

基于 MATLAB 乘用车离合器优化设计

郭翠霞¹, 谢文玲², 田建平³, 汤爱华⁴

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

摘要: 摩擦片式离合器在设计过程中, 对比较重要的基本参数, 过去一直采用初选、后校核的方法, 需反复修改计算, 工作量大, 而且很难获得最优结果。采用 MATLAB 优化工具箱 Fmincon 函数对其基本参数进行优化, 可以迅速解决这个问题, 而且优化设计是降低成本、提高性能、改善工艺的有效工具与途径。

关键词: 摩擦片式离合器; 基本参数; 优化设计

中图分类号: TH 12 TH 133

文献标识码: A

引言

对于使用手动变速器的乘用车, 摩擦片式离合器是汽车传动系中直接与发动机相连接的总成, 其主要功用是切断和实现对传动系的动力传递。在离合器设计中, 为了保证离合器具有良好的工作性能, 对汽车离合器设计提出如下基本要求: (1) 在任何行驶条件下均能可靠地传递发动机的最大转矩, 并有适当的转矩储备, 又能防止传动系过载; (2) 离合器从动部分转动惯量要小, 以减轻换挡时变速器齿轮间的冲击, 便于换挡和减小同步器的磨损; (3) 结构应简单、紧凑、质量小等。

为了满足上述要求, 需要对离合器的基本设计参数进行优化选择, 本文采用 MATLAB 优化工具箱 Fmincon 函数对其基本参数进行优化, 不但提高设计效率, 而且可以降低成本、提高性能。

1 离合器主要参数的选择^[1]

摩擦离合器是靠摩擦表面间的摩擦力矩来传递发动机转矩的。离合器的静摩擦力矩根据摩擦定律可表示为

$$T_c = fFZR_c \quad (1)$$

式中: f ——摩擦面间的静摩擦因数;

F ——压盘施加在摩擦面上的工作压力;

R_c ——摩擦片的平均摩擦半径;

Z ——摩擦面数, 是从动盘数的两倍。

假设摩擦片上工作压力均匀, 则有

$$F = p_0 A = p_0 \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (2)$$

式中: F ——摩擦面单位压力;

A ——摩擦面的面积;

D ——摩擦片外径;

d ——摩擦片内径;

p_0 ——为摩擦面的单位压力。

摩擦片的平均摩擦半径 R_c 根据压力均匀的假设, 可表示为

$$R_c = \frac{D^3 - d^3}{3(D^2 - d^2)} \quad (3)$$

将式(2)与式(3)代入式(1)得

$$T_c = \frac{\pi}{12} f Z p_0 D^3 (1 - C^3) \quad (4)$$

式中: C ——摩擦片内外径之比, $C = d/D$, 一般在 0.53~0.70 之间。

为了保证离合器在任何工况下都能可靠地传递发动机的最大转矩, 设计时 T_c 应大于发动机最大转矩, 即

$$T_c = \beta T_{\max} \quad (5)$$

式中: T_{\max} ——发动机最大转矩;

β ——离合器的后备系数, 定义为离合器所能传递的最大静摩擦力矩与发动机最大转矩之比, β 必须大于 1;

离合器的基本参数主要有性能参数 β 和 p_0 , 尺寸参数 D 和 d 及摩擦片厚度 b 。

1.1 后备系数 β

后备系数 β 是离合器设计时用到的一个重要参数,它反映了离合器传递发动机最大转矩的可靠程度。在选择 β 时,应考虑以下几点:(1)摩擦片在使用中磨损后,离合器还应能可靠地传递发动机最大转矩;(2)要防止离合器滑磨时间过长;(3)要能防止传动系过载等。对于乘用车: $\beta = 1.20 \sim 1.75$

1.2 单位压力 p_0

单位压力对离合器工作性能和使用寿命有很大影响,选取时应考虑离合器的工作条件,发动机后备功率大小,摩擦片尺寸、材料及其质量和后备系数等因素。对于石棉基材料: $p_0 = 0.15 \sim 0.35 \text{ MPa}$

