

# 城市轨道交通运营初期客流预测方法探讨

周立超

(南通城市轨道交通有限公司 运营分公司, 江苏 南通 226000)

**摘要:**城市轨道交通运营初期客流预测是车辆配置、运营组织、财务测算与评价等的基本依据,其准确性关系到轨道交通运营效率和经济效益。通过横向对比江苏省已开通轨道交通城市数据及沿线调查分析,建立南通市交通需求预测模型,预测得到南通市城轨运营初期客流详细指标,为南通轨道交通的开通运营筹备工作提供基础依据。

**关键词:**城市轨道交通;运营初期;客流预测

中图分类号:U293.13

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2022)2-0032-05

## 0 引言

近年来,我国城市轨道交通建设发展迅速。截至 2021 年 9 月底,中国内地累计有 49 个城市开通城市轨道交通,总运营里程高达 8 553.40 公里<sup>[1]</sup>。其中,江苏省已有五个城市运营地铁,南通市将成为第六个“地铁城市”。2014 年 8 月,《南通市城市轨道交通近期建设规划(2014—2020 年)》正式获国家发改委批复。南通市轨道交通近期建设线网总里程 59.9 公里。其中,轨道交通 1 号线全长 39.1 公里,设有 28 座车站,预计 2022 年下半年开通运营;轨道交通 2 号线全长 20.8 公里,设有 17 座车站,预计 2023 年下半年开通运营。

城市轨道交通运营初期客流预测结果是票制票价方案、行车计划、财务测算分析、运营补贴机制、车站运营组织等的基础依据。由于轨道交通线路从设计、获批、建设到正式开通运营,时间跨度较长,而城市规模、沿线土地开发情况、交通发展状况与轨道交通开通前相比变化较大,工可和初设阶段客流预测结果往往脱离城市发展实际。根据《城市轨道交通运营前安全评估技术规范》第 1 部分地铁和轻轨第 106 条规定,运营单位应结合工程可行性研究报告的客流预测、沿线客流因素变化、与本线关联的既有线路客流情况等,组织编制初期运营客流预测报告。

轨道交通运营初期客流预测发展多年,但尚未形成一套标准规范。对于运营初期客流预测,大多采用传统的“四阶段”法,结合城市发展现状和居民出行特征,对交通预测模型参数重新进行校核标定。但由于交通出行数据调查质量不高,基础数据较难获取,在实际工作中,往往需要模型师具有丰富的模型调试能力和轨道交通客流特征长期观察的经验<sup>[2]</sup>。尚未开通轨道交通的城市无法从实际运营数据中了解城市居民的轨道交通出行意愿,加上新冠疫情等不可抗力因素影响,加大了运营初期客流预测难度。本文通过对我国城市轨道交通运营客流特征分析、南通市与类似城市横向对比,结合南通市城市与公共交通发展现状等,建立南通市交通需求预测模型,预测南通市轨道交通运营初期客流详细数据,为南通城轨运营筹备工作奠定基础。

## 1 江苏省城市轨道交通客流对比分析

### 1.1 空间结构对比

从城市空间形态来看,南通市因受长江、铁路、高速公路的限制,城市空间呈现带状轴线发展,使得南通市中心城区居民出行距离明显小于其他城市,根据 2019 年出行距离统计对比,南京(7.26 公里) > 苏州(6.45 公里) > 无锡(5.13 公里) > 徐州(4.88 公里) > 常州(4.45 公里) > 南通(4.12 公里)。出行距离的大小表示城市空间尺度,尺度越大表示长距离出行人数较多,中长距离的轨道交通客流也就越多。

收稿日期:2022-02-24

作者简介:周立超(1982—),男,江苏建湖人,南通城市轨道交通有限公司运营分公司工程师,硕士。

1.2 运营客流特征对比

笔者对江苏省内已开通地铁城市的首条线路开通初年数据进行比较,从客流强度和站均客流来看,南京、苏州、徐州、无锡、常州依次降低,除南京、苏州外,其余各城市运营初期客流强度均低于 0.4 万人次/公里,如表 1 所示,且客流强度与城市空间尺度成正相关,与票价水平成反相关。

