

文章编号:1671-6833(2013)05-0048-04

某纯电动汽车动力系统的建模与仿真分析研究

秦东晨, 谢银倩, 潘守辰, 陈江义, 刘竹丽

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 电动汽车的节能环保性能主要取决于动力系统的参数匹配。针对某款纯电动汽车的动力设计要求, 笔者进行了动力系统参数匹配设计, 并运用 ADVISOR 软件进行了建模和仿真分析, 结果验证了参数匹配的合理性, 并在此基础上进一步探究影响该车整车性能的因素, 为纯电动汽车的设计提供理论参考。

关键词: 电动汽车; 动力系统; 参数匹配; 建模和仿真分析

中图分类号: U469.72 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.05.010

0 引言

传统的燃油汽车加剧了大气污染和能源危机, 电动汽车作为新能源汽车的代表, 具有能源多样性、节能环保等优势, 被公认为 21 世纪汽车工业改造和发展的主要方向。电动汽车动力传动系统是制约纯电动汽车发展的关键因素, 也是目前电动汽车领域研究的热点之一。笔者选用锂离子电池组, 在动力系统参数匹配设计的基础上, 仿真分析了整车的动力性能和续驶里程, 并对相关的影响因素做了进一步的仿真分析。

1 动力传动系统参数设计

电动汽车动力系统的参数匹配主要是通过计算, 选择合适的电动机参数、传动比和动力电池组容量, 以满足电动汽车对整车动力性能和续驶里程的要求。

1.1 动力设计要求

某纯电动汽车的动力设计要求如表 1 所示。

1.2 驱动电机参数选择

电动机的功率直接影响整车的动力性能。电动机的功率越大, 车辆的后背功率也越大, 加速性和爬坡性越好, 同时电动机的体积和质量也会增加, 从而影响电动汽车的续驶里程^[1]。笔者选用交流感应电动机, 同时根据最高车速 v_{\max} 确定电机的最大功率 $P_{\max 1}$ ^[2]; 根据整车以 v_i 行驶的最大

爬坡度确定 $P_{\max 2}$; 根据加速性能确定 $P_{\max 3}$ 。动力源总功率 P_{\max} 必须要满足上述三项指标的设计要求, 即

$$P_{\max} \geq \max(P_{\max 1}, P_{\max 2}, P_{\max 3}). \quad (1)$$

驱动电机的额定功率可由峰值功率求得:

$$P_{\text{额}} = \frac{P_{\max}}{\lambda}, \quad (2)$$

式中: λ 为电机过载系数。

表 1 整车动力性能指标

Tab. 1 Vehicle dynamic performance indexes

项目	参数
最高车速/(km·h ⁻¹)	≥110
最大爬坡度(35 km/h)/%	≥25
0~50 km/h 加速时间/s	≤10
50~80 km/h 加速时间/s	≤10
续驶里程(定速 40 km/h)/km	≥160

1.3 传动系参数选择

采用固定速比变速传动, 可以有效减少机械传动装置的重量和体积, 并使整车结构变得较为简单、可靠。这样, 设计时就要求电动机既能在恒转矩区提供较高的瞬时转矩(额定值的 3~5 倍), 又能在恒功率区提供较高的运行速度(基速的 3~5 倍)^[3]。

(1) 最大传动比的选择^[4]

传动系最大传动比 i_{\max} 是变速器最低档速比

收稿日期: 2013-03-09; 修订日期: 2013-06-01

基金资助: 获国家重大科技成果转化项目(财建[2012]258)和郑州市科技领军人才项目(10LJRC188)支持。

作者简介: 秦东晨(1965-), 男, 河南温县人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事机械强度及结构优化设计、虚拟样机、CAD/CAE/CAM 集成等研究, E-mail: dcqin@zzu.edu.cn.

i_{gl} 与主减速比 i_0 的乘积,由电动机的峰值转矩 T_{max} 和车辆最大爬坡度角 α_{max} 决定.

$$i_{max} \geq \frac{mg(f\cos\alpha_{max} + \sin\alpha_{max})r}{T_{max}\eta^i}, \tag{3}$$

式中: r 为车轮滚动半径; f 为滚动阻力系数; η^i 为传动系总效率.

