

文章编号:1671-6833(2011)06-0071-04

## 电动场地教练车动力系统匹配设计与仿真研究

冯 镇<sup>1</sup>, 马 建<sup>1</sup>, 蹇小平<sup>1</sup>, 肖寿高<sup>2</sup>

(1. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 陕西重型汽车有限公司, 陕西 西安 710200)

**摘 要:** 将 SANTANA LX 场地燃油教练车改制为电动教练车, 根据教练场地的特点提出动力性能要求, 对驱动电机进行计算选型, 并确定动力电池的容量及类型, 进行动力系统匹配设计; 使用 advisor 软件进行动力性能仿真, 仿真结果为: 车辆的最高车速为 44 km/h, 车速在 9.7 km/h 时的最大爬坡度为 13.6%, 满足设计的动力性能要求; 最后对改制教练车进行动力性能试验, 试验结果为: 最高车速为 40.22 km/h; 爬坡车速为 8.7 km/h, 实际爬坡度为 12%; 并可在 12% 的坡道上完成半坡起步; 试验结果进一步验证动力性能与设计相符合, 此改制教练车可在驾校中推广应用。

**关键词:** 电动教练车; 教练场地; 动力系统; advisor 仿真; 试验

**中图分类号:** U464.136

**文献标志码:** A

### 0 引言

环境污染与能源枯竭是目前汽车工业所面临的两大棘手问题。纯电动汽车作为一种低能耗零排放的交通工具, 在一定程度上缓解了环境能源问题, 是今后全球汽车行业的必然发展趋势。

场地教练车大部分时间都在进行场地科目二训练, 此时教练车处于怠速, 低速工况运行, 发动机处于高油耗高污染区域工作, 其油耗与排放都比较高, 不仅增加了驾校的训练成本, 对环境也造成严重污染, 而且在一定程度上降低了培训质量。本设计所选的样车为 SANTANA LX, 这是由于普桑车型在陕西驾校教练车数量中占 70% 左右。根据场地教练车的工作特点, 将场地燃油教练车 SANTANA LX 改制为纯电动教练车, 不仅降低了教练车的油耗、排放及驾培成本, 也对道路运输行业的节能减排工作起到促进作用。

### 1 场地教练车动力性能要求

根据教练车场地及其行驶工况特点, 确定样车 SANTANA LX 的动力性能指标如下:

- (1) 教练车辆最高车速为 40 km/h;
- (2) 教练车场地最大爬坡度为 15%;
- (3) 根据教练车的运行工况, 对车辆加速时

间不予考虑。

### 2 驱动电机的参数确定

#### 2.1 电机功率确定

电动汽车的功率计算公式<sup>[1]</sup>如下:

$$P = \frac{1}{\eta} \left( mgf \cos \alpha + \frac{AK_D v^2}{21.15} + mg \sin \alpha + m \delta v \frac{dv}{dt} \right) \quad (1)$$

式中:  $m$  为电动教练车的总质量, kg;  $f$  为路面滚动阻力系数;  $K_D$  为空气阻力系数;  $A$  为电动教练车行驶方向的迎风面积,  $m^2$ ;  $\alpha$  为坡道角度, 单位为度,  $\alpha = \arctan i$ ,  $i$  为爬坡度;  $\delta$  为电动汽车转动质量的换算系数;  $v$  为电动车辆的行驶速度, km/h;  $\frac{dv}{dt}$  是车辆的速度变化率, 即加速度,  $m/s^2$ ;  $\eta$  为传动效率。

当电动教练车以最高车速行驶时, 则此时车辆加速度与爬坡度可忽略不计, 代入式(1)得到电机最大功率  $P_{1\max}$ ; 当电动教练车以最大爬坡度爬坡时, 此时车辆加速度忽略不计, 代入式(1)得到电机最大功率  $P_{2\max}$ 。则电机的最大功率  $P_m$  应为

$$P_m \geq \max \{ P_{1\max}, P_{2\max} \}$$

电机的额定功率<sup>[2]</sup>为:

收稿日期: 2011-05-01; 修订日期: 2011-07-21

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200431881213); 陕西自然科学基金资助项目(SJ08E215)

作者简介: 冯镇(1984-), 女, 陕西铜川人, 长安大学博士研究生, 主要研究方向为新能源车理论及技术, E-mail: 412847499@qq.com.

$$P = \frac{P_m}{\lambda} \quad (2)$$

式中:  $\lambda$  为电机的过载系数,取值范围为 2~3.

