

考虑缺货的供应链联合库存成本分析及收益分配

孙莹[✉] 鲍新中 王宁

北京科技大学东凌经济管理学院, 北京 100083

[✉]通信作者, E-mail: sunying@manage.ustb.edu.cn

摘要 考虑一个供应商和一个需求方构成的联合库存联盟的成本降低问题. 对缺货成本进行了分析, 通过建立库存成本分析模型, 求得供应链实施联合库存前后库存成本差额, 并将成本降低额视为剩余收益. 然后基于鲁宾斯坦讨价还价模型对剩余收益进行分配. 通过分析, 从理论上证明实施联合库存确实降低了供应链系统成本, 获得成本降低额, 然后将成本降低额有效分配. 最后用算例证明该方法的可行性和可操作性.

关键词 库存管理; 供应链管理; 成本降低; 经济订货批量

分类号 F 274

Cost analysis and income allocation for jointly managed inventory with out-of-stock in supply chains

SUN Ying[✉], BAO Xin-zhong, WANG Ning

Dongling School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

[✉]Corresponding author, E-mail: sunying@manage.ustb.edu.cn

ABSTRACT This paper aims at the cost reduction of the joint inventory as a alliance constituted by a supplier and a retailer. The cost difference of the supply chain before and after implementing the joint inventory is calculated by considering the shortage cost into the inventory cost analysis model. The reduced cost is regarded as the residual income, which is distributed between the supplier and the retailer based on the Rubinstein bargaining model. Theoretical analysis results show that implementing the joint stock system reduces the cost of the supply chain, gets the amount of cost reduction, and allocates effectively the amount of cost reduction between the supplier and the retailer. An example demonstrates the feasibility and maneuverability of this method.

KEY WORDS inventory management; supply chain management; cost reduction; economic ordering quantity

库存管理研究的最基本方法是研究经济订货批量模型, 在此基础上派生出定期订货、定量订货及ABC库存管理等方法, 这些方法的基本目标都是通过不同的管理方式和管理体制来大幅度地降低库存额, 从而达到降低库存成本、加快资金周转和提高资金效率的目的. 有多项研究表明, 美国在库存上的投资约占国内生产总值的13%左右, 而中国在库存方面的投资则更高, 因此加强对库存模式和库存成本的研究就显得极为重要. Lee等^[1]分别就传统库存模式和新模式两种情况的库存进行比较, 运用关键分位数作为库存水平的一把尺子测量新库存模式带来的收益. Wong等^[2]分两种情况建立博弈模型

解决联合库存剩余成本的分摊问题, 运用纳什均衡说明成本的分配政策影响企业的库存水平. Zhou^[3]通过采用统一的年定购次数协调供应链, 文中根据需求方数目的大小分为少数需求方和多数需求方两种情况进行了讨论. Kim、Ghodsypour和Ouyang等^[4-6]也都对多供应商条件下的联合库存或集成供应问题进行了研究. 在国内, 程海芳等^[7]分析了集成供应相关问题. 杨华等^[8]建立了由大型设备制造企业下属的各个区域备件代理商构成的多仓库联合库存优化模型; 研究结果表明, 联合库存策略只适用于需求率低、成本高的维修备件. 宋华明等^[9]建立了同时考虑供需双方成本的联合库存决策模型, 运

用最小最大准则分析了模型最优解的存在性; 研究结果表明, 与供需独立的决策模型比较, 联合库存决策可以显著地降低供应链成本. 罗兵等^[10]考虑了在单一供应商和订货商条件下, 针对订货商面临线性时变需求, 并且仓库在出空期间出现短缺量部分拖后的情况, 提出了一个包括原材料和产成品的整体供应商管理库存模型, 并进行了最优解的仿真计算.

在联合库存模式下, 诸多的联盟参与者需要进行合作成本或者合作收益的分配. 鲍新中等^[11]阐述了第三方物流的联合库存集成供应问题, 基于合作博弈理论建立了第三方物流集成供应的成本分摊模型, 并引入了经济订货批量的方法解决了夏普利值法难以赋值的问题. 钟磊刚等^[12]则根据影响需求的主要因素来确定联合库存合作各方的利益分配因子, 并基于协商定价机制来建立两级供应链的利益分配模型, 最后还对不同情况下的重复博弈问题进行了展开讨论. Kattuman 等^[13]和 Mutuswami^[14]都运用合作博弈的思路解决了联合库存过程中的成本分摊或利益分配问题.

