

基于大数据的上海市共享汽车出行模式研究

仝 德¹,周心灿¹,龚咏喜^{2*}

(1. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院,北京大学未来城市实验室(深圳),广东 深圳 518055;
2. 哈尔滨工业大学(深圳)建筑学院,广东 深圳 518055)

摘要:共享汽车是城市交通发展的新潮流,论文基于2018年上海市共享汽车运营大数据和城市POI数据,研究共享汽车用户出行的空间、时间和频次特征,并对用户开展出行模式的 K 均值聚类分析,以期挖掘典型出行规律,为共享汽车运营优化提供依据。研究表明:① 工作日与休息日共享汽车使用行为差异显著,工作日共享汽车出行较集中于中心城区的混合功能区,早晚通勤高峰使用量大;休息日共享汽车出行空间布局较分散,使用量更高、平均单次使用时长更短且仅存在傍晚一个使用高峰。② 上海市共享汽车出行行为可分为工作日通勤的中高频模式,工作日晚间活动的高频模式,工作日偶尔用车晚餐及返家、偶尔用车远距离通勤和夜间长距离返家的低频模式,休息日日间休闲的高频模式、休息日傍晚离家休闲的中长途低频模式、休息日傍晚在休闲地之间穿梭的远距离低频模式、休息日日间加班的低频模式等10种模式。③ 中高频用户主要使用共享汽车实现远距离通勤和周末中长距离休闲活动,空间区域主要集中在中心城区和副中心区域;低频用户使用共享汽车多为夜间、长距离、休息日加班等公共交通难以满足需求、出租车成本过高的情景,空间分布也比较分散。可通过对用户提供差别化用车方案、优化车辆空间调度等方式推进超大城市共享汽车市场发展。

关键词:共享汽车;出行模式; K 均值聚类;上海

近年来,随着共享经济蓬勃发展,共享汽车出行逐渐成为城市交通发展的新潮流^[1]。以新能源汽车为主体的共享汽车入市不仅提高了小汽车使用效率、间接促进了新能源汽车发展,保护了城市生态环境^[2-4],同时克服了传统公共交通站台固定、路径不自由等缺陷,满足了居民对于出行便捷度、舒适度和私密性的要求^[5-6]。2017年8月,交通运输部和住房城乡建设部联合发布《关于促进小微型客车租赁健康发展的指导意见》,提出在坚持公交优先发展战略的前提下,将分时租赁汽车作为缓解大城市私家车快速增长压力的重要方法之一。截至2018年11月,中国共享汽车行业APP用户规模达952.4万,相较2017年同期增长1.4倍^①,共享汽车市场发展潜力巨大。

城市研究领域有关共享汽车的讨论大都集中于站点布局模式和经营发展策略等方面,如分析周边建成环境等因素对站点流量的影响、站点布局优化算法、用户出行行为特征等^[7-15]。实证分析表明,共享汽车站点流量和周边人口密度、土地利用混合度、人行道宽度、各类设施可达性等因素紧密相关^[9-14]。

相较于站点研究丰硕的成果,针对共享汽车用户出行行为的研究较少,多基于旅行调查和社区调研等传统数据源开展^[16-23]。针对国内外不同城市的实证研究显示,共享汽车出行距离和时长均比传统拼车出行短^[20],不同用地类型上产生的基于不同出行目的的用车时段和时长存在明显差异^[16-18],共享汽车多被应用于购物等休闲行为^[17-21],大学生等年轻群体是共享汽车的主要用户^[21]。传统调查数据

收稿日期:2021-01-06;修订日期:2021-04-09。

基金项目:北京大学(深圳)未来城市实验室铁汉科研开放课题基金(201804)。[Foundation: The Future City Laboratory of Peking University (Shenzhen), Tiehan Research Open Project Fund, No. 201804.]

第一作者简介:仝德(1980—),女,陕西西安人,博士,副教授,研究方向为城市化与土地经济。E-mail: tongde@pkusz.edu.cn

*通信作者简介:龚咏喜(1974—),男,博士,副教授,主要研究方向为空间行为、地理信息科学。E-mail: gongyx@hit.edu.cn

① 数据来自《极光大数据:2019年1月共享汽车行业研究报告》。

引用格式:仝德,周心灿,龚咏喜. 基于大数据的上海市共享汽车出行模式研究[J]. 地理科学进展, 2021, 40(12): 2035-2047. [Tong De, Zhou Xincan, Gong Yongxi. Car-sharing travel patterns in Shanghai based on big data. Progress in Geography, 2021, 40(12): 2035-2047.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.12.005

在全面、客观获取出行信息和特征方面存在局限,而将城乡居民行为作为研究的核心和切入点,通过用户行为或共享汽车企业运营大数据对用户画像,从而更为精准地提炼用户行为特征,并开展预测和运营策略分析,是智慧城市背景下推动本领域研究进展的热点趋势^[24-26]。

本文以上海市为研究区,利用2018年EVCARD公司共享汽车运营和百度地图城市POI等大数据,研究共享汽车用户出行的空间、时间和频次特征,并对用户开展出行模式聚类,挖掘业已形成的典型出行规律。研究结果旨在揭示现状规模和布局状态下,共享汽车在城市居民出行中发挥的作用,为超大城市推动发展更为高效的共享汽车系统、共享汽车企业更有针对性地拓展市场规模和提高运营效率提供思路借鉴。

1 数据和方法

1.1 研究区概况

上海市总面积为6340.5 km²,全市下辖16个区。截至2019年末,常住人口为2428.14万,私家车保有量415.8万辆,在全国城市中排名第5位^②。在高私家车保有量的同时,上海市也以其良好的公共交通系统闻名,在网络距离、运营车辆数量和日载客量方面都优于中国绝大多数城市,但也存在公共交通可达性区域差异大、郊区公共交通资源相对匮乏等问题亟需改进^[27]。近年来,滴滴、Uber等国内外共享汽车巨头纷纷聚集于此,本土共享交通企业也快速壮大,上海正在成为中国共享经济的创新之都。

1.2 数据来源

本文采用上海市EVCARD汽车共享公司的运营数据进行研究。EVCARD是为居民提供自驾共

享汽车服务的上海本土企业,业务遍及浙江、江苏、四川、海南、重庆等省区,运营车辆均为新能源汽车,总数超过5万辆,处于行业的第一阵营^③。截至2018年,上海市共有EVCARD共享汽车站点3598个,投入运营车辆超过2万辆,注册用户超过10万人^④。本文以2018年每个季度第一周扣除节假日后剩余的17 d(12个工作日和5个休息日)为研究时段,数据主要来自各站点的借还信息,包括每一笔订单的用户ID、借还车所在站点位置和借还时间等(表1)。通过数据清洗,将研究期内持续正常运营的2978个站点作为研究样本,在研究期间内,68392名用户共出行了22.76万次,次均用车时长为88 min。

同时,通过百度地图获取了上海市2018年POI数据集共计32万条数据,包括居住、购物、餐饮、政府机关、医院、学校、写字楼、金融机构、旅游景点、公共交通站点等类型POI的位置、名称、类型等属性信息。使用该数据定义共享汽车站点附近的功能区属性,从而可以在广义上识别用户的活动目标(如上班、返家、休闲娱乐等),以便综合分析用户出行模式。

