

纯电动微型轿车动力系统匹配设计与仿真

陈晓婷, 王丰元, 张明杰

(青岛理工大学 汽车与交通学院, 山东 青岛 266520)

摘要: 先根据性能指标对微型纯电动轿车电机功率进行计算以选择合适的电机, 根据所选电机的功率、电压等参数对蓄电池的相关参数进行计算并合理选型, 再根据所选电机、蓄电池, 结合微型纯电动轿车的实际情况确定传动比; 最后利用 ADVISOR 软件对该微型纯电动轿车的动力系统进行了仿真, 结果表明所选择电机和蓄电池能满足性能要求。

关键词: 汽车; 微型纯电动轿车; 动力系统设计和匹配

中图分类号: U469.72

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)03-0006-03

随着中国环境污染、能源匮乏等问题的出现, 纯电动汽车以其能源利用效率高、无排放污染等优点发展力度和范围明显增大。纯电动汽车使用电动机作为驱动装置, 其主要性能指标包括最高车速、加速能力、最大爬坡度及续航里程等。该文研究纯电动微型轿车动力系统的匹配设计。

1 动力系统总体设计方案

动力性因素对微型纯电动汽车的设计有重要影响。所设计的微型纯电动轿车的动力性指标为: 最高车速 100 km/h; 最大爬坡度 20%; 0~50 km/h 加速时间 20 s; 以 40 km/h 的速度在城市道路上行驶的续航里程不小于 90 km。整车参数见表 1。

表 1 微型纯电动车整车参数

参数名称	参数值
长×宽×高/mm	3 560×1 600×1 520
整备质量/kg	1 080
轴距/mm	2 400
滚动阻力系数	0.015
最小转弯半径/m	4.73
车轮滚动半径/m	0.117
空气阻力系数	0.40
迎风面积/m ²	2.0

2 电机参数设计

2.1 电机设计参考理论

汽车功率平衡方程式为:

$$P = \frac{v}{3\,600\eta_T} (mgf + mg\alpha + \frac{C_D A v^2}{21.15} + \delta m a) \quad (1)$$

式中: v 为汽车行驶速度; η_T 为传动机械效率, 取 0.9; m 为整车整备质量; f 为滚动阻力系数; α 为爬坡度; C_D 为空气阻力系数; A 为迎风面积; δ 为电动旋转质量换算系数, 取 1.04; a 为加速度。

当微型纯电动轿车以最高速度 v_{\max} 行驶时, 忽略其加速度及爬坡度, 计算公式为:

$$P_{\max-v} = \frac{v_{\max}}{3\,600\eta_T} (mgf + \frac{C_D A v_{\max}^2}{21.15}) \quad (2)$$

当微型纯电动轿车以最大加速度 a_{\max} 行驶时, 忽略其爬坡度, 计算公式为:

$$P_{\max-a} = \frac{v}{3\,600\eta_T} (mgf + \frac{C_D A v^2}{21.15} + \delta m a_{\max}) \quad (3)$$

当微型纯电动轿车以最大爬坡度 α_{\max} 上坡时, 忽略其加速度, 计算公式为:

$$P_{\max-\alpha} = \frac{v}{3\,600\eta_T} (mgf \cos\alpha_{\max} + \frac{C_D A v^2}{21.15} + m g \sin\alpha_{\max}) \quad (4)$$

微型纯电动轿车的电机最大功率 P_{\max} 应满足下式:

$$P_{\max} \geq \max\{P_{\max-v}, P_{\max-a}, P_{\max-\alpha}\} \quad (5)$$

由下式可求出电机的额定功率:

$$P_{\max} = \beta \cdot P_0 \quad (6)$$

式中: β 为电机过载系数, 取 2; P_0 为电机额定功率。

2.2 电机功率计算

当微型纯电动轿车的最大行驶速度 $v_{\max} = 100$ km/h 时, 由式(2)可得 $P_{\max-v} = 16.6$ kW。

当微型纯电动轿车以最大爬坡度 α_{\max} 行驶时, 为了利于爬坡, 微型纯电动轿车以 10 km/h 的速度行驶, 根据 $\alpha_{\max} = \tan^{-1}(\theta_{\max})$ 换算出最大爬坡角度

