

车牌额度拍卖市场管制有效性及效率改进空间^①

冯苏苇¹, 林 昌²

(1. 上海财经大学公共经济与管理学院, 上海 200433; 2. 福建工程学院, 福州 350108)

摘要: 随着我国城镇化和机动化进程加速, 已有多个城市加入私车拥有权管制行列, 管制政策有效性亟待科学分析和系统评估。基于管制绩效评估理论, 以上海车牌额度拍卖市场为切入点, 首先, 通过限价之前拍卖市场关键变量近线性关系发现其具有量价齐升、正向激励特征, Hurst 指数分析表明拍卖价格变化率可恢复均值、回归中位。其次, 选择三种对照组, 采用差中差、OLS 等方法计量减缓私人汽车拥有量增速的宏观效应以及通过额度投放量稳定拍卖市场的微观效应, 发现管制效果显著。进一步, 根据高斯回归过程考察拍卖价格可预测性, 指明提升效率、放松管制的改进方向和措施, 为政策完善提供有价值参考。

关键词: 车牌额度; 管制; 统计学习方法; 有效性; 绩效评价

中图分类号: F062.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2018)09-0012-11

0 引言

近二十年来, 经济增长、汽车产业发展和城镇化给我国机动化管理带来严峻挑战, 先后有上海、北京、贵阳、广州、天津、深圳和杭州等城市采用市场化或行政性干预措施, 通过拍卖、摇号、混合方式对私车牌照额度进行配置, 以达到减缓机动车拥有量增速、合理分配空间资源的政策目标。上海采用非营业性客车额度拍卖政策较好地控制了机动车增速、取得先行示范效果, 但近年来遭遇需求激增、价格上扬、外地车牌竞争等挑战, 管理部门采取增投额度、竞拍警示价、对外牌车辆加强监管等措施加以应对。如何进一步提升政府对车牌额度拍卖市场的驾驭能力和管理绩效, 亟需运用前沿统计学习方法对管制有效性进行评估, 提出改进管制效率的方向和措施。

车牌额度拍卖不是一个完全自由竞争市场, 地方政府干预、调控使传统拍卖理论指导作用有限^[1, 17]。在城镇化和机动化背景下, 快速变化的政策手段和环境无法精确测量和预测。一体化政

策所产生的综合治理成效中, 单项政策的作用机制难以建模并标定因果关系。此外, 车牌额度拍卖市场还存在时间序列短、无法分阶段计量不同干预措施效果等问题。基于上述理论构建和政策计量困难, 从拍卖市场时间序列数据出发, 采用多种统计学习方法探索拍卖市场规律、评估管制有效性不失为一条可行研究路径。

基于公共管制绩效评估理论^[2], 以上海车牌额度拍卖市场为研究对象, 利用主成分分析、Hurst 指数分析、差中差、OLS、高斯回归过程等统计学习和计量分析方法, 对政府干预市场手段有效性进行定量评价, 探索政策改进方向。由于拍卖市场各要素变化趋势反映了多种干预手段的综合效果, 首先研究限价之前拍卖市场主要特征, 利用主成分分析指明拍卖市场存在量价齐升、正向激励特点, 通过 Hurst 指数分析发现价格变化率总体稳定、回归中位。进一步选取多元控制变量和合适对照组, 采用差中差方法测量 1999 年 ~ 2015 年间减缓私人汽车拥有量增速的宏观效果,

① 收稿日期: 2016-09-29; 修订日期: 2017-09-15.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71871131).

作者简介: 冯苏苇(1969—), 女, 江苏扬州人, 博士, 副教授. Email: fsuwei@mail.shufe.edu.cn

并建立 OLS 回归模型分析额度投放量对稳定拍卖市场的微观影响。最后,利用高斯回归过程讨论额度拍卖市场的效率改进空间,指明在限价等较强行行政干预下,市场化特征逐渐消减,拍卖市场更像一个排队市场。可行的效率改进方向为放松价格管制,让市场回归自发调控能力。

1 政策综述及研究思路

根据政策生命周期理论,上海车牌额度拍卖政策可分为萌芽期(1986年~1993年)、成长期(1994年~2002年)、成熟期(2003年~2012年)和强化期(2013年至今)等阶段^[3]。在萌芽期和成长期,政策目标多元、多变且模糊,车牌额度一度成

为刺激房地产和汽车产业发展的筹码。转折点为2002年发布《上海城市交通发展白皮书》,确立今后一段时期内机动车发展和管理战略目标,此后车牌额度拍卖政策对机动车增长的调控作用逐渐显现。

成熟期之后的车牌额度拍卖市场,随着私家车及额度需求增长,额度中标价格持续上升,管理部门先后通过变更拍卖规则(2008-01)、投标限价(2013-04)、增加额度投放量等干预手段来实现稳定市场价格、维护市场秩序等目标。图1描述2002年~2017年间拍卖市场关键变量长期稳定、持续增长的变化趋势,2014年前后投标限价造成市场出现较大转变。由于规则变更和投标限价的市場影响已内化在数据长期趋势中,重点关注限价之前额度投放量单个措施效果。

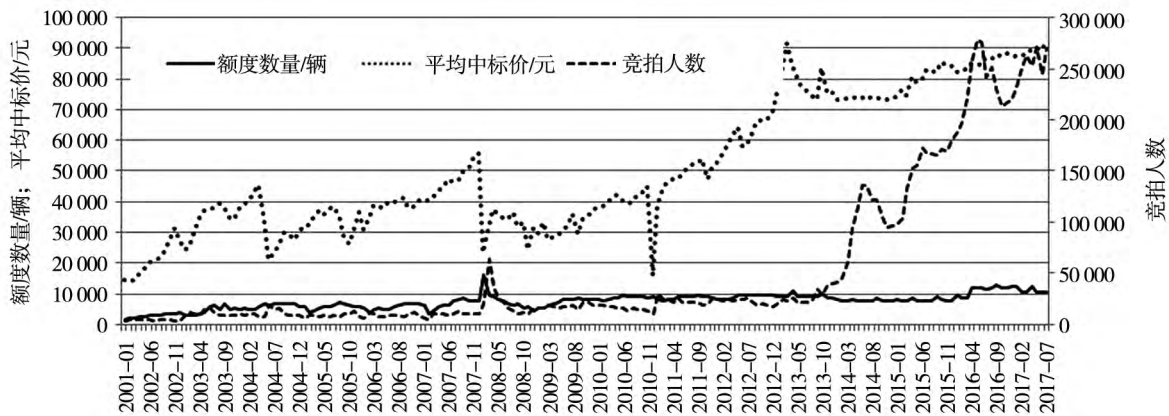


图1 上海车牌额度拍卖市场变化趋势(2002-01~2017-07)

