第 37 卷第 5 期　　河北科技大学学报　　Vol. 37, No. 5
2016 年 10 月　　Journal of Hebei University of Science and Technology　　Oct. 2016

文章编号:1008-1542(2016)05-0457-07　　doi:10.7535/hbkd.2016yx05005

基于行驶工况的混合动力电动汽车能量管理策略研究现状分析

林歆悠[1,2],翟柳清[1,2],林海波[1,2]

(1. 福州大学机械工程及自动化学院,福建福州　350116;2. 福建省高端装备制造协同创新中心,福建福州　350002)

摘　要:分析了目前能量管理策略的 2 种研究方法——基于动力系统运行状态的控制策略和基于行驶工况的控制策略的优势及不足。着重针对基于行驶工况的控制策略进行探讨,指出:基于已知行驶工况的全局优化策略运算过程耗时长且计算量大,难以直接在实车上应用,但可用于作为理想的优化控制参考目标;为了实现实时优化控制,目前主要采用基于工况识别的控制策略与基于模型的预测控制等方法,探索基于行驶工况预测的实时优化控制策略并获得接近离线优化的控制效果,成为新的研究热点和管理控制策略的研究趋势。

关键词:车辆工程;混合动力汽车;能量管理;行驶工况;预测控制

中图分类号:U469.72^{+}2　　**文献标志码:**A

Research status of hybrid electric vehicle energy management strategy based on the driving cycle

LIN Xinyou[1,2], ZHAI Liuqing[1,2], LIN Haibo[1,2]

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350116, China; 2. Fujian Provincial Collaborative Innovation Center for High-end Equipment Manufacturing, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: The paper analyzes the advantages and disadvantages of two different energy management strategies which are the management strategy based on the dynamic system running state and the management strategy based on the driving cycle. The paper focuses on the study of the strategy based on the driving cycle, and points out that though the operation process of the global optimization strategy based on the driving cycle takes long and large amount of calculation so that it can hardly be used in the real vehicle. The strategy can be taken as the reference for the ideal optimization control target. In order to achieve the real-time optimal control, there are mainly the method based on the driving cycle of recognition control strategy and the method based on model predictive control, etc. It makes the exploration to predict the real-time optimal control strategy based on the

收稿日期:2015-11-07;修回日期:2015-12-19;责任编辑:李　穆
基金项目:国家自然科学基金(51505086)
作者简介:林歆悠(1981—),男,福建泉州人,讲师,博士,主要从事新能源汽车能量管理策略方面的研究。
E-mail:linxinyoou@fzu.edu.cn
林歆悠,翟柳清,林海波.基于行驶工况的混合动力电动汽车能量管理策略研究现状分析[J].河北科技大学学报,2016,37(5):457-463.
LIN Xinyou, ZHAI Liuqing, LIN Haibo. Research status of hybrid electric vehicle energy management strategy based on the driving cycle [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2016, 37(5): 457-463.

driving cycle become real, and the effects of the control results get close to the offline global optimization. The proposed strategy is a new research hotspot and research trend of energy management strategy.

Keywords: vehicle engineering; hybrid electric vehicle; energy management; driving cycle; predictive control

随着环境问题的日益突出，不仅恶劣的雾霾天气引起社会的广泛关注，当前传统汽车的尾气也已作为大气污染的主要因素而备受关注。随着能源需求的不断扩大，石油供应将面临危机，因此，发展新能源汽车是解决环境问题和摆脱石油危机的关键。世界各国均相继推出一系列新能源汽车计划，其中中国的中长期科学和技术发展规划纲要(2006－2020)把“低能耗和新能源汽车”定为重点发展领域。同时，“十二五”规划也把新能源汽车列为战略性新兴产业之一，提出要重点发展插电式混合动力汽车(plug-in hybrid electric vehicle，PHEV)、纯电动汽车(electric vehicle，EV)等，并推进其产业化，力争至2020年实现PHEV和EV累计产销量达200万辆的发展目标[1]。纯电动汽车由于受限于能量存储技术，短期内难以推广，所以当前市场发展以混合动力汽车为主。因PHEV可通过电网获取电能充电且具有高效节能、排放低、续航里程长，而成为各大汽车公司研发的热点，被视为目前最具有应用前景的混合动力汽车[2]。如何分配发动机和电池之间的能量，将极大影响到混合动力汽车的整体性能。因此，能量管理控制策略的研究对于混合动力汽车的发展至关重要。

