城市轨道交通运营初期换乘站客流调查与预测分析*

顾天鸿

（大连科技学院，辽宁 大连 116052）

摘 要：文章对城市轨道交通运营初期的客流特征以及影响因素进行了分析，通过对换乘站的客流量以及客流成分进行调查，分析换乘站客流的基本规律和特征，在此基础上对换乘站的未来客流量进行了预测，根据预测结果对换乘站运能不足问题提出了改进的建议和措施。

关键词：城市轨道交通；客流特征分析；客流影响因素；客流调查与预测

中图分类号：U121 **文章编号**：1672-9846(2019)02-0089-06

DOI：10 .3969/j. issn. 1672-9846. 2019. 02. 017 **开放科学（资源服务）标识码（OSID）**：

换乘站是城市轨道交通的枢纽，换乘站的客流成分可间接反映出整个城市轨道交通的客流特点，对换乘站的客流特征进行调查，分析客流规律，有利于轨道交通运营企业在突发大客流时及时进行客流组织安排。对换乘站的短期客流量进行预测，根据预测结果，及时判别换乘站当前运能能否满足短期客运发展需求，制定并调整相应的客流组织计划和运输计划，采取具体措施提高出入口及通道等的通过能力，以适应未来客流发展，是城市轨道交通运营初期运营管理应考虑的重要问题。

1 城市轨道交通运营初期客流特征

1.1 客流成分特征

运营初期，轨道交通沿线往往处于经济发达的地区，是人口大量聚集的地方，因此城市轨道交通的基础客流量较为可观。城市轨道交通客流以学生流、工作流、购物流、旅游流为主[1]，这些客流成分在时间分布上存在一定规律，早高峰和晚高峰主要由学生流与工作流组成，早晚高峰之间主要由购物流和旅游流组成。针对不同的客流成分，城市轨道交通的运营策略也会有所差异，早晚高峰客流密度大，行车间隔时间短，其他时段客流较为稀疏，行车间隔稍长。

1.2 客流时空分布特征

1.2.1 时间分布特征

（1）一日内客流分布不均匀。主要受车辆运能、车站所在区域的性质、线路走向等因素影响，其中车站所在区域性质影响最为显著。如图1所示，住宅区或工作区，早晚各有一个进出站高峰期（单峰型）；既有工作区又有住宅区的区域，早晚有两个相对的进出站高峰期（双峰型）；有大量住宅区、写字楼、公用设施的区域，一天客流量均处于高峰，进出站客流都比较大（全峰型）；体育场、会展中心等不定期举行大型活动的区域，随着活动的开场和结束，进出站客流量有明显的突出（突峰型）[2]。

（2）一周内客流分布不均匀。人们工作作息规律以一个星期为周期循环，以吸引工作流为主要客流的站点，周一至周五客流量会明显增加，以吸引购物流为主要客流的站点，与周末相比客流量有明显减少。根据这一特点，城市轨道交通在运营初期要区分工作日和非工作日，实行不同的行车计划。

