

基于 Shapley 值法和信息熵的再制造闭环供应链利润分配研究

曹庆奎, 杜恒, 赵斐

(河北工程大学 经济管理学院, 河北 邯郸 056038)

[摘要]合理地再制造闭环供应链中各企业进行利润分配,不仅可以提高各企业和供应链整体的效益,而且增强企业在供应链中参与运作的积极性。由于影响供应链企业利润分配的因素不是单一的,而 Shapley 值法的利润分配模型仅考虑各个企业对供应链整体效益的贡献率,而不能反映出其他因素对利润分配的作用,因此,文章在 Shapley 值法模型的基础上,综合企业的资本投入、风险因素和对环境的影响这三方面在利润分配中的作用,建立了综合策略利润分配模型,利用信息熵确定四种利润分配策略的权重;并以某再制造闭环供应链中的制造商、零售商、再制造商为例进行利润分配,证明了该方法的有效性。

[关键词]再制造;闭环供应链;利润分配;Shapley 值法;信息熵

[中图分类号] F27 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-9477(2011)01-0001-03

再制造闭环供应链打破了传统供应链以降低成本提高经济效益为中心的管理模式,实现对产品生命周期的管理,减少供应链活动对环境的不利影响。在再制造闭环供应链中,上下游企业通过建立战略合作伙伴关系构成动态联盟,利用共享信息对资源进行最佳配置,共同承担风险、分配利润。但由于各个企业在供应链中承担的责任不同,利润分配也存在差别,利润分配影响着供应链动态联盟的稳定性和积极性。因此,为了提高再制造闭环供应链上的整体效益且保证每个企业都能获得较好的收益,对再制造闭环供应链利润分配的研究是必须的。

胡盛强^[1]针对由供应商、制造商、批发商与零售商组成的四级供应链合作博弈问题,在 Stackelberg 主从对策模型及其均衡解基础上就八种合作情形进行利润分配;张捍东^[2]和戴建华^[3]采用 Shapley 值法对企业动态联盟利益分配进行了研究,并分别运用 ANP 和风险因子对所得结果修正;马士华^[4]将 Shapley 值法用于解决供应链合作伙伴的收益分配,且考虑到技术创新对供应链竞争力的重要性对各企业收益分配额进行进一步调整;此外,张润红^[5]、生延超^[6]、王岳峰^[7]等人也采用 Shapley 值法分别针对不同的企业动态联盟进行了利润分配研究。可见,Shapley 值法在再制造闭环供应链方面的研究还很少。

本文在 Shapley 值法利润分配模型基础上,考虑了资本投入、风险和环境因子三因素对利润分配的影响,利用信息熵确定各因素对利润分配的权重,采用综合利润分配模型对再制造闭环供应链中企业的利润分配策略进行改进,使分配结果更具合理性,更易于被链上各企业所接受,从而提高再制造闭环供应链企业在合作过程中的稳定性和积极性。

一、再制造闭环供应链的结构

传统供应链往往在生产中通过消耗大量资源求得经济效益的增长,使用后的废弃物造成生态环境恶化,是物质单向流动的线性结构。再制造闭环供应链在传统供应链的基础上增加了回收、筛选、再加工、再配送

或报废处理等一系列作业环节,使各个逆向活动置身于传统供应链框架下,并对传统供应链流程进行重组,形成一个新的闭环结构,实现对产品全生命周期的有效管理,减少供应链活动对环境的不利影响。

再制造闭环供应链的废旧产品回收可由制造商、零售商或第三方完成,本文主要是在基于第三方回收的再制造闭环供应链结构模式下进行研究的,其结构如图 1 所示。在该结构模式下,原始制造商在销售产品完成后,并不直接参与对废旧产品的回收处理等工作,而是由专业的第三方逆向物流服务企业提供,通常这些第三方逆向物流服务企业与再制造商结成合作伙伴关系共同完成废旧产品的回收处理工作。此时,制造商可以专注于产品的生产销售而将产品的回收处理工作留给专业化公司完成,这不仅可以更多的精力用于提高生产销售的业绩,且制造商可通过此方式将由于产品回收不确定性带来的风险转嫁给第三方。