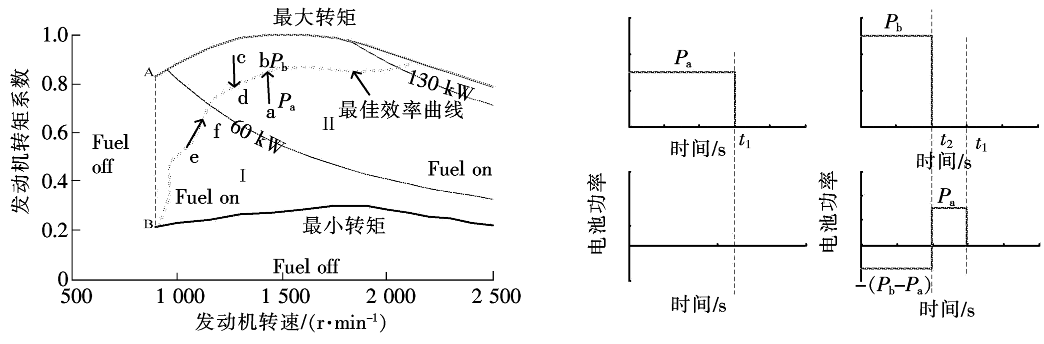
基于单纯的车辆状态的决策算法，能量管理策略分为基于规则、瞬时优化以及全局优化控制策略[3]。基于规则的能量管理策略包括恒温器型和基于模糊规则的能量管理策略等，计算量小、实现容易，但优化效果差。瞬时优化控制策略通过实时计算不同工作点处的不同功率分配组合的瞬时消耗，来综合确定混合动力系统的工作模式，以及发动机工作点。等效最小消耗策略ECMS是瞬时优化能量管理策略的代表，由于瞬时优化无法达到全局最优，研究人员开发了基于全局优化的能量管理策略。全局优化求解的方法很多，包括线性规划、序列二次规划、动态规划、基于神经网络和遗传算法的离线优化算法等。

电池SOC对于整个能量管理控制策略是一个关键的决策参数，可从电池荷电状态(SOC)的开闭环控制的角度对能量管理策略进行分类，SOC闭环控制通过基于状态估计的动力电池SOC的平衡控制，来合理分配能量源的输出功率[4]。另外，混合动力汽车能量管理策略从单目标优化如燃油经济性或系统效率发展成为多目标优化的控制策略，并结合性能参数优化与上下层控制，朝着综合优化的方向发展。如PICCOLO等[5]采用遗传算法对PHEV能量管理策略进行优化设计，以整车燃油经济性、排放性及驾驶性等为目标，建立全局优化数学模型，运用相应的优化方法计算求得最优的能量管理策略。

随着能量管理策略研究的深入以及智能互联交通的逐渐发展，融合行驶工况的能量管理策略成为接近全局优化控制效果的解决方案。因此，本文基于动力系统运行状态的控制策略，从行驶工况控制策略的角度对混合动力汽车能量管理策略的发展演化进行论述。

1 基于动力系统运行状态的控制策略

基于动力系统运行状态的控制策略，包括优化发动机工作状态的控制策略和优化动力系统效率的控制策略。优化发动机工作状态的控制策略以保证电池荷电状态SOC处在一定范围运行为核心，以最大可能提高发动机的工作效率为控制目标。该策略可概括为3种[6-7]：发动机最优工作点控制策略[8]、发动机最优工作效率曲线控制策略[9-10]以及发动机最优工作区域控制策略[11]。发动机最优工作点控制策略主要用在串联和采用两自由度行星轮结构的混合动力汽车控制中，仅以电池SOC为门限值的单参数控制策略，会导致电池频繁反复地进行充放电，而发动机的输出功率需要不断地进行二次能量转换，系统能量利用效率较低。对于发动机最优工作曲线或工作区域控制策略而言，尽管通过电池SOC值的变化动态调整发动机工作状态使其尽可能落在最佳工作线或者高效区域范围内，但其忽略了电池、驱动电机/发电机的工作效率，从而无法获得最佳的系统性能。为了弥补上述策略的不足，优化系统效率控制策略以系统整体功率需求作为考虑对象，兼顾电池组和驱动电机/发电机及其控制系统工作特性，以系统效率最佳为控制目标(如图1所示)，制定了基于发动机工作区域的功率均衡控制策略[12]，其通过控制电池的工作状态可以实现提高发动机效率和系统效率。在上述控制模型中只是针对稳态的MAP进行系统效率优化，其实现难点在于实际驾驶循环过程中，面对复杂多变的行驶工况，其工况适应性较差。



