

西安地铁3号线 客流趋势预测研究

白俊峰¹, 庞瑾^{2,3}

(1. 陕西城际铁路有限公司, 西安 712035; 2. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043;

3. 陕西省铁道及地下交通工程重点实验室(中铁一院), 西安 710043)

摘要: 在我国城市已运营的轨道交通线路中, 实际客流与设计客流偏差较大的问题普遍存在。以西安地铁3号线为例, 研究其现状客流特征, 并与原设计客流对比, 分析主要客流预测指标与实际值的偏差及原因。在综合考虑客流影响因素的基础上, 提出3号线研究年度内各年客流预测推荐值, 对其原客流预测进行校正。最后, 结合3号线客流发展规律, 对城市轨道交通规划设计及运营提出相关建议。在线路运营初期对客流趋势进行预测, 为合理增购车辆、制定运营计划提供依据, 为其他线路进行客流趋势预测提供参考。

关键词: 西安地铁3号线; 客流特征; 客流预测

中图分类号: U231.92

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2021)01-0074-06

Prediction of Passenger Flow Trend of Xi'an Metro Line 3

BAI Junfeng¹, PANG Jin^{2,3}

(1. Shaanxi Intercity Railway Co., Ltd., Xi'an 712035; 2. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043; 3. Shaanxi Railway and Underground Traffic Engineering Key Laboratory (FSDI), Xi'an 710043)

Abstract: At present, the deviation between actual and designed passenger flow is widespread in urban rail transit lines which are in operation in China. Based on the passenger flow characteristics of Xi'an Metro Line 3, the deviation between the main passenger flow forecasting index and actual value and its reasons are analyzed. Based on an analysis of the influencing factors on passenger flow, the recommended passenger flow value in each year of Line 3 is proposed to correct its forecast value. Considering the development of passenger flow in Line 3, some suggestions are proposed for the planning, design, and operation of urban rail transit. Prediction of the passenger flow trend in the initial operation stage provides a basis for the reasonable purchase of vehicles and formulation of operation plans and provides a reference for other lines.

Keywords: Xi'an Metro Line 3; passenger flow characteristics; passenger flow forecasting

客流量是城市轨道交通规划、设计、建设、运营各阶段的基本依据, 预测结果的可靠与否直接关系到城市轨道交通的建设投资、运营效率和经济效益^[1]。由于客流预测周期长, 假设条件多, 且城市发展及居民出行特征变化较大, 我国各城市普遍存在实际客流与设计客流偏差较大的问题, 如表1所示。设计客流

和实际客流的偏差导致设计运营方案难以匹配实际客流需求, 使运营出现运能虚糜或能力不足等问题。

下面针对西安地铁3号线, 分析其现状客流特征, 并与原设计客流进行对比分析, 考虑城市规划、轨道交通建设时序、居民出行结构等因素, 同时结合西安地铁客流成长规律、客流月不均衡系数、西安东站

收稿日期: 2019-06-16 修回日期: 2019-07-29

作者简介: 白俊峰, 男, 本科, 高级工程师, 从事城市轨道交通研究工作, bjf963@126.com

引用格式: 白俊峰, 庞瑾. 西安地铁3号线客流趋势预测研究[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(1): 74-79.

BAI Junfeng, PANG Jin. Prediction of passenger flow trend of Xi'an Metro Line 3[J]. Urban rapid rail transit, 2021, 34(1): 74-79.

