

基于出行链的城际旅客出行方式选择行为

叶玉玲, 韩明初, 陈俊晶

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 在解析城际出行链的基础上, 分析了旅客出行方式选择的影响因素, 并将心理潜变量引入 Logit 模型, 构建了基于出行链的旅客城际出行方式选择模型 (structural equation modeling-Logit, SEM-Logit). 通过对沪杭交通走廊内客流的调查, 进行了模型的应用及参数标定, 并对城际旅客出行链的选择进行了预测, 拟合值与调查值的相对误差在 2% 以内. 结果表明, 考虑了心理潜变量的改进模型具有良好解释能力, 能直观地反应和预测旅客在城际出行中对出行方式的选择行为.

关键词: 城际出行链; 出行方式选择; 心理潜变量; SEM-Logit 模型

中图分类号: U12

文献标志码: A

Intercity Passenger Travel Mode Choice Behavior Based on Trip Chain

YE Yuling, HAN Mingchu, CHEN Junjing

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

Abstract: Based on the analysis of intercity travel links, this paper analyzes the influencing factors of passenger travel choice and introduces the psychological latent variables into the Logit model, and builds the SEM-Logit model of passenger intercity travel choice based on travel chain. Through the investigation of the passenger flow in the Shanghai-Hangzhou transport corridor, the application of the model and the parameter calibration are carried out, and the choice of intercity passenger travel chain is predicted with the relative error of less than 2%. The results show that the improved model that takes into account the psychological latent variables has a good explanatory power and can intuitively reflect and predict the traveler's choice of travel modes in intercity travelling.

Key words: chain of intercity travel; travel mode choice; psychological latent variable; structural equation modeling-Logit mode

随着我国城际铁路的快速发展, 城际出行交通需求的增长日益加快, 中短途客运市场呈现出运行速度高速化、出行结构多样化、服务管理人性化等发展态势. 分析城际旅客出行的特点和需求, 对建设快速和低碳的城际交通网络, 实现城市群交通结构优化, 促进城市群区域经济社会协调发展有着重要的意义.

传统的出行方式选择研究, 多数是基于客观变量(时间和费用)的研究, 但主观变量对出行者出行方式选择行为也有显著影响. 自主观变量引入交通分析后, 很多学者针对出行者的态度变量与出行行为的关系进行了研究, 如将忠诚度变量、出行态度和心理因素等引入城际出行行为研究中^[1-8]. 关于区域运输通道内旅客出行方式选择行为的影响因素及敏感度已有不少研究成果^[9], 但国内外学者的研究成果主要集中在枢纽换乘衔接或城际段出行, 基于整条城际出行链的旅客出行行为选择研究较少. 已有的研究成果中, 出行链大多只包括两段出行(出发地市内段和城际段)^[10-13], 并采用 NLogit 模型处理问题, 未能考虑旅客心理因素在选择时的影响, 也未能基于出行全过程对旅客的选择行为进行充分分析研究.

因此, 本文将从出行全过程的角度研究城际旅客出行链中各阶段出行的方式选择, 同时对传统的 Logit 模型中的效用函数进行改进, 引入出行者的主观变量, 即心理潜变量, 建立 SEM (structural equation modeling)-Logit 模型, 并按照路径拟合出基于城际出行链的旅客出行方式选择模型. 该模型可整体性地从出行全过程考虑并研究城际出行者选择行为, 并分析其潜在出行选择偏好, 从而得出与实际情况更贴切的需求分析结果, 帮助相关部门掌握城际出行需求状况并提供数据支持, 有利于城际客运发展及结构调整.

1 城际出行链构成

本文将城际出行链定义为出行者为了实现出行目的,从城市群中的一个城市出发到城市群中的另一城市,通过市内交通工具与城际交通工具在交通枢纽完成交通方式换乘的一次单方向移动的全过程.从城际出行全过程来看,旅客的出行链包含 3 个阶段:城市出行(I)、城际出行、城市出行(II),即两个市内段出行和一个城际段出行.基于城际出行全过程,在此建立旅客城际出行链结构模型,见图 1.

