

新线接入条件下的城市轨道交通网络 起讫点客流量预测模型*

罗 钦¹ 蔡 洋¹ 徐明亮² 杨 良³

(1. 深圳技术大学广东省高校轨道交通智慧运维工程技术开发中心, 518118, 深圳; 2. 韶关高新技术产业开发区, 512027, 韶关; 3. 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 518057, 深圳/第一作者, 教授)

摘 要 新线接入将导致城市轨道交通网络连通性等特征发生一定的变化,影响相关线路的客流分布,进而需要对客运组织和行车组织做出调整。分析不同类型新线接入的影响,采用站点进出站客流量数据来表征土地利用变化,通过站点分类与匹配,构建站点进出站客流量预测模型;在此基础上,对网络起讫点矩阵进行区域划分,结合每个区域客流的特点,分别构建相应的客流起讫点预测模型,并以深圳地铁 11 号线接入作为实际案例,来验证模型和方法的有效性和适用性。验证结果表明,新线接入后的客流分布预测以及客流影响评估,有助于运营管理部门分析掌握新线接入后的实际客流变化情况,以制定与优化相关线路的运输组织方案。

关键词 城市轨道交通;新线接入;进出站客流量预测;客流分布预测

中图分类号 U293.1⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.08.008

Urban Rail Transit Network Passenger OD Flow Prediction Model with New Line Access

LUO Qin, CAI Yang, XU Mingliang, YANG Liang

Abstract New line access will change the features of rail transit network such as connectivity, impacting passenger flow distribution of associated lines, which calls for adjustment in metro organization and management. The impact of different types of new line accessing is analyzed, and the inbound and outbound passenger flow is drawn on to represent land use change. Prediction model of inbound and outbound passenger flow is constructed through station classification and matching. On this basis, the network OD matrix is divided into regions according to the characteristics of passenger flow in each region. The corresponding passenger OD flow prediction model is constructed respectively. The access of Shenzhen Metro Line 11 is taken as practical case to show the efficacy and applicability of the model and method. Result shows that the passenger flow distribution prediction and passenger flow impact assessment after new line is accessed can help operation and management department to analyze and grasp the actual passenger flow changing situation after new line access, so that metro transportation organization scheme can be devised and optimized.

Key words urban rail transit; new line access; inbound and outbound passenger flow prediction; passenger OD flow prediction

First-author's address Guangdong Rail Transit Intelligent Operation and Maintenance Technology Development Center, Shenzhen Technology University, 518118, Shenzhen, China

在城市轨道交通网络中,总有新建线路或者延长线投入运营。新建线路的接入将改变网络拓扑结构及可达性,进而引起网络客流特征的改变^[1]。在此情况下,准确地进行客流预测对于新线的规划建设及网络运输方案的制定都具有重要作用。

传统的客流预测方法主要包括增长系数法^[2-3]、重力模型法^[4-5]、神经网络法^[6-7]、非集计模型法^[8-9]等。这些方法虽各具优势,但是随着新建线路的不断接入,在网络拓扑结构发生较大变化时,其客流预测效果将受到较大影响。本文采用进、出站客流总量的变化来表征新线接入后站点土地利用性质的变化,通过车站类别的划分匹配及车站评估指数的计算,构建车站进出站客流量预测模型;在此基础上,将新线接入条件下的网络起讫点(以下称为“OD”)矩阵划分为 4 个区域,并结合每个区域的客流特征,研究基于进出站客流量与吸引系数的 OD 客流量预测模型。

1 进出站客流量预测模型

在新线接入条件下,准确计算进出站客流量是

* 国家自然科学基金项目(20BGL301)