1.3 研究方法

1.3.1 研究框架

本文在总体概括了共享汽车用户出行空间、时间和频次特征的基础上,提炼出行模式,挖掘典型出行规律,研究框架如图1。为更精准开展特征和模式研究,先使用频数密度指标法定义站点功能区类型;在进行共享汽车出行模式聚类时,使用K均值聚类法从出行空间特征、时间特征以及使用频次3个方面展开。

1.3.2 站点功能区类型定义

利用出行时间、起始点和目的地(origin-destination, OD)空间属性、以及出行距离等信息,建立个

表1 共享汽车出行数据样例

Tab.1 A sample of car-sharing travel data

订单编号	用户编号	取车网点编号	取车网点名称	还车网点编号	还车网点名称	取车时间	还车时间
2504	4	1530	五角场创智天地	5221	汤连得宝山店	2018-04-06T17:13	2018-04-06T17:53
2505	4	5155	虹口百联	7491	仙乐斯广场	2018-01-04T15:25	2018-01-04T18:45
2511	4	175	青浦工商学院	147	大宁国际	2018-01-06T16:57	2018-01-06T18:49

② 参见中国公安部网站(<https://www.mps.gov.cn/>)。

③ 参见EVCARD公司官网(<https://www.evcard.com/>)。

④ 参见上海市交通港航发展研究中心《新能源分时租赁汽车运行研究》。

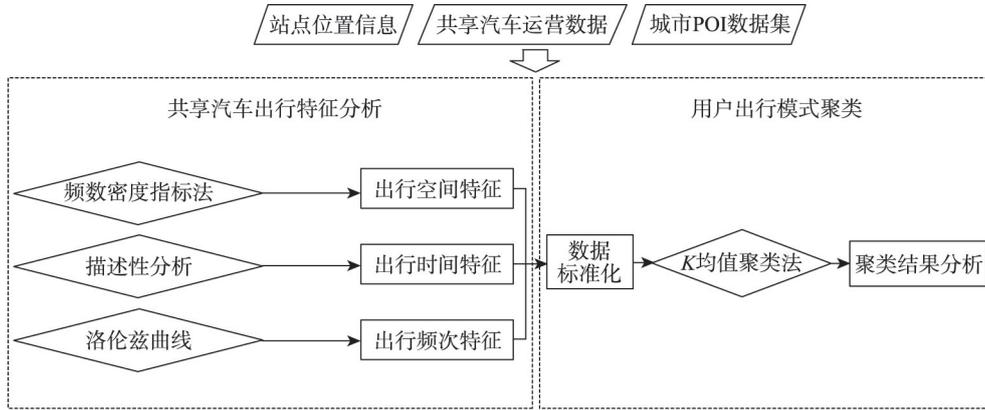


图1 共享汽车出行模式研究框架

Fig.1 Research framework of car-sharing travel patterns

体活动的预测模型,是最近行为地理学研究的新潮流^[28-29]。共享汽车出行相较于私家车和出租车,虽因取还车站位置比较固定,用户出行的真实OD点和取还车站位置存在一定差异。但实际上,除个别情况用户会使用共享汽车中转外,一般来说,只有当站点在真实OD点附近时,用户才会将共享汽车作为出行首选,因此以取还站点功能表征用户出行目的,是现阶段缺失用户真实出行意愿情况下,最可行的评估方法,不会对研究结论造成明显偏差。

本文将1 km设置为共享汽车站点的最大服务半径^[6,23],并在此范围内以各站点为重心建立泰森多边形,从而确定各站点服务范围。泰森多边形是对空间平面的一种剖分方法,其特点是多边形内的任何位置离该多边形重心距离小于其他任何重心^[30]。每个泰森多边形包含的区域可近似理解为使用共享汽车出行的始末区位。对每一个多边形单元,构建POI指标频数密度(frequency density)和类型比例(category ratio)来识别功能性质,计算公式如下:

$$F_i = \frac{n_i}{N_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$C_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \times 100\% \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: i 表示POI类型; n_i 表示单元内第*i*种类型POI数量; N_i 表示第*i*种类型POI总数; F_i 表示第*i*种类型POI占该类型POI总数的频数密度; C_i 表示第*i*种类型POI的频数密度占单元内所有类型POI频数密度的比例。根据研究需要,将具有类似功能的POI数据类型合并,并提炼出4大城市核心生活功能(居

表2 上海市POI类型与4大城市核心生活功能匹配

Tab.2 Matching table of point of interest (POI) types and four core living functions in Shanghai

功能划分	POI类型
居住功能	住宅区,商务住宅
工作功能	写字楼,公司企业,工厂
休闲功能	餐饮服务,购物服务,公园广场,风景名胜
教育医疗功能	教育机构,医院

住、工作、休闲、教育医疗)开展分析(表2)。

计算每个共享汽车站点服务区单元各功能POI的*C_i*值,当某类*C_i*值超过50%时,确定该单元为单一功能区;当单元内所有功能POI的*C_i*值均没有达到50%时,该单元为混合功能区;当单元内不包含上述4种功能的POI类型时,该单元为空值区。

1.3.3 K均值聚类法

本文的样本规模大、聚类指标多,适合选用简单易行的K均值聚类方法进行聚类分析^[32]。K均值聚类法通常将样本数据按照某种特征自动划分为*n*组,在选择初始聚类中心的基础上,依据距离规则反复迭代以确定最终分组。具体计算步骤为:①系统随机选择*n*个元素作为*n*个组的初始元素;②将剩余的元素分配到距离最近的组中,并以均值作为该组的新中心;③迭代直到组间关系稳定为止。本文运用肘部法则(Elbow Method)^[33]来确定聚类数目,将每个簇的质点与簇内样本点的平方距离误差作为畸变程度(distortions),畸变程度会随着类别的增加而降低,但对于有一定区分度的数据,在达到某个临界点时畸变程度会得到极大改善,之后缓慢下降,这个临界点就可以考虑为聚类性能较好

的点。基于这个指标,重复训练多个 K 均值模型,选取不同的聚类数目,得到相对合适的聚类类别。

2 共享汽车出行特征分析

2.1 共享汽车出行空间特征

图2展示了EVCARD共享汽车站点在上海市的分布情况和以行政区为单元的分区密度(每 1 km^2 内含站点数量),呈现出以城市南北向为核心发展轴和主要交通干线向外围区域衰减的格局,远郊区也有站点触达,表明上海共享汽车已基本实现了全市覆盖。全市站点最为密集的区域为嘉定区,该区是上海市汽车产业中心,也是共享汽车投放的试验田。

根据前文所述站点功能区定义方法计算可得,上海市2978个共享汽车站点服务区被划分为5类城市功能区(图3),分别为混合(862个)、居住(690个)、

工作(378个)、休闲(425个)和教育医疗(343个)功能区。其中,混合功能区占比最大(28.95%),主要分布在黄浦江沿岸的中心城区及主要干道附近地区,其他各类单一功能区则体现出分散布局的特征,这与上海市城区鼓励土地混合利用的政策导向有关。

