

文章编号:1000-582X(2005)01-0086-04

机械式自动变速器的换挡控制*

黄建明,曹长修,苏玉刚

(重庆大学自动化学院,重庆 400030)

摘要:机械式自动变速器为非动力换挡,换挡品质是AMT换挡控制的关键。分析了换挡过程的控制策略对换挡品质的影响。在恢复动力过程中,离合器在同步时刻主从动盘转速差的变化率与车辆加速度的突变量成正比。车辆加速度变化较大时会引起使乘员感到不舒适的车辆冲击和振荡。笔者提出了通过发动机和离合器的协调控制使同步时刻离合器主从动盘转速差的变化率小于设定范围的控制策略。道路试验表明,该控制策略改善了换挡品质。

关键词:自动变速器;换挡品质;换挡控制

中图分类号:U463·211

文献标识码:A

传统的固定轴式齿轮变速箱是机械有级传动的手动变速器,它具有效率高、成本低、结构简单和容易维护的优点,获得了广泛应用。然而,这种手动变速器存在着换挡时动力中断,驾驶员水平对汽车行驶性能有较大影响,驾驶员劳动强度大,非熟练驾驶员换挡困难等缺点。汽车运行中,为了适应各种复杂多变的路况,换挡操作是相当频繁的。换挡时,要求驾驶员能对变速器、离合器、转向盘、加速踏板的技术操作进行协调配合与综合运用,因而是汽车驾驶操作技术中难度较大的一项工作。

近年来,以先进的电子技术装备改造传统的机械传动系,使手动变速器和干式摩擦离合器实现操纵自动化已成为应用研究的热点。由于机械式自动变速器(Automated Mechanical Transmission—AMT)为非动力换挡,换挡前要先断开离合器切断动力,换挡完成后再接合离合器恢复动力,因而在保证动力传动系寿命的前提下,能迅速而平稳地换挡变速的性能就成为AMT换挡控制的关键。

1 换挡品质评价指标

对于安装自动变速器的汽车,最重要的性能特性之一就是换挡质量。在换挡期间,传动系扭矩中断和

恢复的控制不良将引起冲击、噪声和振动,并影响车辆的驾驶性能。从汽车工业的早期到现在,人们一直在努力寻求如何进行换挡品质的定量评价,以便改善车辆的驾驶性能。所谓换挡品质是指在保证汽车动力性与动力传动系寿命的前提下,能够迅速而平稳地换挡的程度。换挡品质评价指标很多,也很复杂。从简单、实用、有效等方面考虑,衡量换挡品质好坏主要有换挡时间、冲击度和离合器寿命三项指标^[1-3]。

1.1 换挡时间 t_s

换挡时间指从控制器发出换挡指令开始到换入新挡后离合器主从动盘转速完全同步且动力得到恢复所经历的时间。在换挡期间,车辆由于动力中断而引起车速下降。如果换挡时间过长,将严重影响车辆的动力性,上坡或超车时还会影响安全性。好的换挡品质要求在平顺换挡的基础上换挡时间要尽量短。

1.2 冲击度 j

评价换挡时离合器接合过程平稳程度的指标是冲击度,它是车辆纵向加速度的变化率,即:

$$j = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} \approx \frac{R_t}{i_0 i_g I_c} \cdot \frac{dT_c}{dt} \quad (1)$$

式中 j 为冲击度(最大推荐值为 10 m/s^3), a 为纵向加速度, v 为车辆行驶速度, R_t 为驱动轮滚动半径, i_0 为

* 收稿日期:2004-09-15

基金项目:教育部博士点基金资助项目(97061104);重庆大学基础研究基金资助

作者简介:黄建明(1985-),男,重庆人,重庆大学副研究员,博士研究生,主要从事控制理论及其应用、计算机控制、汽车电子控制等方面的研究工作。

主减速比, i_g 为变速箱传动比, T_c 为离合器摩擦力矩。换挡平顺性用冲击度来衡量。冲击度大小影响乘员乘坐舒适性、传动系动载荷和传动系寿命。由式(1)可知, 要满足冲击度指标, 关键是控制离合器在滑磨阶段所传递的扭矩平稳变化。

1.3 滑磨功 W

评价换挡过程中影响离合器使用寿命的指标是滑磨功, 它是离合器在接合过程中主从动摩擦盘间滑动摩擦做功的大小, 定义为:

$$W = \int_0^{t_1} T_c(t) |\omega_e(t) - \omega_i(t)| dt \quad (2)$$

式中 W 为滑磨功(它反映了离合器在接合过程中有多少机械能转换成温升和磨损), ω_e 为发动机角速度, ω_i 为离合器从动盘角速度, t_0 为离合器接合过程中开始传递扭矩的时刻, t_1 为离合器主从动摩擦盘从滑磨进入同步的时刻, T_c 为离合器主从动摩擦盘间传递的摩擦力矩。