后续进行客流 OD 计算的基础。通过车站聚类分析,将既有线与新线的车站进行类别划分与相似匹配。结合相应的评估指数,构建新线车站进出站客流量的预测模型。

1.1 站点聚类分析

结合车站客流特点可知,车站附近土地利用情况的变化将对车站进出站客流量产生相应的影响。可见,进出站客流量的变化可在一定程度上表征站点附近土地利用性质的变化过程。基于上述分析,本文使用 K-Means 聚类算法^[10]对深圳地铁 1 号线、2 号线、3 号线、4 号线及 5 号线站点的进出站客流量进行聚类计算。结合实际客流数据可知,车站进出站客流量一般分时段统计,统计的时间 t 粒度为 1 h,统计时间区间为 6:00 至 24:00。由此,可设轨道交通车站数为 U 个,车站可表示为 $S_x, x=1, 2, \dots, U$ 。设车站 S_x 一日内的分时进站客流量为 $J_{x,1}, J_{x,2}, \dots, J_{x,t}$,其中 $x=1, 2, \dots, U$,一日内的分时出站客流量为 $C_{x,1}, C_{x,2}, \dots, C_{x,t}$,则车站 S_x 的进出站客流量可表示为: $\vec{S}_x = (J_{x,1}, J_{x,2}, \dots, J_{x,t}; C_{x,1}, C_{x,2}, \dots, C_{x,t})$,同时设聚类中心数为 K 个,车站聚类为 G_y ,则 y 类车站的进出站客流量可表示为: $\vec{G}_y = (J_{y,1}, J_{y,2}, \dots, J_{y,t}; C_{y,1}, C_{y,2}, \dots, C_{y,t})$,其中 $y=1, 2, \dots, K$,计算过程如下:

步骤(1),计算样本数据与初始聚类中心的距离,并使得目标函数最小,即

$$\sum_{x=1}^U \min_{y \in \{1, 2, \dots, k\}} \left\{ \sum_{z=1}^t [(J_{x,z} - J_{y,z})^2 + (C_{x,z} - C_{y,z})^2] \right\}^{1/2} \quad (1)$$

步骤(2),设类别 y 所包括车站的集合为 $L_{y,i}$,计算各类别车站的聚类中心,为

$$\vec{G}_y = \frac{\sum_{S_t \in L_{y,i}} \vec{S}_t}{|L_{y,i}|} \quad (2)$$

重复步骤(1)和(2),当 \vec{G}_y 的变化小于阈值 σ 时,则聚类分析结束。

$$\left| \frac{\sum_{S_t \in L_{y,i}} \vec{S}_t}{|L_{y,i}|} - \vec{G}_y \right| < \sigma \quad (3)$$

将不同量级的客流数据进行标准化处理,假设 $K=5$,即表示将车站划分成 5 类:办公导向类、居住导向类、偏办公类、偏居住类及商业类。

1.2 新线站点进出站客流量预测

1.2.1 既有线站点评估指数的计算

为了对各类车站的特征属性进行合理分析,可

以设立表征站点附近办公用地情况的办公类指数 O ,表征站点附近的住宅与居民数量的居住类指数 R ,以及表征站点附近的商场数量的商业类指数 M ,相关指数可由各类型站点的进出站客流量进行计算。

$$O = (J_e + C_m)/2Q_{\max} \quad (4)$$

$$R = (J_m + C_e)/2Q_{\max} \quad (5)$$

$$M = (J_m + J_e + C_m + C_e)/Q_{\text{all}} \quad (6)$$

式中:

J_m, J_e ——分别为早晚高峰进站客流量;

C_m, C_e ——分别为早晚高峰出站客流量;

Q_{\max} ——对应类别的所有车站中早晚高峰进出站客流量的最大值;

Q_{all} ——对应类别的所有车站早晚高峰进出站量之和的最大值。

1.2.2 新线站点的类别匹配及评估指数计算

在计算获取既有线站点的评估指数后,对新线车站进行类别匹配以及评估指数计算。结合新线站点的工程可行性研究报告或者现场调查结果,采用评分制的方法,对站点附近的企业数量等影响因素进行合理评估。结合既有线站点聚类分析结果,匹配相似站点,通过对比相似站点的土地利用情况,修正获得新线站点的评估指数。

