

# 客流预测技术在城市轨道交通规划中的应用

## Application of Passenger Flow Forecasting Technology in Urban Rail Planning

蒋晗芬

**【摘要】** 客流预测一直被认为是城市轨道交通规划与建设的评价基础和决策依据。事实上，客流预测的作用不仅仅是对规划方案的评价，其本身所揭示的客流形态特征也是规划方案架构的重要依据。因此，有必要结合具体城市的轨道交通规划，对客流预测技术应用和交通评价作用进行深入的探讨和总结。

**【关键词】** 客流预测技术 轨道交通 方案评价

**Abstract:** Passenger flow forecast has been considered the construction of urban rail transit planning and evaluation of the foundation and basis for decision making. In fact, the role of passenger flow forecasting is not only the evaluation of planning, passenger traffic at its own morphological features revealed by the program structure is an important basis for planning. Therefore, it is necessary to combine with the urban rail transportation planning and forecast the passenger traffic evaluation of the role of technology applications, then in-depth discussion and summary.

**Keywords:** passenger flow technology, rail transportation, scenario evaluation

### 1 背景介绍

轨道交通规划是基于城市总体规划、综合交通规划的

下位规划，其规模论证是以总体规划城市人口总量、综合交通规划公交方式分担率为重要依据，网络规划布局则以城市空间结构形态、用地功能布局、土地开发强度、公共交通可达性为重要依据。本篇论文以中国哈尔滨市新一轮城市发展为背景，通过新一轮城市轨道交通线网修编规划和近期建设规划客流预测为实例，介绍客流预测技术在轨道交通规划过程中的应用。

### 2 国家对轨道客流预测的要求

按照国家建设部对各地上报城市轨道交通建设项目的审批要求，前期必须开展轨道交通《线网规划》和《近期建设规划》的编制，并同步提供《客流预测》专题报告。轨道交通不同的两个规划阶段对客流预测技术和评价指标的详细程度有着不同的应用要求。

线网规划阶段，客流预测的任务主要是分析城市规划范围内土地利用与客流需求的空间关系，研制基于城市综合交通模型体系下的公共交通客流预测子模型，预测总体规划年限及远景年城市公交需求总规模和公交主要客运走廊的分布形态，为轨道交通远景网络规划和轨道基本网络规划（为城市总体规划范围提供服务）方案的形成提供编制和论证依据。评价轨道网络规划方案的系统效应和形态布局，对不同规划方案进行网络构架、交通功能、分担率等合理性评价和比选分析。

近期建设规划阶段，客流预测的主要任务是为轨道交通建设项目在“规模、建设时机、投入和效益”方面提供评价指标和决策依据。确定近期合理的建设规模和线路建设时机，对建设线路进行效益评价和详细客流预测，并提供客流预测的敏感性分析。

### 3 客流需求模型建立技术

#### 3.1 反映城市特点的模型结构

现状交通数据是建立交通需求预测模型的重要基础,交通特征规律是制定交通模型结构的重要依据。为全面掌握城市人员出行、特别是公共交通出行的特征规律,必须开展以人员出行为主的居民出行、人员吸引点、公共交通客流及出租车等调查。以哈尔滨城市为例,通过对2000年及2009年两次综合交通大调查数据比较发现,作为寒冷地区城市,特殊的气候条件对城市居民出行方式选择的影响很大。自行车方式已经表现出对这座城市很大的不适应性,居民中长距离出行基本依靠公交或机动车来完成,冰雪天气使道路交通面临安全隐患。基于城市特点和交通发展上的需要,十年来自行车的出行比重下降了10个百分点,仅占全方式出行份额的5%,与机动方式的竞争几乎处于劣势,长距离非机动出行也应该尽可能的消除。出行方式中机动化水平不断提高,个体机动化方式上升尤为显著。为此,哈尔滨交通需求模型的构模框架采用了变通四阶段法。在建立出行生成模型后,首先对非机动方式进行预划分,而不与机动方式进行混合划分,从而体现出非机动方式无法形成与机动方式的竞争关系,再进行机动方式的分布,最后采用二元LOGIT进行机动方式划分。