θ_{\max} 为 11.3° , 由式(4)得 $P_{\max-\alpha} = 6.9 \text{ kW}$ 。

由于实验条件的限制,这里不测试以最大加速度行驶工况下的电机功率,微型纯电动轿车的电机最大功率只要满足下式即可:

$$P_{\max} \geq \{P_{\max-v}, P_{\max-\alpha}\} \quad (7)$$

由式(6)得微型纯电动轿车电机的额定功率为 8.3 kW , 即所选电机的额定功率不得小于 8.3 kW 。选用阳光动力品牌的永磁同步电机作为微型纯电动轿车的驱动电机能满足设计要求,该电机的相关参数见表2。

表2 所选电动机的技术参数

参数名称	参数值
额定功率/kW	10
最大功率/kW	20
额定电压/V	64
额定转速/(r·min ⁻¹)	1 300
最大转速/(r·min ⁻¹)	5 000
额定转矩/(N·m)	40
最大转矩/(N·m)	80

3 蓄电池设计及选型

3.1 蓄电池参数计算

根据微型电动轿车的设计要求,当其速度达到 40 km/h 、续航里程达到 90 km 时,其所需能量为:

$$W_{\text{avg}} = P_X t = P_X \frac{S}{v_a} \quad (8)$$

式中: P_X 为以 40 km/h 的速度匀速行驶 90 km 时蓄电池的功率,其计算公式见式(9)。

$$P_X = \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{mgf}{3\ 600} v_a + \frac{C_D A}{76\ 140} v_a^3 \right) \quad (9)$$

$v_a = 40 \text{ km/h}$, 由式(9)得 $P_X = 2.71 \text{ kW}$ 。将 P_X 代入式(8),得 $W_{\text{avg}} = 6.09 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

此外,车辆附件在微型纯电动轿车行驶过程中会消耗 20% 的能量,则蓄电池总能量为:

$$W = \frac{W_{\text{avg}} + W_{\text{add}}}{DOD} \quad (10)$$

式中: DOD 为微型纯电动轿车的放电深度。

由式(10)得蓄电池总能量 $W = 10.15 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

蓄电池容量可根据蓄电池总能量确定,计算公式如下:

$$W = \frac{UC}{1\ 000} \quad (11)$$

式中: U 为蓄电池电压。

由式(11)得蓄电池容量 $C = 158.6 \text{ A} \cdot \text{h}$ 。

3.2 蓄电池选型

实际行驶时的道路状况复杂,常常会加速或爬坡,此时蓄电池的电量消耗比平时增多,所需蓄电池的总能量大于 $158.6 \text{ A} \cdot \text{h}$ 。选用 40 个单体电压为 3.2 V 的磷酸铁锂离子电池,每 20 个单体分别串联后再并联在一起,电池总容量为 $200 \text{ A} \cdot \text{h}$,具体参数见表3。

表3 车载蓄电池参数

参数名称	参数值
材料	磷酸铁锂离子电池
单个电池电压/V	3.2
单个电池容量/(A·h)	5
电池数目/个	40(串20并2)
电池总容量/(A·h)	200

4 传动系参数设计

4.1 最小传动比的确定

微型纯电动轿车的最小传动比由车辆最高速度行驶工况决定,传动比 i 与电机转速 n 及车速 v 满足下式:

$$v = \frac{0.377nr_d}{i} \quad (12)$$

式中: r_d 为车轮半径。

最小传动比应满足:

$$i_{\min} = \frac{0.377n_{\max}r_d}{v_{\max}} \quad (13)$$

$$i = i_o i_g \quad (14)$$

式中: n_{\max} 为电动机的最高转速; i_o 为主减速器的传动比; i_g 为变速器的传动比。

4.2 最大传动比的确定

微型纯电动轿车的最大传动比由车辆最大坡度行驶工况决定,应满足下式:

$$i_{\max} = \frac{F_{i_{\max}}r_d}{\eta_T T_{\max}} \quad (15)$$

式中: $F_{i_{\max}}$ 为最大坡度对应的行驶阻力; T_{\max} 为电机最大输出扭矩。

4.3 传动系参数设计计算

由式(13)计算得最小传动比 $i_{\min} = 2.2$ 。当纯电动轿车在最大坡度上行驶时,忽略其空气阻力加速度,其所受阻力为:

$$F_{i_{\max}} = mgf \cos \alpha_{\max} + mg \sin \alpha_{\max} = 2\ 231 \text{ N}$$

将 $F_{i_{\max}}$ 代入式(15),得 $i_{\max} = 3.6$ 。

根据实际情况,确定纯电动微型轿车传动比 $i = 2.9$ 。

5 基于 ADVISOR 的微型纯电动轿车动力系统仿真

ADVISOR 是美国可再生能源实验室在 MATLAB 和 SIMULINK 软件环境下开发的高级车辆仿真软件,可在其主界面中编辑 m 文件,构建车辆模型。运用该软件从最高车速、蓄电池剩余电量、驱动电机扭矩及蓄电池充放电电流四方面对微型纯电动轿车动力系统进行仿真分析。

