

引用格式:潘福全,王健,亓荣杰,等. 基于公交限时免费换乘的居民出行方式选择建模与分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(21): 129—133

Pan Fuquan, Wang Jian, Qi Rongjie, et al. Modeling and analysis of travel mode for urban residents based on transit time-limited free transfer [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(21): 129—133

基于公交限时免费换乘的居民出行方式选择建模与分析

潘福全 王健 亓荣杰 张丽霞 杨金顺* 张广政
(青岛理工大学汽车与交通学院,青岛 266520)

摘要 为了促进城市公共交通的发展,鼓励市民公交出行,多地推行公交限时免费换乘政策。为了研究该政策对于居民出行方式选择结构的影响,运用效用最大化原理,改进了非集计模型,建立了居民出行方式选择模型。调查了青岛实施公交限时免费换乘政策前后通勤出行者的年龄、月收入、职业、出行距离和出行时间等特征,获取了相应数据;以此数据为例进行了模型检验,结果发现所建立的模型计算值与用调查数据直接计算出的公交限时免费换乘政策下公交出行分担率的误差为1.65%,表明该模型的准确性与有效性。该模型为预测城市实行公交限时免费换乘政策后的公交出行分担率提供了一种新方法。

关键词 城市交通 出行方式选择模型 效用函数 限时免费换乘 非集计模型

中图法分类号 U492.4; **文献标志码** B

发展公共交通,实行“公交优先”战略是大中城市缓解交通压力的重要举措。为增加公交出行分担率、缓解交通压力,中国许多城市实行公交换乘优惠政策。2015年杭州市公交地铁换乘享受减免优惠,2016年武汉市实施90 min内享受三次优惠转乘,青岛市实行1 h内公交免费换乘政策等。这些举措表明依靠公交限时免费换乘推进“公交优先”战略,将成为各大城市治理交通拥堵的新手段新趋势。所谓公交限时免费换乘,即在限定的时间内对发生轨道交通与常规公共交通、轨道交通与轨道交通、常规公共交通与常规公共交通之间的换乘行为实行免费^[1]。科学的“公交限免”政策,有利于激励居民优选公交出行,更好的发挥城市公共交通的优势和实现公共交通资源利用最大化,为城市交通拥堵减压。故而,准确预估城市实行“公交限免”政策的效果则成为公交优惠政策科学制定的关键。

目前针对公交免费换乘及其对居民出行选择行为的研究相对较少,学者对相关问题的研究大致可以分为两类:一类是将公交免费换乘作为某课题研

究中的一项影响因素^[1-3]。另一类是对城市公共交通环境下的居民出行方式选择行为进行研究^[4-6]。然而,现有文献并没有专门研究公交限时免费换乘政策在实际实施过程中对居民出行方式选择的作用。针对目前公交限时免费换乘研究中的不足,本文从公交限时免费换乘政策这一最大的影响因素出发,建立居民出行方式选择模型,并把该模型应用于实际城市,检验该模型的合理性。

1 公交限时免费换乘的居民出行方式选择模型

城市公交线路规划与建设离不开居民出行行为,而后者需要用合理的居民出行方式选择模型来刻画。

1.1 居民出行方式选择模型研究现状

居民出行方式选择模型分别可为集计模型与非集计模型2大类。随着社会与城市的发展,人类在研究居民出行行为时,逐渐从宏观到微观,从粗糙到细腻,更加注重出行者个体的多因素,并逐渐抛弃了传统的从宏观上来分析居民出行特征的误差较大的集计模型,采用了更加准确的个体选择模型,即非集计模型,以能更好地满足实际的需求。1959年,Luce推导了非集计模型中的第一个模型,即Logit模型,之后McFadden丰富完善了该模型的理论体系及应用条件。^[7]1986年,Ben-Akiva等^[8]首次将

