

# 基于家庭结构差异的学生出行方式选择行为

玛依拉·艾则孜<sup>1</sup>, 林 强<sup>1,2</sup>, 姚志刚<sup>1</sup>, 郝恩崇<sup>1</sup>

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 新疆交通科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘 要:**为了解家庭结构差异对学生出行方式选择行为的影响,更好地获知学生出行特点,以针对学生群体制定更加合理的交通需求管理政策,并进一步优化学生的出行环境及出行结构。以中小学生出行方式选择行为为研究对象,基于多项 logit(MNL)模型建立不同家庭结构的学生出行方式选择模型,研究不同家庭结构类型下各类影响因素对学生出行方式选择的具体影响,并对学生交通需求管理中的 3 类重点可控因素(公交卡持有比例、接送比例、家庭小汽车拥有量)进行敏感性分析。研究表明:不同家庭结构下的学生出行方式选择特性存在差异,公交卡持有比例、接送比例、家庭小汽车拥有量对不同家庭结构类型的学生出行方式选择均具有显著影响;鼓励学生办理公交卡可以提高各类家庭学生选择公交出行的比例,对单亲家庭学生出行结构的改善效果优于双亲家庭与有老人家庭的学生;鼓励学生自主出行能有效降低各类家庭学生选择小汽车出行的比例,控制家庭小汽车拥有量将明显改善各类家庭学生的出行结构,上述 2 类措施对双亲家庭与有老人家庭学生的实施效果优于单亲家庭学生;由于双亲家庭与有老人家庭的学生自主出行能力较弱,针对学生群体制定交通需求管理措施时应重点关注双亲家庭与有老人家庭的学生。

**关键词:**交通工程;出行方式选择;MNL 模型;学生出行;家庭结构

**中图分类号:**U491.11

**文献标志码:**A

## Behavior of students' travel mode choice based on family structure differences

Mayila AIZEZI<sup>1</sup>, LIN Qiang<sup>1,2</sup>, YAO Zhi-gang<sup>1</sup>, XI En-chong<sup>1</sup>

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Xinjiang Academy of Transportation Sciences, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:** To study the influence of family structure differences on students travel mode choice, which contributes to a better understanding of students' travel characteristics, and make proper transportation demand management policy for students, it's useful to further optimize the travel environment and structure of students. This paper set primary and secondary school students travel mode choice behavior as the research object, established students travel mode choice model of different family structures based on multinomial logit (MNL) model, studied the influence of various factors on students' travel mode choice under different family structure types, and made sensitivity analysis for three key controllable factors of students' traffic demand management, including bus card holding ratio, companion ratio, family car ownership. The results show that students' travel choice characteristics are different, and bus card holding ratio, companion ratio

收稿日期:2017-05-01

基金项目:国家社会科学基金项目(16BJY117)

作者简介:玛依拉·艾则孜(1983-),女,新疆沙雅县人,工学博士研究生,E-mail:58204251@qq.com。

通讯作者:郝恩崇(1946-),男,河北保定人,教授,博士研究生导师,E-mail:xiench@chd.edu.cn。

and family car ownership have significant influence on students' travel mode choice for different family structure types. Encouraging students to apply for bus card can improve the proportion of all kinds of family students choosing travel by bus, and the improvement of single-parent family students behavior is better than that of students with two-parent family and elderly family. Encouraging students to travel independently can effectively reduce the proportion of students choosing car travel in various families. Controlling the family car ownership can significantly improve the travel structure of students in different families. Implementation effect of the above two types of measures on students with two-parent family and elderly family are better than that of students with single-parent family. Due to the weak ability of independent travel of students with two-parent family and elderly family, therefore, students from two-parent family and elderly family are paid more attention in order to develop traffic demand management measures. 10 tabs, 21 refs.

