

# 基于地铁停车换乘的区域差异性停车收费策略

曹 弋<sup>\*1</sup>, 杨忠振<sup>2</sup>, 左忠义<sup>1</sup>

(1. 大连交通大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116028; 2. 大连海事大学 交通运输管理学院, 辽宁 大连 116026)

**摘 要:** 为了鼓励公众尽可能多的采用地铁及停车换乘(P&R)方式出行, 从而缓解城市中心区的交通拥堵, 研究区域差异性停车收费策略. 针对大连市西安路商业中心及外围区域主要地铁站, 开展停车来源与停车费用调查、P&R意向性调查及沿线地铁、公交与小汽车客流调查. 基于随机用户均衡理论, 构建包含地铁、公交、小汽车及P&R共4个选择肢的Logit模型, 并利用调查数据进行参数标定. 通过调整不同区域的停车收费价格, 得到停车费用与P&R及全程小汽车出行比例的关系曲线. 通过案例, 分析了区域差异性停车收费的效果. 研究表明, 提高中心区停车费将使全程小汽车出行比例显著降低; 降低外围区停车费将使P&R出行比例有所提高.

**关键词:** 交通工程; 停车收费; Logit模型; 停车换乘; 区域差异性

## Regional Differential Parking Pricing Strategy Based on Metro Park-and-ride

CAO Yi<sup>1</sup>, YANG Zhong-zhen<sup>2</sup>, ZUO Zhong-yi<sup>1</sup>

(1. School of Transportation Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, Liaoning, China;

2. Transportation Management College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

**Abstract:** In order to encourage the public to travel by the park-and-ride and metro mode as much as possible, and to relieve the traffic congestion in urban center area, the regional differential parking pricing strategy is studied. The investigations of parking charge, parking source, P&R intention and the passenger volumes of metro, bus and car are conducted at the Xi'an Rd. CBD in Dalian, China, and the main metro stations in the periphery area. Based on the theory of stochastic user equilibrium, the Logit model with four choosing limbs including metro, bus, car and P&R is constructed and calibrated using the investigation data. By adjusting the parking charges in different area, the relationship curves between the parking charge and the travelling proportions of P&R and car are obtained. Through the case study, the effect of the regional differential parking charge is analyzed. The research indicates that, increasing the parking fee of center area can make the travelling proportion of car mode reduce significantly. Reducing the parking fee of periphery area can make the travelling proportion of P&R increase.

**Keywords:** traffic engineering; parking pricing; Logit model; park-and-ride; regional differential

收稿日期: 2016-09-14

修回日期: 2017-01-02

录用日期: 2017-01-11

基金项目: 辽宁省博士科研启动基金/Research Fund for the Doctoral Program of Liaoning Province(20141109); 大连市青年科技之星计划项目/Project for the Youth Science and Technology Star of Dalian (2016RQ055).

作者简介: 曹弋(1982-), 男, 辽宁大连人, 讲师, 博士后.

\*通信作者: caoyi820619@aliyun.com

## 0 引言

随着地铁在越来越多的城市中投入运营,居民原有的出行方式结构发生了改变,同时产生了新的出行方式,即地铁停车换乘(P&R)。显然,在居民主要出行方式中,公交、地铁与P&R不仅有利于缓解中心区交通压力,还可减少中心区停车需求,为多数专家所倡导<sup>[1]</sup>。因此,有必要依据交通需求管理理念,通过适当提高城市中心区停车收费,降低外围区停车收费,引导尽可能多的居民放弃原有小汽车出行计划,改选公交、地铁或P&R方式出行<sup>[2]</sup>。

