

液力自动变速器升挡过程 发动机协调控制

李波, 张健, 侯连军, 穆勇勇

西安双特智能传动有限公司 陕西西安

摘要: 发动机转矩协调控制是提高液力变速器换挡品质的重要技术手段。以某型号柴油机和西安双特智能传动有限公司的FC180液力自动变速器组成的动力传动系统, 制定了换挡过程发动机协调控制策略, 并在实车上进行了对比试验。结果表明: 通过在惯性相初期阶段减小发动机转矩以抵消部件转动惯量释放的转矩, 在惯性相后期通过标定发动机使其转矩增加, 以抵消升挡后由于速比减小导致输出转矩减小而引起的冲击, 提高换挡品质。

关键词: 柴油机; 自动变速器; 协调控制; 换挡过程

不断提高车辆的动力性、经济性、舒适性和操纵性是人们一直追求的目标。液力自动变速器换挡品质是影响车辆舒适性的重要方面, 而提高换挡品质, 不仅需要自动变速器的精确控制, 而且需要发动机的有效协调控制。

在换挡过程中, 液力机械式自动变速器是通过控制行星齿轮传动系中相应离合器或制动器的结合、分离来实现的。通过控制换挡执行元件的油路油压, 延长滑摩时长可以有效降低离合器结合过程中产生的转矩波动。但较长的滑摩时长减小了离合器的寿命。万国强等^[1]在AT升挡过程中发动机协调控制的试验研究中提出, 减小升挡过程发动机喷油量可以有效地抑制输出轴转矩的增加, 但是却增加了换挡结束时产生的反向冲击。

本文以减小液力机械式自动变速器换挡冲击为优化目标, 为抑制变速器输出转矩波动, 提高换挡过程舒适性, 提出一种换挡过程中的发动机转矩调节策

略。在惯性相初期通过降低发动机转矩输出, 减小转动惯量引起的转矩上升, 在惯性相后期通过发动机转矩调节使其转矩上升以减小由于速比减小而引起的输出转矩降低。

自动变速器建模及理论分析

1. 离合器的动力学分析模型

车辆的动力传动系统是一个连续、多自由度的复杂系统, 为了方便分析, 将其转化为机械变速系统动力学分析模型并且对其进行如下假设:

- 1) 忽略发动机扭振、摆振等振动影响。
- 2) 忽略齿轮啮合等其他运动副的间隙和阻尼。
- 3) 忽略动力传动系统中轴承和轴承座的摩擦阻力。
- 4) 忽略以上因素对整个换挡过程动力分析不会产生太大影响。

基于以上假设，可将车辆动力传动系统简化为图1所示模型。

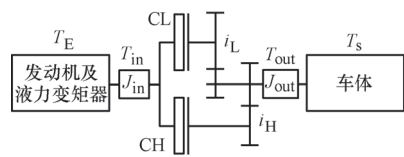


图1 车辆动力传动系统简化模型

图1中， J_{in} 为变速器输入轴转动惯量， J_{out} 为变速器输出轴转动惯量，CL为低挡离合器，CH为高挡离合器， i_L 为低挡位传动比， i_H 为高挡位传动比， T_{in} 为变速器输入端转矩， T_{out} 为变速器输出端转矩^[2]。

自动变速器换挡离合器从分离到接合过程中，在滑动摩擦力的作用下，离合器主动端和被动端的转速差不断的减小而最终达到零。在此过程中，如果忽略油膜变化对离合器摩擦特性的影响，离合器的摩擦转矩和转矩容量可以通过下式进行描述

$$T_c = \frac{2}{3} \mu_s S N P \frac{R_0^3 - R_1^3}{R_0^2 - R_1^2} \quad (1)$$

式中 m_s ——接合元件的摩擦系数；

S ——作用面积；

N ——摩擦片个数；

P ——离合器压力；

R_1 ——摩擦面外径；

R_0 ——摩擦面内径。

当离合器的主被动端存在滑摩时，离合器的转矩容量和滑摩转矩相等，并与离合器的压紧油压成正比关系。而当离合器压紧以后，主被动端的滑差为0，此时离合器的转矩容量和滑摩转矩不再相等，其滑摩转矩保持不变而转矩容量则随着油压的增加而增大。

