

# 城市公共交通客流量预测序列模型\*

胡华颖

李观华

(地理学系)

(计算中心)

## 摘 要

本文通过广州市公交线路调整研究的实践,设计了一套在计算机上实现的高便实用的城市公交客流量预测序列模型,它包括公交出行产生与吸引、公交出行分布和公交线路分配等3个子模型。输入客流调查和线网的有关数据,便得到一系列评价和比较公交线网布局合理与否的统计指标。

**关键词** 公共交通客流量,预测,序列模型,出行产生/吸引,出行分布,交通分配

公交线路是城市公共交通的组成部份,其布局是否合理,直接影响城市居民出行的方便程度,进而引起城市社会与经济诸方面的连锁反应。目前我国许多城市都出现居民出行“乘车难”的严重局面。大力发展公共交通,已成为城市决策部门面临的不可迟缓的重要议题。不少城市试图对现行的公交线路作一些合理调整,并对调整后或新规划的公交线网效果进行科学的估计,本文在广州市调整公交线路的研究基础上,提出一套适于我国城市公交线路客流量预测的方法。

## 1 公交客流量预测的内容与方法

国外研制出来的城市交通预测模型一般由4个相互联系的序列子模型组成:①出行产生与吸引,②出行分布,③出行方式选择,④线路分配。序列中的子模型顺序可以改变或组合,形成交通预测序列模型的4种类型<sup>[1]</sup>。我们已研究比较此4种类型的特点,并建议在城市交通资料不完整的情况下,采用①和③子模型合并的类型,可满足交通预测目标单一时的要求<sup>[2]</sup>。但此研究还较粗略,预测结果过于笼统简单,未能提供公交线路客流量的具体数量指标。

对新公交线网的客流量作预测,主要是对居民日常出行采用公交方式的需求量及其在空间上(线路与站点)和时间上(一天24小时)的分布进行定量估计。必不可少的指标包括有客运总量、客运周转量、平均乘距、两停车站间分线路的乘客量、各停车站点的上下车人数、道路主干线上公交乘客量、高峰小时运量及其系数、公交干线高峰小时单向客流量、中转(或换乘)系数等。这些指标是公交线路布局方案优劣评价的主要依据。

为满足上述预测需求,我们设计了一套供实际部门使用的预测城市公交客流量的方法及其工作流程(图1)。其中公交客流量预测序列模型是在计算机上实现的数学模型

本文1988年9月6日收到

\*广州市交通研究所资助项目,参加工作的还有郭志生、杨惠仪、梁锦宣等

系统(图2)。只要输入公交线网和客流有关数据,便得到一系列统计指标。若机器配备绘图功能,此系统还可输出公交线网中每条公共汽车线路中站与站间的流量流向等详细图象结果,以帮助分析和决策。

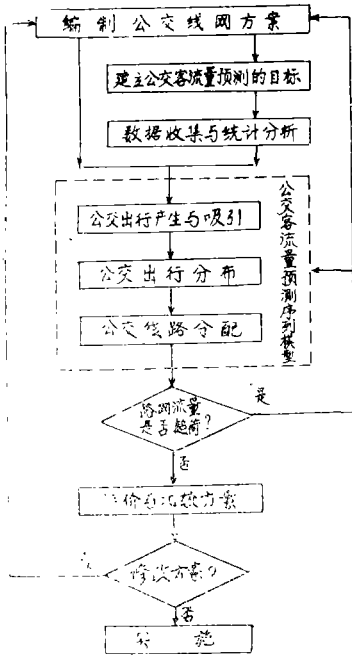


图1 城市公交线网规划流程图

Fig.1 The flow diagram of the urban public transport planning

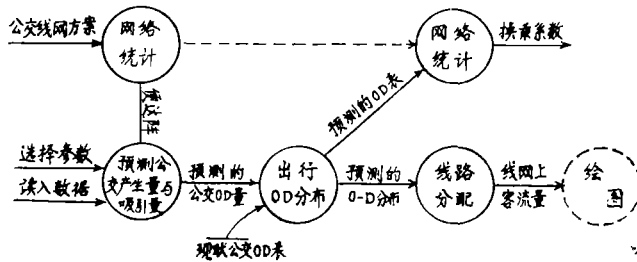


图2 在计算机中预测序列模型的数据流

Fig.2 The data flows of the sequential forecasting model in a computer

### 2 公交出行量产生与吸引子模型

此子模型的输出结果是按小区计的公交出行产生量和吸引量,其数学函数形式为

$$G_i = f(x_1, x_2, \dots, x_k), A_j = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

