

文章编号:1672-3961(2008)02-0023-05

液力机械自动变速箱起步过程控制

王娟, 陈慧岩, 丁华荣

(北京理工大学 机械与车辆工程学院, 北京 100081)

摘要:为研究液力机械自动变速箱起步过程的换档离合器控制,在对装用液力机械自动变速箱的车辆起步过程进行动力学分析的基础上,阐明了液力变矩器和换档离合器在起步过程中的工作机理,指出选用不同档位起步或同一档位不同路面阻力条件起步,起步过程会有差异,针对不同的起步过程制定了换档离合器的控制策略,结合两组试验数据对控制策略进行了分析,验证了控制策略的正确性.

关键词:液力变矩器;换档离合器;起步过程动力学;起步控制策略

中图分类号:U463.212 文献标志码:A

Start process control of a hydrodynamic-mechanical automatic transmission

WANG Juan, CHEN Hui-yan, DING Hua-rong

(College of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to study the control strategy of the clutch in the start process of a hydrodynamic-mechanical automatic transmission, the hypostasis of the torque converter and the shift clutch in the start process was clarified according to the detailed analysis of the dynamic model of the start process of a vehicle with a hydrodynamic-mechanical automatic transmission. There are different start processes if different start gears were chosen or different road resistances at the same start gear were put forward in this viewpoint. The control strategy of the clutch was designed for different start processes. According to the contrast of two kinds of test data of the start process, the control strategy was analyzed, and the validity of the control strategy was proved.

Key words: torque converter; shift clutch; dynamics of start process; control strategy of start process

0 前言

液力机械自动变速箱,与机械式自动变速箱不同之处在于,液力变矩器在起步过程中可以发挥它的自适应的优势^[1],适应不同路面的阻力变化,达到平稳起步及提高动力性的目的.因此,一般认为液力机械自动变速箱较机械式自动变速箱起步过程平稳并且容易控制,对液力机械自动变速箱起步过程换档离合器的控制方面国内研究较少,但在实车试验研究中发现在起步过程对换档离合器的控制研究

是非常重要的.本文作者旨在通过对液力机械自动变速箱起步过程中液力变矩器和换档离合器的工作机理进行分析来研究起步过程换档离合器的控制.液力机械自动变速箱,由液力变矩器和定轴变速箱组成,采用了数字电液自动操纵系统,换挡执行机构采用高速响应开关电磁阀作先导阀、双边节流滑阀作后置流量放大装置构成二级阀系统,电磁阀由电控单元的 PWM 信号直接控制,通过对电磁阀占空比的控制来实现对换档离合器充油油压的控制.

收稿日期:2007-05-01

基金项目:车辆传动国家重点实验室基金资助项目(9140C340306604)

作者简介:王娟(1981-),女,山东济南人,博士研究生,研究方向:车辆电液自动控制.

E-mail: wahaha@bit.edu.cn

1 起步过程动力学分析

为了分析车辆的起步过程,可建立如图1所示的起步过程简化动力学模型^[2].模型包括发动机-泵轮和涡轮-变速器-车辆两个隔离体,后者又可以分解为图2所示模型.

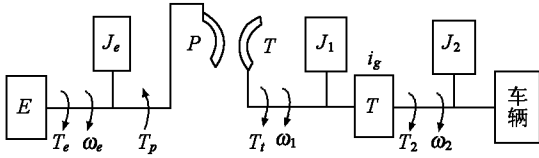


图1 起步过程动力学模型

Fig.1 Dynamics model of start process

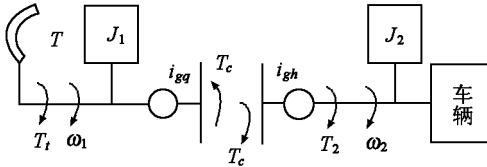


图2 起步过程换档离合器动力学模型

Fig.2 Dynamics model of the shift clutch in start process

其中, T_e , T_p , T_t 和 T_2 ——发动机转矩、泵轮转矩、涡轮转矩和输出轴转矩.

ω_e , ω_1 和 ω_2 ——发动机、涡轮轴和输出轴角速度.

