

【交通物流 / Transportation Logistics】

基于中国家庭追踪调查的通学行为差异分析

黄玥, 干宏程, 王馨玉, 陆欢, 温金鹏

上海理工大学管理学院, 上海 200093

摘要: 通学出行是儿童日常生活和家庭通勤出行中的重要活动, 通学方式决策对于儿童通学的安全、便捷以及城市交通系统优化等具有重要影响。基于2020年展开的中国家庭追踪调查数据, 利用多项logit模型研究个体属性、家庭特征、学校属性及地理特征因素对通学方式选择行为的影响差异。结果表明, 地理特征因素对通学方式选择的影响最大。东部地区的学生更倾向于使用机动交通方式和自行车; 西部地区学生更倾向于步行; 东北地区学生则更倾向于机动交通方式和校车。农村乡镇和小城市的电动车通学比例明显高于大中城市, 且农村乡镇使用校车的概率也更高。全国范围内, 私立学校学生使用校车的可能性是公立学校学生的3.3倍。此外, 研究还发现个体属性和家庭特征也对通学行为具有影响, 如肥胖儿童更加依赖校车和电动车; 性别对通学方式选择没有显著作用; 家庭规模越大, 越愿意步行通学。从促进主动出行、改善交通公平性角度提出相关建议。

关键词: 交通工程; 通学出行; 方式选择; 地理区域属性; 中国家庭追踪调查; 多项logit模型

中图分类号: U491

文献标志码: A

DOI: 10.3724/SP.J.1249.2024.02221

Analysis of school commuting behavior differences based on China family panel studies

HUANG Yue, GAN Hongcheng, WANG Xinyu, LU Huan, and WEN Jinpeng

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, P. R. China

Abstract: School commuting is a crucial aspect of children's daily routines and family travel. The choice of school travel mode significantly impacts children's safety, convenience, and the optimization of urban transportation systems. Utilizing data from the 2020 China family panel studies (CFPS), this study employs a multinomial logit model to comprehensively analyze differences in factors such as individual characteristics, family attributes, school features and geographical characteristics in school travel mode selection. The results indicate that geographical factors have the greatest influence on school travel mode choice. Students in eastern China tend to prefer motorized transportation and bicycles; while students in western China are more inclined to walk; and those from the northeast region are more likely to choose motorized transportation and school buses. In rural communes and small cities, the use of electric bicycles is significantly higher than that in large and medium-sized cities. Moreover, the likelihood of using school buses is also higher in rural communes. Students attending private schools exhibit a significantly higher likelihood of using school buses than their counterparts attending public schools. Additionally, this study uncovers some influences of individual characteristics and family features. For example, overweight children tend to rely more on school buses and electric bikes. Gender does not show a significant effect on mode choice for school commuting.

Received: 2023-09-14; **Accepted:** 2023-11-19; **Online (CNKI):** 2024-01-31

Foundation: National Natural Science Foundation of China (71871143); Scientific and Technological Project of Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (22dz1203405); Humanities and Social Science Foundation of Ministry of Education (22YJC790189)

Corresponding author: Professor GAN Hongcheng (hongchenggan@126.com)

Citation: HUANG Yue, GAN Hongcheng, WANG Xinyu, et al. Analysis of school commuting behavior differences based on China family panel studies [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2024, 41(2): 221-231. (in Chinese)



Students from larger families are more likely to walk to school. In conclusion, the study provides insights aimed at promoting active school travel and transportation equity.

Key words: traffic engineering; school commuting travel; mode choice; geographic regional attributes; China family panel studies; multinomial logit model

随着社会经济的发展, 通学出行逐渐从简单地完成空间位移转向注重通学过程中的可持续性和公平性等问题。通学出行是儿童日常生活中的必要活动之一, 也是家庭出行决策的重要参考。家长开车接送在世界范围内都变得更加普遍, 与之相对的是主动通学(步行和骑行)的迅速减少, 这直接对儿童的身心健康产生不利影响, 同时也加剧了高峰期学校周边的交通拥堵和环境品质下降程度。此外, 中国广袤多元, 通学方式的选择在地区、城市及城乡之间存在广泛差异, 如刘新杰等^[1]发现深圳市非中心区学校学生选择步行的概率高于中心区学生; LI 等^[2-3]发现成都超过半数的农村儿童使用电动车通学, 而西安城区儿童则以步行和私家车通学为主。通学差异不可避免地会引发对通学公平性的担忧, 因为这直接涉及到资源分配, 即儿童能否平等地享受安全、健康及舒适的交通服务。越来越多的研究开始讨论性别、家庭社会经济地位、族裔背景和入学政策等因素对儿童通学公平性的影响^[4]。全面了解儿童的通学方式选择行为将有助于识别潜在的交通公平性问题, 便于制定措施以推动使用安全、健康及可持续的出行方式。

自 20 世纪 80 年代开始, 儿童的通学出行得到越来越多的研究关注, 近年来关于通学行为的文献迅速增长, 并取得了丰硕成果^[5]。通学方式选择的影响因素除了时间、距离、成本及天气状况等常规出行特征外^[6-7], 还包括学生个体属性、家庭和家庭成员特征、建成环境特征等外部客观因素^[8-10], 以及父母有关态度、感知等主观心理因素^[11-13]。研究方法主要使用描述性统计、参数或非参数检验、离散选择模型(如多项 logit、嵌套 logit 及混合 logit 模型)和机器学习模型等^[14-15]。研究视角也非常丰富, 如城市结构^[16]、交通安全、生命健康、能源消耗和疫情影响等^[14-17], 仅有少量文献从公平性视角对学校的日常通学活动进行研究。

此外, 大多数文献基于对单一城市或特定样本进行的网络调查和访谈数据分析, 缺乏全面性和代表性, 少数在发达国家开展的研究运用了全国出行调查数据^[18-19]。全国范围的调查涵盖了不同地区、城市、学校及年级的儿童通学特征, 有利于整体把

握通学行为的异同。目前, 尚未见到在中国背景下, 考虑学生个体属性、家庭特征、学校属性和地理特征因素等多维度下, 进行通学出行方式选择差异分析。本研究基于中国家庭追踪调查数据, 利用多项 logit 模型量化各类因素对通学方式选择的影响程度, 对中国家庭通学行为差异进行深入分析, 并为促进儿童主动通学和改善交通公平性的政策措施制定提供借鉴。

