

# 网络化运营条件下的新线开通客流预测方法研究

## ——以西安地铁1号线三期为例

梁莹<sup>1</sup> 唐超<sup>2</sup>

1. 西安市轨道交通集团有限公司; 2. 江苏都市交通规划设计研究院有限公司

**摘要:**城市轨道交通初期运营阶段客流预测有别于规划设计阶段的客流预测,是基于城市与交通发展现状,预测新线开通之后未来短期内的客流指标,其精确度能得以较快地验证。新线初期运营阶段客流预测是车辆配置、行车组织、客运组织、财务测算的基本依据,对城轨的精细化运营管理具有重要意义。本文采从“横向类比+总量估算+定量预测”的运营初期客流预测关键技术,基于西安地铁运营客流特征,对交通需求预测模型优化和参数校核,从而预测得到西安地铁线网、线路、车站等客流预测详细指标,为1号线三期运营筹备工作提供重要依据。

**关键词:**城市轨道交通; 初期运营; 客流预测; 多源大数据

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.16.010

为缓解城市交通拥堵,城市轨道交通已成为解决大城市交通问题的有效途径。截至2022年底,中国大陆地区共有55个城市开通城市轨道交通,运营线路里程突破一万公里,其中地铁运营线路里程达到8000公里,占比77.84%。全国城轨交通客运量占公共交通客运总量的分担率达到45.82%,大多特大城市已实现城轨网络化运营,城市轨道交通已成为一线城市公共交通体系的主体。

随着我国城轨运营队伍的不断壮大,运营管理水平不断提升,运营朝着精细化、标准化、智能化发展。由于城市轨道交通工可或初步设计阶段客流预测距离线路建成运营时间跨度较大,车站周边用地规划实现程度、交通设施供给情况、人口岗位分布及密度均与预期存在较大差异,往往造成工可预测的客流与实际运营客流差异较大。因此,新线开通前,开展对运营初期的线路的客流预测及新线对既有线网客流的影响分析,对制定运营计划、调整客运组织等运营筹备工作具有重要意义。

### 一、新线初期运营客流预测方法

#### (一) 新线开通客流预测概述

城市轨道交通客流预测一般分为五个阶段,包括线网规划、建设规划、工程可行研究、初步设计、运营前后阶段。前四者主要用于城市轨道交通的规划设计阶段,预测未来几年甚至几十年后的远期轨道交通客流,

时间跨度较长。规划设计阶段的客流预测方法和技术相对成熟,目前最主流的方法为交通需求预测的“四阶段”法<sup>[1]</sup>。该方法以现状居民出行OD、城市规划和土地利用为基础,能较好地反映城市发展与城市轨道交通客流之间的关系。基于出行链模型和活动链模型等方法的发展及应用也丰富了城轨客流预测的方法<sup>[2]</sup>。

运营前后的客流预测主要是用于预测新线开通后近期某一年或某月份的线路客流指标及线网客流变化情况,属于短期客流预测。同样,在运营期间为精确预测某一日或某一时段的客流,及时调整运营计划,识别客流聚集风险,短时客流预测的应用和技术研究也较为广泛,例如参数模型的时间序列模型、卡尔曼滤波模型等,非参数模型的支持向量(SVM)模型、神经网络模型及组合模型等<sup>[3]</sup>。

在城轨未成网情况下的首期开通线路的客流预测,存在票制票价、发车间隔、运营时间、其他方式竞争及交通接驳等不确定性因素,预测需充分考虑周边土地开发、居民出行分布及其他方式转移的概率<sup>[4]</sup>。对于网络化运营条件下城轨新线客流预测,可以基于历史AFC数据,从线网、线路、车站三个空间维度和周、全日分时两个时间维度,对既有运营网络客流特征充分挖掘,以提高新线开通的预测精度<sup>[5]</sup>。

#### (二) 技术方法研究

对于网络化运营条件下的新线开通客流预测,不能仅依靠于出行调查、转移意愿调查等手段来校核城市交通需求预测模型参数,往往难以全面客观地模拟真实的居民出行行为。对于不同区位、不同特征的线路,其服务的乘客特征及客流特征存在较大差异。采用单一的预测方法,难以胜任高精度的预测要求,因此,本文通过“横向类比+总量估算+定量预测”三种方法组合方式,相互反馈、相互制约、相互修正,以期更好地提升客流预测精度。

