

考虑多通勤方式的路票交易方案弹性分析

孙振东¹, 张生瑞¹, 吴江玲¹, 李 运², 赵文静³

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 内蒙古交通设计研究院有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010000;

3. 中南大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410000)

摘要: 可交易电子路票方案为解决城市交通拥堵问题提供了新的思路, 基于路段的路票扣除方案理论上可以实时反应拥堵情况, 并在不同的交通方式之间发挥“惩罚”或“奖励”的不同机制. 本文为研究不同出行者对两种机制的反应程度, 针对于上海市居民出行数据, 建立考虑多种通勤方式的多项 logit 模型, 分析出对每种方式产生显著影响的变量, 并针对不同路票价格下的不同通勤方式选择概率的变化量求出了各通勤方式中不同路票价格的弹性值, 对比分析了路票交易政策针对不同出行方式时出行者的敏感程度. 结论表明, 全程驾车出行对票价一直处于富有弹性状态; 绕路一项对票价表现为缺乏弹性; 停车换乘方式对票价的弹性随着票价上升从缺乏弹性变为富有弹性; 全程公交出行方式中, 出行需求对票价的弹性随着票价的提升先由缺乏弹性变为富有弹性再到缺乏弹性.

关键词: 可交易电子路票; 通勤出行; 多项 logit; 弹性分析

中图分类号: U121

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)03-0381-08

Elastic analysis of tradable credits program considering multiple commuting methods

SUN Zhendong¹, ZHANG Shengrui¹, WU Jiangling¹, LI Yun², ZHAO Wenjing³

(1. School of highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Inner Mongolia Traffic Design and Research Institute Co., LTD, Hohhot 010000, China;

3. Traffic and Transportation Engineering, Central south university, Changsha 410000, China)

Abstract: The TCS (tradable credit scheme) provides a new way to solve the problem of urban traffic congestion, the program that deduct the ticket amount based the road could reflection real-time road network congestion theoretically, and play a reward or penalty mechanism in the traffic demand management between different modes of transport. To study the degree of response of the different travelers to the two mechanisms, establish a Mlogit model that consider multiple commute approaches by the data of Shanghai. Analyze variables that have a significant effect on each approach, Calculate the elasticity of the traveler's change in the fare in the different travel modes. The result shows that travel by car is a flexible demand for the fare; the detour road is inelastic demand for the fare; The demand of commuting by P&R for the fare changes from inflexible to flexible as fare increases; With the increase of the fare, the elasticity of the demand of commuting by bus is a parabola for the fare.

Key words: the TCS, commute travel, mlogit, elasticity analysis

民众出行需求井喷式增加与交通供给相对缓慢之间的矛盾致使人们对“交通困局”(gridlock)的担忧愈发严重, 并成为一个全球性问题. 根据德州交通研究所的数据, 美国拥堵以平均 7% 的年速率增长^[1]. 而据“高德: 2016 年度中国主要城市交通分析报告”指出, 我国 1/3 的城市高峰通勤面临拥堵, 其中 32 个城市高峰拥堵指数超过 1.8, 即正常通勤时间 30 min 在这些城市会增加 24 min^[2]. 造成这一问题的主要原因被归结于交通供需的不

平衡, 有数据显示, 2004~2015 年间北京市机动车保有量年增长率达到 13.2%, 而截至 2015 年, 北京城区道路里程年均增长率仅有 0.65%^[3]. 因此, 交通管理部门逐渐将解决交通拥堵的重心转移向了交通需求端的管理. 其中, 停车收费、拥堵收费等都被证明是比较有效的基于经济调控的管理手段, 然而, 拥堵收费尽管在国外部分城市得以实施并获得成功, 但因其自身的一些合理性因素而在我国难以实施^[4].

