

基于供应链成员风险态度的保险契约研究

周端继, 秦 进

(中国科学技术大学管理学院, 安徽合肥 230026)

摘要: 考虑到传统的两级供应链中的批发价格契约不能协调供应链, 导致供应商和零售商利润低. 从供应链成员风险偏好的角度出发, 提出一种结合保险机制的供应链契约. 该契约以批发价格契约模型为基准, 引入担保价格 r 和零售商承担风险损失的比例 θ 这两个特征参数来刻画市场需求的不确定性特征. 研究表明, 引入该契约能够在协调供应链的同时提高供应链的整体利润. 此外, 也考虑了供应链成员的风险偏好和议价能力对供应链超额利润分配的帕累托效应.

关键词: 供应链; 保险契约; 批发价格契约; 风险偏好; 议价能力

中图分类号: F274 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2016.11.011

引用格式: 周端继, 秦进. 基于供应链成员风险态度的保险契约研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2016, 46(11): 954-962.

ZHOU Duanji, QIN Jin. Study of the insurance contract based on supply chain member's attitude towards risk[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2016, 46(11): 954-962.

Study of the insurance contract based on supply chain member's attitude towards risk

ZHOU Duanji, QIN Jin

(School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Considering that the traditional supply chain's wholesale price mechanism can't coordinate the supply chain, which leads to poor profits for both the supplier and retailer, from the perspective of supply chain members' attitude towards risk, a supply chain contract was proposed which combines the insurance mechanism. The contract is based on the wholesale price mechanism model, introducing two characteristic parameters (insurance price r and the retailer bear the risk of loss proportion θ) to characterize the uncertainty of market demand. Our study has shown that the introduction of the contract can coordinate the supply chain and improve the overall profits. In addition, the effects of agents' risk preferences and negotiating powers on the distribution of supply chain's excessive profits were also investigated.

Key words: supply chain; insurance contract; wholesale price contract; risk preferences; negotiating power

0 引言

随着市场需求的快速变化和产品生命周期的缩短,企业间的竞争由从原来单纯的产品质量、性能方面的竞争,进一步转向企业所在的供应链之间的竞争.供应链的重点在于如何提高供应链成员之间的协作效率,因此如何设计供应链契约来管理、协调与优化供应链将成为企业迫切关注的问题.

供应链契约是指通过提供合适的信息和激励措施,保证买卖双方协调优化销售渠道绩效的有关条款,前提是双方的利益至少不比以前差.供应链的设计目的主要是解决影响供应链绩效的两个问题:供应链成员追求自身利益最大化所导致的双边际效应(double marginalization)和信息不对称造成的牛鞭效应(bullwhip effect). Pasternack^[1]研究了易腐败商品的供应链,提出供应链契约的相关概念,并给出最优的批发价格模型和退货政策. Zhao 等^[2]基于批发价格契约的二阶段供应链系统设计了期权合同来协调供应链. Cachon^[3]对供应链契约进行了综述,归纳总结了儿种常见的契约,包括批发价格契约、退货契约、数量折扣契约、数量弹性契约、利润共享契约、收益共享契约和价格补贴契约等.

批发价格契约因为简单、实施成本低而在生活中广为应用. Spengler^[4]指出在批发价格契约下,供应商和零售商分别从实现自身最大利益出发进行决策,而没有考虑整体的最优,导致“双重边际化”问题. Lariviere 等^[5]探讨了不确定需求下批发价格契约的效率,发现该契约不能实现供应链协调.针对批发价格契约中的协调问题, Pasternack^[1]最早提出通过特定的契约安排可以实现供应链协调.之后,学者根据各种情境设计不同的协调契约,但大多数是在报童模型背景下的批发价格契约中进行研究. Cachon^[3]认为,尽管报童问题比较简单,但足够应对针对契约的研究. Su^[6]也认为批发价格契约下的报童模型是研究供应链契约的根基.同样,本文也以批发价格契约下的报童问题为背景进行研究.

传统经济学中假设决策者完全理性,并据此建立模型研究决策者的行为和提出管理学启示.在实践过程中,人们却发现现实情况经常与理论结果差距很大.行为研究学发现,人们往往是有限理性,除了追求利润最大化外,人们还追求公平、利他和风险规避等.这种理论与现实的差距推动了“行为运作管理”的兴起,学者们逐渐试图将人们具有的典型行为

特质引入传统契约中. Gino 等^[7]对这种研究进行了总结与展望,提出行为运作(behavioral operations management)的概念.国内的学者中,刘作仪等^[8]总结了传统运作管理的研究范式,分析了行为运作管理的研究现状,提出了行为运作管理的定义和研究范式.在此之前,供应链契约研究均假设决策者为风险中性,即供应商与零售商都追求期望利润最大化.随着顾客需求的多样化以及市场竞争激烈化,需求的不确定也越来越强,企业逐渐将风险纳入决策目标.面对市场风险,企业存在风险规避与风险偏好两种不同态度.学者逐渐开始修正理性决策者假设,引入决策者风险偏好.在针对供应链中风险规避的研究中,学者们对于供应链的优化与协调已经进行了一定的研究.针对单个供应链成员具有风险规避的情况, Eeckhoudt 等^[9]对供应链协作契约机制设计问题进行了研究.林志炳等^[10]的研究发现相对于风险中性的零售商,规避风险的零售商会降低订购量并提高销售价格. Gan 等^[11]指出当具有损失规避的供应链下游成员面对的风险高于其愿意接受的风险水平时,收益共享契约和回购契约都不能协调供应链. Chen 等^[12]的研究表明只有当最惧风险的渠道成员能承受整个系统的风险时,供应链才有可能被契约机制所协调.