5.1 车速随时间的变化

仿真试验中,对微型纯电动轿车在所选路况上理论车速与实际仿真车速随时间的变化情况进行测试,结果见图 1。从图 1 可见两条线很吻合,说明微型纯电动轿车的理论车速与实际仿真车速很吻合,满足设计要求。

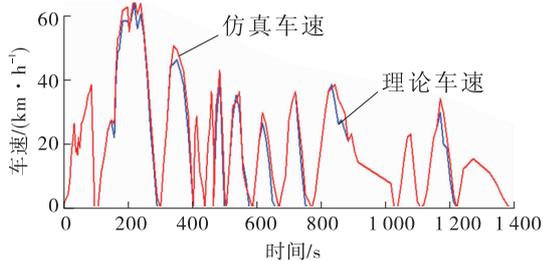


图 1 车速随时间的变化

5.2 驱动电机扭矩

驱动电机扭矩仿真结果见图 2。电机在驱动情况下输出正值扭矩,汽车制动时输出负值扭矩。从图 2 来看,驱动时的扭矩明显大于制动时的扭矩。

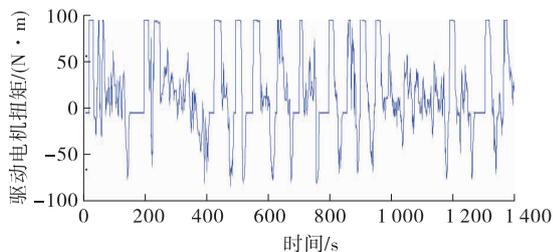


图 2 驱动电机扭矩仿真结果

5.3 蓄电池剩余电量

蓄电池剩余电量仿真结果见图 3。从图 3 可以看出:电池的电量随着时间的推移而减少,驱动电机的转速及车辆的行驶速度随之下降。为了更好地保护蓄电池,ADVISOR 软件控制蓄电池剩余电量低于 30% 时停止模拟。

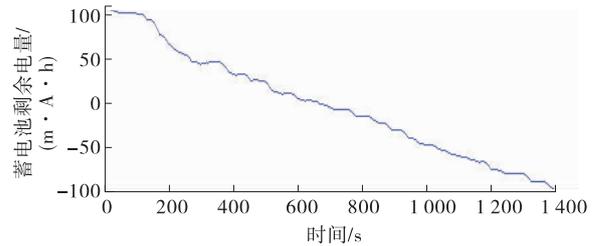


图 3 单次 CYC_ECE_EUDC 循环工况下
蓄电池 SOC 随时间的变化

5.4 蓄电池充放电电流

蓄电池充放电电流仿真结果见图 4。从图 4 可以看出:当驱动电机处于驱动状态时,蓄电池电流为正值,蓄电池向电机输出电量,从而驱动电机运转;当驱动电机处于能量再生状态时,蓄电池电流为负值,电池处于充电状态,从而增加车辆的续航里程。

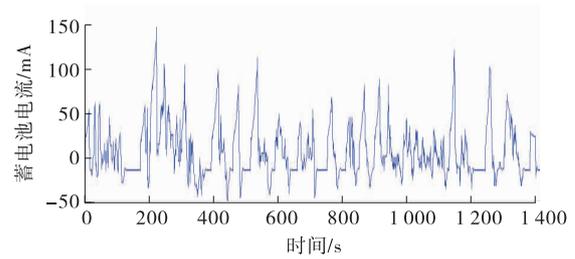


图 4 蓄电池充放电电流仿真结果

5.5 动力性能测试

微型纯电动轿车的动力性能设计要求和仿真测试结果对比见表 4。从表 4 来看,所选驱动电机及蓄电池能满足设计要求。

表 4 动力性能设计要求及仿真数据对比

项目	设计要求	仿真结果
0~100 km/h 加速时间/s	≤ 20	11.1
最高车速/(km·h ⁻¹)	100	146.3
最大爬坡度/%	20	34.2
续航里程/km	≥ 90	102.0

6 结语

该文以纯电动微型轿车动力系统匹配设计作为目标,根据其动力性能指标计算出电机功率,选择永磁同步电机;由计算得出的电机功率及电压选择磷酸铁锂离子电池;由电机及蓄电池参数确定传动比。ADVISOR 软件仿真结果表明,所选驱动电机及动力蓄电池能满足设计要求。

