

文章编号: 1004-4353(2019)03-0272-04

基于灰狼算法的干式双离合器摩擦片优化设计

生浩岩, 安迪, 廉哲满*
(延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 根据干式双离合器的工作条件及其结构特点确定约束条件和设计变量,建立了干式双离合器摩擦片优化模型. 在离合器摩擦片工作状态下,以表面热流密度最小为目标函数,通过灰狼优化算法对模型进行优化设计. 优化结果表明:优化后的离合器摩擦片的热流密度比优化前减少了 14.03%,该结果可对摩擦片结构参数优化提供理论参考.

关键词: 干式双离合器; 离合器摩擦片; 灰狼算法; 优化设计

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A

Optimization design of dry DCT friction plate based on grey wolf algorithm

SHENG Haoyan, AN Di, LIAN Zheman*
(College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: According to the working conditions and structural characteristics of the dry double clutch, the constraint conditions and design variables are determined, and the dry double clutch friction plate optimization model is established. Under the working condition of the clutch friction plate, the minimum heat flux density is taken as the objective function, and the model is optimized by the grey wolf optimization algorithm. The optimization results show that the optimized heat flux density of the clutch friction plate is 14.03% lower than that before optimization. This result can provide a theoretical reference for the optimization of the friction plate structure parameters.

Keywords: dry double clutch transmission; clutch friction disks; grey wolf algorithm; optimization design

双离合器自动变速器(dual clutch transmission, DCT)不仅具有质量轻、结构紧凑、传递效率高的特点,还集合了液力机械式自动变速器以及无极变速器的优点,在不间断动力的情况下能够完成平稳换挡,因而大大提升了车辆的乘坐舒适性以及可操作性,成为近年来主流变速器型式之一^[1]. 然而, DCT 因自身冷却能力较弱,使其在大功率输入的情况下,离合器系统的温度会急剧上升,并达到热容极限,进而导致摩擦片表面出现裂纹、永久变形等不良效果,降低其使用寿命. 为了改善 DCT 的不足,学者们对此进行了研究. 吴国宽等^[2]通过增加冷却途径等方式有效地降低了离合器的温度. 杨昭^[3]通过改变离合器换挡控制改善了传动系统的综合控制. 卜玉帅^[4]研究了如何通过调整节气门开度降低离合器的温升. 但在相关研究中,未发现有学者通过对摩擦片进行优化来降低温升. 鉴于此,本文以某一轿车干式双离合器摩擦片为设计对象,对其 5 个设计变量进行优化,以摩擦片表面热流密度最小为设计目标,通过 Matlab 仿真和灰狼优化算法对摩擦片进行优化.

1 干式双离合器工作原理

干式双离合器由两个轴向并联的干式离合器 K1 和 K2 组成,如图 1 所示. 离合器 K1 由压盘 I、膜片弹簧 I、离合器盖 I、从动盘总成 I 组成,离合器 K2 由压盘 II、膜片弹簧 II、离合器盖 II、从动盘总成 II 组成. 干式双离合器的中间驱动盘通过螺栓与发动机飞轮连接;压盘 I 通过传动片与中间驱动盘相连,离合器盖 I 通过螺栓与压盘 I 相连;离合器盖 II 通过螺栓与中间驱动盘相连,压盘 II 通过传动片与离合器盖 II 相连;带有摩擦片的从动盘总成 I 和从动盘总成 II 分别借助其花键毂与变速器输入轴相连. 离合器工作时,膜片弹簧通过压盘将从动盘总成压在中驱动盘上,发动机的转矩由中间驱动盘与从动盘总成和压盘接触面之间的摩擦作用传到从动盘总成上,并最终经变速器的输入轴传到变速箱.