横向对比是收集并积累丰富的城市轨道交通实际运营数据,总结归纳其客流成长规律,将本线与类似线路进行横向对比,总结类似线路的客流规模和客流分布特征。

总量估算是通过预估沿线居民出行潜在客流总量及既有出行方式转移至新线的概率来进行新线开通客流总

量估算。一般是通过分析实际运营线路运营初期客流与沿线公交转移量总结出两者有极大相关性，根据本线沿线走廊公交与本线重合站点数进行转移概率计算。

定量预测是通过构建城市现状交通需求预测模型，通过既有运营线路客流数据反复校核模型参数，在未来短期内新线沿线人口岗位和交通设施供给变化下，通过交通分配得到新线及线网的客流详细指标。

(三) 横向对比

1. 基于历史AFC客流数据的线网演变规律分析

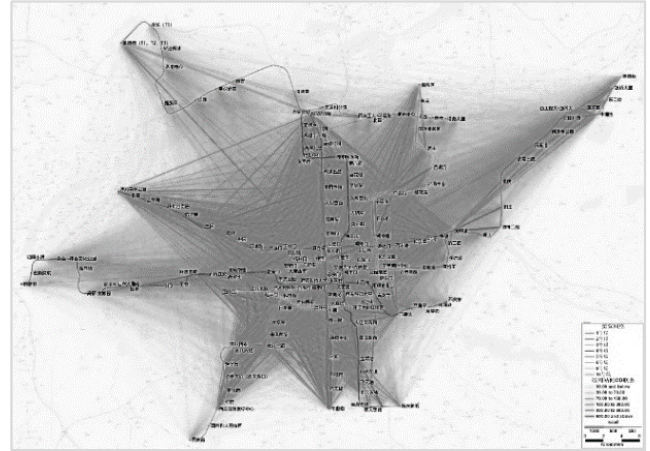
在城轨网络化运营条件下，积累着丰富的历史AFC客流数据，可以用于充分挖掘城市轨道交通线网、线路及车站的客流特征，分析维度及角度如表1所示。

在网络化条件下的新开通线路，可以分为延伸线和平行线。延伸线开通后，对原有线路的车站OD分布不会产生较大变化，主要是对延伸线衔接车站影响较大，一般情况下原先通过其他方式接驳到末端站客流将会减少，线路延伸后将诱增部分客流。平行线路开通后，使得线网拓扑结构发生变化，乘客出行路径选择增加，一般情况下与新线平行的既有线路客流量短期内将下降，与之垂直线路短期内增长迅速。

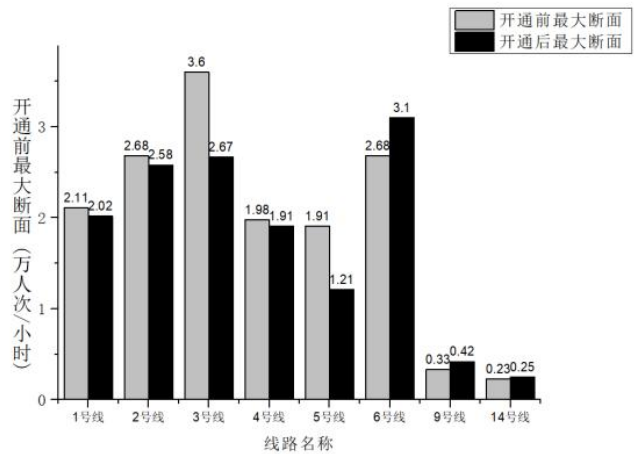
表1 基于历史AFC客流数据的客流特征分析层次

维度	主要内容
线网	线网规模 线网客运量 线网换乘系数 平均乘距分布 大区OD联系 轨道交通客运量占公共交通比例
线路	线路客运量自然增长速度 新线开通对已有线路影响 早晚高峰最大断面量 全日、早晚高峰断面形态 断面客流方向不均衡性 线路平均运距、乘坐区间
车站	车站聚类分析 车站影响范围 进出站时空分布 车站进出站量与周边人口岗位关系 工作日与休息日对比 节假日与工作日对比

