

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.20230711001

文章编号:1674-599X(2026)02-0051-07

引用格式:王佳,林苗朋,李佩.基于分时客流的地铁网络中心性研究[J].交通科学与工程,2026,42(2):51-57.

Citation: WANG Jia, LIN Miaopeng, LI Pei. Study on centrality of subway network based on time-varying passenger flow[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2026, 42(2): 51-57.

基于分时客流的地铁网络中心性研究

王佳¹,林苗朋¹,李佩²

(1.长沙理工大学 交通学院,湖南 长沙 410114;2.长沙阡陌交通规划设计有限公司,湖南 长沙 410076)

摘要:【目的】探究地铁网络中心性在不同客流时空分布下的变化规律。【方法】利用二阶聚类算法对城市轨道交通自动售检票(automatic fare collection, AFC)数据进行客流时段划分,并为地铁拓扑网络加载对应时段客流,生成分时客流加权网络。从客流运输角度出发,利用站点服务强度、站点客流介数和站点外部性三个指标对地铁网络中心性进行研究。以上海市地铁网络为例,挖掘出高峰、过渡、平低峰三个典型客流时段。【结果】高峰时段地铁站点的服务强度与外部性普遍比平低峰、过渡时段的大,而各个时段站点间的客流介数并没有明显差异;外部性较大的站点不仅分布于地铁网络中心区域,还存在于网络边缘的支线上;在不同客流时段各指标排名前10的站点重复率高,且全部集中在三条最早建设的地铁线路上。【结论】研究结果可为城市轨道交通日常客流组织、规划与制定针对突发事件的安全预案提供参考。

关键词:城市轨道交通;复杂网络;网络中心性;二阶聚类;AFC数据

中图分类号:U491

文献标志码:A

Study on centrality of subway network based on time-varying passenger flow

WANG Jia¹, LIN Miaopeng¹, LI Pei²

(1. School of Transportation, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2. Changsha Qianmo Traffic Planning and Design Co., Ltd., Changsha 410076, China)

Abstract: [Purposes] This paper aims to investigate the variation patterns of centrality of subway networks under different spatiotemporal distributions of passenger flows. [Methods] In this study, a two-step clustering algorithm was employed to partition automatic fare collection (AFC) data of urban rail transit into distinct time periods, and the corresponding passenger flows were incorporated into the subway's topological network, which thereby generated a time-varying passenger flow weighted network. From the perspective of passenger transportation, the centrality of subway networks was examined using three indicators: station service intensity, station passenger flow betweenness, and station externality. The Shanghai subway network was used as a case study, and three typical passenger flow periods were identified: peak, transitional, and off-peak periods. [Findings] Subway stations exhibit higher service intensity and externality during the peak period compared to the off-peak and transitional periods. However, there is no significant difference in passenger flow betweenness among different time periods. Stations with higher externality are found not only in the central area of the

收稿日期:2023-07-11

基金项目:国家自然科学基金项目(51508041);湖南省自然科学基金项目(2023JJ30055);湖南省交通运输厅科技项目(202134,202232)

通信作者:王佳(1980—),男,副教授,主要从事交通运输规划与管理方面的研究工作。E-mail:67985839@qq.com

投稿网址:https://jtkxygc.csust.edu.cn/jtkxygc/home

subway network but also along the peripheral branch lines. Moreover, the top ten stations in each indicator for different time periods show a high degree of overlap, and all are concentrated on the three earliest subway lines. [Conclusions] The findings of this research can provide valuable insights for the daily organization of passenger flows for urban rail transit and the planning and implementation of safety contingency plans for unforeseen events.