国内外对停车收费问题进行了相关研究。起初,Hess D. B.<sup>[3]</sup>利用Logit模型,研究了免费停车对通勤出行的影响。研究表明,若每天收取6美元停车费,将有46%的人驾车通勤,4%的人拼车,50%的人乘公交;若实行免费停车,上述3种出行方式的比例分别为66%,12%与22%。接着,Washbrook K.等<sup>[4]</sup>,基于使用汽车而产生的外部成本,通过实施拥挤收费和停车收费策略,来尽可能减少独自驾车出行。近年来,Habib. K.等<sup>[5]</sup>研究了公交停车换乘站处,停车费用对出行方式选择的影响,得到了与Hess D. B.相似的影响规律。Qian S.等<sup>[6]</sup>依据不同区域、不同时间段的停车需求,用动态规划算法求解随机控制方程,得到了动态停车收费策略。Millard-Ball A.等<sup>[7]</sup>,定量研究了停车费率对停车需求的影响,通过调整咪表收费价格,使得路边停车入驻率达到60%~80%。

国内,早期由安实等<sup>[8]</sup>建立了路外停车收费的经济效益分析定价模型和路边停车收费的次优定价模型,并计算了停车费率。接着,秦焕美等<sup>[9]</sup>利用非集计Logit模型,研究得到了不同条件下,出行方式选择随停车收费价格变化的趋势。史峰等<sup>[10]</sup>构建了停车收费影响下的多用户多方式混合交通平衡分配模型,并进行了验证。近年来,卢晓珊等<sup>[11]</sup>考虑从生活区至工作区之间的早晚高峰出行链,构建了地铁直达、停车换乘与全程驾车3种交通方式的Logit模型,并讨论了地铁票价与停车收费策略。朱成娟等<sup>[12]</sup>构建了三层Stackelberg博弈模型,以私人运营商追求运营利润最大和政府以社会总成本最小为双重目标,研究了停车费定价问题。李志纯等<sup>[13]</sup>

的研究表明,垄断经营机制会导致最高的停车收费价格,最低的停车需求;社会最优与其相反。这一研究结论被后来的范文博等<sup>[14]</sup>人证实。

尽管国内外在该方向进行了一定研究,但国外主要侧重停车费对公交、公交换乘及通勤交通等方式的影响,很少以地铁及地铁P&R为核心开展研究;国内则主要以运营成本最低或经济效益最高等为目标,研究停车费定价问题,忽视了停车收费的交通导向作用。此外,在城市地铁背景下的市中心与外围区域的差异性停车收费方面,缺少定量且具说服力的研究成果。鉴于此,本研究从停车调查与客流调查出发,基于随机用户选择机制,定量研究不同的市中心与外围区域停车费用对居民出行方式选择的影响,进而得到具有交通方式引导意义的区域差异性停车收费策略。研究成果对引导公众放弃小汽车出行计划,改选其他公共交通方式出行具有理论指导意义;对减少市中心交通拥堵及停车需求具有实际应用价值。

## 1 交通调查

### 1.1 调查地点选择

西安路商业圈为大连市重要的商业服务中心,往来交通繁忙,具有大量停车需求和较多停车供给设施。此外,大连地铁1、2号线换乘站位于其南侧,换乘条件便利。因此,将其确定为城市中心区典型代表。

为了合理选定城市外围区的调查地点,于2016年5月12日8:00-11:00,针对西安路商业圈中罗斯福商城、锦辉商城配建停车场及长兴市场社会停车场,开展停车来源初步询问调查。依据停车来源的主要分布并结合地铁站位置,整合选定5处城市外围区域的调查地点,包括:红旗西路、马栏广场、星海广场、华南广场与青泥洼桥,如图1所示。

### 1.2 现状停车费用

针对中心区3处停车场及选定的外围区5处停车场开展停车费用询问调查。鉴于各停车场收费价格的不同,需要依据总停车数进行加权平均,即可得到中心区与外围区的平均停车费。从表1的调查及换算结果来看,中心区和外围区的平均停车

