

基于因素分析的出租车运力规模预测

洪杰^{1,2,3}, 叶晓飞^{1,2,3}, 黄正锋^{1,2,3}, 郑彭军^{1,2,3*}

(1.宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211; 2.国家道路交通安全管理工程技术研究中心 宁波大学分中心, 浙江 宁波 315211;
3.现代城市交通技术江苏高校协同创新中心, 江苏 南京 210096)

摘要: 随着网约车的兴起和城市公共交通建设的不断完善, 传统出租车行业面临的竞争不断加剧, 可能出现出租车运力规模过剩的问题. 通过影响因素分析, 筛选 8 个主要因素, 构建了基于多元回归的出租车运力规模关系模型, 利用宁波市客管局实测数据进行模型标定, 并引入网约车修正系数, 预测未来年的出租车运力规模. 结果表明: 2017 年宁波市出租车运力需求为增长态势, 而巡游出租车运力规模因网约车的冲击仍将减少.

关键词: 出租车; 网约车; 运力规模; 影响因素分析; 多元线性回归

中图分类号: U492.4+1

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 03-0116-05

传统出租车行业正面临新的业态. 一方面在“互联网+”的时代背景下, 滴滴出行、Uber、神州专车等各类网约车服务在全国范围陆续推出, 基于网约车的 APP 快捷约车和商业补贴两大竞争优势, 网约车业务蓬勃发展, 迅速抢占了传统出租车行业的部分市场. 另一方面随着城市公共交通系统的不断完善, 公交出行性价比持续提升, 也将给传统出租车行业带去冲击. 新业态整体表现为传统出租车行业不景气, 也诱发了新旧行业人员冲突频发的社会不稳定事件, 需要政府科学引导出租车运力规模的合理发展.

对于出租车运力规模研究, 国外较为偏重出租车运力需求的研究, 而国内较为偏重对城市出租车保有量的定量研究. 最早由经济学家 Douglas 提出了基于集计需求的出租车运力规划模型^[1]. Manski 等^[2]提出乘客候车时间及费用与出租车空载行驶费用, 两者决定了运力需求供应的平衡. Beesley 等^[3]研究表明, 存在着一定弹性区间, 降低价格或者增加运力投放都并不一定会降低利润. Wong 等^[4]建立了基于竞争或垄断市场的价格机制下的一个出租车服务供需平衡网络模型. Enrique

等^[5]将出租车客运需求定义为价格的广义函数, 探讨在社会最优及次优策略下出租车市场的状态. 陆建等^[6]建立了一个基于出租车运营参数的运力规模预测模型. 边扬等^[7]建立一个基于出租车运力规模与乘客候车时间的供需平衡模型. 丁浩^[8]建立了一个基于市区人口和城区面积的出行总量预测模型. 周萌萌等^[9]通过运力供需平衡和灰色系统理论, 建立了出租汽车运力投放规模数学模型. 宋安等^[10]建立了出租车运力规模综合评价模型, 并在此基础上提出基于供需平衡的预测方法.

已有的研究多数侧重应用供需平衡法计算出出租车运力规模, 由于行业管制等原因, 现实问题未必存在着供需平衡的最优解. 本文以宁波市客管局出租车相关数据为基础, 构建运力规模与影响因素间的出租车运力规模关系模型, 再通过分析巡游出租车营运车次进行模型修正, 预测巡游出租车合理的运力规模, 以期求解较优解.

1 影响因素选取和模型建立

1.1 运力规模影响因素选取

通过出租车运力规模影响因素机理分析, 发

收稿日期: 2016-06-11.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51408323); 浙江省自然科学基金(LY15E080013); 欧盟 PORTIS 项目(619713).

第一作者: 洪杰(1985-), 男, 浙江宁波人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 港航技术及管理工程. E-mail: 290723892@qq.com

*通信作者: 郑彭军(1965-), 男, 浙江宁波人, 研究员, 主要研究方向: 智能交通系统、港航技术及管理工程. E-mail: zhengpengjun@nbu.edu.cn

现影响因素众多,且具有动态性.依据科学性、代表性、相关性、可获得性以及全面性五大原则,本文筛选出8个主要影响因素作为自变量,分别为市区GDP总值(X_1)、市区总人口(X_2)、第三产业比重(X_3)、公交线路总长度(X_4)、公交运营数量(X_5)、旅游收入(X_6)、机动车保有量(X_7)及出租车企业规模化程度(X_8),出租车运力规模为因变量,设为 Y .