## 2.2 电机最大扭矩确定

电机输出扭矩公式为:

$$T_M = \frac{F_d r}{\eta i i_0} \quad (3)$$

式中:  $F_d$  为车轮的驱动力;  $r$  为车轮滚动半径;  $i_0$  为主减速比;  $i$  为变速器档位传动比.

电机的最大扭矩是电动教练车在最大坡度爬坡时的性能下得到的,此时车辆的加速度忽略不计且车速为一档的车速,则电机的最大扭矩<sup>[3]</sup>为

$$T_{Mmax} = \frac{r}{\eta i_1 i_0} \left( mgf \cos \alpha + \frac{AK_D v_1^2}{21.15} + mg \sin \alpha \right) \quad (4)$$

式中:  $i_1$  为电动教练车一档传动比;  $v_1$  为一档的车速.

## 2.3 电机最高转速确定

电机的最高转速为:

$$n_{max} = \frac{v_m i_0}{0.377 r} \quad (5)$$

式中:  $n_{max}$  为电机的最高转速;  $i_m$  为车辆最高档传动比.

## 3 动力电池的确定

蓄电池的分类有许多种,本设计选择铅酸蓄电池为动力电池.

### 3.1 动力蓄电池组电压

动力蓄电池组的电压与电机的额定电压相等,按电机电压确定原则选定电机的额定电压后,动力蓄电池组的电压确定.

### 3.2 动力蓄电池组能量确定

动力电池的能量与电动汽车的续驶里程相关,续驶里程由电动汽车行驶的平均速度确定,其计算公式为

$$W_1 = \frac{P_1 S}{v_{平均}} \quad (6)$$

式中:  $W_1$  为电动教练车行驶完续驶里程所需的能量,Wh;  $P_1$  为电动汽车以平均速度  $v_{平均}$  行驶时的功率,kW;  $S$  为续驶里程,km.

所选动力电池的能量应大于等于  $W_1$ .

### 3.3 动力蓄电池组容量确定

动力电池的容量表示电池存储电量多少,它

的大小决定着电动汽车的续驶里程.由公式:

$$Q_1 = \frac{P_2}{U} \cdot t \quad (7)$$

式中:  $Q_1$  为电动教练车以最高车速行驶时所需的电池容量,C;  $P_2$  为电动教练车以最高车速  $v_{max}$  行驶时的功率,kW;  $U$  为动力电池电压,V;  $t$  为电动汽车的行驶时间,h.

所选动力电池的容量  $Q$  应大于最高车速行驶工况下电动汽车所需的电池容量  $Q_1$ .

## 4 电动教练车驱动系统参数确定

SANTANA LX 整车参数见表 1,变速器一档传动比  $i_1 = 3.455$ ,最高档传动比  $i_m = 0.909$ .一档车速  $v_1 = 10$  km/h,主减速比  $i_0 = 4.111$ ,其中道路滚动阻力系数  $f = 0.019$ ,空气阻力系数  $C_D = 0.28$ ,传动效率  $\eta = 0.912$ ,电机过载系数  $\lambda = 2.5$ .

表 1 SANTANA LX 整车参数

Tab.1 Vehicle parameters of SANTANA LX

技术参数	数值
长×宽×高/mm	4 546 × 1 690 × 1 427
轴距/mm	2 548
前轮轮距/mm	1 414
后轮轮距/mm	1 422
整备质量/kg	1 030
整车总质量/kg	1 460
轮胎型号	185/70SR13

将以上参数带入式(1)~(5),得出电机额定功率为 3.9 kW,电机的最大扭矩 42.75 Nm,电机的最高转速 2 400 r/min,通过市场调研与资料查阅,参照计算所得的电机参数,选择了常州杨氏电机有限公司生产的电机,该电机是电动汽车专用的 XQ 系列串励直流电机,型号为 XQ-4.2-3D,其额定电压为 72 V,额定功率为 4.2 kW,额定电流 70 A,额定转速 2 800 r/min 最高转速 5 000 r/min.

根据所选电机参数,确定动力蓄电池组电压为 72 V.动力蓄电池组能量的确定需知道教练车的续驶里程,通过在教练场地调研教练车科目二的行驶工况,见表 2,并进行数据处理后知教练车每天工作约 8 h,一天的续驶里程约为 137.91 km,表中速度时间均是平均值.