1.2.3 新线站点进出站客流量计算

对于不同类型的站点,客流特征不同,故进出站客流量计算方式也不同。对于商业型站点,其客流高峰时间长、客流波动较大,甚至有多个时段的客流量高于非高峰时段时客流量。因此,其进出站客流量计算应从整体进行考虑,即

$$Q_{\text{new}} = Q_{\text{old}} E_{\text{new}} / E_{\text{old}} \quad (7)$$

式中:

Q_{new} ——新线车站进出站客流量;

Q_{old} ——与新线车站相似的车站的进出站客流量;

E_{new} ——新线车站的评估指数;

E_{old} ——与新线车站相似的车站的评估指数。

对于办公导向类、居住导向类、偏办公类及偏居住类站点,由于其客流量在早晚高峰时段具有一定的峰值特征,因此需要分别对早晚高峰时段的客流量进行计算:

$$J_{1\text{new}} = J_{1\text{old}} E_{\text{new}} / E_{\text{old}} \quad (8)$$

$$C_{1\text{new}} = C_{1\text{old}} E_{\text{new}} / E_{\text{old}} \quad (9)$$

$$J_{2\text{new}} = J_{2\text{old}} E_{\text{new}} / E_{\text{old}} \quad (10)$$

$$C_{2\text{new}} = C_{2\text{old}} E_{\text{new}} / E_{\text{old}} \quad (11)$$

式中:

$J_{1\text{new}}、J_{2\text{new}}、C_{1\text{new}}、C_{2\text{new}}$ ——分别为新线站点早晚高峰进出站量;

$J_{1\text{old}}、J_{2\text{old}}、C_{1\text{old}}、C_{2\text{old}}$ ——分别为与新线站点相匹配的站点早晚高峰进出站量。

1.3 既有线站点进出站客流量预测

新线接入之后,线路周边的土地利用性质将发生改变,既有线的进出站客流量也会随之发生一定的自然变化。新线接入会带来许多新的站点。这将扩大既有线网的客流吸引范围,进一步刺激既有线站点附近居民的出行需求,即产生诱增客流。当新线路与既有线平行时,如新线站点与既有线网站点的距离足够近,则将增加乘客的路径选择范围,对既有线客流起到分流作用,导致既有线路客流量下降,即产生转移客流。基于上述分析,可以结合既有线的历史客流量数据,设立修正系数 β_{old} 来描述上述客流量变化:

$$Q_{\text{now}} = Q_{\text{past}} (1 + \beta_{\text{old}}) \quad (12)$$

式中:

$Q_{\text{now}}、Q_{\text{past}}$ ——分别为新线接入前后既有线站点进出站客流量。

2 网络客流量 OD 预测模型

当新线接入之后,新线自身的客流量 OD 分布同新线到既有线之间的客流量 OD 分布是不同的。为了准确预测站点间的客流量 OD,可将所有站点的 OD 矩阵按区域划分,并针对每个区域的客流特点分别计算 OD 客流量。OD 客流量为该区域既有线车站到既有线车站的 OD 客流量。假设既有线网的车站数为 h ,新线开通后线网车站数为 m ,则 OD 矩阵可分为 A、B、C、D 等 4 个区域:A 区为既有线车站到既有线车站、B 区为既有线车站到新线车站、C 区为新线车站到既有线车站、D 区为新线车站到新线车站,如表 1 所示。

2.1 A 区 OD 客流量的计算

A 区 OD 客流量受新线接入的影响较少,主要是新线接入使得线网连通性增强,乘客路径选择集将得到一定程度的扩充,进而影响 OD 客流量的分布变化。结合既有线站点详细的历史数据,可以使用平均增长系数法来预测该部分 OD 客流量。设起、讫点车站分别为 p 和 q ,且 $1 \leq p \leq h, 1 \leq q \leq h$,则有:

表 1 OD 矩阵表

OD	1	...	h	$h+1$...	m
1						
\vdots			A 区			B 区
h						
$h+1$						
\vdots			C 区			D 区
m						

$$f_O = O_{p,2} / O_{p,1} \quad (13)$$

$$f_D = D_{q,2} / D_{q,1} \quad (14)$$

$$t_{pq,2} = t_{pq,1} (f_O + f_D) / 2 \quad (15)$$

式中:

$O_{p,1}、O_{p,2}$ ——分别为现状与规划年车站 p 的发生量;

$D_{q,1}、D_{q,2}$ ——分别为现状与规划年车站 q 的吸引量;

$f_O、f_D$ ——分别为交通发生量和吸引量增长系数;

$t_{pq,1}、t_{pq,2}$ ——分别为现状与规划年从车站 p 到车站 q 的 OD 量。

2.2 D 区 OD 客流量的计算

在 D 区中, $h+1 \leq p \leq m, h+1 \leq q \leq m$ 。结合城市轨道交通的特性可知,当车站 p 的上车人数确定后,车站 q 对车站 p 的客流吸引量与站点间的 OD 分布量是相关的。定义 F_{pq} 为车站 $p、q$ 间同站点土地利用性质有关的吸引系数。结合既有研究成果^[11],有:

$$F_{pq} = \begin{cases} 10 \log_{J_p} C_q, J_p \neq 0.1, \text{且 } C_q \neq 0.1 \\ 0, p = q, \text{或 } J_p = 0.1, \text{或 } C_q = 0.1 \end{cases} \quad (16)$$

式中:

J_p ——车站 p 的进站客流量;

C_q ——车站 q 的出站客流量。

建立基于站点进出站客流及吸引系数的 OD 矩阵推算模型为:

$$T_{pq} = J_p \frac{C_q F_{pq}}{\sum_q C_q F_{pq}} \quad (17)$$

式中:

T_{pq} ——车站 p 到车站 q 的 OD 客流量。

由式(17)可知,车站 q 理论出站客流量 $C_{q,0} = \sum_{p=1}^m T_{pq} = \sum_{p=1}^m J_p \frac{C_q F_{pq}}{\sum_q C_q F_{pq}}$,其不等于实际出站客

流量 C_q 。因此,可以设立修正系数 $v_q = C_q/C'_q$ 与 $z_p = J_p/J'_p$ 对其进行迭代修正。当 v_q 和 z_p 的值接近于 1 时,停止迭代。此时算出的 OD 客流量即为新线站点间 OD 客流量。

2.3 B 区和 C 区的 OD 客流量计算

在城市轨道交通系统里,乘客在 2 条线路之间的转换一般需通过换乘。在推算 B 区和 C 区的 OD 客流量时,由于新线换乘车站与非换乘车站的站间 OD 客流量会分配到各个与换乘站有关联的既有线车站中,因此必须考虑乘客换乘对站间 OD 客流量造成的影响。以 B 区 OD 客流量的推算为例,设乘客由车站 p 出发,在车站 a 换乘,前往车站 q ,此时 $1 \leq p \leq h, h+1 \leq q \leq m$ 。假定乘客只经过一次换乘,则 B 区 OD 客流量的推算模型为:

$$T_{pq} = \mu_{aq} T_{aq} \frac{J_p F_{pq}}{\sum_{p=1}^h J_p F_{pq}} \tag{18}$$

式中:

T_{aq} ——换乘车站 a 到新线车站 q 的 OD 客流量;

μ_{aq} ——换乘比例系数。

在相同条件下,假设 B 区中 OD 客流量的推算方向为正方向,则由新线车站到既有线车站的 C 区 OD 客流量推算方向为反方向。C 区 OD 客流量的推算过程与 B 区 OD 客流量基本一致。

