

城市中心区路内停车累进计费定价模型

张 戎, 诸立超, 林佳妮

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 以上海中心区路内外停车场(库)停车者为研究对象, 在分析影响停车选择行为的停车方式属性和停车者特征的基础上建立多项 Logit 模型和混合 Logit 模型以研究合理的路内停车累进计费结构, 结果表明停车费率和步行时间等因素对路内外停车选择起到了关键作用, 停车者对费率具有很强的异质性, 并且首小时停车费率富有弹性, 而自第 2 小时开始缺乏弹性. 最后根据 85% 的路内车位占用率, 并结合上海市路内停车累进计费政策提出新的路内外停车收费结构, 以期达到降低路内车位占用率和减少路内长时停车数量的目的.

关键词: 路内停车定价; 累进计费; 混合 Logit 模型; 价格弹性

中图分类号: U-9

文献标志码: A

Curb Parking Progressive Charging Pricing Model of City Center

ZHANG Rong, ZHU Lichao, LIN Jiani

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Users of curb and garage parking space in Shanghai City Center were taken as objectives, and parking choice behavior influence factors including parking mode attributes and users' characteristics were analyzed. Then Multinomial Logit Model and Mixed Multinomial Logit Model were established to research reasonable structure of progressive charging of curb parking. The results show that parking fee, walking time and other factors play a key role in parking choice between curb and garage parking, and users show high heterogeneous about parking fee. The first hour parking fee is relatively elastic, while the parking fee is relatively inelastic since the second hour. Finally, according to the 85% occupancy of curb parking, combined with progressive charging policy of curb parking in Shanghai, a new fee structure of curb and garage parking is put forward to reduce

the occupancy rate of curb parking and the number of curb parkers for long parking time duration.

Key words: curb parking pricing; progressive charging; Mixed Multinomial Logit Model; price elasticity

停车定价是用于治理城市路网拥堵、管理城市中心区停车需求的政策措施之一, 而停车定价涉及个人出行选择行为、城市拥堵、空气污染和区域经济活力等诸多方面, 因此停车定价一直是一个非常敏感、棘手的问题. 路内停车定价过低会导致因寻找车位而产生的巡游, 这一现象在城市中心区尤为明显, 例如很多欧洲城市都存在严重的停车问题, 8%~74% 的车辆需要通过巡游才能找到车位^[1]; 而过高的路内停车定价则会影响一个区域的经济发展, 迫使一些出行者转移到停车费用较低的区域, 甚至取消出行. 巡游和路内车位占用率(车位占用率是某一时段实际累计车辆停放小时与停车泊位小时之比, 反映停车场地拥挤程度)较低等问题产生的根本原因在于停车位供需不平衡, 合理的定价策略能够达到降低社会总成本和调节停车需求的目的. 与国内其他城市相比, 上海较早地认识到路内停车价格高于路外的必要性, 从现状来看, 利用路内停车收费杠杆将部分路内停车转移至路外停车场(库)的实施效果并不十分理想, 路内停车容量饱和、违章停车现象严重, 而路外停车设施利用率不高, 这一现象重点表现在城市中心区. 城市中心区路内停车位经常处于紧张状态, 尤以高峰时段为甚, 过高的占用率(某些路内停车位占用率甚至达到 100%) 导致路内停车困难和停车巡游现象的产生, 因此本文旨在建立一套合理的路内外停车定价体系, 以期改变这一现状.

首先选取停车方式选择影响因素以构建停车方

收稿日期: 2014-02-25

基金项目: 上海市交通运输和港口管理局项目

第一作者: 张 戎(1966—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为运输经济与政策、物流规划与管理.

