

基于动态工况能量管理的一种电动汽车最优控制研究

仙阿曼

(咸阳职业技术学院汽车学院, 陕西 西咸新区 712046)

摘要: 提高燃料的经济性是燃料电池电动汽车能量管理的关键目标, 针对燃料电池电动汽车在动态行驶工况下燃料电池利用效率低下, 续航里程下降的问题, 在燃料电池电动汽车关键部件的数学模型基础上, 采用识别驾驶员驾驶意图的能量管理策略, 搭建了基于施加的加速踏板位置执行驾驶意图的驾驶员模型, 构建了燃料电池电动汽车整车仿真模型, 着重分析了动态制动工况下电动汽车燃料电池的输出功率, 试验结果表明: 提高驾驶员驾驶意图的识别能够快速提升燃料电池利用率, 从而提高燃料电池电动汽车的续航里程。

关键词: 燃料电池; 能量管理; 动态行驶工况; 续航里程; 驾驶意图

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 94047- (2019) 04-037-004

0 引言

燃料电池电动汽车 FCEV 是指以燃料电池作为动力源, 或者辅以锂电池、超级电容作为辅助动力源的电动汽车^[1]。燃料电池电动汽车具有零排放, 高续航里程的优势, 但是面对复杂的行驶工况时, 燃料电池的利用率具有很大的局限性, 需要制定合适的能量管理策略才能弥补这一缺陷。对此, 国内外专家学者对燃料电池电动汽车能量管理策略的研究也投入了大量的精力物力, 其中, 国外的 Thounthong 学者以整车功率需求以及蓄电池的荷电状态为切入点, 将蓄电池的荷电状态作为目标函数, 设计适于整车能量管理最优的模糊规则, 构建了模糊控制器作为能量管理的上位控制器^[2]; Erdinc 学者将车辆瞬态功率需求的信号分离成高低频信号, 以满足整车需求功率为原则, 将低频能量需求的任务分配给燃料电池以及蓄电池, 防止大电流对燃料电池和蓄电池的冲击, 保护了燃料电池和蓄电池, 延长整车的续航里程^[3]; 文献^[4]以提高燃料经济性为目标, 采用基于瞬时优化的方法开展能量分配以及蓄电池的充电保持策略作为联合能量管理策略, 将蓄电池电能消耗或者电能补充, 等效为燃料电池发动机的燃料消耗量, 搭建了系统瞬时燃料

消耗量函数, 保证了蓄电池工作在最优的范围; 文献^[5]考虑燃料电池性能衰减、总线电压对电动机转矩和效率的影响, 燃料电池汽车能量管理算法采用动力电池荷电状态稳态平衡和燃料电池动态功率补偿相结合的方法, 以保持动力电池 SOC 处于较高的状态, 并在加载过程中防止燃料电池功率突变; 文献^[6]采用动态规划算法作为能量管理算法, 为了保证系统中燃料电池始终以较高效率运行, 利用模糊控制算法对整车能量流动进行实时优化, 提高了整车燃料经济性。本文在燃料电池电动汽车的系统架构下, 选取燃料电池串联蓄电池的系统结构, 以识别驾驶员驾驶意图作为能量管理策略, 在车辆仿真建模平台上对其进行验证。

1 燃料电池电动汽车系统数学模型

纯燃料电池电动汽车动力系统是指由燃料电池单一作为整车系统的动力电源, 不再外加辅助电源供电^[7]。燃料电池电动汽车动力系统有四种不同的结构, 分别为纯燃料电池结构、燃料电池和蓄电池串联结构、燃料电池串联超级电容结构以及燃料电池、蓄电池和超级电容三者结合的结构, 本文利用燃料电池串联蓄电池的动力结构, 当车辆处于加速阶段时, 燃料电池和蓄电池一起给驱动电机供电,

