

Analysis of the Energy Consumption of Electric Vehicles Based on Actual Roads

Guang Chen¹, Zhicheng Sun², Tianlu Dai¹, Xiaobing Wang¹, Kai Zhu¹

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

²Hebei University of Technology, Tianjin

Email: chengaug@catarc.ac.cn

Received: Oct. 18th, 2019; accepted: Oct. 31st, 2019; published: Nov. 7th, 2019

Abstract

In order to study the energy consumption of electric vehicles on actual roads, this paper uses six pure electric vehicles to conduct a one-year fixed route test. The road conditions are divided into four routes: urban congestion, urban smooth, suburban smooth, and suburban high-speed. In the actual road test, air conditioning is not tested in spring and autumn, and air conditioning is tested in summer and winter. The effects of season, air conditioning, road conditions and driving habits on energy consumption are studied. The results show that: 1) The electric vehicle has better adaptability to the suburban smooth; 2) Vehicle energy consumption increased by more than 10% after turning on air conditioner; 3) The summer energy consumption is lower than other seasons; 4) Driving habits will affect the energy consumption of electric vehicles.

Keywords

Electric Vehicle, Fixed Route, Season, Energy Consumption, Air Condition

基于实际道路的电动汽车能耗分析

陈光¹, 孙志诚², 戴天禄¹, 王晓兵¹, 朱凯¹

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: chengaug@catarc.ac.cn

收稿日期: 2019年10月18日; 录用日期: 2019年10月31日; 发布日期: 2019年11月7日

摘要

为了研究电动汽车在实际道路中的能耗, 本文采用六辆纯电动汽车进行为期一年的固定路线测试, 道路

条件分为市区拥堵、市区通畅、郊区通畅、郊区高速等四条路线。在实际道路试验中,春季和秋季不开启空调进行测试,夏季和冬季分为开启空调和关闭空调两种情况进行测试,研究了季节、空调、路况、驾驶习惯等对能耗的影响。结果表明:1) 电动汽车对郊区畅通路况适应性较好;2) 开空调后能耗增长10%以上;3) 夏季能耗比其它季节低;4) 驾驶习惯会影响电动汽车能耗。

关键词

电动汽车, 固定路线, 季节, 能耗, 空调

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. 前言

随着我国经济持续高速发展,人民生活水平日益提高,机动车保有量逐年上升,石油需求量巨大,导致能源消耗量激增,时刻威胁着国家的能源安全,同时造成持续的环境污染。据统计,2017年全国机动车排放污染物为4359.7万吨[1]。机动车污染已成为中国空气污染的重要来源,是造成细颗粒物、光化学烟雾污染的重要原因,机动车污染防治的紧迫性日益凸显。纯电动汽车因“零排放、无污染、低能耗”而被认为是解决能源危机和交通排放污染的有效方法,政府也出台各种政策加大电动汽车推广力度[2]。据公安部公布的数据,截至2018年6月底,新能源汽车保有量达199万辆,其中纯电动汽车162万辆,占新能源汽车总量的81.4%。然而,在电动汽车高速发展的同时,仍然存在着续航不足、充电时间长等诸多问题。

为了研究道路条件对能耗的影响,相关学者做了大量研究。李礼夫等人研究了电动汽车续驶里程与行驶工况的关系,分析了速度和加速度对能耗的影响[3]。解难等人研究了环境温度对电动汽车续驶里程的影响,找到了电池容量、整备质量和环境温度等因素对续驶里程的影响规律[4]。武仲斌等人研究了空调能耗对电动汽车性能的影响,对空调系统主演参数优化匹配方法进行了研究并在Matlab/Simulink平台上进行了仿真验证[5]。

为了研究实际道路中影响电动汽车能耗的因素。本文采用了六款电动车型在四条不同路线进行了为期一年的实际道路试验,分析了季节、路况、空调、驾驶习惯等对能耗的影响。

2. 试验方案

2.1. 车辆的选择

选择了市场销量及消费者关注较高的六款纯电动车型,基本覆盖了常见车型和品牌,具有一定的代表意义,车辆的基本参数如表1所示。同时挑选了两名驾驶经验丰富的司机作为试验驾驶员。

2.2. 路线选择

为了排除不同路况的干扰,更深入的研究纯电动汽车的整车性能以及影响因素,根据天津市交通状况制定了四条固定路线,包括市区拥堵、市区通畅、郊区通畅和郊区高速。每种路况的路跑试验均要求覆盖四季,其中在夏季和冬季进行空调开关对比路跑试验。四条固定路线说明如下:

- 1) 固定路线1(后文简称R1,如图1):拥堵路线。

往返距离：57 km；平均车速：18.21 km/h。

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

Table 1. Vehicle basic parameter list

表 1. 车辆基本参数表

车型	车长 mm	整备质量 kg	公告续航 km
车型一	4740	1950	300
车型二	4631	1598	253
车型三	4620	1610	200
车型四	4582	1583	260
车型五	4467	1494	175
车型六	4135	1310	251

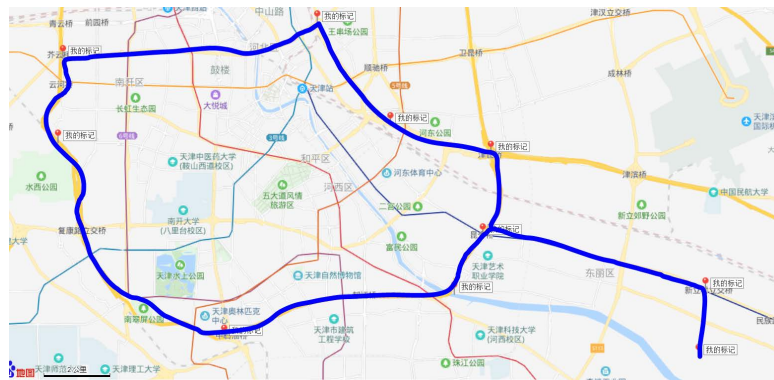


Figure 1. R1 road map
图 1. 固定路线 R1 示意图

2) 固定路线 2 (后文简称 R2, 如图 2): 市区路线。

往返距离：49 km；平均车速：30.63 km/h。

路线特点：城郊结合，在非上下班高峰期比较畅通。



Figure 2. R2 road map
图 2. 固定路线 R2 示意图

3) 固定路线 3 (后文简称 R3, 如图 3): 郊区路线。

往返距离: 46 km; 平均车速: 36.22 km/h。

路线特点: 路线处于郊区, 比较顺畅。



Figure 3. R3 road map

图 3. 固定路线 R3 示意图

4) 固定路线 4 (后文简称 R4, 如图 4): 郊区路线。

往返距离: 52 km; 平均车速: 73.61 km/h。

路线特点: 高速公路, 车辆处于高速工况, 最高车速在 100 km/h~120 km/h 之间。



Figure 4. R4 road map

图 4. 固定路线 R4 示意图

2.3. 数据采集和记录

为了及时的收集有效数据, 试验中为每辆车配备平板电脑。并装有为记录路跑试验数据开发的 APP, 驾驶员在每次路跑之前都需要记录相关数据, 并上传到云端储存。由于每辆车都配备了 GPS, 因此在数据网站可以实时查询车辆位置和速度等相关信息。在路跑结束后, 立刻到充电桩充电, 充电结束后记录充入电量, 从而形成车、桩、网全方位的数据采集存储系统。整体采集系统如图 5 所示, 采集的主要数据参见表 2。

2.4. 试验过程

路跑试验开始时, 驾驶员在启动车辆之后, 马上用随车平板电脑记录相关数据, 然后选择路线, 随后进行路跑试验, 在试验结束后, 再次用平板电脑记录相关数据, 然后用充电桩充电, 充电结束后用平板电脑记录充入电量, 至此试验结束。试验流程如图 6 所示。

