

膜片弹簧离合器工作过程的仿真研究

吴君棋, 丁建明, 殷小亮

(杭州市工人业余大学, 浙江 杭州 310003)

摘要: 离合器是汽车传动系中重要的组成部件, 对汽车整体性能具有重要的影响。为了提高汽车的整体性能, 利用质点系统运动学理论, 通过 ADAMS 建立了力学模型, 针对膜片弹簧离合器的工作过程进行了动力学分析与计算, 研究了离合器的接合特性以及对接合特性有重要影响的一些参数。研究结果对进一步分析该离合器接合过程的特性以及设计具有重要的意义。

关键词: 离合器; 参数化; ADAMS

中图分类号: TH132.2⁺2; U46

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)07-0809-04

Simulation research on working process of diaphragm spring clutch

WU Jun-qi, DING Jian-ming, YIN Xiao-liang

(Hangzhou Wokers Amateur University, Hangzhou 310003, China)

Abstract: Clutch transmission is an important part of vehicle component. In order to improve the overall performance of the car, the working process of the diaphragm spring clutch was analyzed using the particle system kinetics theory and using dynamic simulation via ADAMS, and the engagement characteristic of clutch was simulated in different parameters, which have an important influence. The results indicate that the research is important to the further study of the design and the engagement characteristic of clutch.

Key words: clutch; parametric; (automatic dynamic analysis of mechanical system) ADAMS

0 引言

离合器是汽车传动系中重要的组成部件^[1], 对于汽车的动力性、燃油经济性和舒适性等性能有很大影响。离合器是直接与发动机相关联的部件, 其主动部分和从动部分可以暂时分离, 又可以逐渐接合, 并且在传动过程中还有可能相对转动, 通过主动、从动两部分的相互作用把发动机的动力扭矩传递给驱动系统, 来实现汽车的起步、换挡等功能^[2-4]。离合器的工作同发动机密切相关, 因此分析它的工作过程显得尤为重要。

ADAMS (automatic dynamic analysis of mechanical system) 软件是美国 MDI (Mechanical Dynamics Inc.) 公司开发的机械系统动力学仿真分析软件, 是基于动力学理论来进行机械系统动力学、静力学和运动学分析的。其中的 ADAMS/VIEW 模块使用户可以更精确地

对设计进行量化研究, 精确地预测所设计的复杂机械系统在各种工作条件下的性能。

本研究所讨论的离合器是膜片弹簧离合器, 通过 ADAMS 建立离合器的虚拟样机模型, 对汽车动力性能进行了分析与评价, 较以往传统的设计方法相比, 效益明显提高。

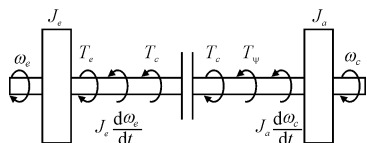
1 模型建立

1.1 离合器模型分析

在研究汽车离合器的接合过程时, 可将汽车离合器简化成两等效集中转动惯量的力学模型, 如图 1 所示。

根据动力学原理^[5-7], 由图 1 可建立该力学模型系统的运动微分方程如下:

对于主动件:



摩擦离合器接合过程的动力学模型

T_e —发动机输出力矩, $N \cdot m$; T_ψ —离合器从动盘上所受的当量阻力矩, 该当量阻力矩由汽车车轮转化得到, $N \cdot m$; T_c —离合器传递的力矩, $N \cdot m$; ω_e, ω_a —离合器主、从动盘角速度, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$; J_e —发动机旋转部分及离合器主动部分(主要为飞轮)的总转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$; J_a —简化到离合器从动盘的当量转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

$$T_e - T_c - J_e \frac{d\omega_e}{dt} = 0 \quad (1)$$

对于从动件:

$$T_c - T_\psi - J_a \frac{d\omega_a}{dt} = 0 \quad (2)$$

在离合器接合后的短时间内, ω_e 减少, ω_a 增大, 在两者相等后再同时加速。通过计算, 最终角速度为 $\omega = (A - T_\psi) / B$ (当 $t \rightarrow \infty$ 时)。离合器接合后的角速度曲线如图 2 所示。