收稿日期: 2019-11-02

作者简介: 仙阿曼 (1989—) 女, 陕西咸阳人, 研究生, 讲师, 研究方向: 机械设计制造及其自动化, 汽车检测技术。

如若燃料电池能量充足,可以通过DC/DC变换器给蓄电池充电,使蓄电池荷电状态保持高水准,当车辆处于制动状态时,充分回收制动能量,在车辆起步阶段电机需求功率不是很大,加入蓄电池能够快速的输出电能,满足车辆的起步功率需求,燃料电池电动汽车的动力系统各个节点采用CAN总线通讯,其各个控制节点都设计了相应的控制单元,以保证整车的控制性能,其结构如下图1所示。

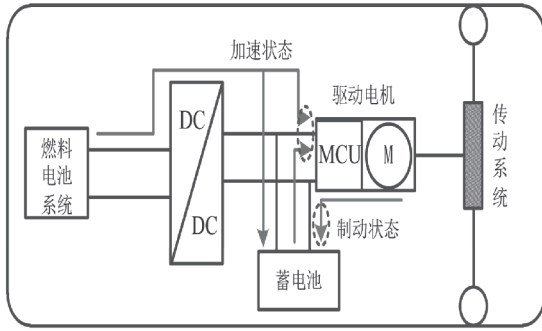


图1 燃料电池电动汽车动力系统结构

其中,燃料电池采用氢氧燃料电池堆模型^[8],数学描述如下所示:

$$\begin{cases} V = V_{oc} - \frac{3NA}{sT_d + 3} \ln\left(\frac{i_{fc}}{i_0}\right) \\ V_{fc} = V - R_o i_{fc} \end{cases} \quad (1)$$

式中: V_{fc}, V_{oc} 分别表示燃料电池终端电压和开路电压; i_{fc}, i_0 分别表示燃料堆输出电流和电池交换电流; R_o, T_d, A, N 分别表示燃料电池堆内阻、响应时间、匹配系数、以及燃料电池单体数目。

蓄电池的数学模型采用戴维宁等效电路模型,该电路模型能够便捷的获取蓄电池的SOC,具体的数学表达式^[9]如下所示。

$$\begin{cases} \dot{U}_D = \frac{i_L}{C_D} - \frac{U_o}{C_D R_o} \\ U_S = U_{oc} - U_D - R_i i_L \end{cases} \quad (2)$$

蓄电池的电流和开路电压以及内阻有关,本文将蓄电池的电流用开路电压表示出来,以便于准确估算电池的荷电状态SOC,其表达式^[10]如下。

$$\begin{cases} I = \frac{U_{oc} - (U_{oc}^2 - 4R_i P_o)^{0.5}}{2R_i} \\ SOC = SOC_0 + \frac{1}{3600C_s} \int_{t_0}^t Idt \end{cases} \quad (3)$$

在式2和式3中, U_D, U_S, U_{oc} 分别表示电池超电势、终端电压以及开路电压; i_L, R_o, R_i, P_o 分别表示

电池放电电流、电池内阻,终端电阻以及其输出功率; C_D, C_s 分别表示电池内部电容以及额定容量。

电动汽车整车模型采用功率需求模型^[10],由于本文研究对象的燃料电池电动汽车没有配置其他的高压低功率附件,其需求功率和整车的性能参数有直接关系,其表达式如下所示。

$$\begin{cases} P_n = \frac{u_a}{3.6\eta_f} (Mgf \cos(\alpha) + Mg \sin(\alpha) + S) \\ S = \frac{C_{ar} A}{21.15} u_a^2 + \frac{8M}{3.6} \frac{du_a}{g_t} \end{cases} \quad (4)$$

上式中, u_a, M, f, g 分别表示车速、车载质量、滚动阻力系数以及重力加速度; a, C_{ar}, A, d, g_t 分别表示道路等级、空气阻力系数、迎风面积、旋转质量以及传动系统传输效率。

2 驾驶员驾驶意图识别

燃料电池电动汽车是一个多节点控制的动力组合装置,驾驶员的行为意图通过传感器传递给执行机构,对于电动汽车能量管理来说,能够有效准确的识别驾驶员驾驶意图显得尤为重要。当精确地识别驾驶员驾驶意图后,通过节点控制来有效地分配燃料电池、蓄电池之间的输出功率,本文对驾驶员驾驶意图划分三类:起步状态^[11]、加速状态^[12]以及制动状态^[13]。