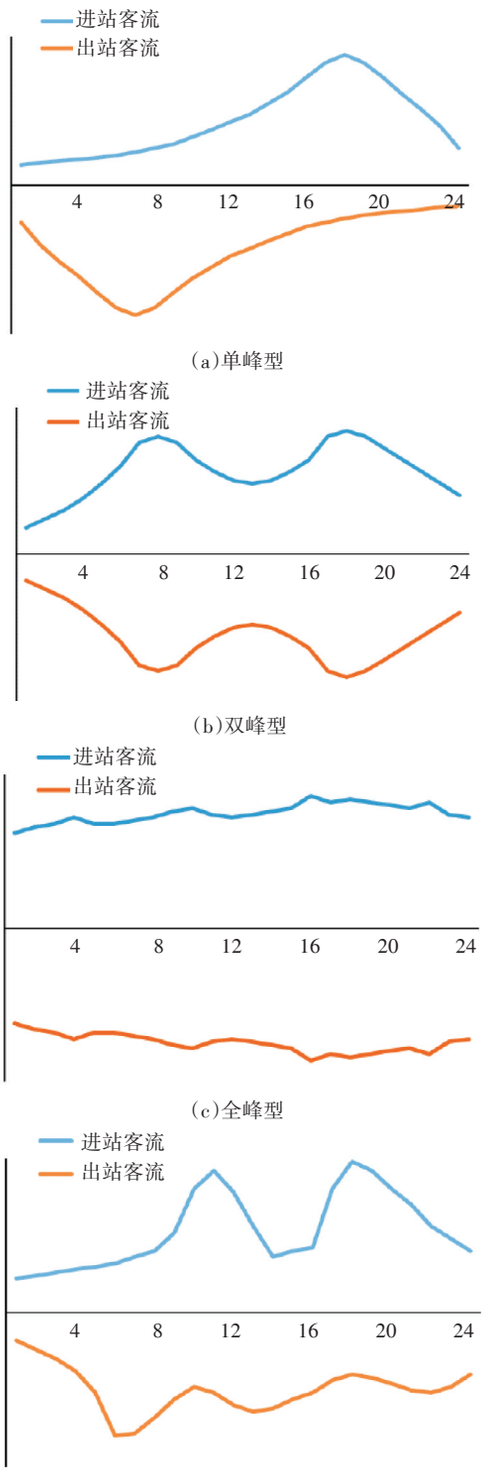
（3）全年短期性客流分布不均匀。主要由流

* **收稿日期**：2019-04-22

基金项目：辽宁省大学生创新创业训练项目“基于AHP法和模糊理论的城市公交系统便捷性的评价”（编号：201813207047）。

作者简介：顾天鸿（1979-），女，吉林四平人，大连科技学院交通运输学院副教授，主要从事交通运输研究。

动人口导致的,如春节期间,城市外来务工人员减少,该时期城市人口骤减,是全年客流量的低谷期;旅游时节,各地游客大量涌入,是城市轨道交通全年客流量的高峰时期。



(a)单峰型

(b)双峰型

(c)全峰型

(d)突峰型

图1　一日内客流分布

1.2.2　空间分布特征

城市轨道交通在运营初期客流的空间分布也存在着不均衡性。由于站点所在区域的性质不同,客流在该区域的规模和分布规律也不尽相同,工作区和住宅区的客流分布就存在差异,白天客流大都集中在工作区,而傍晚客流大都在住宅区,上下行客流往往也存在较大差异。造成客流空间分布不均的主要原因是沿线的土地开发和应用性质不同。

2　城市轨道交通客流影响因素

城市轨道交通客流的影响因素包括票价、便捷性、出行环境、服务水平、天气以及其他临时活动等,其对客流的影响见表1。

表1　城市轨道交通客流影响因素[3-4]

因素	对客流的影响
票价	票价对乘客选择出行方式的影响最为直接且影响程度较大。研究表明,中低收入人群在城市轨道交通乘客中占极大比重,这部分乘客对于票价比较敏感。
便捷性	主要考虑走行距离和换乘问题。走行距离是由线网规划决定的,站点设置、线路走向等对乘客走行距离的影响尤为突出,对乘客出行方式的选择起到重要作用,进而对客流造成不小的影响。换乘不仅花费金钱和时间,还存在一定程度的安全隐患,换乘效率高低、换乘走行距离长短以及换乘地点之间安全保障问题,都会影响城市轨道交通的客流量。
出行环境	地铁中的设备较为完善,电梯、空调、通风设备等设施能够延长人们对候车的耐性,从而使客流量增加。
服务水平	乘客是城市轨道交通的服务对象,提升运营服务水平,使行车间隔更加合理、旅行速度更加快捷、站内设施更加完善,必然会促使乘客继续乘坐城市轨道交通。
天气因素	天气的好坏会直接影响客流量,一般情况下,好天气会提高人们的出行欲望,增加客流量,反之便会降低客流量。
其他	节假日期间城市轨道交通客流量有明显的变化,劳动节、国庆节等客流量升高,春节期间客流量大幅度减少。大规模的社会活动会使客流量激增。

