

面向电动汽车产业发展的政企合作博弈研究

陈翌^{1,2}, 尤建新¹, 薛奕曦³, 孔德洋²

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2. 同济大学 汽车学院, 上海 200092;
3. 上海大学 管理学院, 上海 200444)

摘要: 针对电动汽车财政补贴政策的有效性, 运用博弈论基础知识, 构建政府有补贴和无补贴两种情况下的电动汽车制造商定价决策模型。在博弈中引入消费者关于电动汽车和传统汽车购买决策行为变量, 分析电动汽车制造商在不同情况下的定价决策及其利润函数。研究表明: 由于政企间信息不对称, 当政府实施补贴时, 电动汽车制造商的最优定价反而高于无补贴时的最优定价。基于此, 提出取消补贴的普惠制、探索分摊的补贴机制、改变补贴对象和加强监管等政策建议。

关键词: 电动汽车; 政府补贴; 定价; 合作博弈

中图分类号: F420

文献标志码: A

Cooperative Game Between Electric Vehicles Manufacturers and Government for Electric Vehicles Industry Development

CHEN Yi^{1,2}, YOU Jianxin¹, XUE Yixi³, KONG Deyang²

(1. College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Regarding to the validity of financial subsidy policy about electric vehicles (EVs), game theory is adopted to establish the pricing-decision models of EV manufacturers under the conditions of with and without subsidy, respectively. The variable of consumers' purchase decision behavior about EVs and conventional vehicles is introduced in the decision models so as to analyze the pricing decisions of EV manufacturers and the profit function in different situations. The results show that the optimal pricing about EVs by manufacturers under the financial subsidy is, however, higher than that without subsidy because of the

information asymmetry. To improve the effectiveness of subsidy polices, some recommendations about canceling the GSP of subsidy, exploring the sharing mechanism, changing the actors of receiving subsidy and strengthening supervision are proposed.

Key words: electric vehicle; government subsidy; pricing decision; cooperative game

电动汽车(electric vehicles, EV)因其在交通领域的节能环保贡献, 在全世界范围内已受到广泛关注和支 持, 但过高的产品价格, 又成为制约其产业化推广的主要瓶颈。为此, 各国政府包括我国纷纷制定各种补贴政策, 意图降低电动汽车的购买价格, 以促进销售和产业化。

政府补贴往往被许多学者认为是应对市场外部性、扶持战略新兴产业和可持续创新发展的重要工具^[1-2]。随着研究的深入, 越来越多的学者开始探索政府补贴的效率性, 分析政府补贴是否能够真正加强企业的研发创新活动, 推动战略新兴产业可持续发展的发展^[3-4]。

我国从 2009 年开始实施面向私人购买的电动汽车补贴政策, 该政策将补贴资金首先拨付给电动汽车制造商, 然后制造商按其扣除补贴后的价格将电动汽车销售给私人用户或租赁企业。然而, 在补贴政策的具体实施过程中, 补贴后的电动汽车价格仍远远高于同级别的传统燃油汽车。除了电动汽车本身技术不成熟、电池成本过高的原因之外, 是否存在车企虚高定价、套现国家补贴的因素? 我国电动汽车产业财政补贴的政策是否取得了预期效应? 由于政府对单个企业的生产成本和消费者信息掌握得并

收稿日期: 2016-06-01

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2015BAG11B01); 上海市自然科学基金(14JC1402204); 中国博士面上基金(2015M581582)

第一作者: 陈翌(1963—), 男, 副教授, 博士生, 主要研究方向为管理理论与工业工程、新能源汽车产业化及汽车文化。

E-mail: chenyl63@tongji.edu.cn

通讯作者: 孔德洋(1973—), 男, 副教授, 管理学博士, 主要研究方向为汽车产业组织与政策, 新能源汽车应用环境与商业模式。

E-mail: kongdeyang@tongji.edu.cn

不全面,也就是说,政府和车企之间存在着信息不对称.基于信息不对称,车企的定价策略存在着影响政府补贴政策有效性的可能.事实上,近期出现的电动汽车“骗补”现象,说明政府实施的电动汽车补贴政策存在不少问题.基于此,本文力图对电动汽车厂商的定价机制进行研究,分析其补贴前和补贴后的定价策略,从而对这一问题进行探讨.

1 模型假设

构建政府与电动汽车制造商之间的不完全信息动态博弈模型,模型中政府和电动汽车制造商的数量均为 1,政府为先行者,决定对电动汽车制造商补贴政策;电动汽车制造商为追随者,在掌握政府的补贴政策后制定价格策略.