Yannacopoulos 等^[13]将保险机制应用到风险管理中.随后 Lin 等^[14]将保险机制引入供应链的协调中,提出了基于保险契约的供应商与零售商共同承担库存积压和缺货风险的模型,提高了一个报童类型产品供应链的效率.上述研究与本文最相近,但与之相比,本文在风险偏好度量、决策效用函数构建等方面存在明显不同.本文以批发价格契约为基准提出保险契约模型,实现了供应链的协调并且获得帕累托改进,同时将决策者风险偏好和议价能力引入决策模型.利用 Pratt^[15]绝对风险厌恶度对决策中的风险成本进行度量,而 Iyer 等^[16]最早定义的议价能力是决策者为获得更大收益,在讨论利润如何进行分配时的谈判技巧,以此修正供应商和零售商的决策效应函数.

1 模型概述

本文考虑单周期供应链,其由单个供应商和单个零售商组成,供应商和零售商之间的信息是对称的.供应商和零售商之间展开的是完全信息的 Stackelberg 博弈,零售商是领导者,供应商是追随

者. 销售期前, 零售商基于产品的预期市场需求 D 下订单给供应商, 供应商根据订单进行生产. 产品市场需求是一个随机变量 X , 它遵循一个严格递增分布函数 $F(x)$ 和概率密度函数 $f(x)$, 其中 $x \geq 0$. 供应商的单位产品的边际成本为 c , 批发价格为 w , 产品的零售价格为 p . 此外, 为了计算方便, 假设供应商和零售商的每单位产品残值为 v , 每单位缺货成本为 g . 为了使分析有意义, 上述参数需满足以下关系: $0 < v < c < w < p$.

文中采用保险契约来促进供应商的产品生产和零售商的订单采购, 其两个特征参数即担保价格 r 和零售商承担风险损失的比例 θ ($0 < \theta < 1$). 担保价格 r 是零售商下订单时在批发价格基础上超额支付给供应商的费用, 而为了共同承担市场风险, 销售期结束后供应商将承担 $(1-\theta)$ 的库存和缺货风险损失. 根据上文假设, 模型的决策顺序可以描述如下: 在销售季节来临前, 经过供应商和零售商谈判, 首先由零售商提出一个保险契约 (r, θ) , 零售商下订单时在批发价格基础上每单位产品支付给供应商担保价格 r , 而供应商根据零售商提供的保险契约和订购量开始生产产品. 在销售期, 零售商根据市场实际需求出售产品. 销售期结束后, 按照保险契约规定的, 供应商承担 $(1-\theta)$ 比例市场风险所带来的损失. 从合理性和有利性的角度出来, 不难得到 $w + r < p$, $r + v < c$ 和 $0 < \theta < 1$. 实际上, $r + v < c$ 避免了供应商是无风险地生产这种不合理的情况出现.

2 供应链模型

2.1 基准模型

因为批发价格契约是供应链管理中广泛使用的契约模式, 所以本文以批发价格契约为基准. 本节采用两种供应链的决策方式: 首先, 讨论供应链分散决策方式下的供应商和零售商的预期利润情况; 然后讨论供应链集中决策方式下的整体最优情况.

在分散决策模型下, 在由单供应商和单零售商组成的二级供应链中, 供应商为了避免生产过剩采取“按订单”生产方式, 那么供应商的预期利润由下式给出:

$$\pi_{ws} = (w - c)q_{ws} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } q_{ws} = q_{wr} \quad (2)$$

零售商的预期利润函数为

$$\pi_{wr} = -wq_{wr} + \int_0^{\bar{q}_{wr}} px f(x) dx +$$

$$\int_0^{\bar{q}_{wr}} v(q_{wr} - x) f(x) dx + \int_{\bar{q}_{wr}}^{\infty} pq_{wr} f(x) dx - \int_{\bar{q}_{wr}}^{\infty} g(x - q_{wr}) f(x) dx = (p - w)q_{wr} - \int_0^{\bar{q}_{wr}} (p - v)(q_{wr} - x) f(x) dx - \int_{\bar{q}_{wr}}^{\infty} g(x - q_{wr}) f(x) dx \quad (3)$$

由式(3)求导得到 $\bar{q}_{wr} = F^{-1}\left(\frac{p-w+g}{p-v+g}\right)$, 此时零售商获得最大利润. 而此时供应商的期望利润为

$$\pi_{ws} = (w - c)F^{-1}\left(\frac{p-w+g}{p-v+g}\right) \quad (4)$$

在集中决策模型下, 将供应链视为一个整体进行讨论. 定义如下: 当供应链产量为 q_c 时, 供应链预期利润为 π_c . 可以得到预期利润函数如下:

$$\pi_c = -cq_c + \int_0^{\bar{q}_c} px f(x) dx + \int_0^{\bar{q}_c} v(q_c - x) f(x) dx + \int_{\bar{q}_c}^{\infty} pq_c f(x) dx - \int_{\bar{q}_c}^{\infty} g(x - q_c) f(x) dx = (p - w)q_c - \int_0^{\bar{q}_c} (p - v)(q_c - x) f(x) dx - \int_{\bar{q}_c}^{\infty} g(x - q_c) f(x) dx \quad (5)$$

类似式(3), 式(5)求导得到供应链最优产量:

$$\bar{q}_c = F^{-1}\left(\frac{p-c+g}{p-v+g}\right) \quad (6)$$

显然, 可以得到 $\bar{q}_c > \bar{q}_{wr}$, 即集中式供应链的最优订单量高于分散式供应链中采取批发价格契约时的, 也就是说分散式供应链中的批发价格契约无法实现供应链整体利润最优. 因此, 在批发价模型契约基础上, 本文提出结合保险机制的批发价格契约模型来提升供应链整体收益, 并且根据双方的风险偏好和议价能力在供应链成员之间合理分配超额利润. 在接下来的章节中, 本文将建立保险定价模型, 并得到协调供应链的相关条件. 本节中, 批发价格契约下得到的所有结果都将作为基准和保险模型进行比较.