3　城市轨道交通换乘站客流调查与分析

尽管城市轨道交通的客流在理论上会存在上述特征,但由于轨道交通线路所处城市的社会经济发展水平不同、区域特征不同等,其在运营初期所表现出来的具体特征往往也不尽相同,轨道交通运营企业在对运营策略进行调整时难以有效地

把握客流的具体特征，因此有必要在运营初期对客流进行实际调查和详细的分析，包括客流量的调查与分析、客流成分的调查与分析。

3.1　客流量调查与分析

以大连地铁换乘站西安路站为例，对换乘人数、换乘方向、候车人数、离站人数进行调查，从而间接得出换乘站客流的流向、流量及密度。调查分为工作日客流和非工作日客流，包括天气情况和是否有大型活动等内容。根据调查数据绘制折线图，如图2、图3所示。

根据图2可知，早晚高峰单向平均每半小时候车人数在450人次左右，平峰时段单向平均每半小时候车人数在250人次左右，早晚高峰时段的客流量是平峰时段客流量的近两倍。换乘人数在早晚高峰时段也比平峰时段高出不少，换乘人数峰值达到1300余人次。西安路属于商业区，所以上午的离站人数较高，而下午偏低。

与图2相比，图3工作日与非工作日客流的波动规律相差不大，但是工作日的早晚高峰客流量要比非工作日的早晚高峰客流量稍多一些，其峰值可达到单向半小时客流量近800人次，平峰时段工作日与非工作日的客流量相差不是很大；工作日与非工作日换乘的人数总体来看相差不多，峰值也均出现在早晚高峰时段，但工作日换乘人数的峰值比非工作日高，其峰值达到了半小时换乘1500人次。

3.2　客流成分调查与分析

单纯调查客流数量和去向无法反映乘客的具体成分，运用问卷调查法，对乘客的年龄、职业、出发地点、到站地点、出行目的、气候对出行的影响等信息进行采集，通过这些信息对客流成分进行系统的分析，如图4至图10所示。