政府的策略为,对单辆电动汽车的补贴率 S ,策略空间为 $\{S|S \geq 0\}$,当 $S=0$ 时不予补贴.电动汽车制造商的策略为,根据政府补贴策略 S ,将电动汽车(EV)及传统汽车(ICV)的销售售价确定为 (P_{EV}, P_{ICV}) .政府的收益函数为补贴总额 C ,电动汽车制造商的收益函数为电动汽车和传统汽车的销售利润总和为 Δ .在博弈纳什均衡时,政府补贴策略 S^* 和企业价格策略 $(P_{EV}, P_{ICV})^*$,政府收益函数 C 和电动汽车制造商收益函数 Δ 都达到极大值.

为简化模型,做以下假设:

(1) 由于信息不对称,政府不完全掌握电动汽车制造商的生产成本等信息.

(2) 电动汽车制造商和消费者的信息是对称的.

(3) 电动汽车制造商同时销售 ICV 和 EV.

(4) 汽车的属性可分为低碳性等绿色属性值(G)和便捷性等传统属性值(O)^[5],电动汽车制造商对 ICV 和 EV 研发时按不同比例分别赋予这两种属性,记为 $(G_{ICV}, O_{ICV}), (G_{EV}, O_{EV})$,且 $G_{ICV} \leq O_{ICV}, O_{EV} \leq G_{EV}, G_{ICV} + O_{ICV} = 1, O_{EV} + G_{EV} = 1$.

(5) 整车成本由固定投资成本 H 和生产成本 C 组成,沿用 Kim 和 Chhajed^[6] 中的假设,ICV 和 EV 的生产成本分别表示为 $C_{ICV} = c_{ICV}^g \cdot G_{ICV}^2 + c_{ICV}^o O_{ICV}^2, C_{EV} = c_{EV}^g G_{EV}^2 + c_{EV}^o O_{EV}^2$,其中, $c_{ICV}^g, c_{ICV}^o, c_{EV}^g, c_{EV}^o$ 分别为 ICV 和 EV 的绿色属性值及传统属性值的成本系数,且与生产数量无关.

(6) ICV 和 EV 的潜在消费者总量为 M .

(7) 消费者对传统属性和绿色属性的估值分别为 (U_o, U_g) ,且 $U_o + U_g = U$,分布函数 $F(u_o)$ 和

$F(u_g)$ 服从均匀分布.

$$\begin{cases} F(u_o) = \frac{u_o - U_1}{U_h - U_1}, u_o \in [U_1, U_h] \\ F(u_g) = \frac{u_g - (U - U_h)}{U_h - U_1}, u_g \in [U - U_h, U - U_1] \end{cases} \quad (1)$$

其中, U_1, U_h 是传统属性 U_o 的最大最小值.

(8) 消费者比较消费剩余大小来决定购买哪种类型,且一个潜在消费者在市场上的购买数量为 1.

2 政府无补贴下的电动汽车制造商定价决策模型

首先考虑政府不对电动汽车制造商销售的 EV 进行补贴的情况.当消费者对 EV 的估值大于或等于电动汽车制造商的 EV 定价 P_{EV} ,且购买 EV 的消费剩余大于购买 ICV 的消费剩余时,消费者将购买 EV;反之,则购买 ICV.此时,电动汽车制造商的最佳应对策略 $(P_{EV}, P_{ICV})^*$ 可以最大化其利润 $\Delta^*(P_{EV}, P_{ICV})$.假设电动汽车制造商采用策略 (P_{EV}, P_{ICV}) ,则具体情况分析如下.

2.1 消费者购买 EV.

表明消费者对 EV 的估值大于等于 EV 定价,且购买 EV 的消费剩余大于购买 ICV 的消费剩余.

$$\begin{cases} U_g G_{EV} + U_o O_{EV} \geq P_{EV} \\ U_g G_{EV} + U_o O_{EV} - P_{EV} \geq U_g G_{ICV} + U_o O_{ICV} - P_{ICV} \end{cases} \quad (2)$$

根据 $U_g + U_o = U$,可得

$$\begin{aligned} U_g &\geq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + U(O_{ICV} - O_{EV})}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}, \\ U_g &\geq \frac{P_{EV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV}}. \end{aligned}$$

分两种情况分析:

$$(1) \text{ 若 } \frac{P_{EV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV}} \geq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + U(O_{ICV} - O_{EV})}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}},$$

又知 U_g 的上限为 $(U - U_1)$,则 $\frac{P_{EV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV}} \leq U_g \leq U - U_1$.即 (P_{EV}, P_{ICV}) 满足 $P_{EV} k_{ICV} + P_{ICV} k_{EV} \geq U k_c$ 时,且 U_g 在 $[\frac{P_{EV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV}}, U - U_1]$ 内的消费者将购买 EV.

其中, $k_{ICV} = (O_{ICV} - G_{ICV}) \geq 0; k_{EV} = (G_{EV} - O_{EV}) \geq 0; k_c = (O_{ICV} G_{EV} - O_{EV} G_{ICV}) \geq 0$

$$(2) \text{ 若 } \frac{P_{EV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV}} \leq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + U(O_{ICV} - O_{EV})}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}},$$

则 $\frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}} \leq U_g \leq U - U_1$.即 $(P_{EV},$

P_{ICV}) 满足 $P_{EV} k_{ICV} + P_{ICV} k_{EV} \leq Uk_c$, 且 U_g 在 $\left[\frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}, U - U_1 \right]$ 内的消费者将购买 EV.

