但具有较强的全局搜索功能和求解问题的能力,还具有简单通用、鲁棒性强、适于并行处理等特点,是一种较好的全局优化搜索算法.遗传算法是从目标可能潜在解集的 1 个种群开始,根据适者生存和优胜劣汰的原则,在每 1 代中根据目标中个体的适应度大小挑选个体,并借助于自然遗传学的遗传因子进行组合、交叉和变异,从而目标进化到搜索空间中越来越好的区域.逐代进化以得到目标近似最优解.该算法在机械产品动态性能的优化设计中已被大量采用,且效果非常好.

2.1 适应度函数

遗传算法并不能明确表示目标函数的约束条件,而机械产品结构优化问题往往都是带有约束条件的.为了衡量每个约束对目标影响大小,可以用一个惩罚函数来计算每个约束的影响值,这样可以解决遗传算法中目标优化的约束表达问题.惩罚函数如下

$$G(x) = F(x) + \sum_{j=1}^9 r_j \{ \max[0, g_j] \}^2 \quad (7)$$

其中: $F(x)$ 为目标函数; r_j 为惩罚因子.

结合罚函数法与遗传算法,由式(7)可得适应度函数为

$$f(x) = 1/[1 + G(x)] \quad (8)$$

2.2 优化过程

采用改进遗传算法对轧辊滚动轴承进行优化的具体步骤如下

1) 编码:遗传算法在进行搜索之前先将解空间的解数据表示成遗传串间的基因形串结构数据,这些串结构数据的不同组合就构成了不同的点.数据采用二进制,一个基因表示一个变量.

2) 初始群体的生成:在取值范围内对每个变量随机产生若干个初始解,每二个变量组成一组基因型,表示一个可行解.所有的可行解共同构成初始种群.

3) 适应度的评价与收敛判定:在接触强度,滚珠直径 d ,直径比 D/d ,滚道位置角 α 等约束条件下,对群体中个体适应度进行计算,并判断是否满足收敛准则,满足就输出结果,否则,进行下一步.

- 4)交叉:以一定的交叉率对个体进行交叉操作.
- 5)变异:以一定的变异率对个体进行变异操作.
- 6)通过 4)、5)二步产生新个体,如果满足条件则结束计算,如果不满足则返回步骤 3)进行循环迭代.图 1 为遗传算法的流程图.

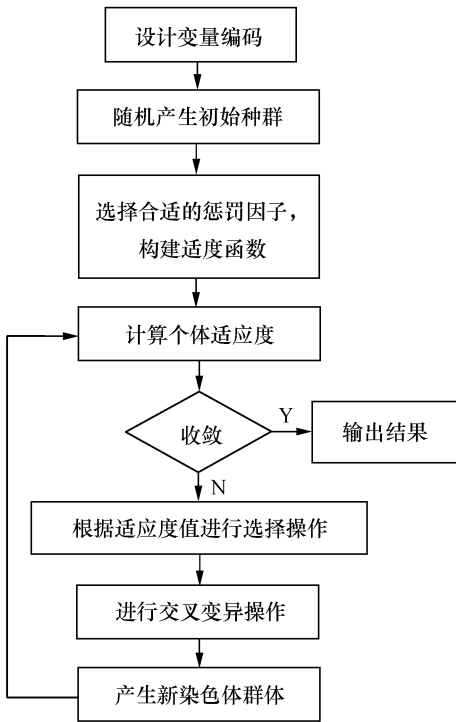


图 1 遗传算法流程图

Fig.1 Program procedure of genetic algorithm

2.3 遗传优化算法的实现

Matlab 是美国 MathWorks 公司开发的优秀计算软件,该软件具有强大在数值计算能力、优秀的绘图功能以及其他软件良好的交互功能,且易于理解、便于使用^[7]. 目前在优化设计、控制仿真、数学建模等方面均有采用,如在深沟球轴承的优化设计中通过采用 Matlab 优化工具箱进一步简化优化程序,减少软件开发工作量^[8]. 因 MATLAB 软件工具箱本身包含遗传算法模块,故采用 MATLAB 语言可以很方便实现的遗传算法. 本文采用 MATLAB7.0 对轧辊滚动轴承进行优化设计. 目标函数采用 M 文件形式,其最小值通过在主程序中调用该 M 文件来求得. 遗传算法通过主程序中调用遗传优化函数 ga.m 来实现,其调用形式如下

