

大型活动期间地铁车站客流预测方法研究

梁强升

(广州地铁集团有限公司, 510330, 广州//高级工程师)

摘要 以中国进出口商品交易会(广交会)为研究对象,对大型活动期间地铁车站客流组成及其分布特征进行了分析,并基于历史客流数据提出广交会期间车站客流量的提取方法。基于灰色预测理论构建了广交会期间地铁车站客流量预测模型,依托2018年秋季广交会期间地铁车站客流数据对该模型进行了验证。结果表明,所提方法可高精度预测广交会期间的地铁车站客流量。

关键词 地铁车站;客流预测方法;大型活动

中图分类号 U293.13;U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.10.040

Study on Metro Station Passenger Flow Forecast during Big Events

LIANG Qiangsheng

Abstract Taking China Import and Export Fair (CICF) as the study object, the event-related passenger flow composition and distribution characteristics are analyzed. Then, based on historical passenger flow data, the extraction method of station passenger flow during CICF is proposed. On this basis, a metro station passenger flow forecast model during CICF is estimated by using the grey prediction theory, and the model is verified according the metro station passenger flow data of the autumn CICF in 2018. The results show that the proposed method can effectively predict the metro station passenger flow during CICF.

Key words metro station; passenger flow forecast; big event

Author's address Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510330, Guangzhou, China

大型活动举办期间,地铁客流急剧增长,客流的非线性及非平稳特征尤为显著,给运营管理工作带来较大挑战。为支撑地铁运营管理部门合理安排行车和客运组织工作,保障大型活动顺利举办,准确预测大型活动期间的地铁车站客流十分必要。

现有研究缺少针对大型活动期间地铁历史客流数据规律的深度挖掘与解析,大多结合活动调查

数据,基于趋势外推法、类比分析法等统计方法构建统计模型,且模型适用性有限;多数方法仅对大型活动期间的总体客流进行了分析,却忽视了不同客流成分之间的区别,预测精度难以满足要求;此外,虽有方法尝试对大型活动期间的客流成分进行分析并预测,但该类方法需要详细的土地利用、活动场馆容量及上座率等数据,其实用性和时效性等难以满足地铁运营管理需求^[1-6]。

本文以中国进出口商品交易会(又称“广交会”)为例,依托地铁历史进出站客流、OD(起讫点)客流等AFC(自动售检票)数据,分析大型活动期间地铁车站客流构成;结合背景客流与活动客流各自的特征,基于灰色预测理论构建了广交会期间地铁车站客流预测模型;分别提出进出站客流量与OD客流量的预测方法,实现对广交会期间广州地铁线网客流量的预测,并通过实际客流数据对预测方法的有效性进行了验证。

1 广交会期间地铁车站客流量分析

广交会是我国承办规模最大的综合性国际贸易盛会,每年分春、秋两季在广州举行。每届广交会持续21 d,由3个持续5 d的展期和2个持续3 d的换展期构成。自2004年4月(第94届)起,广交会启用位于广州地铁8号线(以下简为“8号线”)琶洲站—新港东站区间的琶洲展馆,其中,1号展馆邻近新港东站,2、3号展馆邻近琶洲站。

本文将广交会期间的地铁车站客流需求分解为背景客流需求与活动客流需求。其中,背景客流需求指展会期间的常规客流需求,非因广交会举办而产生,其分布规律与日常客流分布规律相同;而活动客流需求则指因广交会举办才产生的客流需求。考虑到广交会历史悠久、举办频率高、持续时间长、地点固定等特点,可认为在广交会期间,背景客流不会或极少受到展会活动影响,可将工作日以及周六、周日的客流视作广交会期间的背景客流,

在广交会期间将地铁车站总客流量减去背景客流量,进而获得由展会活动引起的活动客流量。

图1为2018年春季广交会期间邻近广交会展馆的琶洲站和新港东站等2个车站的总进站客流量、进站背景客流量和进站活动客流量的变化情况。总体上,3个展期活动客流量按时间呈下降趋势,换展期活动客流量大大低于展期活动客流量,由此可见,广交会期间活动客流量有明显规律,具有可预测性。另外,从第2个换展期最后一天较大的客流量来看,广交会的举办对进出站客流量影响亦存在不可知因素,具有一定的不确定性。

