

上汽荣威 550 插电式混合动力系统的特点

冷宏祥, 葛海龙, 孙俊, 许政, 王磊, 王健, 罗思东, 栾云飞

上汽捷能汽车技术有限公司, 上海 201804

摘要 上汽捷能汽车技术有限公司承担了上汽荣威 550 插电式混合动力系统的研发工作。该车自 2014 年初上市以来, 以良好的性能, 可靠的质量得到市场的认可。本文以车辆性能为切入点, 重点对比了荣威 550 插电式混合动力系统的核心部件—电驱变速箱(EDU)和丰田 Prius 三代的混合动力系统(toyota hybrid system, THS), 从原理和仿真分析两方面分析了荣威 550 插电式混合动力系统的效率等性能。

关键词 插电式混合动力; 电驱变速箱; THS

自从上汽荣威 550 插电式混合动力轿车上市以来, 产量不断攀升, 目前已经达到每月 1500 辆左右, 但仍处于供不应求的状态。对于混合动力系统, 最大的技术难点之一是动力耦合机构。荣威 550 插电式混合动力系统的成功研发和上市, 标志着中国自主品牌新能源动力系统打破了以丰田 THS 系统, 通用 Voltec 系统为代表的行星齿轮动力分流(power split)机构, 和以德系 P2 机构为代表的国际汽车巨头在新能源动力系统方面的垄断, 并初步形成了以系列化专利为支撑的技术优势。该系统将应用到上汽多款插电式混合动力车型中, 包括荣威 950 轿车、荣威小型 SUV、下一代荣威 550 轿车等, 是上汽自主品牌“绿芯”战略的主要组成部分。

1 荣威 550 插电式混合动力电驱变速箱(EDU)

1.1 EDU 技术方案

荣威 550 插电式混合动力所用的 EDU 系统是一套双电机、双离合、双速比的电驱动自动变速箱。EDU 集成了主驱动电机(traction motor, TM)、与发动机直连的 ISG 电机、离合器系统、换挡系统、液压驱动系统、齿轮传动系统和高低压安全部件等。EDU 通过高度集成的设计方案, 实现了轴向总长 390 mm, 可匹配上汽多款三缸、四缸发动机, 应用到 A、A+、B、B+ 等多个整车平台。EDU 通过离合器开合、同步器挡位、发动机及电机的各种工况控制, 可实现纯电动、串联、并联混合驱动、行进间充电、倒车和怠速充电等多种动力模式。EDU 的结构原理如图 1 所示。

发动机侧设计常开离合器、TM 电机侧设计常闭离合器, 可实现发动机、TM 电机和 ISG 电机三个动力输出的任意组

合, 及消除拖拽损失, 大大提高了插电式混合动力系统的驱动效率。

图 2 显示了 EDU 的内部结构。EDU 液压系统也由上汽捷能公司自主开发。EDU 的结构需要液压系统精确控制两个离合器的开闭与同步器的拨叉位置。上汽插电式混合动力系统开发团队基于量产的电磁阀、单向阀、储能器和位置传感器等零部件资源, 集成开发了控制 2 个离合器和 1 个同步器拨叉的 5 个电磁阀的液压系统, 并掌握液压控制的核心技术。

图 3 显示了 EDU 的整体外观。EDU 的控制技术是上汽通过 EDU 项目掌握的又一项核心能力。EDU 的换挡结构类似于传统车的 AMT 变速箱。换挡动力中断问题限制了 AMT 变速箱向中高端车型发展。EDU 采用同级别位置传感器等控制硬件资源, 使用电机辅助的多动力源转速级联控制算法,

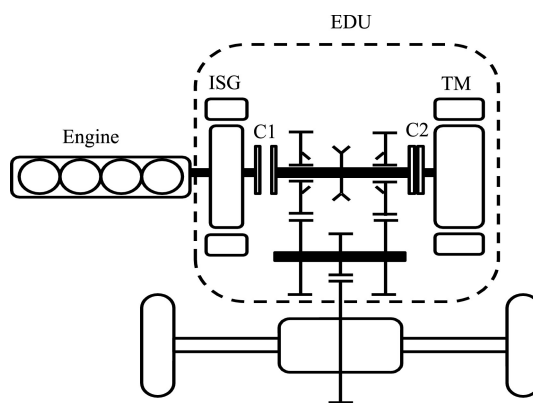


图 1 EDU 结构原理示意

收稿日期: 2016-02-03; 修回日期: 2016-02-27

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2008AA11A144)

作者简介: 冷宏祥, 高级工程师, 研究方向为汽车电控, 电子信箱: lenghongxiang@saicmotor.com

引用格式: 冷宏祥, 葛海龙, 孙俊, 等. 上汽荣威 550 插电式混合动力系统的特点[J]. 科技导报, 2016, 34(6): 90-97; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.06.010

