

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2022.05.001

“双碳”视角下的上海市轨道交通客 流时空格局及特征

熊 鹰, 李 亮, 谭翰祥, 吴文耀

(长沙理工大学 建筑学院, 湖南 长沙 410076)

摘 要: 在快速城市化与“双碳”背景下, 城市通勤引发的交通及能源问题成为制约城市可持续发展的重要因素。故利用 467 万条智能交通卡数据分析上海市轨道交通客流的总体特征及空间分布特征。结果表明: 从时间尺度上分析, 早高峰、晚高峰时段内乘客的平均出行时间要稍低于全样本时段内乘客的平均出行时间; 轨道交通进站客流早高峰会早于出站客流早高峰出现; 从市辖区尺度分析, 人口数量与各市辖区的轨道交通客流量呈现出一定的正相关性; 从街道尺度来看, 城市中不同街道的居民对于轨道交通的依赖程度存在较大差异, 空间差异性较强。因此, 建议发展以步行和自行车为主的低速交通网络, 建立公交与步行城市交通并重的绿色出行发展模式, 并不断完善交通需求管理方式, 以减少城市道路的碳排放量, 进一步提高城市绿色交通运行效率, 推动城市低碳经济的快速发展。

关键词: 轨道交通; 客流分布; 时空格局; 出行时间; 大数据分析; 上海市

中图分类号: TU984.191

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2022)05-0001-10

引文格式: 熊 鹰, 李 亮, 谭翰祥, 等. “双碳”视角下的上海市轨道交通客流时空格局及特征 [J]. 湖南工业大学学报, 2022, 36(5): 1-10.

Spatio-Temporal Pattern and Characteristics of Shanghai Metro Passenger Flow from a Dual-Carbon Perspective

XIONG Ying, LI Liang, TAN Hanxiang, WU Wen Yao

(School of Architecture, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: Under the background of a rapid urbanization and dual-carbon-orientated development, traffic and energy problems brought about by urban commuting have become an important factor restricting the sustainable development of cities. Therefore, based on the data of 4.67 million intelligent transportation cards, an analysis has been made of the overall characteristics and spatial distribution characteristics of rail transit passenger flow in Shanghai. The results obtained from the time scale analysis show that, the average travel time of passengers in the morning peak and evening peak periods is slightly lower than that in the whole sample period; the morning peak of inbound passenger flow of rail transit appears earlier than the morning peak of outbound passenger flow; on the basis of an analysis of the municipal district scale, there is a certain positive correlation between the number of population and the rail transit passenger flow of each municipal district; viewed from the perspective of street scale, there is a great difference in the dependence on rail transit for residents in different streets in the city, with a striking spatial diversity thereby. Therefore,

收稿日期: 2022-06-07

基金项目: 湖南省社会科学成果评审委员会课题基金资助项目 (XSP18ZDI031)

作者简介: 熊 鹰 (1977-), 男, 湖南汉寿人, 长沙理工大学教授, 博士, 主要研究方向为城乡人居环境可持续发展, 生态规划与低碳发展, E-mail: csustxy@126.com

it is suggested to develop the low-speed traffic network mainly composed of walking and cycling, accompanied by the establishment of a green travel development mode with equal emphasis on public transport and walking urban transport, with a constant facilitation of the mode of traffic demand management so as to reduce the carbon emission of urban roads, thus further improving the efficiency of urban green traffic operation and promoting the rapid development of urban low-carbon economy.

Keywords: rail transit; passenger flow; spatial and temporal distribution; travel time; big data analysis; Shanghai City

1 研究背景

由于全球气候变暖,人类活动加剧,节能减碳成为全世界共同努力应对的议题。中国在应对气候变化的政策与行动年度报告发布会中指出,中国将继续在全球生态文明建设中发挥重要参与者、贡献者、引领者作用。2020年9月22日,习近平在第七十五届联合国大会宣布,中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,争取2060年前实现碳中和,即“碳达峰、碳中和”(简称“双碳”)目标。据统计,我国交通领域碳排放量占全社会碳排放总量的11% (https://www.sohu.com/a/519562136_121123689)。运输及相关领域成为减排减碳的重要行业,不仅需要有力政策合力推动交通运输在产业结构优化、生活方式改变、生产方式变革、国土空间格局的变化,还需要结合实际协调发展与减排的关系。为应对出现的问题,国内外学者对其进行了大量的研究,城市轨道交通被视为一种能有效减少碳排放的公共交通方式^[1-2]。随着各大城市轨道交通线路网络的不断形成,新的问题逐渐凸显,如由于客流时空布局将会随着轨道交通线网的建立发生改变,出现城市轨道交通线路时空分布与客流时空分布不相匹配的现象;另外,轨道交通不能持续促进周边区域的发展,于是合理地进行城市轨道交通时空分布格局成为重塑城市时空分布格局的手段之一。基于智能交通卡数据分析大城市的轨道交通客流的时空分布规律,可以揭示其出行模式特征,为其轨道交通线路时空布局与客流时空布局高度拟合提供参考,并为可持续发展制定低碳的交通管理和规划政策。

S. A. Ordonez Medina 等运用刷卡数据、居民交通出行数据和建筑数据,对新加坡主要就业地空间分布进行了识别和分析,发现自政策颁布以来,实行功能分区的规划策略导致城市职住空间分离现象,且严格的交通政策使得城市居民的日常通勤主要依赖于公共交通系统^[3]。随着城市生活节奏不断加快,城市居民出行时间成本越来越高,居民对时间的感知

要远大于对距离的感知,相比出行距离,城市居民更关注出行时间或出行效率^[4]。而分析影响轨道交通客流的因素主要为土地利用因素,包括开发密度、用地性质及用地布局等,其他分析因素主要包括社会经济环境及交通环境。如基于出行影响大小,通过由站点客流及周边建成环境等构成的需求模型分析城市建成环境与客流的定量关系^[5-6]。轨道交通的可达性对于公共交通出行影响居第一位^[7],然后是轨道交通路网连通度(换乘站便利性)、用地混合度的影响,分居第二与第三位^[8-9],可通过加强轨道交通线网的可达性减少出行时间,提高出行效率。

