

苏州轨道交通初步成网阶段客流特征分析及启示

王智永¹ 潘敏荣^{2,3} 陈 城¹ 唐方慧¹

(1. 苏州市轨道交通集团有限公司, 215004, 苏州; 2. 苏州规划设计研究院股份有限公司, 215004, 苏州;
3. 东南大学交通运输学院, 211102, 南京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 概述了苏州轨道交通的 3 个发展阶段(一条线运营阶段、两条线运营阶段和初步成网阶段),重点分析了线网客流的发展特征,主要包括高峰小时客流最大断面的客流特征、进出站客流特征及乘客出行 OD(起讫点)特征等,总结了苏州轨道交通客流发展的 4 个规律。在此基础上,分析了目前苏州轨道交通线网存在的主要问题,为苏州轨道交通的进一步发展提出建议。

关键词 城市轨道交通网络;初步成网阶段;客流特征;客流发展规律

中图分类号 U293.13

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.03.020

Analysis of Passenger Flow Characteristics at Suzhou Rail Transit Preliminary Networking Stage and the Inspiration

WANG Zhiyong, PAN Minrong, CHEN Cheng, TANG Fanghui

Abstract The three development stages of Suzhou rail transit (single line operation, double line operation and preliminary networking) are expounded. The passenger flow development characteristics in rail transit network are emphatically analyzed, including mainly the characteristics of peak hour maximum cross-sectional passenger flow, inbound/outbound passenger flow, and passenger traveling OD (origin-destination), thus four laws of passenger flow development of Suzhou rail transit are summarized. On this basis, the main problems of the current Suzhou rail transit network are analyzed, and suggestions are made for further development.

Key words urban rail transit network; preliminary networking stage; passenger flow characteristics; passenger flow development law

First-author's address Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., 215004, Suzhou, China

究了北京市和上海市的轨道交通线网在网络化发展过程中呈现的客流变化特征,分析了城市轨道交通线网的客流成长规律,并从网络化运营角度提出了城市轨道交通的发展建议。在城市轨道交通网络化运营客流特征研究中,重点关注的客流指标主要包括换乘系数、平均运距、客流强度和客流不均衡系数等^[5-6]。

苏州轨道交通于 2012 年 4 月首条线路开通运营,随着后续多条线路的逐步开通运营,其轨道交通线网客流持续增加。由于苏州市为典型的多中心组团式发展格局,乘客出行空间跨度相对较小,相比上海、北京等同心圆模式发展的城市,苏州轨道交通线网客流的总量与分布具有其特殊性。本文分析了苏州轨道交通 2012—2019 年的客流演变情况(不采用 2020—2022 年受新冠肺炎疫情影响的客流数据),揭示苏州轨道交通的客流特征及发展规律,并针对苏州轨道交通线网存在的主要问题提出相关发展建议。

1 苏州轨道交通线网发展概况

1) 一条线运营阶段。2012 年 4 月 28 日,苏州轨道交通 1 号线(以下简称“1 号线”)开通运营,该线全长 25.7 km,途经吴中区、苏州高新区、姑苏区及苏州工业园区,呈东西走向;一条线运营阶段为 2012 年 4 月至 2013 年 11 月,此阶段 1 号线的客运量约为 10.0~15.0 万人次/d。

2) 两条线运营阶段。2013 年 12 月,苏州轨道交通 2 号线(以下简称“2 号线”)一期工程(高铁苏州北站站—宝带桥南站)开通运营。2016 年 9 月,2 号线二期工程(骑河站—高铁苏州北站站、宝带桥南站—桑田岛站)开通运营。1 号线和 2 号线的合计总长度达 67.9 km;两条线运营阶段为 2013 年 12 月至 2017 年 3 月,此阶段苏州轨道交通形成基本骨架,两条线路的客运量稳步增长,2016 年 2 条线路

