

文章编号:1005-0523(2019)05-0043-08

政府激励下两级汽车供应链的生产决策研究

林海燕,李正红

(福建农林大学交通与土木工程学院,福建 福州 350100)

摘要:基于消费者的需求异质特性和政府定额补贴背景,以单个汽车制造商和单个零售商组成的两级汽车供应链为研究对象,运用非合作博弈理论构建多方竞争博弈模型,利用逆向归纳法对模型求解,并借助敏感性分析和比较分析,给出了补贴政策下两级汽车供应链中生产决策、经济效益、环境影响、消费者剩余等均衡解的变化规律;通过仿真实验,揭示了环境影响的驱动因素。研究发现,补贴下制造商生产电动汽车具有可行性,且可以实现双赢,即经济效益和消费者剩余增加;另外消费者对电动汽车的接受度对改善社会福利和环境影响发挥着举足轻重的作用。

关键词:交通运输经济;生产决策;竞争博弈;两级汽车供应链;电动汽车;消费者偏好;政府补贴

中图分类号:F273.2

文献标志码:A

由于传统汽车(GVs)保有量持续增长,石油能源短缺和环境污染问题日益严峻,近年来以电能为燃料、零尾气污染的电动汽车(EVs)成为解决能源危机、环境污染以及交通经济可持续发展的新契机。在学术界,政府的激励行为对EVs供应链运作决策的影响问题是近年来的研究热点。其中Luo等^[1]研究带有补贴上限的购车折扣政策是否能有效扩大EVs产能,发现存在唯一折扣率和补贴上限组合,可以扩大生产决策。罗春林^[2]研究政府定额补贴对供应链上下游成员运营策略影响,提出补贴可以提高销量,并惠及供应链上的所有成员,而且补贴额度越高,供应链绩效越好。陈翌等^[3]构建政府有无补贴情形的EVs制造商定价决策模型,发现政府意图通过补贴政策降低EVs售价的目标难以实现,并提出了一些相应对策。Gu等^[4]考虑汽车制造商具有损失厌恶,探讨政府补贴和电池回收对EVs制造商生产决策的影响。Shao等^[5]针对现有两种政府政策,探讨政府、制造商以及消费者偏好的政策类型,并对比分析制造商利润,消费者环境外部性及政府成本的均衡解。秦宇兴^[6]基于不完全信息条件,构建动态博弈模型,研究政府研发补贴对市场主体行为的管制效率。

目前的研究似乎并没有考虑政府与企业之间的博弈,还可能受到消费者购买决策偏好以及市场竞争环境等因素的影响,缺乏社会福利视角对政府补贴,市场环境、制造商利益和消费者偏好等因素进行综合考察。为此,本文将尝试依托两级汽车供应链,以汽车制造商、零售商、需求异质特性的消费者和政府组成的汽车供应链系统为研究对象,考虑消费者对EVs的低偏好性,从社会福利视角构建多方博弈模型,展开分析政府补贴对汽车生产各环节的影响;并进一步探讨汽车制造商生产EVs的可行性以及汽车供应链上利益共同体的经济效益,社会的环境效益及消费者剩余的变化规律。

收稿日期:2019-01-23

基金项目:国家自然科学基金项目(71572040);福建省社会科学规划项目(FJ2018B014);福建省运输管理局基金项目(KH311009C)

作者简介:林海燕(1993—),女,硕士研究生,主要研究方向为供应链管理决策。

通讯作者:李正红(1964—),女,教授,主要研究方向为供应链管理决策。

1 问题描述和相关假设

在单个汽车制造商和零售商组成的两级汽车供应链系统中,原本制造商和零售商分别只负责生产和销售GVs,两者都按照市场需求组织生产和订货。鉴于社会环境恶化和石油短缺,政府为促进EVs普及,缓解现有环境压力对EVs消费者实施定额补贴政策来引导汽车企业和消费者向电动汽车转型。在政府的激励下,汽车制造商考虑电动汽车生产决策。政府为社会管理者,企业为市场跟随者;因此政府、制造商和零售商之间属于Stackelberg博弈,该博弈决策顺序如下:首先,政府以社会总福利最大化为目标,设计补贴标准;其次,制造商在政府补贴激励下,以利益最大化展开决策;最后零售商依据市场需求和制造商最优决策制定决策。为了更好地展开核心问题研究,本文拟构建不考虑政府补贴,制造商生产GVs的基准模型和考虑政府补贴激励下,制造商生产两种汽车产品的激励模型,通过对比方式展开研究。