Fig. 1 Data changing trends of Shanghai private car licenses quota auction (2002.1-2017.7)

私人机动车管制可以分为拥有权管制和使用权管制两类,已有研究集中在与使用权管制相关的交通网络建模^[4-6]、系统演化^[7-8]、机制设计^[9-11]等方面,并取得大量理论成果。拥有权管制的现有研究又可分为拍卖市场机制设计和宏观政策效应两类,第一类文献侧重于拍卖市场机制研究,对拍卖市场各要素之间因果关系进行理论建构和实证分析,包括多物品同时拍卖模型^[12]、规则变更的市场影响^[13]、拍卖机制设计^[14]以及序贯拍卖——摇号混合机制^[15]等;第二类研究侧重拍卖政策所产生的宏观影响,如价格走势预测^[16]、政策正负效应评估^[17]、不同方式政策参与人成本^[18]、公众接受程度^[19]、政策效应计量分析^[20]以及社会福利影响^[21]等。新加坡是惟一采用私车额度拍卖的国外城市,一些学者研究了相

关制度设计和政策绩效^[22-23],但对机动车拥有权管制理论及实证研究并不多见^[24]。上述文献在拍卖方式配置车牌额度资源方面取得一定进展,由于我国私车额度管制政策实践走在理论前面,相关理论研究成果仍相当缺乏,难以为额度投放管理提供有科学依据的政策指导。

公共管制绩效评估理论认为,政府干预市场的理由在于市场失灵,管理者依据政策目标制定干预手段,从而引发市场状态变化,因此根据可观察的市场状态变化,合理选择统计分析和计量工具,对管制绩效进行评估^[2,3]。车牌额度拍卖政策目标在于合理控制机动车总量增速、稳定拍卖价格、维持市场秩序等,干预手段包括规划额度投放量对机动车增长进行宏观调控,采用变更拍卖规则、设置准入标准和价格上限等手段对拍卖市场

实施微观调控,微观状态变量为额度投放量、竞拍人数、平均中标价等拍卖市场数据,宏观状态变量为私人汽车拥有量以及相关经济社会变量.上海车牌额度拍卖政策先后经历了两次较大的规则变更,即2008年1月由单阶段变为两阶段拍卖以及2013年4月投标限价,此外有研究认为管理部门将额度投放量作为一种常态干预模式以稳定拍卖市场^[25].由于数据序列较短,若按照两次规则变更分为三个阶段来分别研究,有限的会影响统计分析精度,因此假设两次规则变更对拍卖市

场产生的影响已内化在数据长期趋势中,重点分析额度投放量与竞拍人数、平均中标价等关键变量线性关系以及价格波动规律.所选取的市场状态观察指标包括关键变量之间线性关系、价格波动率以及价格可预测性等,尝试通过主成分分析、Hurst指数分析以及高斯回归过程等统计学习方法发现拍卖市场规律,并对政策效应采用差中差、OLS进行计量分析,与政策目标进行比对和综合判断,指明政策改进方向,研究思路如图2所示.

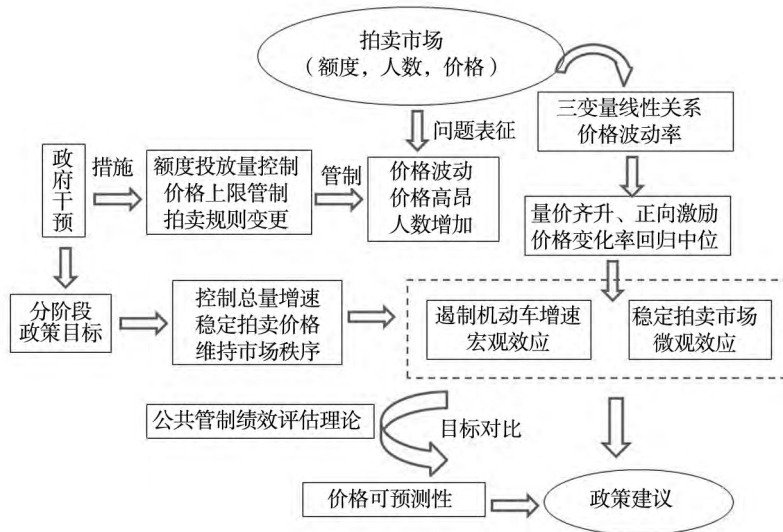


图2 研究基本思路
Fig. 2 Research framework

2 车牌额度拍卖市场特征分析

2.1 关键变量近线性关系

本节利用主成分分析方法对限价之前(2002年~2013年)拍卖市场进行数据降维,找出额度投放量、竞拍人数、平均中标价等关键变量满足的近线性关系,发现拍卖市场基本特征.在分析中,用 x_t , y_t , z_t 来分别表示上述三组时间序列,每组月度数据被视为三维列向量 $\varphi_t = [x_t, y_t, z_t]^T$,共包含 $m = 143$ 个训练样本,所有输入样本的均值向量为 $\mu = [6\ 370.74\ 15\ 303.91\ 41\ 773.36]^T$,总协方差矩阵为

$$\Sigma = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m (\varphi_t - \mu) (\varphi_t - \mu)^T = \begin{bmatrix} 5\ 287\ 609.33 & 13\ 454\ 539.21 & 22\ 369\ 231.88 \\ 13\ 454\ 539.21 & 73\ 973\ 530.19 & 73\ 333\ 732.74 \\ 22\ 369\ 231.88 & 73\ 333\ 732.74 & 256\ 494\ 442.85 \end{bmatrix}$$

