

文章编号:1671-6833(2013)06-0120-05

基于 Advisor 的同轴式混联混合动力汽车动力系统仿真

秦东晨, 裴东杰, 陈江义, 刘竹丽

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 以同轴式混联混合动力汽车为对象, 在分析其动力系统运行模式及控制策略的基础上, 进行了动力部件参数匹配计算, 基于 Advisor 软件的二次开发建立了动力性能仿真系统. 在选定的城市循环工况下, 对车辆动力性能和燃油经济性进行仿真. 通过分析 SOC 值变化和动力部件转矩关系, 验证动力系统的可行性及仿真系统的准确性, 为同轴式混联混合动力汽车开发提供技术支持.

关键词: 混合动力汽车; 同轴式; 混联; 仿真; Advisor

中图分类号: U462.3; TH122

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.06.029

0 引言

混合动力汽车在全球范围内迅速发展, 已经进入产业化阶段, 其动力系统结构形式包括: 串联型、并联型、混联型. 混联型动力系统兼具串联型和并联型的优点, 控制更为灵活自由, 适应各种复杂多变的行驶工况, 经济性和排放性更佳, 是目前进行混合动力汽车研发的主要对象. 国外经验丰富、实力雄厚的汽车公司在混联系统中多采用结构复杂的行星齿轮结构^[1-3], 较为典型的是丰田 Prius 混联动力系统. 国内混联混合动力技术与国

外还存在一定差距, 多采用电机或离合器进行转矩耦合. 根据发电机布置的不同, 分为发电机侧置式和同轴式两种. 根据动力系统的结构特点, 按照能量流路径其运行模式和控制策略可以划分为以下几种形式^[4], 如表 1 所示. 笔者针对适合国内开发能力的同轴式混联混合动力系统进行仿真研究. 同轴式混联动力系统最大的特点在于取消了变速箱和专门的动力耦合部件, 只要通过控制离合器的开合状态就可实现车辆串联运行模式和并联运行模式之间的切换, 如表 1 中的第 1 种.

表 1 电动机运行模式和控制策略

Tab. 1 The operating mode and control strategy of power train

图示			
模式及描述	纯电动模式: 当车速 < 25 km/h 时, 且电池电量处于较高水平, 离合器分开, 由电机单独驱动	发动机快速启动模式: 当车速 ≥ 25 km/h 时, ISG 电机带动发动机快速启动	发动机单独驱动模式: 车辆处于发动机最佳转速区域, 且电池 SOC 值适中, 离合器接合, 发动机单独驱动
图示			

收稿日期:2013-05-06; 修订日期:2013-07-19

基金项目: 国家重大科技成果转化资助项目(财建[2012]258号)

作者简介: 秦东晨(1965年-), 男, 河南焦作人, 郑州大学教授, 博士, 研究方向为数字化设计与优化设计、机械强度与结构优化设计等, E-mail: dcqin@zzu.edu.cn.

续表 1

模式及描述	并联式联合驱动模式:车辆处于较高车速且负荷增大时,发动机与电机联合进行驱动	并联式行车充电模式:车辆处于较高车速,负荷较低,电池电量自于中低水平,发动机既进行驱动又给电池充电	串联式联合驱动模式:车辆处于低速且高负荷工况,电池电量处于中等水平,离合器分离,发动机经 ISG 电机与电池联合给电机供电
图示			
模式及描述	串联式行车充电模式:车辆处于低速工况,且电池电量处于较低水平,离合器分离,发动机经 ISG 电机提高驱动功率而且给电池充电	再生制动模式:当车辆处于制动或减速滑行时,利用电机进行能量回收	停车充电模式:停车时,若电池 SOC≤0.3,离合器松开,发动机带动 ISG 电机给电池充电

1 整车性能设计目标及整车主要参数

设计样车 SPHEV 整车性能设计目标为:最高车速≥100 km/h;最大爬坡度≥30%;0~50 km/h 的加速时间≤9 s;燃油消耗量(城市循环工况)8 L/100 km.

样车 SPHEV 的整车主要参数,如表 2 所示.

表 2 整车主要参数

Tab. 2 Main vehicle parameters

项目名称	参数
总质量/kg	1 700
总长×总宽×总高/mm	2 780×1 795×1 424
前轴轴载质比	0.51
轴距/mm	2.6
质心高度/mm	0.6
空气阻力系数	0.35
迎风面积/m ²	2.1
主减速比	4.38

2 动力系统主要参数匹配计算^[3]

2.1 整车功率匹配

动力系统整车总功率必须满足整车性能目标对功率的需求,整车需求功率包括克服滚动阻力、坡道阻力、风阻、加速阻力造成的稳态功率或瞬态功率,汽车功率平衡方程式如下:

$$P_t \geq P_{\max} = \frac{v_a}{3\,600\eta_t} (mgf_r + mgi + \frac{C_d A v_a^2}{21.5} + \delta m \frac{dv}{dt}). \quad (1)$$

式中: P_t 为动力源总功率; P_{\max} 为整车需求功率; v_a 为行驶速度; η_t 为传动系效率; m 为整车总质量; f_r 为滚动阻力系数; i 为道路坡度; A 为迎风面积; C_d

为风阻系数; δ 为旋转质量换算系数; dv/dt 为行驶加速度.

