

# 基于 Nested Logit 的电动汽车分时 租赁选择行为分析

刘 向<sup>1,2</sup>, 董德存<sup>1</sup>, 王 宁<sup>2</sup>, 张文剑<sup>2</sup>

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 同济大学 汽车学院, 上海 200092)

**摘要:** 基于用户出行选择调查问卷的样本数据,应用 Nested Logit 离散选择模型进行回归分析,探究影响用户出行选择的因素,并计算出各种出行方式的分担率及其敏感度。结果表明:使用成本、站点距离、出行里程、驾龄、用户拥有私家车情况以及年龄等因素对用户是否选择电动汽车分时租赁有显著影响;当前电动汽车分时租赁在出行领域的显示性偏好(revealed preference, RP)调查分担率为 2.36%,使用成本对其敏感度为 8.6%,站点距离对其敏感度为 43.7%;陈述性偏好(stated preference, SP)调查分担率为 3.30%,使用成本对其敏感度为 8.9%,站点距离对其敏感度为 21.1%。

**关键词:** 电动汽车分时租赁; 出行选择行为; Nested Logit 模型; 显示性偏好; 陈述性偏好

**中图分类号:** U491

**文献标志码:** A

## Analysis of Choices of Electric Car Sharing Based on Nested Logit Model

LIU Xiang<sup>1,2</sup>, DONG Decun<sup>1</sup>, WANG Ning<sup>2</sup>,  
ZHANG Wenjian<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The Nested Logit Model was used to analyze the questionnaire investigation based on users' travel modes choices. The factors influencing on users' travel modes choices were researched. Users' selection probability and sensitivity of travel modes were computed. The results show that cost, station distance, trip distance, driving-age, ownership of private cars and users' age make a difference on selection probability of electric car sharing. Selection probability of electric car sharing based on RP (revealed preference) data is 2.36% while based on SP (stated

preference) data is 3.30%. If cost of electric car sharing increase 1 yuan/kilometer, based on RP data selection probability of electric car sharing will decrease by 8.6% while based on SP data decrease by 8.9%. If station distance of electric car sharing increase 1 kilometer, based on RP data selection probability of electric car sharing will decrease by 43.7% while based on SP data decrease by 21.1%.

**Key words:** electric car sharing; analysis of travel modes choices; Nested Logit Model; revealed preference (RP); stated preference (SP)

汽车分时租赁在减轻道路负担上的优势十分明显<sup>[1-2]</sup>,而电动汽车对于环境友好性远超传统燃油车<sup>[3-4]</sup>,两者的结合,对于城市交通出行的可持续性十分有利。目前电动汽车受限于电池技术和充电基础设施,续航里程较短,而汽车共享主要满足用户对短途的出行需求。电动汽车的环境负荷小,但续航里程短、充电时间较长等特点,刚好与具备短途、短时间的分时租赁模式相匹配。二者在需求与供给上都达到了统一。

当前,国内电动汽车共享还处于萌芽阶段,各运营商的共享车辆、站点规模以及普及程度都很低。但是由于电动汽车分时租赁的上述种种优势,近年来,其在政府层面也得到了支持和肯定。2017年8月8日,交通运输部、住房城乡建设部联合发布了《关于促进小微型客车租赁健康发展的指导意见》,首次从国家政策层面肯定了小微型客车租赁,提出推动移动互联网与小微型客车租赁融合发展的相关措施,鼓励使用新能源车辆开展分时租赁。

由以上可见,虽然目前国内电动汽车共享运营

收稿日期: 2018-03-26

基金项目: 中央高校基本科研业务经费专项资金(kx0170020172681);上海市科技发展基金软科学研究重点项目(18692109400);同济大学智库研究专项(22120180208)

第一作者: 刘 向(1986—),男,博士生,主要研究方向为交通出行行为、电动汽车分时租赁. E-mail: liuxiang@tongji.edu.cn

通信作者: 董德存(1958—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为交通信息控制及系统安全. E-mail: 85718@tongji.edu.cn

企业较少,运营经验不足,但在接下来的几年内,国内涉足共享汽车的公司将会越来越多,电动汽车共享服务将会在国内迎来春天。因此,为了迎接电动汽车共享的全面发展,本文针对普通消费者进行问卷调查,探究影响用户出行选择的因素,确定其对电动汽车分时租赁的接受度并明确相关影响因素。为电动汽车分时租赁服务行业提出相关建议,以促进电动汽车分时租赁在中国的更好更快发展。

## 1 研究历史及现状

国外对于电动汽车分时租赁的选择行为的研究起步较早,且大部分集中在消费者接受度调查、用户使用时的关注因素以及用户特点等方面。

Shaheen<sup>[5]</sup>的研究表明,普通人对汽车共享没有兴趣与不了解情况有关,采用社会学习和社会营销理论对旧金山海湾地区的一个汽车共享项目 Carlink 进行了实验研究。Langston<sup>[6]</sup>在 2006 年发现尽管德国的汽车共享市场近年来大幅增长,但消费者接受度仍相对较低,在德国只有 0.16% 的驾照持有者加入了汽车共享组织,因此进一步研究了推广共享汽车的方法。Costain<sup>[7]</sup>采用描述性统计分析和计量经济学的方法对多伦多的一个汽车共享项目的用户行为进行了研究,主要包括对环境的态度、对安全的态度、使用频率、成员持续时间、车型选择和月度需求等维度。

