

# 拥挤收费下居民出行方式选择<sup>\*</sup>

## ——基于累积前景理论的分析

眭荣亮<sup>1</sup>, 谭建春<sup>2</sup>

(1. 重庆师范大学 经济与管理学院; 2. 重庆师范大学 审计处, 重庆 401331)

**摘要:** 本文基于行为经济学中的累积前景理论, 建立居民出行方式选择行为模型, 探讨政府在高峰时段采用拥挤收费政策的情形下, 不同收入水平出行者出行方式的选择行为, 并用算例的形式分析了不同收费标准对出行方式选择的影响程度。研究结果表明: 当拥挤收费至一定额度时, 出行者的出行方式发生改变。对于中、低收入水平出行者, 分别收费3元、2元时, 小汽车出行者的出行方式发生变化; 而对于高收入者, 收费大于6元时才发生变化; 不同收费标准对不同收入水平出行者的出行方式选择的影响程度不同。在高峰时段对居民设置恰当的拥挤收费, 可改变其出行方式, 减少小汽车出行, 从而缓解城市交通拥挤。

**关键词:** 拥挤收费; 累积前景理论; 出行方式选择; 前景值

**中图分类号:** U491

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2014)03-0130-05

近年来, 随着交通拥挤问题日益严重, 交通拥挤收费作为交通需求管理的一项政策, 越来越受到重视, 国外一些国家已经采用过交通拥挤收费政策, 但引发了广泛的争论。居民出行方式选择是交通拥挤问题重要的原因之一, 对居民出行方式选择行为的研究, 一直是交通规划和政策制定的一个重要组成部分, 出行方式选择是一个复杂的不确定性问题, 与出行者特性、出行特性和交通工具特性等密切相关<sup>[1]</sup>。研究交通拥挤收费对居民出行方式选择行为的影响, 能为缓解交通拥挤问题及拥挤收费政策制定部门提供理论依据。

前景理论<sup>[2]</sup> (Prospect theory, PT) 是 Kahneman 和 Tversky 于 1979 年在一系列心理学实验结果的基础上提出的, 揭示了有限理性的人在不确定条件下的决策行为。累积前景理论 (Cumulative prospect theory, CPT)<sup>[3]</sup> 是前景理论的改进版本, 累积前景理论给出了解释人们在不确定条件下的决策行为的模型。越来越多学者运用前景理论及累积前景理论研究不确定条件下有限理性的出行者的出行决策问题, 学者 Senbil 等<sup>[4]</sup> 2004 年将前景理论应用于通勤者出发时间选择问题; Gao<sup>[5]</sup>、刘玉印<sup>[6]</sup> 等学者将累积前景理论应用于出行者路径选择问题上。目前已有学者<sup>[7]</sup> 将前景理论应用在出行方式选择研究问题上, 研究不同情景下出行者的出行方式的选择行为。但在现有研究中, 国内外学者运用前景理论对出行者出行方式选择模型时, 大多没有考虑拥挤收费政策的实施对出行者出行方式选择行为的影响, 以及不同收费额度标准对不同收入水平的出行者的影响程度。鉴于此, 本文在日益增长的交通拥挤背景下, 以交通拥挤收费政策对出行方式选择的影响为研究对象, 在累积前景理论的基础上建立居民出行方式选择模型。用算例研究通过改变拥挤收费额度, 分析其对出行方式选择的影响程度, 为评价交通规划与管理政策以及缓解城市交通拥挤提供理论依据。

## 1 基于累积前景理论的出行方式选择建模

### 1.1 出行者的广义出行成本

出行者的广义出行成本是指出行者出行的总成本  $TC_k$ , 在出行者进行出行方式选择时, 出行者的广义出行成本主要考虑出行费用成本, 出行时间成本和出行舒适度成本 3 个因素。

