

# 混合动力电动汽车的动力系统参数设计与仿真

周美兰, 张昊, 卢显焄

(哈尔滨理工大学 电气与电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:**针对混合动力电动汽车低油耗、低排放的优势,将原车型改装成并联混合动力汽车,并对其动力系统参数进行设计.基于汽车专用仿真软件 ADVISOR,选用 NEDC 典型道路循环工况对所匹配车辆的动力性、燃油经济性及电池的荷电状态 SOC 等进行了仿真分析.仿真结果表明,改装后的混合动力汽车燃油经济性有较大改善,动力性能基本不变,实现了在循环工况内的充放电平衡,说明了动力系统的参数设计是合理的.

**关键词:**并联混合动力汽车;动力系统;参数设计;仿真

**中图分类号:** U469.72 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2011)04-0036-04

## Parameter Design and Performance Simulation for Power System of Parallel Hybrid Electric Vehicle

ZHOU Mei-lan, ZHANG Hao, LU Xian-gan

(School of Electrical and Electronic Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** Aiming at the advantages of low-emission and fuel-efficient with hybrid electric vehicle (HEV), the original model vehicle is refit into parallel hybrid electric vehicle (PHEV), and its power system parameters are designed. The dynamic performance, fuel economy and battery state of charge (SOC) are simulated in the NEDC typical driving cycle by vehicle simulation software ADVISOR. The comparisons between the simulation results of two models show that the modified hybrid vehicle is better than the original model vehicle on fuel economy, the dynamic performance is basically unchanged, and the charge-discharge characteristics of battery achieve a balance on driving cycle, so the design of power system parameters is reasonable.

**Key words:** parallel hybrid electric vehicle; power system; parameter design; simulation

### 0 引言

近年来混合动力电动汽车(hybrid electric vehicle, HEV)因其低油耗、低排放的优势已成为世界各大汽车公司竞相开发的热点.混合动力汽车的节能主要得益于采用了怠速启停系统、再生制动(能量回馈制动)、小排量发动机和多能源动力系统的优

化控制<sup>[1]</sup>.根据动力源的数量及动力传递方式,HEV可分为串联型、并联型和混联型.并联式混合动力汽车(parallel hybrid electric vehicle,简称PHEV)采用发动机和电机两套独立的动力系统驱动车轮,以发动机作为主动力装置,电机作为辅助动力装置.这种汽车续驶里程和动力性能比较接近于传统的汽车,但汽车消耗的燃油少,废气排放低,整车实现了高效率的能源利用,避免了汽车在进行起

收稿日期: 2010-01-15

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11551072)

作者简介: 周美兰(1962—),女,博士,教授,E-mail: zhoumeilan001@163.com.

动、加速、爬坡时燃油消耗大、废气排放多的问题<sup>[2]</sup>。本文依据并联式混合动力汽车的整车动力性要求,对汽车动力系统主要机构参数进行合理的匹配设计。

## 1 混合动力系统参数的设计

所选样车为某一国产燃油汽车,并将其改装成并联混合动力汽车。并联混合动力汽车动力系统参数设计主要包括:1)选择发动机功率;2)确定电机各参数(包括电动机额定功率 $P_{mr}$ 、额定转速 $N_{mr}$ 、最高转速 $N_{mmax}$ );3)选择电池参数。

### 1.1 发动机参数的确定

发动机是汽车能量来源的主要途径,因此发动机的相关参数设置也就显得尤为重要。发动机主要是对其可提供的输出功率进行设置,如果发动机可提供的功率选择过大,那么汽车消耗的油量和废气的排放就会比较严重,如果发动机输出的功率选择太小,又不能满足汽车动力方面的要求,而且还会导致汽车电池数量的增多,这将对汽车的布置方式添加困难<sup>[3]</sup>。目前对发动机功率的设置一般以发动机能提供汽车最大速度时所需的能量来进行确定,如下式:

$$P_{emax} = \frac{1}{\eta} \left( \frac{m \cdot g \cdot f}{3600} U_{omax} + \frac{C_D \cdot A}{76140} U_{omax}^3 \right) \quad (1)$$

式中: $P_{emax}$ 为发动机可以提供的最大功率; $\eta$ 为传动系统传递能量的效率; $m$ 为总的汽车质量; $f$ 为汽车行驶时车轮与地面之间的阻力系数; $U_{omax}$ 为汽车可以行驶的最大速度; $C_D$ 为空气的阻力系数; $A$ 为汽车行驶时的迎风面积。

