

基于 GT-SUITE 混合动力控制策略开发

Hybrid vehicle control strategy development based on GT-SUITE

侯广永, 孟庆楠, 南涛, 王硕, 魏文彬

(长城汽车股份有限公司技术中心, 河北省汽车工程技术研究中心, 保定 071000)

摘要: 混合动力汽车是在传统内燃机汽车基础上增加电驱动系统. 通过驱动电机和内燃机的协调工作, 降低整车的燃油消耗和 CO₂ 排放。考虑动力系统结构的特殊性和零部件参数的特点, 需要通过一套完整的控制系统来综合优化系统的能量分配。本文通过使用 GT-SUITE 软件在系统概念设计阶段验证零部件参数满足性能指标, 在控制系统开发阶段制定整车能量管理策略, 优化系统燃油经济性。

关键词: GT-SUITE、控制策略、混合动力汽车、仿真分析

Abstract: Hybrid electric vehicle is designed based on conventional internal-combustion engine which added electric power-train. Optimizing the operation points of motor and engine, the fuel consumption and the carbon dioxide emission. Regarding to the characteristic of power-train and the component parameters, we need a control strategy arithmetic to optimize all the components and energy flow. This paper starts with the analysis of the vehicle performance whether meet the scope or not by GT-SUITE. Energy management should be drew up during the schedule of control system developed, to optimize fuel economical efficiency.

Key words: GT-SUITE、control strategy、hybrid vehicle、simulation

1 前言

随着全球气候危机日益严重和各国对排放法规的苛刻要求, 新能源汽车是未来汽车发展的必经之路。近年来, 国内外各大主机厂和零部件供应商对新能源汽车的研发都投入了大量的人力和物力。由于受到电池成本和技术的限制, 纯电动汽车难以在短时间内广泛的推广使用, 因此混合动力汽车的优势逐渐崭露头角。

要充分发挥混合动力汽车节能高效等优点, 必须有一套完整的控制策略保证电机驱动系统和发动机驱动系统以最佳的方式协调配合。混合动力控制策略的制定, 以整车的性能指标和动力系统零部件参数为输入, 通过优化各零部件在不同时刻的工作特点, 实现驾驶员的操作意图。本文在整车概念设计阶段, 通过使用 GT-SUITE 软件, 对整车的控制策略进行设计分析, 优化动力系统的扭矩控制, 为软件开发提供上层策略和功能定义。

2 整车及零部件参数设计

2.1 动力系统结构

本文研究的插电式混合动力汽车是以现有轿车车身平台为基础, 进行适应性设计开发。将原

有的发动机动力传动系统，替换为全新开发的混联式传动系统，其结构拓扑图见图 1。该混合动力系统具有串联式混合动力和并联式混合动力双重优点，根据整车行驶时不同的需求，使其高效的运行。

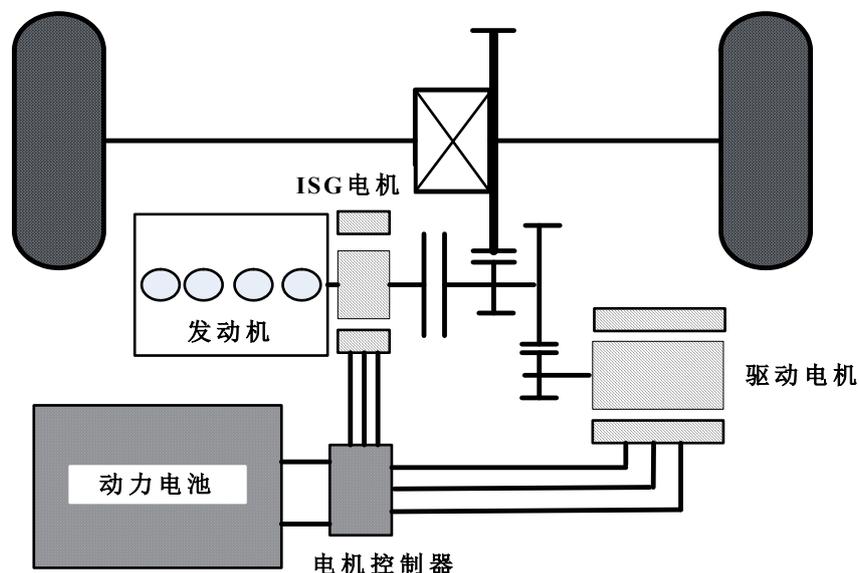


图 1 整车结构拓扑

2.2 整车零部件参数

整车的尺寸参数与原车保持一致，整备质量可以参考新增零部件和替换零部件的质量进行计算。为了保证整车的市场定位和降低设计开发的难度，因此整车的性能指标设计要略大于原车。由于动力系统匹配设计不是本文重点，因此匹配设计过程不再赘述，匹配计算后的零部件参数、整车参数和整车性能指标见表 1。驱动电机和 ISG 电机的效率 map 图，见图 2 和图 3。

