

微型低速电动汽车性能影响因素分析

戚基艳^{1,2}, 崔永刚^{1,2}

(1. 辽宁省数控机床信息物理融合与智能制造重点实验室, 辽宁 抚顺 113122;

2. 沈阳工学院 机械工程与自动化学院, 辽宁 抚顺 113122)

摘 要:根据微型电动汽车设计指标要求,在原有样车的基础上,对其动力传动系统进行参数匹配,采用 ADVISOR 软件进行性能验证。以控制变量法为基础,从汽车结构、电机和蓄电池的角度,分别选取 3 个参数,研究控制策略参数优化取值范围。结果表明:在一定的取值范围内,对微型电动汽车续驶里程影响最大的 3 个参数依次是能量存储系统的最高电压、汽车总重和电机允许的最大电流;对动力性影响最大的 3 个参数依次是前轴载荷、电机过载系数和汽车总重;汽车结构参数能够同时达到增加续驶里程和提高动力性的参数优化取值,而电机和蓄电池对续驶里程和动力性不能同时达到最优参数取值,需要根据控制策略目标进行优化设计选择。

关键词:微型电动汽车;轮毂电机;动力系统;敏感度

中图分类号:U462.2; U469.72 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)04-0173-04

Factor Analysis of Having Influence on Micro-electric Vehicle Performance

QI Jiyan^{1,2}, CUI Yonggang^{1,2}

(1. Liaoning Key Laboratory of Information Physics Fusion and Intelligent

Manufacturing for Grade CNC Machine, Fushun 113122, China; 2. School of Mechanical Engineering and

Automation, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China)

Abstract: According to the design requirements of the micro-electric vehicle, the parameter matching for its power system is carried out based on the prototype. The performance of the micro-electric vehicle is verified in the ADVISOR software. From the angle of the micro-electric vehicle structure, the motor and the battery, three typical parameters are selected. The value range of the parameter optimization is researched on based on the control variable method. The result shows that within certain value range, the maximum voltage of the energy storage system, the vehicle gross weight and the maximum allowable current of the motor are the three most important parameters affecting the driving range, while the front axle load, the motor overload coefficient and the vehicle gross weight are the three most important parameters affecting the power performance. Moreover, the selected three vehicle structural parameters can simultaneously increase the driving range and improve the dynamic performance, but the selected parameters for the motor and battery do not, which need to be analyzed on the basis of actual design situation.

Keywords: micro-electric vehicle; in-wheel motor; power system; sensitivity

0 引言

轮毂电机驱动电动汽车由于行驶动力学性能优越、结构紧凑简单、驱动和制动转矩独立可控等诸多优点,成为目前电动汽车领域的研究热点^[1-2]。轮毂电机安装空间狭小,严重制约电机控制性能,而且使整车平顺性和安全性降低,故纯电动汽车目前无论在经济性和技术性都遇到了发展瓶颈^[3-5]。但微型电动汽车能够满足城市居民日常出行需求,且实现了成本、价格、使用费用的三低^[6],深受我国农村及三、四线城市消费者喜爱^[7]。通过与共享汽车等创新商业模式结合,可以形成新的消费增长点,且能够解决城市的“最后一公里”出行问题^[4],在续驶里程和动力性上均有良好表现潜力,是电动汽车优先发展的方向^[8]。

以自主研发的第一代微型低速电动车为实验数据,采用轮毂电机驱动,对动力系统的参数方案进行匹配。把汽车续驶里程和动力性作为优化参数变量。运用控制变量法,把自变量分为汽车结构、电机和电池组 3 个参数大类,进行控制策略参数优化,分别从横向和纵向对比分析自变量对变量参数的影响规律。

1 整车参数及性能指标

根据汽车动力学分析和 T/TBPS1001—2016^[9] 标准,确定所设计的轮毂电机驱动微型电动汽车的动力性指标见表 1,结构参数见表 2。第一代电动汽车(图 1)动力系统布置方案见图 2。

表1 微型电动汽车动力性能指标设计要求

动力性能参数	指标数值	
最高车速	≥40 km/h	<70 km/h
加速性能	0~49 km/h	≤15 s
爬坡度	10 km/h	≥20%
续驶里程	49 km/h	80 km

表2 实验样车基本参数

参数	数值
长×宽×高/(mm×mm×mm)	3 600×1 400×1 450
整备质量/kg	821
轴距/mm	2 240
车轮滚动半径/m	255
驱动方式	前驱