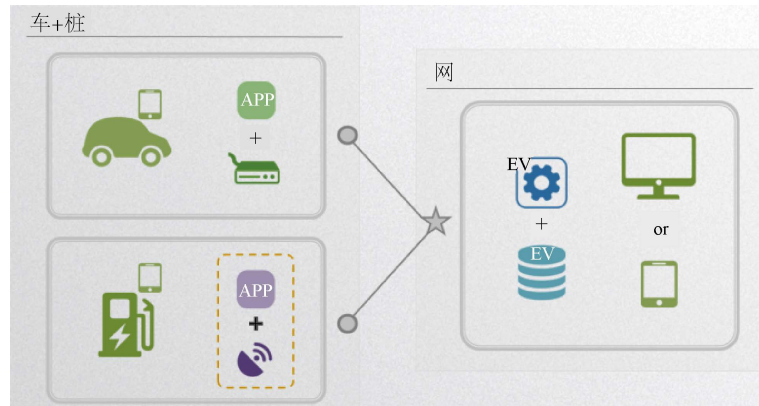


Figure 5. Data acquisition system
图 5. 数据采集系统

Table 2. Data recording project
表 2. 数据记录项目

序号	内容	序号	内容
1	充电方式(快充、慢充)	13	室外温度
2	充电开始时间	14	到达时间
3	充电结束时间	15	档位模式
4	开始充电电量	16	行驶路况
5	结束充电电量	17	路面状况
6	充入电量	18	空调(OFF\ON)
7	出发时间	19	结束后总里程
8	乘客数量(含主驾)	20	结束后剩余里程
9	驾驶员	21	结束后剩余电量
10	出发前总里程	22	表显电耗
11	出发前剩余里程	23	空调温度
12	出发前剩余电量		

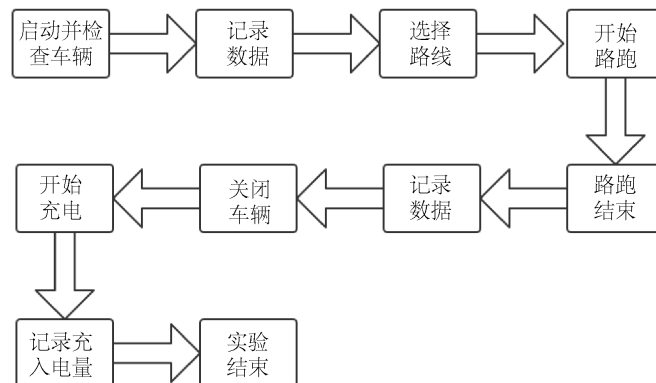


Figure 6. Test flow chart
图 6. 试验流程图

3. 试验结果

3.1. 路跑试验实施情况

固定路线 6 辆车目前共行驶了 703 车次，固定路线 R1、R2、R3 及 R4 的路跑试验实施情况参见表 3。

Table 3. Statistics on the implementation of fixed route test

表 3. 固定路线试验实施情况统计

车辆	设定	路线				总体
		R1	R2	R3	R4	
车型一	空调 ON	13	11	10	11	45
	空调 OFF	15	15	16	14	60
	小计	28	26	26	25	105
车型二	空调 ON	13	13	15	14	55
	空调 OFF	24	22	24	27	97
	小计	37	35	39	41	152
车型三	空调 ON	13	13	13	14	53
	空调 OFF	26	27	23	23	99
	小计	39	40	36	37	152
车型四	空调 ON	17	13	11	13	54
	空调 OFF	27	27	26	24	104
	小计	44	40	37	37	158
车型五	空调 ON	13	16	13	12	54
	空调 OFF	18	18	19	14	69
	小计	31	34	32	26	123
车型六	空调 ON	15	15	15	17	62
	空调 OFF	24	25	27	27	103
	小计	39	40	42	44	165

固定路线试驾人员目前覆盖春、夏、秋和冬四季。春秋两季不开空调，夏季、冬季空调 ON/OFF 交替行驶。对于自动控制式空调，设定为“自动模式”，空气循环开关设置为内循环，温度定为 25℃；对于手动控制式空调，空气循环开关设置为内循环，将温度和风量调节开关置于中档。

3.2. 固定路线路跑试验能耗

这六辆车均参与了固定路线 R1、R2、R3、R4 的春季、夏季、秋季和冬季试验，其中夏季、冬季试验中空调开/关交替行驶。

为了排除空调对能耗的影响，整理得到了不同季节下各车型在关空调情况下的平均能耗，如图 8 所示。

图 7 是春季、夏季、秋季和冬季在不开空调情况下四条路线的平均能耗。从图 7 中可以看出各车型冬季能耗最高，夏季能耗最低，六个车型冬季能耗比夏季能耗平均增长了 39.5%，其中车型五夏季与冬季能耗相差最大为 62.4%，车型一夏季与冬季能耗相差最小为 27.4%。六个车型春季能耗与秋季能耗最大相差 4.9%，由此可知电动汽车的春季能耗与秋季能耗相差不大。夏季能耗最低是因为夏季平均温度较高，电池包等效率高。春季与秋季能耗相差不大是因为秋季与春季的平均温度相差不大，由于气温比夏季低，电池包效率有所下降，所以能耗相对较大[6] [7]。冬季能耗最高是因为冬季气温最低，电池工作条件最差，因此冬季时能耗最大。

