

# 混合动力汽车的动力系统

王文宾,李军,郭超,陈伟

(重庆交通大学机电与汽车工程学院,重庆400074)

**摘要:**从城市汽车节能减排的角度,以不同动力系统的低排量混合动力汽车为对象,用ADVISOR软件进行仿真分析,证明小排量的并联式混合动力汽车同时具备良好的动力性、经济性和排放特性。结合城市行驶工况特点,得出小排量并联混合动力汽车比串联混合动力汽车更适合城市汽车节能减排、环境保护要求的结论。

**关键词:**混合动力汽车;动力系统;排放;仿真分析

中图分类号:U469.7

文献标志码:A

文章编号:1674-0696(2011)02-0308-03

## Dynamic System of Hybrid Electric Vehicle (HEV)

WANG Wen-bin, LI Jun, GUO Chao, CHEN Wei

(School of Mechatronics and Automotive Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** Due to the need for vehicle energy saving and emission reduction in the city, the HEVs with low displacement and different dynamic systems were studied and simulated. The simulation and analysis results based on ADVISOR indicated that parallel HEV with low displacement could achieve outstanding dynamics, economy performance and emission property as well. According to the characters of the city-drive-mode, the parallel HEV with low displacement was much more suitable for automobile energy saving, emissions reduction and environment protection than that of the series HEV.

**Key words:** hybrid electric vehicle(HEV); dynamic system; emission; simulation and analysis

当前,汽车排放的污染物已经成为影响城市生活和空气质量的重要因素<sup>[1]</sup>。提高和改善环境质量,尤其是改善城市环境的压力迫切要求汽车节能减排技术不断提高。目前混合动力汽车(HEV)是解决传统汽车高油耗、高排放,纯电动车电池容量限制最有效的途径<sup>[2]</sup>。2009年哥本哈根世界气候大会之后,世界各大汽车制造商已经陆续在国际汽车展览会上推出了自己最新的HEV车型以及量产化时间表。介于低排量汽车在城市内行驶的节能环保优势,笔者以1.0L、1.5L低排量HEV为研究对象,运用ADVISOR软件建立汽车模型,通过对仿真结果进行对比分析,为低排量HEV动力传动系统优化选择提供依据。

## 1 HEV模型建立

采用ADVISOR软件分别对1.0L、1.5L的并联式混合动力汽车(PHEV)和串联式混合动力汽车(SHEV)进行建模<sup>[3-4]</sup>。除发动机不同外,其他组件结构参数和动力系统控制策略均相同。传动系主

减速比为3.21,各档传动比依次为3.46,1.75,1.10,0.86,0.71。HEV仿真模型如图1、图2,相应的不同排量HEV模型的参数如表1。

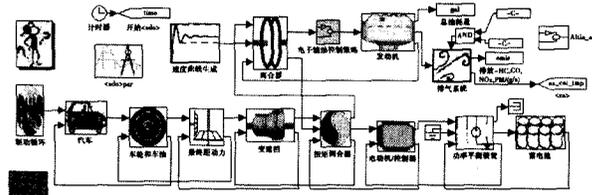


图1 PHEV的仿真模型

Fig. 1 Simulation model of PHEV

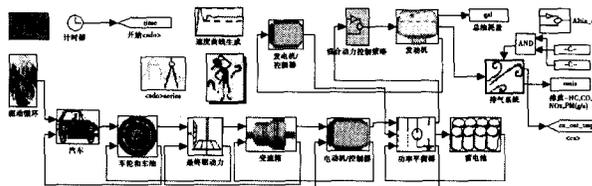


图2 SHEV的仿真模型

Fig. 2 Simulation model of the SHEV

收稿日期:2010-12-27;修订日期:2011-01-10

基金项目:重庆市教委自然科学基金项目(KJ090408);重庆市交通运输重点实验室基金项目(2008CQJY002);重庆市教委基金项目(0903070)

作者简介:王文宾(1985-),男,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事混合动力汽车节能减排和发动机燃烧与排放控制研究。E-mail: smileyan2002@163.com。

