

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2019.06.046

基于 Cruise 的纯电动客车动力传动系统优化匹配研究

秦洪艳¹,刘京静²,江发潮²

(1. 三江学院 机械与电气工程学院,江苏 南京 210012; 2. 中国农业大学 工学院,北京 100083)

摘 要:电动公交传动系统布置方式直接影响着整车的动力性和经济性,同时对电机的参数选择有较大的影响。采用多档传动系统可以提高电动公交车性能,降低对电机的要求,延长续航里程。根据 Cruise 的仿真要求,建立了纯电动公交车的整车、电机、离合器、变速器、车轮和驾驶室的数学模型。对“电机+离合器+五挡 AMT”的传动系统进行了动力性和经济性的仿真,并与“电机直驱”和“电机+两挡变速器”的传动系统动力性和经济性进行了对比。对比表明“电机+离合器+五挡 AMT”方案明显优于其他方案。

关键词:电动客车;传动系统;优化匹配;Cruise

中图分类号:U469.13;TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)06-0174-04

Study of Optimization of Powertrain Matching for Electric Bus Based on Cruise

QIN Hongyan¹,LIU Jingjing²,JIANG Fachao²

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Sanjiang University, Nanjing 210012, China;

2. Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The power train matching of the electric bus directly affects its drivability and economy. Moreover, it has some influence on the motor parameter matching. Multi-speed transmission system can be used to improve the performance of the electric bus and lower the requirement of motor performance and extend the diving range. According to the simulation requirements of Cruise, the mathematical models are established, including vehicle model, motor model, clutch model, transmission model, wheel model recockpit model. The drivability and economy of “Motor and Clutch and Five-speed AMT” transmission system are calculated, which are compared to the “Motor Direct Drive” and “Motor and Two-speed Transmission” system.

Keywords: electric bus; transmission system; optimal matching; Cruise

0 引言

根据我国国情,大力发展纯电动汽车对于合理利用资源、改善环境、提高人们生活质量、实现社会可持续发展以及实现能源结构多样化、加强我国能源安全具有极其重要的意义^[1]。电动汽车牵引电机具有较宽的工作范围,电机低速时恒转矩和高速时恒功率的特性更适合车辆运行需求。但是采用电机直驱的传动方式,不仅提高了对牵引电机性能的要求,而且会使电机长时间工作在低效率区域,浪费电池能量致使续航里程减少。为了提高整车性能,必须对其动力传动系统进行优化,保证电动汽车牵引电机既在恒转矩区提供较高瞬时转矩,又在恒功率区提供较高运行速度^[2-3]。

我国在电动汽车驱动系统方面的研究主要分为两个方向:一是研制低转速大型电机直接驱动代替传统驱动系统,以增加运行可靠性;二是研制专用变速器与常见的永磁或者异步电机匹配,达到运行要求,包括“电机直驱”、“电机+减速器”、“电机+少挡变速器”、“电机+离合器+多挡变速器”4 种方式。下面以某纯电动客车为例,借助 Cruise 对其动力传动系统的优化匹配进行研究。

1 Cruise 建模仿真分析

1.1 纯电动客车基本参数

本文所讨论的纯电动客车为 12 m 后置后驱型大型电动公交车,整车的动力系统由动力电池、驱动电机、离合器、五挡 AMT、主减速器、差速器、半轴和驱动轮组成。采用交流永磁同步电机和磷酸铁锂电池,电机与电池参数如表 1 所示。

表 1 电机与电池基本参数

参数名称/单位	参数
峰值功率/kW	150
额定功率/kW	80
最高转速/(r/min)	2 800
额定转速/(r/min)	2 200
最大转矩/(N·m)	600
额定转矩/(N·m)	350
额定电压/V	380
电池组容量/(A·h)	420

作者简介:秦洪艳(1981—),女,山东潍坊人,副教授,硕士,主要从事新能源汽车方面的研究。

1.2 整车数学模型

整车 (Vehicle) 模块是整车模型的主要部件之一,该模块包含车辆的基本数据,如相关的尺寸和质量参数。每个模型中有且仅有一个 Vehicle 模块。在计算动态轮载荷时要考虑动态因素,如加速度、空气阻力和滚动阻力等的影响^[4-6]。