2018年2月9日收到 国家自然科学基金(51505244)、山东省自然科学基金(ZR2016EEM14)和中国博士后科学基金(2016M590626)资助

第一作者简介:潘福全(1976—),男,汉族,山东潍坊安丘人,博士,教授。E-mail:fuquanpan@yeah.net。

* 通信作者简介:杨金顺(1979—),男,汉族,山东潍坊安丘人,博士,讲师。E-mail:jinsun2006@126.com。

效用理论与非集计模型结合应用于交通研究领域,此后得到不断推广与改进。文献[9]运用多项 Logit (MNL)模型研究了居民通勤的出行行为选择,并考虑了换乘对出行方式选择的作用。Cherchi 等^[10]进行了调查,建立了卡利亚里市的居民出行 Logit (NL)模型;何明等^[11]基于调查,建立了应用于城市地铁出行的非集计模型;殷焕焕等^[12]利用某市出行调查数据,建立了居民出行方式选择效用模型,分析了影响居民出行方式选择的可控影响因素。研究表明,非集计模型对居民出行方式选择行为的研究具有良好的准确性与可靠性。基于此,本文结合效用理论改进非集计模型,建立基于公交限时免费换乘的居民出行方式的选择模型。

1.2 居民出行方式选择模型的建立

1.2.1 模型的理论基础

出行方式选择行为实际上是消费者选择行为^[13]。消费者在消费选择过程中往往追求需求的满足与身心的愉快的最大化,这种特性即为效用最大化,故效用理论可以应用于交通中出行者的选择行为。

选择模型建立的假设:①出行者个体是城市交通出行行为整体中的基本单位;②在出行者个体的出行条件下,出行者将选择其认为效用最大的出行方案;③所选方案的实际效用受到出行者个体的特性、该方案所具有的本身特性等因素的影响。

1.2.2 模型的推导与构建

根据效用理论,若假设某出行者 n 的选择方案是集合 A_n ,选择其中方案 j 的效用为 U_{jn} ,则该出行者 n 从 A_n 中选择方案 i 的条件为

$$U_{in} > U_{jn}; \quad i \neq j \in A_n \quad (1)$$

如前所述,所选择方案的效用受出行者个体特性等多个因素影响,但并不是所有的影响因素能够被量化,故效用是一个随机变量。一般效用函数 U 包含非随机变化部分[固定项(函数)]与随机变化部分[概率项(函数)]两大部分,且假设两部分之间呈线性关系。

因此,出行者 n 选择方案 i 的效用 U_{in} 可表示为

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (2)$$

式(2)中, V_{in} 为出行者 n 选择方案 i 的效用函数的固定项; ε_{in} 为出行者 n 选择方案 i 的效用函数的概率项。

根据效用最大化理论,出行者 n 选择方案 i 的概率 P_{in} 可表示为

$$P_{in} = \text{Prob}(U_{in} > U_{jn}, i \neq j, j \in A_n) = \text{Prob}(V_{in} + \varepsilon_{in} > V_{jn} + \varepsilon_{jn}, i \neq j, j \in A_n) \quad (3)$$

式(3)中, $0 < P_{in} < 1$; $\sum_{i \in A_n} P_{in} = 1$ 。

式(3)具有性质:①在效用函数中添加某常数

项 V_0 ,选择概率不变;②效用函数扩大 $\alpha (>0)$ 倍,选择概率不变。

基于选择概率函数的这 2 点性质,通过假设概率项的分布形式,就可以推出多种相应的非集计模型。

为研究公交车对居民出行的吸引力度,根据问卷调查统计分析结果,将居民出行方式选择分为公交车出行和某一非公交车出行两个选择肢,可设选择概率项 ε 服从二重指数分布来推导选择模型,且分布参数为 (η, ω) 的二重指数分布的分布函数为:

$$F(\varepsilon) = e^{-e^{-\omega(\varepsilon-\eta)}}; \quad \omega > 0 \quad (4)$$

