

城市轨道交通初期运营客流预测 技术研究

李金海^{1,2}, 窦亮³, 张猛³, 秦义展³, 孙颖⁴

(1. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037; 2. 城市轨道交通综合应急技术与装备交通运输行业研发中心, 北京 100037; 3. 郑州地铁集团有限公司, 郑州 450047; 4. 北京中关村轨道交通产业发展有限公司, 北京 100071)

摘要:城市轨道交通新开通线路初期运营客流预测是开展初期运营安全评估和运营组织筹备的基础性工作。分析初期运营客流预测在预测期、研究对象、基础数据和预测模型方面的特点, 总结该类预测工作开展的技术难点。在此基础上提出一套适用于初期运营客流预测的技术路线, 阐述其中基础资料收集、交通调查、交通运行特征分析、出行需求预测、评估分析及敏感性分析的研究要点, 并概括总结客流预测指标、对既有线的影响评估、需要重点关注的车站等研究内容。研究结果表明, 初期运营客流预测重点在于准确把握城市及交通发展现状, 而解读城市及交通发展现状资料并掌握其运行现状特点, 研判其短期发展趋势是初期运营客流预测的基础性工作; 针对宏观交通需求分析模型对微观客流指标预测的精度不足问题, 可在城市宏观交通需求预测的基础上, 通过开展各类交通调查建立城轨系统出行需求分析专题模型。本研究成果以期为初期运营客流预测的技术方法、研究内容等提供借鉴。

关键词:城市轨道交通; 初期运营; 客流预测; 新开通线路; 需求预测模型

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)01-0102-05

Passenger Flow Forecasting Technology for Initial Operation of Urban Rail Transit

LI Jinhai^{1,2}, DOU Liang³, ZHANG Meng³, QIN Yizhan³, SUN Ying⁴

(1. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037; 2. MOT R&D Center of Transport Industry of Comprehensive Emergency Technologies and Equipment of Urban Rail, Beijing 100037; 3. Zhengzhou Metro Group Co., Ltd., Zhengzhou 450047; 4. Beijing Zhongguancun Rail Transit Industry Development Company, Beijing 100071)

Abstract: Passenger flow forecasting for the initial operation stage of a new rail transit line is fundamental for operational safety assessment and organizational preparation. This study analyzes the characteristics of forecasting work in terms of the forecasting period, research objects, basic modeling data, and forecasting models. The technical difficulties in carrying out such forecasting work are also summarized. Considering the characteristics and difficulties of forecasting, this study introduces a new forecasting framework, and the key procedures in the framework are then explained, including data collection, traffic surveys, analysis of the operational characteristics of urban transport, travel demand forecasting from macroscopic and intermediate perspectives, forecasting evaluation, and sensitivity analysis. Finally, the study also discusses main research points of forecasting work with respect to network passenger flow indices, the impact of a new line on the existing network, and the necessary concerns of essential stations. It is suggested that the forecasting work should focus on the current state of urban systems. Thus, it is essential to collect and understand the current information on urban traffic and the city itself and to analyze short-term development

收稿日期: 2023-07-20 修回日期: 2023-11-01

第一作者: 李金海, 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事城市轨道交通组织技术研究, lijinhai@bjuct.com.cn

通信作者: 窦亮, 男, 本科, 高级工程师, 主要从事城市轨道交通运营管理工作, douliang@zzmetro.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFB1600200)

引用格式: 李金海, 窦亮, 张猛, 等. 城市轨道交通初期运营客流预测技术研究[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(1): 102-106.

LI Jinhai, DOU Liang, ZHANG Meng, et al. Passenger flow forecasting technology for initial operation of urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(1): 102-106.

trends. Because the macroscopic demand analysis models may have lower accuracy, it is also necessary to construct a thematic model for rail transit systems based on urban transport macroscopic demand analysis by conducting traffic surveys. The results of this study can provide references for technical methods and research content of passenger flow forecasting in the initial operation stage.

