

基于 GT-SUITEmp 的汽车经济性计算及其工程应用

Vehicle Fuel Economy Calculation Based on GT-SUITEmp and Its Engineering Application

郑岚, 陆军琰, 许荣明

(上海大众汽车有限公司 上海 201805)

ZHENG Lan, LU Junyan, XU Rongming

(Shanghai Volkswagen Automotive Co., Ltd., Shanghai 201805)

摘要: 动力性和燃油经济性是车辆性能的重要评价指标, 本文基于 GT-SUITEmp 建立了某车型的整车模型, 对其动力性、燃油经济性进行了分析。基于该模型, 本文在原有主减速器的基础上改进了主减速比, 仿真结果显示, 改进后 NEDC 油耗降低了 0.15L/100km。为验证仿真结果, 对改进后的车型进行了试验, 试验与仿真结果基本一致, 从而肯定了该软件的可靠性及其在整车动力系统开发过程中的指导作用。

关键词: 动力性; 燃油经济性; 仿真; 主减速比优化

Abstract: Dynamics and fuel economy are two important evaluation index of the performance of the vehicle. Based on the software GT-SUITEmp, this paper built a model of the vehicle to analyze its dynamics and fuel economy. Based on the model, we improved the fuel economy on the basis of the original final ratio; the simulation results show that the NEDC fuel consumption reduced 0.15L/100km owing to the optimization of the final ratio. We have tested the optimized vehicle to verify the simulation results, and the simulation and the experimental results are basically the same, which affirmed the reliability of the software and its guiding role in vehicle powertrain development process.

Key words: Dynamics; Fuel Economy; Simulation; Final Ratio Optimization

前言

汽车的动力性是评价一辆汽车性能是否优越的重要指标, 然而, 随着能源供给的日趋紧张, 消费者对汽车的经济性要求也越来越高。汽车的整车性能不仅仅取决于其装载的发动机的性能, 一台发动机即使具有良好的性能, 如果没有一个与之合理匹配的传动系, 也不能充分发挥其性能^[1]。寻找动力性与燃油经济性之间的平衡, 是各大厂家关注的主要问题。传统的动力总成匹配一般采用试验的方法, 符合标准的试验结果是真实有效的, 但其缺点是周期长、花费高。仿真的优势在于计算周期短, 可重复性高, 利用仿真模拟计算对虚拟样车进行改进和优化不仅可以缩短开发时间, 还可以

节约开发经费。随着计算机技术的不断提高，汽车动力性、经济性的模拟计算也得到了越来越广泛的应用。本文基于 GT-SUITEmp 建立了某款轿车的模型，用以分析该车的动力性和经济性。

1 项目背景

1.1 整车动力性、经济性的重要性

汽车的动力性是指汽车在良好路面上直线行驶时，由汽车受到的纵向外力决定的可能达到的平均行驶速度，动力性表征了汽车的最大可能平均速度运送货物或者乘客的能力。汽车动力性主要由 3 个方面指标来评定：汽车的最高车速、加速时间（原地起步加速时间和超越加速时间）和最大爬坡度^[2]。汽车经济性是指为完成单位运送量所支付的最少费用的工作效益。汽车经济性一般考察等速百公里油耗和循环工况油耗。动力性是一辆车的灵魂，直接关系到用户的驾驶感受。汽车运行需要消耗大量的石油，在今后相当长的一段时间内这一现状都不会改变，因此，世界各国都把降低汽车能耗、汽车排放作为头等大事，降低油耗也是汽车制造业的重要课题。

1.2 整车动力性、经济性影响因素

不同类型的汽车面向不同的消费群体，适用于不同的路况及外界条件，因此，不同类型汽车的整车性能要求各有不同。传动系的档位数和汽车的动力性和燃油经济性有着密切的联系，传动系的档位数越多，汽车在运行过程中越有可能选用合适的速比，使发动机处于经济的工况，以提高汽车的燃料经济性^[3]。同时，主减速器传动比对汽车的动力性和燃油经济性也有着很大的影响，当主减速比减少时，汽车单位行程内发动机曲轴总转速减少，内部摩擦损失也减少，燃料效率提高，燃油经济性提高。反之，主减速比增大时，增加了汽车的后备功率，汽车加速性能提高，燃油经济性降低。最高档具有最大动力因素，此时发动机的负荷率在 90%左右且经济性为最佳，随着负荷率的减少，燃油消耗率逐渐增加。一般传动系参数的优化，应该在保证汽车一定动力性，即最高档具有最大动力因素时使燃油经济性最好。