根据发动机提供汽车正常行驶时所需要的功率,由电机对汽车需要的最大功率进行补充这一原则,因此本文的发动机功率可以通过汽车行驶的平均速度来进行设置,用表达式(2)进行计算<sup>[4]</sup>。

$$P_c = \frac{1}{\eta} \left( \frac{m \cdot g \cdot f}{3600} U_c + \frac{C_D \cdot A}{76140} U_c^3 \right) \quad (2)$$

式中 $P_c$ 为汽车正常行驶时发动机的功率, $U_c$ 为汽车行驶的平均速度。

发动机提供的功率除了用来对汽车进行驱动外,还要留有12%的功率裕量为电池进行充电和汽车爬坡做准备,经过以上计算,所需的总功率为48 kW,因此,本文选择输出功率为50 kW的DA468QA型发动机,图1为所选择发动机的油耗特性MAP图。

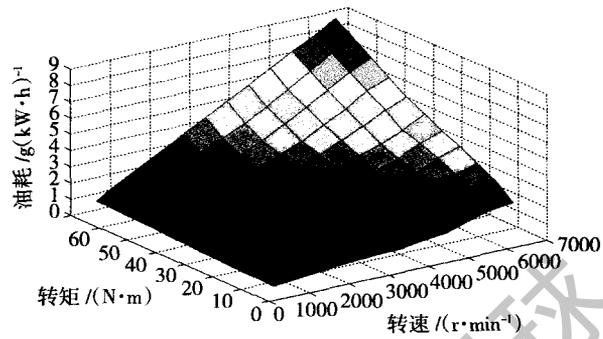


图1 发动机油耗特性 MAP 图

### 1.2 电机参数的选择

电机本体的特性对电机所能提供的最高转速有很大的关系,对于低速的电机来说,它的恒功率系数 $\beta$ 比较小,电机的体积和重量较大,转子输出的电流较高,所能提供的转矩也就较大;而中高速电机恰好相反,大 $\beta$ 值是汽车能够稳定的行驶和进行加速时必要的条件,但会对动力系统的驱动轴和齿轮的应力产生影响,所以在对电机的参数进行设置时必须考虑多方面的因素<sup>[5]</sup>。相应的转速计算如式(3)。

$$N_{mr} = N_{mmax} / \beta \quad (3)$$

式中: $N_{mr}$ 为电机额定转速; $N_{mmax}$ 为电机最高转速。本文选择电动机的最高转速 $N_{mmax}$ 为4000 r·min<sup>-1</sup>, $\beta$ 等于2,即额定转速 $N_{mr}$ 为2000 r·min<sup>-1</sup>。

电机的主要作用就是和发动机一起为汽车提供所需的最大功率,那么电机的功率设置就应该以汽车进行加速和爬坡这两个方面来进行确定<sup>[6]</sup>。汽车由起动开始加速直到速度为 $V$ 时的加速时间的计算公式如下:

$$T = \frac{1}{3.6} \cdot \int_0^V \left[ \frac{dt}{dv} \right] dv = \frac{1}{3.6} \int_0^V \frac{\delta m}{F_t - F_w - F_f} dv \quad (4)$$

式中: $F_t$ 为驱动力(N); $F_f$ 为滚动阻力(N), $F_f = f_r m_a g \cdot \cos \alpha$ ;  $F_w$ 为空气阻力(N); $\delta$ 为转动质量换算系数。爬坡度 $\alpha$ 的公式如表达式(5)。

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{F_t - F_w}{mg \sqrt{1 + f_r^2}} \right) - \arctan(f_r) \quad (5)$$

式中 $f_r$ 为滚动阻力系数。

并联混合动力汽车的驱动力计算如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{当 } 0 \leq V \leq V_{mode} \text{ 时, } F_t &= \frac{3600 \cdot P_{mr}}{V_{mr}} \\ \text{当 } V_{mode} \leq V \leq V_{mr} \text{ 时, } F_t &= 3600 \times \left( \frac{P_{mr}}{V_{mr}} + \frac{P_c(V)}{V} \right) \\ \text{当 } V_{mr} \leq V \leq V_{mode} \text{ 时, } F_t &= 3600 \times \left( \frac{P_{mr}}{V} + \frac{P_c(V)}{V} \right) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中:  $V_{mr}$  为电机输出额定转速时汽车的速度;  $P_{mr}$  为电机额定功率;  $V_{mode}$  为对汽车进行设置的行驶车速;  $P_e(V)$  为汽车的速度为  $V$  时发动机所提供的功率. 电机输出的最大功率为

$$P_{mmax} = \lambda P_{mr} \quad (7)$$

根据以上计算, 选择交流异步电机, 额定功率为 27 kW.

