

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.08.018

基于换挡品质的变速器换挡控制策略研究

刘建民¹, 于 英¹, 何绍华², 周 平²

(1. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 总装工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035)

摘要:针对变速器电液控制系统及动力换挡问题,对变速器换挡控制(离合器调压系统)与换挡品质进行了研究,分别对车辆起步挂挡与换挡过程建立了动力学模型,对两个过程中影响换挡冲击的因素(离合器充油)进行了分析。根据分析的结果提出了一种新的旨在提高换挡品质的变速器换挡控制策略,利用 Matlab/Simulink 建立了基于换挡品质的换挡控制仿真模型,通过与理论曲线的对比,验证了基于换挡品质的换挡控制策略的正确性。研究结果表明,该控制策略达到了预期的设计要求,能够有效地降低换挡过程中产生的冲击,提高了车辆的平顺性。

关键词:电液控制;换挡品质;控制策略;仿真分析

中图分类号:U463.212;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)08-1007-05

Transmission shift control strategy based on shift quality

LIU Jian-min¹, YU Ying¹, HE Shao-hua², ZHOU Ping²

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. The First Engineering Scientific Research Institute of the General Armaments Department, Wuxi 214035, China)

Abstract: Aiming at the phenomenon of transmission electro-hydraulic control system and power shift, research on transmission shift control (clutch pressure regulating system) and the evaluation indexes of shift quality was carried out, dynamic models on start and shift process were established, and factors influencing the shift shock (oil feeding process of the clutch) were analyzed. A new method of shifting control strategies were proposed under results which the shift quality was considered. Finally, a Matlab/Simulink simulation on shifting control based on shift quality was conducted. The correctness of method was verified by comparison to the theoretical curve. The results indicate that shift control strategy based on shift quality is proven to up to expectations that effectively reduce shift shock and improve ride comfort.

Key words: electro-hydraulic control; shift quality; control strategy; simulation

0 引 言

随着汽车行业的发展,人们对汽车舒适性要求越来越高,变速器作为发动机转速与转矩的调节枢纽,成为汽车平顺性研究的热点。变速器的最直接的功用体现在换挡,换挡的平顺性直接关乎汽车驾驶的舒适性。变速器的换挡过程实际操纵体现在换挡液压系统,换挡过程实际是离合器的分离与接合,液压系统不仅可以加快换挡过程,同时影响换挡品质。

目前的变速器换挡研究侧重于参数化研究,以提高换挡速度、准确性以及换挡品质,但是换挡品质往往不作为第一要点进行研究。因此,本研究着重在换挡品质研究的基础上,制定基于换挡品质的变速器换挡控制策略,达到降低换挡冲击,提高车辆平顺性的目的。

1 变速器换挡与换挡品质

本研究的变速器采用电控液压动力操纵,通过改

变电磁阀的开关状态和开关时间,调节液压油路的通断和压力,从而控制离合器的接合与分离,实现挡位的切换。

离合器调压系统简图如图 1 所示。

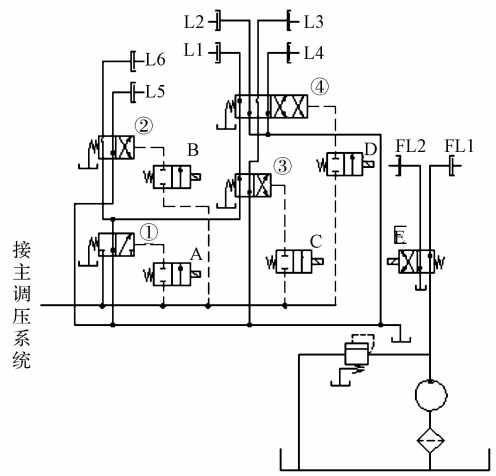


图 1 离合器调压系统简图

部分挡位状态和电磁阀、离合器的对应关系如表 1 所示。

表 1 挡位状态和电磁阀、离合器的对应关系

挡位	高速响应开关阀	离合器(接合)
0 挡	E	FL2
I 挡	A/E	L1/L6/FL2
II 挡	A/D/E	L2/L6/FL2
III 挡	A/B/E	L1/L5/FL2
IV 挡	A/B	L1/L5/FL1
V 挡	A/B/D/E	L2/L5/FL2