费差异很小。

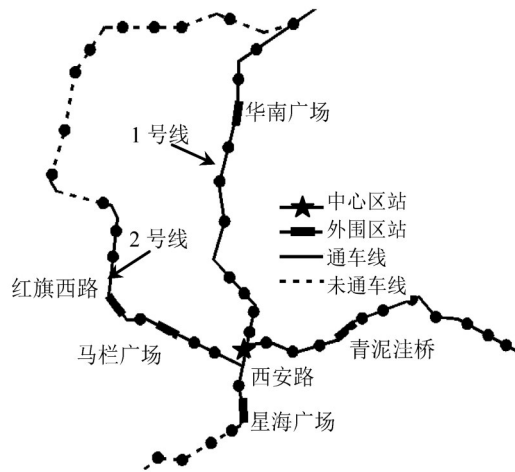


图1 调查地点分布

Fig. 1 The investigation location

表1 平均停车费的换算

Table 1 Conversion of average parking fee

区域	停车场	停车费/(元/h)	总停车数/车次	平均停车费/(元/h)
中心区	罗斯福	5	1 284	4.76
	锦辉	5	855	
	长兴	4	621	
外围区	马栏	4	352	4.42
	红旗	3	195	
	星海	5	476	
	华南	4	465	
	青泥洼	5	384	

### 1.3 各交通方式客流调查

于2016年5月19日8:00-11:00,同时集中开展各主要交通方式的客流调查。

#### (1) 地铁及P&R调查。

于每个外围地铁站入市方向站台处,设置3名调查员。1名调查员统计进站台总人数,另2名进行出行终点及P&R意向抽样调查,记录抽样人数。筛选出出行终点为西安路的人数,可得到各个外围地铁站前往西安路的地铁客流和P&R意向客流。调查结果汇总于表2。

#### (2) 公交客流调查。

与地铁相比,公交客流调查的不同点在于各地铁站附近可能有多个公交站点,每个公交站点可能集中多条线路。然而,不论乘客乘坐哪条公交线,只要其目的地是西安路,便应计入公交客流中。因此,采用与地铁客流调查相似的方法,可得到公

交客流数据,如表3所示。

表2 各外围地铁站客流及P&R意向

Table 2 The passenger volume and P&R intention of every peripheral metro station

地铁站	总人数/人	抽样数/人	抽样率/%	前往西安路/人	P&R意向/人
马栏	3 064	385	12.6	134	11
红旗	1 890	322	17.0	98	12
星海	2 231	358	16.0	87	7
华南	2 554	342	13.4	175	21
青泥洼	3 214	376	11.7	146	15

表3 各外围地铁站的公交客流

Table 3 The passenger volume of bus at every peripheral metro station

地铁站	总人数/人	抽样数/人	抽样率/%	前往西安路/人
马栏	4 527	321	7.1	106
红旗	2 375	289	12.2	88
星海	3 150	275	8.7	75
华南	4 068	327	8.0	112
青泥洼	4 545	346	7.6	109

#### (3) 全程小汽车客流调查。

针对中心区的3处停车场,分别开展停车来源抽样询问调查,同时记录载客数。经换算,小汽车平均载客人数为1.62人/车。从抽样数据中筛选出发点为上述5个外围地铁站的停车数,并按抽样率推算。结果乘以平均载客人数,便可得小汽车客流数据,如表4所示。

表4 来自于各外围地铁站的小汽车客流

Table 4 The passenger volume of car from every peripheral metro station

地铁站	马栏	红旗	星海	华南	青泥洼
停车数/车	224	105	155	254	281
客流量/人	363	170	251	411	455

## 2 出行方式选择Logit模型

### 2.1 模型建立

应用随机效用理论解释出行者交通方式选择行为,就是出行者在给定的几种方式中,选择效用最大的出行方案。该理论认为某种交通方式的效用函数 $U_i$ ,由固定项 $V_i$ 与概率项 $\varepsilon_i$ 组成,且为线性关系,如式(1)<sup>[15]</sup>所示, $i$ 表示小汽车、公交、地铁及

P&R 4种交通方式中的一种.

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

假定所有效用函数中的随机项  $\varepsilon_i$  都服从同参数的二重指数分布, 可得到交通方式选择的四项 Logit 模型, 如式(2)~式(5)所示.

$$P_{Car} = \frac{\exp V_{Car}}{\exp V_{Car} + \exp V_{Bus} + \exp V_{P\&R} + \exp V_{Sub}} \quad (2)$$

$$P_{Bus} = \frac{\exp V_{Bus}}{\exp V_{Car} + \exp V_{Bus} + \exp V_{P\&R} + \exp V_{Sub}} \quad (3)$$

$$P_{PR} = \frac{\exp V_{P\&R}}{\exp V_{Car} + \exp V_{Bus} + \exp V_{P\&R} + \exp V_{Sub}} \quad (4)$$

$$P_{Sub} = 1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R} \quad (5)$$

式中:  $P_{Car}$ 、 $P_{Bus}$ 、 $P_{P\&R}$  与  $P_{Sub}$  分别为居民选择小汽车、常规公交、P&R 及地铁出行的概率. 对出行总体而言, 亦可视为居民选择上述对应交通方式出行的比例.

