

湿式DCT起步控制的分析研究

□ 上海汽车变速器有限公司/王兴焕 杨克军

基于湿式双离合器DCT控制经验,本文分析了两种常规起步模式即无节气门车辆爬行Creep模式和有节气门起步Launch模式的控制方法,通过对控制流程和各阶段控制特点的分析,详细而具体地阐述了起步控制中的特点及难点、控制策略的设计和 optimization 方法。实车验证结果表明,该控制方法能够实现双离合器变速器起步平顺性、快速性的要求,保证起步期间的怠速稳定,同时可以有效解决起步溜坡和起步过热问题,具有很强的实用性。



湿式双离合器自动变速器DCT控制的核心和难点之一是车辆起步过程中的离合器控制,其控制目标既要提高车辆起步过程的平稳性,防止冲击过大,保证发动机稳定运转,又要保证起步过程中的滑摩功不能很大,避免离合器损伤。若离合器接合速度过快,将破坏起步的平稳性,引起发动机转速的较大波动,甚至造成发动机熄火或抖动;反之,离合器的接合速度过慢,起步响应差,发动机升速会迅速增加,滑摩功大大增加,离合器又会温升明显,降低离合器的使用寿命。而作为驾驶员第一感觉的起步性能的优劣,直接说明了整车控制性能优劣,因此起步控制在变速器控制中始终是工作重点和不断优化目标。本文将基于我公司DCT控制开发过程中遇到的问题和实际的工作经验,探讨湿式双离合器自动

变速器起步控制的方法,并通过实车验证其有效性。

本文主要探讨两种起步模式:无节气门情况的车辆爬行Creep模式和有节气门起步Launch模式。这两个模式是车辆起步中最经典且必不可少的起步方式,无论是从Creep转入Launch还是直接节气门起步,都是驾驶员最频繁使用的起步方法。本文针对这两个模式下不同控制阶段的控制目标,着重论述其控制特点和PID控制方法,并通过大量的实车测试验证该控制方法的有效性。

爬行Creep控制

爬行模式是指无节气门情况下离合器传递怠速转速下发动机转矩的控制模式,期间离合器始终处于滑摩非锁止状态,通常驾驶过程中,发动机点火后换挡机构切入D

挡,松开制动踏板后就进入了爬行模式。爬行模式的闭环控制目标为车速闭环,控制的难点是如何保证平地 and 坡道上的起步响应和平顺性,并且在爬行离合器传递转矩期间始终和发动机匹配控制,保证怠速稳定。

1. 爬行控制流程图

爬行控制主要分为以下7个阶段,如图1所示,每个阶段的控制目标和控制算法均不同。

2. 爬行各阶段控制算法

(1) Initial 阶段。这个状态下主要完成离合器的预冲阶段,对于湿式离合器,为了保证离合器建立转矩的快速响应,需要在所有的离合器接合前先预冲离合器,通过增大离合器油腔内的压力,克服弹簧的阻尼力,推动活塞来使得主从离合器盘面接触开始传递转矩,在

离合器目标转矩增大后可以快速传递转矩建立压力。爬行模式的预冲最终目标转矩通常设定为 $3 \sim 5 \text{ N} \cdot \text{m}$ （预冲完成后离合器传递 $3 \sim 5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 转矩），该转矩值的制定原则为：离合器基本上达到半结合点即传递转矩的临界点，尽量避免压力过冲，导致起步冲击。

预冲通常分为3个阶段（见图2）：首先，油液流向离合器油腔中快速充油；其次，弹簧压缩阶段，消除弹簧空行程，推动离合器活塞移动；最后，活塞接触从离合器片，主从离合器盘面接触，开始传递转矩。每个阶段均是以目标压力+目标时间的控制方法，实现迅速而稳定的预冲效果。

(2) Build up torque quick阶段。预冲完成后, 进入Build Torque

quick阶段, 该状态下要求离合器传递转矩按照一定的步长增长到压力变化线性增长点, 即离合器达到该转矩后, 基本可以克服路面阻力并且压力线性增长, 控制中采用ramp up方法, 该阶段可以有效提高起步响应。

