

基于规则的混合动力汽车能量管理策略研究

邓吉琛, 王艳华, 王耀勋, 管泉才, 刘雨涛

(中北大学 能源与动力工程学院, 山西 太原 030051)

摘要: 混合动力汽车(Hybrid Electric Vehicle, HEV)的能量管理策略优化能够直接影响混合动力汽车的经济性, 提高HEV的市场竞争力。本文以某混联式HEV为研究对象, 基于AVL-Curise与MATLAB软件建立了混联式HEV工况过程中的联合仿真模型。通过动力学仿真验证了混联式HEV整车模型的动力性; 基于MATLAB设计了基于规则的能量管理策略, 在能量管理策略中搭建了串联模式、并联模式、能量回收模式和调速模式作为车辆的运行模式。根据车辆的速度、电池电量(State of Charge, SOC)、前车辆运行模式信号、离合器输入输出扭矩之差设计了模式切换规则, 根据混联式HEV的需求工况调整发动机、发电机和驱动电机的扭矩输出。将车辆数据加载到仿真系统中, 与基于单模式模糊规则的能量管理策略进行了对比仿真实验, 验证了基于规则的能量管理策略的有效性。最后, 在全球轻型汽车测试循环(World Light Vehicle Test Cycle, WLTC)工况下对基于规则的能量管理策略进行了仿真验证, 结果表明: 基于规则的能量管理策略的HEV相比于传统汽车, 等效燃油消耗降低了10%。

关键词: 混合动力汽车; 能量管理策略; 联合仿真; 等效燃油消耗; 模糊控制

中图分类号: U469.7 **文献标识码:** A **doi:** 10.62756/jnuc.issn.1673-3193.2024.09.0049

引用格式: 邓吉琛, 王艳华, 王耀勋, 等. 基于规则的混合动力汽车能量管理策略研究[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2025, 46(3): 326-332.

DENG Jichen, WANG Yanhua, WANG Yaoxun, et al. Rule-based energy management strategy for hybrid electric vehicles[J]. Journal of North University of China(Natural Science Edition), 2025, 46(3): 326-332.

Rule-Based Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicles

DENG Jichen, WANG Yanhua, WANG Yaoxun, GUAN Quancai, LIU Yutao

(School of Energy and Power Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The optimization of energy management strategy of Hybrid Electric Vehicle (HEV) can directly affect the economy of HEV and improve the market competitiveness of HEV. This paper took a hybrid HEV as the research object, and established a joint simulation model of hybrid HEV during working conditions based on AVL-Curise and MATLAB software. In this paper, the dynamics of the hybrid HEV vehicle model was verified by dynamics simulation; a rule-based energy management strategy was designed based on MATLAB, in which series mode, parallel mode, energy recovery mode and speed regulation mode were constructed as the operating modes of the vehicle. Mode switching rules were designed based on the vehicle speed, battery charge (State of Charge, SOC), the signal of the former vehicle operation mode, and the difference between the clutch input and output torque, and the torque out-

收稿日期: 2024-09-21

作者简介: 邓吉琛(2000—), 男, 硕士生, 主要从事混合动力汽车能量管理策略的研究。

通信作者: 王艳华(1978—), 女, 副教授, 博士, 主要从事车辆动力系统的研究。E-mail: xki2005@nuc.edu.cn.

puts of the engine, generator and drive motor were adjusted according to the demand conditions of the hybrid HEV. The comparative simulation experiments with the single-mode fuzzy rule-based energy management strategy by loading the vehicle data into the simulation system verified the effectiveness of the rule-based energy management strategy. Finally, the rule-based energy management strategy was simulated and verified under world light vehicle test cycle(WLTC) conditions. The results show that the HEV based on the rule-based energy management strategy can effectively reduce fuel consumption by 10% than the traditional fuel vehicle.