求出协方差矩阵 Σ 的特征值及特征向量,并将特征值按降序排列,得

$$\lambda_1 = 284\ 648\ 880.29, \lambda_2 = 48\ 758\ 907.31, \lambda_3 = 2\ 347\ 794.78$$

其对应的特征向量分别为

$$u_1 = \begin{bmatrix} 0.091\ 178 \\ 0.332\ 561 \\ 0.938\ 664 \end{bmatrix}, u_2 = \begin{bmatrix} -0.113\ 028 \\ -0.933\ 043 \\ 0.341\ 549 \end{bmatrix}, u_3 = \begin{bmatrix} 0.989\ 399 \\ -0.137\ 237 \\ -0.047\ 484 \end{bmatrix}$$

前两个分量所代表的的数据占全部方差的比例为99.3%,数据中绝大部分信息都集中在这两个主成分上,可选择它们作为样本的新特征,将样本投影到 u_1, u_2 所构成的平面上进行特征降维.降维之后所得的数据用 $\theta_t = [\alpha_t, \beta_t]^T, t = 1, 2, \dots, 143$ 来表示,有

$$\begin{bmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.091\ 178 & 0.332\ 561 & 0.938\ 664 \\ -0.113\ 028 & -0.933\ 043 & 0.341\ 549 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i - 6\ 370.74 \\ y_i - 15\ 303.91 \\ z_i - 41\ 773.36 \end{bmatrix} \quad (1)$$

进一步,可认为 x_i, y_i, z_i 数据序列之间存在如下近线性关系,且 F 统计量(92.66)和回归系数 t 统计量(8.62, 5.55)显示回归显著

$$\begin{aligned} &0.989\ 399(x_i - 6\ 370.74) - 0.137\ 237 \times \\ &(y_i - 15\ 303.91) - 0.047\ 484 \times \\ &(z_i - 41\ 773.36) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

上式表明拍卖市场具有以下特征:

1) 在研究时段 2002 年 ~ 2013 年内,竞拍人数和拍卖价格随额度投放量增加而增长,显示市场具有显著的“量价齐升”特征. 额度投放量可以有效吸收一部分当期的车牌需求,但也对潜在需求产生吸引效果,诱发更多的人参与下一期竞拍,引起价格进一步上涨^[20]. 由于额度投放数量远小于牌照刚性需求,市场需求长期处于抑制状态,一旦放松数量管制,需求和价格反弹上扬趋势明显.

2) 额度投放量也受到竞买人数和平均中标价的正向影响,政府会根据额度需求和中标价上涨,持续增加额度投放量来稳定拍卖市场,政府与市场呈现一种“正向激励”互动效应. 这在第 3.2 节实证分析中得到验证. 但 2013 年 4 月实施价格上限管制后中标率持续低迷,政府期望通过调整额度投放量来稳定拍卖市场,效果有限. 这种政策预期与市场行为之间存在客观差异应引起政策制定者的高度重视.

2.2 拍卖价格变化率

额度拍卖价格会随着多种内外因素而变动,标定这些因素往往相当困难,尤其是定性的政策变量. 本节利用 Hurst 指数中的扩散熵(diffusion entropy)方法,从拍卖价格变化率角度描述拍卖市场行为特征,对政府干预市场总体有效性给予辅助评价.

Hurst 指数被广泛应用于刻画时间序列尺度不变(scale invariance)特性,通常用重标极差统计法来确定. 扩散熵方法是计算 Hurst 指数的改进方法,对于高斯分布和瑞利分布都能获得准确的尺度指数,并适用于小数据样本情形^[26]. 由于价

格变化率是短时间序列,本节选择扩散熵方法进行分析.

对于一维稳态时间序列 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, 分割成长度为 s 的序列 $X_i, i = 1, 2, \dots, n-s-1$, 将 X_i 理解为一个粒子从起始位置开始的随机运动轨迹,则其位移

$$x_i(s) = \sum_{j=1}^s X_i(j) \quad (3)$$

计算所有 $x_i(s)$ 的概率估计 $\hat{p}(j, s)$, 进一步计算出其扩散熵

$$S_{DE}(s) = - \sum_{j=1}^{M(s)} \hat{p}(j, s) \ln \hat{p}(j, s) \quad (4)$$

如果 \hat{p} 为尺度不变的位移概率分布函数,则具有 $p(x, t) = \frac{1}{t^\delta} F\left(\frac{x}{t^\delta}\right)$ 的形式,其中 $p(x, t)$ 为概率密度函数, $F(\cdot)$ 为高斯分布,代入上式得

$$S_{DE}(s) = \int_{-\infty}^{\infty} F(y) \ln |F(y)| dy + \delta \ln(s) \quad (5)$$

上式第一项为常数项,由此可估计出尺度指数 δ .

计算表明拍卖价格变化率 Hurst 指数等于 0.33, 具有明显的均值恢复特性,如果拍卖价格变化率在前一时期增长(或下降),在下一时期它极有可能下降(或增长),即具有反持续性. 这表明 2002 年 ~ 2013 年间,即使在管理部门变更拍卖规则、改变额度投放数量等干预下,拍卖市场价格变化率仍具有自动调整、回归中位能力,这种市场内生“回复力”有助于维持稳定的价格变化率.

