

## 基于效用理论的新能源汽车政府补贴研究

陈玉城,施 英,翟颖龄,毛涵一

(浙江科技学院 理学院,杭州 310023)

**摘 要:** 近年来政府制定一系列补贴政策促进新能源汽车的推广,政府补贴成为新能源车企的主要激励途径。以促进企业良性发展且使政府补贴政策发挥最大效用为目的,先利用冯·纽曼-摩根斯坦效用函数理论与动态贝叶斯博弈理论,从博弈论角度分析政府与车企间的动态博弈,并建立基于效用理论的新能源汽车政府补贴模型。然后采用逆向归纳法对该效用模型进行求解,得出4种因素对政府补贴的影响。最后对补贴方案的适用性与可行性进行进一步解释,建议政府加强对新能源汽车企业的监督,使车企更好完善售后服务。

**关键词:** 博弈论;新能源汽车;效用理论;政府补贴;逆向归纳法

**中图分类号:** F224.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2019)06-0511-06

## Study on government subsidy for new energy vehicles based on utility theory

CHEN Yucheng, SHI Ying, ZHAI Yingling, MAO Hanyi

(School of Sciences, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

**Abstract:** In recent years, the government has formulated a series of subsidy policies to promote the development of new energy vehicles, and government subsidies have become the main incentive for new energy vehicle enterprises. In order to promote the healthy development of enterprises and make the best use of government subsidy policy to maximize its effectiveness, this paper analyzed the dynamic game between the government and the vehicle enterprises from the perspective of game theory by employing the von Neumann Morgenstein's utility function theory and the dynamic Bayesian game theory, and established a government subsidy model for new energy vehicles based on the utility theory. The utility model was solved by reverse induction, obtaining the influence of four factors on government subsidies. Finally, applicability and feasibility of the scheme were further clarified, and it is suggested that the government should strengthen supervision of new energy vehicle enterprises, so that they can better improve after-sales service.

**收稿日期:** 2019-04-24

**基金项目:** 国家级大学生创新创业训练计划项目(201811057019);国家自然科学基金项目(11501510)

**通信作者:** 施 英(1985—),女,浙江省杭州人,讲师,博士,主要从事数学物理及其应用研究。E-mail: yingshi@zust.edu.cn。

**Keywords:** game theory; new energy vehicle; utility theory; government subsidy; reverse induction method

新能源汽车产业的发展有助于解决能源枯竭和环境破坏等问题,其发展势在必行,但它在发展过程中受到多种因素的影响,如政府政策、技术进步等。中国新能源汽车产业的发展起步较晚,因此政府政策对该产业的发展显得尤为重要,起着不可替代的主导作用<sup>[1]</sup>。新能源汽车的政府补贴政策具有一定的局限性,政府期望使用尽可能少的补贴获得最大的社会福利,企业期望获得尽可能多的补贴以获得更多的利润。但企业对政府的政策信息十分了解,政府对企业动向却不完全了解,故政府与企业间存在不完全信息动态博弈<sup>[2]</sup>。目前对新能源汽车产业的研究有很大一部分是从政府补贴对新能源汽车产业促进作用的角度,如通过分析新能源汽车补贴效果来得出新能源汽车补贴的必要性<sup>[3]</sup>,通过建立回归模型探究“后补贴”时代中国新能源汽车的发展路径<sup>[4]</sup>,探讨充电桩建设、汽车生产成本等因素对新能源汽车推广力度的影响,构建地方政府补贴的最优策略<sup>[5]</sup>等。本研究基于博弈论与经济学原理<sup>[3]</sup>,构造出政府与企业效用最大化的最佳补贴模型,然后通过求解模型,探寻最适合政府实行与最利于企业发展的最佳补贴方案。特别地,针对政企合作中的模糊地带,探讨新能源企业技术升级与产品盈利的长效机制,为政府与企业间的共同利益提供理论上的参考。

