

# 基于Nested Logit模型的共享单车选择行为研究

袁朋伟<sup>1</sup>,董晓庆<sup>\*1</sup>,翟怀远<sup>2</sup>,许 葭<sup>2</sup>

(1. 济南大学 商学院, 济南 250022; 2. 北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044)

**摘要:** 近两年来,共享单车迅速发展,已有研究较少从微观角度来阐释共享单车的选择行为。本文基于随机效用理论,构建Nested Logit模型,选取出行目的、接驳时间、在车时间、停车时间、费用等出行特征变量,选取下雨(雪)、空气质量、气温、风力等级等天气状况变量,选取年龄、性别、收入等社会经济变量作为效用函数的特征变量,采用D-optimal法设计问卷,在济南市开展共享单车实证调查。基于收集到的样本进行参数标定,找出影响共享单车及其他出行方式选择的关键影响因素;并对共享单车的乘车费用与接驳时间进行弹性分析,明确了共享单车乘车费用与接驳时间变化对短途出行结构的影响。

**关键词:** 城市交通;共享单车;共享单车选择行为;Nested Logit

## Choice Behavior of Bike-sharing Based on Nested Logit Model

YUAN Peng-wei<sup>1</sup>, DONG Xiao-qing<sup>1</sup>, ZHAI Huai-yuan<sup>2</sup>, XU Jia<sup>2</sup>

(1. School of Business, University of Jinan, Jinan 250022, China; 2. School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In the past two years, bike-sharing have developed rapidly. However, few studies have clarified the choice behavior of bike-sharing from a microscopic perspective. Based on the random utility theory, a Nested Logit model is constructed to study the choice behavior of bike-sharing in this paper. We selected travel destination, access time, travel time, parking time, cost from trip characteristics, and selected raining (snowing), air quality, temperature and wind level from weather conditions, and selected age, gender and income from socio-economic attributes as the explanatory variables for the utility function. The D-optimal method is used to design a questionnaire and an empirical survey is conducted in Jinan. Based on the collected samples, the parameters are identified to find the key factors affecting the choice of travel mode. The elasticities analysis of the ride cost and access time of shared bicycles explain the impact of changes in travel expenses and access time on travel mode choice.

**Keywords:** urban traffic; bike-sharing; bike-sharing choice behavior; Nested Logit

## 0 引言

近年来,城市发展过程中的交通拥堵与空气污染成为影响城市可持续发展的重要问题。越来越多的城市实施“公交优先”的发展战略,倡导居民选择公交、地铁等公共交通工具出行,而共享单车在解决公共交通“最后一公里”问题上起到了关键

作用。2016年以来,依托于GPS定位与移动支付的民营“无桩”共享单车在中国各大城市迅猛发展,有效地解决了接驳换乘等短途出行问题。

短短2年时间,我国共享单车已经投放2300万辆,注册用户达到4亿。2017年8月2日,交通运输部等10部门联合出台了《关于鼓励和规范互联网

收稿日期:2018-05-20

修回日期:2018-07-15

录用日期:2018-07-20

基金项目:国家社科基金/National Social Science Fund(17CGL073);山东省自然科学基金/Shandong Natural Science Foundation(ZR2017BG009)。

作者简介:袁朋伟(1984-),男,山东东营人,讲师,博士。

\*通信作者:lengxueer1016@163.com

租赁自行车发展的指导意见》,正式明确了共享单车是城市绿色交通系统的组成部分.然而由于兴起和发展时间太短,学术界对共享单车的研究主要集中在经济现象描述、法律监管等宏观问题<sup>[1]</sup>.另外有少量研究对共享单车的运营与发展等微观运行机制进行了探讨:何赖磊等采用扎根理论对共享单车的商业模式进行了探讨<sup>[2]</sup>;张冰琦等基于排队论对公共自行车租赁点布局及配车量分配进行了研究<sup>[3]</sup>;Kaplan基于计划行为理论探讨了节假日旅游观光中共享单车使用行为问题<sup>[4]</sup>.可见对于共享单车的研究逐渐成为热点并趋于细化.

本研究从共享单车使用者的角度出发,设计并开展了济南市共享单车使用特征的行为调查与共享单车选择的行为调查,研究影响共享单车选择行为的关键因素.