#### 3.2 非机动方式划分技术

居民非机动出行方式划分模型采用线性回归分析方法,模型的自变量选取土地使用混杂度和公交可达性两个指标。土地使用混杂度是指交通小区的居住人口与工作岗位的混杂程度,在中心区,土地混杂度较高,而外围则较低,这一方法体现出非机动出行主要集中在居住人口与岗位就地平衡性较好的区域,出行距离越大,相应的非机动方式比重就越小。以哈尔滨交通模型为例,土地使用混杂度公式如下:

$$MIXDIX = 4 \times (\text{pop} \times \text{emp}) / (\text{pop} + a \times \text{emp})^2$$

式中 pop——交通小区人口数;

emp——交通小区工作岗位数;

a——岗位当量数,为市域范围内人口总数除以岗位总数。

MIXDIX 取值在 [0, 1] 之间,当 pop = a × emp 时, MIXDIX = 1, 此时土地利用混杂度最大;当 pop = 0 或 emp = 0 时, MIXDIX = 0, 此时土地利用混杂度最小。

公交可达性指标有多种考虑方法,现标定采用比较常用的 Hansen 公式:

$$X_i = \sum_j F_j f(t_{ij})$$

$$= (\text{pop}_i + a \text{emp}_i) / \sum_j (\text{pop}_j + a \times \text{emp}_j) \times t_{ij} \times 1000$$

式中  $X_i$ ——交通小区  $i$  的公交可达性;

$F_j$ ——社会经济因子;

$f(t_{ij})$ ——出行时间函数,现取倒数;

$\text{pop}_i$ ——交通小区  $i$  人口数;

$\text{emp}_i$ ——交通小区  $i$  工作岗位数;

$t_{ij}$ ——交通小区  $j$  到交通小区  $i$  的公交出行时间,采用交通小区  $j$  至核心区内一些交通小区的公交出行时间;

a——岗位当量数,同上。

#### 3.3 机动方式多元 Logit 划分技术

多元 Logit 方式划分模型,主要引入公交(含轨道)、出租车和客车为竞争方式层,按照基于家上班出行(HBW)、基于家其他出行(HBO)和非基于家的出行(NHB)三种出行目的,输入各种出行目的的竞争方式出行分布表(PA表),输出公交方式、出租车、客车三种方式出行分布表(PA表)。

分对数 Logit 模型同步计算公交、出租车、客车三种方式的选择概率。根据选择行为理论,考虑各种交通方式的特性。公式如下:

$$PRO_k = \frac{\exp(U_k)}{\sum_k \exp(U_k)}$$

式中  $PRO_k$ ——第  $k$  种交通方式的选择概率;

$U_k$ ——第  $k$  种交通方式的效用函数。

效用函数代表交通方式的选择价值。与交通阻抗相似,各类交通方式的效用包括出行时间、换乘次数和出行费用。出行时间又分为车内时间和车外时间。效用函数公式如下:

$$U_k = a \times IVT + b \times OVT + c \times TRR + d \times FARE$$

式中 IVT——车内时间;

OVT——车外时间;

TRR——换乘次数;

FARE——出行费用;

a, b, c, d——标定参数。

### 4 客流需求预测模型技术

轨道交通客流预测模型应合理反映各环节出行成本和影响因素。符合城市交通特点的客流需求模型,具有以下功能:①分析土地利用与客流需求的空间关系;②合理预测远期公交出行需求、公交主要客运走廊形态和量级

关系；③综合评价线网方案的网络构架、交通功能和分担率。在模型应用中，结合城市总体规划和远景发展规划以及交通发展战略，重点解决如下技术难点：①总体规划年及远景年城市出行结构的合理发展目标；②对重要的越江设施，应进行轨道方式过江客运需求预测，与其他越江方式之间的协调；③初、近期客流特征预测；④方案比选阶段对线网构架思路的定性分析与客运效果的定量分析；⑤郊区组团远景与市区的客运需求预测。

