

城轨新线接入后既有站进出站量预测

光志瑞

(北京市轨道交通指挥中心, 北京 100101)

摘 要: 随着城市轨道交通进入网络化运营阶段, 新线接入对既有路网的影响呈现出复杂、多变的特点。为准确把握新线接入对既有路网的影响, 需要对既有站进出站量进行精确预测。在既有站客流组成分析的基础上, 本文提出了新线接入后既有站进出站量预测模型。首先, 对北京市 2012 年至 2015 年新线接入前后进出站量变化进行可视化分析, 提取关键影响因子, 并采用聚类分析、多项 logit 模型计算各影响因子; 其次, 考虑自然增长构建了基于时间序列法的趋势客流预测模型, 结合各类影响因素建立了基于多元回归分析的诱增客流联合预测模型, 在研究车站吸引范围的基础上提出了分流客流预测模型。最后, 以北京 2012 年至 2014 年历年新线接入前后数据对模型参数进行标定, 预测 2015 年底新线接入后既有站进站量。结果显示, 本模型具有较强的适用性和可操作性, 预测精度良好。

关键词: 城市轨道交通; 数据可视化; 客流组成分析; 时间序列法; 吸引范围

Forecast on Passenger Flow Entering and Departing of Existing Urban Railway Stations with the Connection of New Lines

Guang Zhi-rui

(Beijing Metro Network Control Center, Beijing 100101)

Abstract: With the network operation of urban rail transit, the impact of new lines on existing stations has presented features of complex and changeable. In order to access the impact of new lines on existing stations, it is necessary to accurately predict the passenger flow entering and departing. On the basis of passenger flow component analysis, a forecasting model on passenger flow entering and departing with the connection of new lines is proposed. First, based on data visualization and analysis of the impact of new lines over the years, key influence factors have found out and calculated by Fuzzy Cluster Analysis and Multinomial Logit Model. Second, considering natural growth of passenger flow, a prediction model of trend passenger flow has proposed by ARIMA. Combined with all kinds of influence factors, the induced passenger flow prediction model has built based on multiple regression analysis. Based on the study of the attracting scope of urban railway stations, the forecasting model of dividing passenger flow is put forward. Finally, using the historical passenger flow data of Beijing Metro from 2012 to 2015,

the proposed model was calibrated and examined. The results showed that the proposed model has better prediction accuracy and strong applicability and maneuverability.

key words: urban rail transit; data visualization; passenger flow component analysis ;ARIMA; attracting scope

一、 引言

随着社会经济的不断发展,城市居民出行需求急剧增加,促使大城市轨道交通路网进一步完善,新线不断建设并投入使用。为准确把握新线接入对既有路网的影响,需要对既有站进出站量进行精确预测。

国内外已开展大量关于城市轨道交通进出站量预测方法的研究:王丽^[1]利用回归分析法建立了土地利用各项指标与发生、吸引量的回归模型;M. Vrtic^[2]等人提出了用贝叶斯方法建立,采用非线性方程系统的增益标准信息 and 通常解算法来计算期望解,将交通生成、交通分布和交通方式划分结合考虑的 EVA 模型来计算交通生成量;蔡昌俊^[3]等应用乘积差分自回归移动平均模型预测轨道交通进出站量。但多数研究或适用于新线接入之前的项目可行性分析与规划阶段,或适用于轨道交通路网结构不发生变化阶段的客流预测。姚恩建^[4]等考虑既有站客流自然增长的同时,挖掘可达性与诱增客流的作用机理,分析新线对既有站线位关系导致的潜在分流效果,构建了接入新线后既有站进出站客流预测模型,在广州地铁取得了良好的效果。但诱增客流由可达性影响系数修正而得,可达性计算的准确性对诱增客流有决定性影响;分流客流仅考虑新线与既有站线位关系,在路网密度较大时,多种因素交互影响可能会降低预测精度。

本文在北京轨道交通历年新线接入影响分析的基础上,综合考虑车站周边的土地利用性质和开发强度、车站可达性、换乘属性、常住人口变化、新线发生吸引能力和票价变化等影响因素,构建基于时间序列法的趋势客流预测模型、基于各影响因素多元回归的诱增客流联合预测模型和基于车站吸引范围研究的分流客流预测模型。论文技术路线如下:

- 1) 首先,建立城市轨道交通时间维度-空间维度-客流构成维度的综合数据库。
- 2) 其次,建立车站影响因子的判定模型,包括客流发生影响因子判定模型和客流吸引影响因子判定模型。

3) 考虑自然增长构建基于时间序列法的趋势客流预测模型，结合各类影响因素建立基于多元回归分析的诱增客流-趋势客流联合预测模型。

4) 建立大数据关系模型，以个体为单元，分析车站个体与个体之间的客流竞争及博弈关系，并进行迭代计算，确定车站群体达到平衡状态时的吸引参数，提出分流客流预测模型。

5) 以北京 2012 年至 2014 年历年新线接入前后数据对模型参数进行标定，并重点对北京市 2012 年至 2015 年新线接入前后车站进、出站量变化进行大数据挖掘分析。

6) 最后，预测 2015 年底新线接入路网后既有站及新站进站量。结果显示，本模型具有较强的适用性和可操作性，预测精度良好。

二、 新线接入对既有站进出站量影响

本文采用北京市轨道交通车站自动售检票设备采集的数据，分析 2012 年至 2015 年新线接入后既有站进出站量的变化情况，对关键影响因子进行合理抽象，提出计算方法。

（一） 历年新线接入影响分析

2012 年至 2015 年新线接入后，既有站进出站量有增有减，且增加、减少的幅度不同（如图 1）。

从空间维度来看，2015 年 14 号线中段、昌平线二期接入后（如图 2），天通苑、草房、霍营等大型居住类车站客流增长较大；由于车站可达性及部分车站换乘属性发生变化，与新线相接的 14 号线东段、10 号线南段、昌八联络线大部分车站客流增长明显，南邵、蒲黄榆、潘家园等车站客流减少；四环外车站进站量增长大于四环内（与常住人口增长情况一致）。由此可见，车站周边土地利用性质和开发强度、车站可达性、车站换乘属性、与新站距离、常住人口变化等因素，都会对既有路网进出站量变化产生影响。

从时间维度来看，2015 年新线接入后，既有站进站量变化较 2013 年大（如图 4）；2014 年新线接入后，大部分车站进站量减小，与其他年份增长情况相悖（如图 3）。由此可见，新线发生吸引能力和票价变化情况，对既有路网也有较大影响。

综合历年新线接入影响分析可知，新线接入后影响既有站进出站量的主要因素有：车站周边土地利用性质和开发强度、车站可达性、换乘属性、与新站距离、常住人口变化、新线发生吸引能力