国内学者经研究发现,利用城市轨道交通替代其他交通方式,能大幅度降低城市碳排放强度,因为相比于其他交通方式,城市轨道交通的污染较小,一定程度下能够实现零排放^[10]。通过对城市轨道合理时空布局,能大量减少地上用地,最大程度上利用地下用地,大幅度提升城市中用地集约度,从而大大降低城市内的通勤成本,这是城市轨道交通实现公共交通可持续发展的重要推动力之一^[11]。通过对职住、通勤空间的识别,可以反向指导城市轨道交通线路布局,重塑城市时空分布格局,轨道交通布局与职住空间分布是一个相互作用的关系,轨道交通的发展不仅仅是将区域与区域之间连接在一起,提高区域居民对工作的可选择性以及可达性,而且疏散了沿线居民,减少拥堵时间。当轨道交通实际客流量超过轨道交通布局预测客流量时,城市居民的通勤时间增长,导致城市居民的通勤时间成本提高,产生一系列交通拥堵、乘车拥挤和空气污染问题。区域间的职住不平衡现象,使城市居民的出行满意度和生活幸福感下降,工作与生活的地点不一致是城市居民出现长距离出行的重要原因之一。尤其是对低收入阶层,一般情况下无法承受工作中心附近的高价住房,被迫选择远离工作地点的住房,从而导致其平均出行距离要大于高收入阶层。此时就需要对城市区域土地利用和功能设施进行详细规划与引导^[12-15],以满足轨道交通线路沿线居民的交通需求。

2019年,上海市轨道交通运营网长度已位居全国各省市中第一位,城市轨道交通客流的时空分布具有代表性作用,作为国内轨道交通建设最快、最早的城市之一,亟需解决当今轨道交通的供需矛盾。《上海市城市总体规划(2017—2035年)》报告中提出,需构筑一个以公共交通优先的多层次、多模式综合交通网络,进一步强化骨干交通网络对城市空间布局体系优化的指引能力^[16]。

本研究将以上海市14条轨道交通线路为研究对象,基于智能交通卡数据,通过Matlab、ArcGIS、Pycharm等软件,对大量数据进行处理与分析,然后结合不同时段、不同尺度的时空特征,探讨“双碳”背景下城市轨道交通客流对城市空间布局的影响,为城市发展以及空间格局优化调控提供借鉴,也为构建轨道交通网络布局、扩大城市间交流合作与构筑中国轨道交通规划与建设提供参考。

2 数据与方法

2.1 研究数据

之所以通过城市轨道交通刷卡数据对城市轨道交通客流时空布局进行研究,是因智能交通卡具数据量大、覆盖面广等优点。因智能交通卡拥有详尽且足够的基础分析数据,如OD数据(origin destination

data)、时间数据、站点数据等,弥补了传统居民出行调查数据的不足,且数据结构明确清晰、通俗易懂,保障了研究结论的准确性。从个体研究层面去揭示轨道交通中城市个体出行行为机理,并实时记录出行数据,能够获得精确出行位置数据^[17-18],有利于研究城市居民对城市空间布局的影响。

课题组整理了2015年4月30日上海市智能交通卡数据、轨道交通线路走向、站点位置、站点名称,以及上海市的第六次人口分街道普查数据。轨道交通智能交通卡刷卡数据内容示例如表1所示,每条数据均记录了居民的智能交通卡编号、日期、时间、进/出站、交通方式、费用、折扣、刷卡次序。文中运用Pycharm软件将获取到的智能交通卡数据,按交通卡编号相同的两条数据信息编辑成一条完整的出行OD链,并通过出站与进站的时间差计算出智能交通卡用户的出行时间^[19-20]。以2015年4月30日为例,共采集到将近1 000万数据,相当于近500多万智能交通卡的OD数据,详尽且足够的基础数据,远大于传统居民出行调查数据量,可以很好地反映出上海市轨道交通客流的时空分布规律特征。最终确定将467万条智能交通卡OD数据作为分析轨道交通客流分布特征的全样本数据。

表1 上海市智能交通卡刷卡数据内容示例

Table 1 Illustration of Shanghai intelligent transportation card swiping data

编号	日期	时刻	进/出站	交通方式	费用	折扣	刷卡次序
2428943	2015-04-30	7:49:51	1号线汉中路	轨道交通	0	非优惠	1 430 351 391
3002214	2015-04-30	14:07:15	1号线上海市体育馆	轨道交通	4	非优惠	1 430 374 035

注:费用为0为进站口,大于0为出站口。

2.2 研究区域

2015年,上海市轨道交通全面建成500 km以上的轨道交通基本网络,除崇明区、金山区、奉贤区之外的其他市辖区与市辖区之间基本实现了轨道交通通行,已建成线路14条,轨道交通运营里程达到548 km,其中包含轨道交通站点313个,日均客运量达到 9×10^6 人次。《上海市主体功能区规划》将整个上海市划分为4个区域,分别为都市功能优化区(包含黄浦区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区、杨浦区、虹口区、宝山区、闵行区)、都市发展新区(浦东新区)、新型城市化地区(包含嘉定区、金山区、松江区、青浦区、奉贤区),以及综合生态发展区(崇明区)。本研究中选定的研究区域,为2015年上海市14条轨道交通线路和313个站点,分布在都市功能优化区、都市发展新区、新型城市化地区、综合生态发展区,共包含16个行政区划。研究区域与上海

市轨道交通线路和站点分布图如图1所示。

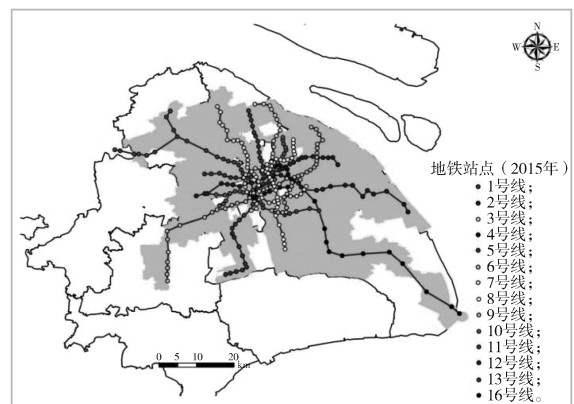


图1 研究区域与上海市轨道交通线路和站点分布图

Fig. 1 Distribution map of rail transit lines and stations of the targeted areas in Shanghai



