

成本分担政策下新能源汽车租赁系统激励契约

经有国*,郭培强,秦开大

(昆明理工大学 管理与经济学院,昆明 650093)

摘要: 在市场需求不确定且与推广努力水平相关的市场环境下,研究政府对新能源汽车租赁企业提供成本分担政策的激励机制.探讨无政府激励政策,考虑政府环保效益的集中决策,政府提供成本共担政策下的最优车队配置和推广努力水平,并对3种情形下的最优决策进行比较和分析.研究表明,在无政府激励政策情况下无法实现系统最优,通过引入成本共担契约,当契约参数满足一定条件时,该契约模型不仅可以实现系统利益最大化而且可以使系统成员达到帕累托改进.最后通过算例分析,探讨了成本共担系数对政府和新能源汽车租赁企业收益的影响.

关键词: 城市交通;激励契约;成本共担;新能源汽车租赁;推广努力水平

Incentive Contract for Green Car Rental System Based on Cost Sharing Policy

JING You-guo, GUO Pei-qiang, QIN Kai-da

(Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The incentive mechanism of government's cost-sharing policy for green car rental companies is researched with the assumptions that the demand is uncertain and depended on the promotion efforts. The optimal decisions of fleet sizing and promotion effort level under the no government incentive policy, the centralized decision considering environmental benefits of government and the cost sharing policy provided by government are researched respectively, and a comparative analysis is carried out. The following results is attained: the system can't achieve system optimal under the no government incentive policy; the introduced combined contract of cost sharing can not only achieve system benefit maximization but also make the members of the system achieve Pareto improvement when the contract parameters satisfy certain conditions. Finally, the example analysis is employed to discuss the cost sharing coefficient's influence on the government and the green car rental enterprise revenue.

Keywords: urban traffic; incentive contract; cost sharing; green car rental; promotion effort level

0 引言

近年来新能源汽车租赁作为推广新能源汽车的新商业模式,得到了政府和企业的广泛认可,其中北京、上海、昆明等众多大中城市的政府和相关企业纷纷展开了合作,积极探索并推广新能源汽车租赁业务模式,另外,像神州租车、一嗨租车等大型租车公司也在各大城市陆续推出了新能源汽车租赁业务.发展新能源汽车租赁有利于环境保护

和提高汽车利用率,契合了绿色经济与分享经济的发展趋势,已成为政府和企业关注的一个热门投资领域.

当前新能源汽车市场尚处于成长阶段,需要政府出台有效的扶持政策以提高新能源汽车的市场占有率.为此,许多学者从不同角度对政府的扶持策略做了较深入的研究.文献[1]从影响消费者购买行为的角度,研究了国外新能源汽车扶持政

收稿日期:2017-06-20

修回日期:2017-11-06

录用日期:2017-11-22

基金项目:国家自然科学基金/National Natural Science Foundation of China(71461014, 71362025).

作者简介:经有国(1981-),男,广西桂林人,副教授,博士.

*通信作者:jingyouguo@126.com

策.文献[2-3]则以国内的新能源汽车为研究对象,分别采用建模仿真及实证研究的方法,分析了政府补贴政策的实施效果.总体而言,已有文献对汽车扶持政策做了分析并取得了一定成果,然而通过文献分析发现,已有面向消费环节的新能源汽车扶持政策大多是针对大众消费者的,不太适合激励新能源汽车租赁企业.因此,本文拟进一步研究新能源汽车租赁模式下政府和租赁企业的合作与决策行为.

本文主要吸收了著名学者 Lariviere 的思想,将供应链契约理论应用于新能源汽车租赁领域,在有关成本共担策略的供应链契约方面:文献[4-6]分别从广义收益共享契约、服务供应链、动态博弈模型出发,研究了成本共担契约下的激励机制.可见,成本共担契约能够有效激励供应链企业的努力行为,基于此本文拟研究一种政府成本分担政策下的新能源汽车租赁系统协调契约,以激励和协调租赁企业的车队配置和推广努力行为,实现系统整体最优和帕累托改进.

1 问题描述及假设

本文主要研究一个城市范围内新能源汽车租赁企业与政府之间的合作与激励机制.政府参与新能源汽车的合作并提供成本共担政策,对于车队配置和推广努力水平的大小则由新能源汽车租赁企业来决定,两者作为独立的利益主体,均以自身利益最大化为目标,前者主要通过提供汽车租赁服务来获取利润,后者则通过新能源汽车的投入和使用来获取环保效益.

