

考虑个人偏好的观赛人群组合决策选择行为

熊志华¹, 董黛悦², 董春娇¹, 郑炎³, 解超⁴

(1. 北京交通大学综合交通运输大数据应用技术交通运输行业重点实验室, 北京 100044; 2. 浙江省交通运输科学研究院, 杭州 310000; 3. 东南大学交通学院, 南京 211102; 4. 中交信有限责任公司, 北京 100029)

摘要:掌握观赛人群出行行为特征是应对赛事举办期间交通量激增、保障城市交通正常运行的关键。基于个人属性、出行特征、观赛特性和出行意愿的 954 份调查样本, 引入结构方程刻画安全性、便捷性、经济性和出行意向 4 个潜变量与 11 个显变量的因果作用关系, 考虑个人偏好对出发时间和出行方式组合决策选择行为的潜在影响, 构建了基于 SEM-NLogit 的观赛人群组合决策选择行为模型。研究表明, 模型预测精度为 87.06%, 与巢式 Logit 和多元 Logit 模型相比精度提高了 6.99% 和 18.18%。本文模型更好地刻画了“观赛人群年龄越大, 更倾向于提前出发; 同伴数量越多、收入越高, 越倾向于选择小汽车出行”的特征, 并得到了出行时更注重安全性与经济性等巢式 Logit 模型无法得到但更符合实际出行规律的个人偏好的选择行为。

关键词:城市交通; 大型赛事; 组合决策选择行为; 巢式 Logit 模型; 结构方程模型

中图分类号: U491.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2024)04-0979-08

DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20220675

Combined decision-choice behavior of spectators considering personal preferences

XIONG Zhi-hua¹, DONG Dai-yue², DONG Chun-jiao¹, ZHENG Yan³, XIE Chao⁴

(1. Key Laboratory of Transport Industry of Big Data Application Technologies for Comprehensive Transport, Ministry of Transport, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Zhejiang Scientific Research Institute of Transport, Hangzhou 310000, China; 3. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 211102, China; 4. China Transport Information Co., Ltd., Beijing 100029, China)

Abstract: Understanding the travel behavior characteristics of spectators is the key to solve the problem of the surge in traffic during the event and ensure the normal operation of urban traffic. Combining the 954 survey samples of the individual attributes, travel characteristics, spectators behavior characteristics and travel intention of the spectators, a structural equation model (SEM) can describe the causal relationship between four latent variables and eleven obvious variables from the perspectives of safety, convenience, economy and travel intention. Considering the potential impact of personal preference in the combined departure time decision and

收稿日期: 2022-06-01.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFF0301400); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2019JBM041).

作者简介: 熊志华(1979-), 女, 博士, 副教授. 研究方向: 交通规划, 智能交通, 交通系统可靠性.

E-mail: zhhxiong@bjtu.edu.cn

通信作者: 董春娇(1982-), 女, 博士, 教授. 研究方向: 交通流理论, 交通规划, 智能交通, 交通安全.

E-mail: cjdong@bjtu.edu.cn

travel mode chosen behavior, a SEM Nested Logit (SEM-NLogit) model is developed to investigate the combined decision-choice behavior of spectators. The results show that the developed SEM-NLogit model has the best fit and accuracy, and the prediction accuracy is 87.06%, which is 6.99% and 18.18% improvement compared to the NLogit and multivariate logit models respectively. Moreover, the findings show that the elders prefer to departure early, more companions, higher income, more likely to choose a car to travel, and the spectators more emphasis on safety and economy when traveling, which is the findings that NLogit model cannot obtain, but it is more in line with the actual travel law.

Key words: urban traffic; large-scale events; combined decision-choice behavior; nested Logit model; structural equation model

0 引言

2013~2026年,我国已举办或即将举办的国际重大体育赛事超过43场次,影响力评分为40 709分,位于国家榜单的榜首^[1]。承办大型赛事可以丰富精神文化生活,促进经济和基础设施建设发展,提高城市的国际影响力和吸引力。然而,大型赛事举办期间将吸引人流和车流在短期、小空间内大量聚集,造成异于常时的交通需求激增,交通组织与服务面临巨大挑战。因此,挖掘观赛人群出行行为特征与规律,科学合理地进行交通组织规划,实施交通需求管理策略是解决大型赛事导致的交通量激增问题的有效手段,也是保障大型赛事举办期间城市交通正常运行的关键。