表1 部分城市地铁线路预测客流与实际客流比较

Tab. 1 Comparison of predicted passenger flow and actual value in some urban metro Lines

线路	预测日均客流/万人次	预测年份	实际日均客流/万人次	实际年份	误差/%	实际年份与预测年份关系
上海地铁1号线	68	2005	80.8	2005	18.82	同一年份
上海地铁5号线	35	2006	6.7	2007	-80.86	接近
北京地铁八通线	27	2006	5	2005	-81.48	接近
南京地铁1号线	47.4	2008	18	2008	-62.03	同一年份
宁波地铁1号线	28.8	2017	11	2017	-61.81	同一年份
西安地铁3号线	40.7	2018	65.8	2019	61.67	预测初期为2018年,实际2016年开通,因此二者同为初期

注:西安地铁3号线客流截至2019年4月(下同),其他线路数据根据文献[2-4]整理获得。

定位变化综合分析,对3号线客流趋势进行预测,提出了研究年度内的分年度预测客流推荐值,旨在为3号线增购车辆、制定运营计划提供依据,并与其他同类线路进行客流趋势预测提供借鉴。

1 西安地铁3号线概况

3号线于2016年11月8日开通,是西安市开通运营的第4条地铁线路,是线网中的骨干线。线路呈西南—东北走向,西南起自鱼化寨,东北止于保税区,运营里程38.0 km,设站26座,与已经开通运营的1、2、4号线分别在通化门站、小寨站、大雁塔站换乘。

3号线列车采用B型车6辆编组,自运营以来,运行图进行了多次调整。现状采用大小交路运行,鱼化寨—保税区为大交路,运行26站;鱼化寨—香湖湾为小交路,运行21站。目前早超高峰上线37列车,最小行车间隔2 min 52 s;早超高峰大交路开行5对,小交路开行11对,单向加开5列。运营计划区分早超高峰、晚超高峰、高峰、平峰、低峰期不同的运行间隔,以及分工作日、非工作日、节假日的列车运行图。

2 3号线现状客流特征

2.1 全线日均客流特征

西安地铁3号线自开通以来,客流增长较快,日均客流由开通初期29万~37万人次/d增长至68万人次/d,如图1所示。

2.2 全日分时客流特征

3号线工作日、非工作日和节假日的全日分时客流特征存在明显差异,如图2所示。工作日客流存在明显的“双峰”,早高峰出现在7:45~8:45,早高峰小时系数为12.8%;晚高峰出现在18:00~19:00,晚高峰小时系数为11.7%,早高峰客流高于晚高峰。

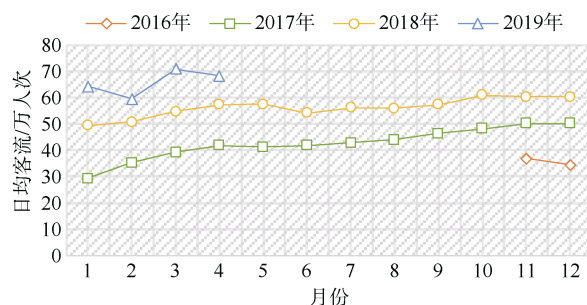


图1 3号线各月日均客流

Fig. 1 Average monthly passenger flow of Line 3

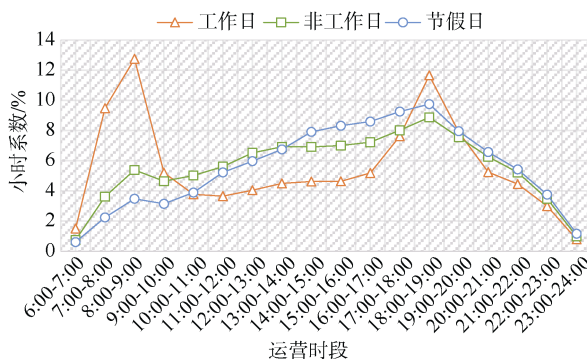


图2 3号线全日分时客流特征

Fig. 2 Characteristics of full-day time-sharing passenger flow of Line 3

非工作日和节假日无明显早、晚高峰,客流特征相似,全日客流分布较为均衡,最大高峰小时系数分别为8.9%、9.7%。

2.3 断面客流分布特征

2.3.1 工作日高峰小时断面客流

工作日早、晚高峰断面客流分布如图3、4所示,最大断面出现在早高峰下行,最大断面客流为34 539人次/h。早高峰下行断面客流整体高于上行,客流以下行进城的通勤客流为主,晚高峰反之,断面客流呈现方向的不均衡性,早、晚高峰方向不均衡系数分别为1.31、