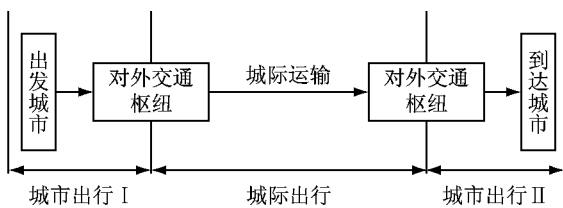


图 1 旅客城际出行链结构图

Fig. 1 Chain structure of passenger intercity trip

通常,市内段出行距离较短,费用较低;而城际出行则具有出行距离较长,费用较高的特点.

2 旅客出行方式选择的影响因素

影响城际间居民出行方式选择的因素很多,不仅受到个体个性化因素影响,还受到不可控的外界因素干扰.按因素自身能否被直接度量加以区分可将其分为显变量和潜变量两类.其中,可通过观察并直接测量的变量,称为显变量;反之,则为潜变量.

2.1 显变量

显变量涵盖了个体社会经济特性和交通方式自身属性等.

(1) 个体社会经济特性主要包括年龄、性别、收入水平、费用来源和有无小汽车等.

(2) 交通方式自身属性主要包括其经济性和快速性.经济性是指旅客为某种运输服务支付的费用,快速性是指旅客从出发地至目的地所花费的时间.

2.2 潜变量

潜变量指一些抽象且不确定的隐性因素如出行者感知、态度和人格特质等,心理潜变量可反映出行者的心理偏好,也在很大程度上影响着每位出行者的总体效用值.本文将从心理潜变量的角度出发,研究城际旅客出行方式选择行为.旅客在出行过程中会表现出一些共通相似的心理特征,如寻求安全、舒适、方便和可靠的运输服务的心理.由于旅客对安全

性、舒适性、方便性和可靠性等心理的偏好无法直接观测,因此还要设立与之对应的解释标量(指标变量).

3 基于城际出行链的 SEM-Logit 选择模型建立

本文选择了能弥补普通 Logit 模型的 IIA (independence from Irrelevant alternation)特性与喜好随机性两大限制缺陷的 Multinomial Logit Model.并对模型中的效用函数进行了改进,建立了引入心理潜变量的 SEM-Logit 模型,在分段建立出行效用模型的基础上,按路径将各个阶段的出行效用整合在一起,建立出行链效用函数.

3.1 SEM-Logit 选择模型

SEM-Logit 模型结构见图 2 所示.其中,SEM 主要用于描述出行方式选择潜变量与其对应的观测变量之间、潜变量与显变量之间的因果关系;观测变量不能影响个人选择行为,仅能够用于衡量潜在变量[6].

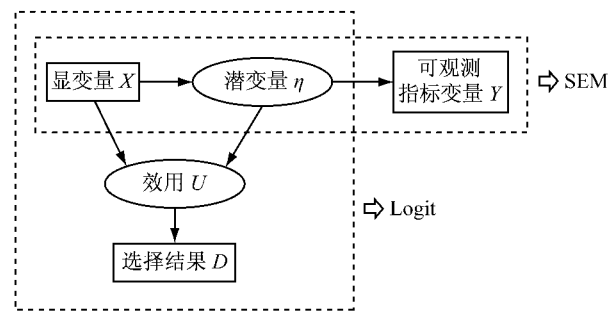


图 2 SEM-Logit 模型结构图

Fig. 2 Structure of SEM-Logit model

3.1.1 效用函数

$$U_i = \sum_l a_{il} s_{il} + \sum_m b_{im} z_{im} + \sum_k c_{ik} \eta_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

式中: i 为第 i 种选择方案; l 为出行者个人可直接观测特性的个数; m 为出行方案可直接观测特性的个数; k 为潜变量的个数; s_{il} 为出行者个人可直接观测特性的显变量; z_{im} 为出行方案可直接观测特性的显变量; η_{ik} 为潜变量; a_{il}, b_{im}, c_{ik} 为待估参数; ϵ_i 为效用函数的误差项.

3.1.2 测量模型

$$\eta_{ik} = \sum_p \lambda_{ikp} x_{ikp} + \zeta_{ikp} \quad (2)$$

$$y_{iq} = \sum_q \mu_{iq} \eta_{ik} + \xi_{ikq} \quad (3)$$

式(2)、(3)中: p 为与潜变量存在相互关系的显变量个数; q 为潜变量对应的测量变量个数; x_{ikp} 为与潜变量存在相互关系的显变量; y_{iq} 为与潜变量对应的一

系列测量指标变量; λ_{ik} 、 μ_{ik} 为待估参数; ζ_{ikp} 、 ξ_{ikq} 为误差项, $\zeta_{ikp} \sim N(0, \sum 1)$, $\xi_{ikq} \sim N(0, \sum 2)$.