我国学者对不同城市轨道交通的网络化客流特征进行了研究。文献[1-2]和文献[3-4]分别研

合计客运量达 40.9 万人次/d。

3) 初步成网阶段。2017 年 4 月,苏州轨道交通 4 号线(以下简称“4 号线”)开通运营。4 号线主线区段(龙道浜站—同里站)全长 42.0 km,支线长度区段(红庄站—木里站)为 10.8 km,线路呈南北走向;至此,苏州轨道交通线网总长度达 120.7 km,网络化运营格局已初步形成。

表 1 为 2012—2019 年苏州轨道交通线网历年的日均客运量。2017 年,线网客运量达到 68.3 万人次/d,标志着苏州轨道交通正式进入网络化运营阶段。

表 1 2012—2019 年苏州轨道交通线网各线年日均客运量
Tab.1 Average daily passenger volume of each line in Suzhou rail transit network from 2012 to 2019

单位:万人次/d

年份	年日均客运量			
	1 号线	2 号线	4 号线	线网合计
2012	7.1			7.1
2013	13.4			13.4
2014	20.6	11.1		31.7
2015	23.3	14.3		37.6
2016	24.7	16.2		40.9
2017	28.1	23.4	16.8	68.3
2018	31.2	29.4	28.4	89.0
2019	33.4	33.0	32.8	99.2

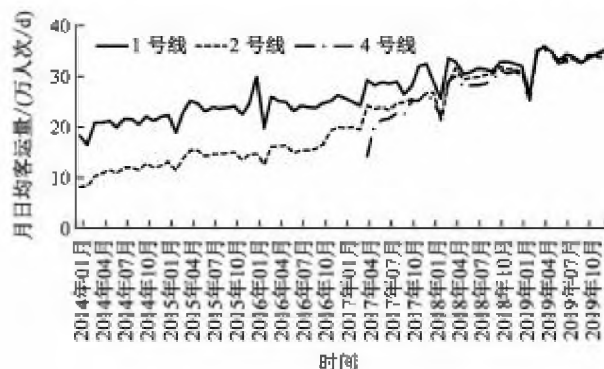
图 1 为 2014—2019 年苏州轨道交通线网各线以月为统计周期计算得到的日均客运量变化情况。从图 1 可看出:① 苏州轨道交通各线客流总体呈上升趋势;② 4 号线开通后线网格局基本形成,全网客运量激增,1 号线和 2 号线的客运量也随之显著增长。2017 年 4 月至 2018 年 4 月,1 号线的客运增量高于 2 号线的客运增量,4 号线和 2 号线因部分线路区段走向一致,在一定程度上相互分担了部分客流;③ 2018 年 4 月后,2 号线和 4 号线的客运量出现了较快的增长趋势,至 2019 年 3 月,1 号线、2 号线及 4 号线的客运量基本持平;④ 从总体看,这 3 条线路的客运量稳步增长,但线路客流量规模仍然较小。

2 苏州轨道交通线网客流特征分析

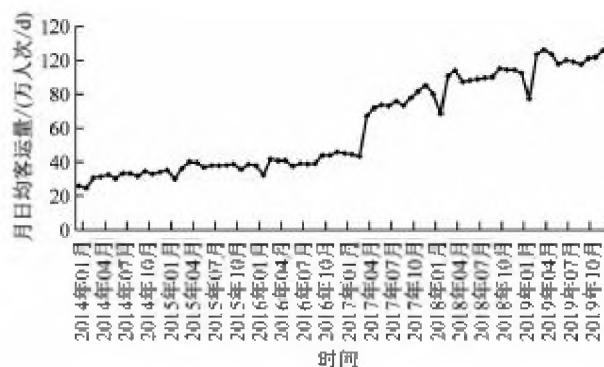
2.1 高峰小时客流最大断面客流特征

2.1.1 1 号线高峰小时客流最大断面客流特征

1) 高峰小时客流最大断面区间的变化情况:4



a) 分线月日均客运量



b) 线网合计月日均客运量

图 1 2014—2019 年苏州市轨道交通各线月日均客运量变化情况

Fig.1 Monthly average daily passenger flow changes of each Suzhou rail transit line from 2014 to 2019

