

基于CNL模型的公共自行车使用模式研究

刘叶¹,吴戈^{*1},周强²

(1. 苏州大学轨道交通学院, 江苏苏州 215131; 2. 碧桂园集团, 上海 201620)

摘要: 正在许多城市迅速推广的公共自行车系统被认为是解决出行“最后一公里”问题的新型交通方式. 本文将公共自行车使用分为接驳地铁、接驳常规公交及全程单独使用3种模式, 构建Cross-Nested Logit模型, 利用苏州市地铁沿线公共自行车使用情况的调查数据, 定量分析影响使用模式的主要因素. 研究发现, 相对于接驳地铁或常规公交, 公共自行车在很大程度上倾向于被全程单独使用, 在短距离出行中极可能与常规公交存在竞争关系, 但对地铁出行有一定的补充作用. 本研究有助于重新思考公共自行车在城市交通系统中的定位及其发展方向.

关键词: 城市交通; 使用模式; CNL; 公共自行车; 竞争

Public Bicycle System Ridership Modes Based on CNL Model

LIU Ye¹, WU Ge¹, ZHOU Qiang²

(1. School of Rail Transportation, Soochow University, Suzhou 215131, Jiangsu, China;

2. Country Garden Group, Shanghai 201620, China)

Abstract: Public bicycle system has been developing rapidly as a new means of transportation to solve the “last mile problem” in many cities of China. In this paper, public bicycle ridership is divided into three modes: transfer to metro, transfer to bus, and independent use. Based on the survey data of public bicycle usage carried out along metro lines in Suzhou, Cross-Nested Logit model is built to analyze major factors affecting ridership modes of public bicycle quantitatively. The estimation results reveal a large inclination to use public bicycle as an independent mode of travel rather than access to metro or bus. It is also suggested that public bicycle is most likely a competitor to bus in short-distance trip, but have complementary function to metro. The study helps to reconsider the positioning and developing orientation of public bicycle system.

Keywords: urban traffic; ridership modes; CNL model; public bicycle; competition

0 引言

公共自行车系统(Public Bicycle System, PBS)近20年在世界范围内得到快速发展. PBS具有便捷、健康、环保等优点, 也有利于缓解日益严重的城市交通拥堵问题.

国内外学者结合PBS使用情况分析了使用者的偏好与使用目的. 例如, Shaheen等^[1]研究了北美多个城市的PBS使用特征, 指出公共交通服务水平较低的地区PBS使用比例更高. Fuller等^[2]分析了加拿大蒙特利尔的PBS使用者偏好, 发现高学历的年轻人比例较大, 居住区250 m范围内的站点使用

率较高. 朱玮等^[3]在上海闵行区的调查表明, 仅20%的使用者借助PBS换乘公共交通, 并指出PBS平均骑行距离实际上可能超过了“最后一公里”的范围. 周强等^[4]利用多项Logit模型研究了包括PBS在内的地铁接驳方式选择问题, 证实除出行时间外, 出行目的、个人属性等对PBS接驳地铁也有显著的影响.

解决出行“最后一公里”问题, 是国内盛行的PBS定位. 遵循这一定位, 站点布局也首选公共汽车站^[5]. 但如上所述, 实际上市民可能并非主要将PBS作为公共交通的接驳手段使用, 特别是在公交

车站 500 m 覆盖率达到 90% 以上的“公交都市”建成区,有必要进一步明确 PBS 的定位和发展方向.

另一方面,运用离散选择模型研究包含 PBS 在内的交通方式选择问题时,由于 PBS 既可以作为主要交通方式单独使用,又可以作为公共交通的末端接驳方式,不同使用模式之间存在相关性,运用多项 Logit 模型或 Nested Logit 模型很难进行正确的分析.

本文将公共自行车使用分为接驳地铁、接驳常规公交和全程单独使用 3 种模式,构建 Cross-Nested Logit 模型.以苏州市 PBS 为对象,定量分析公共自行车使用模式的影响因素,为正确定位 PBS

的作用提供有价值的参考.