2.4 D 区 OD 客流量的修正

在计算 B 区和 C 区 OD 客流量时,新线换乘车站与新线非换乘车站的站间 OD 客流量会分配到各

个与换乘站有关联的既有线车站中。因此,有一部分从换乘站 a 到非换乘站 q 之间的 D 区站间 OD 客流量将分配到既有线之中。假设 D 区 OD 客流量的修正系数为 μ_{pq} ,分配到既有线上的换乘比例系数为 μ_{aq} ,则在新线上从换乘站 a 到非换乘站 q 之间的站间 OD 客流量仅为原来的 $\mu_{pq}, \mu_{pq} = 1 - \mu_{aq}$ 。除此之外,对于站点之间具有多个换乘站的情况,还需结合换乘站的数量进行多次折减。比例系数 μ_{qq} 的确定可根据同类型线路的既有历史数据拟合得到,也可根据线路特点及新线发展规律估计求得。

3 案例分析

结合深圳市近期开通的城市轨道交通新线,选取深圳地铁 11 号线(以下简称“11 号线”)接入作为新线客流量预测计算的具体案例。11 号线开通时间为 2016 年 6 月,共设有 18 座车站,并且同地铁 1 号线、2 号线、3 号线及 5 号线交叉衔接,具备一定的代表性。

基于既有线站点的聚类分析、新线站点匹配及站点评估指数的计算,可得 11 号线各站点的进出站客流量预测值。由于只研究 11 号线站点间的客流 OD,而福田站及车公庙站等换乘站点的进出站客流量还包含了其他线路的客流量,因此,在计算其进出站客流量时应结合历史客流数据按照换乘比例系数对其进行客流量折减。线路各站的进出站客流量预测值及其预测误差如表 2 所示。

表 2 深圳地铁 11 号线各车站进出站客流量预测值及误差

站点	预测客流量/人次		预测误差/%	
	进站	出站	进站	出站
福田站	15 311	15 477	14.36	10.98
车公庙站	18 751	18 227	19.50	11.42
红树湾南站	2 033	2 155	26.63	19.95
后海站	29 099	29 776	17.91	18.07
南山站	40 158	40 209	11.95	11.16
前海湾站	3 021	3 175	13.53	6.62
宝安站	14 185	14 073	4.32	11.03
碧海湾站	23 529	22 488	15.25	11.01
机场站	20 395	20 179	1.04	4.15

站点	预测客流量/人次		预测误差/%	
	进站	出站	进站	出站
机场北站	312	337	4.00	3.06
福永站	21 905	22 043	14.97	13.37
桥头站	16 965	17 018	13.58	12.60
塘尾站	10 125	9 875	14.78	12.28
马鞍山站	10 989	11 078	14.41	11.08
沙井站	21 139	21 483	6.07	7.66
后亭站	8 036	7 955	15.49	15.73
松岗站	14 510	15 023	7.46	11.70
碧头站	6 719	6 610	4.44	7.16

注:预测误差 = (预测值 - 实际值)/实际值 × 100%。

基于表 2 中的进出站客流量预测值,计算吸引系数 F_{ij} ,并结合不同站点的客流特征,设定换乘比

例系数,由此计算获得 11 号线的站点 OD 客流量数据。部分数据如表 3 所示。

表 3 11 号线各站点间 OD 客流量预测值(部分)

单位:人次

起点站	福田站	车公庙站	红树湾南站	前海站	...	沙井站	后亭站	松岗站	碧头站
福田站		1 048	116	1 147	...	511	145	348	149
车公庙站	1 087		115	1 420	...	633	223	431	117
红树湾南站	111	106		93	...	65	36	44	19
前海站	1 135	1 355	96		...	1 034	293	704	191
南山站	1 655	1 976	141	2 166	...	956	336	651	278
前海湾站	166	81	22	216	...	151	53	103	68
宝安站	518	618	28	1 321	...	920	259	626	137
碧海湾站	569	1 326	48	2 836	...	1 579	556	1 075	459
机场站	763	583	65	633	...	694	244	473	315
机场北站	7	8	1	14	...	19	7	13	6
福永站	529	631	44	1 080	...	1 467	645	998	427
桥头站	254	748	53	819	...	1 113	489	757	324
塘尾站	233	434	31	476	...	646	284	550	188
马鞍山站	254	303	34	519	...	563	310	479	205
沙井站	509	608	54	837	...		621	961	411
后亭站	184	219	24	302	...	509		347	148
松岗站	274	406	45	559	...	944	332		275
碧头站	153	116	20	198	...	424	119	288	

