

面向模糊随机需求更新的供应链回购 契约响应方法研究

赵志刚^{1,2}, 李向阳^{1,2}, 刘秀芝³

(1. 哈尔滨工业大学技术政策管理国家哲学社会科学创新基地, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工业大学管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

3. 东北财经大学工商管理学院, 辽宁 大连 116025)

摘要:针对需求信息更新为模糊随机变量情况, 构建了供应链系统在不同决策选择下的获利模型, 进一步提出了供应链系统进行决策的乐观主义准则、悲观主义准则和风险中性准则。对于采用回购契约进行协调的供应链, 通过分析零售商在不同抉择下的获利情况, 提出了修正回购契约参数的可行集构造方法。研究表明, 信息更新后, 原有的回购契约可能不再适用, 需要加以适当修正才能重新实现供应链协调。新的契约在协调供应链同时, 能够对需求更新前后, 供应链系统的利润变化进行合理分配, 体现了“利益分享、风险共担”的供应链管理理念。模拟算例研究阐明了该方法的应用步骤, 表明了该方法的有效性。

关键词:供应链协调; 回购契约; 模糊随机需求更新; 响应方法

中图分类号: F274 **文献标识码:** A

1 引言

供应链契约是一类重要的供应链协调策略, 常见的契约有回购契约、批发价格契约、数量弹性契约等^[1]。按照回购契约, 供应商以批发价格将产品销售给零售商, 在销售期末, 就零售商的单位未销产品支付回购价格。回购契约可以支持实现供应链协调^[2]。Emmons 和 Gilbert 研究了一个具有定价权的报纸经销商的回购契约^[3], Padmanabhan 和 Png 研究了在一个供应商和多个零售商的供应链中, 采用回购契约控制零售商间的竞争^[4]。Taylor 将回购契约和销售折扣契约相结合, 用以协调努力水平决定需求时的报童问题^[5]。

由于订货提前期的存在, 零售商在发出订单之后, 市场需求情况可能发生变化。这种变化有可能

影响到协调契约, 使之不能够再起到协调供应链的作用。Xiangtong Qi, Jonathan F. Bard 等人于于辉、陈剑等人分别研究了当市场规模变化和价格需求弹性变化时, 数量弹性契约的响应方法^[6,7]。这些研究中, 市场规模或价格需求弹性变化后的市场需求都是确定性的。注意到供应链运作环境的不确定性, 有学者研究了需求信息更新为一个新的随机变量时, 供应链协调契约的响应方法, 在第二阶段建模和分析中使用了更新后的需求随机分布函数。针对具有需求预测更新的批发价格合同, 徐金亮, 徐渝等人利用收入分配合同解决了双边化效应问题^[8]。Donohue 研究了单一销售季节两阶段报童模型, 提出对不同阶段制定不同的批发价格, 以固定的价格回购未销产品^[9]。于辉、陈剑等人指出, 零售商面临的需求分布发生变化时, 供应链协调将被打破, 因此需要对回购契约加以改进^[10]。

除随机变量外, 模糊变量和模糊随机变量也都从各自的角度来刻画需求的不确定性。例如, 需求有可能是企业主观估计的, 并以含糊的方式表达。Dobriła Petrović, Radivoj Petrović 等人就研究了模糊需求下的报童问题^[11]。Liang - Yuh Ouyang, Jing - Shing Yao 构建了模糊需求下的连续检查存

收稿日期: 2006 - 05 - 19; 修订日期: 2007 - 04 - 20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70571019); 国防基础科研项目(A2320060097); 教育部博士点基金资助项目(20060213004); 国家 863 计划 CIMS 主题项目(2002AA413110); 哈尔滨工业大学 TPM 基地

作者简介: 赵志刚(1979 -), 男(满族), 辽宁本溪人, 哈尔滨工业大学管理学院博士研究生, 研究方向: 供应链管理、生产运作管理、智能计算。

货模型,并设计了求解程序^[12]。C. Kao, W. K. Hsu 和 Lushu Li, S. N. Kabadi 等人也重点研究了模糊需求下的单周期存货模型^[13, 14]。模糊随机变量自从由 Huibert Kwakernaak 首先提出以来^[15],由于能够更贴切的描述不确定性,被广为研究与应用。María Ángeles Gil, Miguel López-Dáz 等人回顾了模糊随机变量的概念、建模与影响,阐述了利用模糊随机变量建模的情形和方法,归纳了关于模糊随机变量的概率论研究和统计应用^[16]。近年来一些学者将模糊随机信息引入市场需求,展开研究。于春云,赵希男等人认为,在复杂的市场环境下,单纯的采用随机变量或模糊变量都不足以准确的描述需求,例如有关需求的描述可能是:市场旺盛的概率为 0.5,此时的需求量为 1500 件左右。此时,就需要借助模糊随机变量对市场需求进行描述。他们将模糊随机需求期望值理论引入对模糊随机需求模式下单周期库存优化问题研究,建立了模糊随机收益期望值最大化的单一产品模糊随机报童模型和多产品模糊随机规划报童模型^[17]。Hung-Chi Chang, Jing-Shing Yao 等人研究了包含模糊随机变量提前期需求和模糊总需求的模糊混合模型,通过确定订货量和提前期优化总成本^[18]。在 P. Dutta, D. Chakraborty 等人研究的单周期存货模型中,模糊随机需求中的需求和概率均为三角模糊数,文章提出梯度均值法确定了不准确与不确定环境下的最优订货量^[19]。这些研究为不确定环境下单个企业的库存采购问题提供了良好的解决方法,但并没有涉及到由多个企业组成的供应链的协调问题,也没有考虑信息更新对于企业采购行为和供应链协调策略的影响。

