

文章编号:1671-5497(2005)02-0122-05

串联混合动力汽车控制策略

李晓英¹, 于秀敏², 李 君², 吴志新³

(1. 集美大学 轮机工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 吉林大学 汽车工程学院, 长春 130022; 3. 中国汽车技术中心 电动车辆研究中心, 天津 300162)

摘 要:为了提高串联混合动力汽车的燃油经济性和排放性, 延长动力系统部件的寿命, 对串联混合动力汽车控制策略进行了研究。仿真分析了动力系统控制策略对整车性能的影响。结果表明:作者所采用的功率跟随+恒温器的控制策略充分利用了发动机和电池的高效区, 既减少了蓄电池的过度循环和大电流放电, 又避免了发动机的频繁起停, 同时发动机的工作点主要集中在经济性和排放性较好的区域, 使动力系统达到整体效率最高。

关键词:车辆工程; 混合动力系统; 控制策略; 仿真分析

中图分类号:U469.72 **文献标识码:**A

Control Strategy for Series Hybrid Power Vehicle

LI Xiao-ying¹, YU Xiu-min², LI Jun², WU Zhi-xin³

(1. Marine Engineering Institute, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 3. Electric Vehicle Research Center, China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300162, China)

Abstract: In order to improve the fuel economy and emission behavior of series hybrid-power vehicle and extend the life-span of the powertrain components, the control strategy for series hybrid-power vehicle was studied by means of simulation. The effects of powertrain system on vehicle performance were analysed. The simulation results show that the developed control strategy of "power follow-up plus thermostat" can make the best use of the high-efficiency areas of both the engine and the battery; the over-charge and high-current over-discharge conditions of the battery become less possible; the frequent starts and stops of the engine are avoided. Because the operating points of the engine are mainly within the areas of better economy and better emissions, the overall efficiency of the powertrain maximizes.

Key words: automotive engineering; hybrid-power system; control strategy; simulation analysis

1 动力系统总体设计

1.1 电能分配机构形式的确定

作者采用的串联混合动力汽车电能分配机构

有3种形式^[1], 如图1所示。不同的结构采用不同的控制策略。图1(a)的结构应采用恒温器式控制策略, 发电机工作在最佳效率工况点, 只为电池充电; 图1(b)的结构应采用功率跟随型控制策

收稿日期: 2004-06-08.

基金项目: 天津市“十五”重大科技攻关项目(013182911).

作者简介: 李晓英(1978-), 女, 硕士研究生. 研究方向: 内燃机工作过程优化. E-mail: apple20010217@sohu.com

通讯联系人: 于秀敏(1960-), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 内燃机工作过程优化与控制. E-mail: yuxiumin@sohu.com

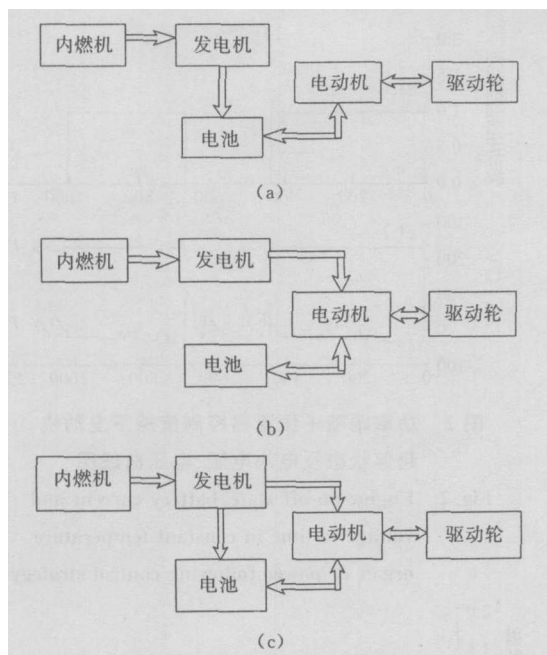


图 1 采用不同控制策略时的能量流动形式

Fig. 1 Energy flowing modes for different control strategies

略,电池只在纯电动模式和制动回馈时起作用,平时均由发电机输出电流供电动机使用;图 1(c) 的结构,发电机输出电流可以同时流向电池和电动机,此时电池能够起到能量缓冲器的作用,弥补发电机与电动机之间的功率差异,使控制策略的实现更加灵活。在获得更高系统效率的同时也能维持发动机始终工作在经济且排放较低的区域,当电动机制动回馈时,给电池充电可实现能量的回收。本文所采用的功率跟随+恒温器控制策略则要求使用该种结构。