## 1 基于Nested Logit的共享单车选择模型

在出行行为研究中,最常用的模型是多项Logit(MNL),然而MNL模型的理论基础建立在在不相关选择方案独立性(IIA)的假设之上,即认为选择一种出行方式与选择另外一种出行方式无关,但在实际的出行过程中可能多项方案之间存在密切的相关性,解决IIA问题的替代方法是建立Nested Logit(NL),即将相关选项放入“巢”中,构成多层次的Nested Logit模型<sup>[5]</sup>.建模过程如下.

首先,确定出行者的选择集.本研究主要目的是构建使用共享单车的决策模型.根据济南市当前的主要出行交通工具,确定出行者的选择集为:共享单车、电动自行车、步行、公交车、私家车.用集合 $C = \{c_j\}$ 表示,即: $C = \{\text{bikeshare}, \text{e-bike}, \text{walk}, \text{bus}, \text{car}\}$ .

其次,根据随机效用理论,确定效用函数.出行者 $n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots, N$ ) 在叙述性偏好情景 $t$  ( $t = 1, 2, 3, \dots, T$ ) 选择方案 $c_i$ 的效用为

$$U_{int} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{intk} + \theta_i \eta_{in} + \varepsilon_{int} \quad (1)$$

效用函数中可测量部分为

$$V_{int} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{intk} + \theta_i \eta_{in} \quad (2)$$

式中: $X$ 表示解释变量; $\eta$ 表示面板效应,服从均值为0的正态分布; $\varepsilon_{int}$ 表示效用中的不可观测部分, $\varepsilon_{int}$ 服从Gumbel (Extreme Value Type I)分布; $\beta_k$ 与 $\theta_i$

为待估参数.

参考前人研究的基础上<sup>[6]</sup>,设置3类解释变量:第1类为出行目的,接驳时间(即从原点到获取交通方式的时间),在车时间,停车时间,费用与是否有手机APP等出行特征变量;第2类为下雨(雪),空气质量,气温等天气状况变量;第3类为个体社会经济变量,如年龄、性别、收入等.

第三,确定选择概率.Nested Logit模型可以看作是多项Logit嵌套组成<sup>[7]</sup>,即模型可以表示成为多层条件概率,即

$$P_{int} = P_{G_j} P_{int|G_j} \quad (3)$$

式中: $P_{G_j}$ 表示选择个体 $n$ 在情景 $t$ 选择某“巢” $G_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ )的概率; $P_{int|G_j}$ 表示个体 $n$ 在情景 $t$ 下选择某“巢” $G_j$ 中某个方案的概率,计算公式为

$$P_{G_j} = \frac{e^{\lambda_j EV_{int}}}{\sum_{j=1}^J e^{\lambda_j EV_{int}}} \quad (4)$$

$$P_{int|G_j} = \frac{e^{V_{int}/\lambda_j}}{\sum_{m \in G_j} e^{V_{int}/\lambda_j}} \quad (5)$$

式中: $\lambda_j$ 是不同“巢”之间的异质性参数; $EV_{int}$ 表示某一“巢”中选择方案的最大期望效用.

第四,确定对数似然函数.因为 $\eta$ 为随机变量,则对数似然函数可以表示为

$$LL_n(\beta, \eta) = \sum_{n=1}^N \sum_{t \in c_n} y_{in} \ln \prod_{i=1}^T P_{int}(i | X_{in}, \beta_k, \eta_{in}, \sigma_i, c_n) f(\eta_{in}) d\eta_{in}$$

当个体 $n$ 选择方案 $i$ 时 $y_{in} = 1$ ,反之为0.

## 2 调查设计与数据获取

### 2.1 问卷设计

为了有效的获取数据,本研究将问卷分成3个部分:第1部分为收集被调查者的社会经济属性;第2部分为共享单车出行行为调查(显示性偏好调查,RP调查),主要获取使用共享单车的出行目的、使用原因、使用频次等数据;第3部分为陈述性偏好问卷(SP调查),在短途出行中(出行距离小于2.5 km),将模型中各个天气状况变量与出行特征解释变量按照不同的水平进行组合,形成不同的假设情景,从而获取出行者的交通方案选择.各个变量测量方式如表1所示.