## 1 模型建立与求解

由于政府委托投标公司进行新能源汽车生产与运营,因此新能源汽车公司与政府之间存在代理关系。在整个系统中,政府期望使用尽可能少的补贴来使得社会全体成员获得的效用或感受、得到的满足感的总和,即社会总福利增加。而企业期望在达到政府补贴标准的情况下,使得政府补贴及自身盈利即企业总利润最大<sup>[6]</sup>。

相对于政府而言,企业对政府的信息更为清楚,而政府则无法准确地知道企业的一些决策,所以政府与企业之间存在信息不对称。本文基于政府与新能源汽车企业之间的贝叶斯动态博弈<sup>[7]</sup>,建立如下效用模型。

### 1.1 模型假设

为了简化研究,我们进行适当的假设。

假设一:企业的服务质量  $S$  与努力程度  $e$  呈线性关系。

假设二:企业的变动成本  $C_1$  与努力程度  $e$  呈二次关系,且  $\frac{\partial C_1}{\partial e} > 0, \frac{\partial^2 C_1}{\partial e^2} > 0$ 。

假设三:政府在考核时公平公正,企业无虚报骗补现象。

### 1.2 符号说明

1)  $p$ , 新能源汽车销售价格,由于价格在实际情况中易知,本文将其视作常数。

2)  $e$ , 新能源汽车企业的努力程度,且  $e \geq 0$ 。

3)  $S$ , 新能源汽车企业的服务质量,根据假设一,设努力程度与服务质量之间的关系表达式为

$$S = ke + \boldsymbol{\varepsilon}. \quad (1)$$

式(1)中: $k$ 为常数, $k > 0$ ,表示努力程度与服务质量成正比; $\boldsymbol{\varepsilon}$ 为误差向量,表示受其他因素干扰导致服务质量的变化,它服从正态分布  $\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0, \sigma^2)$ 。

4)  $\gamma$ , 政府补贴。将政府补贴分为固定补贴与变动补贴两部分。固定补贴制定标准为企业保本的情况下少量盈利;变动补贴由企业服务质量决定,服务质量高,政府给予奖励;反之,政府将对其进行惩罚<sup>[8]</sup>。由此设

$$\gamma = \alpha + \beta(S - \bar{S}). \quad (2)$$

式(2)中: $\alpha$ 为固定补贴, $\beta$ 为补贴系数, $\alpha, \beta > 0$ ;  $\bar{S}$ 为最低服务质量(由政府制定)。

5)  $V$ , 新能源汽车销售数量。销售量与企业的努力程度相关,假设销售量与企业的努力呈线性关系,则可以设  $V$  的表达式为

$$V = v_1 e + v_2 p^2 + v_0. \quad (3)$$

式(3)中:常数  $v_0$  为企业最低销售量; $v_1$  为销售量受企业努力程度影响系数; $v_2$  为销售量受汽车价格影响系数。

6)  $C$ , 企业运营的成本。由经济学概念可知,企业成本由固定成本  $C_0$  与变动成本  $C_1$  组成。根据假设二,可以设其表达式为

$$C = C_1 + C_0 = be^2 + C_0. \quad (4)$$

式(4)中: $b$  为变动成本系数,且  $b > 0$ 。

7)  $S_C$ , 消费者剩余,指消费者在购买一定数量的某种商品时愿意支付的最高总价格与实际支付的总价格之间的差额<sup>[9]</sup>。由定义可设:

$$S_C = V(p + M + N - p_0). \quad (5)$$

式(5)中: $p_0$  为消费者对新能源汽车的预估价格; $M$  为消费者购买其他配套设施的费用; $N$  为电池折旧费用。

8)  $S_P$ , 生产者剩余,指由于生产要素和产品的最低供给价格与当前市场价格之间存在差异而给生产者带来的额外收益。这里的生产者指新能源汽车企业,由此可设

$$S_P = Vp + \gamma - C.$$

### 1.3 模型建立

政府既要尽可能降低补贴标准,又要使得企业的努力最大化,从而使政府政策的效用最大化。根据经济学家马歇尔提出的市场总剩余=消费者剩余+生产者剩余<sup>[10]</sup>,把市场总剩余当作衡量社会福利的标准,可以认为政府政策的效用为消费者剩余与生产者剩余之和。