Shaheen<sup>[8]</sup>调查了电动汽车共享作为年老者私人用车的可行性。Kim<sup>[9]</sup>以在首尔参加电动汽车共享的 533 名会员为样本,进行了调查研究,发现电动汽车共享的参与者不愿意改变他们对汽车的拥有,但是愿意继续使用电动汽车共享服务。Clewlow<sup>[10]</sup>对美国旧金山海湾地区共享汽车会员与非会员家庭的出行行为和私家车拥有情况进行了研究,发现共享汽车成员不仅比其他人拥有更少的汽车,并且如果他们拥有汽车则更可能拥有环境友好型的汽车。

国内对用户选择共享汽车出行这一行为的研究相比国外较晚,专门研究不多,且主要集中在近几年,之前大多为对共享汽车的模式、影响和市场的研究。邱雷<sup>[11]</sup>阐述了汽车共享服务的特点、系统模式和社会经济特性,介绍了其在欧美地区的发展情况,并分析了在中国市场发展的关键影响因素。薛跃、杨同宇和温素彬<sup>[12]</sup>等梳理了共享汽车的分类,从社会经济角度分析了这项服务对于汽车拥有量、出行费用、使用成本、节能减排等方面带来的变化。代秋

杰<sup>[13]</sup>在汽车共享的基础上分析了消费者行为,并在消费者行为研究基础之上引入了政府政策分析。鞠鹏等<sup>[14]</sup>基于南京市的实证调查数据,运用混合选择模型对出行者的汽车共享选择行为进行了研究,结果表明出行者对于汽车共享的感知有用性、感知易用性、行为态度、知觉行为控制等心理态度潜变量对其选择行为产生显著的正向影响。

陈梓烽等<sup>[15]</sup>采用多项 Logit 模型对居民通勤的出发时间的选择进行了研究。潘晖婧等<sup>[16]</sup>应用多项 Logit 模型对自行车骑行对路径的选择进行了研究。YANG 等<sup>[17]</sup>模拟了用户在高铁进入后对原有交通方式选择的影响。陈秋香<sup>[18]</sup>应用嵌套 Logit 模型对校区之间师生的出行方式进行了研究。

## 2 研究方法

### 2.1 数据收集

为了获得一定量的共享汽车会员样本数据,以及共享汽车出行方式对于被访对象的可获得性,选取同济大学嘉定校区以及安亭镇的 3 个 EVCARD 共享站点进行定点问卷发放,此外,在商圈、地铁站、4S 店、办公楼、校园等多地进行随机发放问卷,最终共回收问卷 523 份,其中有效问卷 480 份,既有 480 位有效被访者,问卷收集了每位被访者近一周的交通出行实际情况(显示偏好)以及 6 种不同假设情景下用户对出行方式的选择的意愿(陈述偏好数据 stated preference, SP),故共产生有效交通方式选择 RP 数据 1305 条、SP 数据 2 880 条。

其中,RP 数据是从用户的实际选择中观察到的显示偏好数据(revealed preference, RP),其统计了用户近一周最常选择的几种出行方式及其出行的目的、里程、费用等等,从中可以较为准确地分析出用户的出行习惯,分析 RP 数据无疑在研究用户对于电动汽车分时租赁的选择上有重要意义。SP 数据是通过虚拟选择实验获得的陈述偏好数据,其统计了用户在不同的假设情景下(不同的出行目的、里程、费用、站点距离)对于出行方式的选择情况,SP 数据可以更全面地覆盖更多的出行情况,同时弥补 RP 数据的不足。比如弥补了当前电动汽车分时租赁覆盖率较低,导致实际生活中用户接触不到从而无法选择的情况。因此,RP 数据和 SP 数据互为补充,都进行研究更为合理。

### 2.2 模型选用

离散选择模型可以被应用于分析个体出行时对

于交通方式的选择行为,因此,本文选用离散选择模型。其中,多项 Logit 模型、条件 Logit 模型与混合 Logit 模型都必须满足“无关方案的独立性”假定。“无关方案的独立性”假定,即备选方案之间不相关。

本文研究的出行方案之间存在相似性,不能满足“无关方案的独立性”假定,如私人非机动车和共享单车在短程出行时存在很大的替代性,出租车和网约车的用户体验也较为相似。

Nested Logit 模型则接受备选项之间的相关性,可以很好解决相似方案间的选择问题。其解决方法为把相似方案归入一组,允许该组内方案相关(可以不符合 IIA 假定),不同组之间的方案相互独立(符合 IIA 假定),形成嵌套式的选择树。本文研究的用户对交通出行方案的选择行为正符合 Nested Logit 模型的特点,因此选用 Nested Logit 模型进行分析。

