

基于 Multinomial Logit 模型的校车通学影响因素研究

李金海, 陈永胜, 唐铮铮, 矫城武
(交通运输部公路科学研究院, 北京 100044)

摘 要: 以某小学为例, 研究了开通校车后影响校车通学的主要因素. 研究首先通过 RP 调查 (Revealed Preference Survey) 总结分析了学生的家庭社会经济特征以及通学现状特征, 基于此开展了针对通学交通方式选择的 SP 调查 (Stated Preference Survey). 在此基础上建立了通学方式选择的 Multinomial Logit (MNL) 模型. 模型表明, 学生就读年级、当前接送状况、乘坐校车时长以及校车票价直接影响到学生对校车的选择. 低年级学生及目前由家长接送通学的学生, 乘坐校车的期望相对更高. 最后, 本文探讨了校车票价对于交通方式分担率的影响. 分析结论表明, 校车分担率随其单程票价的提高呈单调递减趋势, 电动自行车和步行是校车最具竞争力的通学方式, 随着校车票价的增加, 二者分担率有显著提高.

关键词: 校车; SP 调查; 通学; 交通方式选择; MNL 模型

中图分类号: U 268.6

文献标志码: A

文章编号: 1008-2522(2015)04-32-06

Study on Key Factors Affecting School Bus Choices by Multinomial Logit Model

LI Jin-hai, CHEN Yong-sheng, TANG Cheng-cheng, JIAO Cheng-wu
(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper analyzes the key factors affecting school bus services based on a case study of a typical elementary school in China. The paper studies firstly the household socio-demographic characteristics as well as current school transport characteristics by conducting a Revealed Preference (RP) survey. Based on findings in the RP survey, another Stated Preference (SP) survey is also designed and conducted to study the mode choice behaviors of school transport. A Multinomial Logit (MNL) model is then developed, revealing that grade, current escort situation, in-vehicle time, and school bus fare significantly influence school bus choice. Also, the model reflects that students who are in lower grades as well as those who are escorted by parents have stronger willingness to travel by school bus when school bus service is available. Finally, this paper studies the effects of school bus fare on mode shares of all potential traffic modes. The results suggest that school bus share will decrease as fare increases, and E-bike and walking are competitive modes to school bus, since the mode shares increase dramatically as school bus fare increases.

Key words: school bus; Stated Preference survey; school transport; trip mode choice; MNL model

0 引言

近年来,中小学通学交通安全问题已引起社会普遍关注. 由于“撤点并校”背景下通学距离的增加,机动化通学已逐步成为中小学生通学的主要方式,通学交通事故也因此而激增. 特别是在经济欠发达地区,由于运载工具安全性差、道路基础设施安全水平相对较低、交通参与者安全意识相对薄弱,集中采用机动化通学条件下,恶性通学交通事故更是屡见不鲜. 探讨使用安全系数高,安全保障制度健全的专用校车通学已成为全社会的共识.

校车的开通需要解决两个关键问题. 其一是校车通学需求的科学预测,其二是校车票制票价的合理制定. 其中票制票价是需求预测的基础之一,也是确保校车服务可持续性的重要因素. 然而,为保证校车需求预测的准确性,就需明确影响通学交通方式选择的主要因素,确定各类影响因素对通学方式的影响机制及影响程度. 为此,充分把握通学交通方式选择机理显得尤为重要.

目前,既有的相关研究主要从家庭经济属性、通学方式属性、道路环境3个方面分析通学交通方式选择的影响因素,定性分析这些因素对通学方式选择的影响. 其中,大部分研究结果都认为家庭经济属性因素是学生通学交通方式选择最主要的影响因素. 有研究表明,不同收入水平的家庭,学生通学方式也具有非常明显的差异^[1-4]. 也有研究^[5-6]认为,家长的受教育背景以及通勤特征、学生所在年级以及家长对各种出行方式安全性和便捷性的评估^[2]、家庭是否拥有小汽车^[7],对通学方式选择的影响非常显著. 此外,Yarlagadda等^[8]的调查研究认为,家长的就业状况以及工作的灵活性也是通学方式的重要影响因素.

