

Effect of Actual Road Conditions on the Energy Consumption of Electric Vehicles

Zhicheng Sun^{1,2}, Guang Chen¹, Tianlu Dai¹, Kai Zhu¹, Kexun He¹, Su Li^{2*}

¹CATARC Automotive Test Center (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin

²Hebei University of Technology, Tianjin

Email: 15022529371@163.com, ¹1476518992@qq.com

Received: Nov. 1st, 2019; accepted: Nov. 13th, 2019; published: Nov. 20th, 2019

Abstract

In order to study the factors affecting the power consumption of electric vehicles in the actual road, three typical routes were selected in Tianjin, namely urban congestion, suburban smooth and suburban high speed, and several road tests were carried out. Then, based on a certain electric vehicle, AVL Cruise was used to establish the dynamic model of the whole vehicle system to research the influence of road condition on energy consumption of electric vehicle based on simulation of three kinds of road condition. The results show that the speed and acceleration distribution of the three kinds of road conditions are different, and the energy consumption was the highest on highway condition, the urban congestion is the second most, and the suburban smooth is the least, which indicates that the speed and acceleration in the road conditions is one of the main factors affecting the energy consumption of electric vehicles.

Keywords

Electric Vehicle, Road Test, Condition Characteristics, Energy Consumption

实际道路工况对电动汽车能耗的影响

孙志诚^{1,2}, 陈光¹, 戴天禄¹, 朱凯¹, 贺可勋¹, 黎苏^{2*}

¹中汽研汽车检验中心(天津)有限公司, 天津

²河北工业大学, 天津

Email: 15022529371@163.com, ¹1476518992@qq.com

收稿日期: 2019年11月1日; 录用日期: 2019年11月13日; 发布日期: 2019年11月20日

*通讯作者。

摘要

为了研究实际道路中影响电动汽车电耗的因素,在天津市选取了三条典型路线,分别是市区拥堵、郊区畅通和郊区高速,进行了若干次道路试验。然后以某款电动汽车为原型,运用AVL Cruise建立了整车系统动力学模型,并以此对三种工况下电动汽车的能耗进行了仿真试验,研究了道路工况特征对整车能耗的影响。结果表明三种路况下的速度、加速度分布差异较大,而且电动汽车在郊区高速路况下能耗最大,城市拥堵路况次之,郊区畅通路况下能耗最小,说明道路工况中的速度、加速度分布是影响电动汽车能耗的主要因素之一。

关键词

电动汽车,道路试验,工况特征,能耗

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,中国电动汽车市场蓬勃发展,电动汽车的续航里程越来越大,但是据调研显示电动汽车的续航里程是消费者重点关注但是满意度较低的指标之一[1][2]。

虽然中国已然是世界上新能源汽车的最大市场,但是当前对于电动汽车能耗研究仍有不足,大多数对电动汽车能耗的研究仍集中于试验室环境,在底盘测功机或转毂试验台,按照预定的试验工况进行测试,这种测试难以反映电动汽车在实际道路中的性能表现。刘成祺等人对某款增程式电动汽车在冬季时的能耗进行了测试,结果表明试验车辆在高速路况下电耗最高,在城市快速路况下电耗最低[3]。张恒嘉等人组建了纯电动汽车和辅助车组成的车队,对电动汽车在实际道路的客观性能表现及其评价方法进行了研究[4]。宋媛媛等人利用台架模拟的方法分析了车辆行驶参数(如速度、加速度)等对能耗的影响,探索了电动汽车行驶参数与电能消耗的关系[5]。

因此,本文以某款国产电动汽车为试验对象,根据天津市道路特点制定试验方案,测试了该车辆在实际道路中的运行状况,并对测试的能耗数据进行了统计分析,以讨论导致电动汽车在不同路况下能耗差异的原因。

2. 测试方案的设计

2.1. 试验对象

试验车辆采用的是某国产纯电动汽车,车辆基本参数如表1所示。

2.2. 测试路线

为了排除单一路况对车辆性能的影响,更加客观的评测道路条件对车辆的影响,在天津市内根据交通状况的不同,选取了三条典型路线。分别为市内拥堵、市内通畅和郊区高速。

1) 市区拥堵(后文简称R1,如图1):拥堵路况。

往返距离：57 km；平均车速：22.5 km/h。

路线特点：市中心、车多、人多、灯多、学校医院多。此路线要求必须在上下班高峰期开展路试。

Table 1. Basic performance parameters of the vehicle
表 1. 车辆基本性能参数

整备质量	1598
外形尺寸/mm	4631 × 1789 × 1495
电动机功率/kW(N·m)	95
电池容量 kWh	41
续航里程/km	300
驱动形式	前驱



Figure 1. Urban congestion R1 roadmap

图 1. 城市拥堵 R1 路线图

2) 郊区畅通(后文简称 R2, 如图 2): 畅通工况。

往返距离：46 km；平均车速：44.6 km/h。

路线特点：路线处于郊区，比较顺畅。

3) 郊区高速(后文简称 R3, 如图 3): 高速工况。

往返距离：52 km；平均车速：64.6 km/h。

路线特点：全程高速，车辆全程基本处于高速工况。

2.3. 试验步骤

试验员在启动车辆之后，进行路跑试验之前需要在记录车辆相关数据，确定测试路线后，开始正式试验。在路跑试验结束之后，再次记录车辆相关数据，然后用充电桩对车型进行充电，直至充满，此时记录充入电量，最后关闭车辆，至此一次路跑试验结束。试验结束后，试验数据会自动上传到云端服务器。