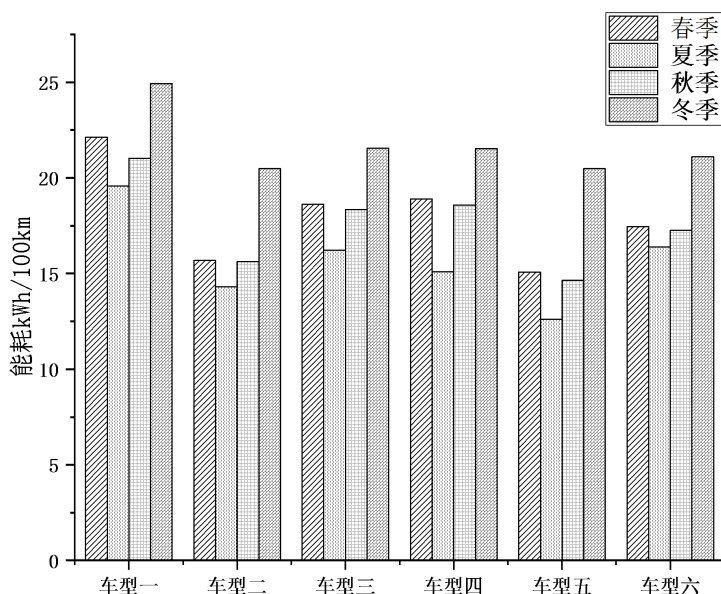


Figure 7. Energy consumption of each model in different seasons

图 7. 固定路线不同季节下各车型的能耗

3.3. 不同状态下的路况适应性

3.3.1. 季节对能耗的影响

综合整理六个车型在夏季、冬季开空调状态时的平均能耗，如图 8 所示。从图中可以看出，六个车型冬季的平均能耗比同一路况下的夏季平均能耗高，在 R3 路况下冬季能耗增长率最大，增长了 34.5%；在 R2 路况下冬季能耗增长率最小，增长了 20.10%。从中可以看出在夏季电动汽车对 R3 路况适应性较好 [8]，在冬季电动汽车对 R2 路况适应性较好。这是因为在夏季电池等部件等工作效率较高，而且在 R3 路况下，电动机工作在高效率区，因此夏季车辆在 R3 路况能耗最低。

综合整理六个车型在夏季、冬季关空调状态下的平均能耗，如图 9 所示。从图中可以看出，关空调时冬季能耗比夏季高，在 R1 路况下能耗增长最大，增长了 41.3%。在 R4 路况下能耗增长最小，增长了 24.6%，这是因为无论夏季还是冬季在 R4 路况下能耗都比较高，能耗增长相对较小，这也说明温度对电动汽车能耗的影响大于路况对能耗的影响。

3.3.2. 空调对能耗的影响

综合整理六个车型在夏季开/关空调时的平均能耗对比，如图 10 所示。从图中可以看出，夏季时开空调能耗高于关空调能耗，在 R4 路况下开空调能耗增长最小，增长了 13.94%，这是因为无论是否开空调在 R4 路况下，电动汽车的能耗是最大的；在 R1 路况下开空调能耗增长最大，增长了 30.05%，这是因