1.3 整车开发过程中遇到的问题提出

本文正是基于一辆正在开发的新款车型，该轿车配备 96kW 汽油发动机和 5 档手动变速器，原车主要结构尺寸如表 1 所示。该车在开发过程中进行了油耗试验，其中，综合油耗的试验值为 6.65L/100km。该值超过该车型的油耗预期目标，需要降低，因此，本文建立了该车型的整车动力性和燃油经济性模型，采用仿真的方法，改变了该车的主减速比，以期降低油耗。

表 1 原车主要结构参数

整备质量, kg	1435	外形尺寸, mm (长×宽×高)	4870×1834×1472
满载质量, kg	1810	前轮距, mm	1577
滚动半径, mm	322.45	后轮距, mm	1550
轴距, mm	2803	滚动阻力系数	9.9
前悬, mm	917	迎风面积, m ²	2.26
后悬, mm	1150	空气阻力系数	0.297

2 仿真分析

2.1 仿真实论基础

本文应用 GT-SUITEmp 软件对该车进行了仿真建模, 计算分析此款车型的动力性油耗, 并加以改进。GT-SUITEmp 是 GT-SUITE 系列软件的重要组成部分, 针对车辆动力性、燃油经济性、排放性能及制动性能进行模拟计算的分析软件。其灵活方便的模块化及广泛的应用范围, 使得该软件在很多整车厂已经开始普及。图 1 为 GT-SUITEmp 软件进行车辆性能计算的流程。

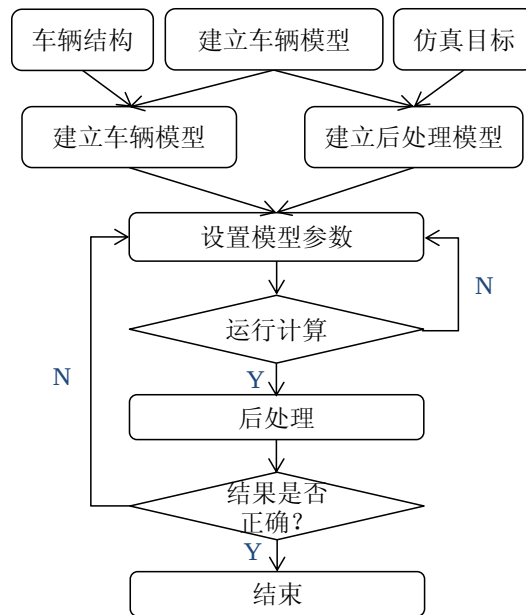


图 1 GT-SUITEmp 软件计算流程

2.2 整车模型建立

本文以某款轿车为例, 基于 GT-SUITEmp 软件对其进行动力性和燃油经济性分析, 通过对动力系统的结构和功能的分析, 通过选择合理的系统模块, 对各部件和总成进行参数化处理, 建立信号连接, 最终完成乘车的建模和仿真。图 2 为整车动力性模型, 主要由车体、发动机、离合器、变速器、主减速器, 驾驶员, 制动器、外界环境、轮胎、道路等模块组成。图 3 为整车的燃油经济性模型, 包括等速油耗、综合油耗等。动力性仿真采用的是动力性计算模式。动力性计算即正向计算模式, 该模式下, 用户输入的发动机油门位置、离合器位置、制动器动作、换挡规律等, 求出车辆的动态反应, 实际上就是由加速的动作控制车辆的运动。油耗计算采用运动学计算, 即反向计算模式, 该模式下, 用户输入车速曲线或循环驾驶工况及路面情况, 计算得到载荷, 反向求解得到发动机/驱动系统的扭矩、转速及燃油消耗率等, 以实现指定行驶工况。

