

# 增程式电动客车控制策略研究

郑健,张铁柱,张洪信,赵清海  
(青岛大学 机电工程学院,山东 青岛 266071)

**摘要:**在根据性能要求对某款增程式电动客车进行参数匹配和部件选型的基础上,分别借助 AVL cruise 软件和 Matlab/Simulink 软件搭建整车模型和控制策略,根据设定条件对车辆的三种工作模式进行切换,通过 PID 控制对增程模式下发动机的转速进行控制,从而达到车辆运行需求功率与发动机发出功率的动态平衡。通过 AVL cruise 和 Matlab/Simulink 的联合仿真,对所搭建控制策略的可行性进行验证分析。仿真结果表明,所搭建的控制策略实现了对整车的控制,达到预设目标,为进一步研究增程式电动客车的控制策略提供了理论依据。

**关键词:**增程式电动客车;控制策略;仿真验证

**中图分类号:**U469.72 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)06-0191-04

## Research on Control Strategy of Extended-range Electric Bus

ZHENG Jian, ZHANG Tiezhu, ZHANG Hongxin, ZHAO Qinghai

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** On the basis of parameter matching and component selection of an extended-range electric bus, according to performance requirements, the vehicle model and control strategy are built by AVL cruise software and Matlab/Simulink software respectively. The three working modes of the vehicle are switched according to the set conditions. The PID control is used to control the engine speed in the extended range mode, so as to strike a dynamic balance between the vehicle running demand power and the engine output power. Through the joint simulation of AVL cruise and Matlab/Simulink, the feasibility of the established control strategy is verified. The simulation results show that the established control strategy can be used to realize the control of the whole vehicle, achieve the preset target. The theoretical basis is provided for further research on the control strategy of the extended-range electric bus.

**Keywords:** extended-range electric bus; control strategy; simulation verification

## 0 引言

随着汽车工业的快速发展,全球环境污染和能源危机日益严重,新能源汽车取代传统内燃机汽车是必然趋势。纯电动客车作为节能减排的主要对象,其发展受到续航里程短、充电时间长的限制<sup>[1]</sup>。增程式电动客车<sup>[2]</sup>的提出,很好地解决了纯电动客车的不足,增程式电动客车兼具传统客车长续航里程和纯电动客车低污染的优势,是目前最有可能广泛发展的电动客车产品。

增程式电动客车由于驱动系统部件的增多,使其控制策略相较于传统客车更加复杂<sup>[3-6]</sup>。在相关文献中,增程式电动客车在增程模式下的控制策略,通常是依据当前动力电池 SOC 值的大小对增程器进行控制,使动力电池的 SOC 值在预设的最大值和最小值之间波动<sup>[7-8]</sup>。研究车辆运行需求功率与发动机发出功率动态平衡,从而使动力电池的 SOC 值相对稳定的文献相对较少。本文利用 AVL cruise 软件和 Matlab/Simulink 软件分别搭建仿真模型和控制策略,选取中国典型城市循环工况<sup>[9]</sup>,通过 AVL

cruise 和 Matlab/Simulink 两者的联合仿真,对所搭建的控制策略进行仿真分析。

## 1 增程式电动客车结构与参数

### 1.1 增程式电动客车结构

增程式电动客车是在传统燃油客车的基础上,加装驱动电池、驱动电机、发电机等设备<sup>[10]</sup>,使得增程式电动客车,既有纯电动客车节能环保的优点,也具有传统燃油汽车续航里程长的特点,结构如图 1 所示。

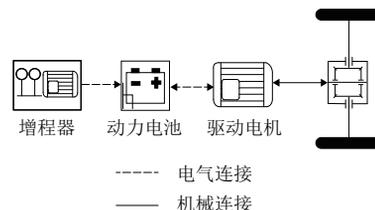


图 1 增程式电动客车结构

**基金项目:**国家重点研发计划项目(2017YFB0102004);山东省重大创新工程项目(2017CSGC0502)

**作者简介:**郑健(1992—),男,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为电动汽车智能化动力集成技术。

## 1.2 整车参数

本文中仿真用增程式电动客车的整车主要参数如表1所示。

表1 整车主要参数

基本参数	数值
最大总质量/kg	16 500
整车整备质量/kg	11 600
迎风面积/m <sup>2</sup>	7.2
空气阻力系数	0.65
车长/mm	12 000
车宽/mm	2 460
车高/mm	3 450
滚动阻力系数	0.015
轴距/mm	5 800
传动比效率	0.92
车轮动态半径/mm	512
主减速比	6.3

根据国家对混合动力汽车性能的相关要求,结合城市客车运行工况,确定整车动力性能指标和经济性能指标,具体如下:

- 1)最高车速 $\geq 70$  km/h;
- 2)原地起步 0~50 km/h,加速时间 $\leq 25$  s;
- 3)最大爬坡度 $\geq 15\%$ (对应车速 15 km/h);
- 4)纯电动续航里程 $\geq 70$  km(循环工况为中国典型城市公交工况)。

根据整车的动力性能指标和经济性能指标,对驱动电机进行参数计算和类型选择<sup>[11]</sup>,电机类型为永磁同步电机,其性能参数如表2所示。

表2 驱动电机性能参数

性能参数	数值
额定/峰值功率/(kW)	80/150
转速范围/(r/min)	0~3 000
最大扭矩/Nm	2 000

根据续航里程和循环工况对能量和功率的要求,对动力电池进行参数计算和类型选择,电池类型为磷酸铁锂电池,其主要性能参数如表3所示。

表3 动力电池主要性能参数

性能参数	数值
单体电压/V	3.2
单体容量/AH	10
串联数	180
并联数	16

根据车辆在循环工况中所需平均功率的大小,对增程器的参数进行计算,确定增程器的主要参数如表4所示。

表4 增程器主要参数

性能参数	数值
发动机排量/L	1.06
发动机最高转速/(r/min)	3 050
发电机基速/(r/min)	3 015
发电机最大扭矩/Nm	150

## 2 工作模式与控制策略

### 2.1 工作模式

根据当前动力电池SOC值的高低、车速以及车辆的制动情况,确定增程式电动客车的主要工作模式有以下三种。

#### 1)纯电动行驶模式

当动力电池的SOC值高于设定值,车辆未处于制动情况下,关闭发动机,由动力电池储存的电能驱动车辆行驶,工作模式如图2所示。

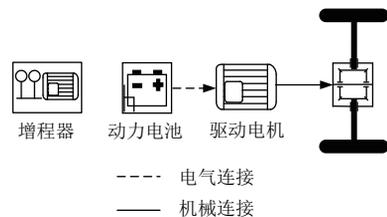


图2 纯电动行驶模式

#### 2)增程模式

当动力电池的SOC值低于设定值,且车辆未处于制动情况下,此时发动机处于工作状态,根据动力电池SOC的高低,通过PID控制,维持发动机在设定的不同转速下运转,带动发电机给动力电池充电,维持车辆行驶所需的功率,保持动力电池的SOC动态平衡,工作模式如图3所示。

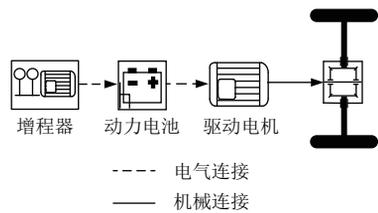


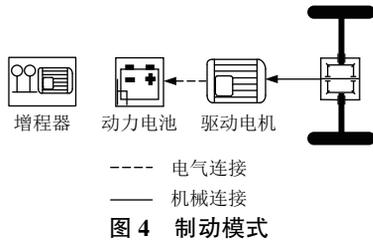
图3 增程模式

#### 3)制动模式

当动力电池的SOC值未处在最高值,且车辆在一定车速下产生制动时,驱动电机由驱动状态切换为发电状态,将制动产生的机械能转化成电能,储存到动力电池中,工作模式如图4所示。

### 2.2 控制策略

文中增程式电动客车控制策略的重点,一是根据当前车辆的状态对工作模式进行切换;二是在增程模式下,根据车辆对功率需求的变化,对发动机启动后的转速进行控制,使得动力电池的SOC在仿真工况下达到动态平衡。



增程式电动客车的控制策略主要有以下三种:恒温器控制策略、功率跟随控制策略、恒温器+功率跟随控制策略<sup>[12]</sup>。恒温器型控制策略和功率跟随控制策略各有优缺点<sup>[13]</sup>,恒温器+功率跟随控制策略综合了这两种控制策略的优点,可以使发动机和动力电池都工作在高效率区间<sup>[14]</sup>,从而达到设计目标,其逻辑图如图5所示。控制策略设定了发动机启动时动力电池的SOC以及启动后发动机需要维持的转速,并在发动机启动后,对比当前动力电池的SOC与设定值,通过PID控制来控制发动机的转速,使整个系统能够稳定、高效地运转。

