

基于 GT-SUITE 的某混合动力系统性能分析研究

A hybrid system performance analysis based on GT-SUITE

康艳伟 杨文乐 骆富贵
(海马汽车有限公司, 河南郑州)

摘要: 本文以某车型的传统动力系统为基础, 匹配一款 ISG 电机, 开发混合动力系统。在此混动系统的基础上, 详细研究了混合动力系统控制策略的制定, 并基于 GT-SUITE 仿真软件平台, 建立混合动力系统的仿真计算模型, 在此基础上对混合动力系统的动力性及经济性进行仿真分析, 来验证混合动力系统的匹配是否合理。

关键词: GT-SUITE, 混合动力, 电机, 电池, 动力性经济性

Abstract: Hybrid system is developed based on conventional power train system of one vehicle which added a ISG Motor. On the basis of the hybrid system, the control strategy of the hybrid system, the control strategy of the hybrid system is studied in detail, and based on the simulation software of GT-SUITE to build the simulation model of the hybrid system. And the performance and fuel economy of the hybrid power train system simulation analysis based on the simulation software, to check whether the matching of hybrid system is reasonable or not.

Key words: GT-SUITE, Hybrid system, Motor, Battery, Performance, Fuel Economy

1. 前言

混合动力汽车是在汽车发展过程中出现的一种低油耗、低排放、续驶里程长、价格适中、兼具纯电动汽车和传统燃油汽车优点的新型汽车, 由于在技术、经济、和环境等方面的综合优势, 混合动力汽车被认为是目前最切实可行的清洁汽车方案。与采用同等动力配置的传统燃油汽车相比, 混合动力汽车在不降低动力性的前提下, 燃油经济性可以大幅提高, 同时大幅减少污染物的排放。通过对比各种类型的高效节能汽车, 单位投入燃油经济性提高最大的车型就是混合动力汽车。国内外汽车界已经形成一个共识, 就目前的技术水平, 混合动力汽车投资少, 技术相对成熟、易于满足节能和排放目标, 是今后很长一段时期内清洁汽车的主流车型。

为了符合行业发展趋势以及满足我国日趋严格的油耗和排放法规, 在传统动力系统的基础上进行混合动力的开发, 经综合考虑, ISG 混合动力系统符合现阶段的技术要求。ISG 混合动力系统是并联式混合动力系统的一种, 它是在传统动力系统上加入集成电机 (ISG 电机) 而组成的混合动力系统, 我们在此研究的 ISG 混合动力系统是在发动机和变速器之间加入 ISG 电机, 并使用双离合器的结构形式。如图 1 为所研究的 ISG 混合动力系统的结构简图。

此结构形式的混合动力系统在原有传统动力系统基础上改动较小, 只是在发动机和变速器间加入一个 ISG 电机, 可以使车型的动力系统良好的过度升级, 在满足法规要求的同时, 最大程度的降低了企业成本。

在对混合动力系统进行研究时, 在 GT-SUITE 仿真软件环境下搭建整车仿真模型, GT 软件拥有完善的整车模块库, 同时也有完善的控制模块库, 使混合动力系统的仿真模型满足所设定的控制要求:

1) 发动机的怠速启停; 2) 低速低负荷下, 电机的

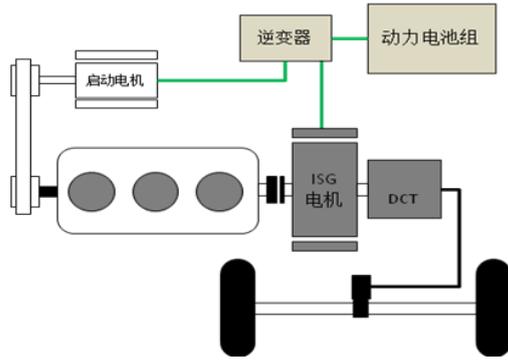


图 1 混合动力系统结构简图

纯电驱动功能；3) 高速高负荷下，发动机和电机的混合驱动功能；4) 发动机驱动，同时对电池进行驱动；5) 制动能量的回收；

2. 仿真模型及控制策略

在搭建仿真模型前，要先分析清楚混动系统的模式及控制策略，在此我们应用逻辑门限控制策略对混动系统的控制策略进行研究，逻辑门限控制策略是一种简单而有效的控制算法，在此将在某款发动机和变速器搭载某款车型的混合动力汽车的基础上，通过逻辑门限控制策略的加入从而建立仿真计算模型。