a) 发动机工作区域划分　　b) 功率均衡策略示意

图 1　基于发动机工作区域的功率均衡控制策略

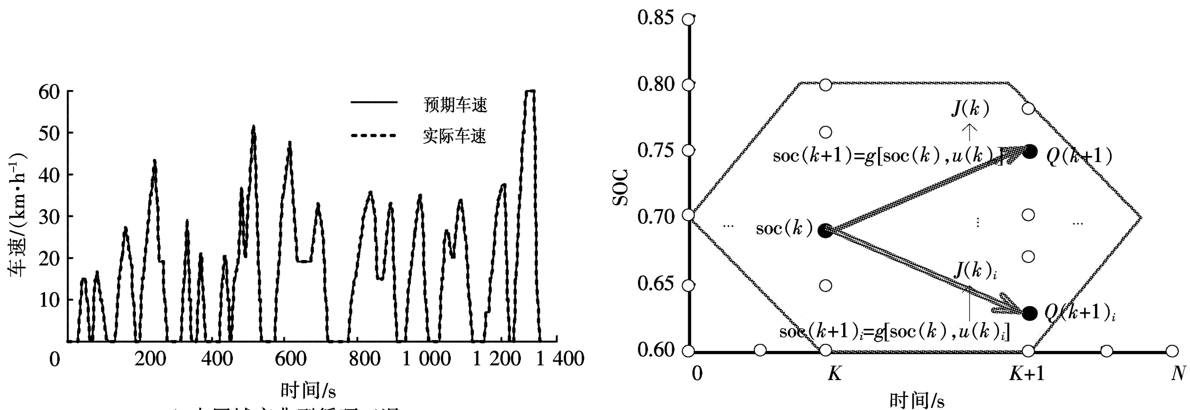
Fig. 1　Power balance control strategy based on the engine work area

2　基于行驶工况的控制策略

基于行驶工况的控制策略可分为基于已知行驶循环工况的离线全局优化和基于行驶工况预测的实时优化控制策略。

2.1　基于已知行驶循环工况的离线全局优化

基于已知行驶循环工况的离线全局优化是根据整个行驶道路不同路段的行驶特征进而规划发动机与蓄电池之间的能量决策，以整条行驶路径系统效率最佳为其控制目标建立优化数学模型，采用诸如经典优化控制理论的庞特里雅金最值原理 PMP[13-14]、运筹学的动态规划 DP[15]、模拟生物进化过程的计算模型遗传算法 GA[16] 以及通用概率算法模拟退火 SA[17-18] 等算法进行优化。基于已知循环工况的动态规划全局优化控制策略如图 2 所示。基于已知行驶循环工况的离线全局优化所获得的能量管理策略，通过在已知工况中确立控制目标，并建立数学模型进而制定各种优化算法依据大量运算结果，理论上可以获得精确而最佳的系统性能。由于其在已知工况中进行离线优化，而且运算过程耗时长且计算量大，因此难以直接在实车上应用，然而其经过了高度严密的推理决策过程，故获得的理论结果可作为理想的优化控制参考目标。



a) 中国城市典型循环工况　　b) 动态规划求解过程示意图

图 2　基于已知循环工况的动态规划全局优化控制策略

Fig. 2　Based on the known driving cycles of dynamic programming global optimization control strategy

2.2　基于行驶工况预测的实时优化控制策略

基于行驶工况预测的实时优化控制策略成为目前新的研究热点与难点。该方法的难点在于如何预测车辆未来行驶工况的信息，并识别其具体的模式特征以便及时规划动力系统的运行模式，从而进行符合系统性能最佳的能量分配决策。该领域已有的研究成果主要是利用各种瞬时优化算法或智能控制算法，如随机动态规划 SDP[19-20]、模型预测控制 MPC[21] 以及机器学习算法控制策略[22-23] 等。另外由于等效燃油消耗最小控制策略 ECMS[24-25] 在实时优化方面达到的效果比较理想，因此在此基础上提出了针对固定路线的自适应等效燃油消耗最低 A-ECMS[26] 控制策略。文献[27]提出了一种基于价值函数的多目标