2.2 批发价保险型契约模型

在保险机制下, 零售商向供应商支付保险费用, 但可以减小市场风险损失; 供应商通过收取产品担保费用获得风险收益, 从而实现供应链的收益共享和风险共担. 本文所提出的保险契约模型描述如下: 在生产前, 零售商从供应商的订购 q_r 单位产品, 并在批发价格之外支付每单位 r 的担保价格. 同时, 供

应商承诺将承担 $(1 - \theta)$ 的市场风险损失, 给出 (r, θ) , 零售商的预期利润可以表示为

$$\begin{aligned} \pi_{ir} = & (p - w - r)q_{ir} - \\ & \theta \left[\int_0^{\bar{q}_{ir}} (p - v)(q_{ir} - x)f(x)dx + \right. \\ & \left. \int_{\bar{q}_{ir}}^\infty g(x - q_{ir})f(x)dx \right] \end{aligned} \quad (7)$$

q_{ir} 是在保险机制下零售商的订单量, 类似于式 (3) 求解过程, 可以得到最优订单量为

$$\bar{q}_{ir} = F^{-1} \left[\frac{p - w - r + \theta g}{\theta(p - v + g)} \right] \quad (8)$$

由前文可知在保险契约中, 供应商采取按订单生产方式, 那么有 $q_{is} = q_{ir}$. 由保险契约定义得到供应商的预期利润:

$$\begin{aligned} \pi_{is} = & (p - w + r)q_{is} - \\ & (1 - \theta) \left[\int_0^{\bar{q}_{is}} (p - v)(q_{is} - x)f(x)dx + \right. \\ & \left. \int_{\bar{q}_{is}}^\infty g(x - q_{is})f(x)dx \right] \end{aligned} \quad (9)$$

通过求导可以得到保险机制下, 供应商最优产量为

$$\bar{q}_{is} = F^{-1} \left[\frac{w - c + r + (1 - \theta)g}{(1 - \theta)(p - v + g)} \right] \quad (10)$$

则由式 (8) 和 (10) 结合 $q_{is} = q_{ir}$ 可以得到:

命题 1 当满足

$$r = (p - w) - (p - c)\theta \quad (0 < \theta < 1)$$

时零售商最优订单量等于供应链整体最优量, 即 $\bar{q}_{ir} = \bar{q}_{is} = \bar{q}_c$.

保险契约机制中, $(w + r)$ 是零售商下订单时单位产品的实际价格. 从命题 1 中, 可以看到零售商的担保价格 r 越高, 其承担的风险损失 θ 将更少. 此外, 如果担保价格 r 或者 θ 更低, 零售商愿意订购更多的产品. 显然, 当 $r = (p - w) - (p - c)\theta$ 时, 零售商的最优订单量等于供应链整体最优量, 也就是说引入保险契约模型可以协调供应链.

如上所述, 保险契约与批发价格契约相比可以协调供应链, 但要实现供应链的帕累托改进需要满足以下条件. 因此, 文中给出如下命题:

命题 2

① 如果 $\theta < \frac{p - w - r}{p - w}$, 则 $\bar{q}_{wr} < \bar{q}_{ir}$.

② 如果 $\theta > \frac{p - 2w + c - r}{p - w}$, 则

$$\bar{q}_{ws} < \bar{q}_{is} \quad (11)$$

命题 2 表明在保险契约中, 与批发价格契约比

较, 当 $\theta < \frac{p - w - r}{p - w}$ 时, 零售商更愿意订购更多产品.

同样当 $\theta > \frac{p - 2w + c - r}{p - w}$ 时, 供应商更愿意生产更多的产品.

命题 3 ① 给定保险契约模型中的特征参数 (r, θ) , 文中定义 M 作为保险模型中的任意一个契约的集合. 然后, 可以得到 M 如下:

$$\begin{aligned} M = & \{(r, \theta) : r = (p - w) - (p - c)\theta, \\ & \text{where } \theta \in [0, 1)\} \end{aligned} \quad (12)$$

与批发机制进行比较, 在集合 M 中的保险契约将实现帕累托改进, 供应链的利润获得相应增加, 表示如下:

$$\begin{aligned} \Delta\pi = & (p - c + g)(\bar{q}_c - \bar{q}_{wr}) - \\ & (p - v + g) \int_{\bar{q}_{wr}}^{\bar{q}_c} F(x)dx \end{aligned} \quad (13)$$

② 在任何保险契约 (r, θ) 中, 有 $\bar{q}_{ir} = \bar{q}_{is} = \bar{q}_c$. 此外, 将 $r = (p - w) - (p - c)\theta$ 代入式 (7) 中可得

$$\begin{aligned} \pi_{ir} = & \theta \left\{ (p - c)q_{ir} - \left[\int_0^{\bar{q}_{ir}} (p - v)(q_{ir} - x)f(x)dx + \right. \right. \\ & \left. \left. \int_{\bar{q}_{ir}}^\infty g(x - q_{ir})f(x)dx \right] \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