2.3 研究方法

从 467 万条完整的 OD 对数据中, 首先将获取的上海市城市轨道交通数据进行整理, 然后使用 ArcGIS、Matlab 等软件进行分析; 接下来将处理后的客流数据、空间数据进行关联处理, 构成上海市定量研究的基础数据库; 接着运用空间与时间相结合的分析方法, 分析城市轨道交通客流活动的分布情况, 得到城市轨道交通客流在城市中的空间分布特征, 从空间上的不断深入 (从行政区层面到街道层面), 从时间上 (早高峰、晚高峰、全天) 对阶段性的客流分布特征进行分析。

3 时空分布特征分析

3.1 分时段客流分布特征分析

3.1.1 全样本分布特征

每 30 min 对进站和出站的轨道交通乘客数量进行统计, 得到的上海市轨道交通分时段进出站乘客统计数量如图 2 所示。

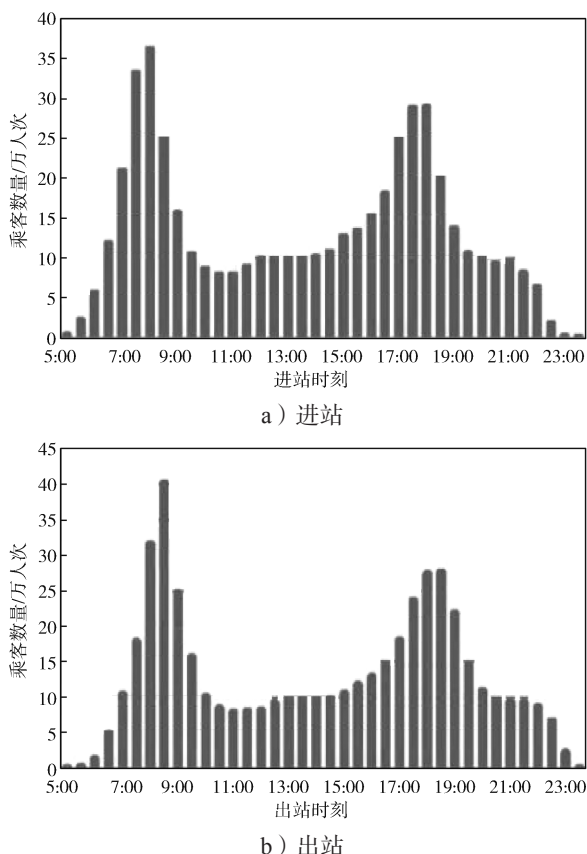


图 2 上海市轨道交通分时段进出站乘客数量统计结果

Fig. 2 Statistical results of inbound and outbound numbers of passengers according to the time division of Shanghai rail transit

由图 2 可以识别出上海市客流早高峰期一般出现在 7—9 点; 进出站客流量平稳时期在 11—16 点、

20—22 点两个时间段内, 每半小时约为 9.6 万人次左右; 晚高峰期一般出现在 17—20 点。无论是早高峰还是晚高峰, 进站与出站客流量都与处于平稳时段客流显示出同样的规律, 体现出获取的全样本统计数据具有较高的精确性^[21-23]。此外:

1) 进站客流的高峰期出现时间早于出站客流的高峰期。这可能源于进站后需要经过乘车时间后出站, 即通勤时间造成的时间差, 这使得进站客流的高峰期比出站客流的高峰期早 30 min 出现。

2) 进站/出站的晚高峰峰值明显要低于进站/出站的早高峰峰值。比较城市轨道交通客运高峰期的客流峰值情况时, 能够明显鉴别出高峰期不论是进站客流的早高峰还是出站客流的早高峰, 其客流拥堵程度都明显超过了晚高峰, 进站客流的早高峰峰值比客流晚高峰峰值要高出约 25.1%, 出站客流的早高峰峰值比客流晚高峰峰值要高出约 45.2%, 这说明城市居民上班时间相对固定, 客流相对集聚, 但是下班时间相对灵活, 晚高峰所存在的时间长度要长于早高峰所存在的时间长度, 且出现了晚高峰峰值低于早高峰峰值的特征。

3.1.2 分时段出行时间分布特征

由全样本分布特征分析结果, 将轨道交通客流数据按照全样本、早高峰 (7—9 点) 和晚高峰 (17—20 点) 时段进行分类^[16-17]统计, 并运用 Pycharm 软件, 对获取的 467 万条数据进行处理后计算得出乘客出行时间的基本属性, 详见表 2。

表 2 乘客出行时间的基本属性

Table 2 Basic properties of passenger travel time min

时段	平均值	标准偏差
全天	36.186 4	20.416 6
早高峰	35.272 3	17.745 2
晚高峰	35.660 0	20.391 8

分析表 2 中的数据可以得知, 上海的市民每天乘坐轨道交通的出行时间普遍集中在 30~40 min 的范围内 (本文中乘客出行时间只包括在城市轨道交通中的时间)。将早高峰、晚高峰市民的平均出行时间与全样本市民的出行平均时间进行比较, 可知它们之间的时间差在 1 min 之内。从乘客出行时间可以看出, 城市轨道交通出行压力主要来自早高峰、晚高峰时段内的拥挤客流, 而其他运行时间内, 客流处于相对平稳的状态, 这符合城市的实际情况, 表明数据的可靠性较高。

通过分时段统计出行时间段内的客流数量, 反映出位于不同出行时段内乘客实际出行的数量。3 个时间段内的乘客出行时间分布曲线都符合 Gamma 分

布(见图3), 概率密度分布函数(probability density function, PDF)如下:

$$PDF = \frac{1}{\Gamma(k)\theta^k} x^{k-1} e^{-\frac{x}{\theta}}, x \in (0, \infty), k > 0, \theta > 0. \quad (1)$$