表 1 整车及零部件参数和性能指标

| 技术参数 | 单位 | 数值 | 零部件参数 | 单位 | 数值 |
|-------------------|----------------|------|-------------|-----|-------|
| 整备质量 | kg | 1350 | 驱动电机最大扭矩 | N.m | 200 |
| 满载质量 | kg | 1725 | 驱动电机最大功率 | kw | 60 |
| 迎风面积 | m ² | 2.2 | 驱动电机最大转速 | rpm | 11000 |
| 车轮滚动半径 | mm | 0.33 | ISG 电机最大扭矩 | N.m | 140 |
| 轴距 | mm | 2700 | ISG 电机最大功率 | kw | 30 |
| 空气阻力系数 | -- | 0.32 | 发动机最大扭矩 | N.m | 120 |
| 纯电动 0-50km/h 加速时间 | s | ≤6.5 | 发动机最大功率 | kw | 60 |
| 纯电动爬坡度 | % | ≥25 | 发动机最大转速 | rpm | 5500 |
| 纯电动工况续驶里程 | km | ≥50 | 电机相连齿轮总传动比 | -- | 8.5 |
| 加权综合油耗 | 1/100km | ≤2.5 | 发动机相连齿轮总传动比 | -- | 5.3 |

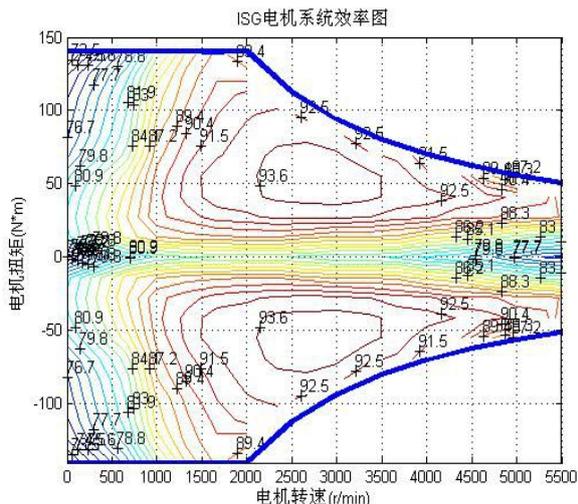


图 2 ISG 电机外特性及系统效率图

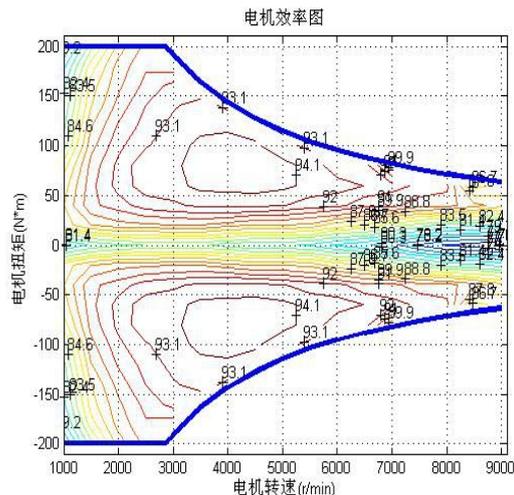


图 3 驱动电机外特性及系统效率图

3 模型搭建与性能验证

3.1 模型搭建

在 GT-SUITE 软件环境下搭建整车仿真模型，参考整车结构拓扑图，需要用到的模块主要包括：发动机模块、电机模块、电池模块、控制器模块、车身模块、变速箱模块等。通过机械信号和电气信号的连接，组建成整车结构模型。为了使动力系统零部件以驾驶员的要求运行，必须添加相应的控制模块，根据系统的需求，控制模块包括整车控制模块（HCU）、发动机控制模块（ECU）、电机控制模块（MCU）和电池控制模块（BMS）等，详细整车模型见图 4。

3.2 动力性验证

GT-SUITE 可以实现动力学计算和静力学计算等不同的计算方式，本文中的动力性计算，主要通过设定运行工况，识别整车需求扭矩，最后分配不同动力源的扭矩。图 5 和图 6 分别为纯电动模式下和混合动力模式下的百公里加速时，动力源的扭矩分配和相应的仿真结果。

