

停车换乘需求分析与定价方法 ——以上海市轨道交通停车换乘为例

Park-and-Ride Demand Analysis and Parking Pricing:
a case study of Shanghai in rail transit park-and-ride operation

张 戎, 王林平, 闫哲彬

(同济大学交通运输工程学院, 上海 200092)

ZHANG Rong, WANG Lin-ping, YAN Zhe-bin

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

摘要: 如何充分利用已建停车换乘设施的能力, 又不会由于需求太大在换乘点产生拥堵是政策制定者和P+R停车场(库)运营者的一个挑战。选取上海市地铁1号线两个车站和9号线1个车站进行停车换乘需求行为调查, 分析P+R潜在使用者的行为特性, 得出换乘点停车费用是影响出行者选择停车换乘的一个重要因素, 可利用价格杠杆引导停车换乘选择行为。将换乘点停车费用作为变量构建停车换乘选择Logit模型, 得到停车换乘分担率与换乘点停车收费的函数关系。以上海市地铁莘庄站为例, 将相关数据和目标分担率代入模型, 反推得到其停车收费标准为5元·次⁻¹。

Abstract: How to make full use of the existing park & ride (P&R) facilities while avoiding congestion caused by a high demand of P&R activities at these facilities proves to be a challenge to decision-makers as well as to those in charge of the facilities. Through a survey of P&R demand behaviors at 2 P&R stations of subway Line 1 and another station of Line 9 in Shanghai, this paper investigates the behavioral characteristics of those potential P&R travelers, and identifies the parking fees paid at P&R stations to be a critical factor that affects their behavior of P&R choice which, as the authors argue, can be leveraged by parking pricing. Therefore, a functional relation was established between the P&R percentage and the parking fees paid at the stations while developing a Logit P&R choice model which considers the parking fee a variable. Data collected at the subway station of Xinzhuang, Shanghai, and a target P&R percentage were used as an example to apply the model, resulting in a parking fee of 5 Chinese dollars per space occupancy.

关键词: 交通规划; 静态交通; 停车换乘需求; Logit模型; 定价方法
Keywords: transportation planning; static transportation; P&R demand; Logit model; parking pricing method

中图分类号: U491.7¹ 文献标识码: A

收稿日期: 2008-09-19

作者简介: 张戎(1966—), 男, 浙江嘉善人, 工学博士, 教授, 主要研究方向: 运输经济。E-mail: zhangrongtj@163.com

停车换乘(P+R)作为一种交通需求管理手段, 能够在城市外围区域截住小汽车, 减少进入市中心的交通量, 有效缓解道路交通拥挤、停车难、交通污染等问题。结合轨道交通的停车换乘方式是上海市实施P+R的主要形式。上海市已建成的停车换乘设施有地铁9号线松江新城站P+R停车场(库), 共有296个停车泊位。2008年开工3个, 分别为地铁1号线富锦路站、2号线淞虹路站和3号线江杨北路站, 停车泊位总计约440个。2009年计划开工2个, 停车泊位总计约900个。目前, 2号线淞虹路站P+R停车场(库)将试点运营。本文以上海市地铁1号线莘庄站、锦江乐园站, 9号线松江新城站为研究对象, 在RP、SP调查基础上, 对轨道交通车站的停车换乘需求影响因素进行分析, 建立停车换乘点停车费用与停车换乘分担率的函数, 确定P+R停车场(库)的收费水平。

1 文献综述

国外对停车换乘的研究始于20世纪60年代末, 研究内容包括停车换乘需求、停车换乘点选址、停车换乘的影

响等。在停车换乘需求预测方面,文献[1]提出对已有设施或规划设施进行需求预测的流程,基本步骤为确定出行产生区域、确定出行吸引区域、确认出行吸引区域的特性(如停车成本、可靠性等)、计算区域间总出行量、计算停车换乘方式和公共交通方式的分担率,最后得出停车换乘需求。文献[2]给出影响停车换乘需求的因素,包括前往CBD早高峰出行数量、小汽车成本与公交成本比率、停车换乘点与CBD或其他商业中心的距离等28个变量,并对西雅图P+R停车场进行实例研究,选取28个变量中的8个进行组合,利用需求分析方程分别计算同一个停车换乘点的需求。文献[3]利用二项Logit模型,对主要服务于通勤出行的P+R停车需求进行预测,考虑的变量为总的出行时间和出行费用,设置9种不同情形对通勤者进行SP调查,计算得出停车换乘方式的分担率。

