文章编号:1674-8107(2019)03-0091-09

考虑政府补贴的不同渠道权力结构的混合汽车定价决策研究

李正红,林海燕,郑小雪

(福建农林大学交通与土木工程学院,福建 福州 350100)

摘 要:在政府实施电动汽车定额补贴基础上,通过引入不同渠道权利结构设计,构建制造商主导、零售商主导以及同时决策三种模型,并借助数值仿真等方法展开定价决策、经济效益、环境效益及社会福利值分析。结果发现,供应链渠道的主导者拥有绝对优势,可以实现自身利润最大化,但却是以追随者的利益为代价的;同时还发现,虽然供应链的总利润、消费者剩余和社会福利数值可以取得最高值,但是该模型对环境影响也是最大的。

关键词:渠道权利结构;定价决策;政府补贴;电动汽车;传统汽车

中图分类号:F273.2 **文献标识码**:A DOI:10.3969/j.issn.1674-8107.2019.03.014

在我国环保部公布的《中国机动车环境管理年报(2017)》中明确指出,我国作为世界汽车产销第一大国,机动车污染是目前我国空气污染的重要来源,是造成细颗粒物、光化学烟雾污染的重要原因。因此,为解决传统燃油汽车环境污染和交通经济的可持续发展问题,我国政府近年相继出台了多种推动电动汽车发展的补贴政策和法规。

一定程度上,政府宏观政策会改变相关企业和消费者的思想和行为,对制造商和零售商的产品定价决策制定具有一定影响。目前,政府政策影响下低碳供应链成员生产、定价决策问题已成为研究热点。如赵敬华等[1]针对混合回收渠道结构下政府补贴背景,建立家电闭环供应链定价模型,分析政府补贴对闭环供应链成员的影响。Arda[2]研究政府执行碳排放管制下制造商的再制造决策问题,探讨再制造产品引入后的低碳排放优势以及需求蚕食问题,从经济、环境和社会三方面分析碳排放管制的作用。李帮义等[3]考虑消费者的类型分布可能会影响生产者的定价策略,导入消费者的类型划分与分布,探讨定价策略对生产者战略决策的影响机制。Yu 等[4]基于不完全信息背景,运用两阶段博弈研究政府激励下环境友好型和有害型竞争性供应链之间的竞争,结果表明政策对竞争性供应链及其成员的利润有很大的影响。刘志等[5]综合考虑政府环境税,回收处理补贴和产品设计奖惩对新产品和再制造成本的影响,展开政府基金政策对闭环供应链最优产品设计决策及生产决策问题研究。而张学龙等[6]针对新能源汽车供应链成员的决策选择问题,应用 Shapley 值法研究政府对消费者补贴产生的影响。Hao 等[7]以纯电动客车为对象,研究我国两阶

收稿日期:2019-02-15

基金项目:福建省社会科学规划项目“福建省跨境电商企业与物流服务商双边匹配问题研究”(项目编号:FJ2016C025);福建省中青年教师教育科研项目“互联网+环境下文化产业大数据服务平台构建研究”(项目编号:JAS170151)。

作者简介:1.李正红(1964-),女,福建浦城人,教授,硕士生导师,主要从事交通运输规划与管理研究。

2.林海燕(1993-),女,福建莆田人,硕士研究生,主要从事交通运输规划与管理研究。

3.郑小雪(1981-),女,福建福州人,讲师,博士,主要从事管理决策等研究。

段的电汽车补贴政策的合理性及对电动汽车市场渗透性的影响。罗春林[8]基于政府补贴和合作博弈方法，研究政府补贴对电动汽车供应链上下游成员运营策略影响及政府补贴的效率。于俭等[9]从定性的角度对新能源汽车补贴和消费者购买行为进行研究,并结合数据实例分析,提出影响消费者购买行为的关键因素是政府的补贴、消费者获得的效用。

综上可知，已有部分学者征对政府政策对低碳产品定价决策的影响进行了研究，但几乎没有结合供应链成员的渠道权利结构展开问题研究。鉴于此,本文在国内外研究基础上,考虑渠道权力结构的影响性,设计制造商主导、零售商主导和同时决策三种不同渠道权力结构，分析政府实施定额补贴下不同渠道权利结构的汽车供应链上各成员的经济效益、消费者效用、环境效益以及社会福利值情况，为政策制定者及汽车企业的决策制定提供参考。

1 问题描述与需求函数

1.1 问题描述

本文以汽车制造商、零售商、消费者及政府组成的汽车供应链为研究对象。其中制造商负责生产GV和EV;零售商根据市场需求采购并销售汽车产品；政府为促进GV产业快速向EV产业转型,对EV消费者给予一定补贴。为展开不同渠道权利结构对混合汽车定价决策影响性研究，本文拟构建三种不同渠道主导模型，即制造商主导先定价,零售商追随的制造商主导模型(简称MS)；零售商主导先定价，制造商追随的零售商主导模型(简称RS)以及制造商与零售商同时决策模型(简称VN)。其中市场渠道的主导者拥有较高的市场影响力,有能力事先收集市场信息进行预测、制定决策;而跟随者的市场地位较低,需依赖于先行者的决策再展开决策。模型的一些前提假设如下：

假设1：市场总规模归一化为1[5]。

假设2：制造商与零售商的可承受风险能力相同,均为风险中性。

假设3：制造商与零售商之间的信息完全对称。

假设4：单位EV的生产成本高于GV。

假设5：单位EV的环境影响因子小于GV[10]。

假设6：GV和EV属于同一车辆等级,质量相同。考虑到EV安全风险、续航能力以及充电设施不足等问题的存在，消费者对GV和EV两种产品的支付意愿不同。假设消费者对GV的支付意愿为θ,θ服从(0,1)的均匀分布;消费者对EV的支付意愿δθ,其中$\delta\in[0,1)$反映消费者对EV的接受程度[11]。

详细的符号含义见表1。

表1 符号及含义

符号	含义
θ	消费者对GV的支付意愿
δ	消费者对EV的接受系数，$\delta\in[0,1)$
C_g/C_e	GV/EV的单位生产成本,满足$C_g<C_e$
e_g/e_e	GV/EV的单位环境影响因子,满足$e_g>e_e$
q_g/q_e	GV/EV的市场需求
U_g/U_e	GV/EV的消费者效用
G	政府的支出成本
CS	消费者剩余
SW	广义社会福利
π	利润
E	环境影响值
决策变量	
w_g/w_e	GV/EV的单位批发价格
p_g/p_e	GV/EV的单位零售价格
B	政府对单位EV的补贴系数,$B<c_e$
上标	
MS	制造商主导模型
RS	零售商主导模型
VN	同时决策模型
下标	
e	EV
g	GV
r	汽车零售商
m	汽车制造商
T	供应链

1.2 需求函数构建

政府实施电动汽车定额补贴，则对于EV消费者来说实际购价为$P_e=p_e-B$。结合上述假设条件可得消费者对于GV、EV的效用函数分别为$U_g=\theta-p_g$和$U_e=\delta\theta-p_e+B$[12]。根据效用最大化原则,可知$\frac{p_e-B}{p_g}<\delta<1-p_g+p_e-B$,GV和EV在市场上共存。

经计算，两种汽车的市场需求函数分别为 $\frac{1-\delta-p_g+p_e-B}{1-\delta}$ 和 $\frac{B-p_e+\delta p_g}{\delta-\delta^2}$。

2　模型构建与求解

2.1　制造商主导模型 MS

制造商主导时，制造商在汽车市场上拥有较高的市场影响力,可以优先制定产品批发价格,然后零售商再依据制造商决策和市场需求制定产品售价。因此 MS 模型的优化问题为：

$$\underset{w_g w_e}{\text{Max}}\ \pi_m^{MS}=q_g(w_g-c_g)+q_e(w_e-c_e)$$

$$\text{s.t. }\underset{p_g p_e}{\text{Max}}\ \pi_r^{MS}=q_g(p_g-w_g)+q_e(p_e-w_e)$$

根据局中人决策顺序，模型运用逆向归纳法求解，由于篇幅限制，详细过程求解过程不做介绍,最终可得模型最优均衡最优值：

批发价格 $w_g^{MS*}=\frac{1+c_g}{2}$, $w_e^{MS*}=\frac{B+\delta+c_e}{2}$；

销售定价 $p_g^{MS*}=\frac{3+c_g}{4}$, $w_e^{MS*}=\frac{3B+\delta+c_e}{4}$；

销量 $q_g^{MS*}=\frac{1-B-\delta+c_e-c_g}{4(1-\delta)}$, $q_g^{MS*}=\frac{B-c_e-\delta c_g}{4(1-\delta)}$；

制造商利润 $\pi_r^{MS*}=\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g))}{8(1-\delta)\delta}$；

零售商利润 $\pi_r^{MS*}=\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g)}{16(1-\delta)\delta}$；

供应链的总利润 $\pi_T^{MS*}=\frac{3(B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g))}{16(1-\delta)\delta}$；

消费者剩余 $CS^{MS*}=\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g))}{32(1-\delta)\delta}$；

环境影响值 $E^{MS*}=\frac{(B-c_e+\delta c_g)e_e-\delta(-1+B+\delta-c_e+c_g)e_g}{4(1-\delta)\delta}$；

社会福利值 $SW^{MS*}=\frac{1}{32(\delta-1)\delta}\left(\begin{array}{l}B_2+8Be_e-8\delta(B+\delta-1)e_g-2\delta c_g(3B+7\delta-4e_e+4e_g-7\\+2c_e(3B+7\delta c_g-4e_e+4\delta e_g)+7(\delta-1)\delta-7c_e^2-7\delta c_g^2\end{array}\right)$

2.2　零售商主导模型 RS

零售商主导时,零售商优先展开决策,然后制造商根据零售商的决策再做决策。因此,RS 模型的优化问题为：

$$\underset{w_g w_e}{\text{Max}}\ \pi_r^{RS}=p_g(p_g-w_g)+p_e(p_e-w_e)$$

$$\text{s.t. }\underset{p_g p_e}{\text{Max}}\ \pi_m^{RS}=q_g(w_g-c_g)+q_e(w_e-c_e)$$

同样采用逆向归纳法,得模型最优均衡解：

批发价格 $w_g^{RS*}=\frac{1+3c_g}{4}$, $w_e^{RS*}=\frac{B+\delta+3c_e}{4}$；

销售定价 $p_g^{RS*}=\frac{3+c_g}{4}$, $w_e^{RS*}=\frac{3B+\delta+c_e}{4}$；

销量 $q_g^{RS*}=\frac{1-B-\delta+c_e-c_g}{4(1-\delta)}$, $q_g^{RS*}=\frac{B-c_e-\delta c_g}{4(1-\delta)}$；

制造商利润 $\pi_m^{RS*}=\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g))}{16(1-\delta)\delta}$；

零售商利润 $\pi_r^{RS*}=\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g)}{8(1-\delta)\delta}$；

供应链的总利润 $\pi_T^{RS*}=\frac{3[B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g)]}{16(1-\delta)\delta}$

消费者剩余 $CS^{MS*}=\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g))}{32(1-\delta)\delta}$；

环境影响值 $E^{RS*}=\frac{(B-c_e+\delta c_g)e_e-\delta(-1+B+\delta-c_e+c_g)e_g}{4(1-\delta)\delta}$；

社会福利值 $SW^{RS*}=\frac{1}{32(\delta-1)\delta}\left(\begin{array}{l}B_2+8Be_e-8\delta(B+\delta-1)e_g-2\delta c_g(3B+7\delta-4e_e+4e_g-7\\+2c_e(3B+7\delta c_g-4e_e+4\delta e_g)+7(\delta-1)\delta-7c_e^2-7\delta c_g^2\end{array}\right)$

2.3　同时决策模型 VN

当制造商和零售商双方在汽车市场上的地位势均力敌,并且都没有能力主宰市场渠道时,双方会各自最大限度地考虑自身利益展开决策，因此 VN 模型的优化问题如下所示：

$$\underset{w_g w_e}{\text{Max}}\ \pi_m^{VN}=q_g(w_g-c_g)+q_e(w_e-c_e)$$

$$\underset{p_g p_e}{\text{Max}}\ \pi_m^{VN}=q_g(p_g-w_g)+q_e(p_e-w_e)$$

经计算,可得模型最优均衡解如下：

批发价格 $w_g^{VN*}=\frac{1+c_g}{3}$，$w_e^{VN*}=\frac{B+\delta+c_e}{3}$；

销售定价 $p_g^{VN*}=\frac{2+c_g}{3}$，$w_e^{VN*}=\frac{2(B+\delta)+c_e}{3}$；

销量 $q_g^{VN*}=\frac{1-B-\delta+c_e-c_g}{3(1-\delta)}$，$q_g^{VN*}=\frac{B-c_e-\delta c_g}{3\delta(1-\delta)}$；

制造商利润 $\pi_r^{VN*}=$

$\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g)}{9(1-\delta)\delta}$；

零售商利润 $\pi_r^{VN*}=$

$\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g)}{9(1-\delta)\delta}$；

供应链的总利润 $\pi_T^{VN*}=$

$\frac{2[B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g)]}{9(1-\delta)\delta}$；

消费者剩余 $CS^{MS*}=$

$\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e^2+\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)-2c_e(B+\delta c_g)}{18(1-\delta)\delta}$；

环境影响值 $E^{VN*}=$

$\frac{(B-c_e+\delta c_g)e_e-\delta(-1+B+\delta-c_e+c_g)e_g}{3(1-\delta)\delta}$；

社会福利值 $SW^{VN*}=\frac{1}{18(\delta-1)\delta}$

$\left(\begin{array}{l}B_2+5(\delta-1)\delta-5c_e^2-5\delta c_g^2+6Be_e-6\delta(B+\delta-1)e_g\\-2\delta c_g(2B+5\delta-3e_e+3e_g-5)+2c_e(2B+5\delta c_g-3c_e+3\delta c_g\end{array}\right)$

3 均衡结果分析

经整理，三个模型的最优均衡解如下表 2 所示：

结论 1：三种模型下，GV 的批发价满足 $w_g^{RS*}<w_g^{VN*}<w_g^{MS*}$；EV 的批发价满足 $w_e^{RS*}<w_e^{VN*}<w_e^{MS*}$。

表 2 三种渠道权力结构下的最优均衡解

	MS	RS	VN
w_g^*	$\frac{1+c_g}{2}$	$\frac{1+3c_g}{4}$	$\frac{1+2c_g}{3}$
w_e^*	$\frac{B+\delta+c_e}{2}$	$\frac{B+\delta+3c_e}{4}$	$\frac{B+\delta+2c_e}{3}$
p_g^*	$\frac{3+c_g}{2}$	$\frac{3+3c_g}{4}$	$\frac{3+2c_g}{3}$
p_e^*	$\frac{3(B+\delta)+c_e}{4}$	$\frac{3(B+\delta)+c_e}{4}$	$\frac{2(B+\delta)+c_e}{3}$
q_g^*	$\frac{a}{4}$	$\frac{a}{4}$	$\frac{a}{3}$
q_e^*	$\frac{b}{4}$	$\frac{b}{4}$	$\frac{b}{3}$
π_m^*	$\frac{c+d+f}{8}$	$\frac{c+d+f}{16}$	$\frac{c+d+f}{9}$
π_r^*	$\frac{c+d+f}{16}$	$\frac{c+d+f}{8}$	$\frac{c+d+f}{9}$
π_T^*	$\frac{3(c+d+f)}{16}$	$\frac{3(c+d+f)}{16}$	$\frac{2(c+d+f)}{9}$
E^*	$\frac{ae_g+be_e}{4}$	$\frac{ae_g+be_e}{4}$	$\frac{ae_g+be_e}{3}$
CS^*	$\frac{c+d+f}{32}$	$\frac{c+d+f}{32}$	$\frac{c+d+f}{18}$
SW^*	$\frac{7(c+d+f)}{32}+\frac{ae_g-be_e-bB}{4}$	$\frac{7(c+d+f)}{32}+\frac{ae_g-be_e-bB}{4}$	$\frac{5(c+d+f)}{18}+\frac{ae_g-be_e-bB}{3}$

注：表中字母 $a=\frac{1-B-\delta+c_e-c_g}{1-\delta}$，$b=\frac{B-c_e+\delta c_g}{\delta(1-\delta)}$，$c=\frac{B^2+\delta-\delta^2+c_e^2}{\delta(1-\delta)}$，$d=\frac{\delta c_g(2(-1+B+\delta)+c_g)}{\delta(1-\delta)}$，$f=\frac{-2c_e(B+\delta c_g)}{\delta(1-\delta)}$。

结论 1 中两种汽车产品的批发价关系满足 $w_g^{RS*}<w_g^{VN*}<w_g^{MS*}$ 和 $w_e^{RS*}<w_e^{VN*}<w_e^{MS*}$，可知 MS 模型下产品的批发价最高，其次是 VN 模型，最后才是 RS 模型。值得注意的是,批发价作为制造商的决策参数，其大小排序正好和制造商在汽车市场或供应链中地位的高低有关，即制造商主导时取得最大值,其次是同时决策,最后是零售商主导时制造商作为追随者批发价取得最小值。可见随着制造商在汽车供应链的话语权减小，制造商需不断降低批发价来促成交易。

结论 2：三种模型下，零售价格 $p_g^{VN*}<p_g^{RS*}=p_g^{MS*}$，$p_e^{VN*}<p_e^{RS*}=p_e^{MS*}$；销量 $q_g^{VN*}>p_g^{RS*}=q_g^{MS*}$，$q_e^{VN*}>p_e^{RS*}=q_e^{MS*}$；制造商利润 $\pi_m^{MS*}>\pi_m^{VN*}>\pi_m^{VN*}$；零售商利润：$\pi_r^{RS*}>\pi_r^{VN*}>\pi_r^{MS*}$；消费者剩余 $CS^{MS*}=CS^{RS*}<CS^{VN*}$；环境影响值 $E^{MS*}=E^{RS*}<E^{VN*}$；社会福利 $SW^{MS*}=SW^{RS*}<SW^{VN*}$。

由结论 2 的 和 可知，在制造商或零售商主导结构下，属于主导者的一方在供应链上占有绝对优势,能在双方讨价还价时,优先实现自身利益的最大化。另外,由 $p_g^{RS*}=p_g^{MS*}$，$p_e^{RS*}=p_e^{MS*}$，$q_g^{RS*}=q_g^{MS*}$，$CS^{MS*}=CS^{RS*}$，$E^{MS*}=E^{RS*}$ 可知,RS 和 MS 两种模型下,最优价格、消费者剩余及环境影响值的大小一致相同,这说明了主导模型下的产品价格、销量、消费者和环境的影响与主导主体无关。而同时决策模型下,虽然社会福利最大、供应链的总利润最高、消费者剩余最大以及消费者对两种产品的市场需求最大，但是该模型对环境的影响却也是最大的 $E^{MS*}=E^{RS*}<E^{VN*}$,可见政府实施补贴政策背景下，三种模型中同时决策模型，最不利于社会环境。综合上述分析,政府为促进 EV 发展,改善现有环境压力,应积极发挥市场指导作用,避免市场上企业间开展恶性竞争。

结论 3:三种模型下,GV 的批发价格 w_g 和销售定价 p_g 都与其他因素无关,只跟其生产成本 c_g 有关,且为正相关;EV 的批发价格 w_e 和销售定价 p_e 都跟消费者接受度 δ、补贴系数 c_e 以及电动 呈正相关,而与GV 生产成本 c_g 无关。

从结论 3 可以认识到,GV 生产成本的增加会引起 GV 批发价格及其售价的上涨，但不会影响到 EV 的批发价格及其售价。而 EV 的生产成本的增加会导致 EV 批发价格和售价的上涨,同样的不会影响到 GV 的批发价格及其售价。即这两种汽车产品的生产成本只直接作用于各自对应的产品上。另外 EV 的批发价格和售价还与政府补贴系数和消费者对 EV 的接受系数有关，说明政府增加补贴系数,消费者接受系数提高,制造商和零售商便会顺势提高 EV 的批发价格和销售价格，表明了制造商和零售商也想从政府向消费者提供的福利中分羹。

结论 4:三种模型下,GV 的 q_g 与参数消费者接受度 δ、补贴系数 B 以及 GV 成本 c_g 呈负相关,与参数 EV 成本 c_g 呈正相关；而 EV 的 q_e 刚好相反。

从结论 4 可知,汽车产品的市场需求(销量)大小与消费者接受度、补贴系数、GV 成本和 EV 成本四个变量密切相关。其中汽车的生产成本变化间接反映出两种汽车之间存在的蚕食效应,当 EV 产品生产成本降低,间接的提高 EV 在市场上的竞争优势,增加 EV 销量,引起 GV 市场销量降低，即 GV 的市场份额部分被 EV 取而代之。另外,政府补贴和消费者接受系数的提高会提高 EV 的销量,降低 GV 的市场需求,这是因为补贴力度增加和消费者接受系数增加，会直接作用于消费者,改善消费者对 EV 的价值认可及效用水平,进而消费者会增加对 EV 的市场需求。

结论 5:三种模型下,消费者接受度 δ、补贴系数 B 对制造商利润,零售商商利润,供应链的总利润和消费者剩余都表现为正相关;汽车成本 c_g、c_e 对制造商利润,零售商商利润,供应链的总利润和消费者剩余都表现为负相关。

从结论 5 来看,不同模型下,各参数对消费者剩余的影响与对各个利润值的影响同步，这反映了汽车供应链上存在多赢局面。虽然结论 4 指出,消费者对 EV 的接受度增加以及政府补贴增加,会直接作用于消费者，引发 EV 对 GV 的市场产生蚕食效应,引起 EV 销量增加,GV 销量减少,但是总体上 EV 产生的利润超过 GV 的损失，因此制造商利润、零售商利润以及供应链的总利润表现为增加（正相关)。另外汽车成本 c_g 和 c_e 的增加,会降低产品的单位边际效益,因此汽车成本与

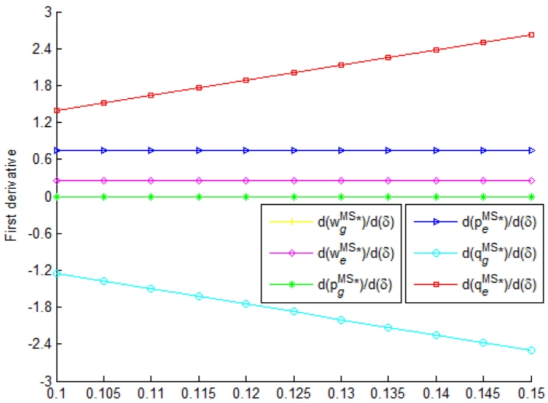
制造商利润、零售商利润以及供应链的总利润呈负相关。最后,由结论 3 可知,汽车成本 c_g 和 c_e 的增加,会间接引起汽车产品售价增长,降低消费者对汽车的效用水平,减少消费者剩余。

4 数值仿真

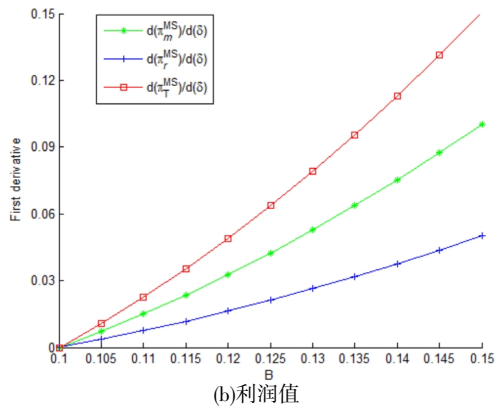
这部分借助数值仿真实验进一步补充讨论补贴系数变化对模型最优决策的影响。相关参数设置如下:c_e=0.55、c_e=0.5、e_e=0.03、e_e=0.15、δ=0.9 以及 B=0.12[13]。因 RS 和 VN 模型的分析结果和 MS 相似,只是数值大小关系,其影响效果相同,考虑篇幅有限,4.1 与 4.2 将只以 MS 为例展开分析。

4.1 补贴系数变化对各均衡解关于 δ 的敏感度的影响

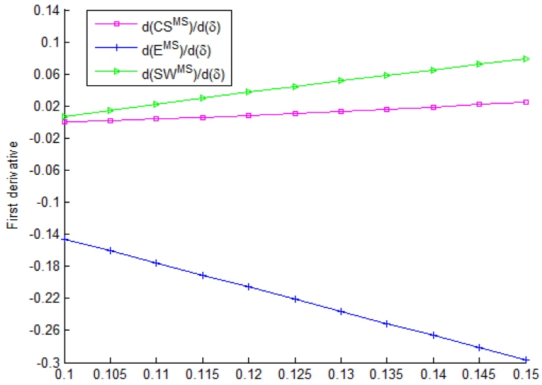
在制造商主导情况下,当政府补贴 B ∈ (0.1,0.15),GV 和 EV 的最优批发价格、售价、销量、制造商利润、零售商利润、供应链的总利润、消费者剩余、环境影响和社会总福利关于的 δ 一阶偏导数变化情况如图 4-1 所示。其中图(a)为 GV 和 EV 的批发价格、销售定价和销量;图(b)为制造商利润、零售商利润以及供应链的总利润;图(c)是消费者剩余、环境影响和社会总福利。



(a) 批发价格、售价及销量



(b)利润值



(c)环境影响、消费者剩余及社会福利

图 4-1 补贴系数对各均衡解关于 的敏感度的影响

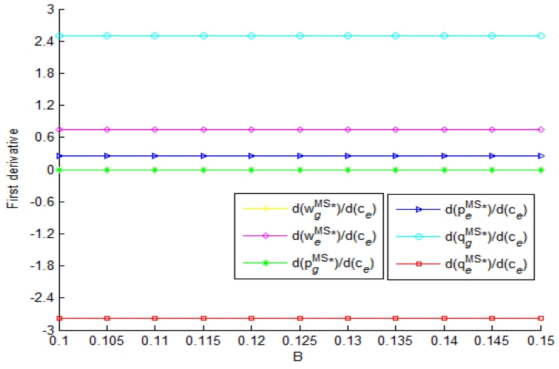
从图 4-1(a)可以看出,GV 的批发价格和售价都不受消费者接受系数的影响($\frac{dw_g^{MS*}}{d\delta}=\frac{dp_g^{MS*}}{d\delta}=0$);而 EV 的批发价格、售价与消费者的接受程度正相关($\frac{dw_e^{MS*}}{d\delta}>0$, $\frac{dp_e^{MS*}}{d\delta}>0$),都不受政府补贴影响。此外,消费者接受度对 EV 销量有积极影响($\frac{dq_e^{MS*}}{d\delta}>1$),对GV的销量有消极影响($\frac{dp_g^{MS*}}{d\delta}<-1$),表明随消费者接受程度的提高,EV 销量会增加,而 GV 销量会下降。并且,随着政府补贴的增加,消费者接受程度对 EV 销售的积极影响增强,对 GV 的消极影响也增强,即补贴会放大这种影响。

从图(b)可以看出,消费者接受程度对制造商利润,零售商利润和供应链的总利润都呈正相关,说明一定程度上,随着消费者对 EV 接受程度的提高,供应链上各主体的收益都会提高。另外从三条曲线向右上方的延伸趋势,可以看出,政府补贴力度的增加,这种收益增长趋势也会被放大,且政府补贴数值越大,放大效果越明显。

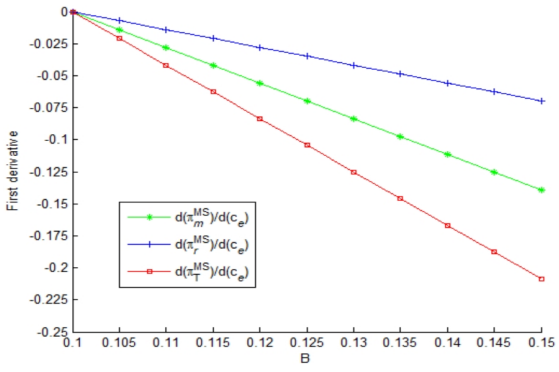
从图(c)可以看出,消费者对 EV 的接受系数对消费者剩余和社会福利表现为正作用,对环境影响为负作用(接受系数提高,环境影响减少),这无论对消费者还是政府来说都是利好结果。并且政府补贴的增加,会促使这些影响力增强,其中补贴对消费者剩余的影响最小,对社会福利的影响次之,影响最大的是对环境影响。综上分析,一定范围内,政府补贴力度的适当增强,对缓解环境压力,消费者和社会还是利好的。

4.2 补贴系数变化对各均衡解关于c_g的敏感度的影响

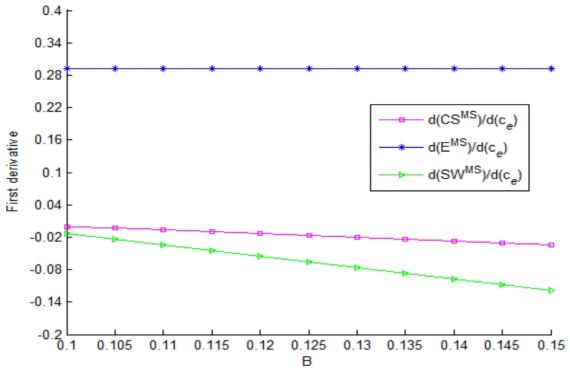
当政府补贴从 0.1 变化到 0.15 时,EV 生产成本对 GV 和 EV 的最优批发价格、售价、销量、制造商利润、零售商利润、供应链的总利润、消费者剩余、环境影响值以及社会总福利关于 c_e 的一阶偏导数如图 4-2 所示。其中图(a)为 GV 和 EV 的批发价格、售价和销量;图(b)制造商的利润,零售商利润,供应链的总利润;图(c)消费者剩余,环境影响以及总社会福利。



(a)批发价格、售价及销量



(b)利润值



(c)环境影响、消费者剩余及社会福利

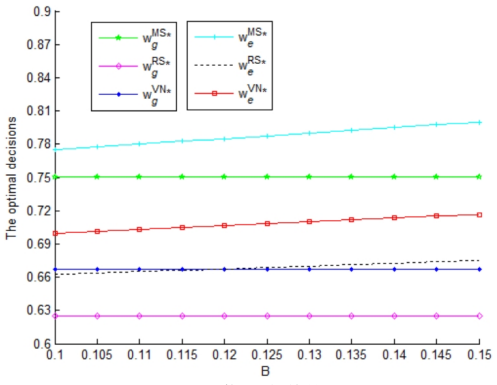
图 4-2　补贴系数对各均衡解关于 c_e 的敏感度的影响

从图 4-2(a)可以看出 EV 的生产成本对 GV 的批发价格和售价没有影响，对 EV 的批发价格和售价以及 GV 的销量呈正相关，对 EV 的销量成负相关,这与上述结论 3、4 所述一致。而且政府补贴的调整对它们并没有影响。由图 4-2 (b)可知,当 EV 的生产成本越小,制造商利润、零售商利润或供应链的总利润数值就越大 (偏导数都小于0),而政府补贴增加会加快增大幅度。最后从图(c)可知,当 EV 的生产成本上升时,环境影响值增大,且不受政府补贴影响。而 EV 的生产成本会对消费者剩余和总社会福利有消极影响。并且随着政府补贴的增大这种影响增强。综合上述分析,可知 EV 的生产成本越小,对消费者、企业及政府都是越有利的。

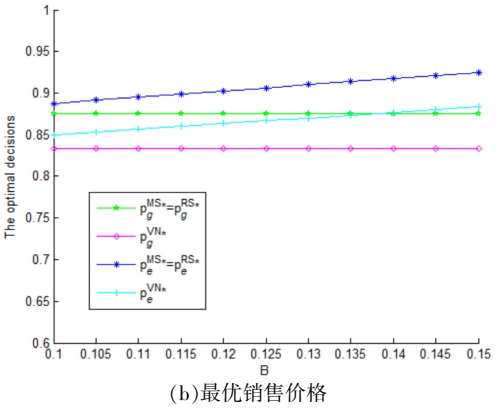
4.3　补贴系数对各均衡解的影响性分析

三种不同模型下,政府补贴 B 在[0.1,0.15]区间内变化对各均衡解的影响如图 4-3 所示。

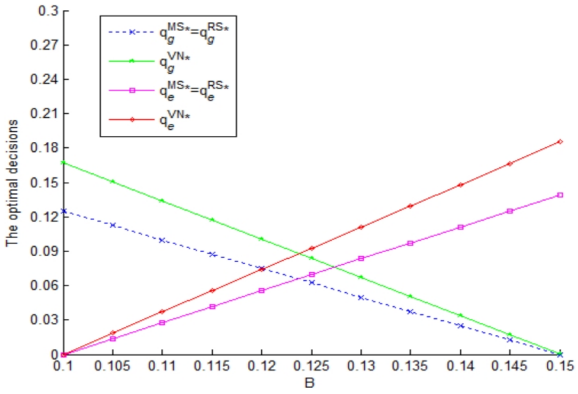
从图 4-3(a-c),可以看出政府实施补贴,制造商不会调整 GV 的批发价格；但随着补贴水平的增长,制造商会上调 EV 的批发价格。另外,两种产品的批发价格满足 MS 模型值最大,VN 次之,RS 最小关系。另外,MS 和 RS 两模型下,GV 的售价和销量、EV 的售价和销量分别相等，同时政府补贴系数的增大会引起 EV 售价和销量增加、GV 销量降低,这验证了上述结论 1、2 的正确性。

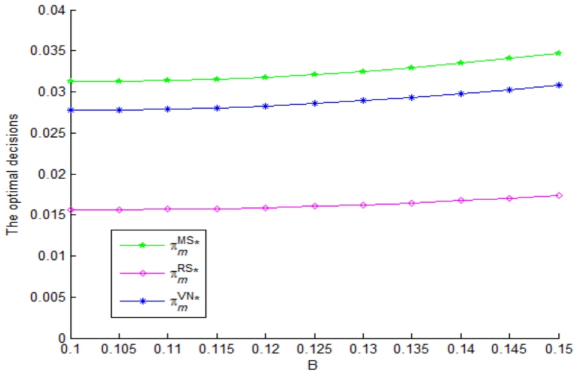


(a)最优批发价格



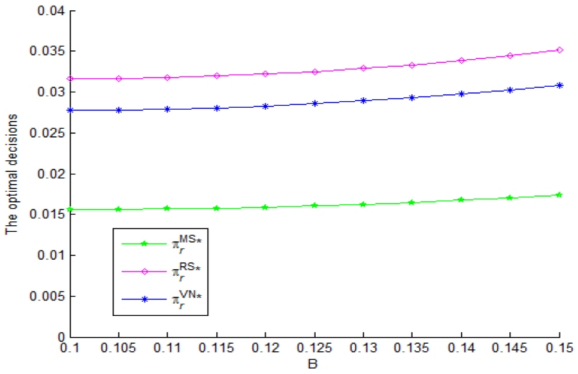
(b)最优销售价格



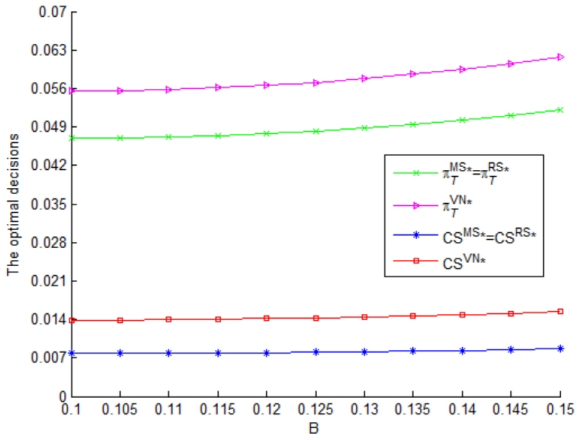


(c)最优销量

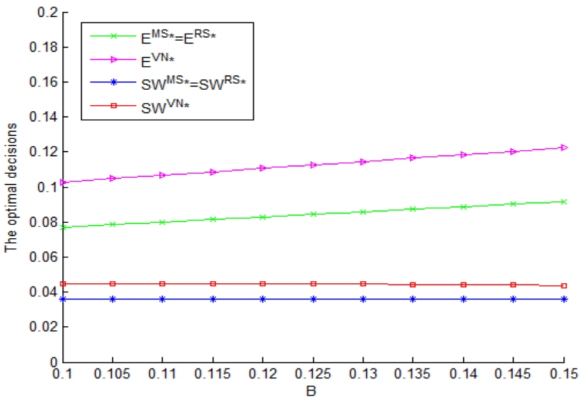
(d)制造商利润



(e)零售商利润



(f)供应链的总利润、消费者剩余



(g)环境影响值、社会福利

图 4-3 补贴系数对各模型均衡解的影响

由图 4-3(d-f)可知,一方主导模型(MS/RS)的主导者的利润都大于各自追随者的利润,但其供应链的总利润小于同时决策模型的总利润,可见一定程度上,主导者的利益最大化是以牺牲追随者的利益为代价的,并不能实现全局最优。另外,利润都随政府补贴的增大而增大,并且补贴数值越大其利润值增长幅度越大。MS 和 RS 模型消费者剩余值相等,小于 VN 模型的值,其变化趋势和上述利润的相同,说明经济效益和消费者剩余具有同步性。由图(g)可知,MS 和 RS 模型下环境影响值相等,且小于 VN 模型下的值,并且环境影响随补贴系数 B 的增加而减少(说明政府加大补贴力度会促进环境改善)。最后各模型的社会福利关于政府补贴系数的曲线是开口向下的抛物线,说明存在一个最优补贴值能使社会福利最大,经计算,发现在 MS 和 RS 模型下,B=0.12 时社会福利最大;在 VN 模型下,B=0.115 时社会福利最大,可见政府补贴并不是越大社会福利越大,不同的渠道权利结构其对应的最优补贴决策不同。

5 结论与展望

为探讨供应链上不同渠道权利结构及政府定额补贴政策对混合汽车产品定价决策的影响性,本文设计制造商主导,零售商主导和同时决策三种不同渠道权利结构模型,展开问题研究。研究结果主要发现,两种汽车产品的批发价格会随制造商在渠道结构上的权利减少而减少;而在制造商主导和零售商主导模型下,汽车产品的价格、销量、消费者剩余和环境影响相同,与模型的主导者无关;另外,供应链渠道的主导者拥有绝对优势,

其收益可以实现最大化，但却是以牺牲追随者的利益为代价的,而同时决策模型下,制造商和零售商的收益相同,并且供应链的总利润、消费者剩余和社会福利数值可以取得最高值，但与此同时环境也是最大的。最后通过数值仿真实验,发现政府补贴对电动汽车发展具有推动作用，但补贴水平并不是越大越好。

总而言之,EV 发展不能仅仅依靠政府补贴,关注市场渠道权利结构分布、车企改善电动汽车生产技术、消费者提高绿色消费者意识等都是影响汽车产业化的关键因素。EV 市场的健康、快速发展,离不开市场上政府、汽车企业以及消费者的共同参与,齐心协力。最后本文的研究仍存在不足之处，如理想化设定模型中局中人的信息完全对称,只是对现实情形的近似,未来将进一步研究信息不对称情形。

参 考 文 献

[1] 赵敬华,林杰. 不同补贴对象下的闭环供应链定价模型[J].管理工程学报,2017, (1).

[2] Yenipazarli A. Managing new and remanufactured products to mitigate environmental damage under emissions regulation[J]. European Journal of Operational Research s,2016, (1).

[3] 李帮义,李宁,孙春艳. 再制造系统消费者类型分布对定价策略与战略决策的影响机制分析[J]. 控制与决策,2016, (11).

[4] Zhang Y H, Wang Y. The impact of government incentive on the two competing supply chains under the perspective of Corporation Social Responsibility: A case study of Photovoltaic industry[J]. J Clean Prod,2017.

[5] 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).

[6] 张学龙,王军进. 基于 Shapley 值法的新能源汽车供应链中政府补贴分析[J]. 软科学,2015,(9).

[7] Hao H, Ou X, Du J, et al. China's electric vehicle subsidy scheme: Rationale and impacts[J]. energy Policy,2014.

[8] 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,(12).

[9] 于俭,吴文文,李晓. 基于演化博弈的新能源汽车补贴激励研究[J]. 生产力研究,2017,(6).

[10] 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,(3).

[11] 刘志,李帮义,龚本刚,等. 再制造商公平关切下闭环供应链生产设计决策与协调[J]. 控制与决策,2016,(9).

[12] Choudhary V, Ghose A, Mukhopadhyay T, et al. Personalized Pricing and Quality Differentiation[J]. Manage Sci, 2005, (7).

[13] Zhang X X, Lin H Y, Liu Z, et al. Manufacturing Decisions and Government Subsidies for Electric Vehicles in China: A Maximal Social Welfare Perspective[J]. Sustainability,2018,(3).

On Pricing Decision-making of Hybrid Vehicles with Different Channel Power Structures of Government Subsidies

LI Zheng-hong, LIN Hai-yan, Zheng Xiao-xue

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

Abstract: On the basis of the government fixed subsidies for electric vehicles, this paper introduces the design of different channel power structure, establishes three models, i.e., manufacturer-led, retailer-led, and simultaneous decision-making. With numerical simulation, the present paper analyzes the optimal pricing decision-making, economic benefits, environment impact and social welfare values. The results indicate that leader in the manufacturer-led or retailer-led models in the supply channel has an absolute advantage and can maximize their own profits at the expense of the follower' interests. In addition, although the total profit of supply chain, consumer surplus, and social welfare values of the simultaneous decision-making model can achieve the highest value, this model has the greatest environment impact.

Key words: channel power structure; pricing decisions; government subsidies; electric vehicle; traditional vehicle

(责任编辑:庄暨军)