在出行行为特征研究方面,越来越多的学者开始关注出行过程中的组合决策选择行为^[2-4],他们逐渐将出行方式、出发时间和出行路径等出行要素两两组合进行研究。Jou^[5]建立了出行路径与出发时间的组合决策选择模型,研究通勤人群个人属性和出行时间等因素对出行选择行为的影响。Jong等^[6]探讨了出行成本和迟到惩罚等因素对通勤者出行选择行为的影响。张波等^[7]在累积前景理论的基础上建立了随机动态用户最优的交通分配模型,结合有限理性理论研究了通勤者在早高峰时段内的出发时间与出行路径组合决策。诸葛承祥等^[8]建立出行时间和出行方式组合决策选择行为的巢式Logit模型,利用包容系数选择了更优的出行时间-出行方式结构关系。Zou等^[9]建立Agent决策选择模型,探讨出发时间与出行方式的联合决策过程。杨励雅等^[10,11]构建了出行方式与出发时间联合选择的交叉巢式Logit模型。

综上所述,虽然国内外学者对组合出行行为较为关注,但已有研究主要集中在对常规通勤出行的

探讨,缺乏大型赛事等场景下对特殊人群出行行为的研究,对个人偏好影响的组合决策选择行为研究不足。本文聚焦大型赛事,探究出发时间决策和出行方式选择行为的相互作用关系,为制定科学有效的交通组织管理政策等提供理论依据和技术支撑。

1 观赛人群出行行为调查与偏好特征

为深入研究观赛人群出行行为与个人偏好特征,设计并发放调查问卷,获取有观赛意向人群的个人属性、在赛事举办城市内部的出行特征、观赛特性和出行意愿。调查问卷依托“问卷星”平台发放,调查时间为2020年10月9日~16日。

最终回收问卷1 016份,有效问卷954份,共覆盖我国29个省级行政区,其中山东、江苏、广东和湖北的调查样本数量均达到100份以上。

问卷中针对安全性、便捷性、经济性和出行意向4个人偏好潜变量的9个观测变量采用“非常赞同”“比较赞同”“一般赞同”“不太赞同”和“很不赞同”的5级李克特量表(Likert scale)来对观赛人群的出行意愿潜变量进行量化评估,并记“非常赞同”为5分,“比较赞同”为4分,以此类推。基于SPSS软件对设计的潜变量量表进行信度和效度分析,检验结果得到潜变量量表的Cronbach's Alpha信度系数值为0.938,该值大于0.9,表明量表具有很好的可信性和可靠性。Kaiser-Meyer-Olkin度量值为0.933,大于0.9, Bartlett的球形度检验Sig.值小于0.05,表明问卷量表设计的结构效度良好,可进行分析建模工作。

由于调查对象均为赛事举办城市以外的观赛人群,因此,仅考虑被调查者对赛事举办城市公共交通和小汽车两种方式的个人感受和态度,统计结果如表1所示。

表 1 个人对交通方式的偏好特征
Table 1 Personal preference for traffic mode

潜变量	观测变量	公共交通		小汽车	
		均值	标准差	均值	标准差
安全性	对出行安全性的满意程度(A1)	4.70	0.59	4.35	0.77
	对运行平稳的满意程度(A2)	4.41	0.84	4.45	0.71
	对出行换乘便捷的满意程度(B1)	4.65	0.63	4.42	0.77
便捷性	对出行准时性的满意程度(B2)	4.64	0.63	4.25	0.84
	是否受气候影响小(B3)	4.68	0.61	4.27	0.85
经济性	对出行行程时间的满意程度(J1)	4.52	0.75	4.45	0.71
	对出行费用/票价的满意程度(J2)	4.67	0.60	3.88	1.09
出行意向	是否低碳环保(C1)	4.71	0.60	3.87	1.11
	是否经常使用该种出行方式(C2)	4.63	0.67	4.23	0.92

