基于Cruise的AMT换挡规律仿真研究

李晓亮，李嘉星

陕西法士特齿轮有限责任公司　陕西西安　710119

摘要：随着商用车对驾驶舒适性、经济性等要求的不断提高，电控机械式自动变速器（AMT）成为当今商用车发展的一大趋势；而AMT的换挡规律与车辆性能息息相关，是重型商用车AMT控制的关键技术之一，它的好坏将直接影响车辆的动力性、燃油经济性及驾驶舒适性等性能的优劣。以某款12挡AMT变速器为例，搭建车辆模型，利用Cruise GSP模块生成换挡规律，并分析生成的换挡规律对整车动力性能和燃油经济性能的影响。

关键词：商用车；电控机械式自动变速器；换挡规律；Cruise

目前在欧美，已有超过90%的重型货车配备AMT，而国内AMT市场仍处于起步阶段。随着汽车新“四化”的发展以及重型货车AMT产品的日趋成熟，凭借继承性好、成本低及经济性好等特点，AMT必将成为未来的发展趋势[1]。

重型商用车AMT控制中最重要的环节是换挡规律的制定。换挡规律主要指的是排挡间自动换挡时刻随控制参数（车速、节气门开度、加速度等）变化的规律，它的好坏将直接影响车辆的动力性、燃油经济性、排放性等性能的优劣[2]。

AMT的换挡规律可以根据控制参数分为单参数、双参数和多参数。单参数的换挡规律仅以车速为控制参数，驾驶人无法实时控制换挡操作，车辆性能较差。双参数的换挡规律应用最为广泛，以节气门开度和车速为控制参数，驾驶人可实时干预控制。通常多参数的换挡规律是在双参数的基础上引入车辆加速度，进一步反映了车辆的实际操纵规律，但真实的动态三参数控制规律非常复杂。因此，本文借助Cruise及其GSP（Gear Shift Progrsm）功能实现双参数换挡规律的制定，并以某款12挡AMT变速器为例，进行车辆的

性能分析。

整车模型搭建

以某款配置12挡AMT变速器的车型为例，搭建车辆模型，如图1所示。其中，GB Control（单参数换挡控制）和GB Program（双参数换挡策略）用于实现换挡规律对车辆的控制，AMT Control用于换挡时驱动离合器。

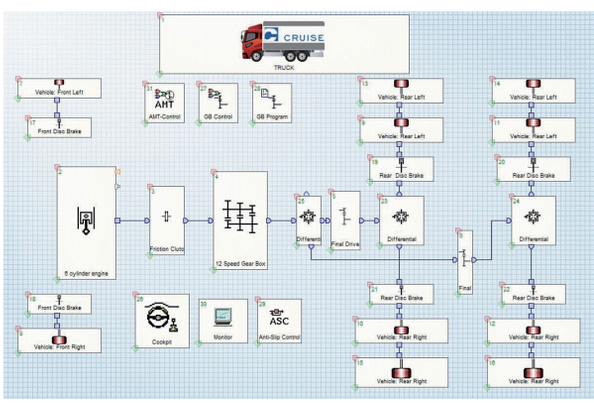


图1　车辆模型

基于GSP Wizard的换挡规律求解

1.双参数换挡规律

双参数换挡规律按照换挡延迟随节气门开度的变化可分为等延迟型、收敛型、发散型（包括带强制低挡的发散型）和组合型，如图2所示[3]。

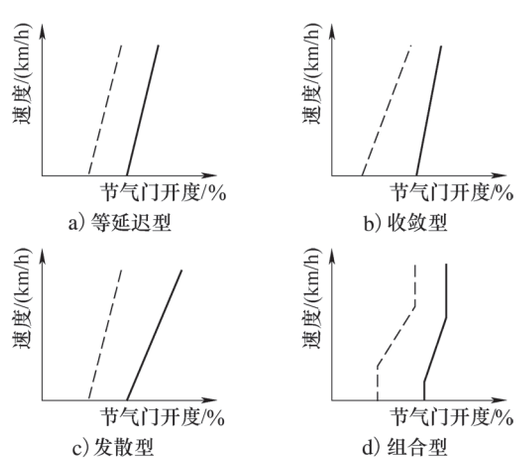


图2　双参数的换挡规律

2.换挡规律求取原理

Cruise内置换挡规律生成工具——GSP Wizard，可基于车辆动力性能和燃油消耗，快速生成换挡规律。Wizard设置包括的内容有从BSFC曲线获得的参数、换挡延迟、NVH限制转速和Upper区域驾驶性能设置四部分。

从BSFC（比燃油消耗图）获得最佳燃油消耗率区域对应的参数，包括负荷、发动机转速和转矩，Hysteresis Minimum指的是升挡线和降挡线的最小速度间隔（即最小换挡延迟），并设置Wizard[4]如图3所示。

