

基于混合模型的城市出租汽车保有量建模*

种鹏云 计斌 王璐 陈瑶

(云南省交通科学研究院有限公司交通运输安全研究中心 昆明 650011)

摘要:为构建一种适合我国城市出租汽车保有量测算的模型,提出了基于混合模型的城市出租汽车保有量模型.在对相关测算模型进行适用性分析基础上,采用比例法、横向城市对比估算法,以及统计回归分析法分别建立城市出租汽车保有量模型.从方法的可靠性、数据精确性和对结果影响程度三个方面构建各因素之间相互联结的层次结果模型,并对三种方法的测算结果进行加权求和,从而建立基于混合模型的城市出租汽车保有量模型.以丽江市为实例,对其城区出租汽车保有量合理规模进行测算.结果表明:本模型很好的结合定量计算和定性评价的优点,可操作较强.

关键词:城市交通;保有量;混合模型;城市出租汽车;层次结果模型

中图分类号:U121

doi:10.3963/j.issn.2095-3844.2020.05.007

0 引言

城市出租汽车保有量不仅关系到出行者的出行效率,更关系到经营者的经济收益、城市交通运输系统的资源优化配置以及整个城市交通系统的可持续发展.

关于出租汽车保有量研究方面,国外出租汽车保有量主要依赖市场调节,因此国外学者们主要集中于出租汽车保有量对城市交通的影响^[1-2]和出租汽车与运营指标的关系^[3-5]等方面研究,而保有量建模方法主要通过每千人拥有出租汽车数量的比例等五种方法来确定.在国内,学者们主要利用供需平衡法^[6-10]、神经网络法^[11-14]、回归分析法^[15-16]、比例法^[17],以及其他五种方法对城市出租汽车保有量规模进行研究,城市交通管理部门主要依据文献^[18]来确定出租汽车保有量.

从国内外研究现状来看,在城市出租汽车保有量方面已经取得了丰硕的成果,但仍存在以下三点问题:①国外城市公共交通主要依赖市场调节,而国内主要通过政府行政许可,因此,许多国外研究成果无法直接应用于国内;②各种保有量

建模方法均有一定的局限性,模型参数较多,导致实操性不高;③文献^[18]仅给出了出租汽车保有量的下限值,这给各城市出租汽车数量投放的发展规划带来新的问题.

基于上述分析,本文以城市出租汽车保有量为研究对象,在对相关测算模型进行适用性分析基础上,建立基于混合模型的城市出租汽车保有量模型,以丽江城区为实例,将计算模型应用于出租汽车保有量计算,以期城市交通管理部门提供理论基础和决策依据.

1 出租汽车保有量模型适用性分析

出租汽车保有量确定的方法主要有比例法、横向城市对比估算法、统计回归分析法、指数平滑法、分担率期望目标值法、神经网络法、灰色系统预测法,下面就各模型的适用性分析如下.

1) 比例法 比例法改进了万人拥有率法只按照城市大小简单给出万人拥有率的标准,测算过程中所需数据较少,操作简单.因此,该方法比较适用.

2) 横向城市对比估算法 出租汽车保有量

收稿日期:2020-08-25

种鹏云(1988—):男,博士,高级工程师,主要研究领域为复杂交通运输网络、突发事件应急管理和城市公共安全网络规划等

*国家自然科学基金项目(41501174,71563023)、云南省科学技术厅技术开发研究专项(2016DC053)资助

因城市人口数量和经济发展程度等因素的不同而存在差异,横向城市对比估算法对这些不同影响因素不同测算城市在统一标准下进行比较.因此,该方法比较适用.

3) 统计回归分析法 本文对这种分析方法进行改进,选用与测算城市相似城市各个影响因素的数值与其对应的出租汽车数量来建立回归方程,从而测算城市合理的出租汽车拥有量.因此,该方法比较适用.

4) 指数平滑法 指数平滑法是利用过去和现在的数据资料来预测未来,由于城市出租汽车历年保有量的数量特征一般表现出阶梯型特征,连续性不强,这显然不符合使用指数平滑法的条件.因此,本文不选用该方法.

5) 分担率期望目标值法 分担率期望目标值法在应用过程中需要出租汽车平均车次载客人数、出租汽车日均运营次数和出租汽车工作率等参数.但现阶段,我国大部分城市管理机构均无法或不能完全获取上述数据.因此,本文不选用该方法.