### 2.2 参数标定

将式(2)~式(5)联立, 可解得式(6)~式(8).

$$V_{Car} - V_{Sub} = \ln \frac{P_{Car}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} \quad (6)$$

$$V_{Bus} - V_{Sub} = \ln \frac{P_{Bus}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} \quad (7)$$

$$V_{P\&R} - V_{Sub} = \ln \frac{P_{P\&R}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} \quad (8)$$

由此可见, 出行者选择哪种交通方式出行, 应由效用函数中的固定项之差来决定. 它应与某种交

通方式相对于地铁的时间节省量  $F$  及费用节省量  $C$  有关且应为线性关系. 故而可设其表达式如式(9)~式(11)所示.

$$\ln \frac{P_{Car}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} = \alpha_1 F_1 + \beta_1 C_1 + \gamma_1 \quad (9)$$

$$\ln \frac{P_{Bus}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} = \alpha_2 F_2 + \beta_2 C_2 + \gamma_2 \quad (10)$$

$$\ln \frac{P_{P\&R}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} = \alpha_3 F_3 + \beta_3 C_3 + \gamma_3 \quad (11)$$

式中:  $F_i$  (min) 与  $C_i$  (元) 分别为采用小汽车、常规公交或 P&R 方式出行比采用地铁出行所节省的时间及费用, 其中  $i = 1, 2, 3$ ;  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$  及  $\gamma_i$  均为待标定的模型参数.

结合调查数据, 对该模型参数的标定方法进行说明. 首先, 依据客流数据, 计算除地铁外各种交通方式的出行比例, 即  $P_{Car}$ 、 $P_{Bus}$  与  $P_{P\&R}$ . 然后, 依据各起终点间的路径距离与各出行方式的平均行程速度, 计算上述 3 种方式相对于地铁的时间节省量, 即  $F_1$ 、 $F_2$  与  $F_3$ . 其中, 公交与地铁需考虑平均进站时间和候车时间; P&R 需考虑平均停车换乘时间. 最后, 计算上述 3 种交通方式相对于地铁的费用节省量, 即  $C_1$ 、 $C_2$  与  $C_3$ . 其中, 地铁与公交依据区间票价确定费用; 全程小汽车方式考虑了平均固定成本折旧、平均每公里油耗价格及中心区停车费; P&R 方式需考虑城市外围停车费. 由此, 公式(9)~式(11)的回归参数如表 5 所示.

表 5 Logit 模型参数回归数据  
Table 5 The parameter regression data of the Logit model

出行 起点	实测出行比例					回归参数							
	$P_{Car}$ %	$P_{Bus}$ %	$P_{P\&R}$ %	$F_i$ min	$C_i$ 元	式(9)		式(10)		式(11)			
						$\ln \frac{P_{Car}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}}$	$F_2$ min	$C_2$ 元	$\ln \frac{P_{Bus}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}}$	$F_3$ min	$C_3$ 元	$\ln \frac{P_{P\&R}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}}$	
马 栏	12.41	51.12	2.99	6.2	-10.6	-0.992 4	-12.2	1.0	0.423 4	1.2	-8	-2.414 3	
红 旗	11.58	49.25	4.80	4.2	-12.2	-1.087 7	-18.7	1.0	0.359 5	-0.8	-6	-1.969 4	
星 海	15.20	51.99	2.64	7.1	-9.9	-0.685 9	-9.3	1.0	0.544 2	2.1	-10	-2.436 1	
华 南	13.22	44.78	5.04	0.1	-14.5	-1.027 8	-31.9	2.0	0.191 9	-4.9	-8	-1.992 4	
青 泥 洼	14.52	45.67	4.09	5.4	-11.25	-0.900 1	-14.8	1.0	0.245 8	0.4	-10	-2.167 2	

依据表 5 中的数据, 经过三次二元线性回归, 可得模型参数  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$  及  $\gamma_i$  如表 6 所示. 因此可得出行



方式选择Logit模型如式(12)所示.

