

文章编号: 1004-4353(2017)01-0060-04

# 基于遗传算法工具箱的膜片弹簧优化及仿真

宋宏斌, 廉哲满\*

( 延边大学工学院 机械工程系, 吉林 延吉 133002 )

**摘要:** 针对离合器中的膜片弹簧工作特性,采用遗传算法工具箱,根据汽车离合器中摩擦片和膜片弹簧两部件之间的相互作用,对膜片弹簧进行优化.通过实例验证表明,优化后的膜片弹簧在磨损范围内前后压紧力变化减小,即提高了压紧力的稳定性,本文优化的结果可为汽车离合器的设计提供理论参考.

**关键词:** 遗传算法;膜片弹簧;优化设计

**中图分类号:** TH122

**文献标识码:** A

## Optimization and simulation of diaphragm spring based on genetic algorithm toolbox

SONG Hongbin, LIAN Zheman\*

( *Department of Mechanical Engineering, College of Engineering,  
Yanbian University, Yanji 133002, China* )

**Abstract:** Aiming at the working characteristics of the diaphragm spring in the clutch, the genetic algorithm toolbox is used to optimize the diaphragm spring according to the interaction between the friction plate and the diaphragm spring. The results show that the optimization of the compressive force of the diaphragm spring in the range of abrasion decreases the stability of the compression force. The optimized results can provide a theoretical reference for the design of the automobile clutch.

**Keywords:** genetic algorithm; diaphragm spring; optimization design

膜片弹簧是离合器中最重要的零件之一,它的非线性特点使其具有良好的工作性能.目前为止,国内学者对膜片弹簧的优化提出了很多种模型,如:阎春利等采用罚函数法对膜片弹簧进行了优化设计<sup>[1]</sup>,邓平尧采用微粒群算法对膜片弹簧进行了优化设计<sup>[2]</sup>;陈淑鑫等利用遗传算法对膜片弹簧进行了优化设计<sup>[3]</sup>.由于每个模型的优化目标、所使用的智能算法及优化过程中的变量设计有所不同,因此上述各研究中优化的效果也不尽相同.本文针对离合器中的膜片弹簧工作特性,采用遗传算法工具箱,根据汽车离合器中摩擦片和膜片弹簧两部件之间的相互作用,提出了一种

优化膜片弹簧的模型,并通过实验验证了本文模型的有效性.

### 1 膜片弹簧的工作特性

膜片弹簧是离合器中起压紧作用的关键零部件,由弹簧钢板冲制而成,其作用是使离合器传递稳定的转矩.膜片弹簧的工作原理为:发动机输出动力带动飞轮转动,膜片弹簧压紧压盘与摩擦片及飞轮构成摩擦副传递动力,当踩下离合踏板时,分离轴承作用在膜片弹簧上,使得膜片弹簧的压紧力消失,压盘与摩擦片分离,从而切断动力传递<sup>[4]</sup>.膜片弹簧的基本结构如图 1 所示.

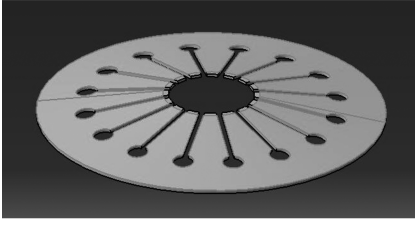


图 1 膜片弹簧结构示意图

### 1.1 膜片弹簧的力学公式

膜片弹簧大端提供的压紧力使得离合器能够传递稳定的转矩。根据 Almen-Laszlo 公式<sup>[5]</sup>,压紧力  $F$  与变形量  $\lambda$  的关系式为

$$F = \frac{\pi E h \lambda}{6(1-u^2)} \frac{\ln \frac{R}{r}}{(L-l)^2} \cdot \left[ \left( H - \lambda \frac{R-r}{L-l} \right) \left( H - \frac{\lambda}{2} \frac{R-r}{L-l} \right) + h^2 \right], \quad (1)$$

式中  $E$  为弹性模量,  $u$  为泊松比,  $R$  为碟簧大端半径,  $r$  为碟簧小端半径,  $L$  为压盘接触半径,  $l$  为支撑环接触半径,  $H$  为内截锥高度,  $h$  为钢板厚度。

