



本文以某 7DCT 变速器驻车机构为例,运用动力学仿真手段,对驻车动态速度进行模拟,对比试验结果,误差小于 10%,形成一套合理且精度较高的动态驻车速度设计方法,该方法对指导动态驻车速度设计具有理论设计意义和实用价值。

□ 宁波吉利罗佑发动机零部件有限公司 余春祥 倪良军 胡军峰 汤天宝 吕品 彭国民 蒋立强

基于动力学仿真变速器驻车速度设计方法研究

当发动机在坡道上熄火时,装载手动变速器的车辆可以通过前进档或倒档配合驻车制动保持静止,而装载自动变速器的车辆无法实现此功能,因为当发动机熄火后,车辆处于断电状态,自动变速器的车辆无法挂档,因此自动变速器需要装配驻车机构。驻车机构功能就是当自动变速器的车辆在坡道上停车时,变速杆置于 P 位,变速器驻车机构相关部件动作,锁止传动轴,使车辆可靠地停在坡道上。简单来说,就是驻车制动。

在实际工程应用中,为了避免车辆在未完全稳定停靠时挂入 P 位带来的不利影响,在设计上要求具备一定的动态驻车能力,此能力用动态驻车速度来衡量,即车辆在低于某一特定车速时,可以挂入 P 位实现驻车。而车辆在高于这个特定车速时,无法挂入 P 位实现驻车,同时考虑人员的乘车舒适性,避免驻车时整车瞬时停车冲击对人员明显影响,动态驻车速度设计合理性显得尤为重要。

驻车速度大多以仿真及试验角度进行研究,鲜有运用理论知识对驻车速度设计从理论、仿真及试验进行阐述。本文将某款 DCT 驻车机构为例,主要从理论层面,仿真分析以及试验测试三个方面进行分析,研究结论将为探究动态驻车速度设计方法提供参考。

驻车机构工作原理

驻车机构根据锁止元件不同,主要分为两种:一种是滚柱锁止类驻车机构,例如 DQ250 等,该种结构比较复杂,使用较少;一种是锥体锁止机构,

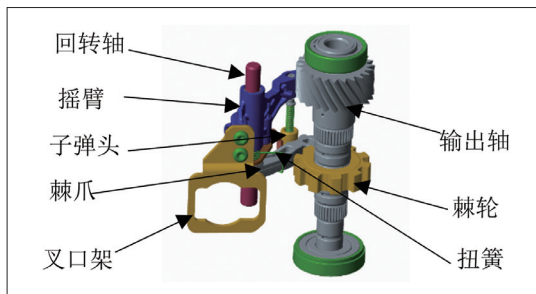


图 1 某款 DCT 驻车机构示意图

如 DQ200 等,结构简便,比较常见和常用。另外,根据驱动方式不同,驻车机构分为:①纯机械驱动,如 DQ200、DQ250 等;②液压驱动,如格特拉克 7DCI600 等;③电驱动,如吉利 7DCT 等。无论哪种方式驻车机构,其核心的工作原理基本类似。现以某款锥体锁止结构驻车机构(图 1)为例,阐述其工作原理。

驻车过程:变速杆置于 P 位,换挡装置驱动内部电机使换挡指动作,推动叉口架,换挡摇臂沿着驻车回转轴轴线直线运动,推动推杆平动,从而使子弹头推动棘爪转动,使棘爪与棘轮啮合,锁止输出轴,实现驻车功能。

解除驻车:将变速杆推出 P 位,上述部件反转,子弹头退出,扭簧使棘爪与棘轮分离,从而解除驻车功能。

动态驻车速度设计理论及影响因素

1. 动态驻车速度设计目标确定

一般情况下在设计驻车速度时,首先确定驻车

速度设计目标,对于驻车速度目标一般情况定义最低驻车速度目标和最高驻车速度目标,其主要设计思路如下:

1) 最低驻车速度 V_L 目标设计: 驻车机构属于棘轮系统,当车辆在坡道上挂入 P 位时(不考虑整车 EPB),必然存在齿对齿(棘爪齿对棘轮齿)情况,在坡道方向分力作用下,车辆开始沿着坡道下滑,这时就需求棘爪必须最多过一个齿与棘轮进行啮合,否则可能会发生驻车失效情况即车辆溜坡。在此过程中车辆下滑速度设计为最低驻车速度目标。这意味着设计动态驻车速度 V_P 必须大于这个最低驻车速度值 V_L 。

最低驻车速度目标设计准则,根据相关法规及竞品数据,确定车辆最大溜坡距离 S_{max} ,然后根据运动方程:

$$V_L = \sqrt{2g \times \sin a \times S_{ramx}}$$

式中, a 为坡道角度, g 为重力加速度。一般情况最低驻车速度目标 V_L 为 2 ~ 2.5 km/h 左右。

2) 最高驻车速度目标 V_H 设计: 其主要考虑驻车强度及乘客舒适性,如果最高驻车速度目标越高,对驻车冲击强度设计越高,同时给乘客造成不适,因此在设计时候最高驻车车速目标不应过高,一般情况下建议将最高驻车速度目标定义为 5 ~ 6 km/h 左右。

