

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位置的混杂程度,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;

pop_i ——交通小区 i 人口数;

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。

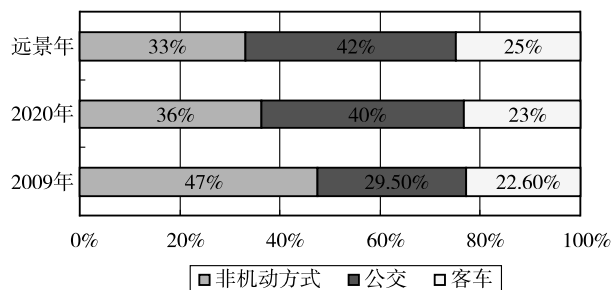


图1 哈尔滨市的合理交通方式结构

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，中心城与郊区新城城镇一体化发展，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 and 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

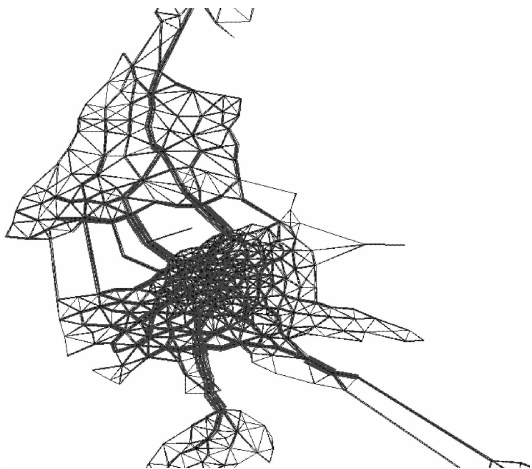


图2 远景年蛛网分配图及远景轨道网规划图

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

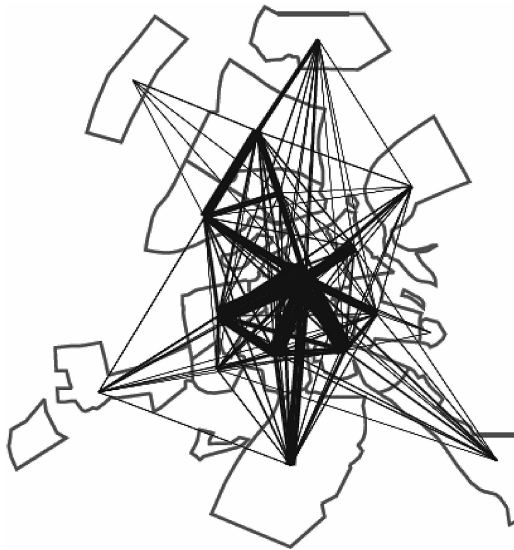


图3 远景年哈尔滨市公共交通出行主流向图

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

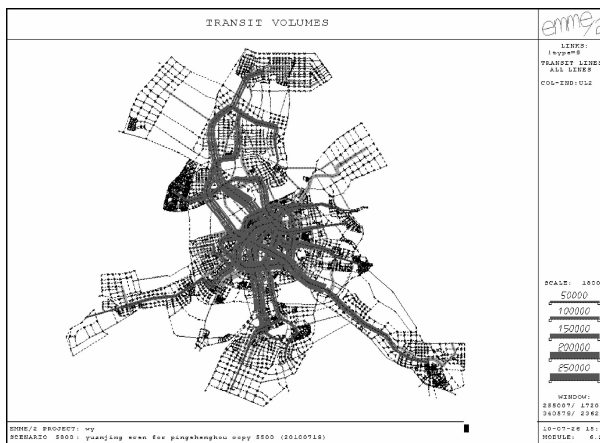


图 4 远景年线网客流断面量示意图

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: 中国建筑工业出版社, 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: 中国建筑工业出版社, 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.

动态交通分配在通往金门大桥南侧的多伊尔大道上的快速应用和检验

Rapid Implementation and Validation of Dynamic Traffic Assignment in the Doyle Drive Corridor, the Southern Approach to the Golden Gate Bridge

Elizabeth Sall Ido Juran
Michail Xyntarakis Michael Mahut
Billy Charlton Michael Florian
Shane Velan 文 邵玲 译
曹娟娟 潘海啸 审校

快速应用和检验
动态交通分配在通往金门大桥南侧的多伊尔大道上的

【摘要】 本文描述了在多伊尔 (Doyle) 廊道上动态交通分配的应用, 并提出了一个评价动态交通分配能力的框架, 可根据现场条件复制调整。

【关键词】 动态交通分配 DTA 运用

Abstract: This paper documents the rapid implementation of Dynameq DTA in the Doyle Drive Corridor, and proposes a framework to evaluate the ability of this DTA to replicate field conditions.

Keywords: Dynamic Traffic Assignment, DTA, Application

Doyle 路是南侧通往金门大桥的一条 2 英里长的大道。平日大约有 1.7 万公交乘客和 12.7 万小汽车使用者通过这条路, 它既是连接旧金山和北部湾的主要高速公路和公

交纽带走廊, 也是旧金山内部交通的主要东西向联系通道。Doyle 路建于 60 年前, 是加利福尼亚抗震等级最低的道路, 从 20 世纪 70 年代开始, 人们已经开始计划建设其他道路替代它。

终于, 2009 年的美国复苏与再投资法案 (ARRA) 解决了资金空缺的部分, 法案促成了 EIS/EIR 最终合并的签署和生效。于是, 为满足法案的要求, 建设的日程显著加快。这使得旧金山郡交通局 (SFCTA)、加州交通局和其他当地代理商合作伙伴, 几乎没有时间来评估新 Doyle 路 (命名为 Presidio 景观道) 建设带来的交通影响。

由于在建设可能带来的潜在瓶颈及拥堵, 旧金山郡交通局决定在此城市区域中使用动态交通分配 (DTA) 的方法。本文描述了在 Doyle 廊道上动态交通分配的应用, 校准的挑战, 检验的统计, 以及运行次数和计算机资源。此外, 由于截止至 2010 年 2 月, 一些建设方案已排上日程, 本文提出了一个评价动态交通分配能力的框架, 可根据现场条件复制调整。

1 网络描述

Doyle 廊道网络是旧金山郡的一部分, 从西海岸延伸

作者: Elizabeth Sall, 旧金山运输局

Ido Juran, INRO

Michail Xyntarakis, 美国柏诚公司

Billy Charlton, 旧金山运输局

Michael Florian, INRO

Shane Velan, INRO

译者: 邵玲, 同济大学建筑城规学院硕士研究生

审校: 曹娟娟, 吴宋美加设计咨询 (上海) 有限公司
潘海啸, 同济大学建筑城规学院教授

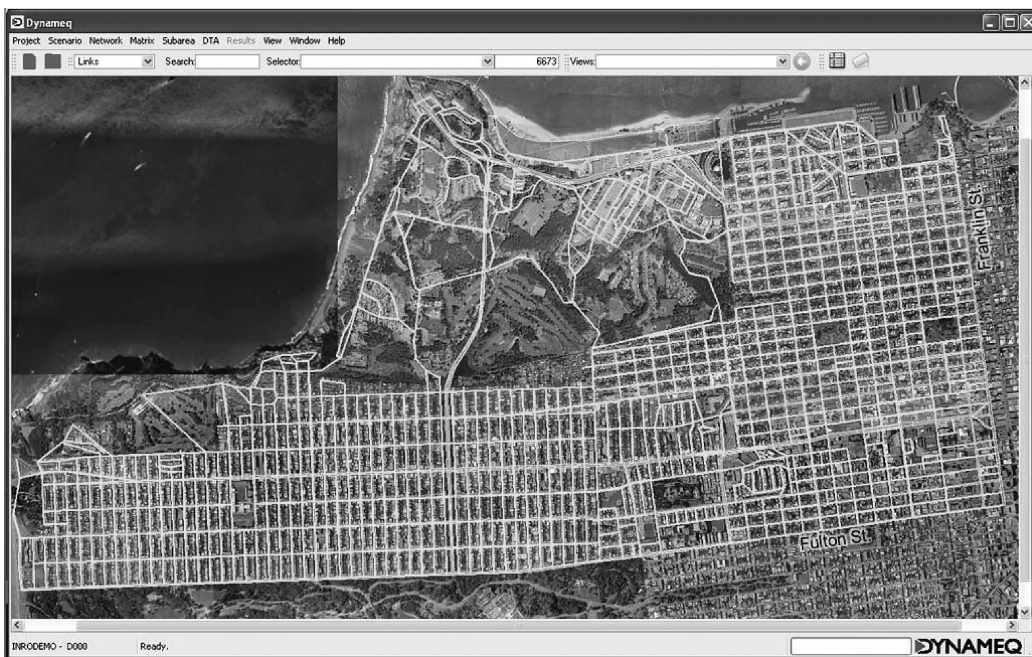


图1 Doyle路动态交通分配网络

至凡内斯大街。它北接金门大桥，南临富尔顿街，包括了200个内部区和60个外部区，在晚间3小时高峰期中，产生机动车出行需求量为16万。区域内大约有3000个节点，7000个路段，和240个信号交叉口。如图1所示，这个丰富的网络包括两个有限交叉口的通道设施（US 101，也被称为Doyle路；和CA 1，也被称为Presidio公园大道或老兵大道），Presidio国家公园内多条田园道路，向西停牌控制的低流量城市道路，以及向东协调信号的高流量城市道路。

