

文章编号: 1002-0268 (2005) 01-0144-03

并联混合动力客车控制策略比较

刘金玲, 宋健, 于良耀, 王玉海, 季来春
(清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 控制策略的制定是混合动力电动汽车开发的关键, 因为其直接影响着能量在车辆内部的流动及整车的性能。本文首先介绍了3种不同的并联混合动力客车控制策略: 电动助力控制策略、实时控制策略及模糊逻辑控制策略, 然后利用 ADVISOR 建立的 SY6480 整车模型在 SIMULINK 环境下进行整车仿真, 根据仿真结果考察这些控制策略对于这一并联混合动力客车的燃油经济性的影响, 最后通过分析, 对于不同的控制策略的适用性作出评价。

关键词: 混合动力车; 控制策略; 仿真

中图分类号: U461.8

文献标识码: A

Control Strategies for Parallel Hybrid Electric Vehicles

LIU Jin-ling, SONG Jian, YU Liang-yao, WANG Yu-hai, JI Lai-chun

(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Control strategy of the HEV is very important, for it affects the energy flowing among different components and the performance of the whole vehicle. This paper introduces three kinds of control strategies for parallel hybrid electric vehicles: electric assist control, real time control and fuzzy logic control. The vehicle simulation is realized in SIMULINK environment with the help of ADVISOR. The comparison of different control strategies is given according to the simulation results.

Key words: Hybrid Electric Vehicle (HEV); Control strategy; Simulation

本文的研究对象是并联式混合动力客车, 结构如图1所示。发动机为2.237L电控汽油发动机; 电机为盘式永磁同步电机, 额定功率为15kW, 瞬时最大功率为35kW; 电池组选用镍氢电池组, 电池组容量为16.5Ah。

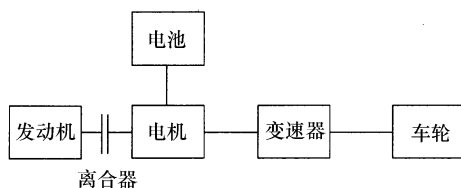


图1 并联混合动力汽车结构示意图

1 控制策略简介

针对研究对象的具体情况, 考察3种不同的控制

策略在特定的循环工况中对于车辆的燃油经济性的影响。在不同的控制策略中, 电池的电量在经过特定的循环后仍然保持原来的状态。为了保证电池在高效率区域内工作, 根据实测得到的电池内阻值, 正常工作时电池的充电状态SOC尽量限制在0.5~0.8之间, 在这一区间内电池的内阻较低。

1.1 电动助力控制策略

(1) 当车速低于某一最小车速时, 由电机提供全部驱动力。

(2) 当行驶需要扭矩大于发动机在给定转速下所能产生的最大扭矩时, 由电机提供扭矩助力。

(3) 当发动机在给定转速下, 如果按需求扭矩工作发动机效率不高时, 发动机关机, 由电机提供需求扭矩。

收稿日期: 2002-12-12

作者简介: 刘金玲(1979-), 女, 黑龙江安达人, 硕士研究生, 主要研究方向为并联混合动力客车控制策略。(lj197@mails.tsinghua.edu.cn)