根据研究期内所有共享汽车借还记录,工作日中发生在混合功能区和居住、休闲、工作及教育医疗4类单一功能区的借还行为分别占比44.47%、18.70%、12.83%、11.49%和10.51%,明显可见工作日中共享汽车的出行活动较为集中于中心城区的混合功能区。而休息日出行活动的空间布局则比较分散,休闲功能区借还行为占比最高,但也仅为23.68%;混合、居住、工作和教育医疗四类功能区出行活动占比分别为19.89%、17.52%、13.26%和19.78%。

2.2 共享汽车出行时点特征

图4显示了共享汽车工作日和休息日日均每小

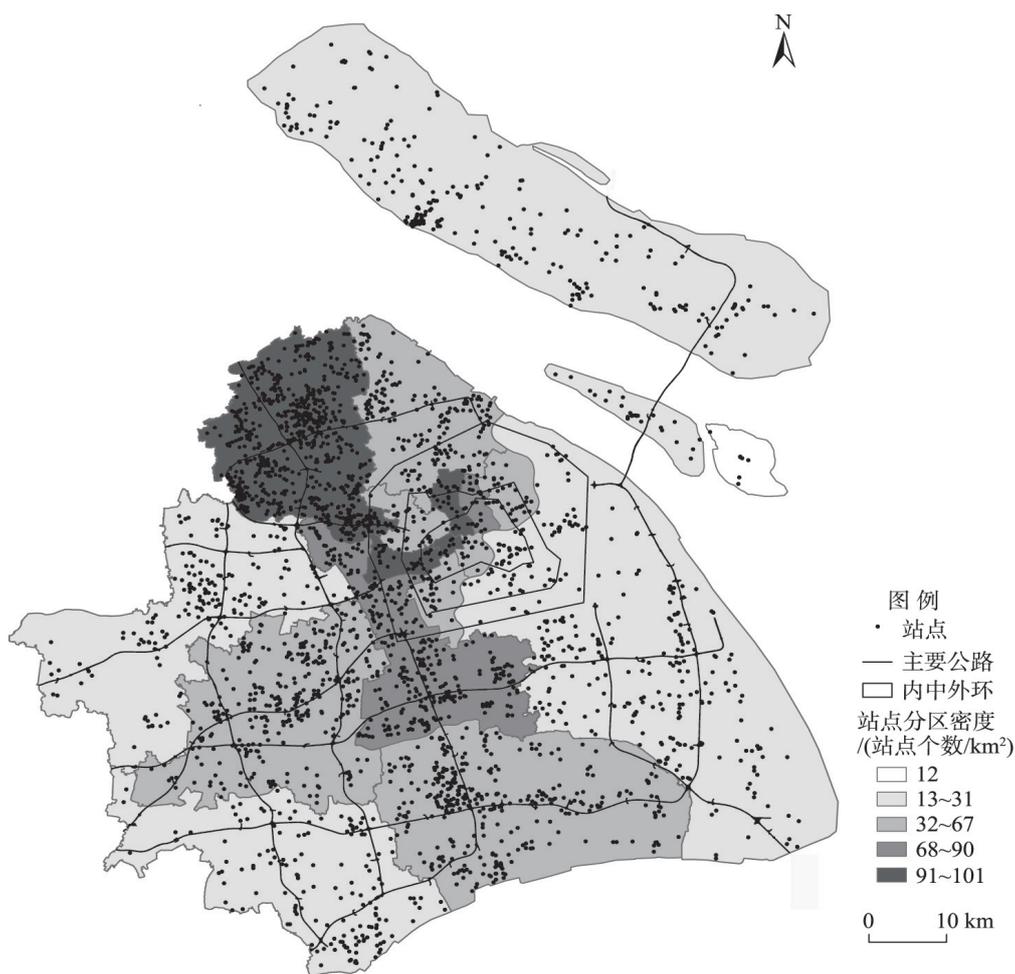


图2 上海市EVCARD共享汽车站点分布以及分区密度

Fig.2 Distribution and zonal density of EVCARD car-sharing stations in Shanghai

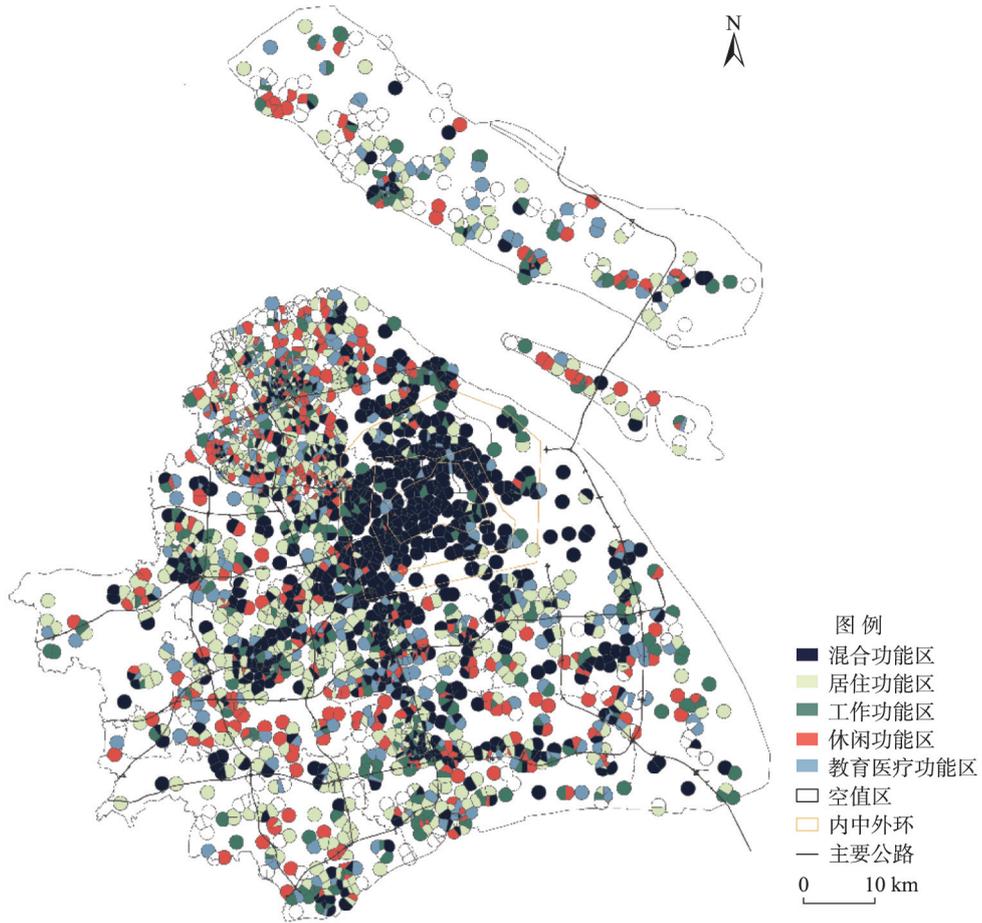


图3 上海市共享汽车站点功能区划分结果

Fig.3 Functional areas of car-sharing stations in Shanghai

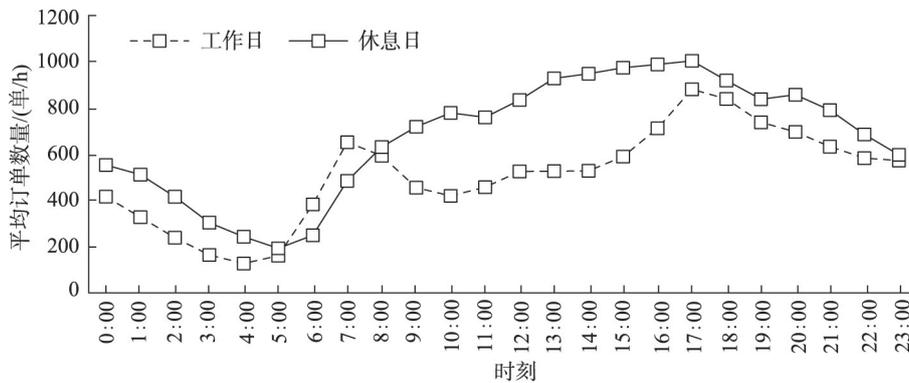


图4 工作日和休息日每小时共享汽车订单数量对比

Fig.4 The number of car-sharing orders per hour on weekdays and weekends

时产生的订单数量。总体而言,共享汽车在休息日更受欢迎,日均订单量约为 11870 单,是工作日的 1.86 倍。这与瑞士^[11]、加拿大^[22]和美国^[12]等地的实证研究结论高度一致,表明相比于地铁、公交车等公共交通的通勤功能,共享汽车被更多地使用于周末休闲娱乐等非通勤活动中。

从一日内共享汽车各时点的使用特征来看,工作日和休息日夜间特征趋势一致,都是一天中的低谷,但休息日日均订单量比工作日多约 200 单/h。工作日与休息日时点特征的差异主要体现在日间出行活动中。工作日存在 2 个较为明显的时点峰值,分别为早高峰的 7:00 和晚高峰的 17:00,充分体

现出通勤行为的时点特征。休息日在日间的出行变化趋势比较平滑,从黎明开始稳步上升,到傍晚时分达到峰值,而后又平稳下降。

2.3 共享汽车出行时长特征

经统计,研究期内所有共享汽车订单的平均时长为 88 min,明显高于加拿大、美国和澳大利亚的实证结果^[12,22],也高于2019年上海市单程通勤的平均时长(57 min),与通勤距离最长 10%人口的单程通勤平均时长(98 min)基本持平^[31],这表明目前上海的共享汽车出行主要用于满足居民中长途日常用车需求。