2 方案描述

Doyle路研究小组首先关注于网络状况的评估，它反映了建设中两个截然不同的阶段。方案1反映了2010年初至2011年的网络状况，方案2反映了2011年初、2012年至建设完成的网络状况。当小组评估其他方案（如CA-1

东侧Doyle路周末完全关闭的情况）时，得出的结论不在本文中讨论。

图2显示了基础情况的变化和方案1的状况。变化在以下方面：

- ①CA-1北行至US-101南行匝道关闭。
- ②US-101北行至CA-1南行匝道关闭。
- ③林肯大道部分段关闭（如图2所示）。
- ④克里菲尔德大街关闭。
- ⑤构建计算与集中区域（在关闭的林肯大道附近）相关的高峰小时平均货车载荷交通量。
- ⑥增加沿Doyle路的道路设施的响应系数来计算拥堵时每位驾驶员查看周围情况的效应，使得每条车道每小时的通行能力低于1600辆小汽车。

图2显示了方案1与方案2间的变化，它们是：

- ①CA-1北行至US-101南行开放。

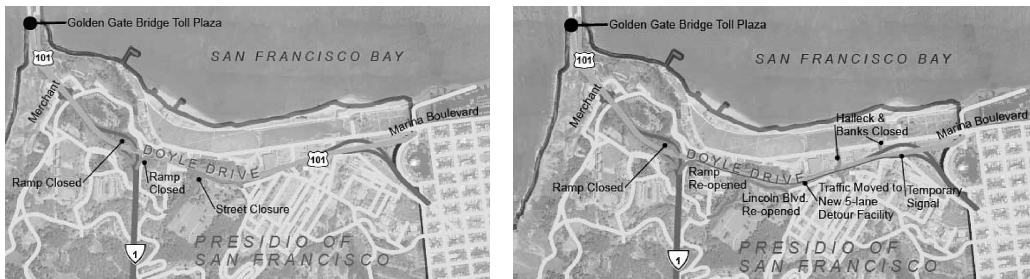


图2 Doyle路项目范围——方案1（左）和方案2（右）

②US-101 上 CA-1 东侧段交通移至 5 车道的临时便道设施。

③关闭 Halleck 和 Banks 路。

④林肯大街再次开放。

⑤在滨海大道和临时便道设施之间，设置临时信号灯。

⑥此时间段内，建设量增加带来的货运量增加。

除这两种基准方案以外，团队还评估了需求总量提高 15% 时的网络状况，这主要是考虑到此区作为旅游繁忙地区交通需求的季节性变动。

3 需求矩阵

晚高峰 3 个小时的小汽车和货车的断面矩阵来源于旧金山郡交通局区域出行需求模型 (SF-CHAMP)，选取自其中 Doyle 路研究区域的部分。O-D 矩阵经过了修正从而①说明 2005~2009 年间需求的变化，②最小化出行次数和需求模型计数之间的差异。这个过程排除了 SF-CHAMP 与动态交通分配模型之间的直接联系，符合项目短期的需要。这个矩阵修正的过程中，使用了近年来各研究中统计的主线和转弯的交通量，交通量是指研究区域内和主要交通走廊上的流量。交通量的位置可以帮助我们定义路网的边界。流量统计按 15 分钟记：3 小时的晚高峰时段 74 条主线上的当量小汽车流量，以及 3 小时晚高峰时段中的 2 个小时中 700 个转弯的当量小汽车流量。在 Emme 出行需求预测软件中，修正后的需求矩阵更适合反映 3 个小时的集中流量。

4 校核

经过 Emme 软件的修正后，在 Dynameq 动态交通分配软件包中对需求矩阵执行分配过程计算，并对分配结果进行校核。精细化的路网构建和对主要走廊选定路段的分析能帮助我们理解路段上的分配流量和调查流量之间差异生成的原因，比如是由于个别 OD 对的输入需求过高或过低，或者是路网本身存在的错误。

对使用路径的分析结果显示出行者对到达金门大桥和 Dolye 路的替代转弯的过度使用。过量转弯带来的拥堵导致疏通路网需要很久的时间。左转和右转则考虑使用广义的 DTA 成本作为惩罚，以此来计算出行者选择更直接的路径的倾向，尤其是在类似本方案的密集网格路网中。从行为上看，驾驶者对于路径选择成本分析中，可以解释为要考虑到安全和可靠性。根据经验，这项分析获得了改进的验证措施的支持。

下午 4 点至 5 点，预测流量与实测数最为接近，而 5 点至 6 点吻合度则较低。当地的评价指出（这是由于）车速过高，拥堵太快得到了清除。在主要廊道上，自由流速由每小时 30 英里被降至 27.5 英里，增长了驾驶员的反应时间。这增进了 5 点至 6 点预测流量和实测值的吻合度。

在发车间隔为 15 分钟的情景下，校核后的 DTA 模型的最大相对误差为 4%，平均的相对误差为 2.4%（图 3），这说明结果达到了近似动态平衡状态。主干路和转弯的流量和校核后的流量的回归线的斜率近似为 1.00 ± 0.03 ， R^2 在 92%~95% 之间。