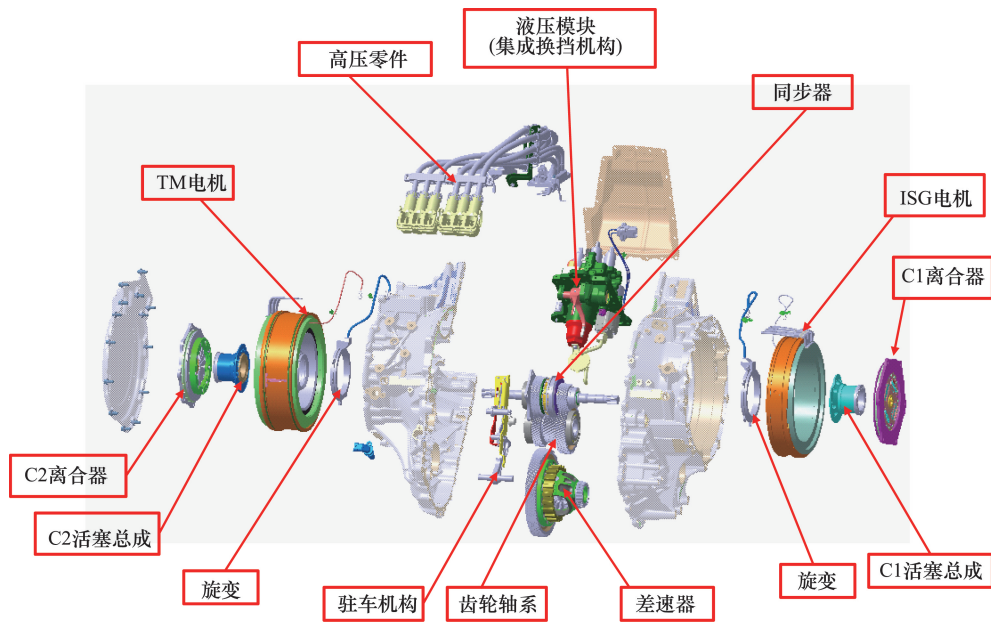


图2 EDU 结构集成设计



图3 EDU 整体外观

控制动力源转速快速准确地匹配至根据工况动态选择的转速控制目标,以实现速比切换中的快速准确的动力源速度匹配;通过多阶段多方式的自适应同步器控制,离合器动态滑移率控制以及半闭环多动力源协调扭矩控制,实现所有混合动力模式下快速、安静、平稳的挡位切换。其中,离合器真实 Kiss Point 点和同步环准确位置是平顺控制的关键因素,探测精度自学习程序,EDU 控制不仅能探测 Kiss Point 点 $\pm 5 \text{ N}\cdot\text{m}$ 变化、同步器同步点 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 的位置变化,而且能够自动消除磨损误差,使 EDU 以 AMT 换挡机构实现接近 DCT、AT 的驾驶感受。

同时,EDU 系统结构相对简单,齿轮少,变速箱油仅需 2.2 L,因此传动损失小,系统传动效率可以高达 96% 以上。

1.2 荣威 550 插电式混合动力系统介绍

荣威 550 插电式混合动力系统以 EDU 为核心,配以传统汽油发动机、集成式电力电子箱 (Power Electronic Box, PEB)、能量/功率平衡型纳米磷酸铁锂电池 (总能量 11.8 kW·h),是国际领先的串并联式插电强混方案,同时具备外接充电功能。

PEB 外观如图 4 所示。PEB 有效集成双电机控制器、双逆变器及一个 DC/DC 变换器。整个电机系统具有优秀的 NVH 性能,并具有高度集成化的优点,电机峰值功率密度达到 2 kW/kg,5 倍调速范围,转矩谐波 $\leq 1\%$,具有高压绝缘在线监测功能、高压连接监测功能,同时具有先进的 IP67 防尘防水等级。

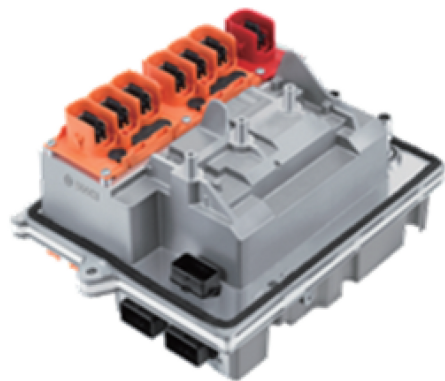


图4 电力电子箱 (PEB)

储能系统(energy storage system, ESS)通过了严格的滥用性能测试,获得了国际UL2580安全认证。电池系统外形如图5所示。动力电池系统具备了以下特点:高压互锁;过压、三重过流保护;器件耐高压2500 V,绝缘电阻值大于10 MΩ;并且具备系统绝缘阻抗动态随检功能,整体防护等级达到IP67防尘防水等级。电池管理系统的均衡电路设计具备了充电均衡和静置(非充电状态下)主动唤醒均衡功能,均衡电流可达300 mA。