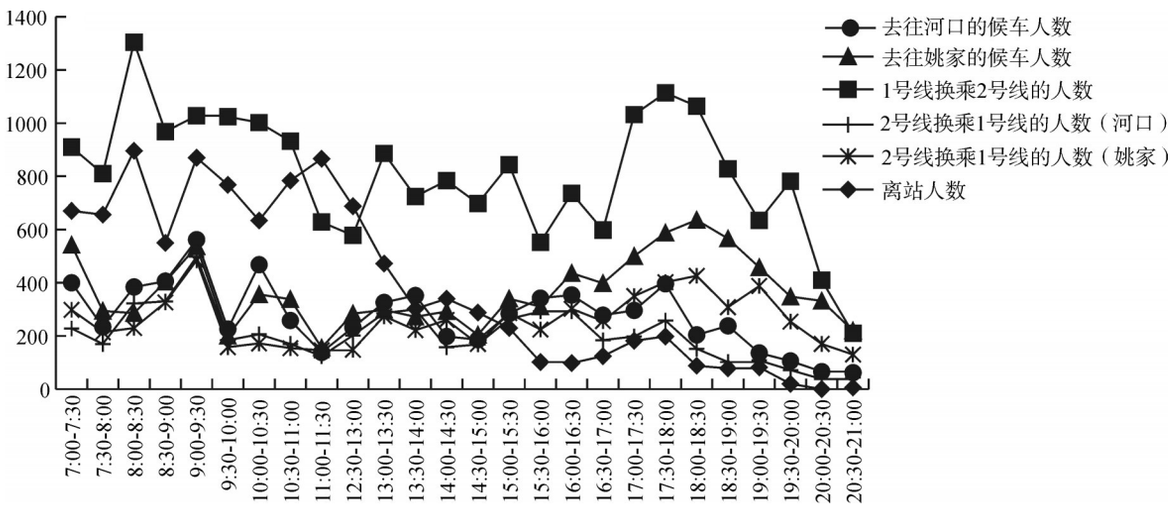


图2　非工作日西安路客流数据

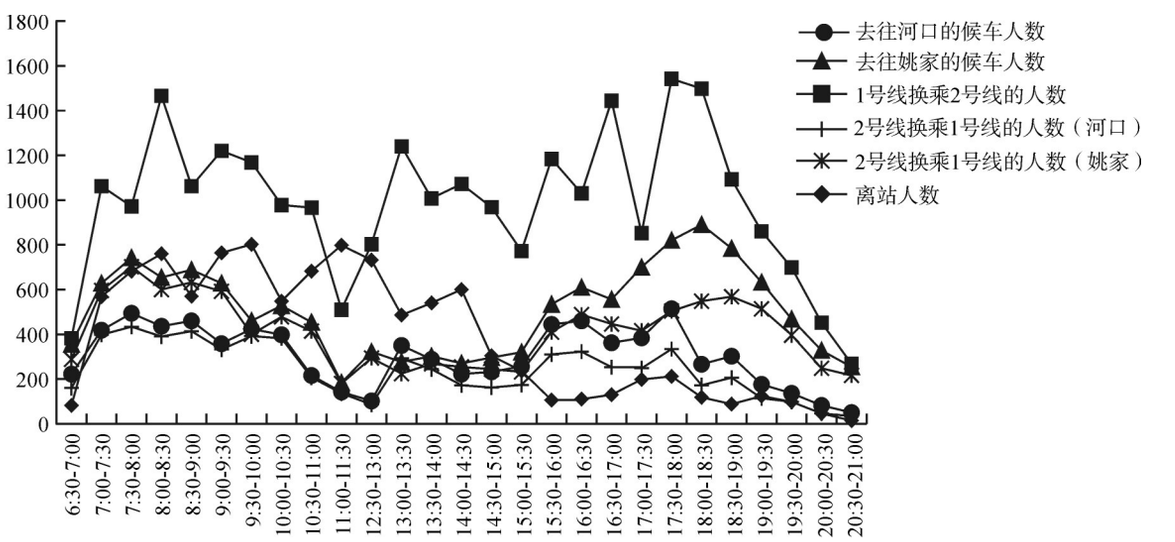


图3　工作日西安路客流数据

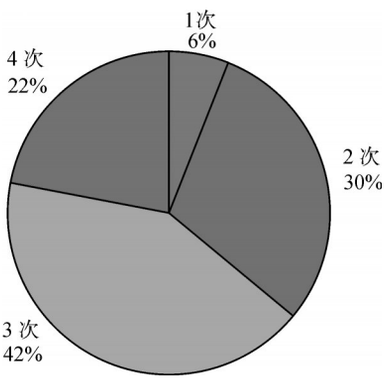


图4　换乘最大次数

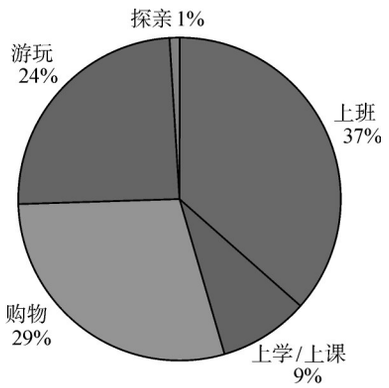


图6　乘客的出行目的

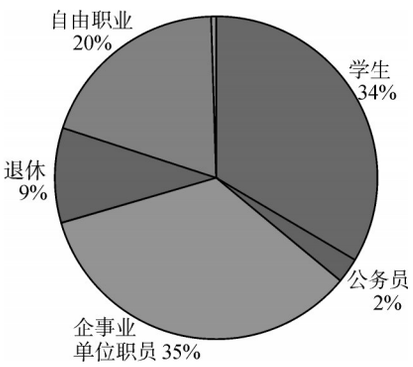


图5　乘客的职业

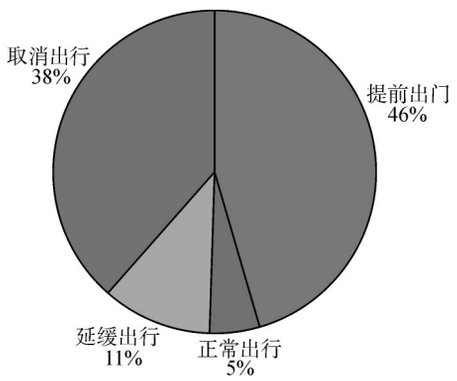


图7　天气对出行的影响

根据图4可知,大多数乘客能接受的最大换乘次数为3次。换乘所耗费的时间在整个出行时间中占据的比重是不可忽视的,换乘次数越多,出行时浪费的时间也越多,因此,3次换乘是比较能让人接受的,换乘次数在4次及以上就会对整个出行的效率产生影响。

