

基于 AVL-CRUISE 纯电动客车节能研究

白学森

(厦门金龙联合汽车工业有限公司, 福建 厦门 361023)

摘 要:对纯电动客车的能耗灵敏度影响较大的因素进行优化,最终实现整车的经济性目标。

关键词:AVL CRUISE; 纯电动客车; 节能研究

中图分类号:U468.3; U469.72

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2022)04-0022-03

Study on Energy Saving of a Pure Electric Bus Based on AVL-CRUISE

BAI Xuesen

(Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd., Xiamen 361023, China)

Abstract:This paper optimizes the factors that have more impact on the energy consumption sensitivity of pure electric buses and finally achieves the economy targets of the vehicle.

Key words:AVL CRUISE; pure electric bus; energy saving study

目前,某款 12 m 纯电动客车(整备质量 18 000 kg)的电耗为 75.76 kW·h/100 km(工况法),现新开发一款同米段纯电动客车车型,通过多方面的能耗优化措施,使其电耗量降低至 61.83 kW·h/100 km(工况法),减少约 18.4%。

1 仿真平台搭建

基于 AVL-CRUISE 搭建整车的仿真模型,其模型架构如图 1 所示,并采用中国典型城市公交循环工况^[1](以下简称 CCBC 工况)作为仿真输入,如图 2 所示。

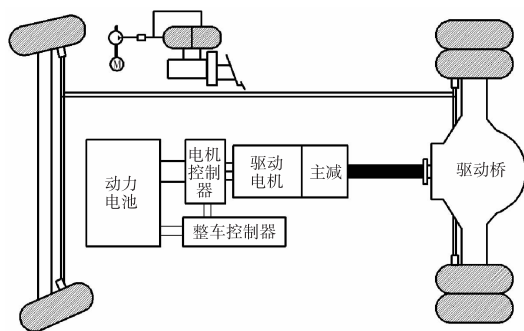
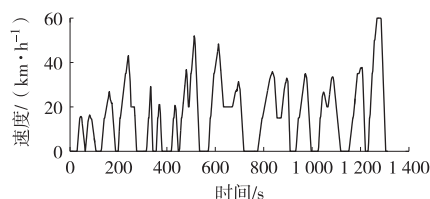
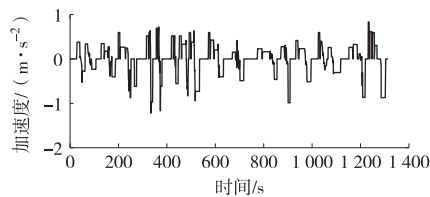


图 1 整车架构节能仿真模型



(a) CCBC 工况车速



(b) CCBC 工况加减速速度

图 2 CCBC 工况

全程时间 1 314 s,行驶距离 5.8 km,最高车速 60 km/h,平均车速 15.9 km/h,最大加速度 0.914 m/s²,最大减速度 1.543 m/s²(用负值表示)。基于该工况对纯电动客车能耗的有关敏感性参数进行仿真分析^[2]。为达到整车能耗降低 15%的目标,研究各种节能降耗措施,通过一系列的节能措施叠加最终完成降耗指标^[3]。