1 数据与变量选择

1.1 研究数据

本研究所用数据来自于北京大学中国社会科学调查中心组织实施的中国家庭追踪调查(China family panel studies, CFPS), 该项目跟踪收集了个体、家庭及社区 3 个层次的数据, 每两年公开发布 1 次。本研究基于 CFPS 2020 数据集, 其内容包含个人自答和学生家长代答两类。

与通学行为有关的调查主要通过问卷中“上学确认”、“入学情况”及“学校基本情况”部分的若干问题组成, 包括在学状态、学习阶段、学校名称、学校性质、通学方式及时间等。本研究主要关注日常通学方式选择行为, 因此, 被解释变量是儿童最常选择的上学方式。通过关键问题“是否上学”和“是否假期中”确保在学状态、“学习阶段”确保为高等教育以下学生, “是否在校寄宿”确保有日常通学活动, 进一步筛选出相关数据子集, 流程如图 1。

由于存在学生本人和家长对同一通学行程同时作答的重复数据, 因此, 对重复数据中的类别型变量进行卡方检验, 对连续型变量进行独立样本的 Mann-Whitney 秩和检验, 以确定两类数据之间的差异。除家庭经济状况外, 其余变量均未通过 10% 置信水平下的显著性检验, 表明针对同一通学行程, 两者间的回答无统计意义上的显著性差异。本研究优先保留家长代答的数据, 最终得到用于建模和分析的数据共 3 954 条。样本中家长代答占 86.7%, 学生本人回答占 13.3%。

所选样本来自全国 29 个省市及自治区, 具体

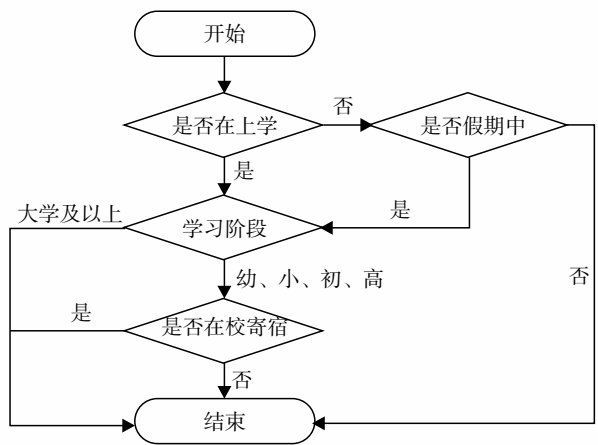


图1 数据筛选逻辑

Fig. 1 Data screening process.

可扫描论文末页右下角二维码查看补充材料图S1. 为了便于研究地区间通学差异, 根据国家统计局分类标准将样本数据划分为东部、中部、西部和东北地区, 并与人口普查数据进行比较, 见表1. 总体而言, 东部地区样本量偏少.

表1 分地区样本量

Table 1 Distribution of samples by region

地区	省份	调查数据 占比/%	人口普查 数据占比/%
东部	北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南	31.46	40.25
中部	山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南	26.86	20.74
西部	内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏、新疆	33.49	31.97
东北	辽宁、吉林、黑龙江	8.19	7.04

1.2 变量选取

结合文献[4, 14]和本研究目标, 选取个体属性因素, 包括性别、年龄及健康状况; 家庭特征因素, 包括家庭规模和家庭经济状况; 学校属性因素, 包括学校性质和是否为重点学校; 地理特征因素, 包括出行距离、出行时间、受访者与学校所处地区、城市及城乡等, 建立描述通学方式选择行为的定量分析模型.

1) 个体属性. 通学出行方式选择可能受性别、年龄及健康状况等学生个体属性影响. 研究发现, 男孩比女孩更倾向于选择独立出行方式, 如公交、

步行和骑行等^[2, 20], 但也有研究认为不同性别儿童的通学方式总体构成并无明显差异^[8, 18]. 就年龄而言, LI等^[2]发现农村儿童选择自行车和公交车通学的概率与年龄呈显著正相关. 而在一项针对加纳学生的研究中发现, 与12岁以上学生相比, 9~11岁儿童选择公交车和小汽车的可能性较大^[21]. 此外, 通学方式与健康状况也可能存在关联, 肥胖儿童由于身体活动和体力消耗等可能会限制主动通学方式的选择. 根据CFPS 2020提供的身高和体重数据, 进一步计算得到身体质量指数(body mass index, BMI), 并参考中国标准获得反映学生健康状况的客观指标(偏瘦、正常、偏胖或肥胖). 为了尽可能多地保留有效样本, 针对少量身高或体重缺失值, 通过建立线性回归模型进行插补.

2) 家庭特征. 研究普遍认为家庭特征在学生的通学出行选择中具有重要作用, 其中, 最关键的因素包括家庭财富(如家庭收入和车辆拥有量)和家庭结构(如家庭中成年人和儿童数量)等. DIAS等^[20, 22]确认了家庭收入对通学出行中私家车使用的影响. 由于家庭追踪调查中并未包含实际家庭收入信息, 本研究采用受访者感知的家庭经济状况, 其值为0~10, 越接近10, 表明家庭经济状况越好. JI等^[14]也阐述了通学方式选择与家庭结构之间的关系, 如来自父母失业家庭的学生倾向于步行, 而有兄弟姐妹的学生更有可能选择步行和骑行.

3) 学校因素. 中国的公立和私立学校具有明显特征差异, 其中之一就是私立学校往往在地理位置上处于劣势, 与长途通学具有显著正相关^[23]. YAN等^[24]对澳大利亚公立和私立学校学生的通学行为进行研究, 结果表明公立学校学生使用步行和骑行的概率是私立学校学生的1.50倍, 而私立学校学生使用校车的可能性是公立学校的1.27倍. 此外, 家庭追踪调查数据还提供了学校类型数据, 如是否在重点或示范学校就读, 目前关于此类变量的经验性证据较少.