1.21。早、晚高峰上下行最大客流断面均位于吉祥村—小寨断面,早高峰下行、晚高峰上行延平门—辛家庙段断面客流较大,在1万人次/h以上,香湖湾—保税区段断面客流为全线最低,不足2000人次/h。

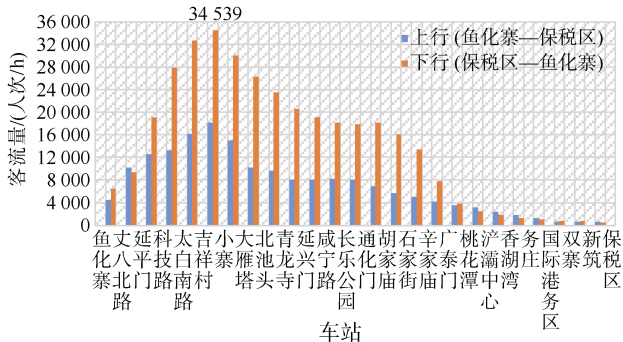


图3 3号线周一早高峰断面客流

Fig. 3 Passenger flow on Monday morning peak section of Line 3

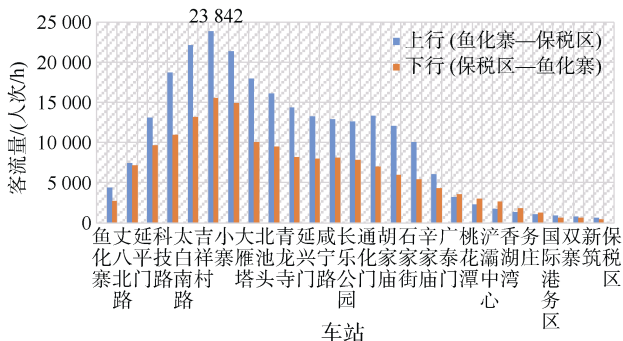


图4 3号线周一晚高峰断面客流

Fig. 4 Passenger flow on Monday evening peak section of Line 3

2.3.2 非工作日及节假日高峰小时断面客流

非工作日高峰小时断面客流总体较工作日的要低,如图5所示,上、下行客流较为均衡,方向不平衡系数接近1。上、下行最大客流断面位置与工作日的

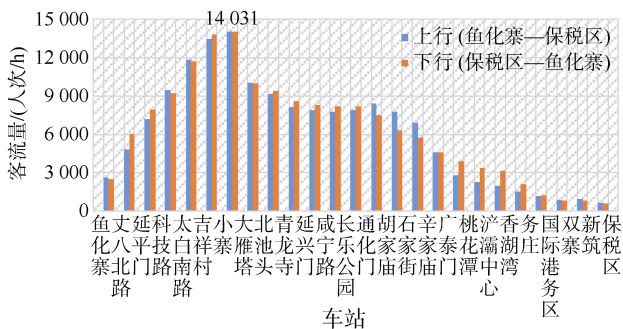


图5 3号线非工作日高峰小时断面客流

Fig. 5 Passenger flow on Saturday peak section of Line 3

不同,出现在大雁塔—小寨断面。太白南路—大雁塔段的断面客流较大,在1万人次/h以上,香湖湾—保税区段的断面客流为全线最低,基本在2000人次/h以下。

节假日高峰小时最大断面客流出现高于周末、低于工作日,如图6所示,上、下行客流呈现不均衡性,方向不平衡系数为1.15。最大断面出现在下行方向小寨—吉祥村区间,最大断面客流为17111人次/h。上行方向最大断面客流为12716人次/h,位置在小寨—大雁塔区间。