**Key words:** traffic engineering; travel mode choice; MNL model; student travel; family structure

## 0 引言

出行方式选择研究对于制定和评价交通需求管理政策具有重要意义。学生群体的通勤出行对城市交通运行的干扰不容小觑,近年来相关学者逐渐认识到这一问题,并针对学生群体及其相关家庭成员的出行方式选择特性展开研究,但大多研究仅关注个体特性的影响,较少考虑家庭环境对学生出行方式选择的约束。Hensher 等综合运用多项 logit (multinomial logit, MNL)模型、巢式 logit(nested logit, NL)模型、随机系数 logit(random parameter logit, RPL)模型,研究了家庭结构与学生出行对全体家庭成员出行方式选择的影响,发现家庭结构按照有无学生、学生数量、学生年龄的不同进行划分,其家庭成员出行方式的选择具有显著性差异<sup>[1]</sup>;雷熙文以 6~12 岁学生为研究对象,运用 MNL 模型探讨了儿童出行对家庭成员出行方式选择的具体影响,发现重点小学与非重点小学的学生对家长出行方式选择的影响具有显著性差异,其影响因素也有所不同<sup>[2]</sup>;马书红等运用 NL 模型重点分析了家庭属性对中小學生出行方式选择特性的影响,发现家庭交通工具拥有量、家庭收入、是否拥有公交卡对中小學生出行方式选择的影响较为显著<sup>[3]</sup>;马书红等还使用 Heckman probit 模型分析父母出行方式对学生出行方式选择的影响,认为父母选择不同的出行方式对学生选择出行方式的影响程度并不相同<sup>[4]</sup>;彭思威运用 MNL 模型、Cox 比例风险(Cox proportional hazard function, CPHF)模型,从家庭成员的接送、交通方式、出发时刻 3 个方面分析学生的出行特征及其对家庭成员通勤出行的影响,发现

学生对家长通勤的出行方式、出行伴送、出发时刻等具有显著性影响<sup>[5]</sup>。

综上,上述研究较少讨论家庭属性尤其是家庭结构对学生群体出行行为的影响。实际上,出行者在出行过程中会根据个人意愿、个人偏好、个人经济社会属性、家庭属性等的影响对各种交通方式进行比选。对于学生群体而言,学生的出行行为会受到家庭属性的影响,而家庭结构是家庭属性的重要体现,影响学生在各类活动中的选择行为,进而影响其在家中或外出的活动趋势,而出行作为其他活动的派生性需求,不可避免地受到家庭结构的影响<sup>[6-10]</sup>。因此,对不同家庭结构类型的学生出行方式选择特性展开研究具有重要意义。基于此,本文结合浙江省海宁市居民出行调查数据,引入 MNL 模型,重点对不同家庭结构的学生出行方式选择特性及其相关影响因素进行分析。

## 1 理论基础

### 1.1 模型的选择

MNL 模型结构简单,相对其他模型计算简便,应用中具有便利性,该模型与多项 probit(multinomial probit, MNP)模型预测的选择概率是高度一致的,这就意味着二者在实际运用中的区别并不大,只是 MNP 模型求解时花费时间较长,且无法从概率比角度解释系数的估计值,不便于模型结果的解释说明<sup>[11-13]</sup>。除此之外,考虑到调查问卷涉及学生出行的变量主要是不随出行方案变化的解释变量,MNL 模型适用性更好,因此,本文选择 MNL 模型对学生出行方式选择特性进行分析。

1.2 MNL 模型简介

MNL 模型通常用于研究个体面临选择时的多值选择问题,该模型基于随机项与固定项相互独立并与随机项之间独立同分布的假设。假设随机项  $\epsilon_{ij}$  服从 I 型极值分布,则可得到

$$P(y_i = j \mid \mathbf{x}_i) = \frac{e^{x_i \beta_j}}{\sum_{k=2}^J e^{x_i \beta_k}} \tag{1}$$

式中: $P(\cdot)$  为出行者  $i$  选择出行方式  $j$  的概率,若  $j=1$ ,则为参照方式; $\beta_k$  为除参照方式外的其他出行方式  $k$  对应的影响因素系数向量; $\beta_j$  为出行方式  $j$  对应的影响因素系数向量; $\mathbf{x}_i$  为出行者  $i$  的出行方式影响因素向量; $y_i$  为出行者  $i$  出行方式选择结果; $J$  为互相排斥的出行方式种类。

需要说明的是,不是所有的  $\beta_k$  都可以同时完成识别,因为如果将  $\beta_k$  替换为向量  $\beta_k^* = \beta_k + a$  ( $a$  为常数向量)不会影响模型的拟合结果。为此,设定一个方案为参照方案,令其系数  $\beta_1 = \mathbf{0}$ ,那么出行者  $i$  选择出行方式  $j$  的概率为

$$P(y_i = j \mid \mathbf{x}_i) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \sum_{k=2}^J e^{x_i \beta_k}} & j = 1 \\ \frac{e^{x_i \beta_j}}{1 + \sum_{k=2}^J e^{x_i \beta_k}} & j = 2, 3, \dots, J \end{cases} \tag{2}$$

1.3 家庭结构分类

家庭结构是指家庭成员的构成与其成员间相对稳定的联系模式,其要素包括:①家庭人口要素,即家庭规模的大小;②家庭模式要素,即家庭成员间的相互关系。家庭结构的分类方法众多,目前被广泛接受的是按照家庭代际层次和家庭成员的关系分类的方法:

- (1)核心家庭,指由两代人构成的家庭;
- (2)主干家庭,指由每代不超过一对夫妻的两代或两代以上且无断代构成的家庭;
- (3)联合家庭,指由任何一代中包含有两对以上夫妻构成的家庭;
- (4)其他家庭,除以上 3 类家庭外的家庭类型。

学生家庭以学生及其父母组成的双亲家庭为主,还包括:学生及其父(母)组成的单亲家庭;学生与父母及其(外)祖父母构成的隔代家庭;学生与父母及(外)祖父母构成的主干家庭;学生、父母、父母的兄弟姐妹及其配偶构成的联合家庭;隔代家庭与主干家庭的特殊情况即丧偶或离异造成的父(母)或(外)祖父(母)单身的缺失家庭等。对应于学生家庭

而言,大量的家庭类型属于社会学家庭类型中的其他家庭范畴,无法充分体现学生家庭的特点。为便于研究,将学生家庭大致分为单亲家庭、双亲家庭、有老人家庭、其他家庭 4 类,具体分类与社会学家庭分类的对应关系如表 1 所示。考虑到其他家庭相关成员的出行机理较为复杂,本文未讨论该类家庭的学生出行情况。本文中 学生指中小学学生,即 7~18 岁的小学生、初中生、高中生;老人指 60 岁及以上人群。

表 1 学生家庭的分类及构成情况  
Tab. 1 Classification and composition of student families

学生家庭类型	构成	社会学家庭类型	比例/%
单亲家庭	学生及其父或母组成的家庭	其他家庭	8
双亲家庭	学生及其父母组成家庭	核心家庭	70
有老人家庭	学生与其(外)祖父母构成的隔代家庭	其他家庭	18
	学生与父母及(外)祖父母组成的家庭	主干家庭	
	隔代家庭与主干家庭的特殊情况即丧偶或离异造成父(母)或(外)祖父(母)单身的缺失家庭	其他家庭	
其他家庭	除上述情况外的家庭	联合家庭与其他家庭	4

2 模型的构建

2.1 构建思路

模型的建立是在确定分析模型的基础上,确定出行方式选择方案集合,并对调查数据进行初步分析,进而构建数据分析结构,在此基础上,建立学生出行方式选择模型,利用极大似然估计法对模型的参数进行估计,并对模型进行假设检验,验证其合理性,最终得出结论。

2.2 调查概况

研究涉及数据的调查日期为 2013 年 12 月 23 日,出行调查主要以问卷调查的方式进行,对海宁市部分中小学校的在籍学生发放调查问卷,由学生带回家与家长共同完成问卷的填写。调查问卷共发放 5 000 份,有效问卷为 3 712 份,有效率为 74%。

调查问卷信息包括:家庭基本信息(家庭住址、家庭各类交通工具拥有量等)、户主与学生及其他家庭成员的个人信息及出行情况(性别、年龄、职业、月收入、公交卡持有情况、出行记录等)、对公交服务的满意度、对公交服务的期望等。

从学生出行的特点看,影响学生出行方式选择

的因素主要包括:学生的个人属性信息(性别、年龄、公交卡持有情况、上下学接送情况)、出行属性信息(出行方式、出行时耗、出行目的)、家庭属性信息(家庭收入、家庭各类交通工具拥有量)等。本文拟选取上述影响因素对学生出行方式的选择特性展开研究。

2.3 出行现状

表 2 为学生出行方式的分担情况。由表 2 可知,单亲家庭学生选择步行出行的比例最高,其次是小汽车、公交车、电动车、自行车;双亲家庭与有老人家庭的学生选择小汽车出行的比例最高,其次是步行、电动车、公交车、自行车。

表 2 学生出行方式分担情况

Tab. 2 Proportion of student travel modes %

家庭类型	步行	小汽车	电动车	公交车	自行车
单亲家庭	30.48	25.66	10.61	24.46	8.79
双亲家庭	27.42	35.17	14.44	14.36	8.61
有老人家庭	25.73	30.44	21.46	12.96	9.41

表 3 为学生家庭交通工具、公交卡持有及接送情况。由表 3 可知,3 类典型学生家庭的交通工具拥有量较为接近,单亲家庭学生持有公交卡比例较高,其次是双亲家庭与有老人家庭的学生。从接送比例看,有老人家庭的学生接送比例最高,其次是双亲家庭与单亲家庭。

表 3 学生家庭交通工具、公交卡持有及接送情况

Tab. 3 Bus card and accompany situation of student families

家庭类型	自行车/ veh	电动车/ veh	小汽车/ veh	公交卡持 有比例/%	接送 比例/%
单亲家庭	1.07	1.13	0.89	74.00	43.98
双亲家庭	1.16	1.28	0.97	61.00	58.58
有老人家庭	1.33	1.58	0.85	49.00	70.92