优化的方法，根据车辆的当前状态对不同目标权重进行调整，最后通过遗传算法进行优化。文献[19—20]的随机动态规划 SDP 控制策略通过统计当前时刻的驾驶员需求功率的概率，进而实现对下一时刻需求功率的预测；文献[22—23]所提及的智能混合动力汽车则是利用机器学习算法对典型工况进行识别，并在识别工况特征的基础上对控制策略做出相应的调整，例如图 3、图 4 所示，为基于学习向量量化(LVQ)的神经网络算法工况识别控制策略[28]。类似的，文献[29]提出实时智能的能量管理策略，通过基于行驶路径的动态规划训练 2 个神经网络模块，根据行驶工况选择合适的神经网络模块来进一步提高燃油经济性。该方法由于动态优化的计算量庞大而很难直接应用于实时优化预测控制，而且由于仅在历史行驶数据的基础上进行预测，存在一定概率的问题，不能实现准确的预测，从而无法达到真正意义上的实时优化[30]。

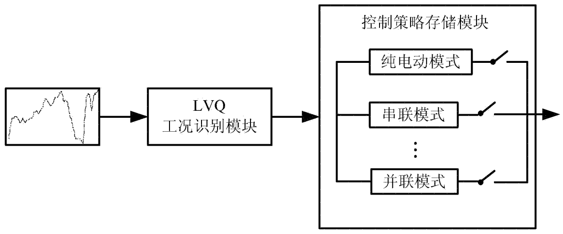
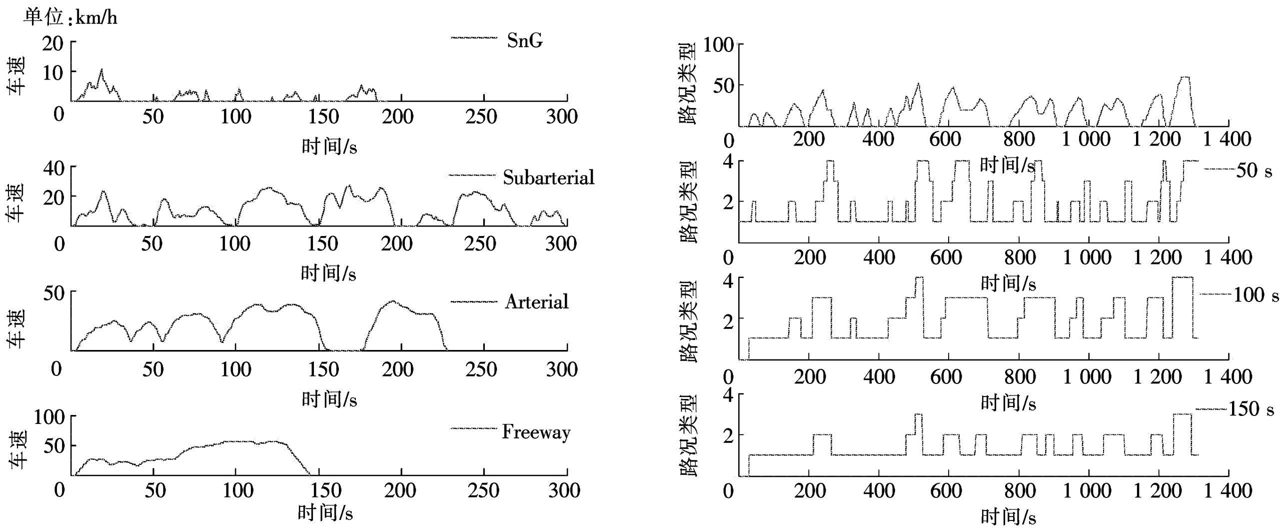