2.2 消费者购买 ICV

表明消费者对 ICV 的估值大于等于 ICV 定价, 且购买 ICV 的消费剩余大于购买 EV 的消费剩余,

$$\begin{cases} U_o O_{ICV} + U_g G_{ICV} \geq P_{ICV} \\ U_o O_{ICV} + U_g G_{ICV} - P_{ICV} \geq U_o O_{EV} + U_g G_{EV} - P_{EV} \end{cases} \quad (3)$$

可得 $U_g < \frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}}$

$$U_g \leq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}$$

分两种情况分析:

(1) 若 $\frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}} \geq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}$,

又 U_g 下限为 $(U - U_h)$, 则 $U - U_h \leq U_g \leq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}$. 即 (P_{EV}, P_{ICV}) 满足 $P_{EV} \cdot$

$k_{ICV} + P_{ICV} k_{EV} \leq Uk_c$ 时, 且 U_g 在 $\left[U - U_h, \frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}} \right]$ 内的消费者将购买 ICV.

(2) 若 $\frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}} \leq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}$,

则 $U - U_h \leq U_g \leq \frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}}$. 即 (P_{EV}, P_{ICV}) 满足

$P_{EV} k_{ICV} + P_{ICV} k_{EV} \geq Uk_c$ 时, 且 U_g 在 $\left[U - U_h, \frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}} \right]$ 内的消费者将购买 ICV.

综上, 电动汽车制造商的定价策略 (P_{EV}, P_{ICV}) 与利润 Δ 之间关系可以表示为

(1) 在 $P_{EV} k_{ICV} + P_{ICV} k_{EV} \geq Uk_c$ 区域, 且 U_g 在区

$$\begin{aligned} \Delta_{\leq} (P_{EV}, P_{ICV}) = & \left(1 - \frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV} - (U - U_h)}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}} \right) M(P_{EV} - C_{EV}) + \\ & \left(\frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV} - U_1}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}} - U_1 \right) M(P_{ICV} - C_{ICV}) - H \end{aligned} \quad (6)$$

最佳定价策略利润 $(P_{EV}, P_{ICV})^*_{\leq}$ 满足 $\frac{\partial \Delta_{\leq}}{\partial P_{EV}} = 0$,

$\frac{\partial \Delta_{\leq}}{\partial P_{ICV}} = 0$, 可得

$$\begin{cases} P_{EV}^*_{\leq} = (C_{EV} + UG_{EV} - U_1 G_{EV} + U_1 O_{EV}) / 2 \\ P_{ICV}^*_{\leq} = (C_{ICV} + UO_{ICV} - U_1 (O_{ICV} - G_{ICV})) / 2 \end{cases}$$

最大利润为

间 $\left[\frac{P_{EV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV}}, U - U_1 \right]$ 内的消费者将购买 EV, 在

区间 $\left[U - U_h, \frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}} \right]$ 内的消费者将购买

ICV, 在区间 $\left[\frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}}, \frac{P_{EV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV}} \right]$ 内的消费者将暂不购车. 此区域电动汽车制造商利润为

$$\begin{aligned} \Delta_{\geq} (P_{EV}, P_{ICV}) = & \left(1 - \frac{P_{EV} - UO_{EV} - (U - U_h)}{G_{EV} - O_{EV}} \right) \cdot \\ & M(P_{EV} - C_{EV}) + \left(\frac{UO_{ICV} - P_{ICV} - U_1}{O_{ICV} - G_{ICV}} - U_1 \right) \cdot \\ & M(P_{ICV} - C_{ICV}) - H \end{aligned} \quad (4)$$

最佳定价策略利润 $(P_{EV}, P_{ICV})^*_{\geq}$ 满足 $\frac{\partial \Delta_{\geq}}{\partial P_{EV}} = 0$,

$\frac{\partial \Delta_{\geq}}{\partial P_{ICV}} = 0$, 可得

$$\begin{cases} P_{EV}^*_{\geq} = (C_{EV} + UG_{EV} - U_1 G_{EV} + U_1 O_{EV}) / 2 \\ P_{ICV}^*_{\geq} = (C_{ICV} + UO_{ICV} - U_1 (O_{ICV} - G_{ICV})) / 2 \end{cases} \quad (5)$$

最大利润为

$$\begin{aligned} \Delta_{\geq}^* (P_{EV}, P_{ICV}) = & a_1 b_1 (-C_{EV} + (1 + C_{EV}/b_1)^2 / 4) + \\ & a_2 b_2 (-C_{ICV} + (1 + C_{ICV}/b_2)^2 / 4) - H \end{aligned}$$

其中, $a_1 = M / (U_h - U_1) (G_{EV} - O_{EV})$,

$a_2 = M / (U_h - U_1) (O_{ICV} - G_{ICV})$,

$b_1 = (U_h - U_1) (G_{EV} - O_{EV}) + (U - U_h) (G_{EV} - O_{EV}) + UO_{EV}$, $b_2 = UO_{ICV} - U_1 (O_{ICV} - G_{ICV})$.

