电动汽车传动系参数设计及动力性仿真

姬芬竹 高 峰 吴志新

(北京航空航天大学 汽车工程系, 北京 100083) (天津清源电动车辆有限公司,天津 300162)

摘 要: 对电动汽车电动机、传动系的传动比和电池组容量等参数设计的原则和方法进行了分析和探讨,并以某种型号电动汽车为研究对象,对动力传动系的参数进行合理的选择和设计. 建立了整车动力传动系统及其关键零部件电动机、电池、减速器等的性能仿真模型. 应用电动汽车仿真软件 ADVISOR(Advanced Vehicle Simulator)对整车动力性进行了仿真计算. 仿真结果表明,以锂离子电池为能源的电动汽车的加速性、爬坡能力、最大车速、续驶里程等动力性能均满足设计指标要求,从而验证了仿真模型的正确性和有效性.

关 键 词: 电动汽车; 传动系; 动力性; 续驶里程; 仿真

中图分类号: U 463

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)01-0108-04

Parameter design for power train and simulation of dynamic performance of electrical vehicles

Ji Fenzhu Gao Feng

(Dept. of Automobile Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Wu Zhixin

(Tianjin Qing Yuan Electric Vehicle Corporation limited, Tianjin 300162, China)

Abstract: The method and principle of parameters design for electromotor, the ratio of power train and batteries´ capacity of electric vehicles(EVS) were explored and discussed. Based on some types of EVS, the parameters of power train of EVS were selected and designed reasonably. A performance simulation model of dynamic power train system in whole vehicle and key parts, such as electromotor, cells and retarder were developed utilizing the EVS dynamic simulation soft of advanced vehicle simulator (ADVISOR). Then the dynamic performance of EVS was simulated. Simulation result indicates that the dynamic performances of lithium cells EVS, including acceleration performance, grade ability, the maximum speed of the vehicle, retaining distance and etc. are satisfied to the demands of designing guide line. So the correctness and validity of the simulation model are demonstrated.

Key words: electric vehicles; power train; dynamic performance; retaining distance; simulation

电动汽车是高度机电一体化的产品,与传统的内燃机汽车相比,它增加了许多电器部件,如电动机、动力电池、功率转换器、控制器等. 目前,在动力电池和其它关键技术取得有效突破之前,如何合理地选择这些部件及其有关参数,使其达到最优匹配,在相同电池条件下,提高电动汽车的动力性能,增加续驶里程,一直是研究者追求的目标,并已成为国内外汽车行业研究的热点之一[1]. 模拟仿真作为一种现代设计方法应用于电动汽车动力性能的计算已经有很多的应用实例[2,3],其中多数建立了传动系仿真模型,并采用通用的仿真软件进行计算,如 CarSim, MARVEL, Matlab/Simulation 等. 本文以某型号电动汽车为研究对象,在对动力传动系统的参数设计进行研

收稿日期: 2005-05-08

基金项目: 国家 863 计划"十五"重大专项电动汽车资助项目(2003AA5010600)

作者简介: 姬芬竹(1963-), 女, 河南洛阳人, 博士生, jfz@mail.haust.edu.cn.

究的基础上,建立了电动汽车的整车驱动模型并采用广泛应用于电动汽车动力性仿真的 ADVISOR(Advanced Vehicle Simulator)软件. 此外,决定电动汽车动力性能的因素很多,不仅与整车及其各部件参数有关,而且与驾驶工况密切相关. 本文以欧洲驾驶模式(EDC)为例,对电动汽车的动力性能进行了仿真.

1　电动车动力传动系参数设计

电动车动力传动系由电动机、变速器、主减速器和驱动轮等组成. 本文研究的电动汽车是以夏利 2000 为原型. 选用异步电机为驱动电动机,动力电池采用锂离子电池.