6) 神经网络法 神经网络法在处理非线性系统方面的优越性突出,但我国大部分城市的出租汽车保有量不是经营者根据市场需求自主投放的结果,与影响因素之间没有对应关系,且数据样本量很少,该模型的使用受到很大限制.因此,本文不选用该方法.

7) 灰色系统预测法 灰色系统预测法在处理无规律的、杂乱无章的或规律性不强的数据具有明显优势,但我国大部分城市出租汽车保有量并非一个连续变化数值,这显然不符合使用灰色系统预测法预测出租汽车拥有量的条件.因此,本文不选用该方法.

基于上述分析,本文采用比例法、横向城市对比估算法和统计回归分析法,然后从方法的可靠性、数据精确性和对结果影响程度三个方面利用层次分析法确定三种测算方法的权重,并对不同方法的结果进行加权求和,最后构建基于混合模型的城市出租汽车保有量模型.

2 基于混合模型的城市出租汽车保有量建模

2.1 比例法

使用比例法最关键的是为目标城市选取一个合理的万人拥有率数值.为克服类比城市自身出

租汽车数量可能不合理的缺陷,本文拟以与全国同等城镇居民人均可支配收入相近年份的出租汽车万人拥有率为目标城市万人拥有率下限值,与目标城市经济发展水平相似城市的万人拥有率平均值为目标城市万人拥有率上限值,即

$$w \in [\underline{w}_{\text{近}}, \overline{w}_{\text{全}}] \quad (1)$$

式中: $\underline{w}_{\text{近}}$ 为与全国同等城镇居民人均可支配收入相近年份的出租汽车万人拥有率; $\overline{w}_{\text{全}}$ 为与目标城市经济发展水平相似城市的万人拥有率平均值.

结合式(1)可得使用比例法测算的目标城市出租汽车保有量:

$$T_{\text{比}} = w \times N \times \nu \quad (2)$$

式中: $T_{\text{比}}$ 为使用比例法测算的目标城市出租汽车保有量; N 为目标城市辖区人口数量; ν 为目标城市波动系数,一般取值为1~3.

2.2 横向城市对比估算法

设 p 个影响出租汽车保有量的变量构成 p 维随机向量为 X_1, X_2, \dots, X_p ,通过主成分分析法从 p 个中选出 m 个因素作为主成分.将 m 个因素分别与目标城市相同的 m 个因素进行比较,得到相应的出租汽车保有量,然后取其加权平均值作为目标城市应有的出租汽车保有量.

$$T_{\text{横}} = \sum_{i=1}^n (c_1 \frac{x_0^1}{x_i^1} + c_2 \frac{x_0^2}{x_i^2} + \dots + c_j \frac{x_0^j}{x_i^j}) \times T' \times \lambda_i \quad (3)$$

式中: $T_{\text{横}}$ 为目标城市出租车保有量测算数值; j 为对比因素数量; n 为对比城市的数量; c_j 为各因素对出租车数量的影响因素; x_i^j 为对比城市 i 第 j 个因素的数值; x_0^j 为目标城市第 j 个因素的数值; T' 为对比城市出租汽车保有量; λ_i 为对比城市与目标城市的相似权重.

2.3 统计回归分析法

设与目标城市相近城市的出租汽车保有量 T'' 与 m 个影响因素之间存在着线性相关关系,则出租汽车保有量数值与影响因素之间的多元回归模型为

$$T'' = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \epsilon, \epsilon \sim (0, \sigma^2) \quad (4)$$

式中: β_i 为与目标城市相近城市的出租汽车保有量回归系数, $i \in 1, 2, \dots, m$.

结合式(4)可得目标城市出租汽车保有量.

$$T_{\text{统}} = \beta_0 + \beta_1 X'_1 + \beta_2 X'_2 + \dots + \beta_m X'_m \quad (5)$$

式中: X'_i 为目标城市与对比城市相对应的影响因素数值, $i \in 1, 2, \dots, m$.

2.4 基于混合模型的城市出租汽车保有量建模

为避免单一使用其中一种方法测算的局限性和可能出现的偏差,本文将目标城市出租汽车保有量作为目标层,将方法的可靠性、数据精确性和对结果影响程度作为层次分析法的资源层,三种出租汽车保有量测算方法作为层次分析的方案层,据此构建各因素之间相互联结的层次结果模型,并对三种方法的测算结果进行加权求和,基于此,构建基于混合模型的城市出租汽车保有量模型:

$$T = T_{\text{比}} \gamma_1 + T_{\text{横}} \gamma_2 + T_{\text{统}} \gamma_3 \quad (6)$$