3.2 基于城际出行链的 SEM-Logit 选择模型

分别用 A、B、C 表示城际出行链中旅客出行的 3 个阶段: 城市出行(I)、城际出行、城市出行(II), 其效用函数模型如下所示:

$$\begin{cases} U_{Ai} = \sum_l a_{Ail} s_{il} + \sum_m b_{Am} z_{im} + \sum_k c_{Aik} \eta_{ik} + \epsilon_{Ai} \\ U_{Bi} = \sum_l a_{Bil} s_{il} + \sum_m b_{Bim} z_{im} + \sum_k c_{Bik} \eta_{ik} + \epsilon_{Bi} \\ U_{Ci} = \sum_l a_{Cil} s_{il} + \sum_m b_{Cim} z_{im} + \sum_k c_{Cik} \eta_{ik} + \epsilon_{Ci} \end{cases} \quad (4)$$

由于出行链的效用函数不能通过各出行阶段的出行方式效用函数进行简单的线性处理得出, 本文认为城际出行链中各阶段的方式选择是独立的, 因此在确定出行链中各阶段的方式选择集合的基础上, 将整条出行链的选择效用以 $U_{Ai|Bi|Ci}$ 表示, 下标 Ai 、 Ci 中, i 为 1、2、3、4, 1 为地铁、2 为常规公交、3 为出租车、4 为小汽车; Bi 中, i 为 1、2、3, 1 为普通铁路、2 为高速铁路、3 为长途巴士. 出行链效用函数可以表达为

$$U_{Ai|Bi|Ci} = \sum_l a_{Ai|Bi|Ci} s_{il} + \sum_m b_{Ai|Bi|Ci} z_{im} + \sum_k c_{Ai|Bi|Ci} \eta_{ik} + \epsilon_{Ai|Bi|Ci} \quad (5)$$

3.3 出行效用函数的确定

$$U_i = a_{i1} s_{sex} + a_{i2} s_{age} + a_{i3} s_{salary} + a_{i4} s_{car} + a_{i5} s_g + b_{i1} z_t + b_{i2} z_c + c_{i1} \eta_{safety} + c_{i2} \eta_{comfort} + c_{i3} \eta_{convenience} + c_{i4} \eta_{reliability} + \eta_s + \epsilon_i \quad (6)$$

式中: s_{sex} 为出行者性别, 男性, $s_{sex} = 0$, 女性, $s_{sex} = 1$; s_{age} 为出行者年龄, 当年龄为小于 18 岁、18~25 岁、26~35 岁、36~49 岁、50~59 岁、大于等于 60 岁时, 变量分别取 0、1、2、3、4、5; s_{salary} 为出行者的收入, 当收入为小于 2 000 元、2 000~4 000 元、4 001~6 000 元、6 001~8 000 元、8 001~10 000 元、大于 10 000 元时, 变量分别取 0、1、2、3、4、5; s_{car} 为有无小汽车, 无小汽车, $s_{car} = 0$, 有小汽车, $s_{car} = 1$; s_g 为是否公费出行, 否, $s_g = 0$, 是, $s_g = 1$; z_t 为出行时间; z_c 为出行费用; η_{safety} 为安全性; $\eta_{comfort}$ 为舒适性; $\eta_{convenience}$ 为方便性; $\eta_{reliability}$ 为可靠性; η_s 为时间敏感度.

3.4 分担率模型的建立

选择模型

$$d_i = \begin{cases} 1, & U_i \geq U_j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $d_i = 0$ 表示出行者不选择方案 i ; $d_i = 1$ 表示出

行者选择方案 i .