2.2 发动机功率匹配

动力系统结构中不存在变速器,爬坡过程对应的车辆速度低,爬坡过程对应的需求功率不能作为设计发动机功率的依据.这里采用较高经济巡航速度 v_c 行驶时的需求功率 P_c 作为发动机功率初步匹配依据.

$$P_c \geq \frac{v_c}{3\,600\eta_t} (mgf_r + \frac{C_d A v_c^2}{21.5}). \quad (2)$$

2.3 ISG 电机功率匹配

ISG 电机的主要作用是快速启停发动机以及对电池 SOC 值进行平衡.根据发动机启停要求,可初步计算出 ISG 电机最大驱动转矩,发电机的峰值功率 $P_{g\max}$ 计算公式为

$$P_{g\max} \geq T_{g\max} \times \omega_{gb} / 9\,549. \quad (3)$$

式中: $T_{g\max}$ 为发电机的最大驱动转矩,N·m; ω_{gb} 为发电机基速,r/min.

2.4 电动机功率匹配

电动机应能够满足车辆坡道起步的要求,按此计算电动机峰值功率应该满足最大爬坡度要求的功率.

$$P_{m\max} \geq \frac{v_i}{3\,600\eta_t} (mgf\cos\alpha_{\max} + mgs\sin\alpha_{\max} + \frac{C_d A v_i^2}{21.5}). \quad (4)$$

2.5 电池功率匹配

电池的功率应该同时满足电动机驱动需求功率和发电机启动发动机的需求功率之和,所以超级电容的功率应该大于发电机和电动机的额定功率之和,考虑到转换效率 $\eta_e = 0.9$,所以, $p_c \geq (p_m + p_g) / \eta_t$.式中: p_m 为电动机的额定效率; p_g 为发

电机的额定效率. 通过上述初步计算,参照市场产品,确定动力部件主要参数,如表 3 所示.

表 3 汽车主要部件参数
Tab.3 Parameters of main components of vehicle

部件	参数名称	数值
发动机	最大功率/kW	67
	最大扭矩/(N·m)	137
ISG 电机	额定功率/kW	16
	最大扭矩/(N·m)	95
电动机	额定功率/kW	25
	最大扭矩/(N·m)	305
电池	电池容量/(A·h)	6.5
	标称电压/V	450

3 仿真模型的建立

3.1 仿真软件及建模思路

Advisor 软件是一款以 Matlab/Simulink 为平台的汽车仿真软件^[5],采用后向为主、前向为辅的

联合仿真方法,用户可利用其内部完全开放的代码以及通用子模块搭建所需的汽车仿真模型^[6].

仿真对象主要包括:发动机模块、ISG 电机模块、离合器模块、电动机模块、主加速器模块、电池模块、车轮模块. 首先按照实际功率流反向路径,建立后向仿真顶层 Simulink 框图,这里需要在发动机和 ISG 电机之间及离合器和电动机之间虚拟两个功率分配模块,如图 1 所示. 接着添加模块之间的信息反馈,建立前向仿真路径,完成整个动力系统的顶 Simulink 框图. 然后,在软件中完成整车顶层模型,如图 2 所示.

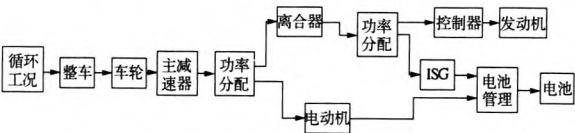


图 1 后向仿真路径的顶层 Simulink 框图
Fig.1 Top simulink block diagram of backward simulation path