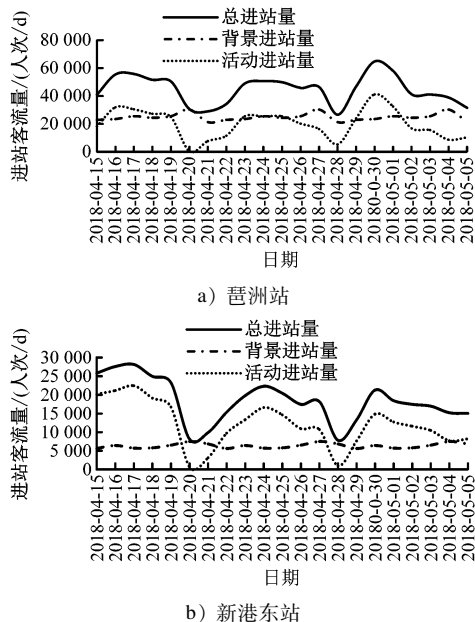


图1 2018年春季广交会期间8号线邻近琶洲展馆车站的进站客流量

Fig. 1 Passenger flow of Line 8 stations near Pazhou Exhibition Hall during 2018 Spring CICF

2 地铁车站客流量预测模型的建立

2.1 车站活动客流量预测

2.1.1 活动进出站客流量预测

灰色预测法是对既含有已知信息、又含有未知信息的灰色过程进行预测的一种方法。 $G_M(1,1)$ 预测模型是应用最广泛的灰色预测模型,具有样本需求少、计算简单等特点。琶洲站与新港东站紧邻广交会展馆,广交会举办期间这2个车站的进出站客流量与广交会有着较大联系,可认为因广交会活动而产生的客流均与这2个车站有关。活动进出站客流量采用 $G_M(1,1)$ 模型进行预测。

$G_M(1,1)$ 模型要求进出站活动客流量的原始序列级比 $\sigma(k) = x^{(0)}(k-1)/x^{(0)}(k)$ (其中, $k=2, 3, \dots, n$)应全部在可容覆盖区间 $[\exp(-\frac{2}{n+1}), \exp(\frac{2}{n+1})]$ 内,才能使用灰色预测模型进行预测。对于不在级比要求范围内的序列,可进行平移处理以满足要求。对 $x^{(0)}$ 取平移常数 c :

$$y^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) + c, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

图2展示了2011—2018年共8届春季广交会第2展期第4天琶洲站进站客流量序列平移前后的级比情况。由图2可见,平移前数据序列存在级比不在可容覆盖区间 $[0.80, 1.25]$ 内的情况;当 c 取5 000时,对原始数据序列平移后所有级比都处于可容覆盖区间内,满足 $G_M(1,1)$ 模型的建模要求。

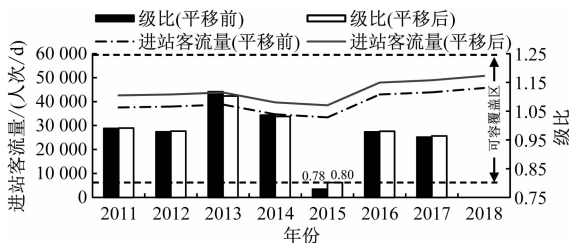


图2 琶洲站进站客流量序列平移前后级比对比

Fig. 2 Comparison of passenger flow sequence levels at Pazhou Station before and after translation

此外,每年春季广交会第3展期时间为5月1日—5月5日,与劳动节重叠,放假安排对春季广交会第3期前若干天的进站客流量具有较为明显的影响。为了消除劳动节对春季广交会期间进站活动客流量的影响,使其与秋季广交会第3期的进站活动客流量规律更为接近,取各期广交会期间部分未受影响日期的进站活动客流量平均值作为劳动节期间的进站活动客流量。将经过处理后满足级比要求的广交会期间琶洲站和新港东站进出站活动客流量数据序列代入 $G_M(1,1)$ 模型中进行拟合计算,平均拟合误差如图3所示。由图3可见,新港东站、琶洲站活动客流量拟合效果较好。该模型可用于预测未来广交会期间琶洲站和新港东站每天的进出站活动客流量。

2.1.2 OD活动客流量预测

根据2011—2017年地铁车站客流数据,发现广交会期间进站活动客流量与出站活动客流量的比

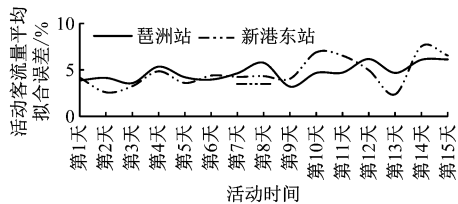


图3 2011—2018年春季广交会期间新港东站、琶洲站活动客流量平均拟合误差

Fig. 3 Average fitting errors of passenger flow at East Xingang Station and Pazhou Station during canton CICC