因此可以根据变速器输入轴和输出轴分别得到关于离合器CH和离合器CL的转矩平衡公式，换挡过程中离合器一定满足的基本转矩配合关系。在自动变速器换挡过程中，不同的离合器处于不同的工作状态，因而两个平衡公式的具体形式也略有不同。

$$J_{in} \dot{\omega}_{in} = T_{in} - T_{CL} - T_{CH} \quad (2)$$

$$J_{out} \dot{\omega}_{out} = T_{CL} i_L + T_{CH} i_H - T_{out} \quad (3)$$

无论哪种换挡类型，离合器工作状态一定处于充油阶段、转矩交换阶段、转速同步阶段、完全分离阶段和完全压紧阶段中的某一工作状态^[3]。

2.换挡过程理论分析

(1) 充油阶段的离合器动力学分析 在升挡的充油阶段，离合器CL处于压紧状态并且承担着传动系统的转矩而离合器CH处于完全分离状态，不承载任何转矩。

(2) 转矩交换阶段的离合器动力学分析 在升挡的转矩交换阶段，离合器CL仍然处于接合状态并且承担的转矩逐渐转交到CH，此时离合器CH处于滑摩状态。转矩交换阶段的理想模型是CH滑摩、CL保持接合状态、传动系统仍然以 i_L 工作。

(3) 转速同步阶段的离合器动力学分析 在升挡的转速同步阶段，离合器CL完全分离处于带排状态，CH处于滑摩状态并且承担所有转矩，传动比从低挡位 i_L 的向高挡位 i_H 过渡，输入端转速由低挡位转速同步至高挡位转速。

(3) 完全压紧阶段 在升挡的完全压紧阶段，离合器CL完全分离，CH处于完全压紧状态，传动系统以 i_H 工作。

换挡过程控制策略分析

文中策略只针对转速相进行调控，因此只分析转速相阶段转矩变化。在转速相阶段转矩变化CH离合器传递转矩TCH如下

$$T_{CH}(t) = T_{in}(t) - J_{in} \dot{\omega}_{in}(t) \quad (4)$$

输出端冲击度

$$\dot{\omega}_{out}(t) = \frac{i_H}{J_{out}} \frac{dT_{in}(t)}{dt} - \frac{J_{in}}{J_{out}} \dot{\omega}_{in}(t) - \frac{1}{J_{out}} \frac{dT_{out}(t)}{dt} \quad (5)$$

忽略路面波动等情况，输出轴的冲击度与输入端转矩的变化率和输入轴加速度有关。如图2所示， Δ_1 来自于升挡过程中发动机转速下降而引起的变速器部件的转速惯量的释放，瞬时值与输入轴的加速度成正比

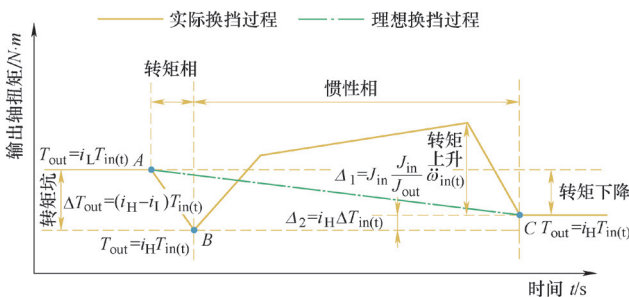


图2 升挡过程动力输出特性曲线

比； Δ_2 来自于不同挡位之间的速比变化引起的，与挡位及车辆工况有关。

基于发动机转矩协调控制策略

升挡过程中基于发动机转矩的协调控制是指：在升挡过程中，通过对发动机输出转矩的合理控制，以使自动变速器的输出转矩接近理想值，从而减小输出轴转矩波动，提升换挡质量。

因此，关键在于发动机目标输出转矩的确定，理想的输出轴转矩如图2A-C所示。从图2可以看出，理想的输出轴转矩一般随换挡时间逐渐减小，其初值等于换挡前输出轴负载转矩。AB阶段为转矩相，BC阶段为惯性相。A点转矩值为换挡前输出轴负载转矩；C点转矩值由发动机转矩调节和变速器高档位传动比确定^[3]。