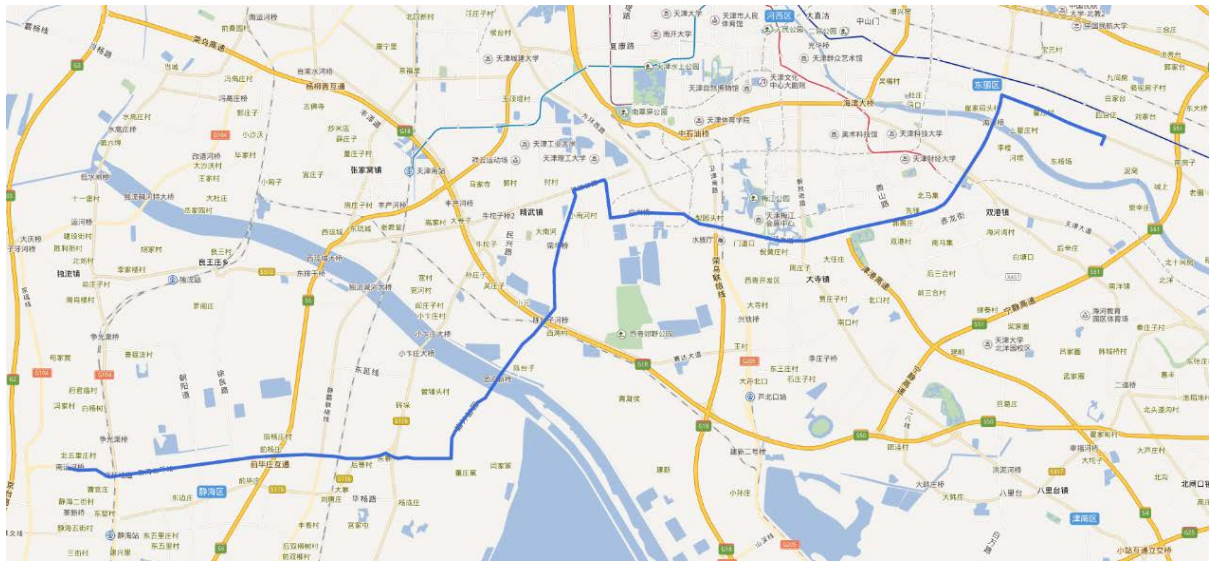


Figure 2. Suburban smooth R2 roadmap

图 2. 郊区通畅 R2 路线图



Figure 3. Suburban high speed R3 roadmap

图 3. 郊区高速 R3 路线图

2.4. 试验人员

为减小驾驶习惯对试验的影响，试验均是由一名有二十年驾龄的驾驶员完成，并尽量以相同的驾驶方式按固定路线行驶。

2.5. 基于实际道路工况的仿真分析

因为在实际道路试验中不方便布置传感器等因素，为了得到车辆电流、电压、功率等参数，本文利用 CRUISE 对车辆进行了建模，对三种实际道路的工况进行仿真试验，模型包括动力电池、电动机、主减速器、轮胎、控制系统等，如图 4 所示。将三个工况导入模型中，然后进行计算，由计算结果可知，仿真试验计算的电耗与实际电耗的误差在 5% 以内，因此可以认为车辆模型是正确的，计算结果可以反应