2.4 模型变量的选择

模型影响因素的选择与模型参数标定过程密切相关,且关系到模型的合理性。模型影响因素的选择要在对居民出行调查数据进行分析的基础上,甄别明显影响学生出行方式选择特性的因素,并在模型参数标定的过程中,对影响因素的显著性进行判断,确定影响因素对学生家长出行方式选择的具体影响是否符合统计学标准。

为了能方便利用软件对模型中的影响因素进行参数估计,需要将名义变量进行量化,变量及其赋值情况如表 4 所示。

2.5 模型参数的标定

模型的系数可使用极大似然法进行估计。出行者  $i$  的似然函数  $L_i(\boldsymbol{\beta}_1, \boldsymbol{\beta}_2, \cdots, \boldsymbol{\beta}_J)$  为

表 4 模型参数及赋值情况

Tab. 4 Model parameters and values

变量类型	影响因素	变量	赋值说明
个人属性	学生性别	$s_s$	1(男)、0(女)
	学生年龄	$s_y$	1(7~12 岁)、2(13~15 岁)、 3(16~18 岁)
	是否有公交卡	$s_{ic}$	1(有)、0(无)
	是否接送	$w_{as}$	1(是)、0(否)
家庭属性	自行车拥有量	$b$	实际拥有量
	电动车拥有量	$e_b$	实际拥有量
	小汽车拥有量	$c_a$	实际拥有量
	家庭月收入	$h_{in}$	1(0~4 000 元)、2(4 001~8 000)元、 3(8 001~12 000 元)、4(12 001~ 16 000 元)、5(16 000 元以上)
出行属性	出行目的	$t_t$	1(通勤)、0(非通勤)
	出行时耗	$t_i$	实际时耗

$$L_i(\boldsymbol{\beta}_1, \boldsymbol{\beta}_2, \cdots, \boldsymbol{\beta}_J) = \prod_{j=1}^J [P(y_i = j | \boldsymbol{x}_i)]^{\mathbf{1}(y_i=j)} \quad (3)$$

对应的对数似然函数为

$$\ln[L_i(\boldsymbol{\beta}_1, \boldsymbol{\beta}_2, \cdots, \boldsymbol{\beta}_J)] = \sum_{j=1}^J \mathbf{1}(y_i = j) \cdot \ln[P(y_i = j | \boldsymbol{x}_i)] \quad (4)$$

式中: $\mathbf{1}(y_i=j)$ 为示性函数向量<sup>[14-18]</sup>,若括号中的等式成立,取值为 1,否则取值为 0。

将所有个体的对数似然函数相加,得到样本总体的对数似然函数,最大化后就得到系数的估计值  $\hat{\boldsymbol{\beta}}_1, \hat{\boldsymbol{\beta}}_2, \cdots, \hat{\boldsymbol{\beta}}_J$ 。

3 模型分析及措施建议

3.1 参数标定结果及假设检验

本文使用 Stata14.0 软件进行模型参数标定<sup>[19]</sup>,标定结果如下页表 5~表 7 所示。

模型的假设检验主要体现在模型变量的联合检验、模型的拟合优度 2 个方面,本文模型无效假设对应的似然比和  $P$  值都为 0,表明模型整体具有显著意义。

拟合优度反映了模型因变量对自变量的反应程度,MNL 模型中常使用  $R^2_o$  表征拟合优度,该值越大表明拟合程度越好,一般为 0.2~0.5 时即认为模型中因变量可被自变量较好解释,模型的预测准确性良好。由表 5~表 7 可知,模型的  $R^2_o$  值均处于该区间,模型精度较高,预测效果良好。

3.2 标定结果分析

家长的接送行为对 3 类典型家庭的学生出行方式选择行为均具有显著性影响,对参数标定结

表 5 单亲家庭模型参数标定结果

Tab. 5 Calibration results of single parent family model parameters

参数	步行		电动车		公交车		自行车	
	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值
$s_s$	-0.021	-0.03	0.850	0.86	-0.709	-0.93	2.370	1.61
$s_y$	16.100	0.01	14.900	0.01	16.500	0.01	17.930	0.01
$s_{ic}$	-1.522	-1.79	-0.292	-0.24	0.990*	2.21	-4.224*	-2.28
$w_{as}$	-4.645***	-4.16	-2.396	-1.74	-4.679***	-4.24	-22.000	-0.01
$b$	1.426*	2.40	-0.210	-0.27	0.424	0.68	3.395**	2.99
$e_b$	0.348	0.75	0.615	1.00	-0.123	-0.23	-1.381	-0.81
$c_a$	-1.153	-1.58	-4.591***	-4.10	-0.949	-1.28	-3.099*	-1.98
$h_{in}$	-0.281	-0.52	0.377	-0.43	-0.028	-0.04	-0.627	-0.49
$t_t$	-3.263*	-2.50	-2.227	-1.36	-2.210	-1.53	13.430	0.00
$t_i$	0.018	-0.41	0.046	0.89	0.117**	2.70	0.217**	2.63
$c_o$	-9.379	0.00	-10.220	0.00	-13.830	-0.01	-33.520	0.00