由表 1 可知,选择公共交通出行的 703 名被调查者对公共交通出行意愿的平均分为 4.40 分以上,其中安全性的观测变量 A1 和出行意向的观测变量 C1 的平均分最高,分别为 4.70 分和 4.71 分,说明被调查者普遍认可公共交通具有较高的安全性和环保性。经济性的观测变量 J1 和安全性的观测变量 A2 平均分最低,分别为 4.52 分和 4.41 分,说明被调查者认为公共交通行程时间较长,平稳性较差。

选择小汽车出行的 251 名被调查者对小汽车出行意愿的平均分为 3.80 分以上,其中经济性的观测变量 J2 和出行意向的观测变量 C1 的平均分最低,分别为 3.88 分和 3.87 分,说明被调查者普遍认为小汽车的出行费用较高且环保性较低。经济性的观测变量 J1 和安全性的观测变量 A2 平均分最高,为 4.45 分,说明被调查者认为小汽车具有较高的舒适性和较短的行程时间。

2 组合决策选择行为 SEM-NLogit 模型

观赛人群在出行前通常将出发时间和出行方式组合考虑,依据个人出行意愿先确定出发时间,再结合个人偏好、社会经济属性和认知程度等因素,对出行方式进行选择。基于上述决策选择过程,将相似程度更高的出行方式选择作为选择树的下层,即选择肢,相似程度较低的出发时间决策作为选择树的上层,即虚拟选择肢,建立树状结构如图 1 所示。

为了刻画观赛人群个人偏好对组合决策选择行为的潜在影响,引入结构方程模型(Structural equation modeling, SEM),确定安全性、便捷性、

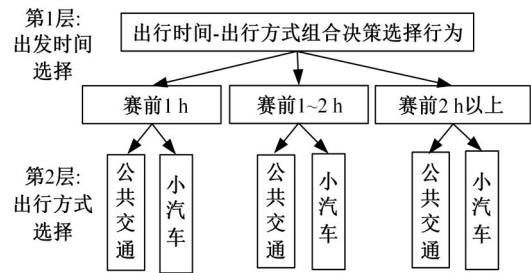


图 1 出发时间决策-出行方式选择树

Fig. 1 Departure time decision-travel mode choice tree
经济性和出行意向 4 个潜变量与 11 个显变量之间的因果关系,构建考虑个人偏好潜在影响的观赛人群组合决策选择行为 SEM-Nested Logit (SEM-NLogit) 模型,结构如图 2 所示。

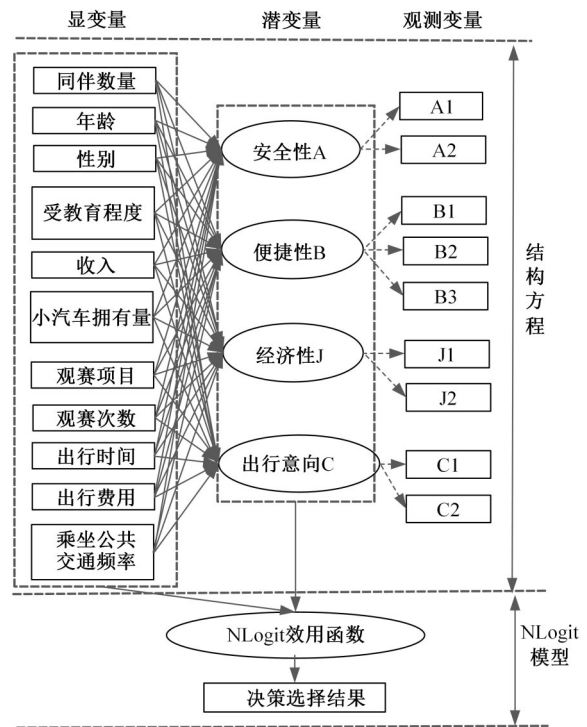


图 2 SEM-NLogit 模型结构
Fig. 2 SEM-NLogit model structure

构建的观赛人群组合决策选择行为的结构方程模型路径图中,左侧矩形框中为可观测的显性变量,包括观赛特性、出行特征和个人属性变量,椭圆形框中为不易直接观测的观赛人群对于小汽车和公共交通出行的个人态度潜变量,右侧矩形框中为安全性、便捷性、经济性和出行意向4个潜变量对应的观测变量。

