

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.08.004

# 宁波市公共交通现状分析与评价

杨金龙

(大连市市政设计研究院有限责任公司, 辽宁 大连 116021)

**摘要:** 为了分析城市公交发展现状,建立博弈论模型对公共交通现状进行分析。以宁波市为调查对象,收集一日内全市各主要交通方式出行量的相关数据。采用 Excel 等图表工具,计算4种交通方式各自的分担率、居民的日出行成本及管理者的日运营成本。建立双层博弈模型,评价现有公交分担率下宁波市公共交通健康状况,并展望未来城市公共交通发展的愿景。

**关键词:** 城市交通;博弈论;交通评价;出行成本

中图分类号: U491

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)08-0013-04

## 0 引言

居民出行需求的增长及小汽车保有量的急剧上升,导致城市公交分担率相对下滑。鉴于此,政府出台公交优先政策,大力扶持公共交通行业的发展。因此,有必要建立数学模型,评价公交优先发展政策实施多年后的城市交通现状及该政策的实施效果。

公交优先政策是指针对由小汽车发展而导致的城市交通阻塞,按照公众利益优先和效率最优原则制定的城市交通政策。其内容包括用地优先、资金优先、运营优先、换乘优先等,形成以公交为主、个体交通为辅的城市交通格局。世界各国普遍倡导在大城市中实行公交优先政策。

在国外针对城市交通系统的研究中, Kim Youngseo 等<sup>[1]</sup>研究了移动即服务下私家车和公共交通使用者的比较分析,对如何增加公共交通出行者提出了建议。Dawda Nandan H.等<sup>[2]</sup>从个体和系统两个层面研究了基于效率的公共交通系统和副公交系统综合评价方法。Ahmed Farhana 等<sup>[3]</sup>从扩展的计划行为理论理解年轻通勤者采用私家车或公共交通的方式选择决策。国内的研究发展起步较国外稍晚。温旭丽等<sup>[4]</sup>用公交分担率来研究交通需求对政策的敏感性,分析得出政策对于交通需求的影响。吴翔翔等<sup>[5]</sup>归纳总结了国内一些大城市公交分担率的变化、比较及经验借鉴。姜毅等<sup>[6]</sup>研究了公共交通优先发展的策略在一些中等城市(以泰州市为例)中的实施效果。

收稿日期: 2021-10-15

作者简介: 杨金龙(1979—),男,硕士,高级工程师,从事道路交通工程设计工作。

## 1 宁波市公共交通基础概况

本文以宁波市北仑区、镇海区、鄞州区、海曙区、江北区5个区为调查对象,其中海曙区与江北区已经形成紧密的联系,故将其共称为老二区。

本次调查在查阅《宁波市城市综合交通基础数据调查》<sup>[7]</sup>和滚动调查数据的基础上,提取与公交分担率相关的数据。2017年3月15日当日出行约12 052 000人次,以小时为单位统计24 h内4种出行方式的出行量(万人次),如图1所示。

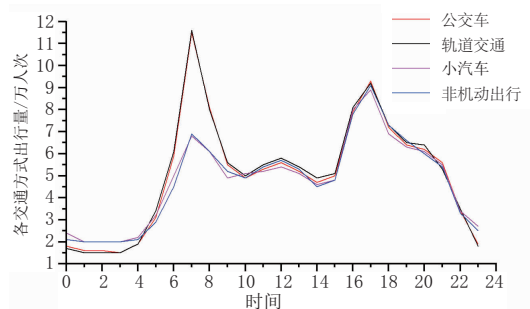


图1 2017年3月15日24小时内各交通方式出行量

分担率  $\alpha$  指的是市民在出行方式选择中选择某种出行方式的出行量占市民总出行量的比率,可由式(1)计算得到。分担率  $\alpha$  是一种宏观概念,可用于衡量城市交通结构合理性及城市公共交通发展状况。将宁波市民的出行方式概括为4种,即  $i=1$  时为公交车出行,  $i=2$  时为轨道交通出行,  $i=3$  时为小汽车出行,  $i=4$  时为非机动出行,其中公交车和轨道交通均为公共交通出行方式。

$$\alpha = \frac{N_i}{N_t} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $\alpha$  为分担率;  $N_i$  为选择某种方式出行的市民出

