

文章编号 :1671-8844( 2004 )03-139-06

# 并联式混合动力电动汽车控制策略研究

邓亚东,高海鸥,王仲范

( 武汉理工大学汽车工程学院,湖北 武汉 430070 )

**摘要** 简要阐述了并联式混合动力电动汽车的控制思想及几种不同的控制策略,选用模糊控制方法对一种并联式混合动力电动汽车驱动系统实施控制,并介绍了以电辅助式控制策略为辅的变结构模糊控制策略. 仿真结果表明了这种控制策略的可行性. 针对这种控制策略的不足,提出了新的研究建议,即开发模糊控制与神经网络相结合,基于模糊神经网络的控制策略.

**关键词** :控制策略;并联式混合动力电动汽车;模糊控制

**中图分类号** :U 469. 72      **文献标识码** :A

## Control strategies of parallel hybrid electric vehicle

DENG Ya-dong ,GAO Hai-ou ,WANG Zhong-fan

( School of Automotive Engineering ,Wuhan University of Technology ,Wuhan 430070 ,China )

**Abstract** : Firstly , this paper expatiates on the control idea and the control strategies of the parallel hybrid electric vehicle , compares the difference of these control strategies , conforms the control strategies based on fuzzy logic control , and describes a variable-structured fuzzy logic controller assisted by electric assistant control strategy. The simulation results show that the control strategy is feasible. Lastly , some suggestions for the development of the control strategy of the parallel hybrid electric vehicle in the future are given , i. e. combining fuzzy control with neural network and developing control strategy based on fuzzy neural network.

**Key words** : control strategy ; parallel hybrid electric vehicle ; fuzzy logic control

汽车排放造成空气质量的日益恶化和石油资源的渐趋匮乏,使开发低排放、低油耗的新型汽车成为当今汽车工业界的紧迫任务. 在这种背景下,融合内燃机汽车和电动汽车优点的混合动力电动汽车( Hybrid Electric Vehicle,简称 HEV )异军突起,成为当今新型汽车开发的热点. 动力系统的控制策略是混合动力电动汽车开发的关键技术. 混合动力电动汽车驱动系统的布置方式不同,其控制策略也是不同的<sup>[1]</sup>.

### 1 并联式混合动力电动汽车的控制思想<sup>[2~5]</sup>

对同一类并联形式的电动汽车来说,采用不同的控制策略可以得到不同的燃油消耗、排放和电池的 SOC 状态值,混合动力电动汽车的设计原则是在保证汽车性能的条件下尽可能地降低汽车的燃油消耗和排放,同时,还要兼顾电池的寿命,基于这些原则,实际应用中应根据不同的侧重点,制定不同的控制策略.

#### 1. 1 电辅助式控制策略

在这种控制策略中,当发动机功率不足时,电

收稿日期 2004-01-08

作者简介:邓亚东( 1958- )男,湖北黄梅人,副教授,研究方向为电动汽车和汽车动力学.

基金项目:教育部重点项目( 重点 02175 ).

机作为一种辅助动力来工作.

如图 1( a )所示 ,当电池 SOC 状态高于允许的最低 SOC 状态时 ,若车速低于最低车速 ,发动机不工作 ,汽车行驶动力由电机提供 ,汽车以纯电动状态下工作 ,油耗和排放都为 0 ;当车速高于最低车速时 ,若此时的扭矩比规定的发动机扭矩要小 ,也由电机驱动 ,不允许发动机在低速和怠速的情况下

工作 ,以减少油耗和排放. 如图 1( b )所示 ,当电池 SOC 状态低于允许的最低 SOC 状态时 ,电机不工作 ,若所需要的扭矩小于发动机的最小扭矩 ,发动机实际提供的扭矩是它的最小扭矩 ,多余的部分用来给电池充电 ,以保证电池 SOC 状态 ;当所需要的扭矩大于发动机的最小扭矩时 ,发动机实际提供的扭矩是所需要提供的扭矩与充电扭矩之和.