Keywords: urban rail transit; initial operation; passenger flow forecasting; new metro line; demand forecasting model

城市轨道交通初期运营客流预测是初期运营阶段各项工作部署的重要依据之一,为运营安全评估、行车组织方案编制、客运组织方案制订等工作提供了基础数据支撑。根据《城市轨道交通运营管理规定》(交通运输部令 2018 年第 8 号)^[1]及《城市轨道交通运营安全评估管理办法》(交运规〔2023〕3 号)^[2]的有关规定,初期运营阶段是指城市轨道交通工程项目通过初期运营前安全评估后、获准正式运营前,运营企业开展运输组织工作的特定时段。该阶段是城市轨道交通系统从工程建设到投入正式运营实践的过渡阶段,也是线路从无到有面向乘客提供运营服务的重要阶段。鉴于该阶段的特殊性,针对运营安全评估、行车组织、客运组织、应急处置等工作开展初期运营阶段客流预测至关重要。

针对新开通线路的客流预测问题,既有研究主要通过研究人口与就业^[3-4]、土地利用^[4-5]、交通基础设施^[6]等社会经济因素与轨道客流之间的相关关系,建立车站进、出站客流需求的预测模型。由于该类方法聚焦于研究单类因素与客流之间的相关关系,存在对复杂社会经济环境影响下出行需求刻画精度不足的问题。为此,文献[7]采用多源数据融合的方法,以期实现对出行需求的精细刻画。但该方法对模型标定所使用的基础数据数量和质量要求都较高,受车站异质性的影响,预测精度和可移植性仍面临挑战。

考虑到轨道交通客流指标体系较复杂,前述研究聚焦于预测车站个体进、出站客流量的方法显然无法满足运营实际需求。文献[8-9]提出了基于“四阶段”交通需求分析理念的客流预测方法。该类方法虽建模相对复杂,但可清晰演绎城市出行总需求与轨道交通系统客流需求之间的关系。由于其空间可移植性优势,该类方法可应用于尚无运营线路的城市。

本文在借鉴既有研究的基础上,针对初期运营客流预测需求,提出了一套基于“四阶段”需求分析法的客流预测技术路线,并重点阐述了预测内容和研究重点,以期为初期运营客流预测工作提供借鉴。

1 预测的特点及难点

1.1 预测特点

由于工作目的不同,初期运营客流预测与城市轨道交通规划、建设等阶段客流预测在预测期、预测内容、预测对象、方法体系等方面均有较大差异。

1) 预测期。规划和建设阶段客流预测服务于近、远期规划和建设决策,预测期可远至未来 30 年甚至更远。初期运营阶段客流预测则常聚焦于线路投运后的 1 年内,预测期距预测工作开展较近。新开通线路初期运营阶段,沿线城市轨道交通出行需求从无到有快速增长。预测期过早,易忽视客流短期成长潜力,预测成果精度难以保障;预测期过晚,则不利于成果及时指导运营组织工作开展。考虑到初期运营阶段线路客流波动较大,预测期宜选择客流培育预期相对稳定的时段,并应满足初期运营阶段运营组织对客流预测成果的需要。实践当中,宜因地制宜采用进入初期运营后满 6~12 个月为预测期。

2) 研究对象。本阶段客流预测在研究对象方面与规划设计阶段相比也有所不同。规划阶段预测往往以方案涉及线路为对象,旨在服务方案比选;设计阶段预测则以单条线路为主要研究对象,旨在指导设计规模测算。进入运营期,新线的开通将改变城市交通既有出行结构,打破整个城市的交通供给形势。特别是在成网运营的轨道交通系统中,新线的引入将会改变既有线网拓扑结构,从而影响全网的客流分布格局。因此,初期运营阶段客流预测的研究范围宜为城市建成区,研究对象应涵盖预测期线网的所有线路和车站,并重点关注新开通线路。

3) 预测基础数据。鉴于预测期往往在未来 1~2 年内,在此期间城市交通需求和供给格局的短期变化并不显著,初期运营客流预测可在深入把握城市交通运行、沿线人口就业、沿线土地开发、既有线网客流规律等因素的现状条件下,重点关注新线介入对沿线居民出行的影响,并据此预测轨道交通出行需求和重点客流指标。

4) 预测模型。由于规划和设计阶段客流预测定位于支撑方案比选和规模测算,预测工作主要依赖于城市宏观交通模型。其基础假设、基础数据、边界条件等均以规划年为准,预测结果更注重宏观指标量级的准确性。而初期运营阶段客流预测则以服务运营组织工作为目标,客观上要求预测提出多层次、精细化的客流指标,预测结果更注重指标的准确度。为此,有必要在宏观需求分析的基础上进行城轨系统的专题建模研究以保证预测精度。

1.2 预测难点

初期运营客流预测的特点决定了预测工作在把握交通现状资料、掌握交通现状运行态势、保障预测精度方面存在关键技术要点和难点。

1) 准确解读城市交通现状资料,把脉交通短期发展动向。把握城市及交通发展现状和短期发展动向,对于做好线路初期运营客流预测至关重要。这主要依赖于对城市交通供需现状资料的深刻解读,即需要对城市人口、就业、经济和社会发展、机动车保有量、相关交通政策、城市轨道交通运营服务等资料进行深入了解。