### 1.3 电池参数的选择

电池是为电机单独驱动汽车时提供能量的, 因此电池所能提供的功率必须满足电机的要求. 由于电池的电压都是确定的, 那么对电池功率的选择就转变为对电池数量的选择. 上文中, 对电机功率参数的选择考虑到为电池进行充电的问题, 所以, 只要电池提供的能量能满足汽车以纯电动模式工作时所需要的能量即可<sup>[7]</sup>, 其计算公式如式(8):

$$n_{es} > \frac{1000 W_{road}}{\eta_{me} \eta_m U_{model} C} \quad (8)$$

式中:  $n_{es}$  表示所需电池的数量;  $\eta_{me}$  表示电机将电池提供的电能转化为机械能的效率;  $\eta_m$  表示汽车的机械效率;  $U_{model}$  表示所选型号电池的电压;  $C$  表示所选型号电池的电容.  $W_{road}$  是在电池驱动电机单独为汽车提供驱动力的条件下, 汽车在平直路面上以 50 km/h 的速度行驶 30 km 时所消耗的能量, 由公式(9)确定, 即

$$W_{road} = P_{ele} t = \frac{1}{3600} \left( mgf + C_d A \times \frac{V_{ele}^2}{21.15} \right) V_{ele} t \quad (9)$$

式中:  $P_{ele}$  为汽车由电机单独驱动时功率的需求;  $V_{ele}$  为此时的车速, 为 50 km/h;  $t$  为行驶过程中所消耗的时间.

本文所选镍-氢电池组 SOC 值在 0.6~0.8 之间, 标称电压为 1.2 V, 总电压的平均值为 160 V, 总容量为 8 Ah.

## 2 仿真及结果分析

为了验证所建立的仿真模型<sup>[8]</sup>和设计参数的正确性及有效性, 需要在特定的环境下进行仿真分析, 本文选用在欧洲新驾驶循环 (New European Driving Cycle - NEDC) 下进行仿真. NEDC 是我国的市区和城郊相结合的综合循环工况, 包括了多种典型的行驶工况, 包括起步、加速、匀速、急加速及制动等行驶过程. NEDC 工况中, 平均车速 20.64 m·s<sup>-1</sup>, 最高车速 74.56 m·s<sup>-1</sup>, 加速时最大加速度为

3.46 m·s<sup>-2</sup>, 制动时最大加速度为 -2.59 m·s<sup>-2</sup>, 整个工况循环所用时间为 1184 s, 循环路程 6790 m.

根据前面确定的各部件参数, 在 NEDC 循环路况下利用汽车专用仿真软件 ADVISOR 进行仿真, 仿真结果如表 1 和表 2 所示. 从表 2 可以看出改装后的 PHEV 虽然动力性降低, 但仍满足动力性要求, 这说明, 动力系统的参数设计比较合理. 将表 2 与表 1 对比还可以看出, 改装后的 PHEV 的燃油经济性有较大提高.

表 1 原车型仿真结果

原车型	最大爬坡度/%	最高车速/(km/h)	油耗/(L/100km)
空载	35.60	182	7.90
半载	34.11	182	8.15
满载	31.15	182	8.35

表 2 PHEV 性能仿真结果

PHEV	最大爬坡度/%	最高车速/(km/h)	油耗/(L/100km)	节油率/%
空载	34.41	181.6	6.85	13.3
半载	33.12	181.6	7.09	13.0
满载	29.65	181.6	7.28	12.8

图 2 为 NEDC 道路循环工况图. 在 NEDC 工况下, 采用模糊优化控制策略的仿真结果, 如图 2 到图 7. 从图 3 中可以看出, 发动机转速是随着循环工况而不断改变, 在加速时, 电机提供额外转矩, 而减速时, 电机工作于发电状态, 回收能量为蓄电池进行充电. 图 6 为循环工况下 SOC 值变化情况, 从图中可以看出, SOC 是动态变化的, 最大值为 0.7, 最小值为 0.627, 上下变化 0.073, 从变化量来看波动是比较小的, 同时 SOC 变化的最终值为 0.684, 基本实现了在循环工况内的充放电平衡. 从以上仿真结果来看, 发动机、电机和电池的选择是合理.

