

文章编号: 1004-4353(2018)03-0279-04

基于 MATLAB 遗传算法的离合器 摩擦片优化设计

安迪, 廉哲满*

(延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 以湿式离合器摩擦片体积最小为优化目标函数, 根据湿式离合器摩擦片的结构特点确定设计变量和约束条件, 建立了湿式离合器摩擦片的数学模型. 以某一湿式离合器摩擦片为例, 运用 MATLAB 遗传算法对其结构参数进行了优化. 优化结果表明: 本文方法使摩擦片的整体体积减小了 29.73%, 可为摩擦片结构的参数优化提供理论参考.

关键词: 离合器摩擦片; 遗传算法; 优化设计

中图分类号: TH122

文献标识码: A

The optimization design of clutch friction disks on MATLAB genetic algorithm

AN Di, LIAN Zheman*

(College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: Taking the minimum volume of the wet clutch friction plate as the optimization objective function, and according to its structural characteristics to determine the design variables and constraints, the mathematical model of the wet clutch friction plate is established. Taking a wet clutch friction plate as an example, using MATLAB genetic algorithm to optimize its structural parameters. The optimization results show that the method reduces the overall volume of the friction plate by 29.73%, which can provide a theoretical reference for parameter optimization of the friction plate structure.

Keywords: clutch friction disks; genetic algorithm; optimization

离合器是车辆传动系统中的重要组成部分, 合理地确定其尺寸不仅能提高车辆的起步稳定性, 而且能提高离合器的工作性能和使用寿命. 离合器主要分为机械离合器、液压离合器、电磁离合器等, 其中液压片式离合器被广泛使用在大型牵引车辆中. 片式离合器分为湿式离合器和干式离合器. 干式离合器具有价格便宜、结构简单等特点, 但在使用过程中存在磨损较大、使用寿命短等缺点; 湿式离合器则具有工作寿命较长、散热性能好等优点^[1]. 近年来, 国内外学者为了进一步提高

湿式离合器的性能, 对其参数进行了优化研究, 并取得了一些成果^[2]; 但相关研究大多是针对摩擦片耐热性能和磨损方面的研究, 而对摩擦片体积的研究相对较少. 鉴于此, 本文以湿式离合器摩擦片为设计对象, 考虑 7 个设计变量, 以摩擦片整体体积最小为设计目标, 采用 MATLAB 遗传算法对摩擦片的整体体积进行优化设计分析.

1 湿式离合器的结构

如图 1 所示, 湿式离合器主要由轴承(1)、被

动齿轮(2)、活塞(3)、摩擦片(4)、从动片(5)、回位弹簧(6)、传动轴(7)、主动齿轮(8)等组成。压力油进入油缸后推动活塞压缩回位弹簧,以此将离合器的从动片与摩擦片相互压紧,此时输入轴与齿圈连为一体,即离合器为结合状态。当油缸内的压力油通过油道释放时,回位弹簧推动活塞与从动片之间形成间隙,同时打开卸压孔使压力油快速离开缸体,起到快速消除离心油压的作用,从而使从动片与摩擦片分离。

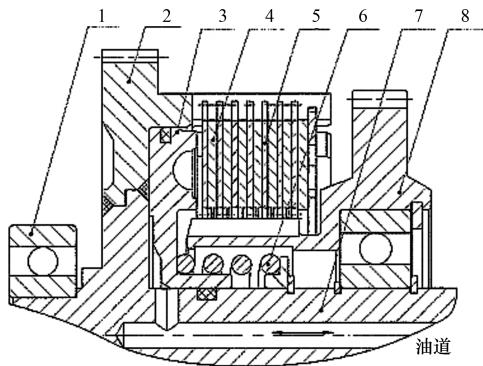


图 1 湿式离合器的结构简图

2 优化设计模型的建立

2.1 优化设计变量的确定

影响摩擦片性能的主要参数有内径 d 、外径 D 、内外径之比 c 及摩擦面数 N 。除此,摩擦片之间间隙 s 与摩擦片厚度 h 的变化也会影响离合器的整体性能。因此确定优化设计变量为:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)^T = (d, D, c, N, h, s)^T.$$