1.2 部件选型原则

串联混合动力汽车动力系统部件的选择不仅要满足整车动力性的要求,还应考虑延长电池使用寿命、控制策略实现的难易程度以及整车轻量化等因素。确定参数时主要考虑电机功率、内燃机-发电机系统输出功率、电池类型及容量等对整车动力性、燃油经济性、排放性和使用寿命有显著影响的参数^[2-9]。

(1) 电机参数的选择

所选电机的机械特性应具有较大的起动转矩,应有 2~3 倍或者更高一些的过载能力,以满足汽车急加速的需要。具体的电机参数应根据整车性能要求计算确定。使用工况不同,性能要求也不相同。电机的额定功率 P_e ^[3]可由下式求得:

$$P_e = \frac{1}{\tau} \left(\frac{Gf}{3600} v_{\max} + \frac{C_D A}{76 \cdot 140} v_{\max}^3 \right) \quad (1)$$

式中: C_D 为风阻系数; f 为滚动阻力系数; τ 为传动系传动效率; A 为迎风面积。

根据最高车速、轮胎型号以及主减速比可以确定电机额定转速,由此确定额定转矩。电机电压不宜过高。因为在电机功率一定的情况下,电压越高电流就越小,线路损失越小,系统的效率越高;但若电压选择得过高,则系统安全性能下降,且对电器原件的性能要求提高,经济性变差。

(2) APU 参数的选择

选择 APU 主要应确定其高效区的输出功率,其值一般要低于驱动电机的额定功率。低的数值取决于行驶工况的特点。

(3) 电池的选择

串联混合动力汽车在运行期间需要对电池反复充放电,一般选择适于反复充放电的铅酸电池。此外,容量大可降低发动机起停和电池充放电的频率,延长系统寿命,但容量大也就意味着体积和重量的增加,对动力性和经济性都不利。所以电池的容量是系统优化的一个重要参数。

2 控制策略

主控制器是连接驾驶员和动力系统之间的桥梁,其控制策略的选择将影响整个动力系统的能量转换效率以及动力电池的使用寿命。目前较常见的两种控制策略是“恒温器”控制模式和“功率跟随”控制模式^[4,5]。

恒温器控制策略允许发动机在电池的荷电状态(SOC)高于 SOC_{MAX} 之前按设定的高效区域恒功率运转,此时发动机关闭,汽车为零排放、纯电动行驶;当 SOC 降低低于 SOC_{MIN} 值时,发动机再次启动并输出恒功率,这与温室的温度控制相似。这种模式下的电能流动形式如图 1(a) 所示,驱动电机所需的能量只能从动力电池获得,这样动力电池就必须满足所有瞬时功率的需要,其放电电流的波动会很大,经常出现大电流放电的情况,对电池放电效率和使用寿命均有不利影响;其次,虽然 APU 可以在最优效率点工作,但由于多了能量转换的环节,电池充放电的效率损失也许会大于 APU 优化后的收益。该策略对 APU 有利而对动力电池不利。

功率跟随型控制策略要求发动机的输出功率跟踪路面的负载要求,这样发动机总保持运转,仅当纯电动模式运行时才停机,由电池提供电能。

使用这种策略,减少了动力电池充放电循环,与充放电有关的功率损失也就相应减少。然而,由于 APU 必须满足续驶里程内的所有功率要求且要做出快速响应,所以导致发动机频繁起停,影响了发动机的效率和排放特性。这种控制策略对动力电池有利而对 APU 不利。