1.1 模型假设及符号说明

假设GVs和EVs属于同一质量等级,查阅相关研究结果,虽然EVs具有环保特性,但是在其车载电池使用寿命、充电设施等问题未解决之前,绝大多数消费者表示选择GVs^[7]。本文设置需求异质的消费者对两种产品具有不同的支付意愿特征,设 δ 为消费者对EVs的接受系数, $\delta \in [0, 1)$;当消费者对GVs的支付意愿为 θ ,相应的消费者对EVs的支付意愿为 $\delta\theta$, θ 服从 $[0, 1]$ 的均匀分布^[8]。当 $\delta=0$ 表示消费者对EVs的支付意愿为0,即消费者没有购买EVs的意愿, $\delta=1$ 表示消费者对EVs和GVs的支付意愿相同,为突出消费者的不同支付意愿, $\delta \neq 1$ 。考虑到目前EVs的生产技术尚未成熟,综合生产成本较高,设单位GVs的生产成本为 c_g ,EVs的生产成本为 c_e ,且满足 $0 < c_g < c_e < 1$ 。GVs和EVs的单位环境影响因子为 e_g 和 e_e ,存在关系 $0 < e_e < e_g < 1$ 用于体现EVs的环保优势; $e_e + c_e > e_g + c_g$ 表示生产单位EVs的社会成本大于单位GVs,用于反映汽车企业不敢轻易进军EVs领域的原因^[9]。市场总规模归化为1^[9]。另外GVs和EVs的批发价格为 w_g 和 w_e ,销售价格为 p_g 和 p_e ,市场需求分别为 q_g 和 q_e ,政府对单位EVs的补贴系数为 B ,且符合 $0 < B < c_e$ 。则对于选购EVs的消费者来说EVs实际购价应该为 $p_e = p_e - B$ 。符号 CS 、 E 、 G 以及 SW 分别表示消费者剩余、环境影响、政府支出以及社会总福利值。符号 π_b^a 表示模型 a 中局中人 b 的利润,上标 $a = \{N, S\}$ 分别表示基准模型和激励模型,下标 $b = \{e, g, m, r, t\}$ 分别表示EVs、GVs、汽车制造商、零售商和供应链。下标 e, g 分别代表GVs和EVs;上标带*表示模型的最优均衡解。

1.2 需求函数构建

由于下文构建的博弈模型需要产品的需求函数进行求解,本文这里参考Choudhary V等^[10]提出的消费者效用模型,从消费者效用角度推导汽车市场需求函数。用符号 U_g, U_e 分别表示消费者对GVs和EVs的效用水平,结合上述模型相关假设,S模型下有

$$U_g = \theta - p_g^S \quad (1)$$

$$U_e = \delta\theta - p_e^S + B \quad (2)$$

根据消费者效用理论,消费者的购买行为取决于两种汽车产品的定价和替代关系。这里用 Ω_g 和 Ω_e 分别表示消费者 x 购买GVs和EVs的集合,则根据消费者效用最大化原则有 $\Omega_g = \{x: U_g \geq \max\{U_e, 0\}\}$ 和 $\Omega_e = \{x: U_e \geq \max\{U_g, 0\}\}$,经计算可得EVs和GVs的市场需求分别为 $q_e^S = \frac{\delta p_g^S - p_e^S + B}{\delta(1-\delta)}$ 和 $q_g^S = \frac{1 - \delta - p_g^S + p_e^S - B}{1-\delta}$ 。进一步

可得消费者剩余表达式 $CS^S = \int_{\frac{p_e^S - B}{\delta}}^{\frac{p_g^S - p_e^S + B}{1-\delta}} (\delta\theta - p_e^S + B) d\theta + \int_{\frac{p_g^S - p_e^S + B}{1-\delta}}^1 (\theta - p_g^S) d\theta = \frac{(1 - p_g^S)^2}{2} + \frac{(B - p_e^S + \delta p_g^S)^2}{2\delta(1-\delta)}$,环境影响值

表达式 $E^S = e_g q_g^S + e_e q_e^S$ ^[5]。

类似的可推出,N模型下,消费者对GVs的效用函数为 $U_g = \theta - p_g^N$,可得GVs的市场需求 $q_g^N = 1 - p_g^N$,消费者剩余表达式 $CS^N = \int_{p_g^N}^1 (\theta - p_g^N) d\theta = \frac{(1 - p_g^N)^2}{2}$,环境影响值表达式 $E^N = e_g q_g^N$ ^[5]。