按节气门开度的大小，双参数换挡规律区域划分为上、中、下三段，如图4所示。

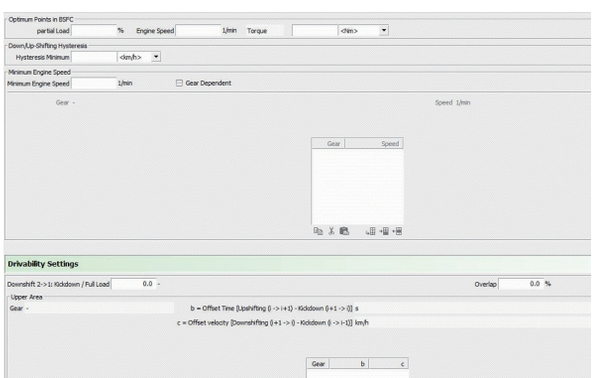


图3　Wizard设置

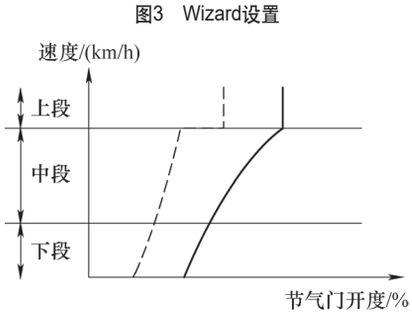


图4　换挡区域划分

各区域升降挡设置原理：最佳BSFC负荷对应的换挡点（低负荷区域和高负荷区域的分界点）的纵坐标为设置的最佳BSFC对应的负荷，横坐标为最佳BSFC对应的发动机转速和各挡速比按式（1）计算得到的转速。

$$n_{BSFCspeed}=\frac{2n_{BSFCengine}}{1+\frac{R_i}{R_{i+1}}} \tag{1}$$

节气门开度为0%时对应的换挡点为设置的最小发动机转速；其他换挡点由以上两个点连成的直线上获取。

在低负荷区域考虑了各挡速比和给定的发动机转

速用于计算两个换挡点，进而获得低负荷区域的升挡线。

换挡点1

$$\begin{cases} X\text{轴：}\ n_1 = 2n_2 - n\dfrac{R_i}{R_{i+1min}} \\ Y\text{轴：}\ T_1 = T_{opt}R_{i+1} \end{cases} \quad (2)$$

换挡点2

$$\begin{cases} X\text{轴：}\ n_2 = 2\dfrac{n_{BSFCengine}}{\left(1+\dfrac{R_{i+1}}{R_i}\right)} \\ Y\text{轴：}\ T_2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

换挡点1和换挡点2连一条直线用于获取其他低负荷区域的GSP升挡点。

高负荷区域的换挡点由i挡高负荷区域的变速器输出转矩曲线与i+1挡100%负荷变速器输出转矩曲线的交点获得。

Overlap指的是相邻挡位升挡点的缩减量。在设置Overlap参数时，为了避免换挡时出现振荡，Overlap需设置为正值（即升挡线要低于下一挡位全负荷输出曲线）；Overlap<3%为经济性驾驶，Overlap >5%为动力性驾驶或者坡道上驾驶。

Downshift 2→：Kickdown/Full Load指的是2→1的Kickdown点对应的降挡车速与2→1的Full Load对应的降挡车速之比。

Offset Time [Upshifting（i→i+1）-Kickdown（i+1→i）]指的是i→i+1的Full Load升挡点与i+1→i的Kick降挡点的时间差。

Offset Velocity [Downshifting（i+1→i）-Kickdown（i→i-1）]指的是i+1→i的Full Load降挡点与（i→i-1）的Kick降挡点的速度差。

通过设置Downshift 2→1：Kickdown/Full Load、时间间隔[Upshifting（i→i+1）-Kickdown（i+1-）]、速度间隔[Downshifting（i+1→i）-Kickdown（i→i+1）]来确定高负荷区域的升降挡。