图 3 学习向量量化(LVQ)神经网络的工况识别

Fig.3 Driving pattern recognition based on the learning vector quantization (LVQ) neural network identification



a) 四种典型工况

b) 不同采样下的工况识别效果

图 4 基于工况识别的控制策略

Fig.4 Control strategy based on driving pattern recognition

另外一种工况预测方法模型预测控制在混合动力汽车能量管理策略方面的研究受到广泛关注[31-34]，成为一种新型的基于工况未来信息的预测控制策略优化方法。张炳力等[35]提出一种基于随机动态规划的客车能量管理策略的设计思想，将驾驶员需求功率模拟为一个离散的随机动态过程，并建立相应的马尔可夫模型，在此基础上采用策略迭代的算法对能量管理策略进行了优化。张昕等[36]采用一阶齐次马尔可夫链状态转移概率矩阵，对主干道和快速路建立了行驶工况特征参数预测模型，并通过对预测准确度的对比分析，确定了滚动时间窗和预测视距的最佳值。孟凡博等[37]采用模型预测控制的思路，选取加速踏板位置不变、指数衰减、按马尔可夫链随机分布 3 种不同的车辆未来转矩需求预测模型，运用动态规划算法进行转矩分配的优化，并与基于规则的混合动力控制策略进行对比。聂天雄[38]将时间域转换为空间域，建立了基于空间域的混合动力汽车燃油经济性预测控制模型，提出理论 SOC 斜率作为模型预测控制的参考斜率，在未来行驶工况中出现特殊工况时对理论 SOC 斜率进行修正。SUN 等[39]采用基于神经网络的预测模型预测车辆的速度，分别与基于马尔可夫链预测模型与指数预测模型进行对比，证明其所提出的基于神经网络预测模型具有更好优化效果。

模型预测对象包括车速、需求转矩预测模型，更进一步综合考虑驾驶员风格，结合通讯网络技术，包括全球定位系统 GPS 以及车辆间的通讯等获取未来行驶道路的信息[40-41]，实时的归纳过去 N s 的行驶特征的

变化规律来判断未来 M s 的行驶趋势，该方法具体可见图 5。JONG 等[42]研究了智能能量管理策略，考虑了道路特征、车辆工作模式、驾驶员风格和车辆状态。HU[43]等通过实时获得智能交通系统信息(ITS)来判断车辆运行在高速公路或是城市工况，根据判断结果选择系统工作模式。RAJAGOPALAN 等[44]通过车载导航系统得到汽车未来 150 s 到 300 s 的平均车速和坡度，并通过汽车过去 300 s 的车速和坡度判断出汽车当前行驶状态，采用模糊控制优化策略。KIM 等[45]采用车载遥测器采集前方一台参考车辆的交通运行信息，以该车辆的车速作为参考轨迹，提出以最小油耗为目标的非线性模型预测控制算法，预测前方 5 s 到 15 s 的车速信息，使模型预测控制策略具有良好的燃油经济性。

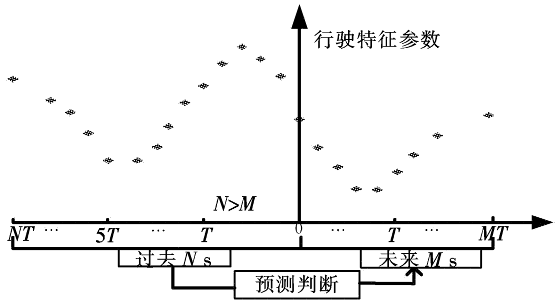


图 5　工况模式预测过程

Fig. 5　Process of driving pattern prediction

根据上述的分析可知，如果能量管理策略能根据未来的行驶工况自动切换不同的策略，那么它将极大地提高整车燃油经济性和降低排放。能量管理预测控制策略则是解决这一问题的关键方法，能够进一步提高混合动力系统的经济性和降低排放性，使得其成为研究混合动力系统控制策略的热点及趋势，但目前对其的研究仍然处于探索阶段。

3　结　语

1)混合动力系统能量管理策略经历了基于系统本身状态的决策算法、逻辑门限控制、实时优化控制以及全局优化控制等阶段，控制方法从单目标优化到多目标综合优化或以围绕电池荷电状态为核心。从另一角度总结了基于动力系统运行状态的控制策略和基于行驶工况的控制策略的研究方法，其中基于行驶工况的控制策略中的基于已知行驶循环工况的离线全局优化则包含全局优化、单目标优化或者多目标优化方法；基于行驶工况预测的实时优化控制策略则包含实时优化控制结合行驶工况信息的新型能量管理控制策略。