E-mail: zhangrongtj@163.com

通讯作者: 诸立超(1989—), 男, 博士生, 主要研究方向为集装箱多式联运、离散选择模型. E-mail: zlc1113@126.com

式选择行为模型,根据精度指标确定用于路内外停车定价的最优模型,最终提出合理的路内外停车定价方案,从而为停车定价方案的调整提供依据。

1 研究综述

目前学者们主要通过访谈^[2-4]、观测^[5]和交易数据^[6-7]等方式获取停车数据,据此利用数学规划^[8]、离散选择模型^[2,3,5,9-12]、线性回归^[7]、平均定价法^[13]、博弈论^[14]、弹性分析^[4]和构建新模型^[6,15-16]对停车问题进行研究。虽然离散选择模型在交通领域已得到广泛应用,但较少用于停车定价问题研究,主要停留于停车选择行为分析。Spiess^[12]采用多项 Logit 模型(Multinomial Logit Model, MNL)对在 P+R (park and ride)背景下的停车方式选择问题进行了研究;Dell'Olio 等^[2]通过收集西班牙 Santona 小镇的 SP(stated preference)停车行为数据建立包含随机范围变量的 MNL 模型,据此计算停车者对于减少到目的地车位搜寻时间的支付意愿;Simićević 等^[11]进一步研究停车价格和时长限制对小汽车使用和停车行为的影响;Hunt^[10]则使用巢式 Logit 模型(Nested Logit, NL)对停车方式和位置进行了建模,Bradley 等^[9]将这一模型应用于大城市停车政策变化对停车方式选择影响的评估中;Kobus 等^[5]利用 Probit 模型对路内外停车行为进行建模,发现停车时长为 1 h 时的路内停车价格弹性为-5.5,并且弹性会随着停车时长的缩短而减小,通过在不同路内外停车费率和不同停车时长情境下的路内停车概率计算得出少量价格变化对长时停车影响很大的结论;Hess 和 Polak^[3]通过混合 Logit 模型(Mixed Multinomial Logit Model, MMNL)对停车者及其他属性的差异性进行了更好的阐释。

虽然已有一部分学者^[2,3,5,9,10-12]开始使用离散选择模型对停车问题进行研究,但仍较少用于路内外停车定价问题研究,在停车方式选择影响因素方面主要局限于停车时长和费用,很少涉及其他因素例如出行目的^[3]和容量限制^[12]等,由于数据采集困难等问题造成建模很少使用 RP (revealed preference)和 SP 融合数据^[9],单纯利用 RP^[5,10]或 SP^[2,3,11]数据建模均可能产生有偏结果。此外,既有文献结论主要集中于各因素对停车方式选择的影响,即参数估计值、支付意愿和弹性等,尚未进一步拓展至停车定价研究。

基于此,本文从如下方面对既有研究进行补充

完善:①在模型构建方面,通过采用 RP 和 SP 融合数据构建停车选择行为模型,并进一步考虑累计费用和停车者属性;②在模型分析方面,通过比较 MNL 模型和 MMNL 模型揭示停车者在停车费率方面存在的异质性,并发现除首小时以外的费率均缺乏弹性;③在模型应用方面,利用精度更高、解释能力更强的 MMNL 模型提出合理的路内外停车定价方案。

2 定价模型构建

2.1 前提假设

为明确研究对象及目标,本文作如下假设:①小幅度路内停车提价引起的出行方式转移量可忽略不计;②路外车位数量可满足路内停车转移量;③因很难掌握由路内车位紧张等问题而不得已停在路外的潜在路内停车者数据,故不再考虑。实地调查证明假设是合理的。

2.2 停车方式选择数据采集

根据 Waerden^[17]的停车方式选择影响因素汇总及调查问询结果,选取路内外停车场库搜寻时间(从到达目的地区域打算停车开始,搜寻并找到停车场所花时间)、停放操作时间(到达停车场入口至车辆停放完成所花时间)、步行时间、找到空车位的概率、停车费用及停车者属性为停车行为主要影响因素,并采用正交设计法设计调查问卷,于 2013 年 7 月 26 和 27 日 8:00—18:00 对人民广场和南京东路商圈附近的路内外停车场(库)进行停车调查,其中包括南京西路和黄河路等 10 个路内停车场及置地广场停车库和世纪八达停车库等 6 个路外停车场,共回收 180 份问卷,其中有效问卷 106 份,即 106 组 RP 数据和 530 组 SP 数据。