表 1 HEV 模型的参数

Tab. 1 Parameters of the HEV model

组件参数名称	1.0 L			1.5 L		
	PHEV	SHEV	SHEV - I	PHEV	SHEV	SHEV - I
发动机最大功率/kW	50(转速 5 700r/m)			56(转速 5 000r/m)		
发动机最大转矩/(N·m)	89.5(转速 4 800r/m)			115(转速 4 200r/m)		
电动机电机类型	永磁电动机	永磁电动机	电感式电动机	永磁电动机	永磁电动机	电感式电动机
电动机最大功率/kW	32	32	83	32	32	83
发电机电机类型	—	永磁发电机	永磁发电机	—	永磁发电机	永磁发电机
发电机最大功率/kW	—	63	63	—	63	63

注:电池类型为:铅酸电池(PB18);电池容量(A·h)为 16.5;电池荷电状态(SOC)为 0.7。

## 2 HEV 仿真与分析

### 2.1 仿真试验工况的选择

选择 EPA 制订的城市循环工况 UDDS (如图 3) 作为仿真试验工况, CYC - UDDS 工况具体数据见表 2。UDDS 很好地反映了车辆在路面状况良好的市内市郊道路频繁加减速和怠速行驶的过程<sup>[5]</sup>, 与实际情况非常接近。

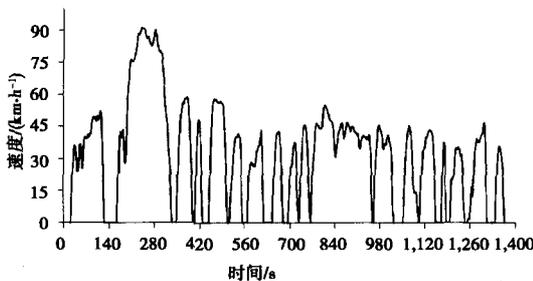


图 3 UDDS 试验工况速度曲线

Fig. 3 Velocity curve of UDDC test mode

### 2.2 HEV 动力性和经济性分析

汽车动力性指标主要有 3 方面<sup>[6]</sup>: ①汽车的最

表 2 CYC - UDDS 试验工况参数

Tab. 2 Parameters of the CYC - UDDC test conditions

工况参数	限定值	工况参数	限定值
测试时间/s	1 369	最大减速度/( $m \cdot s^{-2}$ )	-1.48
距离/km	11.99	平均加速度/( $m \cdot s^{-2}$ )	0.5
最大速度/( $km \cdot h^{-1}$ )	91.25	平均减速度/( $m \cdot s^{-2}$ )	-0.58
平均速度/( $km \cdot h^{-1}$ )	31.51	怠速时间/s	259
最大加速度/( $m \cdot s^{-2}$ )	1.48	停止次数	17
坡度/%	0	—	—

高车速; ②汽车加速时间; ③汽车最大爬坡度。汽车燃油经济性的主要指标是: 汽车行驶的百公里油耗。根据上述 HEV 模型参数和 UDDC 试验工况进行仿真分析, 结果见表 3。

由仿真结果可知: 1.0 L, 1.5 L SHEV 的最高车速只有 64.7 km/h, 最大加速度只有  $2.5 m/s^2$ , 而仿真中加速时间所对应的值为“??”, 则表示该参数无法获取, 说明原建立的 SHEV 模型存在不合理因素。针对原模型参数进行适当修正, 其改进后的参数见表 1 “SHEV - I”列所示; 改进后的仿真结果见表 3 中“SHEV - I”列。

表 3 HEV 主要仿真结果

Tab. 3 Main simulation results of HEV

指标名称	1.0 L 车型			1.5 L 车型		
	PHEV	SHEV	SHEV - I	PHEV	SHEV	SHEV - I
最高车速/( $km \cdot h^{-1}$ )	198.8	64.7	119.1	179.6	64.7	119.1
最大加速度/( $m \cdot s^{-2}$ )	4.3	2.5	4.9	4.5	2.6	4.9
0 ~ 45 km/h 加速时间/s	3.4	??	2.9	4	??	3
65 ~ 100 km/h 加速时间/s	5.9	??	5.5	7.5	??	5.7
(等效)百公里油耗量/L	3.6	5.4	5	4	6	5.8
排放/( $g \cdot km^{-1}$ )						
HC	0	0	0	0.814	0.767	0.701
CO	0	0	0	0.741	0.968	0.976
NO <sub>x</sub>	0	0	0	0.101	0.237	0.259
整车质量/kg	1 095	1 140	1 212	1 100	1 145	1 217