图1 第一代电动汽车

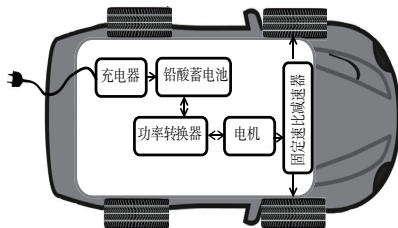


图2 第一代电动汽车动力系统方案

2 动力系统的参数匹配

2.1 电动机的参数匹配

根据整车加速过程动力学方程,当汽车在水平路面上加速时,整车在加速过程的终了时刻,动力源输出最大功率。其加速过程最大功率为^[10]:

$$P_{all} = \frac{1}{3\ 600T\eta_i} \left(\frac{1}{2} \delta m u_i^2 + \frac{1}{1.5} m g f u_i T + \frac{C_D A u_i^3}{21.15 \times 2.5} T \right) \quad (1)$$

式中: u_i 为加速末速度(49 km/h); T 为加速时间; δ 为汽车旋转质量换算系数; η_i 为电池放电效率,取0.9; m 为汽车整备质量; f 为滚动阻力系数; C_D 为空气阻力系数; A 为迎风面积。

电机要安装在轮毂内,对尺寸要求严格,选择电机类

型为尺寸最小的永磁同步电机。通过计算和对比相关厂家的产品,最终选取电机相关参数如表3所示。

表3 选取的电机参数

电池参数	数值
额定功率/kW	9.4
峰值功率/kW	20
额定转矩/(Nm)	30
最大转矩/(Nm)	83
最大转速/(r/min)	6 000
额定转速/(r/min)	3 000
额定电压/V	96

2.2 蓄电池参数的匹配

电池类型选择性能优越、技术发展成熟的锂离子电池,在电动汽车中广泛应用^[11]。

蓄电池组作为唯一动力源,必须满足车辆行驶时所需的最大功率和续驶里程要求,且纯电动汽车采用的是能量型电池,只要满足其能量要求,系统的功率即能得到满足。根据其续驶里程来确定电池容量。

$$C_{ess} \geq \frac{1\ 000S}{3\ 600U_{ess}\eta_i\xi_{soc}} \left(mgf + \frac{C_D A v_{avg}^2}{21.15} \right) \quad (2)$$

式中: C_{ess} 是电池组总容量; S 是汽车续驶里程,这里根据设计要求选取80 km; v_{avg} 为汽车匀速行驶的速度,取49 km/h; ξ_{soc} 为电池组放电深度; U_{ess} 为电池组电压。

通过先并联后串联的连接方式^[12]满足系统对电压和电容的需求,并结合电池供应商情况,选择电池组参数如表4。

表4 电池参数

电池参数	数值
电池容量/Ah	150
单个电池容量/Ah	6
单个电池额定电压/V	10.8
单个电池最大工作电压/V	11.7
单个电池最小工作电压/V	6
单个电池的质量/kg	1.134
串/并联个数	7/25

2.3 传动系统参数的匹配

在电机输出特性不变的情况下,传动系的速比主要取决于整车的动力性指标。轮毂电机驱动只有减速器。因此速比应满足:

$$i_{max} \leq \frac{0.377n_{max}r}{V_{max}} \quad (3)$$

$$i_{min} \geq \frac{(mg\cos\alpha_{max}f + mgs\sin\alpha_{max})r}{\eta_i T_{max}} \quad (4)$$

式中: n_{max} 为电动机最大输出转速,r/min; r 为车轮的滚动半径; V_{max} 为最高车速;通过计算减速比取值范围为 $8.2 \geq i \geq 5.8$,初步选取减速比值 $i=7$ 。

3 影响汽车性能参数分析

续驶里程是微型电动汽车首要设计目标^[7],动力性是汽车性能最基本的目标。根据匹配的电机和蓄电池参数以及汽车自身结构参数,将分析参数分为3组,分析同类参数之间的影响趋势及控制优化区间。

SOC 代表着能量存储系统剩余可用电量,由公式(5)确定,通过分析 SOC 达到优化续驶里程的目的:

$$SOC = SOC_0 - \int \frac{idt}{Q(i)} = SOC_0 - \int \Delta SOC \quad (5)$$

以控制变量法为基础,分析最大加速度和 $-\int \Delta SOC$ 作为因变量优化微型电动汽车的续驶里程和动力性规律。

1) 微型汽车结构参数优化规律

选择汽车整备质量($800 \leq \text{veh_mass} \leq 1374$)、质心高度($0.4 \leq \text{veh_cg_height} \leq 0.6$)、前轴载荷($0.3 \leq \text{veh_front_wt_frac} \leq 0.65$)3个参数作为优化规律分析的自变量,每个参数等步长取3个离散点进行分析。优化结果如图3所示。

