

辽阳市公交客运需求发展预测

邢岩¹,李子峰^{1,2},纪良红¹,孙红¹

(1. 沈阳建筑大学交通工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 辽阳市长途客运总站有限公司,辽宁 辽阳 111000)

摘要:在分析辽阳市公交线网现状的基础上,采用“四阶段”需求预测法,研究辽阳市公交客运需求的发展。通过几何级数法、调查分析法、Frator法、Ballman回程算法和向前运算法,对未来的人口数量、居民出行分布、人均出行率、日人均公交乘次进行预测,确定了辽阳市公交线网规划的模型和方法。利用全民交通出行量(OD)和方式划分预测的结果,得出公交出行OD结果,将各种出行方式的空间OD量分配到具体的公交线网上,得到公交客流分配结果图,为研究公交客运需求提供理论支持。

关键词:公交;中小城市;线网规划;公共交通需求预测;优化模型

中图分类号:F540.32;U412.1

文献标志码:A

20世纪60年代初,发达国家在公交线网规划上采用规划手册法,即经验法。国内此时还未有这方面的研究^[1]。到20世纪80年代初,系统分析法在线网规划中逐渐成为主要方法。迄今,计算机应用在建模和求解模型的过程中使公交线网规划变得更加精确,如Fernandez^[2]建立了一个专家系统,可以模拟决策者的决策过程,并结合数学方法输入各种交通信息,实现与人类专家相似的思维计算模型;Sullivan等^[3]利用桌面地理信息系统(GIS)自动生成等高线图技术,分析生成等高线的可行性,并提供最佳路径选择;与此同时,随着我国整体经济实力的增强,在城市交通规划管理方面的研究正逐步深入。如王玮等^[4]提出的“逐条布设、优化成网”的方法;吉林工业大学采用人工预选方法确定候选路线,提出“逐条预选、搜索优化”的方法,将相应的客流分配量直接分配

给交通区域节点,在流量分配之后,选择方案来确定最佳的总体路线^[5]。国内外公交线网规划与优化理论研究和实践是在运用各种相关原理和方法的基础上,根据所建立的目标函数,按照一定的程序和步骤制定相应的公交线网方案,从而达到优化网络布局的目的。与此同时,在对线网方案进行评价时,可以利用交通分配法预测各条线路上的交通流量。但是,绝大多数研究都是以大城市为基础,对中小城市公交线网规划方法的研究并不多见,因此,笔者采用“四阶段”需求预测法,对辽阳市公交客运需求进行预测,以建立层次分明、功能合理、各方式有机结合的公共交通体系,对实现“人本”“低碳”“高效”的公共交通具有重要意义。

一、辽阳市公交客运需求预测方法

辽宁省辽阳市公交客运需求是由出行生

收稿日期:2017-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(51278220);博士后基金项目(2016M601373);沈阳市社会科学立项课题(SYSK2017-08-05)

作者简介:邢岩(1985—),男,吉林德惠人,副教授,博士。

成、出行分布、模式划分和交通分配组成的“四阶段”需求预测方法,对城市公交线网未来客流进行科学预测,为评价城市交通规划中的公交问题提供合理的参考依据^[6]。

1. 研究技术路线

研究采用的技术路线如图1所示。

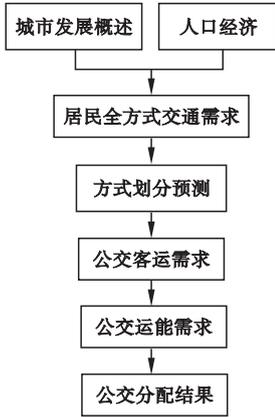


图1 公交需求预测的基本思路

2. 理论模型与方法

利用 Frator 法对居民出行分布进行预测,并应用交通规划软件 TransCAD 进行实际预测。Frator 法的基本假设:目前的出行分布乘以相应的生长因子得出未来的出行分布。若要求得两个区域之间的出行分布量增长系数,可通过这两个区域之间的出行产生量增长率和出行吸引量增长率进行求解。可表示为

$$q_{ij} = q_{ij}^0 f(f_{oi}, fd_j) \quad (1)$$

其中, $f_{oi} = \frac{O_i}{O_i^0}$, $fd_j = \frac{D_j}{D_j^0}$; q_{ij} 为未来年交通小区 i 到 j 的出行分布量; q_{ij}^0 为现状年交通小区 i 到 j 的出行分布量; f 为增长系数; O_i 为 i 小区未来年出行产生量; O_i^0 为交通小区未来吸引交通量; D_j^0 为 j 小区的发生交通量增长系数。