Key words: hybrid electric vehicle; rule-based energy management strategy; co-simulation; equivalent fuel consumption; fuzzy control

0 引言

随着世界动荡导致的能源危机愈演愈烈和人们对环保出行需求的日益增加^[1],混合动力汽车(Hybrid Electric Vehicle, HEV)被认为是目前更有效地实现节能减排的方案^[2]。HEV配置了多种动力源,其动力系统是随着工况变化自适应调整工作状态的非线性系统^[3]。因此,为了提高车辆的经济性,需要设计提高动力部件协同及扭矩传递的能量管理策略^[4]。

混合动力汽车的能量管理策略可以分为两种:基于规则的能量管理策略(Charge Depleting-Charge Sustaining, CD-CS)和基于优化的能量管理策略^[5],前者计算量少,逻辑简单,是目前市场上大部分车企正在使用的管理策略。杨年炯等^[6]通过设定不同限定阈值和设置新的限制条件来对基于CD-CS的能量管理策略的HEV燃油经济性进行改善,使燃油消耗量降低了6.9%。模糊控制可以改善基于CD-CS的能量管理策略不能根据具体情况进行调整的弊端。武小花^[7],陈俊霖^[8]以及陶正叁^[9]等通过引入多参数,建立双模糊模型等方法对基于模糊的能量管理策略进行改进,并且取得了明显的效果。罗慧友等^[10]基于混沌方式改进了麻雀搜索算法优化的模糊控制能量管理策略,与原始模糊控制能量管理策略相比,其百公里燃油消耗减少了2.1%。基于优化的能量管理策略能更好地适应复杂的使用情况,但是计算量较大。Schulz等^[11]为并行卡车开发了一种基于等效燃油消耗最小(Equivalent Consumption Minimization Strategy, ECMS)的智能能源管理策略,节省了2%的燃油消耗。Shi等^[12]的研究表明,与基于ECMS的能量管理策略相比,基于自适应的等效燃油消耗最小(A-ECMS)管理策略在复杂工况下仍能保持较高的燃油经济性,可将整车燃油经济性提高

3%。刘凯等^[13]提出了一种基于优化功率跟随控制的能量管理策略,整车燃油经济性提升了6.89%。Geng等^[14]将基于动态规划(Dynamic Programming, DP)的能量管理策略与基于规则的策略进行了对比,结果表明燃油经济性提高19.9%。游杰^[15]利用深度学习(Q-learning)全局优化算法,在保持电池荷电状态平衡的同时,将油耗降低了32.75%。Tao等^[16]利用基于Q-learning的能量管理策略在保证SOC处于安全范围的同时减少了41.5%的电流波动。Wang等^[17]所提出的基于迭代的强化学习方法与最先进的分层模型预测控制策略相比,可以在确保安全和舒适的前提下降低15.8%的燃油消耗。综上所述,国内外关于HEV能量管理策略的研究多集中在优化策略,但由于基于优化的能量管理策略计算量大,难以实时对车辆进行控制,所以目前车辆上使用的主要是基于规则的能量管理策略。同时,国内外关于基于规则的能量管理策略的研究仅停留在简单的CD-CS规则。

本文以混联式HEV为研究对象,利用基于规则的能量管理策略进行能量管理。根据混联式HEV的动力总成机构,建立混合动力汽车规则能量管理策略和串联模式的单模糊控制器,在Cruise和Matlab平台建立仿真模型,用于评价基于规则的能量管理策略的控制效果。本文提出的基于规则的能量管理策略根据不同工况对混联式HEV行驶模式进行细化,从而可以使混联式HEV在复杂工况下降低燃油消耗。

1 混合动力汽车整车模型的搭建

本文以某车型(参数见表1)匹配混联式HEV动力系统为研究对象,基于AVL-Cruise软件建立了整车动力系统模型。模型采用 P_1+P_3 混联式混合动力系统(见图1)。在串联工作模式下,发动

机与发电机相连对电池进行充电, 电池为驱动电机供电, 驱动电机驱动汽车行驶; 在并联工作模式下, 发动机与离合器直接相连, 通过2档DHT变速箱与驱动电机一同驱动车辆。