值较为稳定。在得出琶洲站、新港东站进站活动客流量预测值后,利用历年进站活动客流量与出站活动客流量的平均比值,预测出站活动客流量。

基于已得到的与新港东站和琶洲站相关的各OD对的历史OD活动客流量,计算广交会期间各OD对的活动客流量系数平均值。以O站为新港东站的这类OD对为例,其活动客流量系数平均值的具体计算方法为:

$$\varphi_{i,j,k} = \frac{X_{i,j,k}}{\sum_{k=1}^N X_{i,j,k}} \quad (2)$$

$$\bar{\varphi}_{j,k} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \varphi_{i,j,k} \quad (3)$$

式中:

$X_{i,j,k}$ ——第*i*次广交会第*j*天,以新港东站为O站、*k*站为D站的OD对的活动客流量, $i=1,2,\dots,M$; $j=1,2,\dots,15$; $k=1,2,\dots,N$;

$\varphi_{i,j,k}$ ——第*i*次广交会第*j*天,以新港东站为O站、*k*站为D站的OD对的活动客流量系数;

$\bar{\varphi}_{j,k}$ ——广交会期间第*j*天,以新港东站为O站、*k*站为D站的OD对的活动客流量系数平均值。

以琶洲站为O站,以新港东站、琶洲站为D站,其广交会期间各OD对的活动客流量系数平均值的计算方法与上述一致。采用预测得出的琶洲站、新港东站进出站活动客流量预测值与每天OD活动客流量系数平均值相乘,即可得出OD活动客流量预测值。针对其他车站的进出站活动客流量,可对新港东站、琶洲站与其他各车站间的活动客流量预测值累计而得到。理论而言,每天的进站活动客流量之和应与出站活动客流量之和相等,但预测值存在一定偏差,故利用广交会期间每天进出站活动客流量平均值对进出站客流量进行均衡处理,计算公式为:

$$X_{IC,in,j,n} = X_{in,j,n} \frac{\sum_{n=1}^N X_{in,j,n} + \sum_{n=1}^N X_{out,j,n}}{2 \sum_{n=1}^N X_{in,j,n}} \quad (4)$$

$$X_{IC,out,j,n} = X_{out,j,n} \frac{\sum_{n=1}^N X_{in,j,n} + \sum_{n=1}^N X_{out,j,n}}{2 \sum_{n=1}^N X_{out,j,n}} \quad (5)$$

式中:

$X_{IC,in,j,n}$ 、 $X_{IC,out,j,n}$ ——均衡修正后的第*n*车站第*j*天的进出站活动客流量平均值;

$X_{in,j,n}$ 、 $X_{out,j,n}$ ——预测得到的第*n*车站、第*j*天的进出站活动客流量平均值。

2.2 车站背景客流量预测

通过广交会期间OD客流量与OD活动客流量的差值得到OD背景客流量,并累计得到进出站背景客流量。由于6月份节假日和大型活动相对较少,客流量相对较为平稳,对比历年广交会期间各站进出站背景客流量与当年6月份平常日均进出站客流量,发现广交会期间的与平常日均进出站客流量呈一定比例关系,且该比例关系较为稳定,故可利用此关系预测未来广交会期间的进出站背景客流量。

将历年广交会期间各车站的进出站背景客流量与当年6月份平常日均进出站客流量进行比较,得出相应的比例系数,将此比例系数平均值与未来各年6月份平常日均进出站客流量相乘,得出未来各年广交会期间背景进出站进出站背景客流量预测值。新建车站则可以通过聚类,分析相同类别车站间的关系,从而对进出站背景客流量进行计算。

未来各年广交会期间OD背景客流量则采用简单的增长系数法进行预测。以2017年广交会期间实际OD客流量与OD活动客流量的差值,即OD背景客流量作为基年OD客流矩阵,结合已预测的2018年进出站背景客流量,利用增长系数法可预测得到2018年OD背景客流量。

3 地铁车站客流量预测模型精度验证

以2017年底广州地铁9号线一期接入广州地铁线网为例,根据本文所述方法预测2018年秋季广交会期间该线路OD客流量。将OD客流量的预测值与真实值进行对比,采用平均绝对误差值检验模型的精度,其表达式为:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |F_{OD,k,real} - F_{OD,k,pred}| \quad (6)$$