相对于传统拥堵收费,香港科技大学杨海等^[5]人提出的可交易电子路票政策^[5]具有诸多优点,且更具灵活性,所以一经提出便成了交通需求管理领域的一大热点,目前已有多位学者从各个角度对其进行研究,例如 Wu 等^[6]提出了以基尼系数为公平性测度的优化模型对可交易电子路票的公平性进行了优化^[6]. Tian 等^[7]研究了可交易电子路票在交通方式划分上的效果.此外在可交易电子路票用于排放管理、停车管理、瓶颈管理方面也有众多学者做出了研究^[8-10],在对出行人的行为影响方面, Bao 等^[11-12]从出行者心理角度分析了路票交易下的出行者损失规避行为,其引入了心理账户的概念,通过算例分析发现心理账户下的需求及路票的价格出现上涨,同时路票扣除额度处于中位处的路径选择概率会更高^[11,12]以上研究都还属于理论阶段探讨,在实证方面, Xu 和 Grant-Muller 采用北京的数据探讨分析了路票交易对出行方式的影响^[13],随后 Xu 等^[14]又以家庭为单元引入出行时间及成本预算的效用分析法分析了路票交易政策对交通管理的影响,其研究结果发现路票交易方案使出行者对时间价值不敏感.梳理文献发现在实际管理应用以及交通需求量预测方面,路票交易对出行方式选择的影响机理及出行民众对其真实反应如何也是一个值得研究的问题,并可为路票交易政策的制定提供参考依据,而这部分研究仍处于空白状态.本文采用经济学中点弹性理论对路票价格变量与方式选择结果之间的关系进行计算分析.

在目前现有的研究中就有诸多在出行行为特性的分析中利用点弹性这一概念来评价出行方式中的特性变量对出行方式选择的变化关系^[15-18].

路票交易实施方案有多种形式,可以是基于境界线的区域扣取额度,或者基于路段的路票扣除^[19].区域收费其优点在于操作简单,执行成本低,缺点在于并不能有效反映路网拥挤状态,并会造成区域外围流量增大,故本文拟采用基于路段的路票交易方案,为了使试验环境理想化,假定每次高峰期出行者都会被发放一定额度的路票,并在一天内可以自由交易.

1 多通勤方式弹性模型建构

路票交易可以有多种实施方式,基于境界线或路段、基于路程或时间等,本文考虑到基于境界线的路票交易同传统区域拥堵收费类似,并不能真实反应道路交通拥堵情况,故采用基于路段收取路票的模式.

在路票交易的政策环境下,由于出行“奖励-惩罚”机制的存在,出行者会面临相对较多的出行方式选择,本文假定了 OD 点之后,考虑到现有的大多数通勤出行方式并加上考虑路票成本的绕路避费,共拟出四种可供选择的通勤方式:(1)直接驾车;(2)绕路避费;(3)停车换乘;(4)全程公交.由于可供选择的选择肢具有三个以上,通勤选择模型符合多项 Logit 形式.基于效用最大化理论的多项 Logit 模型的效用表达式为

$$U_m = V_m + \epsilon_m \quad (1)$$

式中: ϵ_m 为效用函数随机项.其中效用函数确定项有 V_m 多种形式,一般普遍采用线性效用函数结构^[20],形式为式(2):

$$V_m = \theta X_{in} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{ink}, (i \in A_n) \quad (2)$$

式中: X_{in} 为出行者 n 选择通勤方式的影响变量, K 为影响变量个数, θ_k 为第 k 个影响变量的参数. A_n 为选择肢总数.基于本文选择肢的设计,影响变量主要考虑出行人的特性变量包括:性别、年龄、工作属性、收入水平、居住地址,出行变量包括:是否使用过停车换乘、对停车换乘服务评价、中心区停车是否困难、通勤出行时间、通勤出行奖励.全程驾车一项中的电子路票起到“惩罚”作用,即增大出行成本,记为 c_1 ;绕路避费中,电子路票所起的作用介于惩罚与奖励之间,由于存在着例如停车收费等利用经济杠杆的出行需求调控手段,故该项仍归于出行成本出行,记为 c_2 ;后两项中电子路票方案将发挥奖励机制,出行奖励分别设为 w_1 、 w_2 , w_1 为停车换乘出行奖励, w_2 为全程公交出行奖励.表现形式为

$$c_1 = w_{et} + w_p \quad (3)$$

$$c_2 = w_p - w_{st} \quad (4)$$

$$w_1 = w_{st} - w_{prp} - w_{pr} \quad (5)$$

$$w_2 = w_{st} - w_b \quad (6)$$

其中: w_{et} 为额外扣除路票交易金额; w_{st} 为盈余路票交易金额; w_p 为停车费用; w_{prp} 为换乘停车场停车费用; w_{pr} 为换乘费用; w_b 为公交出行费用.