由于估算得到的 q_{ij} 必须满足如下约束条件:

$$\sum_j q_{ij} = O_i, \quad \sum_i q_{ij} = D_j$$

而直接采用式(1)计算得到的 q_{ij} 一般不能满足上述约束条件,因此需要迭代计算以满足约束。

二、辽阳市公交客运需求预测

1. 辽阳城市公交网概述

辽阳市的公交线网是以城市道路网为依托,呈环形辐射的形式分布,其最大的特点是“中密边疏”,干道基本都进行了覆盖,而支路和城市边缘公交覆盖率相对较低,符合城市建设中的路网布局要求。城市现状道路网密度为 1.41 km/km^2 ,与人口总量 ≤ 200 万的城市道路网密度宜为 $5.3 \sim 7 \text{ km/km}^2$ 相比,辽阳市道路网密度还有待提高,截至 2015 年 12 月,辽阳市万人公交拥有率约为 9.6 标台(按中心城区 87 万人口计算),刚达到中等城市公交万人拥有率 $6.7 \sim 8.3$ 标台的规范标准,公交线路 48 条,运营线路总长约 $1\,375.3 \text{ km}$,营运车辆 555 辆。

2. 交通产生预测

(1) 人口发展预测

总的来说,人口增长是平衡的,与一个地区的人口数量成正比,因此,它可以按照自然增长的速度增长。几何级数则可以用来预测未来年的人口数,几何级数法预测思路为利用当前区域人口数量及历史若干年的净平均人口增长率,来预测未来年的人口数量。

其预测公式为

$$p_n = \lambda p_0 (1 + k)^n \quad (2)$$

式中: p_0 为现状年人口数量; p_n 为未来年人口数量; k 为人口净平均自然增长率; λ 为调整系数; n 为预测年数。

根据《辽阳市历年国民经济和社会发展统计公报》(2004—2014),可以得出辽阳市 2004—2014 年的平均人口净增长率为 1.68% 。辽阳现状总人口约为 87 万。由此,利用式(2)可以得到指定年份的人口数量,如表 1 所示。

(2) 日出行次数预测

依据调查分析,辽阳市现状人均出行率为 2.10 次/日,随着经济的增长,辽阳市都市核心区社会生活活动、经济活动、文化娱乐活动都将有所增加,出行强度总体呈增长态势。依据分析预测,到 2018 年,辽阳市居民人均

表1 核心城区人口预测 人

| 小区编号 | 2018年 | 2020年 | 2022年 |
|------|---------|---------|-----------|
| 1 | 60 239 | 75 982 | 82 989 |
| 2 | 57 788 | 72 891 | 79 611 |
| 3 | 100 633 | 126 931 | 138 638 |
| 4 | 80 300 | 101 285 | 110 626 |
| 5 | 47 943 | 60 471 | 66 048 |
| 6 | 36 716 | 46 310 | 50 582 |
| 7 | 62 964 | 79 419 | 86 740 |
| 8 | 50 861 | 64 154 | 70 068 |
| 9 | 81 078 | 102 267 | 111 699 |
| 10 | 47 067 | 59 369 | 64 842 |
| 11 | 72 362 | 91 273 | 99 691 |
| 12 | 31 013 | 39 118 | 42 725 |
| 合计 | 728 964 | 919 423 | 1 004 261 |