1.1　电动机参数选择

电动汽车驱动电动机与常规工业用电动机在负载要求、技术性能以及工作环境等方面均有不同,在参数设计时应充分考虑. 电动汽车运行模式有匀速和加速 2 种,在匀速模式下,所需要的驱动功率相对较少,且运行时间长;而加速模式运行时所需的功率大,但时间较短. 汽车在平坦的路面匀速巡航时,电动机所提供的动力只需要克服汽车行驶阻力,包括滚动阻力、空气阻力等[4],因此,所选择的电动机功率应不小于以最高车速行驶时的阻力功率之和,即

$$p_e = \frac{1}{\eta_T}\left(\frac{mgf}{3\ 600}u_{max} + \frac{C_D A}{76\ 140}u_{max}^3\right) \tag{1}$$

其中,p_e 为电动机额定功率,kW;m 为整车总质量,kg;g 为重力加速度,m/s^2;f 为滚动阻力系数;u_{max} 为最高车速,km/h;C_D 为空气阻力系数;A 为车辆迎风面积,m^2;η_T 为传动系效率(下同).

电动汽车所用的异步电动机具有较大的过载能力,最大功率可达额定功率的 3 倍左右. 因此,按匀速模式选择的电动机功率完全能够满足加速模式下动力性能的要求.

1.2　传动系传动比选择

电动机的起动转矩很大,可以实现低速恒扭矩、高速恒功率的工作模式,并且易实现无级调速. 因此,电动汽车传动比的选择只需满足最高车速和最大爬坡度的要求. 在电动机输出特性一定时,传动系的传动比如何选择,依赖于整车的动力性能指标要求[5,6].

1) 传动系速比的上限

$$i_\Sigma \leqslant \frac{0.377 n_{max} r}{u_{max}} \tag{2}$$

其中,$i_\Sigma = i_0 i_g$,为传动系速比,这里 i_0,i_g 分别为主减速器速比和变速器速比;u_{max} 为最高车速,km/h;n_{max} 为电动机极限转速,r · min^{-1};r 为车轮滚动半径,m(下同).

2) 传动系速比的下限

① 由电动机最高转速对应的最大输出扭矩和最高车速对应的行驶阻力确定传动系速比的下限为

$$i_\Sigma \geqslant \frac{F_{umax} r}{\eta_T T_{umax}} \tag{3}$$

其中,T_{umax} 为电动机最高转速时的输出扭矩,N · m;F_{umax} 为最高车速时的行驶阻力,N;

② 由电动机最大输出扭矩和最大爬坡度对应的行驶阻力确定速比的下限值为

$$i_\Sigma \geqslant \frac{F_{amax} r}{\eta_T \times T_{amax}} \tag{4}$$

其中,F_{amax} 为最大爬坡度时的行驶阻力,N;T_{amax} 为电动机最大输出扭矩,N · m. 若速比变化范围不大,则可采用固定速比,从而去掉五档齿轮变速器,提高传动系效率.

1.3　电池组容量的选择

电池容量的选择主要考虑最大输出功率和能量,以保证电动车的动力性和续驶里程.

1) 由最大功率选择电池数目

$$n = \frac{p_{emax}}{p_{bmax}\eta_e\eta_{ec}} \tag{5}$$

其中,p_{emax} 为电动机最大功率,kW;p_{bmax} 为电池最大输出功率,kW;η_e 为电动机工作效率;η_{ec} 为电动机控制器工作效率.

2) 由续驶里程选择电池数目

$$n = \frac{1\ 000LW}{C_r V_1} \tag{6}$$

其中,L 为电动汽车续驶里程,km;V_1 为单节电池电压,V;C_r 为单节电池额定容量,Ah;W 为电动车行驶 1 km 所消耗的能量,kW. 以上 2 式中较大者即为所求.

1.4　电动车传动系参数设计

电动汽车整车技术参数见表 1.

整车参数确定后,即可根据以上公式设计传动系有关参数,见表 2.

表 1　国家"863"电动汽车招标有关技术参数

技术参数	参数值
整车整备质量/kg	1 350
整车总质量/kg	1 650
最大车速/(km · h^{-1})	≥120
加速性能/s	0 ~ 50 km/h 的加速时间≤10 50 ~ 80 km/h 的加速时间≤15
最大爬坡度/%	>20

续驶里程/km	等速≥230;工况≥150

表2 传动系主要设计参数

传动系部件	设计参数	设计值
电动机	额定功率/最大功率/kW	20/60
	额定转速/最高转速/(r·min^{-1})	3 600/9 000
	额定转矩/最大转矩/(N·m)	53.6/150
电池组	额定电压/V	180
	额定输出电压/V	336
	额定放电容量/Ah	80
传动系	主传动比/i_0	4.266
	固定速比/i_g	1.842
其它	迎风面积 A/m^2	1.955
	空气阻力系数 C_D	0.29
	车轮滚动半径 r/m	0.283

2 电动汽车仿真模型

根据整车布置和设计方案,以广泛应用于电动汽车动力性仿真的 ADVISOR 软件进行仿真计算,建立整车和关键部件(电机、电池、减速器等)的仿真模型. 建立模型的基本步骤包括选择车辆和部件模块,进行各部件间的机械、电器和信号连接,输入各模块主要参数等.