显然 $\bar{q}_{ir} = \bar{q}_c$, 那么令零售商的最大期望利润表示为

$$\pi_{ir}(\theta) = \theta\pi_c \quad (15)$$

同理可以得到供应商的最大期望利润表示为

$$\pi_{is}(\theta) = (1 - \theta)\pi_c \quad (16)$$

由命题 1 可得: $r = (p - w) - (p - c)\theta$, 因此具有以下推论: 担保价格 r 与零售商承担风险损失的比例 θ 呈负相关, 这表明, 零售商支付较高的担保价格, 那么相应承担较低比例的风险损失. 由 $\bar{q}_{ir} = \bar{q}_{is} = \bar{q}_c$ 可推出在文中保险模型下, M 中任何契约下的供应商预期利润最优. 此外, 命题 3 表明, 供应链的利润可以通过使用集合 M 中不同系数 θ 的进行分配. 事实上, 式 (15) 中 θ 可以表示为满足条件的保险契约集合 M 中, 零售商利润占整条供应链的利润比例, 较大的 θ 表示零售商将得到更多的利润, 而对于供应商来说结论恰好相反. 从命题 2 中, 得到 M 中的任何保险契约都满足条件: $\frac{p - 2w + c - r}{p - w} < \theta <$

$\frac{p - w - r}{p - w}$, 此时零售商最优订单量才可能与供应链的最优量一致.

事实上, 有许多供应链契约能够实现供应链最优利润, 但也应该使每个供应链成员愿意达成该契

约. 基于这个目的, 本文建立一个称为保险契约核心子集的概念, 并把它定义为由所有可实现供应链的协调要求的保险契约集合.

在上文中, 以批发价格契约作为基准得到的保险契约集合 M . 首先从式(15)中可以得到, 在保险契约集合 M 中, 当参数 $\theta = \frac{\pi_{wr}}{\pi_c}$ 时, 零售商的预期利润和在批发价格契约下零售商利润相同. 由于 $\theta\pi$ 严格的递增, 只有当保险契约集合 M 中的 θ 满足 $\frac{\pi_{wr}}{\pi_c} < \theta < 1$ 时, 零售商利润才会高于批发价格契约下零售商利润. M 集合中任何其他保险契约都将使零售商利润更低, 因此可以得到 $\theta_{\min} = \frac{\pi_{wr}}{\pi_c}$. 类似地, 从式(16)中可以得到当 $\theta_{\max} = \frac{\pi_c - \pi_{ws}}{\pi_c}$ 时, 供应商利润才会高于批发价格契约下的供应商利润. 总之, 集合 M 中的保险契约只有满足 $\theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$, 才能使供应商和零售商的预期利润都不低于批发价格契约下的利润. 集合 M 中其他保险契约也可以实现供应链的最大利润, 但是这些契约是零售商或者供应商不能接受的, 应该从 M 中排除. 以上讨论将引出下面的命题, 给出保险契约集合 M 的核心子集 N .

命题 4 保险契约集合 M 的核心子集 N 为

$$N = \left\{ (r, \theta) : (r, \theta) \in M, r = (p-w) - (p-c)\theta; \right. \\ \left. \theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}] \right\} \\ \text{s. t. } \theta_{\min} = \frac{\pi_{wr}}{\pi_c}, \theta_{\max} = \frac{\pi_c - \pi_{ws}}{\pi_c} \quad (17)$$

在保险机制下零售商与供应商之间的利益分配如图 1 所示. 批发价格契约下无法实现供应链协调, 零售商利润和供应商利润分别为 π_{wr} 和 π_{ws} , 在图 1 中表示为 A 点. 然而, 由于引入保险契约协调供应链时, 零售商与供应商将比批发价格契约下获得更

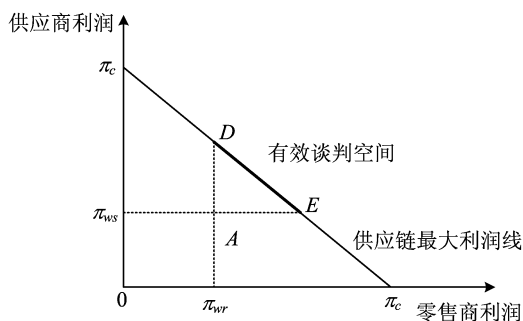


图 1 供应商和零售商的利润分配

Fig. 1 Profit distribution between supplier and retailer

多利润才会达成协议. 所以, 在本文中利润分配将只对应于线段 DE 上的点, 与其对应的是保险契约核心子集 N . D 点表明在保险契约被应用时, 供应商获得供应链达到协调情况下的所有超额利润, 而零售商获得和以前相同的利润. 反之适用于点 E . 线段 DE 上的其他点表明保险契约机制下, 供应商和零售商都获得超额利润.

3 风险偏好和议价能力对超额利润分配的影响

当 (r, θ) 满足 $r = (p-w) - (p-c)\theta$ 且 $\theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ 的条件时, 供应链整体利润达到最优. 从上文知道, 与批发价格契约相比, 在保险契约核心子集 N 中的任何保险契约都可以达到供应链的协调并且实现帕累托改进, 因此无论是供应商和零售商都愿意采用保险契约. 然而, 核心子集 N 中不同的保险契约中的供应商和零售商之间利润分配对应不同. 如上文, 当 $\theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ 时, 每个 θ 对应的核心子集 N 中的一个保险契约. 为了便于分析, 本文有如下:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\pi_r(\theta) &= \pi_{ir}(\theta) - \pi_{wr} = \theta\pi_c - \pi_{wr}, \\ \Delta\pi_s(\theta) &= \pi_{is}(\theta) - \pi_{ws} = (1-\theta)\pi_c - \pi_{ws} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

式中, $\Delta\pi$ 代表由供应链的协调所增加的超额利润, $\Delta\pi_r(\theta)$ 和 $\Delta\pi_s(\theta)$ 分别代表供应商和零售商从 $\Delta\pi$ 分配到的超额利润, 对于核心子集 N 中所有 θ 都有 $\Delta\pi_r(\theta) + \Delta\pi_s(\theta) = \Delta\pi$.