表4 核心城区各小区出行吸引量预测 次/日

| 小区编号 | 2017年 | 2020年 | 2022年 |
|------|---------|-----------|-----------|
| 1 | 65 220 | 93 592 | 107 587 |
| 2 | 69 005 | 99 177 | 114 079 |
| 3 | 104 518 | 151 476 | 174 840 |
| 4 | 81 246 | 116 358 | 133 649 |
| 5 | 56 702 | 81 266 | 93 372 |
| 6 | 34 179 | 48 331 | 55 214 |
| 7 | 82 724 | 120 043 | 138 630 |
| 8 | 51 056 | 74 075 | 85 539 |
| 9 | 64 472 | 93 178 | 107 426 |
| 10 | 52 331 | 75 789 | 87 455 |
| 11 | 69 732 | 100 616 | 115 925 |
| 12 | 36 515 | 52 381 | 59 570 |
| 合计 | 767 683 | 1 106 261 | 1 273 265 |

出行率约为 2.55 次/日;2020 年,居民人均出行率约为 2.62 次/日。各区域人均出行率预测结果如表 2 所示。

表2 核心城区各小区人均出行率预测 次/日

| 小区编号 | 2017年 | 2020年 | 2022年 |
|------|-------|-------|-------|
| 1 | 2.125 | 2.565 | 2.635 |
| 2 | 2.086 | 2.532 | 2.602 |
| 3 | 2.102 | 2.552 | 2.622 |
| 4 | 2.094 | 2.542 | 2.612 |
| 5 | 2.096 | 2.544 | 2.614 |
| 6 | 2.132 | 2.586 | 2.652 |
| 7 | 2.078 | 2.524 | 2.594 |
| 8 | 2.086 | 2.530 | 2.606 |
| 9 | 2.06 | 2.495 | 2.570 |
| 10 | 2.098 | 2.550 | 2.616 |
| 11 | 2.124 | 2.572 | 2.640 |
| 12 | 2.076 | 2.522 | 2.596 |
| 平均 | 2.097 | 2.543 | 2.613 |

(3) 交通产生、吸引预测

各小区的预测人均出行次数和各小区的预测人口总数相乘,就可以得到各小区的日平均出行总量,也就是交通生成量。各小区的出行产生、吸引预测量如表 3、表 4 所示。

表3 核心城区各小区出行产生量预测 次/日

| 小区编号 | 2017年 | 2020年 | 2022年 |
|------|---------|-----------|-----------|
| 1 | 62 650 | 91 156 | 104 990 |
| 2 | 60 101 | 87 231 | 100 439 |
| 3 | 104 659 | 152 053 | 175 053 |
| 4 | 83 514 | 121 350 | 139 702 |
| 5 | 49 860 | 72 571 | 83 529 |
| 6 | 38 186 | 55 422 | 63 813 |
| 7 | 65 484 | 94 098 | 108 491 |
| 8 | 52 896 | 76 784 | 88 408 |
| 9 | 84 322 | 122 158 | 140 689 |
| 10 | 48 951 | 71 193 | 81 949 |
| 11 | 75 257 | 108 657 | 125 197 |
| 12 | 31 865 | 46 796 | 53 887 |
| 合计 | 757 727 | 1 099 450 | 1 266 123 |

3. 交通分布预测

根据辽阳市 2017 年居民全方式出行调查,可以得出辽阳市 2017 年居民出行期望线,如图 2 所示。图中 1,2,⋯,12 为规划区。

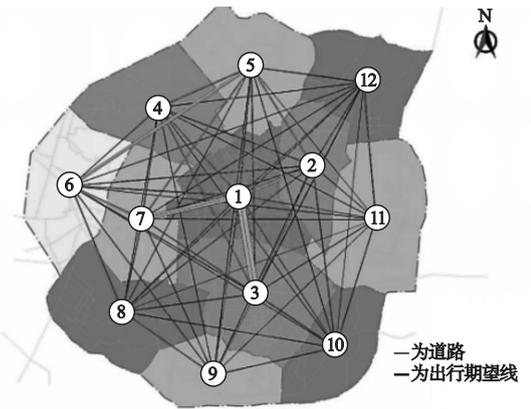


图2 辽阳市现状大区居民出行期望

图 2 可为公交客运发展建设、合理规划利用道路、便于居民节省出行时间提供参考。

4. 方式划分预测

(1) 人均公交乘次预测模型

选择“人均公交乘次”为参数的理由:

①人均公交乘次是城市公共管理的基本指标。在综合考虑了乘车者的年龄、性别、职业、收入、乘车距离等各种内部因素的同时,也综合反映了诸如城市面积等外在因素。

②人均公交乘次的性质相对独立,是一个不依赖外界因素的预测因子。除了政策因素对客运交通变化的影响之外,其发展周期自身所呈现的上升趋势,使得总体趋势亦逐步上升。

通过对辽阳的人均乘次实际情况进行分析研究^[7],建立适合辽阳人均乘次预测的变换准则:

$$U_i = \ln \left[(t_i - t_{o'}) \frac{e^{x_{i_{o'}}} - e^{x_{i_{o'}}}}{t_{o'} - t_o} + e^{x_{i_{o'}}} \right] \quad (3)$$

式中: U_i 为预测期人均公交乘次; t_i 为预测期的年份; $t_{o'}$ 为预测期的基年; t_o 为预测期的初始年份; $x_{i_{o'}}$ 为预测基年的人均公交乘次; x_{i_o} 为预测初始年的人均公交乘次; e 为常数。

经预测,2018 年的日人均公交乘次为 0.37;2018—2020 年的日人均公交乘次为 0.46。

再根据公式:

$$y = U_i / T \quad (4)$$

式中: y 为公交分担比例; T 为人均日出行次数。

得出 2018 年公交分担比例为 13.7%,2020 年公交分担比例为 17.6%。

(2) 其余方式分担率预测

随着城市规模的日益扩大,未来辽阳客

运方式的演变,与其所制定的交通方面的相关政策息息相关,同时与城市规划建设时期在交通供给体系方面所具有的特点也密不可分。政策控制可以调整公共交通客运发展的规模和水平,引导乘客合理选择公交客运。

(3) 居民出行方式发展分析与结构确定

在对城市客运交通结构进行分析时,可以总结出多个影响因素。从辽阳居民出行现状的特点、辽阳发展规模以及交通需求管理战略、交通系统管理策略等各方面考虑,辽阳的出行方式应具有以下特征:

- ① 辽阳步行出行的比例在逐渐下降;
- ② 利用摩托车出行的比例逐渐下降;
- ③ 利用公交出行的比例呈现增长趋势;
- ④ 随着出租车数量的增长,利用其出行的比例也有所增长;
- ⑤ 私家车出行比例将有一定量的增加。

应用式(4)对辽阳市未来年居民出行方式分担率进行预测,可以得到未来年份各种交通方式的总的分担比例,如表 5 所示。

表 5 辽阳市未来年居民出行方式分担率一览表

%

| 年份 | 非机动车(步行、自行车、电动车) | 摩托车 | 私家车 | 公交车 | 出租车 | 其他 |
|------|------------------|------|-------|------|------|-------|
| 2018 | 41.56 | 8.96 | 14.61 | 13.7 | 8.78 | 8.22 |
| 2020 | 38.23 | 5.77 | 15.12 | 17.6 | 9.56 | 10.19 |

5. 辽阳公交交通客流分配

(1) 公交的交通出行量(OD)