3 管制有效性评估

针对车牌额度管制阶段性目标,管理部门采取了增加额度投放量、投标上限管制、变更拍卖规则等策略对拍卖市场进行引导和干预. 阶段性目标包括控制私人机动车增速以及稳定拍卖价格、维护市场秩序,避免拍卖价格和竞拍人数的剧烈波动等. 管制有效性评估从私人机动车增长的宏

观角度以及拍卖市场价格波动性的微观角度出发,考察和评估这些干预策略对阶段性目标的实现程度。在上节拍卖市场基本特征的指导下,本节从私人汽车拥有量增长状况、竞拍价格波动程度两个维度衡量干预策略实施效果。

3.1 私人汽车拥有量增长状况

由于所观察的城市无法同时处于有政策和无政策状态,可以选择合适的参照系来衡量管制效果。本节选择泛长三角地区六省市、沿海发达地区七省市以及 GDP 与拥车率“双高组”八省市作为参照系,通过群组比较来衡量上海车牌额度拍卖政策对私人汽车拥有量增长的限制效果。采用差中差(difference-in-difference, DID)方法,以政策成熟期起始年份 2003 年为时间虚拟变量^[3],上

述三种对照组作为群组虚拟变量。由于影响私人机动车增长的因素很多,包括经济、人口、道路、公交及其他替代出行方式、城市建设等,可以作为计量分析的控制变量。如表 1 所示,对每一种对照组,分别建立含有(或不含)控制变量的两组回归模型,因变量均为私人汽车拥有量对数值增量。模型 2、模型 4 和模型 6 的控制变量为人均 GDP、年末人口数、人均可支配收入、人均拥有道路面积、每万人拥有公交车、公共汽(电)车客运量、公路里程、城市道路长度、出租汽车运营数、房地产投资完成额等。数据来源于中经网及城市统计年鉴,时间范围为 1999 年~2015 年。差中差方法所表述的计量模型为

$$\Delta \ln Vehicle_{it} = \alpha + \Delta \ln X_{it} \beta + \gamma_1 T_t + \gamma_2 G_i + \gamma_3 T_i G_i + e_{it} \quad (6)$$

表 1 私人机动车发展状况及其影响因素(1999~2015)

Table 1 The development of private vehicles and impact factors (1999—2015)

变量	泛长三角地区		沿海发达地区		GDP 与私车拥有率双高组	
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
时间虚拟变量 T_t	-0.069 9** (0.029 1)	-0.111 4*** (0.030 8)	-0.076 6*** (0.024 7)	-0.086 0*** (0.027 9)	-0.039 0* (0.020 8)	-0.038 9 (0.024 4)
群组虚拟变量 G_i	0.287 1*** (0.064 3)	0.269 1*** (0.057 9)	0.302 3*** (0.072 7)	0.326 9*** (0.061 1)	0.354 4*** (0.074 3)	0.361 4*** (0.057 0)
交互项 $T_t G_i$	-0.321 3*** (0.071 3)	-0.272 1*** (0.066 5)	-0.314 7*** (0.065 2)	-0.361 0*** (0.069 8)	-0.352 3*** (0.058 8)	-0.336 3*** (0.064 1)
人均 GDP/元		1.025 5*** (0.265 5)		0.427 4 (0.271 0)		0.466 7** (0.208 7)
年末人口数/万人		3.775 2*** (1.036 5)		-0.338 1 (0.494 9)		-0.399 1 (0.407 2)
人均可支配收入/元		-0.013 4 (0.390 6)		0.345 3 (0.347 2)		0.126 3 (0.308 7)
人均拥有道路面积/ m^2		-0.072 5 (0.090 5)		-0.068 6 (0.079 3)		-0.056 4 (0.067 9)
每万人拥有公交车/标台		-0.011 6 (0.054 9)		0.026 4 (0.059 3)		-0.037 3 (0.049 4)
公共汽(电)车客运量/万人次		-0.087 1 (0.137 2)		0.083 8 (0.063 4)		0.005 9 (0.048 8)
公路里程/ km		0.027 7 (0.057 4)		0.113 6* (0.065 4)		0.132 2** (0.059 5)
城市道路长度/ km		0.168 6* (0.092 3)		0.069 1 (0.090 2)		0.072 1 (0.062 1)
出租汽车运营数/辆		-0.655 0*** (0.221 0)		-0.346 4* (0.190 6)		0.073 4 (0.126 9)
房地产投资完成额/万元		-0.089 8 (0.084 5)		0.142 1* (0.077 8)		0.064 1 (0.065 3)
常数项	0.308 3*** (0.026 3)	0.219 8*** (0.042 0)	0.293 1*** (0.027 5)	0.187 5 (0.038 9)	0.241 0*** (0.026 3)	0.152 0*** (0.033 7)
样本数	96	96	116	116	128	128
R^2	0.317 5	0.556 9	0.310 4	0.453 2	0.289 1	0.437 0

注:***、**和*代表显著水平分别为 1%、5%和 10% 括号里数值为标准偏差。

其中 $\Delta \ln Vehicle_{it}$ 为私人汽车拥有量对数增量值; $\Delta \ln X_{it}$ 为各控制变量的对数增量值; T_t 为时间虚拟变量; G_i 为群组虚拟变量 $T_t G_i$ 为反映政策效应的交互项; i 为群组下标 t 为时间下标。

分析表明,对于三种对照组以及有(或无)控制变量的情形,交互项系数在 $(-0.272, 1) \sim (-0.361, 0)$ 之间变化,且显著水平达 1%,这说明不论哪一种对照组,上海相对于这些省市,政策成熟期 2003 年后每年私人汽车拥有量约降低 27%~36% 左右,表明政策所产生的宏观效应相当显著。其他显著影响私人汽车拥有量的因素还包括人均 GDP(+)、年末人口数(+)、公路里程(+)、城市道路长度(+)、出租汽车运营数(-)、房地产投资完成额(+)等。

3.2 竞拍价格波动程度

Chu^[25]认为降低拍卖价格波动性是管理者关注的重要政策目标,影响价格波动的因素有拍卖方式、额度供应量、竞拍激烈程度等,并对新加坡拥车证拍卖市场进行了实证研究。本节以上海车牌额度拍卖市场价格变化率(波动性)为研究对