号线开通前,1 号线的高峰小时(07:00—08:00)客流最大断面为广济南路站—养育巷站。4 号线开通后,1 号线的高峰小时客流最大断面东移至乐桥站—临顿路站(见图 2 a))。

2) 高峰小时最大断面客流量的变化情况:2017—2019 年,1 号线的高峰小时最大断面客流量持续增长,该指标 2018 年达 1.7 万人次/h,2019 年突破 31.9 万人次/h,如图 2 b)和图 2 c)所示。

3) 上、下行高峰小时最大断面客流量的区别:上行的高峰小时最大断面客流量和下行的高峰小时最大断面客流量在数值上差别明显;在自西向东(下行)方向,乐桥站至东方之门站区段为大客流区段,而自东向西(上行)方向全线高峰小时断面客流量的变化则较为平缓。

2.1.2 2 号线高峰小时客流最大断面的客流特征

2 号线高峰小时最大断面客流量呈逐年增长态势,上下行方向的高峰小时最大断面客流量基本均衡。2 号线二期工程经过一段时间稳定运营后,下行方向广济南路站—桑田岛站区间的高峰小时最大断面客流量增长较快,如图 3 所示。

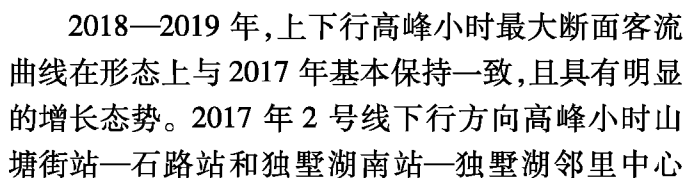


图4为2014—2019年苏州轨道交通线网小时进站量全日变化情况。由图4可知,早高峰时段和晚高峰时段进站量较大;2017年起,线网的客流早高峰时段由1 h(07:00—08:00)增加至2 h(07:00—

09:00)。

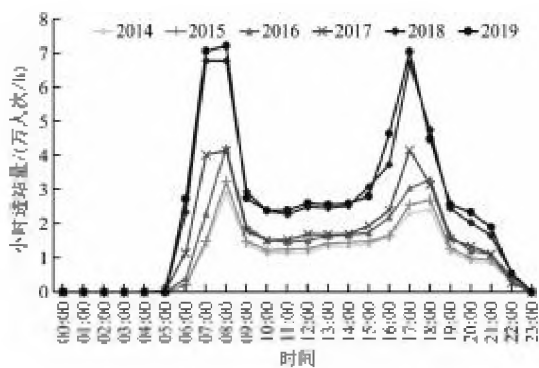


图4 2014—2019年苏州轨道交通网小时进站量
全日变化情况

Fig. 4 Daily change of hourly station inbound volume in
Suzhou rail transit network from 2014 to 2019

图5为2019年苏州轨道交通线网各站点日均进站量分布情况。由图5可知,日均进站量较大的站点主要集中在苏州市中心区;1号线东西方向的日均进站量较大,1号线乐桥站以西各站点的日均进站量差异明显;2号线及4号线在城市外围区各站的日均进站量整体较低,在中心区各站的客流分担则较为均衡。