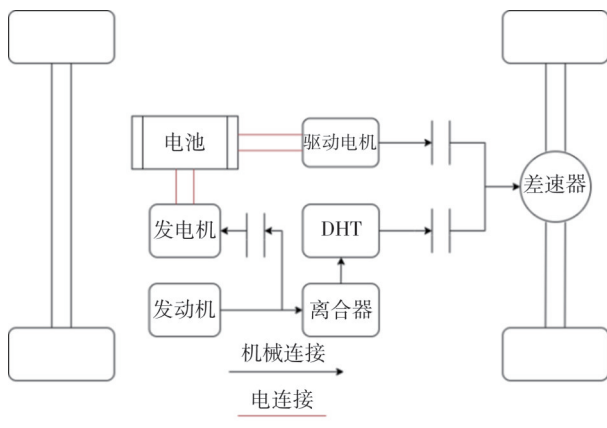


图1 混合动力汽车动力系统构型

Fig. 1 Hybrid vehicle powertrain configuration

表1 混合动力汽车整车参数

Tab. 1 Hybrid vehicle parameters

参数	数值
发动机最大转速/($r \cdot \min^{-1}$)	6 000
发动机最大功率/kW	105
驱动电机最大扭矩/($N \cdot m$)	330
驱动电机最大功率/kW	130
发电机最大扭矩/($N \cdot m$)	75
发电机最大功率/kW	47
电池容量/Ah	20
整车质量/kg	2 545

2档DHT变速箱设置了经济挡和动力挡, 在车辆快速加速时变速箱切换至动力挡, 拉高转速与电机形成并联驱动力。在正常行驶时, 切换为经济挡以更小的齿比驱动车辆, 降低车辆的巡航转速, 保证车辆在巡航时有一个相对稳定且经济的油耗水平。

为了验证整车模型搭建的合理性, 对模型中车辆的加速性能进行验证。基于Curise中的Function模块建立整车控制模式, 首先根据实际情况建立了临时的控制逻辑, 当车速 $v < 35$ km/h时, 驱动电机单独驱动车辆; 当 35 km/h $< v < 100$ km/h且 $|n_{out} - n_{in}| < 100$ r/min时(n_{out} 为离合器输出转速, n_{in} 为离合器的输入转速), 采用串联驱动模式, 驱动电机驱动车辆行驶; $|n_{out} - n_{in}| > 100$ r/min时, 采用并联驱动模式, 发动机和驱动电机同时为车辆提供动力; 当 $v > 100$ km/h时, 发动机和驱动电机同时为汽车提供动力输出。这里采用汽车的加速性能对整车模型进行验证, 如图2所示, 本文所建模型中车辆百公里加速时间

为6.1 s, 符合市面上中型SUV的合理区间, 说明所建整车模型设计合理。

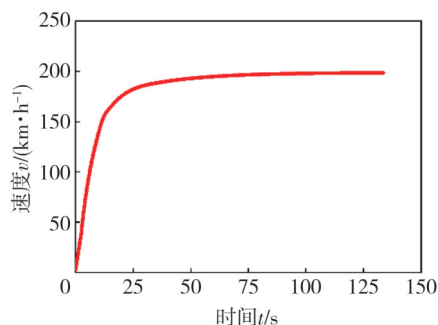


图2 HEV车辆模型加速特性

Fig. 2 Acceleration characteristics of HEV vehicle model

2 能量管理策略设计

2.1 基于规则的能量管理策略

为了降低某车型燃料消耗, 本文采用Matlab-Simulink建立基于规则的能量管理策略模型并与Curise中的Matlab-Dell进行联合仿真。本研究主要关注发动机燃油消耗, 图3为该车的发动机特性图, 图中, 发动机最优工作曲线为对发动机工作点的期望值, 此发动机的经济转速在1 500~3 500 r/min之间。