本文将研究模糊随机需求更新下的供应链回购契约响应问题,特色之处在于:(1)需求信息从随机变量更新为模糊随机变量。随着销售期的临近,凭借历史数据和销售经验,零售商能够对需求情况作出一定程度上的模糊判断,更为准确的市场信息能使供应链系统更好的满足客户需求,提高获利水平或避免较大的损失;(2)通过构建回购契约参数的可行集,判断回购契约能否协调供应链,是否需要进行调整,兼顾供应链上成员企业的利益;(3)研究并不局限于决策者风险中性这一前提,提出的乐观主义决策准则和悲观主义决策准则使得回购契约的响应方法具有广泛的适用性。总之,模糊随机需求更新在供应链实践中较为常见,然而这方面的研究却较为少见。因此,有必要研究在需求信息更新为模

糊随机变量条件下,如何更新供应链协调契约,引导零售商制定符合供应链整体利益的订货决策。本文重点研究利用回购契约进行协调的供应链,在模糊随机需求信息更新条件下的响应方法。

2 问题描述与标准回购契约

2.1 问题描述

研究由一个供应商和一个零售商组成的两层供应链。供应商按照零售商的订单生产一种产品,零售商获得产品之后再销售到市场。目前,零售商面临着一个销售季节。为了更好的满足市场需求,允许零售商进行两次订货。第一次订货时,零售商根据市场需求分布和供应商给出的回购契约确定初始订货量。在销售季节开始前,零售商进一步搜集市场信息,根据历史经验和专家判断,将需求更新为模糊随机变量,并将该信息提供给供应商。供应商根据零售商提供的更新需求信息,修正其回购契约,零售商以更新后的回购契约为基础调整期订货量,决定补充订货、减少订货或不采取任何行动。销售开始之后,零售商不能再向供应商提出补充订货或退货要求。如果需求大于零售商的订货,则发生缺货成本;如果销售期末还有剩余未销产品,零售商将过剩产品以一定的价格返回给供应商。将有关记号列示如下:

D ——第一次订货时零售商观测到的市场需求。随机需求 D 的分布函数为 F , F 可微,严格增加且 $F(0) = 0$, 记 $\bar{F} = 1 - F(x)$, 密度函数为 f , 期望需求 $\mu = E(D)$;

p ——产品在市面上的销售价格,为一个常数;

c ——单位产品的总成本, $c = c_s + c_r$, c_s 为供应商单位生产成本, c_r 为零售商单位成本;

g ——单位商誉惩罚成本, $g = g_s + g_r$, g_s 为由于零售商发生缺货而引发的供应商商誉单位惩罚成本; g_r 为由于零售商发生缺货而引发的零售商商誉单位惩罚成本;

v ——单位产品残值;

w_0 ——初次订货时供应商回购契约中指明的单位产品批发价格;

b ——初次订货时供应商回购契约中指明的单位产品回购价格;

q ——零售商订货量,决策变量。

2.2 标准回购契约

产品的期望销售量为 $S(q) = q(1 - F(q)) +$

$\int_0^q yf(y) dy = q - \int_0^q F(y) dy$, 期望剩余存货为 $I(q) = q - S(q)$, 期望缺货量为 $L(q) = \mu - S(q)^{[1]}$ 。供应链系统的利润函数为:

$$(q) = (p - v + g)S(q) - (c - v)q - g\mu \quad (1)$$

零售商的利润函数为:

$$r(q) = pS(q) + vI(q) - g_R L(q) - c_R q - T = (p - v + g_R)S(q) - (c_R - v)q - g_R \mu - T \quad (2)$$

显然,零售商的利润受到转移支付 T 的影响。考虑使用回购契约参数组 $\{w_0, b\}$ 进行转移支付,对于 $0 \leq b \leq w_0$, 令

$$\begin{cases} p - v + g_R - b = (p - v + g) \\ w_0 - b + c_R - v = (c - v) \end{cases} \quad (3)$$

那么,零售商的利润函数改写为:

$$r(q, w_0, b) = (p - v + g)S(q) - (c - v)q - g_R \mu = (q) + \mu(g - g_R) \quad (4)$$

由式(4)可知,回购契约能够协调供应链,促使零售商将按照系统最优的订货量进行订货,订货量为 $q^* = \text{argmax}(q)$, 供应链系统的最优利润为 $\max(q) = (q^*)$, 零售商的最优利润为 $r_{\max} = \max(r) + \mu(g - g_R)$ 。

3 需求信息更新条件下供应链系统的决策

零售商发出订单后,随着销售期的临近,其掌握的信息越来越多。需求有可能被更新为由若干个模糊区间,并伴以主观模糊概率判断组成的模糊随机变量。将此模糊随机需求记为 \tilde{r} , 其相应的数据集

$$\tilde{P}(\tilde{y}_k)_{op1} = \begin{cases} p\tilde{y}_i - c\tilde{y}_k - c_E(\tilde{y}_k - q^*) + v(\tilde{y}_k - \tilde{y}_i) & \tilde{y}_i \leq \tilde{y}_k \\ (p - c)\tilde{y}_k - c_E(\tilde{y}_k - q^*) - g(\tilde{y}_i - \tilde{y}_k) & \tilde{y}_i > \tilde{y}_k \end{cases} \quad k \in [m + 1, n] \quad (5)$$