## 2.3 模型建立

### 2.3.1 建立嵌套式选择树

将日常出行方式分为 8 种,分别为:① 私人非机动车出行(包含步行、自行车、电瓶车、助动车);② 共享单车(如 ofo、摩拜等);③ 公交车;④ 网约车(如滴滴、优步、非出租车);⑤ 地铁;⑥ 出租车;⑦ 电动汽车分时租赁(如 EVCARD);⑧ 私家车。在出行选择的 Nested logit 模型的建立中,将①私人非机动车出行以及②共享单车归为“非机动车出行”组;③公交车和⑤地铁归为“公共出行”组;④网约车和⑥出租车归为“定制出行”组;⑦电动汽车分时租赁和⑧私家车归为“自助自驾出行”组。最终形成 4 种出行方案组、8 种出行方案的嵌套式树形结构,如图 1 所示,“交通出行”为此树形结构的“根部”,第 1 层的“非机动车出行”、“公共出行”等为树干,第 2 层的“私人非机动车出行”、“共享单车”、“公交车”、“地铁”、“网约车”、“出租车”、“分时租赁”、“私租车”等为树枝。

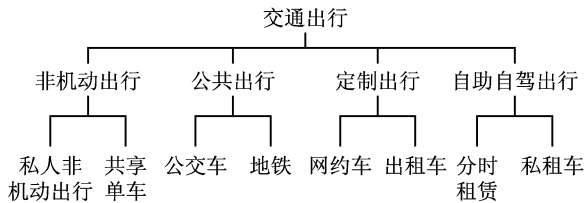


图 1 出行选择的嵌套式选择树结构

Fig.1 Nested structure for travel modes choices

### 2.3.2 确定效用函数与解释变量

在嵌套 Nested Logit 模型中,假定个体在选择时综合考虑最优方案,即某出行方式的效用函数值最大,本模型效用函数如下:

$$U_{jk} = x'_{jk}\beta + z'_j\gamma_j + \omega'\delta_{jk} + \epsilon_{jk}$$

$$j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K \quad (1)$$

式中: $U_{jk}$ 表示个体 $i$ 选择树干 $j$ 树枝 $k$ 方案,即选择出行方案组 $j$ 中出行方式 $k$ 所带来的效用值; $x'_{jk}$ 表示同时随树干与树枝方案而变,即随出行方案组 $j$ 与出行方式 $k$ 不同而改变的解釋变量,此为上下层共有变量,即影响 8 种出行方案选择的因素; $z'_j$ 表示只随树干 $j$ (即 4 个出行方案组)且不随树枝 $k$ (即 8 个出行方式)的不同而改变的解釋变量,此为上层变量,即影响 4 种出行方案组选择的因素; $\omega'$ 表示仅随个体 $i$ 特征不同而变的解釋变量,不随方案而变,此为下层变量,即仅与个体相关的因素; $\beta$ 、 $\gamma_j$ 和 $\delta_{jk}$ 分别为以上各类解釋变量的待估计系数, $\beta$ 既不随树干 $j$ 也不随树枝 $k$ 而变, $\gamma_j$ 随树干 $j$ 而变, $\delta_{jk}$ 既随树干 $j$ 也随出行方式 $k$ 而变; $\epsilon_{jk}$ 为扰动项,McFadden 假定扰动项服从“广义极值分布”。

## 3 研究结果

### 3.1 用户出行特征描述性统计分析

利用统计分析的方法,结合实际调查数据,从个人社会经济属性(性别、年龄、收入、职业、受教育程度等)、个人交通属性(驾龄、拥有私家车情况)、个人出行特性(出行目的、出行里程等)和共享交通使用情况(使用共享单车、网约车、汽车分时租赁情况)4 个方面,探究了问卷调查用户的特点。结果表明,调查的用户样本较为全面,并且覆盖了选择电动汽车分时租赁出行的目标用户和潜在用户。

#### 3.1.1 个人社会经济属性分析

性别方面,被访者中男性比例占 74.6%,女性比例占 25.4%。年龄方面,65%的受访者年龄在 18~30 岁之间,85%的受访者年龄在 18~40 岁之间。收入方面,被访者中月收入分布较为均匀,由于存在部分大学生群体,故月收入 3000 以下的占比 16%。受教育程度方面,被访者中大专及以上学历占比达到 93%,本科及以上学历占比 59%。职业分布方面,主要集中在普通职员、技术人员、学生、以及工/服务人员,占比达到 77%。综上,受访群体具有男性较多、较年轻更易接受新鲜事物、受教育程度较高能独立思考、职业及收入分布较均匀等特点,其用户特点与前人研究的汽车分时租赁的目标用户特点较为相近,是理想的样本数据来源。

#### 3.1.2 个人交通属性分析

图 2 为被访者交通属性分析。拥有私家车情况方面,50%的受访者没有可供自己日常使用的私家

车。驾龄方面,78%的受访者拥有驾照。拥有驾驶经验符合使用电动汽车分时租赁的要求,没有私家车的用户也正是电动汽车分时租赁的目标用户。

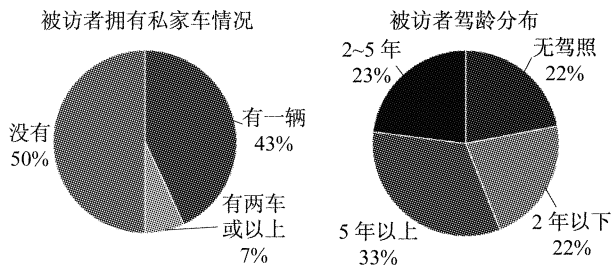


图2 被访者交通属性分析

Fig.2 Traffic attributes of respondents

### 3.1.3 个人出行特性分析

出行目的方面,因私出行的用户占53%,上下班/学通勤的用户占34%,因公出行的用户占13%。出行距离方面,38%的用户出行距离为10~50 km,正符合电动汽车分时租赁的细分目标里程,见图3。