象,分析额度投放量变化及其他因素对稳定拍卖市场的作用,测量干预策略在降低价格波动性的实际效果。引入价格变化率 $price_volatility_t$ 和竞争强度 $competition_t$ 两个因变量作为衡量市场稳定的评价指标,分别定义为

$$price_volatility_t = \frac{price_t}{price_{t-1}} - 1 \tag{7}$$

$$competition_t = 1 - \frac{quota_t}{bidders_t}$$

干预策略包括额度数量水平(控制变量)和额度变化率,并考虑两个因变量的相互影响和滞后效应,各变量均通过了 Dickey-Fuller 单位根检验。

回归结果如表 2 所示,从两个因变量之间的相互关系看,竞争强度降低了价格变化率,而价格波动增加了竞争强度。此外,价格变化率和竞争强度均与额度变化率呈显著负相关,相对而言额度数量水平的影响显著但相当微弱,即额度增减幅度较好的降低了价格变化率和竞争强度,可见作为干预策略的额度投放量变化率对稳定拍卖市场取得了预期效果。

表 2 拍卖市场价格变化率与竞争强度的影响因素(2002-01~2017-06)

Table 2 Price volatility and intensity of competition and their impact factors

因变量(评价指标)	价格变化率(波动性)		竞争强度	
	$price_volatility$		$competition$	
自变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
价格波动性一阶滞后项 $L.price_volatility$	-0.188 7*** (0.071 5)	-0.195 2*** (0.070 6)	-	-
竞争强度一阶滞后项 $L.competition$	-	-	0.851 7*** (0.038 2)	0.811 4*** (0.042 2)
额度变化率 $quota_increment$	-0.230 3*** (0.062 5)	-0.183 4*** (0.071 8)	-0.378 4*** (0.073 6)	-0.387 6*** (0.062 9)
价格波动性 $price_volatility$	- (0.063 1)	-	0.101 0	0.118 9* (0.063 2)
竞争强度 $competition$	-0.039 2 (0.044 4)	-0.091 7* (0.049 0)	-	-
额度数量水平 $quota$		-0.000 011 9** (0.000 005)	-	0.000 009 19** (0.000 004 26)
常数项	0.005 6 (0.031 5)	0.061 0 (0.029 0)	0.096 3*** (0.036 8)	0.053 0* (0.024 5)
样本数	185	185	185	185
R^2	0.115 9	0.143 2	0.742 1	0.748 6
自相关检验	0.751	0.574	0.595	0.177
Breusch-Godfrey LMchi2(Prob > chi2)	(0.386 2)	(0.448 5)	(0.440 6)	(0.673 8)
Durbin-Watson d-统计量	2.041 4	2.035 9	2.091 1	2.041 1

注:***、**和*代表显著水平分别为 1%、5%和 10% 括号里数值为标准偏差。

4 管制效率改进空间

2010年12月和2012年8月前后拍卖价格连续出现十个月上涨,管理部门在2013年4月采用了警示价,设置投标上限价格引导竞拍者理性出价,2014年1月调整为年度警示价。新措施改变了之前拍卖市场量价齐升、正向激励特征,出现价格上涨缓慢、竞拍人数激增的变化。本节采用高斯回归过程,对额度拍卖价格时间序列数据进行预测,分析价格干预措施产生的市场扭曲效应,对管制效率的改进空间和方向做出判断。

回归问题是机器学习的重要研究内容,目的在于发现数据序列内在变化规律并做出准确预测。假设有训练集 $D = \{(x_i, y_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$, 其中 $x_i \in R^d$ 为 d 维输入矢量, $y_i \in R$ 为相应的输出标量。记 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 为 $d \times n$ 维输入矩阵, $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ 为输出矢量。回归分析的任务是根据训练集来学习输入 X 与输出 y 之间的映射关系 $f(\cdot): R^d \rightarrow R$, 并预测出与新测试点 x^* 对应的最可能输出值 $f(x^*)$ 。

从函数空间角度出发,高斯过程(Gaussian process, GP)是任意有限个随机变量均具有联合高斯分布的集合,其性质完全由均值函数 $m(x) = E[f(x)]$ 和协方差函数 $k(x, x') = E[f(x) - m(x)][f(x') - m(x')]$ 确定,其中 $x, x' \in R^d$ 为任意随机变量。通常将数据进行预处理,使均值函数等于0,因此GP可定义为 $f(x) \sim GP[0, k(x, x')]$ 。常用的协方差函数有平方指数协方差,即

$$k(x, x') = \sigma_f^2 \exp[-0.5(x-x')^T M^{-1}(x-x')] \quad (8)$$

其中 M 为 $n \times n$ 阶对角阵, σ_f^2 为信号方差。

高斯过程回归(GPR)是基于贝叶斯理论和统计学习理论发展起来的全新机器学习方法, GPR 定义一个高斯过程来描述函数分布,直接在函数空间进行贝叶斯推理,适于处理高维数、小样本和非线性等复杂回归问题^[27]。对于回归问题, $y = f(x) + \varepsilon$, 其中 x 为输入向量, f 为函数值, y 为受加性噪声污染的观测值。进一步假设噪声 $\varepsilon \sim N(0, \sigma_n^2)$, 可得 y 的先验分布

$$y \sim N[0, K(X, X) + \sigma_n^2 I_n] \quad (9)$$

及 y 和预测值 f^* 的联合先验分布

$$\begin{bmatrix} y \\ f^* \end{bmatrix} \sim N \left\{ 0, \begin{bmatrix} K(X, X) + \sigma_n^2 I_n & K(X, x^*) \\ K(x^*, X) & k(x^*, x^*) \end{bmatrix} \right\} \quad (10)$$

其中 $K(X, X) = \{k(x_i, x_j)\}_{n \times n}$ 为 $n \times n$ 阶对称正定协方差矩阵; $K(X, x^*) = K(x^*, X)^T$ 为预测点 x^* 与训练集 X 之间的 $n \times 1$ 阶协方差矩阵; $k(x^*, x^*)$ 为 x^* 自身的协方差; I_n 为 n 维单位矩阵。