而

$$w_{et} = p_t \times q_{et} \quad (7)$$

其中: p_t 为电子路票市场价格, q_{et} 为出行额外消耗路票额度.

$$w_{st} = p_t \times q_{st} \quad (8)$$

其中, q_{st} 为通勤出行路票盈余额度.

$$w_p = p_p \times T_p \quad (9)$$

其中, p_p 为目的地停车费用(元/h), T_p 为目的地停车时间(单位: h)。

通勤方式选择概率表达式可写为

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{V_{jn}}} \quad (10)$$

得出选择概率模型之后, 可根据弹性定义, 设出行方式 i 中的某一影响因素 X_i 为自变量, 方式 i 的选择概率为 P_i , 则:

$$P_i = f(X_i) \quad (11)$$

当 X_i 变化量为 ΔX_i 时, P_i 变化量为 ΔP_i , 则:

$$\Delta P_i = f(X_i + \Delta X_i) - f(X_i) \quad (12)$$

此时, 对于出行方式 i 中, 影响因素 X_i 的直接弹性表达式为

$$E_{X_i}^{P_i} = \frac{\Delta P_i / P_i}{\Delta X_i / X_i} \quad (13)$$

若影响变量的变化量趋于无穷小时, 即 $\Delta X_i \rightarrow 0$, 且 $\Delta P_i \rightarrow 0$ 时, 则弹性公式可表述为

$$E_{X_i}^{P_i} = \lim_{\Delta X_i \rightarrow 0} \frac{dP_i / P_i}{dX_i / X_i} = \frac{X_i}{P_i} \cdot \frac{dP_i}{dX_i} \quad (14)$$

此时, 将式(2)代入式(10)得:

$$P_{in} = \frac{\exp(\sum_{k=1}^K \theta_k X_{ink})}{\sum_{j \in A_n} \exp(\sum_{k=1}^K \theta_k X_{jnk})}, i \in A_n \quad (15)$$

代入公式(14)并求微分, 可推导得直接弹性公式:

$$E_{X_{ink}}^{P_{in}} = \theta_k X_{ink} (1 - P_{in}) \quad (16)$$

由于路票价格同出行成本及奖励为一一对应关系, 即影响因素 X_{ink} 为成本或奖励时, 则

$$X_{ink} = f(p_i) \quad (17)$$

那么不同出行方式中 X_{ink} 的弹性值就等于其所对应的路票价格弹性值。

2 基于 SP 调查的路票交易下通勤方式选择数据收集

作为我国特大型都市, 上海具有城市中心吸引力强, 通勤目的地相对集中, 通勤距离远, 并且拥有停车换乘系统, 是本文理想的实验对象城市。

考虑到停车换乘系统, 假设出行者通勤目的地大多集中在市中心区域。设符合条件的出行者每次出行都能分到 5 额度的电子路票, 并可在一定周期内自由交易, 每额度路票市场价格为 3 元, 交通管理部门根据路段拥挤程度确定扣除额度, 而施行路票交易政策后的路网流量处于理想状态,

据此假设, 全程驾车前往中心区不花费额外时间, 但需要额外扣除 5 额度的路票; 绕路避费能够最大限度节省路票, 但需要额外花费 20 min 出行时间; 停车换乘及全程公交都能够节省所有路票。由此设计出四种通勤方式, 见表 1。

表 1 选择肢列表

Tab. 1 Select branch list

选择肢	选择肢特性
1 全程驾车	缴纳停车费用并额外扣除 15 元
2 绕路避费	缴纳停车费用但获得 15 元奖励, 额外花费 20 分钟出行时间
3 停车换乘	缴纳换乘停车费用, 获得 15 元奖励
4 全程公交	获得 15 元奖励

据此设计 sp 调查问卷, 重点采集上海市居民通勤出行的相关数据, 特性变量包括个人属性的性别、年龄、职业、收入、居住位置, 以及出行变量的是否使用停车换乘、对停车换乘服务的评价、中心区停车是否困难、停车费用、停车时间、平日通勤时间以及通勤费用。本文共投放 300 份问卷, 通过问卷星网站样本服务功能进行付费数据采集, 全部回收, 经筛选, 问卷有效率达 72%, 对反馈回来的数据进行处理。整理结果如表 2。

表 2 出行者个人特性变量表

Tab. 2 Personal characteristics variable List

个人特性	变量名称	占比/%
性别	男	42
	女	58
年龄/岁	20~29	29
	30~39	53
	40~49	12
	50~59	6
职业	自由职业	4
	固定职业	96
年收入/万元	10 万元以下	34
	10~20	46
	20~30	14
	30~40	3
	40 万元以上	3
居住位置	内环及以内	24
	内环至中环	40
	中环及以外	36

