

## 长沙市地铁 1 号线开通初期客流预测研究

凌同华, 陈京兆

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 由于地铁开通初期进行客流预测时间较短, 在交通小区划分、交通调查、出行者行为、运营供应条件和预测模型方面均需做特殊处理。文中依据长沙市地铁 1 号线所设车站周边个人出行调查结果, 利用改进的四阶段法建立预测模型对该地铁线路初期客流进行预测分析。

**关键词:** 城市交通; 轨道交通; 客流预测; 四阶段法

**中图分类号:** U491.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2019)02-0026-04

随着城市化进程的加快, 建设大运量、高速、方便的城市轨道交通成为当今城市交通发展的必然。轨道交通是城市最大的基础设施之一, 是一个涉及面很广、综合性很强的系统工程。该文利用改进的四阶段法建立模型对长沙市地铁 1 号线开通初期进行客流预测, 为其运营提供依据。

## 1 交通生成预测

根据土地性质、人口规模对长沙地铁 1 号线沿线交通小区进行划分、合并。划分时, 考虑沿线的土地利用和居民出行特征, 尽量做到形状简单, 易于分配到路网上, 同时避免同一个站点吸引多个站点的情况及交通小区划分过细造成客流预测误差。依据上述原则, 将长沙市 1 号线沿线划分为 48 个交通小区, 其中城市边缘区交通小区面积为  $3 \sim 5 \text{ km}^2$ , 其他交通小区面积为  $1 \sim 2 \text{ km}^2$ 。交通出行产生、吸引模型分别见式(1)、式(2)。

$$P = P^w + P^e + P^{\text{other}} \quad (1)$$

式中:  $P$  为交通出行产生总量;  $P^w$ 、 $P^e$ 、 $P^{\text{other}}$  分别为工作、上学及其他出行产生量。

$$A = A^w + A^e + A^{\text{other}} \quad (2)$$

式中:  $A$  为交通出行吸引总量;  $A^w$ 、 $A^e$ 、 $A^{\text{other}}$  分别为工作、上学及其他出行吸引量。

依据长沙市 2015 年交通调查数据, 参考国内外其他城市客流预测中参数确定长沙市出行生成模型参数, 结果见表 1。

## 2 交通分布预测

交通分布预测中的重力模型结构简单, 适用范围广, 在没有完整现状 OD 的情况下也能进行分布预测。但该模型对短距离出行分布的预测结果偏大,

表 1 出行生成模型参数 %

项目	参数值
上班出行产生率/吸引率	1.10
上学出行产生率/吸引率	1.74
弹性出行比例	32.70
居民人均日出行率	2.76

尤其在小区划分较细的城市轨道交通规划中, 小区内出行被高估, 导致分布预测失效。因此, 需针对小区内出行和小区间出行分别建立模型。另外, 由于小区分目的出行的产生量和吸引量相差较大, 需对分布模型进行改进。

### 2.1 传统重力模型

小区内出行分布模型为:

$$T_{ii} = K G_i A_i S_i \quad (3)$$

式中:  $T_{ii}$  为  $i$  小区交通量;  $K$  为地区间系数;  $G_i$  为  $i$  小区交通生成量;  $A_i$  为  $i$  小区交通吸引量;  $S_i$  为  $i$  小区面积。

小区间出行分布模型为:

$$T_{ij} = K_i K_j \frac{G_i A_j}{f(R_{ij})} \quad (4)$$

$$f(R_{ij}) = R_{ij}^n \exp(-\nu R_{ij}) \quad (5)$$

式中:  $T_{ij}$  为  $i$ 、 $j$  小区间的交通量;  $K_i$  和  $K_j$  为地区间系数, 按式(6)、式(7)计算;  $G_i$  为  $i$  小区的出行次数;  $A_j$  为  $j$  小区的出行次数;  $R_{ij}$  为  $i$ 、 $j$  小区间的交通阻抗函数(小区之间的距离、时间等)。

$$K_i = \left[ \sum \frac{K_j A_j}{f(R_{ij})} \right]^{-1} \quad (6)$$

$$K_j = \left[ \sum \frac{K_i G_i}{f(R_{ij})} \right]^{-1} \quad (7)$$

### 2.2 重力模型的改进

考虑到出行交通量的主要因素为产生交通量、

吸引交通量,在传统重力模型的基础上引入系数  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ,小区内出行分布按下式计算:

$$T_{ii} = KG_i^{\alpha} A_i^{\beta} S_i^{\gamma} \tag{8}$$

小区间出行分布根据不同约束条件采用带约束条件的重力模型计算:

$$T_{ij} = K_i K_j \frac{G_i^{\alpha} A_j^{\beta}}{f(R_{ij})} \tag{9}$$

$$f(R_{ij}) = R_{ij}^{\gamma} \tag{10}$$

2.3 模型检验

得到小区内和小区间模型参数后,计算模型的 OD 分布和 GM 分布(即计算交通分布),通过检查 GM 分布与实际 OD 分布的拟合情况对模型进行验证。采用式(11)所示卡方( $X^2$ )公式进行检验, $X^2$  值越小,则预测模型的误差越小,拟合效果更好。

$$X^2 = \sum_i \sum_j \frac{(T_{ij} - T'_{ij})^2}{T'_{ij}} \tag{11}$$

式中: $T_{ij}$  为  $i$ 、 $j$  小区间的预测交通量; $T'_{ij}$  为实际交通调查值。

2.4 模型计算与检验

在长沙地铁 1 号线沿线选取 5 个样本小区,表 2~4 分别为小区面积、平均出行时间和交通出行 OD(数据来源于长沙市轨道交通集团有限公司)。

根据表 4 所示样本 OD,计算得  $\mu = -0.03$ 、 $\nu = -0.241$ 。将参数代入式(3)~(7),得到传统重力模

表 2 交通小区的面积

小区编号	面积/km <sup>2</sup>	小区编号	面积/km <sup>2</sup>
1	19.87	4	24.98
2	25.33	5	39.21
3	27.72		

表 3 交通小区的平均出行时间

小区 编号	出行时间/min				
	1	2	3	4	5
1	7.00	7.60	16.87	17.56	18.07
2	12.00	7.00	12.35	14.30	21.00
3	16.74	15.15	7.00	12.43	16.37
4	18.36	15.21	9.09	7.00	16.78
5	13.77	20.86	17.34	14.64	7.00

表 4 交通小区的交通出行 OD

小区 编号	出行 OD/人次					$G_i$
1	2	3	4	5		
1	4 376	213	289	5 325	170	13 765
2	7 732	5 276	1 298	2 208	340	17 621
3	410	310	4 216	5 895	1 264	11 347
4	6 489	430	450	653	9 091	17 734
5	1 009	356	3 687	5 735	3 215	17 006
$A_i$	22 654	6 382	11 367	21 478	13 955	

型计算 OD 值(见表 5)。

表 5 传统重力模型计算 OD 值

小区	OD 值/人次				
编号	1	2	3	4	5
1	6 263.60	734.65	435.88	64.75	51.23
2	4 321.60	4 784.64	2 985.77	534.65	386.91
3	5 439.80	3 009.98	8 539.11	1 436.32	985.42
4	6 317.29	1 983.76	3 201.26	2 706.36	753.19
5	8 981.33	4 721.78	4 901.32	2 547.22	5 613.58

利用式(6)~(10)对表 4 所示样本 OD 进行计算,得到改进重力模型参数标定结果(见表 6)和计算 OD 值(见表 7)。

表 6 改进重力模型参数标定结果

项目	区内模型				区间模型			
	$\ln K$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\ln K_i + \ln K_j$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
参数值	-11.658	0.867	0.998	0.686	-26.655	1.856	1.842	0.625
$t$ 检验值	-4.004	1.634	4.579	4.658	-4.643	3.332	5.132	0.452
方差检验值	0.231	0.308	0.128	0.173	0	0.005	0	0.657
相关系数 $R$		0.912				0.835		

表 7 改进重力模型计算 OD 值

小区	OD 值/人次				
编号	1	2	3	4	5
1	6 376.41	98.03	418.77	129.89	71.75
2	7 654.14	10 075.72	1 997.59	5 432.87	98.90
3	9 649.06	4 653.09	10 076.87	13 808.79	208.65
4	8 609.34	301.88	2 654.76	3 489.12	100.38
5	19 076.08	648.89	5 230.55	2 007.65	6 736.70

