

# 混合动力汽车整车控制器开发和试验研究

彭连云, 许永莉, 张亚明

(北京理工大学电动车辆国家工程实验室, 北京 100081)

**摘要:**以 ISG(起动机/发电机一体化)混合动力汽车为对象,对车辆转矩需求、发动机工作区优化和整车控制策略进行了分析,开发了基于 MC9S12DP256 的整车控制器硬软件系统,并进行了实车试验,实现了发动机启动、纯发动机驱动、混合驱动、驻车充电等多种工作模式,证明了该整车控制器功能设计的合理性和控制策略设计的有效性。

**关键词:**混合动力;整车控制器;能量分配;控制策略

**中图分类号:** U464.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2222(2011)01-0005-04

混合动力汽车将发动机、电机和动力电池组合在一起,可发挥内燃机汽车和电动汽车的优点,是减少石油消耗和 CO<sub>2</sub> 排放的有效技术途径之一<sup>[1]</sup>。众多的混合动力汽车方案中,ISG 轻度混合动力汽车使用电动机取代发动机原有飞轮,直接与发动机曲轴相连,实现汽车发动机怠速停机、功率补偿、制动能量回收等功能,具有对原车技术继承性好、实施方便、适用范围广等优点<sup>[2]</sup>。在混合动力汽车开发中,整车控制器是各种控制策略的最终运行载体,是实现汽车动力系统协同工作的关键部件。控制器硬件开发要根据整车的系统结构综合考虑运算速度、数据存储、电磁兼容、硬件成本和可靠性,合理进行硬件电路设计。软件开发是控制器开发的核心,软件代码的正确性、健壮性和可靠性是混合动力汽车性能乃至安全性的保证<sup>[3-4]</sup>。

## 1 混合动力汽车系统分析

“勇士”混合动力汽车的系统结构见图 1。“勇士”是典型单轴并联式结构,整车具有“纯汽油机驱动、混合动力驱动、ISG 反拖发动机启动、再生制动、驻车充电”等工作模式。整车控制器、发动机控制器、电机控制器、电池管理系统和人机显示系统组成了 5 节点的 CAN 网络,采用基于 J1939 的 CAN2.0 协议进行通信。在车辆行驶过程中,整车控制器通过开关输入端口、模拟量转换模块、CAN 总线等硬件线路采集驾驶员意图、车辆状态、设备运行状态等

参数,依托高速运行的 CPU 和控制端口来执行预设的控制算法和管理策略,再将指令和信息等通过 CAN 总线、开关输出端口等对动力系统的执行部件进行实时、可靠地控制<sup>[5-6]</sup>。

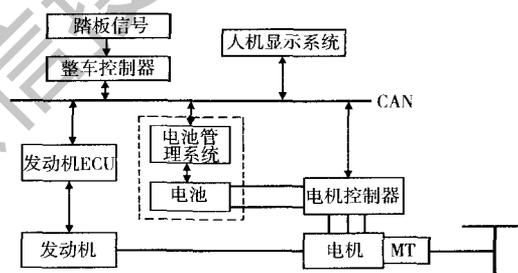


图1 “勇士”混合动力汽车的系统结构

## 2 整车控制器设计

### 2.1 整车控制策略

#### 2.1.1 车辆转矩需求分析

与传统汽车类似,驾驶员通过加速踏板反映其驱动转矩需求。驾驶员驱动需求转矩  $T_d$  由式(1)计算:

$$T_d = \alpha(T_{emax} + T_{mmax}) \quad (1)$$

式中:  $\alpha$  为加速踏板开度(0%~100%);  $T_{emax}$  和  $T_{mmax}$  分别是发动机和电机在当前转速下的最大转矩。对于混合动力汽车而言,必须要防止动力电池组的过放电,因此,要根据电池组的荷电状态系数  $S_{oc}$  决定是否需要对电池组进行充电。按照式(2)计算电池组的充电需求电流。