从表中可以看出此次采集的上海市出行人群本多为收入 20 万元以内的青壮年族群, 并且拥有固定职业, 且居住位置分布较为均匀。

样本出行特性变量如下:

表 3 是否使用过停车换乘系统

Tab. 3 Whether to use P & R system

是否使用过停车换乘	占比/%
是	69
否	31

表 4 对于停车换乘系统的服务评价

Tab. 4 Evaluation of the P & R system

评价等级	占比/%
优	32
良	65
差	3

调查结果显示,居民对上海市的停车换乘系统的服务评价一般,不存在特别偏好或相对抵触.对市中心停车是否困难的调查结果如表 5.

表 5 市中心停车是否困难

Tab. 5 Is it difficult to park downtown

是否困难	占比/%
是	94
否	6

结果显示几乎所有民众都认为市中心区域停车困难.

此外,根据问卷调查结果计算,本次调查样本通勤出行时间平均都在半小时以上,四种方式平均通勤出行时间相差不大,其中,选择方式 1 的出行平均时间为 35 min,方式 2 为 47 min,方式 3 为 31 min,方式 4 为 57 min;在出行奖励方面,方式 1 平均成本为 58 元,方式 2 平均成本 47 元,方式 3 平均获得奖励 6 元,方式 4 平均获得奖励为 12 元.样本中四种通勤出行方式的出行时间及奖励皆差异较大,出行奖励方面呈递增趋势.四种方式选择结果如图 1.

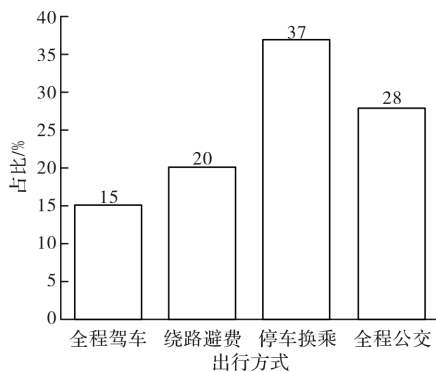


图 1 样本各方式选择比例示意图

Fig. 1 Apportionment ratio of travel mode

3 考虑多方式出行对于票价的弹性计算

根据所采集的数据,以全程驾车为参照组,采用 sata12 版软件估计效用确定项 V_{in} 中各变量的参数,并且置信度在 95% 以上时,根据 P 检验值去除影响不显著的变量,之后转换参照组,以其余方式为参照组进行模型二次运算标定全程驾车中的变量参数,结果见表 6.

表 6 影响变量参数估计表

Tab. 6 Impact variable parameter estimation table

通勤方式	解释变量	估计参数	P 检验值
全程驾车	cost	-0.027	0.000
	Location	-0.94	0.003
绕路避费	cost	-0.02	0.000
	Time	0.02	0.017
	Location	1.08	0.000
	Incentive	0.05	0.000
停车换乘	Time	-0.05	0.000
	Incentive	0.167	0.000
全程公交	Time	0.050	0.000
	Cons	-5.9	0.002

表中 cost 为出行成本,式中用 c 表示, incentive 为通勤出勤的奖励,在式中表示为 w , Location 为居住位置,式中表示为 L , time 为通勤时间,式中记为 T , cons 指常数项,则经过计算分析后四种方式效用确定项可写作如下:

$$V_1 = -0.027 \times c$$

$$V_2 = -0.94 \times L - 0.02 \times c + 0.02 \times T$$

$$V_3 = 1.08 \times L + 0.05 \times w - 0.05 \times T$$

$$V_4 = -5.9 \times cons + 0.17 \times w + 0.05 \times T$$

本文采用平均值法^[21]进行求解,计算出全体样本的平均值进行弹性计算.样本中各显著变量平均值见表 7.