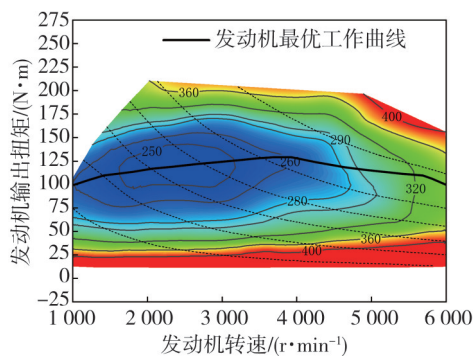


图3 发动机特性

Fig. 3 Engine performance

根据车辆的实际运行需求, 在城市工况下启停频繁, 车辆速度低, 电机驱动可以避免发动机启停的消耗^[18], 因此, 当需求速度 $v_{req} < 35$ km/h时, 混联式HEV以串联模式行驶, 发动机辅助电机驱动车辆; 在车辆处于中高速工况下, 车辆启停较少, 发动机在高效率区间运行, 因此, 当 $v_{req} > 45$ km/h时, 车辆处于并联模式, 电机辅助发动机驱动车辆; 在 35 km/h $< v_{req} < 45$ km/h, 根据SOC情况和当前车辆模式确定车辆需求模式并启动发动机。在启动发动机时, 发电机辅助发动机进行启动, 发动机的输出

扭矩为经过PID控制的离合器输入输出扭矩之差。

车辆模型的能量管理策略主要分为四种主要模式与多种细分模式。为了方便记录各种模式,仿真过程将四种主要的工作模式设置为首位数字,以1~4来标记;主要模式下的细分模式设置

为第二位数字,以1~9来标记,如城市工况模式为第二种主要模式,记首位数字为2,其中第一种充电模式为主要模式下的第一种细分模式,记第二位数字为1,合起来就记为21,本研究中HEV车辆的能量管理模式如表2所示。

表2 混联式HEV车辆基于规则的能量管理策略
Tab. 2 Rule-based energy management strategies for hybrid HEV vehicles

主要模式	细分模式	条件	工作状态
制动能量回收模式(1)	模式11	车辆进行刹车	在车辆刹车时,刹车能量通过刹车片传递给驱动电机,令驱动电机发电并对电池进行充电。当 $C > 0.9$ 时,驱动电机不进行发电。
	充电模式(模式21)	$v_{req}(\text{需求速度}) < 35 \text{ km/h}$ 且 $C(\text{电池电量}) > 0.6$	发电机将不会启动,车辆会在驱动电机的驱动下行驶。
城市工况模式(串联)(2)	调速模式(模式22)	$v_{req} < 35 \text{ km/h}$ 且 $C < 0.6$ 且发动机未启动	启动发动机并使发动机进行高效率输出。
	放电模式(模式23)	$v_{req} < 35 \text{ km/h}$ 且 $C < 0.6$	发动机将由发电机辅助启动并通过发电机对电池进行充电,再由驱动电机驱动车辆(模式23)。
发动机启动模式(3)	调速模式(模式31)	$35 \text{ km/h} < v_{req} < 45 \text{ km/h}$	发电机对发动机进行辅助启动以使发动机快速进入效率较高的区间。
	发电模式(模式41)	$v_{req} < 45 \text{ km/h}$, $T_{ice}(\text{发动机输出扭矩}) > T_{req}(\text{需求扭矩})$ 且 $C < 0.6$	发动机产生的多余扭矩将用于电池的充电。
发动机直驱模式(并联)(4)	调速模式(模式42)	$v_{req} < 45 \text{ km/h}$, $T_{ice} < T_{req}$ 且驱动电机未启动	启动驱动电机。
	做功模式(模式43)	$v_{req} < 45 \text{ km/h}$, $T_{ice} < T_{req}$	发动机与驱动电机共同为车辆提供动力。