表6 Logit模型参数计算结果

Table 6 The calculation result of the parameter of

Logit model				
模型	$i$ 值	$\alpha_i$	$\beta_i$	$\gamma_i$
式(9)	1	-0.330	0.553	7.043
式(10)	2	0.022	0.196	0.499
式(11)	3	-0.054	0.042	-1.862

$$\begin{cases} \frac{P_{Car}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} = \exp(-0.33F_1 + 0.553C_1 + 7.043) \\ \frac{P_{Bus}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} = \exp(0.022F_2 + 0.196C_2 + 0.499) \\ \frac{P_{P\&R}}{1 - P_{Car} - P_{Bus} - P_{P\&R}} = \exp(-0.054F_3 + 0.042C_3 - 1.862) \end{cases} \quad (12)$$

### 3 停车费与出行比例的关系

为明确中心区与外围区不同的停车费用对出行比例的影响关系,依据出行方式选择Logit模型,通过适当改变两类区域的停车费用,计算出行方式比例并讨论其变化规律.本文除考察上述费用的变化,对P&R出行比例的影响外,还讨论全程小汽车出行比例的变化.这是因为,全程小汽车出行比例的减少,意味着该出行方式向其他3种有利出行方式的转移.

以红旗西路地铁站为典型代表,通过设定中心区停车费分别为5元/h、8元/h及10元/h;该外围区停车费分别为1元/h、2元/h及5元/h,利用式(12)计算全程小汽车出行比例及P&R出行比例.计算时,认为各种出行方式相对于地铁的时间节省量不发生变化,而中心区与外围区停车费的改变,分别直接导致 $C_1$ 和 $C_3$ 发生改变.计算结果如图2和图3所示.

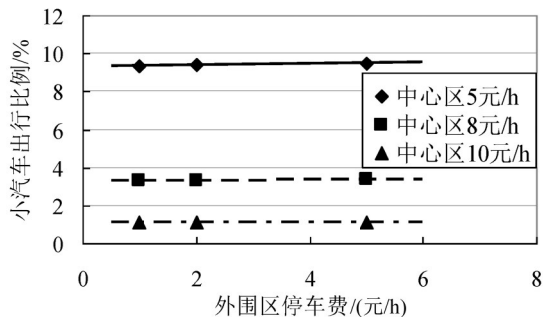


图2 停车费对小汽车出行比例的影响

Fig. 2 The effect of parking fee on the proportion of car mode

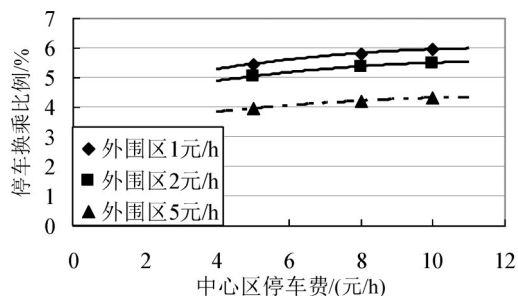


图3 停车费对P&R出行比例的影响

Fig. 3 The effect of parking fee on the proportion of P&R mode

从图2中不难发现,全程小汽车的出行比例,随着中心区停车费的增加而显著减少.但中心区停车费不变的情况下,外围区停车费的变化对该方式的出行比例没有显著影响.从图3中可以看出,当中心区停车费保持不变时,外围区停车费的变化主要是对P&R出行比例具有显著影响,且外围停车费越低,P&R出行比例越高.而当外围区停车费保持不变时,中心区停车费的增加,会使得P&R出行比例有微小的提高.

依据该方法,在规划部门给出期望的小汽车与P&R出行比例的前提下,可利用经标定的Logit模型,反算中心区及外围区平均停车费用,从而实现区域差异性停车收费管理策略.

