

考虑再制造的报废汽车回收拆解合作决策研究^①

龚本刚¹, 程晋石^{1*}, 程明宝², 公彦德³

(1. 安徽工程大学管理工程学院, 芜湖 241000; 2. 广东工业大学管理学院, 广州 510520;
3. 南京审计大学管理科学与工程学院, 南京 211815)

摘要: 考虑《报废机动车回收拆解管理条例》中涉及再制造的相关建议, 研究了汽车生产商和汽车拆解商之间的报废汽车回收拆解合作决策问题. 依据新车和再制造车的需求替代关系, 构建四种合作模式下的汽车生产商和拆解商的博弈模型, 比较分析了各模式下报废汽车回收拆解的再制造效果、环境影响以及双方利润. 结果表明: 双方完全深度合作时不能保证再制造汽车产量和再制造率的提高; 制造商不提供技术支持时, 拆解商按再制造要求实施拆解可降低两类汽车产品对环境的影响, 且可提高回收拆解活动的环境效果. 《报废机动车回收拆解管理条例》的实施会降低拆解商的利润, 但可采用补偿策略促进两方的深度合作.

关键词: 汽车再制造; 回收拆解; 合作模式; 环境绩效

中图分类号: F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2019)02-0077-15

0 引言

随着汽车产销量和保有量的逐年增加, 我国目前年报废汽车总量已突破 1 000 万辆, 由此带来的一些报废汽车处理问题也受到广泛关注. 例如, 一些报废汽车处理企业随意处理从废车本体上拆解下来的不易回收或拆解的材料(例如掩埋和焚烧), 导致了汽车废料的二次处理成本支出且加剧了环境污染. 据此, 国务院已开始实施修订《国务院 2016 年立法工作计划》中列出的《报废机动车回收拆解管理条例》(简称《条例》)^[1], 旨在规范汽车行业内报废汽车回收拆解活动.

从逆向供应链的角度看, 对报废汽车实施有效的回收拆解是为了更好地完成后续相关活动, 例如汽车再制造. 汽车再制造是将退役的汽车经过专业拆解后, 分选出可再利用和再制造的非易损零部件, 并按制造技术标准恢复其部分零部件原功能, 使其达到甚至超过原件的功效与标准的

生产过程^[2]. 另据 2016 年 9 月发布的《国务院关于修改〈报废汽车回收管理办法〉的决定(征求意见稿)》^[3], 针对报废车辆的“五大总成”再制造将全面解禁, 意味着报废汽车整车再制造已成为现实. 然而, 再制造活动能否顺利实施, 受到政府补贴、碳排放约束和生产成本等内外部因素的影响^[4,5]. 作为汽车逆向供应链有效运营的前期环节, 报废汽车的回收拆解活动的实施效果决定了汽车再制造的材料质量和再制造效果, 这更凸显回收拆解的重要性.

据国外相关法规规定, 报废汽车的回收、拆解以及再制造等活动及其相关责任主要由制造商主导并实施履行^[6]. 为降低闭环供应链的运营风险, 制造商会将部分逆向责任分摊给供应链上的其它企业, 例如以外包等合作形式予以实施^[7]. 当前, 国内市场大量汽车回收拆解企业的出现满足了业内对报废汽车回收拆解的迫切需要, 同时也为汽车制造商分担了部分回收拆解责任. 鉴于

① 收稿日期: 2017-08-07; 修订日期: 2018-08-14.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71671001; 71771002; 71571050); 安徽省自然科学基金资助项目(1808085MG214).

通讯作者: 程晋石(1978—), 男, 安徽淮南人, 博士, 副教授. Email: cjs@ahpu.edu.cn

拆解技术和拆解成本等问题的考量,汽车回收拆解企业与汽车制造商如何实施合作,也是各方需要解决的问题。《条例》也明确鼓励汽车制造商与回收拆解企业建立长期合作关系,希望回收拆解企业考虑按有利于再制造要求对报废汽车实施拆解,进而提高报废汽车回收利用率,同时建议汽车制造商应通过各种渠道公布拆解技术相关信息,为回收拆解企业提供必要的技术支持。显然,这些建议可促进回收拆解与再制造活动的有效衔接,同时也会导致这两方处于决策的两难境地。从拆解商的角度看,其较高的拆解水平和努力程度可增加汽车再制造企业的订单量,但也意味着其必须付出较高的拆解成本;汽车制造商方面,其为拆解企业提供相关技术支持会提高拆解效果,但可能使拆解企业利用此技术将拆解后的零部件高价销售到黑市,对其再制造汽车甚至新汽车产品的产销量造成不良影响。可见,选择恰当的回收拆解合作模式是《条例》有效实施的重要前提。

近期,很多学者从闭环供应链的角度,研究了不同情景下的企业间的合作模式及回收渠道等问题^[8-15]。其中,文献[10]构建了制造商主导且物流外包、制造商主导且物流自营、销售商主导且物流外包、销售商主导且物流自营四种决策模型,得到双方均选择与第三方合作模式时供应链具有稳定性的结论;文献[11]基于废旧产品供应的不确定性分析了推式和拉式两种结构的两级和多级逆向供应链决策问题;文献[13]从闭环供应链(CLSC)的角度,探讨了企业社会责任与社会责任之间的关系,认为回收活动是决定批发价格的一个关键因素。然而,目前报废汽车回收拆解方面的文献主要针对技术的角度实施探讨,涉及合作模式的研究文献较少。如文献[16]认为报废汽车数量的快速增长将促进回收网络的有效运营,但同时需要配备以升级的拆除技术和污染控制措施;文献[17]针对目前中国报废汽车的拆解现状,给出五种拆解方案,并认为拆解企业需要通过手工拆解进行零部件的加工。同时这些文献也表达了汽车拆解企业与其他企业间合作的可能性。

可见,汽车回收拆解供应链上成员间的合作模式、责任归属和利益分配等问题较之于汽车正向供应链更为复杂。汽车闭环供应链有效运行必然基于供应链成员企业间的长期合作,但同时存

在因上下游的交易关系引发企业间的博弈行为。为此,本文将依据《条例》中针对拆解过程考虑再制造的要求,以及汽车制造商对拆解过程给予拆解商技术指导等建议,研究汽车制造商和拆解商之间的四种合作模式(决策组合)问题,具体如下:

1) 由《条例》衍生出的四种拆解合作模式下各方利润和环境绩效如何?

2) 制造商给予拆解商技术支持能否达到《条例》实施的预期目的?

3) 双方最优的拆解合作模式是什么?

基于以上阐述,本文将针对拆解商是否按再制造生产的要求实施废车拆解,以及汽车制造商是否给予拆解商技术支持的问题进行深入研究,旨在探求成员企业间较好的汽车拆解合作模式。依据《条例》归纳的四种决策情形组合(基于汽车制造商是否为拆解商提供技术支持,以及拆解商是否按再制造的要求实施拆解),分别构建博弈模型并比较分析四种情形下的再制造品产量、再制造率、环境绩效以及各方利润。研究发现,《条例》提供的成员企业间的合作建议可提高再制造汽车的产量以及再制造率;在汽车制造商不提供技术支持时,汽车拆解商按再制造的要求对报废汽车实施拆解时其拆解努力对环保的贡献较大;双方的合作会增加制造商的利润,但会降低汽车拆解商的利润。本文主要的贡献是将《条例》中的具体建议归纳为不同的合作模式,通过利润和环保的双重目标比较分析各合作模式的优劣。分析结果可为汽车制造商和拆解商最优的拆解合作模式选择,以及对提高再制造率、环境绩效和利润等方面的决策提供借鉴。

1 问题描述与参数

考虑一个包含新汽车生产、报废汽车回收拆解以及汽车再制造的供应链系统。汽车制造商(automobile manufacturer, AM)同时实施新汽车(N品)和再制造汽车(R品)的生产活动。其中,报废汽车通过汽车拆解商(automobile dismantling enterprise, AD)回收拆解后,AM购入这些拆解后的旧件(包括汽车“五大总成”)实施再制造生产,

然后将包含再制造件的再制造汽车重新投入市场。由《条例》中所给出的关于 AM 和 AD 之间合作的建议，双方将分别面对两个决策选择，即 AD 是否按再制造的要求实施拆解活动，以及 AM 是否给予 AD 一定的技术支持。此时存在如下四种情形（如图 1 所示）：1) AD 不按再制造要求实施拆解且 AM 不提供技术支持，即双方没有合作；2) AD 处于市场劣势地位，其依照 AM 的要求按再制造要求拆解且 AM 不提供技术支持；3) AD 可能是某区域内唯一具有拆解资格的企业，故 AM 将对其提供技术支持，但 AD 为降低成本不按再制造要求实施拆解；4) 双方深度合作，AD 按再制造要求实施拆解且 AM 提供技术支持。上述四种情形用 (i, j) 情形来表示，其中 $i = 0$ 或 1 代表 AM 不给予或给予 AD 技术支持， $j = 0$ 或 1 代表 AD 不按照或按照再制造要求实施拆解。假设 AM、AD 和顾客之间的交易行为发生在单周期，而非发生在多个周期。

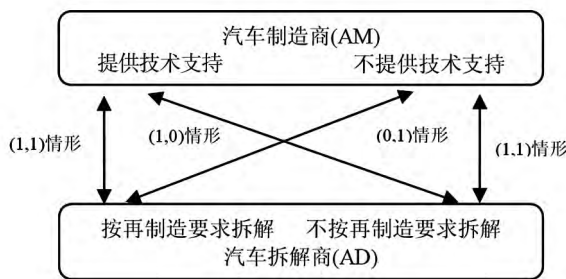


图 1 四种回收拆解合作模式

Fig. 1 Four cooperation modes of collection and dismantling

参数设置如下：

p_N 和 p 分别为 N 品和 R 品的单价；依据文献 [18] 本文选取产量作为决策变量，令 q_N 和 q 分别为两类汽车产品的产量（AM 的决策变量）； 1 和 β 分别为 N 品和 R 品的消费者购买意愿（will- ingness to pay, WTP），这里有 $0 < \beta < 1$ ，即 R 品的 WTP 不会超过 N 品。根据文献 [18] 的思想，得到这两类汽车产品的需求替代关系为 $p_N = Q - q_N - \beta q$ ， $p = \beta(Q - q_N - q)$ ，其中 Q 为汽车市场潜在需求量。

关于转移价格（报废车拆解后的交易价格）有如下参数设置。（0, 0）情形下，AD 将回收的报废车辆实施拆解后，以 $p_0 + ae$ 的单位转移价格销

售给 AM，其中 p_0 ($p_0 > 0$) 为 AD 从市场上回收的报废汽车的单价， e ($e > 0$) 为 AD 的拆解努力（AD 的决策变量）， a ($a > 0$) 为转移价格对 AD 拆解努力增加的敏感度，这里假设 $p_0 < \beta c_n - c_m$ ，即从用户处回收的报废汽车价格不能过高，其中 c_m 为 AM 直接对没有经过 AD 拆解的报废汽车实施再制造生产的单位成本， c_n 为 N 品的单位生产成本；(0, 1) 情形下，单位转移价格为 $p_0 + a(e + k)$ ，其中 k 为 AD 因按再制造的要求实施拆解的努力增加值带来的额外收益因子；(1, 0) 情形下，单位转移价格为 $p_0 + a(e - t)$ ，其中 t ($t > 0$) 为 AM 对 AD 不按再制造要求的惩罚因子，为 $p_0 + a(e - t)$ ；(1, 1) 情形下，因双方的深度合作，单位转移价格为 $p_0 + a(e + k + t)$ ，在不影响分析的基础上，假定奖励 t 前面的符号为正，即 t 转化为奖励因子。这里需要说明的是 (0, 1) 情形的转移价格要低于 (1, 1) 情形，说明 (0, 1) 情形下 AD 的市场地位较低，无法从 AM 处得到奖励。

这里，考虑双方的生产成本，参考文献 [19]，将双方单位成本的形式设定为“成本 (1 + 影响参数 X 努力水平)”的形式。(0, 0) 情形下，AD 的单位拆解成本为 $c_d(1 + be)$ ，其中 c_d 为 AD 正常实施拆解作业时的单位成本， b 为 AD 的努力程度对其拆解成本增加的影响；(0, 1) 情形下，AD 的单位拆解成本则为 $c_d(1 + b(e + s))$ ，其中 s 为 AD 按再制造要求实施拆解时努力水平的增加值；(1, 0) 情形下，AD 的单位拆解成本为 $c_d(1 + b(e - T))$ ，其中 T 为 AD 接受 AM 技术支持后的单位报废车辆的拆解努力水平降低值；(1, 1) 情形下，AD 的单位拆解成本为 $c_d(1 + b(e + s - T))$ 。AM 方面，其 N 品的单位生产成本为 c_n ，在 (0, 0) 情形和 (1, 0) 情形下，其 R 品单位生产成本为 $c_m(1 - de)$ ，其中 d 为 AD 拆解努力的增加对再制造成本降低的影响；(0, 1) 情形和 (1, 1) 情形下，其 R 品的单位生产成本为 $c_m(1 - d(e + s))$ 。借鉴文献 [20] 关于回收努力成本函数设计方法的描述，假设 AD 实施回收拆解的固定成本为其拆解努力水平的二次函数形式，即 $ce^2/2$ ，其中 c 表示一个较大的正数，表明其努力水平的增加会使其固定成本急剧增加。

表1 参数符号汇总表
Table 1 Parameters and notations

参数	含义	参数	含义
p_N, p	新车、再制造车的单价	k	拆解商因按再制造的要求实施拆解的努力增加值带来的额外收益因子
q_N, q	新车、再制造车的产量	t	奖惩因子
e	拆解商的拆解努力	s	拆解商按再制造要求实施拆解时努力水平的增加值
a	转移价格对拆解商拆解努力增加的敏感度	T	拆解商接受汽车制造商的技术支持后的单位报废汽车的拆解努力水平降低值
β	R 品的消费者购买意愿	c	较大的正数
Q	汽车市场潜在需求量	$\pi_M^{*(i,j)}$	汽车制造商在各情形下的利润
p_0	拆解商从市场上回收汽车的单价	$\pi_D^{*(i,j)}$	汽车拆解商在各情形下的利润
c_n	新车的单位生产成本	$R^{*(i,j)}$	各情形下的再制造率
c_d	拆解商正常实施拆解作业时的单位拆解成本	$S^{*(i,j)}$	各情形下所有产品对环境的总影响
c_m	制造商直接对没有经过拆解商拆解汽车实施再制造生产的单位成本	H, h	单位 N 品, 单位 R 品对环境造成的影响
b	拆解商努力程度的增加对其拆解成本增加的影响	$E^{*(i,j)}$	各情形下单位拆解努力对产品环境影响的贡献率
d	拆解商拆解努力对再制造成本降低的影响	A	补贴

2 汽车拆解合作博弈模型

2.1 AM 不提供技术支持且 AD 不按再制造要求拆解—(0,0) 情形

这种情形表明双方合作程度较浅,只存在简单的交易关系.依据参数描述,此时 AM 和 AD 的利润分别为

$$\pi_M^{(0,0)} = p_N q_N + (p - c_m(1 - de) - p_0 - ae) q \quad (1)$$

$$\pi_D^{(0,0)} = (ae - c_d(1 + be)) q - \frac{1}{2} ce^2 \quad (2)$$

双方的决策顺序如下:首先 AM 决定 N 品和 R 品的产量,随后 AD 根据 AM 的产量决策确定自身的拆解努力水平.由于该博弈为完全信息动态博弈,其均衡是子博弈精炼纳什均衡.其他三种情形下双方决策顺序也相同.所以,采用逆向归纳法来求解并得到命题 1.

命题 1 (0,0) 情形下 N 品产量、R 品产量、拆解努力水平以及 AM 和 AD 的利润分别为

$$q_N^{*(0,0)} = \frac{\left\{ \begin{aligned} &(a - bc_d)(a - dc_m)(Q - c_n) - \\ &c\beta^2 Q + c\beta(Q + c_m - c_n + p_0) \end{aligned} \right\}}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (3)$$

$$q^{*(0,0)} = \frac{c(\beta c_n - c_m - p_0)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (4)$$

$$e^{*(0,0)} = \frac{(a - bc_d)(\beta c_n - c_m - p_0)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (5)$$

$$\pi_M^{*(0,0)} = (c_m d - c_m - ae^{*(0,0)} - p_0 + \beta Q) q^{*(0,0)} - \beta (q^{*(0,0)})^2 + (Q - c_n - 2\beta q^{*(0,0)}) \times q_N^{*(0,0)} - (q_N^{*(0,0)})^2 \quad (6)$$

$$\pi_D^{*(0,0)} = (ae^{*(0,0)} - c_d(1 + be^{*(0,0)}))q^{*(0,0)} - \frac{1}{2}c(e^{*(0,0)})^2 \quad (7)$$

证明 见附录.

对命题 1 的各决策最优均衡解进行分析, 考虑到 $p_0 < \beta c_n - c_m$, 可得如下结论.

推论 1 $a > bc_d$ 且 $c_m < \frac{abc_d + c\beta^2 - c\beta - a^2}{bdc_d - ad}$.

证明 见附录.

由推论 1 可知, 报废汽车的市场回收价不能过高是实施汽车再制造生产的先决条件, 但还须保证 $a > bc_d$. 此外, 当单位再制造成本必须小于某值时, 才能保证拆解商付出努力. 由不等式得到, 当 $\beta > 0.5$ 时, β 越大, $c_m < \frac{abc_d + c\beta^2 - c\beta - a^2}{bdc_d - ad}$ 成立的可能性越大, 说明再制造汽车的市场认可度较高时, 才可以保证拆解商的努力水平及后续汽车再制造活动的顺利实施.

由此, 得到推论 2.

推论 2 (0, 0) 情形下, p_0 与 $q^{*(0,0)}$ 和 $e^{*(0,0)}$ 成反比, 与 $q_N^{*(0,0)}$ 成正比; c_n 与 $q^{*(0,0)}$ 和 $e^{*(0,0)}$ 成正比, 与 $q_N^{*(0,0)}$ 成反比; c_m 与 $q^{*(0,0)}$ 和 $e^{*(0,0)}$ 成反比, 与 $q_N^{*(0,0)}$ 成正比; c_d 与 $e^{*(0,0)}$ 成反比, 但当 $a > dc_m$ 时, 其与 $q^{*(0,0)}$ 成正比且与 $q_N^{*(0,0)}$ 成反比.

证明 见附录.

推论 2 表明, 当双方合作深度较低时, 报废汽车的回收价越高, AD 的努力水平就越低, 且导致 AM 的 R 品产量越低, 同时会使 AM 转向 N 品的生产. 此外, N 品生产成本增加反而会刺激 AD 拆解努力水平的增加. 此处较有意思的是, 当 $a > dc_m$ 时, 基础拆解成本的增加却能促进 R 品产量的增加. 这可以解释为较大的 a 意味着其拆解毛利将大幅增加, 虽然 c_d 的增加会导致 $e^{*(0,0)}$ 的降低, 但却可以使 AM 增加其报废汽车拆解件的订单量.

2.2 AM 不提供技术支持且 AD 按再制造要求拆解—(0, 1) 情形

此小节将讨论 AD 刚进入回收拆解市场, 其市场地位较弱的情形. 此时, AM 要求其对于报废车按再制造要求拆解, 并因技术保密等原因不提供

技术支持. 所以, 双方利润函数分别为

$$\pi_M^{(0,1)} = p_N q_N + (p - c_m(1 - d(e + s)) - p_0 - a(e + k))q \quad (8)$$

$$\pi_D^{(0,1)} = (a(e + k) - c_d(1 + b(e + s))) \times q - \frac{1}{2}ce^2 \quad (9)$$

同样, 采用逆向归纳法进行求解, 得到命题 2.

命题 2 (0, 1) 情形下, 各决策最优值及双方最优利润为

$$q_N^{*(0,1)} = \frac{\{(a - bc_d)(a - dc_m)(Q - c_n) - c\beta^2 Q + c\beta(Q + c_m - c_n + p_0 + ak - dc_m s)\}}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (10)$$

$$q^{*(0,1)} = \frac{c(\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (11)$$

$$e^{*(0,1)} = \frac{(a - bc_d)(\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (12)$$

$$\pi_M^{*(0,1)} = -ae^{*(0,1)}q^{*(0,1)} - akq^{*(0,1)} - p_0q^{*(0,1)} + q_N^{*(0,1)} - c_nq_N^{*(0,1)} - (q_N^{*(0,1)})^2 + \beta q^{*(0,1)} \times (1 - q^{*(0,1)} - 2q_N^{*(0,1)}) - c_mq^{*(0,1)} \times (1 - d(e^{*(0,1)} + s)) \quad (13)$$

$$\pi_D^{*(0,1)} = (a(e^{*(0,1)} + k) - c_d(1 + b(e^{*(0,1)} + s))) \times q^{*(0,1)} - \frac{1}{2}c(e^{*(0,1)})^2 \quad (14)$$

证明 同命题 1 的证明, 这里不再赘述.

同样对各决策最优值进行分析, 得到如下结论.

推论 3 (0, 1) 情形下, 若确保汽车再制造的实施, 必须有 $p_0 < \beta c_n - c_m + c_m ds - ak$.

证明 见附录.

推论 3 进一步说明报废汽车的低回收价是保证 (0, 1) 情形下再制造实施的条件. 另外, 若 $c_m ds - ak > 0$ 表明 $p_0 < \beta c_n - c_m - ak + c_m ds$ 一定成立, 即 (0, 1) 情形下对 p_0 的要求相对宽松; 若 $c_m ds - ak < 0$, 表明 $p_0 < \beta c_n - c_m - ak + c_m ds$ 必须成立, 即 (0, 1) 情形下 p_0 应比 (0, 0) 情形下更小, 才能保证 (0, 1) 情形代表的合作模式顺利实施. 这说

明,当 AD 按再制造要求实施拆解时,需要通过较低 p_0 来抵消因按再制造要求实施拆解导致的成本增加.

推论 4 $k(s)$ 与 $q^{*(0,1)}$ 成反(正)比,与 $q_N^{*(0,1)}$ 成正(反)比,与 $e^{*(0,1)}$ 成反(正)比.

证明 见附录.

推论 4 表明,当 AM 不提供技术支持时,AD 若按再制造的要求实施拆解,其额外收益增加会使 R 品的产量降低,并会增加 N 品的产量.这说明, k 的增加意味着 AM 要给予更多的转移价格给 AD,所以导致 R 品的产量下降,这也较符合常理.然而, k 的增加却使 AD 的努力水平降低,且因按再制造要求实施拆解导致成本的增加(s)却可以使 AD 的努力水平增加,这说明 AD 按再制造要求拆解时额外收益增加和拆解成本减少并不能保证其自身的努力程度的增加.

2.3 AM 提供技术支持且 AD 不按再制造要求拆解—(1,0)情形

此情形表明 AM 虽然给予 AD 一定的技术支持,但 AD 却因一些原因没能按照再制造的要求实施拆解,其原因可能因为 AM 提供的技术支持无法达到其要求的拆解精度,或因拆解过程中操作人员的技术和责任心不高.所以,AM 将以较低的价格购买拆解后的报废汽车,这里 t 代表 AM 对 AD 的惩罚.此时,双方的利润函数分别为

$$\pi_M^{(1,0)} = p_N q_N + (p - c_m(1 - de) - p_0 - a(e - t))q \quad (15)$$

$$\pi_D^{(1,0)} = (a(e - t) - c_d(1 + b(e - T)))q - \frac{1}{2}ce^2 \quad (16)$$

同样,根据逆向归纳法,得到命题 3.

命题 3 (1,0)情形下,各决策最优值及各方最优利润为

$$q_N^{*(1,0)} = \frac{\{(a - bc_d)(a - dc_m)(Q - c_n) - c\beta^2 Q + c\beta(Q + c_m - c_n + p_0 - at)\}}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (17)$$

$$q^{*(1,0)} = \frac{c(\beta c_n - c_m - p_0 + at)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (18)$$

$$e^{*(1,0)} = \frac{(a - bc_d)(\beta c_n - c_m - p_0 + at)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)} \quad (19)$$

$$\pi_M^{*(1,0)} = (\beta - c_m - ae^{*(1,0)} + dc_m e^{*(1,0)} + at) \times q^{*(1,0)} - \beta(q^{*(1,0)})^2 + (1 - c_n - 2\beta q^{*(1,0)})q_N^{*(1,0)} - (q_N^{*(1,0)})^2 \quad (20)$$

$$\pi_D^{*(1,0)} = (a(e^{*(1,0)} - t) - c_d(1 + b(e^{*(1,0)} - T))) \times q^{*(1,0)} - \frac{1}{2}c(e^{*(1,0)})^2 \quad (21)$$

证明 同命题 1 的证明,这里不再赘述.

同样,经过分析得到如下结论.

推论 5 (1,0)情形下, t 与 $q^{*(1,0)}$ 成正比,与 $q_N^{*(1,0)}$ 成反比;与 $e^{*(1,0)}$ 成正比.

证明 见附录.

推论 5 表明,此时惩罚参数起到意想不到的作用,即其值越大,反而可以刺激 R 品的产量增加,也会提高 AD 的拆解努力水平.

推论 6 AM 若惩罚 AD,有 $q^{*(0,0)} < q^{*(1,0)}$ 、 $q_N^{*(1,0)} < q_N^{*(0,0)}$ 和 $e^{*(0,0)} < e^{*(1,0)}$;若不惩罚 AD,则有 $q^{*(0,0)} = q^{*(1,0)}$ 、 $q_N^{*(0,0)} = q_N^{*(1,0)}$ 和 $e^{*(0,0)} = e^{*(1,0)}$.

证明 比较命题 3 与命题 1,易得到推论 6.

推论 6 表明,在(1,0)情形下,若 AM 惩罚 AD 较之于(0,0)情形反而会使 R 品产量增加,并可促进 AD 努力水平的提高,但这种惩罚措施却会影响到 N 品的产量.若 AD 不按再制造的要求拆解,即使 AM 给予 AD 技术支持并且不考虑惩罚 AD,此时与不提供技术支持时两类产品的产量是相同的.较有趣的是,虽然此时 AD 的拆解成本相对降低,但却无法促进其拆解努力水平.

2.4 AM 提供技术支持且 AD 按再制造要求拆解—(1,1)情形

此时,AM 和 AD 已经达成稳定的合作关系,完全依据《条例》中的要求,按再制造的生产需要对报废汽车进行拆解. AM 按 t 的标准向 AD 给付奖励.所以,双方的利润函数分别为

$$\pi_M^{(1,1)} = p_N q_N + (p - c_m(1 - d(e + s)) - p_0 - a(e + k + t))q \quad (22)$$

$$\pi_D^{(1,1)} = (a(e + k + t) - c_d(1 + b(e + s - T))) \times q - \frac{1}{2}ce^2 \quad (23)$$

同样,根据逆向归纳法,得到命题 4.

命题 4 (1,1)情形下,各决策最优值及各

方最优利润为

$$q_N^{*(1,1)} = \frac{\{(a - bc_d)(a - dc_m)(Q - c_n) - c\beta^2 Q +\}}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m)} \quad (24)$$

$$q^{*(1,1)} = \frac{c(\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds - at)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m)} \quad (25)$$

$$e^{*(1,1)} = \frac{(a - bc_d)(\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds - at)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m)} \quad (26)$$

$$\pi_M^{*(1,1)} = (Q - c_n - \beta q^{*(0,1)} - q_N^{*(0,1)}) q_N^{*(0,1)} - q^{*(0,1)}(a(e^{*(0,1)} + k + t) + p_0 + \beta q^{*(0,1)} - \beta Q + \beta q_N^{*(0,1)} + c_m(1 - d(e^{*(0,1)} + s))) \quad (27)$$

$$\pi_D^{*(1,1)} = (a(e^{*(1,1)} + k + t) - c_d(1 + b(e^{*(1,1)} + s - T))) \times q^{*(1,1)} - \frac{1}{2}c(e^{*(1,1)})^2 \quad (28)$$

证明 同命题 1 的证明 这里不再赘述.

经过分析 得到如下结论.

推论 7 有 $t + k < \frac{\beta c_n - c_m - p_0 + c_m ds}{a}$ 且 t

和 k 与 $q^{*(1,1)}$ 成反比 与 $q_N^{*(1,1)}$ 成正比; 与 $e^{*(1,1)}$ 成反比.

证明 见附录.

推论 7 表明 AD 获得的奖励和额外收益之和必须有个上限 才能保证汽车逆向供应链的有效运营 即 AM 给予 AD 的转移价格不能无限制地增加 否则将促使 AD 不愿意付出较高的拆解努力 即容易导致企业骗取补贴的不当行为. 例如 有调查显示欧洲一些经营废旧品处理业务的企业存在着骗取政府补贴的现象^[21]. 虽然 AM 给予 AD 额外奖励 但增加奖励额度时却反而会使 R 品产量下降 同时使 N 品的产量增加. 从计算上来看推论 7 与推论 4 的数学表达式相同 但其反映的管理启示有所区别.

推论 8 $t < \frac{\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds}{ac}$.

证明 见附录.

推论 8 表明 在双方深度合作的情况下 奖惩

因子 t 不能过高 否则会使 AD 的努力水平下降 从而影响双方合作. 另可发现 k 越小则推论 8 成立的可能性越大. 结合 $e^{*(1,1)} > 0$ (得到推论 8 的条件之一) 得到当双方深度合作时 AD 额外的收益 k 不能太高 这样才可以保证努力水平 且可保证奖励 t 处于可控范围内. 反之 则不能保证 AD 给付较高的拆解努力水平 这同样印证了市场上存在部分企业骗取政府补贴的现象.

本节对各情形下各方决策最优值进行了分析. 从《条例》的内容看 创造利于汽车再制造条件是其实行的最终目的. 这其中有两层含义. 其一 要考虑哪种情形下的再制造率最高? 如何提高(降低)每种情形的再制造率(环境影响)? 其二 哪种情形下双方的利润最大 从而更加利于再制造的长期实施. 后面将对此问题做进一步探讨.

3 再制造效果分析

本节将分别对各情形下的 R 品产量和再制造率进行比较分析 旨在探求达到《条例》所追求的以回收拆解活动促进汽车再制造生产的条件. 从按再制造要求这个条件来看 直观的排序应该是 (0, 1) 情形优于 (0, 0) 情形和 (1, 0) 情形 并且这三种情形都要劣于 (1, 1) 情形. 下面就对各情形下再制造效果进行分析.

3.1 R 品产量的比较

通过对各情形下汽车 R 品的产量进行两两比较 得到命题 5.

命题 5 当 $dc_m s < ak$ 时 $q^{*(1,1)} < q^{*(0,1)} < q^{*(0,0)} < q^{*(1,0)}$; 当 $ak < dc_m s < a(k + t)$ 时 $q^{*(1,1)} < q^{*(0,0)} < q^{*(0,1)} < q^{*(1,0)}$; 当 $a(k + t) < dc_m s < a(k + 2t)$ 时 $q^{*(0,0)} < q^{*(1,1)} < q^{*(1,0)} < q^{*(0,1)}$; 当 $a(k + 2t) < dc_m s$ 时 $q^{*(0,0)} < q^{*(1,0)} < q^{*(1,1)} < q^{*(0,1)}$.

证明 见附录.

可以得到 无论何种条件下 较于之其他三种情形下的再制造产量 $q^{*(1,1)}$ 都不是最大的 这表明双方完全合作模式并不会促进 R 品产量的提高. 在任何条件下当双方完全不合作时 R 品的产量也不会高于其他情形 这证明《条例》的实施可

以促进 R 品产量增加. 另发现,大部分条件下 $q^{*(0,1)}$ 都较高,说明 AD 按再制造要求实施拆解时,虽然 AM 未给予其技术指导,但 AD 可通过提高自身努力水平的方式增加拆解量以求获取利润. 由命题 5 中第四个不等式条件可以发现,当奖惩因子 t 较小时, $q^{*(1,1)}$ 大于 $q^{*(1,0)}$ 的可能性越大,此时 AD 对再制造的贡献才能得到体现,说明奖惩幅度过大并不利于 R 品产量的提高;同时发现当 c_m 较大时, $q^{*(1,1)}$ 大于 $q^{*(1,0)}$ 的可能性越大,这说明当再制造成本不能保证 R 品产量增加时,必须由 AD 的回收拆解活动来进行弥补.

3.2 再制造率的比较

采用 $R^{*(i,j)} = q^{*(i,j)} / q_N^{*(i,j)}$ 代表各情形下的再制造率,其中 $i = 0$ 或 $1, j = 0$ 或 1 . 由于各情形之间再制造率差值的解析式较为复杂,故通过数值分析来探求各情形下再制造率的变化规律. 根据各模型中包含参数的不同,考虑将四种情形两两进行比较的方式来探求其管理启示. 依据各参数之间的比例关系,有这些参数的基础赋值为 $Q = 1\ 000, c_n = 80, c_m = 25, c_d = 20, p_0 = 10, \beta = 0.6, a = 100, b = 0.6, d = 0.5, c = 300, t = 1, s = 5, k = 0.5$ 和 $T = 2.5$,其中 t, s 和 k 依据不同情形间的比较充当变化参数.

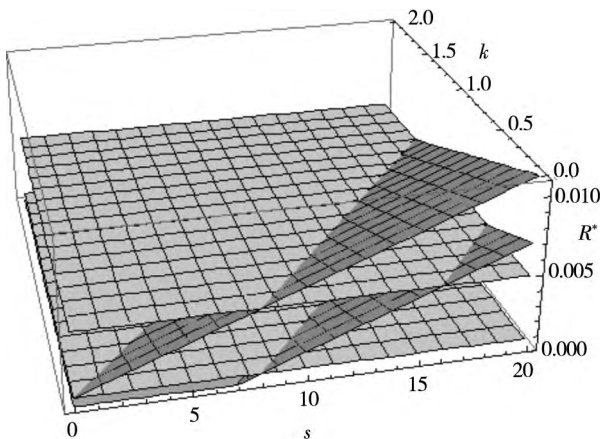


图2 k和s的变化对再制造率的影响

Fig. 2 The changes of k and s influencing on remanufacturing ratios

图2中与 R^* 轴相交的四个面由低到高分别为 $R^{*(0,0)}, R^{*(1,0)}, R^{*(1,1)}$ 和 $R^{*(0,1)}$,由此得到结论1.

结论1 基于以上基础赋值,当 k 较小且 s 较大时, $R^{*(0,0)}$ ($R^{*(0,1)}$) 处于较低(高)的水平;另

外, $R^{*(1,0)}$ 始终大于 $R^{*(0,0)}$ 且 $R^{*(1,1)}$ 小于 $R^{*(0,1)}$;在 k 和 s 的某些取值范围内, $R^{*(1,0)}$ 会大于 $R^{*(0,1)}$.

由图2中 $R^{*(0,0)}$ 面较低可以得到,《条例》的实施具有一定的环保效果. 在 AM 不给予技术支持的情况下,AD 若按再制造要求实施拆解,其从 AM 处获得的额外收益(k)并不能保证再制造率的提高,只有当这种奖励较小且努力水平增加值(s)较大时,才会使此时的再制造率达到较高水平. 这也说明此时 k 对再制造率的贡献要劣于 s . 另外, (1,1) 情形下再制造率并不是最优的,但要优于双方完全不合作时的情形.

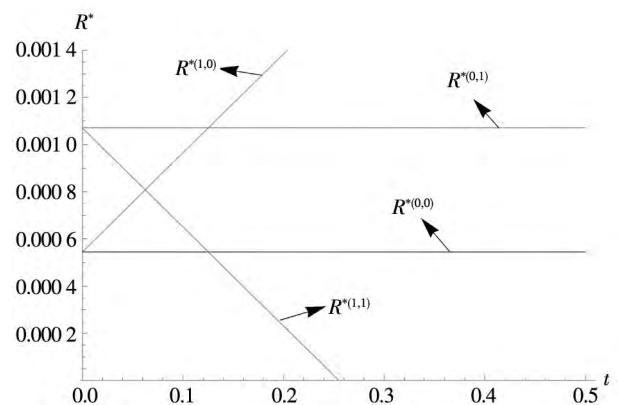


图3 t的变化对再制造率的影响

Fig. 3 The change of t influencing on remanufacturing ratio

结论2 基于以上基础赋值, t 与 $R^{*(1,0)}$ 成正比,与 $R^{*(1,1)}$ 成反比; $R^{*(0,1)}$ 始终大于 $R^{*(0,0)}$ 和 $R^{*(1,1)}$;但当 t 较大时, $R^{*(0,1)}$ 会小于 $R^{*(1,0)}$.

由结论2可知,AD 按再制造要求实施拆解时,或 AM 给予 AD 技术支持时,相比于双方完全不合作时的再制造率都有所提高,这也表明了《条例》实施的必要性; t 在 (1,0) 情形下代表惩罚,此时 t 的增加会促使再制造率有所提高,然而现实中 t 不可能一直增加下去,否则会迫使 AD 放弃拆解业务. 而 (1,1) 情形下随着 t (此时为奖励)的增加,再制造率反而会下降,并且有可能低于双方完全不合作时的水平,表明双方深度合作时不能给予 AD 过高的奖励,否则会影响《条例》的实施效果.

由结论1,结论2发现,基于以上基础赋值, (0,1) 情形的再制造率相对较高, (0,0) 情形的再制造率较低. 这说明《条例》要求 AD 按再制造

要求实施拆解的建议是有其现实意义的. 较意外的是, 双方深度合作时再制造率并不一定会升高. 其中的原因可能是, 双方的深度合作导致 AM 汽车产品市场认同度增加, 从而促进了其 N 品的产量, 因市场容量的有限导致 R 品的数量减少. 另外, 除了再制造率以外, 汽车生产全过程对环境造成的影响也是衡量汽车回收拆解以及环境绩效的重要因素. 所以, 下面将讨论各合作模式下生产过程对环境的影响.

4 环境影响比较分析

4.1 环境影响

本小节研究四种情形下两类产品对环境造成影响的排序问题. 参考文献 [22 - 23] 的定义, 引入参数 H 和 h 分别表示单位 N 品和单位 R 品对环境造成的影响 (包括两类生产和使用时对环境的影响). S 代表各情形下所有产品对环境的总影响. 得到各情形下两类产品对环境造成的总影响为 $S^{*(i,j)} = Hq_N^{*(i,j)} + hq^{*(i,j)}$, 其中 $i = 0$ 或 1 和 $j = 0$ 或 1 的组合代表各情形. 得到命题 6.

命题 6 1) 当 $h > \beta H$ 时, 若 $ak > dc_m s$, 得到 $S^{*(1,1)} < S^{*(0,1)} < S^{*(0,0)} < S^{*(1,0)}$; 若 $a(k+2t) < dc_m s$, 得到 $S^{*(0,0)} < S^{*(1,0)} < S^{*(1,1)} < S^{*(0,1)}$; 若 $a(k+t) < dc_m s < a(k+2t)$, 得到 $S^{*(0,0)} < S^{*(1,1)} < S^{*(1,0)} < S^{*(0,1)}$; 若 $ak < dc_m s < a(k+t)$, 得到 $S^{*(1,1)} < S^{*(0,0)} < S^{*(0,1)} < S^{*(1,0)}$.

2) 当 $h < \beta H$ 时, 若 $ak > dc_m s$, 得到 $S^{*(1,0)} < S^{*(0,0)} < S^{*(0,1)} < S^{*(1,1)}$; 若 $a(k+2t) < dc_m s$, 得到 $S^{*(0,1)} < S^{*(1,1)} < S^{*(1,0)} < S^{*(0,0)}$; 若 $a(k+t) < dc_m s < a(k+2t)$, 得到 $S^{*(0,1)} < S^{*(1,0)} < S^{*(1,1)} < S^{*(0,0)}$; 若 $ak < dc_m s < a(k+t)$, 得到 $S^{*(1,0)} < S^{*(0,1)} < S^{*(0,0)} < S^{*(1,1)}$.

证明 见附录.

由命题 6 可知, $h > \beta H$ 的情形代表 R 品对环境的影响较大, 此时 (0, 0) 情形和 (1, 1) 情形对环境的影响较小, 即若要考虑汽车生产、回收拆解以及再制造活动对环境的总影响, 建议双方完全不合作或者深度合作. 这说明当 $h > \beta H$ 时, (0,

0) 情形下 AD 的收益较低 ($a(k+t)$ 较小), 从而影响 AD 的拆解努力, 最终导致 AM 不会生产较多的 R 品, 这反而会使总的环境影响最小; 另一方面, $h < \beta H$ 时, AM 与 AD 深度合作也可使所有产品对环境的影响最小, 但此时的条件是 AD 收益需要得到保证 ($a(k+t)$ 较大). $h < \beta H$ 表示 R 品对环境的影响较小, 此时 (0, 1) 情形和 (1, 0) 情形呈现出较低的环境影响. 命题 5 表明 (0, 1) 情形下的 R 品产量最高, 但此时要保证 AD 的期望收益不高, 才能使两类汽车生产行为对环境的总影响才最小.

4.2 拆解努力对环境的影响的作用

《条例》实施的主要目的是使拆解企业的拆解活动对汽车再制造活动产生正面影响, 并促进拆解企业生产行为的环保效果. 本节将比较各情形下单位拆解努力下环境影响的大小. 同样, 采用 H 和 h 分别表示单位 N 品和单位 R 品对环境造成的影响 (包括两类汽车生产和使用时对环境的影响). 另外, 令 $E^{*(i,j)} = (Hq_N^{*(i,j)} + hq^{*(i,j)}) / e^{*(i,j)}$ (其中 $i = 0$ 或 1 和 $j = 0$ 或 1) 为各情形下单位拆解努力下汽车产品环境影响. E 越小, 说明 AD 拆解努力的环保效果更高. 由此, 可得到命题 7.

命题 7 当 $dc_m s > a(k+2t)$ 时, 有 $E^{*(0,1)} < E^{*(1,1)} < E^{*(1,0)} < E^{*(0,0)}$; 当 $a(k+t) < dc_m s < a(k+2t)$ 时, 有 $E^{*(0,1)} < E^{*(1,0)} < E^{*(1,1)} < E^{*(0,0)}$; 当 $ak < dc_m s < a(k+t)$ 时, 有 $E^{*(1,0)} < E^{*(0,1)} < E^{*(0,0)} < E^{*(1,1)}$; 当 $dc_m s < ak$ 时, 有 $E^{*(1,0)} < E^{*(0,0)} < E^{*(0,1)} < E^{*(1,1)}$.

证明 见附录.

由命题 7 发现, 多数情况下 $E^{*(0,0)}$ 都处于较高水平, 说明 (0, 0) 情形下拆解努力对环保效果的贡献较小. 也可发现, $E^{*(0,1)}$ 在很多情况下处于较低水平, 这说明若 AD 按再制造的要求实施汽车拆解时, 拆解努力的环保效果较高, 说明《条例》的有效性. 另外, $dc_m s$ 代表 AD 按再制造的要求实施拆解给 AM 带来的成本降低值, 其所处的区间对于排序有一定的影响, 可见当此值很大时, 拆解努力对环保的贡献较大, 反之则较小. 其中 ak 、 $a(k+t)$ 和 $a(k+2t)$ 代表不同情形下 AD 的毛利, 可以发现当毛利较大时 ($dc_m s < ak$), AD

按再制造的要求实施拆解的行为却使拆解努力的环保贡献处于较低的水平,而当毛利较小时 ($dc_m s > a(k+2t)$) ,则相反. 此结论表明,当AD的毛利较小且 $dc_m s$ 较大时,《条例》要求按再制造拆解时提高拆解效果的目标才会实现,这说明拆解合作目的是为了保证再制造活动的顺利实施,但此时较少的毛利也会影响AD的利润. 下一节,将比较分析不同合作模式下两方的利润.

5 利润分析

本节在前述各参数的基础固定赋值的基础上,考虑 k 和 s 以及 t 的变化对各情形下两方利润的影响,并对四种情形下两方利润进行比较分析(见图4图5图6和图7). 其中,图4中 π^* 轴上各面由低到高分别为 $\pi_D^{*(0,1)}$ 、 $\pi_D^{*(1,0)}$ 、 $\pi_D^{*(0,0)}$ 和 $\pi_D^{*(1,1)}$. 图5中 π^* 轴上各面由低到高分别为 $\pi_M^{*(0,0)}$ 、 $\pi_M^{*(1,0)}$ 、 $\pi_M^{*(0,1)}$ 和 $\pi_M^{*(1,1)}$. 得到如下结论.

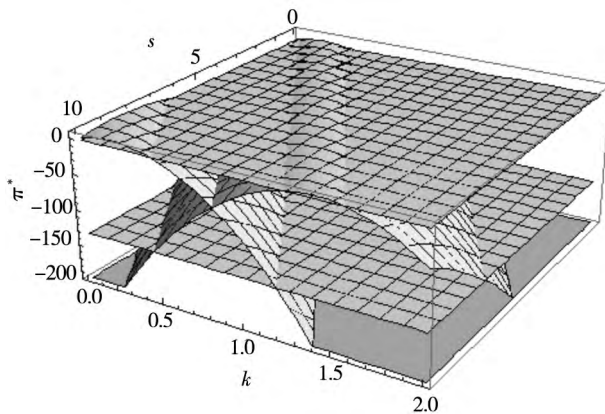


图4 k 和 s 的变化对拆解商利润的影响

Fig. 4 The changes of k and s influencing on the AD's profits

结论3 基于以上基础赋值,无论 k 和 s 如何变化, $\pi_D^{*(0,0)}$ 恒大于 $\pi_D^{*(1,0)}$; 在 k 和 s 的大部分取值范围内, $\pi_D^{*(0,0)}$ 较高; 当 k 和 s 处于一定取值范围内时, $\pi_D^{*(1,1)}$ 和 $\pi_D^{*(0,1)}$ 都会略大于 $\pi_D^{*(0,0)}$; 当 k 减少且 s 增加时, $\pi_D^{*(1,1)}$ 会增加且 $\pi_D^{*(0,1)}$ 减少; 当 k 增加且 s 减少时, $\pi_D^{*(1,1)}$ 和 $\pi_D^{*(0,1)}$ 都会减少,但 $\pi_D^{*(1,1)}$ 减少的幅度更大.

结论3表明,基于以上基础赋值,各情形下AD的利润都在零值附近,这也印证了当前汽车拆解行业利润普遍较低现状. 另外, $(0,0)$ 情形

下AD的利润相对较高,这表明《条例》的实施可能会对AD利润造成一定的影响. $(0,1)$ 情形下AD利润也可能处于较高的水平,说明即使AM不提供技术支持,AD单方面按再制造要求实施拆解也可能是有利可图的. 这里得到一个较为有趣的结论,即在 $(1,1)$ 情形下,当AD按再制造要求实施拆解时得到的额外收益较小且努力水平增加值升高时,其利润反而能达到最大. 在 $(1,1)$ 情形下,按再制造要求拆解时的额外收益增加且拆解努力增加值减少时,AD利润下降的速度较快,说明此时AD若按再制造要求实施拆解得到的收益不足以弥补其成本增加值.

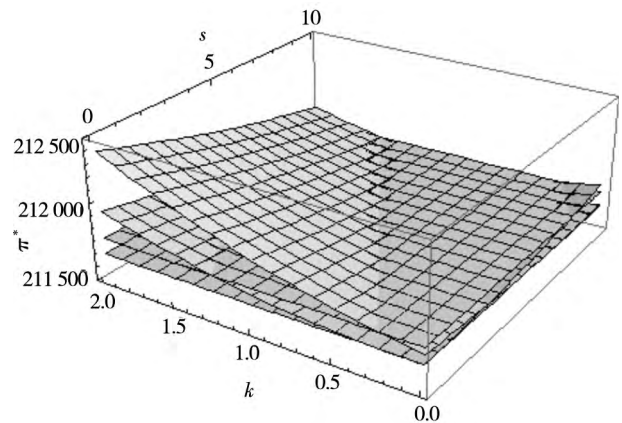


图5 k 和 s 的变化对制造商利润的影响

Fig. 5 The changes of k and s influencing on the AM's profits

结论4 基于以上基础赋值,无论 k 和 s 如何变化, $\pi_M^{*(0,0)}$ 都最小,且 $\pi_M^{*(1,0)}$ 恒大于 $\pi_M^{*(0,0)}$; 在 k 和 s 的大部分取值范围内, $\pi_M^{*(1,1)}$ 和 $\pi_M^{*(1,0)}$ 大于 $\pi_M^{*(0,1)}$; 当 k 趋于2且 s 趋于0时, $\pi_M^{*(1,1)}$ 和 $\pi_M^{*(0,1)}$ 都会增加,且 $\pi_M^{*(1,1)}$ 最大.

由结论4可知,AD按再制造要求实施拆解以及AM对AD实施技术支持,对AM来说都是有利可图的. 大部分情形下,AM对AD实施技术支持会有利于自身利润的增加. 若AM不为AD提供技术支持,即使AD按再制造的要求实施拆解,也不能使AM的利润提高. AD若按再制造要求拆解得到的额外收益增加,也可以使AM的利润有所提高.

结论5 基于以上基础赋值, t 大部分变化区间内, $\pi_D^{*(1,1)} > \pi_D^{*(1,0)}$; $\pi_D^{*(1,0)}$ 随着 t 的增加而减少, $\pi_D^{*(1,1)}$ 开始略有增加,随后呈下降趋势; 当

t 增加到一定的值时, $\pi_D^{*(1,1)}$ 和 $\pi_D^{*(1,0)}$ 都大幅降低, 并低于 $\pi_D^{*(0,1)}$ 。

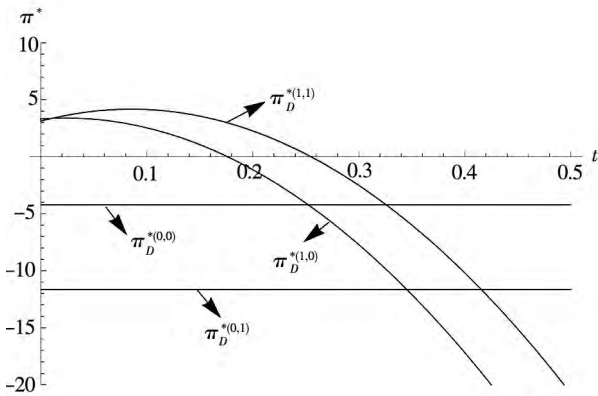


图 6 t 的变化拆解商利润的影响

Fig. 6 The change of t influencing on the AD's profits

由结论 5 得知, $(1, 1)$ 情形下奖惩因子 t 的升高可能使 AD 的利润有所增加, 即起初的奖惩措施可能增加 AD 的利润, 但随后就会起到反作用, 此时 AM 需合理设置奖惩幅度, 提高 AD 参与积极性. 由 $\pi_D^{*(1,0)}$ 下降速度大于 $\pi_D^{*(1,1)}$ 可知, AD 按再制造要求拆解虽然增加自身成本, 但配合于奖惩因素, 反而可使自身利润下降的速度减慢, 同时因 $(1, 0)$ 情形下和 $(1, 1)$ 情形下的 t 分别代表 AM 对 AD 的惩罚和奖励, 也说明奖励因素相比于惩罚因素来说对 AD 利润增加的效果更明显。

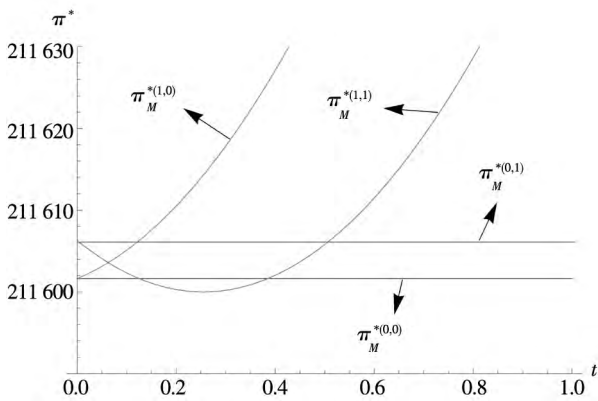


图 7 t 的变化对制造商利润的影响

Fig. 7 The change of t influencing on the AM's profits

结论 6 基于以上基础赋值, 无论 t 如何变化, $\pi_M^{*(0,1)}$ 恒大于 $\pi_M^{*(0,0)}$; 在 t 大部分取值范围内, $\pi_M^{*(1,0)}$ 都大于 $\pi_M^{*(1,1)}$ 、 $\pi_M^{*(0,1)}$ 和 $\pi_M^{*(0,0)}$; 随着 t 的增加, $\pi_M^{*(1,0)}$ 增加的速度较快, 而 $\pi_M^{*(1,1)}$ 开始有所下降, 但后面会呈上升态势。

结论 6 表明当双方合作时, 奖惩幅度的增加会使 AM 的利润增加, 即按再制造要求实施拆解和技术支持可提高 AM 利润. 此时, AM 若选择为 AD 提供技术支持, 必须配备于较高的奖惩力度才能保证自身利润的增加; 当 AM 为 AD 提供技术支持时, 在 t 增加的开始阶段, AD 若按再制造要求实施拆解反而会使 AM 利润减少, 这说明奖惩幅度不大时, 反而会使 AD 按再制造要求拆解效果无法达到降低成本的作用. 此时得到一个较有趣的结论, 即在 t 的大部分变化范围内, 随着 t 的增加, AM 为 AD 提供技术支持但 AD 不按再制造要求实施拆解时, 反而可以使 AM 的利润快速提高, 这说明奖惩力度可以保证 AM 为 AD 提供技术支持的效果. 结合结论 5 可以发现, 随着 t 的增加, 各情形下 AM 和 AD 的利润呈相反的发展态势. 另外, 结合命题 5 中的结论 $q^{*(1,1)} < q^{*(0,1)}$, 可知当 t 较大时 AM 的利润主要来源于其 N 品. 此时, $(1, 1)$ 情形下 AM 可能没有达到相关环保法规要求的再制造量, 但从利润角度来看是有益的. 所以, 若 t 设置的较大, AM 可考虑将再制造活动也外包出去。

由上述结论可知, 较之于其他情形 $(1, 1)$ 情形对双方的利润来说都不一定能总是保持高水平. 《条例》在希望双方实施深度合作的同时, 也需要保证两类企业的利润. 本文认为《条例》的存在必须以 AD 以再制造的要求来实施报废汽车拆解为前提, 再考虑 AM 是否给 AD 提供技术支持为合作形式. 所以, 考虑将 $(1, 1)$ 情形与 $(0, 1)$ 情形下两方利润进行比较, 得到如下结论。

命题 8 当

$$T > \frac{\left\{ \begin{aligned} &at(2c_d(-2\beta^2(c+bs) + \beta(2c(1+bs) - b^2c_dc_n) + \\ &bc_d(2c_md + b(c_m + p_0 + c_m ds)) - a^3(2k+t) + \\ &2a^2(p_0 - \beta c_n + 2c_d(1+bs) + c_m(1+2dk-ds+dt)) + \\ &a(-4c_dc_md + 2(\beta-1)c\beta(2k+t) + b^2c_d^2(2k-4s+t) - \\ &2bc_d(2cd - 2\beta c_n + 2p_0 + c_m(2 + 2dk + dt))) \end{aligned} \right\}}{\left\{ \begin{aligned} &4bc_d(\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds - at) \\ &((a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m)) \end{aligned} \right\}}$$

时 AM 给予 AD 补贴 A 可保证 $(1, 1)$ 情形的实现, 其中 $\pi_D^{*(0,1)} - \pi_D^{*(1,1)} < A < \pi_M^{*(1,1)} - \pi_M^{*(0,1)}$ 。

证明 见附录.

命题8表明只有当 T 大于某值时,即 AD 接受 AM 的技术支持后的单位报废汽车的拆解努力水平降低值必须达到能让 AD 感觉有利可图时,才会使 AD 愿意接受 $(1, 1)$ 情形. T 对于 AD 来说是指努力程度的降低值,但对于 AM 来说也等同于其在汽车生产过程中的组装环节技术研发投入. 所以,只有当这种投入可以保证 AD 的利润增加时,AM 才可以采用 A 的补贴来保证此情形的长期存在.

6 结束语

本文依据《报废机动车回收拆解管理条例》的政策建议,研究一个汽车拆解商和一个生产商的报废汽车拆解合作及再制造等决策问题. 依据双方可能存在的合作情形,建立了四种合作情形下的博弈模型. 依据均衡解对各情形下的再制造量、再制造率、环境影响以及各方利润实施比较分析,最后给出促进《条例》实施的策略. 主要结论总结如下:

1) 从再制造汽车产量的角度看, $(1, 1)$ 情形下汽车制造商不会生产过多的再制造汽车,并且此时再制造率也不是较高的水平. 相对来说, $(0, 1)$ 情形下汽车制造商会生产较多的再制造汽车,同时也将保证较高的再制造率.

2) 从环境影响的角度看,若汽车再制造生产对环境的影响较大,则双方深度合作时两类汽车产品对环境的总体影响较小. 通常,再制造汽车生产对环境的影响较之于新车生产还是较小的. 此时 $(0, 1)$ 情形下两类汽车对环境的总影响小于其他情形,且此情形下拆解活动的环境效果也较好.

3) 从双方利润的角度看,汽车制造商若给予拆解商技术支持,反而可促进其自身利润的提高. 无论何种情形下,拆解商的利润都较低. 此时,汽车制造商可通过给予拆解商合适的补贴以保证双方的合作深度.

本文考虑的是汽车拆解合作各方在单周期下的动态博弈及决策问题. 但是,报废汽车的回收拆解以及再制造活动会涉及到两阶段的供应链成员决策问题,这会使决策过程和结果更为复杂. 今后将针对此方面进行深入研究. 此外,本文没有更为细致地刻画报废汽车回收过程中的物流成本(包括距离和重量参数),这也是今后的一个重要研究方向. 再者,报废汽车回收拆解与消费者对再制造汽车的接受度也会有一定的联系,所以策略型消费者的决策对汽车回收拆解效果有何影响,也是以后需要研究的问题. 最后,后续研究可以考虑销售商也参与回收拆解活动中,也是值得研究的问题.

参考文献:

- [1] 国务院关于修改《报废汽车回收管理办法》的决定(征求意见稿) [J]. 中国资源综合利用, 2016, 34(9): 2-4.
Decision of the state council on amending the administrative measures on the recycling of scrapped automobiles (draft for consultation) [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2016, 34(9): 2-4. (in Chinese)
- [2] 常香云, 钟永光, 王艺璇, 等. 促进我国汽车零部件再制造的政府低碳引导政策研究——以汽车发动机再制造为例 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(11): 2811-2821.
Chang Xiangyun, Zhong Yongguang, Wang Yixuan, et al. Research of low-carbon policy to promote automotive parts remanufacturing in China: A case study of auto engine remanufacturing [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2013, 33(11): 2811-2821. (in Chinese)
- [3] 国务院法制办公室关于《国务院关于修改〈报废汽车回收管理办法〉的决定(征求意见稿)》公开征求意见 [J]. 再生资源与循环经济, 2016, 9(9): 5-6.
Legislative affairs office of the state council asks for advice openly aiming at decision of the state council on revising the management of scrap automobiles recycling (Draft) [J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2016, 9(9): 5-6. (in Chinese)
- [4] 夏西强, 朱庆华, 赵森林. 政府补贴下制造/再制造竞争机理研究 [J]. 管理科学学报, 2017, 20(4): 71-83.
Xia Xiqiang, Zhu Qinghua, Zhao Senlin. Competition mechanism of manufacture/remanufacture considering government sub-

- sities [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(4): 71–83. (in Chinese)
- [5] 刘碧玉, 陈伟达, 杨海东. 基于 REVD 考虑碳排放的零部件再制造决策 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19(10): 48–60.
Liu Biyu, Chen Weida, Yang Haidong. Decision-making on remanufacturing considering carbon emissions based on REVD [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(10): 48–60. (in Chinese)
- [6] 计国君, 黄位旺. WEEE 回收条例有效实施问题研究 [J]. *管理科学学报*, 2012, 15(5): 1–9.
Ji Guojun, Huang Weiwang. Effective implementation of WEEE take-back directive [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2012, 15(5): 1–9. (in Chinese)
- [7] Xiao T, Xia Y, Zhang G P. Strategic outsourcing decisions for manufacturers competing on product quality [J]. *IIE Transactions*, 2014, 46(4): 313–329.
- [8] 易余胤, 袁江. 渠道冲突环境下的闭环供应链协调定价模型 [J]. *管理科学学报*, 2012, 15(1): 54–65.
Yi Yuyin, Yuan Jiang. Pricing coordination of closed-loop supply chain in channel conflicts environment [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2012, 15(1): 54–65. (in Chinese)
- [9] Subramanian R, Subramanyam R. Key factors in the market for remanufactured products [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(2): 315–326.
- [10] 公彦德, 达庆利. 闭环供应链主导模式与物流模式的组合研究 [J]. *管理科学学报*, 2015, 18(10): 14–25.
Gong Yande, Da Qingli. Research on combinations of closed-loop supply chain dominant mode and logistics mode [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(10): 14–25. (in Chinese)
- [11] 马祖军, 叶郁森, 代颖. 逆向供应链的非合作代价分析 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19(2): 66–73.
Ma Zujun, Ye Yusen, Dai Ying. Quantifying the price of anarchy in reverse supply chains [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(2): 66–73. (in Chinese)
- [12] 缪朝炜, 夏志强. 基于以旧换新的闭环供应链决策模型 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19(9): 49–66.
Miao Zhaowei, Xia Zhiqiang. Decision models for closed-loop supply chains with trade-ins [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(9): 49–66. (in Chinese)
- [13] Panda S, Modak N M, Cárdenas-Barrón L E. Coordinating a socially responsible closed-loop supply chain with product recycling [J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 188: 11–21.
- [14] Heydari J, Govindan K, Jafari A. Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 52: 379–398.
- [15] 郑艳芳, 周文慧, 刘春会. 回收渠道竞争下的中国 EPR 制度设计研究 [J]. *管理科学学报*, 2017, 20(10): 103–115.
Zheng Yanfang, Zhou Wenhui, Liu Chunhui. Design of EPR under recycling channel competition [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(10): 103–115. (in Chinese)
- [16] Li J, Yu K, Gao P. Recycling and pollution control of the end of life vehicles in China [J]. *Journal of Material Cycles & Waste Management*, 2014, 16(1): 31–38.
- [17] Tian J, Chen M. Assessing the economics of processing end-of-life vehicles through manual dismantling [J]. *Waste Management*, 2016, 56: 384–395.
- [18] Xiong Y, Zhou Y, Li G, et al. Don't forget your supplier when remanufacturing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2013, 230(1): 15–25.
- [19] Raz G, Blass V, Druehl C. The Effect of Environmental Regulation on DfE Innovation: Assessing Social Cost in Primary and Secondary Markets [R]. Darden School of Business, University of Virginia, Charlottesville: Working Paper, 2014.
- [20] Chen L, Peng J, Liu Z, et al. Pricing and effort decisions for a supply chain with uncertain information [J]. *International Journal of Production Research*, 2017, 55(1): 264–284.
- [21] Dorn N, Daele S V, Beken T V. Reducing vulnerabilities to crime of the European waste management industry: The research base and the prospects for policy [J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2007, 15(1): 23–36.
- [22] Agrawal V V, Ferguson M, Toktay L B, et al. Is leasing greener than selling? [J]. *Management Science*, 2012, 58(3): 523–533.
- [23] Atasu A, Souza G C. How does product recovery affect quality choice? [J]. *Production and Operations Management*,

2013, 22(4): 991 - 1010.

Decision-makings for collection and dismantling of discarded automobiles considering remanufacturing

GONG Ben-gang¹, CHENG Jin-shi^{1*}, CHENG Ming-bao², GONG Yan-de³

- 1. School of Management Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China;
- 2. School of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China;
- 3. College of Management Science & Engineering, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China

Abstract: According to the policy recommendations concerning remanufacturing in “Regulations on collection and dismantling management of discarded vehicles”, this paper studies the cooperation decision-makings for used vehicle collection and dismantling between an automobile manufacturer and an automobile dismantling provider. According to the substitution relationship between demand for the new and for remanufactured automobiles, game models of four cooperation modes between the two parties are constructed, and the remanufacturing effect, environment impact and the two parties’ profits of the four cooperation modes are compared and analyzed. It is found that the yield and the rate of remanufactured vehicle do not always increase in the deep collaboration circumstance; when the manufacturer does not provide technical support, automobile dismantling according to the requirements of remanufacturing will improve the environmental effect of both the collection and dismantling process and the two categories of cars; the implementation of “Regulations on collection and dismantling management of discarded vehicles” will reduce the profits of the automobile dismantling enterprises; however, the two parties’ deep collaboration can be ensured by compensation strategies under certain conditions.

Key words: automobile remanufacturing; collection and dismantling; cooperation modes; environmental performance

附录:

命题 1 证明

证明 根据 Stackelberg 博弈的逆向求解法,由 $d^2\pi_D^{(0,0)}/de^2 = -c < 0$,所以 AD 的利润函数存在最优解. 令 $d\pi_D^{(0,0)}/de = -ce + (a - bc_d) = 0$ 得到 $e = (a - bc_d)q/c$,代入式(1)并分别对 q_N 和 q 求一阶导数,令其为零且联立求得

$$q_N^{(0,0)} = \frac{(a - bc_d)(a - dc_m)(Q - c_n) - c\beta^2Q + c\beta(Q + c_m - c_n + p_0)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m)} \tag{29}$$

$$q^{(0,0)} = \frac{c(\beta c_N - c_m - p_0)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m)} \tag{30}$$

将式(29)、式(30)代入式(1)、式(2)和 $e = (a - bc_d)q/c$,即可得到命题 1. 得证.

推论 1 证明

证明 考虑到政府对 R 品的产量要求,所以必有 $q^{*(0,0)} > 0$,由此得到 $\beta c_N - c_m - p$ 与 $a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m$ 同号,故得到 $a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m > 0$;然后由 $e^{*(0,0)} > 0$,得到 $a > bc_d$,由此,对 $a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_dc_m > 0$ 不等式变换,得到 $c_m < \frac{abc_d + c\beta^2 - c\beta - a^2}{bdc_d - ad}$. 得证.

推论 2 证明

证明 对命题 1 中各最优决策值求关于 p_0 的一阶导数,即可得到推论 2. 得证.

推论 3 证明

证明 由 $q^{*(0,0)} > 0$,可得到 $\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds > 0$. 得证.

推论 4 证明

证明 对命题 2 各最优值求关于各参数的一阶导数,即可得到推论 4. 得证.

推论 5 证明

证明 各最优决策值对 t 求一阶导数, 易得推论 5. 得证.

推论 6 证明

证明 通过比较命题 3 与命题 1, 易得到推论 6. 得证.

推论 7 证明

证明 由 $q^{*(1,1)} > 0$ 和命题 4 中各决策最优值对 t 求一阶导数, 易得推论 7. 得证.

推论 8 证明

证明 由 $q^{*(1,1)} > 0$ 和 $e^{*(1,1)} > 0$, 易得推论 8. 得证.

推论 9 证明

证明 由 $q^{*(1,1)} - q^{*(0,1)} = -\frac{act}{2(a^2 + \beta c - \beta^2 c + bc_d c_m d - a(bc_d + c_m d))}$, 可验证只有当 $p_0 > \beta c_n - c_m$ 时, $-\frac{act}{2(a^2 + \beta c - \beta^2 c + bc_d c_m d - a(bc_d + c_m d))}$ 才大于零, 与假设 $p_0 < \beta c_n - c_m$ 矛盾, 故 $q^{*(1,1)} < q^{*(0,1)}$. 得证.

命题 5 证明

证明 将 $q^{*(0,0)}$ 、 $q^{*(0,1)}$ 、 $q^{*(1,0)}$ 和 $q^{*(1,1)}$ 两两相减, 易得命题 5. 得证.

命题 6 证明

证明 易得

$$\begin{aligned}
S^{(0,0)} - S^{(0,1)} &= \frac{c(h - \beta H)(ak - dc_m s)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)}; \\
S^{(0,0)} - S^{(1,0)} &= \frac{act(-h + \beta H)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)}; \\
S^{(0,0)} - S^{(1,1)} &= \frac{c(h - \beta H)(a(k+t) - dc_m s)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)}; \\
S^{(0,1)} - S^{(1,0)} &= \frac{c(h - \beta H)(dc_m s - a(k+t))}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)}; \\
S^{(0,1)} - S^{(1,1)} &= \frac{act(h - \beta H)}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)}; \\
S^{(1,0)} - S^{(1,1)} &= \frac{c(h - \beta H)(-dc_m s + a(k+2t))}{2(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)}.
\end{aligned}$$

由此, 当 $h > \beta H$ 时, 可得到 $S^{(0,0)} < S^{(1,0)}$ 和 $S^{(1,1)} < S^{(0,1)}$. 此时若 $ak > dc_m s$, 则 $a(k+t) > dc_m s$ 和 $a(k+2t) > dc_m s$ 都成立, 得到 $S^{(1,1)} < S^{(0,1)} < S^{(0,0)} < S^{(1,0)}$. 若 $ak < dc_m s$, 当 $a(k+t) > dc_m s$ 时, 则 $a(k+2t) > dc_m s$ 也成立, 此时可得到 $S^{(1,1)} < S^{(0,0)} < S^{(0,1)} < S^{(1,0)}$; 当 $a(k+t) < dc_m s$ 且 $a(k+2t) < dc_m s$ 时, 得到 $S^{(0,0)} < S^{(1,0)} < S^{(1,1)} < S^{(0,1)}$; 当 $a(k+t) < dc_m s$ 且 $a(k+2t) > dc_m s$ 时, 得到 $S^{(0,0)} < S^{(1,1)} < S^{(1,0)} < S^{(0,1)}$.

由此, 当 $h < \beta H$ 时, 可得到 $S^{(1,0)} < S^{(0,0)}$ 和 $S^{(0,1)} < S^{(1,1)}$. 此时若 $ak > dc_m s$, 则 $a(k+t) > dc_m s$ 和 $a(k+2t) > dc_m s$ 都成立, 得到 $S^{(1,0)} < S^{(0,0)} < S^{(0,1)} < S^{(1,1)}$. 若 $ak < dc_m s$, 当 $a(k+t) > dc_m s$ 时, 则 $a(k+2t) > dc_m s$ 也成立, 此时可得到 $S^{(1,0)} < S^{(0,1)} < S^{(0,0)} < S^{(1,1)}$; 当 $a(k+t) < dc_m s$ 且 $a(k+2t) < dc_m s$ 时, 得到 $S^{(0,1)} < S^{(1,1)} < S^{(1,0)} < S^{(0,0)}$; 当 $a(k+t) < dc_m s$ 且 $a(k+2t) > dc_m s$ 时, 得到 $S^{(0,1)} < S^{(1,0)} < S^{(1,1)} < S^{(0,0)}$. 得证.

命题 7 证明

证明 与命题 6 的证明类似, 将 $E^{*(0,0)}$ 、 $E^{*(0,1)}$ 、 $E^{*(1,0)}$ 和 $E^{*(1,1)}$ 两两相减, 基于前述结论 $\beta c_n - c_m - p_0 + c_m ds - at - ak > 0$, 即可得到命题 7. 得证.

命题 8 证明

证明 若使 (1, 1) 情形稳定, 考虑 AM 给予 AD 一定的补贴, 即要求 $\pi_M^{*(1,1)} - A > \pi_M^{*(0,1)}$ 且 $\pi_D^{*(1,1)} + A > \pi_D^{*(0,1)}$. 所以此时令 $\pi_M^{*(1,1)} + \pi_D^{*(1,1)} - (\pi_M^{*(0,1)} + \pi_D^{*(0,1)}) > 0$, 得到其差值 Δ (因 Δ 的解析式非常复杂, 这里省略) 并对其合并同类项, 由前述命题易得到 T 的系数 $c(-4bc_d(p_0 - \beta c_n + c_m + ak - c_m ds + at)(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)) > 0$. 令 $\Delta = 0$, 得到若

$$T > \frac{\left\{ \begin{aligned} &at(2c_d(-2\beta^2(c + bcs) + \beta(2c(1 + bs) - b^2c_d c_n) + bc_d(2c_m d + b(c_m + p_0 + c_m ds))) - \\ &a^3(2k+t) + 2a^2(p_0 - \beta c_n + 2c_d(1 + bs) + c_m(1 + 2dk - ds + dt)) + a(-4c_d c_m d + 2(\beta - 1)) \\ &c\beta(2k+t) + b^2c_d^2(2k - 4s + t) - 2bc_d(2cd - 2\beta c_n + 2p_0 + c_m(2 + 2dk + dt)) \end{aligned} \right\}}{4bc_d(\beta c_n - c_m - p_0 - ak + c_m ds - at)(a^2 + c\beta - c\beta^2 - abc_d - adc_m + bdc_d c_m)}, \text{即可保证 } \pi_M^{*(1,1)} + \pi_D^{*(1,1)} - (\pi_M^{*(0,1)} + \pi_D^{*(0,1)}) > 0. \text{此时 AM 可给予 AD 补贴 } A, \text{以保证 (1, 1) 情形的长期稳定性. 得证.}$$