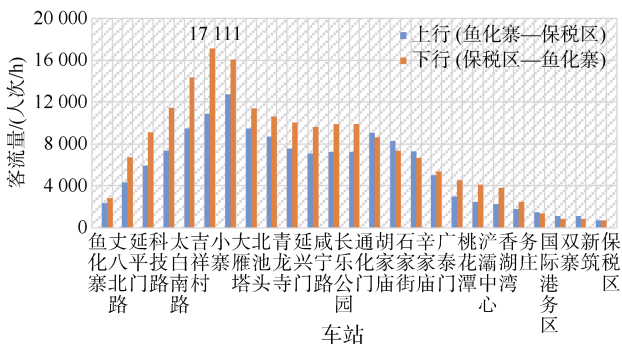


图6 3号线节假日高峰小时断面客流

Fig. 6 Passenger flow on holiday peak section of Line 3

2.4 日均换乘客流特征

3号线有3座换乘站,通化门站、小寨站、大雁塔站日均换乘客流分别为11.6万、19.1万、10.2万人/d。小寨站的换乘客流明显大于通化门站和大雁塔站的换乘客流,3座换乘站在3号线换入、换出的客流基本均衡(见图7)。

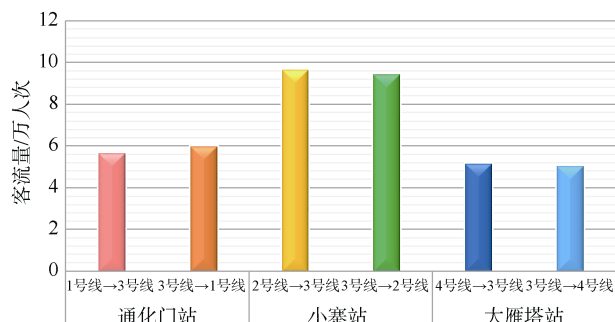


图7 3号线换乘站日均换乘客流

Fig. 7 Average daily transfer passenger flow at transfer station of Line 3

2.5 车站客流分布特征

日均集散量较大的车站依次是小寨、太白南路、延平门、科技路、大雁塔站,其中:小寨站是日均集散量最大的车站,达15.5万人次左右;集散量最小的

车站为双寨站，全日集散量仅 1 180 人次，占全线的 0.13% (见图 8)。

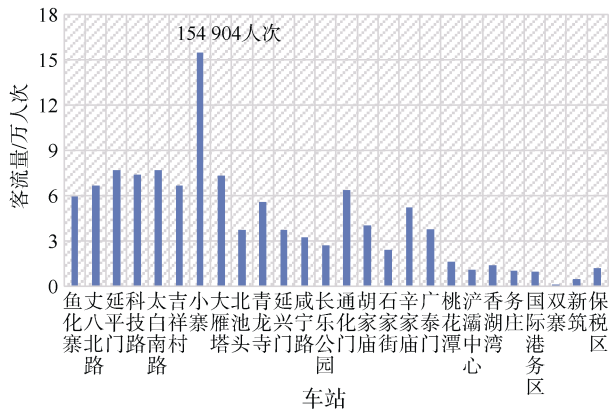


图 8 3 号线各站集散客流
Fig. 8 Passenger flow at each station of Line 3

3 现状客流与原设计客流对比

3.1 客流指标对比

西安地铁 3 号线现状日均客流为 68.26 万人次，是原设计值的 1.7 倍；早高峰最大断面客流为 3.45 万人次/h，是原设计值的 1.9 倍；日客流强度为 1.80 万人次/km，是原设计值的 1.7 倍；平均运距为 7.40 km，是原设计值的 65.9%。除平均运距外，其他客流指标均远超原设计值。

3.2 车站客流对比

车站实际客流与 2018 年的预测值相比，误差绝对值大于 100% 的车站有 6 座，占比 23.1%；误差绝对值大于 50% 的车站有 13 座，占比 50%。大部分车站，如鱼化寨、延平门、太白南路、吉祥村、广泰门等车站，客流远超预测值；部分车站，如桃花潭站以北的站点，客流均小于预测值。整体而言，青龙寺以西的客流预测偏保守，桃花潭以北的客流预测偏高(见图 9)。