(A) 驾驶意图之车辆起步:由文献^[14]可知,车辆处于起步状态下时,驱动电机的需求功率非常小,蓄电池可以瞬间提供能量,单独给驱动电机供电,由此可得:

$$\begin{cases} 0 \leq v \leq 20 \text{ km/h} \\ SOC_{bat} \leq SOC_{fc} \leq 1 \\ P_n^* = P_{bat} - \lambda P_{loss} \end{cases} \quad (5)$$

(B) 驾驶意图之车辆加速行驶:车辆处于加速状态下时,驱动电机的需求功率不断增大,此时,燃料电池的能量会逐步减少,为了保证整车的行驶,需要蓄电池和燃料电池一起给驱动电机输出电能,在此阶段两动力源的荷电状态在不断的下降,由此可得:

$$\begin{cases} 0 \leq v \leq 100 \text{ km/h} \\ SOC_{bat} \leq SOC_{fc} \leq 1 \\ P_n^* = P_{bat} + P_{fc} - \lambda P_{loss} \end{cases} \quad (6)$$

(C) 驾驶意图之车辆制动状态:文献[15]车辆

处于减速制动状态下时，驱动电机的需求功率下降直至为零，在此过程中，可以充分的回收制动能量给蓄电池充电。

$$\begin{cases} 0 \leq v \leq 100 \text{ km/h} \\ SOC_{bat} \leq SOC_{fc} \leq 1 \\ P_n^* = P_{fc} - \lambda P_{loss} (\text{减速}) \end{cases} \quad (7)$$

上述公式中， v, P_n^* 分别表示车辆的行驶速度和需求功率； SOC_{bat}, SOC_{fc} 分别表示蓄电池和燃料电池的荷电状态； $P_{bat}, P_{fc}, P_{loss}, \lambda$ 分别表示蓄电池和燃料电池的输出功率；分别表示功率损耗以及修正系数。

识别驾驶员驾驶意图最终转换为整车的功率需求，起步、制动以及加速意图意味着不同的功率分配，功率分配的过程中需要各个控制节点协同工作，本文在整车建模仿真平台上搭建了基于驾驶员意图识别模型的燃料电池电动汽车整车模型，模型包括燃料电池、蓄电池、驱动电机、驾驶员、DC/DC变换器以及电池管理系统、电机控制器、制动能量回收控制器，模型如下图2所示，整车性能参数如表1所示。

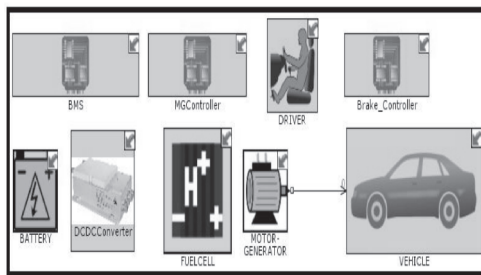


图2 燃料电池电动汽车整车模型

表1 整车性能参数

参数	数值
整车质量	15600kg
滚动阻力系数	0.06
空气阻力系数	0.55
迎风面积	2.21 m ²
旋转质量	1.14
传输效率	0.88
燃料电池额定功率	145KW
蓄电池容量	32Ah
电机额定功率	300KW
DC/DC 转换效率	96.23%

