

采用 Cruise 的纯电动轻型越野车的性能分析

杨建军^{1,2}

(1. 武汉理工大学 汽车学院, 湖北 武汉 430070;
2. 武汉商学院 机电学院, 湖北 武汉 430056)

摘要: 根据纯电动轻型越野车前期开发的设计要求,计算出该电动汽车驱动系统主要总成部件的参数理论值.结合汽车动力性和经济性分析的理论计算,借助 Cruise 仿真软件对该车进行整车建模与性能仿真分析,得到其动力性和经济性的评价结果,并与理论预期值进行对比分析,从而验证了 Cruise 仿真软件在纯电动轻型越野车驱动系统开发中的应用可行性.

关键词: 电动汽车;驱动系统;建模仿真;动力性;经济性;Cruise 软件

中图分类号: U 469.72 **文献标志码:** A

全球石油资源日益稀缺,电动汽车成为未来汽车的发展方向.国家出台的《中国制造 2025》引导整个汽车行业和相关产业往低能耗、低污染、小排量的节能与新能源汽车方向发展,即发展混合动力电动汽车、纯电动汽车和燃料电池电动汽车^[1-2].本文以传统轻型越野车驱动系统为基础,结合理论计算,通过 Cruise 软件建模仿真分析,研究纯电动驱动系统的整车动力性和经济性.

1 纯电动驱动系统

1.1 布置方案

驱动系统布置的原则:符合车辆动力学对汽车质心位置的要求,并尽可能降低车辆质心高度^[3].电动汽车的驱动系统布置形式取决于电动机驱动方式,可以有多种形式.

由于纯电动轻型越野车只是在传统内燃机驱动车型的基础上进行简单的改造(电机替换发动机),所以,该驱动系统仍采用内燃机驱动车型的驱动系统布置方式和主要参数,即电池组、电机、主减速器、差速器、半轴和车轮.纯电动轻型越野车的驱动系统,如图 1 所示.整车参数和预期性能指标如下:轴距为 2 420 mm;轮距为 1 305 mm;长宽高为 3 970 mm×1 570 mm×1 730 mm;最大爬坡度为 25°;轮胎为 205/70R15;整备质量为 1 350 kg;最高车速为 100 km·h⁻¹;百公里耗电量为 15 kW·h.

1.2 主要总成参数

根据目前汽车行业内各种车用电机的性能比较^[4],结合纯电动轻型越野车的行驶要求,驱动电机类型选为永磁无刷直流电动机.驱动电机的基本参数如下:峰值扭矩为 200 N·m;峰值转速为 6 000 r·min⁻¹;额定转速为 3 000 r·min⁻¹,峰值功率为 65 kW;额定电压为 320 V.

纯电动轻型越野车的行驶工况主要为城市道路,参照选择的电机类型,为使传动系统的结构不过于复杂,保证驱动系统足够的工作效率,降低纯电动轻型越野车的开发周期和成本,尽可能利用平台化生

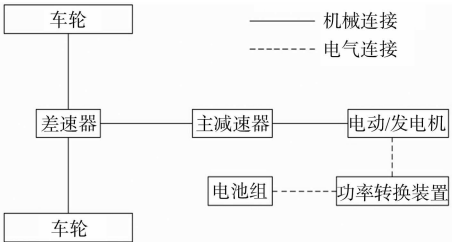


图 1 驱动系统

Fig. 1 Driving system

产优势,取消了变速箱和离合器.为满足轻型越野车的行驶要求,达到国家汽车行业标准规定的爬坡度,需增大主减速器的传动比.经过理论计算后,选取主减速器的传动比 $i_0=7.5$.

结合驱动电机参数,参考当前市面上纯电动汽车已采用的成熟动力电池,选定某型号的磷酸铁锂电池作为纯电动轻型越野车的动力源.该电池的额定容量为 $100\text{ A}\cdot\text{h}$,标称电压为 320 V .