Key words: urban rail transit; complex network; network centrality; two-step clustering; AFC data

地铁站点作为地铁系统的重要组成部分,是地铁系统内外交通流传输的媒介,科学、合理的关键站点识别技术有助于地铁运营管理部门组织和规划日常客流,并提前制定针对突发事件的安全预案,降低部分站点崩溃带来的系统性风险。

复杂网络理论是研究交通网络的有力工具,常利用网络中心性指标定量描述网络节点的重要性。自20世纪80年代节点度中心性、介数中心性与紧密中心性由FREEMAN^[1]提出并用于衡量网络节点的重要程度以来,就不断有学者将其用于识别各类运输网络中的关键节点^[2]和交通设施建设与运营过程中的潜在风险源^[3]。其中大部分研究都从城市轨道交通网络拓扑结构入手,对网络中的关键站点进行识别。湛微微等^[4]构建了基于二阶张量的轨道交通网络模型,用中心性指标评价网络节点的重要程度,并识别出对网络连通性影响最大的站点。YANG等^[5]通过对节点度中心性、介数中心性进行加权构建综合指标来识别北京地铁网络中的关键站点。DU等^[6]考虑站点之间的相互作用,引入拓扑势和熵的概念,构建综合指标来识别关键站点。

随着研究的深入,蔡鉴明等^[7]发现考虑客流量会使网络中站点重要程度的排序发生较大的变化。徐澍铨等^[8]通过分析客流量比例系数和节点效率对站点的作用,设计了站点重要程度贡献矩阵,发现引入客流因素可以显著提高轨道交通网络重要站点的评估精度。越来越多的研究开始通过引入客流量、出行延误、可达性等交通参数,来更真实地反映交通网络。CHENG等^[9]提出了一种考虑出行时间延迟与通勤客流量的新中心性度量方法,并评估和比较了新中心性度量指标与传统指标的差异;高勃等^[10]从城市轨道交通路网运营设备安全角度出发,研究了不同时刻轨道交通站点在路网中重要程度的变化情况;CHEN等^[11]从轨道交通站点的可达性出发,综合了车站所在线路的结构特征与相互关系识别出交通网络中的关键站点;胡映月等^[12]基于历史刷卡数据建立了客流传播模型,综合考虑了客

流在网络中的传播、线路能力与线网结构,利用车站连接强度、滞留人次、负荷强度及过站列车剩余能力四个指标识别网络中的关键站点;陈培文等^[13]提出基于客流的中心性指标,对北京市地铁早高峰的客流现状进行分析,识别出北京地铁的关键站点。

综上所述,以往研究中考虑了客流等交通因素的网络模型更符合真实交通网络,却忽略了不同时段客流对网络中心性的影响;而将站点的中心性指标融合成综合评价指标来确定关键站点,缺少对关键站点中心性因“站”而异的分析。鉴于此,本文通过对城市轨道交通自动售检票(automatic fare collection, AFC)刷卡数据的聚类分析,得到典型客流时段;构建基于分时客流的加权网络模型,分析不同时段地铁网络中心性指标的分布变化及原因,并提出针对性建议。

1 基于分时客流的网络模型

1.1 网络构建

本文构建的是基于Space-L模型的无向加权网络 $G = \{V, E, W\}$,其中 $V = \{v_n | n = 1, 2, \dots, N\}$ 为网络中节点的集合; $E = \{e_m | m = 1, 2, \dots, M\}$ 为网络中节点之间所有连边的集合; $W = \{w_{e_m, t} | e_m \in E, t \in T\}$ 为时段 t 内各连边的权重的集合,由不同时段两站点间的断面客流量确定; T 为时间段的集合。

1.2 客流时段划分

对地铁客流时段进行划分是对网络连边权重进行赋值的前提。本文借鉴地铁运营时段划分方法,定义客流序列^[14]为每分钟进入地铁系统的客流量,每5个客流序列为1组样本。用样本的最大值、最小值、平均值定义某时段的客流特征向量:

$$C_i = (c_{i, \max}, c_{i, \min}, c_{i, \text{avg}}) \quad (1)$$

式中: C_i 为 i 时段的客流特征向量; $c_{i, \max}$ 为 i 时段客流样本中的最大值; $c_{i, \min}$ 为 i 时段客流样本中的最小值; $c_{i, \text{avg}}$ 为 i 时段客流样本的平均值。