2.3 停车方式选择模型

停车方式属性和停车者特征等因素均会影响停车方式选择,而每一种停车方式均能为停车者提供一定效用,因此停车者 n 选择停车方式 i 的效用 U_{ni} 可表示为

$$U_{ni} = V_{ni} + \epsilon_{ni} \quad (1)$$

式中: $i=c, i=g$ 分别表示路内和路外停车; V_{ni} 和 ϵ_{ni} 分别为研究者可观测到的典型效用项和不可观测到的随机效用项。

停车者的决策标准是在路内外停车方式中选择使其效用最大的方案,如式(2):

$$P_{ni} = P(U_{ni} > U_{nj}, j \neq i) \quad (2)$$

式中: $j = c, g$, 由 ϵ_{ni} 服从参数为 $(0, 1)$ 的二重指数分布假设可得到 MNL 模型概率计算公式为

$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_{j=1}^2 e^{V_{nj}}} = \frac{\exp[\theta'X_{ni}]}{\sum_{j=1}^2 \exp[\theta'X_{nj}]} \quad (3)$$

式中: θ 为待估计参数矩阵; X_{ni} 为停车者 n 和停车方式 i 对应的变量值矩阵, 如年龄和搜寻时间等. 与 MNL 模型不同, MMNL 模型假设决策者之间存在异质性, 系数 θ 由 MNL 模型中的固定值被重新定义为:

$$\theta_{nl} = \theta_l + \sigma_l v_{nl} \quad (4)$$

其中 θ_l 是停车者对第 l 个属性的平均反应程度, 而 v_{nl} 代表停车者在这一属性方面的异质性, 均值为 0、方差为 1, σ_l 是 θ_{nl} 围绕 θ_l 进行分布的标准差. 由于选择概率不存在封闭解, 不能直接通过构建似然函数进行求解, 需通过模拟计算概率, 其中 θ_r 为 θ 的第 r 次抽样.

$$P_{ni} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{\exp[\theta_r'X_{ni}]}{\sum_{j=1}^2 \exp[\theta_r'X_{nj}]} \quad (5)$$

式中: R 为抽样次数; P_{ni} 为停车者 n 选择停车方式 i 的概率.

2.4 效用函数构建

效用函数变量及其预期符号和量化如表 1 前 4 列所示, 调查过程中进一步发现女性对停车价格变化更为敏感, 另外考虑到不同年龄段人群对步行距离具有不同的敏感度, 因此将交叉项也纳入进来. 根据 NLOGIT 软件计算得到的含有退化枝巢式 Logit 模型的包含值 (inclusive value, IV) 可知调查所得的 RP 和 SP 数据在测度参数 (scale parameter) 方面并无显著差异, 因此可直接对 RP 和 SP 数据进行融合^[18]. 构建的效用函数如下所示:

$$\begin{aligned} U_{ni} = & \theta_D D_{ni} + \theta_S S_{1ni} + \theta_O O_{ni} + \theta_W W_{ni} + \theta_P P_{ni} + \\ & \theta_{F_1} F_{1ni} + \theta_{F_2} F_{2ni} + \theta_{F_3} F_{3ni} + \theta_E E_{ni} + \theta_{S_2} S_{2ni} + \\ & \theta_A A_{ni} + \theta_Y Y_{ni} + \theta_I I_{ni} + \theta_R R_{ni} + \theta_{I_1} I_{1ni} + \theta_{I_2} I_{2ni} + \\ & \theta_{I_3} I_{3ni} + \theta_{I_4} I_{4ni} + \theta_C C_{ni} + \epsilon_{ni} \end{aligned} \quad (6)$$

其中交叉项为 $I_1 = F_1 \times S$, $I_2 = F_2 \times S$, $I_3 = F_3 \times S$, $I_4 = A \times W$.