表 7 样本变量平均值

Tab. 7 Average of variables

变量	平均值
位置 location	2.1
驾车成本 car_cost	58.5
绕路成本 detour_cost	46.3
停车换乘奖励 PR_incentive	6.5
全程公交奖励 BUS_incentive	12.6
绕路时间 detour_time	47.2
停车换乘时间 PR_time	31.1
全程公交时间 BUS_time	57.8

将平均值代入效用确定项公式, 并根据式(10)计算平均值时的各方式选择概率, 并将现阶段的票价以此增加及减少, 再计算出对应概率, 并带入公式(16)计算相对应弹性值。

此处需要提前说明, 弹性值的符号仅表示因变量随自变量的变动方向, 其绝对值大小表示了因变量对自变量的反应程度: 当 $|E_{X_{ink}}^{P_{in}}| > 1$ 时被称为因变量对自变量富有弹性, 表示自变量的变动对因变量的变动影响较大; 当 $|E_{X_{ink}}^{P_{in}}| < 1$ 时被称为因变量对自变量缺乏弹性, 表示自变量的变动对因变量的变动影响较小; 当 $|E_{X_{ink}}^{P_{in}}| = 1$ 时被称为单一弹性或单位弹性, 表示自变量的变化与因变量的变化幅度相同, 需要说明的是这一情况一般是一种巧合; 此外, 当 $|E_{X_{ink}}^{P_{in}}| = \infty$ 时被称为完全弹性, 表示自变量稍有变动就会引起因变量的无限制变动; 当 $|E_{X_{ink}}^{P_{in}}| = 0$ 时被称为完全无弹性, 表示无论自变量如何变动都不会引起因变量的变化。具体结果见表8—11。

表8 全程驾车弹性值列表

Tab. 8 The elasticity of travel by car

票价	成本	概率/%	弹性值
1	48.5	12	-1.152
2	53.5	9	-1.314
3	58.5	6	-1.485
4	63.5	4	-1.646
5	68.5	2	-1.813
6	73.5	1	-1.965
7	78.5	0.4	-2.111
8	83.5	0.3	-2.248
9	88.5	0.1	-2.387
10	93.5	0.05	-2.398

表9 绕路避费弹性值列表

Tab. 9 The elasticity of detour

票价	成本	概率/%	弹性值
1	56.4	5	-1.072
2	51.4	5	-0.976
3	46.4	4	-0.89
4	41.4	3	-0.803
5	36.4	2	-0.713
6	31.4	2	-0.615
7	26.4	0.8	-0.524
8	21.4	0.6	-0.425
9	16.4	0.3	-0.327
10	11.4	0.2	-0.227

表10 停车换乘弹性值列表

Tab. 10 The elasticity of travel by P & R

票价	奖励	概率/%	弹性值
1	-3.5	79	0
2	1.5	80	0.015
3	6.5	79	0.068
4	11.5	73	0.155
5	16.5	64	0.297
6	21.5	51	0.526
7	26.5	52	0.636
8	31.5	24.9	1.183
9	36.5	15.5	1.542
10	41.5	9	1.888

表11 全程公交弹性值列表

Tab. 11 The elasticity of travel by bus

票价	奖励	概率/%	弹性值
1	2.6	4	0.424
2	7.6	6	1.214
3	12.6	11	1.91
4	17.6	20	2.394
5	22.6	32	2.613
6	27.6	46	2.534
7	32.6	46.5	2.521
8	37.6	74.2	1.649
9	42.6	84.1	1.151
10	47.6	90.75	0.749

表中可见当路票价格发生变化时候, 每种通勤方式选择的概率变化及弹性值变化各不相同, 具体变化趋势图可见图2—9。

(1) 全程驾车通勤票价弹性分析

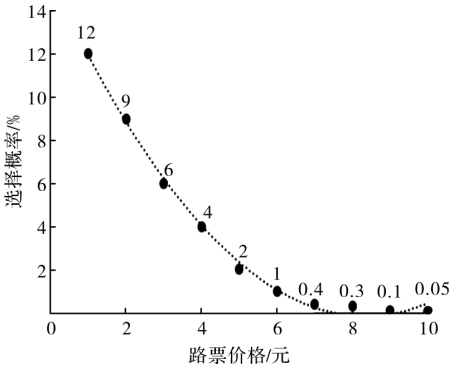


图2 不同票价下全程驾车选择概率分布

Fig. 2 Selection probability of full driving under different fares

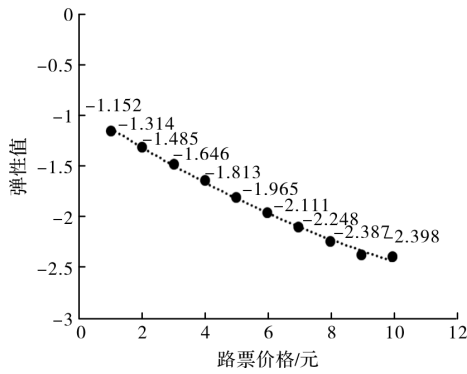


图3 不同票价下全程驾车弹性值分布

Fig. 3 the elasticity distribution of commuting by car

由于全程驾车中,出行成本与选择概率具有负相关性,故弹性值为负,弹性值的绝对值随着票价的增加而增大,说明全程驾车的出行者对票价的敏感性越来越大.票价对应的全程驾车通勤的弹性函数表达式经拟合为