再利用二阶聚类算法对客流特征向量进行聚类分析,结果中的每个类别代表一种客流时段。本文采用欧式距离定义客流特征向量间的聚类相似性,计算公式如下:

$$D_{i,j} = \sqrt{\sum_{x=1}^3 (C_{i,x} - C_{j,x})^2} \quad (2)$$

式中: $D_{i,j}$ 为*i,j*时段客流特征向量间的欧氏距离,其值越小,变量的相近程度越高,越有可能被归为一类; $C_{i,x}$ 为*i*时段客流特征向量的第*x*个分量; $C_{j,x}$ 为*j*时段客流特征向量的第*x*个分量。

2 中心性指标

复杂网络中节点的重要程度常用节点度中心性、介数中心性、紧密中心性等来定量描述,但这些指标不能完全适用于加载了客流的交通网络中心性的评价。本文从站点的服务能力、站点对客流运输效率的影响、站点失效后对周边站点或其他公共交通出行方式的影响三个方面构建地铁网络中心性指标。

2.1 站点服务强度

在加权网络中,节点度中心性是节点所有连边的权重之和,在地铁网络中可用来表征通过某站点的客流量大小。经过两个站点的客流量一样,说明乘客的出行距离较长,同时这两个站点在网络中承担的服务区域较大,比较重要。本文构建了站点服务强度这一指标,其不仅能反映站点客流量的大小,还能捕捉不同乘客出行距离的差异,其计算公式为:

$$S_n = \sum_{q \in Q} L_q \varphi_{n,q} \quad (3)$$

式中: S_n 为站点*n*的服务强度; Q 为地铁网络中乘客的集合; L_q 为乘客*q*的出行路径长度; $\varphi_{n,q}$ 为0-1变量,当乘客*q*的出行路径中包含节点*n*时,取值为1,反之取值为0。

2.2 站点客流介数

拓扑网络中介数中心性由经过某节点的最短路径数与网络中的所有最短路径数之比求得。地铁网络中,经过一个站点的最短路径越多,该站点对网络中客流运输效率的影响就越大。在客流加权网络中,每条最短路径上的乘客数量存在差异,所以本文使用最短路径上的出行乘客数代替最短出行路径数来构建站点客流介数这一指标,

见式(4)。

$$B_n = \frac{\sum_{r \in R} F_r \cdot \sigma_{n,r}}{\sum_{r \in R} F_r} \quad (4)$$

式中: B_n 为站点*n*的客流介数; R 为网络中所有最短路径的集合; r 为网络中的一条最短路径; F_r 为最短路径*r*上的乘客出行频次; $\sigma_{n,r}$ 为0-1变量,当站点*n*在路径*r*上,取值为1,反之取值为0。

2.3 站点外部性

当地铁站点失效时,乘客一般通过地铁网络内部换乘或采用其他交通方式完成出行,也即失效站点的客流压力将转移至邻近站点或地铁接驳网络中。显然,同一站点失效,对出行起讫点不同的乘客的影响有所不同。如图1所示,站点D失效,乘客甲距离目的地还有D、E、F共3个站点的剩余出行距离,而乘客乙还有D、C、B、A共4个站点的剩余出行距离。不同的剩余出行距离意味着接下来乘客为了到达目的地所要占用的其他地铁线路或者交通方式的程度有所不同。基于此,本文针对站点出行客流的剩余出行距离,构建站点外部性,以衡量站点失效给周边交通带来的影响。站点外部性的计算方法见式(5)。