$$I_{\text{chg}} = \begin{cases} I_{\text{chgmax}} & S_{\text{oc}} \in [0, 30\%] \\ 0.5 - S_{\text{oc}} I_{\text{chgmax}} & S_{\text{oc}} \in [30\%, 50\%] \\ 0 & S_{\text{oc}} \in [50\%, 100\%] \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $I_{\text{chgmax}}$  为电池组最大允许充电电流。那么所需要的充电转矩  $T_{\text{chg}}$  为

$$T_{\text{chg}} = 9.549UI_{\text{chg}}/n \quad (3)$$

式中:  $U$  为 ISG 电机控制器直流端电压;  $n$  为 ISG 电机转速。因此总转矩需求为

$$T_r = T_d + T_{\text{chg}} \quad (4)$$

### 2.1.2 发动机工作区优化

从发动机的工作特性可知, 发动机在低速或小负荷运行时, 效率较低、燃油消耗较高且排放较差。依据发动机特性图, 确定了最小优化工作转矩 ( $T_{e_{\text{opt\_min}}}$ )、最佳优化工作转矩 ( $T_{e_{\text{opt}}}$ ) 和最大优化工作转矩 ( $T_{e_{\text{opt\_max}}}$ )。最小优化工作转矩曲线和最大优化工作转矩曲线所包含的区域为发动机的优化工作区。

利用 ISG 电机调节, 尽可能使发动机工作在最佳优化工作转矩曲线附近和发动机优化工作区。当转矩需求小于  $T_{e_{\text{opt\_min}}}$  时, 可以增大发动机节气门开度, 使发动机工作于优化工作区, 多余的转矩驱动 ISG 电机发电, 给电池充电; 如果转矩需求正好介于  $T_{e_{\text{opt\_min}}}$  和  $T_{e_{\text{opt\_max}}}$  之间, 即进入发动机单独驱动模式; 当需求转矩大于  $T_{e_{\text{opt\_max}}}$  时, 通过电机助力让发动机继续工作在优化工作区, 当电机发出最大助力转矩后, 仍然达不到需求转矩时, 增大节气门开度, 增加发动机转矩输出, 以满足车辆的转矩需求。

## 2.2 硬件设计

控制器硬件包括微处理器、CAN 通信模块、A/D 采集、I/O 接口、电源及保护电路模块、调试模块、串口通信模块等。微处理器负责数据计算和存储, 是整车控制器的大脑。CAN 通信模块通过内嵌的 CAN 控制器和外接的 CAN 收发器实现了 CAN 网络通信; A/D 采集负责采集加速和制动踏板信息; I/O 接口负责接收钥匙开关指令并实现继电器的开关控制; 电源及保护模块为微处理器提供稳定的 12 V 电源, 并在过流的情况下及时切断电路, 保护整车控制器的安全; BDM 调试模块实现程序的在线调试; 串口通信模块能实时提供整车控制器的各内部数据信息, 实现在线故障诊断。