车辆真实的运行情况。

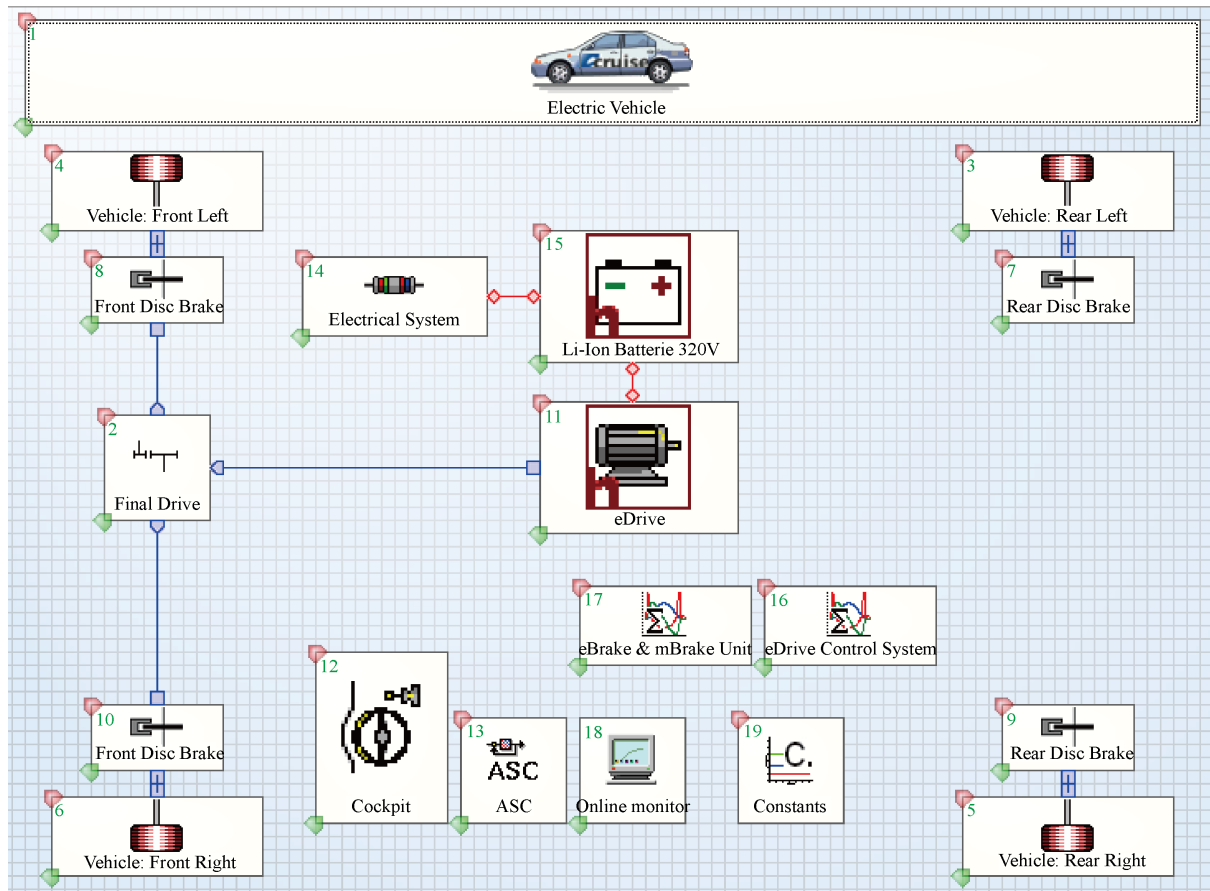


Figure 4. Simulation model of a domestic electric vehicle

图 4. 某国产电动汽车的仿真模型

3. 工况曲线及其特征分布

3.1. 工况曲线

图 5 为三个路况下的工况典型工况曲线，从图中可以看出车辆 R1 路况下车辆频繁加减速，平均速度较低；车辆在 R2 路况下车辆平均速度较高，加减速较为频繁；车辆在 R3 路况下平均速度最大，加减速频率最低。

3.2. 加减速分布

从图 6 中可以看出在拥堵路况时怠速比例最高，在高速路况时匀速比例最高。在拥堵、畅通和高速路况时加速和减速比例相差不大，都在 20%左右。这是因为在拥堵路况，车辆启停次数较多，导致怠速比例高，匀速比例小；在高速路况中车辆大部分时间都在高速行驶，因此怠速比例低，匀速比例高；在畅通工况中车辆启停次数相对于拥堵工况较少，因此怠速和匀速比例处于拥堵工况和高速工况之间。NEDC 的匀速比例相对于中国工况高 15%，这是因为 NEDC 时一个稳态工况，速度变化平稳，与实际生活中车辆实际使用状况相差较大，因此采用 NEDC 工况测得的能耗比实际能耗小[6]。CLTC 工况匀速时长占总时长的 22.83%，占比相对较小，更加接近实际使用工况。