$$E_n = Y_{n,r} F_r \sigma_{n,r} \quad (5)$$

式中: E_n 为站点*n*的外部性; $Y_{n,r}$ 为站点*n*失效时,路径*r*的剩余出行距离。

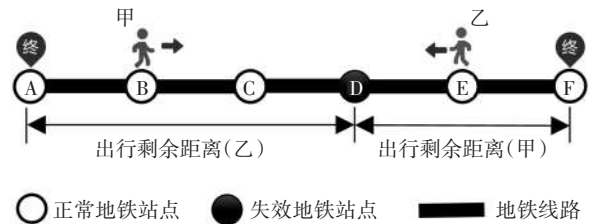


图1 站点失效影响分析示意图

Fig. 1 Diagram of impact analysis due to station failure

3 实例分析

3.1 数据来源

截至2015年,上海市已有14条地铁线路投入运营,其中包括1条地铁环线,总计涵盖298个站点。其时,上海地铁开始由单线运营转向网络化运营,这也将是我国很多地铁在建城市所要经历的阶段。因此,研究该时期的上海市地铁网络可为今后其他城市的地铁规划、管理和运营提供有益的

参考。

本文使用的数据集为上海市2015年4月13日(工作日,无大型活动)的AFC刷卡数据,可以较好地反映上海市居民的地铁出行需求。该数据集记录了每位乘客的卡号、出行方式及进出站点的名称、日期、时间,共计14 726 854条数据。数据集中的关键字段见表1。

表1 AFC刷卡数据的格式

Table 1 AFC card swipe data format

字段	数据类型	示例
卡号	数值型	602141128
交易日期	字符型	2015-04-13
交易时间	字符型	08:54:28
站点	字符型	4号线大连路
出行方式	字符型	地铁、公交

3.2 数据处理与分析

上海市地铁运营时段为5:30—22:30,以1 min的时间间隔进行采样,共得到1 020个客流序列。每5个客流序列组成1个时段客流样本,共获得204个样本。对样本求最大值、最小值、平均值,构成时段客流特征向量,以第10、30个时段为例,其客流特征向量见式(6)~(7):

$$C_{10} = (2\ 302, 2\ 066, 2\ 168) \quad (6)$$

$$C_{30} = (13\ 921, 13\ 192, 13\ 534) \quad (7)$$

对比可知,第10个时段的客流量远比第30个时段的小。

对时段特征向量进行二阶聚类分析,划分结果的平均轮廓系数为0.8,表明聚类质量较高。最终,客流时段被划分成3个类别,结果如图2所示。图2中,H、L、T分别为客流高峰、平低峰、过渡时段,其中过渡时段是高峰时段前客流聚集与高峰时段后客流消散的过渡期。鉴于过渡段的时间跨度普遍在1 h内,故对三类时段都以30 min为单位采样并进行客流加载,高峰时段选取7:50—8:20,平低峰时段选取12:20—12:50,过渡时段选取6:55—7:25。

客流时段划分完成后,将各时段站点间的断面客流加载到网络中,为网络中的边赋予权重。以高峰时段的客流加载为例,其可视化结果如图3所示。由图3可以发现,客流呈现出向网络中心集聚的态势,2号线中间段及1号线、9号线、5号线与4号环线相交段的客流量比较大,其客流量均超过3.0万人次。这是因为这些线路连接着成熟的商业区与居住区,承载着高峰时段的巨大通勤客流。同时,4号

