

利用 GT-DRIVE 进行整车动力性经济性仿真分析

Computer Simulation of Power Performance and Fuel Economy for Vehicle by Using GT-DRIVE

吕晓明 张贺 陈伟

(长城汽车股份有限公司技术研究院 CAE 部 071000)

摘要：汽车的动力性和燃油经济性是其重要的使用性能之一，直接影响其商品性。本文介绍了利用 GT-DRIVE 软件进行整车建模的过程，并对长城汽车公司某小型四驱 SUV 车的动力性和燃油经济性进行了仿真分析。

关键词：动力性 经济性 模拟分析 GT-DRIVE

Abstract : To automobiles , the power performance and fuel economy are the main characters which directly affect its performance in market . This paper introduces the process how to based the full vehicle model and make simulation analysis of the power performance and fuel economy for the mini and Four-wheel drive SUV vehicle of GREAT WALL motor company by using GT-DRIVE .

Key words : power performance ; economy ; simulation analysis ; GT-DRIVE

1 引言

汽车作为一种运输工具，运输效率的高低在很大程度上取决于汽车的动力性，所以，动力性是汽车各种性能中最基本、最重要的性能。动力性的好坏，直接影响到汽车在城市和城际公路上的使用情况。而在石油价格持续上涨的今天，降低油耗则成为我们工作迫切的需要，燃油经济性好，可以大大降低汽车的使用费用、节约能源。动力性和经济性受到各国政府、汽车制造企业和使用者的高度重视，是当前消费者购车参考的重要指标。

GT-DRIVE 是 GT-SUITE 系列软件的重要组成部分。由于 GT-SUITE 软件使用方便、功能强大，涵盖了发动机、驱动系统、冷却系统、燃油供给系统、曲轴机构、配气机构等六个方面，对进行 CAE 分析有很大帮助，而且 GT-DRIVE 参数化输入很方便，既简单又快捷。

应用 GT-SUITE 软件在汽车产品开发初期进行汽车动力传动系统参数匹配和性能仿真时，不仅能节约大量新产品开发和试验等带来的人力和物力投入，还降低了劳动强度，缩短了开发周期，提高了工作效率。

2 模型建立

GT-DRIVE 主要是通过对整车动力传动系统的结构和功能进行分析，简化物理模型，选择合适的系统模块，搭建仿真模型，建立汽车系统的各总成和部件的机械连接和信号连接，并对各部件和总成进行参数化处理，完成整车建模。

在建立模型时要充分考虑部件间的位置关系和连接关系（使用默认连接，还是建立的连接），将前面定义好的各部件拖至建模区，在连接时，端口的选择至关重要。建立通过传感器或执行器的连接时，在连接时就会弹出对话框，在里面选择相应的信号端口即可。

2.1 理论基础

2.1.1 动力性分析

汽车的动力性主要由三方面的指标来评定，即：最高车速、加速时间（原地起步加速时间和超车加速时间）和最大爬坡度。装有有级式固定传动比变速器汽车的行驶方程式为：

$$F_t = F_f + F_w + F_i + F_j \quad (1-1)$$

$$\text{即} \quad \frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} = Gf \cos \alpha + \frac{C_D A}{21.15} u_a^2 + G \sin \alpha + \delta m \frac{du}{dt} \quad (1-2)$$

式中， F_t - 驱动力，N； F_f - 滚动阻力，N； F_w - 空气阻力，N； F_i - 坡度阻力，N；

F_j - 加速阻力，N； T_{iq} - 发动机转矩，Nm； i_g - 变速器传动比； i_0 - 主减速器传动比；

η_T - 传动系统机械效率； r - 车轮滚动半径，m； f - 滚动阻力系数； α - 道路坡度角；

C_D - 空气阻力系数； A - 迎风面积， m^2 ； u_a - 车速，km/h； δ - 旋转质量换算系数；

$\frac{du}{dt}$ - 车辆加速度， m/s^2 。

功率平衡方程式为：

$$P_e = \frac{1}{\eta_T} \left(Gf \cos \alpha + \frac{C_D A u_a^2}{21.15} + G \sin \alpha + \delta m \frac{du}{dt} \right) \frac{u_a}{3600} \quad (1-3)$$