1.2 基于影响因素的出租车运力规模关系模型

多元线性回归可以有效地整理和分析受随机影响的数据,通过假设因变量和自变量之间为线性关系,用一定的线性回归模型来拟合因变量与自变量的数据,并通过确定模型参数来得到回归方程,然后对所考察的问题做出推测或预测.本文采用多元线性回归方法构建得到出租车运力规模影响因素关系模型,再引入网约车修正系数,预测巡游出租车合理的运力规模.

1.2.1 检验自变量线性关系

本文采用定性、定量方法相结合的方式去检验自变量与因变量的线性相关性.首先利用SPSS软件绘制运力规模与各影响因素间的矩阵散点图,直观判断自变量与因变量间是否存在线性关系,定性筛选出线性相关的自变量候选集.然后通过Pearson相关分析,检验自变量候选集是否满足要求. Pearson相关系数 r 越接近+1或-1, y 与 x 的拟合程度就越好,计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (1)$$

1.2.2 建立模型与求解

基于多元线性回归理论,设出租车运力规模为 Y ,与8个影响因素 $X_1 \sim X_8$ 之间存在多元线性相关关系式如下:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_8 X_8 + \varepsilon, \quad (2)$$

其中, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_8$ 为待定系数,采用最小二乘法估计.

进行模型求解,求得多元线性回归方程系数 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_8$ 的值,得到出租车运力规模回归关系模型参数标定结果.

1.2.3 显著性检验—— t 检验

t 检验主要用于检验回归系数的显著性,即自

变量对因变量的影响统计上是否显著.本文构造的检验统计量如下:

$$t_n = \frac{b_n}{\sqrt{\text{Var}(\beta_n)}}, \quad (3)$$

其中, $\sqrt{\text{Var}(\beta_n)}$ 为回归系数的标准误差,如果显著性水平(或伴随概率)小于事先确定的显著性水平 α ,则认为该自变量对因变量线性影响显著.

1.3 网约车修正系数

2014~2016年间出租车市场整体呈现为网约车市场蓬勃发展,巡游出租车市场日渐萎缩.一方面,网约车平台公司新业务不断开发并推广、服务水平日渐提高、不定期推出价格补贴等市场开拓策略,同时乘客对APP约车服务接受能力随时间的日益提高,表现为网约车市场日趋成熟.另一方面,巡游出租车由于服务质量差、运营管理成本高、运价缺乏竞争力等原因,表现为巡游出租车市场竞争力弱.在对出租车司机、乘客及行业管理部门的调研中发现,人们普遍认为网约车已成为影响巡游出租车运力规模的重要因素.

由于网约车作为新兴事物,网约车平台公司尚未实现与政府部门的数据全面对接,难以获得准确的网约车营运数据,便无法直接通过网约车营运数据分析网约车修正系数.本文通过分析巡游出租车营运车次的历史数据,研判其变化趋势,并结合关系模型所得到出租车行业运力规模的变化趋势,测算得到网约车在出租车行业的市场份额,将其命名为网约车修正系数 λ .修正后,巡游出租车合理的运力规模 Y' 与出租车行业的运力规模 Y 的关系式如下:

$$Y' = (1 - \lambda)Y. \quad (4)$$

1.4 出租车运力规模预测

步骤1 基于出租车运力规模影响因素关系模型的模型标定结果,进一步预测各影响因素的变化趋势,从而通过该多元线性回归方程计算得到未来年出租车市场的运力需求及其增长率.假设运力供应能满足运力需求,基于供需平衡,预测得到出租车行业合理的运力规模.

步骤2 网约车作为出租车的一种新形式,应参与出租车市场份额分配,通过历史数据测算得到网约车修正系数,从而预测巡游出租车合理的运力规模.