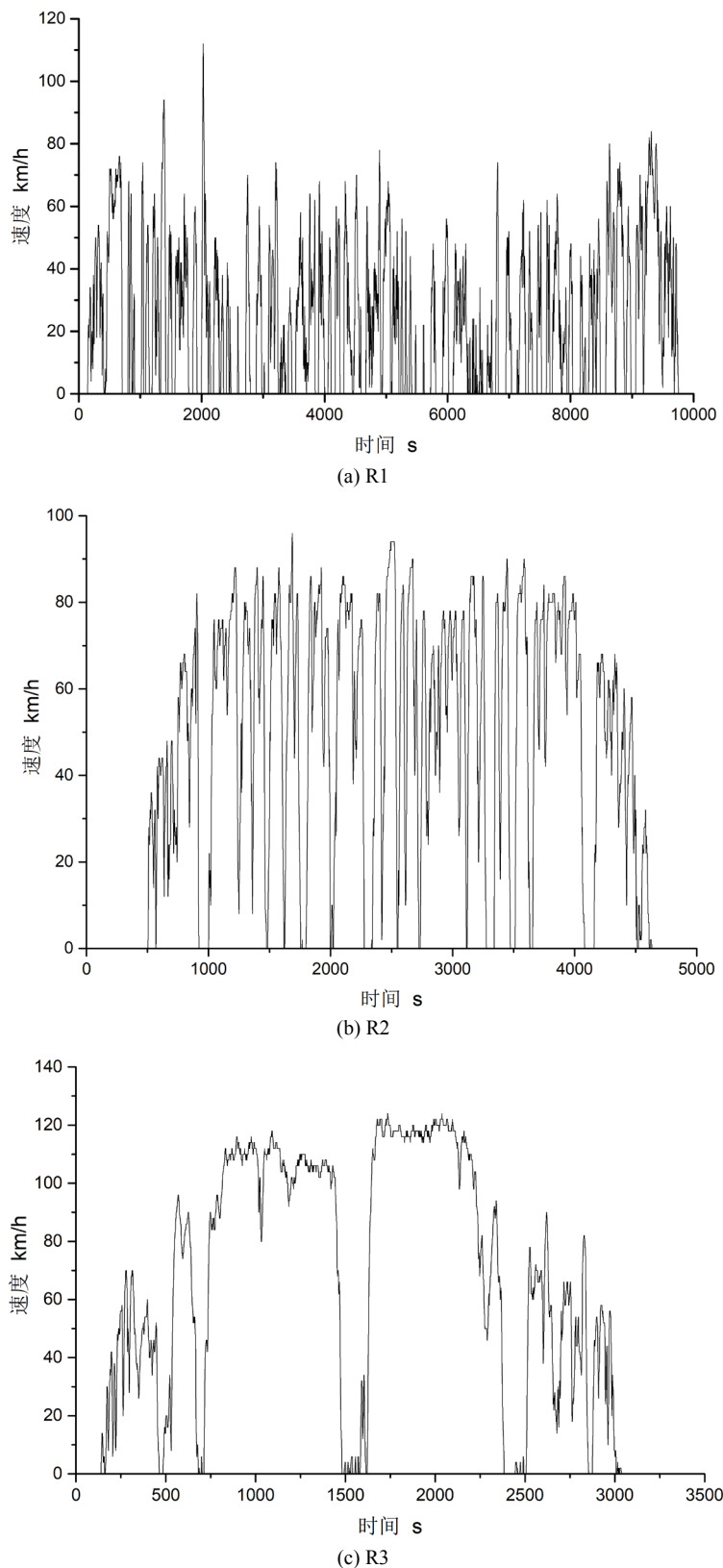


Figure 5. The operating curve of the three actual roads
图 5. 三种实际道路的状况曲线

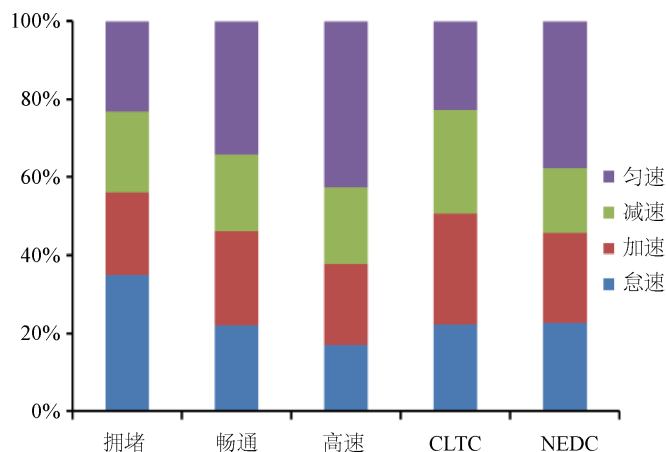


Figure 6. Speed distribution of different operating curves
图 6. 不同道路工况的加减速分布

3.3. 不同路况下车辆速度分布

图 7 为车辆在拥堵路况下的速度分布直方图, 由图 7(a)可知在 R1 路况下车辆在 30~40 km/h 区间内频率最大, 速度在 20~50 km/h 的区间占了总体的 50%以上。由图 7(b)可知在 R2 路况下车辆速度在 70~80 km/h 区间内频率最大, 速度在 60~90 km/h 区间内占总体的 50%以上。由图 7(c)可知在 R3 路况下速度在 110~120 km/h 区间内频率最大, 车辆速度在 90~120 km/h 区间占了总体的 50%以上。

3.4. 不同路况下车辆加速度分布

由图 8 可知车辆在三种路况下加速度主要分布在 $-1\sim 1\text{ m/s}^2$ 之间。车辆在 R1 路况下加减速比例基本相同, 在 R2 路况下加速的比例略大于减速比例, 在 R3 路况下车辆加速度集中分布于 $-0.5\sim 0.5\text{ m/s}^2$ 之间, 说明该路况下车辆速度波动较小, 与实际情况相符。

4. 试验结果

平均电耗试验结果

三个路况在分别进行了十五次试验, 试验时间是 2018 年 9 月和 10 月, 日平均温度在 25°C 左右。为了避免空调对能耗的影响, 试验全程没有开空调。能耗试验结果如表 2 所示。

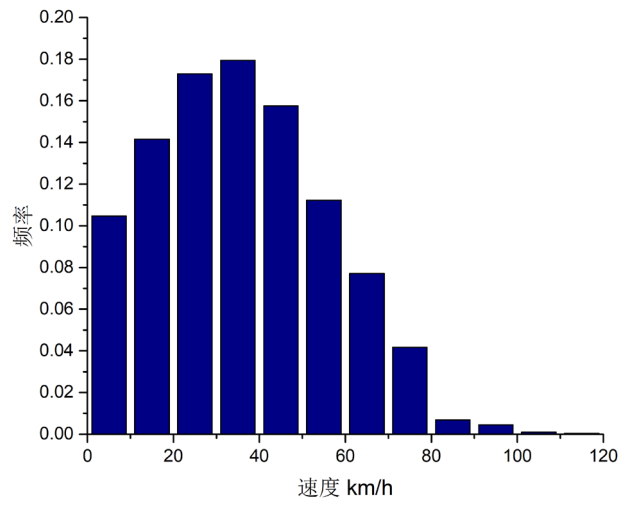
图 9 为车辆三个路况下的平均速度和平均电耗。从图中可知 R1 路况下车辆的平均速度是 22.5 km/h, 平均电耗是 14.3 kwh/100km; R2 路况下车辆的平均速度是 44.6 km/h, 平均电耗是 13.1 kwh/100km; R3 路况下车辆的平均速度是 64.6 km/h, 平均电耗 16.3 kwh/100km。