2. 动态驻车速度 V_P 计算

根据上文中驻车速度目标,要求动态驻车速度 V_P 范围应处在 V_L 和 V_H 之间,才能保证驻车性能。为了计算出动态驻车速度,首先需要对动态驻车运动过程进行分析如下:

1) 根据驻车机构工作原理,

当棘轮与棘爪啮合面从上齿面滑动到下齿面时候这一段时间内,子弹头可以顶起棘爪进入到自锁面上,实现驻车。若子弹头不能进入自锁面,由于棘轮对棘爪的力是使棘爪与棘轮分离的,棘爪会被棘轮挤出齿槽,再次进入到齿顶相对的状态。

2) 根据上述驻车运动分析,驻车关键在于子弹头在棘轮转过一定角度时候到达自锁面。

对子弹头运动轨迹进行分析(图 2),为了更好说明该情况,以某款 DCT 驻车机构为例进行阐述。当子弹头抵在棘爪与导向块间,此时子弹头初速度近似为 0,当棘轮转动到棘爪进入齿槽时,子弹头由于受到预紧弹簧力作用产生一个加速度,使子弹头轴向加速运动。对子弹头进行受力分析:预紧弹簧的压缩力,棘爪重力对执行销的阻力,回位弹簧作用于棘爪上对执行销的阻力。

计算思路大概如下:

1) 据子弹头受力情况,得出子弹头运动近似加速度数值 a 。

2) 根据子弹头运动轨迹,可以计算出子弹头运动距离 S 。

3) 由以上参数,结合运动方程(2),计算出子弹头从顶起棘爪进入到自锁面上所用时间 t :

$$S = at^2/2 \quad (2)$$

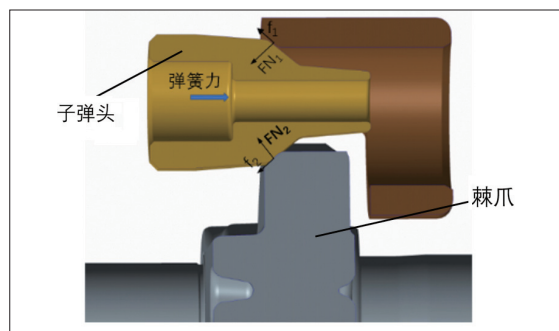


图 2 子弹头受力示意图

4) 结合棘轮转动角度 ϕ ,主减比 i_2 以及车轮半径 R ,反求出动态驻车速度 V_P :

$$V_P = \phi / (t \times i_2) \times R \quad (3)$$

3. 动态驻车速度影响因素

根据上述理论计算过程,影响动态驻车速度的主要因素有:

- ① 驻车齿轮齿槽与棘爪齿间隙;
- ② 预紧弹簧弹力;
- ③ 子弹头关键参数(如子弹头导向角度等)。

动态驻车速度动力学仿真

理论计算虽然可以确定出动态驻车速度 V_P ,但是精度略差,不能很好还原实际情况,考虑此情况,当完成驻车速度初步设计后,对驻车机构运动状态进行仿真模拟,从而得到动态驻车速度。一般情况主要分为模型组成、部件连接关系定义、关键参数设置及仿真结果输出。

1. 仿真模型组成

动力学仿真模型主要包含驻车系统(棘轮、棘爪、推杆、子弹头、预紧弹簧、扭簧、摇臂、叉口架及驻车回转轴)、车轮和差速器系统(图 3)。

2. 各部件连接关系定义

根据驻车机构运动关系,对各部件连接关系定义,一般情况运用连接关系主要为圆柱副、移动副、旋转副、碰撞接触以及齿轮副等,现对主要部件连接关系以某 DCT 驻车机构为例进行说明。各主要部件连接关系定义见表 1,接触相关参数根据经验进行定义。