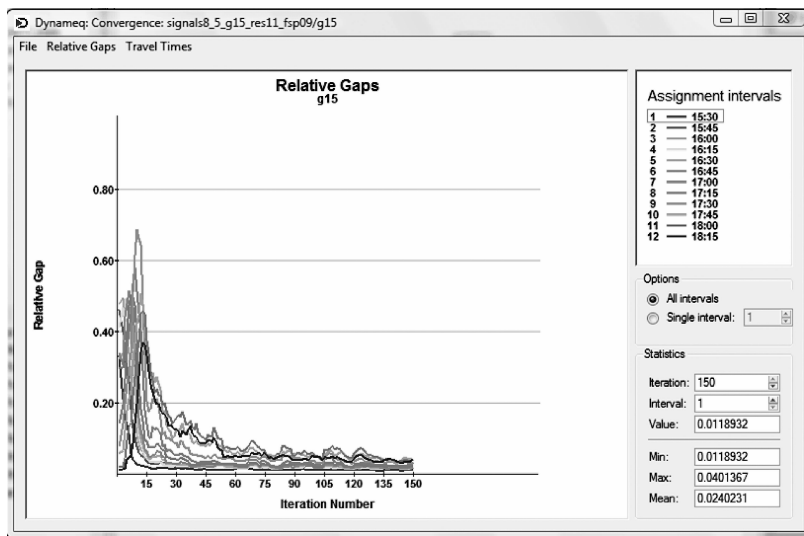


图 3 相对差异

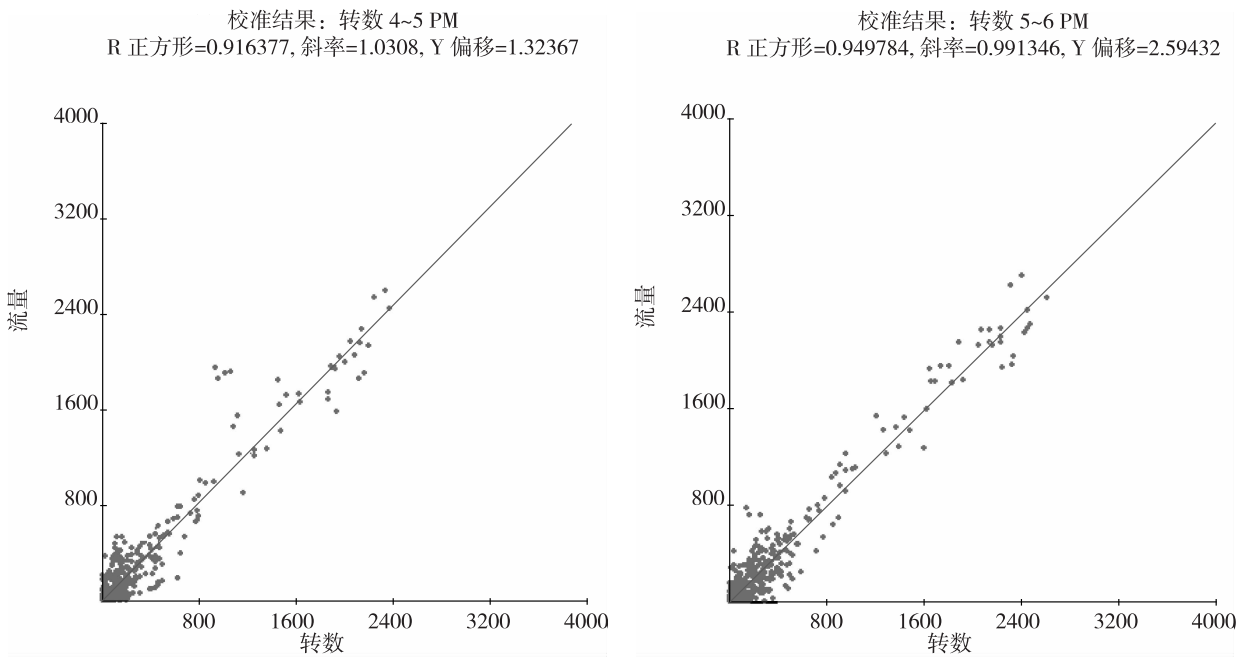


图4 交叉口计数与流量

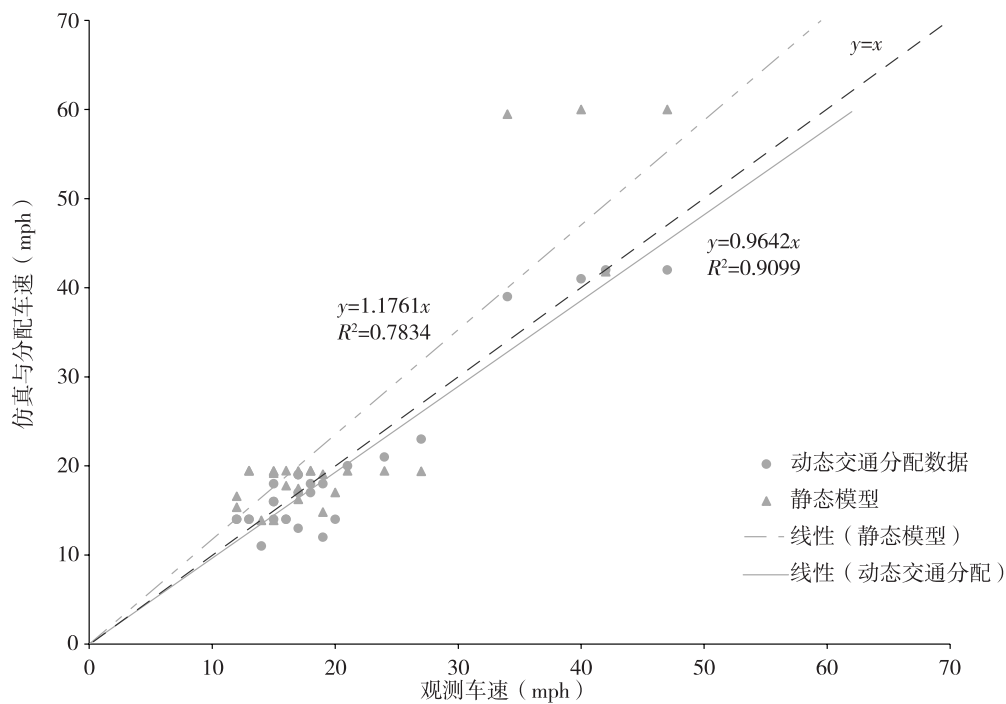


图5 研究区域内，仿真与分配的道路车速与观测值的对比

5 验证

将模型计算的结果与旧金山交通委员会于2009年4

月在服务水平监测时观测到的27条线路从下午4点半至6点的流量作比较。这些路线的平均出行距离为1.5英里。将观测的出行时间平均值与模拟的出行时间进行比较。全部27条道路的回归如图5所示，斜率为0.96，拟合度达91%，沿主要廊道受即将建设的影响，斜率为0.98，拟合

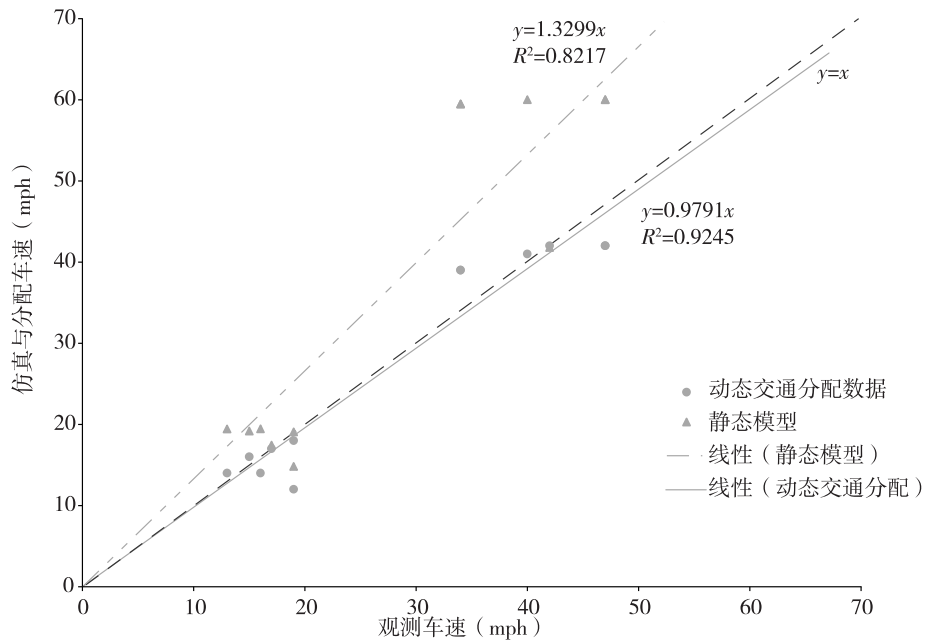


图6 研究区域内，模拟与分配的主要道路车速与观测值的对比

度达92% (图6)。

除了表达动态交通分配模型以外，上述图表还与相同廊道上 SFCTA 已有的静态分配算法得出的计算车速进行了比较。该比较使用了 DTA 分配时采用的晚间高峰时段出行表格 (调整过) 及一个相同的网络 (唯一不同的是 DTA 使用了更多的网络变量)。静态分配运行结果为 0.004 的相对误差。总体来说，静态模型中显示的车速较观察值更高，反映为所有道路的斜率为 1.18，主要道路的斜率为 1.3。静态模型的拟合度为 78% 和 82%，表现也不如 DTA 模型。

6 资源

6.1 项目时间表和工作水平

本节将提供一些数据点，希望这些数据点对其他从业人员有所帮助。本研究最本质的特征之一是从网络的转换到不同方案的运行，所有的工作都在短短两月内完成 (从 8 月 20 日至 10 月 20 日)，其中包括了校准与需求调整 (耗时 3 周)。该项目由两个全职人员完成。显然，本可以花更多的时间用于完善校准，然而，Doyle 路的建设于 11 月破土动工，因此，时间十分紧迫。后续研究将展开，观察当投入更多的时间或精力时是否可以提高校准。

6.2 电脑资源

方案的运行是在 3.3GHz Nehalem Xeon 处理器的电脑上完成的。表 1 总结了各种方案及它们在 Dynameq 动态交通分配中完成 150 次迭代 (for 150 iterations) 的运行时间。模拟中，方案 1a 和 2a 的机动车辆出行高出 15%，从而在运行时间上约高出 11%。由于加入了网络拥堵，方案 1 和 2 只比基准情况多花了 3% 的时间。

Dynameq 计算时间比较

表 1

机动车辆方案	平均值 相对误差	最大值 相对误差	运行时间 (分钟)	每个循环 运行时间 (分钟)
160,946 基准	2.5%	5.1%	279	1.9
160,946 1	3.4%	6.3%	288	1.9
185,030 1a	5.5%	10.2%	319	2.1
160,946 2	3.4%	5.8%	289	1.9
185,030 2a	6.1%	10.9%	319	2.1

在 AMD 2050GHz Opteron 配置的电脑上，使用相同的需求表格和路网执行静态高速公路分配过程，经过 24 次的迭代达到相对误差小于 0.004 的标准，只需要 15 分钟 (平均 38 秒一次迭代)。