和票价变化。

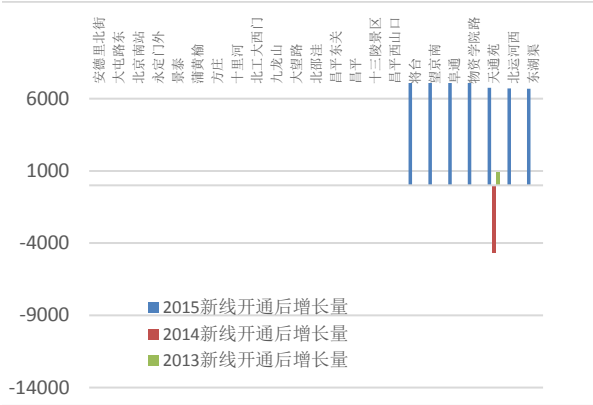


图 1 新线接入后 1 号线各站进站量变化



图 2 2015 年新线接入后早高峰进站量变化

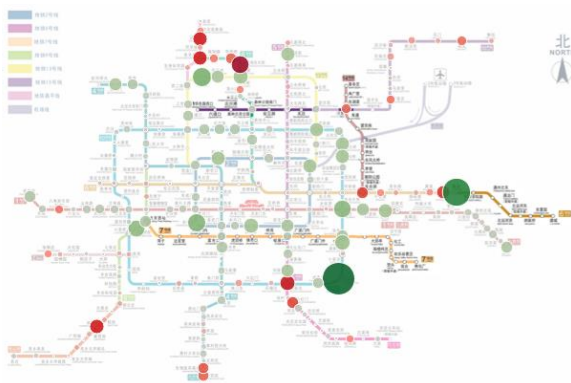


图 3 2014 年新线接入后进站量变化

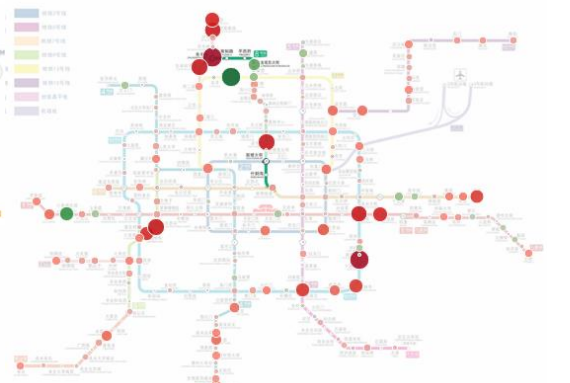


图 4 2013 年新线接入后进站量变化

注：绿色表示接入后客流量较接入前有所减少，红色表示增加；圆形大小代表客流量变化大小。

（二） 影响因素计算方法

换乘属性、票价变化等容易判别的影响因素可以用 0-1 哑元表示，车站周边土地利用性质及开发强度、车站可达性、新线吸引能力等无法直观判断的影响因素需要通过合理抽象，借助模糊聚类分析、多项 logit 模型等方法进行转化计算。

1. 车站周边土地利用性质及开发强度

城市轨道交通与土地利用是循环互馈的关系^[5]。车站周边土地利用开发强度不同，全天进、出站量大小不同。车站周边土地利用性质不同，车站全天进、出站量随时间变化趋势不同（如图 5 至图 8）：居住类车站早高峰以上班、上学客流为主，进站乘客较多，出站乘客较少，晚高峰以回家

客流为主，出站乘客较多，进站乘客较少；办公类车站则有相反的规律；枢纽类车站无明显早晚高峰。

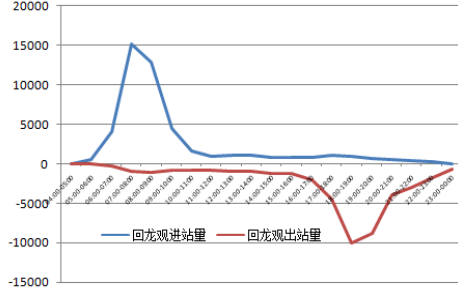


图 5 回龙观分时变化趋势

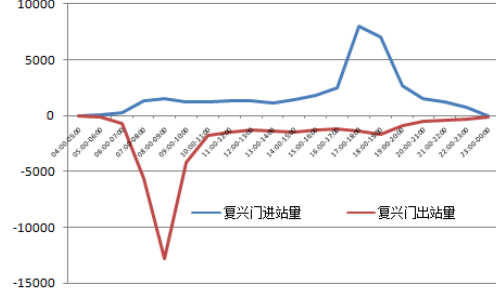


图 6 复兴门分时变化趋势

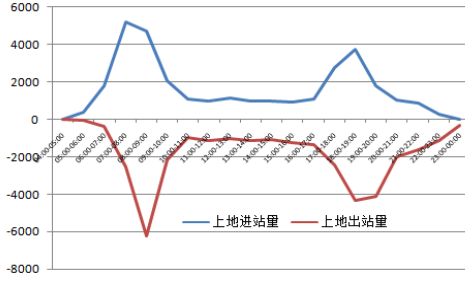


图 7 上地分时变化趋势

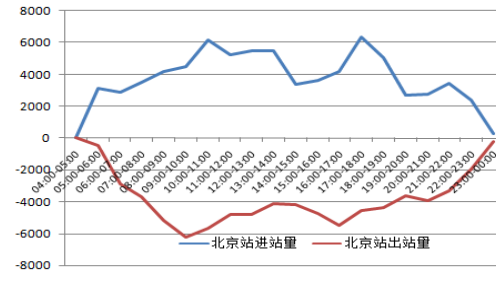


图 8 北京站分时变化趋势

因此，本文选取全天进站量、出站量作为车站规模划分的特征变量，早高峰占全天的进站比例、早高峰占全天的出站比例、晚高峰进站比例、晚高峰出站比例作为车站性质划分的特征变量^[5]，采用模糊 C 均值聚类 (Fussy C -Means, 简称 FCM)，构建模糊相似矩阵，对车站性质和规模进行划分。其目标函数 J 常取如下形式：

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^C (u_{ik})^m \cdot (d_{ik})^2$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^N u_{ik} > 0 \\ \sum_{k=1}^N u_{ik} = 1, i = 1, 2, \dots, C; k = 1, 2, \dots, N \\ 0 \leq u_{ik} \leq 1 \end{cases}$$