根据效用最大化理论, 出行者选择方案 i 的概率 P_i 可表述为

$$P_i = \frac{\exp(\sum_l a_{il} s_{il} + \sum_m b_{im} z_{im} + \sum_k c_{ik} \eta_{ik} + \epsilon_i)}{\sum_j \exp(\sum_l a_{jl} s_{jl} + \sum_m b_{jm} z_{jm} + \sum_k c_{jk} \eta_{jk} + \epsilon_j)} \quad (8)$$

3.5 参数标定与分析

本文采用连续两阶段估计法. 第 1 步, 采用主成分分析法分析研究指标变量和潜变量的关系; 第 2 步, 利用第 1 步估计出的参数计算潜变量拟合值, 并将其作为 Logit 模型的外生变量, 使用极大似然法估计 Logit 模型的参数.

4 实例分析

沪杭交通走廊是我国最繁忙的运输通道之一, 为了分析沪杭运输通道内城际出行旅客在整个城际出行链中所表现出的出行特征, 论文选取了上海、杭州两大城市作为代表, 针对往返于这两座城市的城际出行旅客进行研究分析. 该通道内的主要运输方式为铁路和公路两种, 旅客出行可选的公共交通工具分别为: 普通列车、高速铁路及长途巴士. 市内出行阶段的出行方式主要考虑地铁、常规公交、出租车和小汽车. 旅客调查数据的获得方法采用 RP (revealed preference) 调查法. 调查采用跟车问卷调查与定点调查相结合的方法, 量表均采用 Likert 五级量表的形式进行评定. 调查于 2017 年 4 月的 2 个工作日与 1 个双休日进行, 调查时间段覆盖早晚高峰和平峰, 调查地点为上海虹桥站、上海南站以及上海长途汽车客运总站. 总计发送问卷 500 份, 其中回收有效问卷 466 份, 回收率达 93%.

4.1 旅客城际出行方式选择心理因素分析

为了具体地反映与分析城际出行者在出行方式选择时各因素的影响程度及相互作用, 在调查问卷中设置了 12 个反映出行者选择出行方式的态度偏好问题作为态度观测变量, 请旅客进行评定, 对应关系如表 1 所示.

因本文设立的潜变量和指标变量个数较多, 为了计算方便并提高模型精度, 先使用 SPSS 软件对调查数据进行降维处理, 通过主成分分析法降维后, 各出行方式的 12 个指标变量都归结为 4 个主成分, 即 4 类潜变量: 舒适性、可靠性、方便性、安全性. 这 4 个主成分的方差累计贡献率大于 85%, 且各指标变量

表 1 心理潜变量与指标变量对应关系

Tab. 1 Correspondence table between psychological latent variables and index variables

心理潜变量	指标变量	对应关系描述	
		市内出行阶段	城际出行阶段
η_{safety}	安全性	y_1	该交通方式事故率比较低
		y_2	该交通方式的安全措施较完善
$\eta_{comfort}$	舒适性	y_3	该交通方式乘坐空间比较宽敞
		y_4	该交通方式乘坐环境比较整洁
		y_5	该交通方式座位比较舒适
$\eta_{convenience}$	方便性	y_6	该交通方式的运行速度较快
		y_7	该交通方式有多种渠道购票
		y_8	该交通方式的发车频次较高
$\eta_{reliability}$	可靠性	y_9	该交通方式的可达性强
		y_{10}	与接驳交通的换乘时间较短
η_{ts}	时间敏感度	y_{11}	该交通方式受气候影响程度小
		y_{12}	该交通方式准时到达
			喜欢等候时间短的交通方式
			生活中很少迟到

的荷载均大于 0.7,表明 4 类潜变量的选择以及各潜变量的指标变量设置有效.经分析,城际各出行方式的心理变量与指标变量影响关系如图 3、4 和 5 所示,同理可得市内出行阶段 I 和 II 的心理变量与指

标变量影响关系.系数表示各指标变量与潜变量相应影响程度,而对应指标变量与系数的乘积之和即为潜变量的标定值.