由于本文主要关注如何根据路内车位占用率确定上海中心区路内停车累进费率, 因此在假设场景中对不同停车时长设定了不同的停车费率, 费率 1 代表首小时停车费率, 费率 2 是第 2 小时停车费率, 而费率 3 则代表第 3 小时及其以后的费率, 利用 3 个不同的费率对停车累进计费进行研究, 并根据 85% 的路内车位占用率对费率做出调整. 值得注意的是, 变量找到空车位的概率起到以下两方面作用:

①提供决策当时路内外泊位利用率的相关信息, 起到停车诱导作用, 使停车者掌握路内外泊位利用率信息从而更加合理地进行停车方式选择; ②上海市汽车保有量不断增长导致停车需求持续增加, 这一变量可进一步表征上海中心区停车位紧张程度, 需求量越大导致找到空车位的概率越小, 在一定程度上解释了停车需求增加对停车方式选择的影响.

3 结果分析

3.1 参数估计结果

根据前文构建的效用函数, 对 MNL 模型和 MMNL 模型进行参数估计, 结果如表 1 所示, 其中 $L(0)$ 为初始似然值, $L(c)$ 为仅含常数项的似然值, $L(\beta)$ 为模型得到的最大似然值, $\rho^2(0)$ 和 $\rho^2(c)$ 分别为 McFadden 决定系数及其修正系数. 表 1 中 MNL 模型 (原始) 对应列列出了所有参数的估计结果, 将假设机率值大于 0.3 的变量剔除后得到 MNL 模型 (最终), 似然比指标为 $4.454 < \chi_{0.05}^2(5) = 11.07$, 表明被剔除的变量不显著是由于它们对停车者行为的确没有影响, 而并非共线性问题所引起, 因此可直接将这些变量从模型中剔除. MMNL 模型的参数估计结果是基于 MNL 模型 (最终) 筛选得到的变量进行的, 3 个模型的参数估计符号均与预期相符. 本文对随机参数均值和标准差 (跨度) 进行了限定, 以一部分精度为代价换取捕捉到绝大部分异质性的可能 (使异质性相对比较集中), 即假设随机参数均值和标准差/跨度 (与正态分布等不同, 三角分布使用跨度而非标准差, 跨度等于上限与下限之差除以 2, 上限和下限分别代表三角分布能取的最大值和最小值) 的绝对值相等, 如果将随机参数的标准差/跨度与均值的比值设定为大于 1 的值可能会导致行为上毫无意义的估计结果, 因此通常将这一值设置为 0 到 1 之间的数值^[18]. McFadden 决定系数 ($\rho^2(0) \in [0, 1]$) 及其修正系数 ($\rho^2(c) \in [0, 1]$) 是度量模型精度的主要指标, 其值越大精度越高, 一般认为 McFadden 决定系数达到 0.2~0.4 时精度已较高^[19], 虽然 MNL 模型和 MMNL 模型的精度均达到了 0.2, 并且两者在除停车费率以外的参数估计方面并无显著差异, 但 MMNL 模型揭示了不同停车者对停车费率的异质性, 较高的精度表明其对停车选择行为的解释能力更强, 故下文利用更优的 MMNL 模型提出合理的路内外停车定价方案. 根据表 1 中 MMNL 模型随机参数的估计结果可知每个费率增

加 1 元 · h⁻¹对于停车者效用的影响,如图 1 所示, 费率 2 和费率 3;数据源自 NLOGIT 计算得到的图中[0,1],[1,2]和(2,3]区间分别代表的是费率 1、 Matrices 中的 BETA_I.