为在 R1 路况下, 电动汽车速度较慢, 同样距离内空调工作时间较长增加了能耗[9][10]。

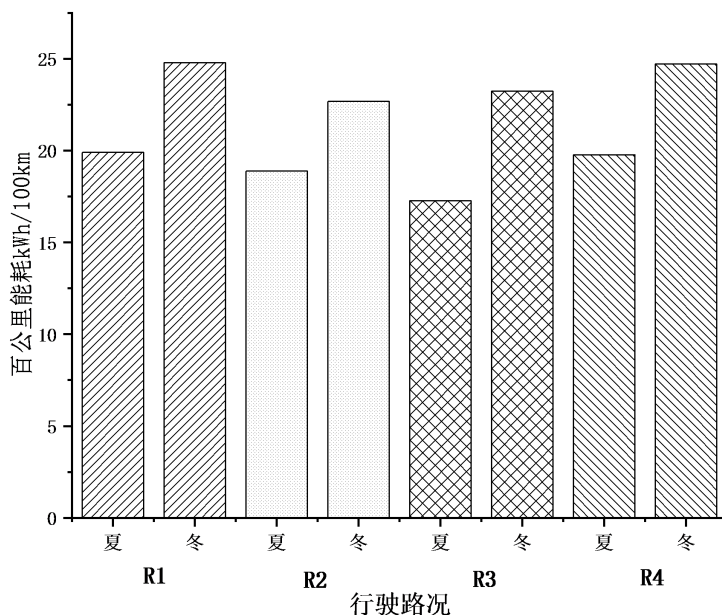


Figure 8. Average energy consumption of six cars when air conditioning is turned on in summer and winter

图 8. 夏季、冬季开空调时六车平均能耗

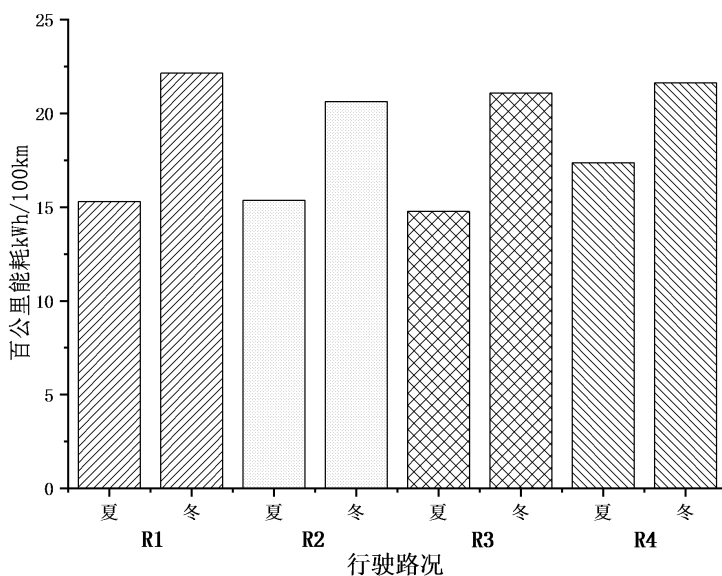


Figure 9. Average energy consumption of six cars in summer and winter when air conditioning is turned off

图 9. 夏季、冬季关空调时六车平均能耗

综合整理六个车型在冬季开关空调平均能耗对比, 如图 11 所示, 从图中可以看出 R2 路况下, 开空调时平均能耗增加最小, 增加了 9.91%, 这是因为在冬季无论是否开空调, R2 路况下能耗最低; 在 R4 路况下开空调能耗增加最大, 增加了 14.3%, 这是因为冬季在 R4 路况下, 不管是否开空调能耗都是最大的, 开空调后电池工作条件进一步恶化。

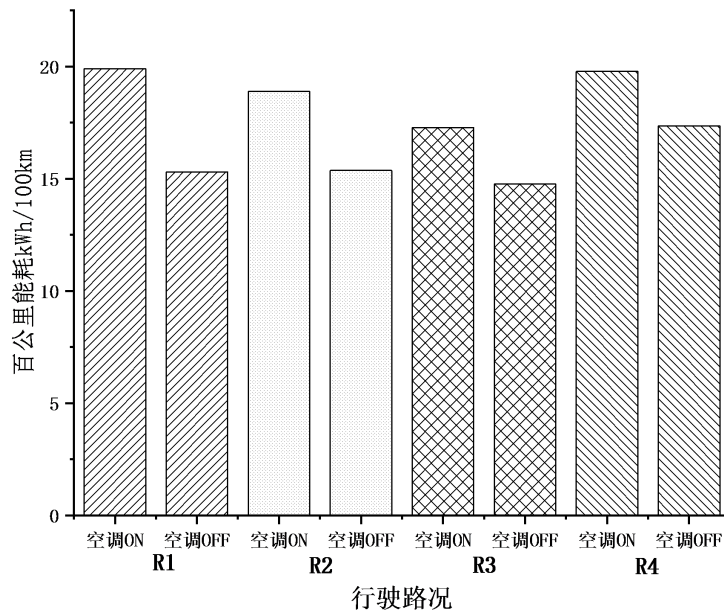


Figure 10. Average energy consumption of six switches in the summer switch air conditioner