以西安地铁6号线二期开通为例，6号线二期开通后，对原有线网客流路径分布影响较大。如图2所示，6号线二期为东西向线路，对1号线、5号线平行线路存在明显分流作用。与3号线形成两站换乘结构，增加了一条乘坐路径，前往西安高新区的通勤客流将有部分转移至6号线，对与之垂直的2号线、4号线的客流有一定提升作用。



a) 基于AFC数据的西安地铁站间OD分布



b) 6号线开通前后各线高峰小时断面变化情况

图2 新线开通后对西安地铁客流的影响

2. 同类型线路客流水平的对比

目前，如表2所示，我国开通城市轨道交通的城市众多，线网及线路客流演变规律值得借鉴，特别是对于城市空间形态、人口规律基数相似，在相同区位或同类型线路的客流成长规律，可以用于新线初期运营客流规模及分布特征的佐证。

以西安地铁1号线三期为例，西安地铁三期实现了西安地铁对西咸新区及咸阳主城区的覆盖，客流组成中包括延伸段沿线区内出行和跨市城际出行。目前国内开通跨市城际轨道交通众多，通过比较同类型线路的客流特征和承担城际客流比例，对合理预测本线客流规模具有重要作用。

(四) 总量估算

地铁新线开通后，新线客流主要由转移客流和诱增客流组成。转移客流主要是指地铁新线沿线公共交通、自行车、电动车、小汽车等交通方式向地铁转移的交通量，而诱增客流是由于地铁的便捷性增加了沿线潜在客流总量。在短期内，诱增客流相对较小，转移客流是新

线客流主要来源，对不同交通方式现状客流总量及未来转移至轨道交通概率准确把握是精准预测的关键。

新线客流总量估算可以通过以下两种方式综合验证：

1. 常规地面公交转移法

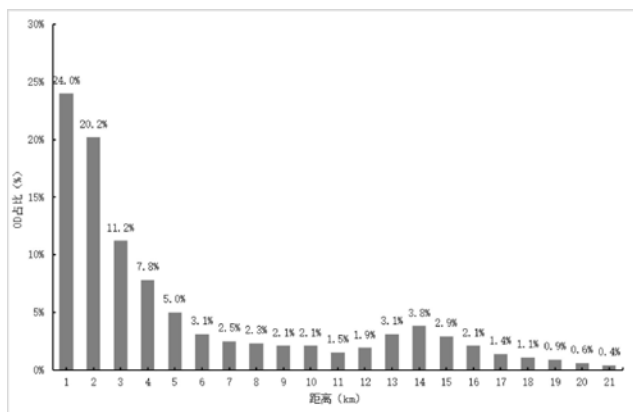
常规地面公交是短期内转移至轨道交通的主要交通方式，合理估算公交客流转移至轨道交通一般有两种方法。

方法一：计算重叠区段地铁站数量，重叠的地铁站数量越多，公交客流转移到地铁的比例越高；

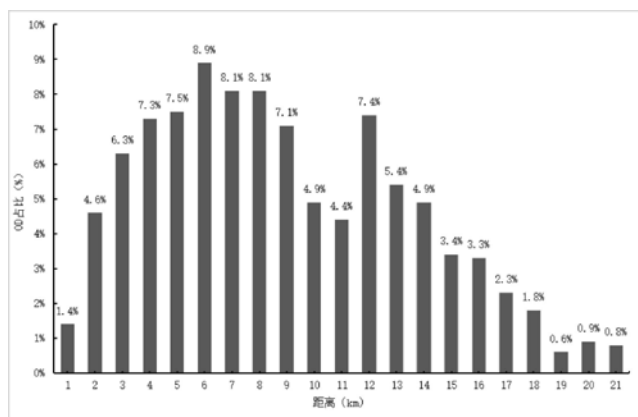
方法二：计算重叠区段公交站点数占公交线路站点数的比例，比例越高，公交客流转移到地铁的比例也越高。