[x,fval,reason,output,population] = ga (@ fit-

nessfcn,nvars,options)

3 优化设计实例

对某轧机生产线的滚动轴承,其结构尺寸满足上述所述约束条件,实际测得轴承轴向力 F_s 和轴承径向力 F_R 分别为 521 N 和 65 N,轴承滚珠的布氏硬度为 250.

对于上述建立的轧辊滚动轴承优化数学模型,编写目标函数 M 文件及调用遗传优化函数 ga.m. 主程序如下

```
options = gaoptimset ( ' PopulationSize ' , 25 ,
' Generations ' , 100 , ' PlotFcns ' , @ gaplotbestf ) ;
> > [ x,z,reason ] = ga ( @ guang,5,options)
输出结果
```

Optimization terminated: average change in the fitness value less than options. TolFun.

x = 13 52 1.0472 270 400.6777

z = -1.10201e +005

reason = Optimization terminated: average change in the fitness value less than options. TolFun.

所示程序运行后,得到优化结果整理如表 1.

表 1 优化设计前后数据对比

Table 1 Comparingdata between no-optimization and optimization

变量	优化前	优化后
x_1	15	13
x_2	52	51
x_3	$\pi/4$	$\pi/3$
x_4	265	270
M	521.863 3	400.677 7

对比优化前后的数据,可以看出,优化后轧辊滚动轴承最大结构尺寸为 270 mm,增大 5 mm,优化后轴承最小尺寸为 13 mm,缩小 2 mm,这意味着优化后的轴承对现有轧辊装备几乎没有影响. 但轧辊滚动轴承的优化效果良好, M 数值相比优化前减小达 $(512.8633 - 400.6777) \div 512.8633 \times 100\% = 21.87\%$,轴承工作过程所受摩擦力矩减小,在其它条件不变的情况下,轴承的使用寿命必然得到延长.

4 结 论

滚动轴承是轧钢生产设备中重要的部件之一,也是较易损坏的部件. (下转第 43 页)

(上接第 29 页)

本文以提高轴承使用寿命作为优化目标,以 Matlab 为平台对轧辊滚动轴承的结构进行优化.通过对比其优化前后结构发现,该方法优化效果良好,优化后的轴承对现有轧辊装备几乎没有影响,但能轴承工作过程中所受的摩擦力矩减小 21.87%,可有效延长轴承的使用寿命.同时以 Matlab 为平台可以简化优化程序,减少工作人员工作量,对其他优化问题也可考虑采用此法.

参考文献:

- [1] 唐永辉,陈艾华,何彬.精轧机导卫装置的失效分析及改善措施[J].机械研究与应用,2006,19(3):60-65.
- [2] 吴飞.寻求合理的轴承设计参数—浅析滚动轴承的

优化设计[J].现代零部件,2007,45(2):76-79.

- [3] Rajeswara B Rao, Rajiv Tiwari. Optimum design rolling element bearings using genetic algorithm[J]. Mechanism and Machine Theory, 2007, 42(2): 233-250.
- [4] 濮良贵,纪名刚.机械设计[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [5] 马德华.滚动轴承的优化设计[J].河南科技,2010,19(7):34-40.
- [6] 陈伦军.机械优化设计遗传算法[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [7] 张圣勤. MATLAB7.0 实用教程[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [8] 高宇,李玉泉,王海涛.应用 MATLAB 优化工具箱实现深沟球轴承优化设计[J].轴承,2004(11):38-40.