1) 在 UDDC 工况下 SOC = 0.7 时, 1.0 L PHEV 的最高车速比 Advanced - SHEV 大 66.9%, 但前者的最大加速度比后者最大加速度小 12.2%, 0 ~ 45 km/h 和 65 ~ 100 km/h 加速时间比后者的加速时间分别大 17.2% 和 7.3%。1.5 L PHEV 的最高车速比 Advanced - SHEV 的大 50.8%, 但前者的最大加速度比后者的最大加速度小 8.2%, 0 ~ 45 km/h 和 65 ~ 100 km/h 加速时间比后者的加速时间分别大

33.3% 和 31.6%。

PHEV 的总能量转换与利用率较 SHEV 高, 仿真结果表明: 1.0 L PHEV 整车质量较 1.0 L SHEV - I 减小 9.7%, 1.5 L PHEV 整车质量较 1.5 L SHEV - I 减小 9.6%; 所以在发动机和电池功率均相同的条件下, 更加轻量化的 PHEV 汽车最高车速必然高于 SHEV - I 汽车。然而 SHEV 汽车的传动结构相对简单, 动力传动速度较快, 其车载电

动机功率为 83 kW 远大于 PHEV 汽车的 32 kW, 且能量转化利用速度较快。所以 SHEV 混合动力汽车的加速时间(起动加速时间和高速超车时间)较 PHEV 短, 且加速性能较好。而 PHEV 汽车的发动机和电动机是相互独立的, 且两者均可完成独立驱动任务, 在需要大功率时可以共同协作, 制动减速时可回收制动能为电池充电, 其总能量转换与利用率相对较高, 且在市内工况下可以部分使用电动机单独驱动, 实现车辆的零排放。SHEV 混合动力汽车其实质是一种发动机辅助型电动车, 其能量转化过程为: 化学能→热能→机械能→电能→机械能<sup>[1]</sup>, 虽然也可实现制动和减速时的再生制动, 但总能量转换与利用率相对较低, 所以 PHEV 的(等效)百公里油耗较 SHEV 的低。从仿真结果可知: 1.0 L PHEV 的(等效)百公里油耗较 1.0 L SHEV - I 的减少 28%, 1.5 L PHEV 的百公里油耗较 SHEV - I 的减少 31%, 所以 PHEV 汽车的节能效果更显著。

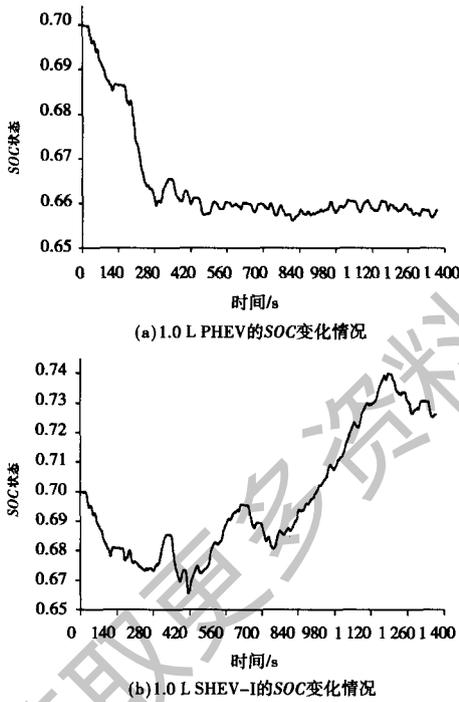


图 4 1.0 L HEV 在 UDDC 工况下的 SOC 变化情况  
Fig. 4 SOC Curve of 1.0 L HEV under UDDC conditions

2) 从发动机排放的仿真可知: 在 UDDC 试验工况下, 1.0 L HEV 可以实现部分纯电动驱动, 而 1.5 L HEV 则为双动力混合驱动; 因为汽车发动机排量越小, 能够提供的驱动功率越小, 能量的转换利用速度也相对较快, 在 UDDC 工况(图 3)下频繁的制动、减速、停车皆可为蓄电池提供更多的充电时间和更多的充电电量, 这也有利于低排量 HEV (1.0 L, 1.5 L) 充分利用行驶过程中的能量再生制动, 降