公式 1

式中， $(d_{ik})^2$:Euclidean 距离； m :模糊指数， $m \in (1, \infty)$ ，模糊指数越大，聚类的模糊程度越大。

2. 车站可达性

车站可达性 A_i 主要反映城市轨道交通路网中某一车站在路网中的地位，其本质是描述车站与其他车站联系的便捷程度，可以由车站间的 OD 效用函数 V_{ij} 计算得到（如公式 2）。OD 效用函数 V_{ij} 是乘车时间 T_{ij}^{trc} 、换乘时间 T_{ij}^{tran} 、换乘次数 N_{ij}^{tran} 、性质哑元 XZ_{ij} 、规模哑元 GM_{ij} 、车站吸引量 D_j 、线路市/郊属性 $Flag_{ij}$ 的线性函数，采用多项 Logit 模型进行标定和计算^[7]（如公式 3）。

$$A_i = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\sum_{k=1}^n \exp(\lambda V_{ik}) \right) \quad \text{公式 2}$$

其中， λ 取 1。

$$V_{ij} = \alpha_1 T_{ij}^{trc} / 3600 + \alpha_2 T_{ij}^{tran} / 3600 + \alpha_3 N_{ij}^{tran} + \alpha_4 D_j / 10^4 + \alpha_5 XZ_{ij} + \alpha_6 GM_{ij} + \alpha_7 Flag_{ij} \quad \text{公式 3}$$

车站可达性 A_i 主要反映城市轨道交通路网中某一车站在路网中的地位，其本质是描述车站与其他车站联系的便捷程度，可以由车站间的 OD 效用函数 V_{ij} 计算得到（如公式 2）。OD 效用函数是乘车时间、换乘时间、换乘次数、性质哑元、规模哑元、车站吸引量、线路市/郊属性的线性函数，采用多项 Logit 模型进行标定和计算^[7]（如公式 3）。

3. 新线吸引能力

新线吸引能力即新线各站出站量之和，与新线周边土地利用性质和开发强度密切相关，预测流程如下：首先，将路网全部车站进行性质、规模分类，建立既有站性质-规模-客流匹配数据库；其次，根据新线周边土地利用情况初步判断新线车站性质和规模；最后，匹配既有站历史数据库，预测新线进出站量。

三、既有站进出站量预测模型

城市轨道交通新线接入后，既有站客流由趋势客流、诱增客流与分流客流共同组成：当本阶段路网结构不变时，由于车站周边常住人口增长及轨道交通吸引能力逐步提升，促使车站客流产生自然增长，这部分客流称为趋势客流；本阶段新线接入后，缩短了区域间时空距离，改善了基础设施环境，提高了区域的可达性，诱发产生新的交通需求，这部分客流称为诱增客流；本阶段接入的新线缩小了部分既有站的吸引范围，分担了既有站的客流，这部分客流为分流客流。

因此，城市轨道交通新线接入后，既有站客流的组成关系如下：

$$J = Q + Y - F \quad \text{公式 4}$$

其中, J 表示新线接入后既有站客流; Q 为假设路网结构不变条件下的趋势客流; Y 表示新线接入所引发的诱增客流; F 表示既有站被新线分流的客流。

(一) 基于时间序列法的趋势客流预测模型

根据城市轨道交通客流发展规律(培育期-成长期-稳定期), 可将既有车站分为相对稳定型和快速增长型。2015 年路网结构不变期间北京城市轨道交通部分车站修匀后的全天进站量趋势如图 9 所示。

相对稳定型车站的趋势客流主要是由常住人口增长带来的自然增长, 可将常住人口增长率作为趋势客流自然增长率, 并考虑季节因子(一周七天对应的乘数), 计算相对稳定型车站的趋势客流。

