

厦门轨道交通1号线运营初期道路公交客流变化特征分析^{*}

张懿木¹ 李哲² 李健^{1,2}

(1. 同济大学城市交通研究院, 201804, 上海;

2. 同济大学教育部道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海//第一作者, 硕士研究生)

摘要 以厦门轨道交通1号线为例, 分析城市轨道交通运营初期道路公交客流的变化特征。基于厦门轨道交通1号线开通前后各1个月的“E通卡”刷卡数据, 首先分析了1号线和道路公交整体客流的变化特征; 然后基于不同乘客群体出行模式选择, 分析了1号线新线运营后整个公共交通系统客流变化特征。研究成果可为城市轨道交通线路开通后公交群体出行模式分析和客流结构优化调整提供参考。

关键词 城市轨道交通; 运营初期; 道路公交; 客流特征

中图分类号 U293.13

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.09.019

Characteristics Analysis of Road Public Transport Passenger Flow Change at Early Stage of Xiamen Rail Transit Line 1 Operation

ZHANG Yimu, LI Zhe, LI Jian

Abstract Taking Xiamen Rail Transit Line 1 as an example, the passenger flow characteristics of road public transport passenger flow change characteristics at early stage of urban rail transit operation are analyzed. Based on the smart card data 1 month before and after the launch of Xiamen Rail Transit Line 1, the general passenger flow change characteristics of Line 1 and of road public transport are analyzed. Secondly, based on the travel mode choice of different passenger groups, the passenger flow change characteristics of the whole public transportation system after Line 1 operation is analyzed. The research results provide reference for public passenger group travel pattern analysis and passenger flow structure optimization after urban rail transit lines starting operation.

Key words urban rail transit; early stage of operation; road public transport; passenger flow characteristics

First-author's address Urban Mobility Institute, Tongji University, 201804, Shanghai, China

城市轨道交通在运营初期线路资源单一、服务范围有限, 且一般沿城市主要客流走廊敷设, 与道路公交服务形成竞争合作关系。道路公交线网较完善、灵活性高, 合理布置道路公交线路有利于促进城市轨道交通与道路公交的合作共赢^[1]。研究城市轨道交通运营初期道路公交客流变化特征, 对优化道路公交线网系统、提高公共交通系统的服务水平具有参考意义^[2]。然而, 原有这方面的研究受制于数据环境, 多从城市轨道交通或道路公交单方面的客流分析展开^[3-6], 或采用 SP(意向调查)、RP(行为调查)等问卷调查的方式对城市轨道开通后和道路公交出行者的行为特征进行分析^[7-8], 较少基于大数据从全样本的角度进行分析。此外, 对于城市轨道交通开通后的转移或诱增的道路公交出行乘客特征也缺少有针对性的分析。

本文对厦门轨道交通1号线(以下简为“1号线”)运营初期的客流特征以及1号线开通前后道路公交的客流变化特征进行分析。此外, 本文按照出行频率和稳定性, 把道路公交出行群体划分为三类, 并分类讨论其在1号线开通前后的特征变化。相关研究结论可为城市轨道交通开通后的道路公交线网调整、乘客出行特征分析及制定调控政策提供参考。

1 研究背景

1号线于2017年12月31日开通运营。1号线全长30.3 km, 共设24座车站。该线路主要沿岛内的厦禾路、嘉禾路及岛外诚毅大街等主要客流走廊敷设, 是连接城市主要建成区、开发新区和交通枢纽厦门北站重要的客运通道。厦门轨道交通1号线走向以及站点分布如图1所示。

^{*} 国家自然科学基金项目(71601145); 福建省交通运输科技项目(2017Y062)