2 模型构建

2.1 基准模型 N

N 模型下,汽车制造商只生产传统汽车,制造商利润函数为

$$\max_{w_g^N} \pi_m^N(w_g^N) = (w_g^N - c_g)q_g^N \quad (3)$$

零售商只销售传统汽车,零售商利润函数为

$$\max_{p_g^N} \pi_r^N(p_g^N | w_g^N) = (p_g^N - w_g^N)q_g^N \quad (4)$$

根据博弈理论,模型求解过程需采用逆向归纳法,即将上述市场需求函数代入先求解零售商目标函数再优化制造商的目标函数,由于篇幅限制,详细求解过程不做介绍,最终可计算出模型的最优均衡解如下

$$w_g^{N*} = \frac{1+c_g}{2} \quad (5)$$

$$p_g^{N*} = \frac{3+c_g}{4} \quad (6)$$

$$q_g^{N*} = \frac{1-c_g}{4} \quad (7)$$

$$\pi_m^{N*} = \frac{(1-c_g)^2}{8} \quad (8)$$

$$\pi_r^{N*} = \frac{(1-c_g)^2}{16} \quad (9)$$

$$\pi_r^{N*} = \frac{3(1-c_g)^2}{16} \quad (10)$$

$$CS^{N*} = \frac{(1-c_g)^2}{32} \quad (11)$$

$$E^{N*} = \frac{e_g(1-c_g)}{4} \quad (12)$$

$$SW^{N*} = \frac{(1-c_g)(7-7c_g-8e_g)}{32} \quad (13)$$

2.2 激励模型 S

S 模型下,政府根据社会福利最大化目标实施电动汽车补贴激励政策,政府的决策函数为

$$\max_B SW^S(B) = \pi_r^S + CS^S - G^S - E^S \quad (14)$$

在政府的激励下,假定汽车制造商延伸产品生产线,同时生产 EVs 和 GV_s,此时制造商利润函数为

$$\max_{w_g^S, w_e^S} \pi_m^S(w_g^S, w_e^S | B) = (w_g^S - c_g)q_g^S + (w_e^S - c_e)q_e^S \quad (15)$$

零售商利润函数为

$$\max_{p_g^S, p_e^S} \pi_r^S(p_g^S, p_e^S | w_g^S, w_e^S) = (p_g^S - w_g^S)q_g^S + (p_e^S - w_e^S)q_e^S \quad (16)$$

同样的,求解该模型需要依据逆向归纳法,最终可得模型最优均衡解

$$w_g^{S*} = \frac{1+c_g}{2} \quad (17)$$

$$w_e^{S*} = \frac{B+\delta+c_e}{2} \quad (18)$$

$$p_g^{S*} = \frac{3+c_g}{4} \quad (19)$$

$$p_e^{S*} = \frac{3B+3\delta+c_e}{4} \quad (20)$$

$$P_e^{S*} = \frac{-B+3\delta+c_e}{4} \quad (21)$$

$$q_g^{S*} = \frac{1-c_g}{4} - \frac{B-c_e+\delta c_g}{4(1-\delta)} \tag{22}$$

$$q_e^{S*} = \frac{B-c_e+\delta c_g}{4\delta(1-\delta)} \tag{23}$$

$$\pi_m^{S*} = \frac{(1-c_g)^2}{8} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)^2}{8\delta(1-\delta)} \tag{24}$$

$$\pi_r^{S*} = \frac{(1-c_g)^2}{16} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)^2}{16\delta(1-\delta)} \tag{25}$$

$$\pi_i^{S*} = \frac{3(1-c_g)^2}{16} + \frac{3(B-c_e+\delta c_g)^2}{16\delta(1-\delta)} \tag{26}$$

$$CS^{S*} = \frac{(1-c_g)^2}{32} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)^2}{32\delta(1-\delta)} \tag{27}$$

$$E^{S*} = \frac{e_g(1-c_g)}{4} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)(e_g-\delta e_e)}{4\delta(1-\delta)} \tag{28}$$

$$B^{S*} = 3(\delta c_g - c_e) - 4e_e + 4\delta e_g \tag{29}$$

$$SW^{S*} = \frac{(1+c_g)(7-7c_g-8e_e)}{32} + \frac{(c_e+e_e-\delta(c_g-e_g))^2}{2\delta(1-\delta)} \tag{30}$$

3 模型均衡解分析

结论1 政府补贴激励下,制造商是否生产 EVs 取决于参数 B, c_e, c_g 以及 δ 大小。当满足条件 $B > B_{\min} = c_e - \delta c_g$ (或 $c_e < (c_e)_{\min} = B + \delta c_g$ 或 $c_g > (c_g)_{\min} = \frac{c_e - B}{\delta}$ 或 $\delta > \delta_{\min} = \frac{c_e - B}{c_g}$), 制造商实施 EVs 生产决策。