5. 能耗影响因素

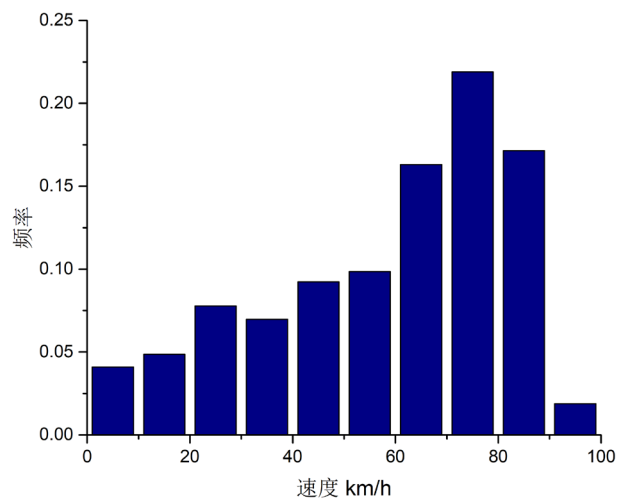
5.1. 速度对能耗的影响

三个实际道路工况下电动汽车速度 - 功率联合分布如图 10 所示(电动汽车输出功率为负, 输入为正)。当车辆减速时, 能量回馈系统会向电池充电, 此时功率为正。

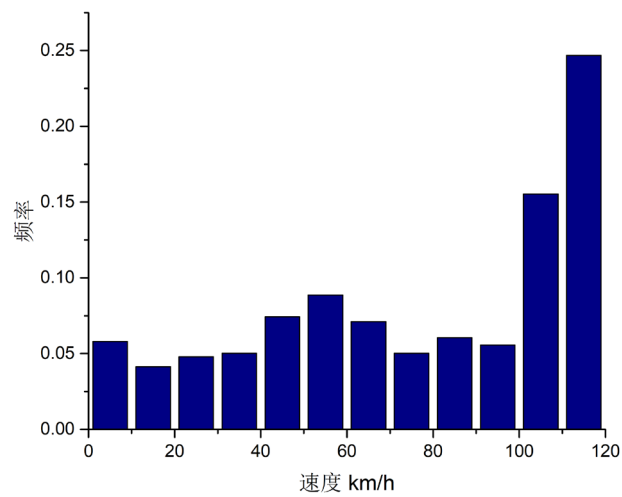
从图 10 中可以看出随着速度增大, 车辆的功率分布范围随之增大。在 R1 路况下车辆功率大部分分布在 $-20\sim 20\text{ kw}$ 之间, 在 R2 路况下功率分布在 $-40\sim 40\text{ kw}$ 之间; 在 R3 路况下车辆功率分布在 $-60\sim 60\text{ kw}$ 之间, 且在大功率时更加集中, 由此可知行驶工况中的速度是影响电动汽车能耗的主要因素之一[7]。



(a) 拥堵路况下车辆速度分布

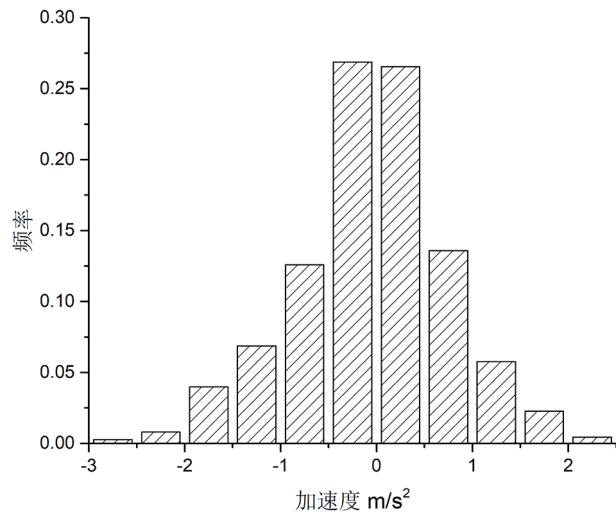


(b) 畅通路况下的速度分布

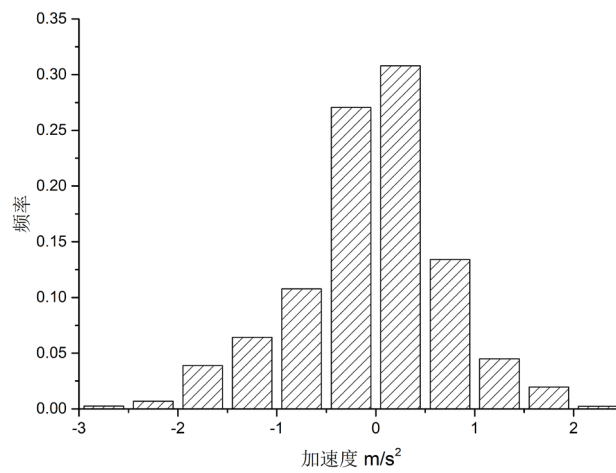


(c) 高速路况下车辆速度分布

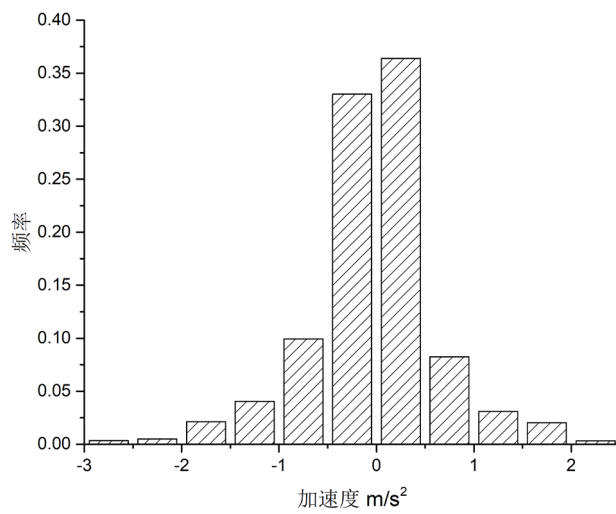
Figure 7. Speed distribution under different road conditions
图 7. 不同路况下的车辆速度分布