1 Cross-Nested Logit 模型

离散选择模型^[6]已被广泛应用于出行方式选择问题的研究.针对多项 Logit(MNL)模型的 IIA 特性,Nested Logit(NL)模型将选项分为不同的层次,但每个下层选项都被限定在唯一的上层选项中.而 Cross-Nested Logit(CNL)模型^[7]允许下层选项同时从属于多个上层选项,通过分配系数 α 确定该选项隶属不同上层选项的比例,更适用于 PBS 使用模式研究.图 1 和图 2 显示了 CNL 模型与 NL 模型的区别(忽略 PBS 及各末端交通方式前后的步行).

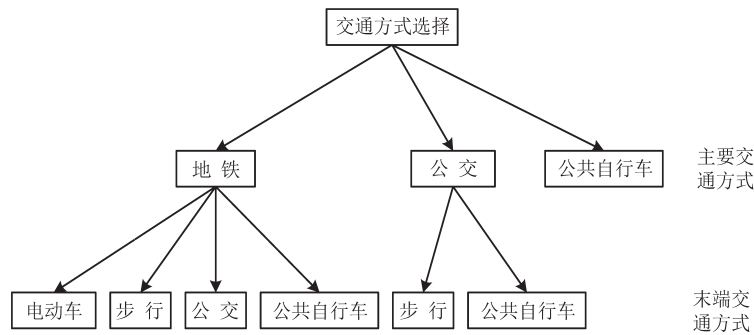


图 1 NL 模型结构

Fig. 1 NL model structure

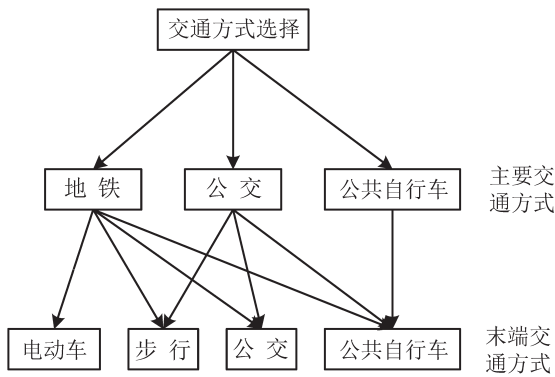


图 2 CNL 模型结构

Fig. 2 CNL model structure

在 CNL 模型中,下层选项*i*的选择概率由上层选项*m*的选择概率和在选定*m*的条件下选择*i*的条件概率两部分组成.由于选项*i*可以隶属不同的上层选项,故:

$$p(i) = \sum_m p(m)p(i|m) \tag{1}$$

其中,条件概率为

$$p(i|m) = \frac{(\alpha_{im} e^{v_i})^{1/\lambda}}{\sum_{j \in C} (\alpha_{jm} e^{v_j})^{1/\lambda}} \tag{2}$$

上层选项*m*的选择概率为

$$p(m) = \frac{e^{v_m} [\sum_{i \in C} (\alpha_{im} e^{v_i})^{1/\lambda}]^\lambda}{\sum_m e^{v_m} [\sum_{j \in C} (\alpha_{jm} e^{v_j})^{1/\lambda}]^\lambda} \tag{3}$$

式中: v_m 为上层选项*m*的效用函数; v_i, v_j 为下层选择项*i, j*的效用函数; λ 为尺度参数,按照效用最大化原则, $0 < \lambda < 1$; α_{im} 为选项*i*在选项*m*中的分配系数, $0 \leq \alpha_{im} \leq 1$,且 $\sum_m \alpha_{im} = 1$,若 $\alpha_{im} = 0$,说明选项*i*不属于*m*.

效用函数的变量选取主要考虑出行属性和个人属性 2 类因素.出行属性以各种交通方式的使用时间(步行、骑行、候车及乘车时间)和出行目的等为主;个人属性包括性别、年龄、收入、职业、受教育程度和使用 PBS 的频率等.