4) 地理特征. 以往研究表明地理特征是影响通学的一个重要因素^[9-10]. 通学方式选择的最强地理特征预测指标是距离, 随着家校距离的增加, 采取主动通学方式的可能性减小^[25]. 家庭追踪调查数据详细记录了从家到学校的距离和时间. 文献[26]探讨微观建成环境因素, 如城市密度、土地利用混合度及交叉口数量等对通学方式选择行为的影响. 但很少有研究从宏观地理特征层面, 探讨地区、城

市及城乡的通学行为差异,全国范围的家庭追踪调查为检验可能存在的多维度通学差异提供可能。

2 实证分析

2.1 描述性分析

表2和表3给出了相关变量的定义和描述性统计。其中,男性略多于女性,小学生占比最高,高中生占比相对较低。大多数学生属于偏瘦和正常体重范围,超重学生在人群中所占比例不足10%。城乡调查人口相对均衡。学校所处位置中,位于农村乡镇的学校最多,其次是小城市、中等城市和大城市,这与我国不同级别城镇的数量有关。在学校性质方面,80%为公立学校,20%为私立学校。重点或示范学校比例仅为16.5%,其他为非重点或未区分学校。关于通学方式的选择,步行和电动车(包

括电动自行车、电动三轮车和摩托车)是最常用的通学出行方式,平均使用比例分别为44.66%和33.00%,约10%的学生选择机动交通方式出行,而校车和自行车(自行车和三轮车)的选择比例不足10%。通过与教育部发布的《2020教育统计数据》和《2020年全国教育事业发展统计公报》相比,本研究样本存在初高中学生比例偏低、城市学生比例偏高的特征。

样本平均年龄为9.36岁,低龄幼儿和小学生较多;全国平均通学距离为2.36 km,平均出行时间为11.51 min;平均家庭规模约为5人;平均家庭经济状况处于中上水平,达到7.36分,由于这是主观感知指标,因此,该变量在家长和学生本人的回答中存在显著差异,儿童比家长更倾向于高估家庭的经济实力。

表2 类别型变量
Table 2 Categorical variables

变量	类别	样本量	占比/%	教育普查数据	P值 ¹⁾
性别	0 = 女性	1 846	46.69	46.78	0.964
	1 = 男性	2 108	53.31	53.22	
学龄阶段	1 = 幼儿园/学前班	1 133	28.65	19.57	0.406
	2 = 小学	2 118	53.57	43.56	
	3 = 初中	531	13.43	19.96	
	4 = 高中/中专/技校/职高	172	4.35	16.91	
健康状况	1 = 偏瘦	2 527	63.91	—	0.161
	2 = 正常	1 065	26.93	—	
	3 = 偏胖/肥胖	362	9.16	—	
是否城镇	0 = 乡村	1 993	50.40	—	0.965
	1 = 城镇	1 961	49.60	—	
学校所在城市	1 = 农村乡镇	2 079	52.58	71.82	0.917
	2 = 小城市(县城)	924	23.37	28.18(城市合计)	
	3 = 中等城市(县级市、地级市)	641	16.21		
	4 = 大城市(省会城市、直辖市)	310	7.84		
学校性质	0 = 私立学校	791	20.00	19.15	0.556
	1 = 公立学校	3 163	80.00	80.85	
重点或示范学校	0 = 否	3 299	83.43	—	0.217
	1 = 是	655	16.57	—	
通学出行方式	1 = 步行	1 766	44.66	—	0.851
	2 = 机动交通方式(出租/公交/汽车)	391	9.89	—	
	3 = 校车	277	7.01	—	
	4 = 电动自行车/电动三轮车/摩托车	1 305	33.00	—	
	5 = 自行车/三轮车	215	5.44	—	

1) 卡方检验对应P值。

表3 连续型变量
Table 3 Continuous variables

变量	样本量	均值	标准差	P值 ¹⁾
年龄	3 954	9.36/岁	3.69/岁	1.000
出行距离	3 954	2.36/km	3.12/km	0.577
出行时间	3 954	11.51/min	8.90/min	0.125
家庭规模	3 954	5.47/人	2.12/人	0.981
家庭经济状况	3 954	7.36	2.07	0.000***

1) Mann-Whitney 秩和检验对应P值;***表示在1%置信水平下显著。

图2和图3展示了不同学龄阶段、地区、城市级别及学校的交通方式选择,与平均通学距离和时间。由图2和图3可知:

1) 学龄阶段间通学差异。由图2(a)可见,在所有学龄阶段中,小学、初中及高中学生步行通学的比例为45%~50%,幼儿园阶段步行的比例相对较低,约为35%。幼儿园和小学生的机动交通方式使用比例较低,而初中和高中学生的机动交通方式使用比例明显增加。校车的使用随着学龄增加而逐渐减少,电动车也呈现该特征。电动车在幼儿园和小学阶段的使用比例较高;相反,初中和高中学生使用电动车的比例明显降低,而选择自行车通学的比例较高,超过10%。根据我国道路交通管理条例,未满12周岁禁止驾驶自行车上路,未满16周岁禁止驾驶电动车上路,说明幼儿园和小学生大多

由家长接送,且家长更愿意使用电动车;而初中和高中学生更多以独立方式(如自行车)进行学校行程。汤优等^[27]研究发现,电动车主要在小学阶段接送孩子使用。学龄增加,通学距离和时间也呈现上升趋势,如图3(a)。

2) 地区间通学差异。由图2(b)可见,东部和中部地区使用电动车通学的比例最高;而西部和东北地区的步行比例最高。全国各地区的自行车使用比例均低于10.0%,其中,东部地区使用自行车的比例最高,为6.8%,东北地区使用自行车的比例最低,仅为2.8%,主动出行仍有较大提升空间。东北地区使用机动交通方式出行的比例更高,东部和西部地区的比例相差不大,而中部地区使用机动交通方式的人最少。同时,东北地区使用校车的比例也最高,说明东北地区学生使用电动车和自行车等主动通学方式的意愿较弱;东部和中部地区的校车使用比例相近,而西部地区使用校车的比例偏低。除东北地区外,东、中及西部地区的通学距离相近,通学时间呈上升趋势,如图3(b)。

3) 城市间通学差异。由图2(c)可见,步行通学比例随着城市级别提高而逐渐降低,但均高于40%。选择机动交通方式的比重随着城市级别的提高而增加,中等城市和大城市的机动化水平明显高于农村乡镇和小城市。农村乡镇由于公共交通服务