式中， P_e - 发动机功率，kW。

通过上述公式，可以分析汽车在附着性能良好的典型路面（混凝土、沥青路面）上的行驶能力，即确定出汽车在节气门全开时可能达到的加速能力、爬坡能力和最高车速。

2.1.2 燃油经济性分析

燃油经济性常用等速行驶百公里燃油消耗量和多工况循环行驶工况的百公里燃油消耗量来评价。车辆等速燃油消耗量的计算方法：

$$Q_s = \frac{Pb}{1.02 u_a \rho g} \quad (1-4)$$

式中， Q_s - 等速燃油消耗量，L/100km； P - 阻力功率，kW；

b - 燃油消耗率, g/kWh; ρ - 燃油密度, kg/L。

循环工况的百公里燃油消耗量表示为:

$$Q_s = \frac{\sum Q}{s} \times 100 \quad (1-5)$$

式中, Q_s - 百公里燃油消耗量, L/100km;

$\sum Q$ - 所有过程油耗量之和, L;

s - 整个循环的行驶距离, km。

2.2 系统模块的选择

该车配备 65KW 汽油发动机, 5 挡机械变速箱, 满载 1390Kg, 驱动形式是发动机前置四轮驱动 (4WD)。根据整车结构和驱动形式分析, 从模板中选用模型库如下:

复合模块: Axle (半轴) EngineState (发动机) Road/def (默认路面) ShaftDriven (传动轴) Transmission (变速器) VehicleAmbient (大气环境) VehicleBody (车体)

控制模块: VehDriver (驾驶员)

连接模块: ClutchConn (离合器) ForceConn/def (默认力联接) GearConn (主减速器) RigidConn/def (默认刚性联接) TireConn (轮胎)

传感器和执行器模块: ActuatorConn/def (默认执行器) SensorConn/def (默认传感器)

模型在建模时是以不同的状态出现的, 主要分为三层结构, 模板 (Template): 这是模型的原始状态, 出现在数据库中, 没有具体参数。实体 (Object): 有具体参数的模型, 而且该模型用于管理一批类似结构的部件。部件 (Part): 出现在建模区模型图上的模型, 这是实际物理存在的模型, 而不是概念。

2.3 各实体参数的输入

利用 GT-DRIVE 进行整车性能仿真的最大特点是各子系统的模块化设计以及实体块的参数化输入很方便, 双击 main 中的实体块即可弹出对应各子系统的参数输入界面, 首先输入名称, 然后在参数输入界面输入子系统参数。在建完整车模型后, 也可以通过双击子部件对参数进行修改。

定义 TransShiftStrategyE (换挡策略) XYZMap (轮胎摩擦系数) XYZPoints (发动机机械输出特性和燃油消耗特性) XYTable (滚动阻力系数), 定义 Cluch (离合器动作)。参照国家标准, 尽量把参数准确化。

2.4 建立整车模型

当各子系统模型选定之后, 应根据整车配置方案和部件连接关系建立模型的物理连接, 该步骤

相对简单,只须用Create Links连接功能建立物理连接,或者直接用ctrl+3连接,如图1所示,整车动力性模型,传动系各部件之间有直接的物理连接关系,车轮和半轴之间也有物理连接关系,但驾驶员与动力传动系和整个车体系统之间没有物理连接,在仿真过程中,它们之间是通过信号(控制器和传感器)连接来传递信息。如图2所示,整车经济性模型,连接方式如上所述。

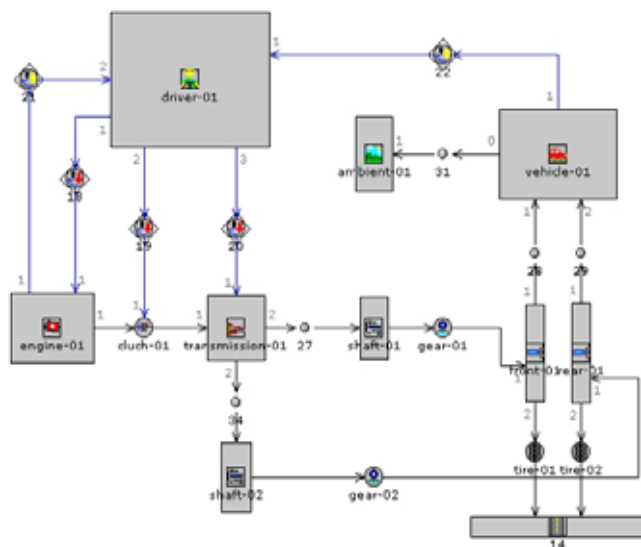


图 1 动力性仿真

2.5 检查整车模型

建模、输入参数和连接都完成后,要对整个模型进行检查,看参数的输入是否正确,双击各个连接,检查各连接是否对应,如没有问题,可进行后处理操作。

2.6 仿真计算

通过Open Run Setup设置计算类型,从动力学分析、静力学分析运动学分析和专家模块选择所需仿真类型,之后通过Run Simulation进行计算,得到结果。如果计算出现错误警告,重新检查模型,找到错误,改正后继续计算,直到正确计算完毕。