J_e , J_1 和 J_2 ——发动机-泵轮构件转动惯量、涡轮轴和输出轴转动惯量.

T_c ——换档离合器的传递力矩.

i_{gq} 及 i_{gh} ——分别为变速器中换档离合器前、后的减速比.

可对两个隔离体分别建立动力学方程如下.

发动机-泵轮:

$$T_e - J_e \dot{\omega}_e = T_p. \quad (1)$$

涡轮-变速器-车辆:

$$T_t = K \cdot T_p. \quad (2)$$

式中, K ——液力变矩器的变矩比.

泵轮所传递的转矩:

$$T_p = \rho g n_p^2 D^5. \quad (3)$$

式中, ρ ——工作油液的密度,

λ ——力矩系数,

n_p ——泵轮转速,等于相连的发动机转速,

D ——变矩器循环圆直径.

涡轮转矩经由换档离合器传递至输出轴,按传递力矩的表现形式,换档离合器的接合过程可分为三个阶段:

(1) 无力矩传递,主要发生在换档离合器接合

过程中摩擦片之间的自由间隙尚未消除时,由于摩擦片尚未接触,因此不传递任何力矩.

(2) 传递摩擦力矩,由于此阶段中摩擦片之间已经部分压紧并相互摩擦,这种状态下输出的是摩擦力矩.摩擦力矩的大小取决于换档离合器油缸的油压特性以及摩擦片的摩擦系数等因素.

(3) 传递负载力矩,这是指在换档离合器同步接合停止滑摩后,主被动摩擦片已经接合成一个整体,此时所传递的是由外界负载所决定的负载力矩.

在传递摩擦力矩阶段,可从换档离合器的主被动摩擦片处分解成两个隔离体,如图2所示,并建立传递力矩的方程如下.

主动部分:

$$T_t - J_1 \dot{\omega}_1 = T_c \cdot \frac{1}{i_{gq}}, \quad (4)$$

被动部分:

$$T_c \cdot i_{gh} = T_2 + J_2 \dot{\omega}_2. \quad (5)$$

在此阶段,传递至驱动轮产生驱动力的转矩,是式(5)中的 T_c , $T_c = \mu_c p_c S_c r_c z$, 其中 μ_c ——摩擦系数; p_c ——换档离合器油压; S_c ——换档离合器油缸活塞面积; r_c ——等效作用半径; z ——摩擦副数.

车辆驱动轮的驱动力 F_q ,是由变速器的输出转矩 T_2 转换来的^[3],即:

$$F_q = \frac{1}{r_k} T_2 i_0 \eta. \quad (6)$$

式中, r_k ——车轮半径, i_0 ——主减速器传动比, η ——传动效率.

由式(5)和式(6)得下式.

$$F_q = \frac{1}{r_k} (T_c \cdot i_{gh} - J_2 \dot{\omega}_2) i_0 \eta. \quad (7)$$

当换档离合器同步接合停止滑摩后,主被动摩擦片接合成一个整体,即传递负载力矩阶段,此时,应对涡轮-变速器-车辆进行整体分析,如图1所示模型,有下式.

$$T_t - J_1 \dot{\omega}_1 = \frac{1}{i_g} (T_2 + J_2 \dot{\omega}_2). \quad (8)$$

由式(2),(3),(6),(8)得下式.

$$F_q = \frac{i_0 \eta}{r_k} [i_g K \lambda n_p^2 D^5 - (j_1 i_g^2 + j_2) \dot{\omega}_2]. \quad (9)$$

2 不同档位起步过程分析

由式(7)可知,采用不同档位起步,其速比 i_{gh} 大小不同,从而导致车辆驱动轮的驱动力 F_q 大小不同.