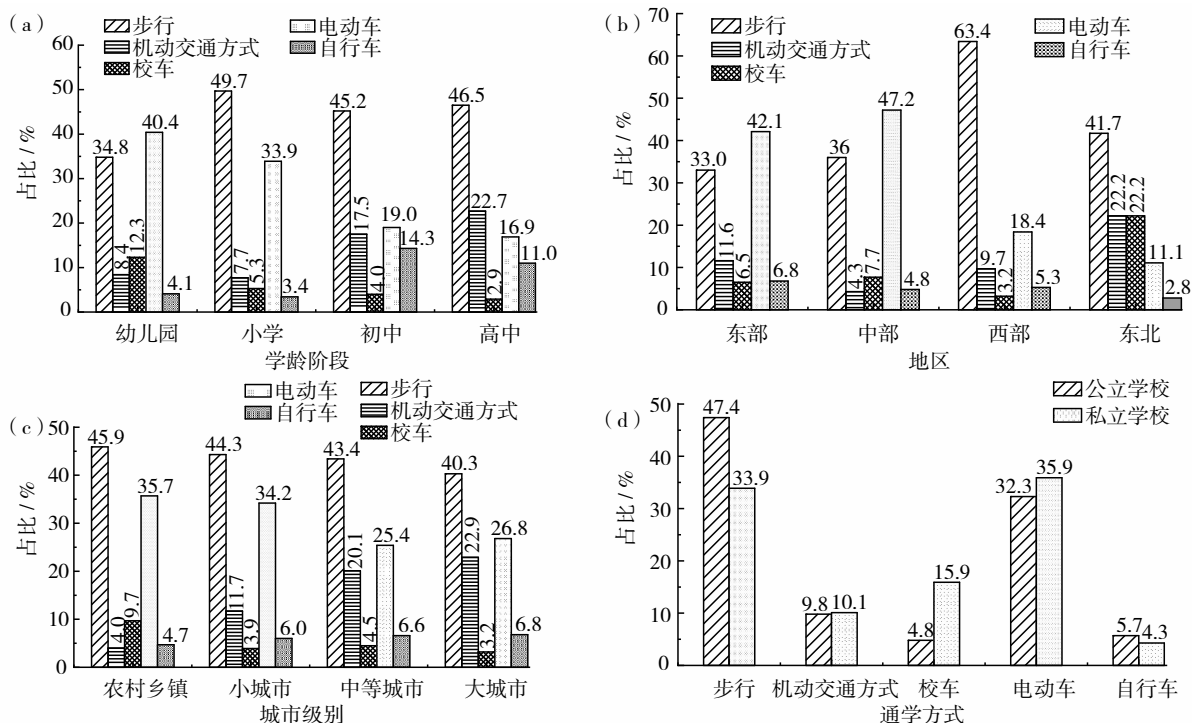


图2 (a)学龄阶段、(b)地区、(c)城市级别及(d)学校类型对通学方式选择的影响

Fig. 2 The influence of (a) school age, (b) region, (c) city classification and (d) school type on school travel mode choice.

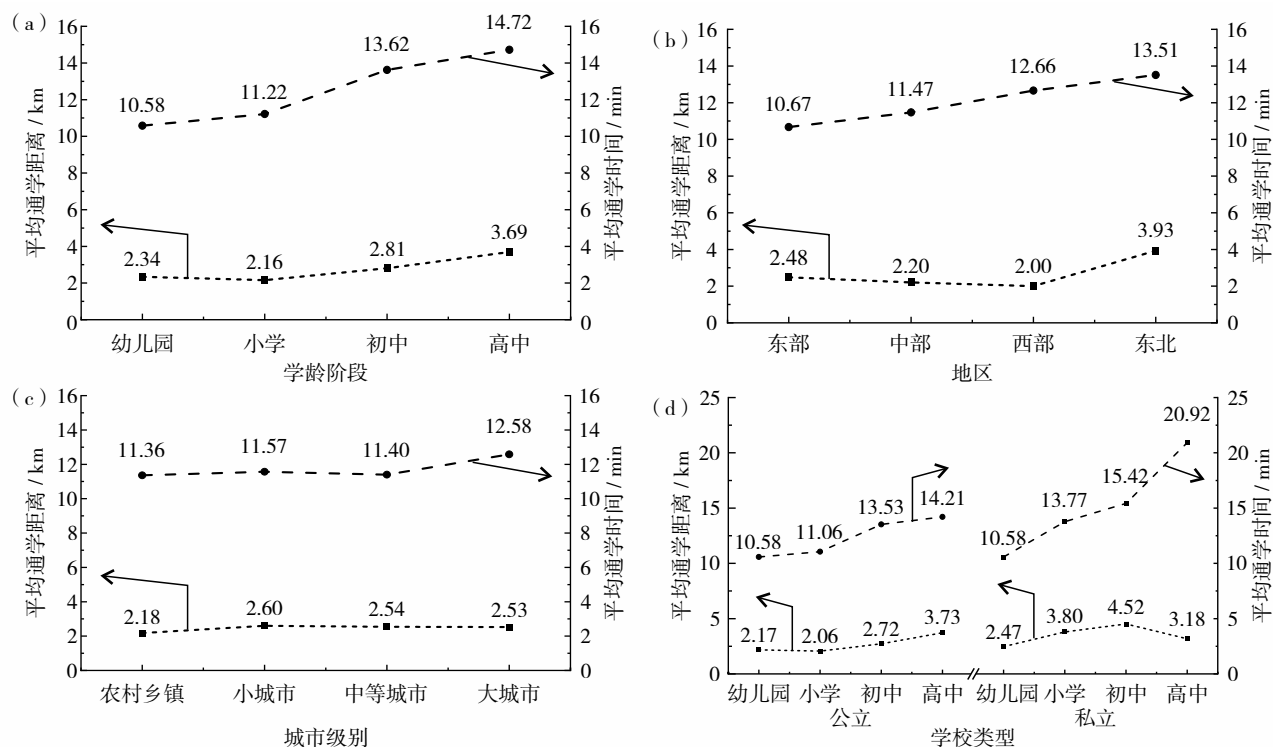


图3 (a)学龄阶段、(b)地区、(c)城市级别及(d)学校类型对平均通学距离和时间的影响

Fig. 3 The influence of (a) school age, (b) region, (c) city classification and (d) school type on average distance and time to school.