作者采用了功率跟随+恒温器的综合控制方式。发动机在 SOC 较低或负载功率较大时均会启动;当负载功率较小且 SOC 高于预设的上限值 SOC_{MAX} 时,发动机被关闭;在发动机关和开之间设定了一定范围的状态保持区域,这样可以避免发动机的频繁起停。发动机一旦启动便在相对经济的区域内对电动机的负载功率进行跟踪,当负载功率大于或小于发动机经济区域所能输出的功率时,电池组可以通过充放电对该功率差进行缓冲和补偿。图 1(c) 所示的能源分配机构保证了这种控制策略的顺利实现。采用该控制策略可以减少电能的循环损耗,避免电池大电流放电和发动机的频繁启动,降低了油耗,提高了排放性能。

3 整车性能仿真

通过计算机仿真不仅能检验动力系统部件选型是否合理,能否满足整车动力需求,同时还能了解主控制策略的控制效果^[6,7]。通过 MATLAB 仿真软件建立的整车仿真系统包括主控制器、电机控制器、电池管理系统和 APU 控制器 4 个控制器的快速原型。各模块控制对象如电机、电池、发动机等的物理特性则通过 MATLAB 提供的 LOOKUP 查表的方法来描述,整车动力学模型则是汽车的行驶动力学平衡方程^[3]。用仿真过程模拟了广州城市工况,仿真结果如图 2~8 所示。

从图 2~4 的对比可以看出,功率跟随型控制策略下电池电流的变化较平缓,不会出现大电流放电现象,但发动机起停过于频繁,对发动机的性能和寿命均不利;恒温器型控制策略虽然解决了发动机频繁起停的问题,且发动机工作点非常稳定,但电池电流波动大,经常出现大电流放电,这对电池的效率 and 寿命有很大影响;而功率跟随+恒温器控制策略可以获得较为折中的效果,充分利用了发动机和电池的高效区,对发动机和电池均不会造成很大的影响,使其达到整车效率最高。

图 5~8 为广州道路循环工况下,采用串联混

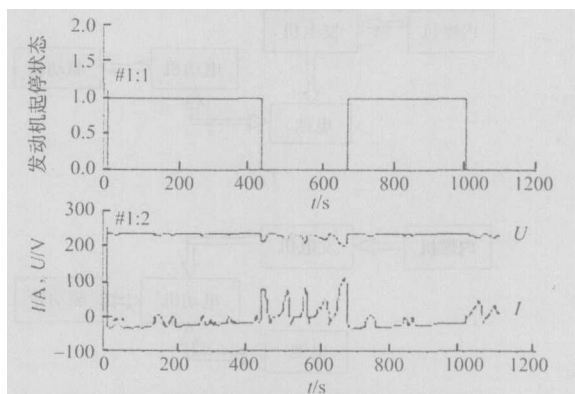


图 2 功率跟随+恒温器控制策略下发动机起停状态及电池电流、电压曲线图

Fig. 2 Engine on-off state, battery current and voltage vs time in constant temperature organ & power following control strategy

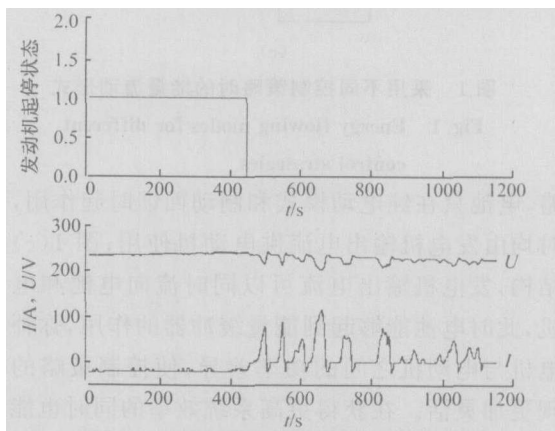


图 3 恒温器型控制策略的发动机起停状态及电池电流、电压曲线图

Fig. 3 Engine on-off state, battery current and voltage vs time in constant temperature organ control strategy