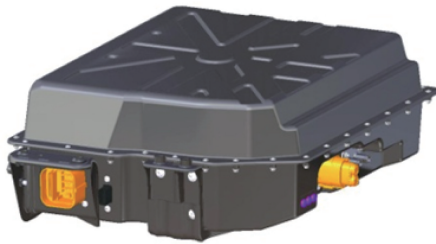


图5 动力电池系统

EDU、电池系统、PEB、充电器、高压线束等高压零部件加上发动机构成了混合动力系统的主要硬件。该系统的混合动力控制器HCU功能和变速箱控制器TCU功能合并在一个控制器当中,有效地降低了成本、减轻了重量、并节约了布置空间。HCU/TCU、BMS、MCU等控制器的应用层软件和底层软件,构成混合动力系统的软件系统。其中,HCU是整个电控系统的“大脑”,指挥其他控制器及相应被控对象在各种路况和使用环境下,满足驾驶员的驾驶需求,并维持整个动力系统和各零部件在高效、安全、平稳的状态下运行。发动机和两个电机的多种组合给出适合不同工况下的运行模式。上汽捷能公司掌握该系统完整的“电控”核心技术,包括HCU和TCU的控制策略和标定在内的软件技术。图6显示了各种运行模式及各模式下的动力源状态和能量流。

1.3 荣威550插电式混动轿车整车性能

采用上述混动系统的荣威550插电式混动轿车,在NEDC循环法规能耗试验中取得表1所示结果。

工况/模式	纯电模式	串联模式	并联模式	制动能量回收	行车充电	怠速充电
示意图						
触发条件	电池电量许可且车辆对扭矩需求适中的情况	电池电量较低,扭矩需求低时	当有较大的扭矩需求时	滑行制动和踏板制动中	行车中,电池电量值低于规定值	车辆静止状态,电池电量值低于规定值
工作状态	发动机不工作, ISG电机不工作, TM电机工作	发动机工作, ISG电机工作(充电), TM电机工作(驱动)	发动机工作, ISG电机工作, TM电机工作	并联时ISG电机, TM电机工作; 纯电动模式下, 仅TM电机工作	发动机工作, ISG电机工作(充电)TM电机工或不工作	发动机工作, ISG电机工作(充电)TM电机不工作
能量流动	电池供电给TM电机, TM电机再驱动车轮	发动机对动力电池充电, TM电机驱动车轮	ISG电机发电TM电机驱动车轮	制动力矩经过 ISG电机或TM电机给蓄电池充电	发动机对动力电池充电, 同时和TM电机一起驱动车辆	发动机只对动力电池充电

图6 荣威550插电式混合动力系统运行模式

表1 荣威550插电式混合动力轿车NEDC循环能耗试验结果

纯电续驶里程/km	条件A		条件B		综合油耗/(0.01 L·km ⁻¹)	综合电耗/(0.01kW·h·km ⁻¹)
	油耗/(0.01 L·km ⁻¹)	电耗/(0.01kW·h·km ⁻¹)	油耗/(0.01 L·km ⁻¹) (电量平衡)	电耗/(0.01 kW·h·km ⁻¹)		
60	0	18	5.6	0	1.6	12.6

由表1可见,荣威550插电式混动轿车的综合油耗达到行业领先的1.6 L/100 km,纯电续驶里程达到60 km。条件B下电耗为0,即试验前后电池电量是平衡的,油耗达到5.6 L/100 km,与传统动力的荣威550轿车(油耗8.0 L/100 km)相比,节油率达到30%。需要指出的是,此处条件B下5.6 L/100 km油耗值是在电池SOC前后平衡的情况下得出的,目

的是与Prius三代HEV的油耗进行公平的比较(都在电池前后电量平衡的情况下)。2015款荣威550插电式混动轿车的官方公告中,条件B下油耗为5.4 L/100 km,但电池略有放电,降低了油耗。如将耗电量折算为油耗,则条件B下电量完全平衡的油耗为5.6 L/100 km。

荣威550插电式混动轿车主要参数见表2。

表2 荣威550 插电式混合动力轿车主要参数

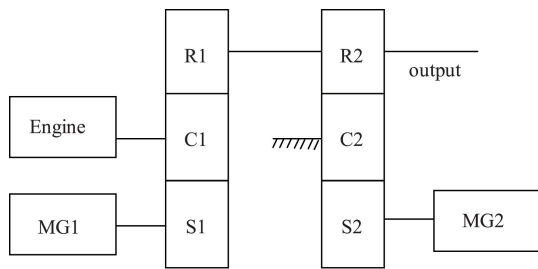
整备质量/kg	发动机 型号	发动机		电机		综合最大 功率 /kW	综合最大 扭矩 /(N·m)	动力电 池容量 /(A·h)	满电慢 充耗时 /h
		最大功率 /kW@r·m ⁻¹	最大扭矩 /(N·m@r·m ⁻¹)	峰值功率 /kW@r·m ⁻¹	峰值扭矩 /(N·m)				
4.8	1.5L VTi-Tech 高效能发动机	80@6000	135@4500	23@6000 (ISG)	147(ISG)	147	587	11.8	4~6
				44@7000 (TM)	317(TM)				

车辆的最高车速达到 200 km/h, 0~100 km/h 加速时间 9.5 s, 60 km/h 等速纯电续航里程为 88 km, 综合工况油电综合续航里程为 500 km, 混动模式最大爬坡度为 30%。

荣威 550 插电式混合动力系统在混合动力关键技术领域获得授权专利 40 项, 其中发明专利 13 项, 包括 PCT 美国发明专利授权。另有 67 项专利在受理中。部分重点专利详情可以查看文献[1]~[10]。