(2) 在 $P_{EV} k_{ICV} + P_{ICV} k_{EV} \leq Uk_c$ 区域, 对绿色属性估值 U_g 在区间 $\left[\frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}, U - U_1 \right]$ 内的消费者将购买 EV, 在区间 $\left[U - U_h,$

$\frac{P_{EV} - P_{ICV} + UO_{ICV} - UO_{EV}}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}} \right]$ 内的消费者将购买

ICV. 此区域电动汽车制造商利润为

$$\begin{aligned} \Delta_{\leq}^* (P_{EV}, P_{ICV}) = & a_1 b_1 (-C_{EV} + (1 + C_{EV}/b_1)^2 / 4) + \\ & a_2 b_2 (-C_{ICV} + (1 + C_{ICV}/b_2)^2 / 4) - H \end{aligned}$$

其中, $a_1 = M / (U_h - U_1) (G_{EV} - O_{EV})$, $a_2 = M / (U_h - U_1) (O_{ICV} - G_{ICV})$, $b_1 = (U_h - U_1) (G_{EV} - O_{EV}) + (U - U_h) (G_{EV} - O_{EV}) + UO_{EV}$, $b_2 = UO_{ICV} - U_1 (O_{ICV} - G_{ICV})$.

对电动汽车制造商来说, 比较两区域的收益函

数, $\Delta_{\geq}^*(P_{EV}, P_{ICV}) > \Delta_{\leq}^*(P_{EV}, P_{ICV})$. 因此电动汽车制造商选取 $P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} \geq Uk_c$ 区域的价格策略作为最佳策略, 得

$$\begin{cases} P_{EV}^* = (C_{EV} + UG_{EV} - U_1G_{EV} + U_1O_{EV})/2 \\ P_{ICV}^* = (C_{ICV} + UO_{ICV} - U_1(O_{ICV} - G_{ICV}))/2 \end{cases} \quad (7)$$

此时电动汽车制造商的收益函数为

$$\Delta_{\geq}^*(P_{EV}, P_{ICV}) = a_1b_1(-C_{EV} + (1 + C_{EV}/b_1)^2/4) + a_2b_2(-C_{ICV} + (1 + C_{ICV}/b_2)^2/4) - H$$

式中, $a_1 = M/(U_h - U_1)(G_{EV} - O_{EV})$,

$a_2 = M/(U_h - U_1)(O_{ICV} - G_{ICV})$,

$b_1 = (U_h - U_1)(G_{EV} - O_{EV}) + (U - U_h)(G_{EV} - O_{EV}) + UO_{EV}$, $b_2 = UO_{ICV} - U_1(O_{ICV} - G_{ICV})$

3 政府有补贴下的电动汽车制造商定价决策模型

为了促进消费者购买 EV, 政府的策略为对 EV 汽车根据绿色属性占比率的提高进行补贴, 补贴率为 $S(S \geq 0)$, 即对每辆 EV 汽车补贴额度为 $S(G_{EV} - G_{ICV})$; 电动汽车制造商的策略为定价 (P_{EV}, P_{ICV}) , 在计算整车企业的收益函数即利润时, 汽车的销售价格为仍为 (P_{EV}, P_{ICV}) , 而对消费者来说汽车的实际获取价格为 $(P_{EV} - S(G_{EV} - G_{ICV}), P_{ICV})$. 同样, 考虑电动汽车制造商和消费者的信息对称, 分析消费者的购买行为.

3.1 消费者倾向购买电动车 EV

$$\begin{cases} U_g G_{EV} + U_o O_{EV} \geq P_{EV} - S(G_{EV} - G_{ICV}) \\ U_g G_{EV} + U_o O_{EV} - P_{EV} + S(G_{EV} - G_{ICV}) \geq U_g G_{ICV} + U_o O_{ICV} - P_{ICV} \end{cases} \quad (8)$$

可得 $U_g \geq \frac{P_{EV} - UO_{EV} - S(G_{EV} - G_{ICV})}{(G_{EV} - O_{EV})}$.