收稿日期:2022-04-24。

第一作者:白学森(1982—),男,助理工程师;主要从事新能源动力系统集成技术、动力性、经济性匹配、系统控制策略研究工作。

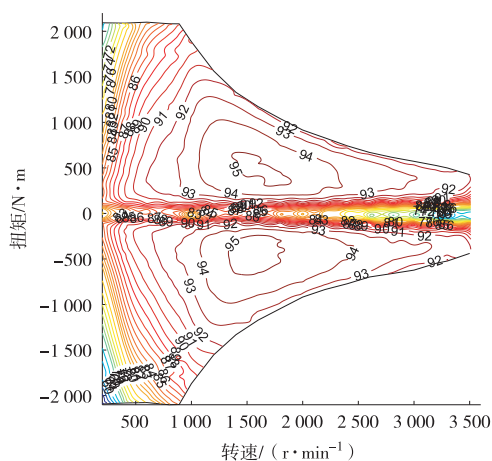
E-mail:baixs@mail.king-long.com.cn。

2 节能降耗措施

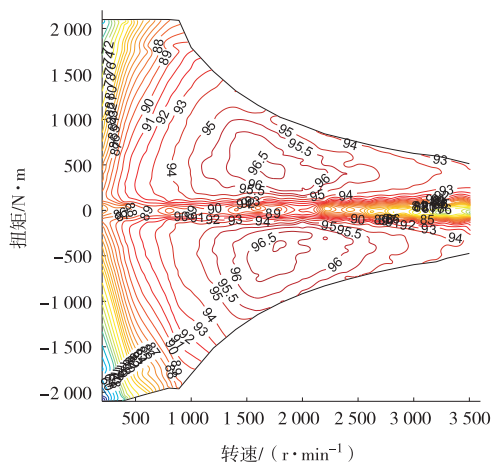
能耗降低的传统方法有降低整车行驶阻力^[4-6]和车辆的轻量化^[7-9],在此不详细叙述。本文重点研究对能耗影响较大的驱动电机效率及整车控制策略优化。

2.1 电机效率优化

根据 CCBC 工况,对电机的常用工作点进行效率优化,实现节能降耗^[10]。图3为优化前后的驱动电机效率 MAP 图。系统效率高于 95% 的占比由 3.36% 提升到 24.46%;系统效率高于 90% 的占比由 63.93% 提升到 70.71%;系统效率高于 85% 的占比由 82.76% 提升到 85.44%。



(a) 优化前



(b) 优化后

图3 驱动电机效率优化前后的 MAP 图

基于所搭建的整车仿真平台,分别导入驱动电机效率优化前后的 MAP 数据,仿真分析得到的整车

CCBC 工况能耗由 75.76 kW·h/100 km 降低到 72.68 kW·h/100 km,即驱动电机效率优化后整车能耗降低 4% 左右。

2.2 整车控制策略优化

根据 CCBC 工况建立整车行驶模型^[11],其架构如图4所示,整车行驶功率需求如图5所示,本文主要通过提升制动能量回收率,实现节能降耗的目的。

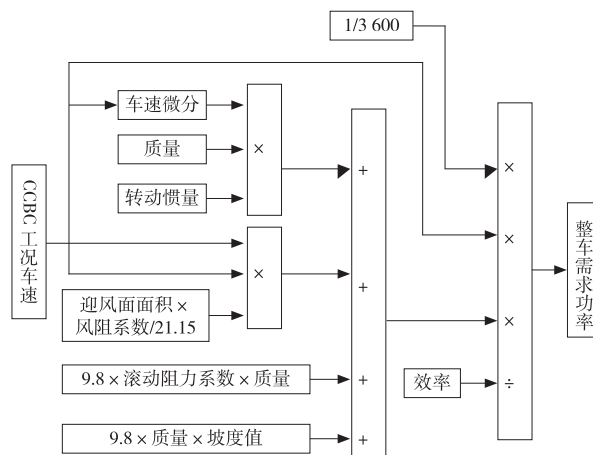


图4 整车行驶模型架构

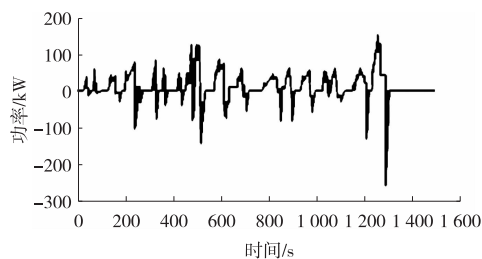


图5 整车行驶功率曲线

通过优化整车制动能量回收控制策略,提升整车制动能量回收率^[12]。基于所搭建的整车仿真模型,分别进行不同控制策略的整车能耗仿真,优化前电机的最大制动回收扭矩限值为 1 200 N·m,第一版优化控制策略将最大制动扭矩限值调整至 1 500 N·m,制动能量相比优化前回收率提升了 2.2%,电耗由 75.76 kW·h/100 km 降低到 75.02 kW·h/100 km。第二版优化控制策略将最大扭矩限值调整至 1 800 N·m,制动能量相比第一版优化回收率提升了 2.8%,电耗由 75.02 kW·h/100 km 降低到 74.16 kW·h/100 km,相比控制策略优化前制动能量回收率提升了 5%,能耗降低 3% 左右。不同控制策略下电机的工作点分析如图6和图7所示。

