

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.11.019

基于 Matlab 和 Cruise 的纯电动汽车动力系统设计与仿真

齐焕敏, 崔亚辉, 谭喜峰, 宋旭峰

(西安理工大学 机械与精密仪器学院, 陕西 西安 710048)

摘要:针对某型纯电动 SUV 汽车动力系统参数设计优化问题,对纯电动汽车动力电池、驱动电机、传动方式、传动参数等方面进行了研究,对纯电动汽车动力系统参数匹配进行了设计优化,提出了一种基于汽车行驶工况的设计方法。根据整车的基本参数及目标性能确定驱动电机和动力电池,以电动车动力性指标为约束条件计算传动比的可行域,用 Matlab 编程计算了整车动力性及 50 km/h 等速工况下续驶里程,借助 Cruise 软件建立了整车动力传动系统仿真模型,在传动比可行域内计算了 NEDC 和 FTP 75 循环工况电动车传动比与能耗之间关系,进行了区间传动参数匹配优化,仿真结果满足设计目标。研究表明:该方法能够合理地地对纯电动汽车动力系统参数进行匹配,提高纯电动汽车的动力性和能耗经济性。

关键词:纯电动汽车;区间优化;参数匹配;驱动效率;循环工况

中图分类号:TM3;U469.72

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)11-1326-04

Design and simulation of power system for pure electric vehicle based on Matlab and Cruise

QI Huan-min, CUI Ya-hui, TAN Xi-feng, SONG Xu-feng

(School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, xi'an 710048, China)

Abstract: Aiming at the optimization of parametric design of a pure electric SUV vehicle power system, the research on the optimization of the parameters of pure electric vehicle power system, such as driving battery, driving motor, transmission mode and transmission parameters, was put forward. Design method based on automobile driving condition. According to the basic parameters of the vehicle and the target performance to determine the drive motor and power battery to the electric vehicle power index as a constraint to calculate the feasibility of the transmission ratio, with Matlab programming to calculate the vehicle power and 50 km/h constant speed conditions, the driving force of the vehicle was established by means of cruise software. The relationship between the transmission ratio and the energy consumption of the electric vehicle was calculated in the feasible area. The simulation results show that the simulation results are satisfactory. aims. The results indicate that this method can reasonably match the parameters of pure electric vehicle dynamic system and improve the power and energy consumption of pure electric vehicle.

Key words: pure electric vehicle(PEV); interval optimization; parameter matching; driving efficiency; cycle condition

0 引 言

合理的动力系统参数匹配能够最大程度地提高纯电动汽车的动力性和能耗经济性^[1]。

对于纯电动车的动力系统参数设计与优化,朱曰莹等^[2]建立了动力性及能耗经济性的双目标函数进

行优化,但动力性、经济性影响因子权重系数选取不同,优化结果差异较大;张琼等^[3]利用 Cruise 软件建立整车仿真模型,对传动比进行区间优化匹配,但只考虑低速驱动优化结果不够全面;黄康等^[4]以传动比为变量,以能量利用率为优化目标,对电动汽车传动比进行优化,但未考虑车速对整车驱动效率影响。

收稿日期:2017-03-27

作者简介:齐焕敏(1993-),女,陕西渭南人,硕士研究生,主要从事机械设计及理论等方面的研究。E-mail: 1057372554@qq.com

通信联系人:崔亚辉,男,博士,教授,博士生导师。E-mail: cyhxut@xaut.edu.cn

本研究提出一种基于工况下纯电动汽车的动力系统优化设计方法。

1 参数设定

1.1 电动汽车基本参数确定

1.1.1 整车基本参数及目标性能

笔者结合实际的道路运行条件和国标 GB/T 28382^[5] 要求,确定整车目性能指标,具体如表 1 所示。

表 1 整车基本参数及目标性能

参数名称	数值
设备质量 m_1/kg	1 360
迎风面积 A/m^2	2. 703
风阻系数 c_d	0. 35
车轮滚动半径 r/m	0. 297
滚动阻力系数 f	$0. 007\ 6 + 0. 000\ 056u$
机械传动效率 η	0. 91
实验附加质量 m_2/kg	300
旋转质量系数 δ	1. 05
最高车速 $u_{\max}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	≥ 110
50 km/h 最大爬坡度 $i_{\max}$	20%
0 ~ 50 km/h 加速时间 /s	≤ 8
50 km/h 等速工况续航里程 /km	≥ 200