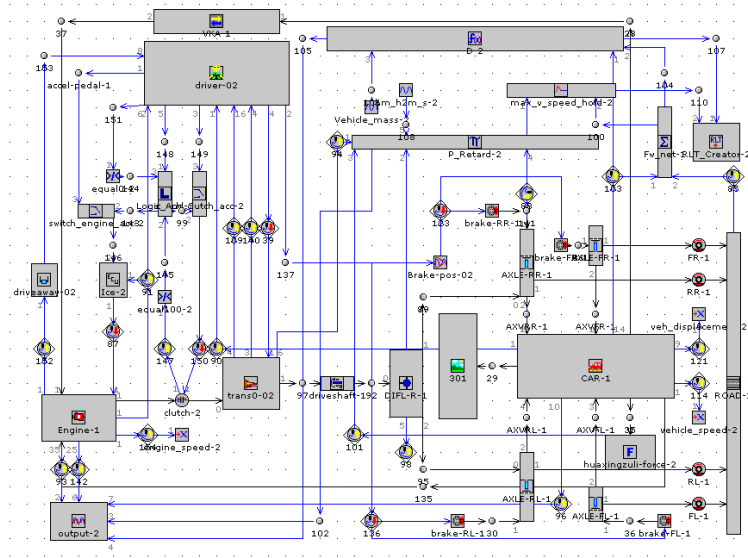


图 2 整车动力性模型

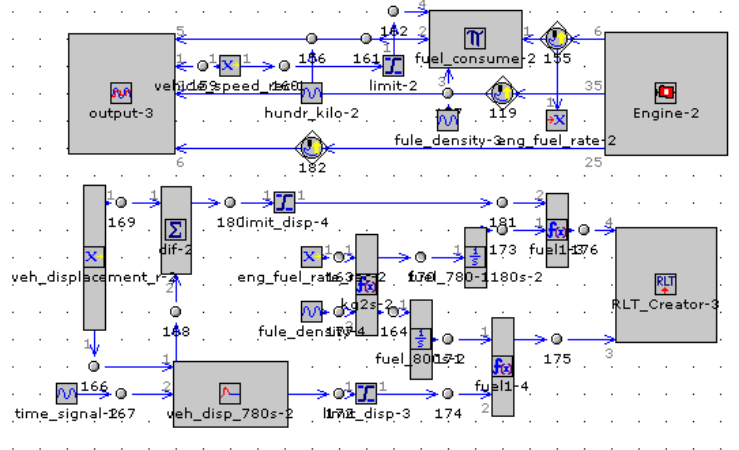


图 3 整车经济性模型

仿真计算以模型为基础，而模型的建立又是以力和功率的平衡关系为基础的，固定速比的汽车行驶驱动力—阻力平衡方程和功率平衡方程^[4]如（1）、（2）：

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

$$P = \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{G f u_a}{3600} + \frac{C_D A u_a^3}{76140} + \frac{\delta m u_2}{3600} \frac{du}{dt} \right) \quad (2)$$

其中： T_{tq} - 发动机转矩(Nm); i_g - 变速器传动比; i_0 - 变速器传动比; η_T - 传动系统效率; 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; u_a - 车速(km / h); δ - 旋转质量转换系数; du / dt - 加速度(m^2 / s); P - 发动机功率(kW)。

通过 (1)、(2) 可以计算出整车的动力性, 即汽车在节气门全开时能够达到的最高车速、加速能力和爬坡能力。汽车的燃油经济性常用等速行驶百公里油耗和多工况循环的百公里油耗消耗量来评价, 其中等速百公里油耗的计算方法为^[3,5]:

$$Q_s = \frac{P_b b}{1.02 u_a \rho g} \text{ 或 } Q_s = \frac{CFb}{\eta_T} \quad (3)$$

其中: Q_s - 等速燃油消耗量($L / 100km$); P_f - 阻力功率(kW); b - 燃油消耗率(g / kWh);
 ρ - 燃油密度(kg / L)。