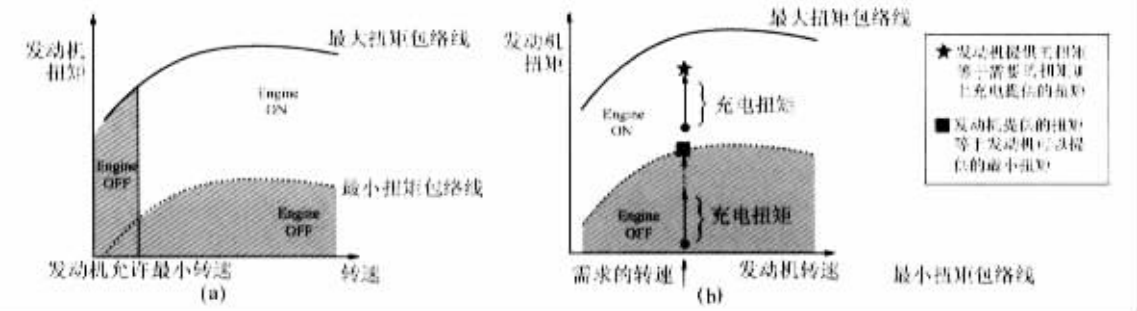


图 1 电辅助式控制策略

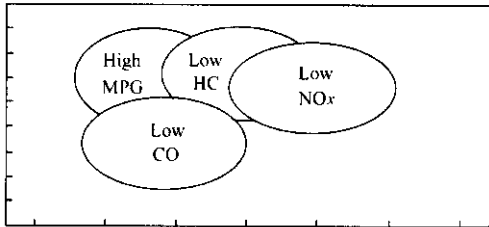
1.2 SOC、扭矩平衡式控制策略

这种控制策略的思想是根据电池 SOC 的状态以及需求的扭矩之间产生一个修正的扭矩 ,使电池的 SOC 状态维持在所制定的最高状态和最低状态的中间 ,同时保证发动机的工作点维持在高效率范围内.

1.3 自适应控制策略

这种控制策略也叫实时控制 ,它同时考虑了发动机的燃油消耗和排放 ,在每一时间步 ,都根据这一规则将扭矩需求合理地分配给发动机和电机 ,以达到优化燃油消耗和排放的目的. 如图 2 所示 ,图

形中的黑实线代表发动机的最大扭矩曲线 ,图形中的每一个椭圆形区域 ,表示当发动机扭矩和转速在这个区域时 ,相应的值是最优的. 比如 ,在 High MPG 区中 ,若此时的扭矩为 160 N·m ,转速为 1700 r/min 时 ,发动机的燃油经济性最好 ,以此类推. 从图形上可以清楚地看到 ,要想同时达到最优 ,发动机只能在很小的区域运行 ,但车辆的实际运行情况非常复杂 ,而保证发动机只运行在一个很小的区域是不可能的 ,所以自适应控制策略实际上是上述情况的一种折衷.



High MPG	高 mile / USgal
Low HC	低碳氢化合物
Low CO	低一氧化碳
Low NOx	低氮氧化物

图 2 发动机扭矩区间图

1.4 模糊控制策略

在并联式控制策略中 ,最主要的目标就是要使发动机工作在高效区域内 ,以提高整车的工作效率 ,这在装有自动变速器的汽车中是可以实现的. 如果是手动变速器 ,由于发动机的操作点是根据路面负载和电池 SOC 状态来定的 ,而路面情况又是复杂多变 ,所以要实现这一目标也是不可能的. 由于发动机工作点的高度非线性 ,我们将发动机的扭矩需求和电池 SOC 状态作为两个输入 ,运用模糊逻辑控制来进行优化 ,得到发动机的最优工作点 ,

然后再由车辆的扭矩需求减去发动机实际提供的扭矩就可以得到所需电机发出的扭矩了.

1.5 控制策略对比

为了比较 4 种控制策略 ,使用电动汽车仿真软件 ADVISOR ,分析同一种并联式的混合动力电动汽车 ,都在 NEDC 工况下运行 5 个循环 ,最后得到的结果如图 3 所示.

从图形中可以清楚地看到 ,混合动力电动汽车的燃油消耗、排放以及电池 SOC 状态 ,前两种控制策略中燃油消耗比较大 ,而后两种相对较小 ,使用

自适应控制策略时,燃油消耗和排放都是最小的,但电池 SOC 状态下下降比较快,这对电池的寿命影响是很大的.在仿真过程中,由于它要对每一步的结果进行分析,所以消耗的时间也是最长的.电辅助式控制策略相对来说比较简单,但是它的结果是最差的.在 SOC 扭矩平衡式控制策略中,为了保证

SOC 的状态,发动机的燃油消耗和排放相对较大,但电池 SOC 状态下下降比较平缓,这对电池寿命是有好处的.再看模糊控制策略,它的燃油消耗和排放都比较小,同时电池 SOC 状态下下降也比较平缓,有利于延长电池的寿命.因此,模糊控制是一种较好的控制策略.