式中 $G_i$ 为小区 $i$ 的公交出行产出量, $A_j$ 为小区 $j$ 的公交出行吸引量, $i, j = 1, 2, \dots, n$ ( $n$ 为小区总数), $x_1, x_2, \dots, x_k$ 分别为对公交出行产生量和吸引量有显著影响的变量(因素)。

恰当选择变量是此子模型的关键。在影响公交出行的因素中,主要涉及人、出行及公交特性。人的特性包括年龄、性别、职业、经济收入等,出行特性包括出行目的、出

行距离等; 公交特性包括公交的方便、速达、舒适程度与费用等。挑选变量时可根据研究目的与数据的可能性加以斟酌。

对新规划的公交线网作客流量预测, 应着重挑选那些反映公交线网特点的因素作为解释变量, 以便通过函数关系, 反映出公交线网的变化对居民出行采用公共交通工具的影响, 从而评价公交线网的优劣。这是因为: ①人与公交的关系, 本质是一种供求关系。需求与供给之间在均衡价格处取得平衡。②在我国城市中, 公交现行的是低票价制, 与居民的实际收入和消费水平相适应。但公交服务的价格除了票价, 还包括候车时间、行车时间、舒适与安全程度等。这些包括社会、经济、心理等方面的因素组成了公交服务的“一般价格”, 经受居民“能否承受”的衡量和抉择。如果公交服务的“一般价格”太高(如时间太长或很不方便), 公交客流量便少。因此, 评价新规划的公交线网的可能效果, 应着重通过新旧线网的连通度、便达度和综合运送能力的改变, 比较公交线网吸引客流量的变化。

广州公交客流量预测的多个建模方案之一是引入公交线网方便与速达程度的因素建立回归方程:

$$G_i = -76.2290 + 0.4714x_1 + 0.1528x_2 - 1.1916x_3 + 189.9494x_4 \\ + 5.2368x_5 - 3.6889x_6 - 1.6162x_7 - 0.4834x_8 + 3.3994x_9 \\ - 27.6661x_{10} \quad (R^2 = 75.63\%, F = 37.23, S = 1266)$$

$$A_i = -164.4468 + 0.7794x_1 + 0.1526x_2 - 1.1645x_3 + 181.7973x_4 \\ + 6.6388x_5 - 2.9572x_6 - 1.9586x_7 - 0.2168x_8 + 3.5744x_9 \\ - 28.2952x_{10} \quad (R^2 = 75.10\%, F = 36.19, S = 1285)$$

式中 $x_1$ —小区人口数,  $x_2$ —小区人口密度,  $x_3$ —小区面积,  $x_4$ —经本小区公交线路数,  $x_5$ —乘1次公交车可达的小区数,  $x_6$ —乘2次公交车(换乘1次)可达的小区数,  $x_7$ —乘3次公交车(换乘2次)可达的小区数,  $x_8$ —空间距离小于3km的小区数,  $x_9$ —空间距离6~10km小区数,  $x_{10}$ —空间距离10km以上的小区数。

两模型的决定系数 $R^2$ 分别为75.63%和75.10%, 表明模型的解释能力相当大。 $F$ 统计量分别为37.23和36.19, 表明模型在99%置信水平上高度显著。估计标准误差 $S$ 分别为1266和1285, 表示在预测时, 小区出行产生量或吸引量的误差范围在±1000人次左右, 误差率为5~10%。此两模式已满足预测的精度要求, 其结果输入下一子模型。

### 3 公交出行分布子模型

此模型的输出结果是任一小区 $i$ 到任一小区 $j$ 的公交客流量。其数学函数一般式为:

$$d_{ij} = f(G_i, A_j, C_{ij});$$

式中 $G_i$ 、 $A_j$ 是上一子模型输出的小区 $i$ 公交产生量和小区 $j$ 公交吸引量,  $C_{ij}$ 为 $i$ 、 $j$ 间的阻尼因子, 一般是从 $i$ 到 $j$ 的公交“一般价格”,  $d_{ij}$ 是从 $i$ 到 $j$ 的公交客流量。

我们采用“双约束引力模型”作为此子模型的算式, 即不断调整 $\delta$ , 使得

$$d_{ij} = \delta G_i^\alpha A_j^\beta C_{ij}^{-\gamma} \quad \text{能满足} \quad \sum_{j=1}^n d_{ij} = G_i, \quad \sum_{i=1}^n d_{ij} = A_j,$$

式中 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 为待定系数, 其中 $\delta$ 是平衡因子。

我们取从*i*到*j*小区的公交出行平均时间作为 $C_{ij}$ ,经“对数回归”计算过程,得 $\alpha = 0.2493$ ,  $\beta = 0.2486$ ,  $-\gamma = -0.1191$ ,  $\delta = 1.518$ .再经平均增长率法<sup>[3]</sup>叠代修正 $\delta$ ,得从*i*到*j*的公交客流空间起讫分布量(或称O-D量) $d_{ij}$ .