期望利润为一个三角模糊数 $(EP(\tilde{y}_k)_{op1}, EP(\tilde{y}_k)_{op1}, EP(\tilde{y}_k)_{op1})^{[19]}$, 表达式为

$$\begin{aligned} EP(\tilde{y}_k)_{op1} &= \int_{i=1}^k [p\tilde{y}_i - c\tilde{y}_k - c_E(\tilde{y}_k - q^*) + v(\tilde{y}_k - \tilde{y}_i)] \tilde{p}_i + \int_{i=k+1}^n [(p - c)\tilde{y}_k - c_E(\tilde{y}_k - q^*) - g(\tilde{y}_i - \tilde{y}_k)] \tilde{p}_i \\ &= \int_{i=1}^k [(p - v)\tilde{y}_i - (c + c_E - v)\tilde{y}_k + c_E q^*] \tilde{p}_i + \int_{i=k+1}^n [(p - c - c_E + g)\tilde{y}_k - g\tilde{y}_i + c_E q^*] \tilde{p}_i \quad (6) \\ EP(\tilde{y}_k)_{op1} &= \int_{i=1}^k [(p - v)\tilde{y}_i \tilde{p}_i - (c + c_E - v)\tilde{y}_k \tilde{p}_i + c_E q^* \tilde{p}_i] + \int_{i=k+1}^n [(p - c - c_E + g)\tilde{y}_k \tilde{p}_i - g\tilde{y}_i \tilde{p}_i + c_E q^* \tilde{p}_i] \\ EP(\tilde{y}_k)_{op1} &= \int_{i=1}^k [(p - v)\tilde{y}_i \tilde{p}_i - (c + c_E - v)\tilde{y}_k \tilde{p}_i + c_E q^* \tilde{p}_i] + \int_{i=k+1}^n [(p - c - c_E + g)\tilde{y}_k \tilde{p}_i - g\tilde{y}_i \tilde{p}_i + c_E q^* \tilde{p}_i] \quad (7) \\ EP(\tilde{y}_k)_{op1} &= \int_{i=1}^k [(p - v)\tilde{y}_i \tilde{p}_i - (c + c_E - v)\tilde{y}_k \tilde{p}_i + c_E q^* \tilde{p}_i] + \int_{i=k+1}^n [(p - c - c_E + g)\tilde{y}_k \tilde{p}_i - g\tilde{y}_i \tilde{p}_i + c_E q^* \tilde{p}_i] \\ EP(\tilde{y}_k)_{op1} &\text{的 } (0 < \alpha < 1) \text{ 乐观值为 } EP(\tilde{y}_k)_{op1}^{\alpha} = \sup\{r | Cr\{EP(\tilde{y}_k)_{op1}\} \geq \alpha\} \\ &\text{的 } (0 < \alpha < 1) \text{ 悲观值为 } EP(\tilde{y}_k)_{op1}^{\alpha} = \inf\{r | Cr\{EP(\tilde{y}_k)_{op1}\} \leq \alpha\}, EP(\tilde{y}_k)_{op1} \text{ 的期望值为 } EE(\tilde{y}_k)_{op1} \end{aligned}$$

合为 $(\tilde{y}_1, \tilde{p}_1), (\tilde{y}_2, \tilde{p}_2), \dots, (\tilde{y}_n, \tilde{p}_n)$ 其含义是需求在模糊区间 \tilde{y}_i 上的模糊概率为 $\tilde{p}_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。假设:

(1) 每个模糊需求具有一个有界区间,这 n 个需求区间并不重叠;如果部分区间重叠,对于重叠的部分,将有不同的概率估计,这表明决策者不够理性。

(2) 需求是以第一阶段的最优订货量 q^* 向两侧预测的,即 q^* 不是在模糊区间内部。 q^* 的左侧有 m 个模糊区间,右侧有 $(n - m)$ 个模糊区间;如果某一区间跨越了 q^* ,可以将其 q^* 以为分界点拆分为两个区间。

(3) 为简化起见,设模糊区间和模糊概率为三角模糊数,分别为 $(\tilde{y}_i, y_i, \tilde{y}_i)$ 和 $(\tilde{p}_i, p_i, \tilde{p}_i)$ 。

从整个供应链系统角度出发,其在需求更新后的应对措施以及零售商的应对措施可以分为两类:不改变订货量、改变订货量为 $\tilde{y}_k (k \in [1, n])$ 且 k 为整数)。当订货量发生变动时,供应商和零售商将需要调整他们的生产和销售计划。每单位增加的产品给供应商带来成本 C_{SE} , 给零售商带来成本 C_{RE} 。每单位减少产品将给供应商带来成本 C_{SD} , 给零售商带来成本 C_{RD} 。记 $C_E = C_{SE} + C_{RE} < p - c, C_D = C_{SD} + C_{RD} < p - c$ 。

3.1 不同对策下供应链系统的利润水平

Option1:追加订货。若追加订货,供应链系统的利润函数为:

$$= \frac{EP(\tilde{y}_k)_{op1} + 2EP(\tilde{y}_k)_{op1} + \overline{EP(\tilde{y}_k)_{op1}}^{[20]}}{4}$$

Option2 为减少订货, Option3 为不改变订货量。相应的供应链系统期望利润为:

$$EP(\tilde{y}_k)_{op2} = \sum_{i=1}^k [(p - v)\tilde{y}_i - (c - c_D - v)\tilde{y}_k - c_D q^*] \tilde{p}_i + \sum_{i=k+1}^n [(p - c + c_D + g)\tilde{y}_k - g\tilde{y}_i - c_D q^*] \tilde{p}_i \quad [1, m] \quad (8)$$

$$EP(q^*)_{op3} = \sum_{i=1}^m [(p - v)\tilde{y}_i - (c - v)q^*] \tilde{p}_i + \sum_{i=m+1}^n [(p - c + g)q^* - g\tilde{y}_i] \tilde{p}_i \quad (9)$$