环线内除了2号线,并没有出现网络中心区域客流量普遍较大的现象。这主要归因于2号线建设时间早,沿线配套设施完善,就业岗位充裕,有着成熟的客流。

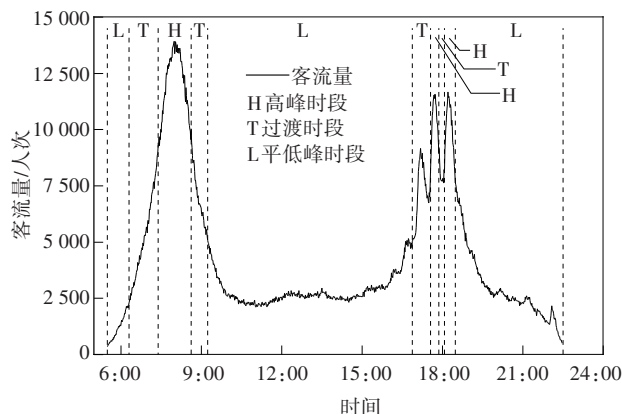


图2 客流时段划分结果

Fig. 2 Division of passenger flow time periods

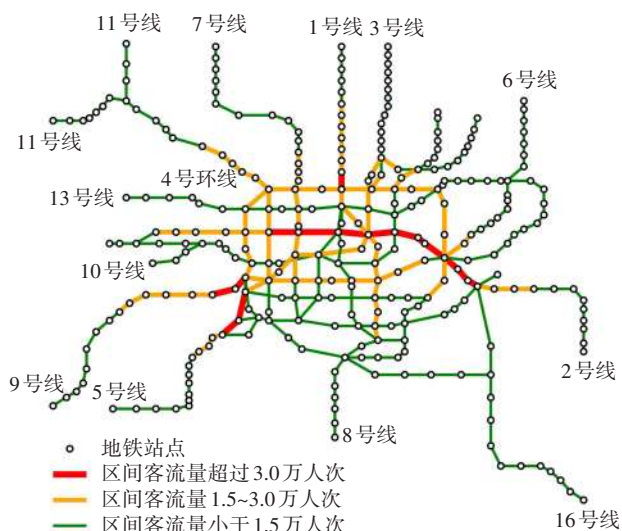


图3 高峰时段上海市地铁客流分布

Fig. 3 Distribution of passenger flow at Shanghai Metro sections during peak period

3.3 分时客流中心性分析

对地铁站不同时段的中心性指标值进行离差标准化,其可视化结果如图4所示。由图4可以看出,3个指标在不同时段和站点间的分布存在明显差异。主要体现在两个方面:第一,随着客流时段的变化,不同指标的变化趋势各不相同;第二,在客流相同的时段,不同站点的中心性指标值也存在差异。这表明地铁网络中不同站点的重要性有所不同,且各指标对于客流变化的敏感程度也有所不同。