由于政府是风险中立型的,其期望效用即为真实效用,因此政府的期望效用

$$U_1 = V(p + M + N - p_0) + Vp + \gamma - C.$$

企业的目的是追求自身利益的最大化,易知企业的期望收益

$$U_2 = Vp + \gamma - C.$$

企业是风险回避型的,根据效用函数理论,可以设企业的效用函数为指数型效用函数(标准型)

$$U(x) = \lambda(1 - e^{-\xi x}), \xi \geq 0. \quad (6)$$

式(6)中: $\xi$  为绝对风险厌恶系数。假设企业收入符合正态分布,期望值为  $m$ ,标准差为  $v$ ,即  $X \sim N(m, v^2)$ ,根据冯·纽曼-摩根斯坦效用函数理论,确定性等价收入  $C_E$  满足  $E(U) = U(C_E)$ ,其中  $E(U)$  为企业的效用函数期望值。故由期望定义知

$$E(U) = \lambda \left\{ 1 - \exp \left[ -\xi \left( m - \frac{\xi v^2}{2} \right) \right] \right\},$$

因此  $C_E = m - \frac{\xi v^2}{2}$ ,将  $U_2$  当作  $X$ ,得到

$$E(U_2) = m = Vp + \alpha + \beta(ke - \bar{S}) - C, \text{Var}(U_2) = v^2 = \beta^2 \sigma^2.$$

综上,企业的确定性等价收入即为

$$C_E = Vp + \alpha + \beta(ke - \bar{S}) - C - \frac{1}{2} \xi \beta^2 \sigma^2.$$

当然,政府在选择企业的同时,企业也可以拒绝政府的项目邀请,当同行业的其他企业委托代理时的收益  $\mu$  高于确定性等价收入  $C_E$  时,企业选择拒绝,即

$$C_E \leq \mu.$$

因此,建立基于效用理论的新能源汽车政府补贴模型为

$$\max \{ V(2p + M + N - p_0) + \gamma - C \}, \quad (7)$$

且同时满足如下条件,

$$\begin{cases} Vp + \alpha + \beta(ke - \bar{S}) - C - \frac{1}{2} \xi \beta^2 \sigma^2 > \mu; \\ \max \{ Vp + \alpha + \beta(ke - \bar{S}) - C - \frac{1}{2} \xi \beta^2 \sigma^2 \}. \end{cases} \quad (8)$$

#### 1.4 模型求解

由于发展新能源汽车是大势所趋,政府补贴在新能源汽车产业发展起来后会逐渐减少,因此我们从企业效用出发得到使企业效用最大化的变量并代入政府效用中。

用逆向归纳法<sup>[11]</sup>进行求解,对  $U_2$  求一阶导数,令其等于 0,即

$$\frac{\partial U_2}{\partial e} = \frac{\partial V}{\partial e} p + \beta \frac{\partial S}{\partial e} - \frac{\partial C}{\partial e} = 0。$$

解得

$$e^* = \frac{v_1 p + k\beta}{2b}。 \quad (9)$$

将式(9)代入式(8),得

$$\begin{cases} \left( v_1 \frac{v_1 p + k\beta}{2b} + v_2 p^2 + v_0 \right) p + \alpha + \beta \left( k \frac{v_1 p + k\beta}{2b} - \bar{S} \right) - \left[ b \left( \frac{v_1 p + k\beta}{2b} \right)^2 + C_0 \right] - \frac{1}{2} \xi \beta^2 \sigma^2 > \mu; \\ \max \left\{ \left( v_1 \frac{v_1 p + k\beta}{2b} + v_2 p^2 + v_0 \right) \times (2p + M + N - p_0) + \alpha + \beta \left( k \frac{v_1 p + k\beta}{2b} - \bar{S} \right) - \left[ b \left( \frac{v_1 p + k\beta}{2b} \right)^2 + C_0 \right] - \frac{1}{2} \xi \beta^2 \sigma^2 \right\}。 \end{cases}$$