相较于多重回归分析、因子分析等方法,结构方程基于变量的协方差矩阵能得到不易观测的潜变量与其他变量之间的相互作用关系,如式(1)所示:

$$\Psi_i = \sum_K \alpha_{ik} X_{ik} + \sum_N \beta_{in} \sigma_n + \epsilon_i \quad (1)$$

式中: Ψ_i 为第*i*个不易观测的潜变量; K 为对潜变量 Ψ_i 产生影响的显变量个数; X_{ik} 为对潜变量 Ψ_i 产生影响的观赛人群*l*的显变量; N 为其他潜变量中对 Ψ_i 产生影响的潜变量个数; σ_n 为对潜变量 Ψ_i 产生影响的潜变量; α_{ik} 和 β_{in} 为待估计的路径系数; ϵ_i 为误差项。

潜变量与其对应的观测变量之间的测量关系参数可表示为:

$$\omega_j = \sum_T \delta_{ji} \Psi_i + \epsilon_j \quad (2)$$

式中: T 为潜变量个数; δ_{ji} 为潜变量 Ψ_i 的观测变量; ϵ_j 为误差项。

为充分考虑潜变量中各个观测变量自身所包含的信息,将潜变量和其观测变量之间的载荷系数 $\Lambda_{X_1}, \Lambda_{X_2}, \dots, \Lambda_{X_n}$ 作为观测变量的权重进行归一化处理,以观赛人群组合决策选择行为某一潜变量 ξ 为例,设潜变量 ξ 对应*n*个观测变量 X_1, X_2, \dots, X_n ,得到潜变量关于其内部观测变量的特征表达,如下所示:

$$\xi = A_{X_1} X_1 + A_{X_2} X_2 + \dots + A_{X_n} X_n \quad (3)$$

$$\begin{cases} A_{X_1} = \frac{\Lambda_{X_1}}{\Lambda_{X_1} + \Lambda_{X_2} + \dots + \Lambda_{X_n}} \\ A_{X_2} = \frac{\Lambda_{X_2}}{\Lambda_{X_1} + \Lambda_{X_2} + \dots + \Lambda_{X_n}} \\ \vdots \\ A_{X_n} = \frac{\Lambda_{X_n}}{\Lambda_{X_1} + \Lambda_{X_2} + \dots + \Lambda_{X_n}} \end{cases} \quad (4)$$

式中: Λ_{X_n} 为观测变量 X_n 与其潜变量 ξ 之间的载荷系数。

结合观赛特性、出行特征和个人属性变量以及基于SEM求解得到的考虑个人偏好潜在影响的潜变量,构建通过将具有相似特征的选择项放入同一

个“巢”内来克服非相关选择方案的相互独立特性(Independence form irrelevant alternatives, IIA 特性)缺陷的SEM-NLogit模型,其效用函数如下:

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in} \quad (5)$$

$$V_{in} = \sum_l a_{il} s_{iln} + \sum_q b_{iq} h_{iqn} + \sum_k c_{ik} \eta_{ikn} \quad (6)$$

式中: U_{in} 为观赛个体*n*选择第*i*种组合出行模式的效用函数; V_{in} 为观赛个体*n*选择第*i*种组合出行模式的效用函数的固定项; ϵ_{in} 为观赛个体*n*选择第*i*种组合出行模式的效用函数的随机项; a_{il} 为个人属性显变量对个人出行效用的影响系数; l 为个人属性显变量个数; s_{iln} 为个人属性显变量; b_{iq} 为出行特征显变量对个人出行效用的影响系数; q 为出行特征显变量个数; h_{iqn} 为出行特征显变量; c_{ik} 为潜变量因素对个人出行效用的影响系数; k 为潜变量个数, η_{ikn} 为潜变量。

依据效用最大化理论,在SEM-NLogit模型中,观赛个体*n*选择第*i*种组合出行模式的概率 P_{in} 为:

$$P_{in} = P\{U_{in} \geq U_{jn}, i \neq j\} = P \left[\begin{array}{l} \sum_l a_{il} s_{iln} + \sum_q b_{iq} h_{iqn} + \sum_k c_{ik} \eta_{ikn} + \epsilon_{in} \geq \\ \sum_l a_{jl} s_{jln} + \sum_q b_{jq} h_{jqn} + \sum_k c_{jk} \eta_{jkn} + \epsilon_{jn}, i \neq j \end{array} \right] \quad (7)$$