2)基于动力系统运行状态的控制策略的主要优点为实现简单，但在实际驾驶循环过程中，面对复杂多变的行驶工况，其工况适应性较差。基于行驶工况的控制策略，基于已知行驶工况建立数学模型并采用优化算法，进行计算可从理论上获得最佳的控制效果，但仅能作为控制参考，很难在实车上应用。

3)为了兼顾最优控制及实车应用，需要对基于行驶工况预测的实时优化控制策略进行研究。该研究涉及工况识别与工况预测，其中基于模型预测控制的方法研究是能量管理控制策略研究的热点。

参考文献/References：

[1]　孙会琴，薛智宏，郭英军，等. 基于关键技术合理规划地方新能源电动汽车产业发展[J]. 河北工业科技，2014，31(5)：447-451.
SUN Huiqin，XUE Zhihong，GUO Yingjun，et al. Planning of local new energy electric development based on the core vehicle industry technology[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology，2014，31(5)：447-451.

[2]　马春梅，韩丽. 河北省新能源汽车产业发展策略探讨[J]. 河北科技大学学报(社会科学版)，2011，11(4)：12-16.
MA Chunmei，HAN Li. A discussion on the development strategy of new energy vehicles industry in Hebei Province[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology(Social Sciences)，2011，11(4)：12-16.

[3]　ZHANG Pei，YAN Fuwu，DU Changqing. A comprehensive analysis of energy management strategies for hybrid electric vehicles based on bibliometrics[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews，2015，48：88-104.

[4]　QI Xuewei，WU Guoyuan，BORIBOONSOMSIN K，et al. Evolutionary algorithm based on-line PHEV energy management system with self-adaptive SOC control[J]. IEEE Intelligent Vehicles Symposium，2015，8：425-430.

[5]　PICCOLO A，IPPOLITO L，GALDI V，et al. Optimization of energy flow management in hybrid electric vehicles via genetic algorithms [J]. IEEE/ASME Int Conf Adv Intell Mechatronics，2001，7：434-439.

[6]　WANG B H，LUO Y G. Application study on a control strategy for a hybrid electric public bus[J]. International Journal of Automotive Technology，2011，12(1)：141-147.

[7]　CHAU K T，WONG Y S. Overview of power management in hybrid electric vehicles[J]. Energy Conversion and Management，2002，43：1953-1968.

[8] AHN K,CHO S,CHA S W. Optimal operation of the power-split hybrid electric vehicle powertrain[J]. IMechE(Part D), 2008,222:789-800.

[9] 王庆年,孙树韬,曾小华,等. 并联混合动力客车广义最优工作曲线控制研究[J]. 汽车工程,2008,30(5): 391-394.
WANG Qingnian,SUN Shutao,ZENG Xiaohua, et al. A study on the optimal operation line control strategy for hybrid electric bus[J]. Automotive Engineering, 2008,30(5): 391-394.

[10] WANG F, MAO X J, YANG L, et al. Steady-state and idle optimization of internal combustion engine control strategies for hybrid electric vehicles [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 21(2):58-64.

[11] 叶心. ISG 型中度混合动力 AMT 汽车综合控制策略研究[D].重庆:重庆大学,2011.
YE Xin. ISG Control Strategy of Mild Hybrid AMT Vehicle Comprehensive Research [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.

[12] 林歆悠,孙冬野,尹燕莉,等.混联式混合动力客车发动机优化控制策略[J].重庆大学学报,2012,35(7):13-18.
LIN Xinyou,SUN Dongye,YIN Yanli, et al. Development of control strategy for a sries-parallel hybrid electric bus based engine efficiency optimization[J]. Journal of Chongqing University,2012,35(7):13-18.

[13] 林歆悠,孙冬野,邓涛.基于极小值原理混联混合动力客车控制策略优化[J].汽车工程, 2012, 34(10):1030-1036.
LIN Xinyou, SUN Dongye,DENG Tao. Energy management strategy optimization for a series-parallel hybrid electric bus based on pontryagin's minimum principle[J]. Automotive Engineering, 2012, 34(10):1030-1036.