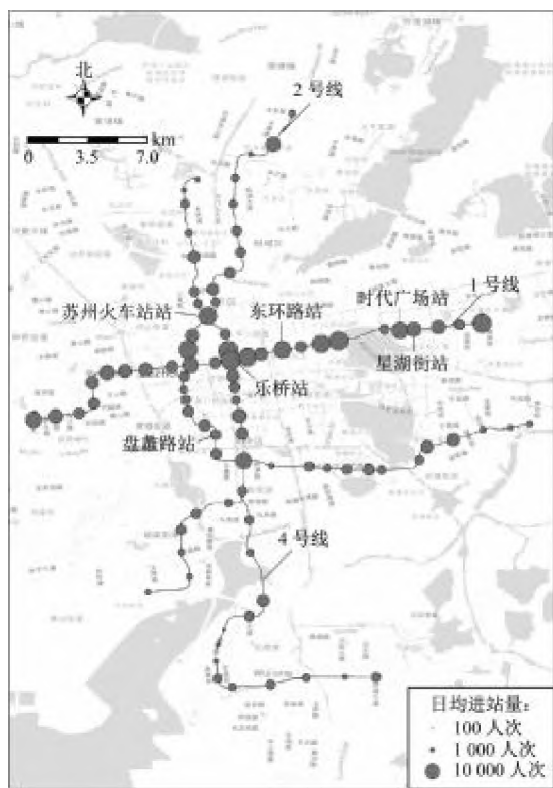


图5 2019年苏州轨道交通线网各站点日均进站量
分布示意图

Fig. 5 Volume distribution diagram of daily average inbound
flow at each station of Suzhou rail transit network
in 2019

结合站点周边的土地利用性质进一步分析发现,车站日均进出站量与周边公共设施、居住用地的比例密切相关:周边以商业办公用地为主的站点(如星湖街站、时代广场站),其进出站客流呈现“早出晚入”的特征;周边以居住用地为主的站点(如东环路站、盘蠡路站),其进出客流则呈现相反的特征。苏州火车站站作为重要的交通枢纽站,其全天客流无明显的双峰特征。

2.3 乘客出行 OD(起讫点)特征

苏州的城市结构具有明显的组团特征,组团间、各组团内的交通出行特征对该市轨道交通的运营管理及其他交通基础设施的建设均有着一定的影响。图6为2019年苏州轨道交通乘客出行 OD 量分布情况。



图6 2019年苏州轨道交通客流出行 OD 量分布特征

Fig. 6 Distribution characteristics of Suzhou rail transit
passenger flow travel OD in 2019

由图6可知:出行客流分布呈现出较为明显的中心区向外辐射特征,其中,苏州火车站站作为交通枢纽,对市区整体范围内的客流有着较强的吸引力;进一步分析可以发现,1号线的客流分布存在较为明显的不对称性,以乐桥站为界,东部工业园区与中心区往来的客流量高于西部高新区与中心区往来的客流量,而西部高新区的客流与苏州火车站站之间的互动性更强;2号线、4号线的客流主要以苏州火车站站为中心,除高铁苏州北站、同里站和

松涛街站外,其余的线路末端站点与中心区的客流联系较弱,原因在于高铁苏州北站站为枢纽站,同里站为旅游型站点,松涛街站位于大学城区域内(属教育型站点),这几个车站都是对外客流发生较多的站点。此外,2号线尹山湖站—松涛街站区段由于在大学城区域范围内,站点间的客流联系较强,具有组团趋势。

2.4 苏州轨道交通初步成网阶段客流发展规律

2.4.1 线网规模效应拉动客流快速增长

与北京、上海等城市的轨道交通发展特征类似,苏州轨道交通网络化初期因新线开通带来的客流增长幅度较大,这有助于加快乘客出行方式的转变,拉动轨道交通客流快速增长。但是,与北京、上海等强中心城市有所不同,同等线网规模下苏州轨道交通客运量相对较低。

2.4.2 线路延伸改变客流时间分布

苏州轨道线路延伸线开通运营后,线路的服务范围进一步扩大,城市居民的通勤距离、通勤时间随之改变,轨道交通客流早高峰时段的开始时间提前,且早高峰时段的持续时间有所增加。

2.4.3 城市组团结构带来客流空间集聚

苏州市具有较为明显的组团结构特征,组团内与组团间的客流出行特征会随着城市轨道交通线路的开通与运营有所变化,如2号线的高峰时段最大客流断面由市中心区段转移到了东延伸段。

3 苏州轨道交通线网存在的主要问题及发展建议

3.1 苏州轨道交通线网存在的主要问题

3.1.1 站内客流管控能力亟待加强

苏州轨道交通部分车站早晚高峰客流量大、站台拥挤,尽管已安排志愿者对客流进行引导,但仍难以满足客流管控的需求。后续随着新线的逐步开通,其客流动态变化规律将更为复杂。此外,苏州是我国的历史文化名城与风景旅游城市,城市轨道交通需准确把握游客的出行特点。