2.2 优化目标函数的确定

在离合器结构设计中,当传递的转矩确定时,应使离合器在主动传动中所占的体积最小,即应使外径 D 、内径 d 、内外径之比 c 、摩擦片厚度 h 、最小间隙 s 以及摩擦面数 N 在约束条件内尽量小的情况下,保证摩擦片的整体体积最小。因此,本文将摩擦片整体体积 V 作为目标函数,即:

$$F(x) = \min V = \min \left\{ \frac{\pi}{4} D^2 (1 - c^2) \cdot [(N + 1)h + Ns] \right\}. \quad (1)$$

2.3 约束方程的建立

2.3.1 摩擦片转速条件的确定 摩擦片最大圆周速度可通过以下公式计算:

$$v_D = \frac{\pi n_{\max} D}{60 \times 10^3}. \quad (2)$$

式中, v_D 表示摩擦片的最大圆周速度, m/s ; n_{\max} 表示发动机的最大输出转速, r/min 。

摩擦片转速过快,会甩出润滑油,导致冷却不良而使摩擦片部分区域过热,从而大大降低摩擦片的使用寿命。根据文献[3],本文取摩擦片最大圆周速度为 70 m/s 。

2.3.2 离合器摩擦转矩条件的确定 湿式离合器在运行过程中要保证传递输入的是最大转矩,并需要有一定的转矩储备作为最大摩擦转矩。离合器传递的转矩可通过以下公式[4]计算:

$$T_c = \frac{\pi}{12} f N p_0 D^3 (1 - c^3). \quad (3)$$

式中: T_c 表示离合器的摩擦转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$); f 表示摩擦因数,摩擦片为铁基粉末冶金材料,其摩擦因数在 $0.1 \sim 0.12$ 之间,本文取 0.11 ; p_0 表示单位压紧力,其值不应超过 2.0 MPa ,本文取 $p_0 = 1.5 \text{ MPa}$ 。

离合器的传递转矩应大于发动机所传递的最大转矩 $T_{e\max}$ [4],即

$$T_c \geq \beta T_{e\max}. \quad (4)$$

式中 β 为转矩储备系数, $T_{e\max}$ 为发动机的最大转矩。将式(3)代入式(4)中,整理后可得

$$f p_0 \geq \frac{12 \beta T_{e\max}}{\pi N D^3 (1 - c^3)}. \quad (5)$$

由式(5)可知, f 减小会增加摩擦片单位压紧力 p_0 ,而 p_0 的增加将会导致离合器尺寸的增加。为了使离合器的热性能达到最佳状态,在保证足够的转矩同时,应使离合器摩擦片的摩擦因数 f 与摩擦面的单位压力 p_0 尽量小。由于 p_0 与 f 具有明显的不确定性[5],本文根据文献[6]把 f 和 p_0 作为一个综合指标(记为 w),并将其作为优化设计中的一个变量。

2.3.3 约束条件的确定 1) 根据文献[7],摩擦片外径空间限制条件为 $105 \sim 140 \text{ mm}$ (表示为 $D_1 \sim D_2$),其约束表达式为:

$$\begin{cases} g_1(x) = 1 - D_1/D \geq 0, \\ g_2(x) = 1 - D/D_2 \geq 0. \end{cases} \quad (6)$$

2) 根据文献[7],摩擦片内径 d 应在 $60 \sim 80 \text{ mm}$ 之间(表示为 $d_1 \sim d_2$),其约束表达式为:

$$\begin{cases} g_3(x) = 1 - d_1/d \geq 0, \\ g_4(x) = 1 - d/d_2 \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

3) 摩擦片的内外径之比 c 应在 $0.57 \sim 0.77$ 之间(表示为 $c_1 \sim c_2$),约束表达式为:

$$\begin{cases} g_5(x) = 1 - c_1/c \geq 0, \\ g_6(x) = 1 - c/c_2 \geq 0. \end{cases} \quad (8)$$

4) 根据文献[7],摩擦面面数 N 应在 $5 \sim 16$ 片之间(表示为 $N_1 \sim N_2$),其约束表达式为:

$$\begin{cases} g_7(x) = 1 - N_1/N \geq 0, \\ g_8(x) = 1 - N/N_2 \geq 0. \end{cases} \quad (9)$$

5) 摩擦片间隙 s 过小,会引起摩擦片过热而增加磨损,并且加大装配难度; s 过大,会使摩擦片整体轴向长度增加,灵敏度降低^[8]. 根据文献[9],摩擦片分离时的间隙应在 $0.2 \sim 1$ mm 之间(表示为 $s_1 \sim s_2$),其约束表达式为:

$$\begin{cases} g_9(x) = 1 - s_1/s \geq 0, \\ g_{10}(x) = 1 - s/s_2 \geq 0. \end{cases} \quad (10)$$