在联合仿真中,将搭建好的Simulink模型经过编译后形成的文件导入Curise中的Matlab Dell模块,并设置SOC、HEV当前速度 v_{cur} 、发动机和各电机的扭矩和转速等输入参数和挡位、模式、发动机和离合器的启动信号、发动机与电机的需求扭矩等输出参数。

2.2 模糊控制器

为了验证本文基于规则的能量管理策略的有效性,将其与基于模糊规则的能量管理策略进行对比。本文使用的电机高效率区域分布较广,可以忽略电机工作点,用电机平衡发动机工作点。因此,能量管理的控制目标为在车辆处于串联模式时根据整车需求调整发动机工作在最优工作曲线上,在为电池进行充电的同时防止电池电量过低影响车辆性能。模糊控制逻辑如图4所示。

将发动机需求功率 P_{req} 和电量偏差 ΔC 作为模糊控制器的输入量,将发动机输出功率 P 作为模糊控制器的输出量,最后,根据 P 值查表得出发动机的需求扭矩 T_{req} 并进行输出,电量偏差 ΔC 表述为

$$\Delta C = C(t) - C_0, \quad (1)$$

式中: C_0 为期望电量,本文设置为40%; $C(t)$ 为当前电池电量。

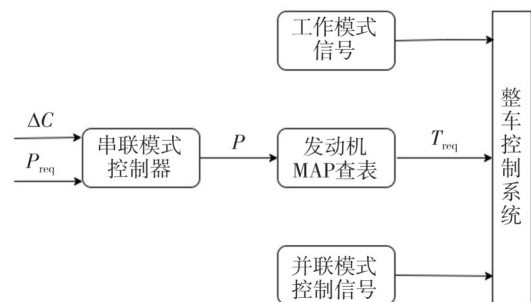


图4 单模式模糊控制逻辑图
Fig. 4 Single mode fuzzy control logic diagram

将 ΔC 和 P_{req} 划分为7个模糊子集,将 P 划分为5个子集,如表3和表4所示。

表3 ΔC 和 P_{req} 模糊子集划分
Tab. 3 ΔC and P_{req} fuzzy subset partitioning

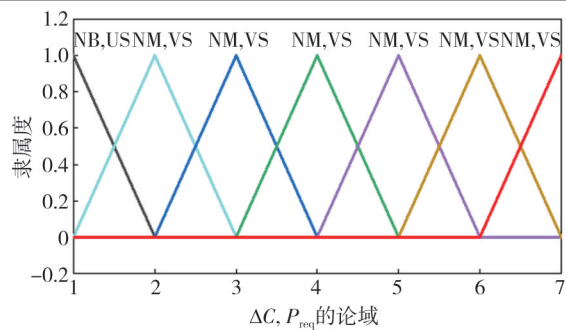
级数	ΔC 模糊语言		P_{req} 模糊语言	
1	NB	负大	US	极小
2	NM	负中	VS	很小
3	NS	负小	S	小
4	Z	0	M	中
5	PS	正小	B	大
6	PM	正中	VB	很大
7	PB	正大	UB	极大

