

文章编号: 1005-0523(2003)05-00101-03

# 汽车离合器起步接合过程的仿真研究

李 骏

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:**从汽车离合器的力学模型出发,提出了一种新的汽车离合器起步接合过程的仿真模型,阐述了汽车离合器接合过程仿真研究的方法,对实例进行了仿真计算,获得了起步接合过程的仿真曲线,该曲线与实际吻合。

**关键词:**汽车;离合器;接合过程;仿真

中图分类号:U461

文献标识码:A

## 0 引言

离合器是汽车传动系的重要组成部分,也是汽车行驶过程中使用频繁的部件。而摩擦片式离合器广泛应用于各种汽车,其工作特性和寿命既与各项设计参数有关,又与载荷及操纵等因素有关。对汽车离合器的接合过程进行仿真研究,至少应有以下三个方面的意义:1) 离合器是使用寿命较长的部件,而离合器台架试验周期长,花费大,设备要求高<sup>[1]</sup>。因而对汽车离合器的接合过程进行仿真研究,将有助于获得离合器滑磨功及寿命计算的方法,对离合器的设计、维护及可靠性研究有着重要的意义;2) 离合器是汽车的主要传动部件之一,汽车运动状态和离合器工作过程密切相关,对离合器工作工程的仿真研究可应用于研制汽车驾驶模拟器;3) 借助离合器接合过程的仿真模型,可进行汽车动力性能的分析 and 评价。

本文通过建立离合器力学模型的运动微分方程,获得了一种新的离合器接合过程仿真模型。该仿真模型理论依据可靠,求解方便,为汽车离合器工作过程的仿真研究提供了新思路。

## 1 仿真模型的建立

### 1.1 离合器数学模型

在研究汽车离合器的接合工作过程时,可将汽车离合器简化为如图1所示的两等效集中转动惯量的力学模型<sup>[2~5]</sup>。

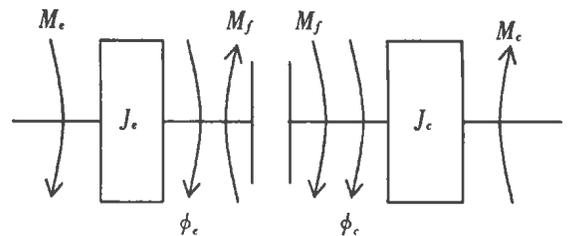


图1 离合器简化学学模型

$M_e$  —— 发动机扭矩;

$J_e$  —— 离合器主动部分转动惯量;

$\varphi_e$  —— 离合器主动部分的角位移;

$M_f$  —— 离合器传递的力矩;

$M_c$  —— 道路阻力矩;

$J_c$  —— 离合器从动部分转动惯量;

$\varphi_c$  —— 离合器从动部分的角位移。

该力学模型系统的运动微分方程为:

收稿日期:2002-04-25

作者简介:李 骏(1969-),男,江西丰城人,华东交通大学讲师。

$$\begin{cases} J_e \dot{\phi}_e = M_e - M_f \\ J_c \dot{\phi}_c = M_f - M_c \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $J_T = mR_i^2 / i_k^2 i_0^2$ .  $m$  为汽车总质量,  $R_i$  为车轮滚动半径,  $i_k$  为变速箱  $k$  档速比,  $i_0$  为主传动比. 式中其余符号同图 1.

当离合器主、从动盘完全接合时, 主、从动盘转速达到一致, 运动微分方程可写为:

$$(J_e + J_c) \dot{\phi} = M_e - M_c \quad (2)$$

求解上述运动微分方程, 计算得到离合器主、从动部分在接合过程中不同时刻所对应的转速, 绘制成曲线, 即获得离合器接合过程的仿真曲线. 为此, 我们还必须获得发动机扭矩模型  $M_e$ 、摩擦力矩模型  $M_f$  和道路阻力矩模型  $M_c$ .

### 1.2 发动机扭矩模型

发动机扭矩  $M_e$  实际上就是指发动机外特性中的扭矩转速特性, 在仿真计算时, 需将该特性描述为公式形式.

