

基于 AVL-Cruise 的混合动力城市客车仿真分析

姜春生, 廖颖慧, 回春, 郑华康

(中汽研汽车检验中心(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 在分析串联式混合动力汽车的工作原理和动力性、经济性的基础上, 以某后驱的串联式混合动力城市客车为研究对象, 运用 AVL-Cruise 软件建立模型, 采用更符合中国实际的中国城市公交典型工况对该客车进行仿真, 分析其爬坡性能和加速性能。仿真结果表明其动力性满足要求, 与实车性能基本吻合。

关键词: 汽车; 串联式混合动力城市客车; 动力性; 经济性; 仿真分析

中图分类号: U469.72

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)03-0012-04

新能源汽车作为汽车技术发展的主流趋势, 引领着汽车产业转型升级。在城市交通工况下, 由于车辆频繁起停, 其经济性较差。串联式混合动力汽车不仅结构简单, 能满足城市道路行驶要求, 还能提升其经济性, 减少环境污染。该文主要对串联式混合动力客车进行建模仿真分析。

1 串联式混合动力汽车的工作原理

串联式混合动力汽车的动力单元一般由发动机、发电机、驱动电机构成, 三者串联起来组成驱动系统(见图 1)。发电机由发动机串联并直接驱动, 发电机产生的电能为储能装置和驱动电机供电。其中驱动电机为车轮动力的直接输出源, 储能装置则在发动机和电动机之间起着能量平衡与调节作用。相对于纯电动汽车, 串联式混合动力汽车的行驶里程更长。

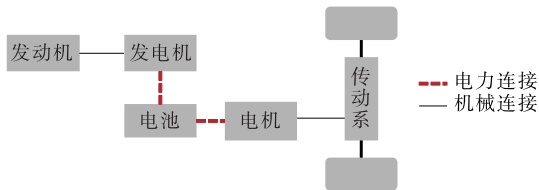


图 1 串联式混合动力汽车的结构

(1) 电池单独工作。当电池 SOC 较高、汽车刚启动时, 为避免发动机在低效率区工作, 仅由电池供电。其能量传递见图 2(a)。

(2) 发动机单独工作。当汽车行驶工况使发动机在高效率区运行且电池 SOC 高于最低限值时, 由发动机单独驱动, 其能量传递见图 2(b)。

(3) 发动机与电池一同工作。汽车速度较高、

动力电池组功率不足以单独供应行驶需求且电池 SOC 较高时, 发动机和电池联合驱动; 电池 SOC 及速度较低时, 发动机输出功率一部分用于驱动汽车, 另一部分用于电池充电。其能量传递见图 2(c)。

(4) 制动回收。当汽车制动或减速行驶且电池 SOC 低于最高值时, 汽车根据不同制动情况进行制动能量回收, 此时电机给电池充电, 其能量传递见图 2(d)。

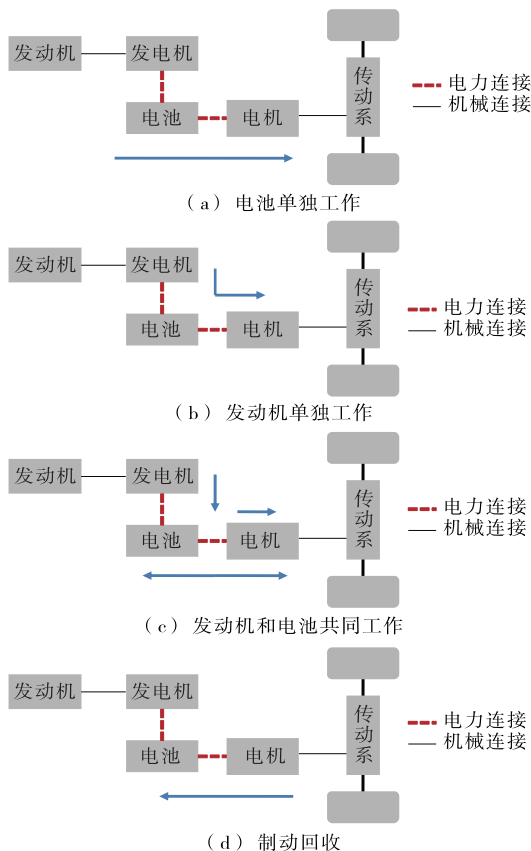


图 2 串联式混合动力汽车的能量传递

2 串联式混合动力汽车的动力性与经济性

2.1 动力性

串联式混合动力城市客车的动力性与传统燃油车辆类似,主要通过最高速度、爬坡性能和加速性能来评价。

2.1.1 最高速度

最高速度是指在良好路面上行驶时汽车所能达到的最高速度。可由驱动—行驶平衡图得到,驱动力 F_t 曲线与滚动阻力 F_f 、空气阻力 F_w 曲线的交点所对应的速度即为最高速度。其中驱动力按式(1)计算,阻力按式(2)计算。