3.1 风险偏好对超额利润分配的影响

在本节中, 首先探讨供应商和零售商都是风险规避的情况. 与批发价格契约相比, 有两种方法来处理供应链成员的风险偏好对超额利润分配的影响: 期望效用法和均值-方差法. 为简化衡量供应链成员风险偏好的影响, 在本文中采用期望效用的方法. 文中供应商和零售商的风险偏好是由 Von Neumann 等^[17] 提出的 (VN-M) 效用函数决定. 假设由供应商和零售商组成的两级供应链中零售商的效用函数为 $U_r(\Delta\pi_r(\theta)) = (\Delta\pi_r(\theta))^\alpha$, 而供应商的效用函数为 $U_s(\Delta\pi_s(\theta)) = (\Delta\pi_s(\theta))^\beta$, 显然 $0 < \alpha \leq 1$ 和 $0 < \beta \leq 1$. 此外, 效用函数是严格递增且二次可微的凹函数, 同时满足 $U(0) = 0$. 其中, $\theta_{\min} = \frac{\pi_{wr}}{\pi_c}$ 和 $\theta_{\max} = \frac{\pi_c - \pi_{ws}}{\pi_c}$. 本文参考 Pratt^[15] 提出的风险度量方法, 有如下定义:

$$\left. \begin{aligned} R_r(\Delta\pi_r) &= -\frac{U_r''(\Delta\pi_r(\theta))}{U_r'(\Delta\pi_r(\theta))} = \frac{1-\alpha}{\Delta\pi_r(\theta)}, \\ R_s(\Delta\pi_s) &= -\frac{U_s''(\Delta\pi_s(\theta))}{U_s'(\Delta\pi_s(\theta))} = \frac{1-\beta}{\Delta\pi_s(\theta)} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

根据 Pratt-Arrow 风险规避效用函数, α 或者 β 越小表示零售商或者供应商的风险规避性越强. 为更好地评估效用函数, 基于(VN-M)效用函数, 建立纳什讨价还价均衡:

$$\left. \begin{aligned} \max_{(r,\theta)} U_s(\Delta\pi_s(\theta))U_r(\Delta\pi_r(\theta)) = \\ \left[\pi_{is}(\theta) - \pi_{ws} \right]^\beta \left[\pi_{ir}(\theta) - \pi_{wr} \right]^\alpha = \\ \left[(1-\theta)\pi_c - \pi_{wm} \right]^\beta \left[\theta\pi_c - \pi_{wr} \right]^\alpha \\ \text{s. t. } (r,\theta) \in N, \theta \in (\theta_{\min}, \theta_{\max}) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

通过式(20)求解纳什均衡同时结合式(19), 有如下结论:

命题 5 基于纳什讨价还价模型, 由供应商和零售商组成的风险规避供应链, 无论是零售商还是供应商更厌恶风险, 更加厌恶风险的供应链成员将获得较小的超额利润分配. 如果 $\alpha > \beta$, 那么零售商将比供应商获得更高比例的超额利润分配. 显然, 如果 $\alpha < \beta$, 供应商将比零售商获得更高比例的超额利润分配.

命题 6 基于纳什讨价还价模型, 保险契约由下式给出:

$$\begin{aligned} (\bar{r}, \bar{\theta}) = \\ \{(r^*, \theta^*) \in N, r^* = (p-w) - (p-c)\theta^*\} \end{aligned} \quad (21)$$

式中, $\theta^* = \frac{\beta}{\alpha+\beta}\theta_{\min} + \frac{\alpha}{\alpha+\beta}\theta_{\max}$. 由此得到在保险契约下, 零售商预期利润为 $\pi_{ir}(\theta^*) = \pi_{wr} + \frac{\alpha}{\alpha+\beta}\Delta\pi$, 供应商预期利润为 $\pi_{is}(\theta^*) = \pi_{ws} + \frac{\beta}{\alpha+\beta}\Delta\pi$. 从以上结果中可以得到, 当以批发价格契约为基准引入保险契约协调供应链时, 供应链中增加的利润为 $\Delta\pi$, 其中: 零售商的利润增加 $\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\Delta\pi$, 供应商的利润增加 $\frac{\beta}{\alpha+\beta}\Delta\pi$. 这一结果有助理解供应商和零售商的风险偏好如何影响协调供应链时所增加利润的分配. 如果 $\alpha = \beta$, 可以得到最优的解决方案,

$$\theta^* = (\theta_{\min} + \theta_{\max})/2,$$

表明供应商和零售商平分增加的预期利润.

3.2 议价能力对超额利润分配的影响

上文考虑了供应链成员的风险偏好对超额利润分配的影响, 在本节中单独考虑议价能力的影响. 假

设供应商和零售商都是风险中性的且它们的议价能力分别为 ρ_1 和 ρ_2 , 其中有 $\rho_1 + \rho_2 = 1$. 建立纳什讨价还价均衡:

$$\left. \begin{aligned} \max_{(r,\theta)} U_s(\Delta\pi_s(\theta))U_r(\Delta\pi_r(\theta)) = \\ \left[\pi_{is}(\theta) - \pi_{ws} \right]^{\rho_2} \left[\pi_{ir}(\theta) - \pi_{wr} \right]^{\rho_1} = \\ \left[(1-\theta)\pi_c - \pi_{wm} \right]^{\rho_2} \left[\theta\pi_c - \pi_{wr} \right]^{\rho_1} \\ \text{s. t. } (r,\theta) \in N, \theta \in (\theta_{\min}, \theta_{\max}) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

命题 7 类似命题 6 同样得到

$$\theta^* = \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2}\theta_{\min} + \frac{\rho_1}{\rho_1 + \rho_2}\theta_{\max}.$$

比较命题 6 和命题 7 可以得到: 在单独考虑风险偏好和相对议价能力时, 供应链双方风险偏好对谈判结果的影响和相对议价能力对谈判的结果影响相同. 这是因为在单独考虑风险偏好时, 双方风险偏好的相对差额实际就起到了相对议价能力的作用.