1) 整车质量

计算瞬时整车质量时,当前状态下的车辆负载起决定性作用。本文中的车辆没有额外负载,因此可按照负载固定的情况来计算,此时整车质量表示为:

$$m_{act} = m(z_{load}) \tag{1}$$

式中: m_{act} 表示整车质量,kg; $m(z_{load})$ 表示在某负载下的整车质量,kg。

由插值法得到 3 种负载下的整车质量,空载时的整车质量为整车最小质量,半载时的整车质量为最大质量与最小质量的平均值,满载时的整车质量为整车最大质量,即:

$$\begin{cases} z_{load} = 0 \\ z_{load} = 1 \\ z_{load} = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m(0) = m_{min} \\ m(1) = \frac{m_{min} + m_{max}}{2} \\ m(2) = m_{max} \end{cases} \tag{2}$$

2) 质心位置

车轮载荷分配取决于惯性点的位置,

$$\begin{cases} h_{cog,act} = h_{cog}(z_{load}) \\ l_{cog,act} = l_{cog}(z_{load}) \end{cases} \tag{3}$$

式中: $h_{cog,act}$ 为实际的质心垂直高度,mm; $h_{cog}(z_{load})$ 为负载为 z_{load} 时的质心垂直高度; $l_{cog,act}$ 为实际的质心水平距离,mm; $l_{cog}(z_{load})$ 为负载为 z_{load} 时的质心垂直高度。

空载、半载和满载 3 种负载状态下的质心实际高度和水平距离由插值法来确定^[7]。

3) 阻力

阻力根据参考变量的不同有 5 种情况:固定值、与速度成函数关系、与速度成一定曲线关系、与速度无关的函数、与速度无关的曲线。本文采取与速度有关的函数来计算行驶中的各种阻力。

$$F_{res} = \frac{m_{act}}{m_{ref}} \cdot c_A + \frac{m_{act}}{m_{ref}} \cdot c_B \cdot u_a + \frac{c_w A}{c_{w,ref} A_{ref}} \cdot c_C \cdot u_a^2 \tag{4}$$

式中: F_{ref} 为阻力,N; c_A 、 c_B 、 c_C 为预设值,本文取 $c_A = 0.007\ 6$, $c_B = 0.000\ 056$, $c_C = 0$ 。