表 1 变量设计  
Table 1 Variable design

| 属性     | 变量    | 代码           | 测量方式  |
|--------|-------|--------------|---|
|        | 性别    | $X_{gender}$ | 男性:1, 女性:0  |
| 社会经济变量 | 年龄    | $X_{age}$    | <18岁:-5, [18, 26)岁:-3, [26, 36)岁:-1, [36, 46)岁:1, [46, 60)岁:3, ≥60岁:5                             |
|        | 收入    | $X_{income}$ | ≤3 000元:-3, (3 000, 4 500]元:-1, (4 500, 6 000]元:0, (6 000, 8 000]元:1, >8 000元:3                   |
| 天气状况变量 | 下雨(雪) | $X_{rain}$   | 下雨(雪):1, 未下雨(雪):0   |
|        | 空气质量  | $X_{AQI}$    | 采用空气质量指数(AQI)进行衡量:[0,50]:1, (50, 100]:2, (100, 150]:3, (150, 200]:4, (200, 300]:5, >300:6         |
|        | 气温    | $X_T$        | 划分为两类, 适宜, [5, 25]°C:1; 不适宜, <5°C或者>25°C:-1   |
|        | 风力等级  | $X_{WP}$     | 按照风力等级(1~17)进行划分, [0, 2]:1, [3, 5]:2, [6, 17]:3   |
| 出行特征变量 | 出行目的  | $X_{TD}$     | 休闲娱乐:1, 非休闲娱乐:0   |
|        | 接驳时间  | $X_{AT}$     | 共享单车/min: 1, 2, 3, 4<br>公交车/min: 2, 4, 6, 8<br>步行/min: 10, 15, 20, 30                             |
|        | 在车时间  | $X_{By}$     | 共享单车/min: 8, 10, 12, 15<br>电动自行车/min: 5, 6, 7, 9<br>公交车/min: 5, 7, 10, 15<br>私家车/min: 3, 5, 7, 10 |
|        | 停车时间  | $X_s$        | 私家车/min: 0, 2, 5  |
|        | 乘车费用  | $X_{cost}$   | 共享单车/元: 0.5, 1<br>私家车/(元/km): 1.2, 1.5, 1.6,<br>公交车/元: 1, 2                                       |
|        | 押金    | $X_{ff}$     | 共享单车/元: 99, 199, 299  |
|        | 停车费用  | $X_F$        | 私家车/(元/h): 0, 2   |
|        | 手机APP | $X_{app}$    | 共享单车: 有(1), 无(-1)<br>公交车: 有(1), 无(-1)   |

为了减少受访者的问卷填写数量,采用 D-optimal 设计法生成陈述性偏好问卷:

(1) 首先采取通过互联网获取的 161 份问卷数据对模型的参数进行初步的标定。

(2) 根据表 1 当中的属性水平,利用 Matlab 软件编程进行全因子设计法设计试验,并从中随机挑选 60 个试验组合,计算  $D_{error}$ , 不断迭代,找出  $D_{error}$  最小的 60 个组合试验。为避免 1 次填答过多情境造成受访者混淆或发生随意乱答的情况,随机抽取 6 种情景组成 1 种问卷,故共有 10 种问卷。

## 2.2 调查方案与数据获取

为了有效地获取数据,调查分成两步进行。

(1) 试调查。首先小规模地采用互联网问卷进行初步的试调查,并根据结果对问卷进行修订。

(2) 正式调查。由于共享单车的使用者不仅仅是济南市的常住居民,还包括大量的流动人口,因此抽样总体难以确定,故正式调查采用简单随机抽样。根据济南市市区的行政划分,选择了 15 个数

据采集点(主要为公交车站、大型居民区与大型商场)有针对性地发放纸质问卷。为了提高问卷的响应率,问卷完成后可以获取小礼品 1 份。

12 名调查员在 2018 年 3~4 月期间,共发放问卷 1 479 份,剔除无效问卷后,获得有效问卷 1 331 份。有效样本的基本情况如表 2 所示。

## 3 结果分析

### 3.1 共享单车使用特征

根据共享单车出行行为调查的数据,对共享单车的出行行为进行统计。在调查样本中,只有 4% 的受访者表示没有用过共享单车;17.8% 的受访者表示每天至少使用 1 次,38.1% 的受访者表示每 3~4 天至少使用 1 次,30.5% 的受访者表示每周至少使用 1 次,9.6% 的受访者表示每月至少使用 1 次;在出行目的上,休闲娱乐占 41%、上下(班)占 33.8%、上下学占 12%。共享单车主要服务距离以短

途为主,78.8%的受访者表示使用共享单车主要出行距离为2.5 km以内.在共享单车选择原因上,身体健康、价格优惠、绿色环保占到了前3位.可见随

着移动互联网的发展与健康绿色出行观念的深入人心,共享单车在价格优惠的基础上发展迅速.