对式(4)分布函数 $F(\varepsilon)$ 用 ε 来求微分,则可以得到概率密度函数:

$$f(\varepsilon) = \omega e^{-e^{-\omega(\varepsilon-\eta)}} e^{-\omega(\varepsilon-\eta)} \quad (5)$$

此二重指数分布具有性质:①当 ε 服从参数为 (η, ω) 的二重指数分布时, $\alpha\varepsilon + V$ 将服从参数为 $(\alpha\varepsilon + V, \omega/\alpha)$ 的二重指数分布,在这里 $\alpha (>0)$ 、 V 均为常数;②当 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 分别服从参数为 (η_1, ω) , (η_2, ω) 的且相互独立的二重指数分布的变量时, $\varepsilon^* = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ 将服从以下形式的后勤分布: $F(\varepsilon^*) = \frac{1}{1 + e^{\omega(\eta_1 - \eta_2 - \varepsilon^*)}}$;③当 $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_J)$ 是 J 个两两相互独立且分别服从参数为 (η_1, ω) , $(\eta_2, \omega), \dots, (\eta_J, \omega)$ 的二重指数分布的变量时, $\max(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_J)$ 将服从参数为 $(\frac{1}{\omega} \ln \sum_{j=1}^J e^{\omega\eta_j}, \omega)$ 的二重指数分布。

当概率项 $\varepsilon_{jn} (j = 1, 2, \dots, J_n)$ 服从同一参数且独立的二重指数分布时,若把二重指数分布的参数 (η, ω) 的数值定为 $(0, 1)$,则由性质①, $U_{jn} = V_{jn} + \varepsilon_{jn}$ 将服从参数为 $(V_{jn}, 1)$ 的二重指数分布。此时方案 1 被选的概率为

$$P_{1n} = \text{Prob}(U_{1n} \geq U_{jn}, j = 2, 3, \dots, J_n) = \text{Prob}(V_{1n} + \varepsilon_{1n} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}, j = 2, 3, \dots, J_n) = \text{Prob}[V_{1n} + \varepsilon_{1n} \geq \max_{j=2,3,\dots,J_n} (V_{jn} + \varepsilon_{jn})] \quad (6)$$

这里将 U_n^* 定义为

$$U_n^* = \max_{i=2,3,\dots,J_n} (V_{jn} + \varepsilon_{jn}) \quad (7)$$

根据性质③知, U_n^* 服从参数为 $(\ln \sum_{j=2}^{J_n} e^{V_{jn}}, 1)$

的二重指数分布, $U_n^* = V_n^* + \varepsilon_n^* \circ V_n^* = \ln \sum_{j=2}^{J_n} e^{V_{jn}}$ 。根据性质①知, ε_n^* 服从参数 $(0, 1)$ 的二重指数分布。所以:

$$P_{1n} = \text{Prob}(V_{1n} + \varepsilon_{1n} \geq V_n^* + \varepsilon_n^*) = \text{Prob}[(V_n^* + \varepsilon_n^*)(V_{1n} + \varepsilon_{1n}) \leq 0] \quad (8)$$

进而可推导出多项选择的 logit 模型 (ML) 模型的一般表示:

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\ln \sum_{j \in A_n} e^{V_{jn}}} \quad (9)$$

因为 Logit 模型具有性质: $0 \leq P_{in} \leq 1, i \in A_n$ 且 $\sum_{i \in A_n} P_{in} = 1$, 所以当被选择的方案只有 2 个(即 Binary Logit, BL 模型)时, 每项选择的概率为

$$P_{1n} = \frac{e^{V_{1n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_{2n}}} \quad (10)$$

$$P_{2n} = 1 - P_{1n} = \frac{e^{V_{2n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_{2n}}} \quad (11)$$

式中, P_{in} 为出行者 n 选择方案 i ($i=1$ 或 2) 的概率; V_{in} 为出行者 n 选择方案 i ($i=1$ 或 2) 的效用函数的固定项。