动力换挡变速器要求换挡过程能够平稳而没有颠簸或冲击地进行,换挡品质的评价是动力换挡变速器控制技术的重要研究内容之一^[1]。常用的换挡品质评价方法有主观评价法和客观评价法两种,考虑到研究可操作性与主观评价结果存在很大的主观随意性,故以客观评价法进行研究。

客观评价法主要从换挡执行元件寿命、快捷性和平顺性 3 个方面予以综合考虑,分别用以下 3 个指标进行衡量^[2]:

(1)冲击度 j 。冲击特性是评价车辆起步、换挡过程品质的重要指标,其大小反映了起步、换挡过程的平稳性。换挡过程应力求冲击度尽可能小,确保换挡平稳^[3]。

(2)摩擦副的滑摩功 W_c 。滑摩功是指滑摩过程中,离合器主从动盘摩擦消耗的功。

离合器的接合和分离过程会产生滑摩功,并转换为大量的热,使换挡执行元件工作条件变差、磨损加剧、寿命降低,因此应减小换挡过程中滑摩功。

(3)换挡时间 t 。换挡时间指从发出换挡指令开始到新挡位换挡执行元件完全接合为止的时间,是表征换挡过程快慢的主要参数^[4]。换挡时间的长短对车辆的加速性能、舒适度、转矩传递能力以及换挡执行元件寿命都有不同程度的影响。

2 变速器换挡分析及控制策略

在起步和换挡的过程中会产生较大的冲击,故本研究以减小换挡冲击为目标,分别对两过程建立动力学模型,分析影响换挡冲击的因素,并提出减小换挡冲击的控制策略。

2.1 基于冲击度的起步挂挡控制

2.1.1 起步挂挡过程动力学建模与分析

根据电液系统控制原理可知,起步过程有两个离合器充油,忽略油路阻力,则 L1/L6 离合器充油规律相同。前进一挡起步的动力学模型如图 2 所示(车辆启动时,默认离合器 FL2 接合)。

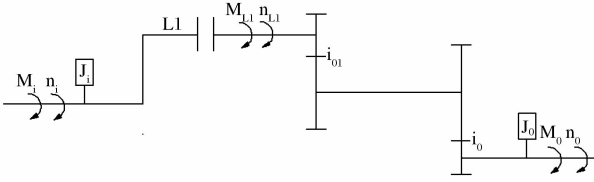


图 2 前进一挡起步等效模型

通过控制电磁阀动作,离合器 L1/L6 完成充油过程,实现挂挡起步。

冲击度计算转化如下:

$$j = K \left(\mu \frac{dP}{dt} + P \frac{d\mu}{dt} \right) \quad (1)$$

式中: μ —滑动摩擦系数; P —离合器油缸油压,MPa; K —常量系数。

由式(1)可知,影响起步挂挡过程冲击的因素主要由离合器充油压力变化率及摩擦材料摩擦系数的变化率,考虑到试验中材料的摩擦系数保持恒定,因此离合器缓冲充油的质量决定了起步挂挡的平稳性。

2.1.2 起步挂挡过程控制策略

起步挂挡过程离合器充油控制难度较大,尽管液力变矩器有一定的缓冲作用,但如果控制不当还是会产生很大的冲击^[5]。故本研究选择变速器输入轴转速作为控制目标,制定分段控制的策略,使输入轴转速平滑下降,起步过程平稳快速。起步挂挡离合器自动控制的原理曲线^[6]如图 3 所示。