$$E_{p_t}^{car} = 0.0054x^2 - 0.2049x - 0.9312 \quad (R^2 = 0.9967) \quad (18)$$

(2) 绕路避费通勤票价弹性分析

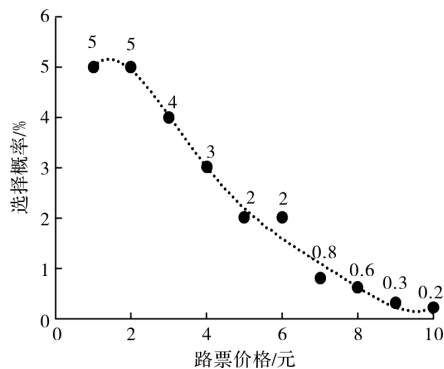


图4 不同票价下绕路避费通勤概率分布

Fig. 4 Selection probability of detour under different fares

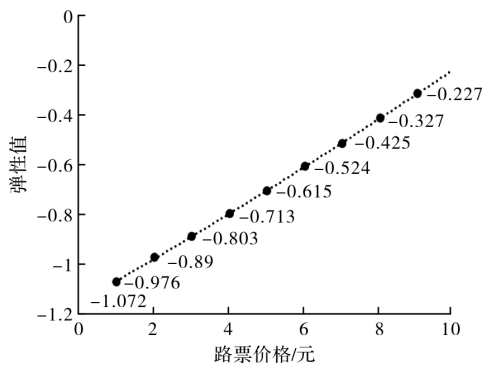


图5 绕路避费票价弹性值分布

Fig. 5 the elasticity distribution of detour

通过图4、图5可以看出,绕路避费一项中的结果显示为缺乏弹性,或许是存在停车收费增加出行耗时等原因使得选择这一方式通勤出行的出

行者对于单一路票价变化的敏感度并不高.经拟合,该弹性表达式为

$$E_{p_{de}}^{de} = 0.0008x^2 + 0.0847x - 1.1535 \quad (R^2 = 0.9999) \quad (19)$$

(3) 停车换乘票价弹性分析

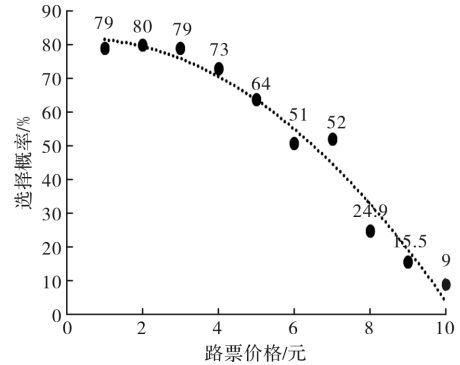


图6 不同票价下停车换乘通勤选择概率分布

Fig. 6 Selection probability of commuting by P & R under different fares

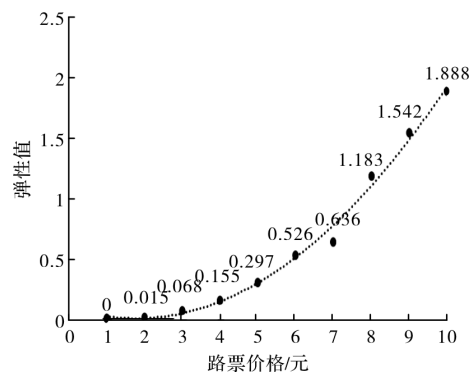


图7 停车换乘票价弹性值分布

Fig. 7 Elasticity distribution of commuting by P & R

从图7可以看出,当票价在8元/每额以下时,结果显示为缺乏弹性,当价格达到8元/每额以上时,结果显示为富有弹性.此外,当票价为1元/每额时,弹性值变为负,本文将其视为完全无弹性,标为0.经拟合,停车换乘票价弹性表达式为:

$$E_{p_t}^{PR} = 0.0285x^2 - 0.1019x + 0.0939 \quad (R^2 = 0.9922) \quad (20)$$

(4) 全程公交通勤票价弹性分析

由图9可以看出,全程公交出行中民众对票价的敏感度非常高,当票价从2元/每额开始就变得富有弹性,而当票价达到5元/每额时达到峰值,之后弹性值开始下降,到达9元/每额时,结果显示缺乏弹性.经拟合,全程公交中票价弹性表达式为:

$$E_{p_t}^{bus} = 0.0023x^4 - 0.0472x^3 + 0.2056x^2 - 0.1398 \quad (R^2 = 0.9862) \quad (21)$$