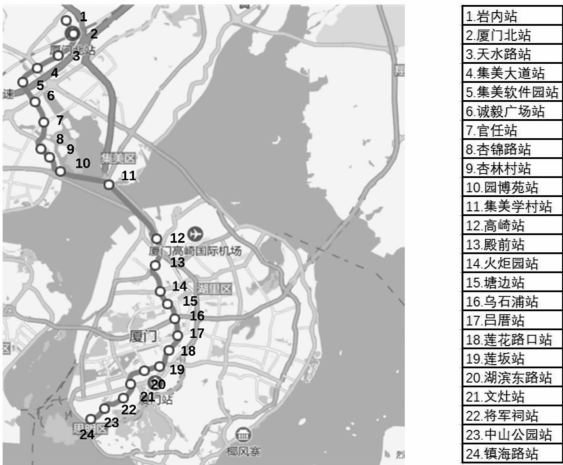


图 1 1 号线走向和站点分布图

本文采用的数据为 1 号线开通后 1 个月的进出站数据,源数据共有进站数据及出站数据,合计 325.23 万条。其中,进站数据 173.29 万,出站数据 151.94 万条。本研究中未涉及 1 号线乘客的出行起终点分析,故未进行数据匹配。为尽可能真实反映乘客出行特征,采用进站数据作为研究数据。数据主要字段为卡号、进站时间、出站时间、进站站点、出站站点。1 号线进站数据结构如表 1 所示。

表 1 1 号线进站数据结构

字段名称	含义说明	示例
卡号	与道路公交卡面号一致	8012319050270690
刷卡时间	YYYYMMDDHHMMSS	20181010173720
刷卡类型	进站/出站	0/1
站点名称	1 号线线路对应站点	高崎站

道路公交数据为 2017 年 12 月 1 日至 2018 年 1 月 31 日 1 号线开通前后各 1 个月的 E 通卡刷卡数据。刷卡数据通过与 GPS(全球定位系统)数据连接确定刷卡的空间位置。经匹配处理后,获得的 12 月份的道路公交数据 3 942.74 万条、1 月份的道路公交数据 3 746.43 万条,字段信息如表 2 所示。1 号线数据与道路公交数据通过卡号进行关联。

表 2 厦门市道路公交刷卡数据结构

字段名称	含义说明	示例
车辆编号	车牌号后四位	9160
卡面号	公交 IC 卡编号	1093111673
交易时间	YYYYMMDDHHMMSS	20171201000428
线路名称	线路名称	33 路
站点名称	某条线路上的站点	仙岳花园
站点经度	站点位置确定要素	118.1135143
站点纬度	站点位置确定要素	24.49810904

2 1 号线客流特征分析

1 号线开通后一个月内进站客流累计 173.29 万人次,人均月出行 3.6 次。月进站次数与乘客人次对应分布情况如图 2 所示。仅出行 1 次的乘客最多,且超过 60%的乘客的出行次数在 2 次以内。乘客出行频率较低,可能以体验为主要出行目的。

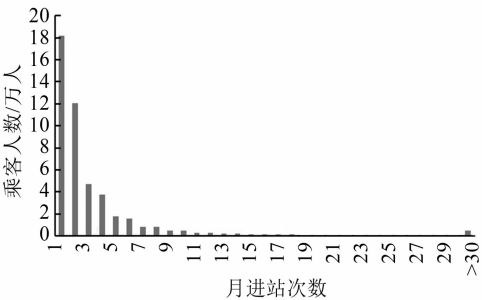


图 2 1 号线月进站次数与乘客人数对应分布情况

1 号线日均进站客流 5.59 万人次,工作日日均进站客流 5.68 万人次,周末节假日日均进站客流 6.29 万人次,周末节假日进站客流量高于工作日进站客流量。由图 3 可知:工作日客流具有明显的早晚高峰形态;周末峰值时段较集中,日均最大客流量略大于工作日日均客流量。