2 数据及统计分析

2.1 数据来源

本文实证研究以苏州市PBS为例,数据来源于2014年苏州地铁沿线的问卷调查^[4]。主要交通方式分为地铁、常规公交(以下简称公交)和PBS;末端交通方式分为步行、公交、PBS和电动车。本次调查共获得问卷1 565份,其中适用于本文分析的有效问卷1 360份。各交通方式的选择情况如表1所示。

表1 样本构成
Table 1 Sample size by travel mode

主要交通方式	末端交通方式	样本量	占比/%	合计占比/%
地铁	PBS	295	21.7	74.3
	步行	377	27.7	
	公交	232	17.1	
	电动车	107	7.8	
公交	PBS	72	5.3	7.0
	步行	23	1.7	
PBS	—	254	18.7	18.7
总计		1 360	100	100

本调查主要在各地地铁站及其附近的PBS站点和公交车站进行,因此主要交通方式中地铁占74.3%,公交占7.0%,全程使用PBS占18.7%。在总计621位PBS使用者中,接驳地铁的为47.5%,接驳公交的为11.6%,单独使用的为40.9%。327份乘坐公交的样本中,作为主要方式的占29.1%,用于接驳地铁的占70.9%。

表2 PBS实际使用样本与可使用样本的分布

Table 2 Sample size by ridership mode

PBS使用模式	骑行距离/km							总计	
	(0,1]	(1,2]	(2,3]	(3,4]	(4,5]	(5,6]	>6		
全程使用	实际使用样本	3	48	62	53	37	33	18	254
	可使用样本	3	49	72	72	88	69	394	493
接驳地铁	实际使用样本	10	62	87	49	58	8	21	295
	可使用样本	37	137	141	75	73	22	60	545
接驳公交	实际使用样本	3	18	20	9	11	1	10	72
	可使用样本	40	227	189	83	83	23	58	703

(2) 骑行距离。

从表2统计得出,PBS全程单独使用的平均骑行距离为3.3 km,接驳地铁和公交的平均骑行距离约为2.8 km,但全程使用和接驳使用的骑行距离分

调查数据中除了出行目的、PBS使用可能性及个人属性等以外,还有被调查者实际所用交通方式的出行时间信息,但标定CNL模型需要被调查者所有可使用交通方式的相关数据。因此,本文假定各种交通方式的平均旅行速度,根据被调查者的实际使用时间计算其出行距离,再分别估算其他可用但未使用的交通方式的时间。

2.2 不同模式的公共自行车使用特征

(1) PBS使用率。

本次调查询问了3种PBS模式的使用可能性,各模式的实际使用样本数与可使用样本数的分布如表2所示。骑行距离按12 km/h的平均骑行速度计算。

从表2可以看出,1 km以内可使用与实际使用PBS的样本量都很少,暗示1 km以内主要是步行,PBS通常会超出“一公里”的骑行距离。

图3描述了PBS使用率(=实际使用样本/可使用样本)随骑行距离的变化。对4 km以内的短距离出行,能利用PBS的出行者大部分都会单独使用PBS完成出行;出行距离大于4 km后,单独使用PBS的比例显著下降,出行转向以公共交通为主。PBS接驳地铁大多发生在距地铁站(2,5]km的范围。尽管可以利用PBS接驳公交的样本较多,但各距离段的实际接驳者均较少,说明在公交覆盖率较高的地铁沿线,人们可能并不倾向于使用PBS接驳公交。

布较为相似,如图4所示,说明人们在使用PBS时可能主要考虑体力和时间上的可接受性。

(3) 出行时间的影响。

如图5所示,全程使用PBS的出行总时间在

30 min(约 6 km)以内的占 72%, 接驳地铁较多用于 30~49 min 的出行, 接驳公交在 30~39 min 的出行中使用最多. 接驳地铁和公交的出行时间明显高于全程使用, 说明 PBS 的使用模式与出行时间有很大关系. 本文将出行总时间分解到步行、候车、乘车、换乘、骑行各个环节, 详细探究出行时间的影响.

(4) 出行目的.

如图 6 所示, 接驳地铁比另两种使用模式更多用于文娱和回家; 接驳公交的骑行者中, 上班和探亲访友的比例明显高于其他模式; 全程单独使用则以购物目的为主.