图5展示了共享汽车每周日均单次使用时长,工作日单次出行的平均时长为 95.6 min,高于休息日(74.6 min),一方面体现出休息日交通更通畅的普遍规律,另一方面也表明在长途出行方面,共享汽车在工作日更受欢迎。而工作日晚间日均单次出行时长也不均衡,星期一至星期三的平均时长明显高于星期四和星期五。经访谈得知,这与公司试点的优惠政策有关:研究期内恰逢共享汽车平台在星期一至星期三为用户发放满减优惠券(如满 80 减 40 元的优惠券),这促使大量原本计划通过出租车或快车、甚至公交车等方式中长途出行的居民改为共享汽车出行。

2.4 共享汽车用户出行频次特征

在研究期的 17 d 中,用户人均使用共享汽车出行 3.33 次,但群体间差异巨大。本文利用洛伦兹曲线刻画用户出行次数的不均衡程度,其中横轴表示按照出行次数由低到高的用户个数累计百分比,纵轴表示出行次数累计百分比,洛伦兹曲线弯曲程度越大,出行次数的不均衡程度越大。如图6所示,出行频次最低的 30% 用户所贡献订单数量之和不到订单总量的 10%,该类客户在研究期仅使用过 1 次共享汽车,可能仅为体验式消费;而出行频次最高的 10% 用户所贡献订单数量之和超过了订单总量的 40%,该类客户中使用共享汽车次数大于等于 9

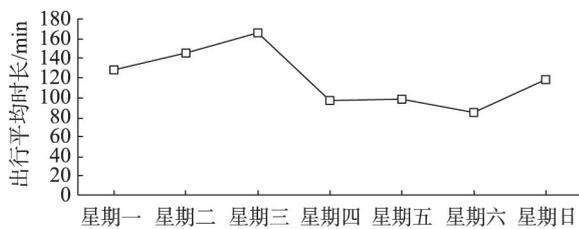


图5 共享汽车周内出行每日平均时长
Fig.5 Average car-sharing length of daily trips

次,最高频次达到 84 次(日均 5 次),用户粘性高,是目前共享汽车服务的主力客户群;另外 60% 的用户出行次数在 2~8 次,占订单总量的一半,频率虽不高但用户基数大,可作为商家重点拓展的潜在客户。

3 共享汽车出行模式聚类分析

3.1 聚类指标选取

本文将研究期内 68392 名有效用户作为样本,从空间、时间和出行频次 3 个方面选取 18 个指标开展聚类分析,提炼典型出行模式并剖析其内涵。鉴于 2.2 节中揭示出的共享汽车在工作日与节假日存在显著差异的使用特征,聚类分工作日和休息日 2 组开展。

空间指标包括取车点功能区和还车点功能区 2 类,根据 2.1 节定义的共享汽车站点功能区属性,通过分别计算每个用户所有出行起止点的功能区占比获得。时间指标包括出行时点和时长 2 类:时点按照凌晨 3:00~7:00、早高峰 7:00~11:00、午间 11:00~17:00、晚高峰 17:00~20:00、夜晚 20:00~24:00 以及半夜 0:00~3:00 这 6 个用车时段划定,统计研究期内每位用户在每个时段的出行总次数;时长指标以研究期内每位用户的平均单次用车时长度量。出行频次指标通过统计每位用户在研究期内的日均出行次数获得(指标具体定义及算法如表 3 所示)。

3.2 出行模式聚类结果

分别对工作日和休息日 2 组用户出行信息进行

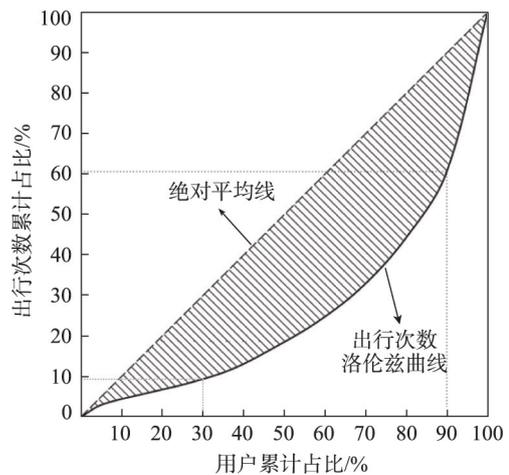


图6 共享汽车用户出行次数的洛伦兹曲线
Fig.6 Lorentz curve of the number of trips made by car-sharing users