表 1 江苏省内城市第一条城市轨道交通线路运营首年客流

序号	城市	线路	开通年	市区人口/万人	市域人口/万人	市区日均公交客流量/万人次	长度/km	站点数/个	开通年客流量/万人次	客流强度/(万人次·km <sup>-1</sup> )	站均客流/(万人次·站 <sup>-1</sup> )	站间距/km
1	南京	1 号线	2005	513.39	689.80	265	21.7	16	13.1	0.60	0.819	1.45
2	苏州	1 号线	2012	545.45	1 054.91	250	25.7	24	10.2	0.40	0.425	1.12
3	无锡	1 号线	2014	361.38	650.01	119	29.4	24	8.3	0.28	0.346	1.28
4	常州	1 号线	2019	397.20	473.60	74	34.2	29	8.6	0.25	0.297	1.22
5	徐州	1 号线	2019	335.69	882.56	85	22.0	18	7.1	0.32	0.394	1.29
6	南通	1 号线	2022	329.33	731.80	22	39.0	28				1.40

随着后续线路开通,整体线网客流效益将迅速上升。以南京地铁 1 号线为例,从 2005 年至 2009 年保持着单线运营状态,年均增长率为 30%以上,从 11.5 万人次/日增长至 31.1 万人次/日;当南京地铁 2 号线开通之后,线网客流量迅速增长,超过 100 万人次/日。南京、苏州、无锡、徐州 2 号线、3 号线开通后,地铁初步成网,客流量级呈现台阶式的增长,但因城市规模和人口规模不同,增长的速度也差异较大,如图 1、2、3 所示。

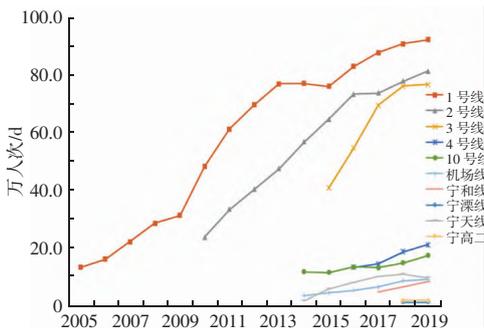


图 1 南京地铁线路客流成长趋势

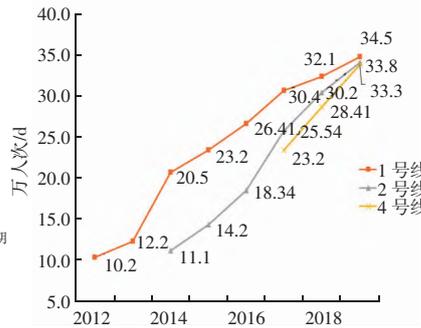


图 2 苏州地铁线路客流成长趋势

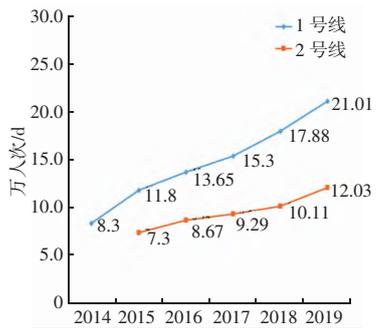


图 3 无锡地铁线路客流成长趋势

南通城市经济收入相对较高,但人均收入水平仅高于徐州,城市出行距离最低,地面公交出行率最低。南通居民出行距离相对较短,轨道交通优势在居民出行方式选择中仍不明显,对轨道交通运营初期客流影响较大,如表 2 所示。

表 2 江苏省内开通轨道交通城市 2019 年相关技术经济指标

2019 年主要指标	南京	苏州	无锡	常州	徐州	南通
地区生产总值/亿元	14 030	19 236	11 852	7 400	7 151	9 383
城镇居民人均可支配收入/元	64 372	68 629	61 915	58 345	36 215	50 217
市域常住人口/万人	850	1 072	659.15	473	882.56	731.8
市区常住人口/万人	850	561	375	397	331	329.33
市区公交分担率/%	26.80	16.20	16.10	18.65	20.16	10.11
居民出行距离/km	7.26	6.45	5.13	4.45	4.88	4.12
常规公交票价/元	0.8~1.6	0.6~1.2	0.6~1.2	1.2	0.7~1.4	0.7~1.4
地铁平均票价/元	3.5	3.26	3.2	2.95	2.6	