(2) 最小传动比的选择

传动系最小传动比 i_{min} 是变速器最高档速比 i_{gmax} 与主减速器速比 i_0 的乘积,由电动机的最高转速 n_{max} 和电动汽车的最高车速 v_{max} 决定,

$$i_{min} \leq 0.3768 \frac{n_{max}r}{v_{max}}. \tag{4}$$

1.4 动力电池组参数选择

锂电池^[5]具有较高的能量密度,工作电压高(单体工作电压为 3.7 V 或 3.2 V),自放率低,充电效率高,循环寿命长,无记忆效应,并且绿色环保,是目前市场前景最好的电池之一. 因此,选用了磷酸铁锂电池组(单个电池规格为 3.2 V/80 Ah),并根据续驶里程确定蓄电池数目. 电动汽车一次充电以 v_a 匀速行驶路程 S 所需的功率 P_1 可由下式计算:

$$P_1 = \frac{v_a}{3\,600 \cdot \eta^i} (mg \cdot f + \frac{C_D A v_a^2}{21.15}). \tag{5}$$

P_1 再加上原车的用电设备功率消耗,即为行驶里程 S 所需的总功率 P . 所需的电池个数 n 为:

$$n = \frac{1\,000PS}{C_u v_a u \eta}, \tag{6}$$

式中: η 为电池放电深度; u 为单体电池电压; C_u 为单体电池容量.

1.5 匹配结果

通过理论计算和工程分析最终获得动力系统

的主要设计参数如表 2 所示.

表 2 纯电动汽车参数表
Tab.2 Pure electric vehicle parameters

传动部件	设计参数	参数值
电动机	峰值功率/ kW	59
	额定功率/ kW	20
	额定转速/(r · min ⁻¹)	3 600
	最高转速/(r · min ⁻¹)	8 000
单体电池	类型	磷酸铁锂
	额定容量/ Ah	80
	额定电压/ V	3.2
	电池内阻/ mΩ	1
	电池个数/个	110
传动系	主减速比	4.333
	固定减速比	1.947(Ⅱ档)
其他	整备质量/ kg	1 265
	满载质量/ kg	1 565
	长 × 宽 × 高/ mm	3 850 × 1 785 × 1 665
	滚动阻力系数	0.015
	空气阻力系数	0.3

2 纯电动汽车仿真模型的建立

ADVISOR 是美国国家能源可再生能源实验室于 1994 年研制的用于各种车辆的计算机仿真程序^[6]. 纯电动汽车的整车仿真模型如图 1 所示. 基于 ADVISOR 软件建立电动汽车整车模型,就是对车辆模型系统中的车辆、电动机、动车速 $v/(km \cdot h^{-1})$ 锂电池、车轮、主减速器和变速器等模块进行修改和定义^[7-9]. 由于篇幅限制,这里只给出车辆模块和动力电池模块中需要修改和定义的参数.

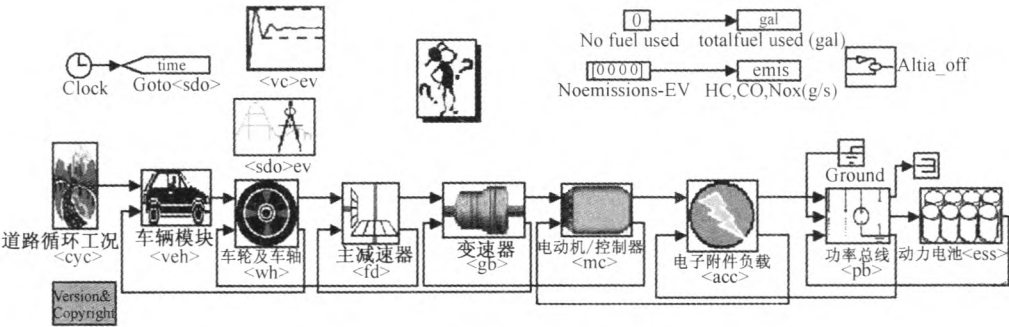


图 1 电动汽车整车仿真模型

Fig.1 Simulation model of the electric vehicle

2.1 车辆模块

车辆模块中需要定义的参数有:

veh_CD = 0.3;% 定义空气阻力系数;

veh_FA = 2.4;% 定义迎风面积, m²;

veh_cg_height = 0.55;% 定义质心高, m;

veh_front_wt_frac = 0.55;% 定义整车静止前轴承

载系数;
SOC 值 veh_cargo_mass = 300;% 定义最大装载质量,kg.

