

# 并联式液驱混合动力汽车系统建模与节油分析<sup>①</sup>

衣 鹏, 舒 涛, 宋国辉

(同济大学汽车学院 新能源汽车工程中心, 上海 201804)

**摘 要:** 介绍了双轴式并联液驱混合动力汽车的物理结构, 然后根据传统车动力性要求对液驱混合动力汽车进行了动力系统参数匹配, 并利用 Matlab/Simscape 进行了建模仿真. 然后计算了该混合动力汽车的动力性和经济性. 最后, 对该混合动力汽车的节油机理进行了分析.

**关键词:** 并联式; 液驱混合动力汽车; 系统建模; 节油分析

**中图分类号:** U469.79

**文献标识码:** A

## 0 引 言

随着石油危机的爆发和环境污染的日益加重, 汽车车行业中的节能与环保问题逐渐引起重视<sup>[1]</sup>. 所以发展一种新型节能与环保的车辆便成了当前汽车行业的一项重要任务.

目前, 新能源车包括混合动力汽车、纯电动汽车. 纯电动汽车因其高性能、无排放, 必将成为未来主导的交通工具, 然而截至目前, 其能量密度低、使用寿命短、充电站为题都未得到解决, 所以未得到广泛的应用. 而作为过渡产品的混合动力汽车则在这一方面有其独特的优势<sup>[2]</sup>.

国内外很多机构都对液驱混合动力汽车进行了研究, 很多公司已经实现了产品化. 德国博士力士乐公司成功将这一技术应用于其所生产的静压再生制动(HRB)系统当中. EPA 与福特公司合作生产的另一款 SUV 车当配置柴油发动机时, 更是达到了惊人 85% 的节油率. 另外, 澳大利亚莫纳什大学同样也进行了这方面研究, 并就美国军事战略车 FMTV M1084 A1, 进行了改装, 加入了 PDREMS 系统, 有效改变了其动力性和经济型, 以及快速启动性能<sup>[3]</sup>. 国内许多高校诸如吉林大学、哈尔滨工业大学和合肥工业大学也都进行了相关研究.

本文选取双轴式并联式液驱混合动力汽车为研究对象, 通过车辆信息和动力要求进行参数匹配, 尝试利用 MATLAB/Simscape 对其动力系统进行建模仿真, 并对车辆的动力性、经济性进行了计

算. 最后, 分析了并联式液驱混合动力汽车的节油机理.

## 1 结构分析及参数匹配

### 1.1 结构分析

本文中采用的是双轴式并联结构混合动力汽车. 从图 1 中可以看出, 该种形式的混合动力汽车具有一套完整的传统汽车的动力系统和一条新增的液压动力系统, 通过一个扭矩合成器将两种动力进行耦合, 提供到输出轴上. 而关于扭矩耦合器的位置也有几种可能, 一种是位于变速器之前, 这种布置形式适于选择高转速低扭矩的液压马达; 另外一种位于变速器之后, 这种布置形式适于选择低转速大扭矩的液压马达<sup>[4]</sup>. 本文中采用了后一种布置形式, 主要是基于车辆整体转矩和转速要求选择的. 该种形式的并联式液驱混合动力车具有以下特点:

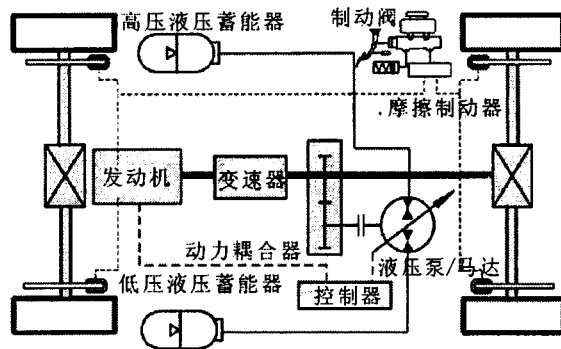


图1 双轴式液驱混合动力汽车结构图

<sup>①</sup> 收稿日期:2013-02-25

作者简介:衣鹏(1990-),男,山东潍坊人,同济大学汽车学院硕士研究生,主要研究方向为车用永磁同步电机控制器效率及谐波优化、并联式液驱混合动力汽车相关技术.

发动机工作平顺,有效地改善了排放性能,而且发动机工作在经济区内,所以有效地降低了燃油消耗率;可以回收制动能量,进一步降低燃油消耗率,并且增加了机械制动系统使用寿命;启动性能好,液压系统响应快;使用寿命长.