然后运用 GT-SUIT 专业仿真分析软件，建立混合动力系统的仿真计算模型，如图 2 为混合动力系统的仿真计算模型。基于此仿真模型对混合动力系统的动力性能和经济性能进行仿真分析。

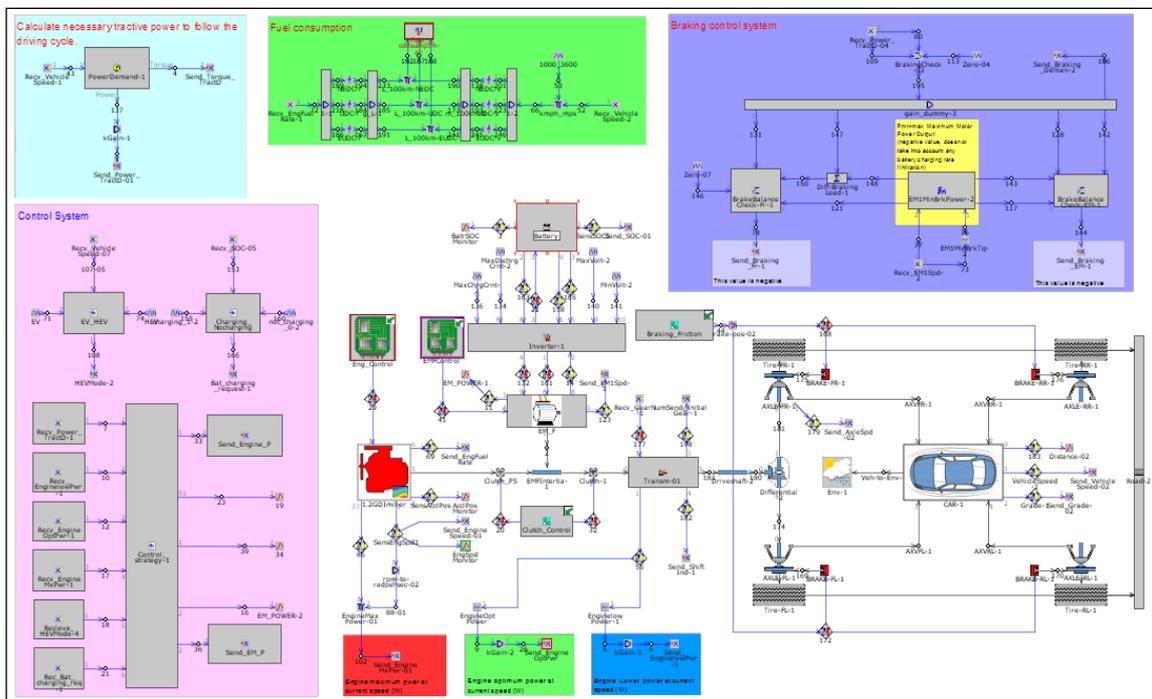


图 2 仿真计算模型

本次计算依然基于 NEDC 循环工况进行混动系统的仿真分析，在车辆运行 NEDC 循环进行经济性能的仿真时，混合动力功能的实现，也即混动力系统的控制策略直接影响着混动车辆经济性能的结果，通过运用 GT-SUITE 控制模块的搭建，使仿真模型实现如下功能：

- 发动机怠速启停功能
- 纯电机驱动车辆行驶功能
- 单发动机驱动车辆行驶功能
- 发动机驱动车辆行驶同时驱动电机发电功能
- 发动机和电机共同驱动车辆行驶功能
- 制动能量回收功能

根据以上混合动力系统车辆的控制策略的分析及其运行功能的确定，在此我们应用图表的方式来详细描述混动系统控制策略及其运行功能，如图 3，在制定混合动力系统的控制策略时，发动机和电机的运行状态及其功率分配主要依据电池的荷电状态和发动机的运行区间进行控制，其中设定了电池的 SOC 上下限值，发动机的最优和最低运行曲线。

SOC_{high}: 电池充电荷电状态上限值;

SOC_{low}: 电池放电荷电状态下限值;

T_r: 车辆需求扭矩;

T_{max}: 发动机最大扭矩运行曲线;

T_{opt}: 发动机最优扭矩运行曲线;

T_{min}: 发动机最小扭矩运行曲线;