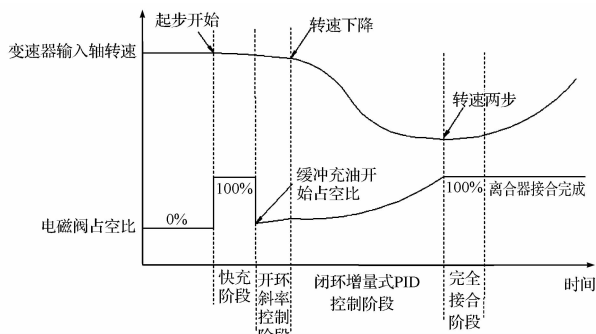


图3 起步挂挡控制原理

当收到起步信号时,控制器发出挂挡指令,离合器自动控制过程^[7]如下:

快速充油阶段:控制开始时,使电磁阀占空比为最大值1,快速充油一段时间,理论上快速充油结束时,离合器主从动摩擦片开始贴合,并处于轻微滑摩状态。

变速器输入轴转速缓慢下降阶段:在快速充油阶段结束后,电磁阀占空比值减小到能够保持离合器处于轻微滑摩,进入离合器缓慢充油过程。

闭环控制阶段:当检测到输入轴转速下降量大于给定的速度差时,控制器进入闭环控制阶段。通过不断调节离合器驱动电磁阀占空比值,对离合器压力实施主动控制,直到离合器主从动部分接近停止滑摩。

完全接合阶段:当控制器检测到变速器输出轴转速乘以一档的传动比接近输入轴转速,控制器将发出电磁阀全开指令,使离合器完全接合,完成起步挂挡过程。

2.2 换挡过程控制

2.2.1 换挡过程动力学建模与分析

由表1知:一档工作离合器 L1/L6/FL2,二档工作离合器 L2/L6/FL2,故一档和二档挡位切换,实际上就是控制离合器 L1 和 L2 的交替工作。一档升二档的变速器动力学等效模型如图4所示。

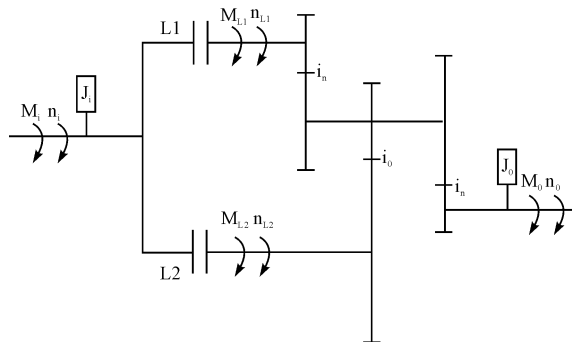


图4 一档升二档变速器等效模型

本研究将换挡过程分为原来挡位、原挡转矩相、惯性相、新挡位4个阶段,通过建立分析不同阶段下的动力学方程,推导得出换挡过程换挡冲击的影响

因素。

(1) 低速挡运行

车辆以低速挡状态稳定运行时,离合器 L1 接合,离合器 L2 不参与工作,变速器输入轴距经由离合器 L1 传递到输出轴。

(2) 换挡过程

换挡过程中,输出轴转速变化较小,输入轴转速变化较大,按输入轴转速变化率将换挡过程分为转矩相、惯性相两个阶段^[8]。

进入转矩相,离合器 L1 压力减小,离合器 L2 压力逐渐增大,但离合器 L1 始终处于接合状态,离合器 L2 处于滑摩状态可传递动摩擦转矩。此时,车辆仍以低速挡运行,转矩开始从离合器 L1 逐渐向 L2 过渡。