2 荣威 550 插电式混合动力车与丰田 Prius 三代性能对比分析

丰田 Prius 混合动力汽车因革命性地降低了车辆的燃油消耗和尾气排放, 1997 年 10 月第一代上市以来, 已成为全球市场化最为成功的混合动力车型。截至 2014 年末, 丰田公司在全球销售的混合动力汽车已超过 700 万辆。第三代 Prius 混合动力汽车于 2009 年上市, 其混合动力系统 Toyota Hybrid System (THS) 如图 7 所示。Prius 三代混合动力系统采用发动机与双电机 (MG1、MG2) 3 个动力源, 并通过双行星齿轮耦合构成电控无极变速器, 可根据车辆行驶的不同工况实



R—外齿圈; C—行星架; S—太阳轮

图7 丰田 Prius 三代混合动力汽车动力系统结构示意图

现发动机转速和转矩的双自由度调节, 满足各种驾驶需求。

2.1 性能对比: 荣威 550 插电式混合动力轿车与丰田 Prius 三代

混合动力汽车的能量经济性能和动力性能是评价混合动力系统架构、主要零部件性能及能量管理控制策略和标定优劣的主要指标。荣威 550 插电式混合动力轿车采用 1.5 L 自然吸气发动机、ISG 电机和驱动电机 (TM) 为动力源, 与 Prius 类似, 也是 3 个动力源。

对于插电式混合动力车, 为了有效地比较不同动力系统的经济性, 必须将电量消耗 (charge depleting, CD) 模式和电量保持 (charge sustaining, CS) 模式加以区别。因为本文讨论的重点是上汽 EDU 系统和丰田 THS 系统的效率问题, 所以和电池电量关系较小的电量保持 (CS) 模式是分析的重点, 这样可以把电池能量的差异排除在外。CS 模式的基本特征是电池电量在某个 SOC 平衡点附近做窄幅波动, 即从整个测试循环看, 电池的能量基本不参与驱动车辆和向用电器的供电。

荣威 550 插电式混合动力轿车与丰田 Prius 三代车辆的主要性能参数如表 3 所示。从表 3 可以看出, 荣威 550 插电式混动轿车的百公里加速时间短于丰田 Prius 三代 HEV, 而其 NEDC 工况燃油消耗量高于丰田 Prius 三代。由于 Prius 三代采用铝合金和高密度钢材料等车身轻量化技术, 其整备质量较荣威 550 插电式混动轿车低 314 kg; 且其空气阻力系数为 0.25, 仅为荣威 550 插电式混动轿车空气阻力系数的 74%; 同时, Prius 三代采用的 1.8L Atkinson 循环发动机的最小燃油消耗率低至 220 g/(kW·h)^[11], 仅为荣威 550 插电式混动轿车所用发动机最小燃油消耗率 (250 g/(kW·h)) 的 88%。另外, Prius 系列混动车采用了串联式的能量回收系统, 即在车辆制动时, 首先采用电机制动, 电机制动不足部分由机械制动补

表3 荣威 550 插电式混合动力轿车与丰田 Prius 三代主要参数和性能对比

车型	整备质量/kg	空气阻力系数	迎风面积/m ²	发动机峰值功率/kW	大电机峰值功率/kW	小电机峰值功率/kW	制动能量回收系统	NEDC 工况油耗/(0.01 L/km ³)(CS, 即电量平衡模式)	0~100 km/h 加速时间/s
荣威 550 插电式混动轿车	1699	0.34	2.33	80(1.5 L 自然吸气)	44 (TM)	24 (ISG)	普通 ABS	5.6	9.5
丰田 Prius 三代 ^[11,12]	1385	0.25	2.304	73 (1.8 L Atkinson)	60 (MG2)	42 (MG1)	串联式	4.3	10.5

足,这样可以尽量多地将车辆动能通过电机转化为电能。而荣威550插电式混动轿车没有配备串联式制动能量回收系统,当驾驶员踩下制动踏板时,电机制动和机械制动同时进行,能量回收效果不及串联式制动能量回收系统。

2.2 仿真分析的方法

由于荣威550插电式混动轿车与丰田Prius三代在车辆的整备质量、风阻系数、发动机效率、制动能量回收系统等方面的较大差异,表3所示的荣威550插电混动轿车与丰田Prius三代的燃油经济性能和动力性能不能直接反映EDU系统和THS的效率及动力输出特性。为了实现公平的比较,在设定荣威550插电混动轿车采用丰田Prius三代的车辆参数(整备质量、迎风面积、风阻系数、制动系统)及发动机的条件下,通过软件仿真计算车辆的经济性能和动力性能,用以客观比较和分析EDU系统与THS系统。

2.2.1 仿真模型建立

以Matlab/Simulink软件为平台,仿真分析小组建立了荣威550插电式混动轿车的整车和动力系统模型以及整车能量管理策略模型。仿真模型的结果与实车转毂实验结果进行详细的对标分析与修正。在仿真模型中,车辆的循环工况、输入参数、边界条件与实车转毂实验一致,其仿真结果分别如图8和表4所示。