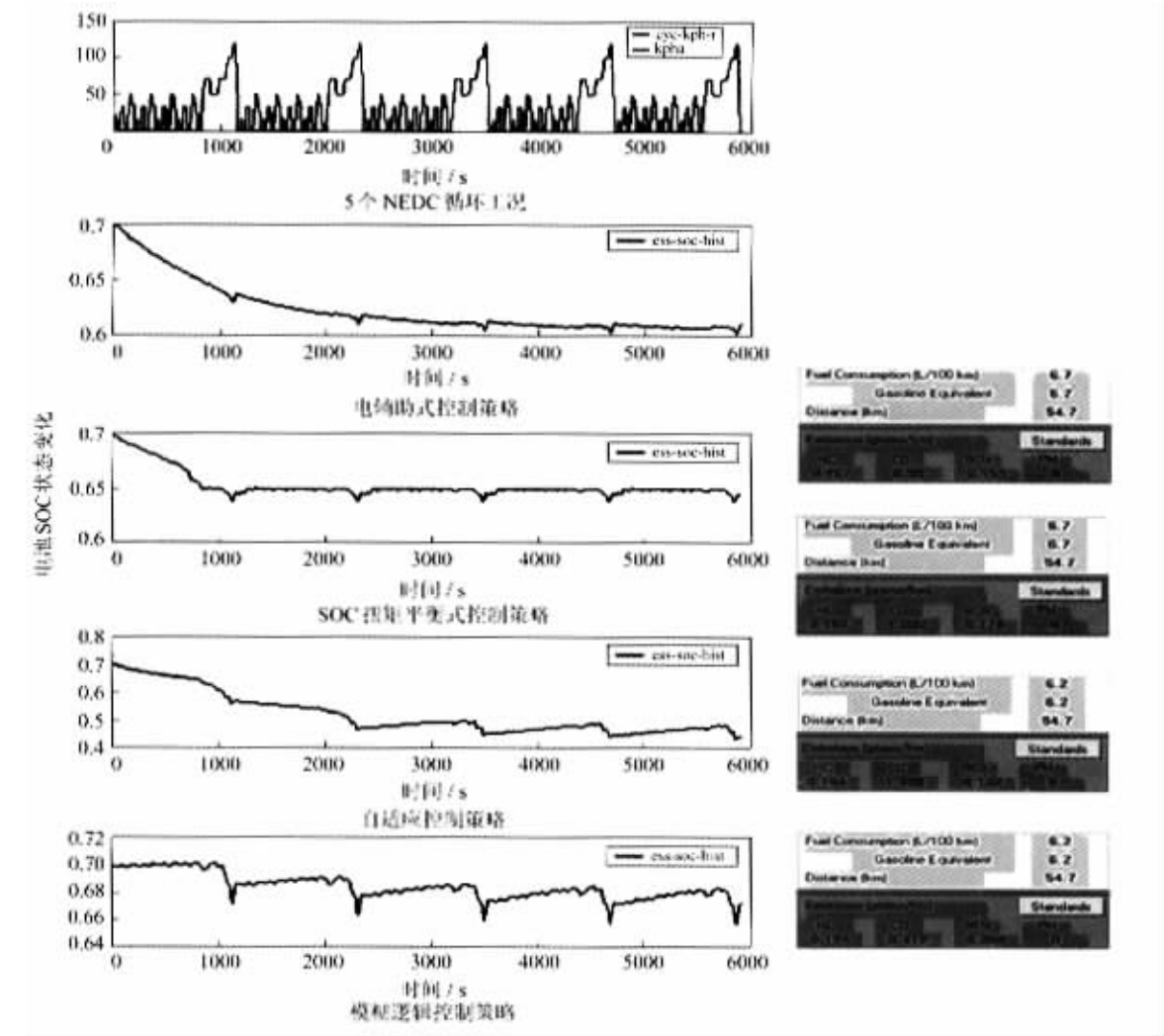


图3 4种控制策略的比较

2 在 bondheve<sup>①</sup> 中的控制策略

通过比较得出,使用模糊控制策略可以很好地减小混合动力电动汽车的燃油消耗率,减小排放,所以我们在自主开发的混合动力电动汽车仿真软件 bondheve 中采用模糊控制策略.由于模糊控制策略也有其局限性,在模糊推理过程中会增加模糊性,并且在混合动力电动汽车的实际控制过程中存

在以下情况,电机的工作状态并不是线性的,中间存在着跳跃过程,即在电机的输出功率低于某个限值时,就会自动关闭,而并不是逐渐变为零.如果完全使用模糊控制策略,结果就不是很精确,并且控制策略的通用性有待改进.我们对发动机的油门(节气门)开度和电动机/发电机的电子节气门的开度的控制使用模糊控制策略,而对电动机/发电机的充放电状态则使用辅助的控制策略.