2. 基于手机信令大数据的出行距离转移法

手机信令数据具有网络覆盖范围广、数据稳定可靠、样本量大、空间解析度高以及动态性强等优势，使用手机数据能够基本反映出城市全员出行的情况。如图3所示，基于手机信令大数据，可以分析新线沿线的出行客流总量，也能分析出行起讫点空间分布距离，按照不同出行距离转移至轨道交通的概率进行计算，能较准确预测新线的潜在客流规模。



a) 基于手机信令的起讫点在地铁沿线出行距离分布



b) 乘客乘坐地铁的距离分布

图3 基于手机信令的乘客出行距离特征

(五) 定量预测

横向对比及总量估算侧重在新线客运总量的准确判断和预测，定量预测则是通过软件工具构建城市交通需求预测模型，预测公共交通OD矩阵，将客流合理分配至常规公交和轨道交通网络中，从而得到线网及新线的详细客流指标，主要分为以下几个部分。

1、基础模型构建：交通需求预测模型的准备工作，是通过在收集城市功能组团划分、用地性质及城市交通供给基础上建立的，主要包括交通小区划分、道路网络构建、公交网络构建及轨道网络构建四个部分。

2、人口及岗位分布预测：结合手机信令大数据、七普人口数据、周边土地利用等数据多方校核，准确预测各交通小区人口及岗位分布。

3、出行生成预测：根据居民出行调查以及其他相关交通调查，预测运营初期分目的出行发生和吸引量。

4、出行分布预测：应用三维约束重力模型，通过区内出行和跨区出行量的控制，预测运营初期分目的全方式人口出行OD分布。

5、方式划分预测：通过不同出行交通方式间的竞争，应用改进的Logit模型，预测公共交通出行OD矩阵。

6、公共交通客流分配：应用公共交通分配模型和客流预测软件，结合公交与轨道交通的发车频率和票制票价相关参数对公共交通OD进行路段和线路配流，轨道交通客流分配完成后，统计相关客流预测指标，包括客运量、换乘量、断面客流量、乘降量、平均运距、线路OD、进出站量等客流指标。

二、应用案例

截至2022年3月，西安地铁已开通运营8条线路，运营里程达到272公里，一期和二期建设规划线路已全部通车，实现地铁网络化运营。如图四所示，西安地铁1号线是线网中东西向主骨架线路，串联了咸阳、西咸新区、西安核心区、浐灞生态区和纺织城等，一号线三期工程西起咸阳西站、东至沣河森林公园，三期工程建成后，将与9号线同台换乘，打通西安大都市区东西向主动脉，对实现西咸一体化发展具有重要意义。

西安地铁1号线三期属于延伸线，1号线三期工程西起咸阳秦都高铁站，东至1号线二期工程起点沣河森林公园站，线路全长10.61 km，均为地下线，设车站7座，平均站间距1.52km，共设换乘站4座。计划于2023年中旬开通。

本文采从“横向类比+总量估算+定量预测”相结合预测方法，在充分对比同类型线路的客流规模、既有运营网络客流特征基础上，建立交通需求预测模型，通过EMME/4软件分配得到西安地铁线网客流详细数据，如图

4、图5所示。

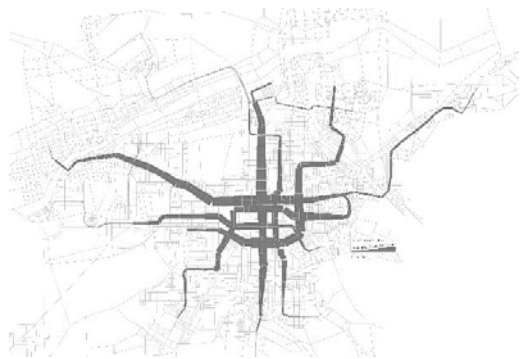


图4 西安地铁线网早高峰客流分配图

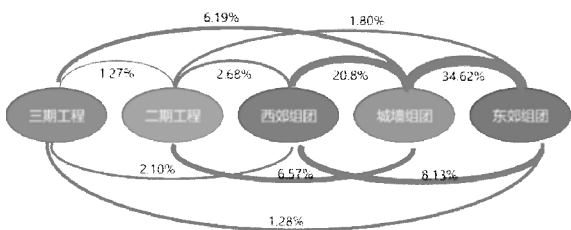


图5 西安地铁1号线跨组团客流分布

1号线三期开通初期运营后，预测至2023年底，1号线全线客运量为67.36万人次/日，工作日平均客运量为67.09万人次/日，周六日平均客运量为68.03万人次/日，高峰最大断面量为2.56万人次/日，位于洒金桥-北大街区间，1号线预测早高峰断面客流分布如图6所示。