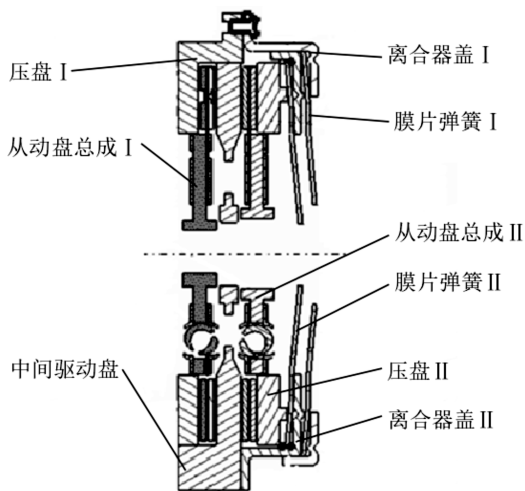


图 1 干式双离合器的结构简图

2 优化设计

2.1 优化设计变量

在摩擦片工作状态下,本文将能够产生热流的 5 项参数确定为设计变量,分别为内径 d 、外径 D 、摩擦片承受的单位压紧力 P_0 、摩擦片摩擦系数 μ 、储备系数 β 。

2.2 目标函数的确定

离合器开始工作后,主动盘与从动盘逐渐接触并达到完全结合. 这一过程中在摩擦力矩的作用下,摩擦片表面产生大量的热流,使摩擦片的温

度迅速上升^[3],即导致离合器温度迅速升高的主要因素是由滑磨产生的热流所引起. 由于主动盘与从动盘从逐渐接触到完全结合的滑磨过程时间较短,因此在该过程中可忽略对流换热和热辐射. 根据以上分析,本文将摩擦片在滑磨过程中产生的热流密度最小作为目标函数^[5],即:

$$F(x) = \min q = \min(\mu p_0 \Delta \omega R_c). \quad (1)$$

式中 q 为滑磨过程产生的热流密度, μ 为离合器摩擦系数, R_c 为摩擦片有效半径, P_0 为摩擦片表面压强, $\Delta \omega$ 为主从动盘间的转速差. 在计算过程中,假定摩擦系数、有效半径和压紧力为常数,不考虑温度对这些常数的影响.

2.3 约束条件的确定

1) 摩擦片外径 D 的最大圆周速度 V_D 不超过 70 m/s,即

$$V_D = \frac{\pi N_{\text{emax}} D}{60} \times 10^{-3} \leq 70 \text{ m/s}, \quad (2)$$

式中 N_{emax} 为发动机的最高转速(r/min).

2) 摩擦片单位面积的摩擦转矩 T_{∞} 不能大于材料的许用单位面积摩擦转矩,即

$$T_{\infty} = \frac{4T_{\text{emax}}}{\pi n(D^2 - d^2)} \leq [T_{\infty}], \quad (3)$$

式中 T_{emax} 为发动机输出的最大转矩(N·m), n 为摩擦面数. 本文所用的离合器摩擦片材料为粉末冶金铜基,其许用单位面积摩擦转矩 $[T_{\infty}] = 0.0060 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$,

3) 摩擦片的单位压紧力 P_0 不能大于材料的许用单位压紧力. 粉末冶金铜基的许用单位压紧力 $[P_0]$ 为 0.35 ~ 0.5 MPa,因此本文取

$$P_0 = \frac{4F_0}{\pi(D^2 - d^2)} \leq [P_0] < 0.35 \text{ MPa}, \quad (4)$$

式中 F_0 为摩擦片所受的压紧力.

4) 摩擦片外径 D 在 175 ~ 420 mm 范围内^[6].

5) 摩擦片内径 d 在 125 ~ 210 mm 范围内^[6].

6) 摩擦片内外径之比 c 在 0.53 ~ 0.77 范围内^[6].

7) 摩擦片摩擦系数 μ 确定为 0.25 ~ 0.35^[7].

8) 工作储备系数 β 过小会影响离合器传递转矩的可靠性,而 β 过大则会增加离合器的尺寸和重量. 根据干式双离合器的特点,取 β 为 1.2 ~ 3^[8].

3 灰狼优化算法分析

3.1 灰狼优化算法原理

灰狼优化算法(grey wolf optimization,GWO)^[9]是由 Mirjalili 等于 2014 年提出的一种新型的群体智能优化算法.它是通过模拟灰狼群体的等级机制和在自然界中的捕食行为来实现求解优化问题的目的.由于该算法具有所需参数少且能快速收敛的优点,因此被广泛应用于电力系统^[10]和无人机路径规划等领域中^[11].图 2 为灰狼优化算法的主要运算过程.经试验表明,灰狼个数 $N < 6$ 时,迭代次数过多,且优化效果不好; $N > 6$ 时,易出现罚值;因此,本文取灰狼个数 $N = 6$.本文取最大迭代次数 $t_{\max} = 500$ 代,因为在该迭代次数下,迭代曲线和优化效果均较为理想.