按照电动汽车的动力系统结构在 Cruise 中进行建立整车模型,如图 1 所示。

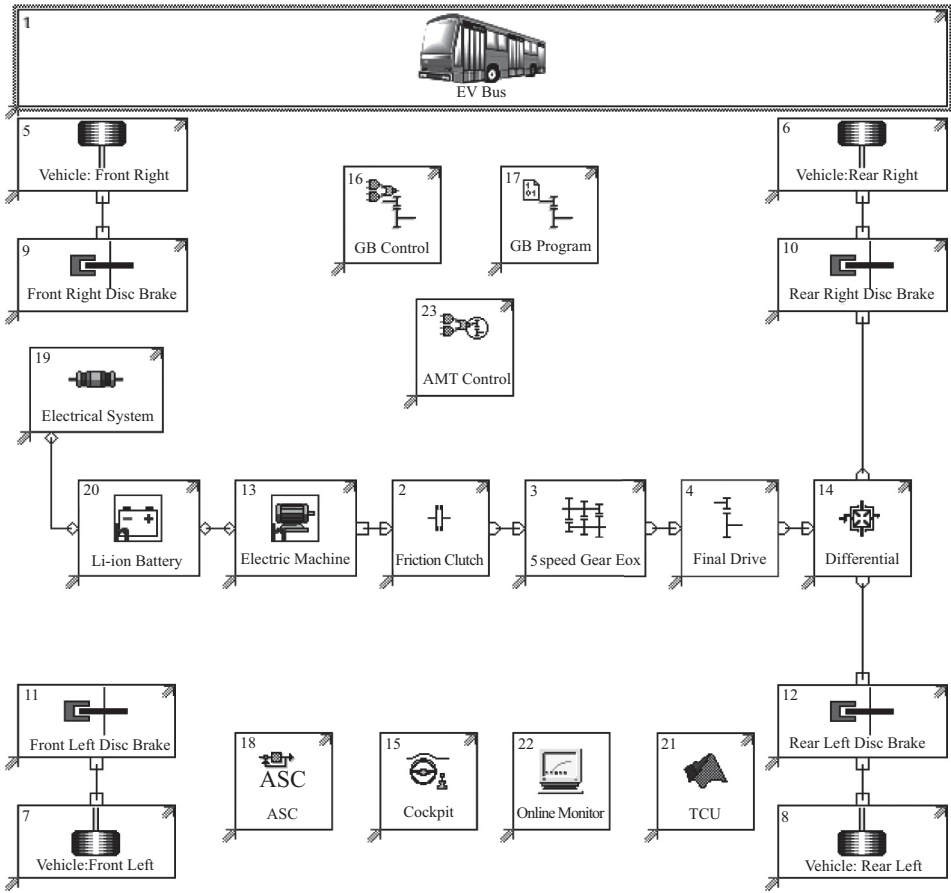


图 1 基于 Cruise 的整车模型

2 仿真结果对比

本文用到的计算任务包括:循环行驶工况 (cycle run)、

爬坡性能 (climbing performance)、稳态行驶工况 (constant drive)、满负荷加速性能 (full load acceleration) 和巡航行驶工况 (cruising)^[8]。

循环行驶工况的主要作用是计算循环工况中电机效

率和能耗的情况,可以根据需要自己定义行驶工况。行驶循环可以是和时间相关的,也可以是和路程相关的。

爬坡性能用于计算车辆的最大爬坡度。不同挡位下的最大爬坡度也可以得到。此外,可以定义不同的测量点,用于输出在该车速下的计算结果。

稳态行驶工况用于计算稳定行驶时车辆的能耗。该任务计算每一挡位下,整个电机转速范围内车辆的性能。另一个功能是计算理论和实际最高车速,这是通过改变主传动比实现的,在结果中也输出了获得理论最高车速的传动比变动系数。

满负荷加速性能用于计算加速性能,包括最大加速度计算(每一个挡位下的最大加速度)、原地起步加速性能(通过定义测量点计算连续换挡条件下车辆原地起步的加速性能)和超车加速性能(在一定挡位下从一定的起始车速加速到给定的目标车速时的加速性能)。

巡航行驶工况与循环工况计算非常相似。主要差别在于:巡航行驶工况的行驶规范中定义的是与距离相关的速度限制,且不允许超速。循环运行的行驶规范中定义的速度是行驶的目标速度。另一个不同点是巡航行驶工况计算中车辆的加速度不能超出定义的最大加速度和最大减速度。本文中用来仿真车辆在40 km/h匀速行驶时的能耗。

本文将相同的电机用于“电机+离合器+五挡变速器”、“电机直驱”和“电机+两挡变速器”3种驱动系统配置方式,对三种配置方式的仿真结果进行比较,能够直观地看出各种驱动系统配置方式的优势与劣势。其中两挡变速器的传动比为1.31和2.588。计算结果的对比分析如下。

2.1 电机效率的对比

将按照不同传动系配置方式的系统,在中国典型城市公交车循环行驶工况下行驶得到的电机效率数据导出到Matlab中作对比,如图2所示。

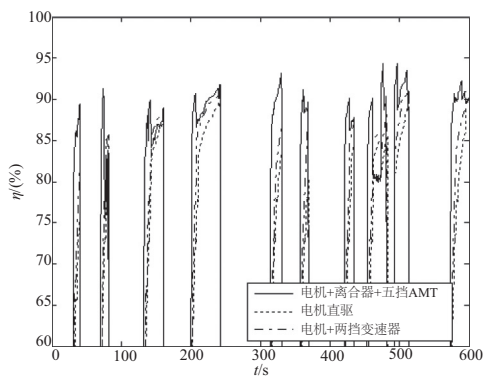


图2 3种配置方式下的电机效率对比

从图2中可以明显看出,“电机+离合器+五挡AMT”驱动系的电机效率最高,其次为“电机+两挡变速器”,最低的为“电机直驱”。这说明在使用相同电机的情况下,“电机+离合器+五挡AMT”的配置方式经济性更好。