2.2 动力电池模块

蓄电池模块中需要定义参数有:
ess_max_ah_cap = [68 70 74];% 定义电池容量随 SOC 值温度的变化;
电动机功率/kWess_min_volts = 2.5;% 定义电池的最小电压,V;
ess_max_volts = 3.6;% 定义电池的最大电压,V;
ess_module_num = 110;% 定义电池数量;
ess_module_mass = 2.25;% ,kg, 定义电池的质量,kg.

3 仿真分析结果

3.1 动力性能

典型循环工况 ECE—EUDC 下,该车的动力性能仿真结果如表 3 所示. 从表中可以看出,该车的动力性能完全满足设计要求,而且加速性能良好.

表 3 ECE—EUDC 工况下动力性能仿真结果
Tab.3 The simulation results of the dynamic performance by the ECE - EUDC conditions

项目	仿真结果
最高车速/(km·h ⁻¹)	115.7
最大爬坡度(35 km/h)/%	27.5
0~50 km/h 加速时间/s	5.4
50~80 km/h 加速时间/s	6.6

图 2 为该仿真过程中,车速、荷电状态、电动机功率随时间变化的关系曲线. 其中,车速曲线最后稍有不吻合,这是由于该工况下的最高车速为 120 km/h,略高于该车的最大车速.

3.2 续驶里程和燃油经济性

150 kg 负载、40 km/h 匀速工况下,最大续驶里程为 165.7 km,满足设计要求. 图 3 为该仿真过程中电动汽车的能源消耗图,从中可以看到动力电池、电动机和变速器等部件的能源转换过程和利用效率,由于仿真工况是匀速工况,所以再生回馈模式没有能量转换过程,纯电动汽车动力传动系统的总体效率为 0.378.

该车的燃油经济性如表 4 所示. 由于 ECE—EUDC 工况下需要频繁启动、加速和减速,所以车辆油耗要大于匀速循环工况下的车辆油耗. 总体来看,该车的燃油经济性较为合理.

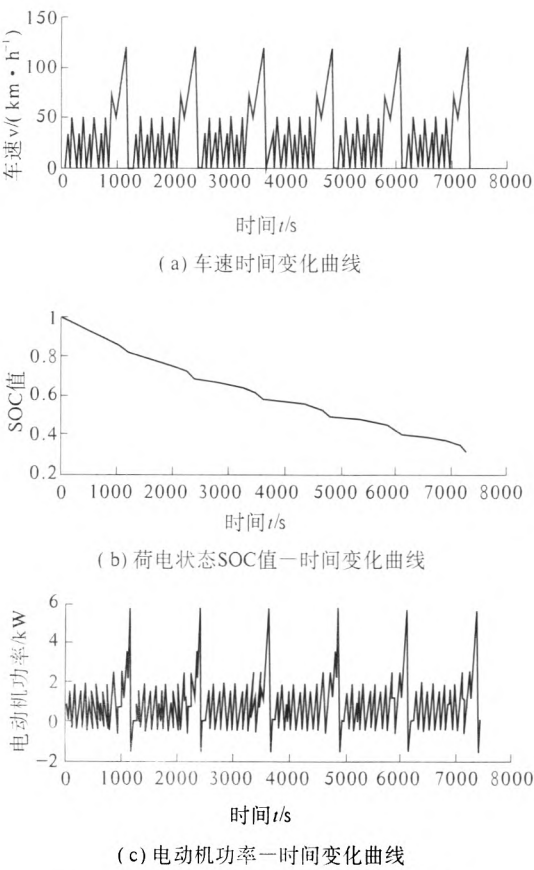


图 2 ECE—EUDC 工况 6 次循环下车速、荷电状态、电动机功率与时间的关系曲线
Fig.2 The speed, state of charge and motor power curves of 6 cycles by the EUDC conditions