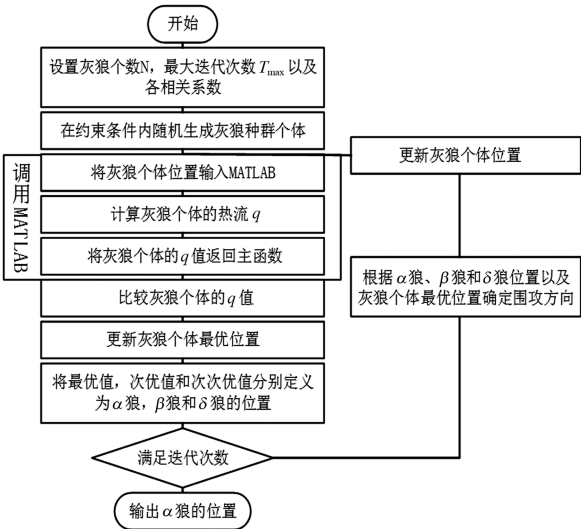


图 2 灰狼算法优化流程图

3.2 优化结果

轿车的相关固定参数如下:发动机最大输出转矩 $T_{\text{emax}} = 246 \text{ N} \cdot \text{m}$,发动机的最高转速 $N_{\text{emax}} = 6\,500 \text{ r/min}$.由于干式双离合器一般为双片摩擦片,所以摩擦面面数为 2.转速差 $\Delta\omega$ 的表达式为

$$\Delta\omega = \begin{cases} 1\,000, & t \leq 0.5; \\ -800t + 1\,400, & 0.5 < t \leq 1.75; \\ 0, & t > 1.75. \end{cases}$$

式中 t 为滑磨时间(s).由上式可知,转速差最大的时间点为 $t = 0.5 \text{ s}$.为了节省运算时间,本文将转速差设置为该时间点的值,并求解该时间点热流密度的最优解.

根据上文建立的数学模型,对离合器进行以

摩擦片表面热流密度最小为目标的灰狼算法优化设计.图 3 为灰狼优化算法的最优值迭代曲线.由图 3 可知,随着迭代次数的增加迭代结果逐渐下降,并在约 270 代处曲线趋近平稳,说明优化得到了最优解.由表 1 优化前后的各参数值可知,经过灰狼算法优化设计后,摩擦片表面热流密度在 $t = 0.5 \text{ s}$ 时为 $14\,113.346 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比优化前的热流密度减少了 14.03%.算法中各项约束条件输出的惩罚值均为 0,表明求得的结果符合设计条件.以上结果表明,本文的总体优化结果较为理想.

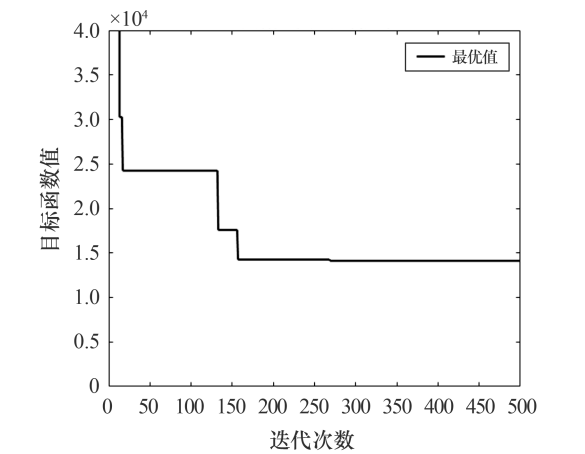


图 3 灰狼算法优化的迭代曲线

表 1 优化前后的各参数值

设计参数	优化前参数	优化后参数
外径 D/mm	225	205.564
内径 d/mm	150	124.860
内外径比 c	0.67	0.607
摩擦系数 μ	0.32	0.25
工作储备系数 β	1.3	1.2
摩擦片所受压紧力 F_0/MPa	5 225.5	7 005.5
单位压紧力 P_0/MPa	0.27	0.335
热流密度 $q/(\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	16 416	14 113.346