表 1 变量介绍和参数估计
Tab.1 Variables introduction and parameters estimation

变量	变量符号	预期正负	量化	MNL 模型				MMNL 模型	
				原始		最终		参数估计值	t 检验
				参数估计值	t 检验	参数估计值	t 检验		
停车时长	D	负	连续	-0.333 190*	-1.68	-0.354 29*	-1.77	-0.326 45*	-1.70
搜寻时间	S ₁	负	连续	-0.060 65*	-1.84	-0.060 77*	-1.86	-0.061 89*	-1.81
停放操作时间	O	负	连续	-0.097 17*	-1.68	-0.104 81*	-1.84	-0.109 70*	-1.82
步行时间	W	负	连续	-0.116 18**	-1.99	-0.120 48**	-2.10	-0.119 12**	-1.99
找到空车位概率	P	正	连续	1.537 01**	2.32	1.545 52**	2.36	1.661 68**	2.43
费率 1(T)	F ₁	负	连续	-0.128 05***	-2.84	-0.143 56***	-3.35	-0.152 25***	-2.93
费率 2(T)	F ₂	负	连续	-0.089 67**	-2.21	-0.090 09**	-2.25	-0.110 74**	-2.28
费率 3(T)	F ₃	负	连续	-0.076 20**	-2.19	-0.064 18**	-2.14	-0.064 07**	-2.05
停车经历	E	正	离散	0.498 15*	2.23	0.510 50**	2.32	0.532 62**	2.29
性别	S ₂	不定	离散	1.890 29	0.84				
年龄	A	不定	连续	0.012 00	0.74				
驾龄	Y	不定	连续	0.022 81	1.26	0.034 66***	2.58	0.036 99***	2.61
收入	I	正	连续	0.177 97×10 ⁻⁴ *	1.79	0.171 79×10 ⁻⁴ *	1.76	0.182 26×10 ⁻⁴ *	1.76
是否报销	R	正	离散	0.329 49	1.47	0.364 62*	1.67	0.384 09*	1.66
费率 1 乘性别	I ₁	负	连续	-0.123 14	-0.90				
费率 2 乘性别	I ₂	负	连续	-0.011 68	-0.54				
费率 3 乘性别	I ₃	负	连续	0.024 52	0.95				
年龄乘步行距离	I ₄	负	连续	-0.001 98*	-1.68	-0.001 66	-1.51	-0.001 87	-1.64
费率 1(T)								0.152 25***	-2.93
费率 2(T)								0.110 74**	-2.28
费率 3(T)								0.064 07**	-2.05
常数项	C	不定	连续	0.184 04	0.30	0.488 26	1.12	0.507 71	1.11
变量数				19		14		14	
模型统计量	L(0)			-440.841 6		-440.841 6		-440.841 6	
	L(c)			-395.990 8		-395.990 8		-395.990 8	
	L(β)			-329.260 57		-331.487 57		-321.880 07	
	ρ ² (0)			0.210 0		0.216 3		0.238 1	
	ρ ² (c)			0.120 5		0.127 5		0.151 8	

注:***, **, * 分别代表其显著性水平为 1%,5%,10%;T 代表该参数服从三角分布;随机参数估计采用 100 次 Halton 抽样.

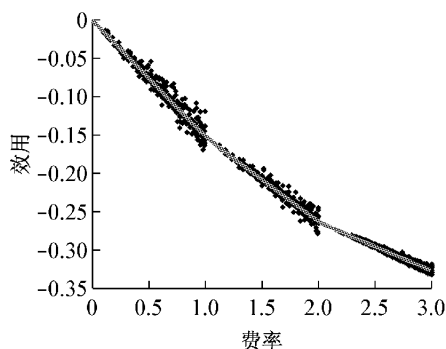


图 1 效用与费率的关系

Fig.1 Relationship between utility and random parameters

图 1 中的散点表示不同停车者对费率的异质性,限制费率均值和标准差/跨度的关系(假设其相等)保证了随机参数符号的一致性(均为负).此外分

段函数的斜率为费率均值,可知从费率 1 到费率 3 的斜率越来越小. 停车者对停车费率上涨表现出来的态度与前景理论^[20](prospect theory)中关于收益和损失的描述一致,即随着收益或损失的增加,其边际价值越来越小.