式中: T 为目标城市的出租汽车保有量; γ_1 为比例法的比较权重; γ_2 为横向城市对比估算法的比较权重; γ_3 为统计回归分析法的比较权重。

3 实例计算

以丽江城区出租汽车保有量测算为研究实例。2015 年底,丽市城区规划人口将突破 44 万人,年接待海内外游客突破 2 500 万人·次,城区出租车保有量从 1998—2015 年一直为 776 辆,其

城区出租汽车保有量已经远远不能满足城市建设发展和经济社会发展的需求。

3.1 比例法测算

3.1.1 全国出租汽车万人拥有率情况

对近年来全国出租汽车万人拥有率变化情况进行统计,具体数值见表 1。

表 1 1998—2013 年全国出租汽车万人拥有率变化情况

年份	全国出租汽车		全国城镇人口		全国城镇居民人均可支配收入/元	万人拥有率/(辆·万人 ⁻¹)
	数量/辆	年增长率/%	数量/万人	年增长率/%		
2006	928 647	-0.89	58 288	3.69	11 759	15.93
2007	959 668	3.34	60 633	4.02	13 786	15.83
2008	968 811	0.95	62 403	2.92	15 781	15.53
2009	971 579	0.29	64 512	3.38	17 175	15.06
2010	1 225 740	26.16	66 558	7.03	19 109	18.42
2011	1 263 779	3.10	69 079	3.79	21 810	18.29
2012	1 299 700	2.84	71 182	3.04	24 565	18.26
2013	1 340 000	3.10	73 111	2.71	26 955	18.33

3.1.2 相似城市万人拥有率情况

选择 GDP(亿元)等 7 个同类城市进行类比分析,分别计算其出租汽车万人拥有率,具体数值见表 2。

表 2 2014 年国内同类城市社会经济和出租汽车万人拥有率情况

城市	GDP/亿元	城镇人口数量/万人	城镇居民人均可支配收入/元	行政区域面积/km ²	建成区面积/km ²	公交车数量/辆	出租汽车数量/辆	出租汽车万人拥有率/(辆·万人 ⁻¹)
湖南临湘	159.68	12	18 377	1 754	15	69	303	25.25
广东连州	97.34	15	17 502	2 663	23	33	282	18.8
浙江江山	216.19	13.27	25 499	2 019	16	99	280	21.1
江西樟树	234.02	18	19 860	1 290	26	71	320	17.78
贵州清镇	144.16	10.58	21 227	1 492	52	39	275	25.99
湖北赤壁	244.50	17.92	17 763	1 723	26	307	340	18.97
山东栖霞	625.86	18.8	33 678	2 016	16	48	320	17.02
云南丽江	147.07	43	23 467	7 464	31.64	240	776	18.05

3.1.3 保有量测算

由表 1 可知,取 2012 年全国出租汽车万人拥有率平均水平为丽江城区出租汽车万人拥有率下限值,即 $w_{\text{近}}=18.26$ 辆/万人;由表 2 可知, $\bar{w}_{\text{全}}=20.70$ 辆/万人;结合丽江市近几年旅游业发展情况,建议丽江城区出租汽车万人拥有量波动修正系数为 1.5,则 $w_{\text{近}}=27.39$ 辆/万人, $\bar{w}_{\text{全}}=31.05$

辆/万人。

基于上述分析,结合式(1)可得 2015 年丽江城区出租汽车保有量应 $T_{\text{比}} \in [1\ 206, 1\ 367]$ 。

3.2 横向城市对比估算法测算

筛选出 5 个旅游城市作为有效的数据样本,见表 3。

表 3 2012 年 5 个城市相关数据统计表

序号	城市名称	人口数量/万人	GDP/亿元	公共汽车数量/辆	建成区面积/km ²	居民可支配收入/元	年接待旅游人数/万人
1	山东威海	253.57	2 337.86	846	138	28 630	2 714
2	湖北宜昌	398.97	2 508.89	1031	170	18 775	2 639
3	河南焦作	365.78	1 576.32	429	114	20 136	2 605
4	辽宁锦州	307.90	1 248.50	1 080	71	22 995	2 580
5	河北唐山	741.78	5 861.63	1 706	140	24 358	2 554

由表 3 可知,测算过程采用 SPSS 软件将 5 个城市的样本数据进行主成分分析,分析结果表明建成区面积、居民可支配收入、年接待旅客人数

在第二主成分上有较高载荷,说明第二主成分基本反映了建成区面积、居民可支配收入、年接待旅客人数三个指标信息。基于此,本文以第二主成分

为主要比较因素,见表 4.