假定不同组合出行模式的效用函数中,随机项 ϵ_{in} 是独立且均服从Gumbel分布,则可得出SEM-NLogit模型如式(8)所示。

$$P_{in} = \frac{\exp\left(\sum_l a_{il} s_{iln} + \sum_q b_{iq} h_{iqn} + \sum_k c_{ik} \eta_{ikn}\right)}{\sum_j \exp\left(\sum_l a_{jl} s_{jln} + \sum_q b_{jq} h_{jqn} + \sum_k c_{jk} \eta_{jkn}\right)} \quad (8)$$

构建的考虑个人偏好潜在影响的观赛人群组合决策选择行为SEM-NLogit模型,可以更好地刻画观赛特性、出行特征和个人属性变量与组合决策选择行为之间的因果作用关系,揭示观赛人群在组合决策选择时对安全性、便捷性、经济性和出行意向的考量与偏好。

3 模型性能检验

为了验证模型的有效性,结合问卷调查数据,分别标定多元Logit、NLogit,以及构建的SEM-NLogit模型,结果如表2所示。

从拟合性、准确性和预测性评价3种模型对

表 2 模型拟合结果
Table 2 Model fitting results

模型	Log likelihood	$LL(\beta)$	$LL(0)$	K	LR test for IIA Prob > chi2
SEM-NLogit	-1 007.944 5	-1 571	-2 006	30	0.000 5
NLogit	-1 263.215 3	-1 941	-2 327	30	0.000 0
多元 Logit	-1 263.215 3	-2 031	-2 369	55	/

于观赛人群出发时间与出行方式组合决策选择行为的解释效果。计算得到 SEM-NLogit、NLogit 以及多元 Logit 模型拟合度 ρ^2 分别为 0.202、0.153 和 0.119,表明 SEM-NLogit 和 NLogit 模型拟合度较高,两个模型的似然比检验如下:

$$\chi^2 = -2 \times (LL(\beta_{SEM-NLogit}) - LL(\beta_{NL})) = 740 > \chi^2(2, 0.05) = 5.991 \quad (9)$$

说明 SEM-NLogit 模型比 NLogit 模型具有更好的拟合效果,在似然比检验 LR test for IIA 中,SEM-NLogit 模型的 Prob > chi2 = 0.000 5,表明 SEM-NLogit 模型拒绝 II A 特性的假设,有效克服了 II A 特性的局限。

根据模型赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)、贝叶斯信息准则(Bayesian information criterions, BIC)、McFadden's R^2 、Maximum Likelihood R^2 定量来评价模型的准确性,计算结果如图 3(a)所示。由图可知,SEM-NLogit 模型的 AIC 与 BIC 指数最优,Maximum Likeli-

hood R^2 更接近于 1,McFadden's R^2 在 0.2~0.4,证明了其具有更好的准确性。

分别以 70%(668 个样本)和 30%(286 个样本)的调查数据作为训练集和测试集评价模型的预测效果,结果如图 3(b)所示。SEM-NLogit、NLogit 以及多元 Logit 模型的预测准确率分别为 87.06%、80.07% 和 68.88%。针对 6 种组合决策选择行为,SEM-NLogit 模型对提前 1~2 h 采用公共交通出行(79 个样本)的预测效果最优,精度为 93.67%,对提前 1~2 h 采用小汽车出行(10 个样本)的预测效果最差,精度为 70%。

4 结果分析

构建的 SEM-NLogit 模型性能最优,因此,对其结果进行分析。通过 Stata 软件得到表示潜变量与观赛特性、出行特征和个人属性显变量之间因果逻辑关系的结构模式,如表 3 所示。

由表 3 可知,观赛项目、同伴数量和出行费用,以及个人属性中性别、受教育程度和乘坐公共交通频率对 4 个潜变量均有正向影响。观赛次数、出行时间、年龄和小汽车拥有量仅对出行经济性有正向的影响,即观赛次数越多,出行时间越长,年龄越大、小汽车拥有数量越多的观赛人群对出行经济性的关注度越高。