对于汽油机, 可采用如下的近似扭矩公式:

$$M_e = M_{e\max} - (M_{e\max} - M_p) \frac{(\phi_e - \phi_m)^2}{(\phi_p - \phi_m)^2} \quad (3)$$

式中,  $M_{e\max}$  为发动机最大扭矩;  $M_p$  为最大功率时相应的扭矩;  $\phi_e$  为发动机实际转速;  $\phi_m$  为最大扭矩时相应的转速;  $\phi_p$  为最大功率时相应的转速.

对于柴油机, 具有全制式调速器, 其扭矩模型既要描述调速部分的特性, 又要能描述非调速部分的特性. 给出如下的近似计算公式:

$$M_e = \begin{cases} M_{eN} \frac{\phi_0 - \phi_e}{\phi_0 - \phi_{eN}} & \phi_{eN} < \phi_e < \phi_0 \\ M_{eN} [\alpha_1 + \alpha_2 \frac{\phi_e}{\phi_{eN}} - (\frac{\phi_e}{\phi_{eN}})^2] & \phi_e \leq \phi_{eN} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $M_{eN}$  为发动机标定扭矩;  $\phi_e$  为发动机实际转速;  $\phi_0$  为发动机空转转速;  $\phi_{eN}$  为发动机标定转速;  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  是和发动机型号有关的参数.

对于已知外特性数据的发动机, 可对外特性数据进行二次曲线拟合, 以便于编程计算.

### 1.3 摩擦力矩模型

在离合器接合过程中, 摩擦力矩是逐渐增长的, 其增长情况视操作情况而异. 在此, 用离合器完全接合时间  $\tau$  来反映操作情况, 即反映离合器的接合速度, 此刻摩擦力矩达到最大值. 现用下述模型来描述摩擦力矩的增长规律:

$$\begin{cases} M_{f1} = M_{f2} = M_{e\max} t / \tau & 0 \leq t \leq \tau \\ M_{f1} = M_{f2} = M_{e\max} & t > \tau \end{cases} \quad (5)$$

亦有文献给出了如下的摩擦力矩增长规律<sup>[6]</sup>:

$$M_{f1} = M_{f2} = \beta M_{en} (1 - e^{-At/\tau}) \quad (6)$$

式中,  $\beta$  为离合器储备系数;  $M_{en}$  为发动机标定转矩;  $A$  为常数, 一般取 4~6.

### 1.4 道路阻力矩模型

参考 JB2668-80 汽车离合器台架试验方法, 道路阻力矩计算公式如下:

$$M_c = \frac{mg\psi R_i}{i_k i_0} \quad (7)$$

式中,  $m$  是汽车总质量, 包含了载荷变化的因素在内;  $g$  为重力加速度;  $\psi$  为道路阻力系数,  $\psi = f \cos \alpha + \sin \alpha$ , 其中  $f$  为滚动阻力系数,  $\alpha$  为坡路角度,  $\psi$  实际反映了道路状况;  $R_i$  为车轮滚动半径;  $i_k$  为变速器档速比, 其值随接合时的档位不同而不同;  $i_0$  为主传动比.

对于牵引车辆来讲, 阻力矩模型还应包含牵引阻力矩.

## 2 仿真模型的求解

上述所建立的离合器接合过程仿真模型, 实际上就是要求解一个二阶微分方程组. 求解微分方程组, 常用的数值解法是龙格-库塔法. 该方法的基本思想是先将高阶微分方程化成一阶微分方程组, 再应用微分中值定理得到数值计算公式, 又分为定步长和变步长两种方法.

Matlab 软件平台为用户提供了强大的科学计算与可视化功能. 简单、易用、开放式、可扩展的用户环境, 以及面向不同领域而扩展的工具箱支持, 使得 Matlab 在许多学科领域中成为计算机辅助设计与分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台. 为求解本仿真模型, 可使用 Matlab 中的 ode45() 函数来进行微分方程组的求解. 同时利用 Matlab 的可视化命令将仿真曲线绘制出来. 另外, 当发动机扭矩模型是以外特性数据给出时, 则用 Matlab 的 polyfit() 函数可以对其进行二次曲线拟合.

## 3 仿真实例

现以某中型货车为例进行仿真计算. 已知该车所用汽油机的主要参数为: 发动机最大扭矩 186 Nm (2 500 r/min), 发动机最大功率 69.9 kW (4 000 r/

min).