在动力升挡过程中，标定发动机降扭请求并且通过CAN总线通信发给发动机控制模块，要求发动机减小转矩输出以抵消 Δ_1 引起的转动惯量释放。在惯性相后期，关闭发动机降扭请求，此时发动机转矩会缓慢上升此时增加的转矩以抵消 Δ_2 降低的转矩（见图3），可以通过发动机标定使其转矩上升满足要求^[4]。

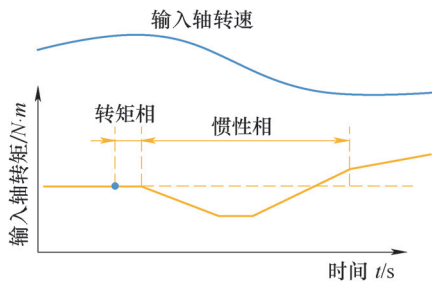


图3 发动机降扭控制

试验及结果分析

表1 车辆配置表

车辆	Foton Ouhui
发动机	东风康明斯ISLe360 40
变速器	FCR6A140
后桥速比	4.3
标定软件	VERSION
路况	法士特试车场
加速度传感器	WOOSENS WDL

为验证本文提出的发动机降扭控制策略的正确性，在安装有AT的大型客车上，通过车辆安装加速度仪测试发动机无降转矩和降转矩的换挡对比试验。

本文仅以在相同的节气门开度下2挡升3挡为例，

在惯性相阶段未进行发动机降扭控制时，车辆加速度有0.05g的变化（见图4），在进行发动机降扭控制时，车辆加速度有0.02g的变化（见图5）。因此可以证明，在惯性相阶段对其发动机进行降扭控制有利于换挡质量的改善。

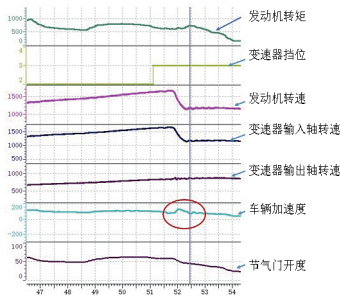


图4 未采取降扭策略

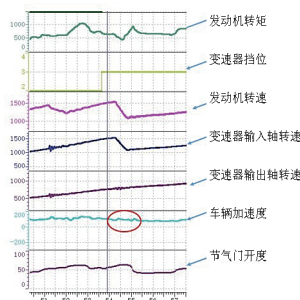


图5 采取降扭策略

结语

为了抑制惯性相阶段转动惯量引起的转矩波动，提高换挡品质，提出了一种换挡过程中的发动机转矩调节策略。该策略通过在惯性相初期阶段减小发动机转矩以抵消部件转动惯量释放的转矩，在惯性相后期通过标定发动机使其转矩增加以抵消升挡后由于速比减小导致输出转矩减小而引起的冲击。通过在实际车辆测试，在换挡过程中该控制策略能很好地改善换挡过程中输出轴转矩波动，提高换挡平顺性。

参考文献：

[1] 万国强.AT升挡过程发动机协调控制的试验研究[J]. 汽车工程，2013，37（9）：1018-1021.
[2] 高金武.换挡过程中发动机转矩控制的研究[J].汽车工程，2012，34（8）：670-674.
[3] 徐向阳.自动变速器电控系统及其应用软件开发技术[M].北京：机械工业出版社，2018.
[4] 杨一凡.动力换挡系统和换挡策略标定[J].传动技术，2013，27（1）：18-24. **AUTO1950**