$\tilde{EP}(\tilde{y}_k)_{op2}$ 和 $\tilde{EP}(q^*)_{op3}$ 的乐观值分别为 $\tilde{EP}(\tilde{y}_k)_{op2}^{sup}(\cdot)$ 和 $\tilde{EP}(q^*)_{op3}^{sup}(\cdot)$, 它们的悲观值分别为 $\tilde{EP}(\tilde{y}_k)_{op2}^{inf}(\cdot)$ 和 $\tilde{EP}(q^*)_{op3}^{inf}(\cdot)$, 它们的期望值分别为 $EE(\tilde{y}_k)_{op2} = \frac{EP(\tilde{y}_k)_{op2} + 2EP(\tilde{y}_k)_{op2} + \overline{EP(\tilde{y}_k)_{op2}}}{4}$ 、 $EE(q^*)_{op3} = \frac{EP(q^*)_{op3} + 2EP(q^*)_{op3} + \overline{EP(q^*)_{op3}}}{4}$, 具体的表达式可以参考式(7)获得。

3.2 供应链系统的决策准则

考虑存在集权领导者, 从整个供应链系统的角度进行决策。不同的决策者对于风险的偏好是不同的, 有的决策者愿意承担较大的风险, 而有的决策者尽量避免风险。根据不同偏好, 决策者可以采用悲观主义、乐观主义或风险中性决策准则:

准则 1: 悲观主义决策准则。当决策者面临情况不确定性较强, 以及决策失误可能带来巨大损失时, 决策者可能变得比较谨慎和保守, 从最坏的角度考虑问题, 从各种方案的最差结果中选择最大的。在本文中, 悲观主义决策准则是指: 决策者从各种决

策方案的期望利润悲观值中选择最大的, 将对应的 \tilde{y}_k 或 q^* 作为决策结果 y^* 。

准则 2: 乐观主义决策准则。与悲观主义决策者相反, 乐观主义决策者面临不确定情况时, 敢于冒险, 不放过任何获得最好结果的机会。从最好的角度考虑问题, 从各种方案的最好结果中选择最大的。在本文中, 乐观主义决策准则是指: 决策者从各种决策方案的期望利润乐观值中选择最大的, 将对应的 \tilde{y}_k 或 q^* 作为决策结果 y^* 。

准则 3: 风险中性决策准则。当决策者既不追逐风险, 也不厌恶风险时, 可以采用风险中性决策准则。对于本文研究的问题, 风险中性决策准则是指: 决策者确定数 $d_{op1} \in [m + 1, n]$, 使 $EE(\tilde{y}_{d_{op1}})_{op1} = EE(\tilde{y}_j)_{op1} (\forall j \in [m + 1, n])$, 确定数 $d_{op2} \in [1, m]$, 使 $EE(\tilde{y}_{d_{op2}})_{op2} = EE(\tilde{y}_j)_{op2} (j \in [1, m])$, 记 $\max = \max\{EE(\tilde{y}_{d_{op1}})_{op1}, EE(\tilde{y}_{d_{op2}})_{op2}, EE(q^*)_{op3}\}$, 将对应的 $\tilde{y}_{d_{op1}}, \tilde{y}_{d_{op2}}$ 或 q^* 作为决策结果 y^* 。

决策者根据自身偏好选择决策准则进行决策。以风险中性准则为例, 若决策结果为 $y^* = \tilde{y}_{d_{op1}}$, 则从供应链系统角度看应增加产销量 $(\tilde{y}_{d_{op1}} - q^*)$, 若决策结果为 $y^* = \tilde{y}_{d_{op2}}$, 则供应链系统应减少产销量 $(q^* - \tilde{y}_{d_{op2}})$, 若决策结果为 $y^* = q^*$, 则应保持原有产销量不变。

4 修正回购契约参数的可行集

为实现供应链协调, 供应商应对其回购契约作适当修正, 引导零售商按照系统最优的产销量订货。记供应商将回购契约参数组更新为 $\{w, b\}$, 则零售商的期望利润为:

$$EP(\tilde{y}_k, q^*)_R = \begin{cases} \sum_{i=1}^k [(p - b)\tilde{y}_i - (c_R + w + c_{RE} - b)\tilde{y}_k + c_{RE}q^*] \tilde{p}_i + \sum_{i=k+1}^n [(p - c_R - w - c_{RE} + g_R)\tilde{y}_k - g_R\tilde{y}_i + c_{RE}q^*] \tilde{p}_i & \text{Option1} \\ \sum_{i=1}^k [(p - b)\tilde{y}_i - (c_R + w - c_{RD} - b)\tilde{y}_k - c_{RD}q^*] \tilde{p}_i + \sum_{i=k+1}^n [(p - c_R - w + c_{RD} + g_R)\tilde{y}_k - g_R\tilde{y}_i - c_{RD}q^*] \tilde{p}_i & \text{Option2} \\ \sum_{i=1}^m [(p - b)\tilde{y}_i - (c_R + w - b)q^*] \tilde{p}_i + \sum_{i=m+1}^n [(p - c_R - w + g_R)q^* - g_R\tilde{y}_i] \tilde{p}_i & \text{Option3} \end{cases} \quad (10)$$