(4) 电机可回收制动能并对电池充电。当电池 SOC 过低时, 发动机提供额外扭矩带动电机工作对电池充电。

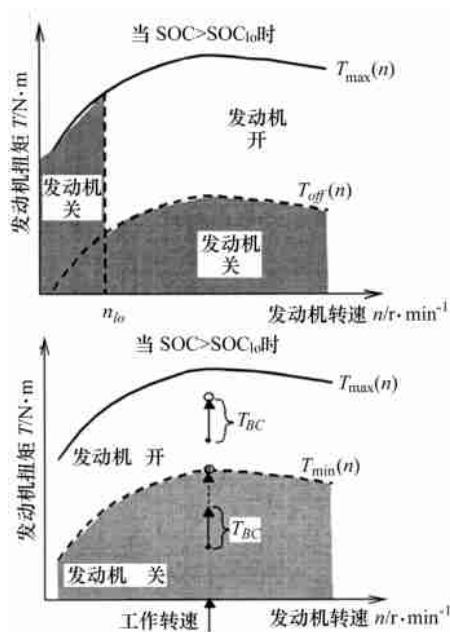


图2 电动助力控制策略

1.2 实时控制策略

该控制策略的出发点是在任一时刻, 使能量流动过程中的能量损失最小。

(1) 当车速低于某一最小车速时, 由电机提供全部驱动力。

(2) 当车速大于最小车速, 并且行驶需要扭矩小于电机的最大扭矩时, 根据发动机的燃油消耗率和电池的能量当量来决定动力源。

(3) 当行驶需要扭矩大于电机的最大扭矩, 并且小于发动机在给定转速下所能产生的最大扭矩时, 由发动机独自提供全部驱动力。发动机是否驱动电机

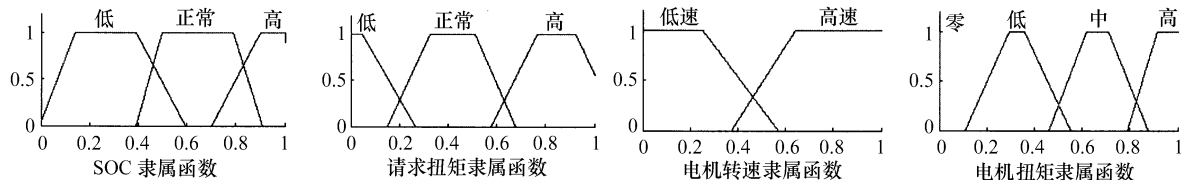


图4 输入输出的隶属度函数

MATLAB 模糊工具箱提供的模糊推理方法有 Mamdani 和 Sugeno 两种, 由于前者输出控制变量也可实现模糊化, 因此采用 Mamdani 模糊推理, 同时 and 运算采用最小算子。以电机转速和请求扭矩为 X , Y 坐标的模糊逻辑控制规则的三维示意图见图 5。

部分主要控制规则具体可以表述为:

(1) 如果 SOC 为高, 则电机的充电扭矩为零。

对电池充电, 取决于电池的 SOC 以及此时电池和电机的效率。

(4) 当行驶需要扭矩大于发动机在给定转速下所能产生的最大扭矩时, 由电机提供扭矩助力。

(5) 减速时回收制动能量。

1.3 模糊逻辑控制策略

模糊逻辑控制策略的出发点是通过综合考虑发动机和蓄电池的工作效率来实现混合动力系统的整体效率达到最高。模糊逻辑控制策略目标与实时控制策略类似, 但是与实时控制策略相比, 模糊逻辑控制策略具有鲁棒性好的优点。

图3所示为模糊逻辑控制器。3个模糊输入分别是:

(1) 电池组目前的充电状态 SOC, 范围为 0~1。

(2) 请求扭矩, 范围为 0~1。只有当请求扭矩大于零时, 才经由模糊控制器控制, 当请求扭矩小于零时则直接通过制动能回收控制器进行控制。

(3) 电机的转速, 范围为 0~1。模糊控制器输出为电机的充电扭矩。发动机的扭矩等于总的请求扭矩减去电机提供的扭矩。

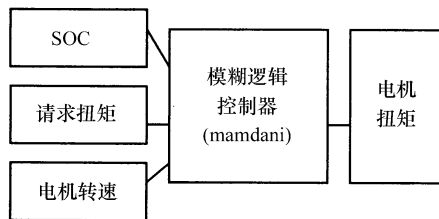


图3 模糊逻辑控制器

模糊输入及输出的语言变量和隶属度函数见图 4。输入和输出变量的隶属度函数主要考虑了发动机、电池和电机的效率, 确定各自高效运行的模糊集。各个变量的隶属度函数采用梯形, 便于参数的调整。

(2) 如果 SOC 为正常, 请求扭矩为低, 则电机的充电扭矩为零; 请求扭矩为正常, 电机转速为低则电机的充电扭矩为中, 电机转速为高则电机的充电扭矩为高; 请求扭矩为高, 则电机的充电扭矩为低。

(3) 如果 SOC 为低, 则发动机的请求扭矩非高则电机的充电扭矩为高, 发动机的请求扭矩为高时则电机的充电扭矩为低。

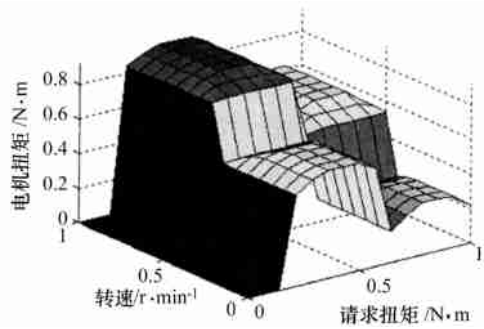


图 5 模糊逻辑控制规则三维图

为了防止发动机在低负荷时工作，在模糊逻辑控制器后加了一个限制条件，那就是当发动机的输出扭矩小于某一特定的扭矩时，发动机关机，由电动机来满足请求扭矩，同时还保证发动机的输出扭矩小于发动机的最大扭矩。