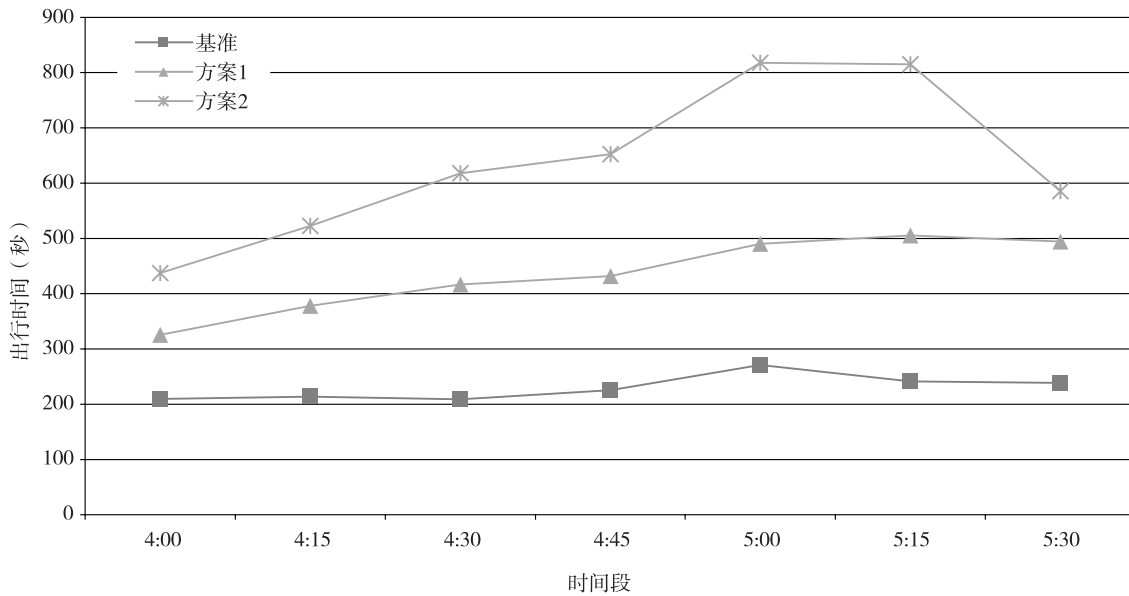


图7 从金门大桥至道 Park Presidio 和 Geary 的出行时间差异

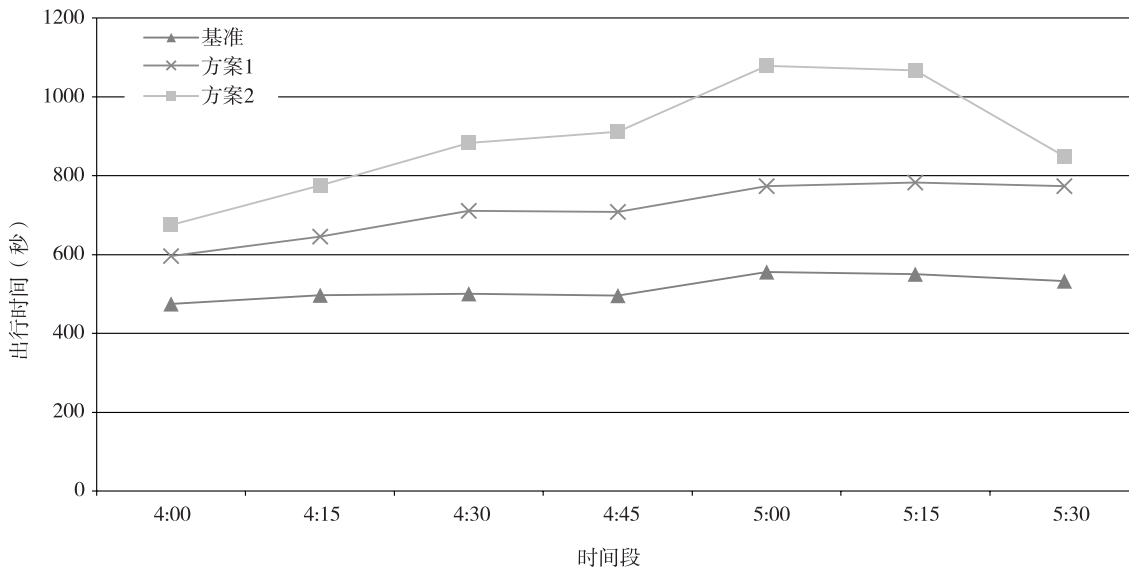


图8 从金门大桥至道 Lombard 和 Franklin 的出行时间差异

7 结果

下面一节将讨论我们从动态交通分配模型中摘录的一些结果。请注意，这里所有展示的结果都仅为初步工作。

出行时间对于廊道东部和南部的影响如图7、图8所示。在下午的平均值中，方案1的出行时间较基准情况多出3分钟，方案2则多出6分钟。随着时间的推移，出行时间增长的差异不断加大，同时，越来越多的车辆载入网络。

除了对于出行时间影响的一般考虑，Doyle路建设的

参与方有3个非常具体的关注问题，列举如下：①将有更多的车辆穿过金门大桥访客停车场么？②当便道开放时（在方案2中），将有一个左转入滨海大道的信号灯，这个信号灯如何运作？③Doyle路改行引起的交通流，会对Geary大道（一个主要的东西向公交线）的公交运营者带来负面影响么？

金门大桥停车场连接至收费广场下的一个通道，通往林肯大街。一旦旧金山内部坡道被关闭，它将是众多可能的穿行道路中的一个。然而，穿过停车场的交通绕行仍让人担忧，有以下两个原因：①停车场有很多的步行活动；