2 换挡过程

AMT 换挡过程控制复杂, 要通过协调控制发动机、离合器及变速箱等一系列操作来实现平稳换挡, 同时还要考虑离合器的滑磨和发动机转速的波动情况。而且还具有较为严格的时序关系。下面逐步进行的4阶段换挡过程实现了上换挡或下换挡。

2.1 中断动力

AMT 的换挡操纵必须分离离合器以中断发动机和传动系之间的动力传递, 同时必须控制发动机的供油(采用节气门控制的方式)来避免由于负载的突然降低而导致发动机转速的急剧上升^[4]。换挡时, 先将发动机的节气门调至怠速, 再断开离合器。这样, 将离合器传递的扭矩降低至零, 就不会因为扭矩的突然中断而造成传动系的振荡和车辆冲击^[5-6]。如果节气门回怠速与断开离合器同时进行, 由于节气门回怠速后发动机动力降低的滞后反应, 将造成离合器分离后发动机转速的上升, 不利于后期挂挡后离合器主从动部分的同步, 使同步时间加长。

2.2 选空挡

在离合器的断开使发动机和传动系分离之后, 通过控制选换挡执行机构使变速器从原挡位摘除, 并选到对应新挡位的空挡(当所换两挡处于同一选挡槽位, 可以没有选挡操作)。由于动力已经中断, 变速器从原挡位选换到空挡很容易完成。这一阶段所用时间完全由选换挡执行机构的设计参数决定。

2.3 挂新挡

在挂入新挡时, 由于变速器主从动齿轮间存在转

速差, 所以要控制转速差小到一定程度才能挂入新挡。但目前由于同步器的普遍使用, 变速器输入轴转速与输出轴转速的转速差依靠同步器实现同步, 大大简化了该控制过程的复杂程度。

2.4 恢复动力

挂入新挡后, 要通过离合器的接合来恢复发动机动力的传递, 同时要根据车辆运行工况恢复发动机供油以保证车辆有足够的动力克服外界阻力。该过程离合器与发动机的控制策略直接影响换挡品质的好坏。离合器接合过快会造成换挡冲击, 反之将引起离合器摩擦片的过度滑磨, 影响离合器的使用寿命。

3 换挡控制

上节将换挡过程分为4个阶段, 并对4个阶段进行了详细分析。其中第2阶段选空挡和第3阶段挂新挡的控制容易完成。而在第1阶段中断动力过程和第4阶段恢复动力过程中, 离合器和发动机的控制策略对冲击度、换挡时间和滑磨功这3项换挡品质都有很大的影响。

中断动力过程控制通常采取先将节气门调至怠速再断开离合器的方式。节气门回怠速后, 离合器传递的扭矩降低至零, 此时断开离合器不会引起冲击。断开离合器的操作应尽快完成, 这一过程的完成时间完全由所设计的离合器伺服机构决定。中断动力过程控制的关键是节气门回怠速的调节快慢。只要发动机产生的主动力矩不会降得太快, 就不会产生冲击和振荡。因此, 在中断动力阶段只需按一定速度调节节气门至怠速。速度调节可根据加速踏板的踏入量进行。

恢复动力过程与中断动力过程相反, 需要将节气门调节至加速踏板给定的位置, 需要将离合器由断开位置调节至传递最大动力的完全接合位置。在没有接合离合器的情况下, 恢复发动机动力将由于没有负载而使发动机转速飞升, 这是需要避免的情况。发动机动力的恢复即节气门的恢复应该在离合器接合后或与离合器接合同时协调进行。

在恢复动力阶段, 如果采取在离合器接合之后恢复节气门的控制策略, 离合器接合速度快或节气门恢复速度快会引起换挡后期的冲击。为了缩短换挡时间, 在离合器接合完成后快速恢复节气门, 发动机扭矩快速增加, 由式(1)可知, 扭矩快速变化会引起很大的冲击。离合器接合速度快, 发动机转速下降速度快(以上换挡为例), 则离合器主从动盘转速差的变化率在由滑磨阶段(离合器传递扭矩且主从动盘转速不相同的阶段)进入同步阶段(离合器传递扭矩且主从动

