

广州地铁路网规划与客流预测研究

胡华颖 李观华 郭志生
(地理学系) (计算中心)

摘 要

在广州地铁规划与实践基础上,本文总结地铁规划的核心程序,建立5个子模型构成的一组地铁客流序列预测模型。

关键词 地铁路网, 地铁客流量, 规划, 序列预测模型

1 引 言

城市地铁至今已有近130年历史¹⁾。由于其具有运量大、速度快、安全可靠、准点、节约地面空间、利于城市布局、污染小、社会效益显著等优点,因此发展很快。目前世界上运营地铁的城市约有90座,运营线路长6000km。

由于我国城市工业集中、人口稠密、车辆逐年递增,城市交通愈益紧张。国内外不少专家认为,解决我国城市交通问题的主要出路在于发展地铁,促使城市公共交通向大容量、高速度、立体化的方向作质的改变。

地铁路网规划与客流预测是地铁规划中一对相互关联的关键内容。

根据国外地铁规划的正反经验,建立符合我国城市实际情况的地铁规划方法体系,是地铁研究规划人员面临的重要课题。在广州地铁规划与实践基础上,本文试图对此作一探讨。

2 核心程序

任一交通流的形态与过程实质上是社会经济系统和交通系统两者相互作用下的产物。国外城市交通研究在50年代后期已总结了它们之间的相互关系,并用系统分析方法建立了城市交通规划程序。主要步骤分别是:明确规划目标、收集数据、建立预测模型、设计备选方案、评价或修改方案^[1]。其中的核心是建立预测模型,包括社会经济活动空间分布(或土地利用)、交通资源或供给、交通需求(图1)。这里包含着两个

本文1990年7月9日收到

* 广州市地铁筹建处资助项目,参加工作的还有梁锦宣、杨惠仪

1) 英国伦敦于1863年修建了世界第一条地下铁道。现代地铁不仅有地下的,也有地面和高架的(包括轻轨系统)。国外称之为“大众快速轨道运输系统”(Mass Rapid Transit Systems)。本文按习惯仍称“地铁”

重要指导思想,一是社会经济活动是交通产生的源泉,土地利用是社会经济活动在空间上的表现,城市交通是土地利用的函数;二是交通需求与交通供给之间必须保持平衡,否则系统将不正常。

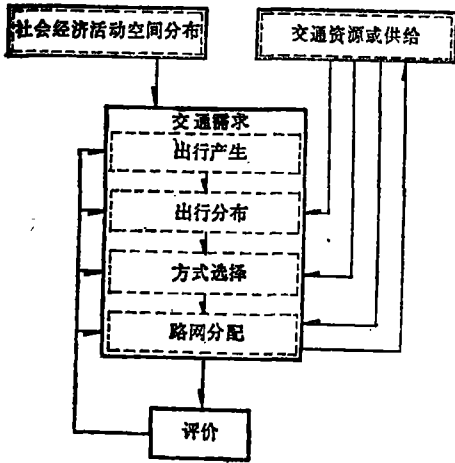


图1 城市交通预测模型
Fig.1 Urban transportation forecast models

地铁是城市交通系统中的一个子系统,在建立预测模型过程中,主要问题是:①我国城市的经济实力、城市布局、交通特点与交通政策与国外的差别较大;②缺乏地铁吸引客流的先验资料(仅北京有地铁运营)而难以建立“方式选择”预测模式;③受有限建设资金影响,规划年限较长,一般为15~20年,社会经济活动空间分布预测的准确度不易把握,交通需求预测精度跟着受制约;④各种预测模型的建立可通过不同的数学方法,而各种方法各具特点,如何选择目前没有定论。这些难题必须通过适当方法来解决。基于图1的原理和结构,结合解决难题,我们设立图2规划程序,并在广州地铁规划过程中实施。设计(1)~(3)组成“地铁供给”,任务是合理设计路网方案并向预测

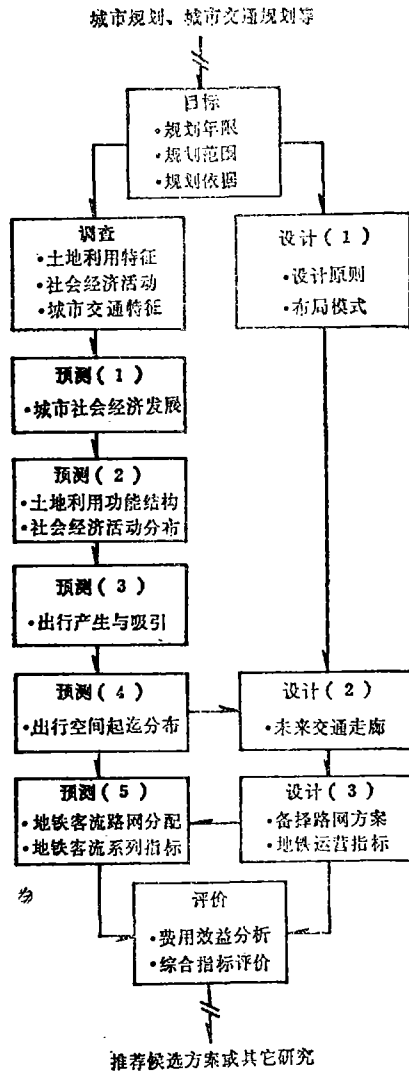


图2 地铁规划的核心程序
Fig.2 The core programme of subway planning

(5)提供有关数据,如地铁站位置、线路走向、行车速度、停车时间等。预测(1)和(2)组成“社会经济活动空间分布”,任务是为预测(3)提供预测(外生)变量数据。其中预测(1)对城市预测期末图景作总量推测,如经济水平、用地、人口规模等,使预测(2)有一个总量控制或检验结果的基础,利于提高其预测可信度。例如小区人口空间分

布预测数量之和不等于从预测(1)得到的人口总量, 则应修改预测值, 预测(3)和(4)组成“城市交通(出行)总需求”, 任务是确定未来交通走廊位置, 也为预测(5)划分地铁需求量提供依据。预测(5)专为新建地铁的规划而设计, 将图1中“方式选择”与“路网分配”合二为一, 依据预测(4)和设计(3)提供的基础, 按照一定条件估计地铁客流量, 为评价地铁方案提供依据(图3)。

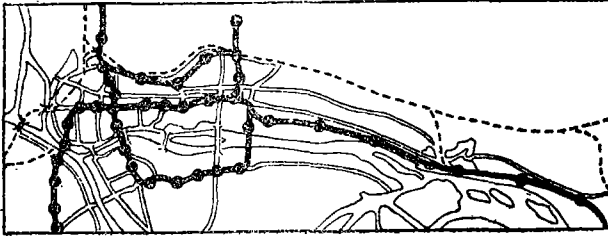


图3 广州地铁路网设计草案
Fig.3 Designed draft of the subway network in Guangzhou

3 地铁客流预测模型

3.1 城市社会经济发展预测

适用于此子模型的建模技术有趋势外延法、时间序列预测法、数量经济模型、系统动力学。这些建模技术各有优缺点, 应恰当选择。在广州的实践中, 指导思想是: ①根据可行条件(数据、经费、时间)以及为交通预测模型提供服务的原则, 无须建立结构太复杂的模式; ②尽可能试用多种技术建模, 以便比较、判断或修正预测结果; ③结合已制订的城市社会经济发展战略, 检查模型是否适宜。据此, 广州的城市社会经济发展预测建模选择了线性函数式、指数函数式、多项式函数式、简单结构的数量经济方程组等数学方法, 涉及的变量包括人口数、工人数、房屋建筑面积、工业产值、商品零售额等。

3.2 土地利用—社会经济活动分布预测

此子模型的建模目的明确为预测那些影响城市居民出行量的因素(变量)未来变化及其空间分布, 事前应结合城市未来用地的发展方向, 将城市分小区, 所有变量观察数据按小区统计或收集, 保证这些变量定义与城市发展预测子模型中的变量相同。建模技术有代数模式、矩阵模式、模拟模式、线性规划模式等, 选择时根据建模条件而定。

由于广州已制订了大部分街区详细规划, 采用矩阵模式是简便的。将人口、职工、人口密度、房屋建筑面积等变量与小区(市区范围分为150个)组成预测基年 t 的数据矩阵 $X(t)$, 然后推算预测年 $(t + \Delta t)$ 的数据矩阵 $X(t + \Delta t)$,

$$X(t + \Delta t) = PX(t)$$

式中 P 为预测参数向量对角矩阵。确定向量中每一参数值为此子模型的关键。最后, 应检验 $X(t + \Delta t)$ 中每一变量按小区预测的结果之和是否与上一子模型的吻合; 否则, 应修改参数, 循环计算至相等为止。

3.3 出行产生与吸引预测

此子模型输出结果是按小区计的出行产生量 G_i 和吸引量 A_j 。建模用回归方程

$$\begin{aligned} G_i &= a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k \\ A_j &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \end{aligned} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

式中, $x_1, x_2 \dots x_k$ 分别从上一子模型的变量群中选取。建模时用 $X(t)$ 中的数据, 预测时则用 $X(t + \Delta t)$ 中的数据。 $a_0, \dots a_k$ 和 $b_0, \dots b_k$ 为待定回归系数。

3.4 出行空间分布预测

此子模型输出结果是任一小区 i 到 j 的出行量 d_{ij} 。我们选用“产生—吸引—双约束引力模式”, 即

$$d_{ij} = \delta G_i^\alpha A_j^\beta C_{ij}^{-\gamma}$$

且满足约束式 $G_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$, $A_j = \sum_{i=1}^n d_{ij}$ 。式中 G_i 、 A_j 分别为上一子模型的小区 i 出行产生量和小区 j 出行吸引量, α 、 β 、 γ 为待定系数, δ 为不断调整以保证约束式成立的平衡系数, C_{ij} 为 i - j 间空间距离。

3.5 地铁客流路网分配

此子模型把 d_{ij} 中采用地铁方式出行的量 S_{ij} 划分出来, 并分配在地铁路网上。

3.5.1 建立划分地铁方式出行量的原则和模式 由于地铁的主要作用是节约时间, 故按“最短出行时间”为原则。地铁方式出行量 S_{ij} 划分模式定为

$$S_{ij} \propto \theta d_{ij}$$

式中 θ 为条件参数, 根据地铁与其它方式出行时间的差额多少而定。根据广州的有关情况, θ 设定为

$$\theta = \begin{cases} 0 & T_{ij} > T'_{ij} \text{ 时} \\ 0.5 & T_{ij} = T'_{ij} \text{ 时} \\ 0.6 & T_{ij} \leq (1 + 0.1)T'_{ij} \text{ 时} \\ 0.7 & T_{ij} \leq (1 + 0.25)T'_{ij} \text{ 时} \\ 0.9 & T_{ij} \leq (1 + 0.5)T'_{ij} \text{ 时} \\ 1 & T_{ij} \leq (1 + 0.75)T'_{ij} \text{ 时} \end{cases}$$

式中 T_{ij} 为采用地铁方式总出行时间, T'_{ij} 为其它方式出行时间中最小的, 即

$$T'_{ij} = \min \{ T_{ij}^1, T_{ij}^2, \dots \}$$

T_{ij} 的上标 1, 2, ... 为其它方式 (公共汽车、自行车等) 代号。

这个划分模式的意义是: 从任一 i 小区到 j 小区的地铁总出行时间 T_{ij} 与其它方式中的最短出行时间 T'_{ij} 比较, 若 T_{ij} 较长, 则地铁方式出行量 S_{ij} 为零; 若 T_{ij} 较短, 则依缩短的时间多少, 从 d_{ij} 中划分出不同比例的量作为 S_{ij} 。 θ 的选定包含了对地铁票价、居民出行特征等其它因素的综合考虑, 也吸取国外城市的失败教训, 而定得偏紧。

T_{ij} 的赋值有 3 种情形;

(1) i (地铁) j , 即 $i-j$ 间有地铁直达时, 地铁总出行时间就是地铁方式出行时间,

$$T_{ij} = \sum_{w=1}^5 t_w^{ij} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

式中 t_1 和 t_2 分别为步行入站和步行出站时间, t_3 为候车时间, t_4 为行车时间, t_5 为途经各站停车时间之和。

(2) i (其它方式) K (地铁) j , 即 $i-j$ 间需采用其它方式到达 K 后再换乘地铁到 j ,

此时,
$$T_{ij} = \max \left\{ T_{iK}^1, T_{iK}^2, \dots \right\} + \sum_{w=1}^5 T_w^{Kj}$$

式中 T_{iK}^1 、 T_{iK}^2 等为 $i-K$ 间其它方式出行时间。

(3) i (其它方式) k (地铁) l (其它方式) j , 即乘坐地铁前后都需采用其它方式换乘才能从 i 到 j , 则

$$T_{ij} = \max \left\{ T_{ik}^1, T_{ik}^2, \dots \right\} + \sum_{w=1}^5 t_w^{kl} + \max \left\{ T_{lj}^1, T_{lj}^2, \dots \right\}$$

3.5.2 地铁路网客流分配过程

(1) 建立小区与地铁路网中车站的邻接对应记录文件, 以便将小区地铁出行量 (包括换乘而来的) 引入地铁路网中。

(2) 按照划分标准和模式, 逐一检索全部 d_{ij} , 分出地铁出行量 S_{ij} 。

(3) 将 S_{ij} 按地铁线路走向分配在线路和车站上, 汇总后便得到地铁客流量的一系列具体指标。主要包括地铁客运总量、客运周转量、各地铁站进出客量、地铁换乘量、两站间上行与下行乘客量、日高峰小时运量及站点上下车客量等。

用上述 5 个子模型所组成的序列模型为广州地铁路网十多个草案作客流预测, 运算方便, 达到预期效果。

参 考 文 献

- 1 Black J. Urban Transport Planning. London Croom Helm, 1981

On Subway Network Planning and Subway Passenger Flow Forecast of Guangzhou

Hu Huaying* Li Guanghua Guo Zhisheng

Abstract

Based on the practice of Guangzhou's subway network planning, this paper summarized the core programme of subway planning and formulated a group of sequential models that consist of five submodels for forecasting the subway passenger flow.

Keywords subway network, subway passenger flow, planning, sequential forecasting models

* Department of Geography