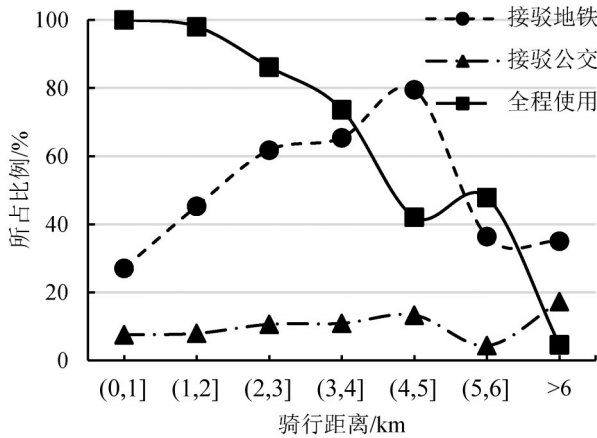


图 3 实际使用样本占可使用样本的比例
Fig. 3 Ratio of actual to available samples

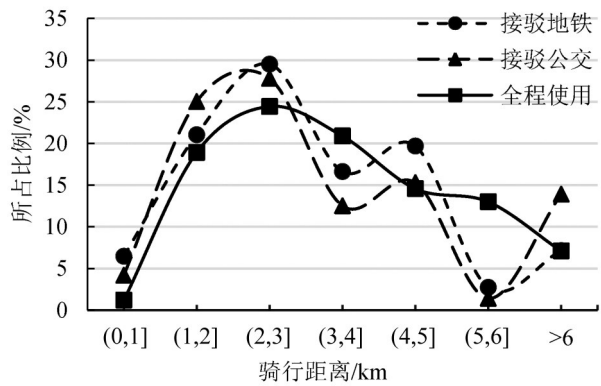


图 4 PBS 使用模式的骑行距离分布

Fig. 4 Distribution of riding distance by ridership mode

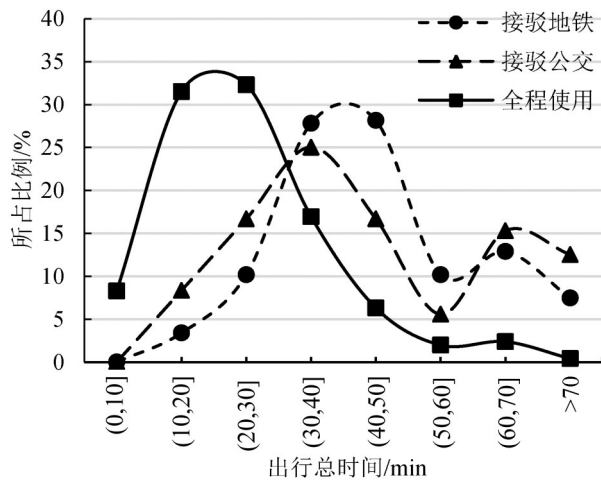


图 5 PBS 使用模式的出行总时间分布

Fig. 5 Distribution of trip time by ridership mode

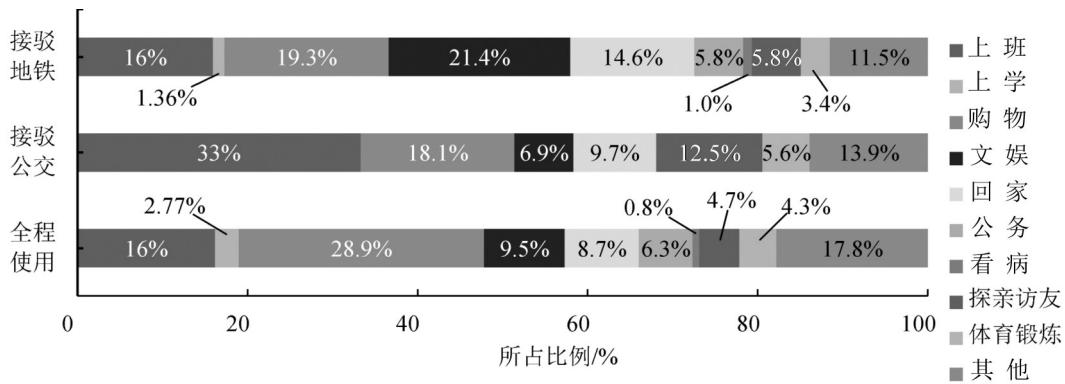


图 6 PBS 使用模式与出行目的

Fig. 6 Percent of trip purpose by ridership mode

(5) 个人属性.