从图8可以看出,当荣威550插电式混动轿车处于NEDC工况中的ECE工况段(0~780s)时,由于行驶速度较低,车辆较多以纯电动模式行驶,因为此时功率需求较低,如发动机参与驱动,效率不高。当电池能量消耗过大而使SOC低于某预设值时,发动机自动启动,车辆以串联模式行驶,满足驱动和充电的需求。此时不采用并联模式的另一个好处是可以避免低速运行时可能带来的NVH问题。而当荣威550插电式混动轿车处于NEDC工况中的EUDC工况段(780~1180s)时,由于车速对应的发动机转速和负荷处于经济区,车辆驱动力主要由发动机提供;为弥补ECE工况下较多纯电行驶时电池电量的损失,此时可以在车辆行进中充电。行进中充电可以适当提高发动机负荷,使发动机在靠近效率最高的区域运行。通过适当的行进间充电和能量回收,可以维持NEDC

循环起始和终止时电池SOC的平衡,即实现CS模式。从表4可以看出,基于建立的仿真模型,车辆的NEDC工况油耗与0~100 km/h加速时间的仿真结果与实验结果的偏差很小,从而验证了车辆仿真模型的有效性。

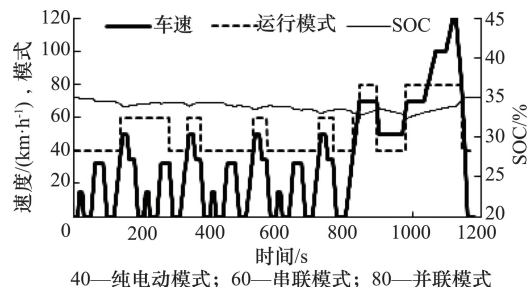


图8 荣威550插电混动轿车在NEDC工况下的车速、SOC及运行模式曲线

表4 荣威550插电式混动轿车动力性能及经济性能的仿真与实验结果对比

结果	NEDC条件B工况油耗 /(0.01 L·km ⁻¹)(电量平衡)	0~100 km/h 加速时间/s
仿真结果	5.7	9.5
实验结果	5.6	9.5

2.2.2 荣威550插电式混动轿车采用Prius三代发动机和整车参数与丰田Prius三代对比

基于荣威550插电式混动轿车模型,逐步将整备质量、迎风面积/风阻系数、制动系统及发动机参数设置为丰田Prius三代的相应参数,并分别对车辆参数改变后的燃油消耗量进行仿真计算。由于缺少完整的丰田Prius三代1.8 L Atkinson循环发动机BSFC数据,在仿真过程中假设荣威550插电式混动轿车所用1.5 L发动机的最小燃油消耗率与丰田Prius三代发动机相同,对BSFC map进行等比例调整,然后进行仿真。荣威550插电式混动轿车的油耗随整车参数的变化趋势如表5所示。

表5 荣威550插电式混动轿车油耗随整车参数变化趋势

结果	车辆参数改变项	荣威550插电式混动油耗 (参数变化后的油耗变化量)	丰田Prius 三代油耗
	原车参数	5.6	
	↓	↓	
	整备质量 1385 kg	4.78(-0.82)	
	↓	↓	
NEDC工况油耗/(0.01 L·km ⁻¹)	迎风面积 2.304/风阻系数 0.25	4.30(-0.48)	4.3
	↓	↓	
(电量平衡)	串联式能量回收	4.04(-0.26)	
	↓	↓	
	BSFC 最高效点 220 g/(kW·h)	3.7(-0.34)	
	最终油耗	3.7	

表5中的最终油耗即为荣威550插电式混动轿车采用丰田Prius三代的车辆参数(整备质量、迎风面积、风阻系数、制动系统)及发动机的条件下的油耗。其他仿真结果如图9和图10所示。