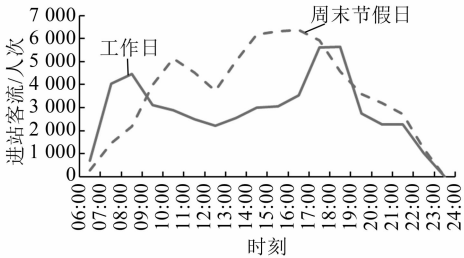


图 3 1 号线不同时段日均进站客流情况

图 4 为 1 号线各站点的日均进站客流情况。由图 4 可知,工作日及周末节假日各站点日均进站客流

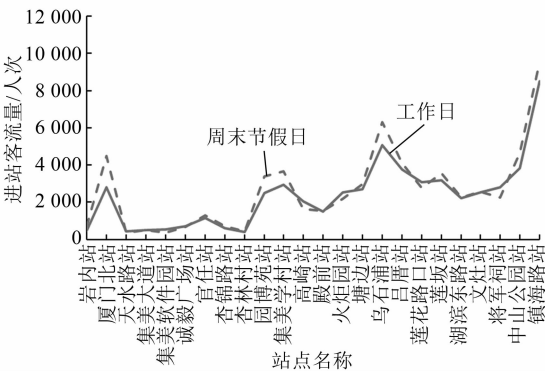


图 4 1 号线各站点日均进站客流情况

量基本一致;周末节假日,厦门北站、园博苑站、集美学村站以及乌石浦站等交通枢纽和旅游景点所在站点的日均进站客流量略高于工作日的日均客流量。

根据 1 号线开通一个月期间各站点之间的客流交换量分析发现:镇海路交换量最高,其进出站人次占总进出站人次的 15.03%;乌石浦站、吕厝站、中山公园站、莲坂站的交换量较高,分别占 9.52%、6.81%、6.57%、6.03%。

3 道路公交客流整体变化特征

1 号线开通前,道路公交 12 月份的日均客运量为 127.19 万人次;1 号线开通后,道路公交 1 月份的日均客运量为 120.85 万人次,减少了 4.98%。值得注意的是,以上分析结果并不能说明客流下降仅是由于 1 号线开通引起的。根据之前的统计数字,厦门道路公交客运量在持续下降,此外春节返乡客流也对道路公交客流下降造成影响。例如,厦门市 2016 年 1 月相较于 2015 年 12 月,道路公交客运量减少了 8.83%;2017 年 1 月,由于春节假期影响道路公交客运量较前一年的 12 月下降了 24.61%。

由表 3 所示的 1 号线开通前后道路公交日均客流情况可知:在 1 号线开通后(1 月份)相较于开通前(12 月份),工作日及周末节假日道路公交的日均客流量均有不同程度的减少。工作日较开通前减少了 5.69 万人次/d;周末节假日道路公交客运量受马拉松赛的影响,减少了 10.76 万人次/d。

表 3 1 号线开通前后道路公交日均客流情况				
项目		整体	工作日	周末节假日
客运量/ (万人次/d)	开通前	127.19	135.46	109.80
	开通后	120.85	129.77	99.04
客流	变化量/ (万人次/d)	-6.34	-5.69	-10.76
	变化率/%	-4.98	-4.20	-9.80

注:“-”表示减少。

1 号线开通前后道路公交不同时段客流情况如图 5 所示。由图 5 可知,1 号线开通前后道路公交不同时段日均客流基本相同,其中,早高峰客流量下降了 3.93%,晚高峰客流量下降了 4.41%。

1 号线开通前后,道路公交站点日均客流的的空间分布特征基本一致(见图 6)。思北路口站客流量最大,其次是 SM 城市广场和岳阳小区的客流量。岛内客流主要集中在 1 号线沿线,此外软件园、产业园和旅游景点各区域的客流量较大。岛外客流量较小,集中在主要城市建成区。