利用式(11)对两种模型的计算结果进行统计检验,传统重力模型  $X^2 = 4\,943.626$ ,改进重力模型  $X^2 = 118.39$ 。改进重力模型的误差更小,拟合效果更好,其客流预测结果更准确。

### 3 交通方式划分预测

长沙市居民出行方式主要分为步行、私家车出行、公共交通出行、非机动车出行及其他出行5种。根据长沙市整体交通规划和线网布局,采用Logit模型,从不同交通出行方式所需时间、费用、距离、服务水平、舒适度等方面建立交通方式划分模型:

$$P_{ij}^k = \left(1 - \sum_{k=1}^5 V_{ij}^k\right) \frac{\exp(M_{ij}^k)}{\sum_{j=1}^5 \exp(M_{ij}^k)} + V_{ij}^k \quad (12)$$

$$M_{ij}^k = \alpha_k T_{ij}^k + \beta_k C_{ij}^k + \gamma_k F_{ij}^k + \lambda_k L_{ij}^k + \mu_k B_{ij}^k \quad (13)$$

式中: $P_{ij}^k$ 为从节点*i*到*j*选择第*k*种方式的交通出行概率; $V_{ij}^k$ 为从节点*i*到*j*选择第*k*种方式的固有交通出行概率; $M_{ij}^k$ 为针对不同交通出行方式所需时间、费用、距离、服务水平、舒适度进行综合考量的累加值; $T_{ij}^k$ 为选择第*k*种出行方式从节点*i*到*j*的时距; $C_{ij}^k$ 为选择第*k*种出行方式从节点*i*到*j*的费用; $F_{ij}^k$ 为选择第*k*种出行方式的舒适度; $L_{ij}^k$ 为选择第*k*种出行方式的服务水平; $\alpha_k$ 、 $\beta_k$ 、 $\gamma_k$ 为系数。

按式(12)、式(13)计算,得到长沙地铁1号线开通初期各交通出行方式的分担率(见表8)。

### 4 交通分配预测

在城市轨道交通客流预测中,交通分配是重要

表8 交通出行分担率

出行方式	分担率	出行方式	分担率
步行	0.21	非机动车	0.36
私家车	0.14	其他出行	0.06
公共交通	0.23		

一环,主要采用公交客流分配模型。选择公交客流分配模型中的Logit模型对长沙地铁1号线进行客流预测,模型形式如下:

$$L_k = \frac{\exp[-\theta \cdot R_k / R_T]}{\sum_{i=1}^m \exp[-\theta \cdot R_i / R_T]} \quad (14)$$

式中: $L_k$ 为Logit数值; $\theta$ 为分配参数; $R_k$ 为第*k*条路径的路权; $R_T$ 为被选路径的平均出行路权。

选择传统公交方式出行的概率 $P_a$ 按式(15)计算,选择轨道交通方式出行的概率 $P_b = 1 - P_a$ 。

$$P_a = \frac{L_a}{L_a + L_b} \quad (15)$$

式中: $L_a$ 为传统公交方式的Logit数值; $L_b$ 为轨道交通出行方式的Logit数值。

轨道交通方式第*j*条路径的分担概率 $P_{bj}$ 按下式计算:

$$P_{bj} = \frac{L_{bj} \cdot P_b}{\sum L_{bj}} \quad (16)$$

### 5 客流预测结果及分析

采用上述改进重力模型,结合长沙市交通调查统计数据,对长沙市地铁1号线开通初期全日客流进行预测,结果见表9。

表9 长沙市地铁1号线开通初期全日客流预测结果

人次

站名	由南向北全日客流			由北向南全日客流		
	上车	下车	通过量	上车	下车	通过量
尚双塘	6 131	0	6 131	0	6 238	6 238
中信广场	7 116	879	12 368	790	7 209	12 657
大托	8 081	979	19 470	891	8 023	19 789
桂花坪	10 175	1 310	28 335	1 360	9 419	27 848
省政府	11 643	1 416	38 562	1 405	11 600	38 043
友谊路	12 831	3 845	47 548	4 067	13 284	47 260
铁道学院	13 999	4 306	57 241	4 271	13 957	56 946
涂家冲	14 753	5 329	66 665	5 519	14 136	65 563
黄土岭	8 845	6 919	68 591	6 601	9 061	68 023
南湖路	9 835	8 528	69 898	8 625	9 645	69 043
侯家塘	12 647	13 040	69 505	12 807	12 093	68 329