在高峰时段,服务强度较大的站点明显多于另

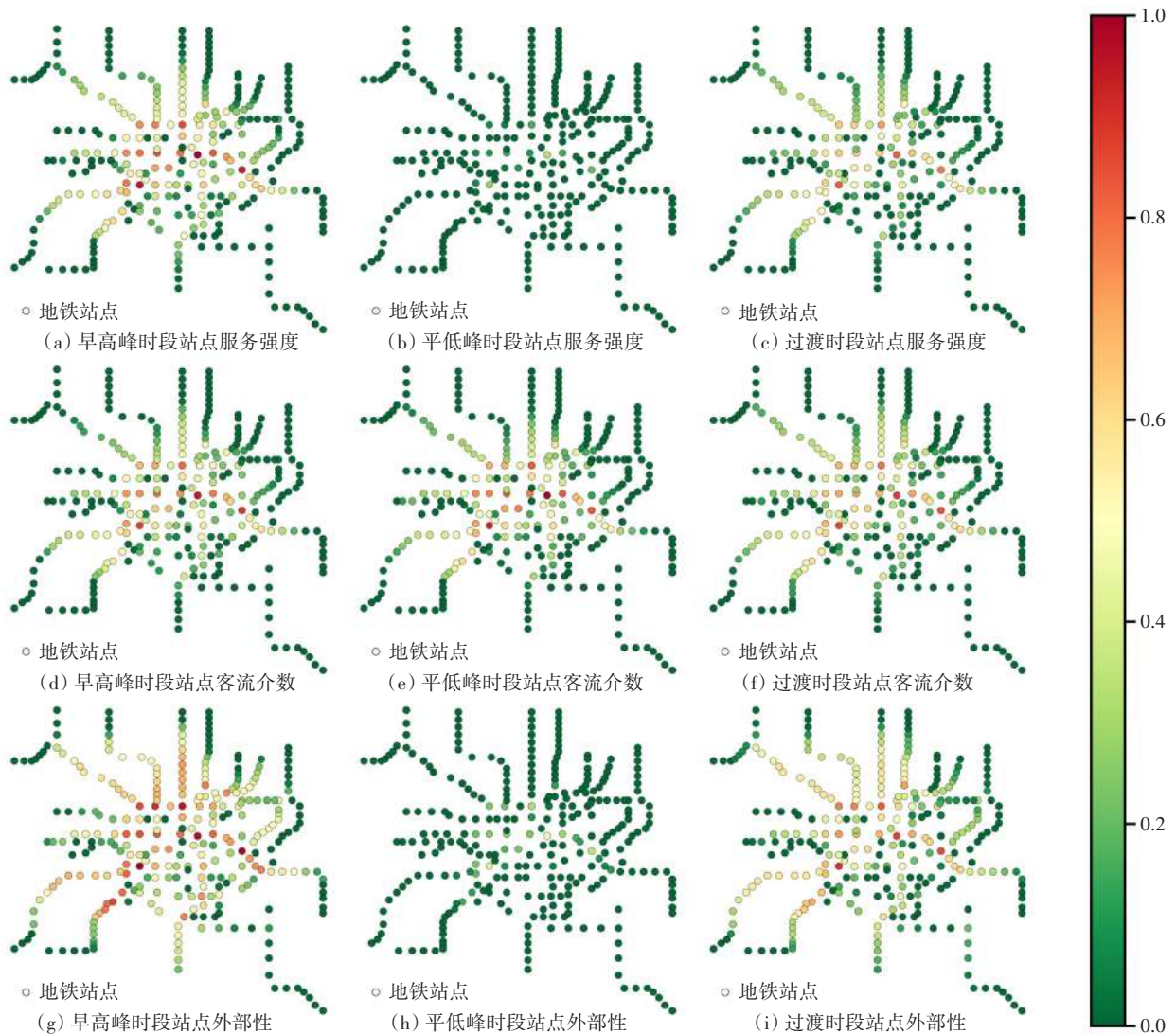


图4 地铁站点标准化客流中心性指标值分布

Fig. 4 Distributions of centrality indicator values for standardized passenger flow in subway stations

外两个时段,且多处于网络中心区域。这是因为在高峰时段,地铁网络中的客流量较大且网络中心区域的站点多为换乘站点,每个站点获得的客流量都较大。这表明网络中心区域的站点普遍比网络边缘站点所承担的客流量大,且越是高峰时段,这个差异就越显著。所以,对于高峰时段的地铁网络,网络中心区域的换乘站点应比网络边缘的站点具备更强的服务能力,这对网络中客流的高效运输有重要的意义。

与之不同的是,站点客流介数并没有随着客流时段的变化而变化。这是因为城市轨道交通不同于道路交通,高峰时段客流量激增并不会对轨道交通出行造成明显的延误。这使得人们并不会因为客流量的短时变化而轻易改变出行路径。所以即

使在高峰时段,客流介数高的站点其客流黏性也不会下降。在乘客对出行时间敏感性不高的情况下,针对这类站点,可以从出行舒适度、线路拥挤度角度,通过导航软件和站内实时信息站牌引导乘客向列车空位较多的线路或站点转移,降低热门站点的黏性。

站点外部性与客流周转量的分布状况类似,但不同的是外部性较大的站点不仅位于网络中心区域,也分布在环线以外的支线上。这部分站点失效后无法像环线内部那些换乘站点一样提供轨道交通网络内部换乘,客流会涌向附近站点或其他交通方式。所以对环线以外的外部性大的站点,除加强站点自身的健壮性外,还应加强站点周边其他出行方式的衔接,避免轨道交通系统中的客流由于节点