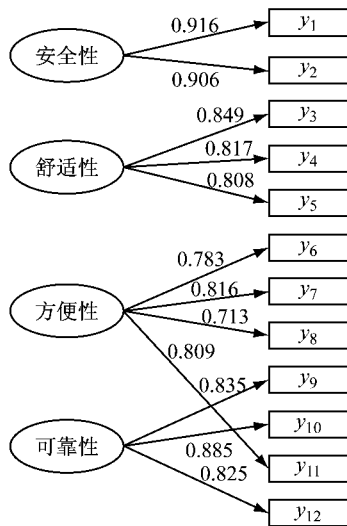


图 3 普通列车旅客心理因素分析
Fig. 3 Analysis of psychological factors of ordinary train

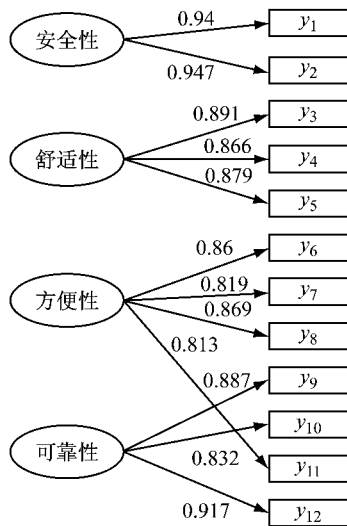


图 4 高速铁路旅客心理因素分析
Fig. 4 Analysis of psychological factors of high-speed railway passengers

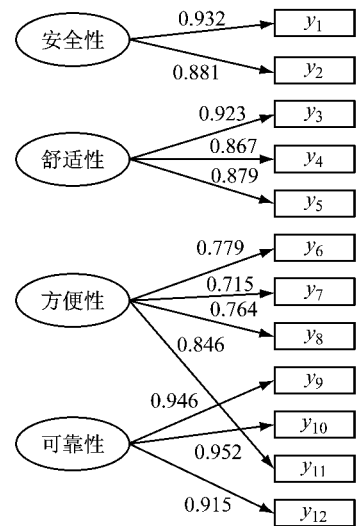


图 5 长途巴士旅客心理因素分析
Fig. 5 Analysis of psychological factors of long-distance bus passengers

4.2 出行方式选择模型参数标定与检验

4.2.1 各出行阶段出行方式选择模型

根据问卷调查的结果,对所调查的数据进行分析处理,结合 4.1 中计算得到的潜变量的标定值,运用 STATA 软件对模型中的系数进行拟合,最终的标定结果见表 2.

出行者在市内出行方式选择阶段具有如下特征:

(1) 常规公交出行方式标定结果为负值,表明随着旅客收入水平的提高,常规公交的出行效用降

低,选择常规公交出行的概率变小,这与实际情况相符合.对于高收入群体,常规公交在舒适性、便捷性等方面目前的服务水平还不能满足其需求,需进一步提升.

(2) 选择出租车和小汽车出行的旅客,对运输产品的服务品质要求更高,较选择公交的旅客而言,他们更加注重出行的舒适性和方便性.

出行者在城际出行方式选择阶段具有如下特征:

(1) 收入对居民选择高速铁路的参数标定值为

表 2 各出行阶段出行方式选择模型参数计算结果

Tab.2 Calculation results of travel mode selection model parameters at each trip

出行阶段	出行方式	个体社会经济特性					
		截距 b	s_{sex}	s_{age}	s_{salary}	s_g	s_{car}
市内出行 I	常规公交	0.812 3	—	—	-0.610 2	-0.486 7	-1.395 2
	出租车	-1.772 1	0.063 7	—	0.314 5	1.298 5	-0.839 9
	小汽车	-1.566 8	-0.045 2	—	0.372 6	0.535 9	1.053 3
市内出行 II	常规公交	-1.166 8	—	—	-0.810 2	-0.408 7	—
	出租车	0.533 9	—	—	0.368 2	0.626 4	—
	小汽车	-0.487 7	—	—	—	—	—
城际出行	高速铁路	-1.599 7	—	—	0.521 7	1.324 2	—
	长途巴士	-1.251 0	—	—	-0.221 7	0.879 4	—

出行阶段	出行方式	出行方式特性			心理因素变量		
		$z_c/\text{元}$	z_t/min	η_{safety}	$\eta_{comfort}$	$\eta_{convenience}$	$\eta_{reliability}$
市内出行 I	常规公交	-2.096 8	-0.790 2	0.293 8	0.081 7	0.214 1	0.254 7
	出租车	-0.752 4	-1.379 6	0.318 3	0.321 7	0.529 0	0.304 9
	小汽车	-0.538 2	-1.486 1	0.348 2	0.358 1	0.742 0	0.374 0
市内出行 II	常规公交	-1.862 4	-0.440 2	0.026 1	0.255 7	0.024 9	0.395 7
	出租车	-0.711 0	-0.845 7	0.031 9	0.306 5	0.309 5	0.400 7
	小汽车	-0.369 9	-0.850 5	0.034 8	0.517 7	0.235 3	0.404 2
城际出行	高速铁路	-0.256 7	-0.719	0.294 6	0.604 8	0.514 0	1.010 4
	长途巴士	-0.529 6	-0.458 9	0.264 3	0.443 4	0.379 7	0.895 8