除家庭经济属性以外,部分研究认为与相关出行属性也直接影响到通学方式选择. 有研究认为,通学距离和通学时间是影响方式选择的最重要的2个因素^[1,4,7-10]. Khan等人基于SP(Stated Preference)调查研究了通学交通方式选择的影响因素,其研究结论表明,学生在选择校车出行时,对其花费、出行时间以及舒适性非常敏感^[1]. Campbell等人则针对家庭小汽车接送上下学的情况做了调查. 研究发现,家长选择小汽车接送通学而不采用校车,主要基于对小汽车便捷性和安全性的考虑^[5].

此外,部分相关研究还考虑了道路环境对通学

方式选择的影响. 如Kamargianni等^[6]研究发现,通学线路是否具有非机动车道、行人便道的宽度也显著影响到学生步行或自行车通学. Larsen等^[4,10]研究则认为,通学线路中的交叉口数量、交通量、是否具备行人便道等也是通学方式选择的重要考虑因素.

本文以西部城市某小学为例,重点考虑了学生及其家庭的社会经济属性以及学生通学现状对通学交通方式选择的影响. 通过调查分析该校学生的通学现状,分析了影响学生通学方式选择的主要影响因素,并建立模型评价了各影响因素对通学交通方式的影响程度.

1 研究数据

为明确学生通学方式选择的影响因素,先后在该校开展了RP(Revealed Preference)调查和SP调查. 考虑到小学生通学方式的选择在很大程度上受到家长认识的影响,学生出行方式往往由学生和家長共同决定,本研究中上述问卷调查都由学生和家長共同参与完成. 本研究所开展的RP调查回收有效调查问卷689份;SP调查为全样本调查,涉及全校各年级共计2884名学生,回收有效问卷2256份.

1.1 RP调查

RP调查旨在摸清学生及家庭的社会经济特征以及学生的通学现状,为科学设计SP调查问卷,特别是指导问卷设计中各交通方式属性的选择、交通方式属性水平的确定、调查情景设计等提供依据^[11-13]. 调查分别在全校各年级随机抽取了2个班级作为分析样本. 调查内容主要包括学生及其家庭的社会经济属性以及当前通学交通方式相关的属性(见表1).

表1 RP调查主要内容

学生及其家庭的社会经济特征	现状通学特征
年级	通学方式
年龄	交通方式的票价
性别	换乘情况
地址	出发时间
家庭收入	到达时间
家长接送情况	每月通学交通支出
.....

RP调查的统计数据表明,随着学生所读年级的提高,学生上下学期间被接送的情况逐步减少. 低年级学生中,约有58.4%的学生由家长接送,完全独立通学的学生仅占到19.1%. 高年级学生中,上

述比例分别为 45.0% 和 46.2%。

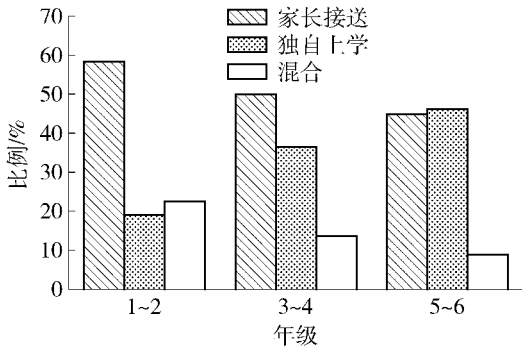


图 1 家长接送状况

通学交通方式方面,目前该校学生采用的通学方式主要包括电动车、摩托车、步行、小汽车、包车、自行车、公交等 7 种通学方式。总体上来看,电动自行车和摩托车是家长接送通学采用最多的交通方式,二者分别占 36.8% 和 9.0%;步行上下学的学生数量约占 30.8%;借助公交车和自行车通学的学生最少,二者所占比例均不足 5%。

从各年级的通学方式来看,由于电动车和摩托车 2 种交通方式与家长接送情况相关,二者所占比例随年级变化趋势与接送状况随年级变化趋势一致,即随着学生就读年级的升高所占比例呈逐步降低趋势。与此相反,步行通学所占比例则随学生就读年级有明显提高,如图 2 所示。