欠缺,且小汽车拥有率相对较低,因此,校车成为农村乡镇学生通学出行的有益方式,其使用比例约为10.0%;大城市由于出行选择多,因此,使用校车的比例也最低,仅为3.2%。电动车是农村乡镇和小城市的又一主要通学方式,其电动车使用比例比大中城市高10%左右。自行车通学比例随着城市级别的提高而增加,因为城市的基础交通设施(如自行车道)更加完善,这鼓励了自行车的使用,但总体而言,其在通学出行中的使用率仍偏低。各级别城市的通学距离和时间相差不大,大城市的通学时间略长,如图3(c)。

4) 学校间通学差异。由图2(d)可见,公立和私立学校学生在机动交通方式、电动车和自行车使用方面的差异较小,但步行和校车的使用比例明显不同。按照我国义务教育阶段实施的“就近入学”政策,每所公立学校按片区划分原则招生,通常居住地与学校之间距离较短,因此,步行比例更高。而私立学校不受“就近入学”政策限制,学生来源更加广泛,因此校车的使用比例更高。可以发现,几乎在所有学龄阶段,私立学校学生的通学距离和时间均高于公立学校学生,如图3(d)。

2.2 建模分析

为了确定通学出行方式选择的影响因素,利用

Stata 16 构建多项 logit (multinomial logit, MNL) 模型进行分析。经典的 MNL 模型原理可参考文献[28]。考虑的通学方式包括5个选项,即步行、机动交通方式、校车、电动车及自行车,以步行作为参照,采用逐步回归方法进行分析。多项 logit 模型逐步回归结果见表4。可见,随着模型中加入的解释变量越多,模型1—4的拟合优度(伪 R^2)逐渐增大,表明模型拟合效果在改进。地理特征因素的加入使模型4的拟合优度有了显著提升,说明在通学方式选择中,地理特征因素的作用强于个体属性、家庭特征和学校属性因素。

最终模型的估计结果如表5,解释如下:

1) 地理特征因素。由于通学距离和通学时间可能存在共线性,因此,建模时仅保留了距离变量。同大多数研究一样,距离对通学方式选择行为具有显著影响。距离是步行上学的重要障碍,随着通学距离增加,学生选择机动交通方式、校车、电动车和自行车的概率均在增加。从估计值来看,方式偏好依次为校车、机动交通方式、电动车和自行车,且具有明显差异。校车和机动交通方式的估计值相近,而电动车和自行车的估计值相近,这与我们的感知一致。

东部地区是我国经济社会发展水平最高,地理

表4 多项logit模型逐步回归结果

Table 4 Estimation results of the stepwise regression of MNL

模型	属性			样本量	对数似然函数值	伪 R^2
1	个体属性			3 954	-4 966. 223	0. 033 3
2	个体属性	家庭特征		3 954	-4 935. 892	0. 039 2
3	个体属性	家庭特征	学校属性	3 954	-4 895. 541	0. 047 0
4	个体属性	家庭特征	学校属性 地理特征	3 954	-3 845. 069	0. 251 5

表5 模型4估计结果

Table 5 Estimation results for model 4

变量	机动交通		校车		电动车		自行车	
	估计值	Z值	估计值	Z值	估计值	Z值	估计值	Z值
常数项	-3. 884***	-8. 19	-1. 636***	-3. 40	-0. 413	-1. 48	-1. 982***	-3. 94
东部地区	0. 897***	4. 38	0. 104	0. 52	-0. 042	-0. 40	0. 400**	2. 00
西部地区	0. 193	0. 93	-1. 580***	-7. 00	-1. 675***	-14. 89	-0. 642***	-3. 14
东北地区	0. 483*	1. 87	0. 766***	2. 87	-1. 866***	-8. 30	-1. 387***	-3. 50
小城市	0. 801***	4. 34	-1. 371***	-5. 69	-0. 045	-0. 41	0. 124	0. 63
中等城市	1. 248***	6. 40	-1. 267***	-4. 70	-0. 363***	-2. 67	0. 256	1. 15
大城市	1. 175***	4. 98	-1. 232***	-3. 25	-0. 617***	-3. 49	0. 033	0. 11
是否城镇	0. 611***	3. 93	0. 002	0. 01	0. 337***	3. 62	0. 008	0. 05
出行距离	1. 096***	25. 00	1. 107***	24. 91	0. 872***	21. 19	0. 826***	16. 15
公立学校	-0. 248	-1. 29	-1. 200***	-6. 30	-0. 030	-0. 25	-0. 041	-0. 17
重点学校	0. 009	0. 05	-0. 458	-1. 44	-0. 083	-0. 68	-0. 400*	-1. 84
男性	0. 005	0. 04	-0. 103	-0. 66	0. 085	0. 99	0. 116	0. 75
6~9岁	-0. 454**	-2. 08	-0. 556***	-2. 67	-0. 256*	-1. 94	-0. 678***	-2. 58
10~12岁	-0. 366	-1. 54	-1. 200***	-4. 60	-0. 880***	-5. 88	-0. 787***	-2. 73
13~15岁	-0. 180	-0. 70	-1. 564***	-4. 63	-1. 250***	-6. 81	0. 428	1. 54
>15岁	-0. 468	-1. 44	-1. 259***	-2. 72	-1. 322***	-5. 18	0. 262	0. 76
偏瘦	0. 034	0. 22	0. 037	0. 19	0. 075	0. 73	-0. 086	-0. 50
偏胖或肥胖	0. 206	0. 84	0. 867***	3. 13	0. 311*	1. 84	-0. 161	-0. 53
家庭经济状况	-0. 041	-1. 25	0. 008	0. 22	0. 014	0. 70	-0. 081**	-2. 19
家庭规模	-0. 099**	-2. 52	-0. 038	-0. 98	-0. 061***	-2. 88	-0. 070*	-1. 69

注: ***表示在1%置信水平下显著; **表示在5%置信水平下显著; *表示在10%置信水平下显著。

条件最为优越的区域之一,经济发达、地势平坦导致选择机动交通方式和自行车出行的概率更高。而西部地区学生则倾向于选择步行,使用校车、电动车和自行车的概率较低,这可能与西部地区经济发展相对落后,且地形条件复杂有关。东北地区学生更喜欢机动交通方式和校车,而对电动车和自行车等主动通学方式的偏好较弱,这与描述性分析一致。东北地区夏季短暂、冬季寒冷,调查实施阶段(7~12月)的气温已经转低,因此学生更青睐于乘车。相关讨论在既有文献中很少看到,可能需要更多研究检验地区与通学方式选择之间的关系。