3.2 费率弹性分析

根据参数估计结果和路内外停车方式选择分担率进一步计算得到费率弹性,如表 2.

从 MNL 模型(最终)和 MMNL 模型的停车费率弹性可知路内第 1 小时费率富有弹性,说明增加第 1 小时费率会显著影响路内停车需求,这是因为路内停车者以短时停车者居多,因此对第 1 小时费率更为敏感,而随着停车时长的增加,停车者数量迅速减少,导致费率对停车方式选择的影响力大大减小,故第 2 小时费率和第 3 小时费率的弹性逐渐降低.

表 2 费率弹性
Tab.2 Fees elasticity

变量	MNL 模型(最终)	MMNL 模型
费率 1(路内)	-1.355 8	-1.303 5
费率 2(路内)	-0.580 1	-0.651 2
费率 3(路内)	-0.099 4	-0.089 4
费率 1(路外)	-0.368 2	-0.355 3
费率 2(路外)	-0.205 4	-0.231 7
费率 3(路外)	-0.026 3	-0.023 6

4 定价

所调查区域路内车位平均占用率为 93.20%，采

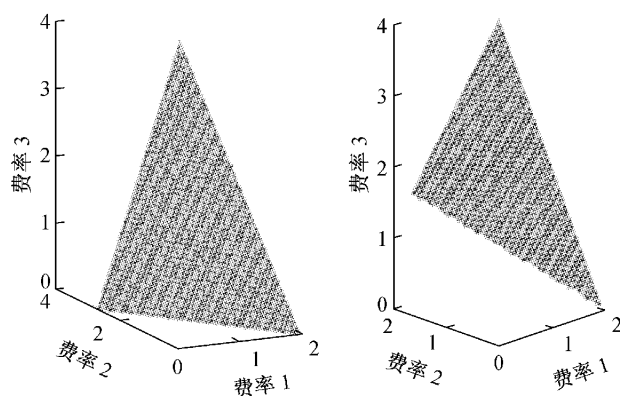
$$\frac{\hat{P}_c}{\hat{P}_{ca}} = \frac{\frac{1}{R} \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \frac{1}{\exp[\sum \theta'_o(\mathbf{X}_{gn} - \mathbf{X}_{cn}) + \theta'_{pr}(\mathbf{F}_{gn} - \mathbf{F}_{cn})]}}{\frac{1}{R} \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \frac{1}{\exp[\sum \theta'_o(\mathbf{X}_{gn} - \mathbf{X}_{cn}) + \theta'_{pr}(\mathbf{F}_{gn} - \mathbf{F}_{cna})]}} = \frac{\hat{P}_c}{(1-\varphi)\hat{P}_c} \quad (7)$$

式中： \hat{P}_c 为现有路内停车模拟概率； \hat{P}_{ca} 为费率调整后的路内停车模拟概率； R 为随机参数抽样次数； n 为停车者； N 为停车者数量； θ_o 为除费率以外变量的待估计参数矩阵； \mathbf{X}_{gn} 和 \mathbf{X}_{cn} 分别为路外和路内除费率以外的变量值矩阵； θ_{pr} 为费率变量对应参数第 r 次抽样值的矩阵； \mathbf{F}_{gn} 和 $\mathbf{F}_{cn} = (F_{cn1} \ F_{cn2} \ F_{cn3})'$ 分别为调整前的路外和路内费率变量值矩阵， F_{cn1} 、 F_{cn2} 和 F_{cn3} 分别为调整前的费率 1、费率 2 和费率 3； $\mathbf{F}_{cna} = (F_{cna1} \ F_{cna2} \ F_{cna3})'$ 为调整后的路内费率变量； F_{cna1} 、 F_{cna2} 和 F_{cna3} 分别为调整后的费率 1、费率 2 和费率 3； φ 为需转移的路内停车概率。