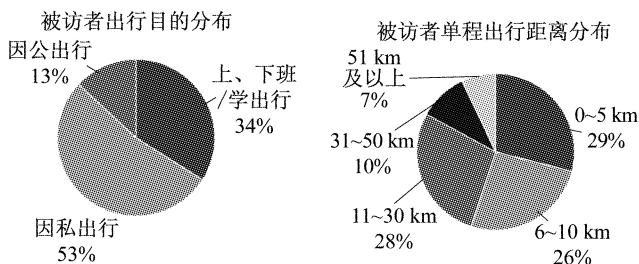


图3 被访者个人出行特性分析

Fig.3 Trip characteristics of respondents

### 3.1.4 共享交通使用情况分析

共享交通使用情况如图4所示,其中有86%的用户使用过网约车,65%的用户使用过共享单车,这表明大多数受访者使用过共享交通,有一定的“绿色”、“低碳”的出行理念,因此也可能使用同样绿色低碳的电动汽车分时租赁出行,为潜在用户。由于电动汽车分时租赁仍处于起步阶段,硬件设施覆盖率低,仅有16%的被访者使用过,其中还有8%的被访者“仅使用过几次,就再没有使用过了”。

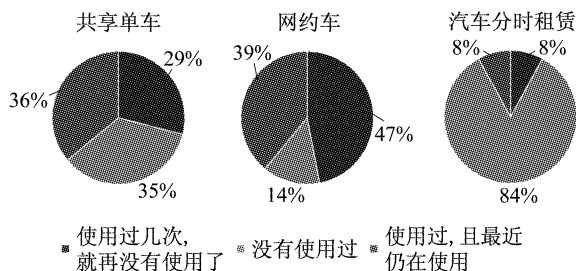


图4 被访者使用共享交通情况分析

Fig.4 Experience of choosing sharing travel modes

## 3.2 用户出行特征交叉统计分析

对用户的出行特征进行交叉统计分析,可以初步确定影响用户出行方式选择的因素。如下文,探究了出行距离与拥有私家车情况对于出行方式选择的关系。

结果表明,出行距离的长短会影响用户对出行交通方式的选择,如图5所示。在出行距离为1~3 km时,超过半数的用户选择私人非机动车出行和共享单车出行;而在出行距离为60 km时,大部分用户选择私家车和地铁出行。用户选择汽车分时租赁的比率,随着出行距离的增加而增加;在出行距离为15~60 km时,选择汽车分时租赁出行的相对较高,占5%左右。这都表明中长距离出行是电动汽车分时租赁的细分市场。

拥有私家车情况同样在很大程度上影响了用户出行方式的选择,结果如图6所示。拥有私家车的用户选择私家车出行的占比超过30%,明显大于其他出行方式。这表明拥有私家车的用户对私家车的依赖程度很强。对于汽车分时租赁,没有私家车的用户选择比例大于有私家车的用户,这也符合当前汽车分时租赁将没有私家车的年轻群体作为目标用户的情况。

## 3.3 电动汽车分时租赁选择行为分析

### 3.3.1 Nested Logit 模型参数值分析

使用 STATA 软件对 RP 和 SP 数据分别进行 Nested Logit 模型回归分析,RP 和 SP 模型的似然比检验结果分别为 40.05 和 30.71,该结果强烈拒绝“无关方案的独立性 (IIA)”的假设,因此,选用 Nested Logit 模型进行回归分析合理。

在模型参数估计中,选取各变量因素相对稳定且当前用户出行选择占比较大的“公共出行组”以及“地铁出行”分别作为模型上、下层的参照组,模型参数估计结果如表1所示:

表中,“参数值”即为各出行方式效用函数中的待估计系数,表示各解释变量与对应的出行方式之间的相关关系; $P$  值代表显著性水平,取 0.05 作为可接受的显著性水平,即  $P$  值小于 0.05,则认为解释变量与对应出行方式是否被选择显著相关。综合 RP/SP 参数估计结果以及对应  $P$  值可以得出以下结论:

(1) 对于上、下层共有变量,即“使用成本”和“站点距离(个体距离所选出行方式的站点距离)”。结果显示,不同出行方式的使用成本、站点距离与用户是否选择该出行方式呈现显著负相关。即对于所