与农村乡镇相比,学校所在城市级别越高,机动化出行的可能性也越高,中等城市的学生更愿意

使用机动交通方式出行,其次是大城市和小城市。农村乡镇的学生更倾向使用校车,这与农村乡镇地区的公共交通服务不够完善有关,定制化的校车提供了更多的便利性。根据估计值可以发现,使用校车的概率按照小城市、中等城市及大城市的顺序递增。中等城市和大城市使用电动车的可能性也较低,这是因为大中城市的公共交通服务和步行环境更友好,家长选择更多,因此使用安全性较差的电动车接送孩子并非最优选择。

最后,与居住在乡村地区的学生相比,城镇学生选择机动交通方式和电动车通学的概率更高,符合经验认知,这归因于城乡道路基础设施的差异。

2) 学校性质。学校性质在校车选项上的估计

值为负,且在1%水平上显著,说明私立学校学生更倾向于校车通学,私立学校学生使用校车的可能性是公立学校学生的3.3($e^{1.2}$)倍.这主要是因为私立学校学生的来源更广泛,通学距离更长;同时,由于私立学校收费相对较高,大多会主动提供校车服务.重点学校的学生使用自行车上学的概率较低,通常来说重点学校的地理位置更为优越,步行可达性更好.

3) 个体属性.本研究并未发现性别对通学方式选择具有显著影响.这可能是因为样本中的低龄幼儿和小学生较多,与初中和高中生相比,他们大多由家长接送,因此,在方式选择上没有突出的差异.张蕊等^[8,29]也发现不同性别儿童出行方式总体构成并无明显差别.随着年龄的增长,学生变得更加独立^[20],因此,选择校车和电动车(家长接送)出行的可能性越低.小学生(6~12岁)使用自行车的概率较低,一方面是受限于交通法规,另一方面是家长更愿意使用电动车接送.

健康状况在机动交通、校车和电动车上的估计值均为正,且对选择校车和电动车具有显著影响.相较于正常体重的学生,超重学生可能会面临身体活动能力的限制,步行和骑行对他们来说较为困难,因此,他们更倾向于选择校车和电动车出行.而偏瘦学生与正常体重学生的通学方式选择没有统计意义上的显著差异.MWAIKAMBO等^[30]基于1722名儿童的调查数据,采用多项logit模型研究了导致儿童肥胖的因素,结果同样发现使用私家车和校车的儿童更容易超重.

4) 家庭属性.经济状况更好的家庭,选择自

行车通学的可能性较低,而对选择其他出行方式没有显著影响.由于本研究考虑的家庭经济状况是受访者主观感知的,并非实际收入,为了进一步检验家庭经济状况的影响是否稳健,假设家庭社会地位(取值为0~10)与家庭经济状况正相关,并用其代替家庭经济状况参与模型估计.结果发现,家庭社会地位变量对通学方式选择没有显著影响,这也验证了家庭经济状况对通学方式选择的影响较小.一方面,可能是样本中大多数家庭的经济状况处于中上水平,低收入家庭的代表性不足;另一方面,相较于其他出行目的,学生的通学距离短、出行成本较低,因此,对经济不敏感.

家庭成员越多,越不倾向于使用机动化交通方式,选择电动车和自行车的概率也较低,反而更喜欢步行.家庭成员多意味着祖父母和孩子可能越多.根据马书红等^[29]的研究,家长年龄越大越愿意步行;而孩子较多则为电动车和自行车的使用带来不便^[31].家庭规模对选择校车没有显著影响,正如SPERONI等^[19]的研究发现,家庭收入和家庭结构都不是预测是否使用校车的重要指标.

2.3 结果检验

为了检验估计结果的稳健性,首先对模型进行多重共线性检验,结果如表6.可见,大多数变量的方差膨胀因子均小于2,容差均大于0.5,表明模型设定合理.基于相同的模型设定,采用多项Probit模型重新进行估计,结果如表7.可见,所得参数大小虽有一定变化,但变量的影响方向和显著性与表5中相应模型的参数估计结果基本一致,表明结果可靠.

表6 多重共线性检验结果

Table 6 Results of multicollinearity test

变量	容差	方差膨胀因子	变量	容差	方差膨胀因子
东部地区	0.659	1.518	男性	0.978	1.023
西部地区	0.658	1.520	6~9岁	0.429	2.330
东北地区	0.765	1.307	10~12岁	0.414	2.415
小城市	0.831	1.203	13~15岁	0.500	2.001
中等城市	0.760	1.315	>15岁	0.647	1.547
大城市	0.833	1.201	偏瘦	0.750	1.333
是否城镇	0.836	1.196	偏胖或肥胖	0.809	1.236
出行距离	0.982	1.018	家庭经济状况	0.970	1.031
公立学校	0.758	1.319	家庭规模	0.880	1.137
重点学校	0.898	1.114			

表7 多项Probit模型估计结果
Table 7 Estimation results from multinomial Probit model

变量	机动交通		校车		电动车		自行车	
	估计值	Z值	估计值	Z值	估计值	Z值	估计值	Z值
常数项	-2.355***	-7.67	-0.852***	-2.66	-0.038	-0.18	-1.086***	-3.50
东部地区	0.575***	4.40	0.079	0.61	-0.038	-0.45	0.221*	1.78
西部地区	-0.029	-0.22	-1.159***	-7.99	-1.321***	-15.34	-0.577***	-4.62
东北地区	0.229	1.32	0.444**	2.43	-1.366***	-8.59	-0.899***	-3.95
小城市	0.552***	4.66	-0.803***	-5.33	-0.020	-0.24	0.083	0.68
中等城市	0.824***	6.38	-0.761***	-4.49	-0.288***	-2.75	0.138	0.98
大城市	0.773***	4.81	-0.722***	-3.19	-0.453***	-3.32	0.004	0.02
是否城镇	0.404***	4.00	0.015	0.13	0.281***	3.88	0.036	0.35
出行距离	0.650***	27.74	0.653***	27.16	0.514***	23.04	0.469***	17.36
公立学校	-0.155	-1.20	-0.800***	-6.24	-0.004	-0.04	-0.042	-0.30
重点学校	-0.060	-0.49	-0.334*	-1.77	-0.108	-1.15	-0.307**	-2.25
男性	-0.014	-0.16	-0.070	-0.68	0.045	0.68	0.059	0.62
6~9岁	-0.319**	-2.20	-0.438***	-3.11	-0.226**	-2.18	-0.461***	-3.00
10~12岁	-0.297*	-1.87	-0.798***	-4.68	-0.676***	-5.81	-0.569***	-3.35
13~15岁	-0.148	-0.85	-1.016***	-4.72	-0.948***	-6.79	0.192	1.10
>15岁	-0.401*	-1.80	-0.955***	-3.18	-1.062***	-5.56	0.018	0.08
偏瘦	0.008	0.08	0.002	0.01	0.034	0.43	-0.084	-0.77
偏胖或肥胖	0.166	1.00	0.519***	2.80	0.206*	1.66	-0.046	-0.25
家庭经济状况	-0.036	-1.63	-0.003	-0.12	0.003	0.21	-0.056**	-2.46
家庭规模	-0.067***	-2.66	-0.036	-1.41	-0.049***	-2.95	-0.051**	-2.04