[14] HOU Cong, OUYANG Minggao, XU Liangfei, et al. Approximate pontryagin's minimum principle applied to the energy management of plug-in hybrid electric vehicles [J]. Applied Energy, 2014 (115):174-189.

[15] SUNDSTROM O, AMBUHL D, GUZZELLA L. On implementation of dynamic programming for optimal control problems with final state constraints [J]. Oil & Science and Technology-Rev IFP, 2010, 65(1): 91-102.

[16] 张昕,宋建峰,田毅,等.基于多目标遗传算法的混合动力电动汽车控制策略优化[J].机械工程学报, 2009,45(2):36-40.
ZHANG Xin, SONG Jianfeng,TIAN Yi, et al. Multi-objective optimization of hybrid electric vehicle control strategy with genetic algorithm[J].Journal of Mechanical Engineering, 2009,45(2):36-40.

[17] SUN Hui. Multi-objective optimization for hydraulic hybrid vehicle based on adaptive simulated annealing genetic algorithm [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence,2010(23):27-33.

[18] TROVAO J P F, SANTOS V, PEREIRINHA P G, et al. A simulated annealing approach for optimal power source management in a small EV[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2013, 4(4):867-876.

[19] JOHANNESSON L, ASBOGARD M, EGARDT B. Assessing the potential of predictive control for hybrid vehicle powertrains using stochastic dynamic programming [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2007, 8(1):71-83.

[20] 林歆悠,孙冬野,尹燕莉,等.基于随机动态规划混联式混合动力客车能量管理控制策略[J].汽车工程,2012, 34(9):830-836.
LIN Xinyou, SUN Dongye,YIN Yanli, et al. The energy management bus based on strategy for a series-parallel hybrid electric stochastic dynamic programming[J]. Automotive Engineering, 2012, 34(9):830-836.

[21] HE Lin, SHEN Tielong, YU Liangyao, et al. A model-predictive-control-based torque demand control approach for parallel hybrid powertrains[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(3):1041-1051.

[22] MURPHEY Y L, PARK J, CHEN Zhihang, et al. Intelligent hybrid vehicle power control—Part I: Machine learning of optimal vehicle power [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(8):3519-3530.

[23] MURPHEY Y L, PARK J, KILIARIS L, et al. Intelligent hybrid vehicle power control—Part II: Online intelligent energy management [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(1):69-79.

[24] PAGANELLIG, GUERRA T, DELPRAT S,et al. Simulation and assessment of power control strategies for a parallel hybrid car[J]. IMechE(Part D), 2000, 214:705-717.

[25] SUN Dongye,LIN Xinyou,QIN Datong, et al. Power-balancing instantaneous optimization control strategy for a novel series-parallel hybrid electric bus[J].Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012,25(6): 1161-1170.

[26] ONORI S, SERRAO L. On adaptive-ECMS strategies for hybrid electric vehicles [J]. Int Scient Conf on Hybrid and Electric Vehicles, IFP Energies Nouvelles-RHEVE, 2011: 1-7.

[27] ZHANG Y, LIU H,GUO Q. Varying-domain optimal management strategy for parallel hybrid electric vehicles[J]. IEEE Trans Veh Technol,2014,63:603-616.

[28] 林歆悠,孙冬野.基于工况识别混联式混合动力客车控制策略研究[J].中国机械工程,2012,23(7):869-874.
LIN Xinyou, SUN Dongye. Development of control strategy for a series-parallel hybrid electric city bus based on roadway type recognition [J].China Mechanical Engineering, 2012,23(7):869-874.

[29] CHEN Z,MI C C,XU J, et al. Energy management for a power-split plug-in hybrid electric vehicle based on dynamic programming and neural networks[J].IEEE Trans Veh Technol,2014,63:1567-1580.

[30] ZHANG S, XIONG R. Adaptive energy management of a plug-in hybrid electric vehicle based on driving pattern recognition and dynamic programming[J]. Appl Energy, 2015, 155:68-78.

[31] WILHELM C, PAPAJEWSKI J, GEBHARD P, et al. Model-predictive energy management for the integration of plug-in-hybrid electric vehicles into building energy systems [J]. SAE Paper, 2013(1):1443.