2.1 整车模型

电动车行驶时的驱动力模型为

$$F_t = F_r + F_d + F_\delta + F_\alpha \qquad (7)$$

其中,$F_r = mgf\cos\ \alpha$ 为轮胎滚动阻力,N;$F_d = 0.047AC_D(u+u_0)^2$ 为空气阻力,N;$F_\delta = m\delta a$ 为旋转换算力,N,其中 a 为加速度,m/s^2,$F_\alpha = mg\sin\ \alpha$ 为车辆爬坡时受到的坡道阻力,N. 这里,u,u_0 分别为车速和车前速度,km/h;δ 为由于车轮、齿轮或车轴等旋转部件的转动惯量而引入的修正因子;α 为道路坡度.

2.2 动力电池组模型

动力电池组模型的作用是确定电池的剩余电量. 在电动汽车中,电池的有效放电容量决定了行驶里程,而电池荷电状态 S_{SOC}(State of Charge)是衡量电池剩余容量的指标,因此,S_{SOC}的确定非常重要,其定义为[6]

$$S_{SOC} = \frac{Q_s}{Q_n} = \frac{Q_{max} - Q_u}{Q_{max}} \qquad (8)$$

其中,Q_{max}为电池最大容量;Q_s 为电池剩余容量;Q_u 为电池已用容量,单位均为 Ah.

电池容量的计算是基于 Peukert 方程的[7],即 $Q = C \times I^{1-n}$. 其中,Q 为电池容量,Ah;C 是因电池特性而变的常量;I 为电流,A;n 为常数,其值通常为 1.3 ~ 1.4.

2.3 减速器模型

对应用于仿真模型的减速器,可以其速比参与仿真计算. 速比的确定见上文和表2.

3 仿真模型与仿真计算

3.1 建立仿真模型

基于以上所讨论的整车模型和电机参数,建立电动汽车的仿真模型,模型结构框图见图1.

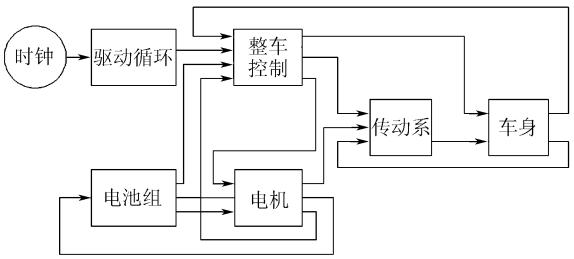


图1 仿真模型结构框图

3.2 定义计算任务

根据电动汽车的特点,主要对整车的动力性进行仿真,故设定以下计算任务:

1)最高车速计算;

2)最大爬坡度计算;

3)加速性能计算;

4)工况行驶和续驶里程计算.

在每个计算任务中,设定此项计算任务的计算步长、计算精度等参数.

3.3 选择驾驶工况

车辆行驶过程中,为适应不同的道路状况,需要不断地改变行驶速度和行驶状态,如加速、恒速或减速,实际的车辆速度非常复杂,不可能是线性的. 本文按照 EDC 模式进行仿真.

4 仿真结果分析

仿真初始条件:电池初始 S_{SOC}为 0.7(70%),输入的驱动循环为 EDC,其它有关输入参数见表1、表2. 仿真结果如图2、图3所示. 加速性能:0 ~ 50 km/h 为 6.8 s;50 ~ 80 km/h 为 7.2 s;0 ~ 100 km/h 为 21 s;最高车速 121 km/h;最大爬坡度 25%;续驶里程 230 km;不同车速匀速行驶续驶里程见表3.