表1 出租车运力规模影响因素数据

因素	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
X_1	2 158.04	2 446.4	2 864.5	3 433.1	3 964.1	4 214.6	5 125.82	5 397.05	5 880.6	6 364.15	6 847.7	8 011.5
X_2	210.5	213.4	215.8	218.2	220.1	221.8	223.3	242.1	243.01	243.64	244.01	244.1
X_3	37.30	39.40	40.10	40.30	40.40	42.30	40.20	43.25	44.05	44.85	45.66	47.46
X_4	2 948.29	3 753.63	4 178.55	4 428.95	4 857.65	5 293.2	5 728.73	6 189.43	6 621.56	7 053.69	7 485.82	7 917.95
X_5	2 200	2 437	2 644	2 772	3 038	3 245	3 455	3 653	3 859	4 065	4 271	4 478
X_6	192.5	238.4	289.6	348.2	415.9	497.3	610.7	714	836.1	970.3	1 116.5	1 233.3
X_7	28.89	35.24	41.77	48.21	56.12	70.59	88	106.46	123.83	142.67	159.7	179
X_8	10.60	11.43	12.25	13.59	13.90	14.72	15.55	16.37	18.19	18.22	18.84	20.49
Y	3 311	3 311	3 551	3 551	3 551	3 551	3 851	3 851	4 101	4 427	4 427	4 427

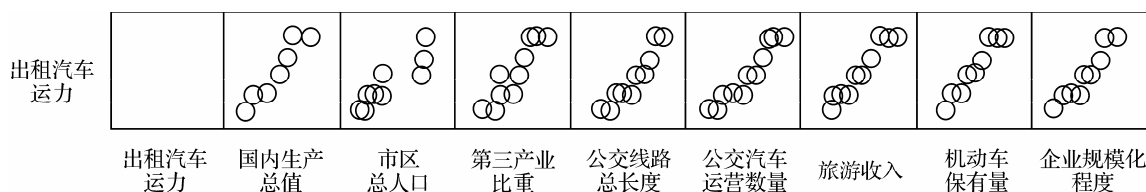


图1 出租车影响因素矩阵散点图

2 实证分析

2.1 数据采集

根据上述影响因素,选取2004~2015年的时间序列为样本,各影响因素数据来源于历年《宁波统计年鉴》及宁波市公共交通客运管理局,详见表1。

2.2 计算结果分析

(1)通过绘制运力规模与各影响因素间的矩阵散点图(图1),检验发现出租车运力规模与各影响因素之间呈明显的线性关系,无需对自变量进行剔除或变形,便可用于多元线性回归模型。

(2)Pearson相关性分析。表2结果表明,8个影响因素与运力规模都具有强相关性,验证了8个影响因素可用于多元线性回归模型。

表2 Pearson 相关分析结果

项目	X_1	X_2	X_3	X_4
Pearson 相关性	0.963	0.927	0.923	0.959
项目	X_5	X_6	X_7	X_8
Pearson 相关性	0.959	0.972	0.976	0.967

(3)标定模型结果见表3。模型标定结果分析结论如下:

步骤1 运力规模与影响因素的相关性整体分

表3 运力规模回归模型标定结果

模型参数	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差			
常量	355.606	880.917		0.404	0.707
X_1	0.231	0.045	0.620	-2.882	0.045
X_2	19.065	12.278	13.207	2.442	0.071
X_3	20.700	9.807	0.148	2.111	0.102
X_4	-0.116	0.094	-0.492	-1.240	0.183
X_5	-0.214	0.258	-0.438	2.766	0.051
X_6	0.426	0.391	0.414	1.088	0.028
X_7	-0.542	3.017	-0.076	-0.180	0.166
X_8	-14.079 29	-14.157 88	-0.154	-1.277	0.191

析。 X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_6 为正相关因素; X_4 、 X_5 、 X_7 和 X_8 为负相关因素。

步骤2 影响因素的作用强弱分析。结合表1数据计算各影响因素对出租车数量的作用,出租车数量变化(作用强弱)=模型标定结果的系数×影响因素基准数值×增长率,计算结果详见表4。因此,正相关影响因素对出租车运力规模的数值影响,按大小对其进行排序: $X'_1 > X'_6 > X'_3 > X'_2$ 。同理,可计算得到负相关影响因素作用强弱关系排序: $X'_4 > X'_5 > X'_8 > X'_7$ 。

表4 各影响因素对出租车数量变化的作用 辆

项目	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X'_i	269	2	37	-50	-44	50	-10	-23

步骤3 显著性水平检验. 模型部分影响因素的显著性水平未小于通常设定的 0.05 显著性水平, 主要受限于样本数据与影响因素数量的比值不够大. 但考虑到解释变量的实际意义, 认为有必要将相关的解释变量纳入到模型当中, 且模型得出各影响因素作用强弱的结论与宁波市出租车行业实际状况较为符合, 认为该模型有效.