表 4 国内五个对比城市基本数据

序号	城市名称	建成区面积 /km ²	居民可支 配收入/元	年接待旅游 人数/万人	出租车 数量/辆
1	山东威海	138	28 630	2 714	1 527
2	湖北宜昌	170	18 775	2 639	1 704
3	河南焦作	114	20 136	2 605	1 32
4	辽宁锦州	71	22 995	2 580	3 880
5	河北唐山	140	24 358	2 554	5 832
6	云南丽江	31.64	23 467	2 663.81	

由表 4 可知,式(3)中, $j=3, n=5, c_1$ 为建成区面积, c_2 为居民可支配收入, c_3 为年接待旅游

人数,经过专家咨询,此处标定 $c_1=0.25, c_2=0.31, c_3=0.44, \lambda_1=0.08, \lambda_2=0.10, \lambda_3=0.70, \lambda_4=0.05, \lambda_5=0.07$, 结合 5 数据,将丽江市 2015 年相关影响因素的数据代入计算模型:

$$T_{\text{横}} = \sum_{i=1}^5 (c_1 \frac{x_0^1}{x_i^1} + c_2 \frac{x_0^2}{x_i^2} + c_3 \frac{x_0^3}{x_i^3}) \times T' \times \lambda_i \quad (7)$$

经过计算可知,2015 年丽江市城区出租汽车保有量为 1 559 辆.

3.3 统计回归分析法测算

选取 11 个旅游城市作为有效的数据样本,见表 5.

表 5 2012 年 11 个城市相关数据统计表

序号	城市名称	人口数量 /万人	GDP /亿元	建成区面积 /km ²	居民可支配 收入/元	年接待旅游 人数/万人	出租汽车 数量/辆
1	山东威海	253.57	2 337.86	138	28 630	2 714	1 527
2	四川乐山	355.12	1 037.75	64.1	20 397	2 674	846
3	湖北宜昌	398.97	2 508.89	170	18 775	2 639	1 704
4	河南焦作	365.78	1 576.32	114	20 136	2 605	1 322
5	广东肇庆	398.23	1 453.84	80	21 754	2 600	900
6	黑龙江齐齐哈尔	559.1	1 153.8	61.4	17 169.6	2 599	2 653
7	辽宁锦州	307.9	1 248.5	71	22 995	2 580	3 880
8	河北唐山	741.78	5 861.63	140	24 358	2 554	5 832
9	河南平顶山	534.66	1 502.0	71	20 610	2 532	2 000
10	陕西渭南	532.10	1 212.45	60	21 808	2 512	795
11	山西晋中	328.68	985.9	39	21 409	2 480	1 166
12	云南丽江	43	147.07	31.64	23 467	2 663.81	

由表 5 可知,采用 SPSS 软件将 11 个城市的样本数据进行多元线性分析,得出相关回归分析模型,为

$$T_{\text{统}} = 1481.67 - 2.008X'_1 + 1.418X'_2 - 19.322X'_3 - 0.097X'_4 + 1.016X'_5 \quad (8)$$

式中: $T_{\text{统}}$ 为待测算城市出租汽车数量,辆; X_1 为待测算城市人口数量,万人; X_2 为待测算城市 GDP 数值,亿元; X_3 为待测算城市建成区面积,平方公里; X_4 为待测算城市居民可支配收入,元; X_5 为待测算城市年接待旅游人数,万人.

将丽江市 2015 年相关影响因素的数据代入式(8),经过计算可知,2015 年丽江市主城区合理出租车拥有量为 1423 辆.

3.4 基于混合模型的丽江城区出租汽车保有量测算

根据层次结果模型,采用 Matlab 进行编程计算,三种方法的权重见表 6.

表 6 三种测算方法层次结果模型权重

理论名称	比例法	横向城市对比法	统计回归法
权重	0.276 1	0.284 4	0.439 5

结合三种方法的测算结果及每种方法的权重,基于混合模型的城市出租汽车保有量模型,经

加权求和,得到丽江城区出租汽车保有量规模,见表 7.

图 7 丽江市出租汽车运力规模合理拥有量表

测算方法	权重系数	测算结果/辆	加权测算结果/辆
比例法	0.276 1	1 206~1 367	333~378
横向城市对比估算法	0.284 4	1 559	444
统计回归法	0.439 5	1 423	626
综合结果			1 403~1 448

综合计算结果表明,丽江城区出租汽车运力规模现状合理拥有量应为 1 403 辆到 1 448 辆.丽江市现有出租汽车数量为 776 辆,因此应新投放出租汽车 627 辆到 672 辆.