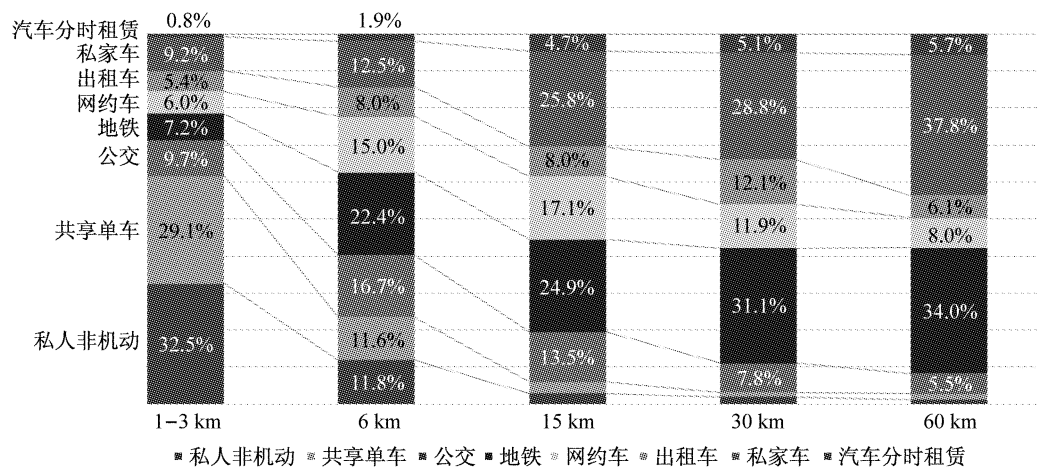


图 5 不同出行里程下个体出行方式选择分布

Fig.5 Distribution of travel modes in different travel mileage

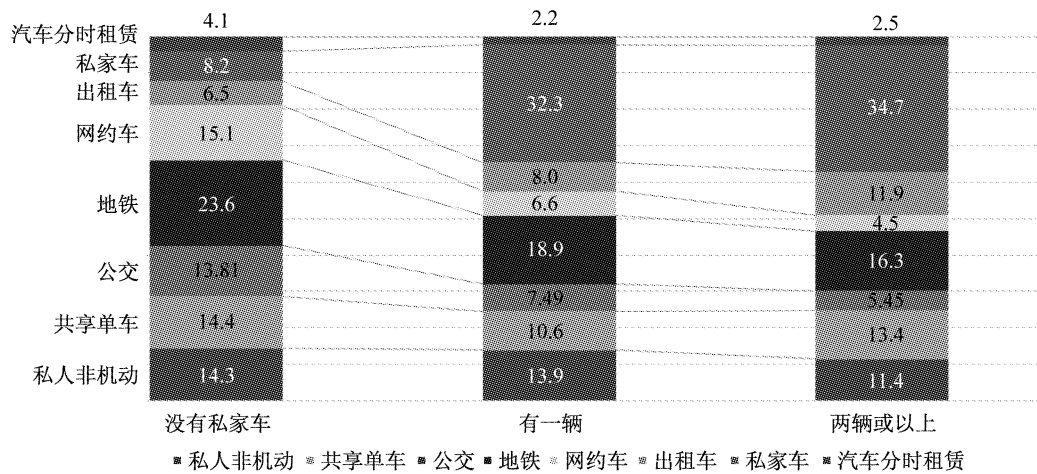


图 6 不同拥有私家车情况下个体出行方式选择分布

Fig.6 Distribution of travel modes in different situations private car ownership

表 1 Nested Logit 模型参数估计结果

Tab.1 Estimation results of the Nested Logit model

变量分类	方案组/出行方式	影响因素	RP 参数分析		SP 参数分析	
			参数值	P 值	参数值	P 值
上、下层共有变量	所有	使用成本	-1.468	0	-0.756	0
		站点距离	-0.667	0	-2.422	0
	非机动车出行组	出行里程	-0.086	0.016	-0.123	0
		出行目的	-0.067	0.993	-0.227	0.001
上层变量	公共出行组		参照组		参照组	
	定制出行组	出行里程	0.012	0.876	-0.008	0.003
		出行目的	0.996	0.894	0.139	0.044
	自助自驾出行组	出行里程	0.030	0.681	0.014	0
		出行目的	0.167	0.823	-0.056	0.399

(转下页)

(续表 1)

变量分类	方案组/出行方式	影响因素	RP 参数分析		SP 参数分析	
			参数值	P 值	参数值	P 值
下层变量	私人非机动车出行	驾龄	-0.116	0.796	0.035	0.354
		私家车数量	-0.245	0.836	0.333	0.025
		性别	0.244	0.858	-0.366	0.016
		年龄	0.053	0.788	-0.027	0.003
		收入	0.044	0.679	-0.002	0.888
		教育程度	-0.132	0.859	-0.269	0.003
		从事工作	-0.025	0.883	-0.023	0.373
	共享单车	驾龄	0.038	0.939	0.071	0.070
		私家车数量	-0.199	0.871	0.170	0.252
		性别	-0.379	0.822	-0.246	0.107
		年龄	0.017	0.940	-0.064	0
		收入	0.053	0.633	0.017	0.251
		教育程度	0.327	0.633	0.063	0.512
		从事工作	-0.062	0.732	-0.028	0.288
	公交出行	驾龄	-0.116	0.800	0.016	0.216
		私家车数量	-0.391	0.034	0.008	0.877
		性别	0.063	0.965	-0.293	0
		年龄	0.060	0.768	-0.005	0.016
		收入	0.019	0.857	-0.017	0.006
		教育程度	0.090	0.908	-0.147	0
		从事工作	-0.043	0.801	-0.014	0.092
	地铁出行		参照组		参照组	
	出租车	驾龄	-0.188	0.717	0.070	0.259
		私家车数量	0.460	0.750	0.810	0.014
		性别	-1.520	0.473	-0.838	0.012
		年龄	0.070	0.739	-0.051	0
		收入	0.157	0.256	0.058	0.011
		教育程度	-0.484	0.596	-0.216	0.067
		从事工作	0.008	0.997	-0.071	0.158
	网约车	驾龄	-0.023	0.963	0.068	0.191
		私家车数量	-0.708	0.620	-0.375	0.244
		性别	1.355	0.469	0.101	0.647
		年龄	0.004	0.986	-0.042	0
		收入	-0.092	0.555	-0.027	0.339
		教育程度	0.225	0.798	-0.303	0.001
		从事工作	-0.155	0.458	0.015	0.662
	私家车	驾龄	0.110	0.811	0.156	0
		私家车数量	0.760	0.519	1.096	0
		性别	0.464	0.748	-0.093	0.467
		年龄	0.042	0.835	-0.044	0
		收入	0.018	0.869	0.021	0.058
		教育程度	-0.102	0.894	-0.421	0
		从事工作	-0.076	0.659	-0.043	0.075
	汽车分时租赁	驾龄	0.192	0.696	0.098	0.037
		私家车数量	-0.780	0.607	0.421	0.047
		性别	-0.054	0.973	-0.244	0.212
		年龄	-0.026	0.906	-0.050	0
		收入	-0.002	0.989	0.014	0.384
		教育程度	0.286	0.733	0.090	0.369
		从事工作	-0.051	0.779	0.005	0.861