2 南通轨道交通运营初期客流预测

2.1 运营初期客流预测思路

传统地铁相关规划客流预测主要面向规划年份,是面向规划人口和用地进行的,而运营初期客流预测

主要面向开通年份,是面向近期潜在客源进行预测的,因此两者的预测思路与方案也有所不同<sup>[9]</sup>。运营初期客流主要通过开通年城市人口与就业岗位、流动人口等数据进行合理分析,利用传统的四阶段模型,预测轨道开通后的客流量。笔者利用对轨道交通运营初期城市各组团各小区的常住人口、流动人口的分析,结合居民出行调查成果,建立初期公共交通模型,并在初期公共交通网络上进行分配(轨道交通+常规公交),从而得到轨道交通各项客流指标。

## 2.2 运营初期客流预测模型构建

(1)人口岗位分布预测。从增长趋势来看,南通市区常住人口呈现上升趋势,年均增长约1.25万人,尤其近三年来,市区常住人口呈现增速加速态势,年均增长约1.73万人,如表3所示。根据市区常住人口增长趋势,笔者预测了2022~2025年南通各市区常住人口总量,如表4所示。

表3 南通各区常住人口分布 单位:万人

年份	崇川区	港闸区	开发区	通州区	海门区	合计
2011	69.51	27.40	19.10	114.00	90.27	320.28
2012	70.00	27.80	20.30	114.20	90.23	322.53
2013	70.30	27.90	20.53	114.22	90.25	323.20
2014	70.65	28.00	20.70	114.20	90.23	323.78
2015	70.85	28.20	20.80	114.19	90.43	324.47
2016	71.10	28.52	20.90	114.20	90.50	325.22
2017	71.40	28.55	21.25	114.20	90.60	326.00
2018	71.89	28.98	22.02	114.17	90.47	327.53
2019	72.18	29.45	23.10	114.00	90.60	329.33
2020	72.48	29.85	23.90	114.10	90.70	331.03
2021	72.78	30.25	24.70	114.20	90.80	332.73

表4 2022~2025年南通市区常住人口预测 单位:万人

年份	崇川区	开发区	通州区	海门区	合计
2022	103.73	25.50	114.30	90.90	334.43
2023	104.43	26.30	114.40	91.00	336.13
2024	105.13	27.10	114.50	91.10	337.83
2025	105.83	27.90	114.60	91.20	339.53

注:行政区划调整后,港闸区已纳入崇川区,海门撤市设区。

(2)出行生成预测。居民出行次数的发展变化受到城市发展规模、经济发展水平、城市空间布局(居住与就业结构)、交通设施及居民生活习惯等多方面因素的影响。一般而言,中小城市因城市规模较小,居民出行次数相对较高,在城市化快速发展初期居民出行次数呈增长趋势,但随着城市的高度城市化和经济水平的提高,人口老龄化趋势越加明显,人均出行次数将逐步趋于稳定,并有所下降。居民出行按其目的的不同一般分为上班、上学、公务、生活购物、文体、探亲访友、看病、其他、回程等九类,除上班、上学外,其他的公务、生活购物、文体、探亲访友、看病为弹性出行。弹性出行部分根据大致又可以分为两类——私用部分(生活购物、文体、看病)和其他部分(公务、探亲访友)。根据2017年交通调查的南通市居民出行调查,南通市区居民日均出行次数为2.52人次/日,2022~2025年出行次数不会发生太大变化,如表6所示。

表5 各出行目的出行率 单位:人次/d

年份	上班	上学	生活弹性	其他弹性	回程	合计
2022	0.68	0.12	0.30	0.16	1.26	2.52
2023	0.67	0.12	0.31	0.16	1.26	2.52
2024	0.66	0.12	0.32	0.16	1.26	2.52
2025	0.65	0.12	0.33	0.16	1.26	2.52

(3) 出行分布预测。笔者结合现状南通居民出行调查和出行阻抗校核中心城区居民平均出行距离,利用双约束重力模型,计算得到南通市全方式居民出行 OD(Origin Destination, 出行客流)分布,如图 4、5 所示。



图 4 南通中心城区客流分布



图 5 南通中心城区公共交通分布图

(4) 出行方式划分预测。在满足宏观方式结构的前提下,采用定性定量相结合的方法:步行采用转移曲线模型确定;出租车采用组团内部与组团间的不同比例确定;非机动车、小汽车和公共交通则采用三方式竞争模型法确定。居民出行方式占比划分如表 6 所示。

竞争模型法的基本思路是:分别建立非机动车、综合公交(含轨道)及小汽车的道路网络,得到三类方式的时间最短路矩阵,并考虑到公交的换乘时间、两端步行时间和票价,统一换算为价值后,采用改进的 Logit 模型来确定:

$$P_{ij}^k = \frac{e^{-\theta C_{ij}^k / C_{ij}}}{\sum_{m=1}^3 e^{-\theta C_{ij}^m / C_{ij}}}, (k = 1, 2, 3) \tag{1}$$