分两种情况分析:

(1) 若 $\frac{P_{EV} - UO_{EV} - S(G_{EV} - G_{ICV})}{G_{EV} - O_{EV}} \geq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}$, 则

$$\frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}} \leq U_g \leq U - U_1$$

即价格策略 (P_{EV}, P_{ICV}) 满足.

$$P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} \geq Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$$

对绿色属性估值 U_g 在区间 $[(P_{EV} - UO_{EV} - Sk_{OG})/k_{EV}, U - U_1]$ 内的消费者将购买 EV. 其中 $k_{OG} = O_{ICV} - O_{EV} = G_{EV} - G_{ICV} \geq 0$

(2) 若 $\frac{P_{EV} - UO_{EV} - S(G_{EV} - G_{ICV})}{G_{EV} - O_{EV}} < \frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}$, 则

$\frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{G_{EV} - O_{EV} + O_{ICV} - G_{ICV}}$, 则

$$\frac{P_{EV} - UO_{EV} - S(G_{EV} - G_{ICV})}{(G_{EV} - O_{EV})} \leq U_g \leq U - U_1. \text{ 即 } (P_{EV}, P_{ICV})$$

满足 $P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} \leq Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$ 时, U_g 在 $[\frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)k_{OG}}{k_{ICV} + k_{EV}}, U - U_1]$ 内的消费者将购买 EV.

3.2 消费者倾向购买电动车 ICV

$$\begin{cases} U_o O_{ICV} + U_g G_{ICV} \geq P_{ICV} \\ U_o O_{ICV} + U_g G_{ICV} - P_{ICV} \geq U_o O_{EV} + U_g G_{EV} + S(G_{EV} - G_{ICV}) - P_{EV} \end{cases} \quad (9)$$

可得 $U_g \leq \frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}}$,

$$U_g \leq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{G_{EV} - G_{ICV} + O_{ICV} - O_{EV}}$$

分两种情况分析.

(1) 当 $\frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}} \geq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{(O_{ICV} - O_{EV}) + (G_{EV} - G_{ICV})}$, 则 $U - U_h \leq U_g \leq \frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{(O_{ICV} - O_{EV}) + (G_{EV} - G_{ICV})}$. 即 (P_{EV}, P_{ICV}) 满足 $P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} \leq Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$ 时, U_g 在 $[U - U_h, \frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)k_{OG}}{k_{ICV} + k_{EV}}]$ 内的消费者将购买 ICV.

(2) 当 $\frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)(G_{EV} - G_{ICV})}{(O_{ICV} - O_{EV}) + (G_{EV} - G_{ICV})} \geq \frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}}$, $U - U_h \leq U_g \leq \frac{UO_{ICV} - P_{ICV}}{O_{ICV} - G_{ICV}}$ 即 (P_{EV}, P_{ICV}) 满足 $P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} \geq Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$ 时, U_g 在 $[U - U_h, (UO_{ICV} - P_{ICV})/k_{ICV}]$ 内的消费者将购买 ICV.

综上, 当电动汽车制造商的定价策略 (P_{EV}, P_{ICV}) 在 $P_{EV} - P_{ICV}$ 平面上划分为区域 I 和区域 II 两个区域, 如图 1 所示.

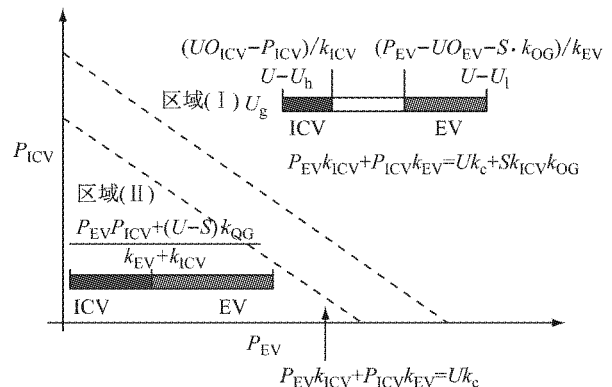


图 1 $P_{EV} - P_{ICV}$ 平面的区域划分示意图

Fig. 1 Schematic Zoning Graphic of $P_{EV} - P_{ICV}$

针对区域 I, 当 $P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} \geq Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$ 时, 对绿色属性估值 U_g 在区间 $[U - U_h, (UO_{ICV} - P_{ICV})/k_{ICV}]$ 内的消费者将购买 ICV, 在区间 $[(P_{EV} - UO_{EV} - Sk_{OG})/k_{EV}, U - U_1]$ 内的消费者将购买 EV, 估值在 $[(UO_{ICV} - P_{ICV})/k_{ICV}, (P_{EV} - UO_{EV} - S \cdot k_{OG})/k_{EV}]$ 内的消费者暂不购买汽车. 越靠近区

域边界 $P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} = Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$, 中间不购买汽车的消费者越少; 在边界上 $(UO_{ICV} - P_{ICV})/k_{ICV} = (P_{EV} - UO_{EV} - Sk_{OG})/k_{EV}$, 中间区域消失.

