

文章编号: 0451-0712(2005)07-0168-03

中图分类号: U461

文献标识码: A

基于有限状态机的 AMT 车辆传动系统建模研究

李洪斌, 张承瑞

(山东大学机械工程学院 济南市 250061)

摘 要: 描述了 AMT 车辆传动系统的物理特性的动态方程与描述系统运行状态的有限状态机相结合的模型, 建立了可以表达 AMT 系统工作过程的传动系统模型。利用这一模型可以对 AMT 系统的各种性能在计算机上进行分析。与实车试验相比, 可以缩短开发时间, 减少开发成本。

关键词: 电控机械式自动变速器; 有限状态机; 模型

电控机械式自动变速器(AMT)是在传统的机械式传动系的基础上, 结合自动控制技术、计算机技术实现的。它保留了传统变速器结构简单, 易于制造、成本低等优点, 也具有自动变速器可以提高汽车的动力性和燃油经济性, 以及可以减轻驾驶员工作强度等优点, 目前已成为各国广泛研究的焦点。

验证 AMT 系统控制性能(动力性、燃油经济性等)的方法通常是在真实的车辆上进行实验。这样的实验消耗大量的物质资源和开发时间。随着计算机技术和仿真技术的发展, 实车试验方法已部分被在计算机上进行的仿真实验所代替, 这样可以减少开发成本, 缩短开发时间。应用计算机仿真来验证 AMT 系统控制性能的核心在于建立一个能反映 AMT 车辆运行全过程的动力系统模型。这个模型应该包括两部分: 一部分能够表达 AMT 车辆传动系统的物理动态模型; 另一部分能够描述 AMT 车辆运行的不同状态, 以及各状态中物理参数变化的状态模型。前人的研究已经建立了简单的传统车辆传动系统的动态方程^[1,2], 但是仅靠动态方程只能描述车辆某一特定状态下的物理特性。本文的目的就是在此动态方程的上层加入描述车辆运行状态的状态模型, 从而建立能够更全面地表达车辆系统运行全过程的动态模型。

1 车辆传动系统动态模型

如图 1 所示^[1], AMT 车辆的传动系统与传统

的手动传动系一样由发动机、干式离合器、变速箱、传动轴、差速器、半轴以及车轮组成。

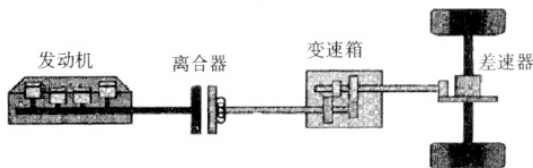


图 1

从传动系统的连接环节分析, 能引起传动比改变的主要有干式离合器和变速箱。其中干式离合器是因为在接合过程中的摩擦引起主、从动盘间转速差导致的传动比变化。而变速箱是因为改变齿轮比引起传动比的变化。从上面这个角度分析, 可以把车辆的传动系统分为 3 个主要的部分: 发动机曲轴和离合器主动盘; 离合器从动盘和变速箱输入轴; 变速箱输出轴至传动链的最后环节, 即车轮。

1.1 发动机模型

发动机是车辆的动力源, 为车辆提供能量。由内燃机的工作原理可知, 发动机产生的转矩是一脉动转矩。这一转矩与曲轴的转角、进入汽缸的混合气体质量、空燃比以及其他因素有关^[2]。在进行传动系统动态建模过程中, 可以忽略脉动影响, 取平均值。这时, 发动机输出的转矩为曲轴转速与油门开度的二元函数。这也就是发动机的转速特性曲线。

$$T_{eng} = f(x_a, \omega_{eng}) \quad (1)$$

式中: T_{eng} 为发动机输出的转矩; x_a 为油门开度; ω_{eng} 为发动机曲轴转速。

1.2 行驶阻力

车辆在行驶过程中的阻力主要有 3 种形式: 滚动阻力、风阻和坡度阻力。

$$T_{load} = T_f + T_w + T_g \quad (2)$$

式中: T_{load} 为行驶阻力; T_f 为滚动阻力; T_w 为风阻; T_g 为坡度阻力。

1.3 离合器工作特性分析

离合器在工作过程中主要有两种状态: 接合与滑磨^[3]。

在离合器滑磨过程中, 传动系统的动态特性可以由式(3)和式(4)来表示:

$$T_{eng} - T_{cl\max k} - b_{eng+clm}\omega_e = I_{eng+clm}\dot{\omega}_e \quad (3)$$

$$T_{cl\max k} - (b_{cls+gei} + b_{geo})\omega_v - T_{load} = (I_{cls+gei} + I_{geo})\dot{\omega}_v \quad (4)$$

式中: T_{eng} 为发动机输出转矩; $T_{cl\max k}$ 为离合器所能产生的最大动摩擦转矩; $b_{eng+clm}$ 为发动机曲轴与离合器主动盘的摩擦系数; ω_e 为发动机转速; $I_{eng+clm}$ 为发动机与离合器主动盘的转动惯量; $b_{cls+gei}$ 为离合器从动盘与变速箱输入轴的摩擦系数; b_{geo} 为等效发动机输出轴后传动系统摩擦系数; ω_v 为离合器从动盘转速; T_{load} 为等效阻力; $I_{cls+gei}$ 为离合器从动盘与变速箱输入轴的转动惯量; I_{geo} 为等效发动机输出轴后传动系统转动惯量。