#### 4.1 根据小汽车使用量确定未来机动方式合理比重

按照哈尔滨市特殊气候和地理条件，城市社会经济和人口规模的发展，虽然通过预测得到2020年哈尔滨市客车拥有量约在220~240辆/千人的水平，客车拥有量达到96万辆；远景年（2050年或之后），哈尔滨市的客车人均拥有量应不低于200辆/千人水平，客车拥有量可能达到160万辆左右。但是，人均拥有小汽车多少并不等同于其使用量是多少。随着远期车辆拥有量的增加，轨道交通设施的不断完善，城市小汽车的使用率和人均载客次数将有所下降。通过对哈尔滨市的综合交通发展战略的理解，确定了合理交通模式下哈尔滨客车出行量预测：未来居民客车方式出行比重控制在25%以下。

#### 4.2 体现公共交通优先政策和小汽车适度控制交通模式

未来交通方式结构的预测是以交通模型预测结果为基础，体现优先发展公共交通、适度发展小汽车和多方式并存的交通政策，在中心区以公共交通为主导方式，适度控制个体机动车和自行车出行，而在外围区及新城，适度提高个体机动车和自行车出行。同时综合考虑了其他主要因素：①道路设施容量所能满足的机动车正常使用量；②未来人员活动范围扩大带来的非机动方式逐步向机动化方式转移，及其在转移过程中公共交通的引导作用；③不同交通工具在不同出行时耗下使用的合理性。

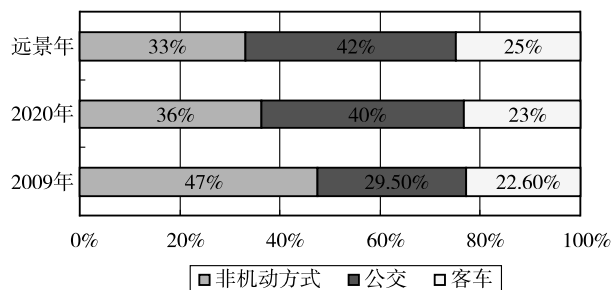


图1 哈尔滨市的合理交通方式结构

#### 4.3 注重越江交通多方式均衡分担

解决城市的越江交通问题，提供连接两岸便捷的多元化越江交通设施，是轨道交通规划方案的重要内容。哈尔滨“一江、两城”的规划思路，未来将形成密集的越江交通，给城市越江交通设施带来巨大的交通压力，仅靠越江道路交通设施无法承担江南、江北之间的交通联系，必须规划大容量的快速公共交通通道作为重要的越江方式承担越江出行。而对于越江交通方式划分的考虑，并不能单纯地从轨道交通规划的角度去衡量，更多的应该立足于城市的综合交通规划。根据哈尔滨综合交通规划，2020年将规划10条机动车越江设施。因此，对越江交通的方式划分是建立在已有道路设施供给的情况下，确定轨道交通通道的需求量，从而确定越江交通方式结构。

2020年及远景年哈尔滨越江交通结构预测 表1

指标	轨道交通	公共汽车	社会客车	合计
2009年越江出行方式结构	—	27%	73%	100%
越江出行量（万人次/日）	—	3.2	8.6	11.9
2020年越江出行方式结构	23%	32%	45%	100%
越江出行量（万人次/日）	26	37	51	114
远景越江出行方式结构	42%	13%	45%	100%
越江出行量（万人次/日）	86	27	90	203

#### 4.4 把握新城及郊区组团与中心城交通联系

如何支持和服务城市多中心、组团式均衡发展，中心城与郊区新城一体化发展，是轨道规划布局需研究的内容，市通郊轨道走廊的确定在很大程度上依赖于交通需求的发展预测。根据城市远景发展规划，远景年城市外围地区将形成五个重点开发区域，分别是呼兰新城、阿城新城、天恒新城、空港新城、对青组团。在预测哈尔滨外围郊区组团和新城与市区的公交联系时，更多地考虑到郊区组团生产与生活相平衡、成规模开发及具有城市功能的特点，采取了郊区交通量就地平衡的基本原则，用三维约束的方法控制了郊区进市区的交通比例，郊区组团内部出行比重要比高，而与市区的交通联系相对更弱些，反映出新一轮的总体规划对外围郊区实行“功能集中和完善”的规划开发意图。