分析 PBS 不同使用模式中个人属性的差异. 以年龄为例, 如图 7 所示, 接驳地铁的骑行者中 [18, 35) 岁的比例最高, 占 74.9%. 总体上, [18, 25)

岁的年轻人更愿意用 PBS 接驳公共交通. 而全程使用中, 50 岁以上的骑行者比例明显高于接驳使用.

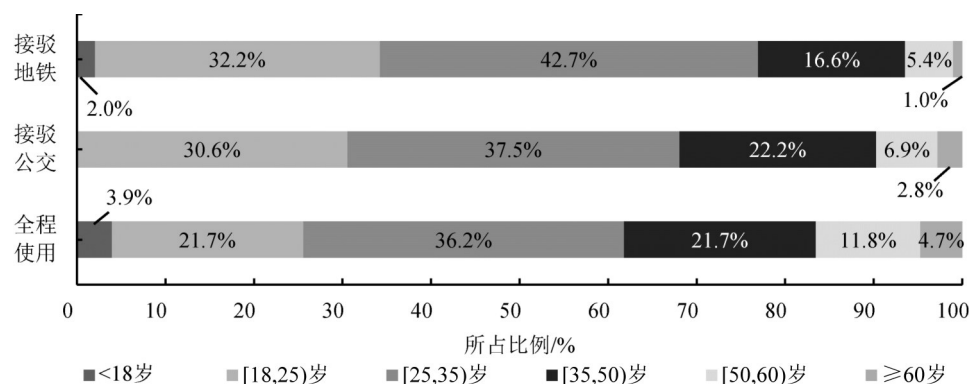


图7 PBS使用模式与年龄

Fig. 7 Age distribution in ridership modes

3 CNL模型构建及结果分析

3.1 模型结构

在图2的Cross-Nested Logit模型结构中,作为末端交通方式,PBS可以同时从属于3种主要方式。同样,步行可以接驳地铁和公交,但它是PBS唯一的接驳手段,可将两者视为一体。公交车除可以换乘其他公交线路外,也可以接驳地铁。调查中未观测到电动车单独使用或接驳公交,故仅将其作为地铁的接驳手段。

3.2 模型结果及分析

在CNL模型估计中,首先假设各交通方式的效用函数是公共交通乘车时间、PBS骑行时间等变量的线性函数,标定得到模型1,如表3所示。模型尺度参数(0.064)以1%以上的显著性水平介于0~1,表明图2假设的模型结构符合效用最大化原则。自由度调整后的McFadden决定系数Adj- ρ^2 为0.562,表明模型1的精度很高。

如前所述,分配系数揭示了末端方式在各主要方式中的使用比例,这种比例关系不同于表1所示的样本比例,后者通常反映在效用函数的常数项中。因为t检验值均大于2.58,从统计意义上可以相信,PBS用于接驳地铁和公交的比例分别为21.0%和16.0%,全程单独使用的比例为63.0%。因此,有理由推测公共自行车可能实际上主要是全程单独使用。同样,步行接驳公交和地铁的分配系数分别为78.1%和21.9%,暗示公交以步行接驳为主,而地铁的接驳方式更多样化。另一方面,公交接

驳地铁的分配系数仅为21.6%,说明公交(包括公交之间换乘)主要是作为全程出行方式使用的。

从时间变量来看,骑行时间对全程单独使用PBS的负面影响远大于乘车时间对公共交通出行的影响,说明随着出行距离的增大,选择全程使用PBS的概率会更快地下降。由于步行是最基本的接驳手段,所以到车站的步行时间对乘坐地铁或公交没有显著影响(本文不考虑小汽车出行),但到PBS站点的步行时间却对全程单独使用有极显著的负面影响,其程度甚至大大超过了骑行时间的影响,反映了站点密度对利用PBS的重要性。