1.1.2 驱动电机的选型

所选择的电动机功率应不小于电动汽车以最高车速行驶时的阻力功率之和^[6],即:

$$P_e = \frac{1}{\eta} \left(\frac{Gf}{3\ 600} u_{\max} + \frac{c_d A}{76\ 140} u_{\max}^3 \right) \tag{1}$$

式中: P_e — 电机额定功率; G — 汽车重力,其余参数见表 1。

根据最高车速、爬坡性能等计算出驱动电机峰值功率和额定功率等参数,计算得电机最小额定功率为 28. 20 kw,并应确保驱动电机保持长时间运行在基速范围附近,使得其达到最高的工作效率。

结合计算结果选用永磁同步电机,主要参数:额定功率 $P_e = 30\ \text{kW}$,额定转矩 $T_e = 102\ \text{N} \cdot \text{m}$,额定转速 $n_e = 2\ 800\ \text{r/min}$,峰值功率 $P_{\max} = 53\ \text{kW}$,最高转矩 $T_{\max} = 180\ \text{N} \cdot \text{m}$,最高转速 $n_{\max} = 7\ 000\ \text{r/min}$ 。

1.1.3 动力电池的选型

本研究选择三元聚合物锂电池作为动力电池。单体电池额定电压 3. 2 V,电池组工作电压 332 V,电池数量 104 个,串联电池组容量 90 A · h,工作温度 0 ~ 45 ℃。

1.2 传动系统参数设计

1.2.1 传动方式确定

本研究选用固定速比减速器的传动系统,驱动方式为前置前驱,传动方式为固定速比减速器、电机、变

速器,并对其建立优化模型,如图 1 所示。

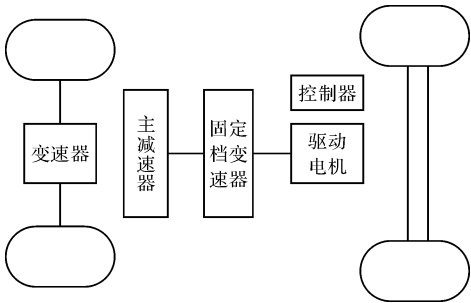


图 1 汽车动力传动方式

1.2.2 传动参数初步设计

动力学指标通常用最高车速、加速时间以及最大爬坡度来评价,并且汽车的常规速度应该对应着汽车在额定转矩下车速^[7]。根据驱动电机的最高转速和整车设计的最高车速确定传动系最高速比 $i_{\max}$:

$$\sum i_{\max} \leq \frac{0. 377 n_{\max} r}{u_{\max}} \tag{2}$$

根据驱动电机在最高转速下的输出转矩和以最高车速行驶时的行驶阻力确定传动系最低速比 $i_{\min}$:

$$\sum i_{\min} \geq \frac{\left(mgf + \frac{c_d A u_{\max}^2}{21. 15} \right) r}{T_{\max} \eta} \tag{3}$$

式中: $T_{\max}$ — 电机最高转速下的输出转矩。

根据整车设计最大爬坡度对应的行驶阻力和驱动电机的最大输出转矩检验传动系传动比的设计是否在合理的范围内:

$$\sum i \geq \frac{\left(Gf \cos \alpha + G \sin \alpha + \frac{c_d A u_p^2}{21. 15} \right) r}{T_{\max} \eta} \tag{4}$$