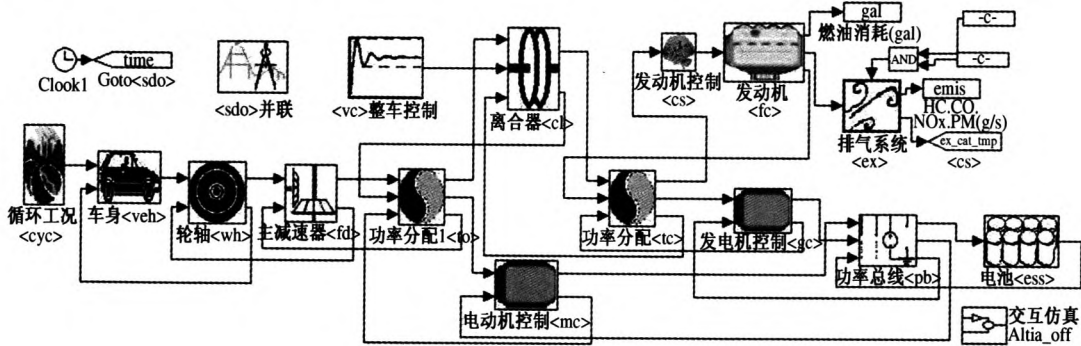


图 2 整车顶层模型
Fig.2 Vehicle top model

3.2 软件二次开发

在车系 PARALLEL_SA 基础上进行更改完成 SPHEV 车系的二次开发,为保证模型在软件中正常运行需要如下开发步骤^[7]:

(1)创建车系模型 BD_SPHEV.mdl,如图 2 所示.这里需要先将开发的 ISG 电机模型、虚拟的功率分配模型、整车控制策略模型、发动机控制策略模型保存到相应的模型库中,再添加对应的工作路径进行调用;另外,两个虚拟的功率分配装置的内部参数命名要有区分,防止程序调用冲突.

(2)创建新车辆文件 SPHEV_in. 点击软件界面上“load File”按钮,打开 PARALLEL_SA_defaults_in.m 修改:

```
vinf.name = 'SPHEV_in';  
vinf.drivetrain.name = 'SPHEV';  
vinf.powertrain_control.name = 'PTC_PAR_
```

```
SPHEV';  
  
vinf.powertrain_control.ver = 'par';  
vinf.powertrain_control.type = 'man';  
添加:  
vinf.generator.name = 'GC_SPHEV';  
vinf.generator.ver = 'reg';  
vinf.generator.type = 'reg';  
另存为 SPHEV_in.m.  
(3)加载新车系 SPHEV,以便 ADVISOR 软件能够识别.使用命令:  
options.drivetrain = optionlist('add','drivetrain',SPHEV').  
(4)修改\gui\InputFigControl.m,屏蔽不需要的部件.在 switch vinf.drivetrain.name 程序段添加:  
case 'SPHEV'  
fields2remove = {};
```

(5)修改文件\gui\block_diagram_name.m,添加新车系 SPHEV. 添加程序:

```
case 'SPHEV'  
    bd_name = 'BD_SPHEV';
```

(6)修改文件\gui\gui_image.m 及 ImageInfo.m,添加新车系的图片文件及图形的信息

(7)修改文件\data\transmission\TC_DUM-MY.m,重新定义扭矩合成模块输入比例常数,如下:

```
tc_mc_to_fc_ratio = 0.99 * max(gc_map_spd * gc_spd_scale) / max(fc_map_spd * fc_spd_scale);  
tc1_mc_to_fc_ratio = 0.99 * max(mc_map_spd * mc_spd_scale) / max(fc_map_spd * fc_spd_scale);
```

4 仿真结果与分析

选定 CYC_UDDS 循环工况进行仿真^[8],车辆动力性能和燃油经济性仿真结果如表 4 所示,可以看出仿真车型整车性能满足设计目标要求. 仿真循环工况车速和电池变化过程分别如图 3,4 所示. 由图可知,仿真车速能够满足道路循环工况的要求;电源能够根据动力系统的运行模式进行充放电. 动力部件实际输出扭矩如图 5 所示. 当 ISG 电机扭矩为正值时,发动机扭矩为负值,ISG 电机快速启动发动机;当车辆加速时,发动机和电动机均正值且急速增大,发动机和电动机共同提供车辆所需功率;当车辆制动时电动机扭矩为负值,回收制动能量. 与车辆的控制策略吻合,表明动力系统可行,仿真平台适用.

表 4 车辆性能指标仿真结果
Tab.4 Simulation result

性能指标	结果
最高车速/(km·h ⁻¹)	149.1
最大加速度/(m ² ·s ⁻¹)	2.4
最大爬坡度/%	36.7
0~25 km/h 加速时间/s	3.2
0~50 km/h 加速时间/s	8.1
0~100km/h 加速时间/s	22.9
燃油经济性/(L·(100 km) ⁻¹)	6.7