### 4 公交出行线路分配子模型

此模型根据图论一些概念和定理,把已知的O-D分布量 $d_{ij}$ 具体分配到公交线路上,其关键技术是:处理小区与城市道路的邻接关系、城市道路与公交线路的对应关系、公交线路之间的连通关系.具体步骤是:

4.1 将城市主要道路编成道路网络图.以交叉路口作为网络的节点,节点与节点间的边就是两交叉路口间一段道路.将各段道路的长度标记在边上,编成网络赋权图.

4.2 在已划分交通小区的基础上,建立小区与道路节点的邻接对应文件,以便将小区出行产生量通过节点引入道路网中,将小区出行吸引力通过节点引入小区来.

4.3 在道路网络图的基础上,建立公交线路网络.即根据规划的每条公交线路走向,将其行经的每个道路节点逐一记录,对应将公交线上的上落站的节点顺次记录.如果公交线并非在每个道路节点都开设上落站,可依有开设上落站的道路节点标号记录.

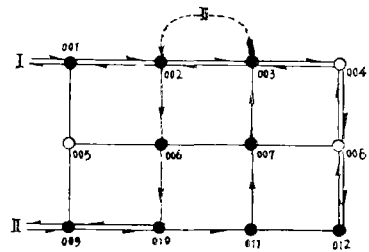


图3 道路与公交线路对应网络图  
Fig.3 A network of urban roads and two bus-lines

○ 道路节点与标号  
● 设公共汽车上落站的道路节点与标号  
——道路      ←— 公交线路走向

如图3中的I线,其行经001、002、003、004、008、012节点,但只在001、002、003、012处设立上落站,则I线及其上落站的记录为:顺向(001, 002, 003, 012),逆向(012, 003, 002, 001).

如果公交线路走向受单行线管制,则线路的顺向和逆向记录照实际行经的节点记录.如图3中的II线记录为:顺向(009, 010, 011, 007, 003, ...),逆向(..., 002, 006, 010, 009).

4.4 建立公交线路之间连接关系文件,并据此评价小区的公交空间便达程度.若*i-j*小区间有公交线直接连通,则从*i*区乘1次车可达*j*区,*i*和*j*便是“1次达小区”.若*i-j*小区间无公交线直达,需经*k*小区换乘,则*i*和*j*便是“2次达小区”,在*k*小区换乘的对应节点便是换乘节点.根据线路走向以及小区与节点的对应关系,可得到小区空间便达程度和公交换乘点的记录.

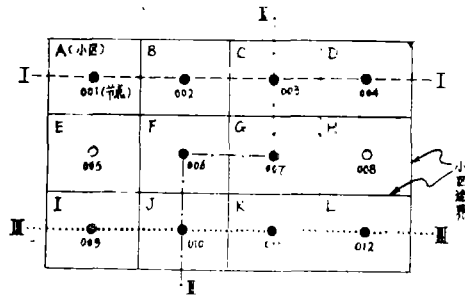


图4 公交线网与小区可达性  
Fig.4 A public transport network and the zonal accessibilities

如图4中A-D(I线)、C-J(II线)和I-L(III线)均为1次达小区;A、B、D各小区与F、G、J各小区之间是2次达小

区，它们之间在C小区003节点处换乘；A、B、D与I、K、L之间为3次达小区，它们之间在003和010节点处各换乘1次。图中12个小区的空间便达程度以表1的矩阵形式记录。

对应矩阵中每一元素，包含着公交线的起点、终点、中间上落站、换乘站(点)。它们之间的对应与包含关系，可根据前面4.1—4.4各步骤建立的计算机数据文件，用计算机容易编辑生成。即任一对*i—j*小区间有哪几条公交线相连接、途经哪些上落站(节点)都经计算机检索出来并记录下来。