若起步时选用较高的档位,其速比 i_{gh} 较小,在换档离合器滑摩过程中,车辆驱动力 F_q 不足以克服车辆起步过程的道路阻力,当换档离合器同步结合停止滑摩后,车辆驱动力 F_q 为式(9)所得. 在车辆起步之初,由于发动机处于怠速状态运转, n_p 值较小,此时按式(2), (3)所得泵轮及涡轮转矩尚小,由此按式(8)转换所得的输出轴转矩 T_2 也小,所产生的驱动力 F_q 不足以克服道路行驶阻力,车辆将处于静止不动的停驶状态. 此时输出轴转速 n_2 和涡轮轴转速 n_T 都为零. 低档复杂路面起步或坡上起步情况类似.

车辆起步行驶,驾驶员只须踩下油门踏板提高发动机的转速即可. 这时随着发动机转速的增大,泵轮转矩随其转速 n_p 的平方成正比急速增长(见式3),由于开始时涡轮处于停转状态,按照变矩器的原始特性,其变矩比为最大值 K_0 ,由此增扭所得的涡轮转矩也最大,按照式(9)所得驱动力也增大至足以克服行驶阻力,于是车辆开始起步.

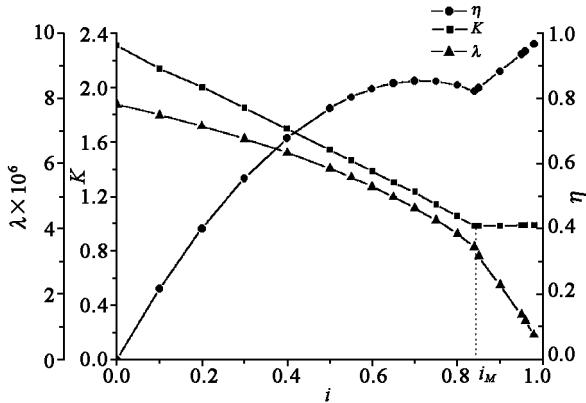


图3 综合式变矩器原始特性

Fig.3 The characteristic chart of the multiple torque converter

图3所示是一个综合式变矩器的原始特性,当涡轮/泵轮转速比小于 i_M 时为变矩器工况,随着车辆开始起步,涡轮转速 n_T 随车速成比例的增大,于是涡轮/泵轮转速比逐渐变大,变矩比 K 及力矩系数 λ 也都按其特性逐渐变小,涡轮轴上的输出转矩大于发动机传递给泵轮的转矩,具有明显的减速增扭作用,直到当转速比等于 i_M 时为偶合器工况,变矩器无增扭功能. 由于这些都随道路阻力及驱动力的变化自动平衡地变化,所以车辆可以获得极好的起步性能.

如果在良好路面选用过低的档位起步,由于其速比 i_{gh} 过大,由式(7)可知,这就使得起步档换档离合器即使处于部分接合滑摩过程中,所传递的摩擦力矩就足以能使车辆起步行驶.

这种起步过程,受换档离合器摩擦力矩变化规律的影响,而 T_c 的大小与换档离合器的充油油压相关^[2],如果起步档换档离合器的充油过程控制不当,就可能因传递力矩所产生的扰动而形成起步冲击,起步时输出轴转速的增长取决于换档离合器的摩擦力矩,起步过程的平稳性取决于对充油油压的控制.

这种起步过程,可以通过制动器对车辆实施制动,从而可以避免在离合器完全结合之前车辆起步,因此,可以通过使用制动器来控制小路面阻力时车辆提前起步现象的发生. 但考虑到不同的驾驶风格,在起步过程换档离合器控制策略的制定时应综合两种起步方式.

3 起步过程换档离合器控制

由上文对起步过程的分析可知,对不同档位或同一档位在不同路面条件下起步,起步过程换档离合器的结合应运用不同的控制策略. 若高档起步,或低档复杂路面起步或坡上起步,应控制换档离合器快速结合,然后踩下油门,利用液力变矩器的自适应的增扭作用平稳可靠地起步;若良好路面低档起步,这种情况下换档离合器的控制,应综合冲击度和滑摩功两项指标,对换档离合器充油过程进行闭环实时控制,目的是减小起步冲击和起步过程换档离合器的滑摩功. 控制原理图如图4所示.