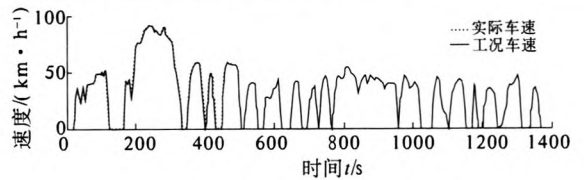


图 3 车辆循环工况

Tab.3 Vehicle driving cycles

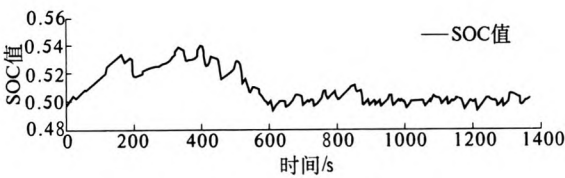


图 4 电池 SOC 值

Tab.4 SOC value of battery

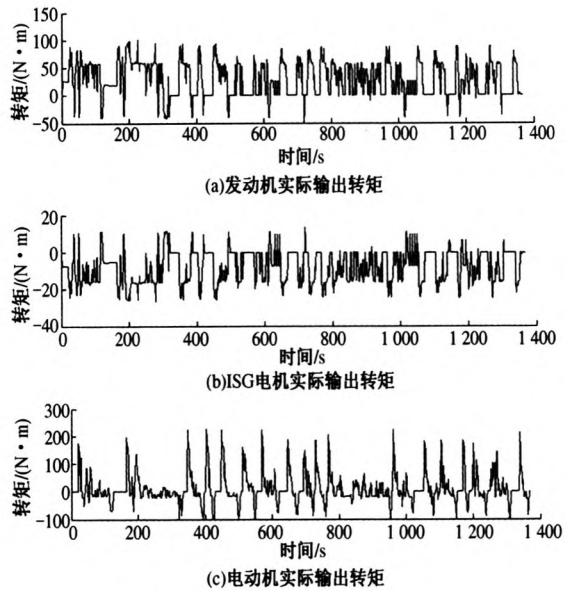


图 5 动力部件实际输出扭矩

Fig.5 Motor actual output torque

5 结论

笔者对同轴式混联混合动力汽车动力系统结构及其控制策略进行了详细分析,对 Advisor 软件进行了二次开发,并给出详细的二次开发步骤,建立了该动力结构的仿真平台. 仿真结果表明,车辆动力性能和燃油经济性能满足设计目标要求,验证了动力系统的可行性及仿真平台的适用性,对实车的开发提供了技术支持,为缩短车辆的研发周期提供一种有效可靠的方法.

参考文献:

[1] 骆元. 国内外混合动力客车动力总成方案比较研究[J]. 客车技术与研究, 2010(1): 13-16.
[2] 蒋黎明,代幼文. 新能源客车混合动力系统模式探讨[J]. 商用汽车, 2011(9): 100-104.
[3] 巴特. 混联混合动力客车的参数匹配与控制策略研究[D]. 长春:吉林大学汽车工程学院, 2012.
[4] 王家明,郭晋晟. 新型混联式混合动力客车动力系统分析[J]. 汽车技术, 2008(9): 1-4.
[5] 刘磊,刚宪约. 汽车仿真软件 ADVISOR[J]. 农业装备与车辆工程, 2007(2): 40-43.

- [6] 曾小华, 王庆年. 正向仿真模型与反向软件 ADVISOR 的集成开发[J]. 汽车工程, 2007, 29(10): 851-854.
- [7] 曾小华, 王庆年. 基于 ADVISOR2002 混合动力汽车控制策略模块开发[J]. 汽车工程, 2004, 26(4): 394-396.
- [8] 张翔, 赵韩. 混合动力轿车的建模与仿真[J]. 计算机仿真, 2005, 22(1): 233-23.

Powertrain Simulation for Coaxial Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle Based on Advisor

QIN Dong-chen, PEI Dong-jie, CHEN Jiang-yi, LIU Zhu-li

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Using the coaxial series-parallel hybrid electric vehicle as the object and on the basis of the power train structure analysis, the operating mode and control strategy are introduced. The basic parameters of power components are calculated and the power train simulation system is established based on the secondary development of Advisor. Then the simulation of the vehicle dynamic performance and fuel economy are completed under the selected urban cycle condition. The result analysis of SOC value change and power unit torque relations verifies the feasibility of the power train and the accuracy of the simulation system, and provides the technical support for the coaxial series-parallel hybrid electric vehicle development.

Key words: hybrid electric vehicle; coaxial; series-parallel; simulation; advisor

(上接第 93 页)

Study of Performance Levels of Concrete Block Walls with Tie Columns and Core Columns Based on Performance-Based Seismic Design

LIU Wei¹, WANG Yu², XU Peng², LI Yu³

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Synthetically Design and Research Academy Co. Ltd., Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 3. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: For the implementation of performance based seismic design of block structures with tie columns and core columns, and according to the seismic performance of the experimental and numerical results, four performance (Sufficient operation, Damage operation, Life safety, Near collapse) are divided quantitatively with three displacement angles, i. e. 1/2 049, 1/323, 1/191. The results of this research provide help for structure design and the macroscopic decision on damage degree of concrete block walls after earthquake, promote the multi-performance levels seismic design, and have vast importance to the concrete block structures of the performance-based seismic design.

Key words: wall with tie columns and core columns; seismic performance level; displacement angle; guarantee rate