行量;  $N_i$  为市民出行总量。

由计算可得,宁波市2017年3月15日公交分担率  $\alpha$  为31.15%,4种交通方式各自分担率如图2所示。

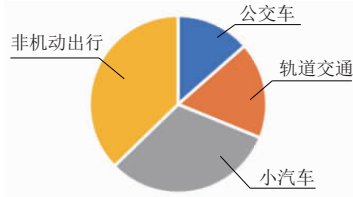


图2 24小时内各出行方式分担率

宁波市市民选择4种出行方式的日均出行距离及速度见表1。

表1 4种交通方式日均出行距离及平均速度表

交通方式	公交车	轨道交通	小汽车	非机动车
出行距离/km	11.1	11	9.4	4
出行速度/(km·h <sup>-1</sup> )	40	80	50	20

## 2 博弈模型的建立

### 2.1 Stackelberg 博弈模型的概念

博弈论(对策论),即采用数学理论和方法用于计算分析理性决策者们之间存在的冲突竞争与合作共赢现象的一门科学。博弈论有三大要素:局中人 I、策略集 S 和赢得函数。

Stackelberg 博弈是一种用来描述领导者与被领导者相互之间的竞争关系的双层规划模型。领导者需要接收被领导者以领导者命令为基础发出的信息,并修改决策进行反馈,直到通过若干次竞争二者效益均获得最优的状态。Stackelberg 博弈是一种双目标最优化问题,可以用数学模型进行表述。

### 2.2 博弈模型的建立

选取4种出行方式来构建双层规划模型,可得城市各出行方式分担率即为旅客交通方式选择的宏观概率。出行者和管理者对交通方式的选择的概率与各个交通方式的出行成本息息相关。

将双层博弈模型主体和参与者设定为管理者 and 出行者。以公交运营商和政府为管理者,排除基础建设投入,评价4种出行方式资源配置时在交通经济等方面管理者的效益成本,利用国民经济效益的计算方法,将指标转化为具体的货币指标,包括客流票价收益、能源消耗成本等方面。居民进行选择决策时,总是倾向于对自己最有益的方式,影响出行效用的因素很广泛,调查要考虑从经济性、效率两个角度考量。双层博弈模型<sup>[8]</sup>如式(2):

$$\begin{aligned} \min_{F_i, P_i} RB &= \sum_{i=1}^4 (EN_i + WR_i) - \sum_{i=1}^4 ET_i \\ s.t. f(x) &= \sum_{i=1}^4 F_i \times H_i \geq 0, F_i \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \min_{F_i, P_i} RC &= \sum_{i=1}^4 [(EC_i + TC_i) \times P_i] \times O \\ s.t. f(x) &= \sum_{i=1}^4 P_i = 1, P_i \geq 0 \end{aligned}$$

式中:  $RB$  为城市中交通管理者的社会成本,元/d;  $EN_i$  为城市中第  $i$  种交通方式的能源成本,元/次;  $WR_i$  为城市中第  $i$  种交通方式污染治理成本,元/次;  $ET_i$  为城市中第  $i$  种交通方式的经济效益,元/次;  $F_i$  为第  $i$  种交通方式运营频次,次/d;  $H_i$  为第  $i$  种交通方式平均载客量,人/次;  $i$  为  $i=1, 2, 3, 4$  时分别代表公交车、轨道交通、小汽车和非机动出行方式;  $RC$  为出行人一天的出行成本,元/d;  $EC_i$  为选择第  $i$  种出行方式的市民出行经济成本,元/次;  $TC_i$  为选择第  $i$  种出行方式的市民出行时间成本,元/次;  $P_i$  为第  $i$  种交通方式的分担率,%;  $O$  为4种出行方式日出行总量,次/d。

## 3 博弈模型的分析

### 3.1 交通管理者的成本计算

#### (1) 能源成本

运营各种交通工具时消耗的单位资源称为能源成本,主要的集中能源有汽油、电能等<sup>[9]</sup>。小汽车出行的能源成本由出行者承担,故管理者对小汽车出行的能源成本为0。其余交通方式的能耗成本可由式(3)计算:

$$EN_i = F_i \times H_i \times L_i \times e_i \times k \quad (3)$$

式中:  $e_i$  为第  $i$  种交通方式单位能耗, L/(人·km);  $k$  为能量的影子价格,元/L;  $L_i$  为第  $i$  种出行方式居民日平均出行距离, km。