(3) Build Torque with PID阶段。该阶段为爬行控制的主要阶段,该阶段车辆开始爬行,实现车速从0到目标爬行车速 V_{creep} 的起步过程,控制目标为车速闭环PID控制,传递的目标转矩值以当前车速和目标车速的差作为调节基准,通过PID控制器与前馈控制量实现稳定调节。

其中与当前输出轴转速做比较的目标转速是一个参考最终转速而逐步增加的目标转速, 这种逐步调

整PI输入量的方式，可以减小小控制过程中PI的调节幅度，根据PI控制器积分项的特性，可以有效地缩短PI调节时间，使得车速更加平稳地到达爬行车速。而其中的前馈项采用分阶段控制方法，当目标转速和实际输出轴转速差值较大时，采用前馈项并且周期增加，加快车辆从静止到起步的响应时间，当目标转速和实际输出轴转速接近时，削弱前馈项的作用，采用若干个周期激活一次的方法，在PID调节不足的情况下保证离合器转矩，尤其作用于下坡模式。

(4) Stable阶段。该阶段可以定义为爬行期间的稳态,当输出转速在一定时间内接近目标转速后,离合器控制转入该阶段,始终输出前一阶段的目标转矩。转入稳态对于爬行在目标车速附近的车辆稳定性有很好的效果,可以避免实际车速在目标车速点附近震荡时离合器控制转矩同时震荡的问题,提高驾驶舒适性。

(5) Anti-stall阶段。爬行期间的一个控制难点是变速器和发动机的匹配,此时发动机处于稳定怠速阶段,爬行期间虽然对发动机有转矩和转速请求,但是如果离合器接合稍快或者发动机的怠速稳定调节某些工况下不足,就会出现发动机转速下降甚至熄火,因此起步模式下一定要增加防熄火控制策略。该策略在发动机转速稍低于怠速后,控制离合器放慢转矩增加的速度或者直接减小传递转矩。

(6) Wrong Direction阶段。
爬行起步的另一个控制难点是坡道起步,在稍大的坡道上,尤其没有HHC类似功能的车辆,在放开刹车

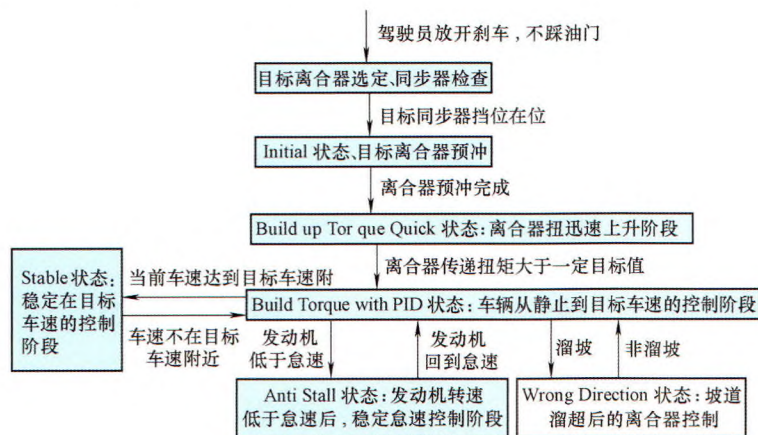


图1 Creep控制流程

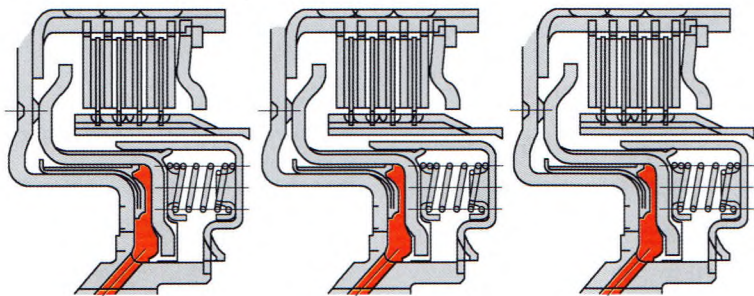


图2 预冲阶段示意

的时候，离合器压力跟随较慢时很容易出现溜坡Wrong Direction，即车辆实际行驶方向和当前需求方向不一致，因此防溜坡策略同样是爬行控制中必不可少的部分。该策略在发现Wrong Direction时，将离合器转矩增长到最大爬行模式允许的输出转矩，尽可能避免溜坡，直到溜坡停止才开始逐步下降到正常的爬行控制转矩。