将观测变量的权重系数归一化,可得出潜变量关于观测变量的特征表达。其中,表征安全性、经济性和出行意向的观测变量路径系数两两近似相等(A1(0.790), A2(0.786); J1(0.516), J2(0.546), C1(0.824), C2(0.862)),说明对应的观测变量与潜变量之间的影响相似。便捷性观测变量 B1、B2 和 B3 的路径系数分别为 0.828、0.903 和 0.884,说明出行准时性(B2)对便捷性的影响较大。

构建的 SEM-NLogit 模型标定结果如表 4~表 6 所示,揭示了个人偏好潜在影响下观赛人群对出发时间和出行方式组合决策选择行为机理。为了进一步说明 SEM-NLogit 模型与 NLogit 模型

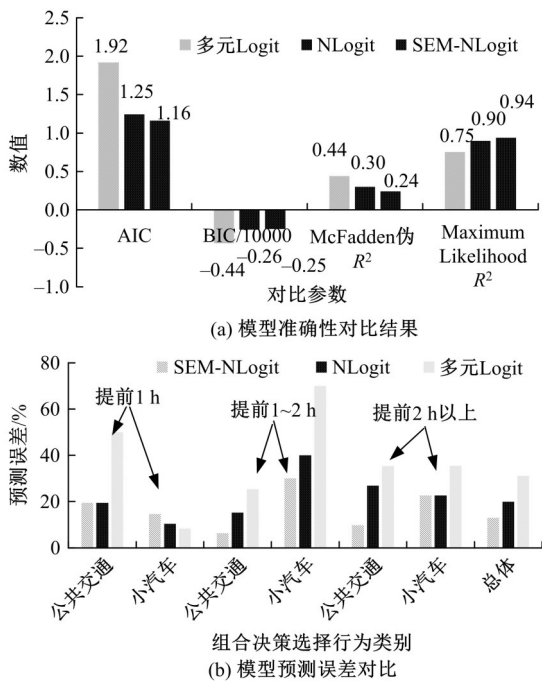


图 3 模型准确性与预测性对比结果

Fig. 3 Comparison results of model accuracy and prediction

表 3 结构模式中路径系数估计值及检验值

Table 3 Estimated value and test value of path coefficient in structural mode

显变量	影响变量	安全性 A		便捷性 B		经济性 J		出行意向 C	
		路径系数	$P> z $	路径系数	$P> z $	路径系数	$P> z $	路径系数	$P> z $
观赛特征	观赛项目	0.088	0.011	0.088	0.006	0.060	0.005	0.081	0.015
	观赛次数	/	/	/	/	0.076	0.000	/	/
	同伴数量	0.081	0.020	0.108	0.001	0.084	0.000	0.063	0.063
出行特征	出行时间	/	/	/	/	0.164	0.000	/	/
	出行费用	0.107	0.000	0.204	0.000	0.784	0.000	0.264	0.000
	性别	0.166	0.000	0.120	0.000	0.116	0.000	0.102	0.001
	受教育程度	0.330	0.000	0.231	0.000	0.217	0.000	0.234	0.000
个人属性	年龄	/	/	/	/	0.109	0.000	/	/
	小汽车拥有量	/	/	/	/	0.066	0.003	/	/
	乘坐公共交通频率	0.124	0.004	0.098	0.003	0.098	0.000	0.124	0.000

的不同,对 NLogit 模型的拟合结果进行了对比分析。

表 4 出发时间-出行方式组合决策选择行为结果

Table 4 Results of departure time-travel mode combination decision-choice behavior

影响因素	SEM-NLogit		NLogit	
	系数	$p> z $	系数	$p> z $
出行时间	0.07	0.000	0.04	0.000
出行费用	-0.11	0.000	-0.15	0.000
安全性	-0.23	0.002	/	/
便捷性	-0.29	0.003	/	/
经济性	-0.07	0.000	/	/
出行意向	-0.02	0.000	/	/

模型以“赛前 2 h 以上出发-小汽车”作为基准出行模式,仅保留显著性水平 $P<0.05$ 的显著因素。由表 4 可知,SEM-NLogit 和 NLogit 模型结果均表明出行时间与出行费用直接影响着观赛人群所有的决策选择行为。其中,出行时间具有正

效应,而出行费用具有负效应。SEM-NLogit 模型中安全性、经济性、便捷性与出行意向 4 个潜变量因素均具有负效应。相比于 SEM-NLogit 模型,NLogit 模型无法考虑个人偏好的潜在影响,无法得到安全性、经济性、出行便捷性与出行意向与决策选择行为的因果关系。