式中: k 为分布曲线的形状参数;

θ 为分布曲线的比例参数;

x 为自变量乘客出行时间。

使用 Matlab 软件进行处理后, 计算得到 Gamma 分布曲线的形状参数与比例参数, 以及 95% 置信区间, 具体如表 3 所示。

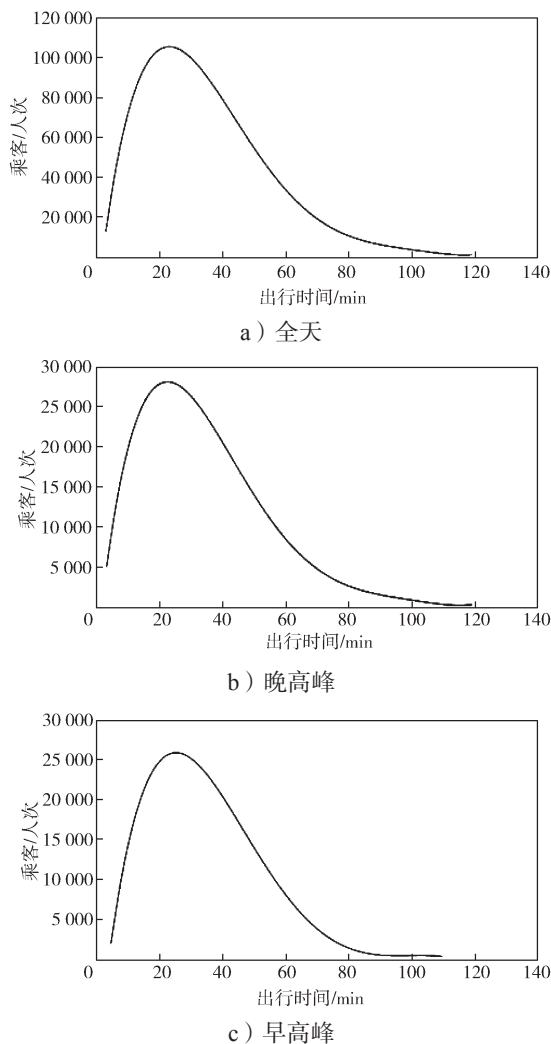


图3 乘客出行时间分布及 Gamma 分布拟合结果

Fig. 3 Fitting results of passenger travel time distribution with its Gamma distribution

表3 Gamma 分布拟合系数和置信区间

Table 3 Fitting coefficient and confidence interval of Gamma distribution

时段	形状参数	95% 置信区间		比例参数	95% 置信区间	
		下限	上限		下限	上限
全天	3.141 4	3.139 2	3.143 7	1.519 1	11.523 3	11.515 0
早高峰	3.951 0	3.945 7	3.956 3	8.927 5	8.933 4	8.921 5
晚高峰	3.058 1	3.053 7	3.062 4	11.660 9	1.669 2	11.652 6

对出行时间分布的规律进行分析, 发现全样本数据的出行时间主要分布在 10~40 min 之间, 这一出行时间段占据全样本数据的 60.32%; 仅存在少部分居民的出行时间大于 1 h, 这一时间段占样本总量的 11.97%, 而极少量居民的出行时间大于 2 h。早高峰居民的出行时间集中在 10~40 min 时间段内的比例占早高峰样本数量的 62.57%, 高于全样本在相同时间段内所占比例; 而晚高峰居民的出行时间在 10~40 min 时段内所占比例占晚高峰样本总数的 61.15%, 略高于全样本在相同时间段内所占比例。短距离出行(出行时间小于 10 min)的乘客出行主要集中在早高峰与晚高峰两个时间段内, 占据短距离出行客流的 47.73%。这一规律也说明了早高峰与晚高峰两个时段内的平均出行时间要低于全样本下的平均出行时间的合理性。经过分析, 还发现:

1) 早高峰、晚高峰的发车间隔时间小于平稳时段发车间隔时间。因发车间隔小于平稳时段发车间隔, 乘客出行的等待时间相应减小。

2) 处于出行高峰时间段时, 乘客进出站时的行走速度相较要快于平稳时间段内出行的乘客(如游玩、逛街等)的行走速度。

3) 长时间出行(不少于 40 min)的乘客通常会错开高峰时间段出行。统计表明, 长时间出行(不少于 40 min)中 52.33% 的乘客出行均不处于早晚高峰出行时间段内。

3.1.3 进站点客流的平均出行时间特征

对轨道交通站点进行统计后, 计算出每个站点出发的客流出行平均时间, 整体识别出城市居民日常的空间活动区域。通过对出行平均时间的长短将全样本划分为 5 个时间段, 然后根据划分的时间段区间对进站点进行分类, 所得结果如图 4 所示。

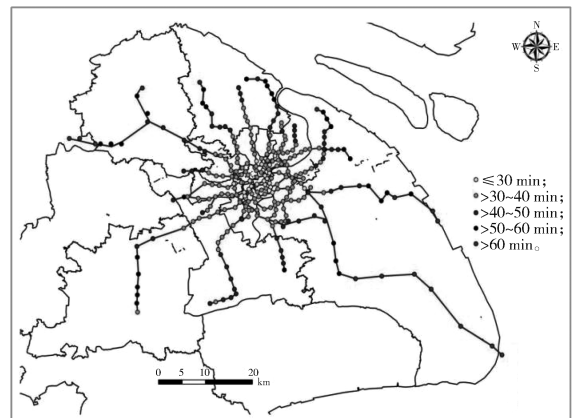


图4 平均出行时间分布图

Fig. 4 Average travel time distribution map



由图 4 可知, 平均出行时间呈现出如下规律: 出行时间的长短与距离市中心的距离远近成正比。城市居民的平均出行时间为 39.58 min, 按照上海市轨道交通出行平均 3 min 一站, 平均站间距为 1.75 km, 上海市居民平均出行站数为 14 站, 空间平均出行范围为 25 km 以内。上海市总面积为 6 430.5 km², 除去尚未有轨道交通口的金山区、奉贤区、崇明区及飞地 (上海市在浙江省、江苏省和安徽省尚有市辖上完全属上海市管辖的 4 块飞地) 后面积为 2 911 km²。如将其看成一个以 1 号线站点 (人民广场) 为圆心, 半径约为 30 km 的圆, 从上海市中心到上海市的各个区域不会超过 17 个站 (50 min), 在现有的轨道交通网络中, 84.35% 轨道交通站点的乘客平均出行时间处于 50 min 以内。