根据图3的分析,骑行距离(时间)对PBS使用模式的效用影响可能是非线性的,因此,本文将每1 km的骑行距离作为0-1变量分别逐次代入各模式的效用函数,得到图8所示的参数值变化(t值小于1.96的参数值记为0)。可以看出,小于1 km时,骑行距离仅对接驳地铁有显著的正效用,表明PBS有助于地铁出行,但对接驳公交和全程单独使用没有明显的影响。在(1, 2] km范围内,PBS甚至对公交出行有显著的负效用,示意可能与公交构成某种竞争关系。当到车站的骑行距离为(4, 5] km时,地铁和公交在一定程度上都可以得到PBS的支持。就全程使用PBS而言,(2, 4] km的出行距离显然更有正面效果,大于4 km后全程使用PBS的概率则显著降低。值得注意的是,骑行距离对PBS接驳地铁或公交的参数绝对值(图8左纵轴)远小于全程使用(右纵轴),说明骑行距离对全程使用的影响更大。

表3 CNL模型结果
Table 3 Results of CNL model

变量	所在选项	模型1		模型2		
		参数值	t值	参数值	t值	
常数项	公交	-1.138	-4.71***	-0.593	-2.66***	
	公交接驳地铁	-0.161	-4.95***	-0.244	-3.12***	
	电动车接驳地铁	-1.633	-8.40***	-1.518	-6.04***	
乘车时间/min	地铁、公交	-4.02×10^{-4}	-1.86*	-5.30×10^{-4}	-1.69*	
骑行时间/min	全程使用PBS	-7.12×10^{-3}	-4.34***	-8.48×10^{-3}	-4.65***	
到站点步行时间/min	全程使用PBS	-7.87×10^{-2}	-5.58***	-9.63×10^{-2}	-5.59***	
接驳所用时间/min	末端方式	-6.06×10^{-3}	-5.55***	-9.65×10^{-3}	-3.40***	
到车站步行时间/min	末端方式	-2.09×10^{-3}	-1.19	-4.52×10^{-3}	-1.38	
出行变量	(2,4] km 全程使用PBS	—	—	1.703	3.78***	
	≤1 km	—	—	0.262	1.68*	
	(4,5] km PBS接驳地铁	—	—	0.356	2.35**	
	(1,2] km	—	—	-0.196	-1.98**	
	(4,5] km PBS接驳公交	—	—	0.201	2.05**	
	可利用PBS接驳	地铁	0.617	2.35**	0.748	2.53**
	公交	-0.700	-2.75***	-0.514	-1.98**	
个人属性变量	回家	PBS接驳地铁	0.154	2.04**	0.235	1.97**
	购物	全程使用PBS	0.108	2.18**	0.200	2.26**
	上班	全程使用PBS	0.204	1.13	0.216	1.10
	女性	全程使用PBS	0.602	4.44***	0.667	3.93***
尺度参数	经常使用PBS	全程使用PBS	1.358	7.48***	1.596	8.01***
	自由职业、私营企业 业主、离退休	PBS接驳地铁	0.140	2.62***	0.164	1.90*
分配系数	α _{rail_PBS}	0.210	5.04***	0.205	4.20***	
	α _{bus_PBS}	0.160	2.66***	0.071	1.87*	
	α _{PBS_PBS}	0.630		0.724		
	α _{rail_walk}	0.219	4.98***	0.251	3.68***	
	α _{bus_walk}	0.781		0.749		
	α _{rail_bus}	0.216	4.84***	0.229	3.60***	
	α _{bus_bus}	0.784		0.771		
评价指标	样本数量	1 360		1 360		
	初始似然值	-2 071.86		-2 071.86		
	最终似然值	-882.96		-869.60		
	Adj-p ² 值	0.562		0.567		