1.1.1 出行费用成本 出行者的出行费用指的是出行过程中的车票、燃油费、停车费等。出行费用成本是出行者选择出行方式的重要因素, 成本较为固定, 用  $M_k$  来表示。

\* 收稿日期: 2013-12-01 修回日期: 2013-12-09 网络出版时间: 2014-5-8 14:38

作者简介: 眭荣亮, 男, 研究方向为行为经济学, E-mail: 251980161@qq.com; 通讯作者: 谭建春, E-mail: tanjch@vip.163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20140508.1438.027.html>

1.1.2 出行时间成本 出行时间成本或称出行时间价值,是由于出行者在出行途中所消耗时间存在机会成本而产生的价值<sup>[8]</sup>。出行时间成本包括在途中出行的时间成本、提前到达的时间成本或延迟到达的时间成本。一般将出行者的出行时间成本定义为单位时间成本与时间的乘积。因此,出行时间成本可记为

$$C_t = \theta_t T_k + i\theta_e (t_w - T_k - t_d) + (1-i)\theta_l (T_k + t_d - t_w) \quad (1)$$

其中,  $T_k$  为出行途中花费的出行时间,  $t_w$  为工作开始的时间,  $t_d$  为出发的时间。分别用  $\theta_t$  表示在途中出行时间的单位时间成本、 $\theta_e$  表示提前到达的单位时间成本、 $\theta_l$  表示延迟到达的单位时间成本,且有  $\theta_t > \theta_l > \theta_e$ <sup>[9]</sup>。

$$i \text{ 为阶跃函数: } i = \begin{cases} 1, & (t_w - T_k - t_d) > 0 \\ 0, & (t_w - T_k - t_d) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

1.1.2 出行的舒适度成本 出行方式的舒适度是指该出行方式的方便性、安全性、自由性以及体力消耗等因素的综合作用而使出行者所感知的舒适程度。不同的出行方式有不同的舒适度等级,尽管舒适度难以量化,但在出行方式选择决策中起重要的作用。因此,需要将舒适度等级纳入到出行方式选择的模型中,以提高模型的精确度。本文出行者的舒适度等级用  $\eta$  表示,与出行时间的长短有关, $\eta$  越大,出行时间越短,则出行者的出行成本越小,一般来说小汽车和出租车的舒适度大于地铁和公交车的舒适度<sup>[10]</sup>。

综合出行者的出行费用成本、出行时间成本和舒适度成本三个要素,即可得单路段出行者各种出行方式的广义出行成本  $TC_k$  为

$$TC_k = M_k + \theta_t T_k / \eta + i\theta_e (t_w - T_k - t_d) + (1-i)\theta_l (T_k + t_d - t_w) \quad (3)$$

### 1.2 模型的参考点

根据累积前景理论,价值函数中一个重要的特点就是参考点(Reference point),出行者在进行出行方式选择时将对照参照点来衡量收益或损失。本文以出行者期望的出行费用作为参照点。设出行者从出发点到达出行终点的期望出行时间  $T_k^{ex}$ ,在该阶段所期望的出行费用为  $C_k^{ex}$ 。可得出行者的期望出行费用为

$$C_k^{ex} = M_k + \theta_t T_k^{ex} / \eta + i\theta_e (t_w - T_k^{ex} - t_d) + (1-i)\theta_l (T_k^{ex} + t_d - t_w) \quad (4)$$

### 1.3 价值函数

累积前景理论重大的突破就是用价值函数替换了传统的期望效用理论(Expected utility theory, EUT)中的效用函数。人们通常考虑的不是财富的最终状况,而是财富的变化状况。价值函数  $v(x_k)$  反映的是结果相对于某个参考点的收益和损失,也就是说  $v(x_k)$  中的  $x_k$  是指出行者的广义出行成本相对于模型的参考点  $C_k^{ex}$  的变化,即  $x_k = C_k^{ex} - TC_k$ 。

$$x_k = \left[ \frac{\theta_t}{\eta} - i\theta_e + (1-i)\theta_l \right] (T_k^{ex} - T_k) \quad (5)$$