电动汽车制造商的收益函数即利润为 $\Delta_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S)$ 为

$$\Delta_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = \frac{(U - U_1) - (P_{EV} - UO_{EV} - Sk_{OG})/k_{EV}}{U_h - U_1} M(P_{EV} - C_{EV}) + \frac{(UO_{ICV} - P_{ICV})/k_{ICV} - U_1}{U_h - U_1} M(P_{ICV} - C_{ICV}) - H \quad (10)$$

$$C_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = -\frac{(U - U_1) - (P_{EV} - UO_{EV} - Sk_{OG})/k_{EV}}{U_h - U_1} MSk_{OG}$$

取 $\frac{\partial}{\partial P_{EV}} \Delta_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = \frac{\partial}{\partial P_{ICV}} \Delta_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = 0$, 求解企业最佳价格策略为

$$\begin{cases} P_{EV}^* = (C_{EV} + (U - U_1)k_{EV} + UO_{EV} + Sk_{OG})/2 \\ P_{ICV}^* = (C_{ICV} + UO_{ICV} - U_1k_{ICV})/2 \end{cases} \quad (11)$$

满足 $P_{EV}^*k_{ICV} + P_{ICV}^*k_{EV} \geq Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$ 可用, 因此, 政府策略即补贴率为 S , 电动汽车制造商价格策略为 (P_{EV}^*, P_{ICV}^*) 时, 其收益函数为

$$\Delta_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = \frac{(U - U_1) - (P_{EV} - UO_{EV} - Sk_{OG})/k_{EV}}{U_h - U_1} M(P_{EV} - C_{EV}) + \frac{(UO_{ICV} - P_{ICV})/k_{ICV} - U_1}{U_h - U_1} M(P_{ICV} - C_{ICV}) - H = \frac{(UO_{EV} - C_{EV} + (U - U_1)k_{EV} + Sk_{OG})^2 M}{4k_{EV}(U_h - U_1)} + \frac{(UO_{ICV} - C_{ICV} - U_1k_{ICV})^2 M}{4k_{ICV}(U_h - U_1)} - H \quad (12)$$

政府的收益函数即为

$$C_{\geq}(S) = -\frac{UO_{EV} + (U - U_1)k_{EV} - C_{EV} + Sk_{OG}}{2(U_h - U_1)k_{EV}} \cdot MSk_{OG} \quad (13)$$

针对区域 II, 当 $P_{EV}k_{ICV} + P_{ICV}k_{EV} \leq Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG}$ 时, 对绿色属性估值 U_g 在区间 $[U - U_h, \frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)k_{OG}}{k_{EV} + k_{ICV}}]$ 内的消费者将购买 ICV, 估值 U_g 在区间 $[\frac{P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)k_{OG}}{k_{EV} + k_{ICV}}, U - U_1]$ 内的消费者将购买 EV. 电动汽车制造商的收益函数为 $\Delta_{\leq}(P_{EV}, P_{ICV}, S)$ 和政府收益函数 $C_{\leq}(P_{EV}, P_{ICV}, S)$

$$\Delta_{\leq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = \frac{(U - U_1)(k_{EV} + k_{ICV}) - (P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)k_{OG})}{(U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV})} \cdot M(P_{EV} - C_{EV}) + \frac{(P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)k_{OG}) - U_1(k_{EV} + k_{ICV})}{(U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV})} \cdot M(P_{ICV} - C_{ICV}) - H$$

$$C_{\leq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = \frac{(U - U_1)(k_{EV} + k_{ICV}) - (P_{EV} - P_{ICV} + (U - S)k_{OG})}{(U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV})} \cdot M \cdot S \cdot k_{OG} \quad (14)$$

取

$$\frac{\partial}{\partial P_{EV}} \Delta_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = \frac{\partial}{\partial P_{ICV}} \Delta_{\geq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = 0$$

求解企业最佳价格策略为

$$\begin{cases} P_{EV} - P_{ICV} = (C_{EV} - C_{ICV} + (U - U_1)(k_{EV} + k_{ICV}) - (U - S)k_{OG})/2 \\ P_{EV} - P_{ICV} = (C_{EV} - C_{ICV} + U_1(k_{EV} + k_{ICV}) - (U - S)k_{OG})/2 \end{cases}$$

不成立.

对 $\Delta_{\leq}(P_{EV}, P_{ICV}, S)$ 做变形,

$$\Delta_{\leq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) = \frac{(\Gamma_{\leq}(P_{EV}, P_{ICV}, S) + d_{ev})M}{(U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV})} - H$$

$$d_{ev} = (U - S)k_{OG}(C_{EV} - C_{ICV}) - [U_1 \cdot C_{ICV} - (U - U_1)C_{EV}](k_{EV} + k_{ICV})$$