出行目的与乘客的工作性质有关。调查数据显示,工作日的乘客中单位职员较多,非工作日的乘客中单位职员和学生均较多,如图5所示,而学生流中又以大学生居多,因此,在出行目的中体现出来的就是上班和购物,如图6所示。从乘客职业的调查中可以看出,乘坐地铁的乘客大都是18岁以上50岁以下的成年人,未成年人和老年人与之相比人数较少,而西安路地处商圈,所以游玩和购物的人占据了一半以上的客流。

天气的好坏对出行的影响也比较大。从图7可以看出,遭遇恶劣天气时,提前出门和取消出行所占比例最高。根据乘客职业和出行目的不难分析,上班的乘客大都会提前出门,避免迟到,而购物和游玩的人则会选择取消出行。结合图4来看,若换乘中存在地铁换乘其他公交方式,对于工作流来说,能不换乘就不换乘,因此最高接受换乘1次的乘客也占据一定比例。

如图8所示,乘客对交通方式的选择主要受环境、准时性和快捷程度的影响,随着社会和经济的发展,人们对价格并不如过去那么重视,却更加重视服务性,城市轨道交通应着力提高其服务质量。

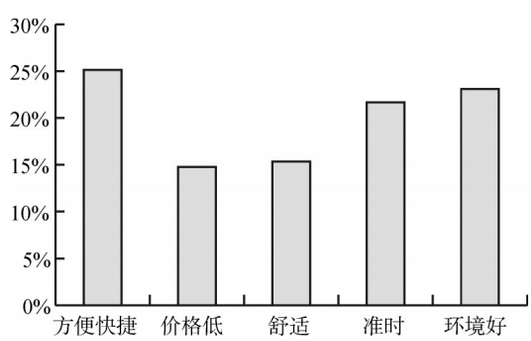


图8　选择交通方式的原因

由图9和图10可知,客流大体是由甘井子区流向中山区和沙河口区。大连市人口集中于甘井子区,中山区和沙河口区大都是商圈和写字楼,属于购物、游玩和工作的地方,结合图6可知,大连地铁的客流成分以工作流、购物流和旅游流为主。