国内对停车换乘的研究刚刚兴起,文献[4]研究了瓶颈处停车换乘Logit随机均衡选择模型,分析系统净收益最大和地铁公司收益最大两种情况下停车场收费和地铁定价策略,分析出行者在全程自驾车、地铁直达和停车换乘3种交通方式之间的决策。文献[5]对北京市区停车场停

车换乘行为调查数据进行分析,得到不同假设换乘条件的P+R选择意向及出行者相关特性,根据平日、假日,通勤、非通勤调查数据建立P+R行为选择模型。可以看出,以往的研究集中于停车换乘设施建设运营前的规划阶段,主要目的是确定停车换乘设施的合适规模。

2 停车换乘需求行为调查

为了得到出行者选择信息,采用RP/SP调查相结合的方法,对轨道交通车站附近有可能采用停车换乘的出行者进行P+R行为调查。调查对象为上海市地铁1号线莘庄站和锦江乐园站、9号线松江新城站附近小区的居民,包括近30个小区、300多户家庭。小区距离地铁车站1~5 km内,位于停车换乘的发生区域,被调查者拥有小汽车、且需经常利用小汽车进入市中心区,即选取通勤出行且工作地在市中心的驾车者或每月驾车去市中心次数较多的出行者。以地铁1号线莘庄站为例,调查区域如图1所示。本次调查共回收有效问卷271份,其中包括近郊莘庄站和锦江乐园站问卷172份,远郊松江新城站问卷99份^[6]。

RP调查内容主要包括出行者基本信息,如



图1 调查区域示意图

Fig.1 Survey area

性别、年龄、收入水平等, 影响出行方式选择的因素, 如道路状况、停车情况、停车费用等。SP 调查将全程自驾车和停车换乘两种出行链进行分解, 设置了3个变量, 在8种不同情境下调查出行者的选择意愿。3个变量分别为: 从出发地至目的地的在途时间、目的地停车费、换乘点停车费。

全程自驾车的出行时间包括从出发地至目的地停车场的小汽车在途时间、停车后至目的地的步行时间, 费用包括小汽车使用费、目的地停车费。停车换乘的出行时间包括从出发地至P+R停车场的小汽车在途时间、停车后至轨道交通的换乘时间、轨道交通在途时间、轨道交通至目的地的步行时间, 费用包括小汽车使用费、换乘点停车费、轨道交通费用。对于已有的停车换乘系统, 上述时间和费用中, 近期可变或者通过一定政策容易改变的是全程自驾车时小汽车在途时间、目的地停车费、换乘点停车费, 按照现有条件设置其他变量: 目的地停车费按不变或增加20%, 换乘点停车费按5元·次⁻¹或10元·次⁻¹, 全程自驾车在途时间按不变或增加30%, 采取正交组合法, 得到8种情景, 如表1所示。

3 数据分析

3.1 出行者特征

1) 性别

被调查者以男性为主, 女性占26%, 这与男

性驾驶人较多的情况相符。

2) 年龄

42%的被调查者为31~40岁, 41~50岁的被调查者占27%, 18~30岁、51~60岁这两个年龄段比例相差不大, 分别占14%和16%。31~40岁出行者群体所占比例最高, 与此年龄段收入比较稳定、事业生活步入正轨、小汽车拥有量较高的情况相符。

3) 收入水平

被调查者对收入水平的问题比较敏感, 调查结果表明, 月收入水平为3 000~7 000元的出行者占46%, 其次为7 000~10 000元, 占22%, 这说明上海市拥有小汽车的家庭大部分属于中等收入水平, P+R具有很大的市场潜力。