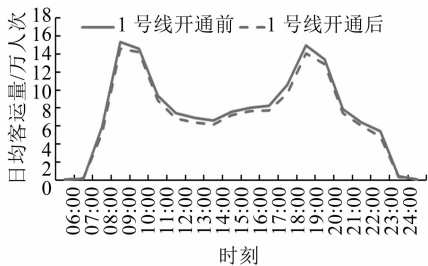


图 5 1 号线开通前后道路公交不同时段客流情况

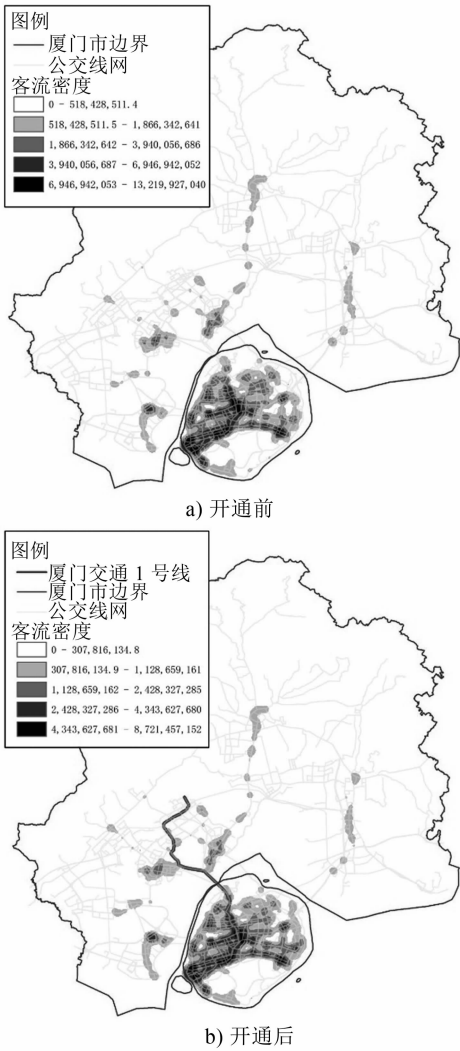


图 6 1 号线开通前后道路公交站点客流核密度图

4 道路公交客流变化特征分析

4.1 基于乘客道路公交出行特征的聚类

根据道路公交出行频率和出行日期波动情况,选取道路公交出行频率、出行日期的稳定性这 2 个指标将道路公交乘客划分为不同类别。道路公交出行频率通过月均出行天数反映,道路公交出行日

期波动情况通过连续公交出行日期间隔的标准差反映。出行频率是指研究期间不考虑换乘情况,道路公交持卡乘客采用道路公交出行的天数。某天采用 1 次道路公交出行即计算为 1 次道路公交出行天数。出行离散性是指研究期间乘客连续道路公交出行间隔天数的波动。通过乘客连续道路公交出行日期的分布情况,了解乘客较为稳定的连续出行行为的发生状态。连续出行间隔标准差计算示例见表 4(各乘客的出行日期分布情况为:乘客 A 在 3 号、7 号、30 号、31 号有道路公交出行行为,乘客 B 在 1 号至 17 号、19 号至 22 号、24 号至 31 号有道路公交出行行为)。

表 4 乘客选用道路公交连续出行的间隔标准差计算示例

乘客出行情况	乘客 A	乘客 B	乘客 C
连续道路公交出行次数/次	3	3	1
间隔段数/个	2	2	0
相邻连续出行间隔天数/d	3,22	1,1	0
平均间隔天数/d	12.5	1	
间隔标准差	13.43	0	0

采用 K-means 算法,并结合方向研究分类经验^[9-10],将道路公交持卡乘客分为 3 类。各类别最终聚类中心如表 5 所示。

表 5 道路公交持卡乘客各类别最终聚类中心

乘客类别	出行天数/d	出行日期标准差
1 类	11	1.6
2 类	23	0.4
3 类	3	1.2

1 号线开通前一个月,173 万道路公交持卡乘客中各类乘客的出行模式如下:

1) 1 类乘客使用道路公交出行频率中等,出行日期规律性弱,工作日早晚高峰时段客流峰值特征不明显,不属于道路公交通勤乘客;

2) 2 类乘客出行日期规律,出行频率高,最可能由通勤人群组成;

3) 3 类乘客道路公交出行频率低,出行日期规律性较弱,80%乘客出行日期标准差为 0,最有可能由出差、旅游等临时性乘客组成。

对于 1 号线开通后的新增道路公交持卡乘客,采用 SPSS 软件基于 FISHER 方法进行判别。计算与 1 类、2 类、3 类乘客聚类中心的距离,并依据现有的乘客出行模式的判别标准,将新增道路公交持卡乘客划分至已知类别中。

4.2 基于出行方式的客流变化及构成分析

根据 1 号线开通前后乘客所选择的出行方式,

将研究范围内的乘客分为 A、B、C、D、E、F、G 7 组,各组乘客的归类标准含如表 6 所示。

表 6 1 号线开通前后不同组乘客的归类标准

组别	1 号线开通前后乘客出行方式	
	1 号线开通前	1 号线开通后
A	道路公交	无
B	无	道路公交
C	道路公交	道路公交
D	道路公交	道路公交+地铁
E	道路公交	地铁
F	无	道路公交+地铁
G	无	地铁