<sup>①</sup> 根据教育部课题“混合动力电动汽车计算机模拟及设计软件开发”(编号:重点02175)要求,自主开发的仿真软件.

## 2.1 模糊控制策略

用模糊逻辑控制方法是为了实现在不同驾驶员意图和不同路面环境下混合动力车辆的自动控制,以满足车辆行驶的不同要求,达到在保证蓄电池效率和使用寿命的情况下,既满足整车性能要求又获得较好经济性和排放的目标。其控制的主要原则是:

(1)为延长电池的使用寿命和提高电池的充电效率,电池的 SOC 在循环工况的起始和结束时,应基本保持不变。

(2)为提高整车系统效率,发动机应尽可能在高效率区工作,因此,在电池 SOC 允许情况下,对于起步模式,尽可能用电机起步。

(3)由于所选定的混合动力驱动系统中,发动机最大功率为 55 kW,电机额定功率为 20 kW,控制系统将以发动机为主能源,电机为辅助能源。

(4)在保证制动性能的前提下,回收制动能量。

一般车辆在各种工况下的模糊控制策略只利用了系统的偏差和偏差变化率,而且在整个控制过程中,各变量的论域等级是固定的,控制规律也是固定的,因此它不但无法使整个控制系统的稳态偏差降到最小限度,而且系统动态品质较差。若要提高控制精度,就要求控制系统应能根据不同条件选择相应的控制策略,即设计出变结构的模糊控制器,使其能最大程度地抑制系统的震荡,提高系统调节精度及鲁棒特性。

基于上述思想,提出一种基于混合动力车辆运行状态的变结构模糊控制器。它先根据车辆运行过程中被测量的不同测量值,确定车辆当前所处的运行状态,选取控制策略,然后在不同的运行状态下根据系统的状态参数确定控制规则,以此来适应车辆行驶过程和环境的要求。这种变结构的模糊控制器,实质上是一种分层多规则集的模糊控制器,其设计思想如图 4 所示。

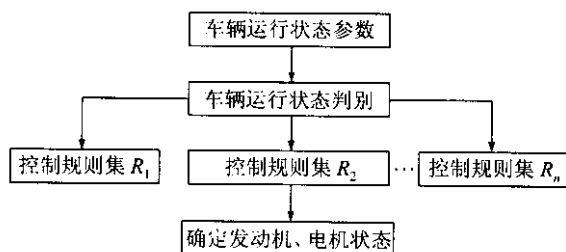


图4 变结构模糊控制策略的控制

万方数据

在驾驶传统车辆时,驾驶员通过观察周围环境和感觉车辆运行状态来控制车辆加速、减速、巡航或怠速。本系统正是模拟这一过程,利用模糊逻辑,通过对车速、发动机转速、蓄电池 SOC 状态及加速踏板、制动踏板等信号的分析,首先判断车辆处于何种运行状态,然后通过在这种状态下的控制策略进行模糊推理,作出发动机、电机运行状态的决策。

控制策略中各模式的控制规则集的描述如下:

**加速:**当 SOC 比较高时,若汽车此时是弱加速,电机只提供部分扭矩来辅助发动机驱动汽车,若此时汽车是急加速,电机则提供最大扭矩来辅助发动机。

**巡航:**当汽车在巡航时,所需的扭矩是很小的,发动机也经常运行在低效的范围内,因此可以将发动机的扭矩适当提高,多余的部分用来驱动电机,此时电机的作用是用来给电池充电。

**减速:**减速又分为两种情况,第一种是松开加速踏板,此时发动机关闭,电机接受部分负扭矩来给电池充电,第二种是踩制动踏板,此时电机提供最大的制动扭矩来给电池充电。

**怠速:**此时汽车是不需要能量的,因此发动机和电机都是关闭的,若此时电池 SOC 比较低,发动机开机,驱动电机给电池充电。

由于不同的模式下各个输入参数和输出参数的隶属函数不同,在这里,以巡航模式为例,介绍模糊逻辑控制器的设计。

在巡航状态时,输入参数是踏板开度,电池的 SOC、输出量为发动机的节气门开度和电机/发电机的电子节气门的开度。建立它们的隶属函数如图 5、6 所示:

图中:UNL: Ultra Negative Large(极负大); UNS: Ultra Negative Small(极负小); NL: Negative Large(负大); NM: Negative Medium(负中); NS: Negative Small(负小); Z: Zero(零); PS: Positive Small(正小); PM: Positive Medium(正中); PL: Positive Large(正大); UPS: Ultra Positive Small(极正小); UPL: Ultra Positive Large(极正大)。

然后根据不同的情况制定模糊规则集。

## 2.2 辅助控制策略

辅助控制策略主要控制电机的状态,对于电动机速度信号占先,主要以控制电机在车速不够的时候开动辅助发动机驱动汽车,在发动机的能量足够

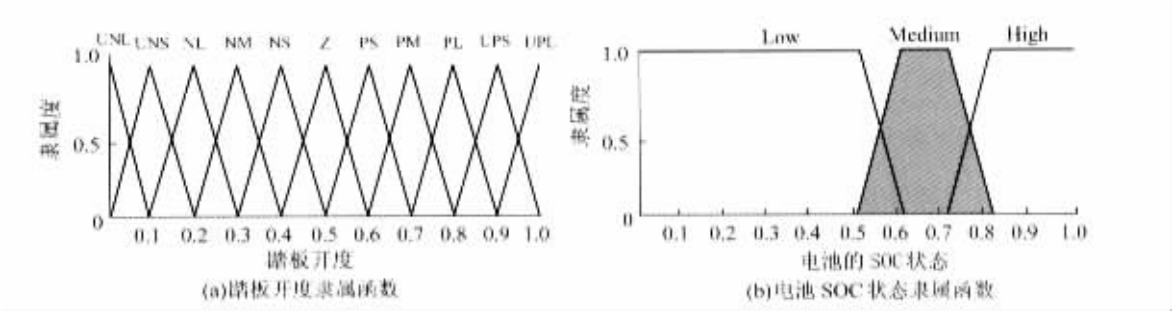


图 5 输入函数的隶属函数

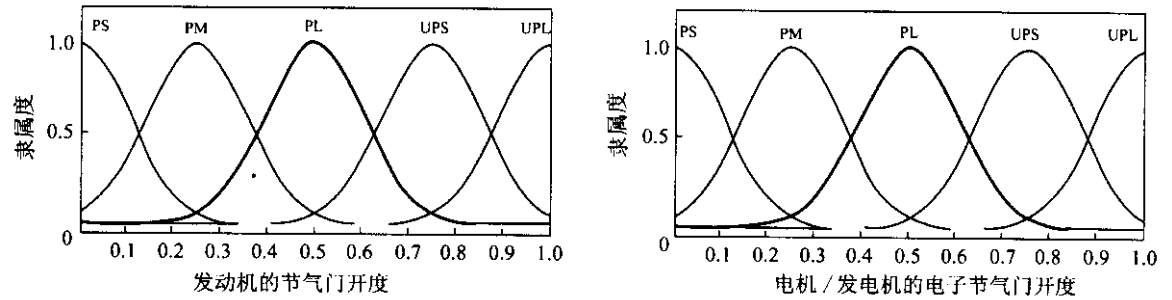


图 6 输出函数的隶属函数

的时候关闭发动机,对于发电机以电池的 SOC 信号占先,即在电池能量足够的情况下关闭发电机,能量不够的情况下打开发电机。

3 仿真结果对比

为了证明所开发的控制策略的可行性及与其他控制策略比较,我们基于 Matlab6.1,在 ADVISOR 基础上作了二次开发,和原有的模糊逻辑控

制策略作了比较,在 MATLAB/SIMULINK 中建立了该控制方法的仿真模型,采用同一种并联式混合动力电动汽车。该车总质量 1 625 kg,其中电池重量 68 kg,1.4 L 发动机,最大功率在 5 400 r/min 时为 55 kW,峰值扭矩在 3600 r/min 时为 110 N·m;电机的选择主要是为了满足汽车的加速性能(0~100 km/h 的加速时间小于 20 s),为了满足要求,电动机最大功率 20 kW,电池容量为 3 kW·h,风阻系数  $CD=0.25$ ,迎风面积  $A=2.073\text{ m}^2$ ,滚动阻力系数  $f=0.009$ ,轴距 2.6 m。分别运行 NEDC 工况,得到如图 7、8 所示的比较结果。