表 5 是观赛人群出发时间决策倾向性。由表 5 可知,SEM-NLogit 和 NLogit 模型结果均表明观赛次数与性别因素显著影响观赛人群的出发时间决策。观赛次数对出发时间决策具有显著负效应,即观赛次数越多,观赛人群更倾向于选择提早出发。性别因素对出发时间决策具有显著正效应,即男性比女性更愿意提前出发。此外,不被 NLogit 模型识别的年龄因素在 SEM-NLogit 模型中呈现显著性,表明观赛人群年龄越大,越倾向于赛前提前更长时间出发,符合现实出行规律。

表 5 出发时间决策结果

Table 5 Departure time decision results

影响因素	SEM-NLogit				NLogit			
	赛前 1 h		赛前 1~2 h		赛前 1 h		赛前 1~2 h	
	系数	$p> z $	系数	$p> z $	系数	$p> z $	系数	$p> z $
观赛次数	-0.01	0.003	-0.03	0.006	-0.04	0.007	-0.03	0.049
年龄	-0.30	0.024	/	/	/	/	/	/
性别	0.28	0.004	0.36	0.030	0.22	0.005	0.36	0.043

表 6 为观赛人群出行方式选择倾向性。SEM-NLogit 与 NLogit 模型结果均表明小汽车拥有量越多,观赛出行时选择小汽车出行的倾向性越大;使用公共交通频率越高,观赛出行时选择公共交通出行的倾向性越强。SEM-NLogit 模型结果表明收入越高,越容易在不同

出发时间下选择小汽车出行。NLogit 模型中收入对出发时间和出行方式无显著影响。此外,SEM-NLogit 与 NLogit 模型均表明随着同伴数量的增加,观赛人群倾向于减少提前到达时间。不同的是,SEM-NLogit 模型中随着同伴数量的增加观赛人群倾向于选择小汽车出行,而

NLogit 模型则表明倾向于选择公共交通出行。真实场景下,收入越高,越倾向于小汽车出行,且随着同伴数量的增加,观赛人群更倾向于小

汽车出行。引入考虑个人偏好潜在影响的潜变量,SEM-NLogit 模型得出了更符合现实规律的结论。

表 6 出行方式选择结果

Table 6 Travel mode choice results

出发时间	影响因素	SEM-NLogit				NLogit			
		公共交通		小汽车		公共交通		小汽车	
		系数	$p> z $	系数	$p> z $	系数	$p> z $	系数	$p> z $
赛前 1 h	同伴数量	-0.45	0.049	0.74	0.006	4.02	0.049	4.82	0.017
	小汽车拥有量	-3.37	0.006	2.55	0.003	-2.47	0.006	3.17	0.007
	收入	-0.44	0.041	/	/	/	/	/	/
	乘坐公共交通频率	3.31	0.000	0.01	0.045	2.61	0.033	1.87	0.005
	常数项	-2.47	0.021	1.01	0.009	-55.52	0.017	-47.25	0.039
赛前 1~2 h	同伴数量	-0.43	0.005	0.70	0.002	4.53	0.024	5.05	0.040
	小汽车拥有量	-3.98	0.000	3.45	0.000	-2.98	0.034	/	/
	收入	-0.45	0.041	/	/	/	/	/	/
	乘坐公共交通频率	3.34	0.000	0.18	0.001	2.33	0.049	1.94	0.041
	常数项	-2.43	0.001	-5.27	0.007	-59.81	0.010	-48.47	0.036
赛前 2 h 以上	同伴数量	-0.37	0.034	/	/	5.40	0.029	/	/
	小汽车拥有量	-5.47	0.000	/	/	-3.58	0.041	/	/
	收入	-0.62	0.039	/	/	/	/	/	/
	乘坐公共交通频率	3.71	0.000	/	/	2.72	0.062	/	/
	常数项	-2.74	0.000	/	/	-57.37	0.010	/	/

5 结 论

(1)本文构建的 SEM-NLogit 模型标定结果表明,出行时间和出行费用以及表征个人偏好潜在影响的 4 个潜变量对组合出行决策选择行为具有显著影响,观赛次数和性别对出发时间决策具有显著影响,同伴数量、小汽车拥有量和乘坐公共交通频率对三类出发时间条件下的出行方式选择具有显著影响。