为叙述方便,假设零售商与供应链系统均按照风险中性准则进行决策。如果零售商与供应链系统采用其他准则,或者他们采用不同的准则,也可以参照下面的过程。

回购契约参数组 $\{w, b\}$ 应满足如下一般条件:

$$\begin{cases} b - w < p - CR \\ w > CS \end{cases} \quad (11)$$

由式(11),可知 $p - b > 0, CR + w + CRE - b > 0, p - CR - w + CRD + GR > 0, CR + w - b > 0, p - CR - w + GR > 0$ 。根据表达式 $p - CR - w - CRE + GR$ 和 $CR + w - CRD - b$ 的正负性,可以分为四种情况,对于

$$\begin{cases} p - CR - w - CRE + GR > 0 \\ CR + w - CRD - b > 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} A_{d_{op1}} b - B_{d_{op1}} w + C_{d_{op1}}^{op1} & A_j b - B_j w + C_j^{op1} (\forall j \in [m + 1, n]) \\ A_{d_{op1}} b - B_{d_{op1}} w + C_{d_{op1}}^{op1} & A_j b - B_j w + C_j^{op2} (\forall j \in [1, m]) \\ A_{d_{op1}} b - B_{d_{op1}} w + C_{d_{op1}}^{op1} & Db - Ew + F \\ CS + CSE < w < p - CR - CRE \end{cases} \quad (14)$$

Case 2: 供应链系统最优决策为减少产量 ($q^* - \tilde{y}_{d_{op2}}$) 件。此时,回购契约参数组 $\{w, b\}$ 除(11)、

零售商期望利润模糊数的模糊期望值为关于 $\{w, b\}$ 的代数式:

$$EE(\tilde{y}_k, q^*)_R = \begin{cases} A_k b - B_k w + C_k^{op1} & \text{Option1} \\ A_k b - B_k w + C_k^{op2} & \text{Option2} \\ Db - Ew + F & \text{Option3} \end{cases} \quad (13)$$

$A_k, B_k, C_k^{op1}, C_k^{op2}, D, E, F$ 的表达式见附录,对于其他三种情况,可作类似研究。

供应链系统的最优决策分为三种情况:

Case 1: 供应链系统最优决策为追加产量 ($\tilde{y}_{d_{op1}} - q^*$) 件。此时,回购契约参数组 $\{w, b\}$ 除(11)、(12)外,还应满足:

(12)外,还应满足:

$$\begin{cases} A_{d_{op2}} b - B_{d_{op2}} w + C_{d_{op2}}^{op2} & A_j b - B_j w + C_j^{op1} (\forall j \in [m + 1, n]) \\ A_{d_{op2}} b - B_{d_{op2}} w + C_{d_{op2}}^{op2} & A_j b - B_j w + C_j^{op2} (\forall j \in [1, m]) \\ A_{d_{op2}} b - B_{d_{op2}} w + C_{d_{op2}}^{op2} & Db - Ew + F \\ CS + CSD < w < p - CR - CRD \end{cases} \quad (15)$$

Case 3: 供应链系统的最优决策是既不追加也不减少产量。此时,回购契约参数组 $\{w, b\}$ 除(11)、(12)外,还应满足:

$$\begin{cases} Db - Ew + F & A_j b - B_j w + C_j^{op1} (\forall j \in [m + 1, n]) \\ Db - Ew + F & A_j b - B_j w + C_j^{op2} (\forall j \in [1, m]) \end{cases} \quad (16)$$

通过式(14) ~ (16) 可以引导零售商按照系统最优的方式进行决策。注意到供应链协调的关键在于“利益共享、风险共担”,在需求更新前后,供应链系统的期望利润增加额或减少额,也应该通过批发价格和回购价格的确定,在供应商与零售商之间进行分配。因此 $\{w, b\}$ 应满足:

$$\begin{cases} 0 & EE(\tilde{y}_k, q^*)_R - R_{\max} & \max & - & \max & \max & \max \\ \max & - & \max & EE(\tilde{y}_k, q^*)_R - & \max & 0 & \max < \max \end{cases} \quad (17)$$

式(17)表明,在企业实践中,可以通过批发价格和回购价格的谈判调整,确定期望利润增加额或减少额在交易双方的合理分配。以 Case 1 且 \max_{\max} 为例,当选定满足(17)的契约参数 $\{w, b\}$ 时,期望利润增加额在零售商和供应商之间的分配比例为 $(\frac{A_{d_{op1}} b - B_{d_{op1}} w + C_{d_{op1}}^{op1}}{\max - \max} - \frac{R_{\max}}{\max}, 1 - \frac{A_{d_{op1}} b - B_{d_{op1}} w + C_{d_{op1}}^{op1}}{\max - \max} - \frac{R_{\max}}{\max})$ 。

式(14) ~ (16) 之一与式(11)、(12)、(17) 共同构成了不同情况下,回购契约参数的可行集,如果为空集,表明回购契约无法在需求更新的情况下重新协调供应链;如果不为空集,且 $\{w_0, b_0\} \in$,表明回购契约不需要做任何修正,就可以在需求更新的情况下协调供应链,如果不为空集,且 $\{w_0, b_0\}$,表明回购契约必须要作适当修正,从

中选取参数组,才能在需求更新的情况下重新协调供应链。回购契约参数组影响到供应链利润在供应商和零售商之间的分配。

5 模拟算例

研究如下从企业生产经营实际中抽象出来的案例。供应链系统的基本参数如表 1 所示。在第一阶段,产品需求服从正态分布 $q \sim N(25, 10)$, 分布函数为 $F(q) = \frac{1}{10\sqrt{2\pi}} \int_0^q e^{-\frac{(x-25)^2}{200}} dx, F(0) = 0.0062$ 。