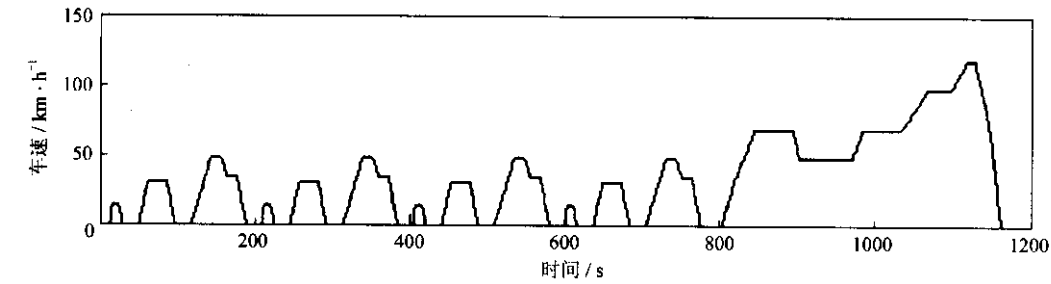


图 7 NEDC 循环工况

结果表明,图 8(a)采用变结构模糊逻辑控制,蓄电池 SOC 从其初始值的 0.7,到结束时的 0.698,变化保持 0.5% 之内,而图 8(b)中,ADVISOR 中的一般模糊逻辑控制方法控制车辆在整个过程中,蓄

万方数据

电池电量水平从其初始值 0.7,到结束时 0.683,未保持在 0.5% 之内。燃油消耗率的比较如表 1 所示。

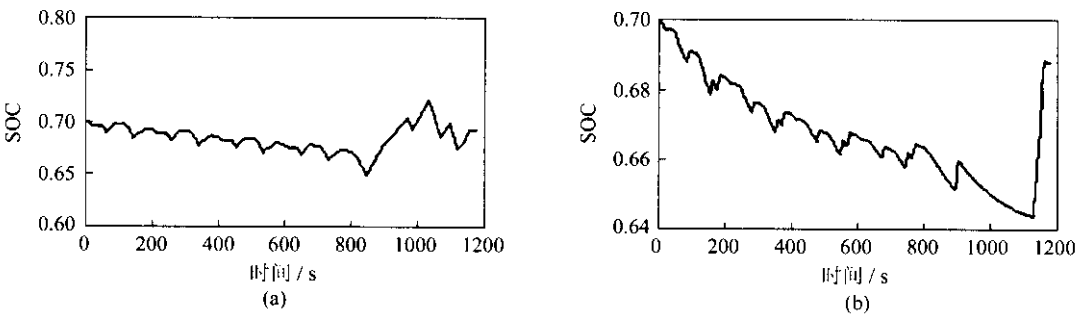


图 8 不同控制策略中电池 SOC 状态的比较

表 1 燃油消耗率的比较

控制策略	燃油消耗/L·( 100 km ) <sup>-1</sup>
变结构模糊逻辑控制	6.4
PTC_FUZZY_EFF_MODE ( ADVISOR )	6.7
PTC_PAR ( ADVISOR )	7.7

加上一个辅助的控制策略进行了完善. 以后的工作中,应把模糊控制与神经网络相结合. 开发基于神经网络的模糊逻辑控制策略,以提高对不同结构的混合动力电动车辆的控制适应性.

参考文献：

[ 1 ] 孙逢春. 电动汽车[ M ]. 北京:北京理工大学出版社, 1997.  
[ 2 ] 宋 慧. 复合动力电动汽车的驱动模式和控制策略[ J ]. 世界汽车, 2000( 7 ): 56-58.  
[ 3 ] 陈清泉, 孙逢春. 混合动力车辆基础[ M ]. 北京:北京理工大学出版社, 2001.  
[ 4 ] 万沛霖. 电动汽车的关键技术[ M ]. 北京:北京理工大学出版社, 1998.  
[ 5 ] 杨宏亮, 陈全世. 混联式混合动力汽车控制策略研究综述[ J ]. 公路交通科技, 2002, 19( 1 ): 103-107.

4 结 语

( 1 )控制策略是开发混合动力电动汽车的技术难题之一,对车辆的性能有较大的影响.  
( 2 )模糊控制策略是混合动力电动汽车控制策略开发中一种切实可行的方法,对混合动力电动汽车的控制有明显的优越性. 文中重点给出了模糊控制策略的制定方法.  
( 3 )由于模糊逻辑控制有它的局限性,很难从样本中直接学习规则,在模糊推理过程中会增加模糊性,所以控制策略的通用性有待改进,文中通过