即

$$x_k = \begin{cases} \left( \frac{\theta_t}{\eta} - \theta_e \right) (T_k^{ex} - T_k), & T_k \leq T_k^{ex}, x_k \geq 0 \\ \left( \frac{\theta_t}{\eta} + \theta_l \right) (T_k^{ex} - T_k), & T_k > T_k^{ex}, x_k < 0 \end{cases} \quad (6)$$

根据 Kahneman<sup>[3]</sup> 提出的价值函数的形式,出行者对于出行方式  $k$  的价值函数定义如下

$$v(x_k) = \begin{cases} (x_k)^\alpha, & x_k \geq 0 \\ -\lambda (x_k)^\beta, & x_k < 0 \end{cases} \quad (7)$$

把(6)式带入(7)式中,即得

$$v(x_k) = \begin{cases} \left[ \left( \frac{\theta_t}{\eta} - \theta_e \right) (T_k^{ex} - T_k) \right]^\alpha, & T_k \leq T_k^{ex}, x_k \geq 0 \\ -\lambda \left[ \left( \frac{\theta_t}{\eta} + \theta_l \right) (T_k^{ex} - T_k) \right]^\beta, & T_k > T_k^{ex}, x_k < 0 \end{cases} \quad (8)$$

(7)式、(8)式中, $\alpha, \beta$  为风险态度系数,且  $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, \alpha, \beta$  越大表示出行者越倾向于冒险; $\lambda$  为损失规避系数, $\lambda > 1$  表示出行者对损失更加敏感。 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25$ 。

### 1.4 决策权重函数

Kahneman 和 Tversky 认为,决策权重与客观概率  $P_k$  不同,不是决策者根据事件结果出现的概率  $P_k$  做出的某种主观判断,而是赋予概率的一个权重。决策权重函数计算公式为:

$$\begin{cases} \pi^+(p_k) = \frac{p_k^\gamma}{(p_k^\gamma + (1-p_k)^\gamma)^{1/\gamma}}, x_k \geq 0 \\ \pi^-(p_k) = \frac{p_k^\delta}{(p_k^\delta + (1-p_k)^\delta)^{1/\delta}}, x_k < 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中:  $\gamma=0.61$ ;  $\delta=0.69$ <sup>[3]</sup>。

### 1.5 计算备选出行方式的前景值 $V_k$

按照累积前景理论, 备选出行方式的前景值可由以下公式计算

$$V(x_k, p_k) = V^+(x_k, p_k) + V^-(x_k, p_k) = \sum \pi^+(p_k) v^+(x_k) + \sum \pi^-(p_k) v^-(x_k) \quad (10)$$

当所有的出行方式的前景值计算出来之后, 出行者最终必将在  $m$  种出行方式中选择出行方式  $k$ , 且出行者选择前景值最大的出行方式出行, 即

$$V_k = \max [V(x_1, p_1), V(x_2, p_2), \dots, V(x_m, p_m)] \quad (11)$$

## 2 算例

截至 2012 年 8 月底, 深圳市机动车保有量达到 218 万辆, 道路车辆密度在全国大中城市中位居首位。深圳市交通需求及机动车拥有量不断增加, 导致中心城区交通压力不断加大, 形势严峻。在加大道路供应、加快轨道交通建设的同时, 需要实施更有力的交通需求管理措施。交通拥挤收费是一种重要的需求管理措施, 对调节车辆使用, 缓解交通拥堵具有重要的作用, 国外新加坡、伦敦等已经实施, 国内一些大城市也在积极研究, 但国内还没有实施的先例<sup>[11]</sup>。本文研究对深圳市中心区(罗湖中心区、上部工业区及华强北区域, 以道路定义即西起皇岗路, 东至文锦路, 南起滨河路, 北至笋岗路的范围)行驶的小汽车征收交通拥堵费以及实施拥挤收费后对出行者出行方式的影响, 收费区域如封三彩图 1 所示。