### 1.2 膜片弹簧载荷变形特性曲线

膜片弹簧的载荷变形特性曲线如图 2 所示,图中  $b$  点为膜片弹簧预装在离合器中的位置,此时预装压紧力为  $b$  点所提供的压紧力  $F$ 。图中  $bc$  段曲线表示的是膜片弹簧分离时的变形特性。膜片弹簧在分离过程中,大端变形量  $\lambda$  增大,此时膜片弹簧提供的压紧力明显变小,压盘与摩擦片分离,离合器处于分离状态。图中  $ab$  段曲线表示的是膜片弹簧在摩擦片磨损过程中的变形特性。当膜片弹簧提供的压紧力作用在摩擦片上时,随着摩擦片的磨损,大端变形量  $\lambda$  减小,此时膜片弹簧提供的压紧力变大,离合器正常工作,  $b$  点到  $a$  点的距离为摩擦片最大磨损量,  $a$  点为摩擦片最大磨损位置,此时摩擦片接近失效状态<sup>[6]</sup>。

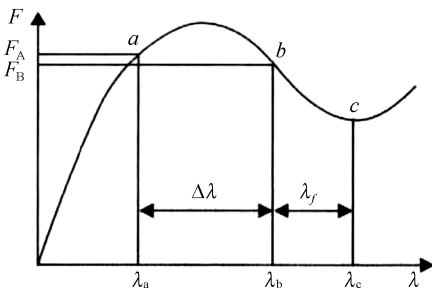


图 2 膜片弹簧载荷-变形特性曲线

## 2 优化设计

### 2.1 优化设计变量

本文的优化设计是根据膜片弹簧和摩擦片的相互关系来确定的,共有 9 个设计参数。摩擦片的设计参数为 2 个,分别为摩擦片外径  $D$  和内径  $d$ 。膜片弹簧的设计参数为 7 个(如图 3 所示),分别为  $H$ (膜片弹簧内截锥高度),  $h$ (膜片弹簧厚度),  $R$ (膜片弹簧碟簧大端半径),  $r$ (膜片弹簧碟簧小端半径),  $L$ (压盘作用半径),  $l$ (支撑环作用半径),  $\lambda$ (碟簧轴向变形量)。

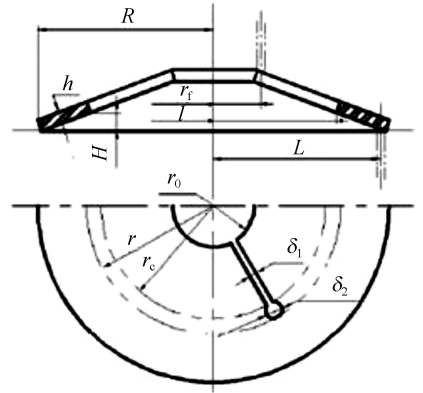


图 3 膜片弹簧的结构简图

### 2.2 目标函数

对膜片弹簧和摩擦片进行双目标优化。在摩擦片的整个磨损周期中,要求膜片弹簧的压紧力相对于初始压紧力变化量的平均值最小,即曲线  $ab$  段更加平缓。在优化过程中,在磨损周期中选取 5 个点进行计算,分别为预装膜片弹簧  $\lambda$  处,以及向前分别取 0.2、0.4、0.6、0.8 的 4 个计算点。目标函数为:

$$\begin{cases} G_1(X) = \min \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 |F_i - F_0|, \\ X = [H \ h \ L \ l \ R \ r \ \lambda], \end{cases} \quad (2)$$

其中  $G_1(X)$  为磨损前后压紧力变化量平均值,  $F_i$  分别为选取的 5 个点所对应的压紧力,  $F_0$  为预设压紧力值(5 500 N)。

在确保离合器工作性能的前提下,要求摩擦片接触面积尽可能小,目标函数为:

$$\begin{cases} G_2(X) = \min \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \\ X = [D \ d], \end{cases} \quad (3)$$

其中  $G_2(X)$  为摩擦片接触面积,  $D$  为摩擦片外径,  $d$  为摩擦片内径.