该车其他参数如下:车辆总重空载为 2 830 kg、满载为 5 830 kg;变速器各档传动比为一档 6.40、二档 3.09、三档 1.69、四档 1.00、倒档 7.82、主减速比 6.67;车轮滚动半径 377.5 mm;离合器主动部分转动惯量约为  $0.5 \text{ kgm}^2$ .

反映操作情况的  $\tau$  取 1.0 秒. 发动机接合时的初始转速为 1 500 转/分.

仿真条件一:一档满载,  $f=0.02$ , 8% 坡度.

仿真条件二:二档空载,  $f=0.02$ , 8% 坡度.

经计算得到两种情况的接合过程仿真曲线分别见图 2 和图 3.

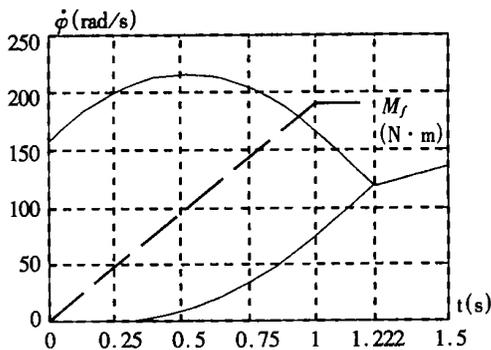


图 2 一档满载接合过程仿真曲线

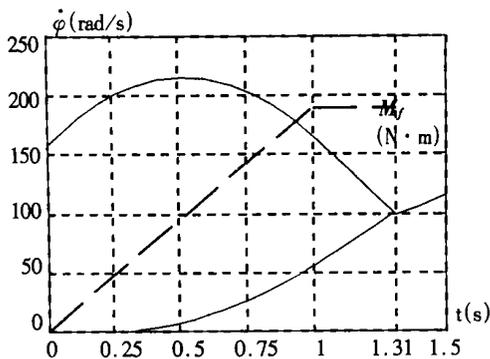


图 3 二档空载接合过程仿真曲线

## 4 结 论

通过对实例的计算,获得了汽车离合器接合过程的仿真曲线. 根据汽车理论和实际经验、以及通过与相关文献资料<sup>[2, 4]</sup>进行对比分析,可以证实仿真曲线是正确的和有效的. 进而,也证实了本仿真模型的正确性和实用性.

在上述仿真模型的基础上,可以进一步进行滑磨功和寿命的计算.

汽车离合器接合过程的实测试验工作有待进一步开展. 试验方法可借鉴文献<sup>[7]</sup>.

## 参考文献:

- [1] 刘星荣,李骏,葛如海. 离合器台架试验寿命预估方法的研究[J]. 汽车工程, 1994, (4): 237~241.
- [2] 刘庆非,汪鸣琦. 离合器接合过程模拟研究[J]. 专用汽车, 1997, (3): 29~31.
- [3] 侯瑞芬,曹正清. 拖拉机离合器接合过程仿真[J]. 中国农业大学学报, 2000, (3): 26~29.
- [4] 毕凤荣,刘庆非. 车用离合器起步接合过程模拟[J]. 机械设计, 1998, (10): 36~38.
- [5] 李玉岭,潘伍朝,朱昊. 车辆驾驶模拟器中离合器工作过程的仿真[J]. 系统仿真学报(增刊), 1995, (5): 56~59.
- [6] 徐爱国,方在华,张文春. 车辆系统牵引动力学模型与起步加速过程仿真[J]. 洛阳工学院学报, 2000, (3): 55~58.
- [7] 柴盛典,张为春,陈德元,等. 拖拉机离合器接合过程的测试系统及误差分析[J]. 拖拉机与农用运输车, 1997, (4): 31~34.

## Simulation Research of Clutch Engagement during Vehicle Start

LI Jun

(School of Mechanical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** The simulation method of vehicle clutch engagement is introduced. Motion differential equation of clutch mechanics model was established, and then a new simulation model was obtained. One example was calculated, and simulation curve of its engagement process was gotten. The curve agrees well with the fact.

**Key words:** vehicle; clutch; engagement; simulation