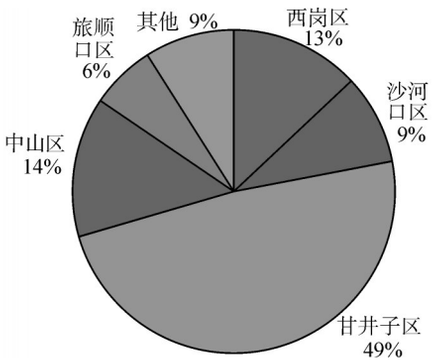


图9　乘客起始站

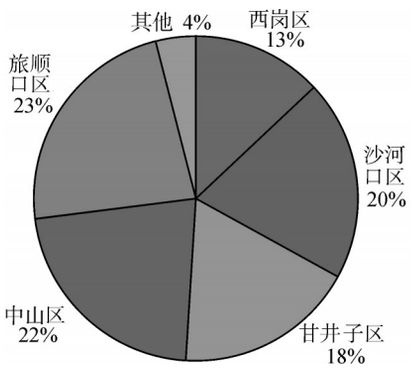


图10　乘客终到站

4　城市轨道交通换乘站客流预测

4.1　灰色预测模型

采用灰色预测法[5-8]，通过建立GM(1,1)模型进行预测，具体步骤如下。

(1)对原始序列数据 $X^0(t)\ (t=1,2,\cdots,n)$ 做一次累加生成，得新的序列 $X^1(t)\ (t=1,2,\cdots,n)$：

$$X^1(t)=\sum_{i=1}^{t}X^0(i)$$

(2)利用一次累加生成数列拟合微分方程：$\frac{dX^1}{dt}+aX^1=u$，得参数a和u，计算式为：

$$\begin{bmatrix}a\\u\end{bmatrix}=(B^TB)^{-1}B^TX$$

其中B和X分别为如下矩阵和向量：

$$B=\begin{bmatrix}-1/2(x_1^{(1)}+x_2^{(1)}) & 1\\ -1/2(x_2^{(1)}+x_3^{(1)}) & 1\\ \vdots & \vdots\\ -1/2(x_{n-1}^{(1)}+x_n^{(1)}) & 1\end{bmatrix},\ X=\begin{bmatrix}x_2^{(0)}\\x_3^{(0)}\\\vdots\\x_n^{(0)}\end{bmatrix}$$

n为原始数列的数据个数。

(3)解上述微分方程，得时间响应函数：

$$X^{(1)}(t+1)=\left[X^{(0)}(1)-u/a\right]e^{-at}+u/a$$

(4)对时间响应函数求导还原，得预测方程：

$$X^{(0)}(t+1)=-a\left[X^{(0)}(1)-u/a\right]e^{-at}$$

(5)利用历史数据对预测模型进行精度检验，这里采用相对残差值来表示实际值与预测值的误差，即：

$$\sigma(t)=\frac{\left|X^{(0)}(t)-\hat{X}^{(0)}(t)\right|}{X^{(0)}(t)}\times 100\%$$

$\sigma(t)$：相对残差值，$X^{(0)}(t)$：实际值，$\hat{X}^{(0)}(t)$：预测值。当相对残差值在10%以内时，认为预测的数据为合格数据。

(6)经过精度检验并合格后，可将预测期的t值代入预测方程，计算预测期的预测结果。

4.2　确定现状客流量

2015年至2018年大连地铁1号线日均客流量如表2所示，通过为期一个月的调查，整理出大连地铁西安路站的日客流量，如表3所示。

表2　大连地铁1号线日均客流量(单位：人次/日)

年份	2015	2016	2017	2018
人数	49566	101025	162824	230189

由于城市轨道交通各站所在地的用地性质不同，各站客流量往往是不均衡的，可用不均衡系数α来衡量客流量的不均衡程度，公式如下：

$$\alpha=\frac{C_{站}}{C_{线}}$$

$C_{站}$：车站的日均客流量；$C_{线}$：线路的日均客流量。

根据表3可得西安路站2018年的日均客流量为65068人次/日，计算得出2018年西安路站客流量在大连地铁1号线客流量所占比例为：

$$\alpha=\frac{C_{站}}{C_{线}}=0.28267$$

表3　西安路站日客流量调查数据(单位：人次/日)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
日客流量	72131	69875	64279	66822	66563	67658	43174	55170	75743	68034
序号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
日客流量	69253	67948	49876	59999	73001	64560	60213	66608	65020	54201
序号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
日客流量	70147	71054	69898	65887	67569	64780	69028	64015	61300	68245