可以结合真实 OD 客流数据构造相对误差矩阵来分析预测数据的误差。表 3 中,机场北站与其所有站间 OD 客流量皆小于 20 人次,可知机场北站对整体网络客流的贡献较少。对于此类站间 OD 客流量数值非常小的个别车站,计算其相对误差意义不大。因此,本文剔除了 OD 客流量小于 20 人次的数据,计算得到反映 OD 客流预测模型实际效果的相对误差矩阵。经统计可知,除了少部分站点的站间 OD 客流量预测值误差较大之外,11 号线 78.9% 的车站间 OD 客流量预测值相对误差值小于 20%。分析少部分车站的站间 OD 客流量相对误差大于 20% 的情况发现:站点进出站客流量预测值与实际值之间存在一定的误差;而且新线接入既有网络后新线客流量会有一定的培育过程,由于客流量在逐步地变化,故选择不同年份的客流量数据做参照所得到的计算结果也不相同;然而,新线 OD 客流量分布的预测值与真实值整体处在同一数量级。

综合上述分析,本文计算的 OD 客流量预测结果基本符合实际情况,验证了新线接入后站间 OD 矩阵分布预测模型良好的准确性与适用性。

4 结语

本文以站点客流量数据作为表征土地利用性质变化的特性指标,通过站点聚类分析及站点匹配,构建了站点进出站客流量预测模型;在此基础上,对新线接入后的城市轨道交通网络 OD 矩阵进行区域划分;针对每个区域客流的不同特性,分别提出适应于各个 OD 矩阵区域的客流量预测模型,并结合深圳地铁 11 号线的实际案例验证模型的有效性。本文提出的客流量预测方法与传统客流量预测方法相比,简化了对站点附近土地利用性质变化的调查过程,一定程度上降低了人力和物力的消耗,其可操作性及准确性更高,而且该方法综合考虑了新建线路开通后新线与既有线之间的客流特性,更加符合新线接入后网络客流量变化后的实际情况。

参考文献

[1] ZHANG Y H, XU M L, LUO Q, et al. Impacts on passenger flow in condition of new line access in urban rail transit network [J]. International Journal of Advanced Engineering and Technology, 2019, 3(2): 63-67.

离开处,箱涵两侧 9.26 m 范围内和管沟两侧 12.9 m 范围内,地表差异沉降率增大。

2) 双排咬合旋喷桩可有效限制地层变形向管线方向发展。箱涵内钢套管提高了构筑物的整体刚度。在盾构掘进过程中,地基弹簧的逐步失效使箱涵承受了更大的剪力,钢套管作为箱涵内部的刚性支撑能有效增加其抗弯抗剪能力。

3) 地表变形突增时间节点 T_1 可作为沉降控制关键节点: T_1 之前,通过上半环径向预注浆降低地层损失; T_1 之后,及时跟进管片的拼装,通过注浆填充管片与盾壳之间空隙来降低盾尾脱出后的瞬时沉降。