表3 不同车速下匀速行驶续驶里程

车速 u/(km·h^{-1})	电机转速 n/(r·min^{-1})	续驶里程 L/km
20	1 471	269
30	2 207	285
40	2 943	268
50	3 679	250
60	4 414	229

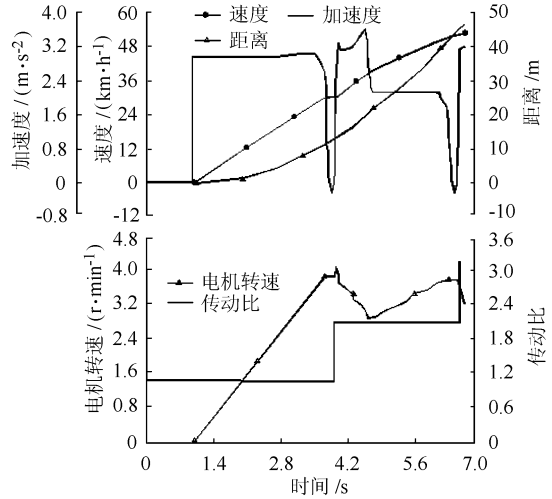


图 2　加速性计算结果界面之一

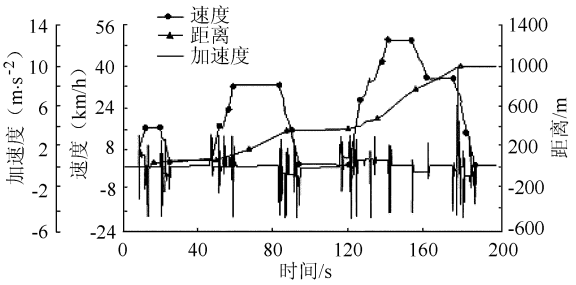


图 3　工况法计算结果界面之一

仿真结果表明,车辆的续驶里程、车速、加速性能和爬坡性能等动力性能满足国家“863”电动汽车招标有关技术参数的要求,说明整车匹配方案是合理的,传动系的参数选择能够确保整车动力性能达到要求的指标.

5　结 束 语

以电动汽车为研究对象,对传动系统的参数进行合理设计,建立了动力性仿真模型. 应用 ADVISOR 仿真软件计算了整车的动力性. 计算结果表明,以锂离子电池为能源的电动汽车的加速性、爬坡能力、最大车速、续驶里程等动力性指标满足设计要求,从而验证了仿真模型的正确性和有效性,并为电动汽车的设计、性能预测和分析提供了一种方法和手段.

参考文献 (**References**)

[1] Noriyuki Iwata. Impacts of EVS on energy, the environment and transport system[A]. In:The 16th International Electric Vehicle Symposium [C]. Beijing, 1999. 210 ~ 219

[2] 杨祖元, 秦大同, 孙冬野. 电动汽车动力传动系统参数设计及动力性仿真[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2002,25(6):19 ~ 22
Yang Zuyuan,Qin Datong,Sun Dongye. Parameter design for the power train and simulation of the dynamic performance of electrical vehicle[J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Eedition), 2002,25(6):19 ~ 22(in Chinese)

[3] Butler K L, Stevens K M,Ehsani M. A versatile computer simulation tool for design and analysis of electric and hybrid drive trains[R]. SAE 970199, 1997

[4] 刘清虎,郭孔辉. 动力参数的选择对纯电动汽车性能的影响[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2003,30(3):62 ~ 64
Liu Qinghu, Guo Konghui. Impacts on the performance of pure electric vehicles in the choices of dynamic parameter[J]. Natural Science Journal of Hunan University, 2003,30(3):62 ~ 64 (in Chinese)

[5] 李国良, 初　亮. 采用交流感应电机的电动汽车动力传动系统的合理匹配[J]. 吉林工业大学自然科学学报, 2001,31(4):6 ~ 11
Li Guoliang, Chu Liang. Study on power-train matching of electric vehicle with AC induction motor[J]. Natural Science Journal of Jilin University of Technology, 2001, 31(4):6 ~ 11(in Chinese)

[6] 何　仁, 商高高. 汽车动力传动系参数的优化方法[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版),2000,21(6):61 ~ 64
He Ren, Shang Gaogao. Optimum method of automobile transmission parameters[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology(Natural Science), 2000,21(6):61 ~ 64(in Chinese)

[7] Aaron Brooker, Terry Hendricks, Valerie Johnson, *et al*. ADVISOR 3.1 documentation[R]. National Renewable Energy Laboratory,2001