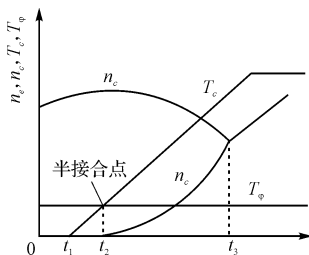


图 2 角速度变化曲线

1.2 离合器虚拟样机的建立

由于离合器模型比较复杂, 很难在 ADAMS 中建模, 本研究利用 Pro/E 造型软件首先建立离合器三维模型, 然后通过 Pro/E 与 ADAMS 的接口软件 MECH-PRO, 把 Pro/E 中建好的模型作适当简化后导入 ADAMS, 如图 3 所示。它主要包括离合器盖、膜片弹簧、压盘、从动盘总成、离合器飞轮等部件。离合器盖、离合器飞轮和从动盘总成与大地之间为旋转副, 而且离合器盖与离合器飞轮之间用固定副连接。压盘与离合器盖之间为圆柱副。压盘与从动盘总成、飞轮与从动盘总成之间有摩擦力。本研究在压盘上面施加 1 个作用力, 模拟膜片弹簧作用在压盘上面的力。接着在从动盘总成添加道路阻力矩 T_ψ , 在离合器飞轮上添加初始转速 ω_e 模拟发动机初始转速。并且根据发动机转速与转矩的关系式 ($T_e = A - B\omega_e$) 把发动机转矩定义

成关于发动机转速的函数。为了保证仿真的准确性, 在仿真过程中, 本研究将发动机和传动轴系的当量转动惯量分别加到离合器的主、被动部分^[8-11]。

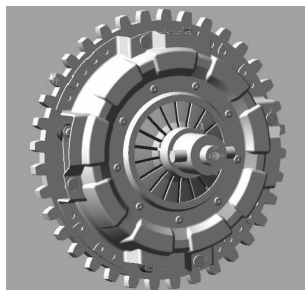


图 3 膜片弹簧离合器虚拟样机

2 实例仿真

2.1 离合器接合、分离过程仿真

目前, 大多数分析中都假设作用在摩擦面上的压力 p 为常量, 计算出的摩擦力矩是不变的, 这显然与实际工作情况不符合。本研究中, 在分析离合器的工作情况后建立了新的力学模型, 使作用在摩擦面上的压力 p 为变量, 作用在离合器摩擦面上压力变化的曲线如图 4 所示。

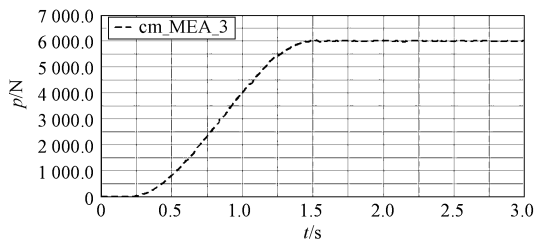


图 4 作用在离合器摩擦面上压力变化曲线

本研究在 ADAMS 中建立膜片弹簧离合器后, 软件根据虚拟样机设定的一些参数与初始条件, 自行调用软件中的求解器运算离合器接合过程。假设汽车是在发动机为 1 200 r/min 时起步, 此时的发动机转矩为 50 N·m。汽车的阻力矩为 6.3 N·m。由此得到了膜片弹簧离合器的接合、分离仿真曲线, 发动机输出轴转矩的变化曲线, 接合过程摩擦力矩仿真和滑摩功曲线分别如图 5~8 所示。在前 0.39 s, 离合器处于空行程和克服阻力阶段, 发动机转速开始上升, 根据发动机转速和转矩的关系, 发动机输出轴的转矩减少, 而此时摩擦力矩、变速器的第 1 轴转速均为零; 而从 0.39 s 以后到 0.85 s 是滑摩阶段, 发动机转速降低, 发动机输出轴的转矩增加, 摩擦力矩增加, 从动盘转速开始上升; 0.85 s 以后, 经过滑磨过程后, 主、从动部分开始以相等的转速开始加速, 则发动机输出轴转矩相应地减