$L_R=225.17, P=0.000, L=-121.456\ 67, R^2_0=0.481\ 0$

注: $c_o$  为标定结果的常数项;“\*”、“\*\*”、“\*\*\*”分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著;系数即式(2)中的  $\beta_k$  值; $L_R$  为卡方检验统计量; $P$  为卡方检验的  $P$  检验值, $L$  为对数似然值, $R^2_0$  为伪  $R^2$ (拟合优度)值,下同。

表 6 双亲家庭模型参数标定结果

Tab. 6 Calibration results of parents family model parameters

参数	步行		电动车		公交车		自行车	
	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值
$s_s$	-0.002	-0.01	0.114	0.57	0.260	1.20	0.660*	2.40
$s_y$	-1.024***	-5.51	-0.194	-1.25	-0.003	-0.02	0.970***	5.15
$s_{ic}$	-0.478*	-2.41	0.690**	3.26	4.230***	5.78	-0.073	-0.24
$w_{as}$	-4.245***	-17.65	-0.659*	-2.08	-3.151***	-11.50	-5.016***	-12.97
$b$	0.081	0.68	-0.272*	-2.04	-0.178	-1.23	0.785***	4.54
$e_b$	0.177	1.53	0.876***	7.25	0.124	0.86	0.333	1.94
$c_a$	-1.304***	-7.38	-2.126***	-10.34	-2.103***	-9.99	-1.974***	-8.26
$h_{in}$	-0.286*	-2.38	-0.173	-1.33	-0.260	-1.82	0.179	1.00
$t_t$	-2.205***	-5.52	-1.924***	-4.51	-1.032*	-1.97	-2.217***	-3.53
$t_i$	0.044***	4.21	0.004	0.34	0.098***	8.65	0.049**	3.27
$c_o$	7.017***	10.98	2.631***	3.75	-0.713	-0.69	0.704	0.76

$L_R=1\ 734.44, P=0.000, L=-1\ 337.192\ 8, R^2_0=0.393\ 4$

表 7 有老人家庭模型参数标定结果

Tab. 7 Calibration results of family model parameters for elderly

参数	步行		电动车		公交车		自行车	
	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值	系数	Z 检验值
$s_s$	0.305	0.95	-0.226	-0.68	-0.079 9	-0.20	0.284	0.63
$s_y$	-1.164**	-2.67	-0.782	-1.74	-0.460 0	-1.12	0.633	1.62
$s_{ic}$	-0.713*	-2.10	-0.000	0.00	1.724 0**	3.01	-1.372**	-2.78
$w_{as}$	-3.098***	-6.50	0.622	0.99	-2.644 0***	-5.16	-2.728***	-4.76
$b$	0.333*	-2.07	-0.282	-1.55	0.045 8	0.20	0.521*	2.36
$e_b$	-0.207	-1.12	0.632***	3.33	0.214 0	0.97	-0.084	-0.33
$c_a$	-1.229***	-4.25	-1.788***	-5.48	-0.443 0	-1.37	-0.878*	-2.40
$h_{in}$	-0.244	-1.29	0.138	0.75	0.051 4	0.24	-0.257	-0.91
$t_t$	-0.673	-1.26	0.361	0.60	-0.300 0	-0.46	0.480	0.43
$t_i$	0.057**	2.93	-0.062**	-2.60	0.085 0***	4.07	0.058*	2.41
$c_o$	4.815***	4.05	1.169	0.92	-1.087 0	-0.80	-0.384	-0.23

$L_R=324.07, P=0.000, L=-449.886\ 76, R^2_0=0.264\ 8$

果进行自然指数的幂运算可知,家长接送学生上下学时,单亲家庭学生选择小汽车出行的概率与选择步行、公交车出行的概率比是非家长接送学生的 104.17、107.53 倍;双亲家庭学生选择小汽车出行概率与选择步行、电动车、公交车、自行车出行概率比是非家长接送学生的 71.43 倍、1.93 倍、23.26 倍、166.67 倍;有老人家庭学生选择小汽车出行概率与选择步行、公交车、自行车出行概率比是非家长接送学生的 22.22 倍、14.08 倍、15.38 倍。可以看出,家长的接送行为对不同家庭结构类型学生的出行方式选择的影响程度有所不同,但对学生选择小汽车出行具有显著的正向促进作用。