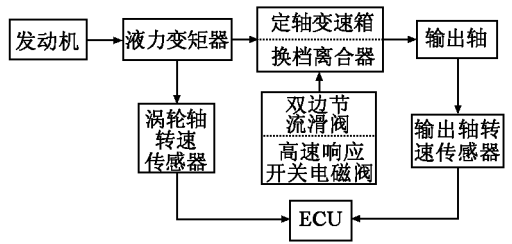


图4 控制原理图

Fig.4 The control principle chart

由于冲击度与输出轴转速信号直接相关,又由前面动力学分析可知涡轮轴转速不仅反映了发动机的工作状况,而且可以反映出换档离合器所传递的力矩的变化,从简化模型可知,涡轮轴转速 n_T 和输出轴转速 n_2 直接对应于换档离合器主被动部分的转速,所以换档离合器的控制采用涡轮轴转速 n_T 和输出轴转速 n_2 来作为判断参数,通过对电磁阀占空比的控制来实现对换档离合器充油油压的控制. 图5所示为起步过程换档离合器控制程序框图.

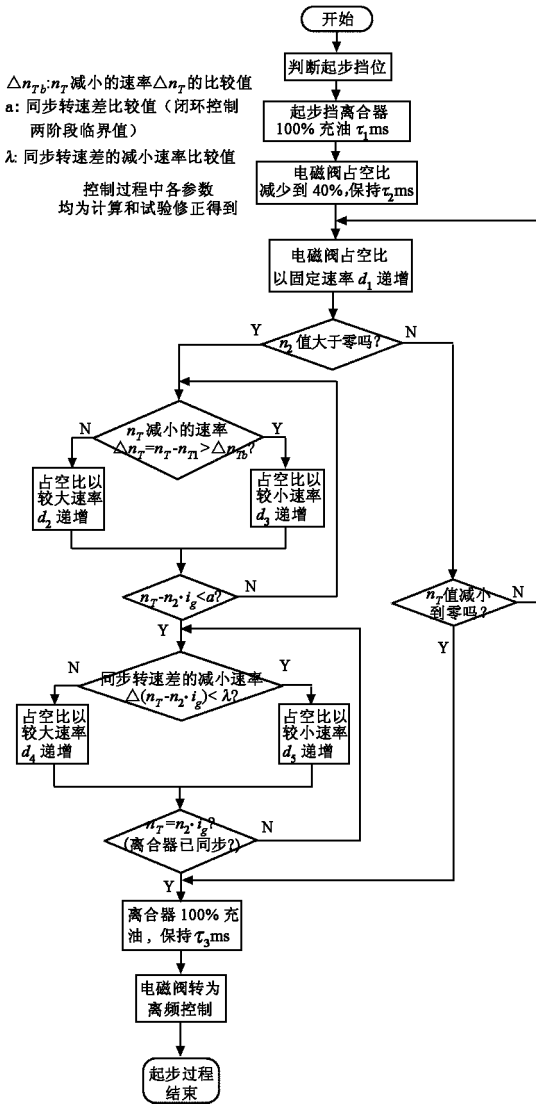


图 5 起步过程换挡离合器控制程序框图

Fig.5 The chart of clutch control strategy of start process

4 试验分析

电控硬件系统采用 Motorola 公司的 MC68376 单片机, 完成对输入信号的采集, 控制算法的实现, 从而实现对高速响应电磁阀的 PWM 驱动控制. 图 6 为电控系统硬件组成框图. 控制系统按功能划分为输入信号处理电路、处理器系统和输出信号驱动电路.

在装有液力机械自动变速箱的重型车辆上, 采用以上控制策略进行了起步过程的实车试验, 并得到图 7 和图 8 所示的参数变化曲线. 各参数从上到下依次代表: 电磁阀驱动占空比、换挡离合器的充油油压、输出轴转速 n_2 、发动机转速 n_e 和涡轮轴转速 n_T .

采用磁电式转速传感器, 转速信号的采集由单片机的 TPU 定时中断来完成; 油压传感器输出的模拟信号经滤波及隔离处理送往单片机的 A/D 输入

引脚; TPU 时间处理单元产生 PWM 驱动信号用来驱动电磁阀.