注:建模的 Logit 使用“选择第 1 种出行方式”作为参考类别;“—”表示拟合系数不显著。

正值,对长途大巴的参数标定值为负值,表明随着旅客收入水平的提升,旅客对高速铁路的选择概率会上升,对长途大巴的选择概率会降低.这是由于随着收入水平的提高,出行者对于出行费用的敏感度逐渐降低,而对出行快捷性与舒适性等方面的服务特性的要求不断提高.

(2) 出行时间和出行费用对旅客的效用影响显著.相比选择巴士的旅客,选择高速铁路出行的旅客对出行时间的敏感度更高,而费用敏感度较低.由此类旅客平均收入较高,对费用不敏感所致.

(3) 舒适性、方便性和可靠性对两种城际出行方式影响显著,且其效用系数的标定值均为正值,表明舒适性、方便性和可靠性的提高会给旅行者带来一定程度的正向效用.随着某种城际交通方式舒适性、方便性和可靠性的增加,该种城际交通方式被选择的概率将会有所提升.

4.2.2 基于出行链的出行方式选择模型

经统计,在市内出行 I 中近 50%的旅客选择地铁前往交通枢纽,转换城际出行交通工具.由于出行链的组合过多,为了方便分析,本文在出发端市内出行中选择地铁出行的群体,对其接下来的选择过程进行具体分析.由于到达端城市地铁网络尚未最终形成,且旅客对到达端地铁网络不熟悉,在市内出行 II 中选择地铁出行的旅客仅占 11.6%,因此只选取占比较大的出租车及常规公交接驳进行计算.

因此该部分旅客城际出行过程中,可选的出行链有:地铁-普铁-常规公交(1-1-2)、地铁-普铁-出租车(1-1-3)、地铁-高铁-常规公交(1-2-2)、地铁-高铁-出租车(1-2-3)、地铁-巴士-常规公交(1-3-2)、地铁-巴士-出租车(1-3-3)这 6 条链,如图 6 所示.

经 STATA 处理,出行链拟合系数见表 3.

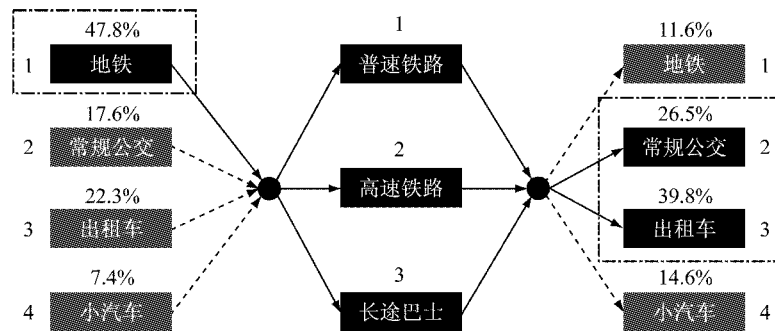


图 6 基于地铁接入城际出行链路径选择图

Fig.6 Selection of intercity travel chain route based on subway access

表 3 基于地铁接入的城际出行链选择效用模型标定结果

Tab. 3 Intercity travel chain selection utility model calibration results based on subway access

出行链	个体社会经济特性					
	截距 b	S_{sex}	S_{age}	S_{salary}	S_g	S_{car}
1-1-2	-0.612 3	—	—	-0.173 5	-0.063 5	—
1-1-3	-0.7721	—	—	0.221 7	-0.0253	—
1-2-2	-1.266 8	—	—	—	0.034 4	—
1-2-3	-1.166 8	—	—	0.321 7	0.086 1	—
1-3-2	0.533 9	—	—	-0.215 4	-0.053 5	—
1-3-3	0.487 7	—	—	—	-0.026 6	—