注: ***表示在1%置信水平下显著; **表示在5%置信水平下显著; *表示在10%置信水平下显著。

3 结 论

基于2020年在全国范围内开展的家庭追踪调查数据,运用多项logit模型研究多维度的通学方式选择行为差异,并从促进主动出行和改善交通公平性角度提出相关建议。

1) 地理特征因素对通学方式选择的影响最大。通学距离增加,选择机动方式和非机动方式的偏好明显不同。

东部地区学生更倾向于使用机动交通和自行车方式;西部地区学生更倾向于步行;东北地区学生则更倾向于机动交通方式和校车,而不太愿意使用电动车和自行车。东部地区应借鉴国内外经验,健全自行车通学体系建设;西部地区应改善步行道、行人过街设施等,提升慢行环境;东北地区可以考虑提供更多校车服务,打造校车出行示范区。但地理特征因素导致的通学差异往往是刚性的,受经济、地理和气候等条件制约,通学的可持续性与公平性问题短期内难以解决。

农村乡镇使用校车的可能性更高,小城市、中等城市及大城市使用校车的概率逐渐增加。农村乡镇由于公共交通服务不完善,应增加校车站点数量,扩大覆盖范围,以确保居住在交通不便地区的学生能够获得更公平的教育机会;同时,可以为乡村学生使用校车提供补贴,以减轻家庭因选择校车作为通学方式的经济负担。电动车接送在农村乡镇和小城市也更加普遍。与大中城市相比,这些地区的非机动车道建设相对滞后,欠完善的交通基础设施与高使用率可能导致安全风险,因此,注重乡镇和小城市的非机动车道建设和管理更有必要。

2) 私立学校学生使用校车的可能性显著高于公立学校学生。我国的校车行业发展还不充分,在“就近入学”背景下,公立学校学生的通学距离一般较短,为减少私家车使用,提高资源利用效率,公立学校可通过与私立学校合作,建立联合校车服务并提供基于手机应用程序的校车信息,让部分有乘车需求的短途学生在高峰时段共享校车资源。从交通公平性而言,私立学校的通学距离和时间明显更长,步行的可能性较低。与增加私立学校数量以

减少通学时间相比^[23], 通过交通规划和加强非机动车道系统建设, 鼓励和保障私立学校学生骑行更为现实. 此外, 重点学校学生使用自行车的概率较低, 未来需要更多经验性证据.

3) 电动车已经成为家长护送低龄儿童通学的重要交通工具, 而自行车大多由高年级学生独立使用, 但在通学出行中的使用率偏低. 为保护儿童安全和促进主动出行, 学校和交管部门应针对性地在幼儿园和小学附近加强对电动车搭载儿童的教育和管理, 如强制要求儿童佩戴头盔, 限制家长载人车速等; 在中学附近则需要完善自行车道建设, 设置共享单车站点, 营造安全和便捷的骑行通学环境.

超重儿童更依赖于机动交通方式、校车和电动车, 而不太可能选择步行或骑行. 尽管已经有研究从保障儿童健康的角度提出一些政策见解, 但本研究仍提倡应通过建设安全的步行和骑行设施、设置奖励制度、以及对家长开展健康宣传, 鼓励儿童步行和骑行. 家庭规模同样有显著影响, 但本研究中家庭经济状况仅对自行车的选择具有负向作用, 而对其他通学方式的影响较小.

本研究也存在不足之处, 虽然 CFPS 是一项纵向调查, 但研究中仅使用了调查时最新 1 年的数据, 未来可以探索通学方式选择随时间的变化情况; 针对通学距离、通学时间和家庭经济状况等变量, 问卷获取的是受访者的主观估计数据, 尽管本研究主要采用了更为可靠的家长回答, 但仍可能存在偏差; 尝试更先进的建模方法, 如嵌套 logit 模型或机器学习模型, 以获得更多有意义的结论.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71871143); 上海科委科技攻关资助项目(22dz1203405); 教育部人文社科基金资助项目(22YJC790189)

作者简介: 黄玥(huangyue616418@163.com), 上海理工大学博士研究生. 研究方向: 出行行为分析、交通需求管理.

引文: 黄玥, 干宏程, 王馨玉, 等. 基于中国家庭追踪调查的通学行为差异分析[J]. 深圳大学学报理工版, 2024, 41(2): 221-231.