### 4 模型验证与效果分析

#### 4.1 Logit模型验证

利用表5中 $F_i$ 与 $C_i$ 的数据( $i=1,2,3$ ),通过求解方程组式(12),可以得到全程小汽车、公交和P&R出行比例的模型计算值.再将模型计算值与表5中的实测数据进行对比,可以对Logit模型进行验证.对比结果如图4所示.

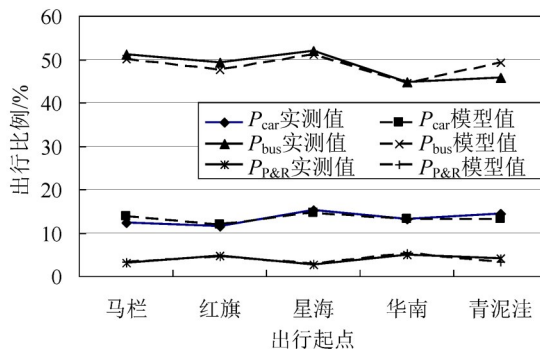


图4 出行比例的模型计算值与实测值

Fig. 4 The calculated values and measured values of travelling proportion

从图4中可以看出,Logit模型对于出行比例的计算,仅有青泥洼前往西安路的公交出行比例与实测值存在一定差异,其余的模型计算值与实测值差异很小.因此,由前述方法回归的Logit模型,基本上可以准确表达各主要出行方式的出行比例.

#### 4.2 区域差异性停车收费效果分析

仍然取红旗西路地铁站为例,按现状停车收费策略,可由模型计算各出行方式所占比例.再按中心区停车收费7元/h;红旗西路停车收费2元/h,可由模型计算实施差异性停车收费后各出行方式的比例.两者对比结果如图5所示.

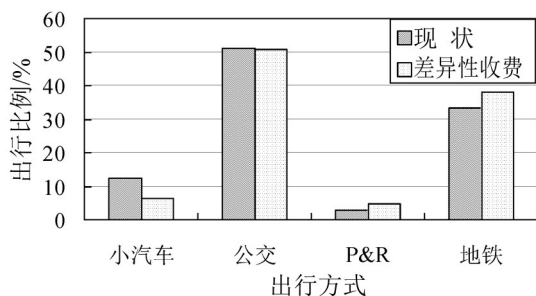


图5 现状及实施差异性停车收费后的出行比例

Fig. 5 The travelling proportions of current and differential parking charge

由图5可以看出,实施差异性停车收费后,全程小汽车出行的比例,由现状的12.4%降低至6.3%;公交出行比例基本保持不变.全程小汽车减少量中的大部分转移至地铁交通中,小部分由P&R出行方式承担.因此,区域差异性停车收费策略,基本上可实现降低小汽车出行,缓解城市中心区交通压力的目的.

## 5 结论

(1) 提高城市中心区停车费率,将使得由城市外围前往市中心的全程小汽车出行比例明显降低;减少城市外围区停车费率,将使得P&R出行比例升高.

(2) 出行方式选择Logit模型对于各方式分担率的计算值与实测值具有较好的一致性.由其测算的区域差异性停车收费策略,可以一定程度优化出行结构,缓解中心区交通压力.

本研究选择了5处城市外围地铁站开展调查

研究,尽管站点数量偏少,但理论分析与案例计算结果的一般性规律仍可为同类研究所借鉴.调查地点偏少的问题,可在后续研究中不断补充加强.