失效而大量涌入地面交通系统,引起更大范围的交通瘫痪。

不同时段各中心性指标排名前10的站点大多数是相同的。在去重处理后,共有15个不同的站点(表2),这些站点全部为换乘站点。说明相对于普通站点,换乘站点在地铁网络中起到的客流运输作用更为重要,应给予更高标准的管理。此外,这些站点集中分布在上海市最早建设的地铁线路(1号线、2号线和3号线)上。发生这种现象的原因是地铁建设是一个长期的工程,越早建设的地铁的沿线区域在发展方面越有优势。在建设早期,政策和规划相对完善,配套设施更成熟,这些配套设施有效地满足了人们的日常需求,促进了区域经济的稳步发展,吸引了大量客流。因此,地铁规划中需要科学评估未来的交通需求和人口流动趋势。而这些站点集中于这些最早建设的线路上,也显示出相应地铁线路的重要性,因此在未来的发展中需更加注重对其的维护与提升,如对现有车辆进行更新与扩充,以提高运输能力,应对早期线路不断增长的客流压力和交通需求。

表2 各中心性指标排名前10站点的信息

Table 2 Information of the top 10 stations ranked by centrality indicators

站名	所处线路	开通年份
人民广场	1,2,8	1995
徐家汇	1,3,4,9	1993
世纪大道	2,4,6,9	2000
上海火车站	1,3,4	1995
静安寺	2,7	2000
南京东路	2,10	2000
江苏路	2,11	2000
南京西路	2,12,13	2000
宜山路	3,4,9	2000
镇坪路	3,4,7	2000
中山公园	2,3,4	2000
上海南站	1,3	1993
曹杨路	3,4,11	2000
陕西南路	1,10,12	1995
虹口足球场	3,8	2000

4 结论

1) 上海市地铁网络不同时段各中心性指标的分布存在显著差异,且并非所有指标都有相同的变化趋势,这表明地铁网络中不同站点的重要性不

同,并且各指标对于客流变化的敏感程度也不同,这说明在地铁网络中心性的研究中考虑不同时间段的客流变化是必要的。

2) 不同时段各站点的客流介数变化不大,这反映出乘客对地铁出行时效性的信赖,故针对客流介数较大的站点可以从提升乘客舒适敏感性的角度诱导乘客在一定范围内变更出行路径,降低个别热门站点的客流负荷。

3) 外部性较大的站点不仅存在于网络中心区域的线路上,还存在于网络边缘的支线上,对这类站点应加强配套公共交通设施的建设,避免因站点瘫痪而波及周边的地面交通。

4) 不同时段用不同中心性指标识别出来的排名前10的站点大部分是相同的,且全部为建设时间较早的地铁线路上的换乘站点。所以,在这些地铁线路后期的运营管理中应注重对其的资金投入与维护,以应对不断增长的客流压力和交通需求。

参考文献(References):

- [1] FREEMAN L C. Centrality in social networks conceptual clarification [J]. *Social Networks*, 1979, 1 (3): 215-239. DOI: 10.1016/0378-8733(78)90021-7.
- [2] 张璠, 张庆年. 区域城市公路货运节点重要度识别及网络构建研究[J]. *公路与汽运*, 2023, 39(3): 12-18, 23. DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2023.03.004. ZHANG Jin, ZHANG Qingnian. Research on importance identification and network construction of regional urban highway freight nodes [J]. *Highways & Automotive Applications*, 2023, 39 (3): 12-18, 23. DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2023.03.004.
- [3] 陈赞, 李倩. 基于复杂网络的隧道施工塌方风险演化研究[J]. *长沙理工大学学报(自然科学版)*, 2022, 19 (2): 129-137. DOI: 10.19951/j.cnki.1672-9331.2022.02.013. CHEN Yun, LI Qian. Research on evolution of collapse risk in tunnel construction based on complex network [J]. *Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science)*, 2022, 19(2): 129-137. DOI: 10.19951/j.cnki.1672-9331.2022.02.013.
- [4] 谌微微, 张富贵, 赵晓波. 轨道交通线网拓扑结构模型及节点重要度分析[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2019, 38 (7): 107-113. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0696.2019.07.18. CHEN Weiwei, ZHANG Fugui, ZHAO Xiaobo. Topological structure model and node importance analysis of rail transit network [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences)*, 2019, 38 (7): 107-113. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0696.2019.07.18.