核心函数

$$\Gamma_{\leq}(P_{EV}) |_{P_{ICV}, S} = (P_{ICV} + a_{ev}/2)^2 - c_{ev} - [P_{EV} - (P_{ICV} + a_{ev}/2)]^2$$

$$a_{ev} = (U - U_1)(k_{EV} + k_{ICV}) - (U - S)k_{OG} + (C_{EV} - C_{ICV})$$

$$c_{ev} = [U_1(k_{EV} + k_{ICV}) - (U - S)k_{OG} + (C_{EV} - C_{ICV})] + P_{ICV} + P_{ICV}P_{ICV}$$

求解其在区域 II 内的最大值。

固定 (P_{ICV}, S) , 判断 $\Gamma_{\leq}(P_{EV})|_{P_{ICV}, S}$ 的最大值位置 $P_{EV} = (P_{ICV} + a_{ev}/2)$ 在是否在区域 II 内, 引入函数 $f(P_{ICV}) = (Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG} - P_{ICV}k_{EV})/k_{ICV} - (P_{ICV} + a_{ev}/2)$, 则

当 $f(P_{ICV}) > 0$ 时

$$P_{ICV} < (Uk_c/k_{ICV} + Sk_{OG} - a_{ev}/2)/(k_{EV}/k_{ICV} + 1)$$

$$\max \Gamma_{\leq}(P_{EV})|_{P_{ICV}, S} = (P_{ICV} + a_{ev}/2)^2 - c_{ev}$$

当 $f(P_{ICV}) \leq 0$ 时

$$(Uk_c + Sk_{ICV}k_{OG})/k_{EV} \geq P_{ICV} \geq$$

$$(Uk_c/k_{ICV} + Sk_{OG} - a_{ev}/2)/(k_{EV}/k_{ICV} + 1)$$

极大值出现在边界, 为

$$\max \Gamma_{\leq}(P_{EV})|_{P_{ICV}, S} = (2P_{ICV} + a_{ev})(Uk_c +$$

$$\left\{ \begin{aligned} P_{ICV}^* &= \frac{\frac{2Uk_c}{k_{ICV}} + 2Sk_{OG} + \frac{2Uk_c k_{EV}}{k_{ICV}^2} + \frac{2Sk_{OG} k_{EV}}{k_{ICV}} + (U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV}) - \left(\frac{k_{EV}}{k_{ICV}} + 1\right)a_{ev}}{\frac{4k_{EV}}{k_{ICV}} + \frac{2k_{EV}^2}{k_{ICV}^2} + 2} \\ P_{EV}^* &= \frac{Uk_c + Sk_{OG} \left[\frac{2Uk_c k_{EV}}{k_{ICV}} + 2Sk_{OG} k_{EV} + \frac{2Uk_c k_{EV}^2}{k_{ICV}^2} + \frac{2Sk_{OG} k_{EV}^2}{k_{ICV}} + (U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV})k_{EV} - \left(\frac{k_{EV}}{k_{ICV}} + 1\right)a_{ev}k_{EV} \right]}{\frac{4k_{EV}}{k_{ICV}} + \frac{2k_{EV}^2}{k_{ICV}^2} + 2k_{ICV}} \end{aligned} \right. \quad (15)$$

政府的收益函数为

$$C_{\geq}(S) = - \frac{(U - U_1)(k_{EV} + k_{ICV}) - (PEV_{\leq}^* - PICV_{\leq}^* + (U - S)k_{OG})MSk_{OG}}{(U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV})} \quad (16)$$

4 模型分析与结论

由上述模型构建与求解可知, 在政府选择对电动汽车制造商销售的电动汽车无补贴时, 电动汽车制造商的电动汽车最优定价为

$$P_{EV}^* = (C_{EV} + UG_{EV} - U_1G_{EV} + U_1O_{EV})/2$$

当政府选择对电动汽车制造商销售的电动汽车有补贴时, 其最优定价为

$$P_{EV}^* = (C_{EV} + (U - U_1)k_{EV} + UO_{EV} + Sk_{OG})/2$$

为避免符合重复, 将此处 P_{EV}^* 记作 P_{EV}^{S*} .

进一步将政府无补贴和政府有补贴下电动汽车制造商的最优价格进行比较, 结果如下:

$$P_{EV}^{S*} - P_{EV}^* = Sk_{OG}/2$$

由于 $k_{OG} = O_{ICV} - O_{EV} = G_{EV} - G_{ICV} \geq 0$, 且 $S > 0$,

则有 $P_{EV}^{S*} - P_{EV}^* \geq 0$, 即 $P_{EV}^{S*} \geq P_{EV}^*$

$$Sk_{ICV}k_{OG} - P_{ICV}k_{EV})/k_{ICV} - (Uk_c +$$

$$Sk_{ICV}k_{OG} - P_{ICV}k_{EV})^2/k_{ICV}^2 - c_{ev}$$

当固定 S, P_{ICV} 从 0 逐渐增加到 $(Uk_c + S \cdot k_{ICV}k_{OG})/k_{ICV}$ 过程中, $\Delta_{\leq}(S)$ 的极大值为 $\Delta_{\leq}(S) =$