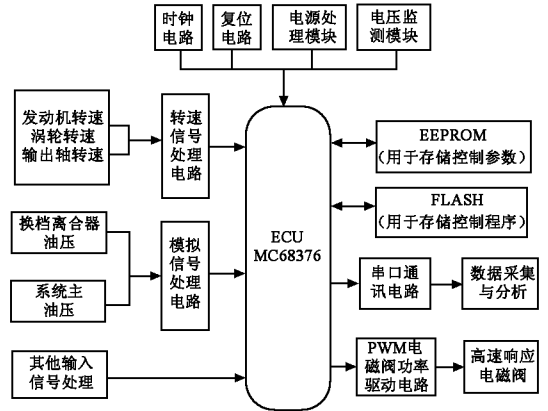


图 6 电控系统硬件组成框图

Fig.6 Hardware structure of electronic control system

结合两组试验曲线来对起步过程换挡离合器的控制策略进行分析.

图 7 所示是一次高档起步过程曲线. t_1 到 t_2 之间, 驱动换挡离合器的电磁阀占空比为 100%, 控制换挡离合器完全充油, 这段时间 τ_1 被称作容积率^[4], 即换挡离合器活塞消除空行程阶段, τ_1 是根据换挡离合器油缸的具体参数来确定的, 它的值是固定的. t_2 时刻, 电磁阀占空比由 100% 降到 40%, 然后保持 τ_2 , 这段控制是使双边节流滑阀由全开状态转变为节流状态, 离合器充油过程进入缓冲升压阶段, t_2 到 t_3 之间, 由于车辆驱动力 F_q 不足以克服车辆起步过程的道路阻力, 这期间输出轴转速 n_2 值一直为零, 换挡离合器充油过程严格按照程序框图进行, 电磁阀占空比以固定速率递增, 这样的控制过程一直持续到涡轮轴转速 n_T 值减小到零为止. 从 t_3 开始, 给电磁阀 100% 占空比, 并保持 τ_3 , 即 t_3 到 t_4 阶段, 让换挡离合器完全结合, t_4 时刻以后, 电磁阀转为高频控制, 保持完全开启状态, 完成了起步档结合过程. 从 t_5 时刻起, 驾驶员开始踩下油门踏板, 车辆开始起步行驶.

图 8 是一次低档起步过程曲线. 从 t_1 到 t_2 , 分析过程与上述相同. t_2 到 t_3 之间, 换挡离合器处于部分接合滑摩过程中, 车辆驱动力 F_q 足以克服车辆起步过程的道路阻力, 导致在 t_5 时刻输出轴转速 n_2 发生突变, 控制过程与上述过程不同, 程序框图转入另一分支. ECU 检测到涡轮转速 n_T 减小, 进入换挡离合器结合的闭环控制阶段, 在这个过程中, 控制策略又分为两个阶段: 在起始阶段, ECU 通过检测 n_T 减小值 Δn_T ($\Delta n_T = n_T - n_n$, 其中 n_T 为当前涡轮

轴转速值, n_T 为 10 ms 前涡轮轴转速值)的大小,对电磁阀的占空比进行调节,来控制换档离合器的缓冲充油过程,从而实施对涡轮转速的控制;当换档离合器接近同步时,由于换档离合器的力矩储备系数较大,传递力矩将由摩擦力矩转为负载力矩,会出现传递力矩值的阶跃变化,所以控制策略转为根据换

档离合器同步转速差的减小值 $\Delta(n_T - n_2 \cdot i_g)$ ($(n_T - n_2 \cdot i_g) - (n_{T1} - n_{21} \cdot i_g)$)的大小来进行占空比的控制,这个阶段一直持续到 t_3 时刻换档离合器同步为止. t_3 到 t_4 阶段,与上述过程一致.

t_5 到 t_3 阶段,换档离合器主被动片之间存在滑摩, t_3 时刻以后达到同步. 由于控制策略根据涡轮轴转速 n_T 和输出轴转速 n_2 对电磁阀驱动信号占空比进行闭环控制,换档离合器油压平缓增加,减小了起步过程冲击和换档离合器的滑摩功.