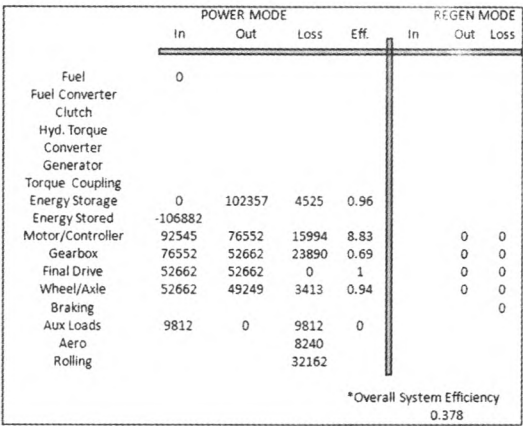


图 3 电动汽车能源消耗图
Fig.3 Energy consumption diagram of the EV

表 4 车辆燃油经济性
Tab.4 Fuel economy of the vehicle

循环工况	循环里程/km	油耗/(L·100 ⁻¹ ·km ⁻¹)
ECE—EUDC	10.93	6.4
	65.4	3.9
40 km/h 匀速工况	154	2.2

4 整车灵敏度分析及参数研究

4.1 整车灵敏度分析

为进一步了解整车性能,笔者通过直接修改 ADVISOR 仿真界面中的参数值,对不同负载、不同工况和不同车速进行了仿真分析,结果表明:该车的动力性能良好;30 ~ 80 km/h 匀速运行时整车效率较高,续驶里程较远. 表 5 所示为不同负载下的动力性能仿真结果.

表 5 整车质量对动力性能的影响
Tab.5 The impact of the vehicle loads on dynamic performances

动力性能	整车质量	
	1 340 kg	1 490 kg
0 ~ 50 km/h 加速时间/s	5.2	5.7
50 ~ 80 km/h 加速时间/s	6.2	6.9
最大加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	4.2	3.5
最高车速/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	115.8	115.6
最大爬坡度(35 km/h)/%	29.2	26

4.2 参数研究

影响整车性能的因素主要有整车质量、滚动阻力系数、空气阻力系数、车轮半径、电动机和动力电池的固有特性等. 其中整车质量、空气阻力系数及滚动阻力系数这 3 个参数对加速性能相互影响的参数仿真分析结果如图 4 所示.

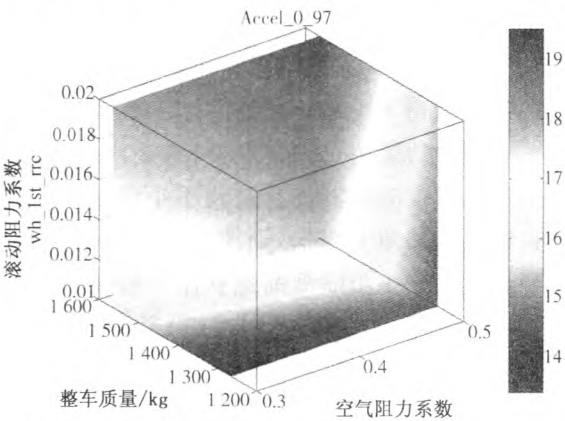


图 4 3 个参数对加速性能相互影响的仿真分析图

Fig.4 Simulation analysis chart of three parameters on the acceleration performance influence each other

在 ADVISOR 仿真界面中改变上述参数值,仿真分析这些参数对整车性能的影响,得出结论.

(1)滚动阻力系数和空气阻力系数对续驶里程的影响较大(尤其是滚动阻力系数).

(2)车轮半径对动力性能影响较大,对续驶里程也有一定影响.