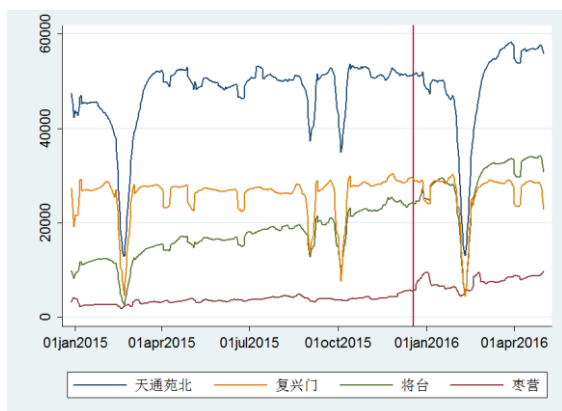


图 9 车站进站量趋势

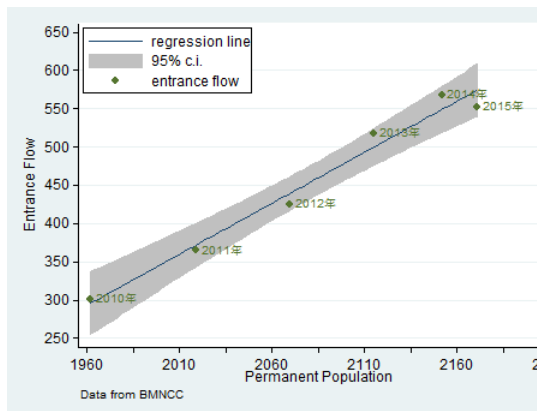


图 10 路网进站量与常住人口关系

注: 垂直红线处为新线接入时间

快速增长型车站主要是前一阶段接入的新线车站, 在本阶段客流仍处于快速增长期。考虑到季节效应、长期趋势效应和随机波动之间的复杂影响关系, 建立乘积季节 ARIMA 模型(如公式 5)对此类车站的趋势客流进行拟合预测。

为消除节假日、调休加班的影响, 将节假日、调休加班作为虚拟变量加入拟合模型中。乘积季节 ARIMA 模型公式及分析预测过程^[8]如下:

$$ARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$$

$$\nabla^d \nabla_s^D x_t = \frac{\Theta(B)\Theta_s(B)}{\Phi(B)\Phi_s(B)} \varepsilon_t \quad \text{公式 5}$$

式中,

$$\begin{aligned} \Theta(B) &= 1 - \theta_1 B - \cdots - \theta_q B^q \\ \Phi(B) &= 1 - \phi_1 B - \cdots - \phi_p B^p \\ \Theta_s(B) &= 1 - \theta_1 B^S - \cdots - \theta_Q B^{QS} \\ \Phi_s(B) &= 1 - \phi_1 B^S - \cdots - \phi_P B^{PS} \end{aligned}$$

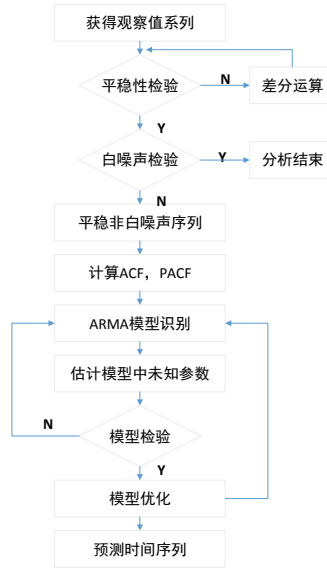


图 11 乘积季节模型分析预测过程

(二) 基于多元回归的诱增客流联合预测模型

新线接入后诱增客流与趋势客流同时产生、同时存在^[9]，且影响机理复杂，二者难以剥离，因此在此预测诱增客流时，需要在趋势客流预测的基础上，建立联合预测模型。引入前文分析的各类影响因素，构建基于多元回归分析的诱增客流-趋势客流联合预测模型，多元回归方程如下：

$$\begin{aligned} L = & \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 \\ & + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{11} x_{11} + \cdots + \beta_n x_n \end{aligned} \quad \text{公式 6}$$

式中， L 表示趋势客流与诱增客流联合预测值； $x_1 - x_n$ 分别表示趋势客流预测值、车站规模哑变量（每种规模增加一个0-1哑元）、车站性质哑变量（每种性质增加一个0-1哑元）、车站可达性变化哑变量、新线吸引能力、票价变化哑变量（可设票价增长哑元、票价降低哑元）、常住人口

变化哑变量（可设人口增长哑元、人口降低哑元）、换乘属性哑变量。 $\beta_0 - \beta_n$ 为模型参数，采用最小二乘法进行估计。

（三） 基于车站吸引范围研究的分流客流预测模型

新线接入后，部分既有车站可能会产生不同程度的分流，其分流本质是既有站客流吸引范围缩小。根据新线接入后，车站类型（如公共中心区、成熟居住区、城市外围区）是否变化，提出两种分流客流预测模型。