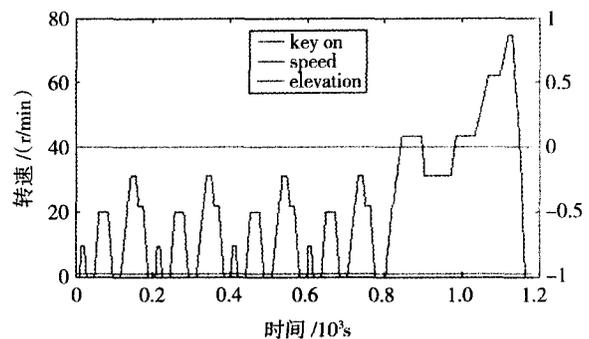


图 2 NEDC 道路循环工况图

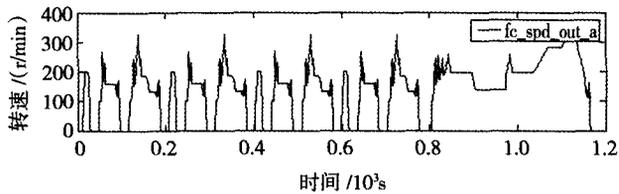


图3 发动机输出转速

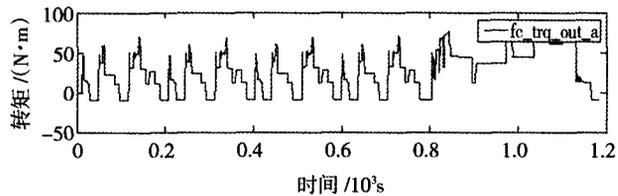


图4 发动机输出转矩

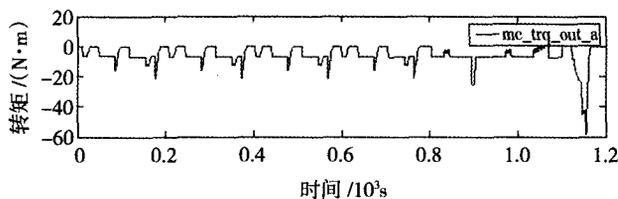


图5 电机输出转矩

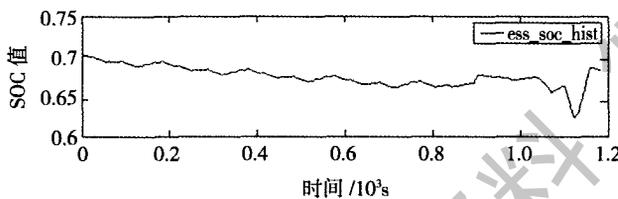


图6 电池 SOC 值的变化情况

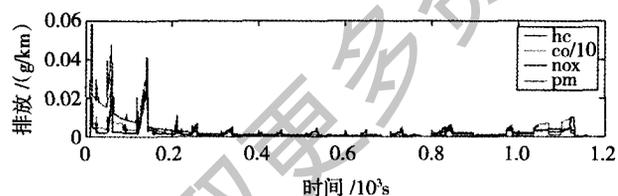


图7 尾气排放图

### 3 结 语

混合动力汽车集成了传统驱动系统和电动驱动系统,以不同转换装置的能量作为动力源为汽车驱动提供能量.与传统汽车相比,混合动力汽车可以通过合理控制和匹配获得良好的油耗和排放.以上分析和仿真结果表明,本文所设计的动力系统参数是合理的,改装后的并联混合动力汽车提高了整车的燃油经济性,废气排放降低,汽车的动力性能比较好,并实现了典型道路循环工况内的充放电平衡,对实车开发具有实质性的指导作用.

### 参 考 文 献:

- [1] 雷芳芳.我国新能源汽车的发展[J].汽车工程师,2009,8(5):12-14.
- [2] HAN S B, CHANG Y H, CHUNG Y J. Fuel Economy Comparison of Conventional Drive Trains Series and Parallel Hybrid Electric Step Vans [J]. International Journal of Automotive Technology, 2009(10): 235-240.
- [3] 杨伟斌,秦大同.轻度混合动力汽车动力元件的选型与参数匹配[J].重庆大学学报,2003,26(11):6-10.
- [4] 杨伟斌,吴光强.混合动力汽车传动系优化匹配及性能仿真[J].同济大学学报,2006,34(11):37-43.
- [5] 周春国,冯莉,刘凯,等.并联混合动力汽车动力分配装置的建模与仿真[J].西安理工大学学报,2006,22(1):54-57.
- [6] CHAN C C, ALAIN B, CHEN K Y. Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(2): 589-598.
- [7] 张欣,郝小健.并联式混合动力汽车动力总成控制策略的仿真研究[J].汽车工程,2005,27(8):141-145.
- [8] 周美兰,张宇,王旭东.单轴并联式混合动力汽车动力总成的建模与仿真[J].电机与控制学报,2009,13(1):36-40.

(编辑:付长缨)