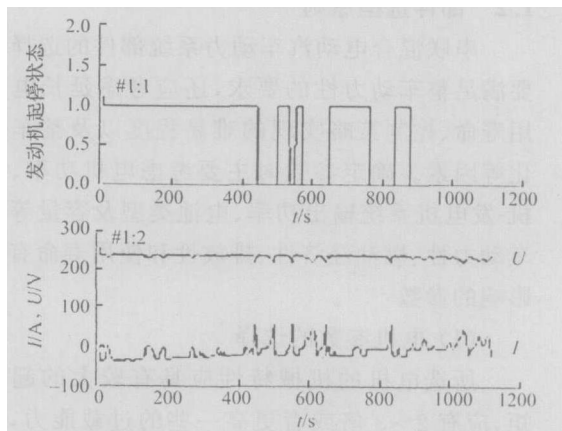


图 4 功率跟随型控制策略的发动机起停状态及电池电流、电压曲线图

Fig. 4 Engine on-off state, battery current and voltage vs time in power following control strategy

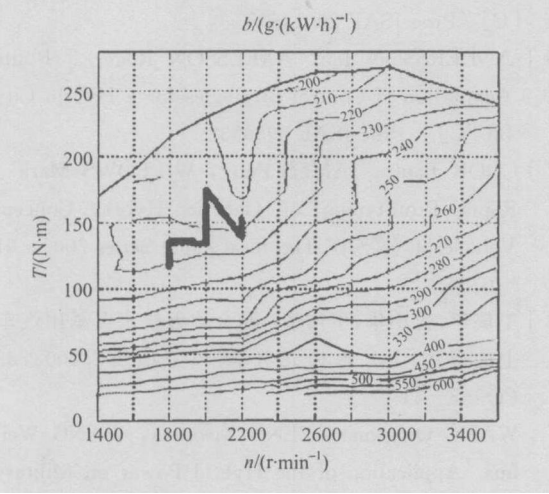


图 5 串联混合发动机耗油率分布

Fig. 5 Engine fuel consumption map and operating points in SHEV

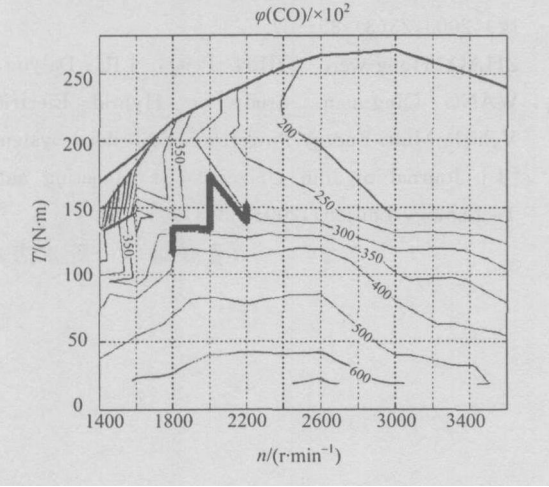


图 6 串联混合发动机 CO 排放分布

Fig. 6 Engine CO emission map in SHEV

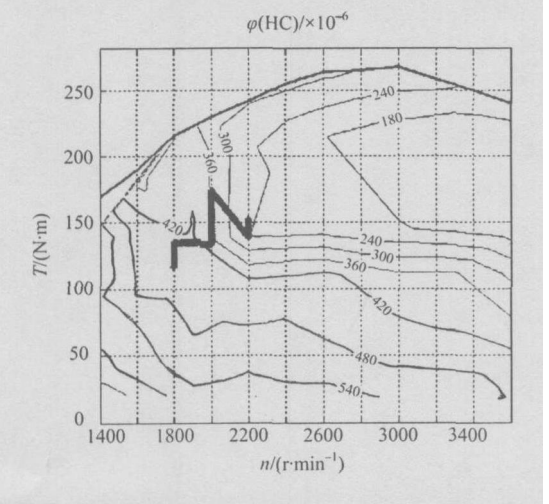


图 7 串联混合发动机 HC 排放分布

Fig. 7 Engine HC emission map in SHEV

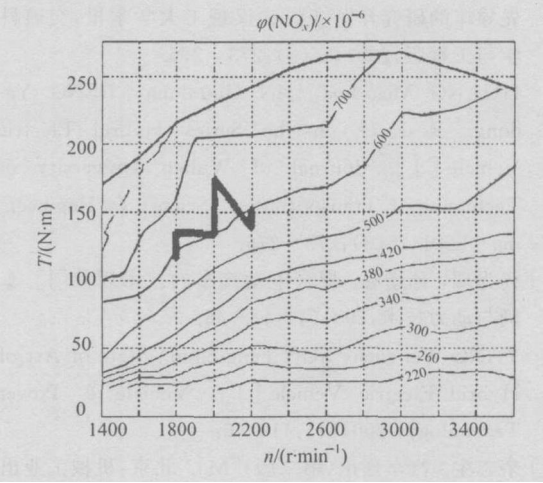


图 8 串联混合发动机 NO_x排放分布

Fig. 8 Engine NO_x emission map in SHEV

合方案后发动机工作点在万有特性图上的分布情况。可以看出,采用串联混合方案后,发动机工作点能够集中在燃油非常经济、废气排放相对较低的区域,而原车发动机工作点则非常分散。因此串联混合控制策略能显著提高燃油经济性、降低排放。

4 结 论

(1) 将恒温器和功率跟随两种控制策略结合起来使用,既减少了蓄电池的过度循环和大电流充放电,又避免了发动机的频繁起停,使其达到整体效率最高。

(2) 车速仿真实验中的仿真车速曲线和标准车速曲线能够较好地重合在一起,表明电动机具有调速范围宽、起动力矩大、过载能力强等优点。但标准车速曲线比仿真车速曲线滞后,表明整车动力性稍显不足。这是因为没有使用变速箱,起动和加速时驱动电机输出扭矩不足。建议在后期开发样车时应安装一台速比较小的变速箱。

(3) 通过将混合动力汽车与原车的经济性和排放性指标进行仿真和对比可以看出,混合动力汽车的发动机工作点主要集中在经济性和排放性较好的区域,而原车的工作点比较分散,分布在低效区。故混合动力汽车的经济性和排放性较原车好。

参考文献:

[1] 黄妙华, 金国栋, 邓亚东. 串联混合动力电动汽车

- 先导车的研究开发[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2001,25(3):273-276.
- HUANG Miao-hua, JIN Guo-dong, DENG Ya-dong. Research on the Series Hybrid Electric Vehicle [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2001, 25(3): 273-276.
- [2] 杨为琛, 孙逢春. 混合动力汽车的技术现状[J]. 车辆与动力技术, 2001(4): 41-46.