本文选用从滨河路与龙岗路相交处到文锦中路与笋岗东路相交处的出行者作为出行研究对象进行算例分析。假设一人一车, 出行者从出发点到终点有 4 种出行方式可以选择: 小汽车、出租车、公交车、地铁。结合实际交通调查数据, 小汽车方便快捷舒适, 但容易造成交通拥挤; 出租车与小汽车类似, 但需要走路及等车的时间, 我们假定比小汽车多 2 min 出行时间; 公交车速度较慢, 停靠站点较多, 上下班高峰期在时间上的不确定性较大, 舒适度较差; 地铁由于发车时间及停车时间固定, 出行时间准点率高。以上均包含等车、走路等时间。整理之后, 得出对于不同的出行方式, 有不同的出行时间概率分布, 信息见表 1。假定小汽车的舒适度等级  $\eta=1.2$ , 出租车的舒适度等级  $\eta=1.1$ , 地铁的舒适度等级  $\eta=1.0$ , 公交车的舒适度等级  $\eta=0.9$ 。

### 2.1 算例一: 不同拥挤收费标准对高收入水平出行方式选择行为的影响

假定出行者的平均期望出行时间为 20 min。据统计并结合深圳市高收入水平出行者自身的情况, 设定个人出行时间价值参数值为:  $\theta_i=148$ ,  $\theta_e=103$ ,  $\theta_i=222$ 。结合上文建立的出行方式选择模型, 对小汽车出行者收取不同的拥挤收费, 计算各备选方式的价值函数和决策权重函数, 并得出各备选方式的前景值(表 2)。

由表 2 可以清楚地看到, 随着拥挤收费增加, 小汽车出行者的前景值逐渐减小。当拥挤收费为 6 元时, 高收入出行者的出行方式发生改变, 由小汽车转成出租车; 当拥挤收费为 31 元时, 由出租车出行转变为地铁出行; 而当拥挤收费高达 92 元以上时, 出行者选择公交出行。由此可知, 拥挤收费政策的实施对高收入小汽车出行者的出行方式产生了影响, 且当收费达到不同额度时, 出行者选择的出行方式不同。

### 2.2 算例二: 不同拥挤收费标准对中等收入者出行方式选择行为的影响

表 1 出行方式的出行时间分布

出行方式	出行时间的分布概率(出行时间/min, 出行概率/%)
小汽车	(20, 55); (25, 30); (30, 15)
出租车	(22, 60); (27, 30); (32, 10)
公交车	(40, 50); (45, 30); (50, 15); (55, 5)
地铁	(30, 85); (35, 10); (40, 5)

表 2 不同收费标准下高收入水平出行者不同出行方式前景值

收费标准/元	小汽车	出租车	地铁	公交车
不收费	-1 153.78	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
5	-1 623.48	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
6	-1 710.09	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
10	-2 047.10	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
15	-2 453.59	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
30	-3 614.48	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
31	-3 689.63	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
60	-5 789.82	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01
92	-7 986.79	-1 697.94	-3 620.01	-7 986.01

结合中等收入水平出行者自身的情况,设定个人出行时间价值参数值: $\theta_t=70, \theta_c=49, \theta_l=105$ 。计算价值函数和决策权重函数,得出中等收入水平人群各出行方式前景值(表3)。

由表3可见,当拥挤收费大于3元时,中等收入出行者的出行方式发生改变,由小汽车转成出租车;当拥挤收费为14元以上时,由出租车转变成地铁;而当拥挤收费高达44元时,出行者选择公交出行。由此可知,拥挤收费政策实施对中等收入小汽车出行者的出行方式产生了影响,不同的收费额度,出行者选择的出行方式不同。