1) 车站类型变化

当新线接入使车站类型（如公共中心区、成熟居住区、城市外围区）发生变化时，可根据吸引半径比例关系，结合新线接入区域实际情况，大致确定分流客流量 F ，计算公式如下：

$$\begin{aligned} S_1 &= \pi R_1^2 \\ S_2 &= \pi R_2^2 \\ F &= Q_1 \cdot (1 - \frac{R_2^2}{R_1^2}) \end{aligned} \tag{公式 7}$$

式中， R_1 为新线接入前车站吸引半径， S_1 为相应吸引范围； R_2 为新线接入后车站吸引半径， S_2 为相应吸引范围； Q_1 为新线接入前车站客流量， F 为新线接入后分流客流量。

王佳^[10] [11] 利用聚集效应理论建立了客流吸引范围模型，并提供了客流吸引范围参考值，如表 1 所示：

表 1 城市轨道交通车站客流吸引范围表

车站类型	客流吸引半径 (km)	客流吸引带 (km ²)
轨道相交车站	7.82	190.62
公共中心区车站	6.00	111.62
成熟居住区车站	6.62	136.15
城市外围区车站	11.92	444.87

2) 车站类型不变

考虑到乘客出行特征，若新线车站 B 与既有车站 A 相距 l 米，则新线接入后距既有车站 $l/2$ 米以外的乘客可能被新线车站吸引，但是否被吸引，还需考虑乘客出行目的地：若从该新线车站 B 出发到达目的地的等效时间比从既有车站 A 出发慢 k 分钟以上（阈值由 RP 调查和 SP 调查确

定)，则不被吸引。分流客流 F 计算公式如下：

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{m=1}^{n-1} F_m \\
 F_m &= \begin{cases} P_m \cdot y_l & T_m > 10 \text{ min} \\ 0 & T_m \leq 10 \text{ min} \end{cases} \\
 T_m &= T_m^B - T_m^A \\
 y_l &= ae^{bl}
 \end{aligned} \tag{公式 8}$$

式中：

m 代表目的地车站， n 代表既有路网车站总数， F_m 代表目的地为 m 的分流客流量， P_m 为新线接入之前既有车站 A 到达目的地车站 m 的客流量；

T_m^A 、 T_m^B 分别表示从既有车站 A 出发与从新线车站 B 出发到达目的地车站 m 的等效时间， T_m 表示二者之差。换算等效时间时先利用乘车时间、换乘次数和换乘时间构造 MNL 效用函数，确定三者关系，再将换乘次数与时间等效换算为乘车时间；

l 表示步行距离， y_l 表示大于距离 l 的乘客累积概率分布，随着与城市轨道交通车站距离的增加而减小（如图 12）。

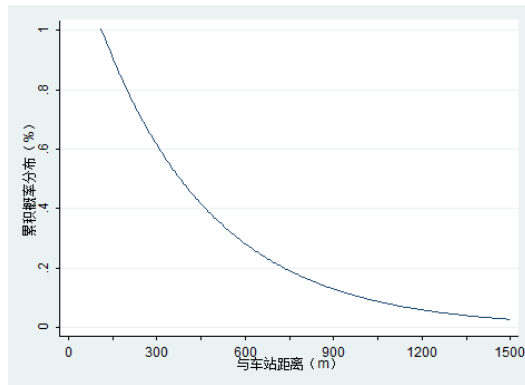


图 12 随距离变化的乘客选择概率图示

四、北京城市轨道交通实例分析

本文以北京历年（2012 年-2015 年）新线接入前后的客流数据对模型进行参数标定，假定于

2015 年 10 月预测昌平线二期、14 号线中段接入后（12 月底接入）既有站全天的进站量，并与实际客流对比，验证模型适用性。

（一）趋势客流预测

相对稳定型车站（如天通苑、复兴门等）通过常住人口自然增长系数得到趋势客流预测值。快速增长型车站采用 $ARIMA$ 模型进行趋势客流预测^[12]：前一阶段新接入车站（14 号线东段等）有明显增长趋势，以 2015 年 3 月至 9 月将台站全天进站量为例进行模型拟合，经过反复试验，证明加入假期、加班虚拟变量的乘积季节 $ARIMA(0,1,2) \times (0,1,1)_7$ 模型拟合效果最好，图 14 为实际值与拟合值效果图。