表 3 聚类指标汇总

Tab.3 Summary of cluster indicator

类型		指标	指标描述
空间特征	取车地功能区特征	混合功能区	取车地中混合功能区所占比例
		居住功能区	取车地中居住功能区所占比例
		工作功能区	取车地中工作功能区所占比例
		休闲功能区	取车地中休闲功能区所占比例
		教育医疗功能区	取车地中教育医疗功能区所占比例
	还车地功能区特征	混合功能区	还车地中混合功能区所占比例
		居住功能区	还车地中居住功能区所占比例
		工作功能区	还车地中工作功能区所占比例
		休闲功能区	还车地中休闲功能区所占比例
		教育医疗功能区	还车地中教育医疗功能区所占比例
时间特征	时点	凌晨	3:00~7:00 间出行次数所占比例
		早高峰	7:00~11:00 间出行次数所占比例
		午间	11:00~17:00 间出行次数所占比例
		晚高峰	17:00~20:00 间出行次数所占比例
		夜晚	20:00~24:00 间出行次数所占比例
		半夜	0:00~3:00 间出行次数所占比例
	时长	平均出行时长	平均出行时长
出行频次		研究期内日均出行次数	

K均值聚类, 并利用肘部法则多次训练选取最优聚类数目。确定工作日的主要出行模式可分为 6 类, 对整体用户解释率为 70.10%; 休息日的主要出行模式可分为 4 类, 对整体用户解释率为 70.05%。

3.2.1 工作日出行模式

表 4 显示了工作日主要出行模式的结果, 共展现了 6 类具有不同出行特征的用户人群。其中类型 1、2 的人均日出行数最高(高于 0.6 次/d), 代表高频用户出行模式; 类型 3~5 的人均日出行数最低(约为 0.13 次/d), 代表低频用户出行模式; 类型 6 的人均日出行数居中(0.356 次/d), 代表中频用户出行模式。图 7 为各类人群使用共享汽车的出行热度空间分布图, 表征了上海市每个 1 km×1 km 网格单元内的日均取还车次数, 可见共享汽车在工作日的使用主要集中在外环以内的城区以及中心干道附近。

类型 1 和类型 2 反映了高频用户的主要出行模式。类型 1 用户数为 2394 人, 占用户总数的 3.52%, 这类用户出行时点集中在工作日白天, 始末点主要为混合、工作和休闲功能区, 代表高频用户利用共享汽车进行通勤行为的出行模式。从该类人群取还车空间分布看(图 7a), 出行热点为外环以内中心城区以及南北向主要干道沿线区域。类型 2 用户数为 2200 人, 占用户总数的 3.23%, 这类用户出行时

点集中在夜间, 始末点主要为混合和居住功能区, 代表高频用户夜间活动后使用共享汽车返家的行为模式, 该类人群的出行热点显著集中于外环以内的中心城区(图 7b)。另外, 这类模式的用车时长是 6 类中最短的, 也反映出夜间交通顺畅的特点。

类型 3~5 反映了低频用户间出行的差异化行为模式。类型 3 共涉及用户 7744 人, 占用户总量的 11.39%, 该类用户 90% 以上的出行时间集中在晚饭前后时点, 借还点以混合功能区和休闲功能区为主, 出行热点集中在中心城区和部分郊区副中心(图 7c), 表示低频用户偶尔利用共享汽车外出就餐及餐后返家的行为模式。类型 4 是覆盖人群最多的一类, 涉及用户 9622 人, 占用户总量的 14.15%, 通常在白天出行, 取还车地点集中于混合功能区, 出行热点分散于各个区的副中心(图 7d), 是一种低频用户偶尔使用共享汽车实现远距离通勤或外出办事的行为模式。类型 5 的用户数为 7943 人, 占用户总量的 11.68%, 其出行时点和功能区与类型 2 类似, 均反映了夜生活后使用共享汽车返家的行为模式, 但此类用车平均时长超过前者的 2 倍, 表明对于居住在中心区位的低频用户来说(图 7e), 共享汽车可能仅在长途时比出租车等夜间交通工具更有优势。

表4 工作日共享汽车用户出行模式聚类结果
Tab.4 Car-sharing users' clustering results of travel pattern on weekdays

类型	指标	类型1 通勤高频模式	类型2 夜间高频模式	类型3 夜间低频模式	类型4 全时段低频模式	类型5 晚高峰低频模式	类型6 通勤中频模式	
空间特征	取车地	混合	0.22	0.57	0.50	0.95	0.29	0.29
		功能区特征	居住	0.11	0.16	0.12	0.02	0.15
	还车地	工作	0.23	0.06	0.12	0.01	0.20	0.22
		休闲	0.19	0.12	0.14	0.01	0.18	0.19
		教育医疗	0.18	0.07	0.09	0.01	0.14	0.15
		混合	0.20	0.62	0.51	0.95	0.30	0.28
		居住	0.10	0.11	0.11	0.01	0.16	0.09
		工作	0.21	0.07	0.10	0.01	0.16	0.22
		休闲	0.25	0.11	0.14	0.01	0.19	0.20
教育医疗	0.18	0.06	0.03	0.01	0.15	0.15		
时间特征	时点	凌晨	0.06	0.13	0.01	0.08	0.01	0.13
		早高峰	0.22	0.03	0.01	0.16	0.01	0.59
		中午	0.24	0.04	0.01	0.27	0.01	0.05
		晚高峰	0.29	0.05	0.03	0.29	0.93	0.05
		夜晚	0.15	0.40	0.90	0.07	0.03	0.04
		半夜	0.03	0.35	0.03	0.11	0.01	0.13
	时长	平均时长/min	78.12	43.52	73.20	97.48	108.88	102.48
出行频次	人均出行/(次/d)	0.698	0.602	0.136	0.128	0.126	0.356	
各类型人数/人		2394	2200	7744	9622	6781	6979	

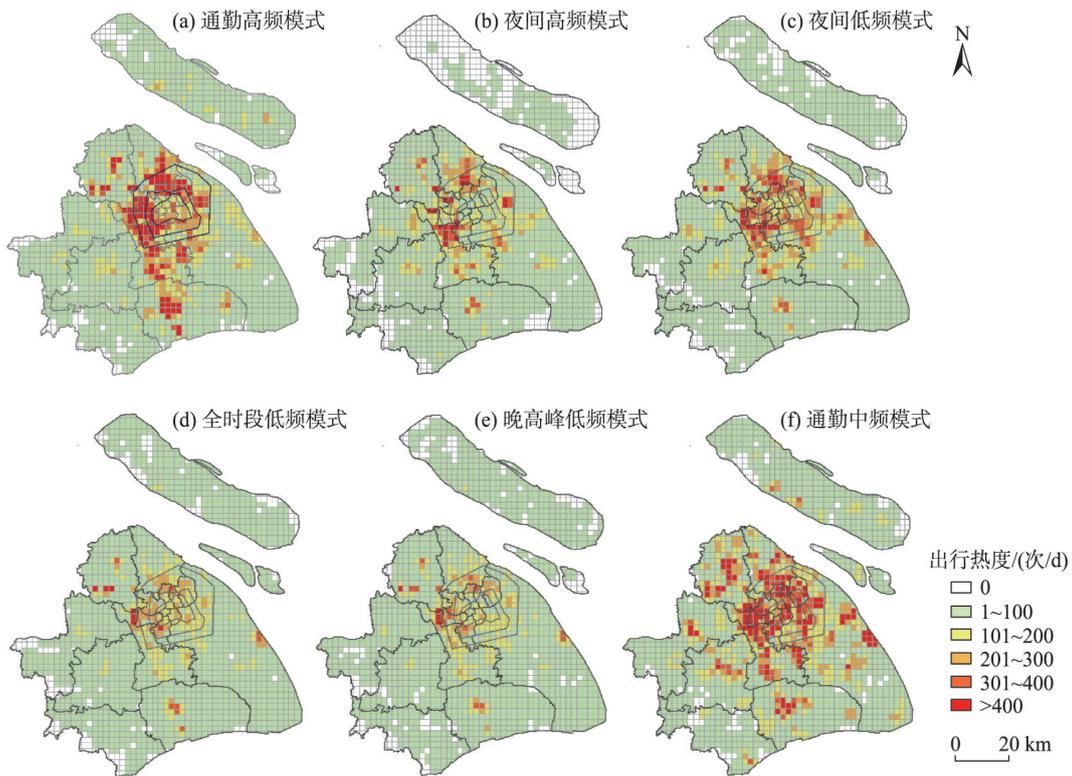


图7 工作日各类人群使用共享汽车的出行热度空间分布

Fig.7 Spatial distribution heat maps of the trips made by different types of car-sharing users on weekdays