参考文献 / References:

- [1] 刘新杰, 林焘宇, 李智. 深圳市中小学出行特征及交通出行率分析[J]. 道路交通与安全, 2015, 15(4): 38-43.
- LIU Xinjie, LIN Daoyu, LI Zhi. Analysis on traffic characteristics and traffic generation rate of primary and secondly school in Shenzhen [J]. Road Traffic & Safety,

2015, 15(4): 38-43. (in Chinese)

- [2] LI Haimei, HAN Li, AO Yibin, et al. Influences of the built environment on rural school children's travel mode choice: the case of Chengdu [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(15): 9008.
- [3] 王侠, 陈晓键. 西安城市小学通学出行的时空特征与制约分析[J]. 城市规划, 2018, 42(11): 142-150.
- WANG Xia, CHEN Xiaojian. Spatial-temporal characteristics and constraint of primary school commuting in Xi'an city [J]. City Planning Review, 2018, 42(11): 142-150. (in Chinese)
- [4] MEDEIROS A, BUTTAZZONI A, COEN S E, et al. Review of gender, socioeconomic status, and ethnic background considerations reported in active school travel intervention studies [J]. Journal of Transport & Health, 2021, 21: 101035.
- [5] 王玲. 城市中小学生通学出行方式选择研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2022.
- WANG Ling. Research on travel mode choice of urban primary and middle school students [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2022. (in Chinese)
- [6] LODHI R H, RANA I A. Mode choice modeling for educational trips in a medium-sized city: case study of Abbottabad city, Pakistan [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2021, 147(4): 05021038.
- [7] YAZDANI M, JAFARI M, YAZDANI S, et al. Students' trip mode choice in favourable and unfavourable weather conditions [J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer, 2021, 174(3): 165-172.
- [8] 张蕊, 林霖, 杨静. 学龄儿童出行方式特征及其影响因素[J]. 城市交通, 2014, 12(2): 78-83.
- ZHANG Rui, LIN Lin, YANG Jing. School-age children travel mode characteristics and affecting factors [J]. Urban Transport of China, 2014, 12(2): 78-83. (in Chinese)
- [9] LI Man, WANG Yupeng, ZHOU Dian. Effects of the built environment and sociodemographic characteristics on children's school travel [J]. Transport Policy, 2023, 134: 191-202.
- [10] WANG Xiaoge, LIU Ye, ZHU Chunwu, et al. Associations between the streetscape built environment and walking to school among primary schoolchildren in Beijing, China [J]. Journal of Transport Geography, 2022, 99: 103303.
- [11] CORRAL-ABÓS A, AIBAR A, ESTRADA-TENORIO S, et al. Implications of school type for active commuting to school in primary education students [J]. Travel Behaviour and Society, 2021, 24: 143-151.
- [12] ALIYAS Z, LAK A, CLOUTIER M S. Emotional percep-

- tions and barriers to children's active school travel in low and high socio-economic neighbourhoods in Iran [J]. *Journal of Transport & Health*, 2022, 26: 101483.
- [13] JING Peng, PAN Kewen, YUAN Daibiao, et al. Using bibliometric analysis techniques to understand the recent progress in school travel research, 2001-2021 [J]. *Journal of Transport & Health*, 2021, 23: 101265.
- [14] JI Xiaofeng, GUAN Haotian, LU Mengyuan, et al. International research progress in school travel and behavior: a literature review and bibliometric analysis [J]. *Sustainability*, 2022, 14(14): 8857.
- [15] ZHANG Rui, YAO Enjian, LIU Zhili. School travel mode choice in Beijing, China [J]. *Journal of Transport Geography*, 2017, 62: 98-110.
- [16] MCMILLAN T E. The relative influence of urban form on a child's travel mode to school [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2007, 41(1): 69-79.
- [17] BARI C, CHOPADE R, KACHWA S, et al. Impact of COVID-19 on educational trips-an Indian case study [J]. *Transportation Letters*, 2021, 13(5/6): 375-387.
- [18] MCDONALD N C. Household interactions and children's school travel: the effect of parental work patterns on walking and biking to school [J]. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16(5): 324-331.
- [19] SPERONI S. Who takes the school bus? The roles of location, race, and parents in choosing travel-to-school mode in Georgia [J]. *Transportation Research Record*, 2023, 2677(11): 169-181.
- [20] DIAS C, ABDULLAH M, LOVREGLIO R, et al. Exploring home-to-school trip mode choices in Kandy, Sri Lanka [J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 99: 103279.
- [21] AGYEMAN S, CHENG Lin. Determinants and dynamics of active school travel in Ghanaian children [J]. *Journal of Transport & Health*, 2022, 24: 101304.
- [22] ERMAGUN A, SAMIMI A. Mode choice and travel distance joint models in school trips [J]. *Transportation*, 2018, 45(6): 1755-1781.
- [23] XIAO Zuopeng, LIN Taoyu, LIAO Jingying, et al. School travel inequity between students from public and private schools in the city of Shenzhen, China [J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 2021: 5032726.
- [24] YAN Yiping, LEUNG A, BURKE M, et al. Is private-schooling problematic for transportation? Evidence from Southeast Queensland, Australia [J]. *Journal of Transport and Land Use*, 2022, 15(1): 567-585.
- [25] RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ F, CRISTI-MONTERO C, CELIS-MORALES C, et al. Impact of distance on mode of active commuting in Chilean children and adolescents [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14(11): 1334.
- [26] KUNARATNAM V, SCHWARTZ N, HOWARD A, et al. Equity, walkability, and active school transportation in Toronto, Canada: a cross-sectional study [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2022, 108: 103336.
- [27] 汤优, 张蕊, 杨静, 等. 北京市学龄儿童通学出行行为特征分析 [J]. *交通工程*, 2017, 17(2): 53-57, 64.
TANG You, ZHANG Rui, YANG Jing, et al. A study of travel patterns of the school-age children in Beijing [J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2017, 17(2): 53-57, 64. (in Chinese)
- [28] TRAIN K E. Discrete choice methods with simulation [M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [29] 马书红, 邵恒, 陈西芳. 学生通学出行的家长接送方式的选择 [J]. *深圳大学学报理工版*, 2024, 41(2): 213-220.
MA Shuhong, SHAO Heng, CHEN Xifang. Exploring the parents' behaviors for pick-up of school students [J]. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*, 2024, 41(2): 213-220. (in Chinese)
- [30] MWAIKAMBO S A, LEYNA G H, KILLEWO J, et al. Why are primary school children overweight and obese? A cross sectional study undertaken in Kinondoni district, Dar-es-salaam [J]. *BMC Public Health*, 2015, 15(1): 1269.
- [31] 张蕊, 许伊婷, 汤优, 等. 二孩政策下学龄儿童通学出行行为及优化策略 [J]. *城市交通*, 2020, 18(2): 30-36.
ZHANG Rui, XU Yiting, TANG You, et al. Children's school-bound traveling behaviors and strategies under the two-child policy [J]. *Urban Transport of China*, 2020, 18(2): 30-36. (in Chinese)

【中文责编: 方圆; 英文责编: 淡紫】



补充材料