不同出行特征的乘客其出行方式的选择在 1 号线开通前后有所变化。各组别乘客对出行方式选择的情况如表 7 所示。1 号线开通前一个月,道路公交持卡乘客共 173.67 万人,分布于 A 组、C 组、D 组、E 组乘客中;道路公交客运量为 3 942.74 万人次;1 号线开通后一个月,道路公交持卡乘客为 174.07 万人,分布于 B 组、C 组、D 组、F 组乘客中;道路公交客运量为 3 746.43 万人次。1 号线开通后一个月,无道路公交出行的乘客为 25.78 万人,分布于 A 组、E 组;1 号线开通后一个月,新增道路公交乘客 26.18 万人,分布于 B 组、F 组。1 号线开通后一个月,A 组、C 组、D 组、E 组道路公交出行量有所下降;B 组、F 组道路公交出行量增加,分别增加 159.26 万人次和 56.18 万人次。

A 组乘客仅有 2017 年 12 月的道路公交出行记录,B 组及 F 组乘客仅有 1 月份的道路公交出行记录,且总量和 A 组接近。由于厦门具有典型旅游城市特点,A 组、B 组、F 组乘客可能为短期停留厦门的外来人口,如培训、旅游等。这 3 组乘客主要由低频道路公交用户构成,第 3 类乘客的占比均大于 75%,其出行具有规律性弱且出行天数较少的特点,有较为明显的游客出行特征。

E 组乘客在 1 号线开通前有道路公交出行情况,1 号线开通后无道路公交出行情况,并且以第 3 类乘客为主。1 类、2 类乘客中可能存在部分通勤出行群体,出行方式由道路公交或其他方式转为地铁;另一方面,可能存在部分出行需求下降的乘客,因此无道路公交出行且地铁出行频率低。3 类乘客以低频地铁出行为主,无明显出行特征变化。

C 组乘客在 1 号线开通后无地铁出行情况,仍选择道路公交出行,可认为 1 号线开通对该部分乘客没有影响。

表 7 1 号线开通前后各组别乘客出行情况

组别	人数/万人	占比/%	乘客类别	各类别乘客人数/人	各类别乘客占比/%	月均出行次数/次			道路公交客流变化量/万人次	地铁客流变化量/万人次
						12 月份道路公交	1 月份道路公交	1 月份地铁		
A	24.35	12.05				7.86			-191.49	
B	20.35	10.07					7.83		159.25	
C	109.76	54.31				24.27	22.66		-175.87	
D	38.13	18.86	1 类	109 167	28.64	24.6	24.1	3.8	-5.50	41.08
			2 类	122 916	32.24	57.9	50.5	4.7	-90.19	58.20
			3 类	149 134	39.12	6.8	10.7	3.0	59.21	44.42
E	1.43	0.71	1 类	957	6.71	20.4		5.6	-1.95	0.54
			2 类	260	1.82	44.8		11.5	-1.16	0.30
			3 类	13 043	91.47	3.7		2.8	-4.78	3.68
F	5.83	2.88	1 类	9 236	15.83		23.8	4.1	21.97	3.83
			2 类	2 504	4.29		50.7	4.8	12.70	1.19
			3 类	46 596	79.88		4.6	2.9	21.52	13.56
G	2.25	1.11		2.25	100			2.9		6.50