参考文献

- [1] 方恩权. 基于 Peck 公式修正的盾构施工地表沉降预测研究[J]. 现代隧道技术,2015(1):143.
- [2] 张竹清. 地铁盾构隧道下穿高压 LNG(液化天然气)管线距离要求及沉降控制标准探讨[J]. 铁道标准设计,2016(5):531.
- [3] 刘恕全,关丽娟. 盾构超近距下穿大型污水管线施工技术[J]. 隧道建设,2011(6):722.
- [4] 魏纲. 盾构法隧道施工引起的土体变形预测[J]. 岩石力学与工程学报,2009(2):418.
- [5] 韦凯,雷震宇,周顺华. 盾构隧道下穿地下管线的变形控制因素分析[J]. 地下空间与工程学报,2008(2):325.
- [6] 周雪莲,王晓锋,魏林春,等. 超大直径盾构下穿高危管线施工数值模拟分析[J]. 铁道建筑,2014(2):47.
- [7] 万俊峰. 盾构在富水粉细砂层中长距离平行下穿有压敏感管线施工控制技术[J]. 隧道建设,2016(4):439.
- [8] 祝思然. 盾构近距离下穿既有地铁隧道沉降控制技术研究[J]. 隧道建设,2016(2):234.
- [9] 孔丹丹,赵颖华,王萍,等. 仿真计算中钢筋混凝土材料的等效模量[J]. 沈阳建筑工程学院学报(自然科学版),2003(3):165.
- [10] 鞠鑫. 双线地铁盾构施工引起的地表沉降分析及施工控制[J]. 铁道标准设计,2019(8):1.
- [11] 章磊,韩爱民. 隔离桩对隧道侧穿邻近建筑物的沉降影响分析[J]. 城市轨道交通研究,2017(1):87.
- [12] 徐冲. 砂卵石地层泥水平衡盾构隧道掘进参数控制[J]. 铁道建筑,2019(2):94.
- [13] 陈学军,邹宝平,邝光霖,等. 盾构隧道下穿深圳滨海大道沉降控制技术[J]. 隧道/地下工程,2010(3):92.
- [14] 魏纲. 盾构隧道施工引起的土体损失率取值及分布研究[J]. 岩土工程学报,2010(9):1354.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [17] 翟和明,李冬瑾. 盾构施工近距离下穿地铁线路沉降控制技术[J]. 铁道建筑,2013(5):90.
- [18] 钱新,黄雪梅. 盾构下穿建(构)筑物控制沉降注浆技术研究与应用[J]. 现代隧道技术,2010(16):85.
- [19] 张士强. 昆明地铁盾构下穿昆明火车站沉降控制施工参数研究[J]. 工程地质学报,2016(5):514.
- [20] 张碧文. 浅埋盾构下穿高速铁路基沉降分析及控制[J]. 现代隧道技术,2013(2):109.

(收稿日期:2019-08-25)

(上接第 40 页)

- [2] 周芳,汪婧. 基于综合路网分析的长沙地铁 6 号线客流预测[J]. 公路与汽运,2019(1):22.
- [3] 朱小军,王九州,苗赛松. 城市轨道交通客流预测四阶段法及其在 TransCAD 中的应用[J]. 现代城市轨道交通,2018(7):66.
- [4] 佟达,刘晓溪,安迪. 重力模型在客运专线客流预测中的应用[J]. 物流技术,2016(4):47.
- [5] 凌同华,陈京兆. 长沙市地铁 1 号线开通初期客流预测研究[J]. 公路与汽运,2019(2):26.
- [6] MA X L, TAO Z M, WANG Y H, et al. Long short-term memory neural network for traffic speed prediction using remote microwave sensor data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, 54: 187-197.
- [7] KUMAR K, PARIDA M, KATIYAR V K. Short term traffic flow prediction for a non urban highway using artificial neural network[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 104: 755-764.
- [8] 赵野,朱志国. Logit 模型的改进及其在客流预测中的应用——以铁岭市现代有轨电车为例[J]. 交通运输工程与信息学报,2016(4):93.
- [9] 王立晓,曹建青,左志,等. 考虑出行者异质性的新线城市轨道交通客流转移预测模型[J]. 城市轨道交通研究,2018(9):75.
- [10] 徐威,郑长江,马庚华,等. 基于 K-Means 聚类的城市轨道交通站点分类研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2018(6):106.
- [11] XU M L, LUO Q, MO Y H. Research on OD passenger flow forecasting method for urban rail transit network considering new line access type[C]// IEEE . The 4th International Conference on Intelligent Transportation Engineering. Singapore: IEEE, 2019: 121-125.

(收稿日期:2021-01-28)