### 2.3 算例三:不同拥挤收费标准对低收入者出行方式选择行为的影响

结合低收入水平出行者自身的情况,设定个人出行时间价值参数值为: $\theta_t=49, \theta_c=34, \theta_l=74$ 。计算价值函数和决策权重函数,得出低收入水平人群各出行方式前景值(表4)。

由表4可见,对于中低收入水平的出行者人群,一旦开始实施2元的拥挤收费政策,其出行就会选择出租车出行;当收费大于10元时转变为地铁出行;当收费至31元时,出行者选择公交出行。由此可知,拥挤收费政策实施对低收入小汽车出行者的出行方式产生了影响,不同的收费额度,出行者选择的出行方式不同。

分别对表2、表3及表4中高、中、低收入小汽车出行者各种出行方式的前景值进行分析可知,当不实施拥挤收费政策时,所有出行者的出行方式的选择依次是小汽车、出租车、地铁和公交车;当实施拥挤收费并达到一定额度后,出行者的出行方式发生了改变,说明拥挤收费政策对出行者的出行方式选择产生了显著影响。对出行者收取不同额度的拥挤收费,其对应的出行方式不同。通过对高收入者和中低收入者的对比可以看出,中低收入者较高收入者对拥挤收费更为敏感。因此,通过对上述图表的分析可以看出,综合考虑实施拥挤收费政策情形下的基于累积前景理论的出行方式选择模型能很好地解释出行者的出行方式选择行为。

## 3 结语

本文综合分析了影响出行者出行方式选择行为的主要因素,并分析了拥挤收费政策的实施对出行者出行方式选择行为的影响。与以往的相关研究相比,本文在模型中增加了出行舒适度成本对出行方式选择行为的影响,定义了广义出行成本,并给出了出行方式选择行为模型的参照点,进而建立了累积前景理论基础上的出行者方式选择模型。最后以深圳市实际路网作为算例,对比分析了拥挤收费政策实施前后,不同的收费标准对不同收入的出行者的出行产生的影响程度。结果表明:拥挤收费政策的实施,对小汽车居民的出行方式选择产生了影响。拥挤收费制定标准的不同,对不同收入水平的出行者产生不同程度的影响。

因此,制定合理的拥挤收费标准对治理城市交通拥挤问题有着重要的意义。可以引导居民采取其他出行方式如公共汽车、地铁等出行,从而从空间利用方面解决交通拥挤问题。本文所得的结论对于研究私家车的出行行为、指导拥挤收费标准的制定以及城市交通组织中交通流的合理分配等都具有重要意义。

本文的模型还存在一些缺点,在后续的研究将改进模型,进一步考虑拥挤收费对私家车出行者和单位公车出行者出行方式的影响以及拥挤收费下的出行时间与出行方式的联合影响。

表3 不同收费标准下中等收入水平出行者不同出行方式前景值

收费标准/元	小汽车	出租车	地铁	公交车
不收费	-597.01	-878.57	-1 853.12	-4 132.24
3	-900.09	-878.57	-1 853.12	-4 132.24
5	-1 083.65	-878.57	-1 853.12	-4 132.24
14	-1 854.67	-878.57	-1 853.12	-4 132.24
24	-2 656.26	-878.57	-1 853.12	-4 132.24
34	-3 424.12	-878.57	-1 853.12	-4 132.24
44	-4 168.40	-878.57	-1 853.12	-4 132.24

表4 不同收费标准下低收入水平出行者不同出行方式前景值

收费标准/元	小汽车	出租车	地铁	公交车
不收费	-437.86	-644.29	-1 373.44	-3 029.44
2	-649.45	-644.29	-1 373.44	-3 029.44
8	-1 200.30	-644.29	-1 373.44	-3 029.44
10	-1 373.76	-644.29	-1 373.44	-3 029.44
20	-2 201.10	-644.29	-1 373.44	-3 029.44
30	-2 985.46	-644.29	-1 373.44	-3 029.44
31	-3 062.20	-644.29	-1 373.44	-3 029.44