将式(9)代入式(7)得

$$\left[ (2p + M + N - p_0) \frac{v_1 k}{2b} - \bar{S} \right] \beta + \left( \frac{k^2}{4b} - \frac{1}{2} \xi \sigma^2 \right) \beta^2。 \quad (10)$$

对式(10)关于  $\beta$  求导得

$$\left( \frac{v_1 k}{2b} \right) (2p + M + N - p_0) + \frac{k^2 \beta}{2b} - \bar{S} - \xi \beta \sigma^2。 \quad (11)$$

令式(11)等于 0,得

$$\beta^* = \frac{2b \bar{S} - k v_1 (2p + M + N + p_0)}{k^2 - 2b \xi \sigma^2}，$$

所得  $\beta^*$  即为政府应设定的补贴系数。

## 2 模型检验

杭州市政府为了降低城市的交通污染,提倡汽车产业研究新能源汽车技术,呼吁杭州民众购买新能源汽车,近几年颁布了多项新能源汽车补贴政策。市民购买新能源汽车能够享受的费用减免有 2、3.6、4.4 万元这 3 个档次。同时政府规定,新能源汽车企业需要为购买新能源汽车的市民提供价值不少于 0.6 万元的售后服务。本文采用 2018 年中国汽车消费网提供的新能源汽车的数据<sup>[12]</sup>,具体见表 1。

表 1 政府针对不同功率的新能源汽车补贴金额

Table 1 Government subsidies for new energy vehicles of different power levels

| 电池系统能量密度/(Wh · kg <sup>-1</sup> ) | 调整系数 | 纯电动续航里程/km | 补贴金额/万元 |
|-----------------------------------|------|------------|---------|
| <105                              | 0.0  | 150~<200   | 1.5     |
| 105~<120                          | 0.6  | 200~<250   | 2.4     |
| 120~<140                          | 1.0  | 250~<300   | 3.4     |
| 140~<160                          | 1.1  | 300~<400   | 4.5     |
| ≥160                              | 1.2  | ≥400       | 5.0     |

笔者在研究中将众泰、比亚迪等几种型号的汽车价格作对比,利用数学软件 MATLAB 对中国汽车网<sup>[12]</sup>上近 200 组数据进行处理,最后得出 2018 年新能源汽车有 10、15、20 万元这 3 个价位。另外,新能源汽车上市时间较短,并不像油耗汽车保养那样方便,购买新能源汽车的客户需要购买 2 万元的新能源汽车维护配件(便携充电器、池拆卸工具、残留电能清除器等)<sup>[13]</sup>。假设一辆新能源汽车寿命为 15 年,那么在使用过程中更换 3 次电池产生费用共计 2.8 万元。通过信息网络等渠道统计得出新能源汽车的估算价格为 15 万元。

本文所指政府补贴系数  $\beta^*$  用来描述政府给予车企补贴的程度。通过公式推导和数据模拟,利用4个变量(即  $b$ 、 $k$ 、 $\xi$  和  $v_1$ ) 可以控制并影响变量  $\beta^*$  (政府补贴系数) 的变化,其中  $b$  为变动成本系数,  $k$  为企业努力程度与服务质量比值系数,  $\xi$  为绝对风险厌恶系数,  $v_1$  为销售量受企业努力程度影响系数。当  $b = 1.0$ ,  $k = 1.0$ ,  $\xi = 2.0$ ,  $v_1 = 1.0$  时,  $\beta^*$  随着汽车价格的提高而增长,见表2。