## 5 客流预测技术在轨道交通规划中的应用

### 5.1 轨道线网规划层面的应用

#### (1) 主要客运走廊识别技术

一直以来,线网架构多采用传统的“面”、“线”、“点”多层次分析方法,采用的是以定性分析为主,定性分析和定量分析相结合的方法为预测手段,对线网架构所发挥的作用较有限。随着城市用地布局和空间结构的调整,城市的公交客流主流向、流量等也随之发生相应变化,而用“蛛网”客流分配技术来寻找客流主流向和客流走廊,则能更好地将客流预测技术应用于线网架构过程。

“蛛网”客流分配技术是将交通小区的形心点相连接,形成交通阻抗和容量完全相同的虚拟边,构成一个虚拟空间网络,称为“蜘蛛网”。以建立的“蛛网”为交通网络进行客流出行分配,找出城市客运的主流向和客流走廊,基于这些客流走廊规划轨道线路。这一方法突破了传统基于道路的规划思想,摆脱现有道路设施的约束。

以哈尔滨为例,公交客流空间分布已从过去主要集中在松花江南岸的主要客流走廊上,转变为跨越松花江,在两岸主城区内显示很明显的“六角形”客流主流向分布形态,特别是越江客流量成倍增长,城市向西面的群力新区、哈西枢纽地区,向南面的平房、动力、阿城,向东面的哈东、团结等地区的客流通道规模也都有明显的增长。而这些客流通道受松花江、铁路等的影响,与中心区的联系如果单一依靠道路交通进行联系,是不足以承载上述客流负荷的,因此在线网布设上应从通道走向、通道数量上对以上主要客流走廊予以优先考虑。

从主要客流走廊上来看,大直街、中山路、三大动力

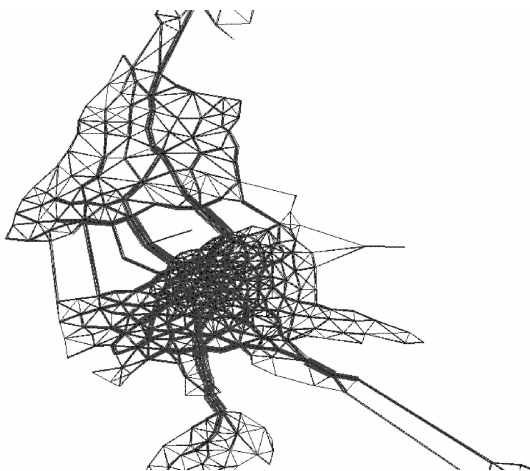


图2 远景年蛛网分配图及远景轨道网规划图

路、纽约路、尚志大街、和兴路等主要客流走廊的客流量级处于较高水平,最高断面流量(双向)处于20~30万人次/日,局部达到40万人次/日。图3所列客流走廊均为全市最主要、客流规模最大的主要走廊,因此也是轨道线网布局需要重点考虑填补覆盖的线位走向。

#### (2) 比选方案优化技术

因方案优劣比选评价的需要,需要从改善城市交通和客运效益角度提出一套评价指标集,对轨道比选方案进行远景年的客流测试与评价,明确轨道网络服务的主要公交客运走廊和量级关系,综合评价线网方案的交通功能和客流分担率。测试所用的其他条件(道路网、地面公交网和公交需求、分配参数)等完全一致,旨在比较轨道网络在交通效果上的差异。

在方案客流预测评价时,选取客运量、客运周转量、出行分担率、平均运距、客流强度、枢纽换乘量、断面流量等网络和线路的主要客流指标,注重“线”在“网”中的功能定位和客运指标分担比例分析,保证了预测结果的合理性和可信度。

#### (3) 线网方案评价指标全面综合反映优化方案客运效果

线网层面,客流预测主要是支撑对城市轨道交通线网规划方案系统评价的客流分析,在给定远景年城市规模、形态以及城市交通出行分布模式下,对比分析远景各线网方案布局的合理性,从而为确定最终轨道交通线网方案以及优化其布局提供定量的分析依据,其关注的指标主要包括线网客流指标和线路总体客流指标。