由此,可计算出预测值 f^* 的后验分布为

$$f^* \sim N[\bar{f}^*, \text{cov}(f^*)] \quad (11)$$

$$\bar{f}^* = K(x^*, X) [K(X, X) + \sigma_n^2 I_n]^{-1} y \quad (12)$$

$$\text{cov}(f^*) = k(x^*, x^*) - K(x^*, X) \times [K(X, X) + \sigma_n^2 I_n]^{-1} K(X, x^*) \quad (13)$$

以上参数的集合 $\theta = \{M, \sigma_f^2, \sigma_n^2\}$ 称为超参数, GPR 训练的目的在于求得超参数的最优解,一般可通过极大似然法求得。首先,建立训练样本条件概率的负对数似然函数 $L(\theta) = -\ln p(y|X, \theta)$, 并令其对 θ 求偏导;然后,采用共轭梯度法等优化方法对偏导数进行最小化,以得到超参数的最优解。由此,就完全确定了 f^* 的均值和方差。

本节应用 GPR 对额度拍卖价格进行回归分析,具体方法是,首先在2002年~2013年间月度平均中标价每5个数据抽取前4个构成训练集;其次以每5个数据中的第5个数据点作为目标,计算出其回归分析所得的数值,并与拍卖市场的真实数值进行比较,结果如图3所示。从图中可以看出分析值与真实数值非常接近,这说明 GPR 方法是一个具有概率意义的核学习机,可对预测输出做出概率解释。在2014年采用年度警示价之前,拍卖价格内在规律可用 GPR 方法来客观描述。

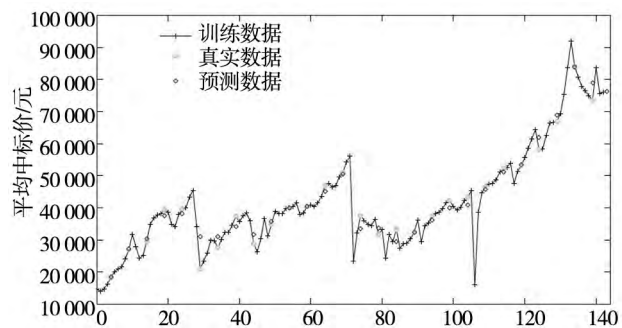


图3 GPR对平均中标价的分析及预测结果(2002-01~2013-12)

Fig. 3 Prediction of mean prices by GPR (2002/1 - 2013/12)

随后对2014年1月拍卖均价进行预测,结果为76229元,由于该月开始实行年度警示价,这一预测值与真实值73501元存在一定差异(预测

误差为 3.71%)。由于较强的价格干预措施,当月额度拍卖最低价为 73 500 元,平均价为 73 501 元,两者仅相差一元,车牌额度拍卖已不再呈现市场化运作特征,GPR 方法所描述的拍卖价格内在规律可预测性减弱。另一方面,竞拍人数大幅飙升至 41 946 人,限价干预对车牌需求产生了短期诱发效果,而长期来看,竞拍人数主要受人均收入状况、平均中标价、轨交建设等因素影响^[20]。在较强的价格上限干预下,额度拍卖市场越来越近似于一个排队市场,“价高者得”拍卖规律不再显著,价格变化率回复中位的功能减弱,通过市场机制配置牌照资源的原有政策目标有所偏离。

在这种情形下,政策制定者面临三种选择:

- 1) 去除或放松价格上限,恢复拍卖市场的价格调节功能,利用市场量价齐升、正向激励特征,让持续稳定增长的拍卖价格来制约车牌需求的增长;
- 2) 持续价格严管,将过快增长的价格通过行政限制,控制在一个理性的上限范围内,但可能带来竞拍人数的快速增长;
- 3) 进行混合策略的弹性设计,当竞拍人数累积过多时,合理增加额度投放量并放松价格管制,当价格上涨过快时,调整价格上限加以控制。做何选择,取决于管制者对不同策略所产生的成本收益之间的权衡,以及特定历史时期下,管制者对不同政策目标的偏好以及对短期政治红利的追求。总之,车牌额度拍卖市场的效率改进空间,应该是在行政干预与市场规律并存且相互作用下,可行区域内的一种新均衡状态,这种新均衡状态对应的社会收益大于社会成本,并可使政策效用最大化,至少政策效用优于当前的限价管制效用。2014 年以来价格上限管制实践表明,有条件地加强价格管制不失为一种折衷的提高管制绩效做法。

5 结束语

快速机动化所产生的拥堵、环境、事故等负外部性是今后很多城市不得不面对的治理难题。一些城市已率先采用政府、市场、社会多中心治理结构,综合利用立法、行政和市场手段齐抓共管,取得了机动化治理经验。针对上海车牌额度拍卖政策,综合运用统计学习和计量分析等方法,从关键变量之间线性关系、价格变化率以及价格预测等

角度,对拍卖市场主要特征和变化趋势进行定量分析,评估额度投放量控制、价格上限管制等干预措施对机动车增长和稳定拍卖市场所产生的宏观政策效果。相较已有的研究,创新之处表现为,1) 利用统计学习方法发现拍卖市场主要特征,尤其通过 Hurst 指数证实价格变化率回归中位;2) 运用 DID、OLS 等计量分析方法引入更多控制变量对 1999 年~2015 年宏观政策效应进行标定,尤其通过实证分析发现在稳定拍卖市场、降低价格波动性方面政策效果明显;3) 高斯回归过程对限价之前的价格预测准确,但限价之后市场特征发生较大变化,可预测性降低,由此综合判断管制改进方向,即应借助价格变化率回归中位特征、放松价格管制。

研究表明,首先,从拍卖市场运行情况和变化趋势来看,限价之前市场存在量价齐升、正向激励特征,拍卖价格变化率呈现均值恢复、回归中位特点,说明在政府长期管控下,市场仍具有自我调节功能和较强系统惯性,政府通过控制额度投放量较好抑制了本地牌照机动车数量增长。但是由于额度投放量的控制效果已呈边际递减,长期受压制的车牌需求对额度投放量较为敏感,如果不采用新策略,很难破除“额度数量—竞拍人数—平均中标价”循环增长困局。相比摇号等额度配置方式,车牌额度拍卖更充分反映出不同群体对车牌需求的迫切程度,并通过市场竞争机制较为合理地满足供需双方要求,最大程度实现市场配置效率。在管制政策设计时,应充分考虑市场回复力和系统惯性可能对政策目标产生一定的偏移效果。