而对于效用函数 V_{in} , 其中包含了离散变量(如好坏、高低等)和连续变量(如温度、速度等)。前者常选取交通方式 i 的费用与时间等因素, 而后者常选取出行者的收入和职业等因素。其中能表示选择方案 i 特性与代表出行者 n 特性的重要变量被称为“特性变量”。

一般情况下, V_{in} 是向量 θ 和 X_{in} 的函数 $f(\theta, X_{in})$, 即:

$$V_{in} = f(\theta, X_{in}) \quad (12)$$

式(12)中, $\theta = [\theta_1, \dots, \theta_K]^T$ 为未知参数向量; $X_{in} = [X_{in1}, \dots, X_{ink}]^T$ 为出行者 n 的第 i 个方案的特性变量; θ_k 为第 K 个特性变量对应的未知参数; K 为特性变量的个数。

需要依据所获得的数据来估计参数 θ 的值。鉴于线性的效用函数结构比较简单, 所以通常将效用函数 V_{in} 与变量 X_{ink} 之间的关系假设呈线性关系, 其表达式如下:

$$V_{in} = \theta X_{in} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{ink} \quad (13)$$

式(13)中, X_{ink} 为出行者 n 的第 i 个方案所包含的第 k 个特性变量。

此时的选择概率形式变为

$$P_{1n} = \frac{1}{1 + e^{\theta^T(V_{1n} - V_{2n})}} = \frac{1}{1 + \exp \left[\sum_{k=1}^K (\theta_k X_{1nk} - \theta_k X_{2nk}) \right]} \quad (14)$$

$$P_{2n} = 1 - P_{1n} = \frac{e^{\theta^T(V_{1n} - V_{2n})}}{1 + e^{\theta^T(V_{1n} - V_{2n})}} = \frac{\exp \left[\sum_{k=1}^K (\theta_k X_{1nk} - \theta_k X_{2nk}) \right]}{1 + \exp \left[\sum_{k=1}^K (\theta_k X_{1nk} - \theta_k X_{2nk}) \right]} \quad (15)$$

1.2.3 特性变量的选择

特性变量主要包括选择方案特性变量和出行者

特性变量。其中前者又包括选择方案固有虚变量、固有变量和公共变量。通过式(10)~式(15)知, BL 模型的选择概率 P_{in} 仅与 $(V_{1n} - V_{2n})$ 有关, 而与选择方案效用函数无关。故所选的变量需使选择方案的效用具有差异。因此, 选取选择变量应遵循^[14]: ①变量应明确描述选择方案的特征; ②变量应尽可能包括可以调节的政策变量; ③变量之间应相互独立。

2 选择模型应用实例与检验

实例分析的目的是为了检测构建的选择模型在实际应用中的精确性与解释能力。为提供简便实用的选择模型, 首先选择公交车方式和某一非公交车的交通方式两个选择项, 利用 2016 年调查数据计算出该非公交车的交通方式出行者对于青岛市实施公交限时免费换乘后选择公交车意愿率, 然后在此意愿的基础上利用公交车转移系数将这部分出行者转化为公交车乘客, 最后以权重比配法求出青岛实时公交限时免费政策后的公交车出行占比, 并将此结果与 2017 年调查数据对比, 完成选择模型的检验。

调查于青岛实施公交限时免费换乘政策前后(分别于 2016 年 3 月和 2017 年 3 月), 以青岛市通勤出行者为调查对象, 选取年龄、月收入、职业、出行距离、出行时间和出行方式等为题项, 采用现场调查和网上调查相结合的方法。前后两次调查各发放问卷 420 份, 有效回收分别为 402 份和 399 份, 有效回收率分别为 95.7% 和 95.0%。根据对青岛市居民所做问卷调查进行数据统计和交叉分析知, 出行者月收入对票价的调整很敏感, 因此, 特性变量仅为固有虚变量与月收入两个。效用函数 V_{in} 的形式如下:

某一非公交车的交通方式:

$$V_{1n} = \theta_1 X_{1n1} + \theta_2 X_{1n2} \quad (16)$$

公交车:

$$V_{2n} = \theta_1 X_{2n1} + \theta_2 X_{2n2} \quad (17)$$

式中, θ_1 与 θ_2 为未知参数, X_{in2} 为选择出行方式 i 的被调查者的月收入情况。故选择出行方式 i 的概率如下:

$$P_{1n} = \frac{e^{V_{1n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_{2n}}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{1n} - V_{2n})}} \quad (18)$$

$$P_{2n} = 1 - P_{1n} = \frac{e^{V_{2n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_{2n}}} = \frac{1}{1 + e^{V_{1n} - V_{2n}}} \quad (19)$$

根据实验分析与测验, 最终确定参数值 $\theta_1 = 0.16, \theta_2 = 0.79$ 。月收入小于 3 000 元时 $X_{1n2} = 0.05, X_{2n2} = 0.95$; 月收入在 3 000 ~ 5 000 元时 $X_{1n2} = 0.60, X_{2n2} = 0.40$; 月收入大于 5 000 元时, $X_{1n2} = 0.70, X_{2n2} = 0.30$ 。利用 2016 年调查统计数据计算出不同交通方式的选择公交车意愿率, 如表 1 所示。

表 1 不同交通方式出行者的选择公交车意愿率
Table 1 Travelers' willingness rate of choosing bus in different traffic modes

交通方式	月收入	人数	样本权重 B_i	参数标定				计算值				选择公交车 意愿率 $P_i/\%$
				X_{1n1}	X_{2n1}	X_{1n2}	X_{2n2}	V_{1n}	V_{2n}	$P_{1i}/\%$	$P_{2i}/\%$	
步行	3 000 元以下	23	0.55			0.05	0.95	0.18	0.77	35.79	64.21	53.67
	3 000 ~ 5 000 元	9	0.21	0.90	0.10	0.60	0.40	0.62	0.33	57.07	42.93	
	5 000 以上	10	0.24			0.70	0.30	0.70	0.25	60.89	39.11	
自行车	3 000 元以下	15	0.30			0.05	0.95	0.18	0.77	35.65	64.35	48.70
	3 000 ~ 5 000 元	25	0.50	0.88	0.12	0.60	0.40	0.61	0.34	56.91	43.09	
	5 000 以上	10	0.20			0.70	0.30	0.69	0.26	60.74	39.26	
电动自行车	3 000 元以下	14	0.22			0.05	0.95	0.17	0.78	35.37	64.63	47.25
	3 000 ~ 5 000 元	39	0.60	0.84	0.16	0.60	0.40	0.61	0.34	56.62	43.38	
	5 000 以上	12	0.18			0.70	0.30	0.69	0.26	60.45	39.55	
出租车	3 000 元以下	3	0.14			0.05	0.95	0.19	0.76	36.18	63.82	44.84
	3 000 ~ 5 000 元	14	0.67	0.95	0.05	0.60	0.40	0.63	0.32	57.48	42.52	
	5 000 以上	4	0.19			0.70	0.30	0.70	0.25	61.28	38.72	
私家车	3 000 元以下	3	0.03			0.05	0.95	0.16	0.79	34.57	65.43	42.35
	3 000 ~ 5 000 元	36	0.33	0.73	0.27	0.60	0.40	0.59	0.36	55.74	44.26	
	5 000 以上	71	0.65			0.70	0.30	0.67	0.28	59.59	40.41	
公交车	—	109	1.00	—	—	—	—	—	—	3.67	96.33	96.33
其他	—	5	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.48	0.48	50.00	50.00	50.00

注:样本权重 $B_i = \frac{\text{调查样本中某种交通方式下不同收入水平等级的样本数}}{\text{调查样本中某种交通方式下的总人数}}$; 选择公交车意愿率 $P_i = \sum B_i P_{2i} \times 100\%$ 。