注：显著性水平：***1%；**5%；*10%。

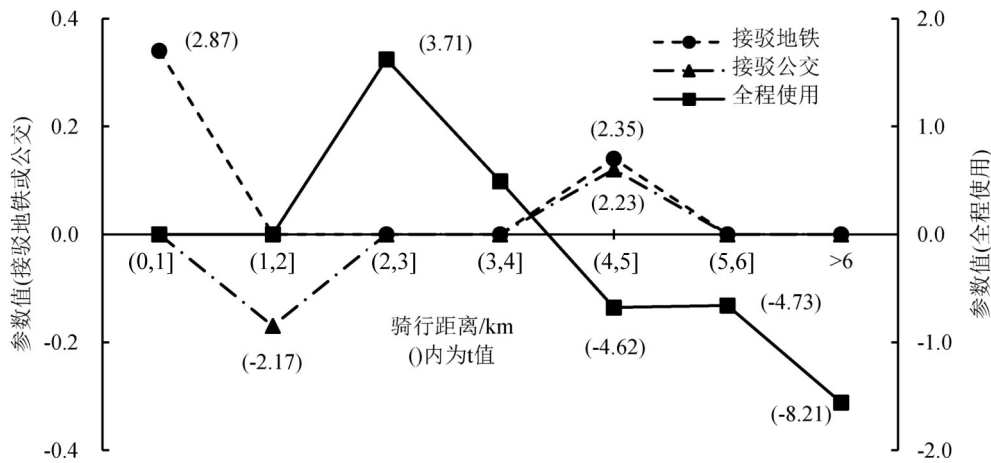


图8 不同使用模式的骑行距离参数

Fig. 8 Parameter of riding distance by ridership mode

在模型1的基础上,同时考虑以上有显著效用的骑行距离段,得到模型2.比较最终似然值可知,模型的精度得到较显著的提升.对比图8,1 km以内PBS接驳地铁的正效用及其显著性有所降低.同时,PBS接驳公交的分配系数进一步降低,PBS全程单独使用的比例提高到72.4%.

值得关注的是,两个模型都表明,当人们可以利用PBS接驳公共交通时,明显有益于促进选择地铁作为主要方式出行,却对公交出行有抑制作用.因此,总的来看,公共自行车极可能与常规公交存在某种竞争关系,但对地铁有一定的补充作用.

比较模型1和模型2,其他参数的估计值变化较小.从出行目的看,购物的人群较青睐于全程单独使用PBS,回家的人群在一定程度上更多地使用PBS接驳地铁.在模型标定过程中,没有发现“上班”对PBS使用模式的明显倾向,这或许是因为并非所有的通勤者在上班途中,都恰好有合适的PBS站点或可供借用的车辆,与其绕道去借用公共自行车,步行可能更节省时间.早高峰期间地铁站附近公共自行车大量聚集或匮乏的现象是出行过于集中造成的.这也说明出行的时空不均衡性给PBS规划和运行管理带来很大的困难,但过分偏重公共交通车站的站点布局不一定有利于PBS的合理分担,反倒可能由于车辆的自然流动不畅而降低PBS的使用效率.

在个人属性方面,女性显然更多地选择全程单独使用公共自行车,而不是去接驳拥挤的公共交通.自由职业、私营企业主及离退休等时间相对自由的人群,可能较多选择PBS接驳地铁.几乎在所有变量中,经常使用PBS(每周1次以上)的参数值及其显著性都是最大的,表明这一人群极其倾向于全程单独使用,同样也暗示了公共自行车与公共交通之间的竞争关系.

4 结论

本文根据公共自行车的使用特点,将其分为接驳地铁、接驳公交及全程单独使用3种模式,并提出利用CNL模型分析各模式使用比例及其影响因素,以期更准确地界定PBS与公共交通的关系.对苏州市PBS的案例研究发现,公共自行车很大

程度上倾向于在(1,4] km左右的出行中被全程单独使用;可能较少用于接驳常规公交;在公交站2 km的范围内,公共自行车或许与常规公交存在竞争关系;对于地铁出行,PBS主要在车站1 km范围内有一定的补充作用.

研究结果还证实,骑行时间对全程使用公共自行车的负面影响远大于乘车时间对公共交通的负面影响;到站点的步行时间对全程使用PBS也有极大的负效用,反映了站点密度的重要性.此外,出行目的、性别和职业属性等对PBS使用模式都有不同程度的影响.