1.3 摩擦片外径 D 、内径 d 和厚度 b

当离合器结构形式及摩擦片材料已选定,发动机最大转矩 $T_{em \max}$ 已知,结合式(1)和式(5),适当选取后备系数 β 和单位压力 p_0 ,即可估算出摩擦片尺寸。

$$D = \sqrt{\frac{12\beta T_{em \max}}{\pi p_0 (1 - C^3)}} \quad (6)$$

按国家标准规定,摩擦片厚度系列为 3.2mm, 3.5mm, 4mm。

2 离合器基本参数的优化设计

设计离合器要确定离合器的性能参数和尺寸参数,这些参数的变化影响离合器的结构尺寸和工作性能。

2.1 设计变量

离合器的后备系数 β 和单位压力 p_0 取决于离合器的工作压力 F 和离合器的主要尺寸 D 和 d 因此,离合器基本参数的优化设计变量选为:

$$X = [x_1 x_2 x_3]^T = [FDd]^T$$

2.2 目标函数

离合器基本参数优化设计追求的目标是在保证离合器性能要求条件下,使其结构尺寸尽可能小,即目标函数为:

$$f(x) = m \ln \left[\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right]$$

2.3 约束条件

1) 摩擦片外径 D (mm) 的选取应使最大圆周速度

$$V_D \text{ 不超过 } 70 \text{ m/s 即 } v_D = \frac{\pi}{60} n_{em \max} D \times 10^3 \leq 70 \text{ m/s} \quad (7)$$

式中: V_D ——摩擦片最大圆周速度, m/s

$n_{em \max}$ ——发动机最高转速, r/min

2) 摩擦片的内外径比 $C = d/D$ 应在 0.53 ~ 0.70 范围内,即

$$0.53 \leq C \leq 0.70$$

3) 为保证离合器可靠传递转矩,并防止传动系过载,不同车型的 β 值应在一定范围内,对于该乘用车最大范围 β 为 1.2 ~ 1.75 即

$$1.2 \leq \beta \leq 1.75$$

4) 为了保证扭转减振器的安装,摩擦片内径 d 必须大于减振器弹簧位置直径 $2R_0$ 约 50mm, 即

$$d > 2R_0 + 50$$

式中: R_0 ——减振弹簧的位置半径,一般取 $R_0 = (0.60 \sim 0.75) \frac{d}{2}$, 取 $R_0 = 0.6d/2$

5) 为反映离合器传递转矩并保护过载的能力,单位摩擦面积传递的转矩应小于其许用值,即

$$T_{c0} = \frac{4T_c}{\pi Z (D_2 - d_2)} \leq [T_{c0}] \quad (8)$$

式中: T_{c0} ——单位摩擦面积传递的转矩 (N·m/mm²);

$[T_{c0}]$ 为其允许值 (N·m/mm²), 按表 1 选取。

表 1 单位摩擦面积传递转矩的许用值 (N·m/mm²)

离合器规格 D/mm	< 210	> 210-250	> 250-325	> 325
$[T_{c0}]/10^{-2}$	0.28	0.30	0.35	0.40

6) 为降低离合器滑磨时的热负荷,防止摩擦片损伤,对于不同车型,根据所用的摩擦材料是石棉材料,故在一定范围内选取,即

$$0.15 \text{ MPa} \leq p_0 \leq 0.35 \text{ MPa}$$

7) 为了减少汽车起步过程中离合器的滑磨,防止摩擦片表面温度过高而发生烧伤,每一次接合的单位摩擦面积滑磨功应小于其许用值,即

$$\omega = \frac{4W}{\pi Z (D^2 - d^2)} \leq [\omega] \quad (9)$$

式中: ω ——单位摩擦面积滑磨功, J/mm²;

$[\omega]$ ——其许用值, J/mm², 对于乘用车: $[\omega] = 0.40 \text{ J/mm}^2$;

W ——汽车起步时离合器接合一次所产生的总滑磨功, J

可根据下式计算

$$W = \frac{\pi^2 n_e m a r}{1800 i_0 i_g} \quad (10)$$

式中, $m a$ ——为汽车总质量 (kg);

r ——为轮胎滚动半径 m;

i_g ——为起步时所用变速器挡位的传动比;

i_b ——为主减速度传动比;

n_e ——为发动机转速, r/min, 计算时乘用车取 1200 r/min

3 优化工具箱函数 $fmincon$ 的简介^[5]