(a) R1 路况下加速度分布



(b) R2 路况下加速度分布



(c) 高速路况下加速度分布

Figure 8. Acceleration distribution of vehicles under three road conditions
图 8. 三种道路路况下车辆的加速度分布

Table 2. Energy consumption test results in three road conditions
表 2. 三个路况下能耗试验结果

次数	R1		R2		R3	
	速度 km/h	能耗 kWh/100km	速度 km/h	能耗 kWh/100km	速度 km/h	能耗 kWh/100km
1	22.6	14.6	46.1	13.6	61.8	16.8
2	21.5	14.8	47.3	13.2	63.7	16.1
3	21	14.4	43.2	12.8	63.2	15.8
4	23	14.8	42.7	13.5	65.1	16.3
5	22.4	15	43.2	13.3	66.3	15.9
6	22	14.7	41.5	12.7	65.6	17.1
7	23	14.3	42.3	11.9	66.4	15.7
8	23.3	13.9	44.4	12.5	63.7	16.3
9	22.5	13.7	45.6	12.8	64.9	15.5
10	24	14	47.3	13.2	62.8	16.7
11	23.8	13.8	46.5	12.6	65.5	17.4
12	21.6	14.1	45.2	13.6	66.6	15.9
13	22.3	14.4	43.2	12.7	65.8	16.7
14	23	13.9	44.9	14.1	63.7	15.8
15	21	14.4	45.2	13.8	64.5	16.4

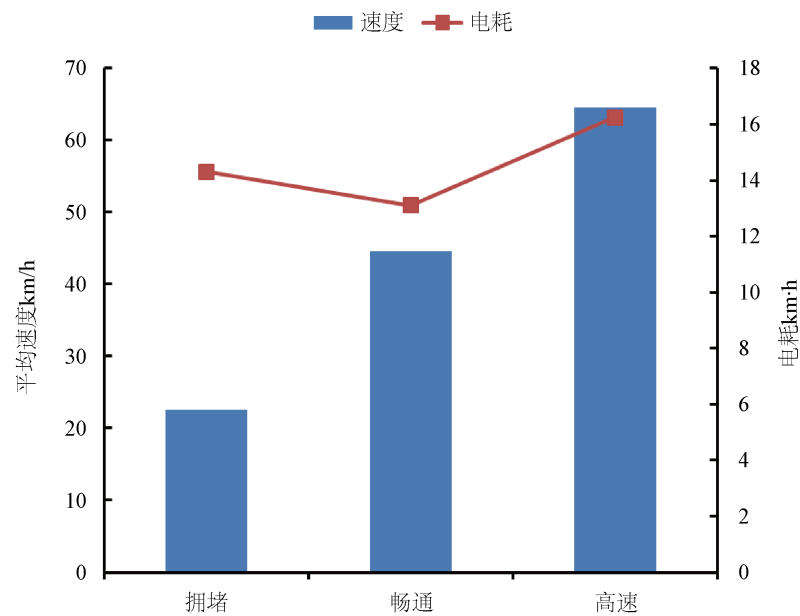
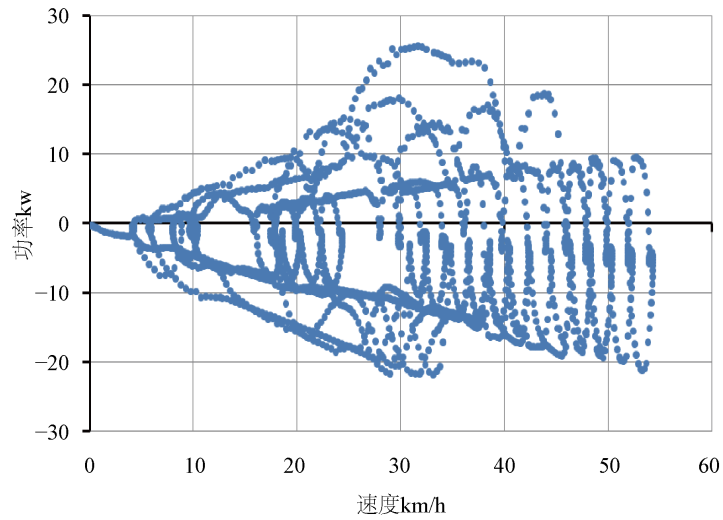
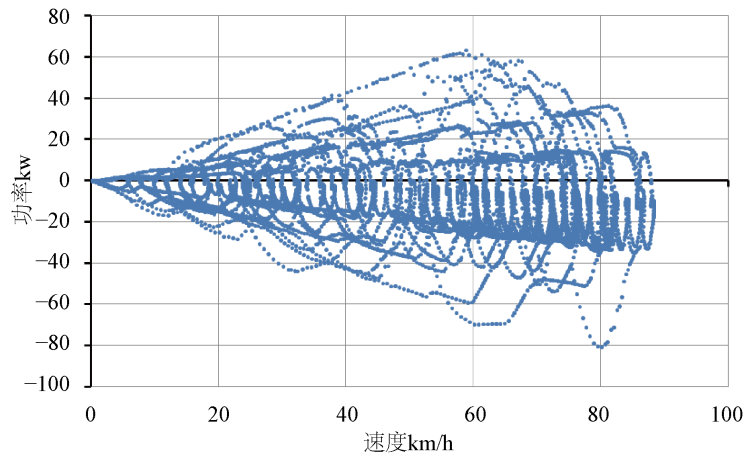