在满足混联式HEV动力性需求的情况下,将各个变量的隶属函数设置为三角形函数,如图5所示。

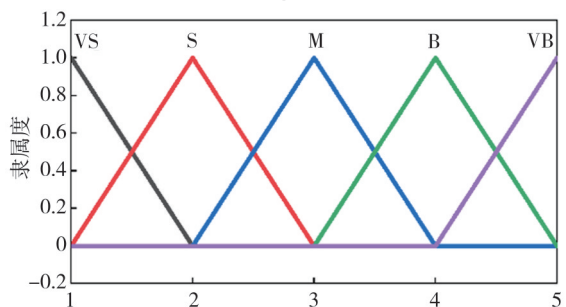
模糊控制器的输出量 ΔC 和 P_{req} 各有7个模糊子

表4 P模糊子集划分
Tab. 4 P fuzzy subset partitioning

级数	P模糊语言	
1	VS	很小
2	S	小
3	M	中
4	B	大
5	VB	很大



(a) $\Delta C, P_{req}$ 的隶属度函数



(b) P的隶属度函数

图5 模糊控制中的输入和输出函数

Fig. 5 Input and output functions in fuzzy control

集,设计模糊规则49条, $P(t)$ 规则如表5,其中,第一行为 ΔC 模糊语言,第一列为 P_{req} 模糊语言。

表5 串联模糊规则表
Tab. 5 Tandem fuzzy rule table

$P(t)$	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
US	M	M	S	S	VS	VS	VS
VS	M	M	M	S	S	VS	VS
S	B	M	M	M	S	S	S
M	B	B	M	M	S	S	S
B	VB	B	B	B	M	M	S
VB	VB	VB	B	B	M	M	S
UB	VB	VB	B	B	M	M	S

3 基于规则的能量管理控制策略下的HEV经济性仿真验证

为了测试某车型HEV加载基于规则的能量管理策略后的燃油经济性,采用了世界轻型汽车测试循环工况(WLTC),此工况下汽车的测试时间长,测试路程长,测试平均速度高,更能体现出

汽车的燃油经济性^[19]。测试过程中,将车辆初始状态设置为满载热启动,速度跟随情况如图6所示,基于模糊规则和基于规则的能量管理策略在WLTC工况下的速度跟随结果差值在2 km/h之内,验证了本文基于规则的能量管理策略的有效性,车辆在模式切换时能够保证车辆行驶的平顺性和驾驶的舒适性。

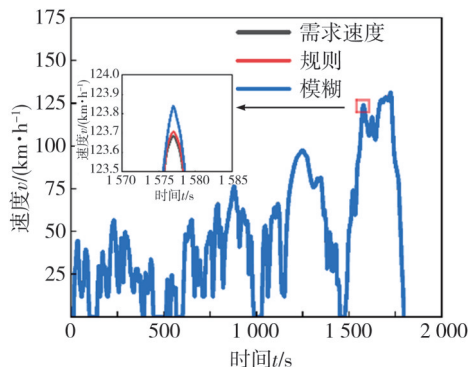


图6 混联式HEV的速度跟随情况

Fig. 6 Speed following of hybrid HEVs

基于规则模糊规则的能量管理策略控制的混联式HEV在WLTC工况下的发动机工作点如图7和图8所示,可以看出,基于模糊规则策略控制的发动机在驱动车辆时发动机工作点与基于规则的控制策略的发动机工作点处于发动机高效率区间内的数量基本相同,验证了本文基于规则的能量管理策略的有效性。

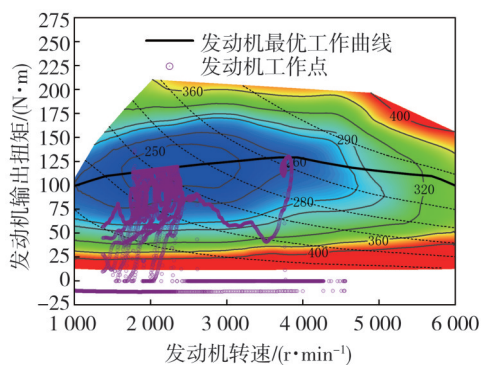


图7 基于规则策略的HEV发动机工作点

Fig. 7 HEV engine operating points based on rule-based strategy

由于混合动力汽车同时使用发动机和电机工作,因此,混合动力汽车的经济性采用等效燃油消耗进行评价^[20]。HEV能量消耗由油耗和电耗两部分组成。等效燃油消耗是将电耗转换成油耗,一般引入油电转换系数 s ,一般 s 在2.5~3之间,本文取 $s=3$ 。此车型若只由发动机进行驱动,百公里油耗为9.86 L,由表6可知基于规则的能量管理策略控制的混联式HEV百公里平均等效燃

油消耗量为 8.27 L, 比传统车型油耗降低了 10%。

表 6 基于规则的能量管理策略的等效油耗

Tab.6 Equivalent fuel consumption of rule-based energy management strategy

C/%	百公里油耗/L	百公里电耗/kwh	百公里等效燃油消耗/L
30	10.89	-9.91	7.58
60	5.03	10.51	8.53
80	3.93	14.51	8.7