将参数  $v_{平均} = 28$  km/h;  $P_1 = 2.6$  kW;  $S = 137.91$  km;  $v_{max} = 40$  km/h;  $P_2 = 5.44$  kW;  $t = 8$  h;  $U = 72$  V 代入式(6),(7)得:  $W_1 = 12.814$  kWh,  $Q_1 =$

2 174 400 C. 选择明泰型号为 6-D-120 的铅酸蓄电池 6 块,循环次数 400~500 次,串联动力蓄电池的额定电压为 72 V,动力电池组容与能量大小均满足设计要求.

表 2 科目二行驶工况

Tab.2 Running condition of subject two

科目内容	速度/(km·h <sup>-1</sup> )	时间/s
起步	8	3.89
直道	15	46.11
限速	10	27.45
连续障碍	7	60.94
直道	19	32.88
弯道	8	53.11
半坡起步	0	38.65
起伏路	13	26.86
百米加减档	24	26.52
直道	25	17.99
单边桥	8	54.96
直道	19	20.9/
连续障碍物	7	53.65
直道	20	49.76
侧位停车	0.5	20.54

5 基于 ADVISOR 电动场地教练车动力性能仿真

使用的仿真软件是 Advisor 2002,该软件属于混合仿真方法,它主要采用的是后向仿真方法,当后向仿真计算进行完后,再进行前向仿真计算,以辅助后向仿真<sup>[4]</sup>;因此 Advisor 仿真软件的仿真速度与仿真的精确度都比较理想.

选择 CYC\_NYCC 道路循环<sup>[5]</sup>,动力性能仿真结果见图 1 至图 3 所示.

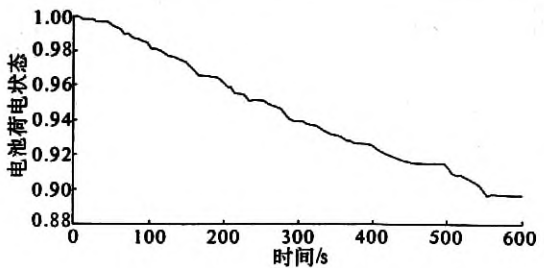
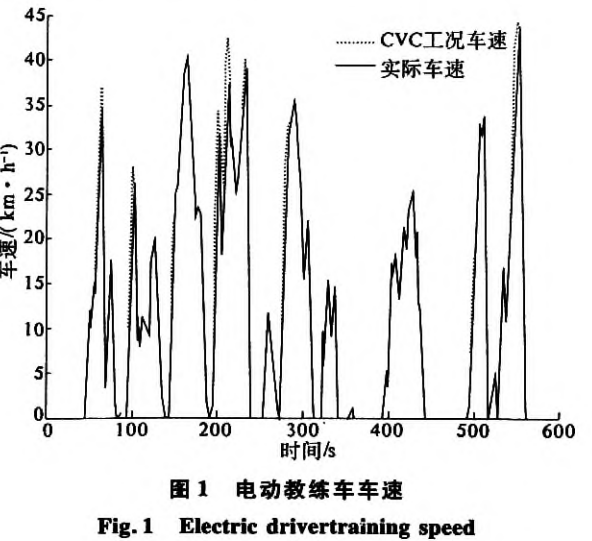


图 2 电池剩余电量变化曲线  
Fig.2 Change curves of Battery dump energy

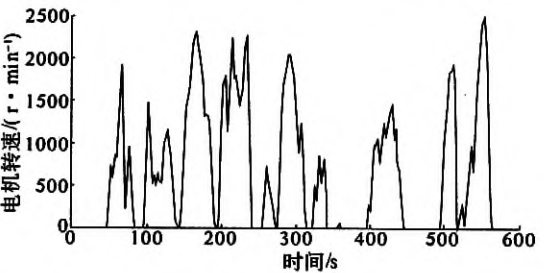


图 3 电机实际输出转速  
Fig.3 Motor actual output speed

仿真结果如下:车辆的仿真最高车速可达到 44 km/h,设计最高车速为 40 km/h;车速在 9.7 km/h 时的最大爬坡度为 13.6%,而设计车速在 10 km/h 的最大爬坡度为 15%;0~40 km/h 所需时间 13.8 s,20~40 km/h 所需时间 8.4 s,0~50 km/h 所需时间 20.3 s.