若选取汽车价格为10万元,  $k = 1.0$ ,  $\xi = 2.0$ ,  $v_1 = 1.0$ ,我们可以判断变动成本系数对政府补贴系数的影响,见表3。若政府补贴系数大于0,则此企业属于政府补贴范围;若政府补贴系数小于0,则此企业不属于政府补贴范围。根据表3判断出当  $b \leq 0.25$  时,此企业不属于值得被政府补贴的范围。当  $0.25 < b < 0.3$  时,政府补贴系数随着企业运营成本的增加而增大。当  $b \geq 0.3$  时,政府补贴系数随着企业运营成本的增加而减少。

若选取汽车价格为10万元,  $b = 0.5$ ,  $\xi = 2.0$ ,  $v_1 = 0.1$ ,我们可从判断出努力程度与服务质量比值对政府补贴系数的影响,见表4。根据表4判断出当  $0 < k < 1.3$  时,政府补贴系数随着新能源汽车企业服务质量的提高而增大。当  $1.3 \leq k < 1.45$  时,政府补贴系数随着新能源汽车企业服务质量的提高而减小,但是此企业仍然处于值得被政府补贴的范围之内。当  $k \geq 1.45$  时,此企业不属于值得被政府补贴的范围之内。

若选取汽车价格为10万元,  $b = 0.5$ ,  $\xi = 2.0$ ,  $k = 1.0$ ,我们可以判断出企业努力程度对政府补贴系数的影响,见表5。根据表5可知,在政府制定了补贴政策、确定了补贴系数之后,企业就会以自身的效用最大化为前提选择努力程度。又从系数计算结果得知,在政府企业合作的模式下,政府对新能源汽车运营的补贴能在一定程度上增加新能源汽车的销售量。因此,针对不同价格的新能源汽车,政府给予不同程度的补贴政策<sup>[14]</sup>。

表4 政府补贴系数与企业努力程度及服务质量比值系数的变化关系

Table 4 Change relation between government subsidy coefficient and enterprise effort, service quality ratio coefficient

| $k$ | $\beta^*$ |
|-----|-----------|
| 0.1 | -0.103    |
| 0.2 | 0.969     |
| 0.3 | 0.306     |
| 0.4 | 0.532     |
| 0.5 | 0.785     |
| 1.1 | 4.74      |
| 1.2 | 7.392     |
| 1.3 | 14.629    |
| 1.4 | 123.25    |
| 1.5 | -21.3     |

表2 汽车销售价格与政府补贴系数

Table 2 Automobile sales price and government subsidy coefficient

| 汽车价格/万元 | $\beta^*$ |
|---------|-----------|
| 10      | 0.927     |
| 15      | 1.26      |
| 20      | 1.593     |

表3 变动成本系数与政府补贴系数的变化关系

Table 3 Change relationship between variable cost factor and government subsidy coefficient

| $b$ | $\beta^*$ |
|-----|-----------|
| 0.1 | -66.133   |
| 0.2 | -197.800  |
| 0.3 | 65.533    |
| 0.4 | 39.200    |
| 0.5 | 27.914    |
| 4.6 | 1.970     |
| 4.7 | 1.919     |
| 4.8 | 1.870     |
| 4.9 | 1.823     |
| 5.0 | 1.779     |

表5 企业努力程度系数与政府补贴系数的变化关系

Table 5 Change relationship between government subsidy coefficient and degree of enterprise effort factor

| $v_1$ | $\beta^*$ |
|-------|-----------|
| 0.1   | -0.067    |
| 0.2   | 0.065     |
| 0.4   | 0.331     |
| 0.5   | 0.463     |
| 4.6   | 5.903     |
| 4.7   | 6.035     |
| 4.9   | 6.301     |
| 5.0   | 6.433     |

### 3 对政府的建议

对新能源汽车的良性发展,政府除了给予政策补贴外,还应做好以下两点:

1) 建立高效的系统化的监督机制。有效的监督机制对控制企业的生产和销售起至关重要的作用。政府应该做到及时公布检查结果,使监督结果透明化,尽量减少监督工作中的信息不对称。另外,监督机制还需系统化,将销售新能源汽车的企业纳入监督体系中,建立“消费者-政府-企业”三位一体<sup>[15]</sup>的监督