3.GSP Wizard关键参数设置

根据换挡规律的求解原理，参照标定经验并结合实际任务，在GSP-Wizard中设置关键参数，如图5所示。

4.换挡规律结果

按照上述设置，获得如图6所示的换挡规律。

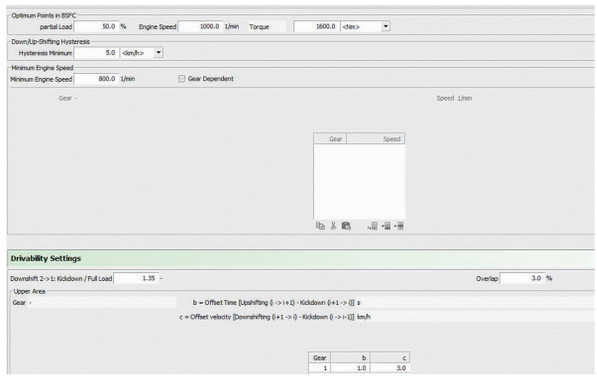


图5　GSP Wizard关键参数设置

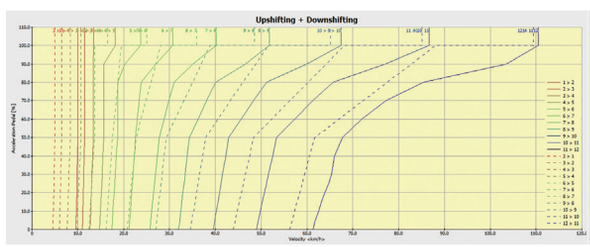


图6　换挡规律

仿真结果分析

搭建好车辆模型，并对每个计算任务进行设置，根据所获得的换挡规律，对所搭建的车辆进行动力性和经济性的计算，并对结果进行分析。

1.整车及传动系相关参数

整车参数见表1，AMT变速器速比见表2。

表1　整车参数

参数	数值
整备质量/kg/满载质量/kg	8870/49 000
驱动桥速比	2.814
整车种类/驱动形式	牵引车/6×4
车辆迎风面积/m^2	7.5
轮胎型号/滚动半径/mm	295/80R22.5（525）
车辆风阻系数	0.75
发动机	WP13
变速器	12挡AMT

表2　变速器速比

挡位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
速比	15.7	12.26	9.42	7.36	5.79	4.52	3.47	2.71	2.08	1.63	1.28	1

4.2 仿真结果与分析

（1）循环油耗计算　国家标准GB/T27840－2011中使用的是C-WTVC循环，该循环是以世界重型商用车辆瞬态循环（World Transient Vehicle Cycle，WTVC）为基础，调整加速度和减速度形成的驾驶循环。C-WTVC循环由市区、公路和高速工况3部分组成，如图7所示[5]。

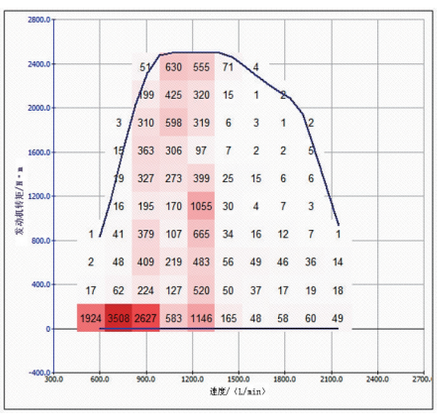


图7　中重型商用车C-WTVC循环曲线

根据C-WTVC循环工况路谱计算得到表3所示的结果，该牵引车循环油耗为39.78L/100km，这段工况运行的发动机工况点的分布情况如图8所示，发动机工况点分布在1100r/min，800～1200Nm的频率最高，仿真结果符合实际。

表3　循环工况油耗计算

时间/s	权重系数	油耗/（L/100km）
900	0	70.32
468	0.1	57.43
432	0.9	37.82

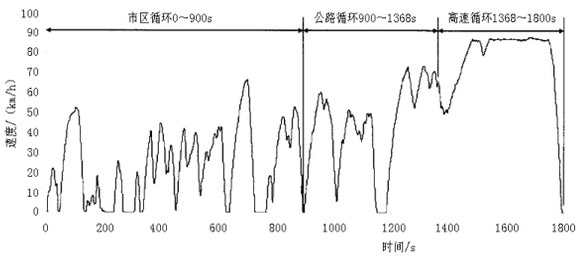


图8　发动机工况点分布

结语

本文基于12挡AMT变速器，以某重型牵引车作为研究对象，利用AVL Cruise软件，建立整车仿真模型，使用Cruise GSP模块的GSP Wizard生成一种双参数的换挡规律，并在该换挡规律下，对车辆的动力性和经济性进行了仿真分析，且结果符合实际。

参考文献：

[1] 张少华.卡车AMT领域现状与趋势分析[J]. 商用汽车，2018（1）：2.

[2] 雷雨龙，李永军，葛安林.机械式自动变速器换挡综合智能控制[J].汽车工程，2001（05）：311-314，328.

[3] 杨喜云. 基于CRUISE的AMT自动变速器换挡规律的仿真研究[D].山东理工大学，2012.

[4] AVL-CRUISE User Guide.

[5] 申仲杰. 基于Cruise软件的载货汽车的C-WTVC循环油耗分析与试验验证[C].北京汽车工程学会学术年会. 2013.

（上接第51页）

考虑生产工艺是否能满足要求。在任何一款车的设计过程中，设计人员均需要考虑生产的工艺性，若现有生产工艺不能满足设计要求，就需要通过变更设计来满足生产工艺的要求。

参考文献：

[1] 韩国华，逯广大，靳晓雄.汽车排气消声器异响的识别及解决方法[J].噪声与振动控制，2008（1）：102-104.

[2] 王伟伟，梁文海，韩宗斌.某车型排气系统啸叫问题分析及解决[J].装备制造技术，2018(1)：227-230.