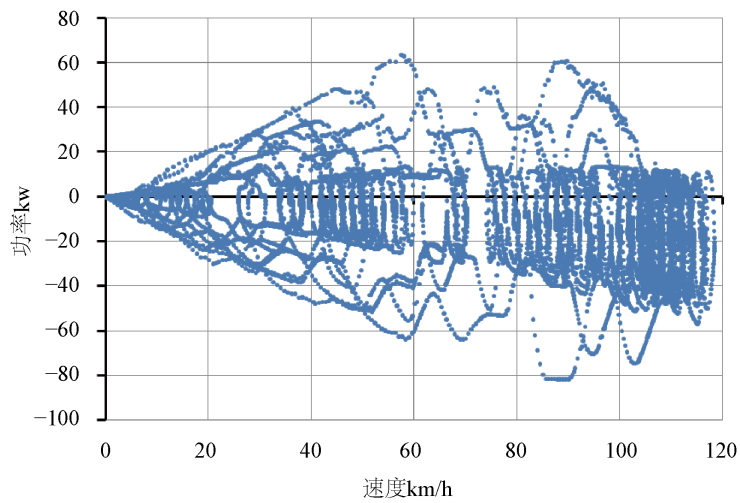
Figure 9. Average speed and average energy consumption in three road conditions
图 9. 三个路况下的平均速度和平均能耗



(a) R1 路况下速度 - 功率联合分布



(b) R2 路况下的速度 - 功率联合分布



(c) R3 路况下速度 - 功率联合分布

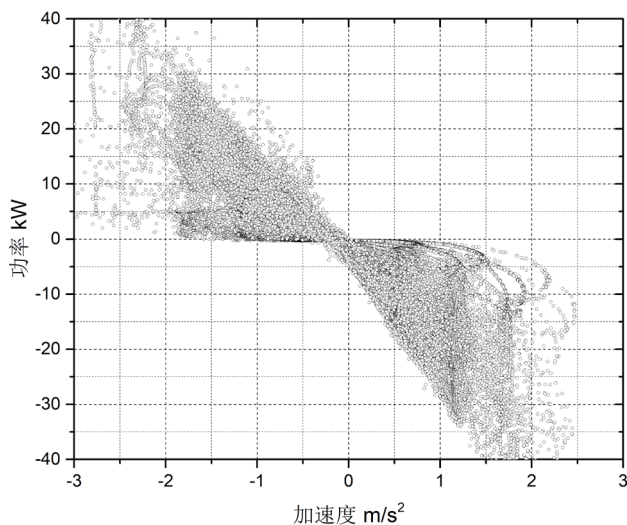
Figure 10. Speed-power joint distribution in three road conditions
图 10. 三个路况下的速度 - 功率联合分布

5.2. 加速度对能耗的影响

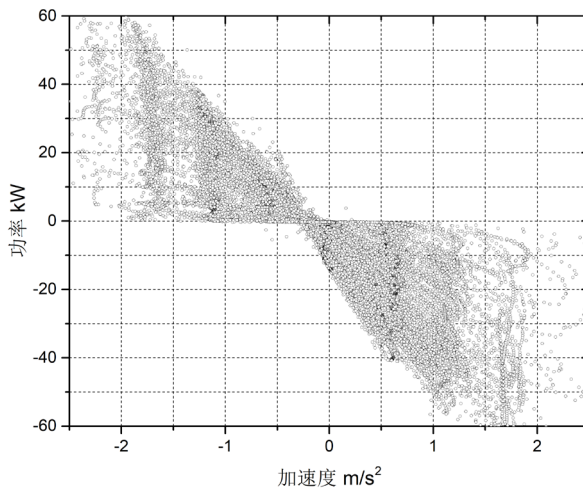
图 11 为三个工况的加速度 - 功率联合分布, 从图中可知随着加速度增大, 车辆的功率分布范围也在逐渐增大。在 R1 路况下车辆功率主要分布在 -60~40 kw, 加速度主要分布在 -2~2 m/s² 之间。在畅通路况下车辆功率主要分布在 -40~20 kw 之间, 加速度主要分布在 -1~1 m/s² 之间。在高速路况下车辆功率主要分布在 -60~20 kw 之间, 加速度主要分布在 -1~1 m/s² 之间。从图中还可知加速度越大, 电动汽车的功率越大, 由此可以得出行驶工况中加速度是影响电动汽车能耗的主要因素之一[8]。