1.2 参数匹配

传统车的整车参数如表 1 所示,根据传统车参

数,利用 advisor 进行仿真,得到动力性和经济性指标:0~50km/h 的加速时间为 13.2s,百公里油耗为 68.1L/(100km),最高车速为 80km/h,车辆车速 7km/h 时的最大爬坡度为 40%.

至于发动机和液压系统的参数匹配不是本文的重点内容,而且国内外很多学者都给出了自己的匹配方式<sup>[5]</sup>,所以只在此处给出匹配的简单过程,详细计算不再给出.

表 1 传统车辆的整车参数

整车参数			
驱动形式	6X4	整车整备质量(Kg)	9570
迎风面积(m <sup>2</sup> )	8.1423	整车满载质量(Kg)	25000
空气阻力系数	0.8	整车轴距(mm)	3700/1350
重心到前轴距离(mm)	2187(空载)3267(满载)	主减速比	5.921
各档传动比	$ig1 = 10.957; ig2 = 8.18; ig3 = 6.073; ig4 = 4.464; ig5 = 3.319;$ $ig6 = 2.455; ig7 = 1.833; ig8 = 1.361; ig9 = 1; ig10 = 0.744$		

动力系统参数匹配过程如下:根据传统车的动力要求计算混合动力车的总功率需求,基于二次元件和发动机的最小功率选择混合度,在混合度的合理范围内选择发动机和泵/马达的型号,然后根据

型号选择扭矩合成器的传动比,最后根据驱动和制动的要求计算高低压蓄能器的体积和初始压力.其中选取主要元件性能参数如表 2 所示:

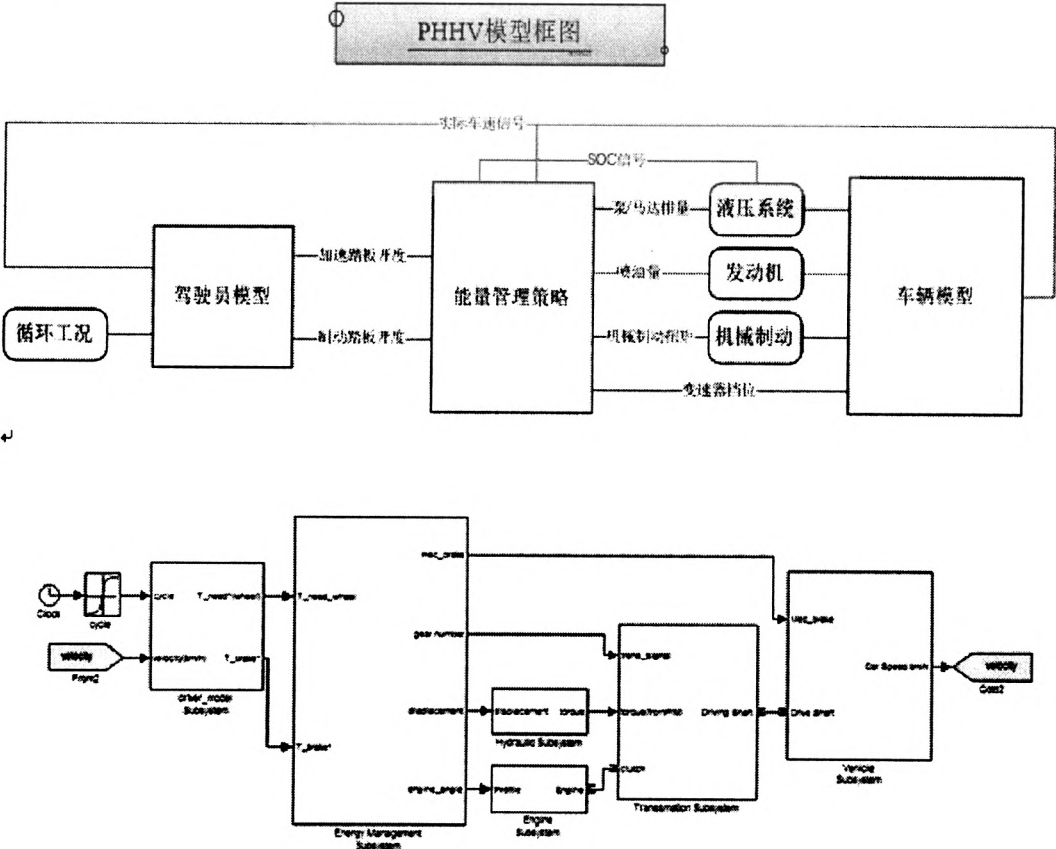


图 2 并联式液驱混合动力汽车结构及 Simscape 顶层框图

表 2 传统车与混合动力车匹配参数表

传统车	传统车动力元件	参数
	发动机	245kW
并联式混合动力汽车	混动车动力元件	参数
	发动机	190kW
	液压马达	最大扭矩 2785 N·m
	蓄能器	容积 106L

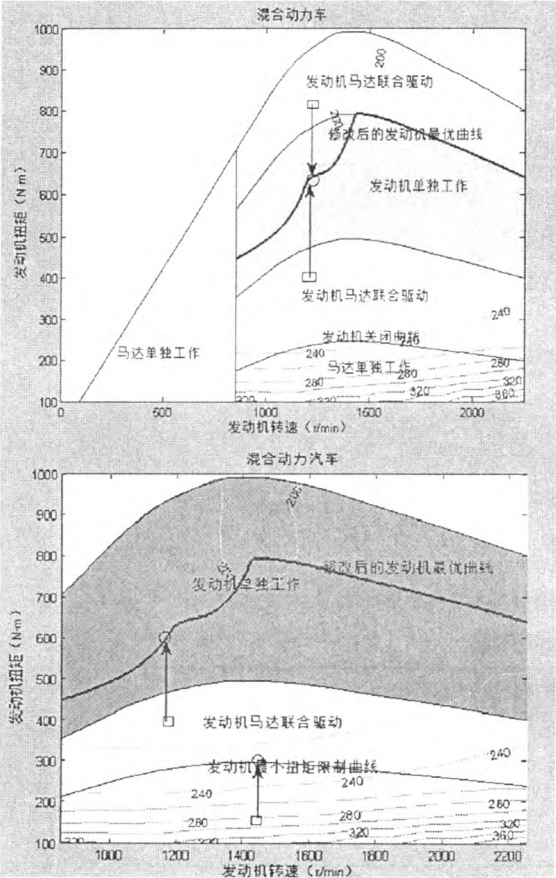


图 3 上图为  $SOC \geq soc_{low}$  时控制策略;下图  $SOC \leq soc_{low}$  时控制策略

2 车辆模型及能量管理策略

2.1 车辆模型

如图 2 所示,模型主要包含驾驶员模型、能量管理策略、发动机系统、液压系统、机械传动系统以及车辆模型几个主要部分.

首先,驾驶员接受循环工况的的信息以及当前车辆的行驶状态,对加速踏板和制动踏板做出反应.其次,能量管理策略则根据驾驶员对加速踏板和制动踏板的需求同时监测蓄能器 SOC 值和当前的实际车速,作出驱动力/制动力的分配,其响应信号为泵/马达的排量、发动机的喷油量、机械制动扭

矩、变速器的档位信号.最后,液压系统、发动机、机械制动、变速器分别相应各自控制信号,并将其输出至车辆模型,车辆模型做出反应从而实现对循环工况的跟随.

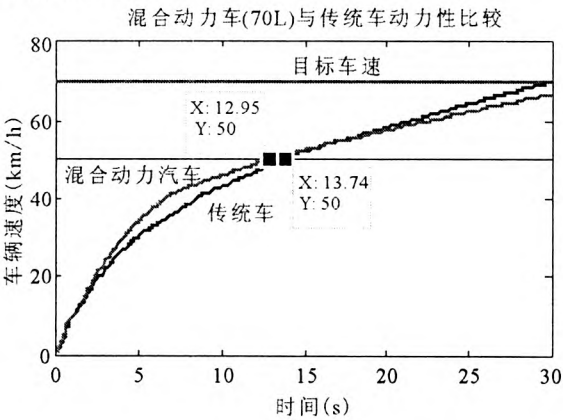


图 4 混合动力车与传统车加速性对比

2.2 能量管理策略

转矩分配策略是基于发动机效率最优曲线改进而来的,虽然当发动机工作在最优曲线附近时,其油耗最低,但是传统的最优曲线控制会使得各个工作状态频繁切换,不太稳定,而且对于并联式混合动力汽车而言,鉴于液压系统的工作能力,可能不能使得发动机的工作点一直集中在最优曲线上,改进型的效率最优曲线控制方法分以下两种情况所示:

如图 3 所示当  $SOC \geq soc_{low}$  时,发动机工作于怠速以下时,液压系统单独驱动;发动机扭矩小于发动机关闭曲线时,液压系统单独驱动;动力要求位于发动机高效区  $0.5 \sim 0.8max\_torque$  时,发动机单独工作;发动机和马达联合驱动时,使得发动机的工作点尽肯能向最优曲线靠拢. 当  $SOC \leq soc_{low}$  时,当车辆动力要求低于发动机最小扭矩曲线时,发动机尽可能提高扭矩使得大于等于发动机最小扭矩曲线;当动力需求大于  $0.5max\_torque$  时,发动机单独驱动;当发动机工作于液压发动机协作区域时,发动机工作点尽量向最有曲线靠近.

关于发动机的换挡策略,应当使得发动机尽量工作于低油耗区域,在本文中为,于是根据传动比可以求出换挡车速.

3 动力性、经济性及节油机理分析

3.1 动力性经济性分析

由图 4 可以看出在蓄能器初始容积为 70L 的

时候,混合动力车 0 ~ 50km/h 的加速时间为 12.95s,传统车的加速时间为 13.74s. 而且蓄能器设定的 SOC 上限时蓄能器的容积为 74.2L,所以混合动力汽车的最大加速性能明显优于传统车.

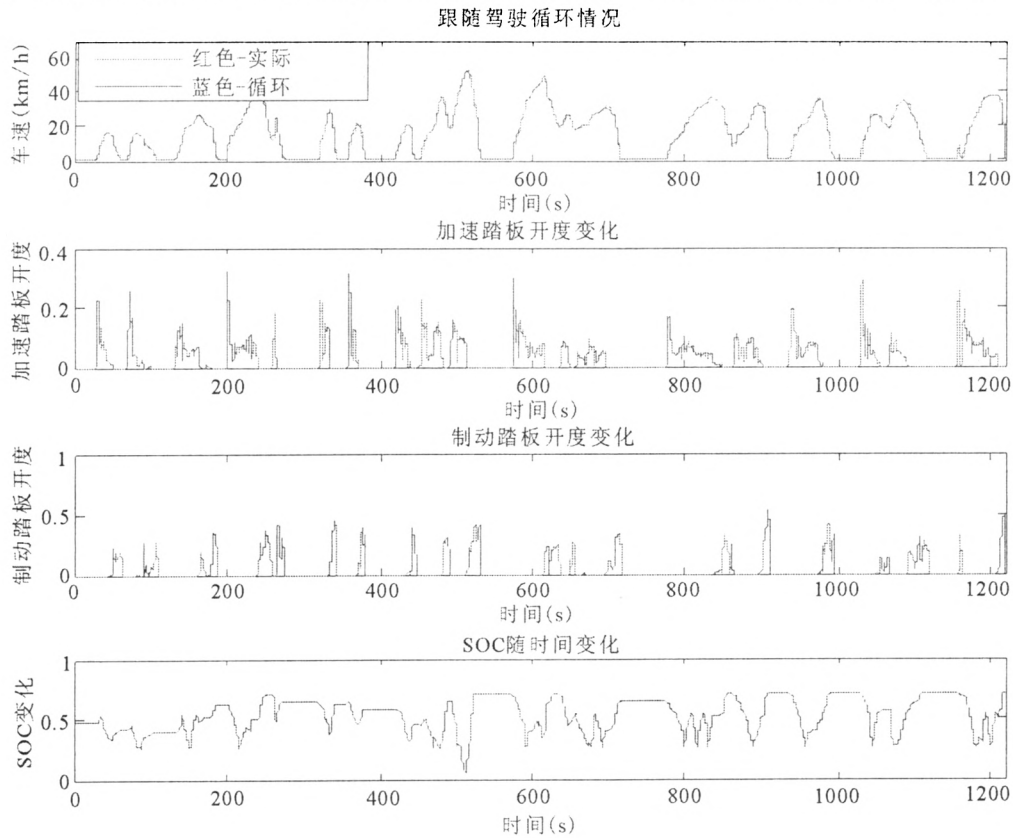


图 5 混合动力车跟随 CYC 城市综合循环各重要变量变化

表 3 各节油途径贡献

节油途径		循环百公里油耗统计(L/100km)	
downsize 发动机提高 节油率	传统车(245KW 发动机)	传统车(190KW 发动机)	
	60.1575	59.1535	
		1.67%	
取消怠速提高 节油率	混动(未消除怠速)	混动(消除怠速)	
	50.669	43.248	
		12.34%	
再生制动提高 节油率	混动(消除怠速无再生制动)	混动(消除怠速有再生制动)	
	50.925	43.248	
		12.76%	
提高负荷率提高的 节油率	混动(消除怠速无再生制动)	传统车去掉怠速油耗(190kw 发动机)	
	50.925	51.7913	
		1.44%	