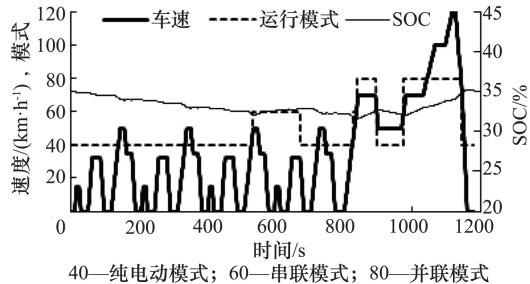


图9 荣威550 插电式混动轿车采用Prius三代发动机和整车参数在NEDC工况下的车速、SOC及运行模式

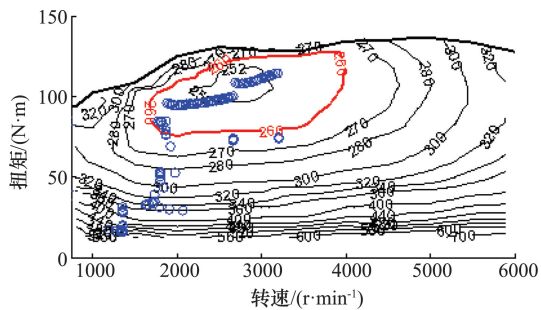


图10 荣威550 插电式混动轿车采用Prius三代整车参数在NEDC工况下发动机工作点分布

2.3 仿真结果分析

在荣威550插电式混动轿车采用Prius三代发动机和整车参数的性能仿真过程中,由于车辆的整备质量、风阻系数和迎风面积减小,因此车辆在相同测试工况下的驱动功率需求降低。通过对比图8和图9可以看出,采用了丰田Prius三代车辆参数时,由于车辆的驱动功率需求降低,减小了NEDC工况中ECE工况段的电能消耗,因此车辆以串联模式行驶的时间减少。由于在串联模式下发动机能量经过机械能到电能,再由电能到机械能的转换,发动机输出能量的利用率低,所以在电池SOC下降幅度可以接受的情况下,减少车辆以串联模式行驶的时间有利于降低车辆的能耗。而在NEDC工况中的EUDC工况段,车辆仍较多以行进间充电模式行驶,发动机在高效区运行。发动机在NEDC工况下的工作点(蓝色圆圈表示)分布如图10所示。从图10可以看出,在NEDC工况下,EDU系统使发动机在BSFC油耗低于260 g/kW·h高效区(红色曲线包围的范围)工作的比例较高。从表5可以看出,采用丰田Prius三代车辆参数并假设发动机的最小燃油消耗率与丰田Prius三代发动机相同时,荣威550插电式混合动力轿车的经济性仿真结果明显优于丰田Prius三代,其燃油消耗量较丰田Prius三代HEV低14%((4.3-3.7)/4.3=14%)。

相比THS系统,EDU系统的优势来自于能量流动路径和动力耦合方式更高效。下面按照不同工况分别对两者的经济性和动力性进行理论分析。本文借鉴文献[13]中第三章对THS系统的杠杆分析,对比本文图6中EDU系统的运行模式和能量流分析,比较各种主要工况下EDU系统和THS系统的动力传递路径和能量效率。杠杆分析的方法,在文献[13]中有详细介绍,这里不再赘述。

图11中,空心箭头表示扭矩的方向和大小,扭矩大小与箭头的长度成正比。图11(a)(纯电驱动)和图11(d)(能量回收)模式中没有表示扭矩的箭头,因为这两种工况下行星齿轮机构中基本没有扭矩。图11(b)和图11(c)都是混联工况,区别在于车速,发动机转速和扭矩不同,造成太阳轮(S)(连接MG1)转向不同。

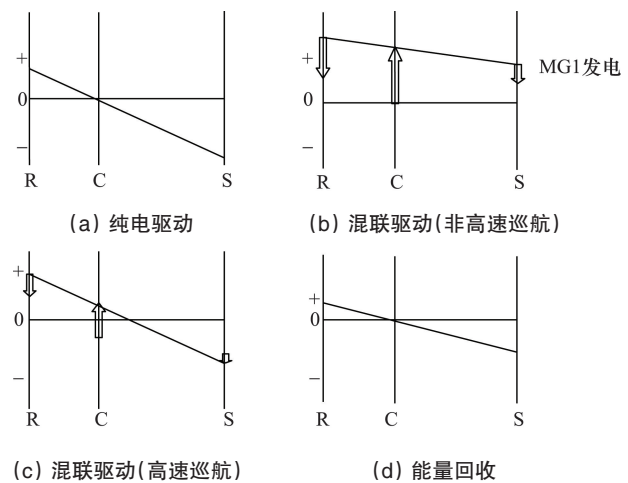


图11 THS系统各种工况下的杠杆

2.3.1 纯电动模式

从图6可以看出,在纯电动模式下,荣威550插电式混动轿车的TM电机可直接驱动车辆,而此时ISG电机端的离合器分离,发动机和ISG电机均无能量损耗;而从图7和图11(a)可以看出,丰田Prius三代在采用MG2电机驱动车辆的同时,与太阳轮(S)连接的MG1电机没有出扭矩,但有一定的转速(对应当时的车速),不可避免地产生了一定的电机空转的机械损耗和电磁损耗。

2.3.2 荣威550插电式混动系统发动机直接驱动模式对比THS混联模式

荣威550插电式混动轿车较多在发动机单独驱动,行进间发电,或并联模式行驶。由图6可知,此时发动机输出的机械动力可以直接通过机械路径驱动车辆,因此发动机输出能量的利用率很高。丰田Prius三代在很多工况下是以混联状态行驶,发动机输出的动力须经过行星齿轮和电驱动系统进行动力分流才能传递到车轮^[11,13],因此混联也称为动力分流(power split)。由图11(b)可知,MG1此时必须要发电(提供负扭矩),才能平衡行星齿轮机构。MG1所发出的电能,可以供给用电器,给电池充电,或提供给MG2参与驱动,但很多情

况下用电器不需要很多电能,电池电量较高并不需充电,所以经常出现必须用MG2参与驱动以消耗MG1电机发出的过多电能,这种现象从能量效率的角度讲,是不经济的能量循环:MG1吸收机械能→转化为电能→经MG2再转化为机械能以驱动车辆。这样的能量循环(power cycling)比荣威550插电式混动系统的发动机单独直接驱动,多出了两次能量转换的损失,这是表5中THS系统能耗高的主要原因。

2.3.3 能量回收模式

由图6可见,在能量回收模式下,荣威550插电式混动轿车的动能通过TM电机转化为电能,系统的能量转换效率高。由图11(d)可见,THS系统在采用MG2电机回收车辆动能时,MG1没有扭矩,但有一定转速(对应当时的车速),不可避免地产生了电机空转的机械损耗和电磁损耗。当然,Prius装备了串联式的能量回收系统,车辆制动优先由电机完成,总体回收能量效果好,但这是由复杂且昂贵的制动系统完成的,和THS系统没有关系。