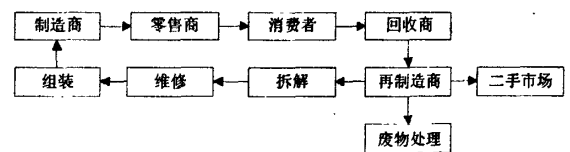


图1 再制造闭环供应链的结构

二、基于 Shapley 值法和信息熵的综合利润分配策略

(一) Shapley 值法模型

当企业之间达成动态联盟时,企业的增加不会引起整体效益的减少,而会带来更大的效益,Shapley 值法是对企业进行利润分配的一种策略。Shapley 值法主要用于解决多人合作对策问题的分析方法,以确保当 n 个人从事某项活动时,由其中若干人组合的合作都会获得一定的效益。Shapley 值法考虑了供应链上各企业的合作能力及企业间资源的互补程度等供应链合作的关键要素,所以采用 Shapley 值法对再制造闭环供应链上的制造商、零售商和再制造商进行利润分配是可行的。

[收稿日期] 2011-01-06

[作者简介] 曹庆奎(1963-),男,河北乐亭人,教授,博士,硕士生导师,研究方向:管理决策理论与方法、供应链管理。

Shapley 值利益分配法考虑了动态联盟中各伙伴企业对联盟整体所作的贡献,即企业贡献大,所得的分配就多,反之则少;按照这一方式可以给每个伙伴企业分配唯一的利润值。

Shapley 值是利用公理化方法得到合作博弈的唯一解,其定义如下:

设集合 $N = \{1, 2, \dots, n\}$, 如果对于 N 的任一子集, 即 N 个人集合中的任一组合都对应着一个实值函数 $v(s)$, 满足:

$$v(\phi) = 0 \tag{1}$$

$$v(s_1 \cup s_2) \geq v(s_1) + v(s_2), s_1 \cap s_2 = \phi$$

则称 $[N, V]$ 为 n 人合作对策, v 为对策的特征函数。在合作 N 的前提下, 合作对策的分配用 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示, x_i 表示 N 中的第 i 个成员从最大效益中应得到的收入, $v(N)$ 即 n 个成员联盟后的最大收益, 显然该合作成功需满足以下条件:

$$\sum_{i=1}^n x_i = v(N), i = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

$$且 x_i \geq v(i), i = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

$\varphi_i(v)$ 表示合作 N 下第 i 个成员所得的分配, 也称为利润分配的 Shapley 值, 即:

$$\varphi(v) = [\varphi_1(v), \varphi_2(v), \dots, \varphi_n(v)] \tag{4}$$

$$\varphi_i(v) = \sum_{s \ni i} w(|s|) [v(s) - v(s \setminus i)] \tag{5}$$

$$w(|s|) = \frac{(n-|s|)! (|s|-1)!}{n!} \tag{6}$$

其中, S_i 是集合 N 中包含 i 成员的所有子集, $|s|$ 为子集 s 中的元素个数, $w(|s|)$ 是加权因子, $v(s)$ 是子集 s 的效益, $v(s \setminus i)$ 表示子集 s 中若没有企业 i 参加时的效益。

(二) 信息熵

本文采用信息熵确定影响利润分配的各种因素在综合利润分配策略中的重要性, 信息熵越小, 指标的权重越大; 反之, 信息熵越大, 指标的权重越小。其计算步骤如下:

已知评价目标的模糊评价矩阵 R_0 , 信息熵 h_i 的计算如式(7):

$$h_i = - \sum_{j=1}^p u_{ij} \cdot \log u_{ij} \tag{7}$$

$$v_i = 1 - \frac{1}{\log p} h_i \tag{8}$$

第 i 个指标的熵权为:

$$\alpha_i = v_i / \sum_{i=1}^m v_m, 0 \leq \alpha_i \leq 1, \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1 \tag{9}$$