图 10. 夏季开关空调六车平均能耗

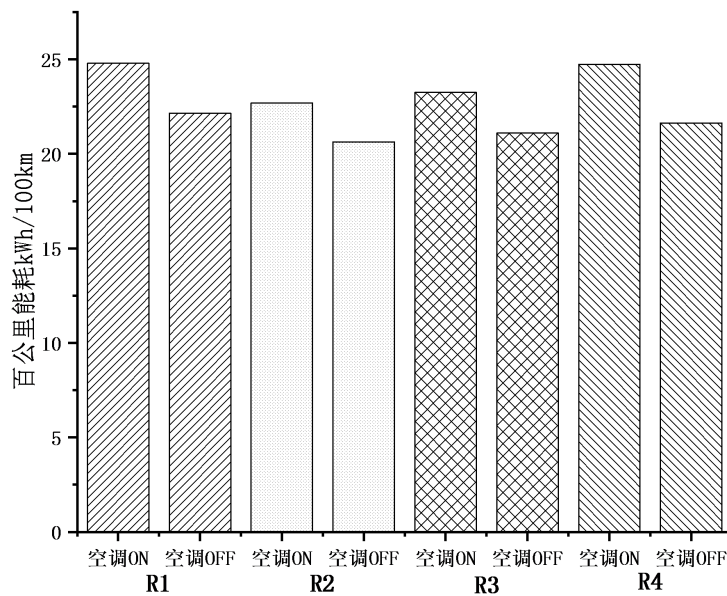


Figure 11. Average energy consumption of six vehicles in winter switching air conditioner

图 11. 冬季开关空调六车平均能耗

3.4. 路况适应性分析

综合六辆车的路跑试验，得出了四条路线中六个车型不同季节平均能耗对比，如图 12 所示。为了排除空调对能耗的影响，数据中不包括开空调时的能耗。

从图 12 中可以看出，无论在哪个季节 R3 路况下各车型能耗最低，R4 路况下各车型能耗最高。从四季平均数据来看，电动汽车在中速区间 30~50 km/h (R2 及 R3 的正常行驶速度) 的连续行驶路况下能耗最

低；对低速区间 20 km/h 以下(R1 的正常行驶速度)的行驶路况下能耗稍大；对于高速 70 km/h 以上(R4 的正常行驶速度)的连续行驶路况下能耗最大。

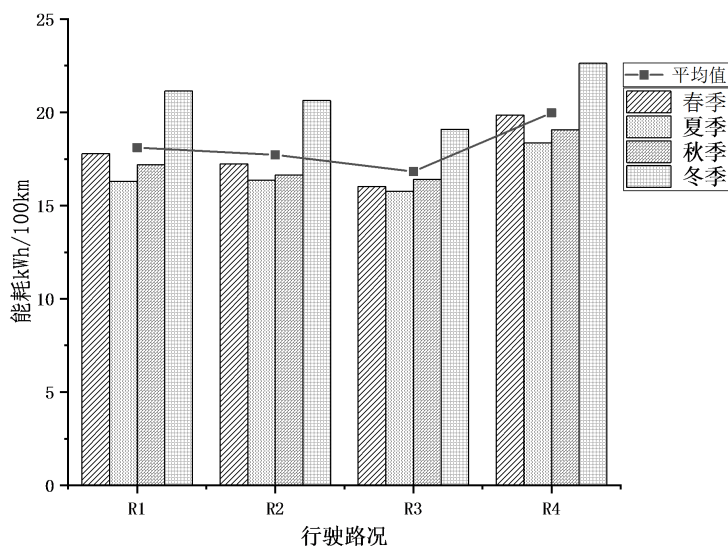


Figure 12. Comparison of road conditions adaptability in different seasons

图 12. 不同季节路况适应性对比

3.5. 驾驶习惯对能耗的影响

选取了车型四在冬季的数据,对比了两个驾驶员在不同路况的能耗,如图 13 所示。从图中可以看出,在 R1、R3 路况时,无论是否开空调驾驶员 1 的能耗低于驾驶员 2 的能耗;在 R2 路况时,无论是否开空调,驾驶员 1 的能耗高于驾驶员 2 的能耗;在 R4 路况时,开空调时驾驶员 1 的能耗低于驾驶员 2 的能耗,关空调时,驾驶员 1 的能耗高于驾驶员 2 的能耗。这就表明个人的驾驶习惯会影响电动汽车的能耗。