$$F_t = \frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} \quad (1)$$

$$F_f + F_w = Gf + \frac{C_D A u_a^2}{21.15} \quad (2)$$

式中: T_{iq} 为发动机转矩 ($N \cdot m$); i_g 为变速器速比; i_0 为主传动比; η_T 为机械效率; r 为滚动半径 (m); G 为汽车总重量 (N); f 为滚动阻力系数; C_D 为空气阻力系数; A 为迎风面积 (m^2); u_a 为行驶速度 (km/h)。

2.1.2 爬坡性能

汽车最大爬坡度决定其爬坡能力,是一项重要动力性指标,按式(3)计算。

$$i = \frac{D \times \sqrt{I_g + f^2 - D^2} - f}{I_g - D^2} \times 100\% \quad (3)$$

式中: D 为动力因素; I_g 为汽车各挡传动比(忽略加速阻力)。

3.1.3 加速性能

加速性能是指汽车在良好路面上,克服空气阻力和滚动阻力后,其全部后备功率提高车辆速度的能力,用式(4)表示。

$$\delta m \frac{du}{dt} = \frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \left(Gf \cos \alpha + \frac{C_D A u_a^2}{21.15} \right) \quad (4)$$

式中: δ 为旋转质量换算系数; m 为汽车质量 (kg); du/dt 为加速度 (m/s^2)。

2.2 经济性

传统燃油车辆的经济性是指以最少的燃料消耗完成单位距离的能力,通常通过有效燃料消耗率或有效效率来评价。而串联式混合动力汽车的经济性是发动机燃油消耗和电池耗电的联合体,包括发动机效率、整车效率及能量换算关系。

2.2.1 发动机的经济性

发动机的平均工作效率 η_{eng} 为:

$$\eta_{eng} = 1 - \frac{W_M}{Q} \quad (5)$$

式中: W_M 为机械损失效率 (kW); Q 为发动机消耗的热能 (kW)。

2.2.2 整车经济性

串联式混合动力城市客车有电池和发动机两个动力源,其总能耗需要将电量和油耗转换后才能求得。根据 GB/T 19754—2005,耗电量和耗油量的换算关系为:

$$V_{fuel} = \frac{E_k \times 3\,600}{D_{fuel} \cdot Q_{fuel-low} \cdot \eta_{eng} \cdot \eta_{gen}} \quad (6)$$

式中: V_{fuel} 为等效燃料循环量 (L); E_k 为试验过程中电量消耗量 ($kW \cdot h$); D_{fuel} 为燃料密度 (g/cm^3); $Q_{fuel-low}$ 为燃料燃烧的低热值 (J/g); η_{gen} 为发电工况下发电机的平均工作效率。

结合式(5)、式(6),整车燃油经济性评价方式如下:电能消耗量 N_{EC} 按式(7)计算;百公里燃油消耗量按式(8)计算;整车效率按式(9)计算。

$$N_{EC} = E_k - W_r \quad (7)$$

$$V_{fuel} = V_h - V_r \quad (8)$$

$$\eta = \frac{W_{EC} - W_{ER}}{Q_F} \quad (9)$$

式中: W_r 为电机制动回收的能量; V_h 为百公里燃油消耗量; W_{EC} 为电机消耗的能量; W_{ER} 为电机回收的能量; Q_F 为发动机消耗的燃料。

3 串联式混合动力客车仿真分析

3.1 串联式城市客车参数

某后驱串联式城市客车的整车参数见表1,电池参数见表2,电机参数见表3,发动机参数见表4。

表1 串联式城市客车的整车参数

项目	参数值	项目	参数值
整备质量/kg	13 500	滚动阻力系数	0.012
满载总量/kg	16 500	风阻面积/ m^2	7.05
滚动半径/m	0.572	空阻系数	0.7
后桥速比	4.88		

表2 串联式城市客车的电池参数

项目	参数值	项目	参数值
单节电压/V	3.6	单节容量/($A \cdot h$)	10
电池组电压/V	538	电池组容量/($A \cdot h$)	26

利用 Cruise 软件建立图3所示电机特性曲线,其中输出转矩的正值为驱动特性,负值为发电机特

表3 串联式城市客车的电机参数

项目	参数值	项目	参数值
额定功率/kW	65	最大扭矩/(N·m)	890
最大功率/kW	130	额定转速/(r·min ⁻¹)	1 400
额定转矩/(N·m)	445	最大转速/(r·min ⁻¹)	3 200