3.2 客流出行空间分布特征

3.2.1 市辖区尺度

上海市各区内的人口数量与各区的轨道交通客流间的相关性如图 5 所示。

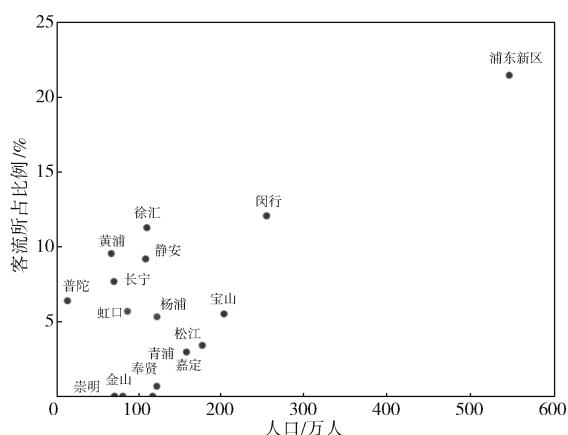


图 5 上海市辖区人口与轨道交通客流相关性分析结果

Fig. 5 Analysis results of correlation between population and rail transit passenger flow in Shanghai area

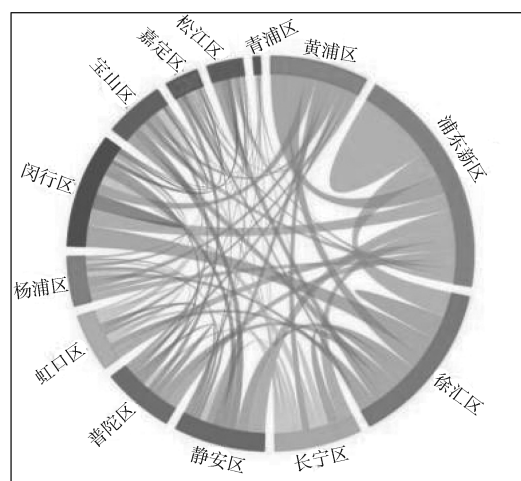
由图 5 可知, 上海市各辖区内的人口数量与各区的轨道交通客流之间存在如下关联性:

1) 研究区域内常住人口与轨道交通客流呈一定的正相关。其中浦东新区和闵行区常住人口总数分别在 500 万、250 万以上, 居研究区域内的前 2 位。而浦东新区全天的客流量占研究区域总客流量的 21.45%, 约为 100 万人次; 闵行区全天客流量占研究区域总客流量的 12.05%, 约为 56 万人次。这两个区对应的轨道交通客流总量也位于研究区域内的前 2 位; 宝山区、松江区、嘉定区、杨浦区、青浦区、徐汇区、静安区的常住人口数分别为 202 万、176 万、156 万、132 万、121 万、109 万、107 万, 这些辖区的客流量分别为 26 万/d、16 万/d、14 万/d、22 万/d、

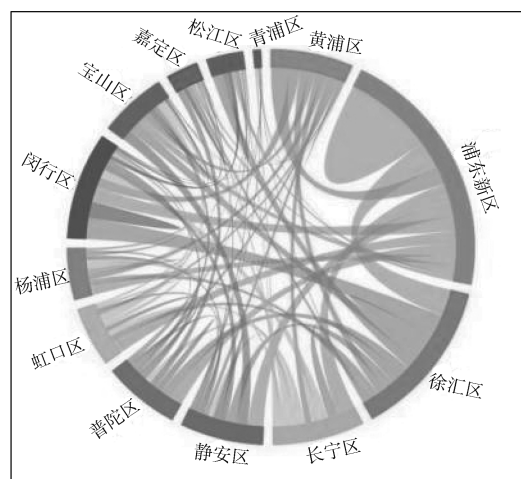
3 万/d、53 万/d、43 万/d。

2) 研究区域内经济基础水平与轨道交通客流呈一定的正相关。虹口区、长宁区、黄浦区、普陀区 2015 年的常住人口总数均小于 100 万人, 其中普陀区的常住人口总数只有 12.8 万人, 但其客流量所占比例达 6.38%。虽然长宁区、黄浦区和普陀区的常住人口数量在 16 个市辖区内分别为第 14 名、15 名和 16 名, 但是因为这 3 个区为传统意义上的中心城区, 其中集聚了许多居民出行目的地 (如居住区、工作区、休闲娱乐场所等)。因此, 自然汇集形成大量的轨道交通客流, 上海市中心城区的公路网络常处在拥堵状态, 居民往城市中心的交通出行就更加依赖于轨道交通的布局。从统计数据看, 这 3 个市辖区的日均客流量达到 100 万人次以上, 占据上海市轨道交通总客流量的 23.38%。

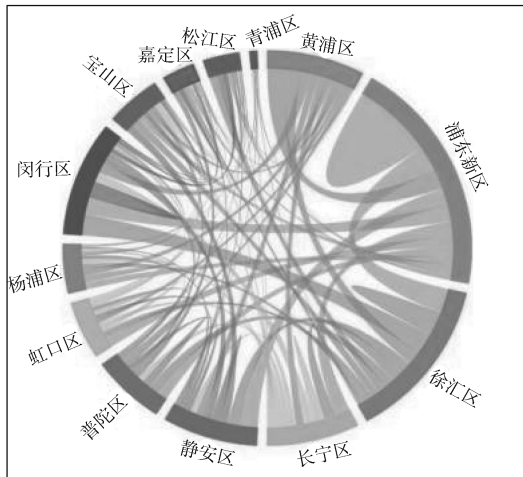
从全天、早高峰和晚高峰 3 个尺度对上海市 13 个 (由于金山区、奉贤区、崇明区无轨道交通站点而不予统计) 市辖区进行客流分布统计, 所得结果见图 6。



a) 市辖区 - 全天



b) 市辖区 - 早高峰



c) 市辖区 - 晚高峰

图6 上海市轨道交通客流区间流动统计结果图

Fig. 6 Statistical results of Shanghai rail transit passenger flow between intervals