盘转速相同的阶段)时刻(这一同步时刻的时间设为 t_i)的值增大。车辆加速度在 t_i 时刻的不连续变化与离合器主从动盘转速差的变化率成正比^[7],可以表示为

$$\dot{n}_v(t_i^+) - \dot{n}_v(t_i) = \frac{J_x}{J_e + J_v} \dot{n}_{ev}(t_i) \quad (3)$$

式中 \dot{n}_v 为车辆加速度在离合器从动盘上的等效转速变化率, \dot{n}_{ev} 为离合器主从动盘转速差的变化率, J_e 为离合器主动盘上的当量转动惯量, J_v 为离合器从动盘上的当量转动惯量。由式(3)可知, \dot{n}_{ev} 越大,在 t_i 时刻的车辆加速度变化越大,冲击度性能恶化。离合器接合速度慢或节气门恢复速度慢,换挡冲击小,但产生较大的滑磨功,且换挡时间长而使车辆的动力中断时间长。因此,必须对发动机和离合器进行协调控制。离合器接合速度慢,节气门恢复速度快,则会导致发动机转速飞升或离合器主从动盘转速长时间不能达到同步,离合器滑磨功急剧增加。离合器接合速度快,节气门恢复速度慢,则会导致发动机转速变化快而使 \dot{n}_{ev} 大,造成冲击和振荡。当采取离合器接合与节气门恢复协调配合进行的控制策略时,离合器以正常速度接合,通过节气门的协调控制使离合器主从动盘转速差的变化率在 t_i 时刻小于设定的范围,则由式(3)可知车辆加速度变化量小,不会产生使乘员感到不舒适的冲击和振荡。

图1~图3为在桑塔纳样车上进行的变速器从1挡升到2挡过程中恢复动力阶段的几种控制方案道路试验结果。图中 t 为时间(s), β 为节气门开度(%), x_c 离合器位置(%), n_e 为发动机转速(r/min), n_v 为车速在离合器从动盘上的等效转速(r/min)。

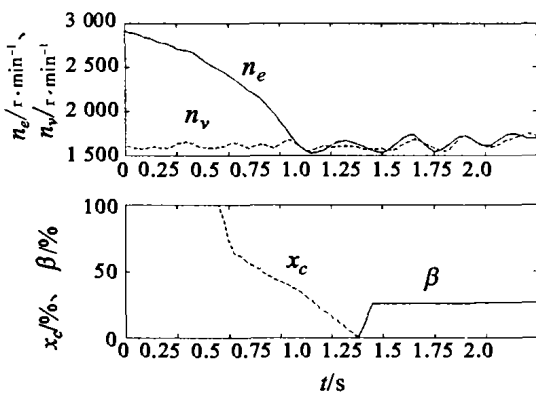


图1 节气门快速恢复道路试验

在图1中,离合器以一定的速度接合完成后节气门在75 ms内从0快速恢复到25.6%。从离合器开始接合到节气门恢复到加速踏板给定值的时间(即动力恢复阶段的时间)为750 ms。

在图2中,离合器处于半接合位置,等到发动机转

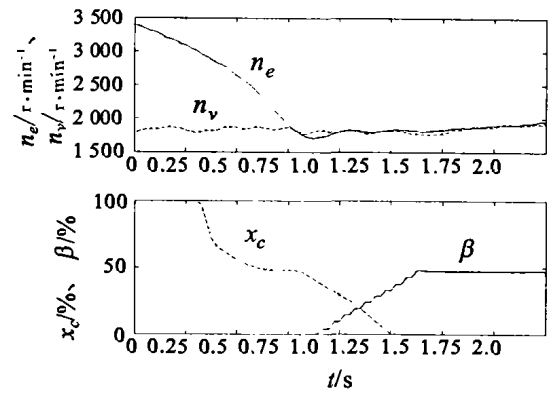


图2 动力正常恢复道路试验

速(即离合器主动盘转速)与离合器从动盘转速同步后,再接合离合器(快速接合直到接合完成)和恢复节气门。节气门在500 ms内以正常速度从0恢复到47.3%。从离合器开始接合到节气门恢复到加速踏板给定值的时间为1 075 ms。