6 动力性能试验

参照国标 GB/T 18385—2005《电动汽车动力性能试验方法》<sup>[6]</sup>,设计了 SANTANA LX 电动场地教练车动力性能试验方案.由于教练车考虑到场地及运行工况的特点,因此动力性能试验主要是进行最高车速与爬坡能力的试验,如图 4 所示,而加速性能试验为附加试验.并按照教练车的行驶工况,见表 2,对所设计的教练车进行了续驶里程试验,如图 5 所示.



图 4 坡道试验  
Fig.4 Gradeability test



图 5 续驶里程试验  
Fig.5 Mileage range test

试验结果分析如下:30 min 最高车速的设计值为 35 km/h,试验值为 31.922 km/h;设计的最高车速为 40 km/h,试验值为 40.22 km/h;设计车

辆的爬坡度为 15%, 爬坡车速为 10 km/h, 实际爬坡度为 12%, 车速为 8.5 km/h; 并可在 12% 的坡道上完成坡道起步. 0 ~ 40 km/h 加速时间为 27 s. 设计的续驶里程为 137.91 km, 试验得到的续驶里程为 91.2 km. 由试验结果知所设计的电动教练车动力性能基本符合教练场地要求, 满足充满一次电基本工作 6 ~ 7 h. 由于安装的动力电池容量比设计的动力电池容量小, 且电机散热不理想等, 因此导致续驶里程结果偏小.

## 7 结论

根据燃油教练车的动作特点, 选择了电动汽车传统传动方案; 通过计算校验确定了电动教练车的驱动电机与动力电池类型及大小, 并进行实车仿真与试验, 由结果知 SANTANA LX 电动教练车的动力特性如爬坡度、车速等, 基本上达到了设计的动力性能要求, 动力匹配方案是合理的, 所选择的电机与动力电池可满足场地教练车的动力性能, 也基本满足续驶里程的要求, 因此所设计的电动教练车可代替驾校场地培训中的燃油教练车,

实用意义很大.

笔者所建立的仿真模型是合理的, 为今后同类型电动车辆的仿真提供了一个具有指导性意义的平台, 并缩短了电动教练车的开发时间, 提高了开发设计效率.

## 参考文献:

- [1] 陈全世. 先进电动汽车技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 200 - 219.
- [2] 余志生. 汽车理论[M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2006: 2 - 31.
- [3] 姬芬竹, 高峰, 周荣. 纯电动汽车传动系参数匹配的研究[J]. 汽车科技 2005(6): 22 - 24.
- [4] 张翔, 赵韩, 钱立军, 等. 电动汽车仿真软件 ADVISOR[J]. 汽车研究与开发, 2003(4): 14 - 16.
- [5] 尹安东, 王泽平, 赵韩, 等. 基于 ADVISOR 的电动汽车动力性能仿真分析[J]. 客车技术与研究, 2007(1): 8 - 11.
- [6] GB/T 18385—2005, 电动汽车动力性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

## Research on Dynamic System Matching and Simulation of Electric Field Drivertraining

FENG Zhen<sup>1</sup>, MA Jian<sup>1</sup>, JIAN Xiao-ping<sup>1</sup>, XIAO Shou-gao<sup>2</sup>

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Shaanxi Automobile Group Co. Ltd, Xi'an 710200, China)

**Abstract:** It transformed the SANTANA LX fuel drivertraining to electric drivertraining and put forward the dynamic performance requirements on the basis of training field characteristics. Then we selected the type and size of drive motor and determined the capacity and type of power battery; completed dynamic system matching design. We conducted the dynamic performance simulation with advisor software, the simulation results which satisfied the designed dynamic performance requirements are as follows: vehicle for maximum speed is 44km/h, the maximum gradeability is 13.6% at the vehicle speed of 9.7km/h. Finally we did the dynamic performance testing for the designed vehicle, the test results which further verified that dynamic performance was in accordance with the designed dynamic system are as follows: vehicle for maximum speed is 40.22km/h, the maximum gradeability is 12% at the vehicle speed of 8.7km/h, and the vehicle achieves the gradeability started at 12%. The restructuring could be widely used in driving school.

**Key words:** electric drivertraining; training field; dynamic system; advisor simulation; test