## 2.3 软件设计

整车控制器软件设计环境为 CodeWarrior4.6,

配置 Freescale16 位仿真器。软件流程见图 2。

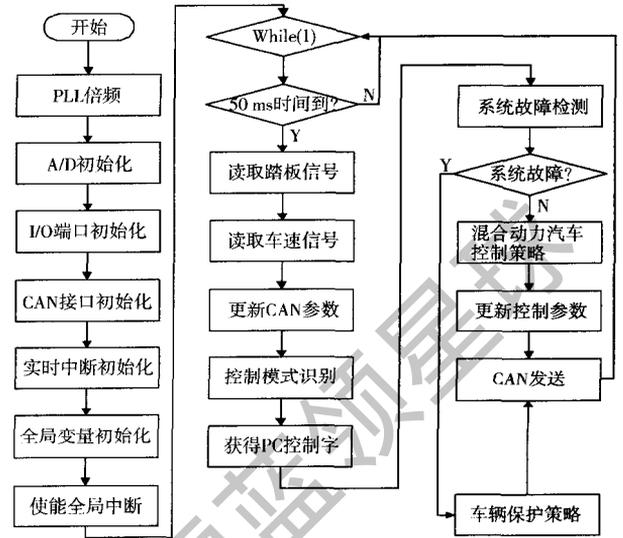


图2 软件流程

在混合动力汽车实车试验中, 应该能够及时采集和记录试验数据, 同时能够分别对控制器中的控制策略参数进行更新, 为此采用 VisualC++ 和 CAN 卡提供的驱动接口开发了数据采集和在线调试软件, 该软件能够显示、存储和回放从 CAN 卡上采集的混合动力整车及部件信息, 并能通过车载计算机将控制策略参数经 CAN 网络写入 E<sup>2</sup>ROM, 进行控制策略参数的更新。

## 3 控制器工作模式验证

为验证所开发的整车控制器及其控制策略, 进行了相关的实车试验。

### 3.1 发动机起动

传统的起动机被取消, 取而代之的是 ISG 电机。当钥匙开关置于“START”挡时, 整车控制器给 ISG 电机发出“调速模式”指令, 目标转速为 800 r/min。当发动机转速被拖至 800 r/min 时, 整车控制器将继电器闭合, 接通发动机控制器, 开始喷油和点火。由图 3 可知, 从 ISG 电机起动到怠速稳定约

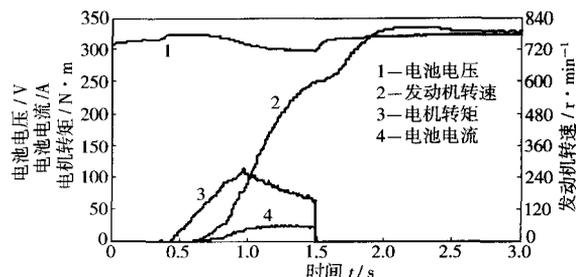


图3 发动机起动时的试验结果

2 s。ISG电机最大输出转矩达到  $101 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 启动过程中, 母线电压下降至  $298 \text{ V}$ , 电流输出达  $25 \text{ A}$ 。

### 3.2 行车充电

由图4和图5可知,  $30 \sim 50 \text{ s}$  时间内, 加速踏板开度约  $10\%$ , 若将此开度直接赋给油门, 则发动机工作在低负荷和低效率区。整车控制器综合发动机工作区优化策略和部件状态, 将油门开度增大至  $40\%$  左右, 富余转矩(最大至  $30 \text{ N} \cdot \text{m}$ ) 用来驱动 ISG 电机进行发电, 为电池充电, 充电电流最大达  $14 \text{ A}$ 。

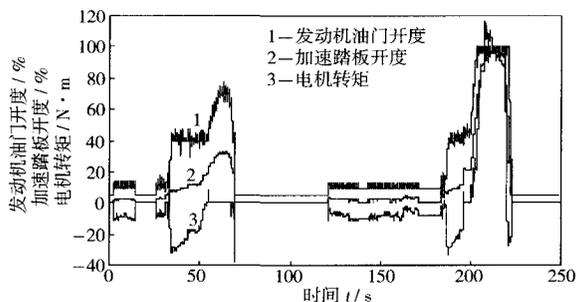


图4 加速踏板、节气门开度、电机转矩的试验结果

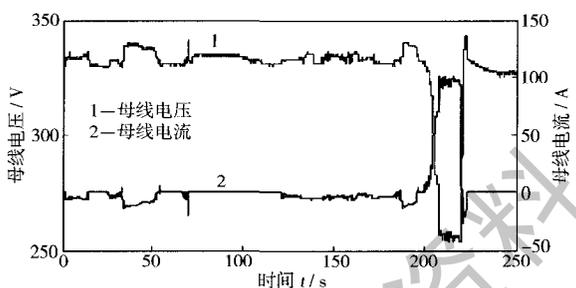


图5 母线电压、母线电流的试验结果

### 3.3 纯发动机驱动

由图4和图5可知,  $50 \sim 70 \text{ s}$  时间内, 加速踏板开度为  $33\%$  左右, 充电转矩需求  $T_{\text{chg}}$  为  $0$ 。按式(1)计算出  $T_d$ , 在当前的工作转速下, 发动机油门开至  $68\%$  左右能满足  $T_d$ 。根据发动机工作特性, 此时发动机正处于高效工作区, 车辆为纯发动机驱动模式。