4.1 典型样本定价

首先选取一个典型样本 RP 数据(与整体 RP 数据的概率变化趋势基本一致)对其进行 100 次 Halton 抽样计算得到式(7)含有 $\Delta F_1 = F_{cna1} - F_{cn1}$ ， $\Delta F_2 = F_{cna2} - F_{cn2}$ 和 $\Delta F_3 = F_{cna3} - F_{cn3}$ (费率变化量)3 个变量的隐函数，然后利用 MATLAB 软件绘制出占用率下降 4.34% 的三维停车费率增量组合图，见图 2。其中图 2a 是满足条件的所有费率组合，而图 2b 的费率组合则进一步考虑了累进计费。图 2a 中曲面与费率 1、费率 2 和费率 3 的交点分别为 1.95 元·h⁻¹、2.65 元·h⁻¹ 和 4.45 元·h⁻¹，即满足车位占用率下降 4.34% 时费率 1、费率 2 和费率 3 的增量；现有情况下费率 1 比费率 2 每小时高 5 元，在费率小幅变动情况下费率 2 很难超过费率 1，因此图 2b 中仅考虑了费率 2 和费率 3 之间的累进关系，而图 2b 也证实了这一结论。由于概率变化范围较小，简便起见，可将路内停车概率减小 4.34% 的三维停车费率增量组合视为平面 $11.79 \Delta F_1 + 8.68 \cdot$

用 Shoup 路内停车定价准则^[21]，需提高路内停车价格将车位平均占用率降至 85%，根据 MMNL 模型参数估计结果及 RP 数据路内停车选择概率，可知需将目前 4.34% 的路内停车转移至路外(问卷调查中约 52.9% 的停车者在 RP 场景中选择路内停车，因此转移量的预期目标为 $52.9\% \times (93.2\% - 85.0\%) = 4.3\%$)，费率调整前后的路内停车概率可表示为



a 一般情况
b 累进计费
图 2 停车概率与路内停车费率之间的关系

Fig. 2 Relationship between parking probability and curb parking fees

$\Delta F_2 + 5.17 \Delta F_3 = 23$ 位于第 1 象限的部分(见图 2，可近似将其看作平面)，那么在路内停车概率变化较小的范围内，可用下式简单地表示概率变化：

$$\Delta P_c = \frac{11.79 \Delta F_1 + 8.68 \Delta F_2 + 5.17 \Delta F_3}{23} \times 4.34\% \quad (8)$$

4.2 整体样本定价

继而在不同的费率组合情形下利用 NLOGIT 软件对路内停车概率变化(整体 RP 数据变化)进行计算，如表 3。

与图 2 类似，若要达到占用率下降 4.34% 的目标，费率 1、费率 2 和费率 3 需分别上调 2.0 元·h⁻¹、2.6 元·h⁻¹ 和 4.4 元·h⁻¹。根据表 3 可知费率 1 和费率 2 均增加 1 元·h⁻¹ 基本能够达到将 4.34% 的路内停车者转移至路外的预期目标，若同时考虑

表3 不同情形下的路内停车概率变化

Tab.3 Probability change of curb parking under different scenarios

情形	费率增量/(元·h ⁻¹)			路内停车概率变化/%	概率变化标准差/%
	费率1	费率2	费率3		
1	2	0	0	-4.567	2.118
2	0	2	0	-3.489	1.538
3	0	0	2	-2.075	0.886
4	1	1	0	-4.047	1.818
5	1	0	1	-3.353	1.496
6	0	1	1	-2.793	1.204
7	1	1	1	-5.018	2.261
8	1	1	2	-5.967	2.708

对短时停车者的影响、将路内车位占用率降至85%和增加路内停车收入这三方面,可保持费率1现有水平不变,只调整费率2和费率3,通过这种方式以达到鼓励短时停车而将长时停车者引导至路外停车场(库)及调节路内外停车需求的目的。通过将费率2和费率3分别上调1元·h⁻¹和3元·h⁻¹可使路内停车概率下降4.56%,已能满足下降4.34%的要求,而根据式(8)也能得到与表3类似的计算结果,表明在概率小幅范围内变化时可通过典型样本RP数据的隐函数进行计算。

