

# 纯电动汽车动力性能分析与计算

姚海峰 王亚平 陈以春 任 鑫

(南京理工大学机械工程学院,南京 210094)

**摘要** 对纯电动汽车车载电动机的动力特性进行了研究分析。建立了纯电动汽车动力性能计算模型,并在 MATLAB 平台上开发了纯电动汽车动力性能仿真软件系统。基于此软件系统选取三款不同动力特性的车载电动机与三组变速箱组合进行了仿真测试,对车载电动机额定转矩、额定功率和最高转速对汽车最高车速、爬坡性能以及加速性能的影响进行了归纳总结。首次以方程形式建立了准确的纯电动汽车动力性能计算模型。

**关键词** 纯电动汽车 电动机驱动系统 动力性能

**中图法分类号** U469.72; **文献标志码** A

当前,如何降低汽车的能源消耗和环境污染已经成为了汽车工业发展的主旋律,电动汽车被认为是汽车工业近期应对这两个突出问题的主要对策和最现实的选择之一<sup>[1]</sup>。

车辆性能通常由最高车速、加速性能和爬坡性能予以描述,而车辆性能的预测是基于汽车牵引力和车速之间关系得出的<sup>[2]</sup>。对纯电动汽车牵引力和车速之间关系进行研究首先需要确定汽车动力系统输出转速与最大可输出转矩之间关系,因此对电动机的动力特性进行分析十分必要。

## 1 动力特性分析

车载电动机在低速运转情况下,由电子变换器向电动机提供的电压随着转速的增大而逐渐增高,此时电动机具有恒转矩特性;当转速逐渐增大至某一值时电动机端电压达到电源电压,这一转速值即为电动机基速。超过基速后电动机端电压保持不变而磁通随着转速增加呈双曲线形衰减,因此转矩也随着转速增加呈双曲线形下降,此时电动机具有恒功率特性<sup>[3]</sup>。综上,电动机输出转速与转矩之间

关系如式(1)所示。

$$T = \begin{cases} T_{\max}, & n < = n_b \\ \frac{9549P_{\max}}{n}, & n > n_b \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中,n 为电机转速,单位 r/min;T 为电机转矩,单位 N·m;n<sub>b</sub> 为电机基速,单位 r/min;T<sub>max</sub> 为电机额定转矩,单位 N·m;P<sub>max</sub> 为电机额定功率,单位 kW。

结合汽车牵引力与电动机输出转矩之间关系以及汽车车速与电动机转速之间关系可以得出纯电动汽车牵引力和车速之间关系如公式(2)所示:

$$F_t = \begin{cases} \frac{T_{\max} i \eta_t}{r}, & v < = v_b \\ \frac{1145.9\pi P_{\max} \eta_t}{v}, & v > v_b \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中,F<sub>t</sub> 为牵引力,单位 N;v 为车速,单位 km/h;v<sub>b</sub> 为一挡时对应于电机基速的车速,单位 km/h;η<sub>t</sub> 为传动系效率。

汽车行驶时,为了使驱动轮不打滑,必须使驱动力小于或等于地面附着力。因此对于前轮驱动汽车的牵引力还应当满足公式(3)<sup>[4]</sup>:

$$F_{t\max} \leq mg\varphi \frac{L-a}{L} \quad (3)$$

式(3)中,F<sub>tmax</sub> 为汽车最大牵引力,单位 N;φ 为路面附着系数;L 为汽车轴距,单位 m;a 为质心至前轴距,单位 m。

2010年6月3日收到

第一作者简介:姚海峰(1983—),男,河北石家庄人,硕士生,研究方向:复杂机械系统的建模与仿真。

## 2 动力性能计算模型

汽车的动力性是汽车各种性能中最基本、最重要的性能,主要由汽车的最高车速、汽车的加速性能和汽车的爬坡能力三方面的指标来评定<sup>[5]</sup>。

当纯电动汽车达到最高车速时电动机处于恒功率段运行,汽车在牵引力、滚动阻力以及空气阻力作用下处于平衡状态。此时汽车行驶方程式如公式(4)所示,由此式即可求得纯电动汽车的最高车速。

$$\frac{1145.9\pi P_{\max}\eta_t}{v_{\max}} = mgf_r + \frac{C_D A v_{\max}^2}{21.15} \quad (4)$$

式(4)中,  $v_{\max}$  为最高车速,单位 km/h;  $f_r$  为滚阻系数;  $C_D$  为风阻系数;  $A$  为汽车迎风面积,单位  $\text{m}^2$ 。

汽车的加速性能通常由汽车从 0 加速到某一车速  $v_f$  所用时间来衡量,参考传统汽车计算方法结合电动机特性分析可以发现,纯电动汽车加速时间的计算分为两种情况。当最终车速  $v_f$  小于  $v_b$  时采用式(5)计算,当最终车速  $v_f$  大于  $v_b$  时采用式(6)计算。

$$t = \int_0^{v_f} \frac{\delta m}{F_t - F_f - F_w} dv = \int_0^{v_f} \frac{\delta m}{F_{t1} - f_r mg - \frac{C_D A (3.6v)^2}{21.15}} dv \quad (5)$$

$$t = \int_0^{v_b} \frac{\delta m}{F_{t2} - f_r mg - \frac{C_D A (3.6v)^2}{21.15}} dv + \int_{v_b}^{v_f} \frac{\delta m}{F_{t2} - f_r mg - \frac{C_D A (3.6v)^2}{21.15}} dv \quad (6)$$

