

基于综合路网分析的长沙地铁 6 号线客流预测

周芳^{1,2}, 汪婧¹

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.中国水利水电第八工程有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要: 在长沙市综合路网分析的基础上,采用四阶段预测法,从全日客流和高峰客流等指标对长沙市轨道交通 6 号线客流进行预测,并结合城市公交网络系统进行客流分配,结果显示,轨道交通 6 号线近期客流增长较快,远期增长较慢;对预测结果进行敏感性分析,得出 3 个近期敏感性因素和 3 个远期敏感性因素,并提出客流稳定性保障措施,为工程建设和运营决策提供参考。

关键词: 城市交通;轨道交通;客流预测;公交网络;四阶段法

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)01-0022-04

1 长沙市综合路网分析

长沙市位于中国中部,连南接北,承东启西,具有得天独厚的交通区位优势。近 10 年,长沙市大力发展交通基础设施,统筹布局综合交通建设,逐步形成了以现代化公路、高速化铁路、国际化航空为主要骨架的综合交通运输系统。在经济快速发展的驱动下,城市用地规模、人口规模不断增加,机动车数量也与日俱增,出行需求不断增大,造成城市道路建设进程有所滞后、交通状况与经济增长需求之间的差距愈来愈大。中心城区的人口密度不断增大,对城区产生更大的交通压力,交通矛盾愈加凸显,由市中心交通拥堵造成的交通瘫痪随时可能发生。为弥补道路交通的不足,必须加快轨道交通建设进程。轨道交通 6 号线为东西向补充骨干线路,衔接河西副中心、城市主中心与星马片区南部,建成后能有效沟通城市主体和岳麓片区、星马片区,解决城市主要组团间的长距离出行需求,改善公交出行条件,减少出行时间,吸引长距离客流,进一步强化公交主体地位,有效缓解中心城区交通拥堵状况。

2 长沙市轨道交通 6 号线客流预测

长沙市轨道交通 6 号线为东西向重点建设线路,西起梅溪湖二期,途径东方红路→桐梓坡路→湘江→湘雅路→烈士公园→迎宾路→人民路,东至黄花机场,全长约 48 km。下面在《长沙市轨道交通建设规划(2016—2024)》和《长沙市统计年鉴》的基础上,对长沙市地理区位、土地利用、人口岗位、社会经济、交通现状及居民出行进行分析,获得预测所需基础数据,采用四阶段法进行轨道交通 6 号线 3 个特

征年(2025、2032、2047 年)的客流预测。

2.1 出行生成模型构建

以个人原单位法构建出行生成模型,推算所用指标为每人平均交通生成量。以单位出行次数为原单位,由居民出行调查统计结果得出人均日出行次数为 2.42 次/(人·d),未来原单位值的确定中直接使用现状调查得到的原单位。同样,发生和吸引交通量也采取原单位法。根据原单位与小区人口的乘积得到发生交通量和吸引交通量,采取总量控制法得到最终调整结果。

2.2 出行分布模型构建

选取平均增长率法构建出行分布模型。在现状 OD 的基础上,以 TransCAD 为辅助进行分布预测,得到 3 个特征年长沙市居民全方式出行分布矩阵。

2.3 方式划分 Logit 模型构建

市民多种出行方式既相互竞争又相互合作,影响居民交通方式选择的主要因素有出行时间、出行费用、便利程度及收入水平。应用多项 Logit 模型进行预测分析:

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_j e^{U_j}}, U_i = \sum_k a_k X_{ik}$$

$$(0 \leq P_i \leq 1, \sum P_i = 1) \quad (1)$$

式中: P_i 为交通分担率; U_i 为交通方式 J 的效用函数; J 为交通方式的数量; a_k 为未定参数; X_{ik} 为交通方式 i 的第 k 个指标(时间、费用)。

可选交通方式主要有慢行交通、公交、轨道交通、小汽车、出租车,所考虑的参数有出行时间、出行费用,采用 Logit 模型的参数估计完成对每种方式效用函数的估计。TransCAD 的划分结果见图 1。