类型6用户的出行频次介于高频与低频之间, 人数为6979人, 占用户总量的10.26%, 其主要用车时间集中于通勤早高峰, 功能区类型主要为混合和工作, 出行热点分布极广泛(图7f), 反映了中频用户利用共享汽车通勤的行为模式。值得注意的是, 中低频用户的通勤距离(用车时长)远远大于高频用户, 这是因为共享汽车的使用价格和便捷度可能仅在长距离时才具有比出租车更强的竞争力。

3.2.2 休息日出行模式

共享汽车用户在休息日的主要出行模式可聚为4类, 对整体用户解释率为70.05%。如表5所示, 类型1的人均日出行数高于1次, 类型2~4的人均日出行数则均低于0.3次, 与工作日相比, 共享汽车在周末的人均出行量表现出明显的两极分化特征。但从出行热点空间分布看, 休息日分布较为单一, 集中出现在基础设施完善、商服设施密集的城市主城区和副中心等, 各类型用户行为未体现出明显差异(图8)。

休息日的聚类结果中, 只有类型1反映了高频用户的出行模式, 其用户数为5144人, 占用户总数

的7.56%, 这类用户出行时点集中在11:00~20:00, 出行时长相对最短, 始末点以混合功能区为主, 出行热点集中在中心城区和浦西的主干道附近(图8a), 体现出高频用户在休息日日间的休闲活动模式。类型2是覆盖人群最多的一类, 共涉及用户9378人, 占用户总数的13.79%, 出行时点集中在晚饭前后, 取车地主要为混合功能区, 还车地主要为居住和休闲功能区; 类型4涉及用户5446人, 占用户总量的8.03%, 活动时间与类型2一致, 集中于晚饭前后, 但始末点以休闲功能区为主。类型2和4共同代表低频用户偶尔使用共享汽车开展周末晚间休闲活动的行为模式, 区别在于取还车的主要功能区不同, 且类型2的出行时长更短。总体而言, 类型2主要体现中心城区指向的中长途休闲活动(图8b), 而类型4反映出往返于上海各处休闲用地的长途出行活动模式(图8c)。类型3用户数为6897人, 占用户总量的10.14%, 始末点以工作、混合功能区为主, 主要出现在休息日白天, 出行热点区较为分散(图8d), 反映出低频用户周末加班时偶尔利用共享汽车出行的活动模式。

表5 休息日共享汽车用户出行模式聚类结果
Tab.5 Car-sharing users' clustering results of travel pattern on weekends

类型	指标	类型1: 日间高频 模式	类型2: 晚间低频 模式	类型3: 日间加班 低频模式	类型4: 晚间休闲 低频模式	
空间特征	取车地功能区特征	混合	0.47	0.93	0.08	0.08
		居住	0.17	0.02	0.03	0.04
		工作	0.11	0.01	0.46	0.02
		休闲	0.13	0.01	0.02	0.81
		教育医疗	0.09	0.02	0.36	0.03
	还车地功能区特征	混合	0.46	0.09	0.34	0.30
		居住	0.17	0.30	0.11	0.12
		工作	0.11	0.19	0.21	0.07
		休闲	0.14	0.22	0.09	0.39
		教育医疗	0.09	0.17	0.20	0.08
时间特征	时点	凌晨	0.07	0.08	0.04	0.05
		早高峰	0.15	0.15	0.18	0.17
		中午	0.25	0.14	0.31	0.10
		晚高峰	0.23	0.32	0.25	0.24
		夜晚	0.19	0.20	0.15	0.36
		半夜	0.10	0.11	0.06	0.07
		时长	平均时长/min	49.95	63.56	82.67
	出行频次	人均出行/(次/d)	1.059	0.298	0.234	0.247
各类型人数/人		5144	9378	6897	5466	

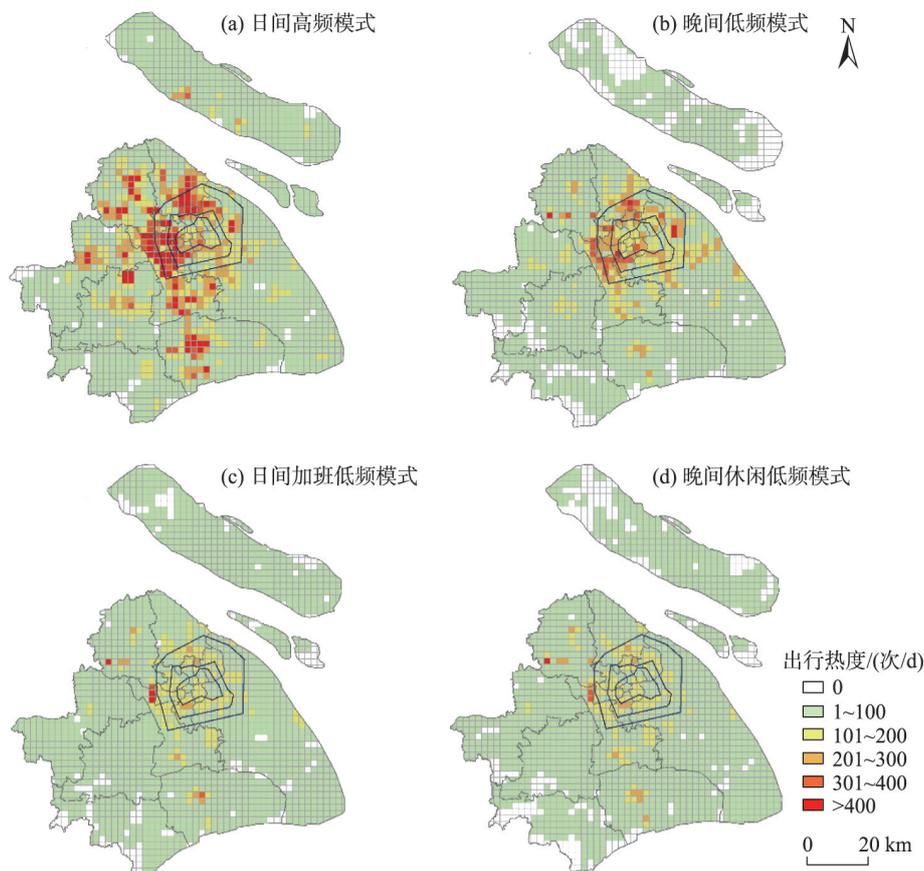


图8 休息日各类人群使用共享汽车的出行热度空间分布

Fig.8 Spatial distribution heat maps of the trips made by different types of car-sharing users on weekends