T_e: 发动机提供扭矩;

T_m: 电动机提供扭矩;

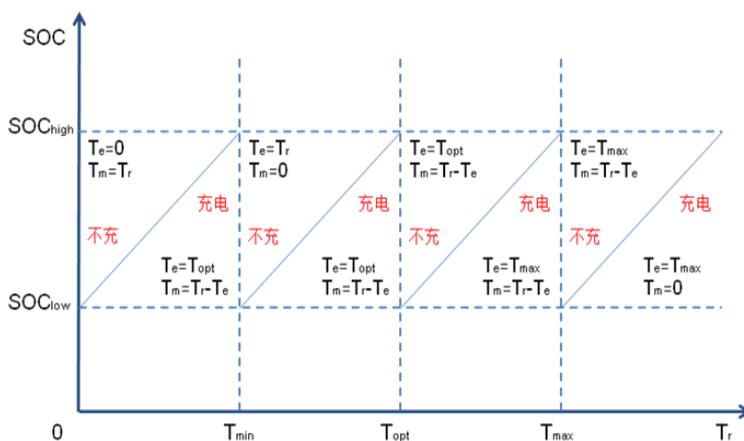


图 3 混动系统动力分配图

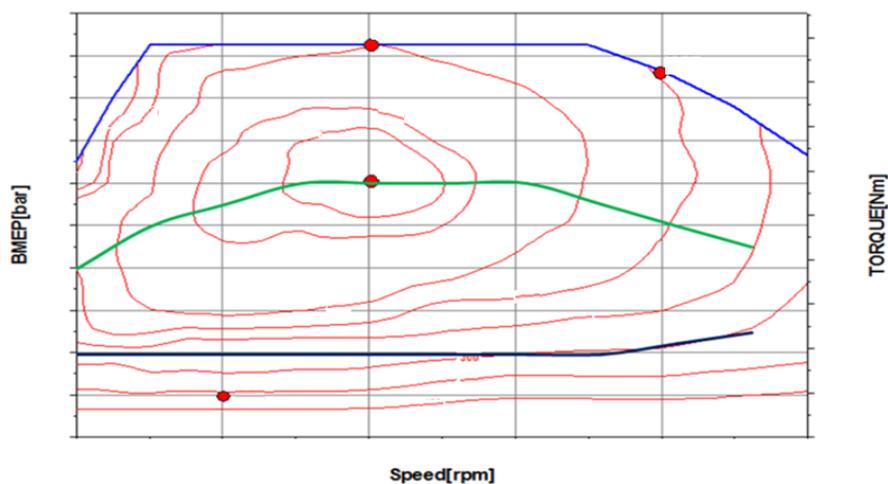


图 4 发动机控制运行线

控制策略主要依据发动机的效率分布进行制定，如图 4，通过发动机的最优运行曲线和发动机的最低运行曲线，以及发动机的外特性曲线对发动机的工作区间进行划分，三条曲线即为混动控制策略的控制阈值；根据控制策略的详细程度，可以划分多条控制阈值，同时也可以同车速的控制结合发动机的控制进行阈值的设定，在此发动机最低和最优运行曲线的值是根据经验划定，后期需要对此阈值进行详细标定。

3. 仿真计算

按照国家标准的要求，通过仿真模型的计算，分别计算得出混合动力系统的动力性能和经济性能相关结果，如表 1。

表 1 仿真计算结果数据表

项目		结果	
经济性结果	混合动力综合工况油耗[L/100km]	4.8	
	纯电动续航里程[km]	≥50	
动力性结果	混合驱动结果	最高稳定车速[km/h]	210
		最大爬坡度[%]	45
		0-100km/h 起步加速时间[s]	7.5

通过对以上动力性相关结果的分析，评价混合动力系统的匹配情况。混合驱动下的动力性能结果可以与传动车辆的动力性能进行对比分析，从而评价混合动力系统的动力性能的提升空间。通过对纯电动驱动下的动力性能的分析，对 ISG 电机的性能参数进行评价，从而通过多次的仿真计算，确定电机的功率需求和扭矩需求，最终完成电机、电池等电器部件的参数确定及混合动力车辆动力性能参数的初步确定。