4 结 论

1) 构建的混合模型将可获得变量的确定性和不可获得变量的模糊性集成到一起,较大程度上提升了模型的准确性和可操作性.

2) 混合模型所计算出来的结果是一个区间值,这更符合现实情况,可最大化方便管理部门结合实际情况进行决策.

3) 提出的基于混合模型的城市出租汽车保有量模型,结合了定量计算和定性评价方法的优

点,可为城市交通管理部门提供理论支持和决策依据。

参考文献

- [1] GOLIAS I, KARLAFTIS M G. The taxi market in Athens Greece and its impacts on urban traffic[J]. *Transportation Quarterly*, 2001,55(1):63-71.
- [2] GOLIAS J C. Examining sensitivity of impact of taxi traffic on capacity and delays at urban road sections [J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2014, 129(3):286-291.
- [3] FLORES G D. An economic analysis of regulated taxicab markets[J]. *Review of Industrial Organization*, 2003,23(2):255-266.
- [4] YANG H, WONG S C. A network model of urban taxi services[J]. *Transportation Research Part B Methodological*, 1998,32(4):235-246.
- [5] YANG H, YAN W L, WONG S C, et al. A macroscopic taxi model for passenger demand, taxi utilization and level of services[J]. *Transportation*, 2000, 27(3):317-340.
- [6] YANG H, YE M, TANG H C, et al. A multiperiod dynamic model of taxi services with endogenous service intensity[J]. *Operations Research*, 2005,53(3): 501-515.
- [7] 陆建,王伟. 城市出租车拥有量确定方法[J]. *交通运输工程学报*, 2004,4(1):92-95.
- [8] 刘新,贾松. 城市出租车运力规模投放计算方法研究[J]. *公路与汽运*, 2012(4):57-59.
- [9] 宋安,刘琦. 出租车保有量评价与预测[J]. *交通科技与经济*, 2010,12(3):34-36.
- [10] 吴毅洲. 城市出租车运力投放区域及其增量策略[J]. *交通标准化*, 2011(12):106-110.
- [11] 夏钰,陈学武. 基于神经网络 BP 算法的出租汽车保有量预测法[J]. *交通与计算机*, 2005,23(5):35-37.
- [12] 陈宁宁,徐伟嘉,宁洪涛. 城市交通管理中的出租车规划[J]. *数学的实践与认识*, 2006,36(7):121-131.
- [13] 杨英俊,赵祥模. 基于小波神经网络的出租车保有量预测模型[J]. *公路交通科技*, 2012,29(8):136-141.
- [14] 卢毅,王礼志,卢旭. 城市出租车需求仿真预测模型研究[J]. *长沙交通学院学报*, 2007,23(4):23-27.
- [15] 金珍耀,裘哲勇,李慧,等. 杭州市出租车投入量的研究[J]. *科技资讯* 2012(1):212-213.
- [16] 车岚. 城市出租车发展现状及需求预测[J]. *山西科技*, 2006(6):89-91.
- [17] 万众,胡坤鹏. 城市出租车运力规模定量计算方法研究[J]. *汽车工业研究*, 2014(2):56-58.
- [18] 中华人民共和国建设部. 城市道路交通运输规划规范:GB50220—95[S]. 北京:人民交通出版社,2014.

Modeling of Urban Taxi Ownership Based on Hybrid Model

CHONG Pengyun JI Bin WANG Lu CHEN Yao

(Safety Research Center of Traffic & Transportation, Yunnan Science Research Institute of Communication & Transportation Company Limited, Kunming 650011, China)

Abstract: In order to build a model suitable for the calculation of urban taxi ownership in China, a model of urban taxi ownership based on hybrid model was proposed. On the basis of the applicability analysis of the relevant calculation models, the models of urban taxi ownership were established by using the proportional method, the horizontal city comparison estimation method and the statistical regression analysis method. A hierarchical result model was constructed from three aspects: the reliability of the method, the accuracy of the data and the degree of influence on the results. The calculation results of the three methods were weighted and summed, and the urban taxi ownership model based on the hybrid model was established. Taking Lijiang City as an example, this paper calculated the reasonable scale of taxi ownership in its urban area. The results show that this model combines the advantages of quantitative calculation and qualitative evaluation, and has strong operability.

Key words: urban traffic; ownership; hybrid model; urban taxi; analytic hierarchy process