2.2 爬坡度和最高车速的对比

将按照不同传动系配置方式的车辆行驶时能够达到

的爬坡度数据导出到Matlab中作对比,如图3所示。

从图3中可以明显看出,按照“电机+离合器+五挡AMT”配置驱动系的车辆,其最大爬坡度远高于“电机+两挡变速器”和“电机直驱”。另外,从图中还可以看出,“电机+离合器+五挡AMT”配置驱动系的车辆最高车速可达到100 km/h以上,而“电机直驱”最多只能达到80 km/h左右,“电机+两挡变速器”仅能达到60 km/h左右。这说明在使用相同电机的情况下,“电机+离合器+五挡AMT”的配置方式在爬坡度方面和最高车速方面的性能最好。

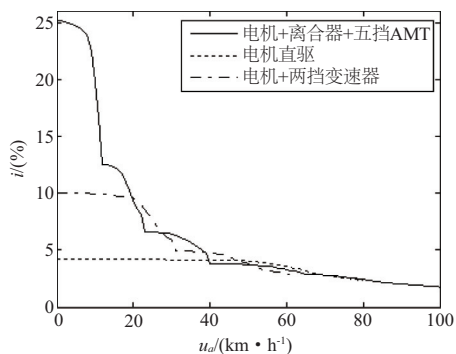


图3 3种配置方式下的爬坡度对比

2.3 0~50 km/h加速时间的对比

同样,将按照不同传动系匹配方式的系统,在中国典型城市公交车循环行驶工况下行驶得到的0~50 km/h加速时间的数据导出,用Matlab作图对比,对比结果见图4。

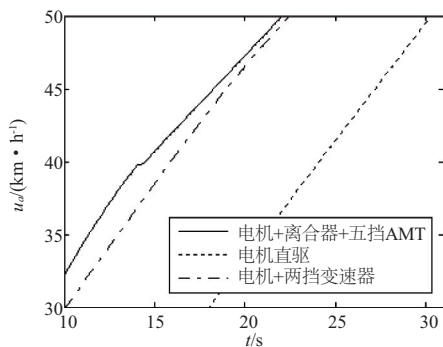


图4 0~50 km/h加速时间对比图

从图4中可以看出,“电机+离合器+五挡AMT”配置方式的汽车加速时间最短,“电机直驱”所用时间最长,说明“电机+离合器+五挡AMT”的配置方式的汽车加速性能最好。

从几项动力性指标可以看出,“电机+离合器+五挡AMT”配置方式的汽车性能都比其他两种配置方式的性能优越得多,因此想要提高车辆的动力性,增加车辆的挡位数是一种可行的办法。

2.4 基于工况的百公里能耗对比

基于中国典型城市公交循环行驶工况的百公里能耗量可以通过在当前工况行驶下电池剩余电量来反映,即电池的SOC,对比结果见图5。

从图5中可以看出,按照“电机直驱”配置驱动系的

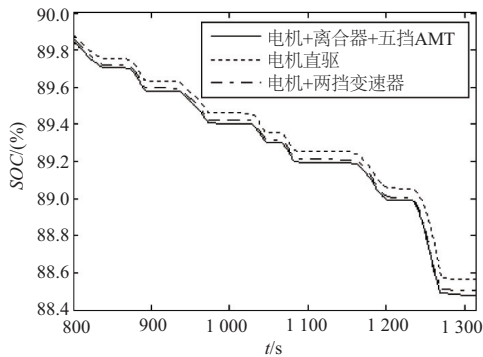


图 5 电池 SOC 对比图

车辆,其 SOC 最高,也就是基于工况的能耗最低,其次是“电机+两挡变速器”,能耗最高的是“电机+离合器+五挡 AMT”。这是因为每一个传动元件都有一定的机械效率和能量损失,传动系统元件越多,传递效率越低,传递能耗越大。

3 结语

本文利用 Cruise 软件进行了纯电动客车的动力系统匹配研究,计算了车辆在中国典型城市公交循环行驶工况下的电机效率、爬坡度、最高车速、加速时间、匀速百公里能耗等指标,并将“电机+离合器+五挡 AMT”的各项动力性指标和经济性指标与“电机直驱”和“电机+两挡变速器”进行了对比。如表 2 所示。“电机+离合器+五挡 AMT”的驱动系统配置方式,在动力性方面远优于“电机直驱”和“电机+两挡变速器”,而在经济性方面虽然略有劣势,但是差距比较小。因此综合考虑车辆动力性和经济性两方面的需求,“电机+离合器+五挡 AMT”的传动系统