3.1.2 运力与运量的匹配性需进一步优化

目前,1号线高峰时段的最小发车间隔已达到2 min,但线路的平均断面满载率仍较高。轨道交通客流具有明显的不均衡性,若断面运力与断面客流量匹配不佳,则容易出现高峰时段列车和车站内客流拥挤、非高峰时段运力浪费等情况,因此,需要进一步优化轨道交通线路的运力分配。

3.1.3 行车组织模式较为单一

苏州轨道交通处于网络化运营初期,各线路均采用单一交路运行。单一交路模式难以满足多样化的客流需求,易造成部分区段运能浪费严重,资源的利用效率也较低。

3.2 苏州轨道交通的发展建议

3.2.1 提升线网的动态客流管控能力

未来苏州轨道交通需要结合大数据采集与分析技术,实现客流分布的实时预测,把握特殊大客流的变化特点,做好站点客流组织,并构建苏州轨道交通线网的智能客流信息平台。

3.2.2 探索轨道交通网络化运营模式

应基于苏州轨道交通的规划线网,建立与之相适应的网络化运营管理模式。新建线路应从设计阶段开始探索互联互通、多交路组织及列车灵活编组等智慧运营模式,提前预留基础设施,以精准匹配运力与运力需求。

3.2.3 促进线网间各线协调运行

随着苏州轨道交通线网的进一步扩充,换乘站点持续增加,需要合理制定线路的列车开行密度,在满足客流需求的基础上,尽可能保证换乘节点的有效换乘,避免站台上滞留大量乘客,提升城市轨道交通服务水平,保障乘客出行安全。

3.2.4 成为多模式交通体系的核心支撑

苏州以构建多网融合的市域轨道交通体系为建设目标,未来苏州轨道交通在运营管理上需注重与区域轨道(包括市郊铁路、城际客运专线等)、道路公交等多种模式的有效衔接,优化交通枢纽的客流衔接,发挥各层次轨道交通的功能,支撑苏州市各功能区的融合、协同发展。

4 结语

随着苏州轨道交通线网规模的扩大,苏州轨道交通已进入网络化运营阶段。当前苏州轨道交通面临着更高的客流管控能力需求,需要以节约运能资源、提高服务水平为目标,探索多种运营组织模式,满足多样化的客流需求。在快速建设城市轨道交通线网的同时,要注重对城市轨道交通线网的客流规律进行总结,及时调整城市轨道交通的发展方向,最大限度地挖掘城市轨道交通的潜力,促使城市轨道交通为居民出行及城市发展发挥更大的效用。

(下转第118页)

客流引导等辅助手段,将中风险地区车站拥挤度和列车满载率控制在 70% 以内,将高风险地区车站拥挤度和列车满载率控制在 50% 以内。仿真结果显示,该控制方法的实施效果较为理想,其系统协调联动性较强,能有效解决操作层面上存在的量化难、执行难及评估难等问题。