通过对混动系统电量保持下 NEDC 循环工况的仿真计算，来对混动系统的经济性能进行评价分析，如下图 5 至图 8 为循环工况各计算结果。

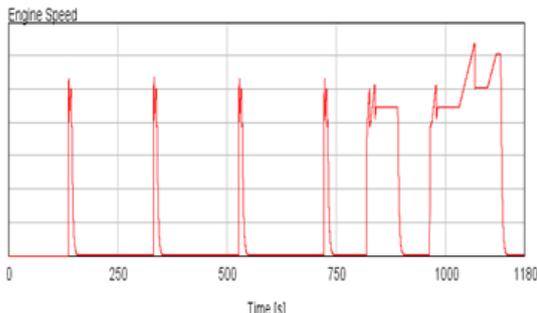


图 5 发动机转速

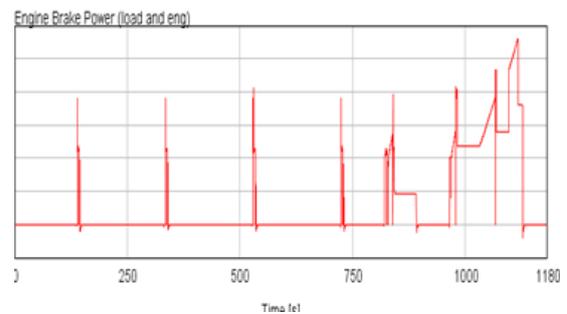


图 6 发动机输出功率

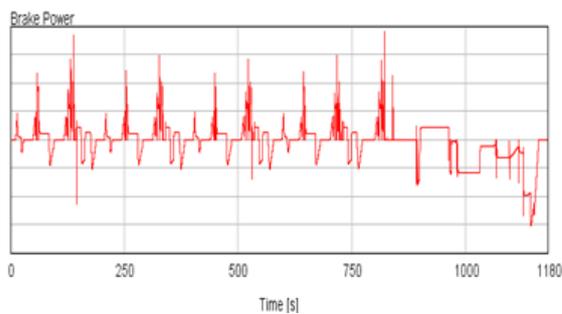


图 7 电机功率

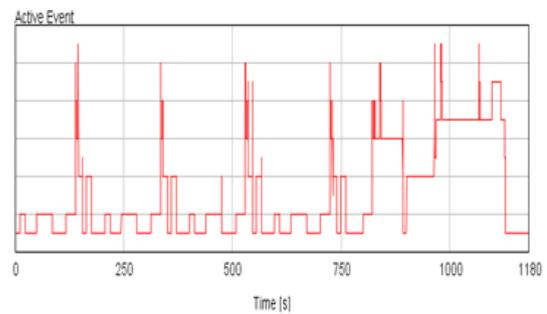


图 8 混动功能运行状态

通过对以上 NEDC 循环工况 GT-SUITE 仿真分析模型结果的分析，可以分别对电池、电机、发动机的运行状态以及混动系统的控制策略进行详细的分析研究，从而可以进一步的对各部件的性

能以及混动系统的控制策略进行优化，在保证车辆优秀动力性能的前提下，以达到混合动力系统理想的经济性能和排放性能。

4. 总结

本文主要研究了在传统动力系统中加入一款 ISG 电机的混合动力系统，并介绍了通过 GT-SUITE 仿真软件平台搭建混合动力的仿真模型，研究了混合动力系统控制策略的制定方法及仿真控制模型的搭建，并通过对混合动力仿真模型动力性及经济性能的计算分析，从各个方面评价混合动力系统的性能，同时确定混合动力系统各关键部件的性能参数。在这个过程中，GT-SUITE 仿真软件提供了非常大的帮助，其具有完善的车辆各系统的模块库，同时具有完善的控制系统的模块库，这在混合动力的研究分析中起到了非常重要的作用。

5. 参考文献

- [1] 余志生. 汽车理论. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2009. 3
- [2] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi 著, 倪光正, 倪培宏, 熊素铭译. 现代电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池车—基本原理、理论和设计. 北京: 机械工业出版社, 2010. 8
- [3] Husain, I. 著, 林程译. 纯电动及混合动力汽车设计基础: 原书第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2012. 3
- [4] 张希, 米春亭著. 车辆能量管理: 建模、控制与优化. 北京: 机械工业出版社, 2013. 2
- [5] Chapman, S. J. 著, 满永奎编译. 电机原理及驱动: 电机学基础. 北京: 清华大学出版社, 2013
- [6] 浦金欢. 混合动力汽车能量优化管理与控制策略研究, 2004. 12