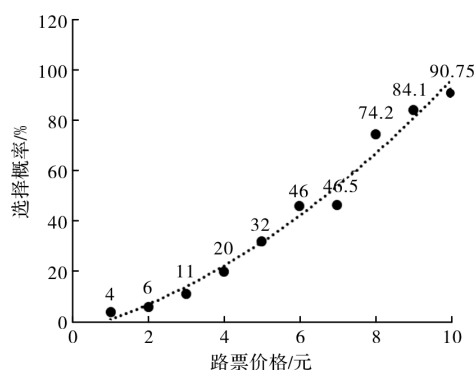


图8 不同票价下全程公交通勤选择概率分布

Fig. 8 Selection probability of commuting by bus under different fares

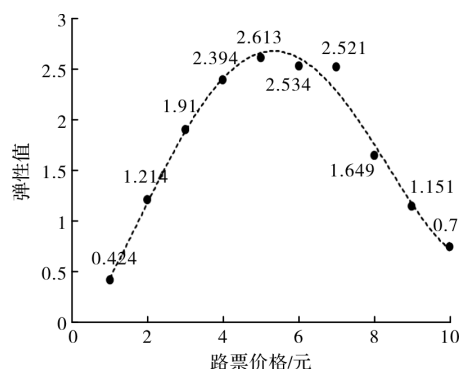


图9 全程公交票价弹性值分布

Fig. 9 Elasticity distribution of commuting by bus

4 结论

(1) 本文设计了基于路段收取路票的可交易电子路票方案,假定在每次通勤高峰期之前出行者都会分到一定额度的电子路票,并结合多种通勤出行方式,设计出针对上海市居民通勤出行方式选择的 SP 调查问卷,建立多项 logit 模型,采用 stata 12 版软件估计出了每种通勤出行方式影响变量的参数,发现对上海市居民通勤出行具有显著影响的因素主要有出行成本,路票交易下的出行奖励以及居民居住位置。

(2) 本文假定在出行者每次通勤出行时都会被分到相同额度的可交易电子路票,并可进行自由交易。在假定发放的电子路票额度及扣除额度不变的情况下,路票价格的变动对各种通勤出行方式的影响都不相同。所拟定的四种通勤方式中,全程驾车的弹性系数绝对值最高,表示选择全程驾车的出行者对路票价格的敏感程度最高;绕路避费一项由于存在别的价格管理机制,故出行者对单一的路票价格变动并不敏感;停车换乘中,随着路票价格的升高,弹性值显示的是由缺乏弹性逐渐变为富有弹性,说明票价越高,出行者对

其敏感度越大;全程公交的弹性变化最为多变,随着票价的不断增高,奖励机制发挥的作用也逐渐提升,然而奖励机制的作用并非一直存在,当达到峰值 5 元/每额时开始呈现下降趋势,直到变为缺乏弹性。

(3) 可交易电子路票方案影响居民通勤方式选择的本质是改变出行成本或奖励的一种经济调控手段,具有较强的灵活性,除了通过票价调节之外还可以通过调节路段扣除额度或路票发放额度来达到对交通需求管理的目的。在之后的研究中会针对不同额度的变化对交通出行行为的影响进行更进一步研究。

(4) 由于不同城市的城市布局、发展程度、经济水平等各不相同,则不同城市居民对于货币“惩罚-奖励”的敏感程度亦不尽相同,本文所采集的上海市数据由于上海市为我国特大型都市,经济发展水平高等特点,研究结果未必适用于中小型城市,这点也会在今后的研究中进行完善。