从结论 1 可以看出制造商生产 EVs 是存在一定的边界条件,这是因为至少得保证 $q_e^{S*} > 0$ 成立。从几个相对边界条件表达式可以看出,首先 EVs 的生产成本不能太高,同时 GVs 的生产成本也不能太低,汽车的生产成本会影响批发价格、销售价格,进而调节两种产品市场需求。如果相比 GVs, EVs 市场需求太低,理性的制造商和零售商不会引进 EVs;其次,政府给予购买 EVs 的消费者的补贴水平不能太低,太低不能发挥激励作用,因而存在最低补贴下限 B_{\min} ,当补贴水平低于最低补贴限额,制造商选择不生产 EVs;最后,消费者对 EVs 的接受程度至少满足 $\delta > \delta_{\min}$,否则消费者显著偏好 GVs。综上所述,政府补贴下制造商生产 EVs 的边界条件取决于企业的内外因素综合作用。

结论 2 根据上述模型的假设条件和最优均衡解,表 1 整理了 S 模型中最优均衡解与参数 δ, B, c_e 和 c_g 之间的关系,其中符号 ↗、↘、→ 和 — 分别表示递增、递减、不相关和不确定。

从表 1 可以看出, S 模型下, GVs 的批发价和售价都只受自身的生产成本影响,不受其他参数影响;而 EVs 的批发价和售价除了 c_g , 与其他三个参数呈正相关。另外除了补贴参数,其他参数对 EVs 的 w_e^{S*} 和 p_e^{S*} 与最终购价 p_e^{S*} 的相关性一致,这说明政府实施补贴措施,制造商和零售商是会借机“骗补”提高 EVs 的批发价和售价,售价提价额度小于补贴力度,最终补贴后 EVs 的实际购价降低。另外, EVs 销量和 GVs 销量随

表 1 参数对均衡解的影响性分析

Tab.1 Impact of parameters on the equilibrium solutions

参数	最优解									
	$CS^*/\pi_m^{S*}/\pi_r^{S*}/\pi_i^{S*}$	$\pi_{me}^{S*}/\pi_{re}^{S*}$	$\pi_{mg}^{S*}/\pi_{rg}^{S*}$	w_e^{S*}/p_e^{S*}	w_g^{S*}/p_g^{S*}	p_e^{S*}	q_e^{S*}	q_g^{S*}	E^{S*}	
δ ↗	↗	↗	↘	↗	→	↗	↗	↘	—	
B ↗	↗	↗	↘	↗	→	↘	↗	↘	—	
c_e ↗	↘	↘	↗	↗	→	↗	↘	↗	—	
c_g ↗	↘	↗	↘	→	↗	→	↗	↘	↘	

各参数递增的变化趋势刚好相反,此消彼长,这表明两产品之间互为替代品关系,EVs 需求的增加将使 GV_s 需求减少。

从表 1 中还可观察到,无论是部分收益还是总收益,各参数对制造商和零售商的收益影响是同步的,说明同一条供应链上成员间的经济利益是连在一起的,密切相关。其中制造商和零售商来自 EV_s 的收益 $\pi_{me}^{S^*}$ 与 $\pi_{re}^{S^*}$ 参数 δ 、 B 和 c_g 呈正相关,与 c_e 呈负相关,而 $\pi_{ng}^{S^*}/\pi_{rg}^{S^*}$ 刚好相反,这与上述所分析的 EV_s 销量和 GV_s 销量随各参数变化的关系一致。另外,均衡解 $\pi_m^{S^*}/\pi_r^{S^*}/\pi_t^{S^*}$ 随参数 δ 、 B 增加而增加,随 c_g 、 c_e 增加而减少,其中参数 δ 、 B 和 c_e 对 $\pi_m^{S^*}/\pi_r^{S^*}/\pi_t^{S^*}$ 的影响跟 $\pi_{me}^{S^*}/\pi_{re}^{S^*}$ 一致, c_g 对 $\pi_m^{S^*}/\pi_r^{S^*}/\pi_t^{S^*}$ 的影响与 $\pi_{ng}^{S^*}/\pi_{rg}^{S^*}$ 一致,这暗示随参数 δ 或 B 的提高、 c_e 的降低,制造商或零售商来自 EV_s 创造的收益将超过 GV_s 收益的损失,因此制造商和零售商的收益以及供应链的总收益增长了;而 c_g 的降低,也可以实现制造商及零售商收益增长,但对制造商来说,目前 GV_s 生产技术已趋于成熟,想进一步改善降低成本是比较难的。

另外,各参数对 E^{S^*} 的影响唯一能确定的是 c_g 的提高会减低环境影响值,这可能是 c_g 提高,引起 GV_s 售价上涨,导致消费者降低对 GV_s 的需求并选择 EV_s 作为替代品,降低对环境的影响。

结论 3 参数 δ 、 c_g 及 e_g 越大补贴系数 B^{S^*} 越大; c_e 、 e_e 越大 B^{S^*} 越小。

由结论 3 可知,消费者对 EV_s 接受度越高,政府设置的单位补贴越高,这与罗春林^[2]的研究结论一致,随着市场的成熟,补贴政策成本将越来越高;而 c_e 越低, c_g 越高,政府补贴越多,反映了政府的补贴目的之一是激励 EV_s 生产技术进步。另外, e_e 越小,补贴力度越大,说明政府在提倡制造商努力提升 EV_s 环保性能;而 GV_s 的环境影响 e_g 越大,补贴力度越大,可见 GV_s 对环境危害越大,政府改善环境将付出越多成本刺激 EV_s 产业发展。

结论 4 对比上述两模型的最优均衡解,S 模型中 GV_s 批发价和售价不变;GV_s 销量、制造商 GV_s 利润和零售商 GV_s 利润下降;制造商总利润、零售商总利润、供应链的总利润以及消费者剩余增加。详细如表 2 所示。

表 2 两模型均衡解大小比较
Tab.2 Comparison of the two model equilibrium solutions

均衡解	N	S	两种模型决策值对比
w_g	$\frac{1+c_g}{2}$	$\frac{1+c_g}{2}$	$w_g^{N^*}=w_g^{S^*}$
p_g	$\frac{3+c_g}{4}$	$\frac{3+c_g}{4}$	$p_g^{N^*}=p_g^{S^*}$
q_g	$\frac{1-c_g}{4}$	$\frac{1-c_g}{4} - \frac{B-c_e+\delta c_g}{4(1-\delta)}$	$q_g^{N^*}>q_g^{S^*}$
π_{rg}	$\frac{(1-c_g)^2}{16}$	$\frac{(1-c_g)^2}{16} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)}{16(1-\delta)}$	$\pi_{rg}^{N^*}>\pi_{rg}^{S^*}$
π_{ng}	$\frac{(1-c_g)^2}{8}$	$\frac{(1-c_g)^2}{8} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)}{8(1-\delta)}$	$\pi_{ng}^{N^*}>\pi_{ng}^{S^*}$
π_r	$\frac{(1-c_g)^2}{16}$	$\frac{(1-c_g)^2}{16} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)^2}{16\delta(1-\delta)}$	$\pi_r^{N^*}<\pi_r^{S^*}$
π_m	$\frac{(1-c_g)^2}{8}$	$\frac{(1-c_g)^2}{8} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)^2}{8\delta(1-\delta)}$	$\pi_m^{N^*}<\pi_m^{S^*}$
π_t	$\frac{3(1-c_g)^2}{16}$	$\frac{3(1-c_g)^2}{16} + \frac{3(B-c_e+\delta c_g)^2}{16\delta(1-\delta)}$	$\pi_t^{N^*}<\pi_t^{S^*}$
CS	$\frac{(1-c_g)^2}{32}$	$\frac{(1-c_g)^2}{32} + \frac{(B-c_e+\delta c_g)^2}{32\delta(1-\delta)}$	$CS^{N^*}<CS^{S^*}$

结合结论 4 和表 2,可得无论制造商是否生产 EV_s,GV_s 的批发价以及售价不会发生变化。但是 GV_s 销量降低,可见 EV_s 的引进,两种产品之间存在内部竞争关系,引进 EV_s 对 GV_s 市场份额产生“蚕食效应”。GV_s 批发价和售价不变,销量降低,制造商和零售商关于 GV_s 的利润自然降低了。值得注意的是,N 模型下

制造商和零售商的收益呈 2:1, S 模型下无论是 π_{ng}/π_r 还是总收益 π_m/π_r 仍然保持 2:1 的规律, 可见在制造商和零售商之间的博弈中, 零售商是制造商的决策跟从者, 制造商作为市场领导者, 是具有一定的先行优势。

虽然, GV 销量降低引起 π_{ng}/π_r 减少, 但对于制造商和零售商来说, 引进 EVs 还是利好行为, 因为 EVs 创造的收益超过 GV 的损失, 整体收益 π_m/π_r 增加了, 供应链的总收益也提高了。另外, EVs 的生产使市场产品更加多元化, 更好满足了消费者的差异化需求, 消费者剩余得到改善。

结论 5 对比两模型的环境影响最优值, 当 $0 < e_e < \delta e_g$, 有 $E^{S^*} < E^{N^*}$; 当 $\delta e_g < e_e < e_g$, 有 $E^{S^*} > E^{N^*}$ 。

结论 5 揭示, 引进 EVs 环境影响能否改善取决于两种汽车环境影响因子大小。当 EVs 的 e_e 较小 ($e_e < \delta e_g$), 政府补贴下制造商选择生产 EVs, 能改善环境情况; 当 EVs 的环境友好优势并不明显 ($e_e > \delta e_g$), 由于引进的 EVs 的销量大于 GV 销量的减少量 $\frac{B-c_e+\delta c_g}{4(1-\delta)} * \frac{1}{\delta} > \frac{B-c_e+\delta c_g}{4(1-\delta)}$, 即由 EVs 产生的环境影响值超过替代 GV 的环境影响值, 环境反而恶化。而判断 EVs 是否有环境友好优势, 与消费者对 EVs 的接受度 δ 有关, δ 越高, EVs 越容易凸显环保优势。可见提高民众绿色消费意识, 改善消费者对 EVs 的价值认可, 是解决环境问题的关键。

结论 6 当 $\frac{c_e+e_e}{c_g+e_g} < \delta < \min\left\{\frac{1+4c_e-c_g+4e_e}{1+3c_g+4e_g}, \frac{4(c_e+e_e)}{3c_g+4e_g}\right\}$, 政府的最优决策为 B^* , 社会福利 $SW^{S^*} > SW^{N^*}$; 否则政府的最优决策为 0, 社会福利 $SW^{S^*} = SW^{N^*}$ 。

从结论 6 可以看出, 政府以社会福利最大化为决策目标实施的激励政策并非一定有效。当消费者对 EVs 的接受程度太低, 或接近于 GV, 政府制定的补贴可能无效, 这源于制造商的利益导向所致。对制造商而言, 消费者对 EVs 支付意愿太低, 生产 EVs 有可能引起产品滞销, 投资风险太大; 而当 EVs 和 GV 旗鼓相当, 引进 EVs 替代 GV 生产线, 成本代价较大。只有消费者的接受系数满足 $\frac{c_e+e_e}{c_g+e_g} < \delta < \min\left\{\frac{1+4c_e-c_g+4e_e}{1+3c_g+4e_g}, \frac{4(c_e+e_e)}{3c_g+4e_g}\right\}$, 政府制定的 B^* 刚好支持两种汽车在市场上共存, 此时制造商在政府补贴下生产 EVs 就是一种获利行为, 不但供应链上各成员的收益增加, 而且消费者剩余提高, 社会总福利增长 $\frac{(c_e+e_e-\delta(c_g+4e_g))^2}{2\delta(1-\delta)}$ 。

4 数值实验

考虑到环境影响 E^{S^*} 表达式较为复杂, 不能利用推导论证方式进行处理, 本文参考相关文献, 决定借助数值实验进一步讨论参数 δ 、 B 、 c_e 以及环境因子 e_e 、 e_g 对 E^{S^*} 的影响。数值实验中的参数设置在查阅相关文献模型的基础上结合文中相关假设及约束条件而来。

当 $\{c_e=0.55, c_g=0.50, e_g=0.15, B=0.12\}$, 环境影响值和消费者接受系数之间的关系如图 1(a) 所示。从图 1(a) 可见, δ 越大, 环境影响值越小, 当 $\delta \rightarrow 1$, 环境影响改善效果越发显著。此外通过设置三组不同 e_e 水平可知, 相同的 δ 条件下, e_e 越小, 环境影响越小, 这也验证了上述结论 5 的正确性。

图 1(b) 表示当 $\{c_e=0.55, c_g=0.50, e_g=0.15, B=0.12\}$, 环境影响和补贴系数的关系变化曲线, 表明了补贴系数变大, 环境影响越小。当 $e_e=0.14$, 政府补贴对环境改善没有太大的效果, 很明显 e_e 越小, 政府实施补贴措施才能显著缓解环境压力。

图 2 表示 $\{c_g=0.50, e_g=0.15, \delta=0.90, B=0.12\}$ 时环境影响与 EVs 生产成本 c_e 之间关系。与结论 2 中 c_g 对 E^{M^*} 的影响刚好相反, 即 c_e 越低, E^{S^*} 越小。并且 e_e 越小, 降低同等 c_e , 环境影响下降幅度越大。

图 3(a), 图 3(b) 分别表示 $\{c_e=0.55, c_g=0.50, e_g=0.15, \delta=0.90, B=0.12\}$ 和 $\{c_g=0.55, e_g=0.50, e_e=0.03, \delta=0.90, B=0.12\}$ 时环境影响值与环境因子之间的关系。在满足 $e_e < e_g$ 前提条件下, e_e/e_g 与 E^{S^*} 都呈正相关关系。另外, 观察两条曲线可知, 降低 GV 环境影响因子, 改善环境影响效果更显著。这是因为, GV 对环境污染影响较大, 但大多数消费者出于消费习惯和社会风气选择 GV, 若能降低 GV 等对环境的影响水平, 自然是治理环境更直接有效的办法。

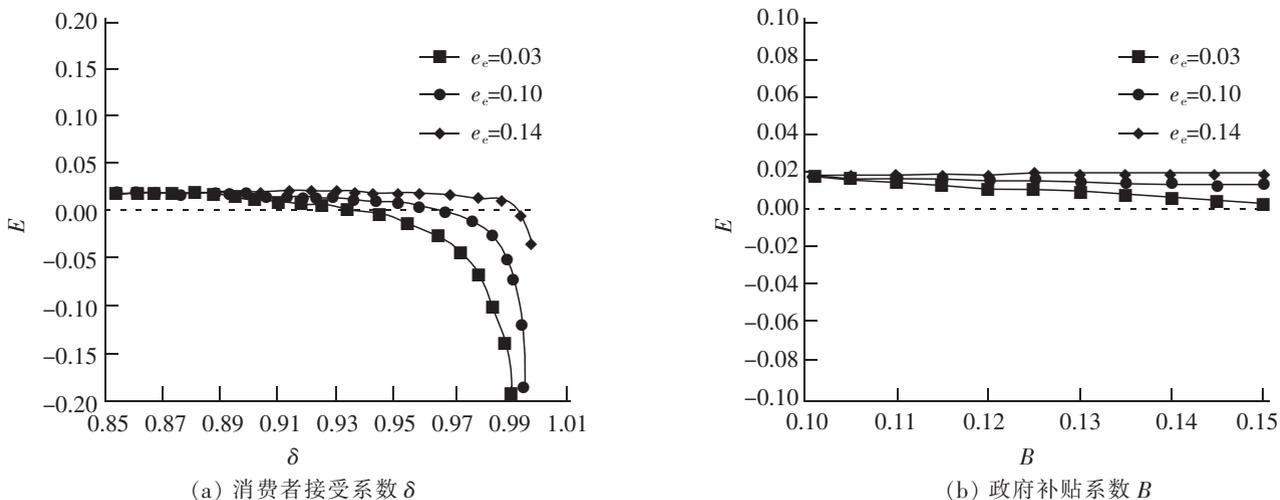


图 1 S 模型下环境影响值与 δ 、 B 的关系

Fig.1 Relationship between the environmental implication and δ or B under the S model

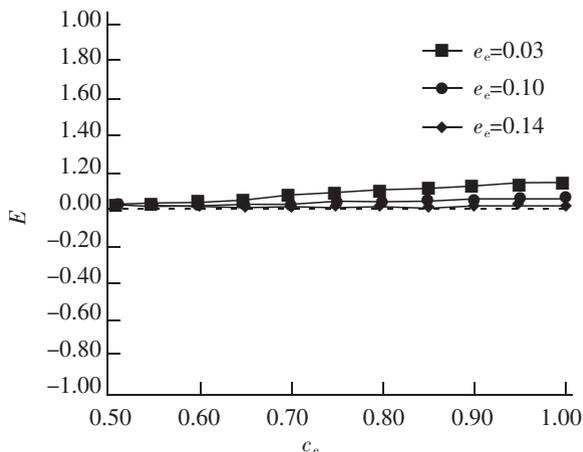


图 2 S 模型下环境影响值与 c_e 的关系

Fig.2 Relationship between the environmental implication and c_e under the S model

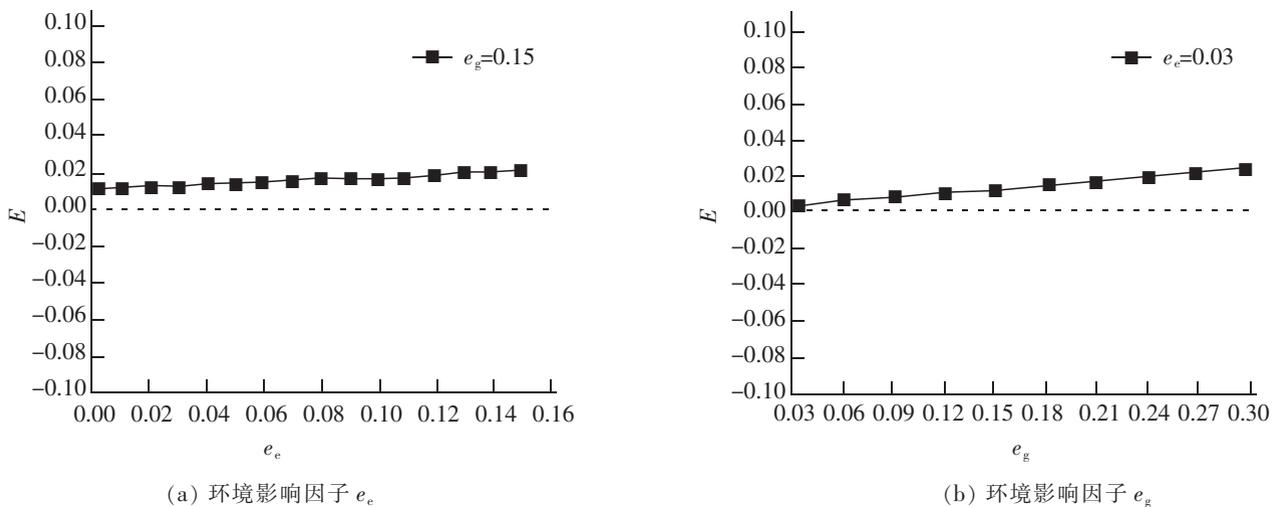


图 3 S 模型下环境影响值与 e_c 、 e_g 的关系

Fig.3 Relationship between the environmental implication and e_c or e_g under the S model

5 结论

本文基于两级汽车供应链,考虑消费者对EVs的低偏好,从社会福利视角建立基准模型和激励模型,并结合数值实验展开分析政府基于社会福利的补贴激励机制和两级汽车供应链的电动汽车生产决策选择问题研究。结果发现,制造商生产EVs的边界条件由两种汽车的生产成本、补贴系数及消费者对EVs的接受系数组成;政府补贴下,选择生产EVs对供应链上各成员是利好的,不仅制造商和零售商的经济效益提高了,消费者剩余也得到增加;消费者对EVs的接受程度至关重要,只有满足一定条件,政府的决策目标社会总福利才能实现最大化,才能有效缓解现有环境污染。

参考文献:

- [1] LUO C, LENG M, HUANG J, et al. Supply chain analysis under a price-discount incentive scheme for electric vehicles[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 235(1): 329-333.
- [2] 罗春林. 基于政府补贴的电动汽车供应链策略研究[J]. *管理评论*, 2014, 26(12): 198-205.
- [3] 陈翌, 尤建新, 薛奕曦, 等. 面向电动汽车产业发展的政企合作博弈研究[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(3): 440-446.
- [4] GU H, LIU Z, QING Q. Optimal electric vehicle production strategy under subsidy and battery recycling[J]. *Energy Policy*, 2017, 109: 579-589.
- [5] SHAO L, YANG J, ZHANG M. Subsidy scheme or price discount scheme, Mass adoption of electric vehicles under different market structures[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 262(3): 1181-1195.
- [6] 秦宇兴. 基于政企博弈的电动汽车研发补贴政策研究[J]. *工业工程与管理*, 2016, 21(4): 127-136.
- [7] EWING G, LIU E S. Assessing consumer preferences for clean-fuel vehicles: A discrete choice experiment[J]. 2000, 19(1): 106-118.
- [8] 郭军华. WTP 差异化条件下再制造闭环供应链的协调定价策略[J]. *华东交通大学学报*, 2012, 29(1): 121-126.
- [9] 刘志, 李帮义, 唐娟, 等. 政府基金政策下的闭环供应链产品设计与生产决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2018(2): 505-515.
- [10] CHOUDHARY V, GHOSE A, MUKHOPADHYAY T, et al. Personalized pricing and quality differentiation[J]. *Management Science*, 2005, 51(7): 1120-1130.

Research on Production Decision of Two-Stage Car Supply Chain Under the Government Incentive

Lin Haiyan, Li Zhengong

(College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350100, China)

Abstract: In the context of the heterogeneous characteristics of consumers' demand and the government fixed subsidies, a two-stage car supply chain consisting of a single automobile manufacturer and a single retailer as the research object was discussed. A multi-party game competition model based on the non-cooperative game theory was established and solved by the backward induction. In the sensitivity analysis and comparative analysis, the changing rules of equilibrium solutions of production decision, economic benefits, environmental impacts and consumer surplus under the subsidy policy were explored. Then, the environmental impacts driving factors were captured by the simulation experiments. The results show that it is feasible for manufacturers to adopt electric vehicles production under subsidies and achieve a win-win situation, where both economic benefits and consumer surplus improve. In addition, consumers' acceptance of electric vehicles plays a decisive role in improving social welfare and reducing environmental impact.

Key words: transportation economy; production decision; competition game; two-stage car supply chain; electric vehicle; consumer preference; government subsidy