列的 8 种出行方式来说,使用成本越高,站点距离越远,那么用户选择的概率就越低,这是符合通常的认知的。

(2) 对于上层变量,即“出行里程”和“出行目的”。结果显示,出行里程越长,个体越不倾向于选择“非机动车出行”组,越倾向于选择“自助自驾出行”

组。这表明私家车和电动汽车分时租赁,可以更好的解决用户中长距离的出行问题,因此电动汽车分时租赁对私家车出行具备替代作用的潜在可能。出行目的表示用户选择出行方案时的主要目的,包括因私出行、因公出行以及上下班通勤。结果显示,用户在因公出行时倾向于选择“定制出行”组,包括网约车和出租车。

(3) 对于下层变量,即“性别”、“年龄”、“收入”、“受教育程度”、“从事职业”、“私家车数量”(个体拥有私家车的数量)、“驾龄”。结果显示,驾龄对于选择私家车和汽车分时租赁呈显著正相关,但用户驾龄越高更倾向于选择私家车;个体拥有私家车数量对于选择出租车和私家车出行呈显著成正相关,拥有可供出行的私家车的数量越多,更倾向于选择私家车出行,这表明有车用户更依赖私家车,更习惯乘坐或驾驶汽车出行;个体年龄对于选择共享单车和电动汽车分时租赁出行呈显著负相关,说明比较年轻的用户更容易接受共享、低碳的出行理念,更能接受电动汽车分时租赁;个体收入对于选择出租车出行呈现显著正相关,对于选择网约车和公交出行呈现显著负相关,可见个体的收入越低,出行方案的经济性考虑权重就越大。

### 3.3.2 电动汽车分时租赁选择的分担率分析

出行方式选择的分担率即用户选择某一出行方式的概率。本文使用 STATA 软件计算样本个体(既被访对象)选择不同出行方式的概率,在 Nested Logit 模型中,个体  $i$  选择出行组  $j$  中出行方式  $k$  的概率如下:

$$P_{jk} = P_j \times P_{k|j} = \frac{\exp(z'_j \gamma + \tau_j I_j)}{\sum_{m=1}^J \exp(z'_m \gamma + \tau_m I_m)} \times \frac{\exp(x'_{jk} \beta_j / \tau_j)}{\sum_{l=1}^{K_j} \exp(x'_{jl} \beta_j / \tau_j)} \quad (2)$$

$$I_j = \ln \left[ \sum_{l=1}^{K_j} \exp \left( \frac{x'_{jl} \beta_j}{\tau_j} \right) \right] \quad (3)$$

式中:  $P_j$  为个体  $i$  选择出行组  $j$  的概率;  $P_{k|j}$  为个体  $i$  在选择出行组  $j$  的情况下,选择出行方式  $k$  的条件概率;  $I_j$  称为包含价值(inclusive value)。

在得到所有个体选择概率之后,计算所有个体选择各个出行方式的概率平均值,即得出不同出行方式的分担率,结果如图7所示。

在 RP 数据中,选择私家车出行的概率在八种出行方式中占比最大,达到 18.91%,在 SP 数据中也高达 20.51%。这也正是上海、北京等城市道路拥

堵的主要原因,而像电动汽车分时租赁这样在体验上与私家车出行相近的共享出行方式,有望替代部分私家车出行。

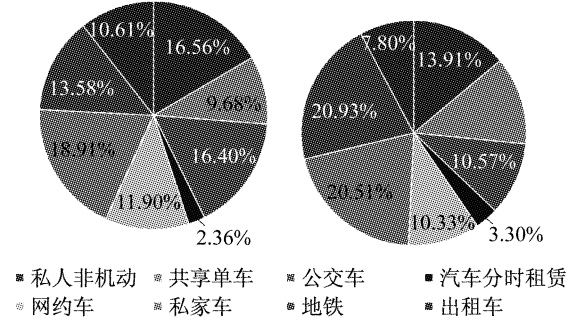


图7 RP/SP数据中出行方式分担率

Fig.7 Market share of travel modes in RP/SP data

随着选择电动汽车分时租赁出行的用户的增多,则会相应的减少城市道路上的私家车,电动共享汽车比传统的私家燃油车更为节能环保,并且对于汽车的利用率更高,由此降低了城市道路压力,缓解拥堵。