3.2 现状出行条件

现状出行条件是出行者对目前驾驶小汽车至市中心区交通状况的反映, 包括道路是否拥挤、停车费用是否太高、停车是否困难。被调查者对3个选项进行排序, 按权重计分, 第1位计3分, 第2位计2分, 第3位计1分, 不选计0分, 选择该项的被调查者数量乘以权重得到选项总分, 选项得分由总分除总样本数量(即选择第1位的样本量)得到。由表2可以看出, 大部分出行者对道路拥挤感受最强烈, 表明道路拥挤带来的小汽车出行时间增加和不舒适会对出行方式选择产生

表1 停车换乘调查情境

Tab.1 P&R survey cases

情景编号	全程自驾车		停车换乘
	从出发地至目的地的在途时间/min	目的地停车费/(元·次 ⁻¹)	换乘点停车费/(元·次 ⁻¹)
1	调查值	调查值	5
2	增加30%	不变	5
3	不变	增加20%	5
4	增加30%	增加20%	5
5	不变	不变	10
6	增加30%	不变	10
7	不变	增加20%	10
8	增加30%	增加20%	10

很大影响。将停车费用排在第1位的出行者约占30%，表明停车费用对出行方式选择会产生一定影响。

3.3 选择停车换乘的影响因素

同样采用排序方法调查出行者选择停车换乘的影响因素，选项包括节约停车费用、节约出行时间、换乘方便、市中心停车困难、市中心道路拥挤。按权重计分，第1位计5分，第2位计4分，第3位计3分，第4位计2分，第5位计1分，不选计0分，选择该项的被调查者数量乘以权重得到选项总分，选项得分由总分除总样本数量得到。从表3可以看出，出行者选择停车换乘首先考虑的是能够节约出行时间，其余因素排序依次为市中心道路拥挤、节约停车费用、换乘方便、市中心停车困难。

3.4 换乘点停车费用

当换乘点停车收费标准为5元·次⁻¹时，85%的出行者表示有可能选择停车换乘，当收费标准为10元·次⁻¹时，选择比例下降至44%，有41%的P+R潜在用户将不会考虑停车换乘，这表明换乘点停车费用对出行者的选择行为影响较大。

4 P+R 停车场(库)定价方法

4.1 定价思路

利用非集计模型预测停车换乘需求已经有一套比较完善的体系，基本思路是在确定停车换乘设施吸引范围的基础上得到吸引总量，建立Logit模型，计算停车换乘方式的分担率，最终得到停车换乘需求^[7]。已有研究中模型的变量大多为OD出行总时间、总费用，没有单独列出换乘点停车费用^[3,5]。然而调整换乘点停车费用是引导出行者方式选择最简单有效的手段，本文以停车换乘点停车费用作为变量建立Logit模型，根据停车换乘目标分担率推算P+R停车场(库)的收费标准。这是一种以需求为导向、以分担率为目标的定价方法，其基本思路如图2所示。

4.2 确定目标分担率

停车换乘设施吸引区域内停车换乘比例保持在一定水平，能使设施作用最大化，这个比例即目标分担率。对于新建的P+R停车场(库)，可以根据城市交通政策、道路交通状况及交通规划相关资料确定停车换乘目标分担率；对于已经投入使用、需通过调整收费标准以调节区域内出行方

表2 现状出行条件调查结果
Tab.2 Existing travel conditions survey results

现状问题	第1位	第2位	第3位	总分	选项得分	排名
道路拥挤	156	3	0	474	1.75	1
停车费用高	74	25	0	272	1	2
停车困难	41	20	6	169	0.65	3

表3 选择停车换乘的影响因素调查结果
Tab.3 Survey results of impacting factors of P&R choice

影响因素	第1位	第2位	第3位	第4位	第5位	总分	选项得分	排名
节约出行时间	68	24	30	20	8	574	2.12	1
市中心道路拥挤	28	38	30	30	22	464	1.82	2
节约停车费用	16	34	26	44	22	404	1.49	3
换乘方便	30	32	18	22	22	398	1.47	4
市中心停车困难	12	18	36	20	56	336	1.24	5

式分担率的P+R 停车场(库), 可以根据停车泊位数量以及区域内小汽车出行情况确定目标分担率。

4.3 模型建立

利用非集计模型对出行者选择行为进行分析。效用最大化理论假设是建立非集计模型的前提, 对于出行者来说, 效用最大化就是在特定的选择条件下, 总是选择对其效用最大的方案^[8]。根据选择肢的数量及其相互关系, 结合效用函数, 可以选择和建立合适的模型对决策者的行为进行分析。