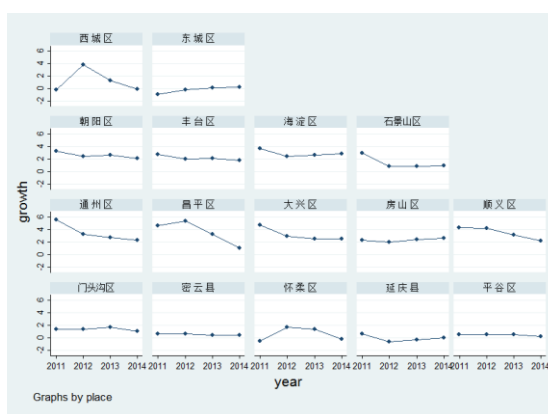


图 13 北京市历年常住人口增长

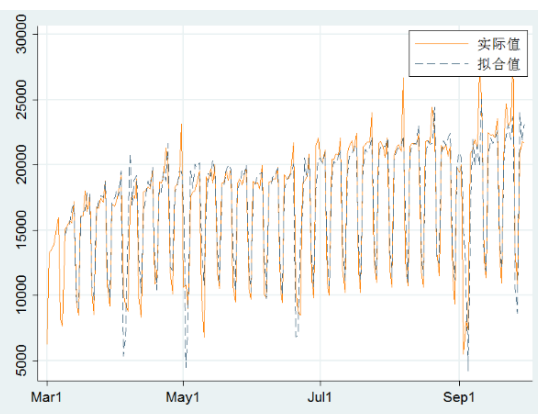


图 14 实际值与拟合值对比图

（二）诱增客流联合预测

根据历年新线接入前后实际数据及各影响因子对趋势-诱增客流联合预测模型进行标定和检验，并按照车站可达性变化大小进行分类，建立了两个逐步回归模型：

当车站的可达性变化不大时，趋势客流 Q 、办公类性质 x_{work} 、对外枢纽性质 x_{trans} 、休闲娱乐性质 x_{amu} 、常住人口变化 x_{pop} 对新线接入后进站量均有正影响，票价增长 x_{price} 有负影响。调整决定系数为 0.97，以上指标 T 值绝对值大于 2，回归方程与系数均通过显著性检验，趋势客流与诱增客流联合预测（单位：万人次）标定结果如下：

$$L = 0.042 + 1.017Q/10000 + 0.125x_{work} + 0.766x_{trans} + 0.293x_{amu} + 0.098x_{pop} - 0.140x_{price}$$

当车站的可达性变化较大时，趋势客流 Q 、新线吸引能力 D 、对外枢纽性质 x_{trans} 均有正影响。

调整决定系数为 0.98，以上指标 T 值绝对值大于 2，其回归方程与系数均通过显著性检验，趋势客流与诱增客流联合预测（单位：万人次）标定结果如下：

$$L = 0.117 + 1.004Q / 10000 + 0.329D / 10000 + 1.172x_{trans}$$

（三） 分流客流预测

以潘家园为例，计算分流客流。潘家园与北工大西门相距 1400m，则 700 米以外的乘客累积分布概率为 20%，因此客流吸引比例 y 为 0.2。

通过路网清分数据计算以潘家园和北工大西门为 O ，其他既有站为 D 的最短路径所耗费的乘车时间、换乘时间、换乘次数，并根据 RP 和 SP 调查结果进行等效换算（换乘 1 分钟的等效乘车时间为 3 分钟，换乘 1 次的等效乘车时间为 13 分钟）。

等效时间差阈值设为 600s 时，部分过程如表 2，潘家园分流客流量为 1207 人，其最终预测值（见表 3）为 33373 人，预测误差率为 0.5%。

表 2 分流计算表（部分）

到达车站	OD 量 (人)	等效时间 1 (s)	等效时间 2 (s)	差值 (s)	分流数 (人)
国贸	1443	399	1009	610	0
金台夕照	1197	524	1529	1005	0
十里河	418	124	248	124	83
大望路	367	1717	395	-1322	0