注:1 月份 1 号线进站客流量为 173.29 万人次;“-”表示减少。

D 组乘客在 1 号线开通后选择道路公交和地铁出行。由表 7 可知,D 组通勤乘客(2 类)是 1 号线最大的用户群体,该乘客群体构成如图 7 所示。

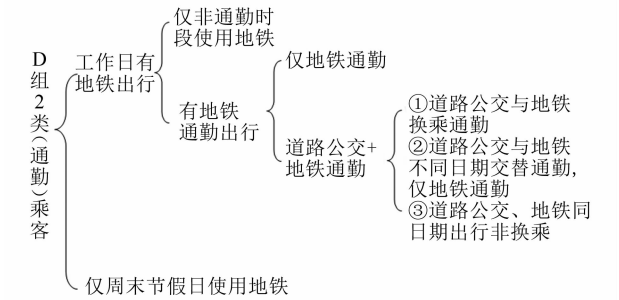


图 7 D 组通勤乘客(2 类)构成

经分析,1 号线开通后,地铁通勤乘客为 4.673 4 万人,占总人数的 39%。仅选用地铁的通勤乘客为 0.113 2 万人;绝大多数通勤乘客选用道路公交+地铁的出行方式,占总人数的 38%。选用道路公交+地铁出行的乘客的出行模式可分为 3 种:①道路公交、地铁不同日期交替通勤乘客为 1.225 6 万人,占总人数 10.0%,该部分乘客工作日月均道路公交出行 12.1 次、月均地铁出行 2.5 次;②道路公交、地铁换乘通勤的乘客为 2.013 5 万人,占总人数的 16.4%,工作日月均出行 3.14 次;③道路公交、地铁同天出行但非换乘的乘客为 1.321 4 万人,占总人数的 11.6%,工作日月均道路公交出行 22.2 次、月均地铁出行 4.2 次。

D 组通勤乘客中,有 38%乘客的通勤出行由道路公交变为道路公交+地铁,该群体中选用道路公交、地铁换乘的乘客人数最多,占总人数的 16.4%。

总体来看,道路公交+地铁通勤乘客的地铁出行频次较低,乘客仍以道路公交通勤为主。61%的用户仅在其他出行中使用地铁,工作日及周末节假日月均地铁出行频率均低于道路公交出行频率,用户以道路公交出行为主。

总体来看,厦门轨道 1 号线的开通运营初期对道路公交客运情况影响不明显。城市人口的流动所带来的公交客运量的增减相抵:城市流入人群所产生的新增客运量为 215.4 万人次,流出人群原有客运量为 191.49 万人次,道路公交客运总量并无明显变化;1 号线对原道路公交乘客的吸引有限,乘客以低频地铁出行为主,并未成为稳定的出行方式。

5 结语

本文以厦门轨道交通 1 号线为例,基于 1 号线开通前后的 IC 卡刷卡数据,对 1 号线和道路公交整体客流特征变化进行分析,并提出了基于聚类分析的不同乘客群体的出行特征变化的分析方法。研究结果显示,乘客地铁出行频次较低,超过 60%的乘客地铁出行次数在 2 次以内,可能主要以体验为主,对道路公交客运总量没有显著影响。但基于聚类分析的道路公交不同群体客流结构特征有部分变化。

本文所采集的数据处于厦门轨道交通 1 号线开通初期,客流尚不稳定,但本文提出的研究分析框架可以用于城市轨道交通和道路公交客流变化特征的持续跟踪分析,有助于推动城市轨道交通和道路公交两网融合发展。

(下转第 93 页)