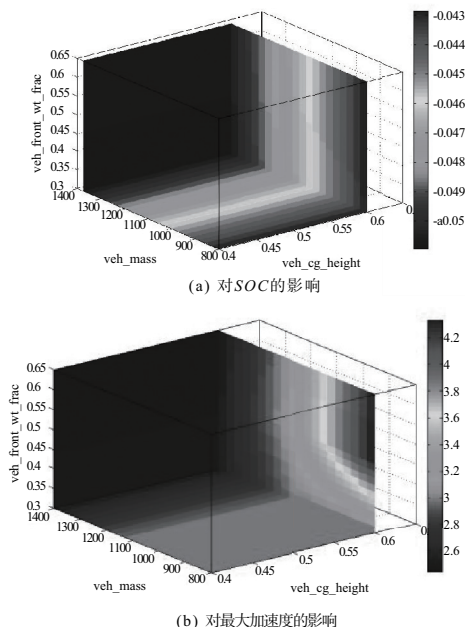


图3 微型汽车结构参数对性能的影响

由图3可以看出3个参数作用下续驶里程和加速度的最优取值范围,与两个因变量之间有一定的重合。整备质量和加速度、续驶里程均呈负相关,对续驶里程的影响为线性。前轴载荷对加速度和续驶里程的影响均呈非线性正相关,且对加速度影响更大。质心高度对加速度和续驶里程的影响规律相反且都呈线性。

2) 电机相关参数对汽车性能的影响

选择电机最大电流($100 \leq \text{mc_max_crrnt} \leq 300$)、电机最小电压($60 \leq \text{mc_min_volts} \leq 85$)、电机过载系数($1.2 \leq \text{mc_overtrq_factor} \leq 4$)3个参数作为优化规律分析的自变量,每个参数等步长取3个离散点进行分析。优化结果如图4所示。

由图4可知:两个因变量最优取值变化规律基本相

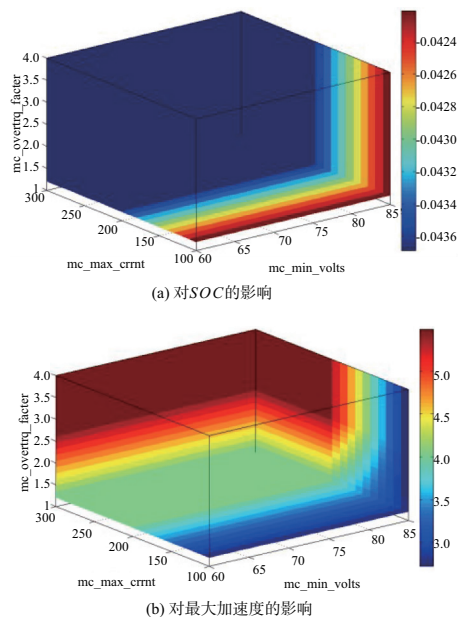


图4 电机相关参数对汽车性能的影响

反;电机的最大电流在一定范围内与续驶里程呈负相关,和加速度呈正相关。电机最小电压对两个因变量均没有影响。电机过载系数对续驶里程也没有影响,在一定范围内与加速度呈正相关。

3) 电池组参数对汽车性能的影响

根据匹配参数选取的情况,选择单体电池最大电压($3 \leq \text{ess_max_volts} \leq 3.5$)、单体电池最小电压($2 \leq \text{ess_min_volts} \leq 3$)、能量存储系统电量($18 \leq \text{ess_module_num} \leq 30$)3个参数,每个参数等步长取3个离散点进行分析。优化结果如图5所示。

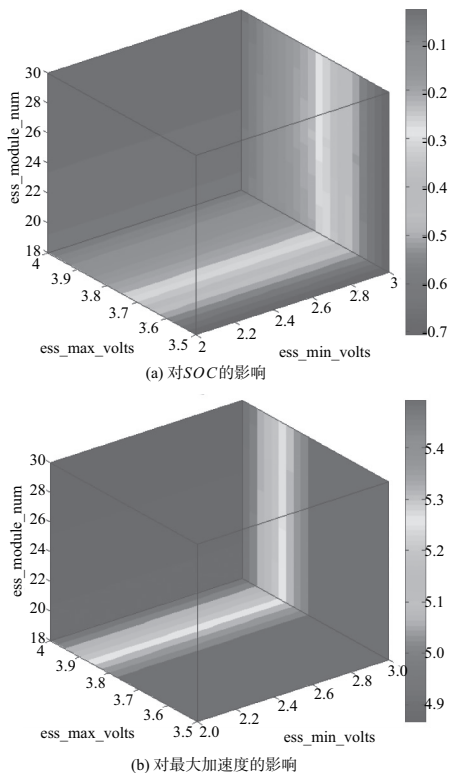


图5 电池组参数对汽车性能的影响

由图5可以看出电池组相关3个参数作用下因变量的最优取值范围,且两个因变量之间变化规律基本相反:单个电池最小电压在一定范围内对续驶里程和最大加速度都没有影响;电池组数、单体电池最大电压与续驶里程在一定范围内呈正相关。电池组数与最大加速度呈负相关,自变量单个电池最小电压在拐点之后与加速度呈负相关。