续表 9

站名	由南向北全日客流			由北向南全日客流		
	上车	下车	通过量	上车	下车	通过量
南门口	8 919	13 000	65 424	12 824	9 573	65 078
黄兴广场	13 376	14 426	64 374	13 286	13 129	64 921
五一广场	13 979	19 685	58 668	19 089	14 481	60 313
培元桥	4 192	12 775	50 085	12 795	3 901	51 419
文昌阁	1 552	10 490	41 147	10 126	1 439	42 732
开福寺	4 769	11 272	34 644	11 700	5 149	36 181
北辰三角洲	1 454	8 974	27 124	9 809	1 397	27 769
马厂	747	12 070	15 801	12 195	796	16 370
开福区政府	0	15 801		16 370	0	
合计	165 044	165 044		164 530	164 530	

从表 9 来看,长沙市地铁 1 号线开通初期客流呈现以下特征:1) 客流主要集中在市中心,其中五一广场、黄兴广场、侯家塘 3 个站点的客流量较大。根据长沙市轨道交通线网规划,五一广场和侯家塘为线网换乘点站,而黄兴广场作为长沙市传统商业广场其客流密度较大,这 3 个站点处于城市核心中心位置。2) 五一广场北部客流量并不大,但随着城市规模的不断扩大和人口的增长,这部分客流预测可变性较大。3) 客流从城市边缘区向城市中心区聚集,居民出行呈现“潮汐”现象。

参考文献:

[1] 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(1).  
[2] 施泉,吴中,毛荣昌.轨道交通客流预测四阶段法的改进[J].城市轨道交通研究,2006(9).  
[3] 马超群,陈宽民,王玉萍.城市轨道交通客流预测方法[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(5).  
[4] 毛保华.城市轨道交通规划与设计[M].北京:人民交通出版社,2006.  
[5] Wardman M R.Demand for rail travel and the effects of

external factors[J].Transportation Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2006,42(3).  
[6] 何宁,马晓甦,王国晓.南京市地铁 1 号线开通初期客流研究[J].城市交通,2009,7(1).  
[7] 郭娟,刘雪锋.城市轨道交通客流预测分析[J].山西科技,2017(1).  
[8] 罗小强.城市轨道交通客流预测分析[D].西安:长安大学,2005.  
[9] 孙博,魏明.基于贝叶斯网络的短时公交客流预测模型[J].公路与汽运,2017(4).  
[10] 胡耀龙,蓝万炼,梁小文.基于四阶段法的高速公路收费收入预测研究:以宁常、镇溧高速公路为例[J].公路与汽运,2017(6).  
[11] 毛荣昌.城市轨道交通客流预测方法研究[D].南京:河海大学,2005.  
[12] 冯琳.城市轨道交通客流预测方法及其对地铁设计的影响分析研究[A].中国土木工程学会第十五届年会暨隧道及地下工程分会第十七届年会论文集[C].2012.

收稿日期:2018-03-23

\*\*\*\*\*

(上接第 12 页)

[3] 宋昱,吴晴,余春暄.基于 Simulink 和 VR 工具箱的车辆制动稳定性计算机仿真[J].交通与计算机,2006,24(6).  
[4] 荆旭.基于虚拟现实技术的汽车虚拟驾驶系统的研究与开发[D].淄博:山东理工大学,2007.  
[5] 刘东辉,郑楠楠,杨丽丽,等.基于 Matlab Simulink 和 VR 工具箱的双足行走仿真[J].河北科技大学学报,2011,32(3).  
[6] 赵耕云,王佳,朱有地,等.基于 Simulink 和 VR 的平行

泊车控制系统设计与仿真[J].兰州工业学院学报,2018,25(4).  
[7] 尤志栋,王峻极,郝会龙,等.低等级公路驾驶体验训练仿真平台设计与实现[J].公路与汽运,2016(3).  
[8] 钱德猛,赵韩,张代胜.基于虚拟样机技术的空气悬架运动学研究[J].客车技术与研究,2005(3).  
[9] 刘东波,缪小冬,王长君,等.汽车驾驶模拟器及其关键技术研究现状[J].公路与汽运,2010(5).

收稿日期:2018-10-09