(三) 综合利润分配策略

采用 Shapley 值法对再制造闭环供应链上的制造商、零售商和再制造商进行利润分配虽然有其合理性, 但

仅是从各企业对价值的贡献率角度考虑利润分配, 实际上利润分配还受其他因素的影响, 例如资本投入、风险、对环境造成的影响等, 因此要综合考虑进行利润分配。

(1) 基于资本投入的利润分配

资本投入是企业获取利润的一个重要前提, 投资额的大小对利润分配有直接影响。再制造闭环供应链上企业的资本投入包括固定资产投资(各企业用于购置研发设备、仪器、技术等的事前投资)、生产成本、研发成本、营销成本、人力资本及回收成本等。假设再制造闭环供应链上各企业的资本投入向量为 $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$ 则按照资本投入各个企业的利润分配分别为

$$\varphi_i(v) = \frac{Z_i}{\sum_{i=1}^n Z_i} v(N) \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{10}$$

(2) 基于风险的利润分配

当前市场环境瞬息万变使得企业在运营中面临诸多风险, 这也成为影响再制造闭环供应链利润分配的重要因素。一般企业承担的风险和回报成正比, 即高风险高收益, 所以在利润分配时应考虑每个企业所承担的风险及对联盟收益的作用大小, 并以此为依据进行利益分配。再制造闭环供应链中企业所面临的风险主要包括经济环境风险 Z_e 、市场环境风险 Z_m 、技术风险 Z_t 、合作风险 Z_c 。在这些风险中, 由于每个企业面临的宏观经济环境是相同的, 所以唯有技术风险 Z_t 在 i 个企业中是不一致的, 因此设第 i 个企业的技术风险为 Z_{ti} 。则企业的总风险系数为: $Z_i = 1 - (1 - Z_e)(1 - Z_m)(1 - Z_{ti})(1 - Z_c)$, 可得到基于风险的各个企业利润分配为:

$$\varphi_i(v) = \frac{Z_i}{\sum_{i=1}^n Z_i} v(N) \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{11}$$

(3) 基于对环境影响因子的利润分配

再制造闭环供应链主要将可持续发展的思想融入到传统供应链中, 强调了供应链中每个企业在生产、销售、消费、再回收整个产品生命周期过程中减少对环境的危害。本文将环境影响因子引入其中, 用于表示企业对环境的保护程度, 其值大小与分配利润多少正相关。假设链上各企业的环境影响因子向量为 $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ 则基于环境影响因子的各企业利润为:

$$\varphi_i(v) = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} v(N) \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{12}$$

(4) 实现步骤

第一步, 利用信息熵计算四种利润分配策略的权重

采用综合利润分配策略需要将 Shapley 值法的利润分配策略 A_1 、基于资本投入的利润分配策略 A_2 、基于风险的利润分配策略 A_3 、基于对环境影响因子的利润分配策略 A_4 统一考虑, 避免单一策略利润分配的不全面。利用信息熵确定各种分配策略在综合策略中的权 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$ 。

第二步, 确定四种策略下的利润分配向量 $K = (K_1, K_2, K_3, K_4)$ 。

第三步, 计算最终利润分配向量 $\alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \alpha_3 K_3 + \alpha_4 K_4$ 。

三、算例

以某一打印机的制造商、零售商、消费者及再制造商组成的再制造闭环供应链为例。假设制造商(M)、零售商(R)、再制造商(C)3家企业的投资额分别为12万元、10万元和8万元,现若单干每个企业获利10万元,如M和R联合,则可获利60万元,如M和C联合则可获利50万元,如R和C联合则可获利40万元,如M、R和C联合则可获利90万元。

第一步:计算 A_1, A_2, A_3, A_4 的权重

采用专家打分的方式得到综合利润分配策略的评价矩阵:

$$R_Q = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.30 & 0.10 & 0.10 \\ 0.40 & 0.25 & 0.15 & 0.20 \\ 0.30 & 0.35 & 0.25 & 0.10 \\ 0.35 & 0.25 & 0.25 & 0.15 \end{bmatrix}$$

由公式(7)、(8)、(9)得到各种分配策略在综合策略中的权重 $\alpha = (0.54, 0.16, 0.20, 0.10)$ 。

第二步:计算 A_1, A_2, A_3, A_4 的利润分配向量

采用 Shapley 值法由式(5)计算制造商的利润,如表1所示。将末行数据相加得到制造商M的分配利润为35,同理零售商R的分配利润为30,再制造商C的分配利润为25。从而 A_1 对应的利润分配向量 $K_1 = (35, 30, 25)$ 。