表4 串联式城市客车的发动机参数

项目	参数值	项目	参数值
排量/L	2.98	额定功率/kW	95
气缸数	4	最大扭矩/(N·m)	340

性。在 1 450 r/min 附近为电机恒扭矩和恒功率的切换点,也就是基速。在基速之前,电机维持恒扭矩;在基速之后,电机维持恒功率特性。

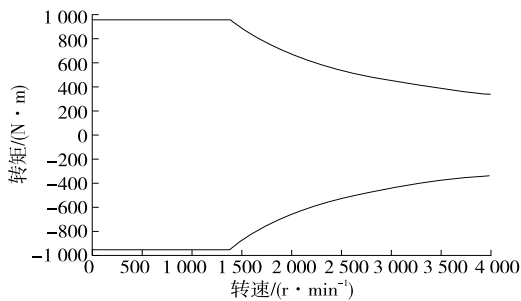


图3 电机的转矩和转速特性

3.2 整车性能要求(见表5)

表5 串联式混合动力城市客车的整车性能要求

项目	取值
加速时间/s	≤20
最高车速/(km·h ⁻¹)	≥80
最大爬坡度/%	≥18

3.3 整车建模

利用 AVL-Cruise,在各模块输入串联式混合动力客车的参数,完成车辆各部件的参数导入。根据该客车的基本结构及动力传递路线,将模块的输入与输出相连接,建立整车模型中的仿真数据流。建模流程见图4,整车模型见图5。

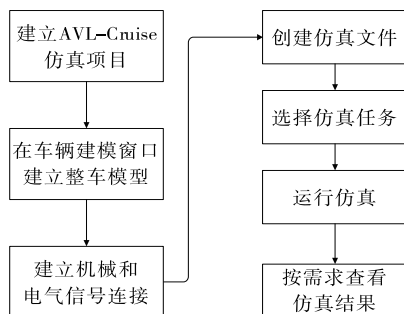


图4 串联式混合动力客车建模流程

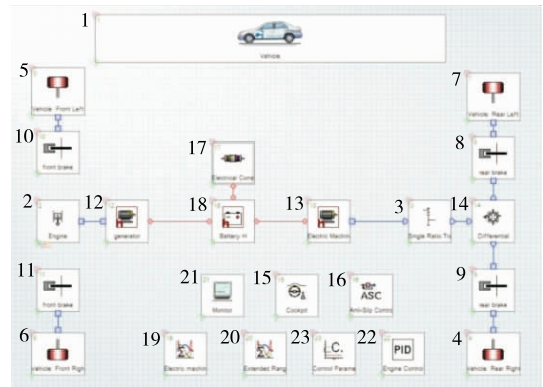


图5 串联式混合动力客车整车模型

根据仿真要求,选择和编辑相应任务并进行仿真计算。设定的计算任务有循环工况(Cycle Run)下续驶里程、爬坡能力(Climbing Performance)中的最大爬坡度、全负荷加速工况(Full Load Acceleration)下加速时间。

3.3.1 循环工况下客车的行驶状况

由于串联式城市客车主要在城市路况上行驶,为更好地反映其在道路上的实际行驶状况,选用中国城市公交典型工况进行分析:总行驶里程 5.89 km;行驶时间 1 314 s;最大行驶速度 60 km/h;平均速度 16 km/h;平均加速度 0.3 m/s²;平均减速度为 0.5 m/s²(见图6)。为更好地反映串联式城市客车的经济性,仿真采用 4 个周期。

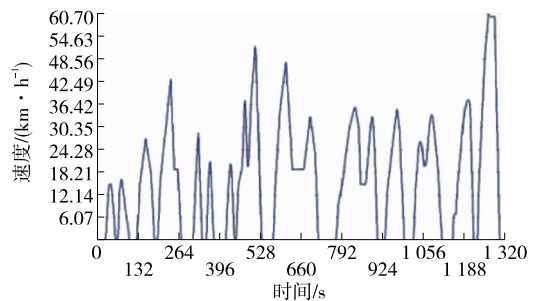


图6 中国城市公交循环工况

在中国城市循环工况下,串联式城市客车电池的 SOC 随时间的变化见图7。SOC 初始电量为 100%,随着控制方式和时间的变化,SOC 下降,且来回波动。这是由于当 SOC 低于 20%时,发动机启动,为蓄电池充电。