本文在考虑缺货成本的基础上分析了一对一联合库存相对于传统库存模式的成本节约额, 并以该成本降低额作为联合库存的收益, 运用合作博弈理论中的纳什讨价还价模型, 将该收益在联盟的参与各方之间进行了合理分配, 最后的算例证明了联合库存成本分析和收益分配方法的可行性和有效性.

1 问题描述

从单个企业的物流管理到供应链管理, 对库存管理和库存成本的研究经历了由简单向复杂、由分散化供应链向集成化供应链发展的过程. 在集成化供应链库存管理环境下, 各个供应链成员企业的协调与合作是至关重要的. 在实际生产中, 目前的供应链管理联盟很多都是由一个供货商和一个需求方组成的. 在只存在一个供货商的情况下, 由于需求方市场需求的变化, 就很有可能缺货, 而缺货所产生的缺货成本是不容忽视的. 因此在建立库存成本分析模型时, 往往要将缺货成本作为一个重要的组成部分来考虑. 一个供货商和一个需求方形成的供应链联合库存模式如图 1 所示. 组成联合库存联盟实施联合库存管理, 可以有效地降低库存水平, 并降低整个供应链系统的库存成本. 但是, 当前关于联合库存成本问题的研究还存在许多不足:

(1) 只是针对每个阶段的库存成本进行分析和优化, 而针对整个供应链的最优库存成本分析很少,

并且不能从整体上分析实施联合库存前后的成本降低额;

(2) 未能充分考虑联合库存的缺货成本, 假定缺货量与时间呈简单的线性关系;

(3) 对于供应链联合库存总成本在各成员之间分配, 未能考虑建立联合库存后的成本收益效应;

(4) 由于现实因素的复杂性, 模型都对现实情况作了很多的抽象, 特别是对不确定性给库存成本带来的影响经常被忽略. 实际上, 对各种不确定性的影响考虑得越周全, 建立的模型才能更好地实现供应链库存成本的最优.

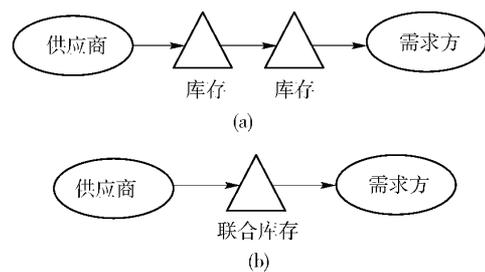


图 1 从传统供应库存到联合库存模式的转变. (a) 一对一传统供应库存模式; (b) 一对一联合库存模式

Fig. 1 Change from the traditional inventory model to the jointly managed inventory (JMI) model: (a) one-to-one traditional inventory model; (b) one-to-one JMI model

此外, 供应链的柔性问题也应该被考虑到供应链库存控制模型中, 只有有效地融合准时制、供应链延迟技术等, 供应链库存成本模型才更有实践意义. 但是在目前的研究中有一些关于传统库存管理和联合库存管理模式下的简单成本比较模型, 对于缺货量, 应用线性时变需求, 实施联合库存管理后产生的剩余收益, 更多地应用纳什均衡和夏普利值法等合作博弈的方法分配. 针对以上研究, 本文从一个供应商一个需求方构成的一对一联合库存管理出发, 对缺货成本分析时, 并非简单的假设库存量与时间以线性变化, 而是根据实际情况, 考虑库存与时间在不同阶段的关系, 建立缺货模型, 并应用经济订货批量模型对实施联合库存前后的成本进行比较, 求得成本降低额, 将该成本降低额看作联合库存的收益, 基于鲁宾斯坦讨价还价模型对该收益在合作联盟各企业之间分配.

2 一对一联合库存情况下的缺货成本分析

在单供应商和单需求方供应链中, 一般在有限计划期内允许缺货的库存模型中, 循环的时间间隔是相同的, 并且假设原材料的采购费用为固定值.