参考文献 References

- [1] SCHRANK D L, LOMAX T J. 2009 urban mobility report [M]. Texas: Texas Transportation Institute, Texas A & M University, 2009.
- [2] 高德地图交通大数据. 2016 年度中国主要城市交通分析报告[EB/OL].
A map traffic big data; 2016 traffic analysis reports of major cities in China[EB/OL].
- [3] 赵辉. 北京市交通拥堵特征及其影响因素分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2017. 5.
ZHAO Hui. The analysis of traffic congestion characteristics and its influencing factors in Beijing [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017. 5.
- [4] JONES P. Urban road pricing: public acceptability and barriers to implementation [M]. Camberley: Edward Elgar Publishing, 1998. 263-284.
- [5] YANG Hai, WANG Xiaolei. Managing network mobility with tradable credits [J]. Transportation Research Part B, 2011, 45(3): 580-594.
- [6] WU Di, YIN Yafeng, LAWPHONGPANICH S, et al. Design of more equitable congestion pricing and tradable credit schemes for multimodal transportation networks [J]. Transportation Research, 2012, 46(9): 1273-1287.
- [7] TIAN Lijun, YANG Hai, HUANG Haijun. Tradable credit schemes for managing bottleneck congestion and modal split with heterogeneous users [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation

- Review, 2013, 54 (3): 1-13.
- [8] AZIZ H A, UKKUSURI S V. Tradable emissions credits for personal travel: a market-based approach to achieve air quality standards [J]. International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics, 2013, 5(2-3):145-157.
- [9] ZHANG Xiaoning, YANG Hai, HUANG Haijun. Improving travel efficiency by parking permits distribution and trading [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2011, 45(7): 1018-1034.
- [10] NIE Yu, YIN Yafeng. Managing rush hour travel choices with tradable credit scheme [J]. Transportation Research Part B: Methodological 2013, 50 (2):1-19.
- [11] BAO Yue, GAO Ziyu, XU Meng, et al. Tradable credit scheme for mobility management considering travelers' loss aversion[J]. Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review, 2014, 68: 138-154.
- [12] BAO Yue, GAO Ziyu, XU Meng. Traffic assignment under tradable credit scheme: an investigation considering travelers' framing and labelling of credits [J]. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2016, 8(2): 74-89.
- [13] XU Meng, GRANT-MULLER S. Trip mode and travel pattern impacts of a Tradable Credits Scheme: A case study of Beijing [J]. Transport Policy, 2016, 47: 72-83.
- [14] XU Meng, MUSSONE L, GRANT-MULLER S. Effects of a tradable credits scheme on mobility management: a household utility based approach incorporating travel money and travel time budgets [J]. Case Studies on Transport Policy, 2017.
- [15] 张蕊, 杨静, 雷熙文. 城市交通出行方式选择的随机弹性分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12 (2):132-136.
- ZHANG Rui, YANG Jing, LEI Xiwen, Random elasticity analysis on urban travel mode choice [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012, 12(2):132-136.
- [16] 秦萍, 陈颖翱, 徐晋涛, 等. 北京居民出行行为分析: 时间价值和交通需求弹性弹性估算[J]. 经济地理, 2014, 34. (11): 17-22.
- QIN Ping, CHEN Yingao, XU Jintao, et al. Travel behavior analysis for the residents in Beijing: Value of time and travel demand elasticity estimates [J]. Economic Geography, 2014. 34 (11):17-22.
- [17] 云美萍, 张元, 周源, 等. 出行弹性概念及其应用[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2013, 41 (9): 1359-1365.
- YUN Meiping, ZHANG Yuan, ZHOU Yuan, et al. Conception of travel elasticity and its application [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2013, 41(9): 1359-1365.
- [18] 包丹文, 邓卫, 顾仕琿. 停车收费对居民出行方式选择的影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(3): 80-85.
- BAO Danwen, DENG Wei, GU Shihui, Impact of parking rates on resident travel behavior [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(3):80-85.
- [19] 邵娟. 路段容量和路票约束下的交通网络均衡模型[D]. 南京:东南大学, 2015.
- SHAO Juan, Models for the traffic network equilibrium with link capacity and tradable credits constraint [D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [20] 关志宏. 非集计模型: 交通行为分析的工具[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- GUAN Hongzhi. Disaggregate Model: A tool of traffic behavior analysis [M]. Beijing: China communications press, 2004.
- [21] 赵路敏. 停车收费对出行方式选择的影响研究[D]. 北京:北京交通大学, 2007.
- ZHAO Lumin, Study on the impact of parking charge on travel mode choice [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.

(编辑 吴海西)