2 理论计算

为了获得尽可能高的平均行驶速度,采用最高车速、加速时间和最大爬坡度 3 个指标衡量纯电动轻型越野车的动力性.该车的经济性可以通过百公里电量消耗或者某车速下的行驶距离衡量.汽车动力性计算的主要依据是车辆驱动力和行驶阻力之间的平衡关系^[5-7],即

$$\frac{T_{\text{tq}} i_{\text{g}} i_0 \eta_{\text{T}}}{r} = Gf \cos \alpha + \frac{C_{\text{D}} A}{21.15} \cdot U_{\text{a}}^2 + G \sin \alpha + \delta m \cdot \frac{du}{dt}.$$

(1)

式(1)中: T_{tq} 为电机转矩; m 为汽车质量; U_{a} 为车速; f 为轮胎的滚动阻力系数; C_{D} 为空气阻力系数; A 为迎风面积; η_{T} 为传动系统的机械效率; δ 为旋转质量换算系数; i_{g} 为变速箱的传动比; i_0 为主减速比; r 为轮胎半径; α 为道路坡角.

当电动汽车在良好平直路面上以最高车速等速行驶时,即不考虑坡道阻尼和加速阻尼,车辆的最高行驶速度由电机的峰值功率决定,即

$$P_{\text{max}} = \frac{1}{\eta_{\text{T}}} (\frac{m_{\text{a}} g f}{3\,600} \cdot U_{\text{max}} + \frac{C_{\text{D}} A}{76\,140} \cdot U_{\text{max}}^3).$$

(2)

当电动汽车在良好平直路面上加速行驶时,驱动力除了克服空气阻力 F_{w} 和滚动阻力 F_{f} 外,主要克服加速阻力 F_{j} ,此时不考虑坡道阻力 F_{i} ,即

$$\frac{1}{\delta m} [F_{\text{t}} - (F_{\text{w}} + F_{\text{f}})] = \frac{du}{dt}.$$

(3)

爬坡能力是指汽车在良好路面上克服滚动阻力 F_{f} 和空气阻力 F_{w} 后的余力,全部用于等速克服坡度阻力 F_{i} 能爬上的最大坡度 α ,即不考虑车辆的加速阻力 F_{j} 时,最大坡度表示为

$$\alpha = \arcsin \frac{F_{\text{t}} - (F_{\text{f}} + F_{\text{w}})}{G}.$$

(4)

纯电动轻型越野车在固定车速下的行驶距离主要是由动力电池容量决定,同时,受到驱动系统的传递效率影响.整车以 $40\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 匀速行驶的续航里程为

$$s = \frac{E_{\text{B}} \times 10^3 \times 3\,600 \times \eta_{\text{T}} \times \eta_{\text{mc}} \times 0.7 \times \eta_{\text{q}}}{F_{\text{f}} + F_{\text{w}}}.$$

(5)

式(5)中: η_{mc} 为电机及其控制器效率; η_{q} 为磷酸铁锂电池平均放电效率; E_{B} 为蓄电池组总能量.

3 Cruise 建模与仿真

3.1 仿真模型

Cruise 仿真软件已经集成汽车上大部分零部件总成模块^[8].根据纯电动轻型越野车的驱动系统中动力电池到驱动车轮的动力传递路线,依次连接对应子模块,并添加驾驶员模块对车辆进行控制^[9].基于Cruise仿真软件搭建的纯电动轻型越野车的整车仿真模型,如图2所示.

结合传统内燃机驱动车型的整车参数,设定纯电动轻型越野车仿真模型中各个子模块里的参数.车辆模块的参数定义,如图3所示.电机模型的设定主要依据电机外特性曲线和效率MAP图,即电机转速、扭矩与效率之间的关系曲线.效率MAP图的精准性直接影响到仿真结果,所以电机的外特性曲线和效率MAP图应以实验数据为准进行定义.第三方厂家提供的驱动电机的转矩(T)-转速(n)关系曲线,如图4所示.