4 结论与讨论

本文利用上海市共享汽车运营数据和POI数据,剖析用户出行空间、时间和出行频次等行为特征,并开展聚类分析,揭示共享汽车在工作日与休息日若干具有代表性的出行模式。主要结论有:

第一,上海共享汽车市场发展时间短,虽规模不大,但已培养出一批相对稳定的使用人群,并形成了较为规律的出行特征,正逐渐成为其他交通方式的有效补充。工作日与休息日的共享汽车使用仍都主要集中于上海中心城区和副中心区域等人口密集区,但行为特征存在显著差异。工作日共享汽车出行较集中于中心城区的混合功能区,早晚通勤高峰使用量大,平均单次使用时长约为1.5 h,反映出中长途日常用车需求。与工作日相比,休息日共享汽车出行空间布局较分散,使用量更高、平均单次使用时长更短且仅存在傍晚1个使用高峰。

第二,根据工作日与休息日共享汽车用户在空间、时间和使用频次方面的特征,可将用户用车行

为划分为10种典型类型,包括工作日6种和休息日4种,分别为:①工作日通勤的高频模式;②工作日夜间活动的高频模式;③工作日通勤的中频模式;④工作日偶尔用车晚餐及返家的低频模式;⑤工作日偶尔用车远距离通勤或外出办事的低频模式;⑥工作日晚间长距离返家的低频模式;⑦休息日日间休闲的高频模式;⑧休息日傍晚离家休闲的中长途低频模式;⑨休息日傍晚在休闲地之间穿梭的远距离低频模式;⑩休息日日间加班的低频模式。

第三,挖掘共享汽车使用行为模式可知,目前相对稳定的中高频用户主要使用共享汽车实现远距离通勤和周末中短距离休闲活动,空间区域主要集中在中心城区和副中心区域。而低频用户使用共享汽车多为夜间、长距离、休息日加班等公共交通难以满足需求、出租车成本过高的情景,空间分布也比较分散,“低频”的原因一方面由于上述行为发生几率低,另一方面也可能由使用者初期体验满意度不高、缺乏持续使用意愿导致。

目前上海市共享汽车出行总量虽较小,并未对

城市整体交通体系产生显著影响,但基于业已形成的几类出行模式,可深入探讨优化共享汽车运营以及政府管理的思路。首先,共享汽车运营企业应根据用户的不同出行模式,量身定制多样化用车方案。高频用户的出行情景较为单一,用车频次高而出行时长较短,注重汽车供应的稳定性以及出行的性价比,针对该类用户,企业可在线上平台提供中低档车型的包周或包月等价格优惠方案,进一步增强用户粘性;低频用户的出行情景多样,他们的用车频次低而出行时长相对较长,更注重共享汽车使用灵活、不受出行时间和距离限制的特点,针对该类用户,企业可主要提供中高档车型按次收费的优惠体验方案,提高低频用户的用车满意度,逐步吸引其提高使用频次。其次,共享汽车运营企业可参考各类型人群的出行热点分布图,通过空间调度进一步提升现有车辆资源的利用效率。例如根据用户出行规律,在工作日的白天将非职住地的车辆就近调配给通勤出行热点区域,在晚间将车辆就近调配给大学城或休闲娱乐集聚区等出行热点区域,提高车辆使用率。

大城市的私家车保有量激增是交通拥堵问题的主要原因,本文发现共享汽车可以满足10类出行行为的需求,承担了部分私家车的职能,在一定程度上能降低用车人群对私家车的购买意愿。故锁定共享汽车用户群体,对出行热点区域共享汽车的配套服务建设进行扶持应成为大城市控制私家车保有量的要点之一。

共享汽车用户出行和城市POI等类型大数据的使用虽弥补了调查问卷数据量小、代表性不足等缺陷,但由于其缺乏个人社会经济属性及出行真实目的和意愿等信息,在模式提炼和机制解剖等方面尚不充分,亟需大小数据结合进行深入研究。

参考文献(References)

- [1] 孙守恒, 王维才. 基于因子分析的城市汽车共享环境评价 [J]. 经济地理, 2017, 37(6): 84-91. [Sun Shouheng, Wang Weicai. Evaluation of car sharing environment in cities based on factor analysis. *Economic Geography*, 2017, 37(6): 84-91.]
- [2] Amatuni L, Ottelin J, Steubing B, et al. Does car sharing reduce greenhouse gas emissions? Assessing the modal shift and lifetime shift rebound effects from a life cycle perspective [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 266: 121869. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121869.
- [3] Chapman D A, Eyckmans J, van Acker K. Does car-sharing reduce car-use? An impact evaluation of car-sharing in Flanders, Belgium [J]. *Sustainability*, 2020, 12(19): 8155. doi: 10.3390/su12198155.
- [4] Tsuji K, Kurisu K, Nakatani J, et al. Evaluation of environmental impact of car sharing in consideration of uncertainty of influential variables [J]. *International Journal of Automation Technology*, 2020, 14(6): 975-983.
- [5] 邵滢璐, 李昕阳, 姚立. “出行即服务”系统下的城市空间影响探析 [J]. 城市发展研究, 2019, 26(S1): 60-64. [Shao Yinglu, Li Xinyang, Yao Li. Exploring the influence of MaaS on urban space. *Urban Development Studies*, 2019, 26(S1): 60-64.]
- [6] Illgen S, Höck M. Establishing car sharing services in rural areas: A simulation-based fleet operations analysis [J]. *Transportation*, 2020, 47(2): 811-826.
- [7] 曹小曙, 胡培婷, 刘丹. 电动汽车充电站选址研究进展 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(1): 139-152. [Cao Xiaoshu, Hu Peiting, Liu Dan. Progress of research on electric vehicle charging stations. *Progress in Geography*, 2019, 38(1): 139-152.]
- [8] 孙小慧, 刘锴, 左志. 考虑时空限制的电动汽车充电站布局模型 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(6): 686-692. [Sun Xiaohui, Liu Kai, Zuo Zhi. A spatiotemporal location model for locating electric vehicle charging stations. *Progress in Geography*, 2012, 31(6): 686-692.]
- [9] Hu S H, Chen P, Lin H F, et al. Promoting carsharing attractiveness and efficiency: An exploratory analysis [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 65: 229-243.
- [10] Chen X H, Cheng J Q, Ye J H, et al. Locating station of one-way carsharing based on spatial demand characteristics [J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 2018: 1-16.
- [11] Becker H, Ciari F, Axhausen K W. Modeling free-floating car-sharing use in Switzerland: A spatial regression and conditional logit approach [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 81: 286-299.
- [12] Kim K. Can carsharing meet the mobility needs for the low-income neighborhoods? Lessons from carsharing usage patterns in New York City [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015, 77: 249-260.
- [13] Awasthi A, Breuil D, Chauhan S S, et al. A multicriteria decision making approach for carsharing stations selection [J]. *Journal of Decision Systems*, 2007, 16(1): 57-78.
- [14] Brandstätter G, Leitner M, Ljubić I. Location of charging