现状1号线开行沣河森林公园-纺织城站单一交路，高峰最小发车间隔2分48秒，平峰发车间隔4分36秒，上线列车41列，高峰运力为3.15万人次/小时。按照目前的运力可满足要求，为考虑减少1号线三期的发车间隔，更具包容性，建议初期运营采用如图8所示的2:1大小交路行车组织方案。

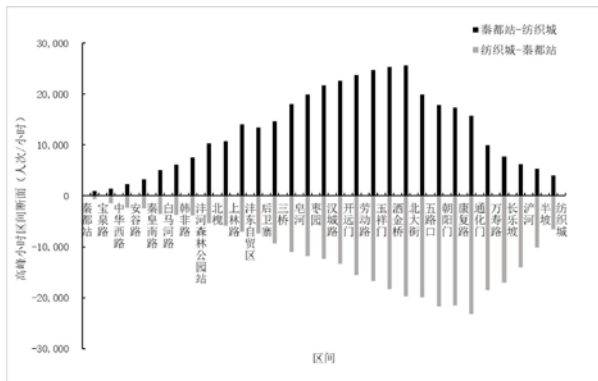


图6 1号线早高峰断面客流分布预测

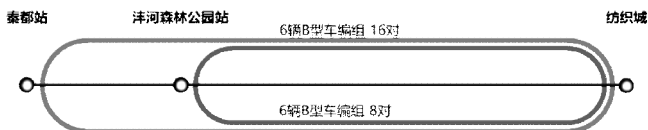


图7 2:1大小交路方案示意图

### 三、结语

网络化运营条件下，城市轨道交通运营期客流预测愈加复杂。随着新线不断开通，预测范围及客流数据量级快速上升，基于多场景、全指标、响应式是未来短期客流预测发展的趋势。如何精准、快速地预测新线客流及对既有线客流的影响，对城轨精细化运营管理具有重要意义。本文采用“横向类比+总量估算+定量预测”相结合的方法，基于多源大数据充分挖掘运营线网客流时空演变规律，预测得到全网客流详细数据，为行车组织、客运组织等工作开展提供了量化的支持。

### 参考文献

[1] 张婧宜. 面向运营规划的城市轨道交通线路客流预测方法研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2016.

ZHANG Jingyi. Research on passenger flow forecasting of urban rail transit line for operation planning[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2016.

[2] 郑猛, 余世英, 曾浩, 等. 大城市交通出行链模型发展路径辨识——以武汉为例[J]. 交通工程, 2022, 22(02): 21-30.

ZHENG Meng, SHE Shiyong, Zeng Hao, et al. Current and future development of urban tour-based model paradigms and wuhan exploration[J]. Journal of Transportation Engineering, 2022, 22(02): 21-30.

[3] 张宇, 孙琦, 高彦宇. 城市轨道交通短期客流OD预测模型研究与实现[J]. 中国铁路, 2022, No. 710(08): 133-140.

ZHANG Yu, SUN Qi, GAO Yanyu. Research and implementation of OD forecast model for short-term passenger flow in urban rail transit[J]. China Railway, 2022, No. 710(08): 133-140.

[4] 谢静. 城市轨道交通首期开通客流预测方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.

XIE Jing. The method of passenger volumes forecasting for the first operated urban rail[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.

[5] 栾悦. 网络化条件下城市轨道交通客流分析及新线客流预测[D]. 北京: 北京交通大学, 2021.

LUAN Yue. Passenger flow analysis of urban rail transit under network operation and passenger flow forecast of new lines[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.