表2 样本基本情况描述  
Table 2 The description of the sample

| 项目   | 比例/%   | 项目       | 比例/%            |           |      |
|------|--------|----------|-----------------|-----------|------|
| 性别   | 男      | 48.3     | 年龄              | < 18岁     | 8.0  |
|      | 女      | 51.7     |                 | [18, 26)岁 | 34.0 |
| 婚姻   | 已婚     | 47.0     |                 | [26, 36)岁 | 28.0 |
|      | 未婚     | 53.0     |                 | [36, 46)岁 | 20.0 |
| 教育状况 | 高中及以下  | 27.0     |                 | [46, 60)岁 | 9.0  |
|      | 大专     | 21.0     |                 | ≥60岁      | 1.0  |
|      | 本科     | 23.0     | ≤3000元          | 38.1      |      |
| 职业状况 | 硕士及以上  | 29.0     | (3 000, 4 500]元 | 26.0      |      |
|      | 公务员    | 6.0      | (4 500, 6 000]元 | 22.1      |      |
|      | 事业单位职员 | 12.0     | (6 000, 8 000]元 | 11.8      |      |
| 职业状况 | 企业职工   | 41.0     | > 8 000元        | 2.0       | 收入   |
|      | 学生     | 37.0     | 电动自行车 拥有        | 37.0      |      |
|      | 自主创业   | 3.0      | 自行车 拥有          | 12.0      |      |
| 其他   | 1.0    | 私家车 家庭拥有 | 39.0            |           |      |

### 3.2 参数标定

采用基于Python3.0平台的Python Biogeme包进行编程,采用模拟极大似然估计法进行模型中各个参数的标定.通过显示性偏好调查的调查结果可知,共享单车的主要出行目的为休闲娱乐,因此本研究将模型划分为休闲娱乐模型和非休闲娱乐模型,通过将5种备选方案进行组合测试,发现共享单车与步行共享某种属性(包容值(1)分别为0.76、0.64,均小于1),这两个交通方式隶属于同一个“巢”;公交车与私家车共享某种属性(包容值分别为0.83、0.75,均小于1),隶属于同一个“巢”,如图1所示.可见,两个模型拟合优度分别为0.24与0.31,均大于0.2,说明两个模型都有较强的解释能力.休闲娱乐目的下与非休闲娱乐目的下的共享单车参数标定结果如表3所示.

从表3参数标定的结果可以看出,影响共享单车选择的社会经济变量只有性别,无论是休闲娱乐出行还是非休闲娱乐出行,女性比男性更喜欢共享单车,年龄与收入的影响不显著.在天气状况变量中,下雨(雪)、空气质量与气温对共享单车的选择均有影响,当下雨(雪)、刮风与空气质量不佳

时,出于健康与安全的考虑,人们倾向于选择其他交通方式.值得注意的是气温对于共享单车的选择具有正向作用,气温越高,人们越倾向于使用共享单车.在出行特征变量中,无论休闲娱乐模型还是非休闲娱乐模型,接驳时间、乘车费用与押金对共享单车的选择具负向影响,寻找共享单车的时间越长,乘车费用越高,押金越高,人们越不倾向于选择共享单车;需要注意的是,在车时间对于休闲娱乐出行具有正向作用,而对于非休闲娱乐出行具有负向影响.此外,是否拥有手机APP对于休闲娱乐出行具有显著正向影响,而对于非休闲娱乐出行的影响不显著.