2) 深入挖掘交通时空大数据,掌握城市交通运行现状态势。在解读城市交通现状资料的基础上,有必要深入洞察城市交通运行现状时空演变特征。近年来,得益于时空数据感知、存储、挖掘、可视化等技术的发展,用于交通特征分析的数据源日益丰富。交通大数据为人口及就业动态分布、出行发生和吸引时空变化、区域间交通需求动态演变等研究提供了丰富的基础数据,有助于掌握城市交通运行态势。

3) 科学构建客流预测模型,精准预测客流指标。客流预测模型是对预测期交通供需的抽象模拟,其基础假设对交通供需刻画的准确性直接决定了预测结果

的精度。因此,模型的选择、模型所依赖的基础数据、模型参数的标定与校核等,对预测精度起到决定性影响。预测模型除应用传统交通建模技术手段外,宜通过融合交通、土地利用、经济社会等多源数据,强化基础数据、演变规律、预测结论之间的校核。

2 预测技术路线

2.1 总体思路

在新线开通客流预测的实践当中,需求分析包括城市交通需求宏观分析和城市轨道交通系统出行需求专题分析2个层次。考虑到该类预测以现状分析为主,城市交通宏观需求的分析可采用交通大数据分析技术,以洞察交通需求的总体时空分布特征。而城市轨道交通系统内部需求,由于涉及大量微观指标的系统化分析,可采用“四阶段”法进行建模。其中,城市居民出行的发生和吸引量可在沿线交通调查基础上,进行人口和用地等的静态大数据建模;出行分布的分析和预测则主要基于动态交通大数据分析技术;交通方式划分可考虑基于居民出行方式选择行为研究有关方法建模刻画;由于客流指标体系复杂,轨道系统内部客流分配则宜建立城轨线网客流分析模型,进行专题研究。预测技术路线如图1所示。