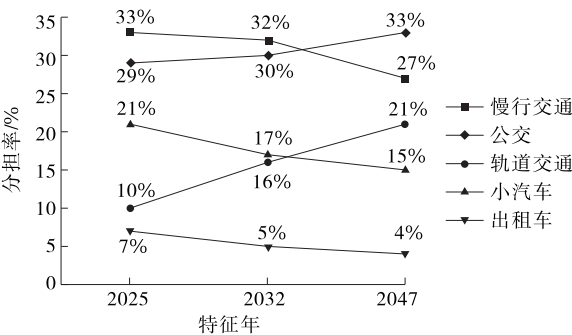


图 1 特征年各种交通方式的分担率

由图 1 可知:公交出行方式在长沙市居民出行中所占比例持续上升,保持集约化公交主导运输地位,同时以高效多元化的公交服务支持、引导城市发展,优化交通方式结构,有利于确立公交在长沙通勤交通中的主体地位;轨道交通作为一种新型交通运输方式,在公共交通中所承担的客运量不断上升。

2.4 客流分配 SUE 模型构建

采取随机用户分配模型(SUE),根据长沙市现有公交线路及未来年公交线路规划在 TransCAD 中构建城市公交网络体系,利用城市道路连接每个小区的形心,并连接到公交网络体系中,结合公交调查得出的平均等待时间、额定运载能力等生成交通网络。在此基础上,根据长沙市轨道交通 6 号线的站点位置、走向设定 3 个特征年的轨道交通计算网络,采用随机用户平衡模型将方式划分中特征年的公交 OD 在新建网络上进行客流分配(见图 2),得

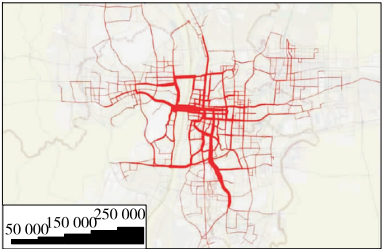


图 2 现状公交网络客流分布(单位:人次/d)

到长沙市地铁 6 号线的客流预测结果。

2.5 预测结果

依据长沙市快速轨道环线客流预测中高峰小时率预测结果,参考 2015 年长沙市地铁 1 号线试运行期间调查统计所得全日客流量及国内其他同级城市地铁运营数据,推算得到长沙市地铁 6 号线各特征年的高峰小时率(见表 1)。客流预测结果见表 2。

表 1 长沙市各特征年早晚高峰小时率

特征年	高峰小时率	
	早高峰	晚高峰
2025	0.176	0.146
2032	0.168	0.137
2047	0.156	0.128

由表 2 可知:1) 长沙地铁 6 号线的客流近期增长较快。一方面是 6 号线进一步向东西两方延伸,拓展了居民出行服务,同时随着线路的增长及车站设置的增多,服务范围增大;另一方面,城市处于快速发展期,人口、人均出行次数不断增加,周边新城

表 2 长沙市地铁 6 号线客流预测结果

特征年	线路长度/km	客运量/ (万人·d ⁻¹)	客运周转量/ [(万人·km)·d ⁻¹]	客运强度 (万人·km ⁻¹)	平均乘距/ km	单向高峰最大断面 客流量/(万人次·h ⁻¹)
2025	48.7	54.4	554.9	1.12	10.2	1.94
2032	50.7	84.2	951.5	1.66	11.3	2.65
2047	50.7	104.0	1 216.8	2.05	11.7	3.83

及组团的建设使出行距离增大,6 号线在长沙市公共交通出行中的作用越来越重要。2) 远期随着城市发展的日趋完善,居民出行次数及距离逐渐稳定,轨道 6 号线的全日客运量增长速度放缓。

3 客流敏感性分析

3.1 近期敏感性因素

3.1.1 票价和时间

在利用公交出行的出行者中,票价和时间是其

选择出行方式的决定性因素。采用 Logit 模型建立效用函数[见式(2)]对费用矩阵和时间矩阵进行敏感性分析。

$$V_i = a_i M_i + b_i T_i + \theta_i \tag{2}$$

式中: V_i 为效用函数; M_i 为第 i 种交通方式所花费的费用; a_i 为费用的权重系数; T_i 为第 i 种交通方式所花费的时间; b_i 为出行时间的权重系数; θ_i 为常数项。

选取的交通方式为轨道交通与常规公交。对于

一般交通方式而言,权重系数相差不大,在长沙市居民出行调查数据的基础上,用 SPSS 完成模型标定可得到 a 、 b 、 θ 的值,进而得:

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = -1.4M + 0.07T - 4.21 \quad (3)$$

式中: P_1 、 P_2 分别代表轨道交通与常规公交的分担率; M 为出行费用; T 为出行时间。

由 $\text{Exp}(-1.4) = 0.24$ 倍可知,与轨道交通相比,常规公交由于廉价而更被出行者所接受,当轨道交通票价增高时,人们将更多转向常规公交。保持常规公交票价不变,仅调整轨道交通票价,可计算得到轨道交通客流对票价的敏感性(见表 3)。

表 3 客流对轨道交通票价的敏感性

票价水平	各特征年的客流变化/%		
	2025	2032	2047
上升 10%	-6.02	-3.35	-2.85
上升 20%	-2.83	-1.52	-1.03
下降 10%	+6.38	+6.05	+4.84
下降 20%	+3.25	+2.91	+1.98

注:“+”表示客流增加;“-”表示客流降低。下同。

由表 3 可知:初期客流对票价变化最敏感,近其次之,远期敏感性最低。随着轨道交通线网的逐步完善、综合交通体系的构建,乘坐轨道交通不但快速、安全且越来越方便,加上生活水平的提高、居民出行时间价值增强,对票价的敏感程度有所降低。

3.1.2 服务水平

地铁的服务水平是客流的间接影响因素。服务水平可从服务质量、运行间隔及旅行速度三方面来描述,良好的服务质量会带来客流的二次、多次吸引,为企业带来利润;运行间隔越短、运行速度越快,更有利于减少出行时间,进而吸引更多客流。在运能不足的情况下,运行间隔变长、排队时间增多、车厢拥堵加剧导致服务质量降低,会使客流向其他交通方式转移。

3.1.3 常规公交的衔接和接驳

常规公交的衔接和接驳是否能提供快捷的换乘,也影响轨道交通的客流。轨道交通是一种定线运行的交通方式,其辐射范围有一定限度,只覆盖线路一定范围内的交通走廊,要发挥轨道交通大运量的特点,必须依靠公交等其他交通方式的接运,扩大其服务范围。

3.2 远期敏感性因素识别

由于对长沙市轨道交通网建设及 6 号线沿线土地利用性质进行定量分析存在一定难度,且定量分析结果的准确性难以考察,采用单因素分析法分析其客流远期敏感性因素。

3.2.1 长沙市轨道交通线网建设进程

长沙致力于构建综合交通枢纽城市,推动长沙国际化及区域一体化。6 号线是长沙市轨道交通网络中的骨干线,与 1~5、7~9、11~12 号线均有换乘,换乘功能强大。但轨道交通线路建设受资金、政策的限制较大,规划线路的实际建成时间有较大的不确定性,这对地铁 6 号线的客流将产生影响。若 2025 年其他线路未及时完工,将有一部分乘客因为换乘不方便而改变出行方案,最终导致 6 号线的客流损失。以 4 号线为例进行敏感性分析,若 2025 年 4 号线未建成,6 号线的客流换入量将减少 7.90%,换出量将减少 7.78%。

3.2.2 6 号线沿线土地规划

6 号线在满足沿线既有客流和未来新生客流的基础上进行设计、建设,也是东西向的重点建设线路,能有效引导长沙市东西区位的联系,完善整体路网规划。其客流量会受到沿线土地总体开发强度的影响,开发强度大,则其客流增加。

3.2.3 人口

长沙市人口向市区集聚较明显,由芙蓉区、天心区、岳麓区、开福区、雨花区和望城区组成的市区是人口分布较集中的地区。人口的增长势必产生更多的出行,而出行量的增加会引起轨道交通客流量增大。人口是否增长与国家政策、个人观念、收入水平等密不可分,也具有一定的不确定性。按四阶段法分析人口分别上升 5% 和 10% 时 6 号线的客流变化,结果见表 4。

表 4 客流对人口变化的敏感性

人口变化	各特征年的客流变化/%		
	2025	2032	2047
增多 5%	+3.39	+2.63	+1.97
增多 10%	+7.53	+6.34	+4.12

由表 4 可知:长沙市轨道交通 6 号线的客流随着人口的增加而增加,客流对人口的变化较敏感。

3.3 基于敏感性因素的客流补偿措施

根据长沙市地铁 6 号线客流敏感性分析结果,

可采取以下措施保持其客流稳定:

(1) 票价、票制是影响轨道交通客流较敏感的因素,票价高低直接影响客流的多少,从而影响经营利润。当实际客流比预测客流少时,可采取适当降低票价或特惠票的方式吸引客流转向轨道交通,如团体票、月票、学生票、老年人票、往返优惠票等,这些客流一旦转向轨道交通,有望形成稳定的客流。

(2) 常规公交车与轨道交通的换乘是轨道交通客流的来源之一,可通过加强两者间的衔接增加轨道交通的客流。延长公交车的线路使其与轨道交通的站点相连接,可增强轨道交通的辐射范围,增加轨道交通的客流,还有利于缓解道路交通压力。

(3) 在轨道交通建成后,可加强对沿线的土地开发与利用,完善基础设施建设,促使形成商业、娱乐、住宅于一体的空间区域,吸引客流的同时避免无效出行。

4 结语

轨道交通的客流预测是前期研究的中心环节,是城市轨道交通建设必要性、规模选择、经济效益分析和各项专业设计的基础和依据。该文在长沙市综合路网分析的基础上,结合四阶段法对轨道交通6号线进行客流预测与分配,采取原单位法进行客流产生预测、平均增长率法进行分布预测、多项Logit模型进行方式划分,并用SUE模型分配客流,以TransCAD为辅助得到3个特征年综合交通发展趋势及6号线全日客流量和高峰小时客流量;同时对预测结果进行敏感性分析,以定性和定量相结合的

方法从近期和远期两个视角来阐述,并提出了基于敏感性因素的客流补偿措施。客流预测结果对轨道交通6号线的建设具有一定的指导作用,能促进提高投资效益,节省工程投资,进一步加快轨道交通6号线建设进程,推进长沙综合交通体系的发展。

参考文献:

- [1] 邵春福. 交通规划原理[M]. 第二版. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [2] 张国宝. 城市轨道交通运营组织[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [3] 陈磊. 改善轨道交通客流预测的措施探讨[J]. 科学技术创新, 2017(35).
- [4] 王贵平. 滇中城市群城际铁路网客流预测[J]. 道铁标准设计, 2017, 61(7).
- [5] 郭平. 城市轨道交通客流特征及预测相关问题[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(1).
- [6] Valentina Emilia Balas, Lakhmi C Jain, Xiangmo Zhao, et al. Study on passenger flow analysis and prediction method of the public transport operation passenger line of the adjacent city[M]. IOS Press, 2017.
- [7] 赵莹. 轨道交通客流预测的敏感性分析[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [8] 刘扬. 敏感性因素对城市轨道交通客运量的影响分析[J]. 交通工程, 2017, 17(3).
- [9] 何永恒, 李进. 项目的敏感性分析[J]. 交通科技与经济, 2012, 14(4).
- [10] GB/T 51150—2016, 城市轨道交通客流预测规范[S].

收稿日期: 2018-04-16

(上接第21页)

3 结语

开放式街区具有道路网络更密集、土地利用更集约、街坊尺度更宜人等优点。该文以窄路密网和开放式街区为背景, 提出部分开放模式和完全开放模式, 并分别对规划新建街区、现状已建街区居住生活区、商业办公区、机关大院和高等院校的开放尺度及开放模式进行分析, 对开放式街区的具体建设给予指导。开放式街区的实施还需从法律和地方法规、规范制定、管理执行等方面进行研究。

参考文献:

- [1] 中发[2016]6号, 中共中央 国务院关于进一步加强城

市规划建设管理工作的若干意见[S].

- [2] 商宇航. 城市街区型住区开放性设计研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- [3] 汪春. 落实“窄马路、密路网、开放街区”措施分析[J]. 城市道桥与防洪, 2016(11).
- [4] 上海市规划和国土资源管理局. 上海街道设计导则[R]. 上海: 上海市规划和国土资源管理局, 2016.
- [5] 上海市城市建设设计研究总院. 上海市交通委员会完整街道设计导则[R]. 上海: 上海市城市建设设计研究总院, 2016.
- [6] 詹斌, 韩红艳, 陈文鑫, 等. 基于TransCAD—VISSIM的小区开放对周围道路的影响分析[J]. 公路与汽运, 2017(6).

收稿日期: 2018-09-04