家庭小汽车拥有量对学生出行方式选择的影响具有极强的显著性。单亲家庭中,拥有小汽车家庭的学生选择小汽车出行的概率与选择电动车、自行车的概率比是没有小汽车家庭学生的 100、22.22 倍;双亲家庭中,拥有小汽车家庭的学生选择小汽车出行概率与选择步行、电动车、公交车、自行车出行概率比是没有小汽车家庭学生的 3.69 倍、8.33 倍、8.33 倍、7.69 倍;有老人家庭中,拥有小汽车家庭的学生选择小汽车出行概率与选择步行、电动车、自行车出行概率比是没有小汽车家庭学生的 3.44 倍、5.99 倍、2.41 倍。家庭小汽车拥有量的增加对学生选择小汽车出行具有正向显著性影响。

学生公交卡持有情况对出行方式的选择同样具有显著性影响,单亲家庭、双亲家庭、有老人家庭持有公交卡的学生选择公交车出行的概率与选择小汽车出行的概率比是未持有公交卡学生的 2.69、68.75、5.61 倍。标定结果显示,家庭收入影响的显著性较弱,与以往研究有所不同,其原因可能是学生家长隐瞒真实家庭收入,调查数据不准确所致。

此外,从标定结果看,出行目的与出行耗时对学生出行方式选择的影响也具有显著性。出行目的对单亲家庭、双亲家庭学生出行方式选择的影响具有显著性,对有老人家庭学生出行方式选择的影响不显著,这可能与老年家长出行弹性较高有关,其出行活动安排较为自由,对学生出行产生了一定影响。随着出行耗时的增加,各类家庭学生选择公交车出行的概率有所提高,单亲家庭的学生选择公交车出行的概率高于双亲家庭、有老人家庭的学生。由于出行目的与出行耗时并非交通需求管理中的重点可控因素,故不作敏感性分析。

### 3.3 敏感性分析

对学生出行方式选择 MNL 模型进行敏感性分

析的结果如表 8~表 10 所示。

表 8 公交卡持有比例的敏感性分析结果

Tab. 8 Sensitivity analysis results of proportion of bus card %						
家庭结构类型	公交卡持有比例	步行	小汽车	电动车	公交车	自行车
单亲家庭	30	40.85	25.52	9.07	8.94	15.62
	60	35.60	27.37	9.79	15.67	11.57
	90	28.68	28.58	10.14	24.73	7.87
双亲家庭	30	34.89	38.16	14.05	1.90	11.00
	60	28.81	35.16	14.74	11.73	9.56
	90	24.48	34.58	16.38	15.57	8.99
有老人家庭	30	29.78	31.27	21.07	5.99	11.89
	60	25.55	31.48	20.70	11.11	11.16
	90	22.75	32.69	22.31	15.45	6.80

表 9 接送比例的敏感性分析结果

Tab. 9 Sensitivity analysis results of accompanying ratios %						
家庭结构类型	接送比例	步行	小汽车	电动车	公交车	自行车
单亲家庭	0	45.44	3.15	7.32	33.37	10.72
	40	43.98	12.19	11.85	30.72	1.26
	80	33.27	29.65	15.55	21.50	0.03
双亲家庭	0	55.06	7.28	3.83	18.16	15.67
	40	39.19	22.31	10.63	19.06	8.81
	80	18.51	43.93	19.75	14.54	3.27
有老人家庭	0	36.44	19.26	1.29	29.48	13.53
	40	24.32	27.61	15.15	22.84	10.08
	80	12.45	45.75	21.77	14.26	5.77

表 10 家庭小汽车拥有量的敏感性分析结果

Tab. 10 Sensitivity analysis results of family car ownership						
家庭结构类型	家庭小汽车拥有量/veh	步行/%	小汽车/%	电动车/%	公交车/%	自行车/%
单亲家庭	0	20.75	4.40	44.37	16.38	14.10
	1	33.16	26.26	3.70	29.23	7.65
	2	29.95	35.85	0.07	30.89	3.24
双亲家庭	0	26.84	11.77	28.02	21.90	11.47
	1	29.89	34.71	13.03	13.87	8.50
	2	26.80	57.94	3.46	6.60	5.20
有老人家庭	0	33.25	12.58	36.27	9.86	9.04
	1	24.84	32.77	18.45	14.55	9.39
	2	14.46	55.40	5.68	16.77	7.69