模型假设: 假设由单供应商和单需求方构成的

联合库存管理中,允许存货短缺,但是在最后一个周期不允许存货短缺,有限的计划期在开始和结束时的存储水平均为零.

模型符号说明: T 为有限计划期的总长度; $f(t)$ 代表 t 时刻的需求函数,需求函数在计划期 $[0, T]$ 内是连续函数; $S(t)$ 表示 t 时刻商品的存储量; R 表示供应商每年的生产量或生产率; a_i 表示开始生产地时刻 $a_1 = 0$; b_i 表示生产结束的时刻; n 表示在计划期 $[0, T]$ 内的总补货次数; z_i 表示存储量为零的时刻; p 为缺货时的单位损失,用物品的单位边际贡献表示. 根据以上的假设及符号说明,可以画出库存水平与时间变化的关系图,如图 2 所示.

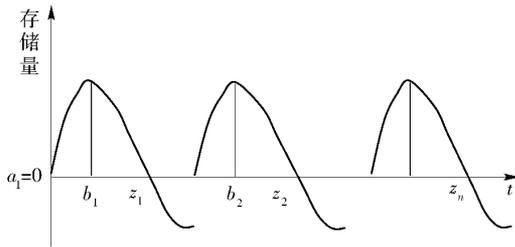


图 2 供应商库存水平随时间的变化

Fig. 2 Change of the supplier's inventory level with time

a_i 时刻为第 i 次循环开始的时刻,且是第 i 次生产的开始时刻,因为生产率大于需求率,库存水平开始增加,随着需求水平的加大,增加速度逐渐减小; b_i 时刻生产结束,此时库存水平达到最大,由于需求库存水平逐渐减小,到 z_i 时刻库存水平减少为零,从而开始发生短缺,直到 a_{i+1} 时刻才开始生产,如此循环往复,直到计划期结束.

由以上的分析可知,

$$\begin{cases} S'(t) = A - f(t), & a_i \leq t \leq b_i; \\ S'(t) = -f(t), & b_i \leq t \leq z_i; \\ S'(t) = -f(t), & z_i \leq t \leq a_{i+1}. \end{cases} \quad (1)$$

所以

$$\begin{cases} S(t) = \int_{a_i}^t [A - f(u)] du, & a_i \leq t \leq b_i; \\ S(t) = \int_{a_i}^t [-f(u)] du, & b_i \leq t \leq z_i; \\ S(t) = \int_{a_i}^t [-f(u)] du, & z_i \leq t \leq a_{i+1}. \end{cases} \quad (2)$$

由关系图及前述分析,可知 $S(a_i) = 0, S(z_i) = 0, a_i \leq b_i \leq z_i$. 结合式(2)得

$$\begin{aligned} S(b_i) &= \int_{a_i}^{b_i} [A - f(u)] du = \\ &\int_{z_i}^{b_i} [-f(u)] du = \int_{b_i}^{z_i} f(u) du. \end{aligned}$$

通过积分得

$$A(b_i - a_i) = \int_{b_i}^{z_i} f(u) du. \quad (3)$$

所以在时刻 $[a_i, z_i]$ 内由于缺货而损失的费用为:

$$p \int_{z_i}^{a_{i+1}} \int_{z_i}^t f(u) du dt = p \int_{z_i}^{a_{i+1}} (t - a_{i+1}) f(t) dt. \quad (4)$$

根据以上分析,本文确定了一对一联合库存缺货成本. 在后续研究中,将考虑缺货成本对模型的影响.

3 考虑缺货的一对一联合库存成本分析

在建立模型之前,先定义下列符号: I_0 为初始库存; C_{i0} 为单件产品每年的库存持有成本; C_{h1} 为需求方单件产品每年的库存持有成本; C_{h2} 为供应商单件产品每年的库存持有成本; C_{s0} 为每次处理订单的处理成本; C_{s1} 为需求方每次处理订单的处理成本; C_{s2} 为供应商每次处理订单的处理成本; C_r 为库房每年的租金成本; C_h 为联合库存条件下单件产品每年的库存持有成本; C_s 为联合库存条件下每次处理订单的处理成本; C_{r0} 为联合库存条件下库房的每年租金成本; R 为单位时间客户的商品需求量,即客户的需求率; y 为需求方的每年需求量; n 为全年订货次数; Q 为每次订货量; C_1 为缺货费用,即前节所计算的