根据 RP 数据和 SP 数据计算的汽车分时租赁的分担率为 2.36% 和 3.30%, 占比较低。这表明,目前汽车分时租赁的普及度和用户接受度都不高。对于汽车分时租赁来说,当前规模体量较小,并且其自助自驾的用户体验和依托于互联网平台使用的特质,都在一定程度上约束了其目标用户的范围。

其中,汽车分时租赁的 SP 数据分担率明显大于 RP 数据分担率。说明在实际出行中,使用过汽车分时租赁的用户十分有限,但在意向调查中,愿意尝试汽车分时租赁的个体要明显增多。可见汽车分时租赁在使用成本、用户体验等方面具有一定的吸引力和优势,市场上也仍有上涨空间。如何进一步提高汽车分时租赁的便捷性,形成规模效应,最终使其能大范围普及,是当前急需解决的问题。

### 3.3.3 电动汽车分时租赁选择的敏感度分析

本文进一步对显著影响电动汽车分时租赁选择概率的变量的敏感度进行分析,及探究在解释变量变动的情况下,电动汽车分时租赁分担率的变化情况。

首先,根据上文模型参数分析结果,可以确定与电动汽车分时租赁选择概率显著相关的解释变量,即对应  $P$  值小于 0.05 的解释变量,如表2所示。

由表2可知,对于 RP 数据,与选择汽车分时租赁概率显著相关的变量为使用成本和站点距离;对于 SP 数据,显著相关的变量为使用成本、站点距离、出行里程、驾龄、私家车数量和年龄。选取在 RP、SP

数据中都显著相关的变量,即使用成本和站点距离,计算其对于选择电动汽车分时租赁的分担率的敏感度。计算敏感度前需要计算出变量的风险比率,结果如表 3 所示。

表 2 与电动汽车分时租赁显著相关的变量

Tab.2 Variables associated with EV car-sharing

显著相关变量 (5%显著性水平)	参数值(RP)	参数值(SP)	变量分类
使用成本	-0.756	-1.468	上、下层共有变量
站点距离	-2.422	-0.667	
出行里程	/	0.014	上层变量
驾龄	/	0.098	
私家车数量	/	0.421	下层变量
年龄	/	-0.050	

表 3 RP/SP 数据风险比率结果

Tab.3 Odds ratio of RP/SP data

数据风险比率	使用成本	站点距离
RP	0.914	0.563
SP	0.911	0.789

表中计算的变量的风险比率(Odds Ratio)解释为,以 RP 数据计算结果为例,变量使用成本的风险比率为 0.914,这意味着在其他变量不变的情况下,若使用成本增加一个单位(在本模型中为 1 元/km),则选择汽车分时租赁的概率将乘以 0.914,即概率下降 8.6%;变量站点距离的风险比率为 0.563,这意味着在其他变量不变的情况下,若站点距离增加一个单位(在本模型中为 1km),则选择汽车分时租赁的概率将乘以 0.563,即概率下降 43.7%。同理 SP 数据风险比率也可做上述解释。通过风险比率,可以容易得到敏感度结果,如表 4 所示。

表 4 RP/SP 数据敏感度结果

Tab.4 Sensitivity of RP/SP data

数据风险比率	使用成本	站点距离
RP	8.6%	43.7%
SP	8.9%	21.1%

由 RP/SP 数据敏感度结果可知,变量使用成本在 RP 数据和 SP 数据中对于汽车分时租赁选择的敏感度相近,分别为 8.6%和 8.9%,均小于 10%。可见,即使汽车分时租赁的使用成本有一定提高,也不会造成用户选择概率的大幅下降,且在实际应用中,每 km 的使用成本的变化较小。而变量站点距离,在 RP 数据中敏感度高达 43.7%,即站点远离用户 1 km 选择汽车分时租赁出行的概率下降 43.7%。这表明在用户近一周的实际出行选择中,汽车分时租赁站点距离过远是用户没有选择的主要原因。在 SP 数据中,站点距离的敏感度同样高达 21.1%,远

高于使用成本的敏感度,这表明在给定情景下用户选择出行方案时,比起出行方式的使用成本更在意站点距离的远近,用户更看重出行方式的方便性。

4 结论

为促进电动汽车分时租赁更好更快发展,根据上述分析和模型计算结果,得出如下结论:

(1) 便捷性是当前汽车分时租赁需要解决的首要问题。经上文敏感度分析可知,用户在选择出行方案时对站点距离更为敏感。当前,汽车分时租赁站点较少,分布不合理,是制约用户选择汽车分时租赁的重要因素。

(2) 经济性是汽车分时租赁需要保持的重要优势。当前汽车分时租赁的使用成本相对于网约车和出租车的使用成本较低,特别是在较长出行里程的情况下价格优势明显,这也是用户在长距离出行时倾向选择汽车分时租赁的原因。汽车分时租赁如何实现差异化的收费标准,对用户形成更大的吸引力,值得运营企业关注。