$$dM_0 = K_1 dM_i + K_2 dP_{L2} \quad (2)$$

式中: M_0 —换挡前输出轴转矩, M_i —输入轴转速的函数,它与发动机和变矩器泵轮的负荷特性有关。

由式(2)可知,转矩相阶段冲击度主要跟离合器 L2 充油压力有关,故离合器充放油交替控制决定了转矩相过渡平稳。

从转矩相过渡到惯性相的开始,离合器 L1、L2 均处于滑摩状态,都传递动摩擦转矩。离合器 L2 逐渐从滑摩状态进入接合状态,变速器输入轴转速出现明显的下降。

为研究方便,当换挡过程过渡到惯性相时,令待分离离合器传递的转矩为零,即待分离离合器进入分离状态。

在简化假设下,当换挡过程过渡到惯性相时,对离合器的充放油衔接控制转化为对待接合离合器的充油控制。

(3) 高速挡运行

换挡结束,车辆处于平稳运行状态,离合器 L1 彻底分离,离合器 L2 完全接合。

2.2.2 换挡过程控制策略

与起步挂挡过程相比,换挡控制过程更加复杂,因为换挡过程至少需要对两组离合器进行控制,而且要注意对应电磁阀工作时序问题。在2.2.1节中详细分析了换挡过程中影响换挡冲击的因素的基础上,本节制定相应的升挡和降挡控制策略。

(1) 升挡过程控制策略

升挡过程待接合离合器充油,待分离离合器卸油,升挡过程控制难点有两方面:一是充油离合器的缓冲控制,二是分离离合器和接合离合器充放油衔接控制。

换挡过程控制原理图^[9]如图 5 所示。

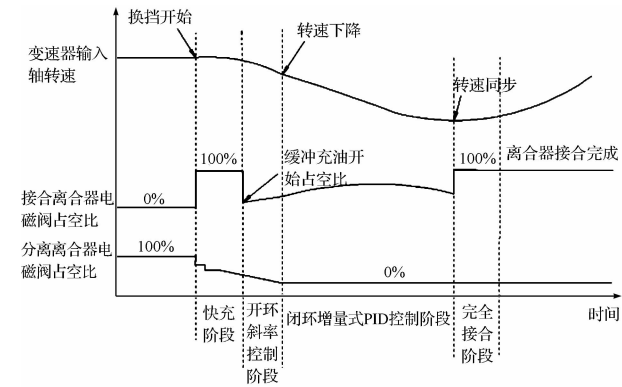


图 5 换挡过程控制原理

收到换挡指令时,两离合器充放油同时开始(液压控制系统响应滞后,同时开始有利于两个离合器响应的同步性),充油离合器先快速充油,克服弹簧力使离合器主从动摩擦片达到轻微滑摩状态,之后占空比按开环等斜率增加使换挡过程由转矩相过渡到惯性相。当检测到输入轴转速下降,充油离合器进入闭环增量式 PID 控制,直到检测到转速接近同步的信号,完成充油离合器接合过程。对于放油离合器,换挡开始后,放油离合器压力下降至安全压力值,占空比按等斜率缓慢下降,当检测到输入轴转速下降时迅速将占空比变为零,完成分离离合器和接合离合器控制合理衔接。

(2)降挡过程控制策略

降挡过程控制原理图如图 6 所示。

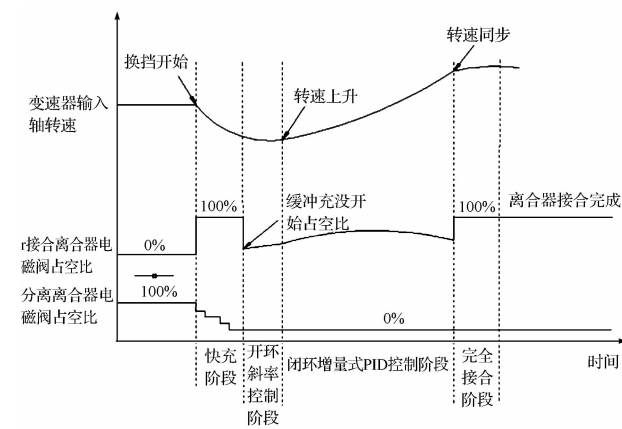


图 6 降挡过程控制原理

与升挡过程相比,降挡过程控制策略有较大的差别:降挡过程中输入轴转速急速下降,待接合离合器在非动力换挡情况下接合,所以降挡过程采用非动力换挡控制策略。

在待接合离合器快速充油阶段结束时,笔者将待分离离合器占空比设定为零,待分离离合器彻底分离。

之后充油离合器占空比按照等斜率增加,直到检测到输入轴转速上升,进入闭环增量式 PID 控制。当检测到转速同步(变速器输出轴转速乘以传动比等于输入轴转速)时,占空比等斜率上升一段时间,再次检测转速是否同步,如果同步,则完成降挡;如果不同步,则占空比继续按等斜率上升直到转速同步。