$$\frac{(\max \Gamma_{\leq} + d_{ev})M}{(U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV})} - H, \text{ 其中,}$$

$$\max \Gamma_{\leq} = - \left(\frac{2k_{EV}}{k_{ICV}} + \frac{k_{EV}^2}{k_{ICV}^2} + 1 \right) P_{ICV}^{*2} + \left[\frac{2Uk_c}{k_{ICV}} +$$

$$2Sk_{OG} + \frac{2Uk_c k_{EV}}{k_{ICV}^2} + \frac{2Sk_{OG} k_{EV}}{k_{ICV}} +$$

$$(U_h - U_1)(k_{EV} + k_{ICV}) - \left(\frac{k_{EV}}{k_{ICV}} + 1 \right) a_{ev} \right] P_{ICV}^* -$$

$$\left(-a_{ev} + \frac{Uk_c}{k_{ICV}} + Sk_{OG} \right) \left(\frac{Uk_c}{k_{ICV}} + Sk_{OG} \right)$$

$$d_{EV} = (U - S)k_{OG}(C_{EV} - C_{ICV}) - [(U - U_h) \cdot$$

$$C_{ICV} - (U - U_1)C_{EV}](k_{EV} + k_{ICV})$$

最佳策略 $(P_{EV}, P_{ICV})_{\leq}^*$ 为

模型分析结果表明: 当电动汽车制造商同时销售 ICV 和 EV, 且每个潜在消费者只购买 1 辆汽车, 电动汽车制造商和潜在消费者信息是对称的, 而政府和电动汽车制造商之间信息不对称时, 政府选择对电动汽车制造商销售的 EV 进行补贴, 并不能最终降低 EV 的售价. 也就是说, 由于政府和电动汽车制造商之间信息不对称, 在政府实施补贴策略的情况下, 电动汽车制造商的电动汽车最优定价反而高于无补贴时的最优定价. 政府意图通过补贴政策降低电动汽车售价的目标难以实现。

5 建议

(1) 取消电动汽车补贴的普惠制, 配合工信部在提高技术门槛的基础上调整财政补贴政策, 在保持 2016—2020 年补贴方案总体稳定的前提下, 不断提高进入推荐车型目录的企业和产品的门槛, 使技术

先进、市场认可度高的产品能够获得财政补贴,相反的就得不到补贴。调整续航里程等简单、单一的技术指标要求,增加百公里电耗等整体性、综合性技术指标要求。只补贴技术水平高的产品,对于具有明显补贴依赖的产品,加快退出补贴。

(2)探索补贴分摊的财政补贴机制,建立政府与电动汽车制造商分摊购车补贴的新机制,一定程度上弱化信息不对称问题带来的企业逐利动机,避免车商对政府补贴的过度依赖。政府分摊的购车补贴比例和额度逐渐退坡,逐渐向市场化过度。而且优先探索与外资品牌电动汽车产品分摊补贴的机制,实现电动汽车市场的逐步放开。

(3)在补贴方式上,直接补贴给消费者而非电动汽车制造商。消费者在购买时,无论是否进入补贴目录,完全按照消费偏好自由选择市场上的可购产品,形成竞争的市场,就像目前的家电产业对于节能产品的补贴一样。这可以在一定程度上规避信息不透明带来的影响。

(4)财政资助向市场化激励机制转变。财政补贴政策应向市场化激励机制转变。设计原则包括:激励创新;用市场来调解供求平衡;控制排放总量。最后将过度到强制要求。

(5)健全监管体系,政府相关部门应加强对电动汽车新兴领域的调查和了解,掌握制造和成本信息,

增强决策判断力。此外,对于“自产自运营”、“骗补”等“伪行为”加强监管,加重处罚,规范企业行为,引导产业良性发展,最终让技术进步和政府政策惠及于民,造福于民。

参考文献:

- [1] Nelson R R. The simple economics of basic scientific research [J]. *Journal of Political Economy*, 1959, 67(3):297.
- [2] Arrow K. Economic welfare and the allocation of resources for invention[C]// *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton: Princeton University Press, 1962:609-626.
- [3] 冯振中,吴斌. 政府研发补贴政策的有效性研究[J]. *技术经济*, 2008, 27(9):26.
FENG Zhenzhong, WU Bin. Research on the effectiveness of government R & D subsidy policy [J]. *Technology Economics*, 2008, 27(9):26.
- [4] Philipp Boeing. The allocation and effectiveness of China's R&D subsidies—evidence from listed firms [J]. *Research Policy*, 2016, 45:1774.
- [5] Desai P, Kekre S, Radhakrishnan S, *et al.* Product differentiation and commonality in design: balancing revenue and cost drivers [J]. *Management Science*, 2001, 47(1):37.
- [6] Kim K, Chhajed D. Commonality in product design: cost saving, valuation change and cannibalization [J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, 125(3):602.