表 1 供应链系统基本参数(单位:元)

p	v	g_s	g_R	c_s	c_R
6	2	2	3	3	1

供应链系统的利润函数为 $(q) = 7q - 9 \int_0^q F(y) dy - 125$, 根据函数取极值的一阶充分必要条件 $(q) = 0$ 可知, $q^* = 33$ 件。供应链系统的最优利润为

$$\pi_{\max} = 106 - 9 \int_0^{33} F(y) dy = 106 - \frac{9}{10\sqrt{2}}$$

表 3 期望利润模糊数的期望值

决策	减少订货			追加订货				不变
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	
供应链(元)	- 37.627	- 2.3775	26.123	41.123	42.541	40.791	34.541	38.607
零售商(元)	- 22.576	- 1.9265	13.174	17.174	11.306	2.4564	- 10.094	18.52

分, 供应商发生单位成本 0.1 元, 零售商发生单位成本 0.05 元。如果减少订货, 就减少部分, 供应商发生单位成本 0.2 元, 零售商发生单位成本 0.3 元。供应商和零售商均采用风险中性准则进行决策。

表 3 列出了供应链系统期望利润模糊数的期望值, 以及不改变回购契约参数时, 供应商期望利润模糊数的期望值。

显然, 当需求信息更新后, 对于供应链系统, 最优的决策为调整产销量到 40 件左右。但如果不调整回购契约, 零售商将保持原有订货量 33 件不变。零售商决策行为没有实现供应链系统的优化, 使供应链失调。根据式(11)、(12)、(14)和(17), 回购契约参数组应满足:

$$\int_0^{33} \int_0^y e^{-\frac{(x-25)^2}{200}} dx dy = \int_0^{33} \int_0^{\frac{x-25}{10}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt ds = 106 - \frac{9}{\sqrt{2}} \int_0^{0.8} \int_{-2.5}^t e^{-\frac{s^2}{2}} ds dt = 106 - \frac{90}{\sqrt{2}} \left[\int_{-2.5}^{0.8} e^{-\frac{s^2}{2}} ds + \int_{-2.5}^{0.8} e^{-\frac{s^2}{2}} ds \right] = 24.73$$

采用回购契约参数组 (3.8, 1.6), 即 $\alpha = 0.6$, 则零售商的期望获利水平为 $R_{\max} = \pi_{\max} + \mu(g - g_R) = 14.84$ 元。

在第二阶段, 需求更新为如文献[19]所研究的模糊随机变量, 见表 2。如果追加订货。就追加部

表 2 更新后的模糊随机需求

需求(件)	概率
(18, 20, 22)	(0.045, 0.05, 0.055)
(23, 25, 27)	(0.143, 0.15, 0.157)
(28, 30, 32)	(0.292, 0.30, 0.308)
(33, 35, 37)	(0.192, 0.20, 0.208)
(38, 40, 42)	(0.092, 0.10, 0.108)
(43, 45, 47)	(0.093, 0.10, 0.107)
(48, 50, 52)	(0.094, 0.10, 0.106)

$$\left\{ \begin{array}{l} b - w < 5 \\ w > 3 \\ w - 7.95 \geq 0 \\ w - b + 0.7 \geq 0 \\ 7.25b - 20w + 98.283 \geq 0 \\ 7b - 15w + 59.033 \geq 0 \\ 6b - 10w + 26.533 \geq 0 \\ 3.5b - 5w + 7.5328 \geq 0 \\ -4b + 5w - 3.75 \geq 0 \\ -8.5b + 10w - 3 \geq 0 \\ 4.928b - 7.049w + 11.688 \geq 0 \\ 3.1 < w < 4.95 \\ 14.84 \leq 7.25b - 40.049w + 151.89 \leq 32.651 \end{array} \right.$$

通过分析可以发现,式(18)中起到约束作用的,实质上仅有第 1,8,9,13 个不等式。为了更直观的表现回购契约参数组的可行集,将其用图 1 进行描述。

图 1 中,五条直线所围成的区域为可行集。“*”点为原来的回购契约参数。可见,第一阶段确定的回购契约参数落在了可行区域外部,表明在信息更新后,该契约不能够协调供应链。在可行区域选择一个点(3.6,3.05),修改后的回购契约能够促使零售商按供应链系统最优的方式进行决策。在此回购契约下,零售商不同决策对应的获利水平见表 4。

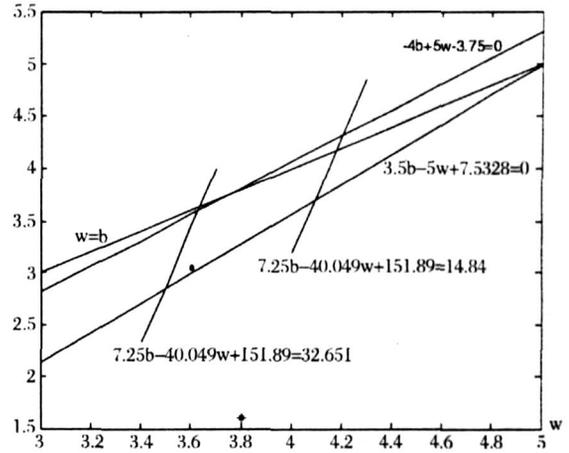


图 1 回购契约参数的可行集

表 4 修正回购契约后零售商期望利润模糊数的期望值

决策	减少订货			追加订货				不变
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	
零售商(元)	-18.567	3.4458	20.996	29.621	29.829	27.779	22.754	28.487