2 仿真结果

ADVISOR 是由美国能源部在 SIMULINK 环境下建立的高级汽车仿真软件，目前 AVL 公司正在对其进行商业开发。在 ADVISOR 的基础上，利用 SIMULINK 建立了不同的控制策略的仿真模型。

本文仿真所采用的对象是基于沈阳金杯 SY6480 客车改造的并联混合动力客车。车辆和乘客的总质量为 2 800kg。发动机的效率曲线如图 6 所示。对于该车在不同的控制策略下在图 7 所示的日本 10-15 工况下的燃油经济性以及能量流动情况进行了考察。

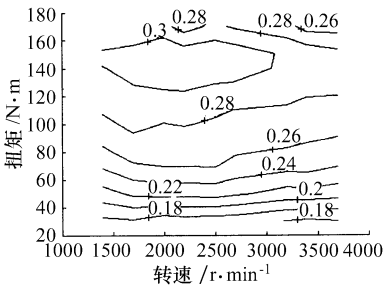


图 6 发动机效率曲线

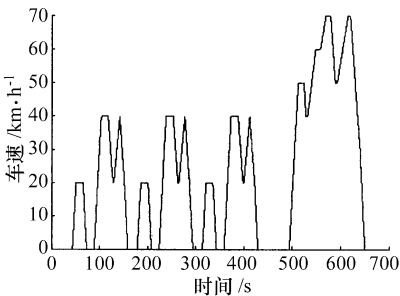


图 7 日本 10-15 循环工况

仿真结果如表 1 所示。燃油消耗量为保证 SOC 平衡时的等价百公里油耗。发动机的效率为发动机输出的能量与所消耗的燃油完全燃烧时所放出的能量之比。

表 1 三种控制策略比较仿真结果

控制策略	油耗 $L/100\text{km}$	发动机效率
电动助力	11.8	0.28
实时控制	10.7	0.27
模糊逻辑	11.3	0.27

3 结论

(1) 通过 3 种控制策略的仿真结果（见表 1）比较可以发现，在电动助力控制策略中，尽管发动机的效率最高，但是油耗却是最高。这是因为要使发动机在较高的效率区内运行，必须经常对电池进行充电。由于受电机的效率、电池的充放电的效率的影响，整体的效率反而下降，导致了油耗的上升。而实时控制策略和模糊逻辑控制策略都同时考虑了发动机的效率和电机、电池的效率，尽管发动机较少地工作在最经济区，但却获得了较好的燃油经济性。

(2) 由于实时控制策略能够保证在任一时刻都是由效率最优的部件工作，因此其燃油经济性要优于模糊逻辑控制策略。但是实时控制策略过分依赖于各个部件的性能特性的精确性，由于受电池老化、发动机的动态特性等的影响，在实际应用中很难达到这一目标。实时控制策略可以用于评价其它的控制策略的潜力。

(3) 模糊逻辑控制策略由于其鲁棒性好的特点，适用于车辆控制这样一个复杂的系统。模糊逻辑控制最主要的任务就是要根据部件的参数为各个输入和输出量建立比较合适的隶属度函数。

参考文献:

[1] C C CHAN The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles [J] . Proceedings of the IEEE, 2002, 90 (2) .
[2] Niels J Schouten. Fuzzy Logic Control For Parallel Hybrid Vehicles [J] . IEEE Transactions of Control Systems Technology, 2002 10 (3) .
[3] M Salman. Control Strategies for Parallel Hybrid Vehicles [C] . America: Proceedings of the American Control Conference, 2000, 6
[4] Niels Schouten. Fuzzy Logic Control for Parallel Hybrid Vehicles Using PSAT [C] . ADVISOR /PSAT User Conference Proceedings, 2001.
[5] 程树康, 王铁成, 等. 混合动力电动车能力匹配的仿真研究 [J] . 高技术通讯, 2001, 6.