多工况循环百公里油耗计算方法为^[3,5]:

$$Q_b = \frac{100 \sum Q}{s} \quad (4)$$

其中: Q_b - 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(m)。

2.3 参数选取

在模型中需要输入整车的基本参数, 包括整车参数(整备质量、基准质量、阻力参数等)、轮胎参数、发动机参数和变速器参数(速比、效率、转动惯量等)。

在计算中, 汽车的阻力参数使用实际的道路滑行阻力曲线, 不适用轮胎滚动阻力及风阻系数, 以期获得更加可靠的仿真结果并在后期的试验验证中获得更好的一致性。发动机参数直接影响到模型的正确与否, 为了提高模型的准确性, 专门选取了一台新的发动机进行了台架试验。通过试验获取了该款发动机的万有特性图, 并将其作为发动机参数输入到模型中。

2.4 模型调试、运行及后处理

在 case setup 中给不同 case 赋值, 通过 run setup 设置计算类型, 输入运行时间和收敛条件。设置好后点击预运行, 如果出现报错信息, 则根据报错信息修改模型, 重新预运行直至没有错误。点击运行, 计算终止后在 GT-POST 中查看结果。

3 主减速比改进

3.1 主减速比改进

原车主减速比为 3.94, 为了降低油耗, 需要降低主减速比, 改进为 3.65。将改变前后主减速比分别输入到模型中, 通过运算, 分别得到了改变主减速比前后的动力性油耗计算结果, 其中图 4 为改进主减速比之后的发动机功率-阻力功率平衡图, 图中可以看出, 该车在 5 档时达到了在水平路上行驶所能达到的最高车速, 即发动机功率曲线和阻力功率曲线的交点。

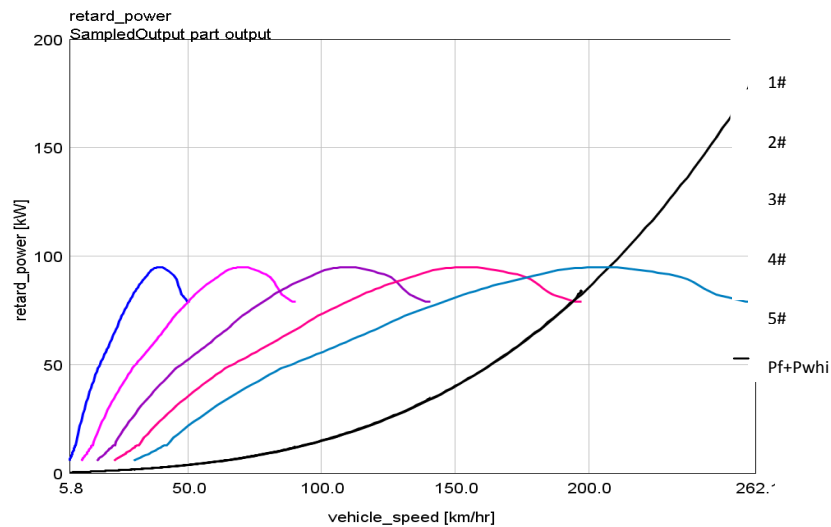


图 4 功率平衡图

3.2 改进效果

整车经济性的计算结果如表 2 所示，由该结果可知，该车在改进之后，等速油耗、市区工况油耗、郊区工况油耗及综合油耗均有所下降，其中，综合油耗为 6.48 L/100km，降低了 0.15 L/100km。

表 2 主减速比改进前后油耗变化(单位: L/100km)

	改进前	改进后
90km/h 等速油耗	4.96	4.87
120km/h 等速油耗	6.68	6.62
市区工况油耗	8.01	7.81
郊区工况油耗	5.75	5.68
综合油耗	6.63	6.48

整车动力性计算结果如表 3 所示。

表 3 主减速比改进前后动力性变化

	改进前	改进后
起步加速 0-100m(s)	10.46	10.59
起步加速 0-400m(s)	17.42	17.52
起步加速 0-1000m(s)	31.84	32
4 档加速 60-100km/h(s)	9.49	10.38
4 档加速 80-120km/h(s)	10.13	11.07
5 档加速 60-100km/h(s)	13.78	15.72
5 档加速 80-120km/h(s)	14.53	16.18
4 档最高车速 (km/h)	193	198
5 档最高车速 (km/h)	206	205