出行链	出行方式特性		心理因素变量			
	$z_c/\text{元}$	z_t/min	η_{safety}	$\eta_{comfort}$	$\eta_{convenienc}$	$\eta_{reliability}$
1-1-2	-1.256 7	-0.414 5	0.294 6	0.604 8	-0.612 3	—
1-1-3	-0.371 4	-0.432 8	0.264 3	0.873 3	-0.772 1	—
1-2-2	-0.956 7	-0.431 7	0.294 6	0.751 4	-1.266 8	—
1-2-3	-0.329 6	-0.558 9	0.314 3	0.898 6	-1.166 8	—
1-3-2	-1.007 0	-0.194 8	0.284 3	0.457 4	0.533 9	—
1-3-3	-0.342 7	-0.294 3	0.294 3	0.815 4	0.487 7	—

注：“—”表示拟合系数不显著。

出行者在出行链选择阶段具有如下特征：

(1) 出行时间与出行费用两项的效用系数均为负值,表明随着出行时间和出行费用的增加,旅客的出行效用减小,选择该种出行方式的概率降低。

(2) 费用来源影响因素对出租车、高铁的出行方式影响显著,且参数标定结果为正值,表明费用来源为公费的出行者选择以上两种出行方式的概率更高,他们对出行费用的敏感度较低,出行过程中更加注重出行的舒适性、便捷性。

(3) 心理因素方面,一般对时间敏感度高的旅客,对运输产品的服务质量也有更高的需求,他们普遍重视舒适度、方便性和可靠性。在安全性方面,各出行方式的旅客都比较重视,没有明显的差异。

4.3 出行方式选择分析

4.3.1 城市段出行分担率预测与结果分析

根据表 4 中分析结果,市内出行阶段 I、II 中各交通方式分担率拟合值与调查值的相对误差保持在 1%以内。由于上海市内地铁网络密度高,发车频次高且换乘方便,方便性和可靠性较高,且费用较低,因此在市内出行阶段 I 中选择地铁出行的比例高达

表 4 城市出行 I & II 中各方式分担结果

Tab. 4 Sharing results of various ways in urban travel I & II

出行方式	城市出行 I			城市出行 II		
	出行分担率/%		对比误差/%	出行分担率/%		对比误差/%
	拟合值	调查值		拟合值	调查值	
地铁	52.52	50.34	0.04	14.12	12.50	0.13
常规公交	19.84	18.51	0.07	32.45	28.70	0.13
出租车	20.50	23.48	-0.13	40.24	43.06	-0.07
小汽车	7.14	7.67	-0.07	13.19	15.74	-0.16

52.52%。而杭州市内地铁建设属于起步阶段,网络密度和通达性不高,因此客流分担率较低,且总客流中商务出行的占比较高,此类旅客对时间的敏感性较高,青睐快速、方便且舒适性较高的交通工具,因此有 40.24%的旅客将选择出租车衔接。

4.3.2 城际出行分担率预测与结果分析

根据表 5 中分析结果,城际出行中各交通方式分担率拟合值与调查值的相对误差保持在 5%以内。城际出行段中铁路客运的分担率高达近 70%,近 50%的旅客选择高铁出行。随着高铁发车频次的不断提高及客运站周边接驳交通设施的完善,高铁出行的分担比将进一步提升。

表 5 城际出行各方式分担结果

Tab. 5 Sharing results of various ways in intercity travel

出行方式	出行分担率/%		对比误差/%
	拟合值	调查值	
普通铁路	22.24	21.24	4.71
高速铁路	46.89	47.21	-0.68
长途巴士	30.87	31.55	-2.16

4.3.3 基于地铁接入的各出行链分担率预测与结果分析

根据表 6 中分析结果,6 条出行链的分担率拟合值与调查值的相对误差保持在 2%以内,从误差水平看,链 1-2-2、1-3-2 的拟合度最高。链 1-2-3 的分担比最高,这类出行者平均收入水平较高,对舒适度及方便性的需求最高。相反链 1-3-2 的出行者对出行时间和舒适性的敏感度较低,而对费用的敏感度较高。