少,摩擦力矩也减少,直到发动机输出轴的转矩、摩擦力矩和阻力矩三者相等时,停止加速,保持最终的速度恒速转动。这一过程与实际接合过程相符合。

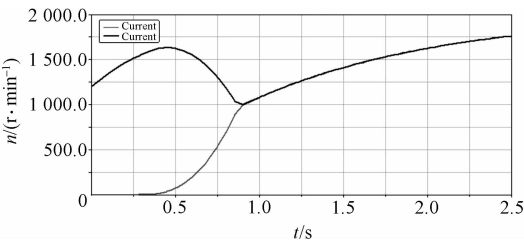


图5 离合器起步接合仿真曲线

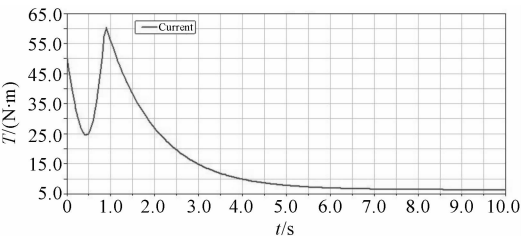


图6 离合器接合过程发动机输出轴转矩仿真曲线

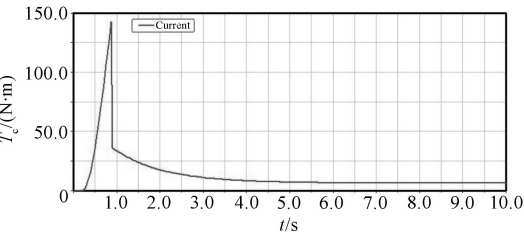


图7 离合器接合过程摩擦力矩仿真曲线

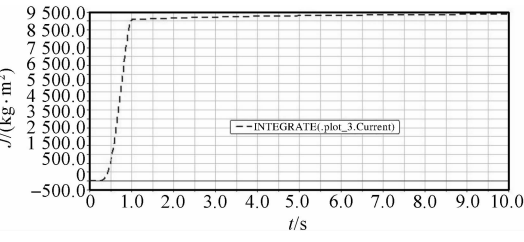


图8 离合器接合过程滑摩功仿真曲线

离合器分离过程仿真曲线如图9所示。由于压盘与摩擦面分离,不再有摩擦力矩,发动机转速迅速上升,而从动盘转速则由于有阻力矩的存在而逐渐下降。

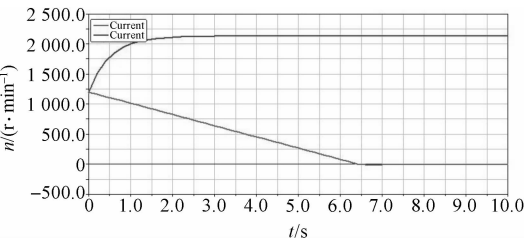


图9 离合器分离过程仿真曲线

2.2 离合器基本参数对离合器接合性能的影响

离合器接合时间是接合性能的一个重要指标,接合时间既不能太长,也不能太短。时间太长虽然会降低冲击度,但会使得离合器滑摩过程中产生过多的滑摩功,太短虽会减少滑摩功,但会产生大冲击度。所以合适的接合时间对离合器接合性能具有重要的意义。

膜片弹簧离合器主要靠存在于主、从动部分摩擦表面间的摩擦力矩来传递发动机转矩。离合器的摩擦力矩为:

$$T_c = f \cdot F \cdot Z \cdot R_c \tag{3}$$

式中: f —摩擦面间的摩擦因素; 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,单片离合器的 $Z=2$,双片离合器的 $Z=4$ 。

且:

$$R_c = \frac{2(R^3 - r^3)}{3(R^2 - r^2)}。$$

由此得出离合器的基本参数主要有性能参数 F , 尺寸参数 R, r 以及结构参数摩擦面数 Z 和摩擦因数 f 。这些基本参数的变化能使摩擦力矩产生变化,从而影响离合器接合性能。笔者取 f, F, R, r 为变量参数对离合器接合性能进行研究。在这些变量参数的取值范围选取时要考虑到约束条件:

$$0.53 < \frac{r}{R} < 0.7; 0.1 \text{ MPa} < \frac{F}{\pi(R^2 - r^2)} < 1.5 \text{ MPa};$$

$$\frac{\pi \cdot n_{\text{emax}} \cdot R \times 10^{-3}}{30} \leq 65 \sim 70 \text{ m/s};$$

$$r > R_0 + 25 \text{ mm};$$

$$1.2 < \frac{T_c}{T_{\text{emax}}} < 4.0。$$

式中: n_{emax} —发动机最高转速, R_0 —减振器弹簧位置直径, T_{emax} —发动机最大转矩。

本研究经过分析得出这些变量参数的取值范围分别为: $R \in (135 \sim 179), r \in (79.5 \sim 105), F \in (4231 \sim 6346.7), f \in (0.25 \sim 0.35)$ 。然后进行“Design Study”,分析这些变量参数对离合器接合性能的影响程度,最终结果如图10~13所示。

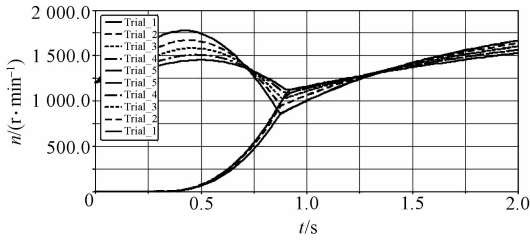


图10 变量参数 R 对接合性能的影响

在图 10~13 中,从试验 1 到试验 5,相应的变量参数值是逐渐增大的。由图 10~13 可以看出,变量参数 F 和 f 对接合性能的影响比较显著,而其他变量参数对接合性能没有太大的影响。从图 10 中分析得到,随着 R 的逐渐增大,接合时间是逐渐增大的;从图 11 得出,接合时间随 r 的增大而减少;从图 12 中得出接合时间随 F 的增大而减小;从图 13 中得出,接合时间随 f 的增大而减小。这与理论分析是相符的。