式中,  $\delta$  为旋转质量换算系数; 汽车速度单位为  $\text{m}/\text{s}$ 。

式(5)和式(6)中的  $F_{t1}$  和  $F_{t2}$  由式(7)、式(8)求得。

$$F_{t1} = \min \left( \frac{T_{\max} i_1 \eta_t}{r}, mg\varphi \frac{L-a}{L} \right) \quad (7)$$

$$F_{t2} = \min \left( \frac{318.3\pi P_{\max} \eta_t}{v}, mg\varphi \frac{L-a}{L} \right) \quad (8)$$

爬坡能力可由车辆的静牵引力求得,汽车以任一车速  $v$  行驶可以爬上的最大坡度可以联立公式(7)和公式(8)由式(9)求得。

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{\frac{F_t - F_w}{mg} - f_r \sqrt{1 - \left( \frac{F_t - F_w}{mg} \right)^2 + f_r^2}}{1 + f_r^2} \right) \quad (9)$$

## 3 动力性能仿真计算

### 3.1 参数设置

为便于对比分析,在基本参数设置相同的情况下选取三组不同的变速箱和三款不同的电动机按照编译好的程序进行仿真计算。

基本参数设置如下,整车质量:1 030 kg,迎风面积:2.1  $\text{m}^2$ ,风阻系数:0.3,车轮半径:0.28 m,轴距:2.462 m,质心至前轴距:1.85 m,路面附着系数:0.65,传动系效率:0.9。

变速箱参数如下,第一组各挡总传动比(包括主减速器传动比),一挡:8.53,二挡:6.42,三挡:4.87;第二组各挡总传动比,一挡:8.74,二挡:6.11;第三组各挡总传动比,一挡:5.53,二挡:3.26。

电动机参数如下,第一款额定转矩:120 N·m,额定功率:16 kW,最大转速:6 500 r/min;第二款额定转矩:104 N·m,额定功率:25 kW,最大转速:8 000 r/min;第三款额定转矩:123 N·m,额定功率:32 kW,最大转速:7 500 r/min。

### 3.2 计算结果与分析

以下采用表格形式给出计算结果,根据国标 GB/T 18385—2005 的规定在加速时间中给出 0—50 km/h、50—80 km/h 和 0—100 km/h 的三个结果。

表 1 不同组合最大车速(单位:km/h)

变速箱	电动机		
	第一款	第二款	第三款
第一组	102.31	122.39	134.42
第二组	19.41	16.51	19.96
第三组	102.35	122.4	134.42

表2 不同组合最大爬坡度(%)

变速箱	电动机		
	第一款	第二款	第三款
第一组	31.79	26.96	32.72
第二组	32.71	27.72	33.67
第三组	19.41	16.51	19.96

表3 不同组合加速时间(单位:s)

变速箱	电动机		
	第一款	第二款	第三款
第一组	9.33, 19.45, 85.35	6.81, 9.88, 29.98	5.43, 7.16, 21.14
第二组	9.29, 19.53, 85.31	6.72, 9.87, 30.01	5.36, 7.16, 21.06
第三组	10.49, 19.57, 86.51	9.18, 9.89, 32.46	7.65, 7.16, 23.35

## 4 结论

对第三部分所得结果进行分析可以得出以下结论:

(1) 纯电动汽车最高车速取决于电动机额定功率、最大转速和变速箱最高挡传动比,与电动机额定转矩以及变速箱其他挡无关。电动机额定功率、最大转速越大,变速箱最高挡传动比越小汽车最高车速越大。

(2) 最大爬坡度取决于电动机额定转矩和变速箱一挡传动比,与电动机额定功率以及变速箱其他挡无关。电动机额定转矩、变速箱一挡传动比越大最大爬坡度越大。

(3) 电动机额定转矩、额定功率以及变速箱一挡传动比对纯电动汽车的加速性能都有影响。转矩、额定功率以及变速箱一挡传动比越大汽车加速性能越好。

(4) 观察50—80 km/h 加速时间可以发现当汽车车速达到一定值时,汽车加速性能仅取决于电动机额定功率,挡位的变化对加速性能不再具有影响。

## 参 考 文 献

- 1 刘清虎. 纯电动汽车整车能量建模与仿真分析. 长沙:湖南大学机械与汽车工程学院. 2003
- 2 Ehsani M, Gao Yimin. 现代电动汽车、混合动力汽车和燃料电池—基本原理、理论和设计. 倪光正,倪培宏,熊素铭,译. 北京:机械工业出版社,2006;37
- 3 Rahman Z, Ehsani M, Butler K. An investigation of electric motor drive characteristics for EV and HEV propulsion systems. Society of Automotive Engineers (SAE) Journal, Warrendale, PA, 2003;14
- 4 张铁臣. 电动汽车动力性的仿真. 保定:河北工业大学. 2004
- 5 张文春,纪峻岭,冯 樱. 汽车理论. 北京:机械工业出版社,2007

## Analysis and Calculation of Dynamic Characteristics for PEV

YAO Hai-feng, WANG Ya-ping, CHEN Yi-chun, REN Xin

(School of Mechanical and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, P. R. China)

[Abstract] The dynamic characteristics of the motor for pure electric vehicles (PEV) has been analyzed, dynamic performance model for pure electric vehicles has been established, and corresponding simulation software system has been developed on Matlab platform. Based on the software, three motors and three gear-boxes are integrated to simulate vehicle's running condition. The effects of torque, power and maximum rotate speed of motor upon the tractive performance of pure electric vehicles are researched and summarised, such as the maximum speed, climbing performance and accelerative performance. The innovation is that dynamic performance for PEV are established by exact formulation.

[Key words] pure electric vehicle      motor driven propulsion system      dynamic performance