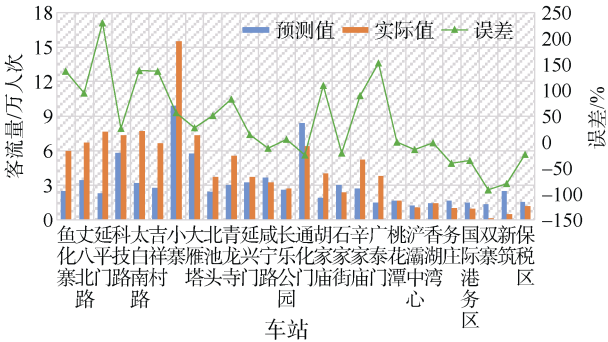


图 9 车站进出站客流预测值与实际值对比
Fig. 9 Comparison of predicted and actual passenger flow of the station

3.3 客流对比结论

1) 3 号线运营以来客流增长较快，原预测对客流的增长形式把握不足，客流量级及客流强度差异较大。对部分站点，如鱼化寨、延平门、太白南路、吉祥村、广泰门等车站，客流估计严重不足。

2) 客流形态与原预测不相符，原预测高峰小时最大断面位于咸宁路—建工路(长乐公园)区间，实际出现在小寨—吉祥村区段。

3) 早高峰断面客流预测较保守，为 1.77 万人次/h，现状值为 3.45 万人次/h，远超初期预测值，提前 5 年超过了近期预测值。现状高峰小时单向最大断面客流已超出初期设计输送能力的 68.9%。

综上所述，3 号线主要客流指标均远超设计值(见表 2)，开行方案已达运能极限，急需增购车辆来提升运能，提高服务水平，而原预测客流已无法指导购车计划及运营方案，迫切需要研究 3 号线客流增长趋势。

3.4 误差原因分析

现状客流与原设计客流的误差主要与城市发展规划、轨道交通网规划、轨道交通建设时序的安排、居民出行特征、沿线土地开发等因素有关^[2, 5]。3 号线

表 2 3 号线运营客流与原设计客流的主要指标对比

Tab. 2 Comparison of main indicators of operating passenger flow and designed value of Line 3							
客流指标	单位	原设计值(2018 年)		实际值(2019 年 4 月)		误差/%	
		全日	早高峰	全日	早高峰	全日	早高峰
最大断面位置	—	建工路—咸宁路	咸宁路—建工路	小寨—吉祥村			
客运量	万人次	40.68	6.25	68.26	8.74	67.80	39.84
平均运距	km	11.72	10.08	7.40	—	-13.99	—
客运周转量	万人次·km	476.77	63.00	505.12	—	5.95	—
最高断面单向客流量	万人次	11.22	1.77	18.82	3.45	67.74	94.92
负荷强度	万人次/km	1.04	0.16	1.80	0.23	73.08	43.75

是 2005 版线网规划(修编)中的线路,设计时间较早,随着城市发展及规划变化,以上因素都发生了较大变化。导致 3 号线现状客流与原设计客流偏差的主要原因如表 3 所示。

表 3 客流预测基础与实际情况对比
Tab. 3 Comparison of passenger flow forecast and the actual condition

影响因素		预测情况	实际情况
城市发展 规划	人口规模	2018 年主城区常住人口 633 万人	2018 年末全市常住人口 1 000.37 万人
	线网构成及规模	2005 版线网(修编)6 条线, 251.8 km	2016 版线网 23 条线, 986 km
运营线网构成		2018 年 1、2、3、4、5 号线一期, 6 号线一期	2018 年 1、2、3、4 号线
居民出行 特征	出行结构	2018 年主城区轨道交通占全方式 7%, 占公共交通 23%	2015 年中心城区轨道交通占全方式 6%, 占公共交通 24%
	出行总量	2018 年主城区 1 727.3 万人次/d	2015 年中心城区 1 390 万人次/d
	出行强度	2018 年主城区 2.40 次/d	2015 年中心城区 2.28 次/d
沿线土地开发		线路中间区段位于城市发展成熟区, 两端多为待开发地区	线路东北段(国际港务区)规划实施有限, 西南段大雁塔-小寨商圈、高新二次创业区发展较快