表1 制造商的利润分配计算表

S_m	M	M+R	M+C	M+R+C
$V(S)$	10	60	50	90
$V(SM)$	0	10	10	40
$V(S)-V(SM)$	10	50	40	50
$ S $	1	2	2	3
$W(S)$	1/3	1/6	1/6	1/3
$W(S)[V(S)-V(SM)]$	10/3	25/3	20/3	50/3

已知各企业的资本投入向量为 $I = (12, 10, 8)$,由公式(10)得到按资本投入的利润分配向量 $K_2 = (36, 30, 24)$ 。

已知企业的经济环境风险 $Z_e = 0.35$ 、市场环境风险 $Z_m = 0.30$ 、技术风险 $Z_t = (0.50, 0.20, 0.30)$ 以及

合作风险 $Z_c = 0.20$,由公式(11)得到基于风险的各个企业利润分配向量 $K_3 = (32.40, 28.08, 29.52)$ 。

已知各企业的环境影响因子向量为 $Q = (0.45, 0.25, 0.30)$,则由公式(12)得到基于环境影响因子的利润分配向量 $K_4 = (40.5, 22.5, 27)$ 。

第三步:最终利润分配

在 $\alpha = (0.54, 0.16, 0.20, 0.10)$ 和 $K = (K_1, K_2, K_3, K_4)$ 已知的情况下,计算再制造闭环供应链中M、R、C的最终利润分配分别为35.19万元、28.87万元、25.94万元。

四、结论

(1) 运用 Shapley 值法进行利润分配时,往往仅考虑供应链中企业的贡献率,而影响再制造闭环供应链利润分配的因素还有投资因素、风险因素及各企业对环境的影响因素。本文基于 Shapley 值法模型和上述三种因素的基础上对再制造闭环供应链作出利润分配。

(2) 将信息熵用于计算 Shapley 值法以及三种利润分配影响因素对综合利润分配策略的影响权重。

(3) 本文主要对再制造闭环供应链中的制造商、零售商、再制造商的利润分配进行了研究,而实践中供应链涉及到多级企业,是今后进一步研究的重点。

【参考文献】

- [1] 胡盛强,张毕西,关迎莹.基于 Shapley 值法的四级供应链利润分配[J].系统工程,2009,27(9):49-53
- [2] 张捍东,严钟,方大春.应用 ANP 的 Shapley 值法动态联盟利益分配策略[J].系统工程学报,2009,24(2):205-211
- [3] 戴建华,薛恒新.基于 Shapley 值法的动态联盟伙伴利益分配策略[J].中国管理科学,2004,12(4):34-37
- [4] 马士华,王鹏.基于 Shapley 值法的供应链合作伙伴间收益分配机制[J].工业工程与管理,2006,(4):43-46
- [5] 张润红,罗荣桂.基于 Shapley 值法的共同配送利益分配研究[J].武汉理工大学学报,2008,30(1):150-153
- [6] 生延超.基于改进的 Shapley 值法的技术联盟企业利益分配[J].大连理工大学学报(社会科学版),2009,30(2):34-39.
- [7] 王岳峰,刘伟.考虑权重的 Shapley 值法虚拟企业伙伴利益分配策略的改进[J].上海海事大学学报,2005,26(4):48-51.

[责任编辑:陶爱新]

Research of Profit - distribution of reproduction closed - loop supply chain based on Shapley value and information entropy

CAO Qing - kui, DU Heng, ZHAO Fei

(College of Economic and Management, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: Reasonable profit - distribution in each enterprise of reproduction closed - loop supply chain can not only increase the profits of each enterprise and the whole supply chain, but also strengthen the enthusiasm of operation of each enterprise in the supply chain. There isn't only one factor that can influence the profit distribution of each enterprise in the supply chain. Profit - distribution mode based on the method of Shapley value considers only each enterprise's contribution to the whole profits of the supply chain, which can't reflect other factors' role in profit - distribution. Therefore, based on the Shapley value mode, considering the role of capital investment, risk factor and influence on the environment in profit - distribution, profit - distribution mode of comprehensive strategies is constructed. Information entropy is used to set the weight of four profit - distribution strategies. Producers, retailers and reproducers in reproduction closed - loop supply chain are used as examples to distribute profits. This method is proved effective in this paper.

Key words: reproduction; closed - loop supply chain; profit distribution; the method of shapley value; information entropy