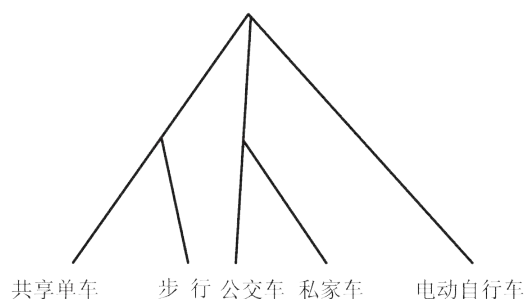


图1 交通方式的划分

Fig. 1 The division of transportation mode

表3 参数标定结果

Table 3 Model estimation results

| 变量      | 参数            | 休闲娱乐模型                            |                        | 非休闲娱乐模型  |             |          |
|---------|---------------|-----------------------------------|------------------------|----------|-------------|----------|
|         |               | 估计值                               | t-test                 | 估计值      | t-test      |          |
| 共享单车    | 共享单车特定常量      | $\alpha_{\text{bikeshare}}$       | 1.43***                | 7.51     | 1.09***     | 3.98     |
|         | 性别            | $\beta_{\text{gender-bikeshare}}$ | -0.33**                | -2.51    | 0.012***    | 4.38     |
|         | 年龄            | $\beta_{\text{age-bikeshare}}$    | -0.51                  | -0.67    | -0.89       | -1.14    |
|         | 收入            | $\beta_{\text{age-bikeshare}}$    | -0.013                 | -1.35    | -0.043      | -1.42    |
|         | 下雨(雪)         | $\beta_{\text{rain-bikeshare}}$   | -0.010***              | -3.26    | -0.027***   | -3.55    |
|         | 空气质量          | $\beta_{\text{AQI-bikeshare}}$    | -0.003 9***            | -4.17    | -0.002 7*** | -3.63    |
|         | 气温            | $\beta_{\text{T-bikeshare}}$      | 0.012***               | 5.33     | 0.008       | 0.96     |
|         | 风力等级          | $\beta_{\text{WP-bikeshare}}$     | -0.069***              | -6.19    | -0.15***    | -7.34    |
|         | 接驳时间          | $\beta_{\text{AT-bikeshare}}$     | -0.70***               | -4.81    | -0.91***    | -4.96    |
|         | 在车时间          | $\beta_{\text{by-bikeshare}}$     | 0.37***                | 5.03     | -0.021***   | -6.21    |
|         | 乘车费用          | $\beta_{\text{cost-bikeshare}}$   | -0.89***               | -6.81    | -0.72***    | -5.46    |
|         | 押金            | $\beta_{\text{fl-bikeshare}}$     | -0.23***               | -4.55    | -0.19***    | -3.87    |
|         | 手机APP         | $\beta_{\text{APP-bikeshare}}$    | 0.17*                  | 1.68     | -0.31       | -1.47    |
|         | 步行            | 步行特定常量                            | $\alpha_{\text{walk}}$ | 5.60***  | 6.37        | 2.61***  |
| 性别      |               | $\beta_{\text{gender-walk}}$      | -0.73                  | -0.99    | -0.042      | -1.24    |
| 年龄      |               | $\beta_{\text{age-walk}}$         | -0.51                  | -0.67    | -0.89       | -1.14    |
| 收入      |               | $\beta_{\text{age-bikeshare}}$    | 0.47**                 | 1.99     | 0.043       | 1.45     |
| 下雨(雪)   |               | $\beta_{\text{rain-bikeshare}}$   | -1.67***               | -5.23    | -1.13***    | -4.75    |
| 空气质量    |               | $\beta_{\text{AQI-bikeshare}}$    | -0.041***              | -3.89    | -0.032***   | -4.17    |
| 气温      |               | $\beta_{\text{T-bikeshare}}$      | 0.020***               | 5.33     | 0.008**     | 1.97     |
| 风力等级    |               | $\beta_{\text{WP-bikeshare}}$     | -0.085***              | -4.48    | -0.34***    | -6.51    |
| 接驳时间    |               | $\beta_{\text{AT-bikeshare}}$     | -0.39***               | -3.74    | -0.67***    | -5.82    |
| 公交车     |               | 公交车特定常量                           | $\alpha_{\text{bus}}$  | -5.18*** | -7.23       | -6.72*** |
|         | 性别            | $\beta_{\text{gender-bus}}$       | -0.83                  | -0.76    | -0.044      | -1.13    |
|         | 年龄            | $\beta_{\text{age-bus}}$          | 0.24                   | 1.34     | 0.89        | 0.79     |
|         | 收入            | $\beta_{\text{age-bus}}$          | -0.49***               | -4.52    | -2.37***    | -4.42    |
|         | 下雨(雪)         | $\beta_{\text{rain-bus}}$         | -0.21*                 | -1.73    | 0.37***     | 3.12     |
|         | 空气质量          | $\beta_{\text{AQI-bus}}$          | -0.001 2***            | -5.17    | 0.008 2***  | 5.94     |
|         | 气温            | $\beta_{\text{T-bus}}$            | 0.022***               | 3.33     | 0.013***    | 2.87     |