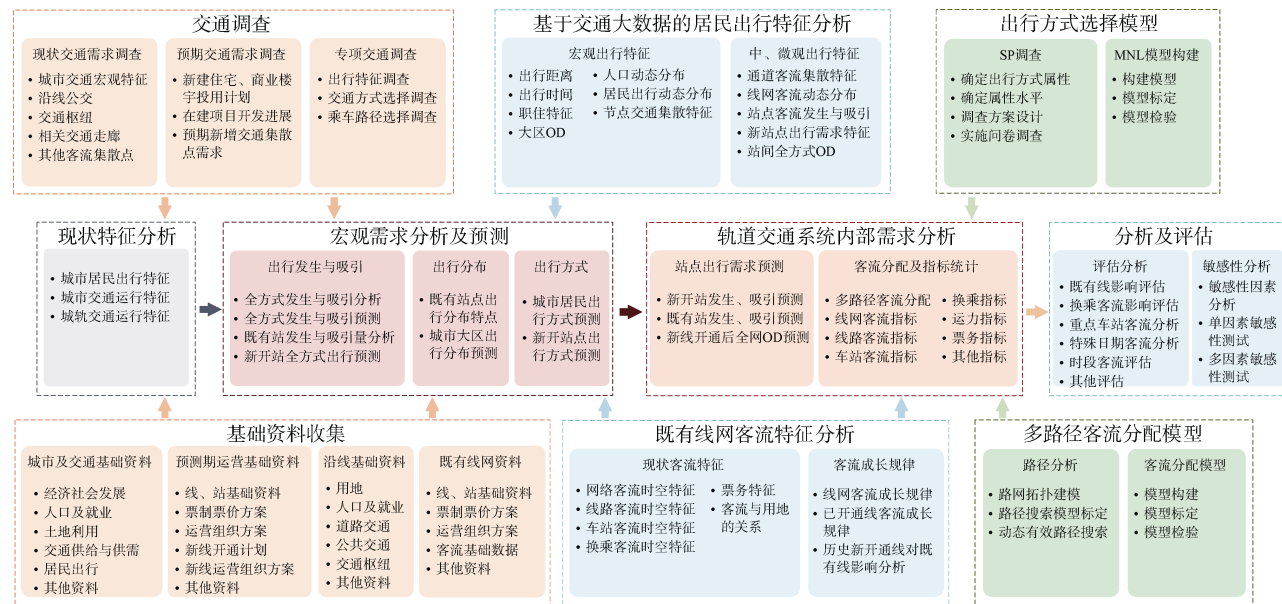


图1 预测技术路线

Figure 1 Technical roadmap for forecasting

2.2 资料收集

交通模型的构建基于特定的基准条件和假设。新开通线路客流预测模型体系的搭建则是基于运营组织、沿线土地开发、沿线公共交通运行等预期的特定水平,

以及城市交通管理等宏观政策预期条件下进行的。因此,上述基础条件的精确把握和深刻理解是客流预测的基础性工作。需要收集的资料包括以下几方面。

1) 城市整体的规划、经济、人口、就业以及土地

利用等基础资料。用以把握城市及交通总体特征。

2) 拟开通新线沿线用地、人口、就业、道路交通、公共交通等经济社会和交通运输发展现状及规划资料。用以把握沿线经济社会发展现状和短期态势。

3) 既有线网的各类客流统计指标和历史成长规律。用以掌握既有线网客流特征,评估客流成长潜力。

4) 各类运营基础数据。包括但不限于:各线路及车站基础资料;线网票制票价方案;运营组织方案;新线开通计划及运营组织方案。

5) 其他资料。如相关客流预测资料等。

2.3 交通调查

交通调查作为模型标定和修正的重要依据,是决定模型精度和客流预测可信度的一项重点工作。初期运营阶段的客流预测更注重交通发展近况及短期态势的分析。因此,有必要通过交通调查掌握现状及预期交通需求、预期出行行为等。主要调查工作包括以下4方面。

1) 现状交通需求调查。调查沿线公共交通运行现状(如客流量及其时空分布特征、与重点线路的空间关系、与重点线路客流的协同或竞争关系)、交通枢纽运行现状(如客流集散和接驳特征)、相关交通走廊特征(如交通需求量及其起讫点)、重要客流集散点(如景区、场馆等)交通特征等。

2) 预期交通需求调查。调查沿线新建成居住、商业楼宇的投用时间及入住率、在建项目开发进展及交通需求等,掌握沿线交通需求增长潜力和演变趋势。

3) 交通方式选择意愿调查。新开通线路为服务范围内居民出行提供了新的出行选择。主要调查内容可包括沿线居民社会经济属性,以及居民在不同出行情境组合下的出行方式选择意愿等。开展出行意愿调查可为出行方式选择模型的建立提供基础数据。

4) 乘车路径选择意愿调查。由于在无缝换乘条件下线网客流统计常采用多路径概率分配模型。乘车路径选择意愿调查将有助于准确刻画乘客的出行行为,精准标定客流分配模型,从而减小模型误差对微观指标预测精度的影响。主要调查内容包括乘客社会经济属性,历史出行行为特征,以及乘客在不同情景组合下(如换乘次数、乘车时间、旅行时间等因素不同水平的组合)出行路径的选择意愿等。

2.4 城市交通运行特征分析

分析内容包括城市居民出行特征和轨道交通出行特征。

1) 城市居民出行特征。城市居民出行特征的洞察主要依托于交通大数据分析技术,可从宏观、中观、

微观3个层面分析职住分布、出行分布、出行方式、出行需求量等的时空特征。居民出行特征的分析为全面、定量、动态分析交通需求提供基础数据,也有助于明确预测模型的基准条件并为其提供基础参数。

2) 轨道交通出行特征。对于轨道交通出行特征的分析主要依托于轨道交通运营数据,通过对历史数据和近期客流数据的分析,掌握车站、线路和线网的客流现状及成长规律。

2.5 出行需求预测

出行需求预测的主要工作内容包括:

1) 全方式出行发生与吸引分析、预测。构建城市交通需求分析模型,并结合现状条件和发展趋势预测全方式出行发生和吸引量。在此基础上预测线网各站(含新开通站点)服务范围内的全方式出行发生与吸引量。

2) 全方式出行分布分析、预测。利用交通大数据分析全方式出行现状,并据此预测全方式出行分布。

3) 出行方式划分预测。出行方式划分的预测可基于交通调查进行建模^[10]。预测工作包括两个方面:一是预测城市整体的出行方式结构;二是从微观层面预测各站服务范围内的出行方式结构。基于车站服务范围内出行总需求和出行方式的预测,可预测得到车站进、出站量。

4) 线网客流分析。针对宏观交通需求分析模型对微观客流指标预测精度不足的问题,可在宏观需求分析的基础上进行城轨系统的专题建模(如车站进、出站量预测模型及线网客流分配模型等),以进行线网客流的多维度分析。目前,线网静态客流分配多采用基于乘车有效路径的概率分配模型^[8]。

2.6 评估分析

针对客流特征和运营组织需求,定性分析预测结论并提出必要的建议。主要包括:

1) 分析新线开通对既有线客流的影响,包括对既有线路客运量、断面客流量,以及有关车站乘降量、换乘量等的影响分析。

2) 结合客流预测结果开展客流组织、线网客流、票务、换乘站、重点车站、特殊日期和时段的客流影响评估。

3) 结合评估结论,在运输组织、客流组织、应急处置、票务工作等方面提出必要的建议。

2.7 敏感性分析

新开通线路客流受短期内交通政策、城市管理政策、沿线开发建设、公共交通票价、线网服务水平、交通衔接等因素的共同影响。这些因素导致实际状况较预测模型的假设条件可能存在偏差。需针对上述影

响因素潜在的变化情况进行客流的敏感性分析,从而更精准掌握客流的短期波动态势。

3 预测和研究内容

3.1 线网客流预测

运营阶段客流预测指标体系复杂、指标繁多,为支持运营组织需求,应分别预测工作日和周末的全日、高峰期客流指标。主要包括:

- 1) 线网客运量、平均乘距、客运强度、负荷强度、换乘系数、高峰小时系数;
- 2) 全网各线路客运量、平均运距、客运强度、客流不均衡系数、高峰小时断面客流及满载率;
- 3) 全网各车站进出站量、乘降量、高峰小时系数、超高峰小时系数、各出入口进出站客流量;
- 4) 全网各换乘站换乘总量、分方向换乘量、分线路换乘量;
- 5) 线网站间 OD、线路站间 OD;
- 6) 主要客流指标的时间分布。

需要注意的是,对于既有线路的延伸段或新增站点,应以全线作为研究对象进行预测,并重点分析新增段、站对既有段客流和行车的影响;对于采用复杂交路运营组织的线路,应分别给出各运营交路和物理线路的主要客流指标。

3.2 对既有线的影响分析

新线开通对既有线的影响分析是该阶段预测的重要目的和重点任务。应预测分析新开通线路对既有线路全日、高峰客流的影响,主要包括:

- 1) 线网、各线路客流的主要指标变化;
- 2) 受影响较大车站的乘降量变化;
- 3) 受影响较大区间的断面客流量、满载率变化;
- 4) 受影响较大换乘方向的换乘客流量变化。

3.3 典型车站客流特征分析

新线开通对个别车站的潜在影响更为突出,也更难把握。应结合既有线网的客流时空分布特征,确定典型车站并分析其客流变化。典型车站可包括:

- 1) 城市综合交通枢纽有关车站;
- 2) 服务城市大型商业区客流出行的车站;
- 3) 服务旅游景点、大型娱乐设施、大型场馆客流出行的车站;
- 4) 辐射范围内用地属性、开发强度等预计发生重大变化的车站;
- 5) 其他易发生大客流的车站。

4 结束语

初期运营阶段客流预测是服务初期运营前安全评估的重要工作之一,预测应立足运营安全评估和运营筹备工作需要,注重预测方法的针对性、预测指标的全面性、预测精度的可靠性。

在预测技术基础数据方面,初期运营客流预测更侧重于对城市及交通发展现状的把握,因此挖掘时空大数据以掌握交通运行态势,是预测的重要技术手段和工作基础。在预测模型方面,由于初期运营对预测精度的要求更高,对预测模型的可靠性也提出了较高要求,鉴于线网客流分析模型对预测精度的影响较大,应重点关注轨道交通系统内部客流预测模型构建。而开展各类交通调查和采用大数据融合校核将是提高模型预测精度的重要手段。在预测成果方面,应紧密联系运营需求,做好特殊时段、特殊车站、特殊场景的预测和分析工作,并围绕运营安全管理需求提供完备的预测成果。

参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 城市轨道交通运营管理规定: 中华人民共和国交通运输部令2018年第8号[EB/OL]. (2018-05-24)[2023-11-01]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/fgs/202006/t20200623_3307960.html.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 交通运输部关于印发《城市轨道交通运营安全评估管理办法》的通知: 交运规〔2023〕3号[EB/OL]. (2023-08-22)[2023-11-01]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/xzgfwj/202308/t20230826_3899731.html.
- [3] 李俊芳, 杨冠华, 邹江源, 等. 基于圈层人口变量的城市轨道交通车站客流预测[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 423-429.
- LI Junfang, YANG Guanhua, ZOU Jiangyuan, et al. Forecasting method of urban rail transit ridership at station-level based on population variable in circle group[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015, 43(3): 423-429.
- [4] 杨志强, 史丰收, 黄俊达, 等. 基于土地利用的城轨新站点客流预测方法研究[J]. 都市轨道交通, 2020, 33(2): 70-74.
- YANG Zhiqiang, SHI Fengshou, HUANG Junda, et al. Passenger flow forecast of new urban rail transit stations based on land use[J]. Urban rapid rail transit, 2020, 33(2): 70-74.

(下转第142页)