### 3.4 混合驱动

由图4和图5可知,  $205 \sim 215 \text{ s}$  时间内, 加速踏板开度为  $100\%$ , 此时的发动机油门开度达到最大值, ISG电机同时进行助力, 输出转矩约  $100 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。母线电压最低下降至  $252 \text{ V}$ , 母线电流达  $100 \text{ A}$ 。

### 3.5 停车充电

$S_{oc}$  一旦过低, 即使在停车情况下, 也可以启动发动机进行充电, 此时整车控制器对加速/制动踏板没有反应。整车控制器根据目标充电电流和实际充电电流之间的差值, 调整油门开度, 构成油门一目标

充电电流一实际充电电流的闭环控制。在这种模式下, 电机工作于调速模式, 目标转速为  $1200 \text{ r/min}$ , 确保不会因为发动机转速过低而导致熄火。由图6可知, 稳定之后的充电电流约为  $5 \text{ A}$ , 油门开度约为  $8\%$ , ISG电机的充电转矩约为  $20 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

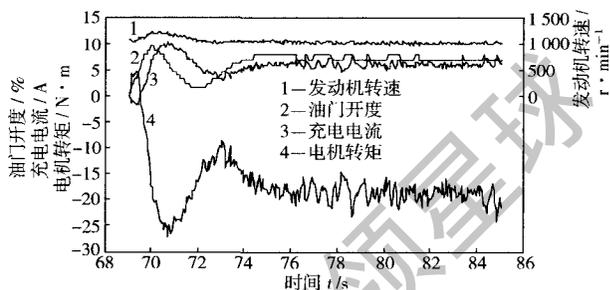


图6 驻车充电试验结果

### 3.6 油门变化的优化

在踏板增加率过高时, 限制发动机油门增大的速度, 发挥电机响应快和短时过载转矩大的优点, 增大电机的输出转矩。由图7可知, 在  $8240 \text{ s}$  处, 加速踏板开度在很短时间内增加到  $50\%$ , 油门缓慢上升, 避免了工作点的急剧变化, 而此时电机的负荷达到了  $80\%$  左右, 很好地弥补了发动机输出的不足。发动机的油门跟随上之后, 电机负荷随之下降。

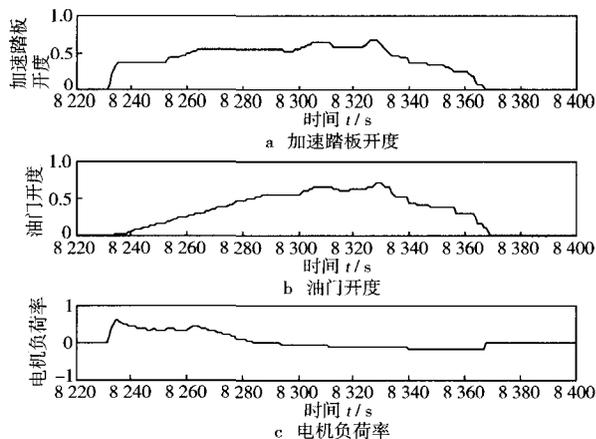


图7 发动机油门变化的优化

## 4 结论

a) 通过分析“勇士”混合动力汽车系统结构, 基于 Freescale 单片机进行了整车控制器硬件的开发, 包括处理器、CAN 通信模块、I/O 接口电路、电源模块等的设计;

b) 基于 CodeWarrior 开发环境, 编写了控制器软件; 基于 VisualC++ 和 CAN 口驱动接口, 开发了数据采集和在线调试软件;

c) 进行了“勇士”混合动力汽车的工作模式验证,实现了发动机启动、行车充电、纯发动机驱动、驻车充电、发动机油门变化优化等工作模式。

参考文献:

[1] Lin C C, Grizzle J W. Power management strategy for a parallel hybrid electric truck[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2003, 11(6): 839-849.