随着公交卡持有比例的增加,3 类家庭学生选择公交车出行的比例均有所提高,但单亲家庭、有老人家庭学生选择小汽车出行的比例也随之提高,双亲家庭学生的小汽车分担率略微降低。公交车出行比例的提高主要是部分低收入家庭学生在持有公交卡后放弃步行、自行车出行,转移至公交车出行所

致,而非高收入家庭的学生放弃小汽车出行转移至公交车出行所致。从敏感性分析结果看,向学生群体发行公交卡可提高各类家庭学生选择公交车出行的比例,能在一定程度上改善学生的出行结构。

由于学生群体自主出行能力弱,随着接送比例的提高,3类家庭学生选择小汽车出行的比例均大幅上升,其余出行方式的分担率总体呈降低态势。在接送比例维持同一水平时,有老人家庭的学生选择小汽车出行的比例最高,其次是双亲家庭、单亲家庭。一方面,有老人家庭因老人出行不便,为便于搭载老人出行,家庭小汽车拥有的比例较高,间接导致其小汽车出行分担率高于其他类型家庭的学生;另一方面,老年人普遍较为关心学生的日常生活,可能会促使其他家庭成员使用小汽车伴送学生出行。

家庭小汽车拥有量对各类家庭学生选择小汽车出行均具有显著的正向促进作用,在家庭小汽车拥有量一定的条件下,双亲家庭学生选择小汽车出行的比例最高,其次是有老人家庭和单亲家庭,这可能与双亲家庭、有老人家庭的家长能投入更多的时间精力照顾学生有关。

### 3.4 措施建议

综合上述分析结果,优化学生出行环境可采取的措施主要包括<sup>[20-21]</sup>:

(1)普及公交卡,提高公交服务水平。由敏感性分析结果可知,各类家庭的学生公交卡持有比例提高时,公交车出行分担率均提高,但仅通过普及公交卡无法将习惯小汽车出行的学生转移至公交车出行,还需不断提高公交服务水平,促使高收入家庭的学生放弃小汽车出行。该措施对3类学生家庭均有效,但对单亲家庭学生实施的效果优于双亲家庭、有老人家庭的学生,这可能与单亲家庭学生自主出行能力较强有关。

(2)鼓励学生自主出行。由接送比例的敏感性分析结果与模型标定结果易知,降低接送比例,能有效改善各类家庭学生的出行结构,但该措施对双亲家庭与有老人家庭学生的实施效果优于单亲家庭。双亲家庭与有老人家庭的学生出行对家长高度依赖,由于家庭成员较多,家长有更多精力专门接送学生,这对学生选择私人化出行方式具有重要影响。据此,学校应强化双亲家庭、有老人家庭学生的日常教育,鼓励自主出行,引导家长减少伴送行为,从而降低学生选择小汽车出行的比例。

(3)适当控制小汽车数量并限制小汽车出行。适当控制家庭小汽车拥有量将明显改善各类家庭学生的出行结构,能有效降低学生选择小汽车出行的

比例,该措施对双亲家庭与有老人家庭学生的实施效果优于单亲家庭。现阶段应设置合理的私人小汽车年增长率目标,制定与户籍关联的不同家庭类型差异化小汽车拥有指标,重点调控双亲家庭、有老人家庭的小汽车拥有量。此外,校园周边区域可采取分时段限行或收取拥堵费的办法,限制学生及其家长选择小汽车出行。

(4)鼓励学校提供校车接送服务。校车作为针对学生群体服务水平较高的公共交通方式,能弥补普通公交服务水平的不足,改善自主出行能力较弱的双亲家庭、有老人家庭学生的出行结构,并强化其自主出行能力,能够有效转移电动车、私家车出行。

## 4 结 语

(1)不同家庭结构下的学生出行方式选择特性具有差异。单亲家庭学生的独立出行能力优于双亲家庭与有老人家庭的学生,实施交通需求管理措施时应重点关注双亲家庭与有老人家庭的学生。

(2)研究成果有助于更好地了解学生的出行特点,从而进一步优化学生的出行环境及出行结构,对缓解城市交通拥堵具有一定的参考价值。

(3)本文涉及的学生家庭结构分类较为宽泛,尤其是有老人家庭因样本量及数据内容的限制,进一步细分的困难较大,建议出行调查应涉及更多的家庭结构信息,以便对家庭结构进行更加细致的分类,分析更多类型家庭的学生出行方式选择特性。