由于2015年至2018年间,西安路站周边商圈稳定,用地性质基本不变,可由α=0.28267算出2015年至2017年西安路站的日均客流量,如表4所示。

表4　西安路站日均计算客流量(单位:人次/日)

年份	2015	2016	2017	2018
人数	14010	28556	46025	65068

4.3　预测结果与精度检验

以表4中西安路站日均计算客流量作为原始序列数据 $X^0(t)$,利用DPS统计软件建立GM(1,1)模型,对西安路站的日均客流量进行预测并对残差进行3次残差序列分析,结果如表5所示。

表5　西安路站日均客流量预测结果(单位:人次/日)

年份	$X^0(t)$	$X^1(t)$	a	u	$X^0(t+1)$	$\sigma(t)$
2015	14010	14010				
2016	28556	42566			28704	−0.51796
2017	46025	88591			45815	0.456534
2018	65068	153659	−0.265834	83.096218	65112	−0.12989
2019					101300	
2020					154986	

残差检验结果小于10%,符合要求,因此西安路站2020年日均客流量为154986人次/日。

从图1和图2可以看出,客流量的峰值出现在8:00至8:30和17:30至18:00,最低值在20:30至21:00。根据现状调查数据可得,峰值客流量占全天客流量的5.62%,最低客流量占全天客流量的1.24%,故2020年西安路站全天每半小时客流量在8710人次与1922人次之间。

查询资料得到大连地铁西安路站半小时客流超过7200人次时,其运能就会不足,以此趋势发展,2020年西安路站的运输能力便会出现不足,需要采取具体的优化措施以解决运能不足的问题。

5　建议与措施

根据以上对城市轨道交通换乘站的调查与预测分析,建议采取以下具体措施[9-10]。

(1)换乘站全天各小时客流量都处于较高状态,在售检票区域极易发生拥堵造成混乱,针对这种情况,可搭建活动栏杆,将不同去向的乘客分离开来,使乘客自觉排队,防止客流冲突,避免拥堵现象发生。

(2)根据乘客出行目的进行分类管理,如开设连接购物区的免费公交环线,将购物流从城市轨道交通整体客流中分离出来。

(3)大客流的出现主要考验车站安检和售检票系统,售检票设备能力不足、乘客对设备操作不熟练等是影响进站效率的最主要因素,对于这一情况可通过工作人员引导等方法解决。

(4)根据客流起讫点调查的结果,虽然换乘站客流量较大,但部分车站乘客人数相对较少。对于客流乘降相对较少的车站,可直接做不停车通过处理,即每隔一定时间开行一辆仅在客流量较大车站停车的班次,但应注意做好信息通告。

(5)根据客流预测结果来看,未来换乘站的运能稍显不足,可考虑加开车辆来提高运能,以缓解换乘站的运输压力。

参考文献:

[1] 周淮,王如路.上海轨道交通运营客流简析[J].地下工程与隧道,2005(4):1-9,63.

[2] 程立勤.大连市轨道交通客流特征分析与启示[J].交通科技与经济,2019,21(2):47-50.

[3] 覃松涛.城市轨道交通客流预测影响因素辨识研究[J].科学技术创新,2019(6):102-104.

[4] 王伟,丁黎黎,张文思,等.基于随机路径选择的城市轨道交通客流分配悖论[J].交通信息与安全,2019,37(1):80-87.

[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):26-29.

[6] 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):22-25.

[7] 龙小强,李捷,陈彦如.基于深度学习的城市轨道交通短时客流量预测[J/OL].控制与决策. http://kns.cnki.net/KCMS/detail/21.1124.TP.20190307.0840.004.html.

[8] 姜波.灰色系统与神经网络分析方法及其应用研究[D].武汉:华中科技大学,2004.

[9] 郭玉媛.轨道交通换乘站客流组织的优化[J].现代经济信息,2019(2):390.

[10] 左忠义.城市轨道交通枢纽区域公交客流疏解组织优化与设计方法[D].北京:北京交通大学,2013.