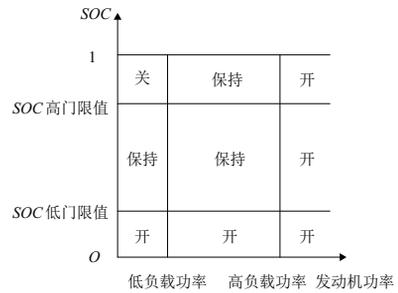


图 5 恒温器+功率跟随控制策略发动机启停逻辑

根据动力电池的特性,设定发动机启动时的动力电池的SOC值为20%,根据特定工况下车辆行驶需求的功率,参考发动机外特性与万有特性,设定发动机启动后的转速为1800 r/min,当动力电池的SOC值下降到12%时,发动机将不再依据当前的制动器制动力和车速条件而关闭。当发动机在1800 r/min转速下运行,动力电池SOC值继续下降到10%时,将发动机转速提高到3000 r/min,以满足当前功率需求,同时防止动力电池因过度放电而损坏,控制策略流程图如图6所示。

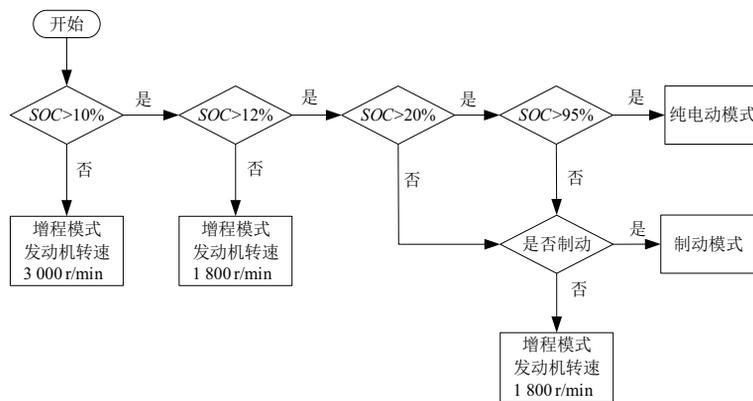


图 6 控制策略流程图

### 3 模型与仿真

#### 3.1 整车模型

利用AVL Cruise软件模块化建模方式搭建整车模型,整车模型主要由整车、增程器、驱动电机、动力电池、主减速器、差速器、制动器、车轮等模块组成,在对应模块中输入相关部件参数后进行数据总线的连接,将在Matlab/Simulink中搭建的控制策略与在AVL cruise中搭建的整车模型进行联合仿真,如图7所示。

#### 3.2 仿真分析

通过AVL cruise与Matlab/Simulink的联合仿真,对所搭建控制策略的合理性进行验证分析。仿真工况为中国典型城市公交工况,仿真里程为200km。仿真得到的续航里程、动力电池SOC、电量消耗、燃油消耗的变化过程分别如图8~图11所示。

由图11可以得到,在仿真时间为19440s时,开始产生油耗,此时发动机开启。在此之前,车辆的工作模式为

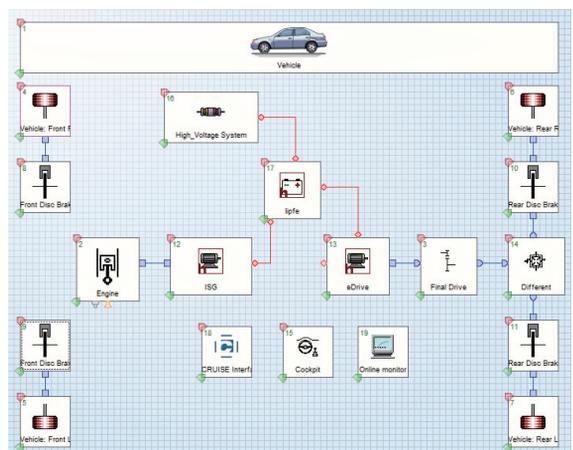


图 7 增程式电动客车模型

纯电动模式,结合图8可以得到整车的纯电动续航里程为87.04km。在0~19440s的仿真过程中,消耗电量61.68 kWh,折合百公里电耗为70.86 kWh,在26884s时,动力电池SOC降到12%,在0~26884s的仿真过程中,行驶里程为120.47 km,共消耗电量66.82 kWh,燃油5.68 L。