由表 3 可知,改进后,起步加速时间增大了,超越加速时间变长了,四档最高车速提高了,而 5 档最高车速却降低了。

4 模型验证

为了对仿真结果进行试验验证,将经过台架试验的发动机和改进后的主减速器装载到该车上进行试验。图 5 为油门踏板开度试验值与计算值的对比,由图可以看出,仿真结果与试验结果吻合良好,试验值略高于仿真值,但总体趋势一致。图 6 为发动机转速试验值与计算值对比,同样的试验值略高于仿真值,但结果总体基本吻合。

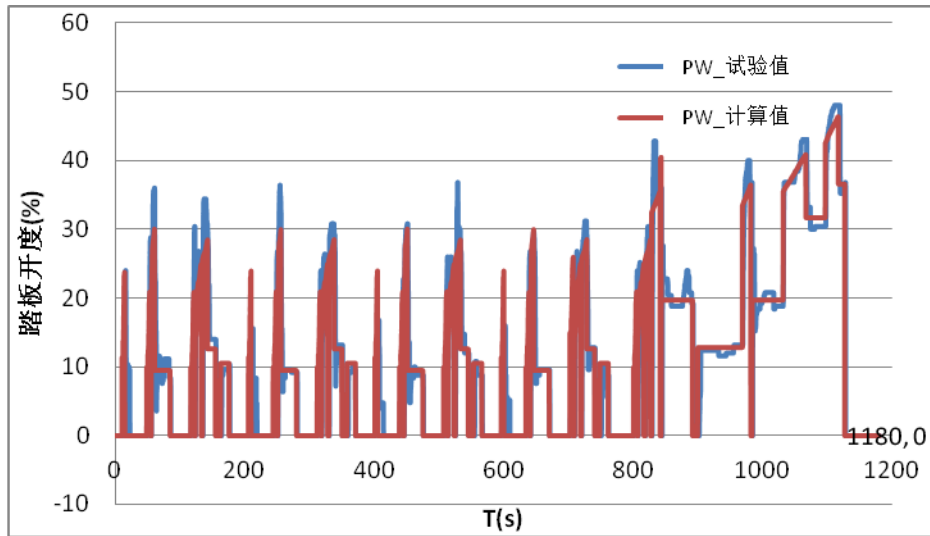


图 5 油门踏板开度试验值与计算值对比曲线

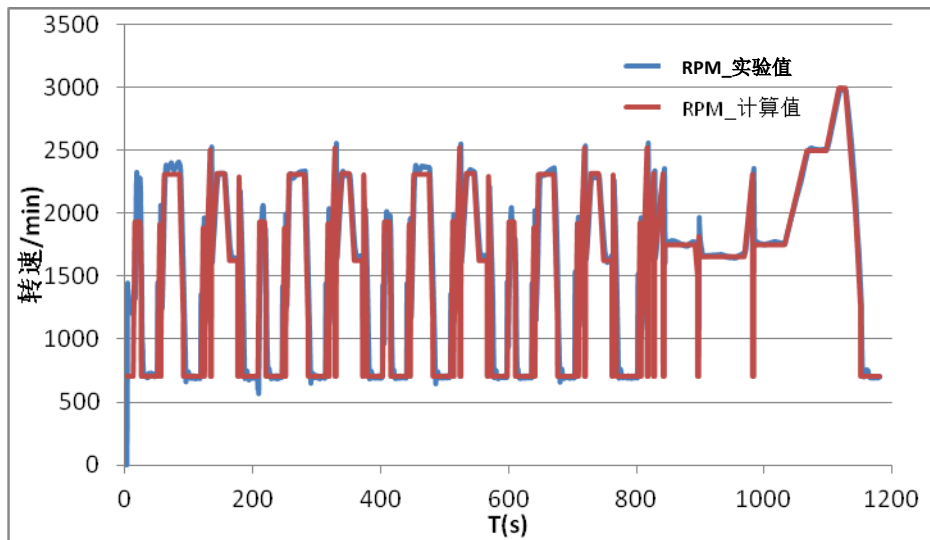


图 6 发动机转速试验值与计算值对比曲线

油耗试验结果如表 4 所示,表中可以看出,改进主减速比后市区工况油耗、郊区工况油耗和综合油耗都有所下降。其中,综合油耗较改进前下降了 0.16 L/100km,基本符合预期目标。图 7 为该车型改进前后油耗仿真值和试验值的对比图,由该图可以看出,仿真和试验结果基本吻合,且改进后的车型油耗仿真值和试验值相差无几,市郊区工况油耗及 NEDC 工况油耗的差值都控制在 0.09L/100km 以内。

表 4 油耗试验值(单位: L/100km)

	市区工况油耗	郊区工况油耗	综合油耗
油耗试验值	7.90	5.67	6.49

由此可以验证本文应用的 GT-SUITEmp 软件计算结果可靠,本文建立的整车动力性油耗模型可靠。应用该软件并取用正确的参数,可以缩短整车开发流程,为车型开发提供强而有力的参考。

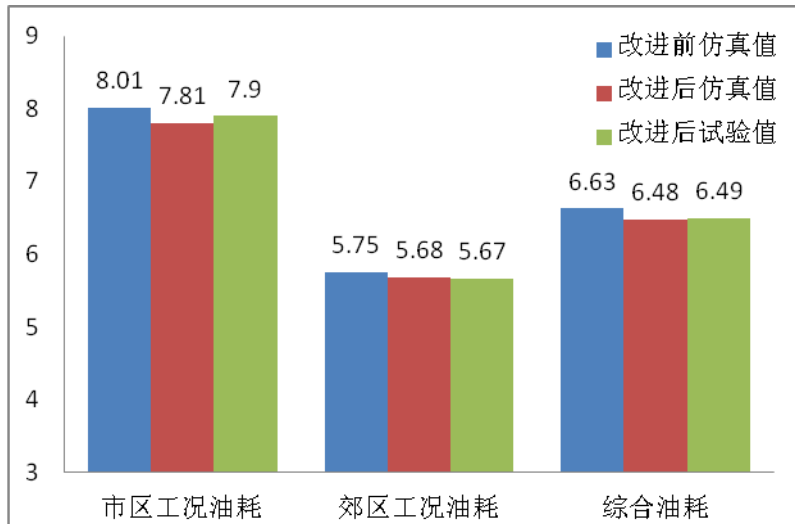