明确不同地区、不同人群的PBS使用模式,对科学规划和布设PBS站点、提高PBS整体运营及使用效率具有重要的意义.本文主要分析了地铁沿线PBS使用模式的特点,今后如果有更多的研究能够进一步详细确认公共自行车作为独立方式和接驳方式的使用范围,那么其角色定位和发展方向也应被重新考虑.

参考文献:

- [1] SHAHEEN S A, MARTIN E W, COHEN A P, et al. Public bikesharing in north america: Early operator and user understanding[C]. European Conference on Antennas and Propagation, IEEE, 2012: 2230-2234.
- [2] FULLER D, GAUVIN L, YAN K, et al. Use of a new public bicycle share program in Montreal, Canada[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2011, 41(1): 80.
- [3] 朱玮, 庞宇琦, 王德, 等. 公共自行车系统影响下居民出行的变化与机制研究[J]. 城市规划学刊, 2012(5): 76-81. [ZHU W, PANG Y Q, WANG D, et al. Travel behavior change after the introduction of public bicycle systems[J]. Journal of Urban Planning, 2012(5): 76-81.]
- [4] 周强, 吴戈, 孙瀚. 作为地铁接驳手段的公共自行车使用特性分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(3): 179-184. [ZHOU Q, WU G, SUN H. Characteristics of public bicycle as means of access/ egress for metro[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(3): 179-184.]
- [5] 陈勇, 薄建新, 陈双燕. 苏州市公共自行车系统规划与实践[J]. 交通与运输(学术版), 2015(2): 102-105. [CHEN Y, BO J X, CHEN S Y. Planning and practice of suzhou public bicycle system[J]. Traffic and

- Transportation, 2015(2): 102-105]
- [6] MCFADDEN D. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior[M]. *Frontiers in Econometrics*. 1974.
- [7] VOVSHA P. Application of cross-nested logit model to mode choice in tel aviv, israel, metropolitan area[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1997(1607): 6-15.

上接第 178 页

- [9] 陈坚, 杨亚琛, 李小兵, 等. 基于 SEM 的城市公交方式选择行为模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2014, 14(5): 202-208. [CHEN J, YANG Y Z, LI X B, et al. Mode choice behavior model of urban public transport based on SEM[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2014, 14(5): 202-208.]
- [10] HWANG K, WU K, JIAN R J. Modeling consumer preference for global positioning system-based taxi dispatching service: Case study of Taichung City, Taiwan[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2006, 1971(1): 99-106.
- [11] 周钱, 李一, 孟超, 等. 基于结构方程模型的交通需求分析[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2008, 48(5): 879-882. [ZHOU Q, LI Y, MENG C, et al. Analysis of travel demand based on a structural equation model[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2008, 48(5): 879-882.]

上接第 236 页

- [2] 克里斯唐. 共享单车的维护是个大问题——永安公共自行车系统股份有限公司董事长孙继胜访谈[J]. *中国自行车*, 2017(1): 54-57. [CHRIS T. The maintainance of shared bicycles——A big problem[J]. *Chinese Bicycle*, 2017(1): 54-57.]
- [3] 余秋亮. 公共自行车与共享单车如何共同发展? [N]. *南方日报*, 2017-04-10(AA3). [YU Q L. How do public bicycle and bike-sharing develop together?[N]. *Nanfang Daily*, 2017-04-10(AA3).]
- [4] 王欢明, 李鹏. 城市公共自行车服务民营化供给模式比较研究[J]. *中国软科学*, 2015(6): 56-66. [WANG H M, LI P. The comparative study on privatization modes of private supply of urban public bicycles[J]. *China Soft Science*, 2015(6): 56-66.]
- [5] 单汨源, 周紫薇, 张人龙, 等. 基于动态贝叶斯博弈与效用理论的公共自行车政府补贴研究[J]. *统计与决策*, 2016(4): 47-50. [SHAN M Y, ZHOU Z W, ZHANG R L, et al. Based on dynamic bayesian game and utility theory of public bicycle government subsidies[J]. *Decision and Statistics*, 2016(4): 47-50.]