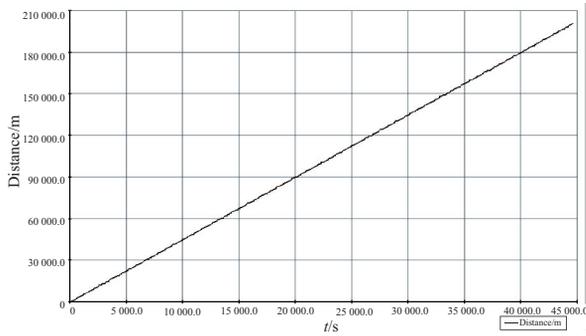


图8 续航里程

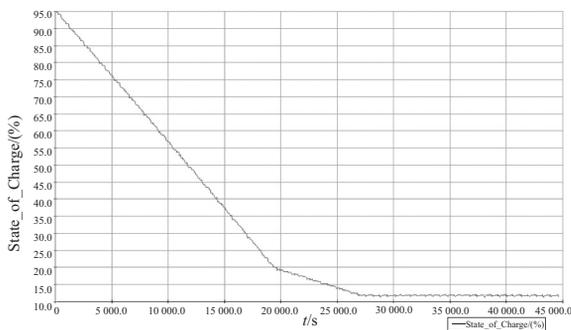


图9 动力电池 SOC

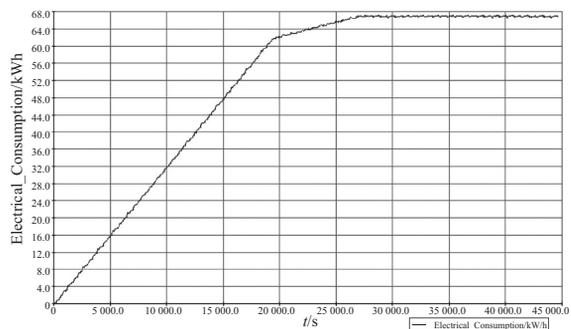


图10 电量消耗

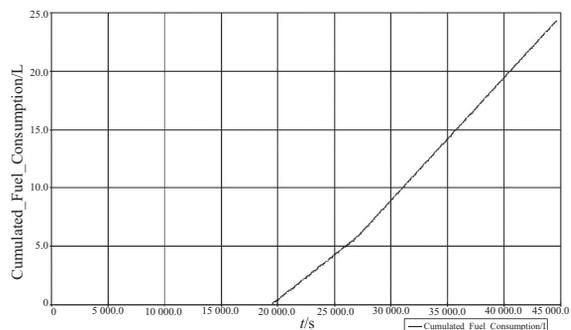


图11 燃油消耗

在剩余的 79.53 km 仿真里程消耗燃油 18.69 L,折合百公里油耗为 23.5 L。

## 4 结语

仿真结果表明,所搭建的控制策略实现了整车模型在三种工作模式之间的切换。在纯电动模式下,续航里程达到设计要求;制动模式下,制动能得到回收;增程模式下,发动机的启停以及启动后运转的转速得到有效控制,使得车辆运行所需的功率与发动机发出的功率达到动态平衡,维持发动机工作在高效率区间。

### 参考文献:

- [1] 张文亮,武斌,李武峰,等.我国纯电动汽车的发展方向及能源供给模式的探讨[J].电网技术,2009,33(4):1-5.
- [2] 殷承良,申善毅.国内外混合动力公交客车发展现状及其趋势[J].城市公用事业,2008,22(3):23-26.
- [3] CHAN C, PENG H, JEON S. Control of a hybrid electric truck based on driving pattern recognition [C]. Hiroshima: Proceeding of the AVEC, 2002.
- [4] SCHOUTCH N J, SALMAN M A, KHEIR N A. Energy management strategies for parallel hybrid vehicles using fuzzy logic [J]. Control Engineering Practice, 2003, 11(2): 171-177.
- [5] 朱诗顺,任永乐,张月滨.基于电量平衡的串联混合动力汽车瞬时优化控制[J].中国机械工程,2008,6(1):13-18.
- [6] SEBASTIEN D. Control strategy optimization for a hybrid parallel powertrain [C]. Arlington: Proceeding of the American Control Conference, 2001: 25-27.
- [7] 王若飞.增程式电动客车参数匹配及控制策略研究[J].上海汽车,2015(1):7-12.
- [8] 马尧.增程式电动中巴车动力系统参数匹配及控制策略研究[D].合肥:合肥工业大学,2014.
- [9] 叶磊,杨杰.基于中国典型城市循环工况的动力电池测试评价方法[C].无锡:2012年中国客车学术年会暨中国客车行业发展论坛论文集,中国公路学会,2017,4(25):132-135.
- [10] 贺俊杰,王耀南,申永鹏,等.增程式电动汽车控制策略的优化研究[J].计算机工程与应用,2015,51(24):205-209.
- [11] 尚江华,曹东江.增程式城市电动客车动力系统设计及仿真研究[J].河北省科学院学报,2013,30(3):18-26.
- [12] 陈欢欢.基于 Advisor 的增程式电动环卫车性能研究[D].南昌:南昌大学,2016.
- [13] 王平.串联式混合动力公交车的总体设计与仿真研究[D].合肥:合肥工业大学,2008.
- [14] 秀敏,曹珊,李君,等.混合动力汽车控制策略的研究现状及其发展趋势[J].机械工程学报,2006,42(11):10-16.

收稿日期:2019-07-09