计算得公交车的能源成本为  $4.9 \times 10^9$  元,轨道交通的能源成本为  $2.8 \times 10^8$  元,非机动出行的能源成本为  $4.4 \times 10^8$  元。

参考文献[9]中的机动车污染排放模型,如式(4)所示:

$$WR_i = F_i \times EF_i \times CF_i \times L_i \quad (4)$$

式中:  $EF_i$  为各交通方式尾气的排放因子, g/km;  $CF_i$  为治理各交通方式的排放物所需成本,元。

计算得公交车的污染治理成本为 493 748 645 元,轨道交通的污染治理成本为 4 028 859.61 元,小汽车的污染治理成本为 8 002 051.2 元,非机动出行的

污染治理成本为0元。

### (2)经济收益

选择公共交通方式出行的旅客为达到出行目的,会付出相应的费用,管理者所获得的收益主要来自票价收益,但是对管理者来说,私家车出行不会产生经济效益,因此用公共交通线路票价收益作为管理者的经济收益,如式(5):

$$ET_i = P_i \times f_i \times O \quad (5)$$

式中: $f_i$ 为不同公交出行票价,元/人。

由计算得公交车出行方式的经济收益为1 783 690.46元,轨道交通的经济收益为3 203 362.48元,小汽车的经济收益为0元,非机动出行的经济收益为278 474.12元。

## 3.2 市民出行的成本计算

### (1)经济成本

选择公交出行的市民,可以依据各自行程距离,求得所需支付票价费用,调查得:公交车出行的经济成本为3.5元,轨道交通出行的经济成本为5.5元。选择小汽车出行的市民,其成本应包括燃油费、车险、泊车费、保养费、检修费、罚款、折旧费等,参照文献[9],定为20.69元。选择非机动出行的市民,其经济成本视为0.9元。

### (2)时间成本

定义一次出行中所花费所有时间(包括行程时间和候车时间两部分),将时间成本参考时间价值成本来货币化,得到出行者时间成本,如式(6):

$$TC_i = (T_i + t_i) \cdot S_k \quad (6)$$

式中: $T_i$ 为各交通方式出行者的行程时间,h; $t_i$ 为城市各交通方式平均候车时间,h; $S_k$ 为时间价值,元/h。

行程的时间则由对城市居民进行的调查中的出行距离 $L_i$ 、速度大小 $V_i$ 确定,如式(7)所示:

$$T_i = L_i / V_i \quad (7)$$

由表1计算得: $T_1=0.2$  h; $T_2=0.11$  h; $T_3=0.188$  h; $T_4=0.35$  h。

候车时间可用各种公交的运营时间与运营频次来简化估计,候车的时间可由式(8)计算:

$$t_i = TH_i / F_i \quad (8)$$

式中: $TH_i$ 为各交通方式一天运营的时间,h。

计算得: $t_1=0.002 34$  h; $t_2=0.203$  h; $t_3=0.003$  h; $t_4=0.000 397$  h。

旅客的时间价值以城市地区GDP和调查时间区间的城市所有从业人员的工作时间AT来进行估算。由宁波市的GDP为10 750亿元,AT为329亿小

时,得到时间成本如式(9):

$$TC_i = (T_i + t_i) \cdot GDP/AT \quad (9)$$

式中:GDP为地区生产总值,亿元;AT为计算年间城市全部居民的工作时间,h。

经计算得: $TC_1=6.611$ 元; $TC_2=10.227$ 元; $TC_3=6.241$ 元; $TC_4=11.437$ 元。

### (3)居民出行总成本

居民各出行方式出行总成本可由式(10)计算:

$$C_i = EC_i + TC_i \quad (10)$$

计算得: $C_1=8.61$ 元; $C_2=13.227$ 元; $C_3=26.931$ 元; $C_4=12.337$ 元;

由计算结果分析,4种交通方式的出行成本中,公交出行成本最低。非机动出行成本与地铁出行相近,这可能是由于短距离出行非机动出行方式成本低,长距离出行轨道交通出行方式成本低所导致。驾驶小汽车出行的成本最高。