5.3. 能量回收对电耗的影响

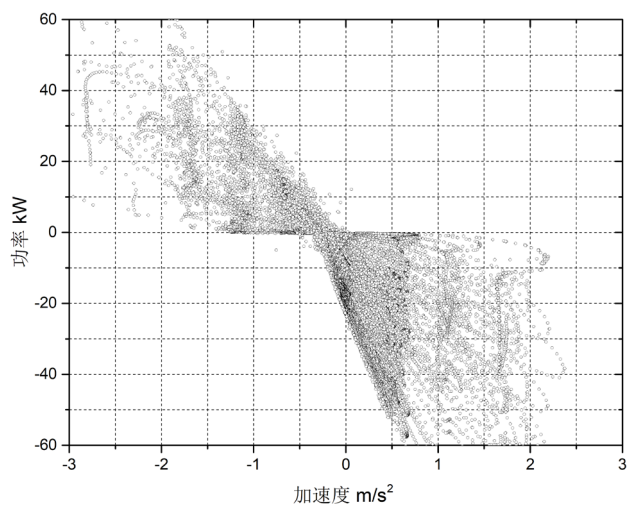
电动汽车在制动过程中会有能量回收, 从而导致耗能减少, 制动能量回收比例越大, 能耗也越低[9]。制动能量回馈比例如图 12 所示。由图可知, 在 R1 路况下回馈能量所占比例最大为 37.8%, R3 路况下回馈能量所占比例最小为 15.6%。这是因为在拥堵路况下, 车辆频繁制动, 回收能量较多, 因而占比较高。畅通路况和高速路况耗电量相差不大, 但是畅通路况下回馈比例比高速路况大, 因此畅通路况下的实际百公里电耗比高速路况低。



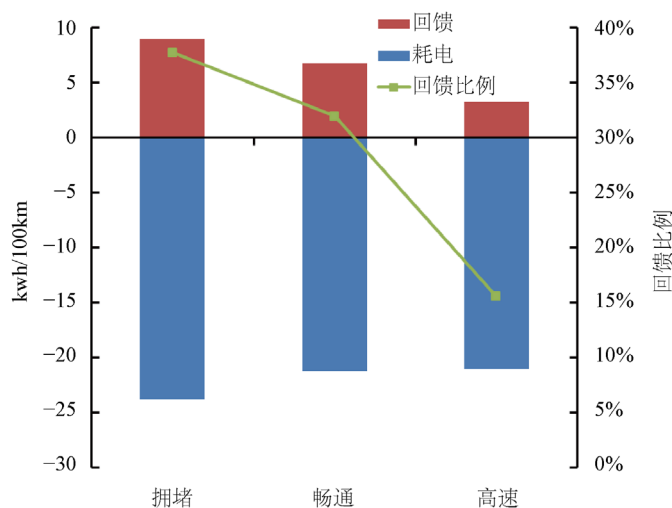
(a) R1 路况下加速度 - 功率联合分布



(b) R2 路况下的功率 - 加速度联合分布



(c) R3 路况下的加速度 - 功率联合分布

Figure 11. Acceleration-power joint distribution in three road conditions**图 11.** 三个路况下加速度 - 功率联合分布**Figure 12.** Energy feedback ratio of different road conditions**图 12.** 不同路况下能量回馈比例

6. 结论

1) 拥堵路况平均速度较低, 车辆功率分布较小, 车辆频繁启停, 制动能量回馈比例较高, 车辆驱动电机处于低效率区[10], 导致总体能耗较大。

2) 畅通路况下车速较大, 车辆功率分布较大, 车辆启停比例较小, 制动能量回馈比例较大, 车辆驱动电机处于高效率区, 导致总体能耗较小。

3) 高速路况下车速最大, 车辆功率分布最大, 车辆启停比例最小, 制动能量回馈占比最小, 车辆驱动电机处于低效率区, 导致总体能耗最大。

4) 电动汽车在不同路下电耗不同是因为路况不同导致车辆的速度、加速度不同。造成电动汽车能耗差异的不是单一因素, 是各种因素相互影响的结果。电动汽车行驶速度在 40~80 km/h 且平稳运行时能耗最小。

基金项目

面向 EV 和 FCV 的能效测评系统开发(TJKY1819003)。

参考文献

- [1] 傅连学. 2018 年中国新能源汽车消费者满意度研究报告[R]. 天津: 中国汽车技术研究中心有限公司, 2018.
- [2] 陈向国. 新能源汽车“续航”之路[J]. 节能与环保, 2018(8): 33-35.
- [3] 刘成祺, 解来卿, 樊月珍, 等. 某增程式电动汽车北方冬季工况下能耗测试与分析[J]. 汽车技术, 2016(2): 45-49.
- [4] 张恒嘉. 基于实证的纯电动汽车性能评估方法和普及可能性研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [5] 宋媛媛. 基于行工况的纯电动汽车能耗建模及续驶里程估算研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [6] 张洪雷, 龚春忠, 彭庆丰. 基于电动汽车动力系统仿真与试验的 NEDC 工况修正技术研究[J]. 电子测试, 2018(6): 14-16.
- [7] 周荣宽, 韩晓东, 韩宗奇, 等. 基于道路试验的电动汽车滑行阻力系数分析[J]. 汽车技术, 2015(4): 52-55+61.
- [8] 李礼夫, 许源沁. 基于最小单位里程能耗的纯电动公交车加速控制曲线设计方法[J]. 汽车技术, 2016(7): 17-20.
- [9] 王计广, 李孟良, 徐月云, 等. 电动汽车制动能量回收系统评价方法研究[J]. 汽车技术, 2014(12): 35-39.
- [10] 王伟. 并联混合动力汽车驱动电机的调节和匹配[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2007.