其次,计量分析表明,在管制政策持续作用下,上海车牌额度拍卖政策在遏制私人机动车增长和稳定拍卖市场方面的效果相当显著。但额度管制只是一种私车拥有权的源头管控,拥堵、环境、事故等负外部性更多与机动车使用行为有关。对管制效率改进空间的探讨,表明应根据不同时期的政策目标,在车辆拥有和使用环节同时采取多种综合措施,尝试在管制和市场之间寻找一条最优路径,并使政策目标与当地社会经济发展目标相一致。

第三,车牌额度拍卖不仅仅是拍卖的技术问题,尝试将更多的社会经济变量融入管制绩效计

量分析之中. 私车拥有权管制的价值取向在于因地制宜权衡汽车产业发展给社会经济带来的利与弊. 它与城市交通战略定位有关, 大中城市出行需求的满足主要依靠公共交通, 私车拥有权管制直接抑制了购车需求, 减缓了机动化进程, 但考虑当地汽车产业和相关税收则是负面影响. 此外, 测算限购政策使上海私人机动车年增长量减少三分之一, 这里指的是本地牌照, 如果考虑外地牌照机动车约占总量三分之一的事实, 可以推测一些无法通过拍卖获得上海牌照的车辆上了外地牌照, 造成管理绩效流失. 可以从不断加强拍卖市场信息透明度着手, 进一步完善市场的自由竞争机制, 从而最大限度地保证有限资源的合理配置使用;

公开、合理使用拍卖所得收益, 并将这些资金充分应用于道路和轨道交通建设, 有效提高城市交通运输能力, 实现社会福利在不同利益相关者之间的合理转移; 加强差异化路权的配置, 实施拥挤收费、停车收费等市场化措施, 积极促进路权的公平分配, 以提升政策综合效力.

由于2013年4月限价之后数据较短, 所采用的多种统计学习方法还无法预测限价之后的市场状况, 这有待后续的方法探索和理论研究. 此外, 对车牌额度配置方式所涉及的社会公平问题, 不能仅仅局限于政策利益相关人进行讨论, 而要放在全社会不同方式出行者总公平水平最大化视角下来探讨, 这也有待在另外的理论框架下展开.

参考文献:

- [1] 林 昌, 冯苏苇. 上海私车额度拍卖系统行为统计学习分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14(3): 221-226.
Lin Chang, Feng Suwei. Behavior analysis on Shanghai private car license auction market with statistical learning methods [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2014, 14(3): 221-226. (in Chinese)
- [2] 刘小兵. 公共管制学[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2009.
Liu Xiaobing. Public Regulation [M]. Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics Press, 2009. (in Chinese)
- [3] 冯苏苇. 从事件历史研究上海私车额度拍卖政策绩效[J]. 力学与实践, 2015, 37(3): 452-456.
Feng Suwei. Performance evaluation of the private car license auction in Shanghai from the historic events [J]. Mechanics in Engineering, 2015, 37(3): 452-456. (in Chinese)
- [4] 程 琳, 王 炜. 拥堵交通网络模型和增强拉格朗日乘子算法[J]. 管理科学学报, 2006, 9(5): 18-27.
Cheng Lin, Wang Wei. Equilibrium model and augmented Lagrange multiplier solution for congested traffic network [J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(5): 18-27. (in Chinese)
- [5] 王广民, 高自友, 徐 猛, 等. 弹性需求下网络设计问题和电子路票问题研究[J]. 管理科学学报, 2015, 18(4): 38-48.
Wang Guangmin, Gao Ziyou, Xu Meng, et al. The combined model and relaxation algorithm for continuous network design problem with the second-best credits charging under elastic demand [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(4): 38-48. (in Chinese)
- [6] 吴文祥, 黄海军. 固定需求交通网络的一般系统最优模型与性质[J]. 管理科学学报, 2015, 18(12): 58-67.
Wu Wenxiang, Huang Haijun. Generalized system optimal model and properties in traffic networks with fixed demand [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(12): 58-67. (in Chinese)
- [7] 陈星光. 交通流演化动力学研究的一般框架及分析[J]. 管理科学学报, 2015, 18(6): 58-69.
Chen Xingguang. Traffic flow evolutionary dynamics: General research framework and properties analysis [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(6): 58-69. (in Chinese)
- [8] 徐红利, 于新莲, 周 晶. 诱导信息下考虑路段容量退化的流量演化研究[J]. 管理科学学报, 2015, 18(7): 39-47.
Xu Hongli, Yu Xinlian, Zhou Jing. Day-to-day travel choice dynamics with guidance information in degradable transport network [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(7): 39-47. (in Chinese)
- [9] 唐毓敏, 冯苏苇. 政策博弈下的道路交通拥挤定价[J]. 管理科学学报, 2008, 11(4): 76-82.
Tang Yumin, Feng Suwei. Model of traffic behavior based on game theory under road-pricing regulation of government [J].