$$C_1 = p \int_{z_i}^{a_{i+1}} (t - a_{i+1}) f(t) dt.$$

在上述假设条件下,综合考虑以上库存持有成本、订单处理成本、库房租金和缺货成本,运用经济订货批量模型,在计划期 t 时间内的总库存费用模型为

$$\begin{aligned} C(t, S) &= \frac{1}{t} \left[\frac{C_{i0} I_0^2}{2R} + \right. \\ &\left. \frac{p \int_{z_i}^{a_{i+1}} (t - a_{i+1}) f(t) dt (Rt - I_0)^2}{2R} + C_{s0} \right] + C_r. \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)为一年的总库存费用模型. 考虑每次的订货批量为 Q , 则有 $Q = \frac{y}{n}, y = nRt, t = 1/n$, 将其代入式(5)得

$$\begin{aligned} C(y) &= \frac{C_{i0} I_0^2}{2Q} + \\ &\frac{p \int_{z_i}^{a_{i+1}} (t - a_{i+1}) f(t) dt (Rt - I_0)^2}{2Q} + C_{s0} \frac{y}{Q} + C_r. \end{aligned} \quad (6)$$

3.1 传统库存模式成本分析

在传统的单企业自行的库存管理模式,没有供应链企业间的合作共享问题,供应商和需求方都会自设库存,各自进行库存管理。每个企业都会从自身利益的角度来进行库存成本最小化的优化,但是从供应链整体库存成本的角度,各自的成本优化结果并不一定是最优化的。考虑到目前买方市场的特点,订货策略和订货批量往往是由需求方来决定的,而供应商往往是订货批量的接受者。因此,为了使得自身成本的最小化,需求方会采用经济订货批量模型来确定自身的订货策略和库存管理策略,再此经济订货批量前提下,供货方再来确定自身的生产和库存策略。

(1) 传统供应链中需求方的利润模型为:

$$\Pi_c(y) = p(y)y - wy - \left[\frac{C_{h1}I_1^2}{2Q_1} + \frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt (Rt - I_1)^2}{2Q_1} + C_{s1} \frac{y}{Q_1} + C_r \right]. \quad (7)$$

其中: y 为需求方的年总需求量; $p(y)$ 为产品的销售价格函数; w 为由需求方向供应商采购产品的单位价格; Q_1 为由需求方的一次订购批量; I_1 为初始库存; C_{h1} 为需求方的单位存储成本; C_{s1} 为需求方的一次订购成本。

式(7)对 Q_1 求一阶导数,要使利润最大化,令其等于零,得出 I_1 与 Q_1 之间的关系为 $I_1 = Q_1$

$$\frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}, \text{ 将其代入式(7),}$$

则需求方的最小库存相关成本为

$$C_{1\min}(y) = \min C_1(y) = \sqrt{C_{h1}C_{s1}} \sqrt{\frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}} \sqrt{y} + C_{r1}. \quad (8)$$

因此,需求方的利润模型可简化为:

$$\Pi_c(y) = p(y)y - wy - \left[\sqrt{C_{h1}C_{s1}} \sqrt{\frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}} \sqrt{y} + C_{r1} \right]. \quad (9)$$

(2) 传统供应链中供应商的利润模型。根据需求方的一次订货量 Q_1 , 供应商将组织生产和配送。假设供应商的单位产品年存储成本为 C_{c2} , 每次订货的订货准备成本为 C_{s2} , 并假设 $c(y)$ 为供应商的生产成本函数, 它随着 y 的增大而增大。从而, 供应商的利润函数可以表示为

$$\Pi_s(y) = wy - c(y) - \left[\frac{C_{h2}I_2^2}{2Q_2} + \frac{c(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt (Q_2 - I_2)^2}{2Q_2} + C_{s2} \frac{y}{Q_2} + C_{r2} \right]. \quad (10)$$

需求方的订货量决定了供应商的订货批量, 将 Q_c 与 I_c 的关系代入式(10), 可以得到

$$\Pi_s(y) = wy - c(y) - \frac{1}{2} A \sqrt{y} \left[\frac{C_{h1}^2 C_{h2}}{C_{h1}(C_{h1} + C_{h1})^2} + \frac{C_{h1}C_{h2}}{(C_{h1} + C_{h1})^2} + \frac{C_{h1}C_{s2}}{C_{h1}C_{s1}} + \frac{C_{s2}}{C_{s1}} \right] - C_{r2}. \quad (11)$$

其中, $C_{h1} = w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt$, $C_{h2} = c(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt$.