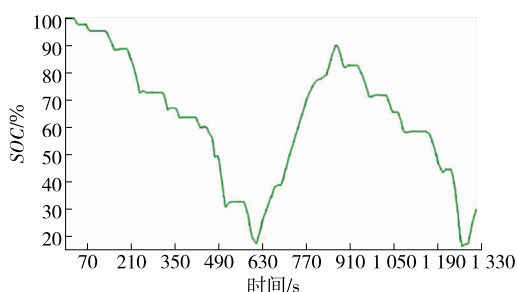


图7 串联式混合动力城市客车电池的 SOC 随时间的变化

3.3.2 客车的爬坡性能

最大爬坡度是一项重要动力性指标。在中国城市循环工况下,串联式城市客车最大爬坡度的变化见图8。由图8可知:该客车在9 km/h速度下的最大爬坡度为19.5%,而且在15 km/h速度下能维持19%以上的爬坡度。

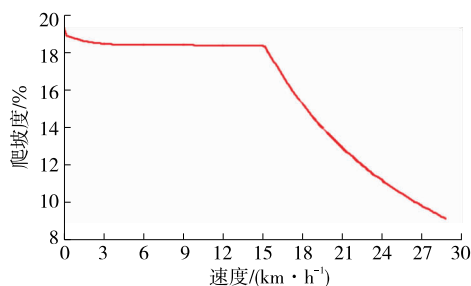


图8 串联式混合动力城市客车的最大爬坡度

3.3.3 客车的加速性能

在全负荷下,串联式城市客车的加速时间曲线见图9,该曲线体现了客车的加速性能。该车0~50 km/h的加速用时为17.6 s。由于电机在低速下输出转矩大,获得的加速度大,在高转速下输出转矩小,因而0~30 km/h的加速用时最短为7 s。其最高速度为96 km/h。

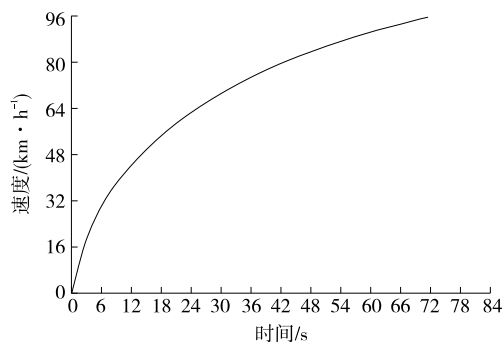


图9 串联式混合动力城市客车的全负荷加速曲线

4 结语

该文利用Cruise软件对串联式混合动力客车

的动力性和经济性进行分析。结果表明,其爬坡性能为19%,0~50 km/h的加速时间为17.6 s,最高行驶速度为96 km/h,均满足表5所示动力性要求。仿真结果与实车性能基本吻合,印证了仿真方法的合理性。在产品开发前期,利用Cruise软件进行仿真分析,能缩短试验周期,节约开发成本,为车辆设计和布置提供重要依据。

参考文献:

- [1] 沈晓义.串联式混合动力电动汽车燃油经济性仿真研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [2] 许世景.串联混合动力汽车能量管理策略优化研究[D].天津:天津大学,2013.
- [3] 申彩英.串联混合动力汽车能量优化管理策略研究[D].天津:天津大学,2010.
- [4] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [5] 徐达伟,回春.基于Cruise纯电动仿真分析[J].武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2015,37(2).
- [6] 段俊辉.不同电功率比的混合动力城市客车经济性研究[D].武汉:武汉理工大学,2012.
- [7] Shaopeng Tian, Yang Wang, Lei Wu. Parameters matching and effects of different powertrain on vehicle performance for pure electric city bus[R]. SAE Technical Paper, 2015.
- [8] 李飞强,柴结实,王宗田,等.燃料电池—动力电池电混合动力客车的仿真分析[J].客车技术与研究,2017(3).
- [9] 吴少雄.行星排混联式混合动力客车的联合仿真分析[J].客车技术与研究,2016(3).
- [10] 张金一,吴少雄.基于Cruise和Simulink的ISG城市客车联合仿真分析[J].客车技术与研究,2016(1).
- [11] 陈晓婷,王丰元,张明杰.纯电动微型轿车动力系统匹配设计与仿真[J].公路与汽运,2017(3).
- [12] 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).
- [13] 李平,卢生林,雷志,等.探究如何提升PHEV纯电续航里程[J].公路与汽运,2018(6).
- [14] 葛坚.插电式混合动力汽车复合电源系统研究[D].洛阳:河南科技大学,2015.
- [15] 王菁,谭德荣.基于Cruise的Plug-in并联混合动力客车动力参数匹配与仿真[J].农业装备与车辆工程,2012,50(7).