在现实生活中交通参与者的出行选择方式是多样的。因此,为了更真实准确地反映交通参与者由原出行方式转至公交车的比率,引入“公交车转移系数”,即在公交限时免费换乘的实施将原来具有选择公交车意愿的出行者成功转化为实际公交车乘客的比率,用 λ 表示。利用公交转移系数对表 1 计算结果进行处理得公交限时免费换乘下不同交通方式的公交车转移率,如表 2 所示。

将表 2 中公交出行占比与政策实施前后调查结果对比分析,如表 3。发现青岛市公交免费换乘政策实施后,公交车的出行分担有了较为明显提升,且模型计算结果与调查数据得到值的误差为 1.65%,这表明模型精度较高,有较好的解释能力。

表 2 不同交通方式的公交车转移率
Table 2 The probability of transferring to bus by different traffic modes

序号	交通方式	出行占比 $TP_i/\%$	选择公交车意愿率 $P_i/\%$	公交车转移系数 λ_i	公交车转移率 $R_i/\%$	公交车出行占比 $BTP/\%$
1	步行	10.45	53.67	0.352	18.89	33.48
2	自行车	12.44	48.70	0.225	10.96	
3	电动自行车	16.17	47.25	0.185	8.74	
4	出租车	5.22	44.84	0.4867	21.82	
5	私家车	27.36	42.35	0.322	13.64	
6	公交车	27.11	96.33	0.917	88.33	
7	其他	1.24	50.00	0.50	25.00	

注:公交车转至率 $R_i = \lambda_i P_i \times 100\%$; 公交车出行占比 $BTP = \sum_{i=1}^7 TP_i R_i \times 100\%$ 。

表 3 公交限时免费换乘前后公交出行占比对比
Table 3 Comparison of bus travel occupancy before and after bus free transfer

常规公交换乘下 (2016 年调查)	公交限时免费换乘 下(2017 年调查)	公交限时免费换 乘下(模型计算)
27.11%	31.83%	33.48%

3 结语

本文运用效用最大化原理,改进了非集计模型,得到了基于公交限时免费换乘的居民出行方式选择模型,并以青岛为例验证了该模型的合理性,发现该模型可以利用出行者的特性变量较准确地预测出公交免费换乘下公交出行分担率,能够为公交优惠政策的制定提供参考。同时发现公交限时免费换乘政策的实施的确会影响居民出行方式选择结构。今后需要进一步结合具体城市的公交限时免费政策进行研究,对影响居民出行方式选择的可控影响因素进行管控,以达到优化城市交通出行方式结构,缓解交通拥堵。

参 考 文 献

1 潘福全, 马雨秋, 张丽霞, 等. 基于限时免费换乘的公交线网优化模型与求解算法. 科学技术与工程, 2016; 16(2): 239—243
Pan Fuquan, Ma Yuqiu, Zhang Lixia, et al. Solving algorithm and optimization model of transit network based on the time-limited free transfer. Science Technology and Engineering, 2016; 16(2): 239—243