表 3 潘家园最终预测值及误差

实际值	联合预测值	分流客流量	最终预测值	误差率
33194	34580	-1207	33373	0.5%

（四） 误差分析

对 2015 年新线接入后路网全部车站的趋势-诱增联合客流 L 、分流客流 F 进行预测，最终预测结果 J 与实际值对应关系如图 15，大部分车站进站量预测误差小于 3%，模型整体误差率为 4.13%。

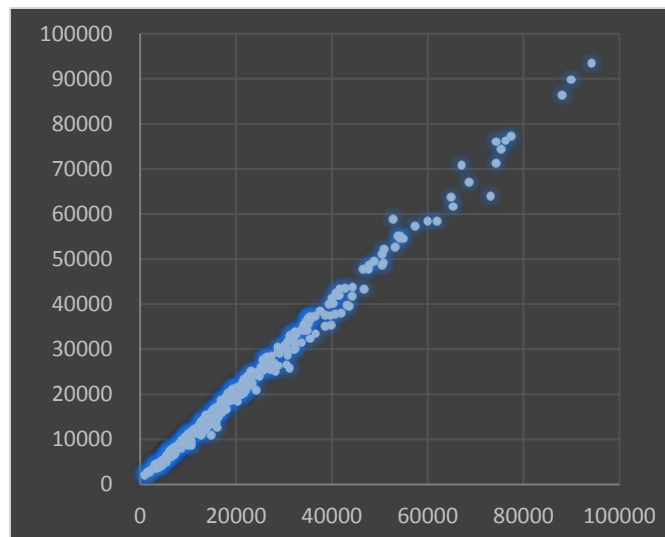


图 15 实际值与模型预测值对比

五、 结论及展望

本文从客流生成机理出发,综合考虑各类影响因子,建立了包括趋势客流、诱增客流和分流客流的新线接入后既有站进出站量预测模型。在影响因素研究中,采用大数据可视化技术对北京市 2012 年至 2015 年新线接入进行分析,提取关键影响因子,对难以直观表述的影响因子进行合理抽象和数据建模。在预测模型构建中,结合客流发展规律、客流生成机理、乘客出行特征,同时考虑趋势增长和新线接入影响,针对不同类型的车站建立相应模型,在保证预测精度的基础上,尽可能提高预测模型的可用性。最后,以 2015 年北京轨道交通新线接入为例,对模型进行了验证,预测效果良好,模型具有较高的理论和实际价值。

城市轨道交通客流预测工作需要充分考虑轨道交通网络与城市发展的动态匹配关系,借助大数据方法,创新并建立适合于轨道交通网络的客流预测方法体系,支撑精准化、精细化的规划与运营管理。

参考文献

- [1] 王丽. 城市土地开发交通生成预测方法的探讨. 北京:北京工业大学学报. 2004. 30(1):97-100
- [2] M VRTIC, P FROHLICH, N SCHUSSLER. Two-dimensionally Constrained Disaggregate Trip Generation, Distribution and Mode Choice Model: Theory and Application for a Swiss

National Model[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2007, 41(9): 857-873.

- [3] 蔡昌俊, 姚恩建. 基于乘积 ARIMA 模型的城市轨道交通进出站客流量预测[J]. 北京交通大学学报, 2014, 38(2): 135-140.
- [4] 姚恩建, 程欣. 基于可达性的城轨既有站进出站客流预测[J]. 铁道学报, 2016, 38(1): 1-7.
- [5] 杨励雅. 城市交通与土地利用相互关系的基础理论与方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007
- [6] 光志瑞. 基于土地利用和可达性的进出站客流量预测[D]. 北京: 北京交通大学, 2013
- [7] 王大蕾. 成网条件下城市轨道交通 OD 分布预测模型研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013
- [8] 王燕. 应用时间序列分析[M]. 北京. 中国人民大学出版社, 2015. 1
- [9] 邹飞. 城市轨道交通诱增客流理论研究[J]. 城市交通, 2008, 30(8): 58-61.
- [10] 李向楠. 城市轨道交通车站吸引范围研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013
- [11] 王佳. 城市轨道交通车站对常规公交客流的吸引范围[J]. 系统工程, 2010, 28(1): 14-18.
- [12] Lawrence C. Hamilton, Statistics with STATA[M]. 重庆. 重庆大学出版社, 2014. 6

作者简介 光志瑞, 北京市轨道交通指挥中心, 18612483816, zhiruiguang@163.com

基金项目 国家科技支撑计划 (2011BAG01B01)