基于城市轨道交通运营管理的复杂性,本文所提的客流控制方法仍为理论层面上的研究成果,需将此理论方法应用到具体的运营生产实际中,以进一步验证其实施效果。在后疫情时代,本控制方法可为城市轨道交通高峰期常态化客流协同控制提供参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 关于分区分级科学做好客运站和交通运输工具新冠肺炎疫情防控工作的通知: 交运明电 [2020]84 号 [A/OL]. (2020-03-01) [2020-03-02]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/ysfws/202006/t20200623_3316075.html. Ministry of Transport of the People's Republic of China. Notice on scientific prevention and control of COVID-19 pneumonia pandemic at passenger stations and on transport vehicles by divisions and grades: JYMD [2020] No. 84 [A/OL]. (2020-03-01) [2020-03-02]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/ysfws/202006/t20200623_3316075.html.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通运营企业运营数据报告(2019 年第四季度) [R]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2020:1. China Association of Metros. Operation data report of urban rail transit operation enterprises (the fourth quarter of 2019) [R]. Beijing: China Association of Metros, 2020:1.
- [3] 北京地铁运营有限公司. 北京地铁“超常超强运行图”诞生记 [J]. 城市轨道交通, 2020(7): 32. Beijing Subway Operation Co., Ltd. Birth record of 'super normal and super strong operation diagram' of Beijing Subway [J]. China Metros, 2020(7): 32.
- [4] 吴金龙, 丁小兵, 刘志钢. 上海市轨道交通系统防疫策略研究——以新型冠状病毒肺炎疫情为背景 [J]. 城市交通, 2020, 18(3): 46. WU Jinlong, DING Xiaobing, LIU Zhigang. Epidemic prevention strategy of Shanghai rail transit system: taking the COVID-19 pandemic as an example [J]. Urban Transport of China, 2020, 18(3): 46.
- [5] 南方都市报. 深圳地铁 26 站点高峰期人多! 控流拥挤清单发布, 市民出行请提早 [N/OL]. 南方都市报, (2020-03-11) [2020-03-12]. https://view.inews.qq.com/k/20200311A0FFQC00?web_channel=wap&openApp=false&f=newdc. Southern Metropolis Daily. Huge passenger volume during peak hours at 26 stations of Shenzhen Metro! The list of flow congestion control is released and citizens please travel with advancement [N/OL]. Southern Metropolis Daily, (2020-03-11) [2020-03-12]. https://view.inews.qq.com/k/20200311A0FFQC00?web_channel=wap&openApp=false&f=newdc.
- [6] 西安大交通发布. 注意! 今天西安地铁这些车站将实施客流控制 [EB/OL]. (2020-03-09) [2020-03-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1660668924259739397&wfr=spider&for=pc>. Issued by Xi'an Transportation. Be careful! Today, these stations of Xi'an Metro will implement passenger flow control [EB/OL]. Baidu (2020-03-09) [2020-03-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1660668924259739397&wfr=spider&for=pc>.

(收稿日期: 2020-11-05)

(上接第 112 页)

参考文献

- [1] 刘剑锋, 罗铭, 马毅林, 等. 北京轨道交通网络化客流特征分析与启示 [J]. 都市快轨交通, 2012, 25(5): 27. LIU Jianfeng, LUO Ming, MA Yilin, et al. Analysis on the passenger flow characteristics of Beijing urban rail network [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012, 25(5): 27.
- [2] 李金海, 李明高, 杨冠华, 等. 北京轨道交通网络化客流特征及成长趋势分析 [J]. 交通工程, 2017, 17(3): 53. LI Jinhai, LI Minggao, YANG Guanhua, et al. An analysis on the passenger volume characteristics and growth trend of networking process of the Beijing urban rail transit [J]. Journal of Transportation Engineering, 2017, 17(3): 53.
- [3] 陈必壮, 王忠强, 王祥. 上海市轨道交通网络化客流特征分析及启示 [J]. 城市交通, 2013, 11(6): 28. CHEN Bizhuang, WANG Zhongqiang, WANG Xiang. Characteristics analysis of passenger flow on rail transit network in Shanghai [J]. Urban Transport of China, 2013, 11(6): 28.
- [4] 陈豪. 上海轨道交通网络化客流特征浅析 [J]. 交通与运输, 2013, 29(5): 53. CHEN Hao. Analysis on the characteristics of Shanghai rail transit network passenger flow [J]. Traffic & Transportation, 2013, 29(5): 53.
- [5] 郭莉, 谢明隆. 深圳市轨道交通网络化运营初期线路客流特征分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(8): 14. GUO Li, XIE Minglong. Passenger flow characters and enlightenment in early operation of Shenzhen rail transit network [J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(8): 14.
- [6] 史海欧, 孙元广. 广州轨道交通网络化运营客流特征和问题 [J]. 都市快轨交通, 2012, 25(3): 29. SHI Haiou, SUN Yuanguang. Characteristics and problems of passenger flows in Guangzhou rail transit network operation [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012, 25(3): 29.

(收稿日期: 2021-01-07)