3 仿真分析

本研究根据前面提出的控制策略,搭建控制算法模型。以一挡升二挡为例,控制策略框图模型如图 7 所示。

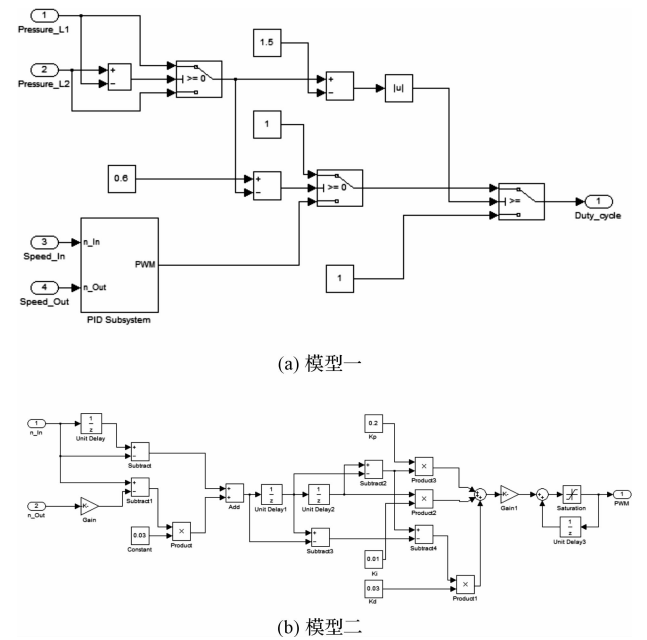


图 7 控制策略模型

图 7 中,当被控离合器压力值大于或等于 0.6 MPa 时,即控制过程处于快速充油阶段,控制程序的占空比输出 1,电磁阀充油通道全开,快速充油,消除离合器主从动摩擦片间间隙;当检测到输入轴转速下降时,占空比输出下降到 0.6(由不断试验测定),使输入轴转速下降;当输入轴转速下降量大于设定值(由试验确定)时,进入闭环 PID 控制,直至输入轴与输出轴转速比为该挡位传动比时,输出占空比 1。

设定 Simulink 仿真参数为离散型固定步长解法器,参考手动换挡过程中离合器充油、卸油压力和输入输出转速变化规律^[10-11],设定油压变化和变速器输入轴、输出轴转速变化如图 8 所示。通过改变 PID 控制环节的 K_p 、 K_i 、 K_d 3 个参数,得到充油离合器仿真结果如图 9 所示。