通过全民 OD 和方式划分预测的结果,

$$A_{od} = \begin{bmatrix} 34\ 917 & 2\ 588 & 5\ 922 & 930 & 1\ 051 & 1\ 294 & 3\ 717 & 445 & 243 & 243 & 41 & 848 \\ 1\ 381 & 23\ 768 & 1\ 657 & 1\ 093 & 1\ 132 & 809 & 913 & 970 & 243 & 566 & 485 & 728 \\ 6\ 822 & 1\ 051 & 12\ 875 & 1\ 536 & 848 & 485 & 970 & 526 & 566 & 162 & 445 & 361 \\ 768 & 404 & 930 & 12\ 171 & 800 & 704 & 1\ 404 & 485 & 566 & 365 & 365 & 358 \\ 605 & 1\ 617 & 687 & 1\ 657 & 4\ 970 & 3\ 153 & 1\ 374 & 889 & 566 & 485 & 283 & 453 \\ 566 & 728 & 526 & 566 & 2\ 020 & 4\ 666 & 2\ 505 & 1\ 253 & 1\ 011 & 605 & 325 & 662 \\ 3\ 949 & 485 & 728 & 241 & 1\ 132 & 938 & 5\ 900 & 704 & 335 & 339 & 365 & 335 \\ 526 & 588 & 802 & 232 & 244 & 453 & 799 & 3\ 542 & 824 & 445 & 130 & 163 \\ 1\ 381 & 591 & 1\ 864 & 202 & 219 & 335 & 605 & 768 & 1\ 893 & 588 & 250 & 241 \\ 1\ 136 & 800 & 1\ 635 & 243 & 365 & 218 & 708 & 365 & 588 & 2\ 650 & 485 & 232 \\ 1\ 033 & 683 & 799 & 283 & 162 & 202 & 325 & 120 & 283 & 615 & 917 & 814 \\ 591 & 704 & 1\ 011 & 336 & 708 & 222 & 708 & 526 & 335 & 130 & 913 & 937 \end{bmatrix}$$

可以得到辽阳市 2018 年交通大区居民公交 OD 结果如矩阵 A_{od} 所示。

(2) 交通分配原理

利用“四阶段法”进行交通需求预测时,

其最后一个阶段为交通分配,这一阶段是交通规划的重要环节。在交通分配过程中,要

根据交通线网的具体布局,将所涉及的各种出行方式的空间 OD 合理地分配到各个线网上。其中,路网中的路段和路口利用其分配到的交通量可以对路网规划进行合理性检验,而根据交通分配获得客流量的公交线网可以作为其优化程度的基础资料。公交客流分配的依据是公交网络中路段和线路的客流。

交通分配模型有平衡模型与非平衡模型两类。平衡模型是一个反复运行的方法,开始时,用随机扰动后的行程时间算出起迄点间的最短路径,把公交客流分配到最短路径上,然后,根据分配的流量更新网络路段的广义成本。在第二次迭代中,流程重复,通常得到一条不同的路径。由于平衡算法的性质,经过足够数量的迭代,两次迭代之间的流量变化将非常小。平衡模型是交通分配方法中最常用也是最有效的一种方法,其包含的用户优化平衡模型在路径选择应用中,能够对交通参与者的行为进行准确的描述,是一种预测精度非常高的预测方法^[8]。

基于 TransCAD 在交通分配方面所具有的强大功能,在进行交通规划时,可以将用户优化平衡模型作为规划的首选方法。Wardrop 平衡原理是,道路网络在达到平衡时,路网用户都已获知网络的交通状态且将路径最短作为路径选择的依据。在道路网络中,若考虑拥挤对走行时间的影响,随着网络交通状态趋于平衡,每个 OD 对应的各条被利用的路径具有相等而且最小的走行时间;未使用的路径的运行时间大于或等于最小走行时间^[9-10]。

该模型的表达形式为

$$Z(x) = \sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(u) du \quad (5)$$

$$D_{st}^{\min}(j, s) + \sum_i x_{ij}^s \sum = \sum_k x_{jk}^s,$$

$j=1, 2, \dots, n; s=1, 2, \dots, p; j \neq s; x_{ij}^s > 0$ (6)
式中: n 为网络中节点的个数; p 为序号; $t_{ij}(u)$ 为路段阻抗; x_{ij}^s 为目的地设为 s 时,从节点 i 到节点 j 的交通流量; $D(j, s)$ 为目的地是节点 s 且由节点 j 产生的交通流量。

$$t_{ij} = t_{j0} [1 + \alpha(V/C)^\beta] \quad (7)$$

式中: t_{ij} 为从节点 i 到节点 j 的阻抗,路段行驶时间单位, min; t_{j0} 为在路段零流量时,从节点 i 到节点 j 的行驶时间, min; V 为路段上机动车的交通量, 辆/h; C 为路段的实际通行能力, 辆/h; α, β 为模型参数。