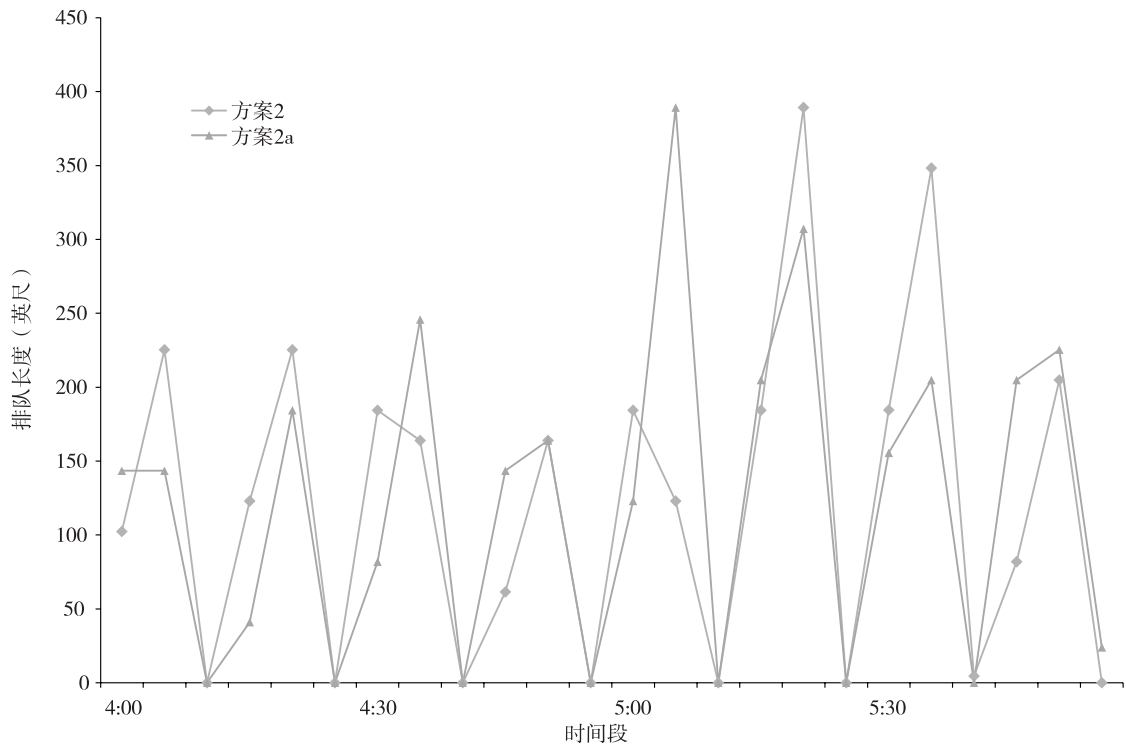


图9 Doyle 便道上设置临时信号灯时，南行左转的排队长度

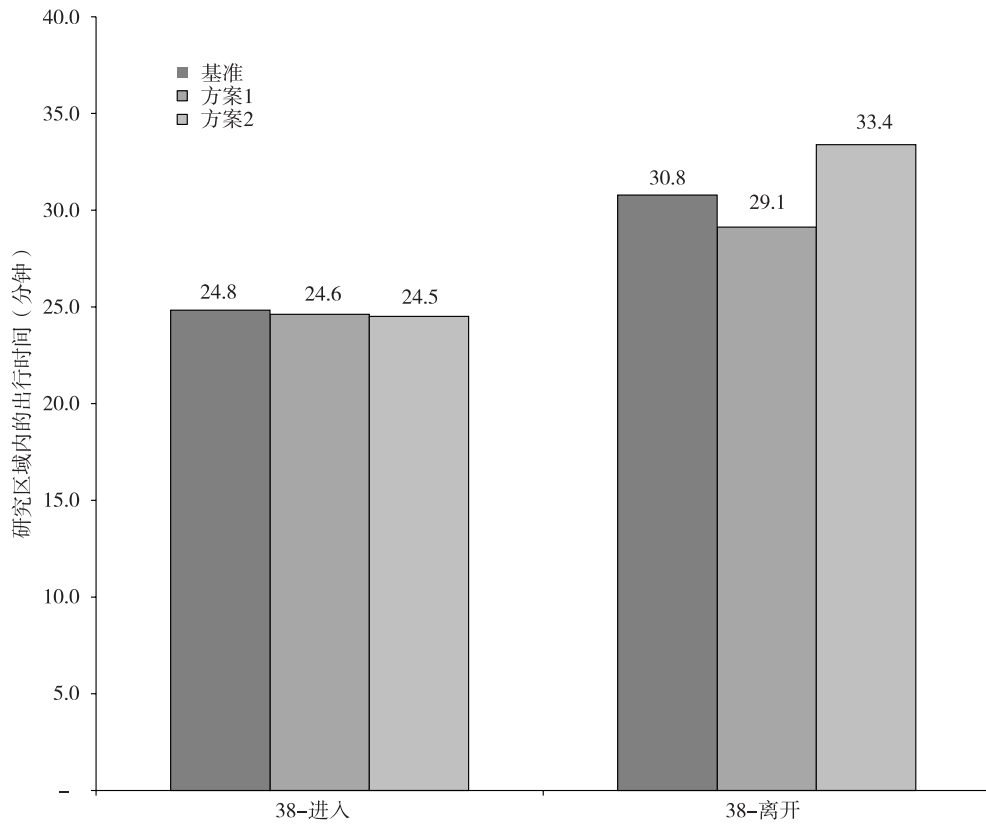


图10 出行时间对于 Geary -38 公交线路的影响

②停车空间很小（如果有的话），停车场的任何排队都有可能很快溢回，影响 U. S. 101 上主要线路的运行。使用 DTA 初步分析显示，穿过停车场的流量将不会因为 Doyle 路的建设而改变，结果中这条通道的小时流量依然保持在每小时各方向 15 辆。而这个通道不作为便道的原因是其他便道已有足够的容量以满足需求。

分析小组通过总结全部左转排队长度，并将其与便道（pocket lane）的总排队容量（823 英尺）进行比较，以检验从 Doyle 路绕至滨海大道时，临时信号灯的排队容量。上图 9 显示，U. S. 101 上南行等候左转入滨海大道的队列从未达到 823 英尺的存储容量。然而，值得注意的是，该分析针对的是下午高峰期，以及 U. S. 101 南行的早高峰。当早间校核完成后，对于该信号灯的进一步研究将展开。

研究区域内，在各种情境下，主要公交线路出行时间的差异是最小的，从而减轻了关闭匝道可能对公交产生显著影响的顾虑。Geary 的公交线路经过了仔细的考虑，因为匝道关闭后，由于客流的转移，Geary 线预计将成为一个很受欢迎的选择。图 10 显示了研究区域内，公交出行时间基本保持不变或者有所改善（在方案 1 和 2 的动态交通分配模型中）。由于考虑的是晚间高峰，38 - 离开的公

交线出行时间较 38 - 进入的公交线出行时间约长 5 分钟。

8 下一步

本文的最后，将汇编其他的结果以解决所有参与方的顾虑。本研究可以进一步扩展，通过现场调查数据来检验方案测试的结果。在整个项目的过程中将不断收集现场数据，今年冬天，即可用于方案 1 的检验。检验的数据除总量外，预计还将包括观察到的出行时间和公交出行时间。

9 结论

总之，我们已经证明了在几个月内实施并应用这样尺度的 DTA 模型的可行性。更重要的是，旧金山交通委员会使用该工具箱解答了 Doyle 路的利益相关者的疑问和疑虑。这些利益相关者参与到模型开发的过程中，熟悉整个方法以方便成功追加投资。模型开发过程的快速完成，旧金山交通委员会可以和利益相关者快速构建并测试针对那些临时拥堵地区（由于建设而造成拥堵）的多个补救方案。

快速道路交通运行状况实时分析及短期预测的动态交通仿真模型研究

The Research on Dynamic Traffic Simulation Model about Expressway Traffic Real-Time Analysis and Short-Term Forecasting

周溪召 智路平

快速
道路
交通
运行
状况
实时
分析
及
短期
预测
的
动态
交通
仿真
模型
研究

【摘要】 本文以上海延安高架快速路为典型研究对象, 建立有效的动态仿真模型对快速道路交通运行状况进行实时分析及短期预测。研究以延安高架路各匝道口为出行起讫点, 以滚动式动态 OD 预测法生成动态 OD 矩阵; 将生成的 OD 分配到路网上, 形成对道路交通运行状况的实时模拟, 及路径走行时间的短期预测。将生成的实时及预测数据导入 AIMSUN 快速路交通运行状况实时模型进行仿真模拟, 通过反复校核, 最终生成能够实时准确进行分析预测的仿真模型。

【关键词】 快速路 实时分析 短期预测 仿真

Abstract: It is a research paper about the expressway traffic real-time analysis and short-term forecasting which uses Shanghai Yan'an overhead road as the typical research object. The aim is to generate an effective dynamic simulation model. Firstly, we mark the all ramps of Yan'an overhead road as the travel OD points, and get corresponding OD matrixes and coil data as the research-based data. Secondly, we form dynamic OD matrix by rolling dynamically OD prediction. Thirdly, we assign the OD to the road networks. Then, we can get real time simulation about the road traffic running conditions, and short-term forecast about the path travel time between certain OD pairs. To get a visualized model, we import the generated real-time and forecasting data into AIMSUN,

which is professional traffic simulation software. We repeatedly check the procedure and model parameters, and finally get a well simulation model which can help us to analysis and forecast expressway traffic operational status correctly.

Keywords: expressway, real-time analysis, short-term forecasting, dynamic traffic simulation

1 引言

城市快速路是建于城市内部的一种高速道路, 具有单向多车道、中央设分隔带、全部立体交叉、保证连续行驶且通行能力大的特点。

作为解决快速道路交通拥挤的重要手段, 对快速路交通运行状况的实时分析和短期预测的研究受到了交通专家日益广泛的关注。快速路交通运行状况的实时分析和短期预测的研究建立在对交通流实时以及未来分布形态正确分析的基础之上, 这一分析需要利用一定的动态交通需求预测模型, 而动态 OD 矩阵则是此类模型的基本输入数据, 它将直接影响到实时分析的准确性和短期预测的有效性。作为静态 OD 预测理论的延伸, 利用实时采集的路段流量及相关信息推求未来各个时段内 OD 交通量的动态 OD 预测理论在近 20 年内得到了众多研究者的关注。^[1-3]

目前, 城市快速路信息化已经做得比较完善, 可以实时显示主要路段的交通运行状态和道路施工封闭等信息, 但是在智能交通系统中, 必须给出准确的实际行程时间等诱导信息来合理分配交通流, 影响出行者的判断, 以达到整个交通系统的顺畅和成本的最小化。因此路段行程时间预测成为了交通流诱导系统和交通控制系统的重要研究内容。目前, 国内通常提到的行程时间预测模型有时间序列模型、非参数回归方法、加权移动平均法等, 均是从

作者: 周溪召, 上海海事大学经济管理学院副院长, 教授博导
智路平, 上海海事大学经济管理学院工程师

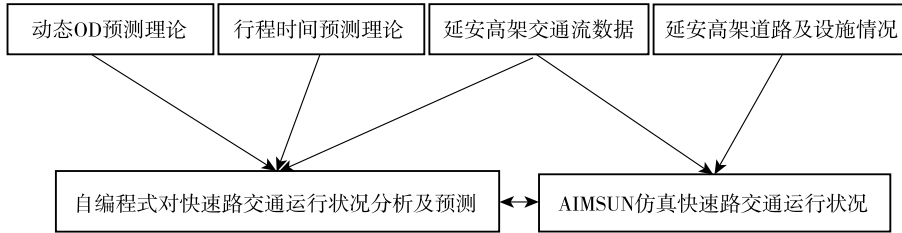


图1 研究技术路线

统计的角度来预测时间的，并没有考虑交通流参数的时变性。^[4-6]