6) 摩擦片厚度 h 过大,会使离合器整体体积增大,增加生产成本; h 过小,会使摩擦片容易变形,减短使用寿命. 根据文献[9],摩擦片的厚度应在 $2.5 \sim 3$ mm 之间(表示为 $h_1 \sim h_2$),其约束表达式为:

$$\begin{cases} g_{11}(x) = 1 - h_1/h \geq 0, \\ g_{12}(x) = 1 - h/h_2 \geq 0. \end{cases} \quad (11)$$

7) 根据文献[9],摩擦系数 f 和摩擦片单位压紧力 p_0 的取值范围分别应为 $0.1 \sim 0.12$ MPa(表示为 $f_1 \sim f_2$)与 $1 \sim 2$ MPa(表示为 $p_1 \sim p_2$),因此 $w = fp_0$ 的约束范围为 $0.1 \sim 0.24$ (表示为 $w_1 \sim w_2$),其约束表达式为:

$$\begin{cases} g_{13}(x) = 1 - w_1/w \geq 0, \\ g_{14}(x) = 1 - w/w_2 \geq 0. \end{cases} \quad (12)$$

8) 由式(2)可知:

$$g_{15}(x) = D \leq v_D \cdot \frac{60 \times 10^3}{\pi n_{\max}}. \quad (13)$$

9) 由式(5)可知:

$$g_{16}(x) = fp_0 \geq \frac{12\beta T_{\max}}{\pi ND^3(1-c^3)}. \quad (14)$$

3 遗传算法优化分析

3.1 遗传算法基本原理

遗传算法(genetic algorithm)^[9]是通过模拟自然界适者生存的生物进化过程进行迭代搜索最优解的方法,图 2 为遗传算法的主要运算过程.

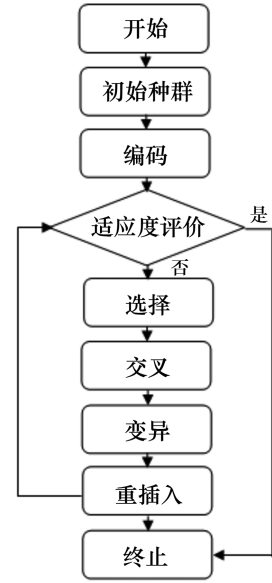


图 2 遗传算法的流程图

在遗传算法中,用适应度来衡量群体中个体的优良程度,适应度较高的个体被遗传到下一代的概率较大,反之较小^[10]. 适应度函数式为:

$$\text{val}(x) = f(x) + p(x), \quad (15)$$

式中 x 为染色体, $f(x)$ 为目标函数, $p(x)$ 为惩罚项. 利用惩罚函数构造出的适应度函数为:

$$\begin{cases} p(x) = 0, & x \text{ 可行}; \\ p(x) = -r_{n-1}[g_n(x)]^2 - r_n[g_{n+1}(x)]^2 < 0, & x \text{ 不可行}. \end{cases}$$

式中 r 为惩罚因子.

本文基于 MATLAB 遗传算法对某一牵引车离合器摩擦片进行优化,算法中的各参数为:种群规模 $M = 20$,交叉概率 $P_c = 0.8$,变异概率 $P_m = 0.1$,停止代数 $T = 500$.

3.2 优化结果

已知离合器的设计参数为: $T_{\max} = 582$ N·m,轴径为 40 mm,车重 $G = 33\,320$ N. 对该离合器摩擦片进行以体积最小为目标的遗传算法优化设计.

图 3 为种群均值迭代曲线. 由图 3 可见,种群均值在开始迭代时起伏较大,之后逐渐趋于平稳. 图 4 为经过 500 次迭代后种群最优值的变化. 由图 4 可知,图中的数据呈现下降趋势,之后呈平稳状态,说明本次优化得到了最优解集. 优化结果如表 1 所示.