3 仿真结果分析

选取HFET作为模型仿真运行工况，仿真结果

如下图所示。

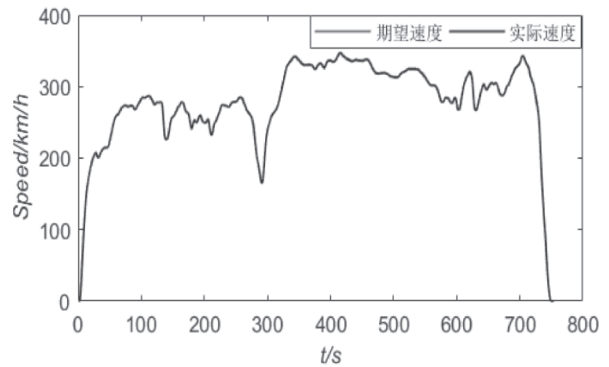


图3 车速

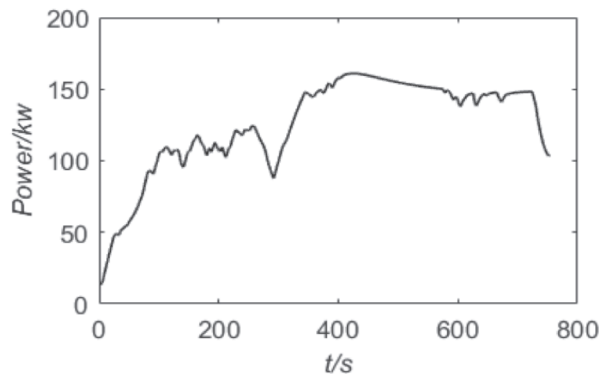


图4 燃料电池输出功率

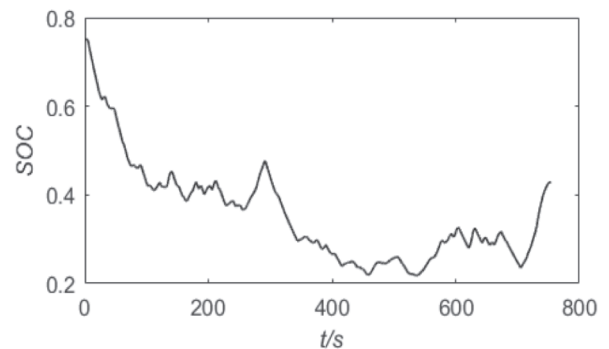


图5 蓄电池荷电状态

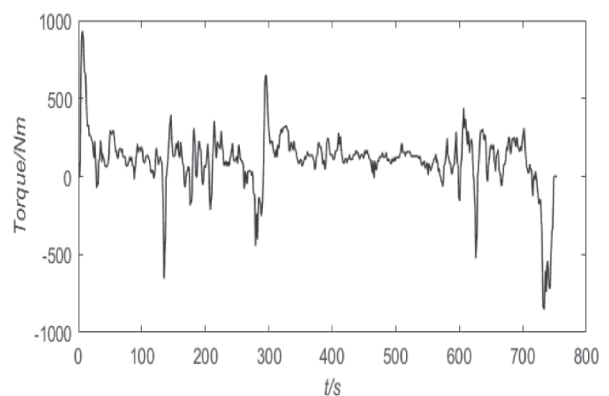


图6 驱动电机转矩

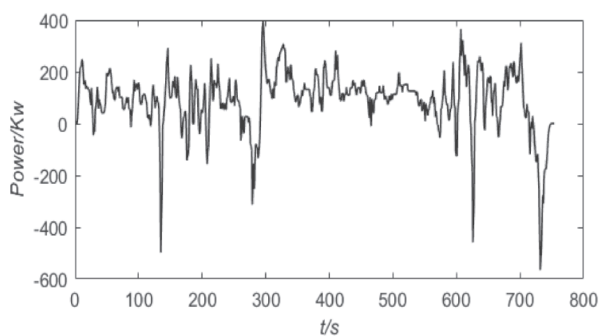


图7 驱动电机输出功率

由图3可知,在整个循环工况下,能够精确的识别驾驶员的期望车速,通过车速结果可以看出,在起步、加速以及减速制动状态下的车速都能够准确地跟踪。

结合图4、图6和图7可以看出,驱动电机的输出转矩和输出功率相呼应,燃料电池在整车整个行驶工况周期内都能满足驱动电机的功率需求,尤其是车辆需要加速行驶时,燃料电池输出最大的功率来满足驱动电机的功率需求,蓄电池也输出部分功率来补充整车的需求功率。