|         | 风力等级          | $\beta_{\text{WP-bus}}$           | -0.001 4               | -1.48    | 0.002 6     | 1.57     |
|         | 接驳时间          | $\beta_{\text{AT-bus}}$           | -0.97***               | -4.84    | -1.30***    | -6.12    |
|         | 在车时间          | $\beta_{\text{by-bus}}$           | -0.41***               | -5.25    | -0.54***    | -5.87    |
|         | 乘车费用          | $\beta_{\text{cost-bus}}$         | -0.89***               | -6.81    | -0.72***    | -5.46    |
|         | 手机APP         | $\beta_{\text{APP-bus}}$          | 0.45**                 | 2.42     | 0.59**      | 2.35     |
|         | 私家车           | 私家车特定常量                           | $\alpha_{\text{car}}$  | 2.76***  | 5.43        | 4.33***  |
| 性别      |               | $\beta_{\text{gender-car}}$       | 0.069***               | 3.57     | 0.087***    | 3.84     |
| 年龄      |               | $\beta_{\text{age-car}}$          | 0.021**                | 2.47     | 0.097***    | 4.54     |
| 收入      |               | $\beta_{\text{age-car}}$          | 0.010 9                | 1.56     | 0.073       | 1.63     |
| 下雨(雪)   |               | $\beta_{\text{rain-car}}$         | -0.017                 | -0.91    | 0.024       | 1.44     |
| 空气质量    |               | $\beta_{\text{AQI-bus}}$          | -0.007 7               | -1.17    | -0.006 5    | -0.82    |
| 气温      |               | $\beta_{\text{T-bus}}$            | -0.031***              | -4.62    | 0.013***    | 2.87     |
| 风力等级    |               | $\beta_{\text{WP-bus}}$           | -0.000 8               | -0.64    | 0.001 7     | 1.57     |
| 在车时间    |               | $\beta_{\text{by-bus}}$           | -0.94***               | -4.73    | -1.07***    | -5.43    |
| 停车时间    |               | $\beta_{\text{s-car}}$            | -0.73***               | -5.67    | -0.59***    | -4.91    |
| 乘车费用    |               | $\beta_{\text{cost-bus}}$         | -0.24***               | -5.24    | -0.21***    | -5.13    |
| 停车费用    |               | $\beta_{\text{F-car}}$            | -0.05                  | -1.14    | -0.073      | -1.48    |
| 电动自行车   | 下雨(雪)         | $\beta_{\text{rain-e-bike}}$      | -0.84***               | -5.48    | 0.81***     | 4.56     |
|         | 空气质量          | $\beta_{\text{AQI-e-bike}}$       | -0.092***              | -4.53    | 0.085***    | 5.16     |
|         | 气温            | $\beta_{\text{T-e-bike}}$         | 0.14***                | 4.38     | 0.19***     | 5.23     |
|         | 风力等级          | $\beta_{\text{WP-e-bike}}$        | -0.032*                | -1.71    | 0.026*      | 1.71     |
|         | 在车时间          | $\beta_{\text{by-e-bike}}$        | -0.94***               | -4.73    | -1.07***    | -5.43    |
| 面板效应    |               | $\sigma_{\text{bikeshare}}$       | 0.79***                | 4.89     | 0.94***     | 4.12     |
|         |               | $\sigma_{\text{e-bike}}$          | 1.87***                | 8.13     | 2.15***     | 10.49    |
|         |               | $\sigma_{\text{walk}}$            | 2.14***                | 10.32    | 1.93***     | 9.84     |
|         |               | $\sigma_{\text{bus}}$             | 1.68***                | 7.14     | 1.71***     | 7.39     |
|         |               | $\sigma_{\text{car}}$             | 3.19***                | 12.67    | 2.52***     | 10.97    |
| 包容值     |               | IV1                               | 0.76***                | 7.51     | 0.64***     | 6.31     |
|         |               | IV2                               | 0.83***                | 8.14     | 0.75***     | 7.63     |
| 观测数     |               |                                   | 3 993                  |          | 3 993       |          |
| 初始对数似然值 | LL(0)         |                                   | -6 124.8               |          | -6 368      |          |
| 最终对数似然值 | LL( $\beta$ ) |                                   | -4 213                 |          | -4 473      |          |
| 拟合优度    | $\bar{p}^2$   |                                   | 0.24                   |          | 0.31        |          |