(2)不被 NLogit 模型识别的年龄和收入因素在 SEM-NLogit 模型中呈现显著性,表明观赛人群年龄越大,越倾向于赛前提前更长时间出发,收入越高越倾向于选择小汽车出行;SEM-NLogit 中,随着同伴数量的增加,观赛人群倾向于选择小汽车出行,而 NLogit 模型的结果恰恰相反。

(3)与 NLogit 模型相比,构建的考虑个人偏好潜在影响的 SEM-NLogit 模型更好地刻画了影响因素和组合出行决策选择行为之间的因果关系,解释了观赛人群组合决策选择行为,得出更符合现实的出行规律结论。

(4)构建的 SEM-NLogit 模型在拟合性和准确性方面均优于 NLogit 以及多元 Logit 模型,对观赛人群出发时间与出行方式组合决策选择行为

预测的正确率为 87.06%,比 NLogit 和多元 Logit 模型的预测精度分别提高了 6.99% 和 18.18%。

参考文献:

[1] 谢陶,杨欢. 全球赛事影响力榜单公布:中国登顶榜首 成都首进全球前 30 城市[EB/OL]. [2009-04-30]. <http://www.nbd.com.cn/articles/2019-04-30/1327171.html>.

[2] 赵丹,邵春福,王军利,等. 多方式诱导下通勤出行链交通方式组合选择行为模型[J]. 吉林大学学报:工学版,2015,45(6):1763-1770.
Zhao dan, Shao chun-fu, Wang jun-li, et al. Modeling combined mode choice behavior of commute trip chain under multi-modal guidance[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2015,45(6):1763-1770.

[3] 王月,姚恩建,郝赫. 低碳导向的多模式交通出行服务定价策略[J]. 清华大学学报:自然科学版,2023,63(11):1741-1749.
Wang Yue, Yao En-jian, Hao He. Low-carbon-oriented pricing strategy of multi-mode transportation service[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2023, 63(11):1741-1749.

[4] 于晓桦,刘欣萍,毕亚茹,等. 基于出行效用无差异

- 阈值的组合交通客流分配模型[J]. 交通运输工程与信息学报, 2023, 21(4):25-34.
- Yu Xiao-hua, Liu Xin-ping, Bi Ya-ru, et al. Passenger flow distribution model for combined transportation modes based on travel utility indifference threshold[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2023, 21(4):25-34.
- [5] Jou R. Modeling the impact of pre-trip information on commuter departure time and route choice[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2001, 35(10): 887-902.
- [6] Jong G, Daily A, Pieters M, et al. A model for time of day and mode choice using error components logit [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2003, 39(3): 245-268.
- [7] 张波, 隗志才, 林徐勋. 基于累积前景理论的出发时间选择SDUO模型[J]. 管理工程学报, 2013, 27(1):68-76. Zhang Bo, Juan Zhi-cai, Lin Xu-xun. Stochastic dynamic user optimum model with departure time choice based on cumulative prospect theory[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2013, 27(1):68-76.
- [8] 诸葛承祥, 邵春福, 李霞, 等. 通勤者出行时间与出行方式选择行为研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(2):126-131. Zhuge Cheng-xiang, Shao Chun-fu, Li Xia, et al. Commuter's choice behavior of travel time and travel mode[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012, 12(2):126-131.
- [9] Zou M, Li M, Lin X, et al. An agent-based choice model for travel mode and departure time and its case study in Beijing[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016(64): 133-147.
- [10] 杨励雅, 李霞, 邵春福. 居住地、出行方式与出发时间联合选择的交叉巢式Logit模型[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2012, 40(11):1647-1653. Yang Li-ya, Li Xia, Shao Chun-fu. Cross-nested Logit model for joint choice of residential location, travel mode and departure time[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2012, 40(11):1647-1653.
- [11] 杨励雅, 李娟. 居民出行链、出行方式与出发时间联合选择的交叉巢式Logit模型[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2017, 53(4):722-730. Yang Li-ya, Li Juan. Cross-nested Logit model for the joint choice of residential location, travel mode and departure time[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinens, 2017, 53(4):722-730.