采用极差和标准差分析多因素灵敏度^[13]的方法,进一步对比不同类别组参数对两个因变量优化目标的影响敏感度,如表5所示。由于单体电池串联数和单体电池最大电压影响的均是整个能量存储系统的最高电压,因此,对微型电动汽车续驶里程影响最大的前3位参数是:能量存储系统最高电压、汽车总重以及电机允许的最大电流。对微型电动汽车最高加速度影响最大的前3位参数依次是:前轴载荷、电机过载系数和车重。

表5 因变量的极差和标准差

自变量	因变量			
	$-\int \Delta_{soc}$		Max_accel_m_s ²	
	极差	标准方差	极差	标准方差
车重	0.006 326	0.001 963	1.367	0.443 3
质心高度	1.295×10^{-9}	4.019×10^{-10}	5.007×10^{-4}	1.553×10^{-4}
前轴载荷	0.000 162 5	5.28×10^{-5}	3.505	1.088
电机最大电流	0.001 473	5.114×10^{-4}	1.261	0.437 7
电机最小电压	0	0	0	0
电机过载系数	0	0	1.458	0.505 9
电池最大电压	0.661 5	0.209 8	0.612 9	0.212 7
电池最小电压	0	0	0	1.82×10^{-15}
存储系统能量	0.022 41	0.007 008	0.023 01	0.007 138

4 结语

根据微型电动汽车的整车设计要求,对轮毂电机驱动的动力系统进行了参数匹配,并用ADVISOR仿真验证了结果。以控制变量法为基础,将匹配参数分为3个方向:汽车结构参数、电机参数以及蓄电池参数,研究匹配参数对轮毂电机驱动微型电动汽车动力性能和续驶里程影响的最优取值范围和规律,结果表明:

1)汽车结构参数设计时可以同时兼顾续驶里程和动力性选取最优值。而电机参数和电池组参数在续驶里程

和动力性两个方向最优取值范围没有重合,设计时要考虑实际需求进行取舍。

2)对于在城市道路行驶的微型电动汽车,尽量提高能量存储系统的最高电压,减轻汽车总重,降低电机/控制器允许的最大电流,适当增加前轴载荷比重,能够提高微型汽车的续驶里程。

3)前驱微型电动汽车通过增加前轴载荷比重、加大电机过载系数和减轻车重,适当增大电机/控制器允许的最大电流都能够提高微型电动汽车的动力性。

参考文献:

- [1] 黄鼎友,曾文杰,曾发林. 某纯电动汽车动力系统参数匹配与仿真分析[J]. 机械制造与自动化,2018,47(6):130-133.
- [2] KIM Donghyun, SHIN Kyeongho, KIM Youngkwang, et al. Integrated design of in-wheel motor system on rear wheels for small electric vehicle[J]. World Electric Vehicle Journal,2010,4(3):597-602.
- [3] KRITHIKA V, SUBRAMANI C. A comprehensive review on choice of hybrid vehicles and power converters, control strategies for hybrid electric vehicles[J]. International Journal of Energy Research, 2018,42(5):1789-1812.
- [4] 谷靖,欧阳明高,卢兰光,等. 微型纯电动汽车的系统构型与关键参数设计[J]. 汽车工程,2013,35(1):7-12.
- [5] GEETHA A, SUBRAMANI C. A comprehensive review on energy management strategies of hybrid energy storage system for electric vehicles[J]. International Journal of Energy Research, 2017, 14(13):1817-1834.
- [6] 欧阳明高. 微型电动汽车离智能化最近[N]. 科技日报,2015-05-04(009).
- [7] 刘宗巍,马雨晴. 微型短途电动汽车产品电池类型选择的成本量化对比研究[J]. 汽车工程学报,2018,8(3):157-167.
- [8] 谷靖,欧阳明高. 轮毂电机驱动式微型电动车参数的合理选择[J]. 中国公路学报, 2013, 26(1):177-183.
- [9] T/TBPS 1001—2016 微型低速电动车技术条件[S].
- [10] 曾小华,王庆年,宋大风. 汽车功率需求的简单求解方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2011, 41(3):613-617.
- [11] L H Saw, YE Y, A A O Tay. Integration issues of lithium-ion battery into electric vehicles battery pack [J]. Clean Prod, 2016, 113:1032-1045.
- [12] 王丽梅,程勇. 连接片阻值对电动汽车用动力电池性能的影响[J]. 汽车工程,2015,37(1):62-66,101.
- [13] 彭涓. 基于极差分析法在测井曲线自动分层问题中的研究[J]. 自动化与仪器仪表,2015(1):36-38.

收稿日期:2019-04-18