[32] 舒红,聂天雄,邓丽君,等.插电式并联混合动力汽车模型预测控制[J].重庆大学学报,2011, 34(5): 36-41.

SHU Hong, NIE Tianxiong, DENG Lijun, et al. Model predictive control for a plug-in hybrid electric vehicle[J]. Journal of Chongqing University, 2011, 34(5): 36-41.

[33] UNGER J, KOZEK M, JAKUBEK S. Nonlinear model predictive energy management controller with load and cycle prediction for non-road HEV [J]. Control Engineering Practice, 2015 (36): 120-132.

[34] BORHAN H, VAHIDI A, PHILLIPS A. MPC-based energy management of a power-split hybrid electric vehicle [J]. IEEE Transactions Control Systems Technology, 2012, 20(3): 593-603.

[35] 张炳力，代康伟，赵韩，等. 基于随机动态规划的燃料电池城市客车能量管理策略优化[J]. 系统仿真学报，2008，20(17)：4664-4667.
ZHANG Bingli, DAI Kangwei, ZHAO Han, et al. Optimized energy management strategy for fuel cell city bus based on stochastic dynamic programming[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(17): 4664-4667.

[36] 张昕，王松涛，张欣，等. 基于马尔可夫链的混合动力汽车行驶工况预测研究[J]. 汽车工程，2014，36(10)：1216-1220.
ZHANG Xin, WANG Songtao, ZHANG Xin, et al. A research on driving condition prediction for HEVs based on Markov chain[J]. Automotive Engineering, 2014, 36(10): 1216-1220.

[37] 孟凡博，黄开胜，曾祥瑞，等. 基于马尔可夫链的混合动力汽车模型预测控制[J]. 中国机械工程，2014，25(19)：2692-2697.
MENG Fanbo, HUANG Kaisheng, ZENG Xiangrui, et al. Model predictive control for hybrid electric vehicle based on Markov chain approach[J]. China Mechanical Engineering, 2014, 25(19): 2692-2697.

[38] 聂天雄. 插电式并联混合动力汽车模型预测控制[D]. 重庆：重庆大学，2011.
NIE Tianxiong. Model Predictive Control for a Plug-in Hybrid Electric Vehicle [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.

[39] SUN C, HU X, MOURA S J, et al. Velocity predictors for predictive energy management in hybrid electric vehicles[J]. IEEE Trans Control Syst Technol, 2015, 23(3): 1197-1204.

[40] HE Yiming, RIOS J, CHOWDBURY M. Using vehicle navigation and journey information for the optimal control of hybrid and electric vehicles [J]. Transportation Research (Part D), 2012(17): 201-207.

[41] HE Yiming, CHOWDBURY M, PISU P. An energy optimization strategy for power-split drivetrain plug-in hybrid electric vehicles [J]. Transportation Research (Part C), 2012(17): 29-41.

[42] JONG S W, REZA L. Intelligent Energy Management Agent for a Parallel Hyhrid Vehicle[D]. Colorado: America Control Conference, 2003.

[43] HU C, HUANG A Q, GAO Y. Comprehensive lost minimization strategy for parallel plug-in hybrid electric vehicles[J]. IEEE, 2013 (7): 1-7.

[44] RAJAGOPALAN A, WASHINGTON G. Intelligent control of hybrid electric vehicles using GPS information[C]//Arlington: SAE Future Car Congress. [S. l.]: [s. n.], 2002: 10.4271/2002-01-1936.

[45] TAE S K, MANZIE C, SHARMA R. Model predictive control of velocity and torque split in a parallel hybrid vehicle[C]//Cybernetics : IEEE International Conference on Systems. [S. l.]: [s. n.], 2009: 2014-2019.

《河北科技大学学报》复合影响因子上升至 1.218

据中国知网发布的中国学术期刊影响因子年报（自然科学与工程技术·2016），《河北科技大学学报》的复合影响因子由 2015 年的 0.899 上升到 1.218，在 424 种综合科学技术类期刊中排名第 7，期刊影响力指数（CI）的学科排名由 2015 年的第 121 名上升到第 58 名。

另外，我编辑部编辑出版的《河北工业科技》的复合影响因子为 0.797，在 424 种综合科学技术类期刊中排名第 52，期刊影响力指数（CI）的学科排名为第 108 名。

（河北科技大学学报编辑部）