图6所示客流分布统计结果中,使用不同的外环颜色来表示不同市管辖区流出的客流量,圆弧的长度代表着市管辖区客流量占总出行数量比例的大小。从图中可以看出,进、出各市辖区的流量基本持平,在空间分布上表现出很高的对称性。比如:全天浦东新区到徐汇区的游客为11.9万人次,徐汇区到浦东新区的客流量为10.7万人次;全天黄浦区到浦东新区的客流量为8.9万人次,浦东新区到黄浦区的客流量为9.3万人次。浦东新区、徐汇区位于都市发展新区,集中了大量的居民出行目的地,自然集聚了大量的轨道交通客流,客流呈现在浦东新区、徐汇区集聚的特征。在OD流向图中(图6a),能够看出内部客流中浦东新区最大,为34.8万人次。与此同时,浦东新区也与其他市辖区均拥有紧密的联系,8个辖区中最大客流流入与流出均来自于浦东新区,按照联系由强到弱的排序为徐汇区、黄浦区、闵行区、长宁区、静安区、虹口区、杨浦区、青浦区。其他4个辖区与浦东新区之间的联系弱于与徐汇区的联系;按照这4个辖区与徐汇区之间联系强弱排序依次为普陀区、宝山区、松江区、嘉定区。对比图6a~6c可以看出,在早高峰时段,轨道交通客流的集聚效应表现得更为突出。浦东新区客流中,早高峰客流量所占比例是该时段客流量的26.48%,相较于全天客流量高出3.90%;长宁区早高峰客流量所占比例是该时段客流量的24.25%,比全天客流量高出6.30%。

浦东新区处于城市经济发展新区。随着浦东新区的开放与发展,经济也得到了高速蓬勃发展。截至2015年,一共有9条线路(2、4、6、7、8、9、

11、12、16号线)、82个站点经过浦东新区,浦东新区全天客流量达93万人次,其中区内流动客流达35万人次,占全天客流量的37.20%。

嘉定区、松江区和青浦区处于新型城市化地区。这3个区域内已经有了一定的经济发展基础,未来的发展存在较大的潜力,但是由于常住人口的数量增长过快,导致与其区域自身的功能存在一定滞后的问题日益突出。市辖区内的轨道交通流量相对较少,3个市辖区内,松江区的客流量最大,达13.6万人次,占上海市全天客流量的3.01%,松江区内轨道交通客流主要是与徐汇区、闵行区联系较为紧密,轨道交通客流量分别占松江区全天客流量的25.2%、13.0%;其次是松江区域内客流流动较为频繁,占松江区全天客流量的18.0%;嘉定区客流量为12.9万人次,占上海市全天客流量的2.85%;青浦区客流量仅3.1万人次,占上海市全天客流量的0.69%。嘉定区与青浦区的轨道交通流量相对来说非常少,表明这两个区域与中心城区之间的联系相对较弱,城市功能综合性较差,但是其区域内的轨道交通线路对上海市轨道交通的空间布局有着重要意义。

3.2.2 街道尺度

以街道为单元统计,其中125个街道范围内包含轨道交通站点,需计算出街道范围内乘坐轨道交通的出行频率^[24]。对于街道*i*,人均每天乘坐轨道交通出行次数为*S_i*的计算公式为

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n (D_j + A_j)}{P_i}, \quad (2)$$

式中:*n*为街道*i*空间范围内的站点数量总数;

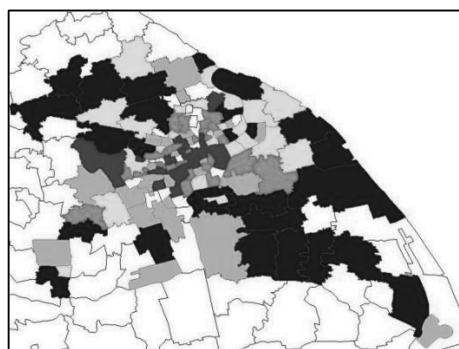
*D_j*为从站点*j*乘轨道交通出发的客流量;

*A_j*为从站点*j*流出的客流量;

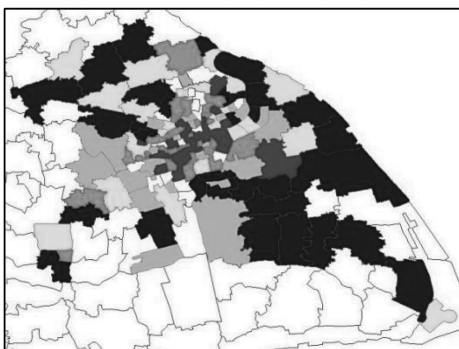
*P_i*为街道*i*范围内的人口总数。

指标*S_i*的大小,可以表现出以街道为单元的居民对轨道交通出行方式的依赖程度。在对指标*S_i*进行计算时,通过ArcGIS将属于同一街道的所有轨道交通站点合并统计,计为每个街道范围内的站点客流总量。

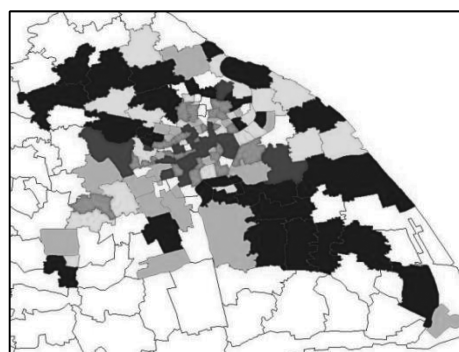
选择2015年4月30日的轨道交通数据样本进行统计,基于这些计算结果,利用数据对比和分析对比方式,将城市轨道交通客流所身处的主要街道区域按照地铁出行依赖强度等级的相对高低进行排序,共被区分成5个级别,由此进一步确定各个主要街道区域居民出行对城市轨道交通出行依赖的程度等级,所得结果见图7。



a) 全天



b) 早高峰



c) 晚高峰

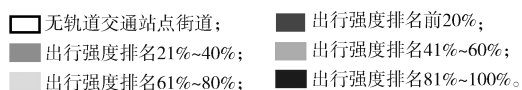


图7 基于街道人口的平均乘坐轨道交通出行强度分析

Fig. 7 Analysis of the average travel intensity of urban rail transit based on the street population