表 6 基于地铁接入的各出行链分担结果

Tab. 6 Sharing results of each travel chain based on subway access

出行链	出行分担率/%		对比误差/%
	拟合值	调查值	
1-1-2 地铁-普铁-公交	15.46	15.70	-1.53
1-1-3 地铁-普铁-出租车	11.89	12.11	-1.82
1-2-2 地铁-高铁-公交	10.86	10.76	0.93
1-2-3 地铁-高铁-出租车	29.21	28.70	1.78
1-3-2 地铁-巴士-公交	14.03	13.90	0.94
1-3-3 地铁-巴士-出租车	18.55	18.83	-1.49

链 1-2-2、1-2-3、1-3-2、1-3-3 的出行群体(城际出行选择高铁和巴士)要比链 1-1-2、1-1-3 的出行群体(城际出行选择普铁)对舒适性和方便性的敏感度更高. 为了更好地将市内段选择出租车出行的旅客转移到公交出行,提高节能环保绿色出行比例,建议加强公共交通与客运枢纽的换乘衔接,如更多的公交信息发布平台、更明晰的换乘路径诱导和更多的车次.

5 结语

本文提出了城际出行链的概念,构建了城际出行链概念模型,建立了引入心理潜变量的 SEM-Logit 模型,并通过路径选择法建立了基于城际出行链的 SEM-Logit 模型. 运用 SPSS 软件和 STATA 软件处理数据并对模型求解,最后将模型应用于实例分析中. 结果表明:出行费用来源、舒适性和方便性对旅客出行方式选择有显著影响. 引入心理潜变量的模型有较高的拟合度和更强的解释能力,更切合出行者的实际决策过程. 城际出行链模型能更直观地反映和预测旅客在城际出行中对出行方式的选择行为.

参考文献:

[1] GREENE W H, HENSHER D A. A latent class model for discrete choice analysis: contrasts with mixed logit [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2003, 37(8):681.

[2] VERPLANCKEN B, WALKER I, DAVIS A, *et al.* Context change and travel mode choice: combining the habit discontinuity and self-activation hypotheses [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2008, 28(2):121.

[3] AHERN A A, TAPLEY N. The use of stated preference techniques to model modal choices on interurban trips in Ireland [J]. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 2008, 42(1):15.

[4] PAULSSEN M, TEMME D, VIJ A, *et al.* Values, attitudes and travel behavior: a hierarchical latent variable mixed logit model of travel mode choice [J]. *Transportation*, 2014(41): 873.

[5] 吴麟麟,卢海琴,汪洋. 引入忠诚度变量的城际出行方式动态选择行为研究[J]. *公路交通科技*, 2014, 11:123.

WU Linlin, LU Haiqin, WANG Yang. Study on dynamic choice behavior of intercity traveling with loyalty variables [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2014, 11:123.

[6] 陈坚,晏启鹏,杨飞. 出行方式选择行为的 SEM-Logit 整合模型[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(2):51.

CHEN Jian, YAN Qipeng, YANG Fei. SEM-Logit integration model of travel choice behavior [J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science)*, 2013, 41(2):51.

[7] 景鹏,隽志才,查奇芬. 考虑心理潜变量的出行方式选择行为模型[J]. *中国公路学报*, 2014, 27(11):84.

JING Peng, JUN Zhicai, ZHA Qifen. Travel behavior selection behavior model considering psychological latent variables [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2014, 27(11):84.

[8] DIAL R B. A path-based user-equilibrium traffic assignment algorithm that obviates path storage and enumeration [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2006, 40(10):917.

[9] 叶玉玲,王艺诗. 沪杭运输通道内旅客出行方式选择行为研究[J]. *铁道学报*, 2010, 32(4):13.

YE Yuling, WANG Yishi. Research on travel mode choice behavior in Shanghai-Hangzhou transport corridor [J]. *Journal of the China Railway Society*, 2010, 32(4):13.

[10] SUNABA L J. An equilibrium model for urban transit assignment based on game theory [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 181(1):305.

[11] ZHOU X, MAHMASSANI H S, ZHANG K. Dynamic micro-assignment modeling approach for integrated multimodal urban corridor management [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2008, 16(2):167.

[12] 张涛. 区域运输通道内旅客出行方式选择研究[D]. 成都:西南交通大学, 2007.

ZHANG Tao. Study on the choice of traveling modes in regional transport corridors [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.

[13] 任小聪. 基于出行全过程的旅客城市群出行方式选择研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2016.

REN Xiaocong. Study on the choice of traveling modes of passenger city groups based on the whole traveling process [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016.