MATLAB 是美国 mathworks 公司推出的一套功能强大的工程计算软件,它将计算与可视化集成到一个灵活的计算环境中,并提供了大量的内置函数,解决广泛的

工程问题。其中应用 MATLAB 优化工具箱内置的函数模块 `fmincon` 不仅可以很好地解决单目标多变量约束非线性优化问题, 而且能够大大提高设计的准确度和可靠性, 并且使设计的效率比以往大大提高。

4 计算实例分析

4.1 设计实例具体数据

以某乘用车为例, 对离合器的基本参数进行优化设计计算, 该车型具体的参数如下:

发动机最大功率: 63kw / 5000rpm

发动机最大扭矩: 130N·m / 3500 rpm

整车最大总质量: 1514kg

整车整备质量: 1139Kg

主减速器传动比: 3.88

变速器 1 档位变速比: 3.40

车轮滚动半径: 0.298m

摩擦片材料: 石棉

4.2 离合器基本参数的 MATLAB 优化程序^[4]

(1) 目标函数写成 M 文件, 取名为 `ym_1.m`

`function f = objfun(x)`

`f = pi/4* (x(2)^2 - x(3)^2)`

(2) 非线性约束函数写成 M 文件, 取名为 `ym_2.m`

`c(1) = - (x(3) / x(2)) + 0.53`

`c(2) = (x(3) / x(2)) - 0.70`

`c(3) = - (2* 0.3* x(1)* (x(2)^3 - x(3)^3) /`

`(130* 10^3* 3* (x(2)^2 - x(3)^2)) + 1.20`

`c(4) = (2* 0.3* x(1)* (x(2)^3 - x(3)^3) / (130`

`* 10^3* 3* (x(2)^2 - x(3)^2)) - 1.75`

`c(5) = - (4* x(1)) / (pi* (x(2)^2 - x(3)^2)) + 0.25`

`c(6) = (4* x(1)) / (pi* (x(2)^2 - x(3)^2)) - 0.35`

`c(7) = (3882 / (x(2)^2 - x(3)^2)) - 0.40`

`c(8) = (1.2* x(1)* (x(2)^3 - x(3)^3) / (3* pi*`

`(x(2)^2 - x(3)^2)) - 280`

`ceq = [];`

(3) 调用主程序编写出 M 文件, 取名为 `ym_3.m`

`b = [70 - 125]';`

`b = [0 0 0];`

`A = [0 0.2618 0 0 0 - 1]; x0 = [4661, 200, 130];`

`[x, fval] = fmincon(@ym_1, x0, A, b, [], [], [], @ym_2)`

MATLAB 中运行上述程序, 得到离合器基本参数的优化结果与原有的设计参数进行比较, 见表 2

表 2 优化参数与原设计参数比较

阶段	参数	F(N)	D(mm)	d(mm)	β	p_0
优化前		4661	200	130	1.5	0.26
优化后		4441	180	125	1.3	0.337

离合器基本参数优化后所得到的目标函数值为 13168mm², 原始参数所得的目标函数值为 18134mm², 显而易见, 得到了此乘用车摩擦式离合器最优化的基本设计参数。

5 结论

利用 MATLAB 优化工具箱 `fmincon` 函数对离合器基本设计参数进行优化, 离合器的整体性能显著提高, 整体尺寸有所减少, 对摩擦式离合器的设计制造有一定的实际指导意义。

参考文献

[1] 王望予. 汽车设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004

[2] 刘涛. 汽车设计 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2008

[3] 汽车工程手册编辑委员会. 汽车工程手册设计篇 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007

[4] 张圣勤. MATLAB7.0 实用教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008

[5] MATLAB 函数工具箱简介 [EB/OL]. 百度文库. <http://wenku.baidu.com/view/315f5c175f0e7cd18425364b.html>

Optimal Design Based on MATLAB Passenger Cars Clutch

GUO Cui-xia, XIE Wen-ling, TIAN Jian-ping, TANG Ai-hua

(School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract The more important and basic parameters of friction plate clutch in the design process had been using the method of primaries after checking which needed to be repeatedly modified and had heavy workload. It is difficult to obtain optimal results. Using `fmincon` function of MATLAB optimization toolbox to optimize the basic parameters of its function, you can quickly solve this problem. Optimal design is effective tools and approaches to reduce costs and improve performance and the process.

Key words friction plate type clutch, basic parameters, optimization