2 魏金丽, 范鑫贺, 刘莲莲, 等. 基于深度优先遍历算法-回溯算法的公交网络限时免费换乘优化模型求解. 科学技术与工程,

- 2017; 17(10): 304—307
Wen Jinli, Fan Xinhe, Liu Lianlian, *et al.* Solution of the optimization model of bus network time-limited free transfer based on dfs-backtracking algorithm. *Science Technology and Engineering*, 2017; 17(10): 304—307
- 3 潘福全, 马雨秋, 张丽霞, 等. 城市公交线网优化方法研究综述与展望. *交通科技与经济*, 2016; 18(5): 10—13
Pan Fuquan, Ma Yuqiu, Zhang Lixia, *et al.* Review and prospect optimization methods of urban transit network. *Technology & Economy in Areas of Communications*, 2016; 18(5): 10—13
- 4 王雯静, 干宏程. 小汽车与轨道交通出行方式选择行为分析. *城市交通*, 2010; 8(3): 36—40
Wang Wenjing, Gan Hongcheng. Car or public transit? —Analysis on travel mode choice behavior. *Urban Transport of China*, 2010; 8(3): 36—40
- 5 杨励雅, 邵春福, 李霞城. 市居民出行方式选择的结构方程分析. *北京交通大学学报*, 2011; 35(6): 1—6
Yang Liya, Shao Chunfu, Li Xiacheng. Structural equation model analysis of travel mode choice for urban residents. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2011; 35(6): 1—6
- 6 杨励雅, 朱晓宁. 快速城市化进程中居民出行的方式选择. *中国软科学*, 2012; (2): 71—79
Yang Liya, Zhu Xiaoning. Travel mode choice in the process of rapid urbanization. *China Soft Science*, 2012; (2): 71—79
- 7 Ben-Akiva M, Steven R. L. *Discrete choice analysis: The theory and application to travel demand*. Cambridge Massachusetts: The MIT Press, 1985; 348—349
- 8 Ben-Akiva M, de Palma A, Kanaroglou P. Dynamic model of peak period traffic congestion with elastic arrival rates. *Transportation Science*, 1986; 20(3): 164—181
- 9 Central Transportation Planning. Transfer penalties in urban mode choice modeling (travel model improvement program). Washington, D. C.: Travel Model Improvement Program, 1997: 30—45
- 10 Cherchi E, de D Ortúzar J. Mixed RP/SP models incorporating interaction effects. *Transportation*, 2002; 29(4): 371—395
- 11 何明, 过秀成, 冉江宇, 等. 基于非集计 MNL 模型的轨道交通方式预测. *交通运输系统工程与信息*, 2010; 10(2): 136—141
He Ming, Guo Xiucheng, Ran Jiangyu, *et al.* Forecasting rail transit split with disaggregated MNL. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2010; 10(2): 136—141
- 12 殷焕焕, 关宏志, 秦焕美, 等. 基于非集计模型的居民出行方式选择行为研究. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2010; 34(5): 1000—1003
Yin Huanhuan, Guan Hongzhi, Qin Huanmei, *et al.* Study on travel mode choice behavior based on disaggregate model. *Journal of Wuhan University of Technology (Traffic Science and Engineering)*, 2010; 34(5): 1000—1003
- 13 陈坚, 晏启鹏, 杨飞, 等. 出行方式选择行为的 SEM-Logit 整合模型. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2013; 41(2): 52—65
Chen Jian, Yan Qipeng, Yang Fei, *et al.* SEM-Logit integration model of travel mode choice behaviors. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2013; 41(2): 52—65
- 14 李锐美. 北京旧城历史文化保护区旅游交通行为研究. 北京: 北京工业大学, 2015
Li Ruimei. Research on the tourism travel behaviors in conservancy district of history and culture in Beijing. Beijing: Beijing University of Technology, 2015

Modeling and Analysis of Travel Mode for Urban Residents Based on Transit Time-limited Free Transfer

PAN Fu-quan, WANG Jian, QI Rong-jie, ZHANG Li-xia, YANG Jin-shun*, Zhang Guang-zheng

(School of Automobile and Transportation, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

[**Abstract**] For promoting the development of public transit, many cities implement the policy of time-limited free transfer to encourage urban residents to travel by transit. In order to study the influence of the policy on the urban residents' travel mode, the principle of utility maximization was utilized to improve the disaggregate model, and establish the choice model of travel mode for urban residents. The travelers' features, such as age, monthly income, occupation, travel distance and travel time are investigated before and after the implementation of transit time-limited free transfer policy in Qingdao, and the corresponding data obtained. The model has tested with survey data, and the result shows that the error of transit travel sharing rate is 1.65% between the value of the model calculation and the value of direct calculation used by survey data in the condition of time-limited free transfer, demonstrating the accuracy and effectiveness of the model. The proposed travel choice model provides a new method to predict the transit travel sharing rate in a city after implementing the time-limited bus free transfer policy.

[**Key words**] public transit travel choice model utility function time-limited free transfer disaggregate model