图 7 油耗仿真试验对比图

5 结论

本文基于仿真软件 GT-SUITEmp, 建立了一款正在开发车型的整车模型, 仿真计算结果与道路计算结果非常吻合, 表明该模型是正确可行的。基于该模型的仿真过程和仿真结果, 可以得到以下结论:

- 1) 降低主减速比可以降低油耗, 本文通过仿真模拟降低了某款车型 0.15L/100km 的综合油耗, 改进后的油耗试验差值也在该范围内;
- 2) 本文通过改变主减速比的方法降低了油耗, 同时最高车速略微有所下降, 如果配之其他降油耗措施, 如减重、加底部防护板、降低轮胎滚动阻力等, 则能获得更高的最高车速和更低的油耗。
- 3) 本文通过建立整车模型, 改变模型中的主减速比, 从而降低了车型油耗, 且对最高车速的影响不大。因此, 后续还会继续探索主减速比以外的其他油耗影响因素, 以期在未来开发的车型中同时兼顾整车动力性和经济性。

参考文献

- [1] 周龙保, 刘巽俊, 高宗英. 内燃机学[M]. 北京: 机械工业出版社.
- [2] 余志生, 夏群生, 李克强. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社.
- [3] 吴光强. 汽车理论[M]. 北京: 人民交通出版社.
- [4] Gino Sovran, Dwight Blaser. A Contribution to Understanding Automotive Fuel Economy and its Limits[C]. SAE Paper 2003-01-2070, 2003.
- [5] GT-ISE User Manual, Gamma Technologies, Inc