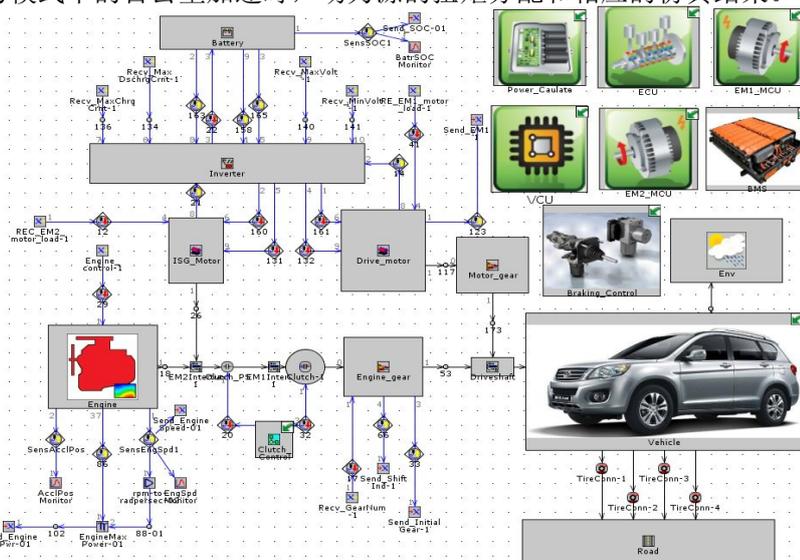


图 4 整车 GT-SUITE 模型

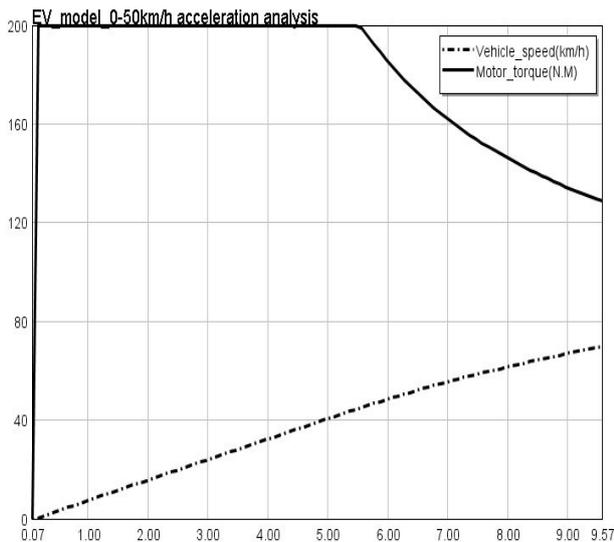


图 5 纯电动模式 0-50km/h 加速分析

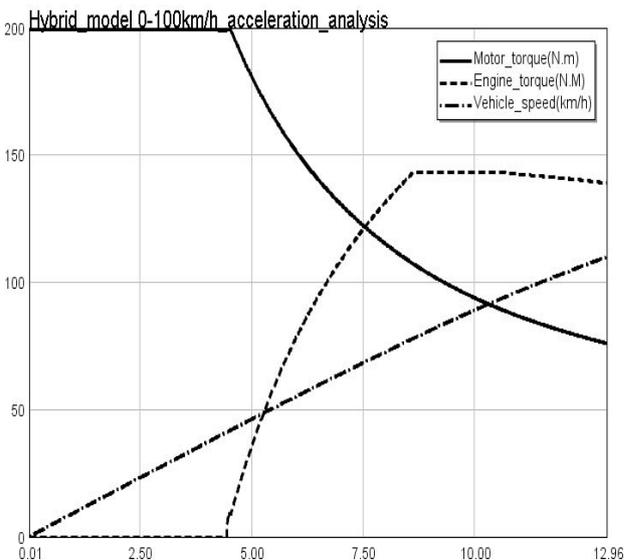


图 6 混合驱动模式 0-100km/h 加速分析

4 策略制定

4.1 优化流程

在控制策略制定过程中，以控制策略的优化流程作为指导。首先在 GT-SUITE 软件环境下建立仿真模型，然后通过设定的工况和策略进行模拟验证，对仿真后的结果和零部件的工作状态进行评估分析，经过优化对比分析的过程，最终确定控制策略。