注:\*\*\*p<0.01,\*\*p<0.05,\*p<0.1

在其他短途出行的选项中,下雨(雪)、风力等级与空气质量状况对于在休闲娱乐目的下的步行、公交车、私家车与电动自行车出行均有负向作用,而在非休闲娱乐出行中,下雨(雪)与空气质量对于公交车与私家车出行具有正向作用;无论在休闲娱乐模型还是非休闲娱乐模型中,时间与费用相关变量对于交通工具的选择均有负向影响。此外,年龄与性别对于私家车出行具有正向影响,男性比女性更倾向于选择私家车,年龄越小,越倾向于选择私家车。

### 3.3 弹性分析

弹性分析可以分为直接弹性分析与交叉弹性

分析,直接弹性分析表示某选项影响因素变化率对该选项被选择概率的影响,即

$$E_{x_{ik}}^{p_i} = \frac{\partial p_i}{\partial x_{ik}} \cdot \frac{x_{ik}}{p_i} \quad (6)$$

交叉弹性分析表示选项*l*的影响因素变化率对选项*i*被选择概率的影响,即

$$E_{x_{lk}}^{p_i} = \frac{\partial p_i}{\partial x_{lk}} \cdot \frac{x_{lk}}{p_i} \quad (7)$$

根据式(6)和式(7),分别计算共享单车乘车费用与接驳时间的直接和交叉弹性,结果如表4所示。

表4 共享单车乘车费用与接驳时间的弹性

Table 4 Direct and cross point elasticity of bike-sharing's cost and access time

| 变量   | 模型      | 共享单车  | 步行   | 电动自行车 | 公交车  | 私家车  |
|------|---------|-------|------|-------|------|------|
| 共享单车 | 休闲娱乐模型  | -0.62 | 0.25 | 0.11  | 0.12 | 0.12 |
| 乘车费用 | 非休闲娱乐模型 | -0.66 | 0.32 | 0.10  | 0.11 | 0.11 |
| 共享单车 | 休闲娱乐模型  | -1.61 | 0.53 | 0.34  | 0.36 | 0.36 |
| 接驳时间 | 非休闲娱乐模型 | -2.10 | 0.68 | 0.45  | 0.48 | 0.48 |

从表4可以得知,共享单车的乘车费用每上涨1%,则在休闲娱乐出行中被选择概率将下降0.62%,而步行则在休闲娱乐出行中将增加0.25%的被选择概率;在非休闲娱乐出行中,共享单车被选中的概率将下降0.66%,而步行将增加0.32%的被选择概率。可以看出,共享单车主要转移了步行出行人群,对其他交通方式的替代作用较小。共享单车的接驳时间每增加1%,则在休闲娱乐出行中被选择概率将下降1.61%,在非休闲娱乐出行中被选择概率将下降2.1%。可以看出,减少共享单车接驳时间比通过费用优惠更能带来客户,可以考虑通过增加共享单车停靠点等方式减少共享单车的接驳时间。

## 4 结论

本文以济南市实际的调查数据为基础,构建了Nested Logit模型来研究共享单车的选择行为,得出的主要结论如下:

(1) 随着移动互联网的发展,共享单车已经成为人们短程出行的主要交通方式之一,身体健康、价格优惠、绿色环保是人们选择共享单车的主要

原因。

(2) 在影响共享单车选择行为的因素中,社会经济变量当中的性别,天气状况中的下雨(雪)、空气质量与气温,出行特征变量中的接驳时间、乘车费用与押金对共享单车的选择具有显著影响。

(3) 减少共享单车接驳时间是吸引用户的重要因素,可以考虑通过增加共享单车停靠点等方式减少共享单车的接驳时间。

### 参考文献:

- [1] 张泽华,林晓言,张雅萍. 供给侧视角下共享单车现存问题经济本质分析[J]. 城市发展研究, 2017, 24(11): 83-88. [ZHANG Z H, LIN X Y, ZHANG Y P. The economic nature and solutions of bicycle-sharing[J]. Urban Development Studies, 2017, 24(11): 83-88.]
- [2] 赖磊,姜农娟. 基于扎根理论的共享单车商业模式设计研究——以摩拜单车为例[J]. 当代经济管理, 2017, 39(6): 19-22. [LAI L, JIANG N J. A study on business model design of shared bicycle based on ground theory: A case study of mobike[J]. Contemporary Economy & Management, 2017, 39(6): 19-22.]