低汽车的油耗或纯电动驱动的目标。图 4 为 1.0 L HEV 在 UDDC 工况下实现纯电动驱动时 SOC 的变化情况, 特别是 1.0 L SHEV - I 在回收大量的制动能之后其电池的 SOC 反而得到不断地增加并超过其初始值。

2.3 HEV 排放特性分析

HEV 排放特性分析是以 UDDC 循环中具有代表性的 0 ~ 350 s 时间段[图 5(a)]为仿真分析工况, 因为该过程工况包括了 HEV 的停车(怠速)→起动(加速)→匀速→制动(减速)→怠速等运行工况, 是典型的城市(市内+市郊)循环工况, 其最高车速为 91.25 km/h。1.5 L PHEV 和 1.5 L SHEV - I 在此工况中的排放特性见图 5(b)、图 5(c)。

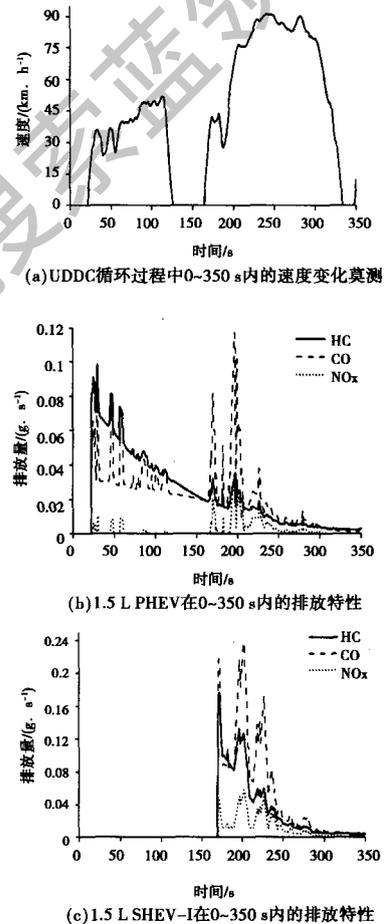


图 5 1.5 L HEV 在 UDDC 循环中 0 ~ 350 s 内的排放特性  
Fig. 5 Emission properties of 1.5 L HEV from 0 to 350 s in UDDC circle

图 5 的仿真结果表明: 在汽车加速过程中汽车排放迅速增加。这主要是因为加速时, 发动机转速增加, 进入气缸内的燃料量增加, 油气的混合浓度变大, 导致发动机缸内压力和温度迅速增加, 混合气的紊乱程度变大, 导致燃烧不充分, 致使 HC、CO、NO<sub>x</sub> 的排

(下转第 348 页)

优秀的前台相结合,通过网络通信,达到分布应用的目的。随着网络在生活生产中的渗透,基于客户端-服务器的网络应用设计,将会有广阔的发展前景。

#### 参考文献(References):

- [1] 宋克章,王月茹,王仁新. 基于Flash页面显示的VC++编程实现[J]. 计算机技术与发展,2009,19(9):222-224.  
SONG Ke-zhang, WANG Yue-ru, WANG Ren-xin. Realization of VC++ programming based on flash interface[J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(9):222-224.
- [2] Baidu Encyclopedia-Flash[G/OL]. (2006-4-21)[2011-1-12]. <http://baike.baidu.com/view/7641.html>.
- [3] 邬正义,范瑜. 用Flash实现的TCP/IP Socket网络传输方案[J]. 现代电子技术,2002,141(10):71-72.  
WU Zheng-yi, FAN Yu. A simple TCP/IP socket network based on flash[J]. Modern Electronics Technique, 2002, 141(20):71-72.
- [4] 徐国艳. FLASH与外站数据交换方法浅析[J]. 广西轻工业,2010,141(8):99,169.  
XU Guo-yan. Methods of data exchange for flash and outer station[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2010, 141(8):99,169.
- [5] 李康满,刘朝辉. 在VC++中使用Flash动画技术[J]. 衡阳师范学院学报,2005,26(6):86-88.
- LI Kang-man, LIU Zhao-hui. The technology of how flash animators apply in VC++[J]. Journal of Hengyang Normal University, 2005, 26(6):86-88.
- [6] 马晓辉. 在VC中实现Flash动画播放[J]. 河北工程技术高等专科学校学报,2005(2):48-50.  
MA Xiao-hui. Playing flash movie by visual C++[J]. Journal of Hebei Engineering and Technical College, 2005(2):48-50.
- [7] 杨勇. 调用Flash美化VC应用程序界面的实现[J]. 电脑知识与技术,2006,8(23):168,194.  
YANG Yong. Adjust to beautify the VC of the application with the flash procedure interface's realizes[J]. Computer Technology and Development, 2006, 8(23):168,194.
- [8] 刘栋,黄勇. VC与Flash之间基于字符串的双向消息互传[J]. 电脑知识与技术,2007,27(9):1634,1702.  
LIU Dong, HUANG Yong. Messages exchanging between VC and flash[J]. Computer Knowledge and Technology, 2007, 27(9):1634,1702.
- [9] 孙鑫,余安萍. VC++深入详解[M]. 北京:电子工业出版社,2009:530-556.
- [10] Adobe Systems Incorporated. ActionScript 3.0语言和组件参考[DB/OL]. 2004 [2007-6-13]. <http://www.javadn.com/shouce/actionscript3.0/flash/net/socket.html>.