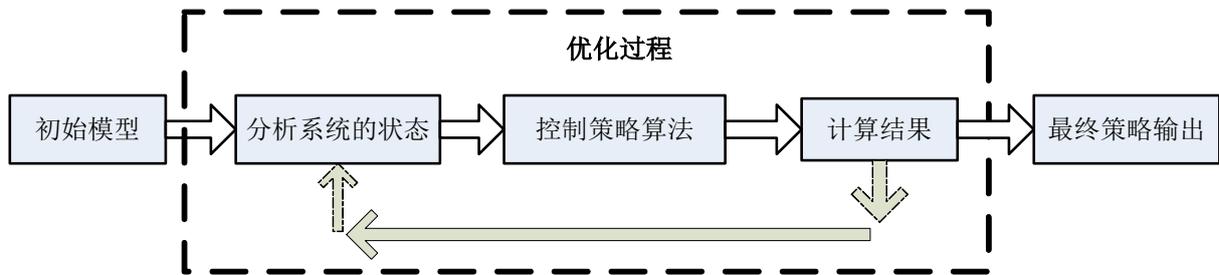


图 7 控制策略优化流程

4.2 工作模式制定

动力系统的工作模式的制定主要考虑方面：驾驶员的需求、整车的需求和优化动力系统的能量分配。本文研究的混合动力系统能够实现的模式包括：停车充电模式、增程模式、行车充电模式、纯电动模式、电机助力模式和制动能量回收模式等。

增程模式：由图 1 车辆的结构拓扑图可知，发动机驱动车辆只有一个传动比，当车辆速度较低时，无法直接参与驱动，此时驱动电机做为车辆唯一的动力源，发动机和 ISG 电机以恒温器式控制策略工作。

行车充电模式和电机扭矩辅助模式：这两种模式的制定，主要考虑优化发动机的工作点，降低整车的燃油消耗率。当发动机驱动车辆时，工作在不同转速下都有对应的最低燃油消耗率的工作点。通过 ISG 电机发电和驱动电机的扭矩辅助控制等，使发动机一直工作在最佳燃油消耗率曲线上。

4.3 最终效果验证

利用整车的仿真模型和控制策略在 NEDC 工况下进行分析验证。通过优化的控制策略，保证发动机的工作点达到目标设定位置，发动机的工作点见图 8。整车性能仿真结果见表 2。

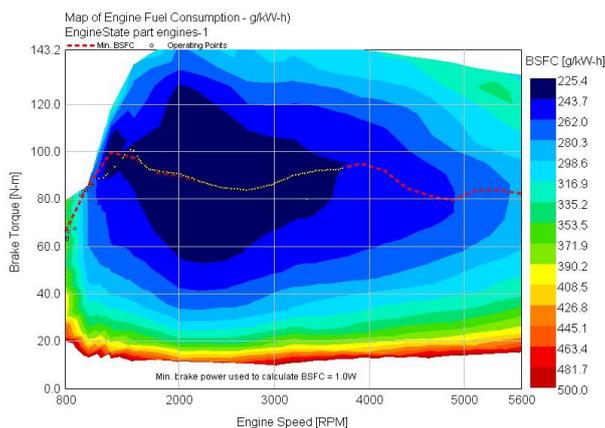


图 8 控制策略优化流程

表 2 整车及零部件参数和性能指标

| 技术参数 | 单位 | 性能指标 | 仿真结果 |
|-----------------------|---------|------------|------|
| 混合驱动模式 0-100km/h 加速时间 | km/h | -- | 11.4 |
| 纯电动 0-50km/h 加速时间 | s | ≤ 6.5 | 6.2 |
| 纯电动爬坡度 | % | ≥ 25 | 28.7 |
| 纯电动工况续驶里程 | km | ≥ 50 | 52 |
| 电量保持阶段燃油消耗率 | l/100km | -- | 4.5 |
| 综合油耗 | l/100km | ≤ 2.5 | 1.46 |
| 二氧化碳排放值 | g/km | -- | 33.6 |

由表 2 可以看出，该套混合动力系统的仿真结果满足整车性能指标。在控制策略优化流程的指导下，多次优化分析后，整车的燃油经济性和二氧化碳的排放满足欧盟市场法规的要求。

5 总结

本文根据全新开发的混合动力系统结构、驱动形式、动力传递路线和驾驶特性确定整车工作模式，利用 GT-SUITE 软件搭建整车动力性和经济性仿真模型，验证模型的正确性并进行仿真分析，根据仿真结果能够准确分析各动力源性能参数的合理性及控制策略的优劣。GT-SUITE 软件可以准确的

模拟新车型的动力性和经济性的分析计算过程，能够很好的预测整车的动力性和经济性，减少车辆开发周期，降低开发成本。

6 参考文献

- [1] 陈家瑞, 马天飞. 《汽车构造》. 人民交通出版社. 2006
- [2] 徐志生. 《汽车理论》. 机械工业出版社. 2006
- [3] 陈清泉, 孙逢春. 《混合动力车辆基础》. 北京理工大学出版社. 2001
- [4] Mehrdad Ehsani , Yimin Gao, Ali Emadi . Modern Electric , Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory , and Design Second Edition. CRC Press, 2010