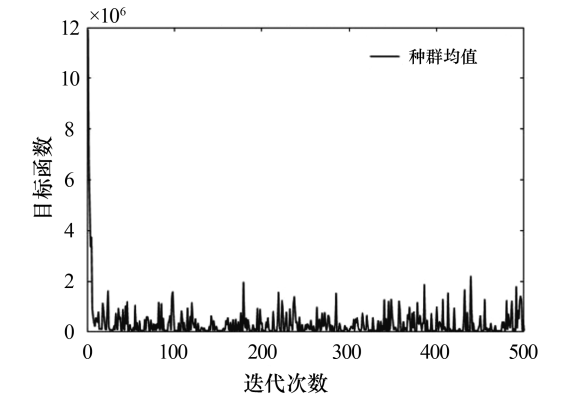


图 3 遗传算法的种群均值迭代曲线

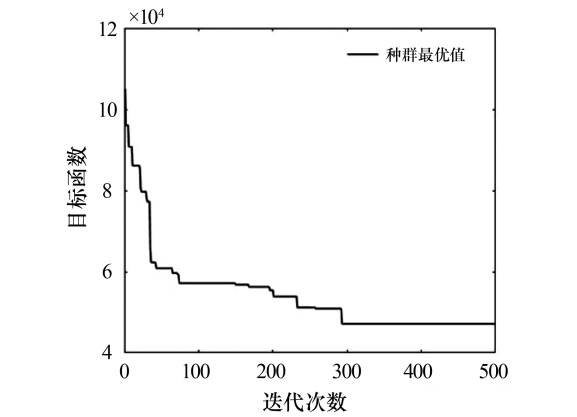


图 4 遗传算法的种群最优值迭代曲线

表 1 优化前后各设计变量的值

设计变量	优化前的值	优化后的值
外径 D/mm	125	118.78
内径 d/mm	80	79.94
内外径比 c	0.64	0.67
厚度 h/mm	2.8	2.52
间隙 s/mm	0.8	0.5
综合指标 ω	0.165	0.162
摩擦面数 N	12	12.34(13)
纵向长度 $/\text{mm}$	125	118.78
轴向宽度 $/\text{mm}$	20.8	20.64
体积 $/\text{mm}^3$	65 207.68	50 264.32

由表 1 可知,经过优化设计后,摩擦片的整体体积为 $50\,264.32\text{ mm}^3$,比原体积减小了 29.73%。将最优解带入到各约束条件后,其输出结果函数惩罚项为 0,表明本文结果满足设计条件,即验证

了本文优化设计的合理性。

4 结论

本文采用 MATLAB 遗传算法,考虑 7 个设计变量对离合器摩擦片的整体体积进行了优化设计。结果表明,优化后摩擦片纵向长度减小了 5.23%,轴向宽度减小了 0.78%,整体体积减小了 29.73%。因此,本文方法对离合器摩擦片的优化设计具有一定的参考价值。本文在建模过程中忽略了一些周向黏性阻力和温度对模型的影响,因此在后续的研究中我们将考虑这些因素对模型的影响,以建立一个更加合理的体积优化模型。

参考文献:

[1] 贾云海. 多盘湿式摩擦离合器的设计与性能研究[J]. 矿山机械, 2007, 35(3): 51-54.

[2] 郝琪, 过学迅, 罗永革, 等. 车用离合器的发展分析及应用研究[J]. 汽车研究与开发, 2001(4): 25-26.

[3] 夏长高, 朱茂桃. 离合器基本参数和主要尺寸的优化设计[J]. 江苏理工大学学报, 1996, 17(5): 29-34.

[4] 汤鹏翔, 刘艳芳, 王书翰, 等. 多片湿式离合器优化设计[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(3): 291-294.

[5] 杨彦朋, 翟营, 孙天龙, 等. 拖拉机湿式离合器储备系数的计算与选择[J]. 拖拉机与农用运输车, 2015(5): 27-29.

[6] 董浩存, 王灵犀, 周湛. 干式摩擦离合器的模糊优化设计[J]. 沈阳工业学院学报, 2003, 22(2): 84-86.

[7] 《机械设计手册》编委会. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 157-171.

[8] 郭卫, 杨永强, 赵栓峰. 基于模糊理论的圆盘式摩擦离合器多目标优化设计[J]. 机械强度, 2006, 28(5): 780-784.

[9] 周明衡. 离合器、制动器选用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 19-32.

[10] 冯宪彬, 丁蕊. 改进型遗传算法及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2016: 26-46.

[11] 于天彪, 乔木, 李明. 基于遗传算法的医药码垛机器人结构参数优化研究[J]. 机电工程, 2016, 33(11): 1289-1294.

[12] 赵劲松, 朱汉银, 任旭辉, 等. 插装式比例节流阀多目标遗传算法结构优化[J]. 中国机械工程, 2016, 27(2): 215-221.