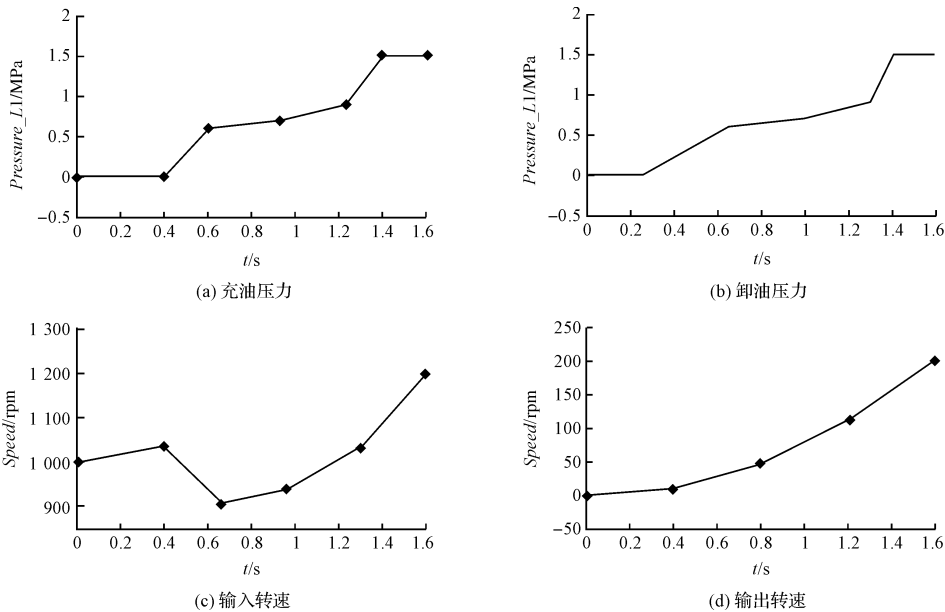


图8 仿真模拟信号输入

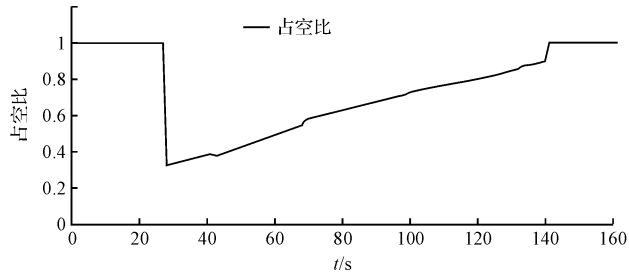


图9 仿真结果

从图9所示的仿真曲线,可以看出换挡开始后占空比首先趋于等斜率增加,后瞬间达到100%,整个过程与图5理论曲线变化趋势大致相符。即搭建的控制算法模型能很好地反映控制算法,可以获得良好的控制效果。

4 结束语

本研究基于换挡品质的客观评价,分析了换挡过程(起步和升档),得出了离合器充油质量影响换挡冲击,故提出了符合换挡品质要求的理想控制策略,即对离合器充油控制优化换挡过程,通过建立仿真模型进行了仿真试验。试验得到的仿真曲线与理想曲线有较好的一致性,满足预期的设计要求,故本研究提出的控制策略能有效降低换挡冲击,提高车辆的平顺性。

此外,本研究对变速器换挡控制策略的研究侧重于换挡品质,将换挡控制简化成了对离合器充放油控

制,相较于参数化,更为直观明确。

参考文献(References):

- [1] 丁华荣. 车辆自动换挡[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1992.
- [2] 葛安林. 车辆自动变速理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1993.
- [3] 何忠波,梁宪福,韩正军,等. AMT换挡过程动力学建模及换挡品质影响因素分析[J]. 军械工程学院学报, 2004, 16(6): 45-49.
- [4] 汤兵勇,路林吉,王文杰. 模糊控制理论与应用技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [5] Sternemann K H, Didic M M, Hofer H. Simulation of a torque converter production considering quality attributes[J]. *Computers in Industry*, 1999, 40: 259 - 265.
- [6] 张迎军,周学建,周志立. 概述 AMT 车辆起步的离合器控制方法[J]. 拖拉机与农用运输车. 2003. 34(3): 3 ~ 6, 12.
- [7] 张泰,葛安林,郭立书. 改善车辆起步换挡品质提高乘坐舒适性的研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(1): 18 ~ 24.
- [8] 高金武,刘志远. 换挡过程中发动机转矩控制的研究[J]. 汽车工程, 2012, 34(8): 669 ~ 674.
- [9] 张俊智,王丽芳,葛安林. 机械自动变速器离合器控制规律的研究[J]. 机械工程学报, 1999, 35(3): 37 ~ 40.
- [10] 任振宁,田晋跃,兰士新. 基于 AMESim 的某装载机变速器油压调节系统分析[J]. 液压气动与密封, 2014, 34(3): 15-18.
- [11] 龚捷,赵丁选. 工程车辆自动变速器换挡规律研究及自动控制仿真[J]. 西安交通大学学报, 2001, 35(9): 930-934.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

刘建民,于英,何绍华,等. 基于换挡品质的变速器换挡控制策略研究[J]. 机电工程, 2016, 33(8): 1007 - 1011.

LIU Jian-min, YU Ying, HE Shao-hua, et al. Transmission shift control strategy based on shift quality[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2016, 33(8): 1007 - 1011.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>