线网客流指标主要包括:轨道交通远景线网承担的客运总量及在公共交通总量中的分担比例、平均运距、客流

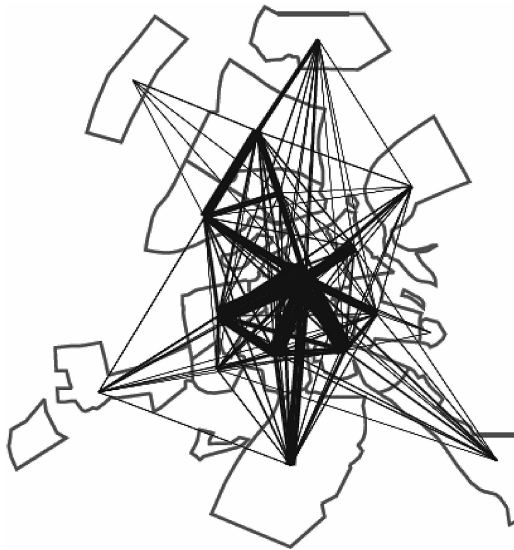


图3 远景年哈尔滨市公共交通出行主流向图

强度等相关指标，以及网络换乘枢纽换乘量，从而判断线网对于城市发展的适应性和对城市交通所发挥的作用。

线路客流指标主要包括：各条线路的全日客流总量、分段断面流量、平均运距、客流强度、高峰小时单向最大断面流量。线路的客流指标能够反映线网中不同线路的功能层次，确定不同线路的制式选择及运营组织方案，框定所需要的站场规模。

运用客流预测技术重点考虑方案在客运交通系统中承担的客运量比例、吸引中长距离出行的比例、线路客运效益等方面的优劣。同时，结合城市总体规划提出了基本轨道线网方案，为轨道交通近期建设规划提供稳定的轨道网络环境。

以对哈尔滨远景线网的客流评价指标的预测分析为例，得到了以下结论。

①与城市总体规划相融合：线网的客流分布均衡，规模合理，与城市总体规划相适应，有利于城市的远景发展。

②轨道交通骨干地位基本确立：通过对远景年方案全网成形后的客流测试分析，全天轨道客流量达到 603 万人次，占公共交通总运量的 31%；轨道客流强度达到 1.77 万乘次/日公里；轨道交通客流乘距 10km/乘次，为地面公交 4~5km/乘次的 2 倍多，表明主要承担中长距离出行；全市出行结构得到优化，轨道交通出行占公交总运量的 43%，轨道交通的骨干作用基本确立。

③线网功能层次清晰：从整个主城区的轨道交通线网布局来看，主要服务于中心区的 1 号线~6 号线这六条线路契合了城市主要客流走廊，其运量等级在 60~100 万人次/日、客运强度在 1.8~2.8 万人次/公里·日，高峰高断面在 2.6~3.9 万人/高峰小时，为整个轨道网络奠定了良好的基础。7~10 号线作为服务于外围组团的辅助联络线及都市区级考虑的辅助线路，其运量等级、客流强度相对较低。