4 3 号线客流趋势预测

4.1 研究年度线网构成

按照实际开通时间, 3 号线一期近期为 2026 年, 确定研究年度为 2026 年。研究年度地铁线网组成包括: 1~6 号线、8 号线、10 号线一期、14 号线、15 号线一期、16 号线一期, 约 430 km。

4.2 客流影响因素分析

西安市近年发展较为迅速, 城市空间扩张、经济结构优化、产业布局调整等方面均有大幅变化, 因而影响轨道交通客流^[6]。此外, 西安地铁自开通运营以来, 客流增长态势明显, 且客流随月份变化而波动。下面以文献[7-8]中, 2026 年 3 号线高峰小时最大断面客流预测值 2.75 万人次/h 为基础, 预测 3 号线研究年度内高峰小时最大断面客流。影响因素主要考虑国土空间规划、轨道交通建设时序、居民出行结构, 同时结合西安地铁客流成长规律、客流月不平衡系数、西安东站定位变化来综合分析。

1) 城市人口与规模。人口和用地规模是客流预测的基础数据。根据西安国土空间规划, 2020 年规划人口 1 070.78 万人, 用地规模 865 km²。围绕国家西部大开发、“一带一路”、西咸一体化等重大政策的落实, 大西安未来人才、产业吸引力将持续增强, 人口及用地规模将持续增大, 对城市轨道交通客流起到促进作用, 3 号线客流仍有增大的趋势。

2) 建设时序。随着西安市第三期建设规划的批复, 研究年度内陆续新开通多条线路, 对 3 号线客流的影响如表 4 所示。

表 4 研究年度内新线开通对 3 号线客流的影响
Tab. 4 Impact of new line on passenger flow of Line 3 in the years in question

年度	线网变化	对 3 号线客流的影响
2020 年	5 号线一、二期, 6 号线一期开通	全日客流增大, 最大断面增大
2021 年	6 号线二期、9 号线、14 号线开通	自然增长
2023 年	8 号线开通	全日客流增大, 最大断面基本不变
2024 年	10 号线开通	全日客流增大, 最大断面基本不变

3) 居民出行结构。西安市规划至 2030 年, 主城区轨道交通出行占公共交通出行的 50%。随着未来西安市建设公交都市策略的实施, 轨道交通的骨干地位日趋显著, 3 号线客流仍有增大趋势。

4) 客流成长规律。西安地铁经历了 3 个阶段: 一是单线运营期, 客流增长较缓, 高峰小时最大断面在主城区范围内, 位置不定; 二是十字骨架网络期, 1 号线开通后, 2 号线客流大幅增加, 由于换乘效应, 使得最大断面位置逐步向换乘站靠拢; 三是网络化运营期, 3 号线开通后, 网络化运营初具规模, 线网换乘系数由 1.29 增长至 1.34, 最大断面集中在换乘站周边。结合西安地铁客流成长规律, 3 号线高峰小时客流变化特征与全日客流变化特征相似, 增幅取 3%。

5) 客流月不平衡系数。10~12 月的客流为一年之最, 月不平衡系数在 1.0~1.1 之间, 本次客流估算月不平衡系数取 1.15。

6) 西安东站定位变更。考虑东站定位变更及 5 号线对 3 号线换乘客流的影响, 高峰小时客流变化特征与全日客流变化特征相似, 增幅取 5%。

4.3 客流增长趋势预测

综合上述分析,3号线研究年度2026年高峰小时最大断面客流推荐值为3.76万人次/h;其余各年度

(2020—2025年)在现状客流和2026年客流推荐值的基础上,结合研究年度内新线开通的影响来综合分析,客流预测推荐值如表5所示。

表5 3号线研究年度客流增长趋势预测推荐值

Tab. 5 Passenger flow trend forecasting in the years in question of Line 3

年度	现状	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
单向最大断面客流/(万人次/h)	3.45	3.51	3.56	3.59	3.64	3.69	3.72	3.76