基于此背景，如何将动态 OD 预测与行程时间预测结合起来，并形象化地进行模拟，以期为快速路交通运行状况的研究提供依据，成为了本文研究的要点。

本文对快速路交通运行状况实时分析及短期预测的研究，以延安高架快速路主干及其 17 个上下匝道为研究典型对象，基于包括高峰时刻 3 小时匝道 OD、一日线圈数据以及路段基本信息在内的基础数据，自编软件对交通运行状况进行实时处理及短期预测，运用 AIMSUN 交通仿真软件对快速路交通运行状况进行实时模拟。通过自编软件程序，进行精确的交通运行状况实时数据处理，迅捷地做出短期交通流预测，特别是对定向交通出行时间进行合理预测；AIMSUN 仿真软件能够对研究对象的交通运行状况进行实时模拟，并统计出相应的分布规律以便于进一步的分析处理；将自编程序预测出的短期交通流录入 AIMSUN 进行预测仿真，形成未来短期内的仿真模型。将自编软件程序与 AIMSUN 有机的进行配合使用，通过自编软件程序进行方法上的指导，通过 AIMSUN 仿真软件对自编程序的运算结果进行形象化的直观展示。

具体而言，以延安高架路各匝道口为出行起讫点，将各起讫点 OD 矩阵及线圈数据作为研究基础数据，一方面以动态 OD 预测法生成动态 OD 矩阵，用动态交通分配法将生成的 OD 分配到路网上，形成对道路交通运行状况的实时模拟、对某 OD 对之间路段走行时间的短期预测；另一方面将获取的详细的延安高架快速路道路及设施资料用软件进行场景再现，详细设置、调整道路运行参数进行仿真模拟直至模拟出与线圈数据相符的情境，形成仿真模型。利用模型给出延安高架道路运行统计分析图表，分析其交通运行分布规律，将自主开发程序生成 OD 矩阵录入仿真模型，模拟预测区段交通流状况，辅助交通指挥控制决策。

2 预测方法

本文关于快速道路交通运行状况实时分析和短期预测

的关键要点主要集中在动态 OD 预测方法研究、行程时间预测方法研究及 AIMSUN 软件仿真模型建立上。

2.1 滚动式 (Rolling Horizon) 动态 OD 预测

根据实际交通数据统计出以 10 分钟为单位共 3 小时的 18 个初始 OD 矩阵，并用拉格朗日插值公式进行滚动预测^[7]，公式如下：

$$b_{ij}(t) = \sum_{q=1}^n \frac{\prod_{k=1, k \neq q}^n (t-t_k)}{\prod_{k=1, k \neq q}^n (t_q-t_k)} b_{ij}(t_q) \quad (2.1)$$

t ——要预测的时刻；

t_k, t_q ——进行滚动插值用到的时刻；

$\frac{\prod_{k=1, k \neq q}^n (t-t_k)}{\prod_{k=1, k \neq q}^n (t_q-t_k)}$ ——第 t_k 时刻对应的插值系数；

$b_{ij}(t_q)$ —— t_q 时段的起讫点 $i-j$ 的交通量。

在滚动过程中，将最近一个时段的观测值代入公式进行下一时段的预测。

2.2 连续动态网络承载行程时间预测

定义：

$f_k^{rs}(t)$ ：在时刻 t ，从起点 r 到讫点 s 在路径 k 上用户的流率；

$c_k^{rs}(t)$ ：在时刻 t 出发，从起点 r 到讫点 s 在路径 k 上用户经历的出行间；

$U_a(t)$ ：总计累计进入路段 a 的车辆数；

$V_a(t)$ ：总计累计离开路段 a 的车辆数；

$X_a(t)$ ：时刻 t 路段 a 上的车辆数；

$\tau_a(t)$ ：时刻 t 进入流段 a 的流量在路段 a 上的出行时间；

$u_{ka}^{rs}(t)$ ：用户在时刻 t 从起点 r 到讫点 s 的路径 k 上进入路段 a 的进入率；

$v_{ka}^{rs}(t)$ ：用户在时刻 t 从起点 r 到讫点 s 的路径 k 上离开路段 a 的离开率；

$U_{ka}^{rs}(t)$ ：用户至时刻 t 从起点 r 到讫点 s 的路径 k 上进入路段 a 的车辆累计数；

$V_{ak}^{rs}(t)$ ：用户至时刻 t 从起点 r 到讫点 s 的路径 k 上离

开路段 a 的车辆累计数;

$X_{ak}^{rs}(t)$: 用户在时刻 t 从起点 r 到讫点 s 的路径 k 上路段 a 的车辆数。

路段动态方程:

$$\frac{X_{ak}^{rs}(t)}{dt} = U_{ak}^{rs}(t) - v_{ka}^{rs}(t) \quad \forall r, s \quad \forall k \in K_{rs} \quad \forall a \quad (2.2)$$

流守恒方程:

$$a) \text{ 对于起点: } U_{ak}^{rs}(t) = f_k^{rs}(t) \quad (2.3)$$

这里 a 是路径 k 的第一条路段;

b) 路径 k 上两个连续路段 a 和 a' 间的流守恒方程是:

$$U_{ak}^{rs}(t) = v_{a'k}^{rs}(t) \quad \text{这里 } a \text{ 是在 } a' \text{ 之后。}$$

流传播方程:

$$V_{ak}^{rs}(t) = \int_{w \in W} U_{ak}^{rs}(w) dw \quad (2.4)$$

这里

$$W = \{w: w + \tau_a(w) \leq t\}$$

边界条件:

$$U_{ak}^{rs}(0) = 0, V_{ak}^{rs}(0) = 0, X_{ak}^{rs}(0) = 0, \quad \forall (r, s), \quad \forall k \in K_{rs} \quad (2.5)$$

算法如下:

步骤一 初始化

① 设定系统时间 T , 包括车流进入时间段和要预测的时间段的长度。时间间隔定为 1 分钟;

② 调用函数 createLink () 读取基本属性数据文件建立路段, 及调用函数 createOD () 生成并存储动态 OD 需求量;

③ 在零时刻 $t=0$ 根据公式 (2.5) 对相关变量置空, 同时计算并存储在自由流条件下的路段阻抗值和路径的行程时间。

步骤二 计算路段实际阻抗

① 调用动态网络加载函数 DNLprocess () 得到路段动态存量; 该模块求解了离散化后的方程组 (2.2-2.4), 得到了当前时刻下的路段各变量的值, 并存储到数组中;

② 调用路段业绩函数 linktraveltime (int a, int k) 计算出路段行程时间。

步骤三 预测路径动态行程时间

调用函数 pathtraveltime (int origin, int desti, int k) 得到路径实际行程时间。

步骤四 结束标准

If $t > T$ then 程序终止, 输出结果; Else $t++$ 返回 Step2。

2.3 AIMSUN 仿真模型构建方法研究

交通仿真是运用现代计算机技术模拟现实交通系统建

立计算模型的过程, 是设计、分析和评价交通方案的重要技术方法。交通仿真能反映实际交通系统的特性, 分析交通系统在各种设定条件下的可能行为, 以寻求现实交通问题的最优解, 评价运输设施各类设计方案的效果。现今应用较为广泛的该类软件有 SimTraffic、CorSim、VisSim、Paramics、AIMSUN、MITSim 和 TransModeler 7 种。从交通设施表达及通信能力、车辆行为模型和其他扩展功能 3 个方面对上述 7 种微观交通仿真系统的性能进行评价和比较, 结合本研究选取对象延安高架快速路, 在考虑了以上各软件的优劣之后, 发现: AIMSUN 中定义了不同的车辆类型, 可以对车辆设定期望速度, 定义了 zone1 和 zone2 的概念来模拟变换车道机转弯的情况, 通过 Data Translator 模块实现检测器数据的直接传输和解析、跟车、换道、间距接受模型采用比较精细的模型, 本身具有匝道控制功能, 公交优先模块可以实现大型公交车的行驶尤其是在停车点的停车现象模拟, 提供了动态交通分配功能, 所以选择 AIMSUN 作为对延安高架快速路进行微观仿真模拟的基础平台。

在获取基础资料的前提下, 模型构建按照以下步骤进行:

① 导入背景图 (本次研究以甲方提供 EMME 导出图作为背景路网底图)。

② 绘制仿真路段, 各路段车道数以实际为准。

③ 绘制节点, 以实际交叉口车行规则为准。

④ 设置路段类型, 定义道路参数 (包括转向、专用道、障碍)。本研究中将主干道速度限制设为 80km/h, 单车道通行能力为 1500veh/h, 匝道速度限制设为 40km/h, 单车道通行能力为 700veh/h。