步骤4 列出出租车运力规模影响因素的关系模型如下:

$$Y = 355.606 + 0.231X_1 + 19.065X_2 + 20.7X_3 - 0.116X_4 - 0.214X_5 + 0.426X_6 - 0.542X_7 - 14.0793X_8.$$

(4)网约车修正系数分析.

网约车修正系数是网约车在出租车行业所占份额的预测数值. 因客观原因, 本文缺少网约车营运数据, 无法直接分析得到网约车的市场份额. 因此, 文中假定网约车和巡游出租车具有公平的竞争条件, 两者组成出租车行业整体与其他出行方式竞争, 而后两者间再进行市场份额分配, 那么网约车运力规模的增长来源于出租车行业总运力规模的增长和巡游出租车运力规模的减少.

基于上述假定, 网约车市场份额与月份应满足如下关系式:

$$\lambda = (a + \sum_{i=1}^x b_i + \sum_{i=1}^x c_i) / d, \quad (5)$$

式中, a 为网约车的初始市场份额; b 为巡游出租车月营运车次增长率; c 为出租车行业总运力规模的月增长率; d 为当前月份较初始月份的营运车次比值, $d = 1 + \sum_{i=1}^x c_i$.

本文通过出租车运力规模影响因素模型预测出租车行业总运力规模的年度增长情况, 而巡游出租车运力规模变化情况可通过巡游出租车月营运车次历史数据进行分析得到. 选取 2014 年 5 月~2016 年 4 月巡游出租车月度营运车次数据, 采用同比增长率分析帮助剔除出租车淡旺季营运车次波动的影响, 得到巡游出租车月度营运车次同比增长率(图 2).

基于关系模型的标定结果, 假设各项影响因

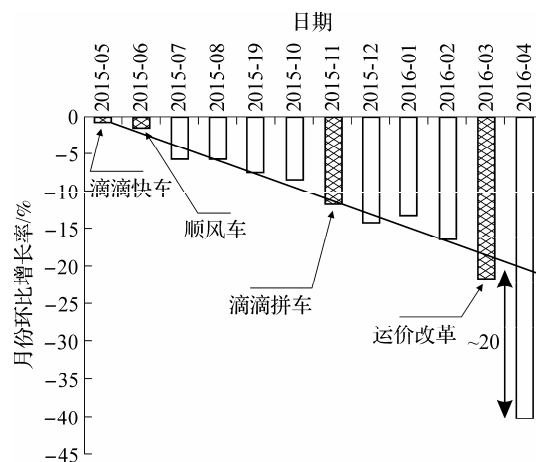


图2 巡游出租车月营运车次同比增长率

素按照自然增长率增长, 可计算得到出租车行业总运力规模年增长率为 13.5%, 从而求得月度增长率 c 为 1.125%。假设巡游出租车营运车次与月份存在线性关系, 通过图 2 的线性拟合, 可求得巡游出租车月度营运车次同比增长率与月份斜率为 -0.016, 即得 b 为 1.6%。至 2016 年 11 月宁波网约车管理办法出台, 明文规定网约车不得以任何形式进行价格补贴. 取 2015 年 5 月份的 $x=0$, 历时 2014 年 1 月~2015 年 5 月的 16 个月时间, 巡游出租车营运车次呈现零增长, 即出租车行业总运力规模增长都由网约车业务量增长导致的结果, 则可计算得到 $a = 0.1525$ 。

因此, 得到当前政策环境宁波市网约车市场份额与时间的关系式如下:

$$y = \frac{0.1525 + 0.02725x}{1 + 0.01125x}, \quad (6)$$

x 取值截至 2016 年 11 月份, 因宁波市将于 11 月份出台网约车管理办法实施细则, 政策变化将给网约车市场份额带去极大的冲击, 难以预测。

根据(6)式, 计算得到至 2016 年 11 月份, 网约车市场份额预期达到 53.5%, 假定将其作为出租车运力规模分配的决策参考, 则 2017 年网约车修正系数 λ 为 0.535。

(5)出租车运力规模预测.