(上接第310页)

放量增加,排放性能变差<sup>[7-8]</sup>。反之,在制动、减速过程中车辆的排放则相对地有所减少,甚至部分排放量趋近于0(如NO<sub>x</sub> = 0)。如图5(b)所示,起动机加速过程中发动机转速增加,缸内的混合气浓度较大,气流紊流程度增加,燃烧不充分,但此时燃烧室温度不是非常高,所以此时HC、CO的排放均急剧增加;而在163~229s起动机加速+超车加速过程中,由于发动机燃烧室温度升高较快,且高温持续的时间较长,所以此时HC、CO和NO<sub>x</sub>的排量皆急剧增加。如图5(c)所示,SHEV在0~168s内没有排放物产生。这是因为在初始SOC = 0.7时蓄电池尚未降低至最小值,SHEV一直处于纯电动驱动模式下运行,发动机未启动,所以其排放物为0,属于0排放时段。在第168s之后,蓄电池的SOC不能继续下降,发动机在车辆高速行驶状态下启动,加速、大负荷直接导致发动机的HC、CO、NO<sub>x</sub>排放急剧增加。

### 3 结论

城市汽车行驶过程的特点是:运行速度不高,但加速、减速、制动较频繁,怠速时间较多。仿真结果表明:对在城市工况下行驶的混合动力车,PHEV的排放特性比SHEV的更优异,1.0L PHEV的节能减排性能比1.5L PHEV的更显著。从节能减排、保护环境的

角度讲,低排量的HEV采用PHEV系统较SHEV更符合城市汽车节能减排的要求,可优先采用。

#### 参考文献(References):

- [1] 李兴虎. 混合动力汽车结构与原理[M]. 北京:人民交通出版社,2009.
- [2] Antoni Szumanowski. 混合动力车辆基础[M]. 陈清泉,孙逢春,译. 北京:北京理工大学出版社,2001.
- [3] 张翔,赵韩,钱立军,等. 电动汽车仿真软件ADVISOR[J]. 汽车研究与开发,2003,103(4):14-16.  
ZHANG Xiang, ZHAO Han, QIAN Li-jun, et al. HEV simulation software-ADVISOR[J]. Automobile Research & Development, 2003, 103(4):14-16.
- [4] 万佳,黄菊花,孙德鹏,等. ADVISOR在混合动力汽车动力选择及参数匹配上的应用[J]. 森林工程,2008,24(1):41-44.  
WAN Jia, HUANG Ju-hua, SUN De-peng, et al. Application of ADVISOR in dynamic shaping and parameter match of HEV[J]. Forest Engineering, 2008, 24(1):41-44.
- [5] 李军,吴卓键. 城市出租车进行混合动力升级仿真分析[J]. 公路与汽运,2010(4):6-11.  
LI Jun, WU Zhuo-jian. An analysis of town taxi to upgrade to a hybrid simulation[J]. Highways & Automotive Applications, 2010(4):6-11.
- [6] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [7] 孙军. 汽车发动机原理[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2001.
- [8] 何为. 长安混合动力汽车排放研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2009.