3.3 风险偏好和议价能力对超额利润分配的总影响

为了更好地比较风险偏好和双方的议价能力对谈判结果的影响作用, 本节将同时考虑供应链成员风险偏好和议价能力同时存在的情况, 此时单纯的纳什讨价还价模型已经无法适用, 本文引用 Eliashberg^[18] 分析模型解决这个问题. Eliashberg 模型通过求解供应链的最大化效用函数, 讨论风险偏好和议价能力同时存在时对超额利润分配的影响.

为了计算方便, 假设本节中供应商和零售商都是风险规避性的, 且风险效应函数分别是 $U_r(\Delta\pi_r(\theta)) = -e^{(-\alpha\Delta\pi_r(\theta))}$ 和 $U_s(\Delta\pi_s(\theta)) = -e^{(-\beta\Delta\pi_s(\theta))}$; 供应商和零售商的议价能力分别为 ρ_1 和 ρ_2 , 其中, $\rho_1 + \rho_2 = 1, 0 < \rho_1 < 1$. 基于 Eliashberg 模型, 通过求解问题:

$$\left. \begin{aligned} \max_{(r,\theta)} U_c(\Delta\pi_r(\theta), \Delta\pi_s(\theta)) = -\rho_1 e^{(-\alpha\Delta\pi_r(\theta))} - \rho_2 e^{(-\beta\Delta\pi_s(\theta))} \\ \text{s. t. } (r,\theta) \in N, \theta \in (\theta_{\min}, \theta_{\max}) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

类似式(20), $U_c(\Delta\pi_r(\theta), \Delta\pi_s(\theta))$ 是关于 θ 的严格凹函数, 通过式(23)求解最优值为 θ^* , 可以得到如下结论:

命题 8 ① 当 $\frac{\rho_2}{\rho_1} \leq \frac{\alpha}{\beta e^{(\alpha\Delta\pi_r(\theta))}}$ 时, 可以得到最优值 $\theta^* = \theta_{\max}$, 相应满足条件的保险契约是 $(\bar{r}, \bar{\theta}) = \{(r_{\max}, \theta_{\max}) \in N, r_{\max} = (p-w) - (p-c)\theta_{\max}\}$. 超额利润 $\Delta\pi$ 在供应商和零售商之间分配为

$$(\Delta\pi_r(\theta), \Delta\pi_s(\theta)) = (\Delta\pi, 0).$$

② 当 $\frac{\rho_2}{\rho_1} \geq \frac{\alpha e^{(\beta\Delta\pi_s(\theta))}}{\beta}$ 时,可以得到最优值 $\theta^* = \theta_{\min}$,相应满足条件的保险契约是

$$(\bar{r}, \bar{\theta}) = \{(r_{\min}, \theta_{\min}) \in N, r_{\min} = (p - w) - (p - c)\theta_{\min}\}.$$

超额利润 $\Delta\pi$ 在供应商和零售商之间分配为

$$(\Delta\pi_r(\theta), \Delta\pi_s(\theta)) = (0, \Delta\pi).$$

③ 当 $\frac{\rho_2}{\rho_1} \in \left(\frac{\alpha}{\beta e^{(\alpha\Delta\pi_r(\theta))}}, \frac{\alpha e^{(\beta\Delta\pi_s(\theta))}}{\beta}\right)$ 时,可以得到最优值 θ^* 满足如下条件:

$$\theta^* = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}\theta_{\min} + \frac{\beta}{\alpha + \beta}\theta_{\max} - \frac{\ln \frac{\beta\rho_2}{\alpha\rho_1}}{\pi_c(\alpha + \beta)} \quad (24)$$

证明 令 $H(\theta) = -\rho_1 e^{-\alpha\Delta\pi_r(\theta)} - \rho_2 e^{-\beta\Delta\pi_s(\theta)}$,结合式(23)对 θ 求导,令 $\frac{\partial H(\theta)}{\partial \theta} = 0$ 化简得到式(24),证毕. \square

相应的保险契约为 $(\bar{r}, \bar{\theta}) = \{(r^*, \theta^*) \in N, r^* = (p - w) - (p - c)\theta^*\}$,其中 θ^* 由式(24)求出,超额利润 $\Delta\pi$ 的分配如下:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\pi_r(\theta) &= \frac{\beta}{\alpha + \beta}\Delta\pi - \frac{\ln \frac{\beta\rho_2}{\alpha\rho_1}}{\alpha + \beta}, \\ \Delta\pi_s(\theta) &= \frac{\alpha}{\alpha + \beta}\Delta\pi + \frac{\ln \frac{\beta\rho_2}{\alpha\rho_1}}{\alpha + \beta} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

命题 9 ① 基于 Eliashberg 模型,零售商将获得 $\frac{\beta}{\alpha + \beta}$ 比例的超额利润,供应商将获得 $\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ 比例的超额利润.

② 供应商和零售商之间的转移费用为 $\frac{\ln(\beta\rho_2/(\alpha\rho_1))}{\alpha + \beta}$:如果 $\frac{\rho_2}{\rho_1} \geq \frac{\alpha}{\beta}$,则转移费用由零售商支

付给供应商;否则,由供应商支付给零售商.