3.实车性能验证

实车验证结果起步响应迅速且平顺性较好。

节气门起步控制

1.节气门起步控制

节气门起步Launch主要分为Flaring、Stable & Smooth三个阶段，每个阶段控制目标不同，而其中Flaring 阶段又分为Wait、Steady & Approach， 各阶段具体控制需求见附表。

控制方法沿用传统的前馈FF加PID的方式，只是根据各阶段控制需求，控制器的设计稍有区别。

2.起步中的若干重要控制算法

(1) 目标转速的定义。目标转速Target Speed是整个起步阶段的控制核心，期间Flare阶段的控制

目标是让发动机先升速到目标转速即该节气门下最佳转矩对应的转速点，Stable & Smooth 阶段是控制发动机在目标转速附近和输入轴转速缓慢平顺结合的过程。对于目标转速控制上同样采取gradient增长的方法，从发动机的目标怠速逐步增长到参考转速Ref Speed。

其中参考转速的好坏直接影响起步动力性和舒适性，按照经验，定义参考转速需要考虑以下内容：

基础值：通常由挡位和节气门决定，根据发动机pedal map实际起步性能需求和当前发动机怠速标定得出。

Smooth 阶段的补偿：在之后的Smooth 阶段即输入轴和发动机转速同步的时候，为了提高转速同步时的平顺性，可以在该阶段对参考转速增加一定的补偿，即略提高参考转速，此时发动机转速和参考转速同时上升，在上升的过程中缓慢同步，减小结合冲击。

车速补偿：如果整个起步过程中参考转速始终是一个该节气门下的稳定值，实车上加速感就不明晰，往往会给驾驶员一种加速无力或者动力不足的感觉，因此在Smooth 阶段前需要根据实际车速增长和节气门补偿参考转速。

过热补偿：起步过程中，因为

是大节气门下的离合器滑磨，离合器主动盘和被动盘间长时间存在较大的滑差，离合器温升迅速，很容易出现离合器盘表面过温，为了保护离合器，如果过温，需要尽快结合离合器，所以降低参考转速以减少输入轴和发动机转速同步时间。

(2) 转矩计算方法。转矩计算采用常规FF+PID 控制。

3.实车性能验证

实车验证结果起步响应迅速、平顺性较好、发动机升速快加速性能好。

结语

基于我厂湿式双离合DCT控制经验，本文分析了两种常规起步模式即无节气门车辆爬行模式和有节气门起步模式的控制方法，通过对控制流程和各阶段控制特点的分析，详细而具体地阐述了起步控制中的特点及难点、控制策略的设计和 optimization 方法。实车验证结果表明，该控制方法能够实现双离合变速器起步平顺性、快速性的要求，保证起步期间的怠速稳定，同时可以有效解决起步溜坡和起步过热问题，具有很强的实用性。 **AUTO1950**

节气门起步阶段控制需求

阶段	控制需求	
Flaring	发动机升速阶段	
	Wait	离合器等待一段时间让发动机自由升速
	Steady	一段时间后，离合器开始逐渐传递发动机转矩，同时控制发动机转速按照一定的目标斜率进行增长，避免发动机升速过快；
	Approach	控制发动机转速逐步接近目标转速
Stable	发动机转速稳定在目标转速附近，离合器逐步传递转矩，输入轴转速逐步接近发动机转速	
Smooth	控制输入轴转速和发动机转速平稳同步	



杨克军
上海汽车变速器有限公司技术中心DFMEA项目主管和PQCP产品质量问题解决系统项目主管。