式中:

$F_{OD,k,real}$ 、 $F_{OD,k,pred}$ ——分别为以*k*站为D站的

OD 活动客流量的真实值和预测值;
 n ——活动 OD 对总数。

广交会前 10 d 9 号线 OD 客流量预测平均绝对误差值,如表 1 所示。由表 1 可见,既有的 OD 活动客流量预测绝对误差平均值约为 43 人次,新的 OD 活动客流量预测绝对误差平均值约为 15 人次,说明本文提出的方法对新建地铁线路接入条件下 OD 客流量的预测效果较为理想。

表 1 2018 年秋季广交会期间 OD 客流量预测平均绝对误差
Tab.1 Predicted mean absolute errors of event-related OD passenger flow during 2018 Autumn CICEF

单位:人次/d			
日期	既有的 OD 活动客流量预测绝对误差平均值	新的 OD 活动客流量预测绝对误差平均值	OD 客流量预测平均值
2018-10-15	50	18	171
2018-10-16	42	16	190
2018-10-17	41	15	184
2018-10-18	39	14	178
2018-10-19	38	16	171
2018-10-23	51	15	167
2018-10-24	39	14	174
2018-10-25	33	14	170
2018-10-26	48	12	160
2018-10-27	51	14	130
平均值	43	15	170

2018 年秋季广交会 OD 活动客流量的实测值与预测值如图 4 所示。由图 4 可见,大部分散点集中在 45°线附近,因此,对广交会期间 OD 活动客流量的预测较为精准,预测方法有效。

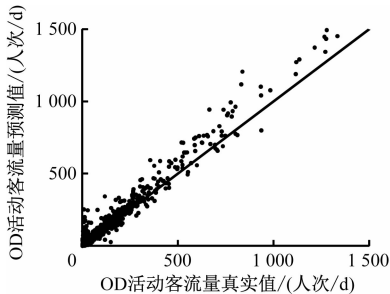


图 4 2018 年秋季广交会 OD 活动客流量实测值与预测值关系曲线
Fig.4 Relationship curve of actual and predictive values of event-related OD flow during 2018 Autumn CICEF

使用本文提出的预测方法对 2019 年春季广交

会期间 OD 客流量进行预测。经分析,OD 客流量实测平均值为 185 人次/d,仅比 OD 客流量预测平均值多 41 人次/d,说明预测较为精准。

4 结语

广交会展馆集中在琶洲站和新港东站附近,为此将客流预测分为与琶洲站、新港东站有关的活动客流量预测和背景客流量预测两部分。其中,背景客流量是通过分析大型活动期间的背景客流量与平日较为稳定客流量的比例系数,基于平日客流量进行预测;而活动客流量则是在分析琶洲站、新港东站等受广交会直接影响的进出站活动客流量特征的基础上,基于灰色模型构建进出站活动客流量的预测模型,通过分析进出站活动客流量与 OD 活动客流量的历史规律,并基于进出站活动客流量预测值计算得到。基于 2018 年秋季广交会客流数据对模型的精度进行了检验,结果表明,本文提出的广交会期间 OD 客流预测模型具有较高的精度,可满足对运输组织与客运服务决策支持的要求。

参考文献

[1] 孙剑,李克平,杨晓光. 2010 年上海世博会交通需求预测研究[J]. 交通与运输,2005(2):1.
SUN Jian, LI Keping, YANG Xiaoguang. Shanghai transportation demand forecast of the EXPO 2010[J]. Traffic & Transportation, 2005(2):1.
[2] 赵跃萍. 大型活动事件下的城市交通需求预测方法研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
ZHAO Yueping. The research of the traffic demand forecast methods of the large special events in city[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.
[3] 王祎南. 突发特大客流城市轨道交通运营组织研究[D]. 北京:北京交通大学,2008.
WANG Yi'nan. Study on operation organization of urban rail transit system under outburst mass passenger flow[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008.
[4] FRANTZESKAKIS J M, FRANTZESKAKIS M J. Athens 2004 Olympic Games: transportation planning, simulation and traffic management[J]. ITE Journal, 2006, 76(10):26.
[5] LI C Y, SUN S Y, GUO J F. Travel demand model for Beijing 2008 Olympic Games[J]. Journal of Transportation Engineering, 2010, 136(6):537.
[6] CURRIE G, DELBOSC A. Assessing travel demand management for the Summer Olympic Games[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2011, 2245(1):36.

(收稿日期:2020-08-13)