从全天、早高峰和晚高峰 3 个时间尺度来看,上海市轨道交通线路出行强度的前 20% 中,2 号线、4 号线、10 号线所在的街区占 80% 以上,从早高峰与晚高峰时段出行强度的街道排名看,可以看出在高峰时段内空间上的分布高度相似,说明了 2 号线、4 号线、10 号线沿线是位于城市中心区域的街道,街道范围内的城市居民对于这 3 条轨道交通线路的依赖性较强。2 号线从潍坊新村街道至华阳路街道沿线站点、4 号线环线街道范围内有一半以上站点和 10 号线从

虹桥街道至四川北路街道,均排在轨道交通出行强度的前 20%。

由上述研究可以看出:

1) 中央区域是城市办公商务区、居住区、娱乐休闲区、学习培训区、休息区等各类公共场所聚集的主要集中地,吸引了不少来自中心城区范围之外地区的客流,城市道路更易于产生交通大拥堵,乘坐城市轨道交通出行时的安全可靠性和安全性程度都相对较高,因此轨道交通成为位于中心城区市民出行的最主要的出行工具。

2) 中心城区居民实际出行强度的估算,基本涵盖了所有外来短期旅游者的实际出行,可能会略微超过其实际出行强度。

3) 通过对轨道交通乘客的分布与晚高峰期通勤交通出行强度计算结果均可以看出,在早高峰期时间段,轨道交通出行强度低的街道主要位于都市中心地段;在晚高峰时段,轨道交通出行强度低的街道呈现散点状分布。这说明城市居民的居民点相对远离城市中心地区,上班点相对靠近城市中心地区,进而反映出城市居民面临职住分离的问题。

4 结论与建议

4.1 结论

本研究基于智能交通刷卡数据,利用大数据进行分析,并结合空间和时间序列组合分析法,且空间尺度上从市辖区尺度、街道尺度 2 个尺度;在时间上从全天、高峰时间(早、晚高峰)3 个时间段,将空间和时间相结合,分析了上海市地铁客流的时间、空间分布特点,结果表明:

1) 从时间尺度来看,上海市轨道交通客流的早、晚高峰站点层面客流量呈现不均衡分布状态。通过早高峰进站客流量能够反映出上海市居民居住分布的情况,呈现出集聚状的居住人口主要散布在上海市的北部、东部、西部及其 10 号线沿线地区;通过晚高峰进站客流可以总体知晓上海市主要的就业中心位置。从客流时间分布来看,早高峰客流量占全天客流量的较大比例,主要是以通勤人口为主。而晚高峰客流量占全天客流量的较大比例,是由于晚高峰时间段相较于早高峰时间段较长的原因。

2) 从街道尺度来看,位于不同街道的城市居民对于城市轨道交通的依赖程度存在较大的差异性,表现为其空间差异性较强,远离市中心的居民对于轨道交通出行的依赖性最高。2015 年上海市尚有 3 个市辖区未开通轨道交通,城郊的轨道交通网络还远远不

够,且城市功能性不强,因而需要分析城市发展新区轨道交通客流的重要发展方向,为上海市轨道交通规划和需求管理提供低碳发展思路。

3) 通过对各个尺度进行数据比较分析,相较于市辖区尺度来看,街区尺度有利于在空间上判断出客流空间分布的差异性;市辖区尺度与街道尺度均能帮助进行轨道交通客流、城市人口分布与当地居民出行强度的分析。

4.2 建议

城市交通的未来发展趋势是逐渐走向低碳化。

1) 完善低碳交通网络系统。首先是发展以步行和自行车为主的低速交通网络;然后通过建设与完善大中城市的公共交通网络以及快速轨道交通网络系统;最后通过对城市私家汽车出行的限制来达到低碳化的要求。

2) 在执行层次上,通过建立公交与步行城市交通并重的绿色出行发展模式;在管理层面上,不断完善交通需求管理体系中的管理方式,从而达到都市运营的低碳化总体目标。在以“双碳”为引导的都市规划中,在保证城市功能的正常运转下,可以通过合理的空间布局,促使居民低碳化生活,减少城市道路的碳排放量。

未来研究中,首先应加快对城市轨道交通体系建设,推进“双碳”城市建设,从整体上评估交通走廊的位置,塑造更加合理的城市空间布局,实现城市经济社会可持续发展。其次,可以加入对跨城出行的研究,在大都市圈与城市群不断发展过程中,大都市圈与城市群内部的跨城出行逐渐成为一个普遍的现象,如:上海市11号线的花桥、光明路、兆丰路3个站位于苏州昆山。应打破行政上的联系,从整体功能上的联系进行研究,从更大的尺度与角度上考虑出行现象研究,这有待于在后续研究中更深层次地完善与剖析城市轨道交通客流时空分布客流特征。

参考文献:

- [1] 施仲衡,丁树奎.城市轨道交通绿色低碳发展策略[J].都市轨道交通,2022,35(1): 1-4, 11.
SHI Zhongheng, DING Shukui. Strategies for Green and Low-Carbon Development of Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 1-4, 11.
- [2] 邬尚霖.低碳导向下街区尺度和路网密度规划研究[J].华中建筑,2016,34(7): 29-33.
WU Shanglin. Research on the Block Scale and Density of Road Network Planning Under the Guidance of Low-Carbon[J]. Huazhong Architecture, 2016, 34(7): 29-33.
- [3] ORDONEZ MEDINA S A, ERATH A. Estimating Dynamic Workplace Capacities by Means of Public Transport Smart Card Data and Household Travel Survey in Singapore[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2013, 2344(1): 20-30.
- [4] MA K R, BANISTER D. Extended Excess Commuting: A Measure of the Jobs-Housing Imbalance in Seoul[J]. Urban Studies, 2006, 43 (11): 2099-2113.
- [5] SOHN K, SHIM H. Factors Generating Boardings at Metro Stations in the Seoul Metropolitan Area[J]. Cities, 2010, 27(5): 358-368.
- [6] JUN M J, CHOI K, JEONG J E, et al. Land Use Characteristics of Subway Catchment Areas and Their Influence on Subway Ridership in Seoul[J]. Journal of Transport Geography, 2015, 48(5): 30-40.
- [7] GIM T H. An Analysis of the Relationship Between Land Use and Weekend Travel: Focusing on the Internal Capture of Trips[J]. Sustainability, 2018, 10(2). DOI: 10.3390/su10020425.
- [8] FENG J X. The Built Environment and Active Travel: Evidence from Nanjing, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2016, 13(3): 301.
- [9] CERVERO R. The Built Environment and Travel: Evidence from the United States[J]. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 2003, 3(2): 119-137.
- [10] 龙江英.从低碳发展战略高度推进城市轨道交通系统建设[J].贵阳学院学报(自然科学版),2010,5(1): 14-18.
LONG Jiangying. Promoting the Urban Rail Transit Systematic Construction from the Strategic Perspective of Low Carbon Development[J]. Journal of Guiyang University (Natural Sciences), 2010, 5(1): 14-18.
- [11] 黄 偃,祁新华.地铁对福州主城区空间格局的影响[J].世界地理研究,2017,26(5): 86-95.
HUANG Wei, QI Xinhua. The Impact of Metro on Spatial Structure of Fuzhou's Main Urban Area[J]. World Regional Studies, 2017, 26(5): 86-95.
- [12] 杜 超,王姣娥,刘斌全,等.城市道路与公共交通网络中心性对住宅租赁价格的影响研究:以北京市为例[J].地理科学进展,2019,38(12): 1831-1842.
DU Chao, WANG Jiao'e, LIU Binqian, et al. Impacts of Street and Public Transport Network Centralities on Housing Rent: a Case Study of Beijing[J]. Progress in Geography, 2019, 38(12): 1831-1842.
- [13] 周 维,张 艳,辜智慧.基于刷卡数据的深圳市地铁客流特征与职住空间视角的分析[J].住区,2019(4): 23-31.

- ZHOU Wei, ZHANG Yan, GU Zhihui. Characteristics of the Subway Passenger's Flow Based on Metro Card Data and Analysis from the Perspective of Spatial Match of Job-Housing in Shenzhen City[J]. Design Community, 2019(4): 23-31.
- [14] 王淑伟. 站点周边用地特性对轨道客流影响机理研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2015.
- WANG Shuwei. Research on the Influence Mechanism of Transit Station Surrounding Land Use on Transit Ridership[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2015.
- [15] 韩春杰. 城市轨道交通对职住空间关系的影响研究: 以北京通州副中心为例[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- HAN Chunjie. Impact of Urban Rail Transit on Job-Housing Spatial Relationship: A Case Study of Tongzhou Sub-Center in Beijing[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [16] 樊鸿伟, 汪思慧. 轨道交通建设与城市外围城镇发展的互动模式研究: 以上海为例[J]. 上海市城市规划, 2020(3): 129-136.
- FAN Hongwei, WANG Sihui. Interactive Mode of Rail Transit Construction and Urban Development: A Case Study of Shanghai[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2020(3): 129-136.
- [17] 朱亚迪. 大数据驱动的城市轨道交通需求时空分布分析及预测方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- ZHU Yadi. Big Data-Driven Method of Urban Rail Transit Demand Spatiotemporal Distribution Analysis and Forecasting[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [18] 申犁帆. 基于城市轨道交通通勤的职住关系研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- SHEN Lifan. Study on the Jobs-Housing Relationship Based on Urban Rail Transit Commuting: an Empirical Study from Beijing[D]. Wuhan: Wuhan University, 2018.
- [19] 黄洁, 王姣娥, 靳海涛, 等. 北京市地铁客流的时空分布格局及特征: 基于智能交通卡数据[J]. 地理科学进展, 2018, 37(3): 397-406.
- HUANG Jie, WANG Jiao'e, JIN Haitao, et al. Investigating Spatiotemporal Patterns of Passenger Flows in the Beijing Metro System from Smart Card Data[J]. Progress in Geography, 2018, 37(3): 397-406.
- [20] 曾志南. 基于智能交通卡数据的轨道出行乘客特征研究[C]// 共享与品质: 2018中国城市规划年会论文集(05城市规划新技术应用). 杭州: 中国城市规划学会, 杭州市人民政府, 2018: 959-972.
- ZENG Zhinan. Research on Characteristics of Rail Passengers Based on Intelligent Transport Card Data[C]// Sharing and Quality: 2018 Proceedings of China Urban Planning Annual Conference(05-Application of New Technology in Urban Planning). Hangzhou: China Association of City Planning, Hangzhou Municipal People's Government, 2018: 959-972.
- [21] 李岩辉. 城市轨道交通客流时空分布特性研究[J]. 中国铁路, 2021(2): 65-75.
- LI Yanhui. Study on Spatial-Temporal Distribution Characteristics of Passenger Flow in Urban Rail Transit[J]. China Railway, 2021(2): 65-75.
- [22] 马超群, 王玉萍. 城市轨道交通客流特征与规律分析[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(6): 85-91.
- MA Chaoqun, WANG Yuping. Analysis on Characteristics and Principle of Passenger Flow of Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2015, 37(6): 85-91.
- [23] 白旻. 上海市轨道交通客流特征分析[D]. 南京: 南京邮电大学, 2018.
- BAI Min. Shanghai Metro Passenger Characteristics Analysis[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [24] 许志榕. 上海市职住关系和通勤特征分析研究: 基于轨道交通客流数据视角[J]. 上海城市规划, 2016(2): 114-121.
- XU Zhirong. Study on Job-Housing Relationship and Characteristic of Commuting in Shanghai: Based on the Perspective of Rail Transit Passenger Flow Data[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016(2): 114-121.

(责任编辑: 廖友媛)