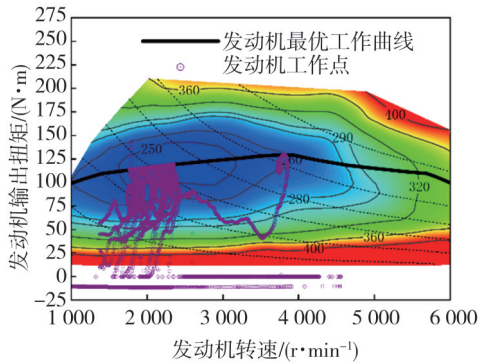


图 8 基于模糊规则策略的 HEV 发动机工作点

Fig.8 HEV engine operating points based on fuzzy rule strategy

4 结 论

本文提出了一种基于规则的能量管理策略, 具体研究了某混动式 HEV 在 WLTC 工况下的能量消耗, 搭建了某车型 HEV 的汽车模型和基于规则的能量管理系统模型, 提出了通过切换不同的模式适应不同工况下 HEV 的行驶状态的控制策略, 并利用模糊控制器对串联模式进行控制, 提高了 HEV 的燃油经济性。本文根据不同的行驶条件对该车型的串联模式和并联模式扭矩分配再次进行细化, 令发动机运行在高效率区间, 从而提出了基于规则的能量管理策略, 并将其与基于模糊规则的能量管理策略进行对比, 验证了其有效性。结果表明, 相比传统汽车, 基于规则管理策略的 HEV 的综合耗油量降低了 10%, 后续可在基于规则的能量管理策略的基础上, 构建更复杂的算法来控制发动机工作点, 从而进一步减少 HEV 的综合燃油消耗。

参考文献:

[1] 袁思莞, 陈林山, 贺政国. 基于俄乌冲突背景下中国石油进口问题影响及对策探析[J]. 中国商论, 2023 (9): 62-65.
YUAN Siyuan, CHEN Linshan, HE Zhengguo. Analysis on the influence and countermeasures of

China's oil import under the background of Russia-Ukraine conflict[J]. China Journal of Commerce, 2023 (9): 62-65. (in Chinese)

[2] 杨顺兴, 刘回春. 电池技术局限制了电动车的发展[J]. 产品可靠性报告, 2022(2): 15-18.

[3] 张瑞轩, 黄晨, 王猛猛. 混合动力汽车能量管理策略研究现状与发展趋势[J]. 林业机械与木工设备, 2022, 50(10): 50-55.
ZHANG Ruixuan, HUANG Chen, WANG Mengmeng. Research status and development trend of energy management strategies for hybrid electric vehicles [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2022, 50(10): 50-55. (in Chinese)

[4] 栾怡萱. 混合动力汽车能量管理策略研究进展[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(24): 178-182.
LUAN Yixuan. Research progress of energy management strategies for hybrid electric vehicles [J]. Automobile Applied Technology, 2023, 48 (24) : 178-182. (in Chinese)

[5] CHEN J S. Energy efficiency comparison between hydraulic hybrid and hybrid electric vehicles[J]. Energies, 2015, 8(6): 4697-4723.

[6] 杨年炯, 冉达, 石胜文. 基于规则的混合动力电动汽车控制策略优化研究[J]. 中国工程机械学报, 2023, 21(3): 227-230.
YANG Nianjiong, RAN Da, SHI Shengwen. Research on optimization of control strategy for hybrid electric vehicles based on rule[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2023, 21(3): 227-230. (in Chinese)

[7] 武小花, 余忠伟, 朱张玲, 等. 燃料电池公交车模糊能量管理策略[J]. 吉林大学学报(工学版), 2022, 52 (9): 2077-2084.
WU Xiaohua, YU Zhongwei, ZHU Zhangling, et al. Fuzzy energy management strategy of fuel cell buses [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition) , 2022, 52 (9) : 2077-2084. (in Chinese)