此外,统计结果还表明,尽管学生通学采用的交通方式不尽相同,但其家庭经济收入水平却基本相近。这反映出在本案例中,家庭经济收入对学生通学交通方式的选择影响不大。

1.2 SP 调查

SP 调查的问卷主要包括 3 部分内容:前 2 部分分别调查了家庭的社会经济属性、学生的通学现状,以及学生和家長对校车服务的预期,其主要内容和

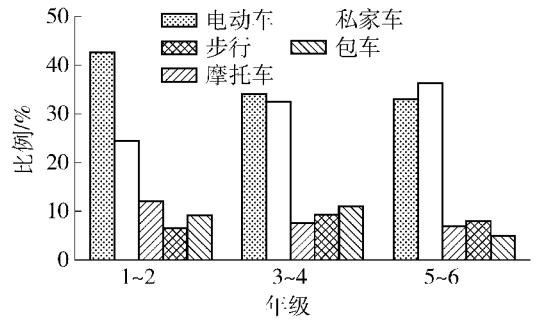


图 2 通学交通方式比例分布

RP 调查的内容相近。第 3 部分为问卷调查的核心部分,旨在调查假设情境下受访者通学交通方式选择行为。上述假设情景的设计主要基于 RP 调查的统计结果,其主要内容包括备选方案(交通方式)的识别及各方案属性的确定、各类属性水平的确定以及为简化调查量而做的正交设计等^[11-13]。

由于本案例中涉及的通学方式较多,在调查问卷情景设计中全面考虑所有交通方式可能会导致问卷调查内容过多,进而影响到调查质量。同时,考虑到开通校车后学生所采用的通学方式必然是校车和当前通学方式二者之一,为简化问卷调查,本研究在 SP 调查的情景设计中分类简化了问卷内容,受访者仅需根据其当前的通学方式,回答相应的问题即可。例如某学生目前由私人小汽车接送上下学,其仅需要完成私人小汽车和校车对比的情景设计调查即可,调查表见表 2。

2 Multinomial Logit 模型

为了研究各影响因素对通学交通方式选择的定量化影响,必须在上述调查数据的基础上进行建模分析,构建交通方式与其潜在影响因素之间的函数关系,即各交通方式的效用函数,并基于此进行通学方式选择行为的建模。

表 2 调查表

(假定学校已开通校车,请考虑以下情景,根据自己的意愿选择出最适合自己的上下学交通方式)

情景	交通方式				我会选择
	校车		小汽车		
	出行时间	票价	出行时间	燃油费用	
情景 1	15 分钟	2.2 元	5 分钟	1.3 元	校车 <input type="checkbox"/> 小汽车 <input type="checkbox"/>
情景 2	25 分钟	0.8 元	35 分钟	0.8 元	校车 <input type="checkbox"/> 小汽车 <input type="checkbox"/>
...

2.1 模型及其标定

MNL 模型被广泛用于建模评价各类影响因素在交通方式选择中的相对重要性. 其基本形式

$$P_{ni} = e^{V_{ni}} / \sum_{j \in J_n} e^{V_{nj}} \quad (1)$$

其中, V_{ni} 为交通方式 i 对个体 n 的效用函数; P_{ni} 为个体 n 在选择集 J_n 中选择交通方式 i 的概率. 通常, 将 V_{ni} 视为个体 n 的社会经济属性和交通方式 i 相关属性的线形组合, 即:

$$V_{ni} = \theta X_{ni} = \sum_{k=1}^K \theta_k x_{nik}, i \in J_n, n = 1, \dots, N \quad (2)$$

式中, J_n 为个体 n 的可选交通方式集合; K 为 J_n 的元素个数; $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ 为待标定的参数向量; $X_{ni} = (x_{ni1}, x_{ni2}, \dots, x_{nik})$ 为个体 n 选择方式 i 时的特

性向量.

在学生的社会经济属性方面, 本研究重点考虑了学生年级、性别、家庭收入、目前接送情况等. 交通方式的属性方面, 本研究重点关注了各种交通方式的出行时间和出行费用(票款支出, 燃油支出等). 需要注意的是, 在模型的标定过程中, 如果某个属性并不显著影响模型, 则需要将其从模型中剔除或者重新选择模型进行标定.