公式(3)为发动机曲轴与离合器从动盘的动态方程, 公式(4)为离合器从动盘后传动系统的动态方程。离合器产生的最大动摩擦力矩可以用式(5)来表示:

$$T_{cl\max k} = kF_n \text{sign}(\omega_e - \omega_v) \quad (5)$$

当离合器处于接合状态时, 车辆传动系统的动态特性可以用式(6)来表示:

$$\begin{aligned} T_{eng} - (b_{eng+clm} + b_{cls+gei} + b_{geo})\omega - T_{load} = \\ (I_{eng+clm} + I_{cls+gei} + I_{geo})\dot{\omega} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\omega = \omega_e = \omega_v$$

当满足下面两个条件时, 可以判断离合器工作在接合状态, 否则离合器工作在滑磨状态。

(1) $\omega_e = \omega_v$ 即离合器主、从动盘的转速相等。

(2) 离合器所能产生的最大静摩擦转矩大于等效阻力转矩。

在上面的方程中含有等效摩擦系数, 等效转动

惯量和等效阻力转矩。这 3 个参数是与变速箱的传动比相关的。变速箱的传动比取决于 AMT 车辆的运行状态。

2 车辆运行状态

AMT 汽车运行过程主要分为^[4]:

(1) 起步阶段。起步过程中, 变速箱通常处于 1 档, 静止时阻力为静止阻力, 车辆开始行驶时, 阻力为行驶阻力。ECU (Electrical Control Unit) 控制离合器接合达到最佳接合性能。

(2) 正常行驶阶段。在这个阶段中, ECU 要检查汽车状态和驾驶员意图来决定是否到换挡点, 如果达到换挡点则进入换挡过程。换挡过程分为几个步骤:

① 分离离合器, 挂入空档, 以切断动力;

② 接合离合器, 调节油门, 以使得变速箱的输入轴和输出轴的转速同步;

③ 分离离合器, 换入新档;

④ 接合离合器, 恢复到正常行驶。

在这些步骤中 ECU 控制油门开度和离合器的接合来达到最好的换挡特性。

汽车运行的每一个阶段可以看作车辆的一个状态。在每个状态下等效到发动机飞轮轴或变速箱输出轴上的等效摩擦系数、转动惯量和等效负载转矩都是不同的。

3 基于有限状态机的 AMT 车辆运行过程动态模型

从前面的分析可以看出, 由式(1)~式(6)可以表达 AMT 车辆传动系统的动态模型。本文用有限状态机来表达传动系统的状态模型。

有限状态机是一种事件驱动系统的表达方法。在一个事件驱动系统中, 当某一特定条件发生的时候, 系统从一个状态进入另一个状态。可以解决复杂的逻辑问题^[5]。

从有限状态机的概念可以看出, 使用有限状态机可以清楚地表达 AMT 车辆传动系统的状态模型。

使用 MATLAB 中的 SIMULINK 以及 Stateflow 工具建立的 AMT 车辆传动系统的模型(图略)主要包括以下几个模块。

发动机模块(engine): 根据式(1)计算发动机的输出转矩。

离合器接合状态下的动态模型(locked): 根据式(3)和式(4)表达传动系统在离合器滑磨状态下的

动态模型(图略)。

离合器滑磨状态下的动态模型(unlocked):根据式(6)表达传动系统在离合器滑磨状态下的动态模型(图略)。

离合器滑磨、接合状态判断模块(select):根据判别条件判断离合器是工作在滑磨状态还是接合状态。

离合器最大摩擦转矩计算模块(clutch friction model):根据式(5)计算离合器工作时的最大摩擦转矩。

等效阻力转矩计算模块(Tloade generator):根据公式(2)以及档位计算等效阻力转矩。

起步过程油门与离合器接合计算模块(calcl):即 AMT 系统起步控制策略。

换档过程油门与离合器计算模块(calthcl):即 AMT 系统换档过程中的综合控制策略。

换档点计算模块(shiftselect):即 AMT 系统的换档策略。

描述整个系统的状态模型(system state):用 Stateflow 表示的整个系统的状态模型(图略)。

4 结论

在描述车辆物理动态模型的动态方程的上层,

加入描述车辆运行状态及其转变的有限状态机模型,就可以建立能够更全面地表达车辆系统运行的全过程的动态模型。这个模型对于分析 AMT 系统的起步控制性能、换档性能、换档过程的综合控制性能是十分有用的。

参考文献:

- [1] Ali Haj-Fraj, Friderich Pfeiffer. Dynamic modeling and analysis of automatic transmissions. Proceedings of 1999 IEEE/ASME, International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, September 19—23, 1999-Atlanta, USA.
- [2] Crossley P R, Cook J A. A nonlinear engine model for drivetrain system development. Control 1991. Control '91., International Conference on, 25—28 Mar 1991.
- [3] Pfeiffer K, Isermann R. Automatic control of vehicle startup for emission tests on engine dynamometers. American Control Conference, 1995. Proceedings of the, Volume: 4, 21—23 June 1995.
- [4] 葛安林, 编著. 车辆自动变速理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1991.
- [5] 张葛祥, 李娜, 编著. MATLAB 仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.

Modeling Research on AMT Vehicle Transmission System Based on Finite State Machine

LI Hong-bin, ZHANG Cheng-ru

(School of Mech. Eng., Shandong Univ., Jinan 250061, China)

Abstract: A transmission system model that can describe the working process of the automated mechanical transmission system is developed in the paper. This model is composed of two parts: one is the dynamic function that express the physical characteristic of the transmission system of the AMT vehicle, the other is the finite state machine model that can express the working state of the AMT system. It can be used to analyze the performance of the AMT system on computer. In contrast with the experiments on real vehicle, the developing time and the developing cost are decreased by the method.

Key words: automated mechanical transmission; finite state machine; model