(下转第 12 页)

间权重缩短积分时间,保证图像亮度适中,光线不刺眼;自然光线或弱光下的区域通过增加其曝光时间权重延长积分时间,保证图像亮度。因此,在图像中可清晰地分辨后车车牌号码。

3 结语

通过使用微光 CMOS 图像传感器,并开发权重均值曝光算法,达到了调整不同区域内曝光时间的目的,即光强低栅格内采用长时间曝光,光强度高栅格内采用短时间曝光,使当前图像的亮度水平朝目标亮度靠近。与未更改曝光时间的低照度 CMOS 图像传感器行车记录仪相比,在后车开启远光灯及汽车后方光线环境复杂的情况下,应用微光 CMOS 图像传感器快速权重均值自动曝光算法的行车记录仪能达到或接近肉眼所见的真实视觉效果:近距离可看清后车车牌号码,近距离低光强区域可看清后车的细节信息。

参考文献:

- [1] 梁佳毅.高性能数码相机自动曝光算法研究与实现[D].上海:复旦大学,2008.
- [2] 孟梦.高清摄像机自动白平衡和自动曝光算法研究及

实现[D].西安:西安电子科技大学,2014.

- [3] 戈志伟,姚素英,徐江涛,等.一种应用于 CMOS 图像传感器的快速自动曝光控制方法[J].天津大学学报,2010,43(10).
- [4] 朱天成.微光 CMOS 图像传感器关键技术研究[D].天津:天津大学,2009.
- [5] 安毓英,曾小东.光学传感与测量[M].北京:电子工业出版社,1995.
- [6] Tetsuya Kuno, Hiroaki Sugiura. A new automatic exposure system for digital still cameras[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998, 44(1).
- [7] Jia Yi Liang, Ya Jie Qin, Zhi Liang Hong. An auto-exposure algorithm for detecting high contrast lighting conditions[A]. 2007 7th International Conference on ASIC[C]. 2007.
- [8] 贡青,李锦萍,闵子建,等.一种基于 CMOS 图像传感器的 flicker 自动检测方法[J].首都师范大学学报:自然科学版,2007,28(2).
- [9] 戈志伟.面向 CIS 图像处理 SoC 的算法、架构及复杂多媒体 SoC 中通信网络研究[D].天津:天津大学,2012.
- [10] 祝晓笑.安防用 CMOS 图像传感器片上数字系统设计与实现[D].成都:电子科技大学,2015.

收稿日期:2016-12-12

(上接第 8 页)

参考文献:

- [1] 陈家瑞.汽车构造[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 王望予.汽车设计[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [3] 余志生.汽车理论[M].第 3 版.北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 周伟.某微型纯电动汽车动力系统匹配设计与性能研究[D].长沙:湖南大学,2013.
- [5] 郝魁,负海涛,孙华伟,等.微型纯电动汽车动力系统匹配设计[J].青岛理工大学学报,2015,36(1).
- [6] 陈丁跃.基于 ADVISOR 仿真的纯电动汽车动力系统匹配研究[D].西安:长安大学,2014.
- [7] Richard Saeks, Chadwick J Cox, James Neidhoefer, et al. Adaptive control of a hybrid electric vehicle[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2003, 3(4).
- [8] Ardalan Vahidi, Anna Stefanopoulou, Huei Peng. Current management in a hybrid fuel cell power system: a model predictive control approach[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2006, 14(6).

- [9] 柳建新,徐贤亚,尚明利,等.增程式电动客车动力系统匹配设计仿真分析[J].客车技术与研究,2016,38(2).
- [10] 陈敏,王振国.某 A 级纯电动汽车动力系统匹配及仿真[J].公路与汽运,2014(4).
- [11] 兰俊福.某款混合动力客车动力系统匹配及控制方案设计[J].客车技术与研究,2016,38(5).
- [12] 安瑞兵. Cruise 仿真在汽车动力总成匹配优化中的应用[J].客车技术与研究,2015,37(5).
- [13] 刘和平,余银辉,王强,等.微型电动轿车动力性匹配设计及仿真[J].微电机,2010,43(5).
- [14] 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(增刊 1).
- [15] 冉振亚,曹文明,杨超,等.一种新型双能源电动汽车的动力传动系统[J].重庆大学学报:自然科学版,2004,27(6).
- [16] 朱正礼,殷承良,张建武.基于遗传算法的纯电动轿车动力总成参数优化[J].上海交通大学学报,2004,38(11).

收稿日期:2016-12-05