当混合动力汽车运行在 CYC 城市综合循环下时,仿真结果如图 5 所示,可以看出仿真过程中没有出现过大的抖动,说明该能量分配策略有效可靠.在该循环过程中,当蓄能器初始含液量为 50L 时,该混合动力汽车油耗为 2.197L,换算为百公里油耗为 43.248L/100km. 而传统车(245KW 发动机)跑该循环的油耗为 3.056L,换算为百公里油耗为 60.1575L/100km. 从而可以得出该并联式液驱混合动力汽车的节油率为 28.05%.

### 3.2 节油机理分析

混合动力汽车与传统汽车相比,节油途径主要有以下几种:downsize 发动机、取消怠速、再生制动和提高发动机的负荷率<sup>[6]</sup>。

其中 downsize 发动机提高的节油率可以通过比较传统车装备原始发动机(245KW)和装配混合动力车所使用的发动机(190KW)分别跑 CYC 城市综合循环得到;取消怠速提高的节油率可以通过混合动力车计算怠速油耗和不计算怠速油耗两种来计算得到;再生制动提高的节油率可以通过是否开启液压再生制动来控制得到;提高发动机负荷率的成分计算可以通过比较取消怠速无再生制动的混合动力车和 190KW 发动机传统车去掉怠速油耗来进行比较得到。

其中各种模式下的循环百公里油耗和个节油途径的贡献在表 3 中给出。可以看出,并联式液驱混合动力汽车节油主要是通过消除怠速和再生制动来实现的,这也是弱混车辆的共性。

## 4 结 论

本文主要研究对象是双轴式并联液驱混合动力汽车,首先对其结构进行了分析,然后根据原始传统车的动力性要求进行了发动机和液压系统各元器件的参数匹配,利用 MATLAB/Simscape 进行了物理建模仿真。然后分析了车辆的动力性和经济性,最后对该类型混合动力汽车的节油机理进行了研究。

### 参考文献:

- [1] 陈清泉,孙逢春. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2002: 1.
- [2] 清华大学 余志生. 汽车理论(第五版)[M]. 北京:机械工业出版社:58-61.
- [3] Matheson P, Stecki J. Modeling and Simulation of a Fuzzy Logic Controller for a Hydraulic - Hybrid Powertrain for Use in Heavy Commercial Vehicles[J]. SAE Paper No, 2003: 01-3275.
- [4] 赵金祥. 液压节能汽车制动能量回收及动态调节控制策略的研究[D]. 长春:吉林大学, 2009: 4.
- [5] 胡小冬. 并联式液压混合动力重型车的分析与仿真[D]. 长春:吉林大学, 2009: 33-41.
- [6] 曾小华. 混合动力客车节能机理与参数设计方法研究[D]. 长春:吉林大学, 2006.

## The Modeling and Fuel Efficiency Analysis of Parallel Hydraulic Hybrid Vehicles

YI Peng, SHU Tao, SONG Guo-hui

(Clean Energy Engineering Center, Automobile College, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** In this paper, biaxial parallel hydraulic hybrid vehicles' (PHHV) physical structure was analyzed. The parameters matching of the PHHV was conducted according to the dynamic properties of the traditional vehicle. The simulation was carried out using Matlab/Simscape. The dynamic and economic properties of the PHHV were obtained. At last, the fuel efficiency of the PHHV was analyzed.

**Key words:** parallel; hydraulic hybrid vehicle; system modeling; fuel efficiency analysis

(上接 484 页)

## Design of Battery Test Platform Based on MATLAB GUI

ZHOU Su<sup>1,3</sup>, XIAO Kai-xuan<sup>1</sup>, CHEN Feng-xiang<sup>1,2</sup>

(1. School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Clean Energy Automotive Engineering Center, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. CDHK, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** With the development of electric vehicle, the power battery research is rising. The power battery performance test is the foundation of the research of the power battery. This paper provides a kind of battery test platform including charge subsystem, discharge subsystem and driving cycle test subsystem, and based on which CC/CV charge, discharge test and driving cycle test can be achieved conveniently to meet the requirements of reasonable charge, battery performance test, battery model validation and algorithm research. The platform is proved to be high precision and strong expansibility.

**Key words:** Battery test; MATLAB GUI; CC/CV charge; driving cycle test