因此可保持首小时收费标准不变,第2小时起以0.5h计费,费率为10.5元每0.5h,第3小时起费率上调至11.5元每0.5h,经调整后可将上海中心区路内车位平均占用率降至85%左右。

4.3 基于高峰时段的路内停车定价

上海中心区高峰时段路内车位平均占用率达到100%,若需将高峰时段路内车位平均占用率降至85%,也可利用上述方法进行调整,调整方案为:保持首小时收费标准不变,第2小时起以半小时进行计费,费率为11元每0.5h,第3小时起费率上调至12.5元每0.5h。

5 结论

从停车方式选择行为的角度对路内外停车定价问题进行了研究,利用MNL模型和MMNL模型定量计算了各因素对停车方式选择行为的影响程度,通过弹性分析可知路内首小时价格是富有弹性的,而从第2小时开始缺乏弹性,而路外停车费率一直是缺乏弹性的,在此基础上计算了不同路内费率调整方案下的停车概率变化,也可根据上述方法提出其他不同的调价方案。但是以下问题仍有待进一步研究:①将潜在的路内停车者考虑进来进一步提高

模型的定价精度;②由于不同时刻的路内车位占用率是存在差异的,未来应针对不同时刻制定波动的停车费率以期达到合理利用路内停车位的目的,并且应进行一个长期的统计以得到更加真实合理的路内车位占用率;③本文所提出的定价方案的实施效果可在调价方案实施后收集数据,进一步开展实证检验。

参考文献:

- [1] Shoup D. Cruising for parking [J]. *Transport Policy*, 2006, 13(6): 479.
- [2] Dell'Olio L, Ibeas A, Moura J. Paying for parking: Improving stated-preference surveys [J]. *Proceedings of the ICE-Transport*, 2009, 162(1): 39.
- [3] Hess S, Polak J. Mixed logit modelling of parking-type choice behavior [EB/OL]. [2013-08-18]. http://www.stephanehess.me.uk/papers/Hess_Polak_parking_final.pdf.
- [4] Simićević J, Milosavljević N, Maletić G, et al. Defining parking price based on users' attitudes [J]. *Transport Policy*, 2012, 23: 70.
- [5] Kobus M, Guitierrez-Puigarnau E, Rietveld P, et al. The on-street parking premium and car drivers' choice between street and garage parking [J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2013, 43(2): 395.
- [6] Caicedo F. Charging parking by the minute: What to expect from this parking pricing policy? [J]. *Transport Policy*, 2012, 19(1): 63.
- [7] Ottosson D, Chen C, Wang T, et al. The sensitivity of on-street parking demand in response to price changes: A case study in Seattle, WA [J]. *Transport Policy*, 2013, 25: 222.
- [8] 冯焕焕,朱从坤. 我国城市中心区路边停车收费定价模型研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2008, 8(5): 129. FENG Huanhuan, ZHU Congkun. Model of curb parking pricing in urban center district of China [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2008, 8(5): 129.
- [9] Bradley M, Kroes E, Hinloopen E. A joint model of mode/parking type choice with supply-constrained application [C] // PTRC Summer Annual Meeting, 21st, 1993. Manchester: University of Manchester, 1993: 61-74.
- [10] Hunt D. Parking location choice: Insights and representations based on observed behaviour and the hierarchical logit modelling formulation [C] // Institute of Transportation Engineers (ITE), Annual Meeting, 58th, 1988. Vancouver: [s. n.], 1988: 439.
- [11] Simićević J, Vukanović S, Milosavljević N. The effect of parking charges and time limit to car usage and parking behavior [J]. *Transport Policy*, 2013, 30: 125.
- [12] Spiess H. A logit parking choice model with explicit capacities [J]. *EMME/2 Support Center*, 1996, 30: 1.
- [13] 程铁信,王新,岳静波,等. 城市中心商业区停车区域定价模型[EB/OL]. [2013-08-18]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201205-371/>.