③ 从式(25)可以看到,零售商或者供应商获得超额利润的比例和议价能力 ρ_1, ρ_2 没有关系,只与风险规避因子 α, β 有关而且风险规避性越强的获得超额利润比例越小.

④ 当 $\alpha = \beta$ 时,供应商和零售商获得相同比例的超额利润,此时议价能力 ρ_1, ρ_2 是决定是否存在转移费用的唯一因素.

4 数值分析

在本节中,将在前面理论分析的基础上进行数值验证.假设市场需求函数服从 $D(300, 500)$ 均匀分布.其他的参数假设如下: $p = 25, w = 18, c = 12, v = 8, g = 3$.

4.1 供应链最优决策

当供应商和零售商组成集中式供应链时,代入以上参数可得: $q_c = 460, \pi_c = 4\ 880$.

当供应商和零售商形成非合作的斯坦伯格博弈时,代入以上参数可得: $q_{wr} = 400, \pi_{wr} = 2\ 300, \pi_{ws} = 2\ 400, \theta_{\min} = 47.13\%, \theta_{\max} = 50.82\%, r \in (0.392\ 4, 0.873\ 1)$.

4.2 担保价格和供应链成员的利润值随 θ 的变动情况

在供应商和零售商利润不同的风险偏好和议价能力下,零售商承担风险比例 θ 的有效范围为 $\theta \in (47.13\%, 50.82\%)$.结合式(7)、(9)以及命题 4 得到不同条件下最优保险契约,结果如表 1 所列.

根据表 1 可以得出:当 θ 处于有效范围内,供应链可以实现协调,供应链预期利润达到最大值;当 θ 偏离有效取值范围时,零售商或者供应商有一方预期利润下降,显然与现实不符.

表 1 不同 θ 下的最优保险契约

Tab. 1 Optimal insurance contract under different θ

θ	r	π_{ir}	$\Delta\pi_{ir}$	π_{is}	$\Delta\pi_{is}$	$\Delta\pi_{ir} + \Delta\pi_{is}$
46.63%	0.938 1	2 275.544	—	2 604.456	—	180
47.13%	0.873 1	2 299.944	0	2 580.056	180	180
47.63%	0.808 1	2 324.344	24.344	2 555.656	155.656	180
48.13%	0.743 1	2 348.744	48.744	2 531.256	131.256	180
48.63%	0.678 1	2 373.144	73.144	2 506.856	106.856	180
49.13%	0.613 1	2 397.544	97.544	2 482.456	82.456	180
49.63%	0.548 1	2 421.944	121.944	2 458.056	58.056	180
50.13%	0.483 1	2 446.344	146.344	2 433.656	33.656	180
50.63%	0.418 1	2 470.744	170.744	2 409.256	9.256	180
51.13%	0.353 1	2 495.144	—	2 384.856	—	180

如图 2 所示,担保价格 r 随 θ 的增加而减小,零售商的利润随 θ 增加而增加,供应商的利润随 θ 增加而减小,如图 3 所示。

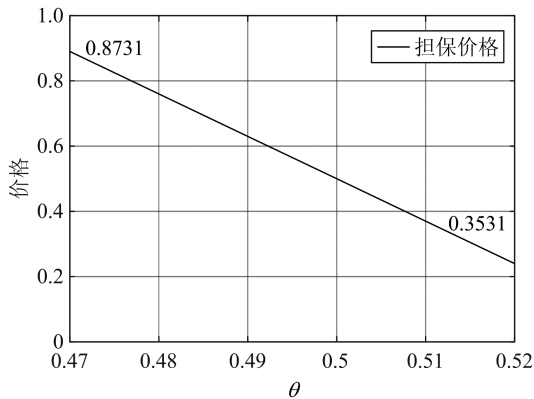


图 2 担保价格 r 随 θ 的变化趋势图

Fig. 2 Insurance price changes with θ

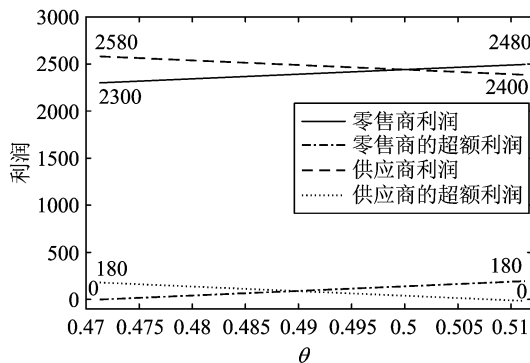


图 3 供应商和零售商利润随 θ 变化趋势图

Fig. 3 Supplier and retailer's profit change with θ

5 结论

鉴于目前在供应链管理中引入契约来协调供应链越来越普遍,本文建立了一个保险模型并提出保险契约,使供应链成员面对不确定性的市场需求时,降低市场风险带给零售商的损失,提高供应商生产的积极性,最后实现供应链协调,在一定程度上提高了供应链的效率。本文表明,与批发价格契约相比,在保险契约核心子集 N 中任何契约都可以协调供应链,实现帕累托改进。文中考虑到成员的风险偏好和议价能力对超额利润分配的影响。

值得注意的是,对于核心子集 N 中任何保险契约,无论是供应商和零售商都愿意履行契约,这意味着供应商和零售商能够同时实现最优利润。虽然保险契约能够协调供应链并且实现帕累托改进,但也