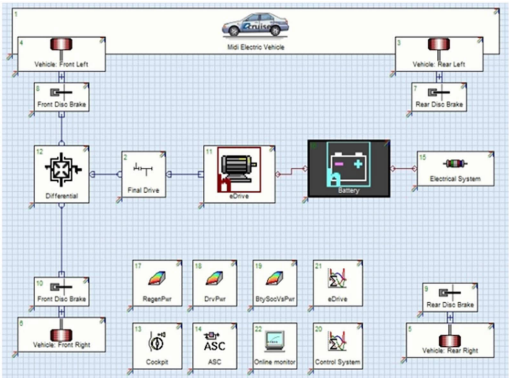


图 2 整车仿真模型
Fig. 2 Vehicle simulation model

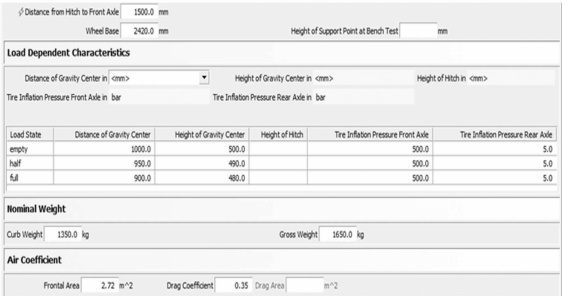


图 3 车辆模块的参数定义

Fig. 3 Parametes setting of vehicle model

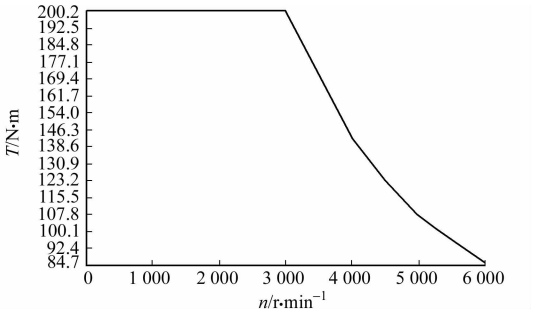


图 4 驱动电机的转矩-转速关系

Fig. 4 Torque-speed relationship of driving motor

根据仿真要求,创建仿真任务.通过循环工况分析计算纯电动轻型越野车的行驶距离和能量消耗率;爬坡性能分析计算最大爬坡度;满负荷加速性能分析计算加速时间和最高车速.借助模型自检查功能确定模型的完整性和仿真任务是否设置正确;然后,选用单个计算任务方式进行仿真计算^[10-12].

3.2 仿真结果分析

在仿真过程中,通过监视器模块查看电机转速、扭矩、车速、电池电压和电流等参数的变化.当出现异常时,及时暂停或结束仿真,实现对仿真过程的实时控制.

3.2.1 NEDC 循环工况 新欧洲循环工况由 4 个 ECE 工况与 1 个 EUDC 工况叠加而成.纯电动轻型越野车的 NEDC 循环工况图,如图 5 所示.图 5 中: s 为行驶距离; v 为速度; T 为扭矩; t 为时间.由图 5 可知:工况行驶距离为 10.93 km,历时 1 180 s,最高车速为 $110.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,平均车速为 $33.3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,行驶期间停车 13 次.当电机的扭矩为负值时,纯电动轻型越野车在进行制动能量回收,延长了行驶距离,降低了百公里耗电量.

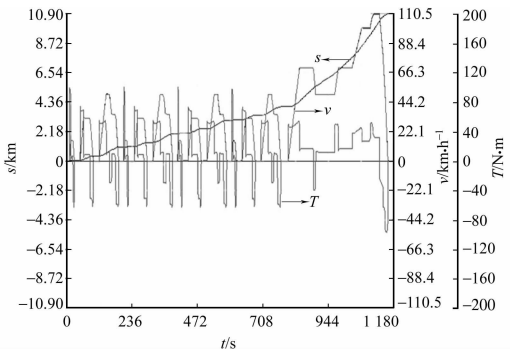


图 5 NEDC 循环工况

Fig. 5 NEDC cycling condition

3.2.2 满负荷加速性能 纯电动轻型越野车的满负荷加速工况曲线,如图 6 所示.图 6 中: a 为加速度.由图 6 可知:该车从 0 到 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的加速时间为 17 s,最高车速为 $105 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

3.2.3 爬坡性能 纯电动轻型越野车的爬坡度曲线,如图 7 所示.图 7 中: α 为坡度.由图 7 可知:该车的最大爬坡度达到 27%,完全满足城市轻型越野车的爬坡性能要求.