(3)电池的容量越大,续驶里程越远;最低电

压越低,加速和爬坡性越好,最高电压越高,续驶里程越远.

(4)电动机功率增大,动力性能会提高,但同时续驶里程会减小,电动机功率对动力性能和续驶里程的影响较小,其类型对二者的影响则较大.

4.3 提高整车性能的措施

为增加电动汽车的续驶里程,可以在城市工况中以中高速行驶,同时降低轮胎滚阻系数和风阻系数,提高动力电池容量;为提高动力性能和爬坡度,应设计适当的车轮半径,选用合适类型的电动机和电压特性较好的动力电池.

5 结论

通过运用 ADVISOR 软件对该车的动力性能、续驶里程和燃油经济性进行仿真分析,结果表明该车的动力系统参数匹配较为合理. 同时,通过参数研究得出:除了电池和电动机这 2 个关键部位外,滚阻系数、风阻系数和车轮半径等参数对电动汽车的整车性能也有一定影响. 这为纯电动汽车的设计提供了一定的理论参考.

参考文献:

[1] 钟磊,高松,张令勇. 纯电动轿车动力传动装置参数匹配与动力性仿真[J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2010,24(1):78-79.

[2] 王庆年,何洪文,李幼德,等. 并联混合动力汽车传动系参数匹配[J]. 吉林工业大学学报:自然科学版,2000,30(1):72-75.

[3] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002:91-92.

[4] 王珏童. 纯电动客车动力传动系参数匹配及整车性能研究[D]. 吉林:吉林大学汽车工程学院,2008:20-21.

[5] 李相哲,苏芳,林道勇. 电动汽车动力电源系统[M]. 北京:化学工业出版社,2011:53-64.

[6] 张翔,钱立军,张炳力,等. 电动汽车仿真软件进展[J]. 系统仿真学报. 2004,16(8):1621-1623.

[7] SUPPES G J. Roles of plug-in hybrid electric vehicles in the transition to the hydrogen economy[J]. International Journal of Hydrogen Energy. 2006(31):353-360.

[8] 郑慧琴. 纯电动汽车动力系统的设计与实现[D]. 武汉:武汉理工大学自动化学院,2009:41-51.

[9] 秦绪鑫. 基于 ADVISOR 的复合电源电动汽车仿真软件的开发[D]. 长安:长安大学汽车学院,2010:18-23.

(下转第 73 页)

Study on PSS Parameter Optimization Based on Artificial Fish-swarm Algorithm

LIU Xian-lin, QIAO Yun-fei

(School of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to improve the dynamic stability of power grid and restrain low frequency oscillations effectively, research on optimization and improvements of the algorithm is developed for power system stabilizer. In this paper, all PSS parameters are conducted as an optimization problem, the best PSS parameters are figured out by artificial fish-swarm algorithm. Maximizing the minimum damping ratio of all electromechanical mode is chosen for the optimal objective function. PSS parameters are chosen for optimal variable, design of PSS parameters based on the equivalence method of K matrix is used as the benchmark for initial population selection of artificial fish-swarm algorithm. Good damping can be got for all electromechanical modes of the multima-chine system when using this method, compared with the conventional PSS configuration method. Calculated results are consistent with the expected results basically, which shows that the designed optimal algorithm is effective.

Key words: artificial fish-swarm algorithm; power system stabilizer; optimization; small signal stability analysis

(上接第 51 页)

Study of Modeling and Dynamic Simulation to Power System of some Pure Electric Vehicle

QIN Dong-chen, XIE Yin-qian, PAN Shou-chen, CHEN Jiang-yi, LIU Zhu-li

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The energy saving and environmental protection ability of the electric vehicles is mainly related to the parameters matching of the power system. According to the power system design requirements of a certain pure electric vehicle, the power system parameters matching design is made out, and the modeling and simulation analysis are carried out by the ADVISOR software. The rationality of the parameters matching is verified at last, and on this basis, a further research is carried out about the factors that affect the electric vehicle performance, providing a theoretical reference for the design of pure electric vehicles.

Key words: electric vehicle; power system; parameters matching; modeling and simulation analysis