符号与参数说明: p 表示单位时间内新能源汽车租赁价格; $\tau(\lambda(e,\xi),q)$ 表示单位时间内有效出租时间函数; q 和 e 分别表示车队配置和推广努力水平; $\lambda(e,\xi)$ 表示单位时间内的平均需求率(其中 $0 \leq \lambda(e,\xi)$); ξ 表示随机变量, $F(\xi)$ 和 $f(\xi)$ 则分别表示需求概率分布函数和需求概率密度函数,其中 $F(\xi)$ 是可微和严格增加的,并有 $F(0)=0$, $\bar{F}(\xi)=1-F(\xi)$; μ 表示单位时间内每辆车的平均服务率; α 表示单位时间内每辆车有效出租时间; c_1 表示租赁汽车投入运营期间单位时间的充电费、管理费等费用; c_2 表示合作周期内每辆车计提的折旧费用;

$R(\tau(\lambda(e,\xi),q),d,r)$ 表示政府的环保效益函数; d 表示出租期间每辆车单位时间的平均行驶距离; r 表示出租期间每辆新能源汽车行驶单位距离所能创造的环保效益; $\Pi_i(q,e)$ 表示在分散决策下租赁企业的期望利润函数.

假设 1 新能源汽车租赁企业和政府满足理性人、信息对称及风险中性的假设.

假设 2 $h(e)$ 表示新能源汽车租赁企业推广努力水平为 e 时的努力成本函数,且 $h'(e)>0$, $h''(e)>0$, $h(0)=0$.

假设 3 单位时间内的平均需求率 $\lambda(e,\xi)$ 是推广努力水平 e 与随机变量 ξ 的函数,两个变量相互独立,设 $\lambda(e,\xi)=y(e)+\xi$,即平均需求率函数满足推广努力水平与随机变量的加法形式.假设 $y(e)=a+be$, a 表示无推广努力下的市场需求, b 表示与推广努力水平相关的需求弹性,即 $\lambda(e,\xi)=a+be+\xi$.

2 基本决策模型

在合作周期内,新能源汽车租赁企业的收益主要取决于平均每辆车单位时间内的出租(计费)时间,结合多服务台排队系统等理论及实证分析,单位时间内有效出租时间函数 $\tau(\lambda(e,\xi),q)$ 可表示为

$$\tau(\lambda(e,\xi),q) = \begin{cases} \alpha, & \lambda(e,\xi) \geq q\mu \\ \alpha \frac{\lambda(e,\xi)}{q\mu}, & \lambda(e,\xi) < q\mu \end{cases} \quad (1)$$

因此,单位时间内有效出租时间的期望函数 $E[\tau(\lambda(e,\xi),q)]$ 可表示为

$$E[\tau(\lambda(e,\xi),q)] = \int_0^{q\mu-a-be} \alpha \frac{\lambda(e,\xi)}{q\mu} f(\xi) d\xi + \int_{q\mu-a-be}^{+\infty} \alpha f(\xi) d\xi = \alpha \left[1 - \frac{1}{q\mu} \int_0^{q\mu-a-be} F(\xi) d\xi \right] \quad (2)$$

2.1 无政府激励政策的企业决策模型

在无政府激励政策的情况下,新能源汽车租赁企业根据自身利益选择最优车队配置和推广努力水平而不考虑政府的环保效益.此时推广努力成本全部由新能源汽车租赁企业来承担,因此期望收益函数为

$$\Pi_i(q,e) = E\left\{[(p-c_1)\tau(\lambda(e,\xi),q)T - c_2]q - h(e)\right\} \quad (3)$$

由式(3)整理可得

$$\Pi_r(q, e) = \left\{ (p - c_1) \alpha \left[1 - \frac{1}{q\mu} \int_0^{q\mu - a - be} F(\xi) d\xi \right] T - c_2 \right\} q - h(e) \quad (4)$$

由于在城市内部总出行需求既定的情形下,新能源汽车的使用率越高,所创造的环保效益越大,因此政府的环保效益与合作周期内 q 辆新能源汽车行驶的总里程正相关,且取决于出租计费时间 $\tau(\lambda(e, \xi), q)$ 、平均行驶距离 d 和环保效益 r 。因此政府的期望环保效益函数表示为

$$R(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r) = E\{\tau(\lambda(e, \xi), q) T d r q\} = \alpha \left[1 - \frac{1}{q\mu} \int_0^{q\mu - a - be} F(\xi) d\xi \right] T d r q \quad (5)$$

命题 1 在无政府激励政策的情况下,新能源汽车租赁企业存在唯一的最优车队配置和推广努力水平 (q^*, e^*) ,且满足式(6)和式(7)。

$$\bar{F}(q^* \mu - a - be^*) = \frac{c_2}{(p - c_1) \alpha T} \quad (6)$$

$$F(q^* \mu - a - be^*) = \frac{h'(e^*) \mu}{(p - c_1) \alpha T b} \quad (7)$$

证明 根据式(4)可得新能源汽车租赁企业收益函数关于 q, e 的海赛(Hessian)矩阵的行列式为

$$|H(\Pi_r(q, e))| = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial q^2} & \frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial q \partial e} \\ \frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial e \partial q} & \frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial e^2} \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$= \frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial q^2} \frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial e^2} - \left(\frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial q \partial e} \right)^2$$

对式(4)求关于 q, e 的二阶导数和偏导数,即

$$\frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial q^2} = -(p - c_1) \alpha T \mu f(q\mu - a - be) \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial e^2} = -(p - c_1) \alpha T \frac{b^2}{\mu} f(q\mu - a - be) - h''(e) \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial e \partial q} = \frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial q \partial e} = (p - c_1) \alpha T b f(q\mu - a - be) \quad (11)$$

将式(9)~式(11)代入式(8)化简可得

$$|H(\Pi_r(q, e))| = (p - c_1) \alpha T f(q\mu - a - be) \mu h''(e) > 0 \quad (12)$$

由于 $|H(\Pi_r(q, e))| > 0$, 且 $\frac{\partial^2 \Pi_r(q, e)}{\partial q^2} < 0$, $H(\Pi_r(q, e))$

为严格负定,所以 $\Pi_r(q, e)$ 是关于 q 和 e 的严格凹函数,存在唯一的全局最优解。

对式(4)分别求关于 q, e 的一阶导数,并令之等于0,即

$$\frac{\partial \Pi_r(q, e)}{\partial q} = (p - c_1) \alpha T (1 - F(q\mu - a - be)) - c_2 = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial \Pi_r(q, e)}{\partial e} = \frac{(p - c_1) \alpha T b}{\mu} F(q\mu - a - be) - h'(e) = 0 \quad (14)$$

即可求最优解 (q^*, e^*) 满足

$$\bar{F}(q^* \mu - a - be^*) = \frac{c_2}{(p - c_1) \alpha T} \quad (15)$$

$$F(q^* \mu - a - be^*) = \frac{h'(e^*) \mu}{(p - c_1) \alpha T b} \quad (16)$$

即证。

2.2 考虑政府环保效益的集中决策模型

在集中决策情况下,新能源汽车租赁企业和政府可被看作一个整体共同决定最优车队配置和推广努力水平,下面将统一用上标 c 来表示,此时总体的期望收益函数为

$$\Pi^c(q, e) = (p - c_1 + dr) \alpha \left[1 - \frac{1}{q\mu} \int_0^{q\mu - a - be} F(\xi) d\xi \right] T q - c_2 q - h(e) \quad (17)$$

根据式(17)可得总体期望收益函数关于 q, e 的海赛(Hessian)矩阵的行列式为

$$|H(\Pi^c(q, e))| = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial q^2} & \frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial q \partial e} \\ \frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial e \partial q} & \frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial e^2} \end{vmatrix} \quad (18)$$

$$= \frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial q^2} \frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial e^2} - \left(\frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial q \partial e} \right)^2$$

对式(18)化简可得

$$|H(\Pi^c(q, e))| = (p - c_1 + dr) \alpha T f(q\mu - a - be) \mu h''(e) > 0 \quad (19)$$

由于 $|H(\Pi^c(q, e))| > 0$, 且 $\frac{\partial^2 \Pi^c(q, e)}{\partial q^2} < 0$, $H(\Pi_r(q, e))$

为严格负定,所以 $\Pi^c(q, e)$ 是关于 q 和 e 的严格凹函数,存在唯一的全局最优解。

对式(17)分别求关于 q, e 的一阶导数并令之等于0,可得到在集中决策下的最优解 (q^c, e^c) 满足

$$\frac{\partial \Pi_r(q^c, e)}{\partial q^c} = (p - c_1 + dr) \alpha T (1 - F(q\mu - a - be)) - c_2 = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial \Pi_r(q, e^c)}{\partial e^c} = (p - c_1) \alpha T \frac{b}{\mu} F(q\mu - a - be) - h'(e) = 0 \quad (21)$$

即满足

$$\bar{F}(q^* \mu - a - be^*) = \frac{c_2}{(p - c_1 + dr)\alpha T} \quad (22)$$

$$F(q^* \mu - a - be^*) = \frac{h'(e^*)\mu}{(p - c_1 + dr)\alpha T b} \quad (23)$$

因此,在集中决策下存在唯一最优解 (q^*, e^*) .

命题 2 当 $q^* = q^c$,则 $e^* < e^c$;当 $e^* = e^c$,则 $q^* < q^c$.

证明 当无政府激励政策下的最优车队配置与集中决策下最优车队配置相等时,要使得最优推广努力水平相等,则必须满足

$$F(q^* \mu - a - be^*) = F(q^c \mu - a - be^c) \quad (24)$$

因为 $\frac{h'(e)\mu}{(p - c_1 + dr)\alpha T b} < \frac{h'(e^c)\mu}{(p - c_1)\alpha T b}$, 所以

$F(q^* \mu - a - be^*) < F(q^c \mu - a - be^c)$, 又由于 $q^* = q^c$ 且 $F(x)$ 为严格的单调增函数,所以 $e^* < e^c$, 即证.

当无政府激励政策下的推广努力水平与集中决策下推广努力水平相等时,要使得最优车队配置相等,则必须满足

$$\bar{F}(q^* \mu - a - be^*) = \bar{F}(q^c \mu - a - be^c) \quad (25)$$

因为 $\frac{c_2}{(p - c_1 + dr)\alpha T} < \frac{c_2}{(p - c_1)\alpha T}$, 所以

$\bar{F}(q^* \mu - a - be^*) < \bar{F}(q^c \mu - a - be^c)$, 又由于 $e^* = e^c$ 且 $\bar{F}(x)$ 为单调递减函数,所以 $q^* < q^c$, 即证.

从命题2可以看出,在无政府激励政策的情况下,由于新能源汽车租赁企业追求自身利益最大化,而没有考虑政府的环保效益,使得分散决策低于系统决策.因此,有必要设计一种合理有效的激励政策,使得双方的收益最大化.

3 政府提供成本分担政策的激励契约模型

本节主要通过引入成本共担政策的激励契约加以研究分析,即政府为了更好地促进新能源汽车租赁企业的发展,同时使自己的环保效益达到最大化,愿意提供相应的激励政策来降低新能源汽车租赁企业的成本.假设政府愿意分担新能源汽车租赁企业的各项成本,即本文中所涉及的3项成本 $c_1, c_2, h(e)$,其中政府成本共担的比例参数分别用 $1 - \varphi_1, 1 - \varphi_2, \varphi_3$ 来表示, $0 < \varphi_i < 1 (i = 1, 2, 3)$.

下面统一用上标 s 来表示,则在成本共担激励契约下,新能源汽车租赁企业的期望收益函数为

$$\Pi_r^s(q, e, \varphi_i) = E\left\{[(p - \varphi_1 c_1)\tau(\lambda(e, \xi), q)T - \varphi_2 c_2]q - (1 - \varphi_3)h(e)\right\} \quad (26)$$

政府的期望收益函数为

$$R^s(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r, \varphi_i) = E\left\{(dr - c_1 + \varphi_1 c_1)\tau(\lambda(e, \xi), q)Tq - (1 - \varphi_2)c_2q - \varphi_3 h(e)\right\} \quad (27)$$

命题 3 当契约参数满足式(28)时,激励契约可以实现系统利益最大化.

$$\begin{cases} \varphi_2 = \frac{p - \varphi_1 c_1}{p - c_1 + dr} \\ \varphi_3 = 1 - \frac{p - \varphi_1 c_1}{p - c_1 + dr} \end{cases} \quad (28)$$

证明 根据式(26)可得激励契约模型下新能源汽车租赁企业收益函数关于 q, e 的海赛(Hessian)矩阵的行列式为

$$\begin{aligned} |H(\Pi_r^s(q, e, \varphi_i))| &= \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial q^2} & \frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial q \partial e} \\ \frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial e \partial q} & \frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial e^2} \end{vmatrix} \\ &= \frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial q^2} \frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial e^2} - \left(\frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial q \partial e}\right)^2 \end{aligned} \quad (29)$$

对式(29)化简可得

$$|H(\Pi_r^s(q, e, \varphi_i))| = (p - \varphi_1 c_1)\alpha T f(q\mu - a - be)\mu h''(e) > 0 \quad (30)$$

由于 $|H(\Pi_r^s(q, e, \varphi_i))| > 0$, 且 $\frac{\partial^2 \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial q^2} < 0$,

$H(\Pi_r^s(q, e, \varphi_i))$ 为严格负定,所以 $\Pi_r^s(q, e, \varphi_i)$ 是关于 q 和 e 的严格凹函数,存在唯一的全局最优解.

对式(26)分别求关于 q 和 e 的一阶、二阶导数,通过分析可得,最优车队配置和推广努力水平必须同时满足式(31)和式(32).

$$\frac{\partial \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial q} = [p - \varphi_1 c_1]\alpha T(1 - F(q\mu - a - be)) - \varphi_2 c_2 = 0 \quad (31)$$

$$\frac{\partial \Pi_r^s(q, e, \varphi_i)}{\partial e} = [p - \varphi_1 c_1]\alpha T \frac{b}{\mu} F(q\mu - a - be) - (1 - \varphi_3)h'(e) = 0 \quad (32)$$

因此,在集中决策下存在最优解 (q^*, e^*) ,而且式(31)和式(32)是满足集中决策的最优车队配置和推广努力水平.

由式(31)可知,激励契约模型下的最优车队配

置为

$$\bar{F}(q^* \mu - a - be^*) = \frac{\varphi_2 c_2}{(p - \varphi_1 c_1) \alpha T} \quad (33)$$

要使得 $q^* = q^c$, 则必须使它与系统下的最优车队配置相等, 通过求解可得

$$\varphi_2 = \frac{p - \varphi_1 c_1}{p - c_1 + dr} \quad (34)$$

同理, 激励契约模型下的最优推广努力水平为

$$F(q^* \mu - a - be^*) = \frac{(1 - \varphi_3) h'(e^*) \mu}{(p - \varphi_1 c_1) \alpha T b} \quad (35)$$

要使得 $e^* = e^c$, 则必须使它与系统下的最优推

$$\frac{R^*(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r, \varphi_i)}{\Pi^c(q, e)} = \frac{(dr - c_1 + \varphi_1 c_1) \alpha \left[1 - \frac{1}{q\mu} \int_0^{q\mu - a - be} F(\xi) d\xi \right] Tq - (1 - \varphi_2) c_2 q - \varphi_3 h(e)}{(p - c_1 + dr) \alpha \left[1 - \frac{1}{q\mu} \int_0^{q\mu - a - be} F(\xi) d\xi \right] Tq - c_2 q - h(e)} = \rho \quad (38)$$

化简可得

$$\frac{(\varphi_1 - 1) c_1 + dr}{p - c_1 + dr} = 1 - \varphi_2 = \varphi_3 = \rho \quad (39)$$

即证.

通过计算可以求出 $\frac{\partial R^*(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r, \varphi_i)}{\partial \rho} > 0$,

$\frac{\partial \Pi_r^*(q, e, \varphi_i)}{\partial \rho} < 0$. 表明利润分配参数 ρ 越大对政府越有利, ρ 越小对新能源汽车租赁企业越有利. 但是 ρ 的大小由双方的讨价还价能力来决定, 总体而言, 无论 ρ 怎么变化, 系统的总利润维持不变. 证毕.

命题 4.2 当契约参数满足式(40), 可以实现 Pareto 改进.

$$\frac{\Pi_r(q^*, e^*)}{\Pi^c(q^c, e^c)} \leq \varphi_2 \leq 1 - \frac{R(\tau(\lambda(e, \xi), q^*), d, r)}{\Pi^c(q^c, e^c)} \quad (40)$$

证明 假设激励契约具有 Pareto 改进优势, 即契约参数能够使得式(41)和式(42)成立.

$$\Pi_r^*(q, e, \varphi_i) \geq \Pi_r(q, e) \quad (41)$$

$$R^*(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r, \varphi_i) \geq R(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r) \quad (42)$$

首先证明: 式(41) $\Pi_r^*(q, e, \varphi_i) \geq \Pi_r(q, e)$

将式(3)和式(26)分别代入式(41), 可得

$$E\left\{[(p - \varphi_1 c_1) \tau(\lambda(e, \xi), q) T - \varphi_2 c_2] q - (1 - \varphi_3) h(e)\right\} \geq E\left\{[(p - c_1) \tau(\lambda(e, \xi), q) T - c_2] q - h(e)\right\} \quad (43)$$

根据 Pareto 改进的条件, 将式中的 φ_1, φ_3 分别

推广努力水平相等, 通过求解可得

$$\varphi_3 = 1 - \frac{p - \varphi_1 c_1}{p - c_1 + dr} \quad (36)$$

即证.

命题 4.1 在激励契约下可以实现利益柔性分配, 政府和新能源汽车租赁企业的利润分配比例分别为 ρ 和 $1 - \rho$, 其中 ρ 必须满足

$$\frac{(\varphi_1 - 1) c_1 + dr}{p - c_1 + dr} = 1 - \varphi_2 = \varphi_3 = \rho \quad (37)$$

证明 假设 $R^*(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r, \varphi_i) = \rho \Pi^c(q, e)$, 把式(17)和式(27)代入式(37)可得

由 φ_2 来替换, 化简可得

$$\varphi_2 \geq \frac{\Pi_r(q^*, e^*)}{\Pi^c(q^c, e^c)} \quad (44)$$

其次证明: 式(42) $R^*(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r, \varphi_i) \geq R(\tau(\lambda(e, \xi), q), d, r)$

将式(5)和式(27)分别代入式(42), 可得

$$E\left\{(dr - c_1 + \varphi_1 c_1) \tau(\lambda(e, \xi), q) Tq - (1 - \varphi_2) c_2 q - \varphi_3 h(e)\right\} \geq E\left\{\tau(\lambda(e, \xi), q) Tdrq\right\} \quad (45)$$

根据 Pareto 改进的条件, 将式中的 φ_1, φ_3 分别由 φ_2 来替换, 化简可得

$$\varphi_2 \leq 1 - \frac{R(\tau(\lambda(e, \xi), q^*), d, r)}{\Pi^c(q^c, e^c)} \quad (46)$$

综上所述, 契约参数的取值范围为

$$\frac{\Pi_r(q^*, e^*)}{\Pi^c(q^c, e^c)} \leq \varphi_2 \leq 1 - \frac{R(\tau(\lambda(e, \xi), q^*), d, r)}{\Pi^c(q^c, e^c)}. \text{ 即证.}$$

由命题 4.1 和 4.2 可知, 激励契约可以使新能源汽车租赁企业和政府达到双赢的局面, 保证双方均能获得相对稳定的收益, 增强了系统的稳健性, 此外, 在实现 Pareto 改进的状态下, 契约参数如何确定, 则要依据双方的实力和讨价还价能力.

命题 5 当 $\rho = 1 - \frac{\Pi_r(q, e)}{\Pi^c(q, e)}$ 时, 可以满足租赁企业的参与约束, 同时使得政府的环保效益最大化.

证明 由命题4可得,新能源汽车租赁企业获得的利润为: $(1-\rho)\Pi^c(q,e)$,因此汽车租赁企业接受激励契约的参与约束必须满足: $(1-\rho)\Pi^c(q,e) \geq \Pi_r(q,e)$,即必须满足: $\rho \leq 1 - \frac{\Pi_r(q,e)}{\Pi^c(q,e)}$.

由于 $\Pi_r(q,e) < \Pi^c(q,e)$, $0 < 1 - \frac{\Pi_r(q,e)}{\Pi^c(q,e)} < 1$,所以在0~1总能找到相对应的 ρ ,使得成本共担政策下的激励契约成立,同时当 $\rho = 1 - \frac{\Pi_r(q,e)}{\Pi^c(q,e)}$ 时,即可以保证租赁企业的利润不低于无政府补贴政策下的利润,且能使政府的环保效益 $\rho\Pi^c(q,e)$ 达到最大化.即证.

4 算例分析

为了进一步说明所设计的成本共担激励契约的有效性,本节将通过数据仿真作进一步的分析.以云南省昆明市开展新能源汽车租赁业务的一家企业为例进行分析,通过与管理层的实地访谈,根据目前新能源汽车租赁市场的平均租赁价格、单位成本、每天的平均行驶里程等进行数值估算与分析:假设 $p=100$ 元/天, $c_1=40$ 元, $d=200$ km, $c_2=1800$ 元, $r=1.5$ 元/km, $T=120$ 天, $\mu=2$ 人/天, $\alpha=0.5$, $h(e)=30000e^2$,单位时间内的平均需求率 $\lambda(e,\xi)=10+100e+\xi$, ξ 服从均匀分布,且 $\xi \sim U(0,200)$.将以上参数代入基本决策模型,并通过运用Matlab7.0软件,可以得到以下研究结果:

在无政府激励政策模型下,可以求出最优车队配置和推广努力水平 $q^*=130$ 辆, $e^*=1.5$,即存在最优解 (q^*,e^*) ,验证了命题1的正确性.同时根据无政府激励政策下的收益函数可得 $\Pi_r(q,e)=159000$ 元, $R(\tau(\lambda(e,\xi),q),d,r)=2215000$ 元.同理,在集中决策模型下,可得 $q^c=922$ 辆, $e^c=16.5$, $\Pi^c(q,e)=9174000$ 元.通过比较分析发现 $\Pi_r(q,e)+R(\tau(\lambda(e,\xi),q),d,r) < \Pi^c(q,e)$,说明在无政府激励政策模型下不能实现利润最大化,需要通过政府设计一个激励契约才能使得双方实现利益最大化,同时也验证了命题2的正确性.

4.1 组合契约参数 $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$ 对最优决策及利润的影响

由表1可知,契约参数 $\{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3\}$ 无论怎么变化,激励契约下的最优车队配置和推广努力水平始终与集中决策下的相等,能够实现系统最优,证明了命题3的正确性.由命题4.1和4.2可知,新能源汽车租赁企业和政府的利润随着 ρ 的变化而变化,当 ρ 逐渐变大时,政府的利润随之增大,新能源汽车租赁企业的利润则随之减小;当 ρ 逐渐减小时,情况则与之相反.通过计算可得当 ρ 的取值范围为 $0.73 < \rho < 0.83$ 时,可以对系统整体利润进行分配,且系统的总体利润保持不变(验证了命题4.1的正确性).为了使新能源汽车租赁企业和政府能够更好地接受该激励契约,必须保证本文所设计的契约具有帕累托优势,即可以使得 $\Pi_r \geq \Pi_r, R^c \geq R$,下面以契约参数 φ_2 为例进行分析:通过算例分析可得 φ_2 的取值范围为 $0.12 < \varphi_2 < 0.82$.由于激励契约参数的取值范围必须为 $0 < \varphi_i < 1 (i=1,2,3)$,因此只有当 $0.17 < \varphi_2 < 0.27$ 时,此时双方的利益远大于无政府提供激励政策的利益,实现了帕累托改进(验证了命题4.2的正确性).

4.2 a, b 变化时成本共担契约参数 φ_1 对利润的影响分析

根据图1可知,随着契约参数的增加,政府的利润不断增加,新能源汽车租赁企业的利润不断减小,说明政府成本共担的比例越高,获得的收益越小.同时可以看出政府和新能源汽车租赁企业的收益均高于分散决策下的收益,且始终与合作博弈下的一致,因此成本共担契约能够有效协调新能源汽车租赁系统.类比图1可以得到 $a=10, b=100$; $a=15, b=150$ 时的图形,即图2和图3,比较3个图形,可以发现随着市场容量 a 及努力水平敏感系数 b 的提高,成本共担契约 φ_1 不会发生改变,即对其他参数 φ_2, φ_3 也不会产生影响.但是参数 a, b 的变化对政府和新能源汽车租赁企业的收益影响较大, a, b 取值越大,相应的政府和新能源汽车租赁企业的收益也越大; a, b 取值越小,情况与之相反.

表1 激励契约模型下的最优决策($a=10, b=100$)

Table 1 The optimal decision under the incentive contract model ($a=10, b=100$)

| φ_1 | φ_2 | φ_3 | q^s | e^s | Π_r^s | R^s | Π^s |
|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| 0.1 | 0.27 | 0.73 | 922 | 16.5 | 2 446 400 | 6 727 600 | 9 174 000 |
| 0.2 | 0.26 | 0.74 | 922 | 16.5 | 2 344 467 | 6 829 533 | 9 174 000 |
| 0.3 | 0.24 | 0.76 | 922 | 16.5 | 2 242 533 | 6 931 467 | 9 174 000 |
| 0.4 | 0.23 | 0.77 | 922 | 16.5 | 2 140 600 | 7 033 400 | 9 174 000 |
| 0.5 | 0.22 | 0.78 | 922 | 16.5 | 2 038 667 | 7 135 333 | 9 174 000 |
| 0.6 | 0.21 | 0.79 | 922 | 16.5 | 1 936 733 | 7 237 267 | 9 174 000 |
| 0.7 | 0.20 | 0.80 | 922 | 16.5 | 1 834 800 | 7 339 200 | 9 174 000 |
| 0.8 | 0.19 | 0.81 | 922 | 16.5 | 1 732 867 | 7 441 133 | 9 174 000 |
| 0.9 | 0.18 | 0.82 | 922 | 16.5 | 1 630 833 | 7 543 067 | 9 174 000 |
| 1.0 | 0.17 | 0.83 | 922 | 16.5 | 1 529 000 | 7 645 000 | 9 174 000 |

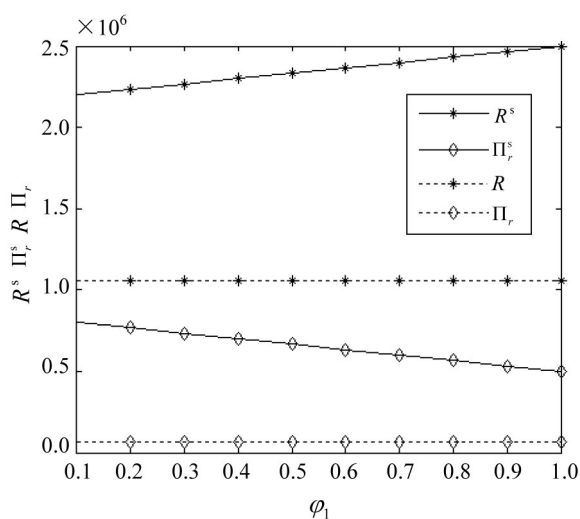


图1 成本共担契约参数 φ_1 对利润的影响($a=5, b=50$)

Fig. 1 The impact on profits of the cost sharing contract parameters φ ($a=5, b=50$)

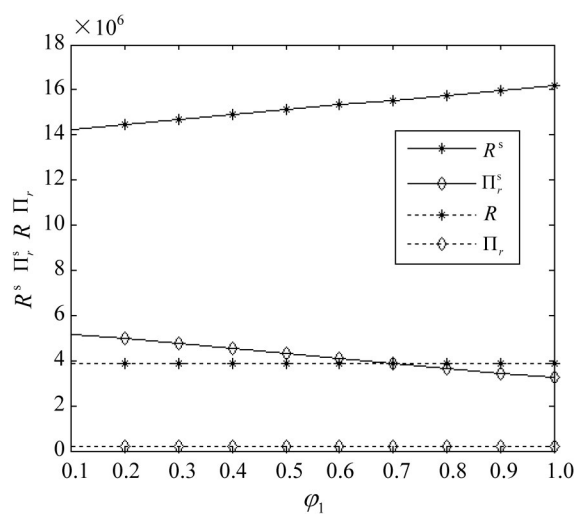


图3 成本共担契约参数 φ_1 对利润的影响

($a=15, b=150$)

Fig. 3 The impact on profits of the cost sharing contract parameters φ ($a=15, b=150$)

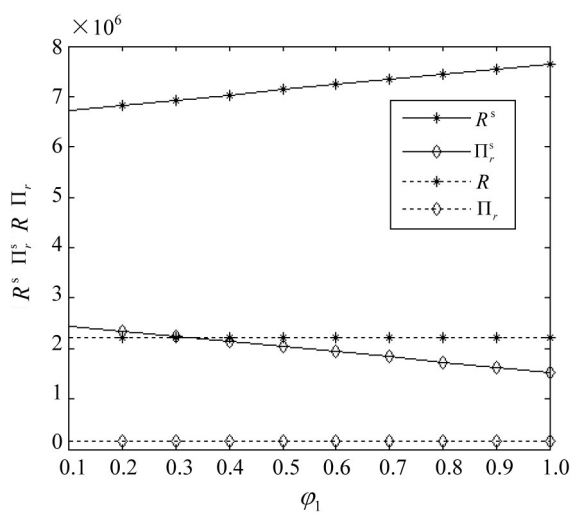


图2 成本共担契约参数 φ_1 对利润的影响 ($a=10, b=100$)

Fig. 2 The impact on profits of the cost sharing contract parameters φ ($a=10, b=100$)

5 结论

本文在需求受推广努力水平影响的情况下,探讨了新能源汽车租赁企业与政府之间的激励机制.在无政府激励政策下的最优车队配置和推广努力水平小于集中决策的情况下,提出了成本共担政策的激励契约模型,通过契约参数的变化来实现系统利益的合理分配.需要指出的是,本文的结论是在一定的假设条件下得出的,推广应用还需要进一步的验证.但针对当前新能源汽车租赁企业和政府的新型合作模式,并采用量化分析的方法将推广努力水平纳入决策变量,将为实际生活中的决策者提供一种新的思路和方法.此外在未来的研究中,将不断增加假设条件,具体考虑信息不对称及风险偏好等问题,从而进行更加深入的探究.

下转第29页