式中: α — 道路坡度角; u_p — 爬坡速度,由式(2 ~ 4) 可初步计算得到传动比的速比变化范围: $\sum i = i_g i_o \in [6. 43, 7. 12]$; i_g — 电机自带减速器传动比, i_o — 主减速器传动比。

本研究选用固定速比的传动形式,由于离地间隙的限制,主减速器传动比 i_o 不宜太大,一般取值在 [3. 5, 4. 5] 之间,初步选取 $i_o = 3. 8$, $i_g = 1. 75$ 。

2 仿真分析

2.1 基于 Matlab 整车仿真

根据整车性能计算公式及整车参数在 Matlab 中进行编程,完成该型纯电动汽车的性能仿真计算。

2.1.1 整车动力性计算

整车动力性的第一个指标就是最高车速计算,根据汽车的行驶方程式编程得出驱动力 - 行驶阻力平衡图,据此可得整车的最高车速。汽车行驶方程式见下式:

$$\frac{T_{iq}i\eta}{r} = Gf\cos\alpha + \frac{c_dA}{21.15}u_a^2 + G\sin\alpha + \delta m\frac{du}{dt} \quad (5)$$

式中: T_{iq} — 驱动电机转矩; u_a — 车辆行驶速度; $\frac{du}{dt}$ — 车辆加速度。于是得到整车的最高车速为117 km/h。

驱动力 - 行驶阻力如图 2 所示。

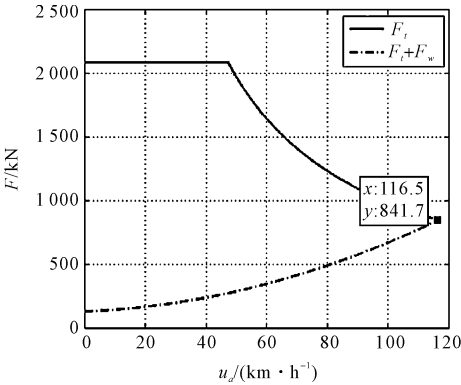


图 2 驱动力 - 行驶阻力平衡图

汽车的爬坡能力是决定 SUV 越野性能的一项重要指标,是指汽车在良好道路上克服滚动阻力和空气阻力后的余力全部用来克服坡度阻力时能爬上的坡度^[8],计算公式如下:

$$\alpha = \tan\left[\arcsin\left(\frac{D - f\sqrt{1 + f^2} - D^2}{1 + f^2}\right)\right] \times 100\% \quad (6)$$

式中: D — 动力因数,表达式为:

$$\frac{T_{iq}i\eta}{r} - Gf\cos\alpha - \frac{c_dA}{21.15}u_a^2 \quad (7)$$

据此计算出汽车在 50 km/h 车速下最大爬坡度为 19.59%,在 80 km/h 车速行驶下最大爬坡度为10.2%,汽车爬坡度曲线如图 3 所示。

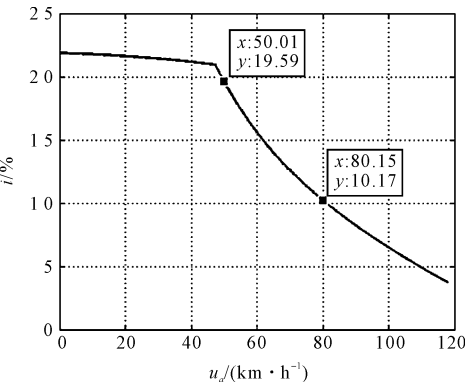


图 3 汽车爬坡度曲线

汽车的加速时间曲线是衡量动力性的另一个重要指标,在 Matlab 中根据公式计算出车辆加速时间曲线,加速度的计算公式为:

$$a = \frac{du}{dt} = \frac{g}{\delta}(D - f) \quad (8)$$

绘制汽车加速时间曲线如图 4 所示。汽车由起步

加速到 50 km/h,需要时间为 6.97 s,加速到 80 m/h 所需要的时间为 10.2 s。

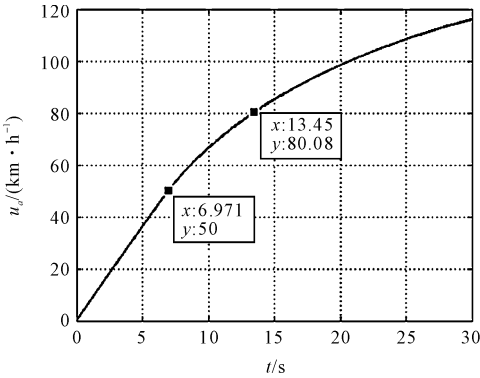


图 4 汽车加速时间曲线

2.1.2 50 km/h 等速工况下的续驶里程

续驶里程是反映电动汽车行驶性能的一个重要指标,设电动汽车以速度 V 匀速行驶所受到阻力为 F ,则汽车充电一次的续驶里程的计算模型为^[9]:

$$S = \frac{E_B \times 3\ 600\eta \cdot \eta_{mc} \times 0.8\eta_q}{F} \quad (9)$$

式中: E_B — 动力电池总能量; η_{mc} — 电机及其控制器效率; η_q — 蓄电池平均放电效率,计算得出 50 km/h 等速工况下续驶里程为 223 km。

2.2 基于动力性的整车经济性分析

2.2.1 基于 cruise 整车模型建立

在对整车性能进行 Matlab 仿真之后,本研究选用 Cruise 软件结合整车参数进行整车模型建立,整车模型如图 5 所示。

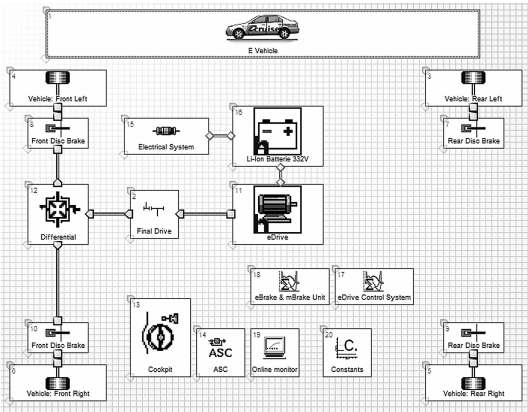


图 5 整车仿真模型

2.2.2 基于能耗传动比优化

对整车动力系统的建模,首先要建立行驶工况模型和驾驶员模型来确定整车行驶功率需求^[10]。本研究选择了美国环保署所制订的城市驾驶测试循环工况 FTP 75 和新欧洲城市驾驶循环工况 NEDC 作为循环行驶工况,计算两种工况下汽车的百公里耗能,具体如表 2 所示。

表 2 电机高效区下纯电动车百公里耗能
(单位: kW · h)

传动比	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0
NEDC	14.21	14.20	14.19	14.19	14.19	14.19
FTP 75	15.90	15.91	15.91	15.92	15.92	15.94