⑤ 输入交通状态 (进口流量, 路口转弯百分比), 以甲方提供 OD 矩阵为准。

⑥ 型心点定义。本研究根据甲方提供资料, 以各匝道为源端, 共设置 17 个型心节点。

⑦ 制定信号计划, 以实际交通控制信号为准。

⑧ 定义交通需求, 并对交通需求进行预仿真, 初步校验模型正确性。

⑨ 建立主控计划, 并预仿真。

⑩ 设置检测器, 附加动态标签以直观显示交通运行状态。

⑪ 导入仿真结果图表, 进行交通运行状况规则分析。

⑫ 绘制仿真 3D 模型。

⑬ 设置摄像头录出动态模型视频。

3 研究过程

3.1 数据收集及预处理

研究数据是 2009 年 3 月 20 日及 5 月 20 日两天的 24

小时线圈监测数据,由上海市城市综合交通规划研究所提供。对于出现线圈监测数据丢失的点,将和研究的当天相似的另外一天此点的数据补充进来。

对于部分数据误差较大的情况,参考比照两天的线圈同时段的数据,发现两天的实际线圈监测数据都明显比3小时OD数据小,并且这两天数据很接近,所以认为实际线圈数据是有效的,出现这样的误差的原因主要是OD数据和线圈数据时间上的不一致。

3.2 数据分析及程序处理过程

首先整理出3个小时内每10min为一单位的17个上下匝道的流入流出量,然后调用transcad软件的frator模块计算出每10min的OD需求矩阵。接着把这些基本的OD需求矩阵输入到自编程序中运算,采用滚动式方法预测出短期(1小时)的OD需求,调用网络加载算法把基本的和预测的OD需求分配到道路上,最后通过行程时间计算模块得出最终的结果。

使用福莱特法来对原始数据进行加工。模型公式为:

$$f_F(F_{O_i}^m, F_{D_j}^m) = F_{O_i}^m \cdot F_{D_j}^m \cdot \left(\frac{L_i + L_j}{2} \right)$$

$$L_i = \frac{O_i^m}{\sum_j q_{ij}^m F_{D_j}^m}, L_j = \frac{D_j^m}{\sum_i q_{ij}^m F_{O_i}^m}$$

式中 L_i —— i 小区的位置系数;
 L_j —— j 小区的位置系数;

$f_F(F_{O_i}^m, F_{D_j}^m)$ ——第 m 次迭代小区 i 到小区 j 之间交通量的增长系数;

q_{ij}^m ——第 m 次迭代小区 i 到小区 j 之间交通量;

$F_{O_i}^m$ ——第 m 次迭代 i 小区的产生增长率;

$F_{D_j}^m$ ——第 m 次迭代 j 小区的吸引增长率;

O_i^m ——第 m 次迭代小区 i 的交通产生量;

D_j^m ——第 m 次迭代小区 j 的交通吸引量。

3.3 阻抗标定

使用一个改进速—密关系模型来描述连续流交通的路段出行时间。速—密关系被表示为如下:

$$v_a(t) = v_a^{\min} + (v_a^{\max} - v_a^{\min}) \left[1 - \left(\frac{k_a(t)}{k_{aj}} \right)^\alpha \right]^\beta$$

这里:

$v_a(t)$ ——在时刻 t 路段 a 的速度;

$k_a(t)$ ——在时刻 t 路段 a 的密度;

v_a^{\min}, v_a^{\max} ——最小速度和自由流出行速度;

$k_{aj}(t)$ ——阻塞密度;

α, β ——模型参数。

3.4 自编程序结果分析

程序可对未来短期内(以1小时为例)的交通运行状况进行预测,表1给出任意OD对间的行程时间。

10:00 任意OD对间的行程时间(单位:分钟)

表1

OD	t	OD	t	OD	t	OD	t
1-2	0.70	1-15	22.00	2-13	19.20	3-12	15.03
1-3	3.29	1-16	22.48	2-14	20.28	3-13	16.75
1-4	4.13	1-17	23.12	2-15	21.30	3-14	17.83
1-5	6.05	2-3	2.60	2-16	21.79	3-15	18.85
1-5	6.69	2-4	3.44	2-17	22.43	3-16	19.34
1-7	7.33	2-5	5.36	3-4	0.84	3-17	19.98
1-8	8.20	2-6	6.00	3-5	2.77	4-5	1.95
1-9	10.02	2-7	6.64	3-6	3.41	4-6	2.59
1-10	11.70	2-8	7.51	3-7	4.05	4-7	3.23
1-11	16.38	2-9	9.32	3-8	4.94	4-8	4.13
1-12	18.21	2-10	11.01	3-9	6.79	4-9	5.98
1-13	19.90	2-11	15.69	3-10	8.52	4-10	7.72
1-14	20.98	2-12	17.52	3-11	13.20	4-11	12.40

续表

OD	t	OD	t	OD	t	OD	t
4-12	14.23	6-10	5.15	8-12	10.14	11-12	1.83
4-13	15.95	6-11	9.83	8-13	11.88	11-13	3.52
4-14	17.03	6-12	11.66	8-14	12.96	11-14	4.60
4-15	18.05	6-13	13.39	8-15	13.98	11-15	5.62
4-16	18.54	6-14	14.47	8-16	14.47	11-16	6.11
4-17	19.18	6-15	15.49	8-17	15.11	11-17	6.74
5-6	0.65	6-16	15.99	9-10	1.77	12-13	1.67
5-7	1.30	6-17	16.63	9-11	6.45	12-14	2.75
5-8	2.20	7-8	0.89	9-12	8.28	12-15	3.77
5-9	4.05	7-9	2.76	9-13	10.03	12-16	4.26
5-10	5.79	7-10	4.51	9-14	11.11	12-17	4.89
5-11	10.47	7-11	9.19	9-15	12.13	13-14	1.08
5-12	12.30	7-12	11.02	9-16	12.61	13-15	2.10
5-13	14.03	7-13	12.75	9-17	13.25	13-16	2.58
5-14	15.11	7-14	13.83	10-11	4.68	13-17	3.21
5-15	16.13	7-15	14.85	10-12	6.51	14-15	1.02
5-16	16.62	7-16	15.34	10-13	8.24	14-16	1.50
5-17	17.26	7-17	15.98	10-14	9.32	14-17	2.13
6-7	0.66	8-9	1.87	10-15	10.34	15-16	0.48
6-8	1.55	8-10	3.63	10-16	10.83	15-17	1.11
6-9	3.40	8-11	8.31	10-17	11.47	16-17	0.63

注：实际预测结果为1小时，此处给出一个样本，本表的时间10:00。

3.5 仿真模型结果分析

在本研究中，我们根据已有的路网基本信息，建立起了基本的路网，然后在该路网的基础上，定义车辆类型及各类型车辆的OD需求，建立交通系统进而进行仿真。图2显示了AIMSUN中建立的延安高架路网情况。

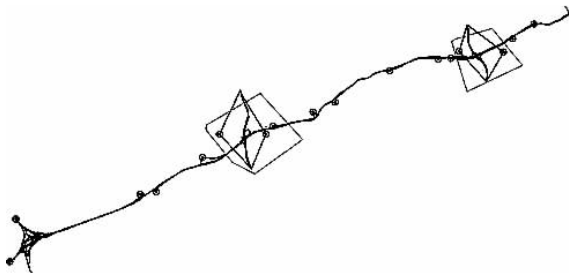


图2 延安高架基本路网

路网中的道路有两种类型：高速路（Freeway）和匝道（On-off Ramp）。其中高速路的最大速度设定为80km/h，单车道通行能力为1500veh/h。匝道的最大速度设定为40km/h，单车道通行能力为700veh/h。

高架上有大、中、小三种类型车辆，在AIMSUN系统中我们使用van、truck、car三种类型的车辆也对应上面的三种车。根据给定的线圈数据发现三类车中，小型车占了很大比例，而大中型车则占了很小的比例，因此，我们设定高架上大：中：小型车的比例近似为0.05：0.1：0.85。

在此系统中，主要研究了高架上17个上下匝道的交通流的情况，7:00~10:00中3个小时的总17个匝道的OD，7:00~10:00中3个小时的根据前面给出的各种车辆类型的比例结合匝道总的OD分布表得到的van、truck、car三种类型车的OD分布情况。在仿真方案中使用的交通需求就是根据该OD分布情况建立的。