- Journal of Management Sciences in China ,2008 ,11(4) : 76 – 82. (in Chinese)
- [10]陈 蒂,张 宁,刘利娟. 面向双目标时刻瓶颈模型——交通错峰原理[J]. 管理科学学报,2015 ,18(8) : 52 – 60.
Chen Di ,Zhang Ning ,Liu Lijuan. Bottleneck model for bi-arrival time: Principle of staggered work hours [J]. Journal of Management Sciences in China ,2015 ,18(8) : 52 – 60. (in Chinese)
- [11]张小宁. 实时交通信息诱导下的出行模式及效益评价[J]. 管理科学学报,2011 ,14(9) : 13 – 20.
Zhang Xiaoning. Traffic pattern under the guidance of real time traffic information and traffic information benefit evaluation. Journal of Management Sciences in China ,2011 ,14(9) : 13 – 20. (in Chinese)
- [12]王平平,孙绍荣. 车辆牌照拍卖模型[J]. 运筹与管理,2005 ,2: 75 – 78.
Wang Pingping ,Sun Shaorong. The odel of the vehicle license auctions [J]. Operations Research and Management Science ,2005 ,(2) : 75 – 78. (in Chinese)
- [13]Song F T ,Zhou W X. Analyzing the prices of the most expensive sheet iron all over the world: Modeling , prediction and regime change [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications ,2010 ,389(17) : 3538 – 3845.
- [14]王金桃,罗 维. 汽车牌照额度拍卖规则调整的理论分析与实证研究[J]. 系统管理学报,2010 ,19(6) : 610 – 617.
Wang Jintao ,Luo Wei. Study on the rules adjustment of vehicle license auction [J]. Journal of System and Management. 2010 ,19(6) : 610 – 617. (in Chinese)
- [15]荣健欣,孙 宁. 汽车牌照配置的混合机制设计——对我国车牌配置机制改进的探讨[J]. 财经研究,2015 ,41(12) : 62 – 71.
Rong Jianxin ,Sun Ning. Hybrid mechanism design of vehicle license allocation: On improvement of China’s vehicle license allocation mechanism [J]. Journal of Finance and Economics ,2015 ,41(12) : 62 – 71. (in Chinese)
- [16]刘术红,吴家友,王艳军,等. 中国大城市私人机动车发展控制策略研究——上海机动车发展策略研究报告[J]. 重庆交通学院学报(自然科学版),2004 ,23(4) : 90 – 93.
Liu Shuhong ,Wu Jiayou ,Wang Yanjun ,et al. Study on private automobile development control policy of municipality in China: Base on report of Shanghai automobile development control policy [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science) ,2004 ,23(4) : 90 – 93. (in Chinese)
- [17]冯苏苇,马祖琦,余 凯. 上海私车牌照拍卖政策效果分析[J]. 综合运输,2011 ,(1) : 36 – 41.
Feng Suwei ,Ma Zuqi ,Yu Kai. Performance analysis on the private vehicle plate auction in Shanghai [J]. Comprehensive Transportation. 2011 ,(1) : 36 – 41. (in Chinese)
- [18]侯 幸,彭时平,马 焯. 北京上牌摇号与上海车牌拍卖政策下消费者成本比较[J]. 中国软科学,2013 ,(11) : 58 – 65.
Hou Xing ,Peng Shiping ,Ma Ye. Cost analysis of and comparison between Beijing’s car plate lottery and Shanghais license auction [J]. China Soft Science Magazine ,2013 ,(11) : 58 – 65. (in Chinese)
- [19]Chen X J ,Zhao J H. Bidding to drive: Car license auction policy in Shanghai and its public acceptance [J]. Transport Policy ,2013 ,27(C) : 39 – 52.
- [20]Feng S W ,Li Q. Evaluating the car ownership control policy in Shanghai: A structural vector auto-regression approach [J]. Transportation ,2018 ,45(1) : 205 – 232.
- [21]汪 锋,李善军. 机动车限牌的社会福利影响和最优配额研究[J]. 管理科学学报,2016 ,19(12) ,1 – 13.
Wang Feng ,Li Shanjun. Social welfare consequences of automobile license allocation and optimal quota [J]. Journal of Management Sciences in China ,2016 ,19(12) : 1 – 13. (in Chinese)
- [22]Chin A ,Smith P. Automobile ownership and government policy: The economics of Singapore’s vehicle quota scheme [J]. Transportation Research A ,1997 ,31(2) : 129 – 140.
- [23]Chu S. Sealed v/s open bids for certificates of entitlement under the vehicle quota system in Singapore [J]. Transportation ,2011 ,38(2) : 215 – 226.
- [24]Muthukrishnan S. Vehicle ownership and usage charges [J]. Transport Policy ,2010 ,17(6) : 398 – 408.
- [25]Chu S. Mitigating supply and price volatilities in Singapore’s vehicle quota system [J]. Transportation ,2014 ,41(5) : 1119 – 1134.
- [26]Scafetta N ,Grigolini P. Scaling detection in time series: Diffusion entropy analysis [J]. Physical. Review E ,2002 ,

66: 036130.

[27] Lin C, Yu C X. Modified self-organizing mixture network for probability density estimation and classification [C]// Proceedings of the 2013 International Joint Conference on Neural Networks. Dallas, 2013.

Performance evaluation of car ownership regulation on Shanghai quota auction market and its improvement

*FENG Su-wei*¹, *LIN Chang*²

1. The School of Public Economics Administration, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China;
2. Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China

Abstract: With the rapid urbanization and motorization, a few cities in China join the line to regulate private car ownership and the policy performance should be systematically evaluated. With some statistical learning methods like Principal Component Analysis (PCA), Hurst Index, Gaussian Process Regression (GPR) and the econometric method like Difference-in-Difference (DID) and OLS, this paper tries to discover the main characteristics of the auction market by formulating a linear equation of key variables of Shanghai license quota auction market, changing rate and prediction of the auction prices, in order to evaluate the performance of policy instruments like the released quota and the price cap. The PCA analysis shows that there is a positive bidirectional relationship and a positive incentive effect between the quota and the price in the auction market. Meanwhile Hurst Index analysis shows the changing rate of the prices will return to the mean value. It further shows with three comparative groups by DID that the auction regulation slows down the increase of private vehicles at an annual rate of around 27% ~ 36% and the quota increment significantly makes the auction market stable by decreasing both the price volatility and the bidders' competition. Finally, with the prediction precision worsening with GPR after 2014, the improvement of the regulation such as deregulating the price cap has also been discussed to give some light on enhancing the implication of quota strategies.

Key words: license quota; regulation; statistical learning method; effectiveness; performance evaluation