对于多目标优化问题, 每个分目标函数最优值各不相同, 并且有些目标甚至是相互对立的. 在本文中, 采用线性加权法将多目标函数转化为单目标函数. 在使用线性加权法的过程中, 对每个分目标函数选取一个加权因子, 加权因子的值为每个分目标函数最优值的倒数, 加权因子使得每个分目标函数具有统一的量纲. 对于最终优化函数值来说, 其值越接近于 1, 说明求取的方案越靠近目标的最优方案; 其值离 1 越远, 则说明求得的方案离目标越远<sup>[7]</sup>. 另外, 考虑到分目标的重要程度, 本文添加一个重要程度的加权因子来衡量各目标的重要程度. 综上, 本文最终的目标函数为:

$$\begin{cases} G(X) = \omega_1 \frac{1}{G_1(x_{\text{优}})} G_1(x) + \omega_2 \frac{1}{G_2(x_{\text{优}})} G_2(x), \\ Z = [D \quad d \quad H \quad h \quad L \quad l \quad R \quad r \quad \lambda], \end{cases}$$

(4)

式中:  $\omega_1$  和  $\omega_2$  分别为各分目标函数的重要程度加权因子, 根据设计要求选择  $\omega_1$  为 0.7,  $\omega_2$  为 0.3;  $\frac{1}{G_1(x_{\text{优}})}$  和  $\frac{1}{G_2(x_{\text{优}})}$  分别为各分目标的最优值, 经过计算得到  $\frac{1}{G_1(x_{\text{优}})} = 20.2$ ,  $\frac{1}{G_2(x_{\text{优}})} = 36\,697.7$ .

2.3 约束条件

- 1) 摩擦片内外径比应在 0.53 ~ 0.7 之间.
- 2) 摩擦片上任意一个点的最大圆周速度不得超过 70 m/s.
- 3) 保证膜片弹簧非线性变形规律, 碟簧的  $H/h$  比值范围在 1.5 ~ 2.5 之间.
- 4) 比值  $R/r$  对弹簧的载荷及应力特性有较大影响, 考虑到材料的利用率和储存弹性,  $R/r$  的取值在 1.2 ~ 1.3 之间.
- 5)  $R$  取值应满足结构的要求, 且要和  $D$  的取值大小相适应, 因此  $R$  值应大于  $d/2$  且近似于  $D/2$ .
- 6) 膜片弹簧起始圆锥底角  $H/(R-r)$  应在  $10^\circ \sim 14^\circ$  之间.
- 7) 根据膜片弹簧的布置要求,  $1.2 < R-L < 7$ ,  $0.8 < l-r < 6$ .
- 8) 为了使摩擦片上的压紧力均匀分布,  $L$  宜

取位于摩擦片平均半径  $(D+d)/4$  与外半径  $D/2$  之间, 即  $(D+d)/4 < L < D/2$ <sup>[8]</sup>.

3 基于遗传算法工具箱的优化

本文使用 Matlab 中的遗传算法工具箱对目标函数进行优化. 优化时将约束条件整理成线性不等式系数矩阵, 选取的种群大小为 120, 交叉概率为 0.7, 变异概率为 0.006, 终止代数 为 600 代.

4 实例应用

以某离合器膜片弹簧为例, 设发动机最大扭矩为 280 N·m, 额定转速为 3 500 r/min, 总质量为 1 460 kg, 预设压紧力为 5 500 N, 运用遗传算法工具箱求得的结果如表 1 所示.

表 1 优化设计前后参数比较

	参数								
	$D$	$d$	$H$	$h$	$L$	$l$	$R$	$r$	$\lambda$
优化前	280	166	5.6	2.8	134.3	105.9	137.5	106.7	3.9
优化后	276.74	161.76	5.45	2.84	132.61	103.98	132.37	102.89	3.63

从表 1 中可以看出, 优化后, 摩擦片的工作面积相对减少了 0.8%, 膜片弹簧的几何尺寸也得到了缩小, 说明离合器的整体结构更加紧凑, 总体优化结果较为理想.

图 4 为膜片弹簧优化前后的特性曲线. 从图 4 中可以看出, 优化后的膜片弹簧压紧力更接近预设值, 并且优化后的曲线在磨损范围内更加平坦, 说明压紧力的稳定性得到了提高.