本研究基于 SP 调查数据进行了模型的筛选和标定, 最优模型的参数值及相关统计指标见表 3. 标定结果中所有参数的检验值 $|t| \geq 1.96$, 而 p 值均小于 0.05, 表明在 95% 的置信水平下变量对模型影响显著. 将表 3 中各组参数代入式(2)即可得到各交通方式的效用函数.

表 3 标定结果

交通方式	属性	参数	t-statistic	p-value
校车	年级	-0.144 7	-4.644	0.000
	家长接送现状*	0.568 3	4.132	0.000
	通学时长/min	-0.024 6	-8.27	0.000
私人小汽车	票价/元	-0.201 5	-3.614	0.000
	年级	-0.178 0	-2.809	0.005
电动车	通学时长/min	-0.044 0	-5.394	0.000
	年级	-0.152 6	-4.023	0.000
步行	通学时长/min	-0.046 1	-11.84	0.000
	通学时长/min	-0.040 5	-9.454	0.000
集体包车	通学时长/min	-0.080 9	-5.831	0.000
	票价/元	-0.351 8	-2.735	0.006
摩托车	通学时长/min	-0.152 5	-2.517	0.012
	通学时长/min	-0.051 8	-6.476	0.000
公交车	通学时长/min	-0.058 9	-6.171	0.000
	票价/元	-0.351 2	-2.546	0.011
自行车	通学时长/min	-0.046 2	-4.98	0.000

*“家长接送现状”为哑元. 标定样本中, 受访者现状由家长接送通学时取 1, 否则取 0.

2.2 模型的解释

由式(1)、(2)可看出, 效用值较高的交通方式其分担率也相对较高. 由于 $e^{V_{ni}}$ 为增函数, 系数为正(负)的参数所对应的影响因素将对交通方式选择产生正(负)效用, 参数的绝对值大小则表征了其对交通方式选择结果的影响程度. 对比分析本研究各交通方式的效用函数, 可以得到以下结论:

1) 在所有交通方式的效用函数中, 出行时间参数的系数均为负, 这表明学生更喜欢选择通学时间较短的交通方式. 对特定通学学生来讲, 通学时间越长的交通方式效用值越小, 被选择的概率相对越小. 此外, 校车具有绝对值最小的通学时间参数(-0.024 6), 这说明与其他方式相比, 学生对采用校车通学时乘车时长的敏感性相对较弱.

2) 私人小汽车、包车、摩托车 3 种通学方式都与学生就读年级以及通学时间有关,而其中年级参数均为负值. 这表明对于出行时间相近的学生来讲,低年级学生更容易选择上述交通方式. 该结论与 RP 调查的统计结果相吻合.

3) 校车的效用函数中,年级参数值为负,表明在现状接送状态相同的情况下,低年级学生比高年级学生更愿意选择校车作为通学方式.

4) 从模型可以看出,开通校车后家长是否接送的现状仅仅影响到学生对校车的选择,其参数为正(0.5683)反映出目前由家长接送通学的学生更希望乘坐校车.

5) 费用仅对校车、公交、包车 3 种方式统计显著. 其中,公交和包车的费用系数(分别为 -0.3518 和 -0.3512)比校车的费用系数(-0.2015)绝对值要大,这表明学生和家長对公交和包车的票价更为敏感. 此外,摩托车、电动车的效用函数中不存在费用相关的系数,这表明学生及家長并不在意摩托车、电动车在能耗方面的支出.

2.3 校车票价敏感性分析

基于前述通学交通方式选择模型及调查样本,可以计算出不同校车票价水平下各种交通方式的分担率. 其中,考虑到本研究中学生通学距离为 5 km 以内的短距离出行,校车线路均采用单一票制;根据 RP 调查的统计结果,公交和包车的单程票价分别取 1 元和 2 元;个体通学时长由其通学距离和所采用交通方式的平均速度计算确定.

需要指出的是,本研究中分担率的求解存在几个前提假设. 1) 校车服务的可达性较好,覆盖了所有学生的出行;2) 学生出行方式的选择不受校车的发车时间、线路方案、乘车环境等因素影响;3) 在开通校车后其他各种交通方式的属性均无变化.