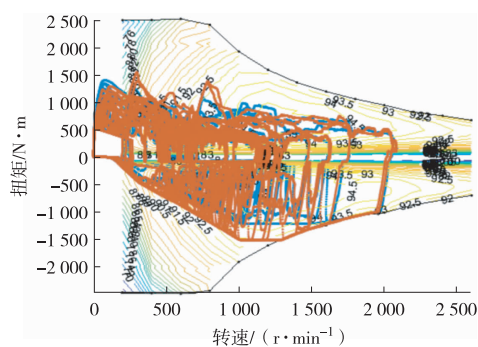


图6 控制策略优化第一版与优化前对比

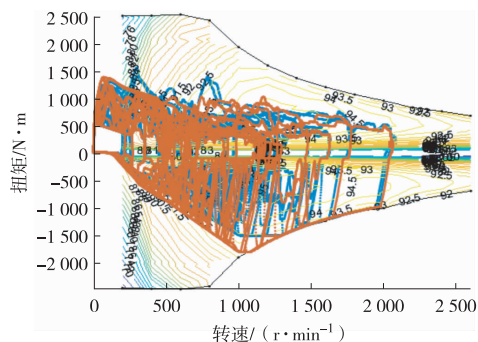


图7 控制策略优化第二版与第一版对比

3 实车验证

基于以上各能耗影响因子分析,项目组通过如下措施实现节能降耗目标:①使用复合材料进行车身轻量化设计,实现整车减重 600 kg,并优化了前脸造型以降低整车风阻系数(由 0.65 降至 0.50),电耗由 75.76 kW·h/100 km 降低到 70.32 kW·h/100 km;②在①的基础上,再采用低滚阻轮胎(滚动阻力系数约为 0.007 2)代替旧车型的普通轮胎(滚动阻力系数约为 0.009),以降低滚动阻力系数,电耗降低到 67.51 kW·h/100 km;③在①、②的基础上,再对电机控制器进行多次标定,提升了电机系统效率(平均效率提升了 3%左右),电耗降低到 64.32 kW·h/100 km;④在①、②、③的基础上,再通过调整制动 MAP 系数,优化整车制动能量回收策略(如图 7 的优化策

略),电耗降低到 61.83 kW·h/100 km。

4 结束语

本文研究纯电动客车与能耗有关的影响因子,重点围绕对能耗影响较大的电机效率及整车控制策略因子进行详细的仿真分析,并将所有影响因子在同米段的新车型进行了实车验证,为我司后续的整车节能降耗工作提供了重要的参考。

参考文献:

- [1] 张承宁,谭建,孙逢春,等. 电动公交大客车驱动系统控制特性分析[J]. 电工技术学报,2004,19(1):69-74.
- [2] 任国军,杨久青. 电动汽车动力性能分析与计算[J]. 汽车科技,2006(3):18-20.
- [3] 王震坡,孙逢春. 电动汽车能耗分配及影响因素分析[J]. 北京理工大学学报,2004(4):306-310.
- [4] 郭金刚,王军平,曹秉刚. 电动车最大化能量回收制动力分配策略研究[J]. 西安交通大学学报,2008,42(5):607-611.
- [5] 仇斌. 电动城市公交车制动能量回收过程中的能量效率研究[D]. 北京:清华大学,2011.
- [6] 邱明喆. 电驱动客车制动能量回收系统的仿真与试验研究[D]. 北京:清华大学,2014.
- [7] 吕奉阳. 纯电动客车再生制动与气压制动协调控制策略研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
- [8] 姜辉. 电动汽车传动系统的匹配及优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [9] 王猛,孙泽昌,卓桂荣,等. 电动汽车制动能量回收系统研究[J]. 农业机械学报,2012,43(2):6-10.
- [10] 陈斌. 纯电动汽车再生制动研究[D]. 重庆:重庆大学,2011.
- [11] 王耀南,刘东奇. 电动汽车机电复合制动力分配策略研究[J]. 控制工程,2014,21(3):347-351.
- [12] 刘宠誉,周荣,乔维高. 电动汽车再生制动特点及控制策略[J]. 汽车工程师,2009(10):38-40.