参考文献

- [1] 杨永平,边颜东,周晓勤,等.我国城市轨道交通存在的主要问题及发展对策[J].城市轨道交通研究,2013(10):1.
- [2] 何洋阳,黄康,王涛,等.轨道交通牵引供电系统综述[J].铁道科学与工程学报,2016(2):352.
- [3] LI M X, HE J H, BO Z Q, et al. Simulation and algorithm development of protection scheme in DC traction system[C]//IEEE. 2009 IEEE Bucharest PowerTech. Bucharest, Romania: IEEE, 2009: 1.
- [4] HU J, HE J H, YU L, et al. The research of DC traction power supply system and the DDL protection algorithm based on MATLAB/Simulink[C]//IEEE. CICC 2010 Proceedings. Nanjing: IEEE, 2011: 1.
- [5] HE J H, YU L, WANG X J, et al. Simulation of transient skin effect of DC railway system based on MATLAB/Simulink[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 28(1): 145-152.
- [6] 李辉,徐炯,彭道刚.城市轨道交通牵引供电系统动态运行仿真研究[J].电测与仪表,2015(11):104.
- [7] 喻乐,和敬涵,王小君,等.基于Mexh小波变换的直流馈线保护方法[J].电力系统保护与控制,2012(11):42.
- [8] 喻乐,和敬涵,王小君,等.基于阶跃级数逼近法的城市轨道交通钢轨短路电流趋肤效应研究[J].电工技术学报,2012(4):7.
- [9] 杨洪耕,冷月,王智琦.用ILMD多尺度时频熵识别直流牵引网振荡电流与故障电流[J].高电压技术,2018(8):2457.
- [10] 刘建华,沈松伟,周明平,等.一种新型城市轨道交通馈线电流保护方法[J].电力系统保护与控制,2016(22):84.
- [11] 高伟,陈伟凡,杨耿杰,等.基于奇异值分解和多级支持向量机的配电网故障类型识别[J].电子测量与仪器学报,2018(2):62.
- [12] 向丹,岑健.基于EMD熵特征融合的滚动轴承故障诊断方法[J].航空动力学报,2015(5):1149.
- [13] DING J M, LIN J H, HE L, et al. Dynamic unbalance detection of cardan shaft in high-speed train based on EMD-SVD-NHT[J]. Journal of Central South University, 2015(6): 2149.
- [14] GAI J B, HU Y F, SHEN J X. A bearing performance degradation modeling method based on EMD-SVD and fuzzy neural network[J]. Shock and Vibration, 2019, Article ID 5738465, 10 pages.
- [15] 张健文,王曼,解浩,等.基于随机森林的油纸绝缘老化阶段评估[J].电测与仪表,2018(9):121.
- [16] 田行军,李夏青,李运华.直流牵引网振荡电流与故障电流波形识别[J].电工技术学报,2013(11):247.
- [17] GATOUS OMAR M O, FILHO J P. A new formulation for skin-effect resistance and internal inductance frequency-dependent of a solid cylindrical conductor[C]//IEEE. 2004 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America. Sao Paulo, Brazil: IEEE, 2004: 919-924.
- [18] 喻乐.城市轨道交通供电系统建模与直流馈线保护的研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [19] 孙开畅,徐小峰,吴鹏飞,等.基于Kendall法的高危施工作业中人为因素偏相关性研究[J].水利水电技术,2015(9):58.
- [20] HUANG N E, ZHENG S, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings Mathematical Physical & Engineering Sciences, 1998, 454(1971): 903-995.
- [21] 徐峰,刘云飞.基于EMD-SVD的声发射信号特征提取及分类方法[J].应用基础与工程科学学报,2014(6):1238.
- [22] 尚雪义,李夕兵,彭康,等.基于EMD-SVD的矿山微震宇爆破信号特征提取及分类方法[J].岩土工程学报,2016(10):1849.
- [23] 王家慧,王增平,王松,等.基于信号复杂度的高压交流线路暂态保护研究[J].华北电力大学学报,2019(1):1.
- [24] 蒲文旭,于龙,陈唐龙,等.基于熵测度的地铁弓网燃弧电流扰动分析[J].高电压技术,2014(11):3642.

(收稿日期:2019-10-11)

(上接第87页)

参考文献

- [1] 李家斌,过秀成,姜晓红,等.城市轨道交通运营初期地面公交线网调整策略研究[J].现代城市研究,2014(10):50.
- [2] 李家斌,过秀成,王峰.轨道交通网络建设起步期公交客流需求特征分析[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会.2016年中国城市交通规划年会论文集.沈阳:中国城市规划学会城市交通规划学术委员会,2016:9.
- [3] 沈丽萍,马莹,高世廉.城市轨道交通客流分析[J].城市交通,2007(3):14.
- [4] 史晟,杨超.基于出行方式链的城市轨道交通客流分析方法[J].城市轨道交通研究,2011(1):29.
- [5] 王周全.基于IC卡数据与GPS数据的公交客流时空分布研究[D].成都:西南交通大学,2016.
- [6] 陈锋,刘剑锋.基于IC卡数据的公交客流特征分析——以北京市为例[J].城市交通,2016(1):51.
- [7] 马婷.西安市常规公交-地铁交通客流转移模型[D].西安:长安大学,2011.
- [8] 林子敬,左志.大连新建地铁对公交出行选择的影响[J].交通运输研究,2017(1):34.
- [9] 陈修远.基于出行特性的公交乘客分类研究[D].成都:西南交通大学,2017.
- [10] 李军,邓红平.基于公交IC卡数据的乘客出行分类研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016(6):109.

(收稿日期:2019-09-21)