配置方式是最合理的,不但能保证最高车速、最大爬坡度和加速时间等动力性要求,而且能耗较低,续驶里程符合公交车要求。

表 2 仿真结果对比

对比指标	电机+离合器+五挡 AMT	电机直驱	电机+两挡变速器
最大爬坡度/(%)	19.77	4.22	9.96
最高车速/(km/h)	102	81	61
0~50 km/h 加速时间/s	18.96	30.35	22.49
基于工况的 SOC 变化值/(%)	3.04	2.96	3.02

参考文献:

[1] 陈安红. 谈我国城市电动公交客车的开发[J]. 重型汽车, 2005(3), 15-17.

[2] 周保华. 电动汽车传动系统参数设计及换挡控制研究:[D]. 重庆:重庆大学,2010.

[3] 刘清虎,郭孔辉. 动力参数的选择对纯电动汽车性能的影响[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2003,30(3):62-64.

[4] 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.

[5] 刘灵芝,张炳力,汤仁礼. 某型纯电动汽车动力系统参数匹配研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2007,30(5):591-593.

[6] 姬芬竹,高峰. 电动汽车驱动电机和传动系统的参数匹配[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2006,34(4):33-37.

[7] 杨祖元,秦大同,孙冬野. 电动汽车传动系统参数设计及动力性仿真[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2002,25(6):19-22.

[8] 秦洪艳,江发潮. 电动客车 AMT 控制策略的 Cruise 和 Matlab/Simulink 联合仿真研究[J]. 机械传动,2016(6):47-51.

收稿日期:2018-09-21

(上接第 173 页)

参考文献:

[1] 李莉. 转向力矩特性的分析与 EPS 助力控制策略的研究[D]. 上海:同济大学,2006:39-44.

[2] SHI Guobiao, LIN Yi, ZHANG Xin, et al. Simulation of straight-line type assist characteristic of electric power assisted steering [C]. [S.I.]: SAE, 2004.

[3] 向铁明,易际明,方适. 电动助力转向系统助力特性曲线的设计[J]. 西华大学学报(自然科学版),2009,28(3):35-38.

[4] 任夏楠,邓兆祥. 驾驶员理想转向盘力矩特性研究[J]. 中国机械工程,2014,25(16):2261-2266.

[5] 陈伟. 基于 ADAMS 的电动助力转向系统助力特性研究[J]. 农业装备与车辆工程,2009(7):11-14.

[6] 欧阳伟,周兵,范璐. EPS 新型助力特性曲线设计与研究[J]. 机械科学与技术,2013,32(11):1712-1716.

[7] LEE M H, HA S K, CHOI J Y, et al. Improvement of the steering feel of an electric power steering system by torque map modification [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2005, 19(3):792-801.

[8] 张昕,施国标,林逸. 电动助力转向中间位置转向感觉分析

[J]. 公路交通科技,2009,26(7):139-148.

[9] 赵景波,周冰,贝绍轶. 电动汽车 EPS 系统阻尼工况 Bang-Bang-PID 控制[J]. 电机与控制学报,2011,15(11):95-100.

[10] 任夏楠,邓兆祥. 驾驶员理想转向盘力矩特性研究[J]. 中国机械工程,2014,25(16):2261-2266.

[11] 任夏楠,邓兆祥. 汽车 EPS 助力特性设计方法研究[J]. 机械科学与技术,2014,33(8):1225-1232.

[12] 何清华,何智成,方华,等. 某微型客车 EPS 系统车速感应系数设计与评价研究[J]. 机械科学与技术,2014,33(3):404-408.

[13] 宗长富,麦莉,王德平. 基于驾驶模拟器的驾驶员所偏好的转向盘力矩特性研究[J]. 中国机械工程,2007,18(8):1001-1005.

[14] 赵景波,周冰,李秀莲,等. 电动汽车 EPS 助力特性的设计与试验[J]. 电机与控制学报 2011,5(12):96-102.

[15] SHARP R S, GRANGER R. On car steering torques at parking speeds[C]// Proc.ImechE Part D: J. Automobile Engineering, 2003,217(2):87-96.

收稿日期:2018-08-17