考虑停车换乘、全程自驾车到达目的地这两条出行链中影响出行者选择最重要的几个因素, 建立效用函数。停车换乘与全程自驾车到达目的地的效用函数分别为

$$U_{1n} = V_{1n} + \varepsilon_{1n} = \theta_0 + \theta_1 RT_{1n} + \theta_2 WT_{1n} + \theta_3 RC_{1n} + \theta_4 PRC_{1n} + \varepsilon_{1n}, \quad (1)$$

$$U_{2n} = V_{2n} + \varepsilon_{2n} = \theta_1 RT_{2n} + \theta_2 WT_{2n} + \theta_3 RC_{2n} + \theta_5 PC_{2n} + \varepsilon_{2n}, \quad (2)$$

式中: U_{1n} 、 U_{2n} 分别为出行者选择停车换乘和全程自驾车的效用; V_{1n} 、 V_{2n} 为效用中的固定项; ε_{1n} 、 ε_{2n} 为常数项; θ_0 为固有哑元; θ_i 为模型参数, $i=1, \dots, 5$; RT_{in} 为出行者选择第*i*种方案的在途时间($i=1$ 为停车换乘, $i=2$ 为全程自驾车); WT_{in} 为出行者选择第*i*种方案的步行时间; RC_{in} 为出行者选择第*i*种方案小汽车使用费用(包括公交费用); PRC_{in} 为出行者选择第*i*种方案换乘点的停车费用; PC_{in} 为出行者选择第*i*种方案目的地停车费用。模型特性变量见表4。

则出行者*n*选择停车换乘的概率为

$$P_{1n} = \text{Prob}(U_{1n} > U_{2n}) \quad (3)$$

假设 ε_{1n} 和 ε_{2n} 都服从Gumbel分布, 可推导停

车换乘的选择概率为

$$P_{1n} = \frac{1}{1 + e^{(V_2 - V_1)}} \quad (4)$$

4.4 模型标定

根据调查数据, 利用牛顿-拉普松(Newton-Raphson, NR)法对模型进行参数标定, 标定结果如表5所示^[7]。

根据标定结果, 得出两条出行链的效用函数固定项表达式如下:

$$V_{1n} = -0.9548 - 0.0115RT_{1n} - 0.0282WT_{1n} - 0.0338RC_{1n} - 0.0600PRC_{1n}, \quad (5)$$

$$V_{2n} = -0.0115RT_{2n} - 0.0282WT_{2n} - 0.0338RC_{2n} - 0.0084PC_{2n} \quad (6)$$

则停车换乘选择比例

$$P_{1n} = \frac{1}{1 + e^{(-0.9548 - 0.0115\Delta RT - 0.0282\Delta WT - 0.0338\Delta RC - 0.0600\Delta PRC_{1n} + 0.0084\Delta PC_{2n})}}, \quad (7)$$

式中 Δ 符号为相应属性的差值。结合已经确定的停车换乘分担率, 反推则可得到换乘点停车收费水平。

以上海市地铁1号线莘庄站停车换乘为例, 根据规划资料及莘庄站附近小区小汽车拥有量和

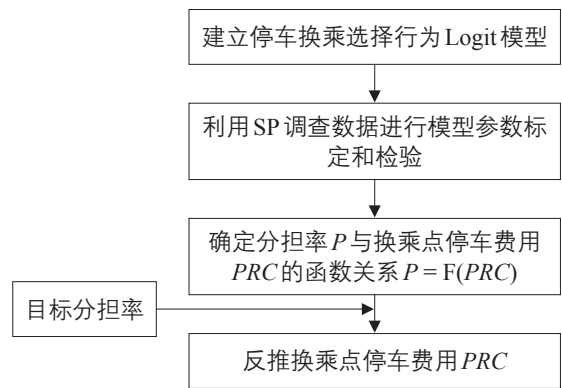


图2 定价方法研究思路

Fig.2 Parking pricing method

表4 模型特性变量

Tab.4 Model characteristic variables

方案	固有哑元	在途时间	步行时间	使用费用	换乘点停车费用	目的地停车费用
停车换乘	1	RT_{1n}	WT_{1n}	RC_{1n}	PRC_{1n}	
全程自驾车		RT_{2n}	WT_{2n}	RC_{2n}		PC_{2n}