(3) 公交分配结果

通过公共交通分配过程可以直接得到路段客流量、站点乘降量及换乘情况等信息,为科学预测并制定公交线网规划,在部分道路上增设公交线路,填补公交空白,为不同需求的用户提供全方位服务,提高城市居民对公交的吸引力提供可行的理论支持。现状公交客流分配得到的结果如图 3 所示。



图 3 公交分配结果

由图 3 可见,公交分布均匀,消除了公交空白区;把相互衔接的公交线路深入到城市的各镇(街)内,使各公交线路上的客流量与其客运能力相协调,且线路的走向与其客流的主流向保持一致;尽可能地保证线路上的客流分布均匀,以充分发挥运载工具的功能;各条线路既分工明确又相互合作,突出客流的集散地,方便乘客停车与换乘,充分满足居民乘车的需要。

三、结 语

利用“四阶段”需求预测法,以及几何级数法、调查分析法、Frator 法、Ballman 回程算法和向前运算法,对辽阳市道路交通特征和居民出行特征进行研究和分析,提出了适合辽阳城市的公共交通需求预测模型和方法,

为辽阳市的公交系统不断优化、逐步升级,充分落实公交优先理念,完善公共交通基础设施,提高公共交通服务水平,形成以大运量公共汽车为主体、出租车为补充的城市绿色公交系统提供了理论支持。

参考文献:

- [1] JANARTHANAN N. Development of an expert system to assist the interactive graphic transit-system design process[J]. European journal of heart failure supplements, 1987, 5(1): 3-4.
- [2] RODRIGO F. Expert system for the preliminary design and location of high-capacity Bus stops [J]. Traffic engineering & control, 1993, 34(6): 533-539.
- [3] SULLIVAN D. Using desktop GIS for the Investigation of accessibility by public transport; anlsochrome approach [J]. Geographical information science, 2000, 14(1): 123-157.
- [4] 王炜,杨新苗,陈学武,等.城市公共交通交通系统规划方法与管理技术[M].北京:科学出版社,2002.
- [5] 岳昱博.中小城市公交线网规划方法研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [6] 方庚明.四阶段法在某县公路客运需求预测中的应用[J].工程与建设,2011,25(1):31-32.
- [7] 张国伍,钱大琳.公共交通线路网多条最短路径算法[J].系统工程理论与实践,1992,12(4):22-26.
- [8] 唐洁.交通信息对出行者路径选择行为影响研究[D].上海:上海交通大学,2010.
- [9] 尹晓水,林叶倩.城乡公交一体化线网布局规划研究[J].城市建设理论研究,2014(36):279.
- [10] 邵春福.交通规划原理[M].北京:中国铁道出版社,2007.

The Demand Development Forecast of Bus Passenger Transport in Liaoyang

XING Yan¹, LI Zifeng^{1,2}, JI Lianghong¹, SUN Hong¹

(1. School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. Liaoyang Long Distance Passenger Terminal Co., Ltd, Liaoyang 111000, China)

Abstract: Based on the analysis of the current situation of Liaoyang and the public transport network, the development of bus passenger transport demand in Liaoyang was studied according to the "four stage" demand forecasting method. Through geometric progression method, investigation and analysis method, Frator method, Ballman backhaul algorithm and forward calculation method, the future population quantity, resident trip distribution, per capita daily trip times, and per capita bus ride times are predicted. And the model and method of Liaoyang public transport network planning are determined. The OD results of bus trip are obtained by using the national OD and mode division forecast. The spatial OD amount of various travel modes is assigned to the specific bus line network, and the results of passenger flow distribution are obtained, which provides theoretical support for the study of bus passenger demand.

Key words: public transportation; medium and small cities; line-network planning; public traffic demand forecast; optimization model