- YANG Wei-chen, SUN Feng-chun. State of Art of Hybrid Electric Vehicle [J]. Vehicle & Power Technology, 2001(4): 41-46.
- [3] 余志生. 汽车理论(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社, 1990.
- [4] 彭武, 张俊智, 卢青春. 混合动力电动公共汽车控制策略的仿真[J]. 公路交通科技, 2003, 20(1): 148-150.
- PENG Wu, ZHANG Jun-zhi, LU Qing-chun. Simulation on the Control Strategy of Hybrid Electric Bus [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(1): 148-150.
- [5] SATOSHI A, YUSUKE H, TAKAHIRO Y. Energy Efficiency Improvement of Series Hybrid Vehicle [C]. Proc JSAE 20014338.
- [6] ANDERSSON Jan, AXELSSON Roger. Route Adaptation of Control Strategies for a Hybrid City Bus[C]. Proc JSAE 9936832.
- [7] COOK Paul, JAMES Peter, WILLOWS Mark. Rapid Prototyping of Generic Hybrid Concept Vehicles[C]. SAE Technical Paper Series 2002-01-0755.
- [8] 王庆年, 曾小华, 王伟华. 混合动力技术在军用汽车上的应用[J]. 吉林大学学报(工学版), 2003, 33(1): 38-41.
- WANG Qing-nian, ZENG Xiao-hua, WANG Wei-hua. Application of the Hybrid Power on Military Vehicle[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2003, 33(1): 38-41.
- [9] 赵宏伟, 陈鹏, 刘大有, 王庆年. 混合动力汽车多能源动力总成嵌入式系统[J]. 吉林大学学报(工学版), 2003, 33(3): 35-37.
- ZHAO Hong-wei, CHEN Peng, LIU Da-you, WANG Qing-nian. Study on Hybrid Electric Vehicle Multi-Energy Powertrain Embedded-System [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2003, 33(3): 35-37.
- (责任编辑 陈永杰)