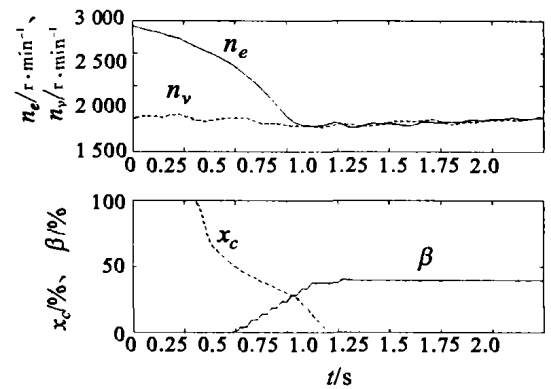


图3 发动机与离合器协调控制道路试验

在图3中,离合器接合至半接合起始位置(离合器开始传递扭矩的位置)后,对离合器与节气门进行协调控制直到发动机转速与离合器从动盘转速一致,然后快速接合离合器直到接合完成并恢复节气门到37.7%。从离合器开始接合到节气门恢复到加速踏板给定值的时间为550 ms。

比较图1、图2和图3的道路试验结果可知,发动机与离合器协调控制时,动力恢复阶段的时间最短。图2的控制策略,动力恢复阶段的时间太长。尽管在图1的试验中节气门的开度最小,但驾驶员和乘员都感到该次试验的冲击和振荡严重,图中可以明显地看出在离合器主从动盘转速同步后(图中 n_e 和 n_v 不重合,这是由于 n_e 和 n_v 的测量脉冲个数不同以及动力传动系不是刚性的)发动机转速出现大幅度振荡。在图2和图3的试验中,均未产生不舒适的冲击。

4 结束语

为了达到降低离合器滑磨功、缩短动力中断时间,

减少换挡后期冲击的目的,本文做了尝试性研究。在恢复动力阶段,节气门和离合器的控制策略对换挡过程的性能指标影响很大。为了缩短换挡时间,恢复动力过程要快,势必造成车辆冲击和振荡。恢复动力过程变慢,平顺性好,则换挡时间加长。节气门恢复过快,将导致车辆冲击和振荡。离合器接合速度慢,则滑磨时间长,滑磨功增加。离合器接合速度快,换挡时间短,滑磨功减少,但离合器在由滑磨阶段进入同步阶段的时刻主从动盘转速差的变化率大,这会引起使乘员感到不舒适的冲击和振荡。对 AMT 车辆的道路试验研究结果表明:1)不能等待离合器主从动盘同步或接合完成后才进行节气门控制;2)发动机与离合器必须进行协调控制使离合器主从动盘转速差的变化率在 t_l 时刻小于设定的范围。利用电子控制装置协调控制发动机和离合器,大大改善换挡品质指标,取得了很好的应用效果。这对于 AMT 车辆的产品化研究具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 葛安林,沈波. AMT 换挡品质的研究[J]. 汽车技术, 2003, (2):43-45.
- [2] 葛安林,武文治,张天一,等. 自动换挡过程中的动态闭环控制[J]. 汽车工程,1994,16(5):276-282.
- [3] 夏迎春. 动力传动系统在换挡过程中的整体控制[D]. 北京:北京理工大学,2002.
- [4] 雷雨龙. 基于智能公交系统的公共汽车自动变速技术研究[D]. 长春:吉林大学,2001.
- [5] PETERSSON M, NIELSEN L. Gear Shifting by Engine Control[J]. IEEE Transactions on Control System Technology, 2000, 8(3):495-507.
- [6] LEE H D, SUL S K, CHO H S, et al. Advanced Gear-shifting and Clutching Strategy for a Parallel-hybrid Vehicle[J]. IEEE Industry Application Magazine, 2000, (11/12):26-32.
- [7] GAROFALO F, GLIEMO L, IANNELLI L, et al. Smooth Engagement for Automotive Dry Clutch[A]. Proc. of the 40th IEEE Conference on Decision and Control[C]. Orland, Florida USA, 2001, 529-534.

Shift Control for Automated Mechanical Transmission

HUANG Jian-ming, CAO Chang-xiu, SU Yu-gang

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The gearshift of an automated mechanical transmission is performed by cutting off the power. The key to the gearshift of AMT is shift quality. The influence of the control strategy during shifting process on shift quality is analysed. While resuming the power, the derivative of the speed difference between the clutch active disc and the clutch slave disc time instant is in direct proportion to the discontinuity of the vehicle acceleration at the lock-up time instant. The large discontinuity of the vehicle acceleration will result in the jerk and the oscillation of vehicle that make passengers uncomfortable. A control strategy is proposed, that make small the derivative of the speed difference between the clutch active disc and the clutch slave disc by the integrated control of engine and clutch. The road test shows that the control strategy improves the shift quality.

Key words: automatic transmission; shift quality; shift control

(编辑 吕赛英)