2.3.4 全油门加速性能对比

在全油门加速时,EDU系统可将发动机、TM电机和ISG电机输出的动力直接耦合(并联),车辆由三个动力源同时驱动(三核驱动),加上电机扭矩相应很快,最大输入驱动扭矩可达587 N·m,在高速行驶中的超车性能卓越。而丰田Prius三代在全油门加速时,其发动机输出的一部分动力必须分流至MG1发电,从而影响了THS的动力输出,THS的最大输出功率为100 kW^[11],远远小于其发动机、MG1、MG2三个动力源功率之和。在车辆0~100 km/h加速过程中,EDU系统最大输出功率可达132 kW,动力性能明显好于THS系统。从表6可以看出,都采用丰田Prius三代车辆参数时,搭载荣威550插电式混合动力系统的车辆动力性能仿真结果明显优于丰田Prius三代混合轿车,其0~100 km/h加速时间较丰田Prius三代缩短25%。

表6 全油门动力性对比

混合动力系统	0~100 km/h 加速时间/s
荣威550插电式混动系统	7.9
丰田Prius三代混动系统	10.5

注:为便于比较,两款混合动力系统都采用Prius三代整车参数。

3 讨论

从2002年丰田Prius二代上市以来,THS动力系统在多款丰田车型上成功应用,是迄今最为成功的混合动力系统。其系统可靠性,无极变速的平顺性得到市场的一致认可。在动力性方面,由上述讨论,THS系统并不占优势。其经济性也并不算优秀:以Prius三代为例,其4.3 L/100 km NEDC循环较低油耗有相当部分是由整车轻量化、低风阻系数、高效的阿特金森循环发动机、串联式能量回收系统等带来的。本文的仿真分析给出:搭载EDU系统的荣威550插电式混动轿车,在电量平衡的情况下,如果车辆整备质量、风阻、发动机、

能量回收系统等与丰田Prius三代一致,其经济性和搭载THS系统的Prius三代相比,将有相当优势。

从市场的角度,在可以预见的一段时间内,以丰田THS系统为代表的行星齿轮动力分流(power split)系统仍将保持领先地位,但一批并联混动系统,包括德系P2系统,荣威550插电混动EDU系统,上汽第二代EDU系统等,正在快速崛起。

丰田THS系统还有一个明显的缺点,这里一并提出。在国际和国内举足轻重的插电式混合动力车(PHEV)市场,丰田公司所占的份额很小。这是有技术原因的:由图11(a)可知,在纯电行驶的工况下,发动机(连Carrier,C)静止,如果车速较高,则与太阳轮(S)相连的MG1转速会很高,不但空转能耗损失大,还会超速,无法持续。实际上,THS系统的结构决定了纯电行驶的车速很难超过80 km/h。目前中国国家法规要求NEDC循环中,插电式混合动力车必须满足纯电状态下完全跟随NEDC工况(最高车速120 km/h)。这就排除了丰田插电式Prius获得中国新能源车补贴的可能性。所以THS系统自身结构和性能的缺陷限制了丰田插电式混合动力车在中国的发展。在国际上,丰田插电式混合动力车(PHEV)的市场占有率也远远不及丰田非插电式混合动力车(HEV)。

4 结论

1) 建立了荣威550插电式混动轿车的整车和动力系统模型以及整车能量管理策略模型,并从原理和仿真分析两方面入手,通过仿真计算对比分析了荣威550插电式混动轿车的EDU系统与丰田THS系统的经济性能及动力性能差异。

2) 丰田THS系统在混联模式下发动机输出的动力须经过行星齿轮和电驱动系统进行功率分流才能传递到车轮,且在纯电动模式和能量制动回收模式下均存在电机空转的机械损耗和电磁损耗,因此导致系统的能量使用效率不高;而荣威550插电式混动轿车EDU系统的发动机输出的机械动力可以直接通过机械路径驱动车辆,且在纯电动和制动能量回收模式下无额外能量损失,因此系统的能量转换效率高。在相同的整车参数及使用相同发动机的情况下,荣威550插电式混合动力轿车的燃油消耗量较丰田Prius三代HEV低14%,其经济性能显著优于丰田Prius三代。

3) 丰田THS系统在车辆全油门加速时,其发动机输出的一部分动力必须分流至MG1发电,从而影响了THS的动力输出;而荣威550插电式混动轿车EDU系统可将发动机、TM电机和ISG电机输出的动力直接耦合,车辆可由三个动力源同时驱动。在相同的整车参数及使用相同发动机的情况下,荣威550插电式混合动力轿车的0~100 km/h加速时间较丰田Prius三代缩短25%,动力性能亦显著优于丰田Prius三代。

5 展望

2014年被很多人认为是中国新能源汽车的元年。进入2015年,中国新能源汽车的研发、生产、销售都达到前所未有的高度。从月度新能源汽车销售数据看,2015年中国会超过

美国成为全球第一大新能源汽车市场。特别值得指出的是,中国新能源汽车的销售,主要来自中国的自主品牌整车厂。很多自主品牌整车和零部件企业,在传统车市场竞争日益激烈的情况下,战略重点纷纷转向新能源汽车。上汽自主品牌今年发布了“蓝芯”和“绿芯”战略。其中“绿芯”战略就是打造高性能、高质量、高性价比的新能源动力系统,不断扩大上汽自主品牌在新能源汽车领域在技术、性能、质量、安全性、可靠性、成本等方面的综合优势。