4 结论

本文对于干式双离合器摩擦片的 5 个相关设计变量进行参数优化,并采用 Matlab 灰狼优化算法对摩擦片表面热流密度进行了优化设计.结果表明,优化后摩擦片的表面热流密度比优化前减小了 14.03%(在 $t = 0.5 \text{ s}$ 时).因此,本文方法对于干式双离合器摩擦片的优化设计具有一定的参考价值.本文在优化过程中,忽略了温度对摩擦系数、压紧力及有效半径的影响.因此,在后续研究中将

进一步考虑这些因素对模型的影响,以建立一个更加合理的热流密度优化模型.

参考文献:

[1] AWREJCEWICZ J, GRZELCZYK D. Modeling and simulations of the clutch dynamics using approximations of the resulting friction forces[J]. International Journal of Structural Stability & Dynamics, 2013,13(7):707-715.

[2] 吴国宽,李玄玄,甘道辉,等.汽车干式双离合器热负荷及热保护研究[J].轻型汽车技术,2015(4):23-29.

[3] 杨昭.双离合器自动变速器动力学建模及仿真研究[D].长春:吉林大学,2007.

[4] 卜玉帅.干式双离合器建模与仿真分析[D].沈阳:沈阳理工大学,2017.

[5] 熊玉杰,席军强,翟涌,等.干式离合器摩擦片表面温度测量与分析[J].广西大学学报(自然科学版),2016,41(2):451-459.

[6] 《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,2007:158.

[7] 王望予.汽车设计[M].北京:机械工业出版社,2009:52-77.

[8] 可帅.某型号自动变速器离合器参数化设计与分析[D].贵阳:贵州大学,2017.

[9] MIRJALILI S, MIRJALILI S M, LEWIS A. Grey wolf optimizer[J]. Advances in Engineering Software, 2014,69(3):46-61.

[10] 龙文,蔡绍洪,焦建军,等.一种改进的灰狼优化算法[J].电子学报,2019,47(1):169-175.

[11] 姚鹏,王宏伦.基于改进流体扰动算法与灰狼优化的无人机三维航路规划[J].控制与决策,2016,31(4):701-708.

(上接第 271 页)

磨削夹具的应力可靠度为 100%,因此本文结果对保证薄壁类零件的制造精度具有很好的参考价值.因条件限制本文在研究中未能在夹具装配之后进行动平衡实验,因此今后我们将对本文方案开展动平衡实验,以检验夹具在工作中是否会因振动而使套阀阀芯表面产生波纹,进而对其进行相应改进.

参考文献:

[1] 马廷辉.普通车磨机床加工薄壁套通用胀套式简易心轴的研究与设计[J].河北农机,2018,12(9):72-83.

[2] 黄华宾.薄壁壳体液压自制工装的设计[J].金属加工(冷加工),2018,12(12):48-50.

[3] 吴拓.机床夹具设计[M].北京:机械出版社,2009:60-61.

[4] 全西琳,张明魁.薄壁零件的车削加工精度概述[J].机械制造与研究,2006,6(5):66-68.

[5] 陈德兰.控制薄壁零件变形的工艺措施[J].装备制造

技术,2010,12(6):119-120.

[6] 王青城.一种薄壁衬套加工及其夹具设计[J].工艺与检测,2011,12(5):97-98.

[7] 李莲芝,杨卓娟,王东明.弹簧胀套有限元分析及其制造工艺[J].吉林工程技术师范学院学报,2009,25(8):70-73.

[8] 李利民.弹性胀套的有限元分析及在检具中的应用[J].大众科技,2012,14(7):160-161.

[9] 温秉全.金属材料手册[M].北京:电子工业出版社,2009:8-81.

[10] 林水福,余公藩.螺栓拧紧力矩-轴向力关系研究[J].航空标准化与质量,1991,12(6):16-19.

[11] 范凤仙.加工薄壁零件的弹性胀紧夹具[J].制造·材料,1999,434(38):61-62.

[12] 孙靖民.现代设计方法[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003:49-51.

[13] 孙恒.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2016:58-62.

[14] 芮延年.现代可靠性设计[M].北京:国防工业出版社,2006:4-10.