式中:

- $P_{ij}^k$ —交通小区  $i, j$  间  $k$  方式的出行比例;
- $C_{ij}^k$ —交通小区  $i, j$  间  $k$  方式的出行费用;
- $\theta$ —待定参数。

表 6 南通市中心城区居民出行方式占比划分

单位:%

年份	步行	非机动车	公交	出租车	小汽车
2022	13.11	46.82	10.43	3.12	26.52
2023	13.11	46.71	10.73	3.12	26.33
2024	13.11	46.54	11.06	3.12	26.17
2025	13.11	46.26	11.38	3.12	26.13

(5) 客流分配。在前述交通需求分析的基础上,将得出的公交类 OD 在综合公交网(常规公交+轨道交通)上进行竞争分配,计算轨道断面客流量、各站点乘降量和平均运距等。

### 2.3 客流预测结果分析

由于南通市轨道交通票制票价方案正在研究中,尚无法按照南通实际票价水平作为输入参数,进行客流预测。轨道交通票价方案的制定需要综合考虑客流、市民收入水平、其他方式出行成本、企业运营成本,是社会效益和企业效益的博弈。南通市作为江苏省第 6 个开通地铁的城市,票价水平应着重考虑与江苏省其他城市之间的比较结果。江苏省内已开通地铁的城市的票价水平维持在每公里费率 0.20~0.30 元/km 之间不等。根据既有假定不同票价水平,笔者分别对南通轨道交通线网客运量进行预测,得到每公里费率在 0.20~0.30 元/km 的情况下,运营初期客运量为 15.66~19.04 万乘次/日;票价水平越高,轨道交通客流吸引力也低,客运量也越低,如表 7 所示。

表7 不同票价水平下2023年南通轨道交通线网客流预测结果

方案	每公里费率/(元·km <sup>-1</sup> )	出行量/(万人次·d <sup>-1</sup> )	客运量/(万乘次·d <sup>-1</sup> )
1	0.20	15.83	19.04
2	0.22	15.41	18.54
3	0.24	14.73	17.72
4	0.26	14.17	17.05
5	0.28	13.64	16.41
6	0.30	13.02	15.60

### 3 结束语

客流预测结果不同城市具有一定可比性和可参照性,运营初期的客流量级与城市空间、人口密度和线路功能定位密切相关,通过建立定量模型与同类城市运营线路的客流预测结果对比,有助于提升客流预测精度。客流预测定量模型可以对不同票价方案进行定量比选分析。同时,轨道交通作为居民出行方式中的一种,与其他交通方式息息相关,并存在依存和竞争关系,一方面与地面常规公交存在竞争,另一方面与公交、非机动车等存在依存关系。轨道交通开通后,线路沿线的公交客流将迅速地转移至轨道交通,成为轨道交通初期客流主要来源。因此,在轨道交通开通前,政府应加大地面公共交通设施投入,形成公共交通客流走廊,开行公交快线,先期培养客流,同时减少轨道交通与其他交通方式的竞争关系,加强与其他交通方式的接驳互补关系,推进“轨道—公交—慢行”三网融合,为轨道交通喂给客流。

### 参考文献:

- [1]尹晓桐.城市轨道交通客流预测后评估理论与方法研究[D].西安:长安大学,2015.  
 [2]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,2015.  
 [3]张靖宜.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.

(责任编辑:张利)

## Exploratory Discussion on the Method of Predicting Passenger Flow in the Initial Stage of Urban Rail Transit Operation

ZHOU Li-chao

(Operation Branch, Nantong Urban Rail Transit Co., Ltd., Nantong 226000, China)

**Abstract:** Passenger flow prediction in the initial stage of urban rail transit operation is the basis for vehicle configuration, operation organization, financial calculation and evaluation, and its accuracy is related to rail transit operation efficiency and economic benefits. By horizontally comparing the data of the cities that have opened rail transit in Jiangsu Province and the survey and analysis along the line, a traffic demand prediction model in Nantong is established, and detailed indicators of passenger flow in the initial stage of urban rail operation in Nantong are predicted, which provides a basis for the preparatory work for the opening and operation of rail transit in Nantong.

**Key words:** urban rail transit; initial stage of operation; passenger flow prediction