图 12 是上汽自主品牌新能源乘用车(EV + PHEV + HEV)的销售规划。由图 12 可见,未来 5 年上汽新能源乘用车仍将以插电式混合动力车(PHEV)为主要产品。在 2018 年以后,纯电动车(EV)将占有一定比例。2019 年以后,非插电式混合动力车(HEV)也将占有一定比例,以应对政府对新能源汽车补贴退坡和完全退出的政策。

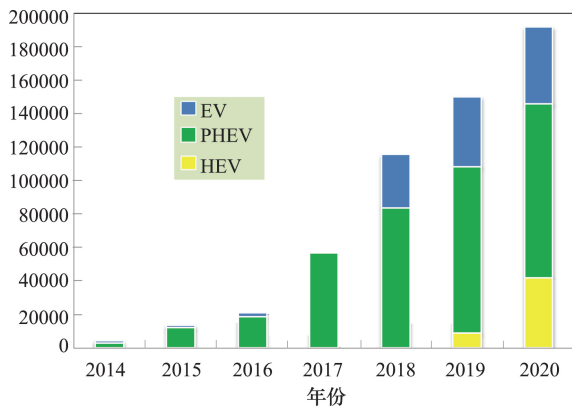


图 12 上汽自主品牌新能源乘用车的销量规划

由于各级政府对新能源汽车的多项支持政策,以及新能源汽车相关零部件技术不断完善、主机厂的系统及整车集成能力不断提高、各项成本不断下降、资本市场对该领域的大

力投入,新能源汽车的专业人员队伍的规模和能力不断提升,消费者的环保意识和对新能源车的认可度日益提高,相信新能源汽车的未来非常值得期待,并正在努力使上汽集团成为新能源汽车领域的领导者。

参考文献(References)

- [1] 朱军, 高卫民, 卢建钢. 一种车用串/并联双电机多离合器混合动力驱动单元: 中国, 200910053257.2[P]. 2010-12-22.
- [2] 陈虹, 陈志鑫, 高卫民. 一种车用离合器动力耦合同步器换挡混合动力驱动系统: 中国, 200910199960.4[P]. 2011-06-08.
- [3] 邵可峰, 朱军, 袁敏刚. 液压系统和包括其的混合动力车辆: 中国, 201010224814.5[P]. 2012-01-25.
- [4] 朱军, 葛海龙, 陈扬珑. 一种集成于电机转子支架内的常闭离合器和包括其的车辆: 中国, 201010232405.X[P]. 2012-02-01.
- [5] 朱军, 葛海龙, 陈扬珑. 一种集成于电机转子支架内的常开离合器和包括其的车辆: 中国, 201010232408.3[P]. 2012-02-01.
- [6] 葛海龙, 徐斌, 刘敏. 跨腔走线的壳体及形成壳体的模具: 中国, 201020559129.3[P]. 2011-05-04.
- [7] 周宇星, 朱军, 邓晓光. 基于能量优化的混合动力汽车发动机与电机扭矩分配方法: 中国, 201210526797.X[P]. 2014-06-18.
- [8] 周宇星, 朱军, 邓晓光. 混合动力汽车及其动力系统转矩控制方法: 中国, 201210526797.X[P]. 2014-09-10.
- [9] 周宇星, 朱军, 赵沂. 混合动力汽车换挡过程中多动力源的协调控制方法: 中国, 201310147083.2[P]. 2014-10-29.
- [10] 周宇星, 马成杰, 张鹏君. 一种混合动力汽车山路模式的控制方法: 中国, 201310416818.7[P]. 2015-03-25.
- [11] Takasaki A, Mizutani T, Kitagawa K, et al. Development of new hybrid transmission for 2009 Prius[C]//Proceedings of EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium. Stavanger, Norway: World Electric Vehicle Association, 2009: 249-255.
- [12] Liu J. Modeling, configuration and control optimization of power-split hybrid vehicles[D]. Detroit: University of Michigan, 2007.
- [13] 朱军. 新能源汽车动力系统控制原理及应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2013.

SAIC Roewe 550 plug-in hybrid electric system

LENG Hongxiang, GE Hailong, SUN Jun, XU Zheng, WANG Lei, WANG Jian, LUO Sidong, LUAN Yunfei

Shanghai E-Propulsion Auto Technology Co., Ltd., Shanghai 201804, China

Abstract RRoewe 550 plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) is designed and developed by Shanghai E-Propulsion Auto Technology Co., Ltd (SEAT). Since its debut in early 2014 the supply has always been inadequate to the blooming market demand, thanks to its excellent demonstrated performance and reliability. An indepth analysis of the electric drive unit (EDU), which is the core technology of Roewe 550 PHEV, is presented in terms of vehicle energy economy and dynamic performance. The benchmark by THS of Prius III is used in the theoretical analysis and simulation. The authors hope that this article can provide the reader with some insights into Roewe 550 PHEV.

Keywords plug-in hybrid powertrain; EDU; THS

(责任编辑 刘志远)