#### 参考文献:

- [1] BIANCO M J. Effective transportation demand management: Combining parking pricing, transit incentives, and transportation management in a commercial district of Portland, Oregon[J]. Transportation Research Record, 2000(1711): 46-54.
- [2] 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 D W, DENG W, GU S H. Impact of parking rates on resident travel behavior[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(3): 80-85.]
- [3] HESS D B. Effect of free parking on commuter mode choice evidence from travel diary data[J]. Transportation Research Record, 2001(1753): 35-42.
- [4] WASHBROOK K, HAIDER W, JACCARD M. Estimating commuter mode choice: A discrete choice analysis of the impact of road pricing and parking charges[J]. Transportation, 2006, 33(6): 621-639.
- [5] HABIB K, MAHMOUD M, COLEMAN J. Effect of parking charges at transit stations on park-and-ride mode choice: Lessons learned from stated preference survey in Greater Vancouver, Canada[J]. Transportation Research Record, 2013(2351): 163-170.
- [6] QIAN S, RAJAGOPAL R. Optimal stochastic control for parking systems: Occupancy-driven parking pricing[C]. 2013 IEEE 52nd Annual Conference on Decision and Control, Paper number: 6761123. pp. 7771-7776. December 10-13, 2013. Florence, Italy.
- [7] MILLARD-BALL A, WEINBERGER R R, HAMPSHIRE R C. Is the curb 80% full or 20% empty? Assessing the impacts of San Francisco's parking pricing experiment[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014(63): 76-92.
- [8] 安实, 马天超, 尹缙瑞. 我国城市停车收费定价模型研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2000, 32(2): 65-69. [AN S, MA T C, YIN J R. Parking fee pricing model for urban cities in China[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2000, 32(2): 65-69.]
- [9] 秦焕美, 关宏志, 殷焕焕. 停车收费价格对居民出行方式选择行为的影响研究——以北京市居民小汽车、公交、出租车选择行为为例[J]. 土木工程学报, 2008, 41(8): 93-98. [QIN H M, GUAN H Z, YIN H H. A Study of the effect of parking price on the mode of

- inhabitant trip behavior—with the cars, public transit and taxi in Beijing as an example[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2008, 41(8): 93–98.]
- [10] 史峰, 罗端高. 停车收费影响下的多用户多方式混合交通平衡分配模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2009, 9(3): 71–77. [SHI F, LUO D G. Multi-user and multi-mode mixed traffic assignment model under the influence of parking charge[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2009, 9(3): 71–77.]
- [11] 卢晓珊, 黄海军, 刘天亮, 等. 考虑早晚高峰出行链的出行方式选择均衡与定价机制[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(1): 167–174. [LU X S, HUANG H J, LIU T L, et al. Mode choice equilibrium and pricing mechanisms considering peak trip chain[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2013, 33(1): 167–174.]
- [12] 朱成娟, 贾斌, 韩凌辉. 基于Stackelberg博弈的停车位分配与定价[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2015, 15(3): 19–24. [ZHU C J, JIA B, HAN L H. Parking space allocation and pricing based on stackelberg game[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2015, 15(3): 19–24.]
- [13] 李志纯, 李焯坤. 不同市场经营机制下停车设施定价模型[J]. *中国公路学报*, 2011, 24(4): 80–86. [LI Z C, LI Z K. Pricing model of parking facilities under different market regimes[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2011, 24(4): 80–86.]
- [14] 范文博, 吕雪, 向红艳. 三类运营机制下两类停车设施定价问题研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2014, 14(6): 30–35. [FAN W B, LV X, XIANG H Y. Parking pricing for two types of parking facilities under three operation regimes[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2014, 14(6): 30–35.]
- [15] KORYAGIN M, DEKINA A. Optimization of the road capacity and the public transportation frequency which are based on logit-model of travel mode choice[J]. *Communications in Computer and Information Science*, 2014(487): 214–222.

---

上接第11页

- [4] TANG L, SHEN Q, SKITMORE M, et al. Ranked critical factors in PPP briefings[J]. *Journal of Management Engineering*, 2013, 29(2): 164–171.
- [5] MARQUES R C, BERG S V. Risks, contracts, and private-sector participation in infrastructure[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2011, 137(11): 925–932.
- [6] LOOSEMORE M, CHEUNG E. Implementing systems thinking to manage risk in public private partnership projects[J]. *International Journal of Project Management*, 2015, 33(6): 1325–1334.
- [7] 刘晓凯, 张明. 全球视角下的PPP: 内涵、模式、实践与问题[J]. *国际经济评论*, 2015(4): 53–67. [LIU X K, ZHANG M. PPP in the global perspective: implications, models, practice, and problems[J]. *International Economic Review*, 2015(4): 53–67.]