通过上述线网规划层面的三类分析，客流预测技术很好地支撑了轨道交通线网布局与哈尔滨市总体规划和综合交通发展战略的匹配和协调。

## 5.2 轨道近期建设规划层面的应用

近期建设规划层面，客流预测主要用于分析合理的建设规模和线路建设时机，对建设线路进行效益评价。因此，侧重于对建设方案的分析及建设方案涉及线路的单线

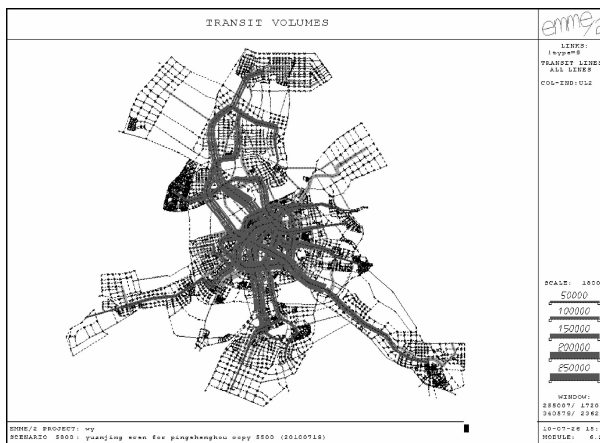


图 4 远景年线网客流断面量示意图

分析，单线客流的预测主要包括四个方面：全日客流、分时段客流、平均运距、客流强度，这些预测数据用来支撑规划的基本规模。

这一层面进行的预测需要保证客运总量达到建设年份城市发展的总量控制，关注各条线路受到建设线网的总量控制，近期建设线路的正确选择应该从以下四个方面进行考虑：

①线与网的总量平衡：必须核对每条线路日运量之和与线网日运量控制总量的吻合。

②线与网的比例协调：每条线路的日客流比例（占全网客流总量的比例）和长度比例（占全网的长度比例）应与线路定位相对应。

③线与网的强度匹配：将每条线路的客流负荷强度与全网的客流负荷相比较，结果应与全网的客流负荷相对应。

④线与线的相对比较：最大断面客流量和客流强度应该与其在线网中所处的位置和功能相适应。

从以下的表 2 及表 3 涉及的哈尔滨市近期建设规划方案客流预测中，从每一条规划建成线路及线网的总量可以看到，线网总客流量及线路总客流量呈现逐年上升趋势，客流强度也在不断地提升，说明初期建设选择的项目是合理的。同时，各条线路的客运量与其在线网中所占的比例、所承担的功能、服务的沿线用地人口和岗位也相适应。

哈尔滨市近期建设线网客运总量控制表

表 2

特征	2020 年	2030 年	2045 年
轨道交通线网长度 (km)	74.6	184.8	341.4
常规公交日客运量 (万人次/日)	703.74	640.93	702.28

续表

特征	2020 年	2030 年	2045 年
地铁日客运量 (万人次/日)	135.83	324.97	578.53
公交日客运量 (万人次/日)	839.57	965.90	1280.80
地铁平均运距 (km/乘次)	9.73	9.52	10.04
地铁换乘系数	1.17	1.29	1.44
公交出行换乘系数	1.43	1.39	1.31
地铁客流强度 (万人次/km × 日)	1.82	1.76	1.69
地铁占公交出行结构比 (%)	20%	35%	43%
地铁平均乘车时间 (分钟/乘次)	16.41	16.23	17.35

哈尔滨市各年限近期建设线路客流预测指标汇总表

表 3

		线路长度 (km)		线路全日客流			高峰小时			
				日运量 (万人次)	客流强度 (万人次/km)	平均运距 (km/人次)	高峰断面 (万人次/小时)	全线高峰客流 (万人次/小时)		
2020 年	1 号线	29.0	38.9%	49.69	36.6%	1.71	11.53	2.86	9.83	37.0%
	2 号线	25.6	34.3%	44.94	33.1%	1.75	9.65	2.55	8.53	32.1%
	3 号线	20.0	26.8%	41.19	30.3%	2.06	7.65	2.23	8.19	30.8%
小计		74.6		135.83		1.82	9.97		26.55	
2030 年	1 号线	38.5	20.8%	72.66	22.4%	1.89	11.65	3.52	14.42	22.8%
	2 号线	25.6	13.9%	65.80	20.2%	2.57	8.97	3.31	11.82	18.7%
	3 号线	37.5	20.3%	85.00	26.2%	2.27	7.90	2.66	16.67	26.4%
	4 号线	16.5	8.9%	14.63	4.5%	0.89	6.03	1.12	2.93	4.6%
	5 号线	27.8	15.0%	41.31	12.7%	1.49	12.55	2.80	8.26	13.1%
	6 号线	25.6	13.9%	34.89	10.7%	1.36	9.01	2.13	6.98	11.0%
	7 号线	13.3	7.2%	10.68	3.3%	0.80	6.12	0.92	2.14	3.4%
小计		184.8		324.97		1.76	9.52		63.22	
2045 年	1 号线	38.5	11.3%	73.12	12.6%	1.90	11.63	3.75	14.5	12.6%
	2 号线	44.8	13.1%	83.95	14.5%	1.87	11.79	3.50	15.99	13.9%
	3 号线	37.5	11.0%	101.30	17.5%	2.70	7.32	3.23	20.37	17.7%
	4 号线	42.5	12.4%	80.79	14.0%	1.90	8.97	2.57	16.16	14.0%
	5 号线	43.2	12.7%	77.79	13.4%	1.80	12.77	3.27	15.56	13.5%
	6 号线	33.2	9.7%	59.91	10.4%	1.80	8.71	2.99	11.98	10.4%
	7 号线	24.0	7.0%	24.63	4.3%	1.03	7.19	1.42	5.08	4.4%
	8 号线	27.5	8.0%	32.83	5.7%	1.20	8.80	1.67	6.57	5.7%
	9 号线	28.4	8.3%	24.01	4.2%	0.84	10.00	1.81	4.8	4.2%
	10 号线	21.9	6.4%	20.19	3.5%	0.92	13.87	1.57	4.04	3.5%
小计		341.4		578.53		1.69	10.13		115.05	