[2] Schouten Niels J, Salman Mutasim A, Kheirnam A. Fuzzy Logic Control for Parallel Hybrid Vehicles[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology,

2002, 10(3): 460-468.

[3] 张亚明, 孙逢春, 杨良会. 混合动力汽车电子节气门控制研究[J]. 北京理工大学学报, 2009, 29(10): 881-884.

[4] 罗禹贡, 杨殿阁, 金达锋, 等. 轻度混合动力电动汽车多能源动力总成控制器的开发[J]. 机械工程学报, 2006, 42(7): 98-102.

[5] 段岩波, 张武高, 黄震. 混合动力汽车模糊逻辑控制策略仿真[J]. 内燃机工程, 2003, 24(2): 66-69.

[6] 所左曼诺夫斯基. 混合动力城市公交车系统设计[M]. 何洪文, 译. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.

### Development and Experimental Research on Hybrid Electric Vehicle Controller

PENG Lian-yun, XU Yong-li, ZHANG Ya-ming

(National Engineering Laboratory for Electric Vehicles, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** For an ISG (integration of starter and generator) hybrid electric vehicle, the torque demand, the working area optimization and control strategy were analyzed. Based on MC9S12DP256, the software and hardware system of vehicle controller were developed and verified by the actual experiment. The result shows that various working modes such as the engine starting, engine driving, hybrid driving and battery charging can be realized by using the vehicle controller, which proves the design and control strategy of controller are reasonable and effective.

**Key words:** hybrid; vehicle controller; energy distribution; control strategy

[编辑: 潘丽丽]

\*\*\*\*\*  
(上接第 4 页)

c) 仿真结果表明,对于串联混合动力车辆,发动机的扭矩可以随意调整以找到某一输出功率下的效率最高的工作点,而且较多的工作点位于等效率曲线的高负荷部分。

参考文献:

[1] Colucci, Frank. Military Vehicles Could Benefit from Hybrid Electric Engines[C/OL]. [2010-07-20]. <http://www.nationaldefensemagazine.org>.

[2] 曾小华, 王庆年, 王伟华. 混合动力汽车混合度设计方法研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 8-12.

[3] Farzad Rajaei Salmasi. Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles: Evolution, Classification, Comparison. and Future Trends[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(5): 2393-2404.

[4] Beck R, Bollig A, Abel D. Comparison of two Real-Time Predictive Strategies for the Optimal Energy Management of a Hybrid Electric Vehicle[G]. E-COSM-Rencontres Scientifiques de IIFP-2-4 Octobre, 2006.

### Control Strategy for Hybrid Electric Vehicle

LU Feng<sup>1</sup>, REN Yong-le<sup>2</sup>, GUO Meng-chao<sup>1</sup>

(1. Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;  
2. Military Traffic Institute, Tianjin 300161, China)

**Abstract:** For a series hybrid electric armored vehicle, an optimal control model was established aiming at the minimum fuel consumption. In the calculation of minimum fuel consumption, the dynamic optimization method was used. Based on the typical CYC—CSHVR conditions of a heavy-duty vehicle, the dynamic optimization strategy was simulated and compared with the constant temperature control strategy. The results show that the fuel economy of dynamic programming is better than that of constant temperature control. Finally, the relationship between output and demand power is acquired according to the simulation and analysis.

**Key words:** armored vehicle; hybrid; control strategy; dynamic programming

[编辑: 潘丽丽]