表 1 小区公交便达程度矩阵

Tab.1 A matrix of the public transport accessibilities between two zones

项 目	(小区j)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	—	1	1	1	0	2	2	0	3	3	3	3
B	1	—	1	1	0	2	2	0	3	2	3	3
C	1	1	—	1	0	1	1	0	2	1	2	2
D	1	1	1	—	0	2	2	0	3	2	3	3
E	0	0	0	0	—	0	0	0	0	0	0	0
(小区i) F	2	2	1	2	0	—	1	0	2	1	2	2
G	2	2	1	2	0	1	—	0	2	1	2	2
H	0	0	0	0	0	0	0	—	0	0	0	0
I	3	3	2	3	0	2	2	0	—	1	1	1
J	3	2	1	2	0	1	1	0	1	—	1	1
K	3	3	2	3	0	2	2	0	1	1	—	1
L	3	3	2	3	0	2	2	0	1	1	1	—
公交1次达小区率(%)	27.3	27.3	54.5	27.3	0	27.3	27.3	0	27.3	54.5	27.3	27.3
公交2次达小区率(%)	18.2	27.3	27.3	27.3	0	54.5	54.5	0	27.3	18.2	27.3	27.3
公交3次达小区率(%)	36.4	27.3	0	27.3	0	0	0	0	27.3	9.1	27.3	27.3
公交不达小区率(%)	18.2	18.2	18.2	18.2	100	18.2	18.2	100	18.2	18.2	18.2	18.2

4.5 在 4.4 步骤的基础上，将公交出行分布子模型预测出来的 $d_{ij}$ ，对应逐一分配到*i—j*小区间相连通的1条或几条线路上。

以图4为例。若A到D和到K的公交量分别为5000和3000人次，对A来说，其小区产生量为8000人次；对D和K来说，两小区的吸引量分别就是5000和3000人次。按照线路走向和连接关系，则有5000人次从001节点发出(称“节点产生量”)，沿着002、003到达004。即004节点吸引了5000人次(称“节点吸引量”。又因其是乘1次车到达的，也可称“1次达吸引量”)。另外，在I线上001-002-003-004的两两相邻节点间，均有5000人次的记录。到K区去的3000人次也从001节点发出，在003节点处换乘Ⅱ线(称该量为003节点的“1次换乘量”)，再在010点处换乘Ⅲ线(称该量为010节点的“2次换乘量”)，然后到达011节点(因该量是乘3次车吸引到此点，称为011节点的“3次达吸引量”)。这样，A到D和到K的公交客流量在线路中分配完毕。余此类推任一*i—j*小区间的线路分配。其结果可用表格展示。结合节点间的长度，我们可计出分线路的平均乘距(表2)。

利用分时段(一般只用高峰时段)的公交客流量调查数据，输入到序列模型中；可

表2 分线路的平均乘距表  
Tab.2 Average personal travel distance  
along a bus-line

线路	人次	人次km	平均乘距
I	8000	14700	1.84
II	3000	6300	2.10
III	3000	2100	0.70
合计	14000	23100	1.65

注: 1. 此表假设节点间的距离均为0.7km,则

I线人次km =  $5000(0.7 + 0.7 + 0.7) + 3000(0.7 + 0.7) = 14700$ ,

II线人次km =  $3000(0.7 + 0.7 + 0.7) = 6300$ ,

III线人次km =  $3000(0.7) = 2100$ .

2. 平均乘距 = 人次km/人次

计出分时段的公交线网客流分布。这样,我们便得到公交客流量在空间和时间分布的一系列统计指标。1986年,我们用这套程序为广州市公交线路调整作客流预测,效果良好。然而,这个序列模型还有不足,如未能与优化模型相结合。这有待于深入探讨。

### 参 考 文 献

- (1) Black J, *Urban Transport Planning*, Croom Helm Ltd, London, 1981, 84~85  
 (2) 梁锦宣等, 中山大学学报(自然科学)论丛[12], 地理学论文集(2), 1987, 1~11  
 (3) 宋景禄, 交通工程学概论, 机械工业出版社, 北京, 1985, 260~274

## A Sequential Model for Forecasting Urban Public Transport Passengers

Hu Huaying\* Li Guanghua

### Abstract

Based on the study of Guangzhou's public transport network planning, a sequential model for forecasting urban public transport passengers is designed. Operated by a computer, the model is consisted of three sub-models that are (1) trip generation and trip attraction, (2) trip distribution, and (3) traffic assignment. Inputting the raw data of the public transport network and the public traffic, the model can provide a series of statistic indices to compare and evaluate the drafts of urban public transport networks.

**Keywords** public transport passengers, forecasting, sequential model, trip generation/attraction, trip distribution, traffic assignment

• Department of Geography