在上述参数设置和基本假设条件下,利用 SP 调查的有关数据即可预测出开通校车后每个学生选择校车通学的概率,进而可以确定各种交通方式的通学分担率(图 3). 预测结果表明,校车分担率与其单程票价呈单调递减关系. 当提供免费校车服务时,校车的分担率可达 66.1%,而当校车单程票价为 6 元时,其分担率下降为 37.5%. 此外,预测结果还表明电动自行车和步行是校车最具竞争力的通学方式. 在校车票价由免费提高到 6 元过程中,二者分担率有明显的提高,分别由 12.9% 和 10.6% 提高到 23.9% 和 20.1%.

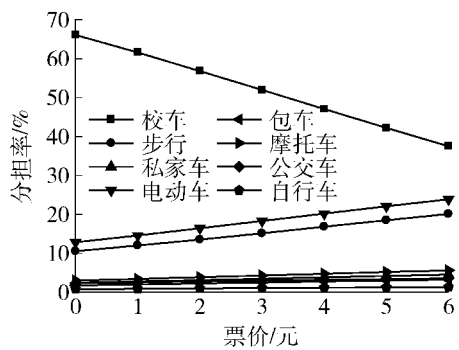


图 3 各交通方式分担率随校车票价变化趋势

3 结论

1) 研究所建立的模型表明,学生就读年级、当前接送状况、乘坐校车的时长、校车票价是校车通学的显著影响因素;

2) 低年级学生比高年级学生更愿意选择校车作为通学方式;

3) 目前由家長接送通学的学生更希望乘坐校车;

4) 与校车相比,学生和家長对公交车和包车的票价更为敏感;

5) 与其他方式相比,学生对采用校车通学时乘车时长的敏感性相对较弱;

6) 校车分担率随着单程票价的上升呈单调递减趋势. 免费情况下,校车的分担率可达 66.1%;

7) 电动自行车和步行是校车最具竞争力的通学方式,二者分担率随校车票价的增加有显著的提高.

根据上述调查和分析的成果,本研究对促进校车通学的运营有如下的建议:

1) 合理优化布局校车运行线路,尽量减少学生乘车时间;

2) 合理设置校车票制票价,在保证可持续运营的前提下,尽量降低校车票价.

参考文献:

- [1] Khan M, Choudhury C F, J Wang. Modeling preference for school bus service in dhaka, bangladesh: stated preference approach [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2011, 2239(1): 64-73.
- [2] Tori D R. Bus or Car? The classic choice in school transportation [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2005, 1922(1): 98-104.
- [3] Wilson E J, Marshall J, Wilson R, et al. By foot, bus or

- car; children's school travel and school choice policy [J]. *Environment and Planning*, 2010, 42(9): 2168-2185.
- [4] Larsen K, Gilliland J, Hess P M. Route-based analysis to capture the environmental influences on a child's mode of travel between home and school [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2012, 102(6): 1348-1365.
- [5] Campbell E K, Wang Q. Pupil transportation: factors affecting mode choice and the amount of parent-driven trips to school [C]. *Transportation Research Board of the National Academies, the 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D. C. , 2009: 1-13.
- [6] Kamargianni M, Polydoropoulou A. Hybrid choice model to investigate the effects of teenagers' attitudes towards walking and cycling on mode choice behavior [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2013, 2382(1): 151-161.
- [7] Müller S S, Tscharaktschiew, Haase K. Travel-to-school mode choice modeling and patterns of school choice in urban areas [J]. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16: 342-357.
- [8] Yarlagadda A K, Srinivasan S. Modeling children's school travel mode and parental escort decisions [J]. *Transportation*, 2008, 35(2): 201-218.
- [9] He S. Effect of school quality and residential environment on mode choice of school trips [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2011: 96-104.
- [10] Larsen K, Buliung Ron N, Faulkner G E J. Safety and school travel: how does the environment along the route relate to safety and mode choice? [C]. *Transportation Research Board of the National Academies, 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D. C. , 2013, 2327(1): 9-18.
- [11] HENSHER D A, Rose J M, Greene W H. *Applied choice analysis: a primer* [M]. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [12] 赵鹏, 藤原章正, 杉惠赖宁. SP 调查方法在交通预测中的应用[J]. *北方交通大学学报*, 2000, 24(6): 29-32.
- [13] 王方, 陈金川, 张德欣. SP 调查在交通方式选择模型中的应用[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2007, 7(5): 90-96.