- stations in electric car sharing systems [J]. *Transportation Science*, 2020, 54(5): 1408-1438.
- [15] Cohen A, Shaheen S. Planning for shared mobility [R]. Planning Advisory Service Report 583. Berkeley, USA: Transportation Sustainability Research Center, University of California, 2018: 34-47.
- [16] Shaheen S, Cohen A, Yelchuru B, et al. Mobility on demand operational concept report [R]. FHWA- JPO- 18- 611. Richmond, USA: Transportation Sustainability Research Center, University of California Richmond Field Station, 2017.
- [17] 王羽. 共享经济商业模式研究: 以汽车共享为例 [D]. 长春: 吉林大学, 2019. [Wang Yu. A study on the business model of sharing economy: Take car sharing as an example. Changchun, China: Jilin University, 2019.]
- [18] Wielinski G, Trépanier M, Morency C. What about free-floating carsharing? A look at the Montreal, Canada, case [J]. *Transportation Research Record*, 2015, 2563(1): 28-36.
- [19] Schaeffers T. Exploring carsharing usage motives: A hierarchical means-end chain analysis [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2013, 47: 69-77.
- [20] Xie K X, Deng K, Zhou X F. From trajectories to activities: A spatio-temporal join approach [C]// Proceedings of the 2009 international workshop on location based social networks. New York, USA: ACM, 2009: 25-32.
- [21] de Lorimier A, El-Geneidy A M. Understanding the factors affecting vehicle usage and availability in carsharing networks: A case study of communauto carsharing system from Montréal, Canada [J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2013, 7(1): 35-51.
- [22] Costain C, Ardron C, Habib K N. Synopsis of users' behaviour of a carsharing program: A case study in Toronto [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2012, 46(3): 421-434.
- [23] Li W B, Kamargianni M. Steering short-term demand for car-sharing: A mode choice and policy impact analysis by trip distance [J]. *Transportation*, 2020, 47(5): 2233-2265.
- [24] Gong L, Liu X, Wu L, et al. Inferring trip purposes and uncovering travel patterns from taxi trajectory data [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2016, 43(2): 103-114.
- [25] Daraio E, Cagliero L, Chiusano S, et al. Predicting car availability in free floating car sharing systems: Leveraging machine learning in challenging contexts [J]. *Electronics*, 2020, 9(8): 1322. doi: 10.3390/electronics9081322.
- [26] 甄峰, 席广亮, 秦萧. 基于地理视角的智慧城市规划与建设的理论思考 [J]. *地理科学进展*, 2015, 34(4): 402-409. [Zhen Feng, Xi Guangliang, Qin Xiao. Smart city planning and construction based on geographic perspectives: Some theoretical thinking. *Progress in Geography*, 2015, 34(4): 402-409.]
- [27] 钟炜菁, 王德, 谢栋灿, 等. 上海市人口分布与空间活动的动态特征研究: 基于手机信令数据的探索 [J]. *地理研究*, 2017, 36(5): 972-984. [Zhong Weijing, Wang De, Xie Dongcan, et al. Dynamic characteristics of Shanghai's population distribution using cell phone signaling data. *Geographical Research*, 2017, 36(5): 972-984.]
- [28] 郝新华, 周素红, 彭伊依, 等. 广州市低收入群体户外活动的时空排斥及其影响机制 [J]. *人文地理*, 2018, 33(3): 97-103, 111. [Hao Xinhua, Zhou Suhong, Peng Yinong, et al. Spatial-temporal exclusion characteristics and influencing mechanism of low-income residents' outdoor activity in Guangzhou. *Human Geography*, 2018, 33(3): 97-103, 111.]
- [29] 王丰龙, 王冬根. 北京市居民汽车使用的特征及其影响因素 [J]. *地理学报*, 2014, 69(6): 771-781. [Wang Fenglong, Wang Donggen. Characteristics and determinants of car use in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 771-781.]
- [30] 吴建华, 万洋洋. 利用泰森多边形的点实体匹配算法 [J]. *测绘科学*, 2015, 40(4): 97-100, 120. [Wu Jianhua, Wan Yangyang. Point entity matching algorithm based on Thiessen polygon. *Science of Surveying and Mapping*, 2015, 40(4): 97-100, 120.]
- [31] 华夏幸福产业研究院. 中国都市圈极限通勤研究 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2019. [China Happiness Industry Research Institute. Study of extreme commuting in China's metropolitan region. Beijing, China: Tsinghua University Press, 2019.]
- [32] Han J, Kamber M. 数据挖掘概念与技术 [M]. 范明, 孟小峰, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2006: 185-217. [Han J, Kamber M. Concepts and techniques of data Mining. Translated by Fan Ming, Meng Xiaofeng, et al. Beijing, China: China Machine Press, 2006: 185-217.]
- [33] 王勇, 解延京, 刘荣, 等. 北上广深城市人口预测及其资源配置 [J]. *地理学报*, 2021, 76(2): 352-366. [Wang Yong, Xie Yanjing, Liu Rong, et al. Population prediction and resource allocation in megacities from the optimum population perspective: A case study of Beijing, Shanghai, Guangzhou and Shenzhen. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 352-366.]

Car-sharing travel patterns in Shanghai based on big data

TONG De¹, ZHOU Xincan¹, GONG Yongxi^{2*}

(1. School of Urban Planning and Design, Peking University Shenzhen Graduate School, Laboratory for Urban Future, Peking University (Shenzhen), Shenzhen 518055, China; 2. School of Architecture, Harbin Institute of Technology (Shenzhen), Shenzhen 518055, China)

Abstract: Based on the big data of car-sharing operation and urban point of interest (POI) data of Shanghai in 2018, the spatial, temporal, and frequency characteristics of car-sharing users' travel were studied, and the *K*-mean clustering of users' travel patterns was carried out to explore typical travel patterns. The research shows that: 1) There is a significant difference in car-sharing behavior between working days and weekends. Car-sharing trips on working days are more concentrated in the mixed functional areas in the central urban area, and the use volume is large in the morning and evening rush hours. The distribution of car-sharing travel space on weekends is scattered, with higher usage, shorter average single use time, and only a peak in the evening. 2) In Shanghai, car-sharing travel behavior can be divided into 10 modes: working day commuting in medium-high frequency mode, working day nocturnal high frequency mode, working day occasional dinner and home trip, occasional long-distance commuting and home trip over long distance at night low frequency mode, weekend daytime recreational activity high frequency mode, weekend away from home in the evening recreational activity and medium-long-haul low frequency mode, weekend evening recreational long-distance travel low frequency mode, weekend overtime work-related low frequency mode, and so on. 3) Medium and high frequency users mainly used shared cars to realize long-distance commuting and long-distance recreational activities on weekends, and the spatial area is mainly concentrated in the central city and sub-central areas; Low-frequency users used shared cars mostly in situations where public transportation cannot meet the demand and taxi costs are too high, such as night, long-distance, and weekend overtime work-related trips, and the spatial distribution is relatively scattered. It can promote the development of car sharing market in megacities by providing users with differentiated vehicle plans and optimizing vehicle spatial scheduling.

Keywords: car-sharing; travel patterns; *K*-mean clustering; Shanghai