## 3.3 博弈模型的计算

联立得最优解表达如式(11):

$$\min_{F_i, P_i} RB = \begin{bmatrix} (4.9 \times 10^9 + 493\ 748\ 645) + \\ (2.8 \times 10^8 + 4\ 028\ 859.61) + \\ (0 + 8\ 002\ 051.2) + (4.4 \cdot 10^8 + 0) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (1\ 783\ 690.46 + 3\ 203\ 362.48 + 0 + 278\ 474.123) \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$s.t. f(x) = \begin{bmatrix} (3.5 + 9.144) \cdot 13.55\% + \\ (5.5 + 11.126) \cdot 17.6\% + \\ (20.69 + 6.241) \cdot 31.62\% + \\ (0.9 + 6.548) \cdot 37.23\% \end{bmatrix} = RC$$

$$\begin{cases} 10\ 260 \cdot 13.55\% + 885 \cdot 17.6\% + 8\ 000 \cdot 31.62\% + \\ 60\ 500 \cdot 37.23\% \geq 12\ 052\ 000, \\ F_i (i=1, 2, 3, 4) > 0, x \geq 0 \\ 3.55\% + 17.6\% + 31.62\% + 37.23\% = 1, \\ P_i (i=1, 2, 3, 4) > 0 \end{cases}$$

解得此时最优解模型成立,求解时先得下层主体2017年3月15日的成本指标是14.890元,然后把下层主体的成本指标当作约束带入到上层的目标函数中,得2017年3月15日管理者效益指标为58.990元。

## 4 结论与建议

(1)经博弈建模求解得,在31.15%的公交分担率前提下,2017年3月15日居民出行成本指标为14.890元,管理者效益指标为58.990元,与2019年宁波市居民日出行成本指标(14.05元)和管理者效益指标(63.307元)的实际情况出入不大,较为符合,

故博弈模型得出的结果是较为合理的。

(2)由宁波市的公交分担率 31.15%可以看出,其城市交通结构较为合理,但与国外典型的交通都市公交分担率大都在 40%以上的情况相比,仍存在很大的提升空间。

(3)城市交通结构会随着城市结构和道路交通的相继建设、交通政策的实时变化而改变。本文仅以 2017 年 3 月 15 日一天的数据为基础进行计算分析,略为片面,不具有良好的普适性。为了准确地把握宁波城市交通结构合理性的变化规律,应增强对宁波市公共交通系统的流动调查,建议在条件许可的情况下,展开滚动调查,以便于更合理地布设符合宁波实际情况的公共交通网络。

#### 参考文献:

- [1] Kim Youngseo, Kim Eui-Jin, Jang Sunghoon, et al. A comparative analysis of the users of private cars and public transportation for intermodal options under Mobility-as-a-Service in Seoul[J]. Travel Behaviour and Society, 2021(24): 68-80.
- [2] Dawda Nandan H., Gajera Hardik, Joshi Gaurang J., et al. Efficiency Based Evaluation of Public Transport and Paratransit Systems with a View to Integrating Transportation[J]. Transportation Research Record, 2021, 2675(3): 17-32.
- [3] Ahmed Farhana, Catchpole John, Edirisinghe Thiruni, Simon D., Clarys P., Bourdeaudhuij I. D., et al. Understanding Young Commuters' Mode Choice Decision to Use Private Car or Public Transport from an Extended Theory of Planned Behavior[J]. Transportation Research Record, 2021, 2675(3): 200-211.
- [4] 温旭丽, 杨涛, 付栋文. 基于公交分担率的典型交通需求政策敏感性分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2019, 15(11): 285-287.
- [5] 吴翱翔, 毛建民. 国内大城市公交分担率变化比较及经验借鉴[C]// 品质交通与协同共治——2019 年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会, 2019.
- [6] 姜毅, 王路, 尹锦明. 中等城市公共交通优先发展的策略研究——以泰州市为例[J]. 交通运输工程与信息学报, 2019, 17(1): 117-121, 146.
- [7] 宁波市交通局. 2017 年 3 月份宁波市全市公共交通基本情况表[Z]. 浙江: 宁波市统计局, 2019.
- [8] 吕一兵. 水资源优化配置的双层规划模型[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(6): 115-120.
- [9] 石磊. 应用居民出行状况估算北京市机动车污染排放量[J]. 食品科学技术学报, 2009, 27(2): 12-15.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)