5 对客流预测和运营组织的建议

基于3号线客流发展规律,对今后城市轨道交通规划设计及运营提出以下建议:

1) 对于3号线,现状早高峰客流拥挤严重,部分车站客流组织压力大,开行方案已达运能极限,实际客流与预测客流差异较大,不能满足现状客运需求,不能适应客流增长,应及时增购列车来提升运能,提高服务水平。

2) 目前,我国各城市轨道交通线路实际客流与设计客流偏差较大的问题普遍存在,对于已经开通运营的线路,应适时分析客流特征,进行客流趋势预测,以便更好地提供运营服务。

3) 在客流预测阶段,应重视客流敏感性分析。轨道交通客流预测影响因素众多,如城市交通建设力度、城市交通发展政策、轨道交通沿线的土地开发强度和速度、轨道交通票制票价、常规公交和轨道交通的衔接和竞争等。在城市和轨道交通发展过程中,这些影响因素与客流预测阶段相比会出现较多变化。因此,选择适当的敏感性因素,做好敏感性分析,可在一定程度上抵抗客流预测风险。

4) 在城市轨道交通线路投入运营前,建议补充近短期客流预测,及时反映线路客流特征及波动情况,以帮助运营部门优化运营组织方案及储备运能^[8-10]。

参考文献

- [1] 梁青槐. 城市轨道交通客流预测问题分析及建议[J]. 都市快轨交通, 2005, 18(1): 37-41.
LIANG Qinghui. An analysis and suggestions on problems of metro traffic volume forecast[J]. Urban rapid rail transit, 2005, 18(1): 37-41.
- [2] 安栓庄, 王波, 李晓霞. 北京地铁5号线运营对轨道交通客流预测的启示[J]. 都市快轨交通, 2008, 21(6): 14-18.
AN Shuanzhuang, WANG Bo, LI Xiaoxia. Inspiration for rail transit passenger flow forecast from the operation of

- Beijing Subway Line 5[J]. Urban rapid rail transit, 2008, 21(6): 14-18.
- [3] 李朋州. 城市轨道交通初期客流预测效果后评估研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
LI Pengzhou. Research on post-assessment for the effect of urban rail transit initial passenger flow forecast[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [4] 梁广深. 城市轨道交通客流预测的不确定性分析[J]. 城市轨道交通研究, 2007, 10(5): 1-3.
LIANG Guangshen. Uncertainty in traffic forecast—the case of Shanghai Metro Line 1[J]. Urban mass transit, 2007, 10(5): 1-3.
- [5] 张珏. 上海轨道交通网络客流预测的后评估[J]. 交通与运输(学术版), 2010(2): 101-104.
ZHANG Jue. Post evaluation of passenger flow forecasting in Shanghai rail network[J]. Traffic & transportation, 2010(2): 101-104.
- [6] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安地铁三号线一期工程增购车辆可行性研究报告[R]. 西安, 2018.
- [7] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安市城市轨道交通建设规划(2019~2024年)客流预测[R]. 西安, 2018.
- [8] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安地铁8号线工可研与初步设计阶段客流预测与分析[R]. 西安, 2018.
- [9] 张佳. 城市轨道交通初期客流时空演变及影响因素研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
ZHANG Jia. Study of the initial passenger flow evolution and its influential factors in urban rail transit[D]. Xi'an: Chang'an University, 2017.
- [10] 张佳, 李翔. 西安首条地铁线路初期运营客流特征分析[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(10): 106-111.
ZHANG Jia, LI Xiang. Analysis of passenger flow characteristics in early operation of the first metro line in Xi'an city[J]. Urban mass transit, 2015, 18(10): 106-111.

(编辑: 郝京红)