体系,这不但能加深消费者对新能源汽车的认识,还能够使政府的监督成本有所下降。

2)建立完善的新能源汽车企业售后服务评价体系,设定科学合理的售后服务标准。在结合政府调研与民众反馈的基础上,政府根据制定的售后服务指标对企业提供的售后服务水平进行考核。同时,政府也应当及时了解民众对新能源汽车售后服务的评价与建议,并以此不断完善自身的监督职责,对新能源汽车售后服务评价体系进行即时更新与调整。

#### 4 结 语

本文运用动态贝叶斯及相关理论建立了政府对新能源汽车的补贴政策模型,以汽车销售价格、变动成本、企业努力程度与服务质量比值、绝对风险和企业努力程度为政府补贴系数变动的主要影响因素,做实证分析。这 5 个因素对政府补贴系数变动影响不一致,其中只有政府补贴系数与企业努力程度呈一次线性关系,政府补贴系数与其他变量之间的关系都有比较明显的起伏阶段。因此,还从汽车销售价格、变动成本、努力程度与服务质量比值、绝对风险和企业努力程度等方面,讨论政府补贴系数变化率、车企与政府政策之间的关系、大众对新能源汽车认可程度等问题,这项研究对完善政府新能源汽车补贴政策,促进新能源汽车发展有积极意义。

#### 参考文献:

- [1] 张颖. 新能源车在政策加持下发展壮大[J]. 汽车与配件, 2019(4):4.
- [2] 李晓磊. 信息经济学视阈下裁判说理的动态化研究:以不完全信息动态博弈理论为指引[J]. 长白学刊, 2019(1):89.
- [3] 黄永颖. 新能源汽车补贴机制必要性分析[J]. 现代商贸工业, 2017(10):131.
- [4] 邹芸螺,朱艳阳. “后补贴”时代新能源汽车产业发展路径实证研究[J]. 当代经济, 2017(16):13.
- [5] 范如国,冯晓丹. “后补贴”时代地方政府新能源汽车补贴策略研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3):30.
- [6] 陈哲,梁绍东. 基于贝叶斯纳什均衡的政府补贴福利分析:以垂直不完全竞争市场为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2018, 35(4):7.
- [7] 谭忠富,柏慧,李莉,等. 电力用户从发电商购电定价的双边贝叶斯动态博弈学习模型[J]. 华东电力, 2009, 37(3):384.
- [8] 马红. 基于三方博弈的电动汽车产业链补贴政策研究[D]. 北京:中国石油大学, 2016.
- [9] 殷婷,汤少梁. 基于消费者剩余理论的患者药品福利研究[J]. 卫生经济研究, 2019, 36(2):14.
- [10] 李松涛. 市场交易利益来源的局部均衡分析[J]. 商业时代, 2007(4):13.
- [11] 林婷,王玮思. 融资与还贷视角下僵尸企业的存亡选择:基于逆向归纳法的企业、政府、银行三方子博弈精炼纳什均衡分析[J]. 中国商论, 2015(12):10.
- [12] 2018 年新能源汽车补贴将出台 有人欢喜有人愁[EB/OL]. (2017-12-19)[2018-03-04]. [http://inf.315che.com/n/2015\\_06/945542/](http://inf.315che.com/n/2015_06/945542/).
- [13] 魏青. 新能源汽车电池管理系统的设计[J]. 集成电路应用, 2019, 36(3):48.
- [14] 郑贵华,李呵莉. 财政补贴对新能源汽车产业创新投入的影响研究:基于倾向得分匹配法的实证分析[J]. 湖南工业大学学报(社会科学版), 2019, 24(1):79.
- [15] 聂新伟. 我国新能源汽车消费补贴政策的演变及效果评析[J]. 中国物价, 2019(3):16.