### 参考文献:

#### References:

- [1] HENSHER D A, REYES A J. Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport[J]. *Transportation*, 2000, 27(4): 341-361.
- [2] 雷熙文. 儿童出行对家庭成员出行行为的约束影响研究[D]. 北京:北京建筑工程学院, 2012.  
LEI Xi-wen. Research on the children's travel constraining influences over family members' travel behavior[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2012.
- [3] 马书红, 付建川, 姚志刚. 基于家庭属性和 nested logit 模型的学生出行选择特性分析[J]. *重庆交通大学学报: 自然科学版*, 2015, 34(4): 122-127.  
MA Shu-hong, FU Jian-chuan, YAO Zhi-gang. Choice characteristics of students travel behavior based on household characteristics and nested logit model[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science*, 2015, 34(4): 122-127.
- [4] 马书红, 韩亚慧, 姚志刚, 等. 基于父母出行特性的学

- 生出行方式选择研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(2): 225-231.
- MA Shu-hong, HAN Ya-hui, YAO Zhi-gang, et al. Student's travel mode choice based on parents' travel mode[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(2): 225-231.
- [5] 彭思威. 学童出行及其对家庭成员出行行为影响研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2015.
- PENG Si-wei. Children and their family members to travel affect behavior research[D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2015.
- [6] 鲜于建川. 通勤者活动-出行选择行为研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- XIANYU Jian-chuan. Study on commuter activity-travel behavior analysis[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009.
- [7] 宗 芳. 基于非集计模型的交通需求管理策略评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- ZONG Fang. Transportation demand management policy evaluation based on disaggregated model[D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [8] 高悦尔, 陈小鸿, 李 佳, 等. 中小城市义务教育阶段学生上下学出行特征研究[J]. 长安大学学报: 社会科学版, 2016, 18(3): 104-108.
- GAO Yue-er, CHEN Xiao-hong, LI Jia, et al. Research on students' school trip characteristics in compulsory education stage in small and medium-sized cities[J]. Journal of Chang'an University: Social Science Edition, 2016, 18(3): 104-108.
- [9] 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[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010, 34(5): 1000-1003.
- YIN Huan-huan, GUAN Hong-zhi, QIN Huan-mei, et al. Study of travel mode choice behavior based on disaggregate model[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2010, 34(5): 1000-1003.
- [10] 曾文创. 基于离散选择模型的城市交通方式结构优化策略研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- ZENG Wen-chuang. Study on optimizing strategy of urban traffic structure based on discrete choice models[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.
- [11] 周 钱. 基于家庭决策的交通行为和需求预测研究[D]. 北京: 清华大学, 2008.
- ZHOU Qian. Research on travel behavior and travel demand forecasting based on household decision[D]. Beijing: Tsinghua University, 2008.
- [12] 关宏志. 非集计模型——交通行为分析的工具[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- GUAN Hong-zhi. Disaggregate model: A tool of traffic behavior analysis[M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [13] 陈 强. 高级计量经济学及 Stata 应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- CHEN Qiang. Advanced econometrics and Stata applications[M]. Beijing: Higher Education Press, 2014.
- [14] 张丽莉. 基于活动的出行方式链选择行为模型研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
- ZHANG Li-li. Research on travel choice model based on chain of activities[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2012.
- [15] 张弘毅. 基于活动方法的个体出行行为分析与出行需求预测模型系统研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.
- ZHANG Hong-tao. Research on individual travel behavior and travel demand forecasting model[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011.
- [16] 穆 蕊. 基于出行活动的非集计模型研究及应用[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- MU Rui. Research and application of disaggregate model based on trip activity[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010.
- [17] 朱 昕. 基于活动的出行方式选择模型研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- ZHU Xin. Study on activity-based travel mode choice model[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007.
- [18] 李志瑶. 基于活动的出行需求预测模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- LI Zhi-yao. Study on activity-based travel demand forecasting model[D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [19] 鲜于建川, 隽志才. 城市摩托车交通出行特征与出行方式选择行为研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(5): 136-140.
- XIANYU Jian-chuan, JUAN Zhi-cai. Travel behavior and mode choice of urban motorcycle[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 8(5): 136-140.
- [20] 韩 娟, 程国柱, 李洪强. 小学生上下学出行特征分析与管理策略[J]. 城市交通, 2011, 9(2): 74-79.
- HAN Juan, CHENG Guo-zhu, LI Hong-qiang. Characteristics and management strategies for commuting trips of primary school students[J]. Urban Transportation of China, 2011, 9(2): 74-79.
- [21] 刘爱玲, 胡小琪, 李艳平, 等. 我国中小學生上下学交通方式分析[J]. 中国健康教育, 2009, 25(1): 8-10, 33.
- LIU Ai-ling, HU Xiao-qi, LI Yan-ping, et al. Modes of transportation to and from school in Chinese elementary and secondary students[J]. Chinese Journal of Health Education, 2009, 25(1): 8-10, 33.