- [5] YANG Y H, LIU Y X, ZHOU M X, et al. Robustness assessment of urban rail transit based on complex network theory: a case study of the Beijing Subway[J]. *Safety Science*, 2015, 79: 149-162. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.06.006.
- [6] DU Z Y, TANG J J, QI Y, et al. Identifying critical nodes in metro network considering topological potential: a case study in Shenzhen City: China [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2020, 539: 122926. DOI: 10.1016/j.physa.2019.122926.
- [7] 蔡鉴明, 邓薇. 长沙地铁网络复杂特性与级联失效鲁棒性分析[J]. *铁道科学与工程学报*, 2019, 16(6): 1587-1596. DOI: 10.19713/j.cnki.43-1423/u.2019.06.031.
- CAI Jianming, DENG Wei. Complex characteristics of Changsha metro network and robustness analysis of cascading failures [J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2019, 16(6): 1587-1596. DOI: 10.19713/j.cnki.43-1423/u.2019.06.031.
- [8] 徐澍锟, 初宪武, 王运明, 等. 基于客流量的城市轨道交通网络站点重要度评估方法[J]. *大连交通大学学报*, 2021, 42(4): 18-22, 37. DOI: 10.13291/j.cnki.djdxac.2021.04.004.
- XU Shukun, CHU Xianwu, WANG Yunming, et al. Evaluation method of station importance of urban rail transit network based on passenger flow [J]. *Journal of Dalian Jiaotong University*, 2021, 42(4): 18-22, 37. DOI: 10.13291/j.cnki.djdxac.2021.04.004.
- [9] CHENG Y Y, LEE R K W, LIM E P, et al. Applications of social media and social network analysis [M]. Cham: Springer International Publishing, 2015: 23-39.
- [10] 高勃, 祝凌曦, 肖雪梅. 城市轨道交通路网运营设备安全状态评估方法[J]. *交通科学与工程*, 2014, 30(1): 98-102. DOI: 10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2014.01.003.
- GAO Bo, ZHU Lingxi, XIAO Xuemei. Safety assessment method for equipment of urban rail transit network operation [J]. *Journal of Transport Science and Engineering*, 2014, 30(1): 98-102. DOI: 10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2014.01.003.
- [11] CHEN T, MA J, ZHU Z, et al. Evaluation method for node importance of urban rail [J]. *Sustainability*, 2023, 15(4): 3582. DOI: 10.3390/su15043582.
- [12] 胡映月, 陈峰, 陈培文, 等. 基于网络客流传播的轨道交通关键站点识别[J]. *西南交通大学学报*, 2017, 52(6): 1193-1200, 1215. DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2017.06.021.
- HU Yingyue, CHEN Feng, CHEN Peiwen, et al. Critical station identification based on passenger propagation in urban mass transit network [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2017, 52(6): 1193-1200, 1215. DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2017.06.021.
- [13] 陈培文, 陈峰, 胡映月, 等. 基于复杂网络的城市轨道交通网络中心性研究[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2017, 14(2): 97-102, 109. DOI: 10.13306/j.1672-3813.2017.02.014.
- CHEN Peiwen, CHEN Feng, HU Yingyue, et al. On urban rail transit network centrality using complex network theory [J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2017, 14(2): 97-102, 109. DOI: 10.13306/j.1672-3813.2017.02.014.
- [14] 陈东洋, 陈德旺, 江世雄, 等. 基于时段客流特征聚类的地铁运营时段划分[J]. *计算机系统应用*, 2021, 30(3): 256-261. DOI: 10.15888/j.cnki.csa.007799.
- CHEN Dongyang, CHEN Dewang, JIANG Shixiong, et al. Division of metro operation periods based on feature clustering of passenger flow [J]. *Computer Systems & Applications*, 2021, 30(3): 256-261. DOI: 10.15888/j.cnki.csa.007799.

(责任编辑:石月珍;校对:薛仪)