3. 驱动方式模拟设置

驱动方式分为驻车执行机构驱动、车轮驱动,下面对这两种方式驱动分别进行分析。

方案 1: 驻车执行机构驱动。

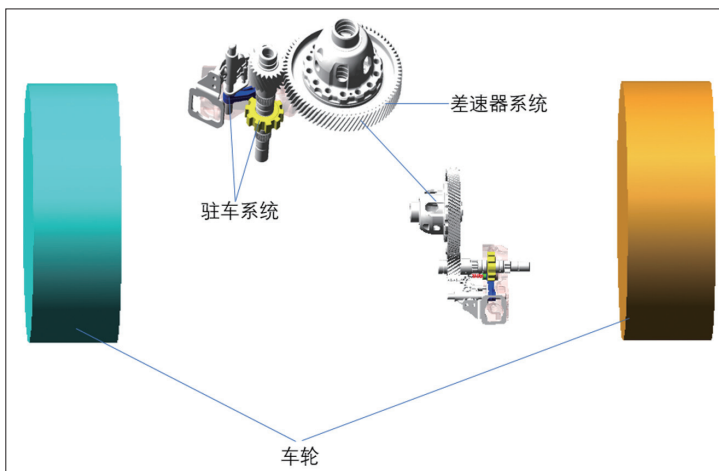


图3 驻车动力学仿真模型

表1 各主要部件连接关系定义

部件	连接关系
棘轮 - 棘爪	接触碰撞关系
棘爪 - 子弹头	接触碰撞关系
子弹头 - 导向块	接触碰撞关系
棘爪 - 回转轴	旋转副

该驱动主要是为了模拟变速杆置于P位过程，可以采用step函数进行模拟。例如，某款执行机构P位到非P位执行机构运动约9 mm，采用step函数模拟如图4所示。

方案2：车轮驱动模拟。根据动态驻车工作原理，需模拟整车减速过程，这时需要对车轮施加初始速度，同时模拟减速过程，需施加反向摩擦力矩。

4. 弹簧参数设置及校准

在驻车动力学仿真模型中，预紧弹簧和扭簧为参数化建模，设置弹簧刚度，初始长度/角度，初始预紧力/预紧力矩。而对于阻尼系数需要根据经验进行设置，一般情况下取刚度的1%。参数化建模后运行模型，参数校正如图5确保弹簧模型与图纸中性能参数一致。

5. 仿真结果输出

为了提高仿真可行性，对两

种方案的驻车机构进行计算，方案2与方案1不同点：在方案1基础上，仅将预紧弹簧增大10 N。

方案1：车辆前进时动态驻车速度仿真结果为5.56 km/h，车辆后退时，仿真结果为5.54 km/h。

方案2：车辆前进时动态驻车速度仿真结果为6.13 km/h，车辆后退时仿真结果为6.07 km/h。

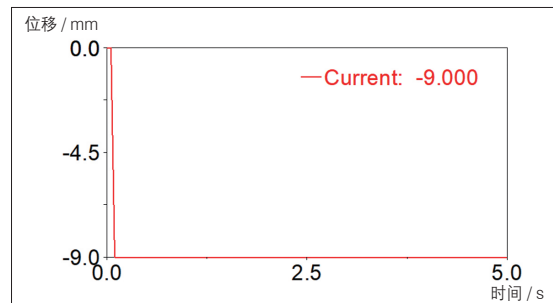


图4 驻车执行机构驱动模拟

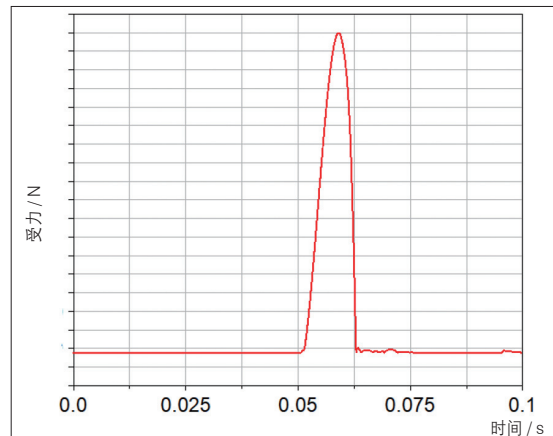


图5 相关弹簧参数校正

从上述来看，方案1与方案2均能满足设计目标要求的2.5 ~ 6 km/h，方案2略微超标，但可以接受。同时从两种方案对比结果来看，预紧弹簧参数对动态驻车速度有一定影响，与理论分析相一致。

试验测试与仿真对比

为了验证仿真结果准确性，对上述仿真两种方案的驻车机构进行测试。测试方法：当车速在10 km/h时，松开加速踏板，将变速杆推入P位。采集相关数据，前进和倒退各10次。测试路面要求为干燥路面，平坦路面。仿

表2 仿真与测试结果对比

工况	方案1/(km/h)		方案2/(km/h)	
	仿真	测试	仿真	测试
前进	5.56	5.10	6.13	6.18
后退	5.54	4.98	5.9	6.07

真与测试结果对比见表2。

方案1：车辆前进方向，动态驻车速度测试为5.1 km/h，车辆后退方向，动态驻车速度测试为4.98 km/h。

方案2：前进方向测试为6.18 km/h，后退为6.07 km/h。

仿真与试验趋势基本一致，误差基本在10%以内，可以接受，同时表明本文中驻车动力学仿真模型具有较高的精度。

总结

本文基于理论及仿真方面阐述动态驻车速度设计方法，通过试验对比，验证仿真准确性，以此形成一套精准的动态驻车速度设计方法，该方法对指导动态驻车速度设计具有理论设计意义和实用价值。AI