由表 2 可知:在传动比为时平均耗能最小为 15.08 kW · h,选此传动比作为最终传动比,两种工况下行驶速度及耗电如图 6、图 7 所示。

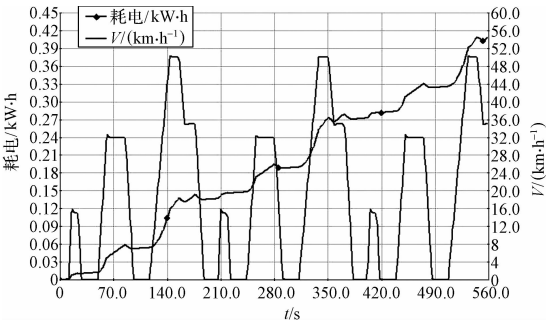


图 6 NEDC 工况下汽车速度及耗能曲线

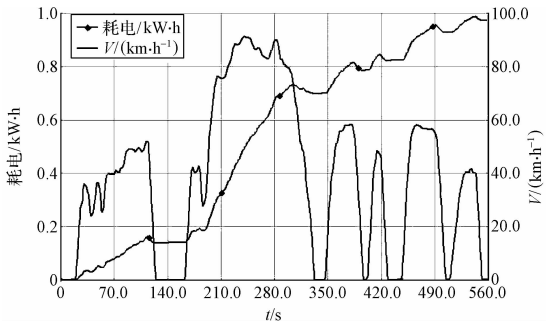


图 7 FTP 75 工况下汽车速度及耗能曲线

如图所示,纯电动汽车在 NEDC 模拟道路循环工况上运行一个循环消耗了 0.408 6 kW · h 的电量,行驶距离为 2 878. 87 m;在 FTP 75 模拟道路循环工况上运行一个循环消耗 0.973 7 kW · h 的电量,行驶距离为 6 118. 24 m。

2.3 优化结果分析

本研究对整车进行性能仿真计算,确定最终传动比为 6.7, $i_o = 3.8$, $i_g = 1.76$,与设计目标进行对比进行分析,如表 3 所示。

表 3 整车设计目标与优化结果

参数	设计目标	优化结果	结果对比
最高车速/km · h ⁻¹	≥110	116.5	+5.91%
50 km/h 最大爬坡	20%	19.56%	-2.20%
0 ~ 50 km 加速时间/s	≤8	6.94	+13.25%
50 km/h 续航里程/km	200	223	+11.5%

优化结果基本满足设计目标,续驶里程及加速度性能均有较大提升。在 NEDC 和 FTP 75 城市驾驶循环工况续驶能力分别为 210.6 km 和 187.8 km,可满足城区和市郊的居民上下班使用,两种工况下平均电动车百公里耗能为 15.05 kW · h。

3 结束语

本研究提出的基于汽车行驶工况的设计方法在 Matlab 与 Cruise 中得到验证,仿真结果表明,在驱动电机的高效区电动车传动比变化,对循环工况的续驶里程的影响仅为左右,但对最高车速等动力性影响达到 5% 以上。

故后续对电动车传动系统优化应以速比优化电动机高效率区域,增大电机的高效率区。

参考文献 (References):

[1] 徐 东. 基于蚁群算法的纯电动汽车动力参数优化研究 [D]. 西安:长安大学汽车学院,2015.

[2] 朱曰莹,赵桂范. 电动汽车动力系统参数匹配及优化[J]. 哈尔滨工业大学学报,2013,45(7):90-95.

[3] 张 琼,高 松,邹 黎,等. 基于 Cruise 的低速纯电动车传动系统优化匹配[J]. 实验室研究与探索,2015,34(5):104-107.

[4] 黄 康,罗时帅,王富雷. 纯电动汽车动力系统传动比优化设计[J]. 中国机械工程,2011,22(5):625-629.

[5] GB/T 28382-2012. 纯电动乘用车技术学校[s]. 北京:中国标准出版社,2012.

[6] 杜发荣,吴志新. 电动汽车传动系统参数设计和续驶里程研究[J]. 农业机械学报,2006,37(11):9-11.

[7] 周 胜,周云山. 纯电动汽车动力匹配及计算仿真[J]. 计算机仿真,2013,30(2):135-139.

[8] 余志生. 汽车理论[M]. 5 版. 北京:机械工业出版社,2009.

[9] 李国良,初 亮,鲁和安. 电动汽车续驶里程的影响因素[J]. 吉林工业大学学报:自然科学版,2000,30(3):20-23.

[10] 孙贵斌,马腾腾,唐友名,等. 基于 Simulink 的 1SG 型客车混合动力系统的仿真研究[J]. 机电工程,2016,33(11):1415-1420.

[编辑:张 豪]

本文引用格式: