

文章编号:1005-0523(2012)03-0098-05

信息对称及不对称下逆向供应链的激励机制研究

王 静

(华东交通大学现代教育技术中心,江西 南昌 330013)

摘要:在委托-代理理论的分析框架下,建立了供应链中制造商与零售商之间博弈的激励模型,放宽了再制造产品可完全实现销售的假定,且采用对数关系描述回收量函数来对模型进行分析,分别得出信息对称与不对称情形下不同参数对于零售商的最优努力程度的影响,以及信息不对称情形下制造商的线性激励系数的函数表达式。研究表明:在信息不对称情形下,零售商的最优努力程度低于信息对称情形下的最优努力程度,零售商不仅获得固定收入,而且获得制造商的风险补偿的同时承担等比例的风险。

关键词:不对称信息;逆向供应链;激励机制

中图分类号:F224

文献标志码:A

近年来,由于公众环保意识的增强以及政府法律法规的完善,企业开始对逆向供应链建设和实践越来越重视,学术界在理论方面对逆向供应链进行了相关的研究,取得了许多较成熟的成果:达庆利等(2004)^[1]论述了逆向物流系统结构研究现状与展望;陈双秋等(2009)^[2]研究了在对制造商有最低回收量约束情形下制造商和回收商的定价策略问题,得到了系统的斯坦克尔伯格均衡策略和联合定价策略;王小灵等(2006)^[3]对近些年有关逆向物流的库存问题的研究文献进行了回顾和总结,根据库存模型的特点将文献进行了较为详细的分类;郭军华(2012)^[4]在消费者对产品的支付意愿存在差异的情形下研究了闭环供应链的定价策略;张诚(2011)^[5]则对国内的供应链管理文献进行了归纳与总结,指出其未来的发展趋势。

上述文献的研究主要涉及的是逆向供应链的结构、定价策略、库存管理方面的问题。对于逆向供应链上,制造商与零售商之间是一种委托-代理的关系,由于信息不对称导致的委托-代理问题,严重影响到了整个供应链的经济效率甚至导致逆向供应链的解体。为此,一些学者对逆向供应链中的激励机制的设计展开研究。伍云山(2006)^[6]研究了制造商对其零售商参与逆向供应链实施的最优激励问题,建立了激励模型,通过分析,得出了零售商的激励系数、贡献系数、成本系数以及风险规避程度和外界环境的不确定性程度有关的结论。包晓英(2008)^[7]在不对称信息下设计了线性激励机制促进逆向供应链中零售商的回收努力,并分析了使得该契约有效的参数条件。王文宾(2009)^[8]应用委托代理理论研究了逆向供应链的激励机制设计问题,分别讨论了信息对称与信息不对称情形下的逆向供应链激励机制设计方法,比较了两种情况下激励机制的不同。黄颖颖等(2009)^[9]设计了电子产品三级逆向供应链中的激励机制问题,并分析了价格弹性系数及可再制造率对再制造决策的影响。计国君和黄位旺(2010)^[10]研究了回收法律法规约束下的再制造供应链的决策问题,研究发现单独回收责任下制造商进行废旧产品回收的动力最大,并给出了政府针对再制造商的补贴公式。聂佳佳等(2011)^[11]以零售商负责回收的再制造闭环供应链为对象,研究了奖惩机制对最优定价及回收率的影响,研究发现奖惩机制有利于降低零售价及提高废旧产品回收率。上述文献虽然对逆向供应链的激励机制进行了深入的研究,但存在以下不足:一是未能考虑逆向供应链中制造商与零售商之间信息的不对称性;二是假定产出函数为线性;三是回收产品往往直接定义为完全实现销

收稿日期:2011-03-21

作者简介:王静(1979-),女,高级工程师,研究方向为信息管理。

售,这均与实际情况存在一定的偏差。本文在不对称信息环境下,假定产出函数的非线性,在回收产品不完全销售情形下对逆向供应链的激励机制展开研究,在现有文献基础上对逆向供应链的激励机制问题作进一步的拓展。

1 问题说明及模型假设

1.1 问题说明

考虑由一个制造商和一个零售商构成的逆向供应链,二者均符合理性人假设。制造商是委托人,而零售商是代理人,在不对称信息下,制造商设计激励机制引导零售商提高回收努力程度,实现其利益最大化。

1.2 模型假设

为了研究的便利,本文在不影响结论准确性的基础上,作如下假设:

1) 假设模型是单周期模型,单个零售商负责旧产品回收,并转移给单个制造商,同时负责销售制造商的再制造完工产品。一维变量 a 表示零售商参与逆向供应链实施进行产品回收的努力程度,零售商可以通过自身的回收努力增加废旧产品的回收量,因此零售商的废旧产品回收量 $Q = g(a) + \theta$, $g(a) \geq 0$, 其中 $g(a)$ 为回收量函数。回收量函数满足凹性条件,即 $g'(a) \geq 0$, $g''(a) \leq 0$, θ 是均值为零,方差等于 σ^2 的正态分布随机变量,代表外生的不确定因素。

2) 假定 e 为废旧产品的单位利润,且 $e > 0$,再制造产品的可实现销售量为 $Q_s = kQ (0 \leq k \leq 1)$, k 为可实现销售的比例系数,则依赖回收努力的废旧产品的利润 $\pi = ek(g(a) + \theta)$, 利润的期望值 $E\pi = ek g(a)$ 。

3) 制造商是风险中性的,零售商是风险规避的,零售商的效用函数具有不变绝对风险规避特征。 ρ 为零售商的绝对风险规避度量, ω 是实际货币收入。

4) 假设制造商设计零售商享有收益线性提成的激励合同 $s(\pi) = \alpha + \beta\pi = \alpha + \beta ek(g(a) + \theta)$, α 是零售商的固定收入, $\beta (0 \leq \beta \leq 1)$ 是零售商享受的产出份额,同时也是风险分担比例, $\beta = 0$ 意味着零售商不承担任何风险, $\beta = 1$ 意味着零售商承担全部风险,零售商的风险成本为 $\rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2$ 。

5) 零售商回收努力所对应的成本函数为 $c(a)$,即努力的成本,如零售商参与废旧产品回收的专用性资金投入及人力资源上的投入等,成本函数满足凸性,即有 $c'(a) \geq 0$, $c''(a) \geq 0$ 。

2 激励机制模型的构建

由于制造商是风险中性的,所以制造商的期望效用等于期望收入的确定性等价收入

$$E v(\pi - s(\pi)) = (1 - \beta) ek g(a) - \alpha \quad (1)$$

零售商的实际收入为

$$\omega = s(\pi) - c(a) = \alpha + \beta ek(g(a) + \theta) - c(a) \quad (2)$$

因为零售商是风险规避的,所以零售商的确定性等价收入为实际收入的均值减去风险成本,即

$$E\omega - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 = \alpha + \beta ek g(a) - c(a) - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 \quad (3)$$

制造商在设计激励契约时,必须充分考虑零售商的利益,满足以下两个条件:一是参与约束,即零售商参与逆向供应链,接受合同所得的利益不少于不接受合同所得;二是激励相容约束,博弈论认为,市场上所有的参与者都是理性的,即在一定条件下总是追求自身利益的最大化。

令 $\bar{\omega}$ 为零售商的保留收入水平,那么,如果确定性等价收入小于 $\bar{\omega}$,零售商将不接受合同,因此,零售商的参与约束(IR)为

$$\alpha + \beta ek g(a) - c(a) - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 \geq \bar{\omega} \quad (4)$$

在制造商观测不到零售商的回收努力水平时,零售商的激励相容约束(IC)为

$$a \in \max \left(\alpha + \beta ek g(a) - c(a) - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 \right) \quad (5)$$

3 信息对称情形下的逆向供应链激励机制设计

在制造商可以观测到零售商努力水平 a 时,激励约束 IC 是多余的,任何水平的 a 都可以通过满足参与约束 IR 的强制合同实现,因此,制造商的问题是选择 (α, β) 和 a 解下列最优化问题:

$$\max_{\alpha, \beta, a} Ev = (1 - \beta)ekg(a) - \alpha \quad (6)$$

$$\text{s.t. } \alpha + \beta ekg(a) - c(a) - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 \geq \bar{\omega} \quad (7)$$

在最优条件下,参与约束的等式成立,因此,将 $\alpha + \beta ekg(a) - c(a) - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 = \bar{\omega}$ 代入(6),得

$$\max_{\alpha, \beta, a} Ev = \max_{\beta, a} ekg(a) - c(a) - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 - \bar{\omega} \quad (8)$$

从目标函数式(8)中可以得出以下结论。

结论1 制造商实际上在最大化自己收入的同时,也在最大化逆向供应链的整体利益。

为简化起见,取 $g(a) = t \ln a$, $c(a) = ba^2/2$, (t 代表零售商的能力水平系数, b 是努力的成本系数, b 越大,同样的 a 带来的负效用越大,且 $t > 0$, $a \geq 1$, $b > 0$)。因此,(8)式可化为

$$\max_{\beta, a} ekt \ln a - ba^2 - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 - \bar{\omega} \quad (9)$$

最优化一阶条件是

$$\frac{\partial E}{\partial a} = \frac{ekt}{a} - ab = 0 \Rightarrow a^* = \sqrt{\frac{ekt}{b}} \quad (10)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \beta} = -\rho\beta e^2 k^2 \sigma^2 = 0 \Rightarrow \beta^* = 0 \quad (11)$$

将 a^* 、 β^* 代入参与约束 $\alpha + \beta ekt \ln a - 1/2ba^2 - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 = \bar{\omega}$ 中,可得

$$\alpha^* = \bar{\omega} + ekt/2 \quad (12)$$

$$s^*(\pi) = \bar{\omega} + ekt/2 \quad (13)$$

此时的最优激励合同实现了帕累托最优。

制造商的期望效用:

$$Ev^* = ekt \ln a^* - \alpha^* = ekt(\ln ekt - \ln b - 1)/2 - \bar{\omega} \quad (14)$$

由以上分析,得出以下结论:

结论2 当制造商可以观测到零售商的选择 a 时,零售商获得的固定收入刚好等于零售商的保留收入加上努力的成本,不获得任何提成,同时也不承担任何风险。

结论3 因为制造商可以观测到零售商的努力水平 a ,所以只要制造商观测到零售商选择 $a < \sqrt{\beta ekt/b}$ 时,就支付 $s(\pi) < \bar{\omega} + ekt/2$,则零售商一定会选择 $a^* = \sqrt{\beta ekt/b}$ 。

结论4 制造商期望的最优努力水平 a 及制造商的期望效用 Ev 均随再制造产品可实现销售的比例系数、废旧产品的单位利润、零售商能力水平系数的增大而增大,随零售商的成本系数的增大而减小。

4 信息不对称情形下的逆向供应链激励机制设计

当制造商不能观测到零售商的努力水平 a 时,零售商会根据自己的确定性等价收入最大化来选择努力程度,即

$$\max_a \alpha + \beta ekt \ln a - ba^2/2 - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 \quad (15)$$

由一阶条件,得: $\beta ekt/a = ab \Rightarrow a = \sqrt{\beta ekt/b}$,因此, $a = \sqrt{\beta ekt/b}$ 为零售商的激励相容约束。

结论5 若给定 $\beta=0$,则 $a=0$,这就是说,如果零售商的收入与产出利润无关,零售商会选择 $a=0$,而不是 $a^* = \sqrt{\beta ekt/b}$,所以对制造商最优的 a 对零售商并不是最优的。结论5说明,如果制造商不能观测到零售商的努力水平时,零售商将选择 $a < a^*$ 以改进自己的福利水平,因为利润水平不仅与零售商的努力水

平有关,还受到外生变量 θ 的影响,零售商可以将低利润的出现归咎于不利的外生影响,从而逃避制造商的指责,因为制造商不能观测到 a ,自然也就不能证明低利润是零售商没有努力的结果,这就是所谓的“道德风险”问题。

在得出零售商的激励相容约束之后,制造商的问题就是在满足零售商参与约束与激励相容约束的前提下最大化自己的效用,即

$$\max_{\alpha, \beta} Ev = (1 - \beta)ekt \ln a - \alpha \quad (16)$$

$$\alpha + \betaekt \ln a - ba^2/2 - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 \geq \bar{\omega} \quad (17)$$

$$a = \sqrt{\betaekt/b} \quad (18)$$

与对称信息下的一样,(17)式中的等号成立,将(17)、(18)式代入(16)式可得:

$$\max_{\beta} Ev = ekt \ln \sqrt{\betaekt/b} - \betaekt/2 - \rho\beta^2 e^2 k^2 \sigma^2 / 2 - \bar{\omega} \quad (19)$$

一阶条件为

$$\frac{\partial Ev}{\partial \beta} = 0 \text{ 即 } \beta^{**} = \frac{\sqrt{t^2 + 8\rho ekt\sigma^2} - t}{4\rho ekt\sigma^2} \quad (20)$$

将(20)式代入(18)式,得

$$a^{**} = \sqrt{\frac{(\sqrt{t^2 + 8\rho ekt\sigma^2} - t) \cdot t}{4\rho b\sigma^2}} \quad (21)$$

为满足 $a^{**} \geq 1$, 必须有

$$\sqrt{\frac{(\sqrt{t^2 + 8\rho ekt\sigma^2} - t) \cdot t}{4\rho b\sigma^2}} \geq 1 \text{ 即 } b \leq \frac{t(\sqrt{t^2 + 8\rho ekt\sigma^2} - t)}{4\rho\sigma^2} \quad (22)$$

比较(9)式与(21)式,有

$$a^* > a^{**} \quad (23)$$

证明 令 $x = (a^{**})^2$, $y = (a^*)^2$, 则 $y - x = \frac{t}{b} \frac{4\rho ekt\sigma^2 + t - \sqrt{t^2 + 8\rho ekt\sigma^2}}{4\rho\sigma^2}$, 又令 $M = 4\rho ekt\sigma^2 + t$, $N = \sqrt{t^2 + 8\rho ekt\sigma^2}$, 则 $M^2 = 16\rho^2 e^2 k^2 \sigma^4 + t^2 + 8\rho ekt\sigma^2$, $N^2 = t^2 + 8\rho ekt\sigma^2$, 由于,因此 $M^2 - N^2 = 16\rho^2 e^2 k^2 \sigma^4 > 0$, 即 $M^2 > N^2 \Rightarrow M > N$, 即 $y > x$, 从而 $a^* > a^{**}$ 。

由上述分析进一步可得如下结论:

结论6 由 $a^* > a^{**}$ 可知,在信息非对称条件下,零售商必须承担一定的风险,制造商按照 β^{**} 的激励强度提供激励报酬,而零售商对应采取 a^{**} 的回收努力。

结论7 在信息不对称,且制造商是风险中性,而零售商是风险规避的条件下,零售商的最优努力水平低于信息对称条件下的最优努力水平,此时的最优回收努力无法实现帕累托最优。

结论8 最优努力水平 a^{**} 随可实现销售量的比例系数和废旧产品的单位利润的增加而增加,随零售商的绝对风险规避度量、努力的成本系数以及不确定因素的方差的增加而减少。

5 结论及展望

本文假定产品回收量与回收努力程度之间是对数关系,再制造产品的可实现销售量是回收量的线性函数,研究了制造商对零售商参与逆向供应链实施并提高努力程度的最优激励问题。在委托一代理理论的分析框架下,分别讨论了信息对称与信息不对称情形下的逆向供应链激励机制设计,通过模型分析,得出以下结论:

1) 当制造商可以观测到零售商的选择 a 时,零售商获得的固定收入刚好等于零售商的保留收入加上

努力的成本,不获得任何提成,同时也不承担任何风险。

2) 制造商期望的最优努力水平 a 及制造商的期望效用 $E v$ 均随再制造产品可实现销售的比例系数、废旧产品的单位利润、零售商能力水平系数的增大而增大,零售商的成本系数的增大而减小。

3) 在信息不对称,且制造商是风险中性,而零售商是风险规避的条件下,零售商的最优努力水平低于信息对称条件下的最优努力水平,此时的最优回收努力无法实现帕累托最优。

4) 最优努力水平 a^{**} 随可实现销售量的比例系数和废旧产品的单位利润的增加而增加,随零售商的绝对风险规避度量、努力的成本系数以及不确定因素的方差的增加而减少。

本文存在如下值得拓展之处,如本文所建立的激励模型是单阶段静态的,设定了许多假设条件,考虑的也只是一个制造商对一个零售商的激励。因此,进一步的研究可以是将该模型动态化,或者是几个零售商参与的情况并考虑时间这一不确定性的因素对逆向供应链模型的影响,以得到更加贴近实际情况的一般结论。

参考文献:

- [1] 达庆利,黄祖庆,张钦. 逆向物流系统结构研究的现状及展望[J]. 中国管理科学,2004,12(1):131-138.
- [2] 陈双秋,顾巧论,孙国华. 有最低回收量约束的逆向供应链定价策略分析[J]. 数学的实践与认识,2009,39(3):35-44.
- [3] 王晓灵,于庆东. 逆向物流库存问题研究综述[J]. 物流科技,2006,29(7):62-65.
- [4] 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.
- [5] 张诚. 我国供应链管理研究综述[J]. 华东交通大学学报,2011,28(3):92-97.
- [6] 伍云山,张正祥. 逆向供应链的激励机制研究[J]. 工业工程,2006,9(1):52-55.
- [7] 包晓英,蒲云. 不对称信息下逆向供应链激励合同研究[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(9):1717-1721.
- [8] 王文宾,达庆利. 基于回收努力程度的逆向供应链激励机制设计[J]. 软科学,2009,23(2):125-129.
- [9] 黄颖颖,周根贵,曹柬. 电子产品三级逆向供应链定价与激励机制研究[J]. 工业工程与管理,2009,14(3):28-32.
- [10] 计国君,黄位旺. 回收条例约束下的再制造供应链决策[J]. 系统工程理论与实践,2010,30(8):1355-1362.
- [11] 聂佳佳,王文宾,吴庆. 奖惩机制对零售商负责回收闭环供应链的影响[J]. 工业工程与管理,2011,16(2):52-59.

Research on Incentive Mechanism of Reverse Supply Chain under Symmetric and Asymmetric Information

Wang Jing

(Modern Educational Technology Centre, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper establishes an incentive game model between manufacturers and retailers of the supply chain based on principal-agent theory. It relaxes the assumption that remanufacturing products can be completely sold and uses the logarithmic relationship to describe the recovery functionary. Then it finds effect of different parameters on the efforts degree of retailers in symmetric information situation and the manufacturer's coefficient of linear excitation function expression in the case of information asymmetry. The research shows that in the case of asymmetric information, the retailer's optimal effort is less than that in symmetric information situation. The retailer not only gains fixed income, the risk premium of the manufacturer, but also bears the corresponding risk.

Key words: asymmetric information; reverse supply chain; incentive mechanism