从图5可以看出蓄电池的SOC由开始的78%降至接近20%,然后又回升到42%,SOC的变化过程说明了在加速阶段蓄电池也参与了功率输出,输出到驱动电机,在整个循环工况周期内,车辆经历了小幅度的减速和制动,蓄电池SOC也有小幅度的回升,在最后车辆逐步减速制动,蓄电池不断回收制动能量,蓄电池SOC大幅度上升,在很大程度上避免了蓄电池的过放,保证了整车的续驶里程。

4 结论

(1) 面对提高燃料电池电动汽车的燃料利用率目标,本文在燃料电池电动汽车关键部件的数学模型基础上,规划了基于驾驶员驾驶意图的不同状态,在起步、加速和制动三种不同状态下进行功率分配,很好的将燃料电池和蓄电池结合起来,又设计了相应的控制器,使燃料电池和蓄电池更加有效的协同工作,通过建立整车控制模型进行算法仿真,仿真结果表明,精确的识别驾驶员驾驶意图能够充分的利用燃料电池,蓄电池能够回收制动能量,以保证整车优秀的续驶里程能力。

(2) 在更为复杂的行驶工况下,蓄电池极易受到大电流脉冲的冲击,对动力电池的一致性产生

重大影响,在往后的研究中,需要考虑加载主动/被动均衡控制策略。

参考文献

- [1]刘树德.燃料电池汽车混合动力系统设计与控制策略研究[D].青岛理工大学,2015.
- [2]Thounthong P, Raē l S, Davat B. Control strategy of fuel cell/supercapacitors hybrid power sources for electric vehicle[J]. Journal of Power Sources,2006, 158(1):806-814.
- [3]Erdinc O, Mural B, Uzunoglu M. A wavelet-fuzzy logic based energy management strategy for a fuel cell/battery/ultra-capacitor hybrid vehicular power system[J].Journal of Power sources,2009,194(1):369-380.
- [4]石英乔,何彬,曹桂军等.燃料电池混合动力瞬时优化能量管理策略研究[J].汽车工程,2008,30(1).
- [5]徐梁飞,卢兰光,李建秋等.燃料电池混合动力系统建模及能量管理算法仿真[J].机械工程学报,2009,45(1): 141-147.
- [6]金振华,欧阳明高,卢青春等.燃料电池混合动力系统优化控制策略[J].清华大学学报:自然科学版,2009(2): 273-276.
- [7]陈明帅.燃料电池电动汽车混合动力系统的仿真研究[D].青岛大学,2018.
- [8]黄宸,黄亮,卢叶等.燃料电池Buck变换器的动态演化控制仿真[J].机电工程,2014,31(11):1490-1494,1512.
- [9]Sun F, Xiong R. A novel dual-scale cell state-of-charge estimation approach for series-connected battery pack used in electric vehicles.J Power Sources[J].2015;274: 582-94.
- [10]Zhang S ,Xiong R ,Sun F .Model predictive control for power management in a plug-in hybrid electric vehicle with a hybrid energy storage system[J].Applied Energy, 2015,185:1654-1662.
- [11]王姝,赵轩,余强.基于驾驶员意图识别电动汽车平路起步控制策略研究[J].西南大学学报(自然科学版), 2016,38(12):140-149.
- [12]冯能莲;董昊龙;宾洋等.电动汽车用复合能源系统实验平台研发[J].实验技术与管理,2015,05:90-93.
- [13]王英范,宁国宝,余卓平.乘用车驾驶员制动意图识别参数的选择[J].汽车工程, 2011,33(3):213-216.
- [14]高建平,赵金宝,杨松等.基于驾驶意图的插电式混合动力公交车控制策略[J].机械工程学报,2016,52(24): 107-114.
- [15]郑颖,郑显锋,张旺等.基于模糊控制理论的纯电动汽车制动系[J].国外电子测量技术,2017,36(12):121-125.

[责任编辑 王军利]

(下转第64页)