出行情况,莘庄站停车换乘设施承担小汽车出行的目标分担率为30%。出行者从吸引范围内小区出发,全程自驾至徐家汇出行吸引范围内,平均耗时 $RT_{2n}=40\text{ min}$,油耗 $RC_{2n}=16\text{ 元}$,徐家汇停车场单次停车平均费用 $PC_{2n}=20\text{ 元}$,步行至目的地的时间 $WT_{2n}=5\text{ min}$ 。如果选择停车换乘,从吸引范围内小区驾车至莘庄站换乘点,小汽车平均在途时间为 10 min ,小汽车使用费用约为3元,换乘时间为 5 min ,乘坐轨道交通的时间为 18 min ,轨道交通费用为4元,即 $RT_{1n}=33\text{ min}$, $RC_{1n}=7\text{ 元}$,下车后从轨道交通车站步行到达目的地的时间 $WT_{1n}=10\text{ min}$ 。将上述数值代入式(7),反推可得到停车换乘收费标准为5.07元,取整可定为5元。

5 结论

本文通过停车换乘行为RP和SP调查,提出基于Logit模型的P+R停车场(库)定价方法,并将该方法应用于上海市P+R停车场(库)收费政策制定中,得出以下结论:

1) 调查分析得出:①收入较低者更倾向于选择停车换乘,且对价格比较敏感;②出行者利用小汽车进入市中心区,感觉目前中心区道路拥挤、停车费用过高;③出行者选择停车换乘,首先考虑的是能够节约出行时间,其次是因为中心区道路拥挤。

2) 通过对上海市轨道交通停车换乘需求影响因素进行分析,得出换乘点停车费用是影响出行者方式选择的一个重要因素,调整P+R停车场(库)的收费标准是实现已建停车换乘设施功能最

大化的简单有效途径。

3) 基于Logit模型的P+R停车场(库)定价方法以市场为导向,在对出行者进行SP调查的基础上,根据目标分担率和非集计模型反推P+R停车场(库)收费标准。该方法能够充分反映市场需求,保证目标分担率的实现。以上海市地铁莘庄站为例,将相关数据和目标分担率代入模型,反推得到其停车收费标准为 $5\text{ 元}\cdot\text{次}^{-1}$ 。

参考文献:

References:

[1] William E Hurrell. Application of Siting and Demand Estimation Models to Coordinate Park-and-Ride Facility Planning[A]. Steven B Colman. *The 7th International HOV Facility Conference*[C]. US: TRB, 1994.

[2] Robert J, Spillar A. Comprehensive Planning and Design Manual for Park-and-Ride Facilities[R]. Washington DC: The United States Department of Transportation, 1997.

[3] Arne Risa Hole. Forecasting the Demand for an Employee Park and Ride Service Using Commuters' Stated Choices[J]. *Transportation Policy*, 2004, 4(2): 355-362.

[4] 田琼, 黄海军, 杨海. 瓶颈处停车换乘logit随机均衡选择模型[J]. *管理科学学报*, 2005, 8(1): 1-6. TIAN Qiong, HUANG Hai-jun, YANG Hai. Mode Choice Models Based on Logit Stochastic Equilibrium in Transportation Systems with Park-and-Ride Option[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2005, 8(1): 1-6.

表5 模型标定结果

Tab.5 Model validation results

标定结果	在途时间	步行时间	使用费用	停车费用		固有哑元	初期优度 $L(0)$	最后优度 $L(\theta)$	Macfadden系数
				换乘点停车费用	目的地停车费用				
参数值	-0.0115	-0.0282	-0.0338	-0.0600	-0.0084	-0.9548	-1502.74	-1212.46	0.193
t	(-6.93)	(-4.12)	(-7.02)	(-3.02)	(-2.49)	(-5.28)			