### 5.3 敏感性分析的应用

敏感性分析用于对轨道交通客流预测前提条件的不确定性和波动性进行分析,把握预测结果的可能变化幅度,使得预测结果有较高的可信度。客流预测敏感性分析的因素通常包括人口预测值、公共交通比重、票价等影响因素。每个影响因素发生变化时,轨道客流量就会产生一定的波动,可预测到轨道客流的波动范围。

通过对哈尔滨近期建设线路初期及远景年的客流敏感性组合分析,可以得到以下一些结论:

①公共交通比重带来的客运量变化,具有较明显的全

局性影响,在各条线路上保持较一致的影响幅度。

②城市用地开发的影响,对线路的影响与线路的位置相关性较大。城市人口向外疏散的实际力度没有达到规划预期的目标,导致位于中心区的线路客运量上升。联系中心区和外围的线路,因外围区段客运量下降,从而影响全线的客运规模。

③票价因素的影响,对于不同类型的出行影响不同,对长距离出行的影响程度较小,对短距离出行影响较大。当票价上升时,对哈尔滨市的3号环线客流影响最大,因为其承担的多为短距离出行,而1、2号线则受影响程度较小。

轨道客流预测敏感性测试结果汇总表

表 4

年份	方案	比例变化							
		客运总量				高峰高断面客运量			
		1号线	2号线	3号线	7号线	1号线	2号线	3号线	7号线
2020年	外围组团人口达到规划预期80%	-5%	-2%	4%	/	-1%	-4%	4%	/
	公交方式比重下降5%	-13%	-9%	-9%	/	-10%	-10%	-9%	/
	轨道票价上涨50%	-9%	-15%	-19%	/	-13%	-8%	-12%	/
	方案组合	-27%	-25%	-23%	/	-23%	-20%	-16%	/
远景年	外围组团人口达到规划预期90%	0.2%	-0.6%	4.3%	-2.6%	-1.1%	-1.2%	2.5%	-1.9%
	公交方式比重下降5%	-9.6%	-9.4%	-9.0%	-9.6%	-9.4%	-9.3%	-8.7%	-9.0%
	方案组合	-10.2%	-10.7%	-5.9%	-12.7%	-11.3%	-11.2%	-7.2%	-11.6%

## 6 结语

轨道交通正处于快速发展时期,如何根据城市总体规划和综合交通规划,编制好轨道交通规划是一个值得深入研究的课题。其中科学合理地建立土地利用与交通需求的预测模型,提高客流预测的可信度,使之在轨道交通规划各个阶段,对轨道线网的架构、规模、效益的分析中发挥作用,使轨道交通网络规划更加符合城市的发展,并促进城市的发展,是需要在不断的实践中进行经验总结,技术革新及探索的。

### 参考文献

- [1] 沈景炎.城市轨道交通客流预测内容 and 应用 [M] //中国建  
筑学会城市轨道交通分会. 1998-2008年全国城市轨道交通  
优秀论文集. 北京:中国工业出版社, 2009.
- [2] 陈必壮,王忠强.上海市轨道交通客流预测理论方法研究  
[M] //中国建  
筑学会城市轨道交通分会. 1998-2008年全国  
城市轨道交通优秀论文集. 北京:中国工业出版社, 2009.
- [3] 陈必壮,王忠强.城市轨道交通客流预测参数的研究 [R].  
上海市城市综合交通规划研究所, 2007.
- [4] 陈必壮.轨道交通网络规划与客流分析 [M]. 北京:中国建  
筑工业出版社, 2009.