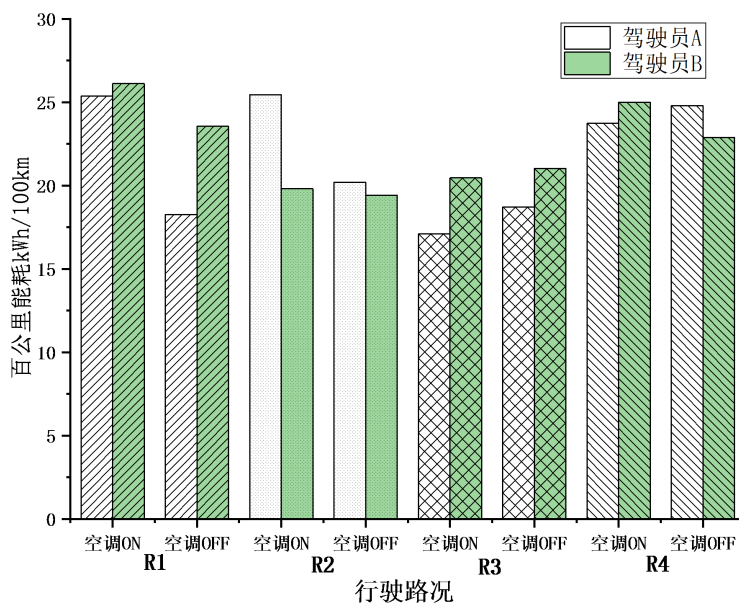


Figure 13. Relationship between driver and energy consumption

图 13. 驾驶员与能耗的关系

实际交通状况也会影响驾驶员的驾驶行为[11],由此即使在同一路线或者相似路线上也会出现一定程度的能耗差异。在电动汽车的驱动过程中保持稳定的、平顺的驾驶习惯将是优质能效的驾驶行为。

4. 结论

本文开展了路跑实证试验。固定路线分别选择了拥堵、市区、郊区和高速路线,并针对空调开、关进行对比试验。最终得出了路况、空调、季节和驾驶习惯对能耗的影响规律。其结论如下:

- 1) 电动汽车在夏季时能耗最低。
- 2) 在郊区通畅的路况下,四季平均能耗最低。
- 3) 在关空调状态下,冬季能耗比夏季能耗高 25%~45%;在开空调状态下,冬季能耗比夏季能耗高 20%~35%。
- 4) 夏季开空调能耗比关空调高 14%~30%,冬季开空调能耗比关空调能耗高 10%~14%。
- 5) 个人驾驶习惯也会影响电动汽车能耗。

参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 中国机动车环境管理年报[EB/OL]. <http://www.vecc-mep.org.cn/huanbao/content/944.html>, 2018-06-13.
- [2] 李苏秀. 中国新能源汽车产业商业模式创新动态演变研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [3] 李礼夫, 韦毅, 龚定旺, 等. 纯电动汽车动力电池续驶里程与行驶工况分析[J]. 机械设计与制造, 2018(11): 139-142.
- [4] 解难, 胡月昆, 杨帆, 李春. 环境温度对电动汽车续驶里程影响的试验研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(6): 21-25.
- [5] 武仲斌. 考虑电动空调能耗的纯电动汽车动力传动系统参数匹配[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [6] 谢金法, 谢宁, 李博超. 纯电动汽车锂离子动力电池热特性研究[J]. 电源技术, 2019, 43(6): 1001-1004.
- [7] 何兴, 王金伟, 刘磊, 等. 动力电池充放电过程中温度特性研究[J]. 电源技术, 2019, 43(6): 998-1000.
- [8] 盘朝奉, 刘兵, 陈龙, 何志刚, 韩超. 锂离子电池温升特性分析及液冷结构设计[J/OL]. 西南交通大学学报: 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1277.u.20190403.1020.004.html>, 2019-08-21.
- [9] 王芷茗, 张志猛, 李涛, 等. 电动汽车空调系统匹配与性能分析[J]. 数字制造科学, 2018, 16(4): 241-246.
- [10] 陈清平, 岳现杰, 宁亮. 附件能耗对电动汽车续驶里程和能量消耗率的影响研究[J]. 内燃机与配件, 2018(19): 3-5.
- [11] 李礼夫, 梁翼. 基于不同加速方式的纯电动汽车电能量消耗研究[J]. 测试技术学报, 2018, 32(4): 335-340.