6 结束语

本文研究了需求信息更新条件下,回购协调契约的调整问题。提出了模糊随机需求下,进行供应链系统和零售商决策的乐观主义准则、悲观主义准则和风险中性准则。分析构造了修正回购契约参数的可行集。研究表明,当需求信息从随机变量更新为模糊随机变量时,回购契约必须做出适当的响应,才能保证供应链的协调。新的契约参数能够实现供

应链系统在需求变化前后利润差额在供应商与零售商之间的任意分配。通过谈判等方式确定契约参数,间接确定了利润的分配比例,从而体现了“利润共享、风险共担”的供应链管理理念。

需要注意的是,如果零售商将更新需求提供给供应商,供应商修正回购契约后,零售商获利水平降低了,零售商将可能不进行需求更新。这种道德风险有可能导致供应链失调,因此需要进一步研究有效的激励机制,保证零售商进行需求预测合作。

附录

在约束(11)、(12)下, $A_k, B_k, C_k^{op1}, C_k^{op2}, D, E, F$ 的表达式为:

$$A_k = (\sum_{i=1}^k \tilde{y}_i \tilde{p}_i - \sum_{i=1}^k y_i p_i + 2 \sum_{i=1}^k y_k p_i - 2 \sum_{i=1}^k y_i p_i + \sum_{i=1}^k y_k p_i - \sum_{i=1}^k \tilde{y}_i \tilde{p}_i) / 4$$

$$B_k = (\sum_{i=1}^k \tilde{y}_i \tilde{p}_i + \sum_{i=k+1}^n y_k p_i + 2 \sum_{i=1}^k y_k p_i + 2 \sum_{i=k+1}^n y_k p_i + \sum_{i=1}^k y_k p_i + \sum_{i=k+1}^n \tilde{y}_i \tilde{p}_i) / 4$$

$$C_k^{op1} = (G_k^{op1} + 2H_k^{op1} + L_k^{op1}) / 4, C_k^{op2} = (G_k^{op2} + 2H_k^{op2} + L_k^{op2}) / 4, F = (F_1 + 2F_2 + F_3) / 4$$

$$G_k^{op1} = p \sum_{i=1}^k \tilde{y}_i \tilde{p}_i - (CR + CRE) \sum_{i=1}^k \tilde{y}_k \tilde{p}_i + CRE q^* \sum_{i=1}^k p_i + (p - CR - CRE + g_R) \sum_{i=k+1}^n y_k p_i - g_R \sum_{i=k+1}^n \tilde{y}_i \tilde{p}_i$$

$$H_k^{op1} = p \sum_{i=1}^k y_i p_i - (CR + CRE) \sum_{i=1}^k y_k p_i + CRE q^* \sum_{i=1}^k p_i + (p - CR - CRE + g_R) \sum_{i=k+1}^n y_k p_i - g_R \sum_{i=k+1}^n y_i p_i$$

$$L_k^{op1} = p \sum_{i=1}^k \tilde{y}_i \tilde{p}_i - (CR + CRE) \sum_{i=1}^k \tilde{y}_k \tilde{p}_i + CRE q^* \sum_{i=1}^k p_i + (p - CR - CRE + g_R) \sum_{i=k+1}^n \tilde{y}_k \tilde{p}_i - g_R \sum_{i=k+1}^n \tilde{y}_i \tilde{p}_i$$

$$G_k^{op2} = p \sum_{i=1}^k y_i p_i - (CR - CRD) \sum_{i=1}^k y_k p_i - CRD q^* \sum_{i=1}^k p_i + (p - CR + CRD + g_R) \sum_{i=k+1}^n y_k p_i - g_R \sum_{i=k+1}^n \tilde{y}_i \tilde{p}_i$$

$$H_k^{op2} = p \sum_{i=1}^k y_i p_i - (CR - CRD) \sum_{i=1}^k y_k p_i - CRD q^* \sum_{i=1}^k p_i + (p - CR + CRD + g_R) \sum_{i=k+1}^n y_k p_i - g_R \sum_{i=k+1}^n y_i p_i$$

$$L_k^{op2} = p \prod_{i=1}^k \bar{y}_i \bar{p}_i - (C_R - C_{RD}) \bar{y}_k \prod_{i=1}^k \bar{p}_i - C_{RD} q^* \prod_{i=1}^n \bar{p}_i + (p - C_R + C_{RD} + g_R) \bar{y}_k \prod_{i=k+1}^n \bar{p}_i - g_R \prod_{i=k+1}^n \bar{y}_i \bar{p}_i$$

$$D = (q^* \prod_{i=1}^m \bar{p}_i - \prod_{i=1}^m \bar{y}_i \bar{p}_i + 2q^* \prod_{i=1}^m \bar{p}_i - 2 \prod_{i=1}^m \bar{y}_i \bar{p}_i + q^* \prod_{i=1}^m \bar{p}_i - \prod_{i=1}^m \bar{y}_i \bar{p}_i) / 4$$

$$E = q^* (\prod_{i=1}^m \bar{p}_i + \prod_{i=m+1}^n \bar{p}_i + 2 \prod_{i=1}^m \bar{p}_i + 2 \prod_{i=m+1}^n \bar{p}_i + \prod_{i=1}^m \bar{p}_i + \prod_{i=m+1}^n \bar{p}_i) / 4$$