根据表 1 数据, 通过线性拟合可知各影响因素的自然增长率, 假设各项影响因素都按照自然增长率增长, 测算得到宁波市 2017 年出租车总运力规模为 5704 辆. 网约车修正系数 λ 取 0.535, 结合(4)式, 计算得到修正后宁波市 2017 年巡游出租车

合理的运力规模为 2 652 辆。当前宁波市巡游出租车运力规模为 4 427 辆, 两者间比例系数约为 0.6。

3 结论

(1)以宁波市为例, 揭示了各影响因素与出租车运力规模的相关性并比较了各影响因素的作用强弱。

(2)近些年, 宁波市出租车运力规模呈增长态势, 宁波市出租车运力市场年增长率为 0.135。基于本文所提出的出租车运力规模关系模型, 至 2017 年出租车总运力规模将达到 5 704 辆。

(3)宁波市网约车市场份额呈上升态势, 预测至 2016 年底, 宁波市网约车的市场份额将达到 53.5%, 而 2017 年宁波市巡游出租车合理的运力规模应为 2 652 辆, 与当前巡游出租车运力规模的比例系数为 0.6。结果表明: 巡游出租车行业营运状况仍将恶化, 司机收入水平下降, 司机转业和公司倒闭的风险将进一步上升。

参考文献:

[1] DOUGLAS G W. Price Regulation and optimal service standards: The taxicab Industry[J]. Journal of Transport

Economics & Policy, 1972, 20(2):116-127.

- [2] MANSKI C F, WRIGHT J D. Nature of equilibrium in the market for taxi services[J]. Transportation Research Record, 1976, 619:11-15.
- [3] BEESLEY M E, GLAISTER S. Information for regulation: The case of taxi[J]. The Economic Journal, 1983, 93(93):594-615.
- [4] WONG K I, WONG S C, YANG H. Modeling urban taxi services in congested road networks with elastic demand [J]. Transportation Research Part B, 2001, 35:819-842.
- [5] ENRIQUE F L, JOAQUIN D C C, JULIO B M. A diagrammatic analysis of the market for cruising taxis[J]. Logistics and Transportation Review, 2006, 42(6):354-371.
- [6] 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.
- [7] 边扬, 王伟, 陆建. 城市出租车运营网络平衡模型[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2):93-98.
- [8] 丁浩. 城市交通管理中的出租车规划模型[J]. 数学的实践与认识, 2008, 38(6):95-103.
- [9] 周萌萌, 王林. 出租车运力规模研究[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(19):117-121.
- [10] 宋安, 刘琦. 出租车保有量评价与预测[J]. 交通科学与经济, 2010, 12(3):34-36.

Factor analysis based prediction of taxi capacity scale

HONG Jie^{1,2,3}, YE Xiao-fei^{1,2,3}, HUANG Zheng-feng^{1,2,3}, ZHENG Peng-jun^{1,2,3*}

(1.Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.National Traffic Management Engineering & Technology Research Centre, Ningbo University Sub-centre, Ningbo 315211, China;

3.Jiangsu Province Collaborative Innovation Center for Modern Urban Traffic Technologies, Nanjing 210096, China)

Abstract: With the development of internet-based car services and the improvement of urban public transportation systems, the operation of traditional taxi industry becomes more and more difficult. Problems arising from the excessive capacity supply of taxi have been more and more noted by the public. To predict a reasonable taxi capacity scale, we construct a taxi capacity scale relational model based on eight major factors using multiple regression method. The model is calibrated using empirical data from the Ningbo passenger transportation authority. By citing correction factor of network cars, the model, can be used to predict taxi capacity scale for next year. The results reveal that for Ningbo in 2017 the taxi transport capacity demand may climb, but taxi capacity scale should be shrunk given the impacts of internet-based car service on the conventional operation mode with taxi business.

Key words: taxi; internet-based car; capacity scale; factor analysis; multiple linear regression

(责任编辑 章践立)