(3) 分时租赁车辆的续航里程有待提高。如上文交叉统计分析所示,用户对于电动汽车分时租赁的选择比率,随着出行距离的增加而增加。可见,用户在较长出行距离时更愿意选择汽车分时租赁,而共享电动汽车当前的续航里程受成本和技术等因素的限制并不高。因此,提高共享电动汽车的续航里程,提供满足用户出行距离的电动车辆,可以改善用户的使用体验。

(4) 低碳、绿色的出行理念需更深入人心。电动汽车分时租赁在用户体验上与私家车相近,且更为环保,对私家车可以形成很好的替代。然而,由上文出行方式分担率分析可知,当前用户在实际出行选择时,更依赖和习惯私家车出行。如交叉统计分析所示,有车用户对电动汽车分时租赁的选择比率也明显低于无车用户。造成这一现象的原因,一是当前电动汽车分时租赁普及度不高,不够便捷;二是能够实际践行绿色出行的用户也并不多。因此,如何提高人们的绿色出行理念,如何鼓励用户践行绿色出行,值得思考。

参考文献:

[1] MICHAEL G R. Car-sharing—"car-on-call" for reclaiming street space[J]. Procedia—Social and Behavioral Sciences, 2012, 48:1454.



- [2] CRANE K, ECOLA L, HASSELL S, *et al.* Energy services analysis: an alternative approach for identifying opportunities to reduce emissions of greenhouse gases[M]. Pittsburgh: Rand Corporation, 2012.
- [3] BRADY J, O' MAHONY M. Travel to work in Dublin. The potential impacts of electric vehicles on climate change and urban air quality [J]. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 2011, 16(2):188.
- [4] HAWKINS T R, SINGH B, MAJEAU-BETTEZ G, *et al.* Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2013, 17(1):53.
- [5] SHAHEEN S. Dynamics in behavioral adaptation to a transportation innovation: a case study of carlink—a smart carsharing system[R]. Berkeley: Institute of Transportation Studies, UC Berkeley, 1999.
- [6] LANGSTON W. Assessment of the future development of car sharing in Germany and related opportunities[J]. *Transport Reviews*, 2006, 26(5):365.
- [7] COSTAIN C, ARDRON C, HABIB K N. Synopsis of users' behaviour of a carsharing program: a case study in Toronto [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2012, 46(3):421.
- [8] SHAHEEN S, CANO L, CAMEL M. Exploring electric vehicle carsharing as a mobility option for older adults: a case study of a senior adult community in the San Francisco Bay Area [J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2016, 10(5):406.
- [9] KIM D, KO J, PARK Y. Factors affecting electric vehicle sharing program participants' attitudes about car ownership and program participation[J]. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 2015, 36:96.
- [10] CLEWLOW R R. Carsharing and sustainable travel behavior: results from the San Francisco Bay Area[J]. *Transport Policy*, 2016, 51:158.
- [11] 邱雷. 汽车共享服务在中国的市场前景与营销策略研究[D]. 上海:复旦大学, 2009.
- QIU Lei. Research on service of vehicle sharing based on market prospect and marketing strategy in China [D]. Shanghai: Fudan University, 2009.
- [12] 薛跃, 杨同宇, 温素彬. 汽车共享消费的发展模式及社会经济特性分析[J]. *技术经济与管理研究*, 2008, 156(1):54.
- XUE Yue, YANG Tongyu, WEN Subin. Analysis of development model on vehicle sharing consumption and social economic characteristics[J]. *Research on Technology Economy and Management*, 2008, 156(1):54.
- [13] 代秋杰. 基于消费者选择行为的汽车共享政策分析[J]. *长春理工大学学报(社会科学版)*, 2012, 25(11):106.
- DAI Qiujie. Analysis of automobile sharing policy based on consumer choice behavior[J]. *Journal of Changchun University Of Science and Technology (Social Science Section)*, 2012, 25(11):106.
- [14] 鞠鹏, 周晶, 徐红利, 等. 基于混合选择模型的汽车共享选择行为研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2017, 17(2):7.
- JU Peng, ZHOU Jing, XU Hongli, *et al.* Travelers' choice behavior of car sharing based on hybrid choice model [J]. *Transportation System Engineering and Information*, 2017, 17(2):7.
- [15] 陈梓烽, 柴彦威. 通勤时空弹性对居民通勤出发时间决策的影响: 以北京上地—清河地区为例[J]. *城市发展研究*, 2014, 21(12): 65.
- CHEN Zifeng, CHAI Yanwei. Modelling the choice of departure time for commuting trip chains incorporating space-time flexibility variables: evidence from the Shangdi—Qinghe area of Beijing [J]. *Urban Development Studies*, 2014, 21(12): 65.
- [16] 潘晖婧, 朱玮, 王德. 基于路径选择行为的自行车出行环境评价和改善[J]. *上海城市规划*, 2014(2):12.
- PAN Huijing, ZHU Wei, WANG De. Evaluation and improvement of bicycle travel environment based on the cycling route choice behavior [J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2014(2): 12.
- [17] YANG C W, SUNG Y C. Constructing a mixed-logit model with market positioning to analyze the effects of new mode introduction[J]. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(1): 175.
- [18] 陈秋香. Nested Logit 模型在交通出行方式选择中的应用[J]. *甘肃科学学报*, 2013, 25(2):133.
- CHEN Qiuxiang. Application of the model of Nested Logit based on choices of travel modes [J]. *Gansu Science Report*, 2013, 25(2):133.