## 参考文献:

- [1] 宗芳, 隗志才. 基于活动的出行方式选择模型与交通需求管理策略[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2007, 37(1): 48-53.  
Zong F, Juan Z C. Activity based travel mode choice model and analysis on traffic demand management[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007, 37(1): 48-53.
- [2] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: an analysis of decisions under risk[J]. *Econometrica*, 1979, 47: 263-292.
- [3] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty[J]. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, 9: 195-230.
- [4] Senbil M, Kitamura R. Reference points in commuter departure time choice: a prospect theoretic test of alternative decision frames[J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2004, 8: 19-31.
- [5] Gao S, Frejinger E, Ben Akiva M. Adaptive route choices in risky traffic networks: a prospect theory approach[J]. *Transportation Research Part C*, 2010, 18(5): 727-740.
- [6] 刘玉印, 刘伟铭, 吴建豪. 基于累积前景理论的出行者路径选择模型[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2010, 38(7): 84-89.  
Liu Y Y, Liu W M, Wu J W. Route choice model of traveler based on cumulative prospect theory[J]. *Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition* 2010, 38(7): 84-89.
- [7] 罗清玉, 吴文静, 贾洪飞, 等. 基于前景理论的居民出行方式选择分析[J]. 交通信息与安全, 2012, 30(2): 37-40.  
Luo Q Y, Wu W J, Jia H F, et al. Analysis of residents travel mode choice based on prospect theory[J]. *Journal of Transportation Information and Safety*, 2012, 30(2): 37-40.
- [8] 齐彤岩, 刘冬梅, 刘莹. 北京市居民出行时间成本研究[J]. 公路交通科技, 2008, 25(6): 144-146.  
Qi T Y, Liu D M, Liu Y. A study of the traveling time cost of Beijing residents[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2008, 25(6): 144-146.
- [9] 黄海军. 拥挤道路使用收费的研究进展和实践难题[J]. 中国科学基金, 2003(4): 198-203.  
Huang H J. Research and practice progresses of congested road-use pricing[J]. *Bulletin of National Science Foundation of China*, 2003(4): 198-203.
- [10] 刘南, 陈达强, 陈鸣飞. 城市道路系统多时段、多出行方式拥挤定价模型[J]. 管理工程学报, 2007, 21(2): 89-94.  
Liu N, Chen D Q, Chen M F. Congestion pricing models with multiple time periods and travel modes for urban road systems[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2007, 21(2): 89-94.
- [11] 深圳市交通拥挤区域车辆收费规划研究[R]. 深圳: 深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司, 2007.  
Shenzhen vehicle congestion charge area planning study [R]. Shenzhen Urban Transport Planning Center Co Ltd, 2007.

## Resident Travel Mode Choice Based on Cumulative Prospect Theory under Congestion Pricing

SUI Rong-liang<sup>1</sup>, TAN Jian-chun<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management;

2. Auditing Department, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** Based on cumulative prospect theory of behavioral economics, this paper established a resident travel mode choice behavior model. In the case of congestion pricing policy adopted by the government during peak hours, this paper explored the different income levels traveler's travel mode choice. Finally, numerical examples are set up to demonstrate the effects of congestion pricing on to traveler's mode choice behavior. The results indicate that travelers will change their travel mode when the government collects a certain amount of congestion charge. Low and middle income travelers change their travel mode when respectively the congestion toll charged 2 yuan and 3 yuan, while the high income travelers will change their travel mode when the congestion toll increases to 6 yuan. As the charges are different, different income levels travelers' travel mode choice affected differently. Setting the proper congestion charging during peak hours can make people change their travel mode, reduce car travel, thus it can help ease the traffic congestion.

**Key words:** congestion pricing; cumulative prospect theory; travel mode choice; prospect value

(责任编辑 陈 琴)