除 OD 分布外, 车辆的行为模式也极大的影响分配的结果, 为了使仿真效果更优, 设定出路网的流量延误函数, 采用系统带的标准 VDF 为

$$0.5 \times \text{LinkLength} (S) \times \max ((15 \times 31.35 \times 0.985^{4.7 \times ((\text{Linkvolume} (S) + \text{LinkAddVolume} (S)) / \text{LinkCapacity} (S)) - 0.985} + 1 + 5.5 \times 0.985^{5.7}), (1 + 5.5 \times ((\text{Linkvolume} (S) + \text{LinkAddVolume} (S)) / \text{LinkCapacity} (S))^{5.7})).$$

车辆选择路径时根据的是二项式模型, 为了更好的显示出行时间的变化效果, 我们设定每过一分钟就重新选择一次路径, 这样就可以很好的展示出随着路网上车辆数量的变化, 所带来的路阻函数的变化, 进而使得车辆的出行时间发生了变化。

因为我们主要是对 7:00~10:00 时间段的交通状况进行的仿真, 对于之前的交通并未进行仿真, 为了体现仿真开始之前路网上的交通量, 我们设定了 10 分钟的预热时间, 这样 7:00 仿真开始时, 路网中就有了之前的背景流量, 就能更好地贴近实际。

导入自编程中产生的 4 小时 OD 进行仿真, 将生成的实时仿真的三小时内各观测点车辆数及预测仿真的一小时各观测点车辆数, 与实际的线圈统计的真实值做比对 (图 3、图 4):

从下图可以看出: 忽略由于原始给定数据中部分数据

OD 与线圈统计值之间明显的不一致导致的部分观测点仿真数据与真实数据的差异 (仿真模型依据原始 OD 生成), 在绝大多数观测点, 仿真数据与真实数据的差异在可接受范围内, 故我们认可模型整体上的有效性。

仿真模型能够给出路段上包括路段延误时间图、路段负荷率图、路段最大排队长度图、路段出行距离图、路段停车次数图、路段出行时间图、路段车流密度图、路段流量图、路段车流速度图等诸多的统计数据, 根据这些路况图, 就可以很方便的了解到路上的交通状况, 据此管理者就可以及时预测路段可能出行的状况, 制定相应的交通管理政策, 采取有效的交通管理措施。

4 结论

通过上述研究分析过程, 我们可以清晰的看到我们找到一种比较有效、快捷的对快速路动态交通运行状况进行实时及短期预测的方法。那就是利用现在比较容易获得的线圈数据及初始静态 OD, 一方面进行使用课题组开发出的动态交通预测软件, 生成实时及未来短期内的动态交通状态数据, 特别是对路径行走时间的预测方面更是本软件的一大特色; 另一方面, 使用在微观仿真模拟方面颇具优势的 AIMSUN 对研究对象进行动态仿真, 修改仿真模型直

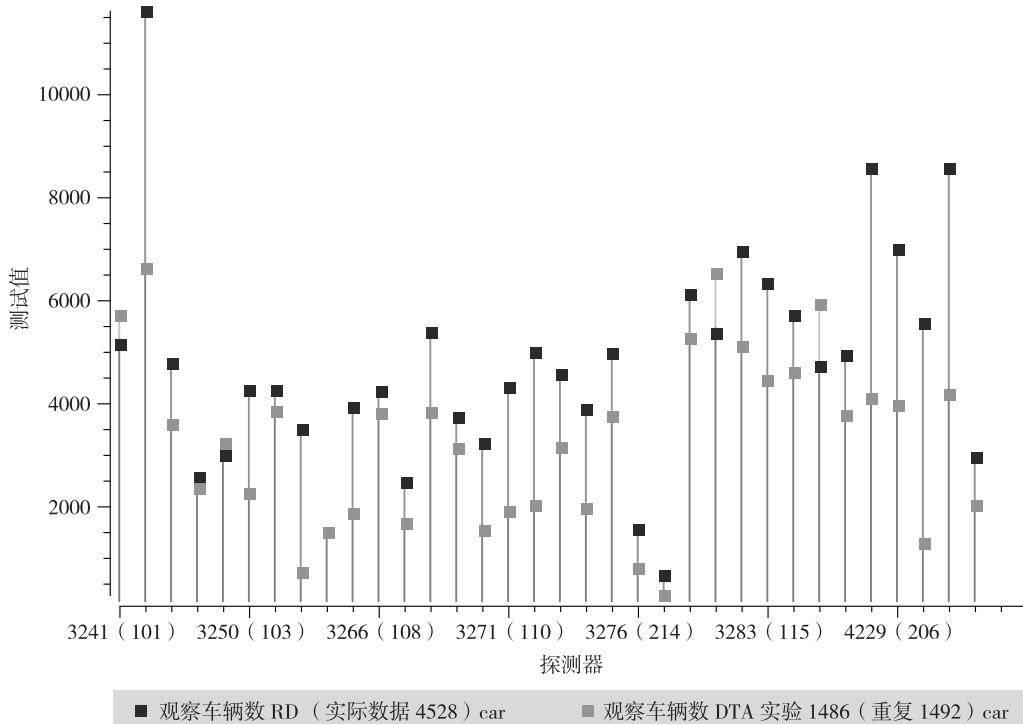


图 3 仿真的 3 个小时内匝道上小汽车观测值与实际值比较图

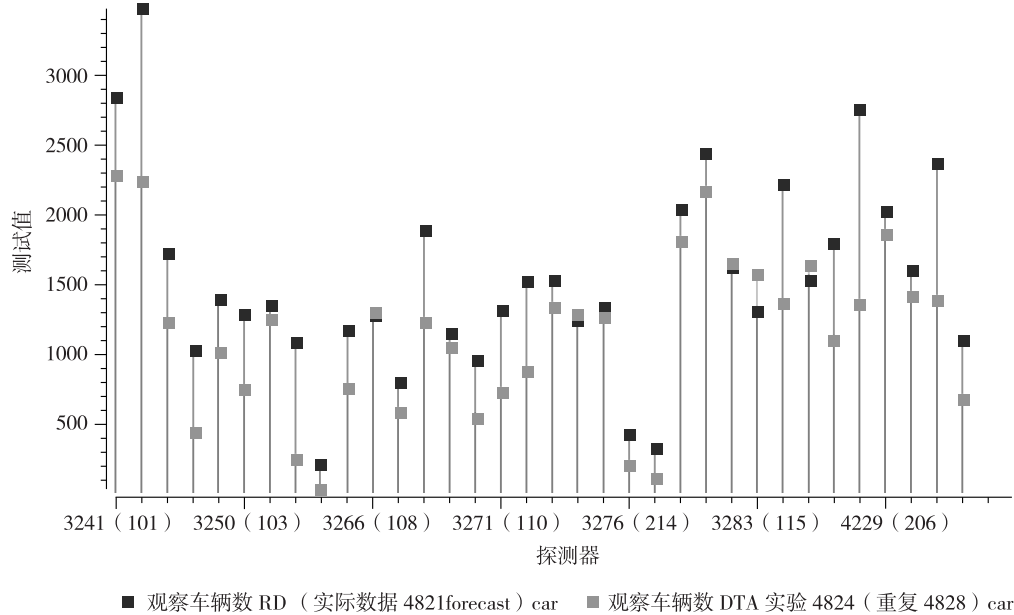


图4 预测的1个小时内匝道上小汽车观测值与实际值比较图

至仿真数据与线圈数据高度拟合，完成仿真模型的构建，利用仿真模型可明确的对研究对象的整体交通状况、路径交通状况、路段交通状况，以及非常态交通状况进行统计分析，以便于管理部门制定相应的交通管理政策。

更进一步，我们可以将自主开发软件的预测数据使用AIMSUN进行微观仿真，这样可以提前获得更加直观的交通运行状况，做到形象化、对象化地事前分析事后现象，这将极大的有利于管理部门提前采取措施防止恶性交通事件的发生。将预测信息公布，更有利于出行者自动采取行动规避高峰时刻、选择畅通路线，做到安全出行。

参考文献

[1] Ramachandran Balakrishna. Dynamic Origin-Destination Trip Table Esti-

mation for Transportation Planning (ppt), 2007.

[2] 郝光, 岳辉, 王翠红, 马倩玉. 动态OD矩阵推算模型及算法应用[J]. 铁道运输与经济, 2006, 29 (1).

[3] 王梯. 基于预测信息的动态OD矩阵估计[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.

[4] 赵莉, 李峰. 动态交通分配模型[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2007, 30 (3).

[5] 陆化普, 黄海军主编. 交通规划理论研究前沿[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

[6] 苏日娜. 基于转移模型的OD算法研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.

[7] 刘学军, 林勇, 李树彬, 李建新. 智能交通中动态OD矩阵估计研究概况[J]. 山东科学, 2007, 20 (4).