[8] 陈俊霖, 刘胜永. 混动式 HEV 双模糊能量管理策略研究[J]. 广西科技大学学报, 2023, 34(1): 58-64.
CHEN Junlin, LIU Shengyong. Research on dual-fuzzy energy management strategy of hybrid HEV [J]. Journal of Guangxi University of Science and Technology, 2023, 34(1): 58-64. (in Chinese)

[9] 陶正叁, 李泽滔. HEV 模糊能量管理策略优化研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2023, 61(10): 7-11.
TAO Zhengsan, LI Zetao. Research on energy management strategy of HEV based on fuzzy control [J].

- Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2023, 61(10): 7-11. (in Chinese)
- [10] 罗慧友, 刘胜永. 基于CSSA优化模糊控制能量管理策略研究[J]. 广西科技大学学报, 2024, 35(4): 67-75.
LUO Huiyou, LIU Shengyong. Research on energy management strategy based on CSSA optimization fuzzy control[J]. Journal of Guangxi University of Science and Technology, 2024, 35(4): 67-75. (in Chinese)
- [11] SCHULZE S, FEYERL G, PISCHINGER S. Advanced ecms for hybrid electric heavy-duty trucks with predictive battery discharge and adaptive operating strategy under real driving conditions [J]. Energies, 2023, 16(13): 5171.
- [12] SHI D, LI S, LIU K, et al. Adaptive energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles based on intelligent recognition of driving cycle [J]. Energy Exploration & Exploitation, 2023, 41(1): 246-272.
- [13] 刘凯, 李捷辉, 章舒韬. 基于优化功率跟随控制的E-REV能量管理策略研究[J]. 车用发动机, 2024(2): 60-67.
LIU Kai, LI Jiehui, ZHANG Shutao. E-REV energy management strategy based on optimized power following control[J]. Vehicle Engine, 2024(2): 60-67. (in Chinese)
- [14] GENG W, LOU D, WANG C, et al. A cascaded energy management optimization method of multimode power-split hybrid electric vehicles[J]. Energy, 2020, 199: 117224.
- [15] 游杰. 基于Q-learning的混合动力汽车能量管理策略[J]. 汽车电器, 2024(8): 24-27.
YOU Jie. Energy management strategy of hybrid electric vehicle based on Q-learning [J]. Auto Electric Parts, 2024(8): 24-27. (in Chinese)
- [16] TAO J, ZHANG R, QIAO Z, et al. Q-Learning-based fuzzy energy management for fuel cell/supercapacitor HEV[J]. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2022, 44(10): 1939-1949.
- [17] WANG Y, WU Y, TANG Y, et al. Cooperative energy management and eco-driving of plug-in hybrid electric vehicle via multi-agent reinforcement learning [J]. Applied Energy, 2023, 332: 120563.
- [18] 李礼夫, 曹明轩. 混联式混合动力电动汽车动力系统能量控制策略瞬时优化方法[J]. 机械与电子, 2013(5): 35-39.
LI Lifu, CAO Mingxuan. Energy control strategy instantaneous optimization method of parallel-serial hybrid electric vehicle [J]. Machinery & Electronics, 2013(5): 35-39. (in Chinese)
- [19] GUO L, LIU H, HAN L, et al. Predictive energy management strategy of dual-mode hybrid electric vehicles combining dynamic coordination control and simultaneous power distribution [J]. Energy, 2023, 263: 125598.
- [20] 彭美春, 马保童, 廖清睿. 实际路况下PHEV等效油耗降低策略研究[J]. 机械设计与制造, 2023(3): 120-124.
PENG Meichun, Ma Baotong, LIAO Qingrui. Study of equivalent fuel consumption reduction strategy for PHEV on real road driving conditions [J]. Machinery Design & Manufacture, 2023(3): 120-124. (in Chinese)