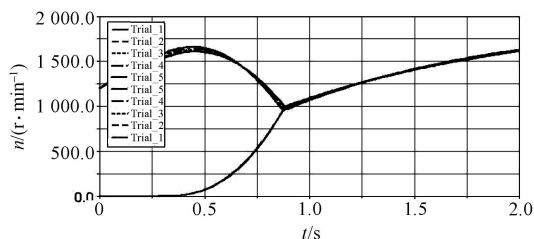


图 11 变量参数 r 对接合性能的影响

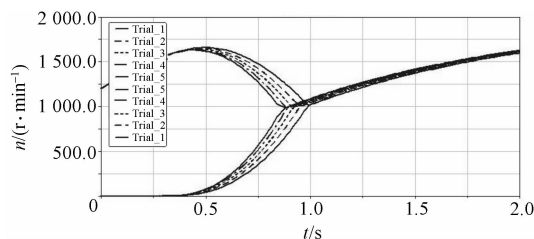


图 12 变量参数 F 对接合性能的影响

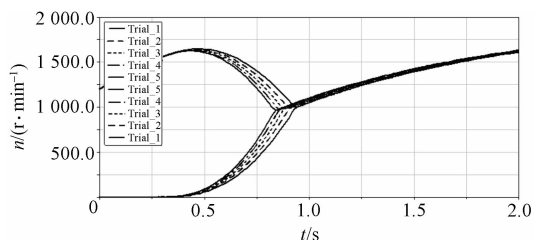


图 13 变量参数 f 对接合性能的影响

本研究从图 10 中还可以分析得出,变量参数 R 对离合器主动盘转速的影响比较大,在图 12 与图 13 中变量参数 F 与 f 对主动盘转速影响相对较小^[12-13]。

3 结束语

本研究根据某膜片弹簧离合器的机构及工作原理建立了虚拟样机模型,对其工作过程进行了仿真分析,对今后膜片弹簧离合器性能分析有一定的指导作用。同时还分析了离合器在基本参数发生变化时,对接合

性能的影响。较以往传统的设计方法,其效益明显提高。但由于影响工作过程的因素很多,在模型分析中作了一些简化处理,使得对离合器工作过程分析只是一个趋势分析,有待于进一步完善建模条件来得到更精确的仿真分析。

参考文献 (References):

- [1] 徐石安,江发潮. 汽车离合器[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] CHIS T, YOSHIHIRO S. Development of driving simulator with full vehicle model of multibody dynamics[J]. *JSAE Review*, 2002, 23(2): 223-230.
- [3] KOIV A, THOMA M, KOCAOGLAN E, et al. Modeling and control of excavator dynamics during digging operation[J]. *Journal of Aerospace Engineering*, 1996, 9(1): 10-18.
- [4] 陈立平,张云清,任卫群,等. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [5] BOSTWICK C C, SZADKOWSKI A. Self-excited vibrations during engagements of dry friction clutches[J]. *SAE Technical Paper*, 1998, 107(2): 689-701.
- [6] 杜秀菊,王兴贵,狄长春,等. 某履带车辆主离合器工作过程仿真[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(2): 151-153.
- [7] LV Jun-cheng, MO Yi-min, TANG Chun-qiu. The major problems and research ideas of diaphragm spring clutch in economical automobile[J]. *Mechanical & Electrical Engineering Technology*, 2008, 37(11): 33-35.
- [8] 高铁石,石毅. 膜片弹簧离合器紧力设计计算[J]. 汽车技术, 2000, 7(1): 41-43.
- [9] 吕俊成,莫易敏,汤春球. 经济型汽车膜片弹簧离合器的主要问题及研究思路[J]. 机电工程技术, 2008, 37(11): 35-35, 44.
- [10] KYRISAWA M, FUJIKAW T. High torque belt CVT with torque collverter[C]//Symposium on Control Systems for Motor Vehicle Drive Trains, Berlin, 1997: 32-34.
- [11] 马 闯,吴洪涛,谷 珂. 基于 ADAMS 的自卸车举升机构优化设计[J]. 专用汽车, 2005(3): 21-23.
- [12] 侯亚楠. ECPE 有效热效率和燃油消耗率特性仿真[J]. 现代制造技术与装备, 2010(4): 30-32.
- [13] 万 里,王孚懋. 高速加工车床主轴的动态特性分析与 MATLAB 仿真[J]. 现代制造技术与装备, 2010(3): 1-2.

[编辑:张 翔]