5 结论

(1) 在对装有液力机械自动变速箱的车辆起步过程动力学分析的基础上,阐明了液力变矩器和换档离合器在起步过程中的工作机理,并指出选用不同档位起步或同一档位不同路面阻力条件起步,在换档离合器结合过程中起步形式会有差异.

(2) 制定了一套针对不同的起步形式都适用的起步过程换档离合器控制策略,即根据涡轮轴转速和输出轴转速对换档离合器电磁阀的驱动占空比进行闭环控制,从而实现换档离合器的缓冲充油过程的油压进行控制. 设计了电控硬件系统,为控制策略的实施提供了硬件平台.

(3) 在装有液力机械自动变速箱的重型车辆上,进行了起步过程的实车试验,通过对试验曲线的分析进一步阐明了控制策略的运用过程,从而验证了控制策略的合理性和可实施性.

参考文献:

[1] 朱经昌,孙传文,魏宸官. 车辆液力传动(上)[M]. 北京:国防工业出版社,1982.
 ZHU Jing-chang, SUN Chuan-wen, WEI Chen-guan. Vehicle hydrodynamic transmission[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1982.

[2] 丁华荣. 车辆自动换档[M]. 北京:北京理工大学出版社,1992.
 DING Hua-rong. Automatic shift of vehicle[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1992.

[3] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
 YU Zhi-sheng. Automobile theory[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2000.

(编辑:陈燕)

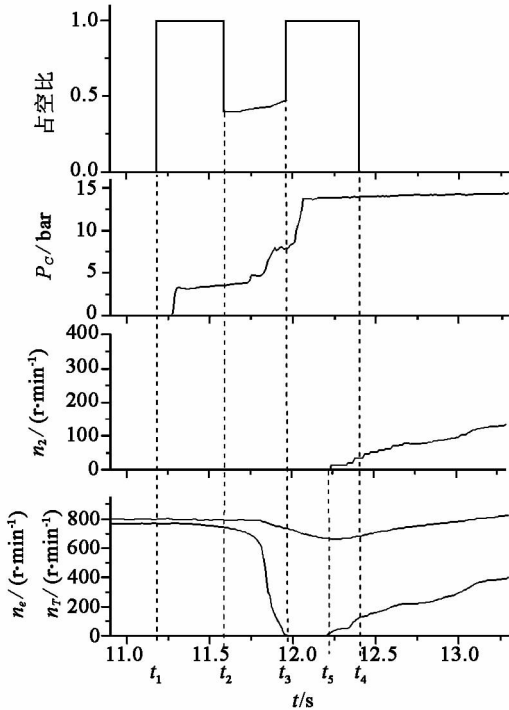


图7 起步过程历程曲线
 Fig.7 The curves of start process

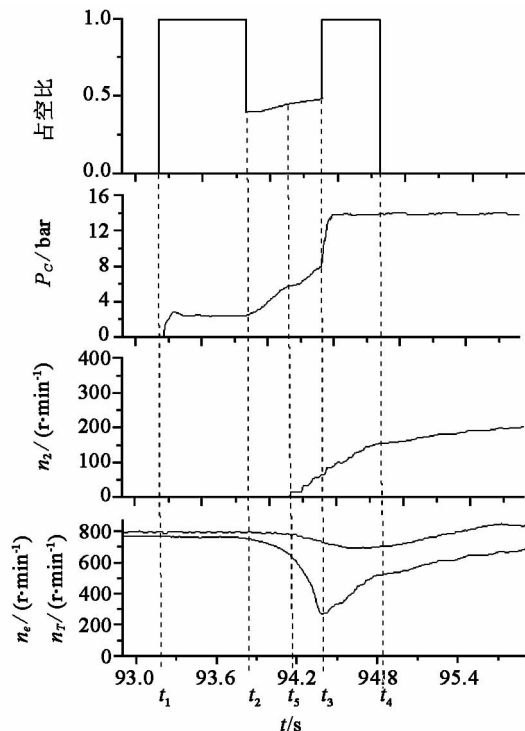


图8 起步过程历程曲线
 Fig.8 The curves of start process