$$F_1 = p \prod_{i=1}^m \bar{y}_i \bar{p}_i - C_R q^* \prod_{i=1}^m \bar{p}_i + (p - C_R + g_R) q^* \prod_{i=m+1}^n \bar{p}_i - g_R \prod_{i=m+1}^n \bar{y}_i \bar{p}_i$$

$$F_2 = p \prod_{i=1}^m \bar{y}_i \bar{p}_i - C_R q^* \prod_{i=1}^m \bar{p}_i + (p - C_R + g_R) q^* \prod_{i=m+1}^n \bar{p}_i - g_R \prod_{i=m+1}^n \bar{y}_i \bar{p}_i$$

$$F_3 = p \prod_{i=1}^m \bar{y}_i \bar{p}_i - C_R q^* \prod_{i=1}^m \bar{p}_i + (p - C_R + g_R) q^* \prod_{i=m+1}^n \bar{p}_i - g_R \prod_{i=m+1}^n \bar{y}_i \bar{p}_i$$

参考文献：

[1] Gérard P. Cachon. Supply chain coordination with contracts[M], in Hand books in OR & MS, vol. 11, A. G. de Kor and S. C. Graves, Eds. Elsevier B. V., 2003, ch. 6: 229 - 339.

[2] Pasternack B.. Optimal pricing and returns policies for perishable commodities[J]. Marketing Science, 1985, 4 (2): 166 - 176.

[3] H. Emmons, S. Gilbert. Return policies in pricing and inventory decisions for catalogue goods[J]. Management Science, 1998, 44(2): 276 - 283.

[4] Padmanabhan, V., I. P. L. Png. Manufacturer's return policy and retail competition [J]. Marketing Science, 1997, 16(1): 81 - 94.

[5] Taylor Terry A.. Supply chain coordination under channel rebates with sales efforts[J]. Management Science, 2002, 48(8): 992 - 1007.

[6] Xiangtong Qi, Jonathan F. Bard, Gang Yu. Supply chain coordination with demand disruptions[J]. Omega, 2004, 32(4): 301 - 312.

[7] 于辉,陈剑,于刚. 协调供应链如何应对突发事件[J]. 系统工程理论与实践, 2005, (7): 9 - 16.

[8] 陈金亮, 徐渝, 贾涛. 对称信息下具有需求预测更新的供应链协调模型分析[J]. 中国管理科学, 2005, 13(1): 37 - 41.

[9] K. L. Donohue. Efficient supply contract for fashion goods with forecast updating and two production modes [J]. Management Science, 2000, 46(11): 1397 - 1411.

[10] 于辉,陈剑,于刚. 回购契约下供应链对突发事件的协调应对[J]. 系统工程理论与实践, 2005, (8): 38 - 43.

[11] Dobrila Petrović, Radivoj Petrović, Mirko Vujošević. Fuzzy models for the newsboy problem[J]. International Journal of Production Economics, 1996, 45(1):

435 - 441.

[12] Liang - Yuh Ouyang, Jing - Shing Yao. A minimax distribution free procedure for mixed inventory model involving variable lead time with fuzzy demand [J]. Computers & Operations Research, 2002, 29(5): 471 - 487.

[13] C. Kao, W. K. Hsu. A single - period inventory model with fuzzy demand [J]. Computers Mathematics with Applications, 2002, 43(6/7): 841 - 848.

[14] Lushu Li, S. N. Kabadi, K. P. K. Nair. Fuzzy models for single - period inventory problem [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 132(3): 273 - 289.

[15] Huibert Kwakernaak. Fuzzy random variables - definition and theorems [J]. Information Sciences, 1978, 15(1): 1 - 29.

[16] Mar á Angeles Gil, Miguel López - D áz, Dan A. Ralescu. Overview on the development of fuzzy random variables[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2006, 157(19): 2546 - 2557.

[17] 于春云, 赵希男, 彭艳东, 等. 模糊随机需求模式下的扩展报童模型与求解算法 [J]. 系统工程, 2006, 24 (9): 103 - 107.

[18] Hung - Chi Chang, Jing - Shing Yao, Liang - Yuh Ouyang. Fuzzy mixture inventory model involving fuzzy random variable lead time demand and fuzzy total demand [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 169(1): 65 - 80.

[19] P. Dutta, D. Chakraborty, A. R. Roy. A single - period inventory model with fuzzy random variable demand [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2005, 41(8 - 9): 915 - 922.

[20] 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲. 不确定规划及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 138 - 167.

On Response Method for Buyback Contract with Fuzzy Random Demand Updating

ZHAO Zhi - gang^{1,2}, LI Xiang - yang^{1,2}, LIU Xiu - zhi³

- (1. National Philosophy Social Science Innovation Base of Technology, Policy and Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;
2. School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;
3. The School of Business Administration, Dongbei University of Finance & Economics, Dalian 116025, China)

Abstract : To the situation that the demand information was updated to a fuzzy random variable, profitability models of supply chain were constructed for different decision options. Pessimistic, optimistic and risk neutral decision criteria were proposed further, for the decision of supply chain. To the supply chain coordinating by buyback contract, formation method of feasible set for buyback contract's adjusted parameters was put forward, according to the analysis of profitability of the retailer with different choices. The research shows that, to coordinate the supply chain, buyback contract has to make real time response to information updating. With the adjusted parameters selected from the feasible set, the buyback contract could reasonably distribute the difference of system profit after demand information updating and before, which demonstrated the supply chain management idea of sharing gain and risk simultaneously. Simulated case study illustrates the responding steps in detail and shows the effectiveness of the response method.

Key words : supply chain coordination; buyback contract; fuzzy random demand updating; response method