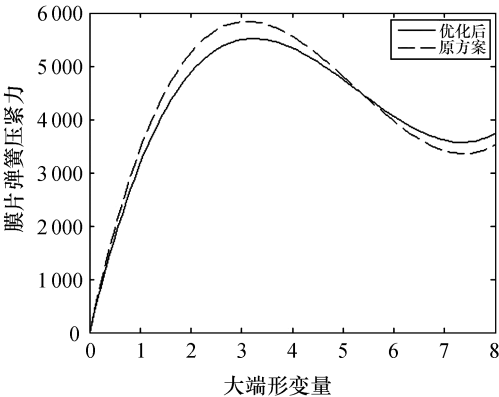


图 4 优化前后膜片弹簧的特性曲线

为了分析优化后的膜片弹簧能否满足强度要求,在 Ansys Workbench 软件中进行建模,膜片弹簧所用材料的特性如表 2<sup>[9]</sup>所示.

表 2 膜片弹簧材料特性

密度/ kg/m <sup>3</sup>	弹性模量/ MPa	泊松比	屈服强度/ MPa	极限强度/ MPa
7 900	2.1E5	0.3	1 863	1 667

在膜片弹簧工作过程中,小端没有发生移动,因此,在膜片弹簧小端加载零位移约束,在与压盘接触的大端加载指定位移约束 3.6 mm. 经静力分析求解得出的大端受力云图如图 5 所示. 从图 5 可以看出,膜片弹簧在大端边缘所受的应力最大,最大值为 1 238.4 MPa,该值小于材料的屈服强度 1 863 MPa. 由此表明在静态载荷下,膜片弹簧符合受力要求,不会发生变形.

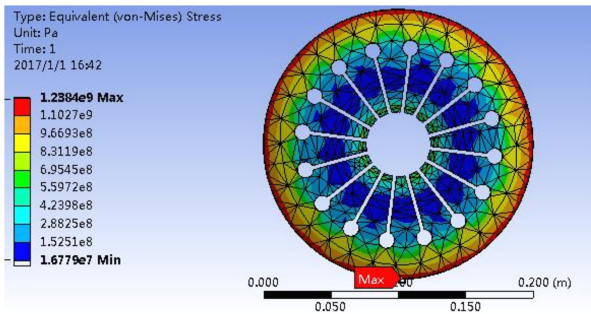


图 5 膜片弹簧大端受力云图

5 结论

本文采用遗传算法工具箱,根据摩擦片和膜片弹簧两部件之间的相互作用,对膜片弹簧进行

了优化. 经过实例验证表明,优化后膜片弹簧压紧力的稳定性得到提高,离合器结构更加紧凑,且强度能够满足材料的强度要求,因此本文结果可对离合器的稳定性研究提供理论参考. 本文在优化过程中只选取了 5 个点进行优化,这对优化结果会有影响,因此在以后的研究中将选取更多点来进行优化,以提高优化精度.

参考文献:

[1] 阎春利,张希栋. 汽车离合器膜片弹簧的优化设计[J]. 林业机械与木工设备,2006,34(3):33-35.

[2] 邓平尧. 基于微粒群算法的汽车离合器优化设计[J]. 无线互联科技,2017,14(2):64-65.

[3] 陈淑鑫,程兴旺. 基于 MATLAB 实现遗传算法的膜片弹簧优化设计[J]. 交通工程技术(机械),2016,43(2):48-52.

[4] 薄小斌. 离合器膜片弹簧结构优化及特性仿真研究[D]. 太原:太原理工大学,2015.

[5] 张昆晓,何海明,吴东盛. 基于 MATLAB 目标函数的建立优化离合器膜片弹簧的设计研究[J]. 汽车零部件,2012(5):73-75.

[6] 刘宗钊. 基于 MATLAB 遗传算法的汽车拉式离合器膜片弹簧结构参数优化设计[J]. 西部大开发旬刊,2011(2):51-52.

[7] 刘从权,陈照中. 汽车离合器膜片弹簧有限元分析[J]. 农业装备与车辆工程,2011,49(11):36-39.

[8] 燕展存,王剑彬. 基于遗传算法的摩擦片和膜片弹簧并行优化设计[J]. 农业装备与车辆工程,2012,50(11):6-9.

[9] 吴真远. 汽车离合器膜片弹簧的优化设计[D]. 苏州:苏州大学,2011.