有一些不足。本文提出保险契约的一个重要假设是,零售商将与供应商真正分享市场需求和产品销售情况信息。因此,在实践中有必要采取措施来监督零售商的销售情况,防止该零售商虚报其损失情况,但这可能产生管理成本。在此基础上,怎么提高保险契约执行力是值得研究的。最后,保险契约可能导致零售商销售的积极性不高,Taylor^[19]假设市场需求是受零售商的销售积极性影响的,而保险契约中零售商和供应商共同承担产品的库存和缺货风险,因此零售商可能不会尽其最大努力销售产品,所以基于保险契约建立合适的供应链模型来研究引入保险机制对零售商销售积极性的影响也是未来的研究方向之一。

参考文献 (References)

- [1] PASTERNAK B. Optimal pricing and returns policies for perishable commodities [J]. Marketing Science, 1985, 4(2): 166-176.
- [2] ZHAO Y, WANG S, CHENG T C E, et al. Coordination of supply chains by option contracts: A cooperative game theory approach [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207 (1): 668-675.
- [3] CACHON G P. Supply Chain Coordination with Contracts [M]// Handbooks in Operations Research and Management Science (Vol. 11). Amsterdam: Elsevier, 2003: 227-339.
- [4] SPENGLER J. Vertical integration and antitrust policy [J]. Journal of Political Economy, 1950, 58 (4): 347-352.
- [5] LARIVIERE M A, PORTEUS E L. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2001, 3(4): 293-305.
- [6] SU X M. Bounded rationality in news vendor models [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10(4): 566-589.
- [7] GINO F, PISANO G. Toward a theory of behavioral operations [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10(4): 676-691.
- [8] 刘作仪, 查勇. 行为运作管理: 一个正在显现的研究领域 [J]. 管理科学学报, 2009, 12(4): 64-67. LIU Zuoyi, ZHA Yong. Behavioral operations management: An emerging research field [J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12 (4): 64-67.
- [9] ECKHOUDT L, GOLLIER C, Schlesinger H. The

- risk-averse (and prudent) newsboy[J]. *Management Science*, 1995, 41(5):786-794.
- [10] 林志炳, 蔡晨, 许保光. 损失厌恶下的供应链收益共享契约研究[J]. *管理科学学报*, 2010, 13(8): 33-41.
LIN Zhibing, CAI Chen, XU Baoguang. Revenue sharing analysis of supply chain with loss aversion[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(8): 33-41.
- [11] GAN X H, SETHI S, YAN H. Channel coordination with a risk-neutral supplier and a downside-risk-averse retailer[J]. *Production and Operations Management*, 2005, 4(1): 80-89.
- [12] CHEN F Y, YANO C A. Improving supply chain performance and managing risk under weather-related demand uncertainty[J]. *Management Science*, 2010, 56(8):1 380-1 397.
- [13] YIANNACOPOULOS A, LAMBRINOUDAKIS C. Computer Security-ESORICS [J]. *Lecture Notes in Computer Science Volume*, 2008: 207-222.
- [14] LIN Zhibing, CAI Chen, XU Baoguang. Supply chain coordination with insurance contract [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 205: 339-345.
- [15] PRATT J M. Risk aversion in the small and in the large[J]. *Econometrica*, 1964, 32: 122-136.
- [16] IYER G, PADMANABHAN V. Contractual relationships and coordination in distribution channels [C]// *Managing Business Interfaces: Marketing, Engineering, and Manufacturing Perspectives*. Boston: Kluwer, 2004:105-131.
- [17] VON NEUMANN J, MORGENSTERN O. *Theory of Games and Economic Behavior*[M]. 2nd ed. Princeton: Princeton University Press, 1953.
- [18] ELIASHBERG L. Arbitrating a dispute: A decision analytic approach [J]. *Management Science*, 1986, 32(8): 963-974.
- [19] TAYLOR T A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects [J]. *Management Science*, 2002, 48(8): 992-1 007.

(上接第 911 页)

参考文献(References)

- [1] KLÜPPELBERG C, MIKOSCH T. Large deviations of heavy-tailed random sums with applications in insurance and finance[J]. *J Appl Prob*, 1997, 34(2): 293-308.
- [2] CHEN Y, ZHANG W. Large deviations for random sums of negatively dependent random variables with consistently varying tails[J]. *Stat Prob Lett*, 2007, 77(5): 530-538.
- [3] CHEN Y, YUEN K C, NG K W. Precise large deviations of random sums in presence of negatively dependence and consistent variation [J]. *Methodol Comput Appl Probab*, 2011, 13(4): 821-833.
- [4] LIU L. Precise large deviations for dependent random variables with heavy tails[J]. *Stat Prob Lett*, 2009, 79(9): 1 290-1 298.
- [5] ALEŠKEVICIENE A, LEIPUS R, ŠIAULYS J. Tail behavior of random sums under consistent variation with application to the compound renewal risk model [J]. *Extremes*, 2008, 11: 261-279.
- [6] YANG Y, LEIPUS R, ŠIAULYS J. Precise large deviations for compound random sums in the presence of dependence structures[J]. *Comp Math Appl*, 2012, 64(6): 2 074-2 083.
- [7] CHEN Y, YUEN K C. Precise large deviations of aggregate claims in a size-dependent renewal risk model [J]. *Insurance: Mathematics and Economics*, 2012, 51(2): 457-461.
- [8] BI X, ZHANG S. Precise large deviations of aggregate claims in a risk model with regression-type size-dependence[J]. *Stat Prob Lett*, 2013, 83(10): 2 248-2 255.
- [9] ANSCOMBE F J. Large sample theory of sequential estimation [J]. *Proc Camb Phil Soc*, 1952, 48: 600-607.
- [10] WANG K, YANG Y, LIN Q. Precise large deviations for widely orthant dependent random variables with dominatedly varying tails [J]. *Front Math China*, 2012, 7(5): 919-932.