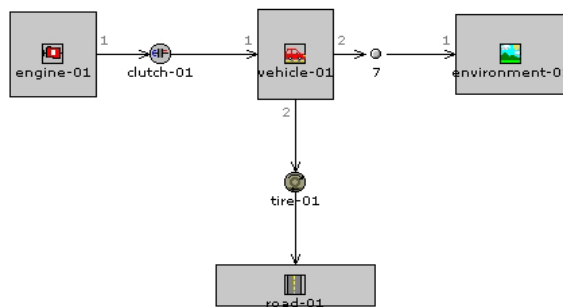


图 2 经济性仿真模型

3 数据处理

通过整车动力性分析得到如下结果,如图 3 所示,各个挡位下的加速度、最大爬坡度、最高车速、最大功率等数据均已给出,图 4 为一挡起步连续换挡 0—100km/h 加速时间曲线。

通过整车经济性分析得到如下结果:

ECE-EUDC 循环工况油耗 6.759 L/100km,满足设计要求。而在 90 km/h 和 120 km/h 时的油耗是通过后处理自动插值生成的数据。

表 1 经济性指标计算结果

速度 (km/h)	90	120
等速百公里油耗(L/100km)	6.865	9.622

Vehicle Static Analysis: Max. Tractive Effort Point in Each Gear

	Gear #001	Gear #002	Gear #003	Gear #004	Gear #005
Max. Tractive effort [N]	5449	2928	2014	1491	1254
Speed at Max. TE [km/hr]	29.9	55.7	81.0	109.4	130.0
Power at Max. TE [kW]	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3
Max. Acceleration (level) [m/s ²]	3.6	1.8	1.1	0.6	0.3
Max. Grade % (const speed)	41.4	19.6	11.7	6.5	3.5
Max. Vehicle Speed [km/hr]	42.8	79.6	115.7	156.3	168.9

Engine Fuel Consumption

	TOTAL	ACCEL	DECEL	CRUISE	STAT.
Time [sec]	14.6	13.1	1.4	0.0	0.2
Mass of Fuel consumed [g]	60.8	56.7	3.6	0.1	0.3
Volume of Fuel Consumed [liter]	0.082	0.077	0.005	0.000	0.000
Fuel Consumption Rate [kg/hr]	14.93	15.64	9.31	13.79	6.99
Brake Energy Output [kW-hr]	0.20	0.19	0.01	0.00	0.00
BSFC [g/kW-h]	305.8	304.7	325.6	308.9	291.9

图3 动力性数据

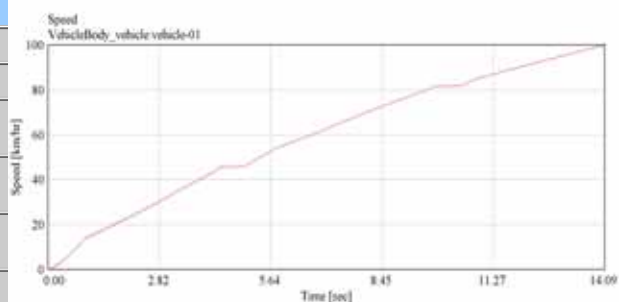
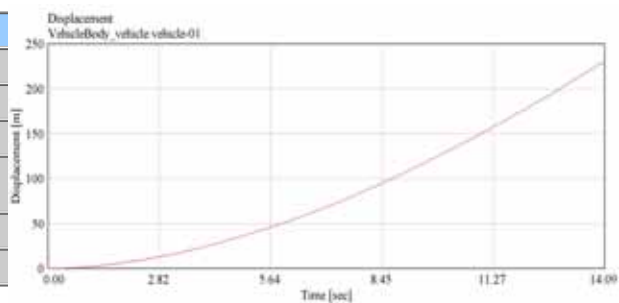


图4 0—100km/h 加速时间曲线

4 结论

GT-DRIVE 软件能很快建立动力性、经济性分析模型，过程比较简单，实用性强，使用方便，能满足各种车型的需要，且达到了一定的计算精度。该软件的变参数计算可用于分析汽车结构参数及运行参数对动力性及经济性的影响程度，从而可为汽车设计提供一定的参考依据。

5 参考文献

- [1] 余志生, 汽车理论(第三版)[M], 北京: 机械工业出版社, 2000
- [2] GBT12545.1--12545.2-2001 乘用车及商用车燃料消耗量试验方法
- [3] GT-ISE Users Manual, Gamma Technologies.Inc
- [4] Run Menu Features and Template Reference Manual, Gamma Technologies.Inc