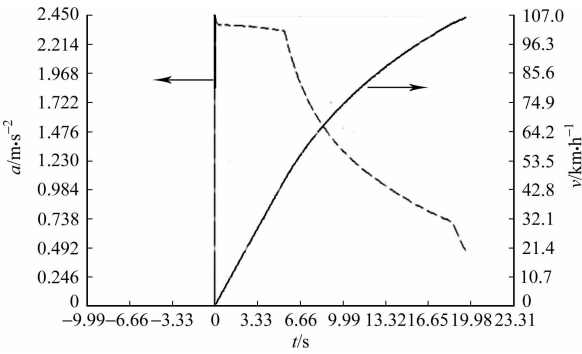


图 6 满负荷加速工况曲线

Fig. 6 Full load acceleration condition curve

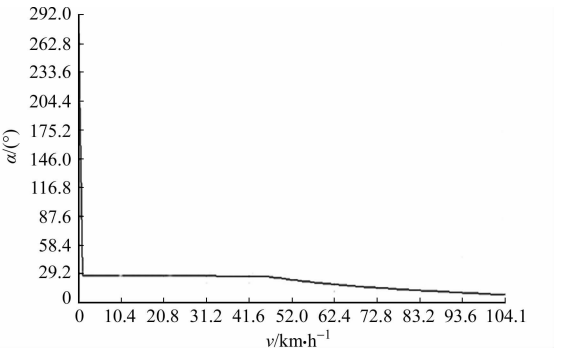


图 7 爬坡度曲线

Fig. 7 Gradeability curve

3.2.4 行驶距离 在 Cruise V2000 版本里没有对纯电动汽车行驶距离的估算功能,因此,采用百公里耗电量衡量纯电动轻型越野车的经济性.由图 5 可知:纯电动轻型越野车的百公里耗电量为 $20 \text{ kW} \cdot \text{h}$,高于预期设计的 $15 \text{ kW} \cdot \text{h}$.

3.2.5 结果对比 Cruise 仿真结果与预期设计要求的对比,如表 1 所示.表 1 中: v_{\max} 为最高车速; α_{\max}

为最大爬坡度; Q 为百公里耗电量. 由表 1 可知:纯电动轻型越野车的动力性能满足设计的要求,但是经济性未达到预期的要求.

4 结束语

基于 Cruise 软件搭建了纯电动轻型越野车的整车仿真模型,通过最高车速、最大爬坡度和百公里加速时间得到该车的动力性评价指标,通过百公里耗电量得到该车的经济性评价指标. 由开发初期的设计要求和理论计算得到纯电动轻型越野车驱动系统的主要参数,通过 Cruise 软件正面仿真检验参数计算的可靠度和整车的基本性能,验证 Cruise 软件在纯电动轻型越野车驱动系统设计中的应用可行性,为后期该车的参数选择和经济性能的优化提供了设计参考.

参考文献:

[1] 王锐,何洪文. 基于 Cruise 的整车动力性能仿真分析[J]. 车辆与动力技术,2009(2):24-26.

[2] 汪斌,李峥,彭红涛,等. CRUISE 软件在混合动力汽车性能仿真中的应用[J]. 汽车科技,2007(5):38-40.

[3] 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.

[4] 李国良,初亮,鲁和安. 电动汽车续驶里程的影响因素[J]. 吉林工业大学报(自然科学版),2000,30(3):20-24.

[5] 徐中明,张志飞,庄建兵,等. 基于 MATLAB 的轿车动力性和燃油经济性仿真[J]. 计算机仿真,2005,22(4):247-250.

[6] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2009:1-68.

[7] 陈清泉. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002:83-122.

[8] 王少凯. 基于 Cruise 软件的纯电动城市客车的建模与仿真[J]. 客车技术与研究,2011,33(2):10-12.

[9] 王保华,罗永革. 基于 CRUISE 的汽车建模与仿真[J]. 湖北汽车工业学院学报,2005,19(2):5-8.

[10] 刘振军,赵海峰,秦大同. 基于 CRUISE 的动力传动系统建模与仿真分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2005,28(11):12-15.

[11] 李刚,韩海兰. 四轮轮毂电机电动车横摆力矩参数自调整模糊控制[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2015,36(4):365-370.

[12] 戴茵茵,林宇洲. 基于 dSPACE 的横向磁通永磁电机控制[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2013,34(2):147-150.

Performance Analysis of Pure Electric Light Off-Road Vehicle Based on Cruise

YANG Jianjun

(1. School of Automobile, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;
2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Business University, Wuhan 430056, China)

Abstract: According to the design requirements of pure electric light off-road vehicle in the initial development stage, parameter values of main parts in vehicle drive system are obtained through theoretical calculation. Based on the theoretical analysis of automobile dynamic performance and economy, the vehicle modeling and performance simulation are analyzed by the Cruise simulation software, the assessment results of vehicle dynamics and economic performance are obtained and compared to the expected value of theory. Then, the feasibility of Cruise simulation software application in the pure electric light off-road vehicle drive system development are verified.

Keywords: electric vehicle; drive system; modeling and simulation; dynamic performance; economy; Cruise software

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:杨建红)