从而可以得到供应商的最小库存成本:

$$C_{s\min}(y) = \frac{1}{2} \sqrt{C_{h1}C_{s1}} \sqrt{\frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}} \sqrt{y} \cdot \left\{ \frac{\left[w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt \right]^2 C_{h2}}{C_{h1} \left[C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt \right]^2} + \frac{C_{h1}c(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}{\left[C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt \right]^2} + \frac{C_{h1}C_{s2}}{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt C_{s1}} + \frac{C_{s2}}{C_{s1}} \right\} + C_{r2}. \quad (12)$$

综合考虑供应商和需求方的库存成本, 传统供应链模式下的总库存相关成本为

$$D = C_{c\min}(y) + C_{s\min}(y) = \frac{1}{2} \sqrt{C_{h1}C_{s1}} \sqrt{\frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1})f(t) dt}} \sqrt{y} \left[1 + \right]$$

$$\frac{C_{11}^2 C_{h2}}{C_{h1} (C_{h1} + C_{11})^2} + \frac{C_{h1} C_{12}}{(C_{h1} + C_{11})^2} + 1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}} \Big] + (C_{r1} + C_{r2}). \quad (13)$$

3.2 基于联合库存成本分析

在一个供应商和一个需求方的联合库存管理下, 供应商将撤销自身的产品库存, 而将库存直接设置到需求方的原材料仓库中. 这时供应链的费用函数为

$$D_{JMI} = \frac{C_h I_0^2}{2Q} + \frac{p \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt (Q - I_0)^2}{2Q} + \frac{C_s y}{Q} + C_{i0}. \quad (14)$$

规模经济指的是给定技术的条件下(指没有技术变化), 对于某一产品(无论是单一产品还是复合产品), 如果在某些产量范围内平均成本是下降或上升, 就认为存在着规模经济或不经济. 在供应链联合库存管理下, 考虑到规模经济效益的因素, 有

$$C_h \leq C_{h1} + C_{h2}, C_1 \leq C_{11} + C_{12}, C_s \leq C_{s1} + C_{s2}.$$

为了计算方便, 可以将联合库存管理下的成本放大, 因为将联合库存成本放大后, 成本差额仍大于零, 与联合库存降低成本的结论不冲突, 即不影响后续计算, 所以令 $C_h = C_{h1} + C_{h2}$, $C_1 = C_{11} + C_{12}$, $C_s = C_{s1} + C_{s2}$.

同时由于制造商与需求方其库存容量相当, 可以假定 $C_{r1} = C_{r2} = C_r$.

在采用经济订货批量模式下, 同理可得到 I 与 Q 之间的关系:

$$I = \left[p \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt / (C_h + p \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt) \right] Q. \quad (15)$$

将其代入(14)式, 可以得到实施联合库存管理的供应链最小库存成本为

$$D_{JMI} = \sqrt{C_{h1} C_{s1}} \frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}{\sqrt{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}} \cdot \sqrt{y} \sqrt{\left(1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}}\right) \frac{C_h C_1 (C_{h1} + C_{11})}{C_{h1} C_{c2} (C_h + C_1)}} + C_{i0}. \quad (16)$$

其中 $C_1 = w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt + c(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt$.

3.3 实施联合库存前后成本比较

考虑式(13)的传统供应链成本模型和式(16)的联合库存条件下的库存成本模型, 得到联合库存

模式下的成本节约额:

$$\Delta D = D - D_{JMI} = \frac{1}{2} \sqrt{C_{h1} C_{s1}} \frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}{\sqrt{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}} \cdot \sqrt{y} \left[1 + \frac{C_{11}^2 C_{h2}}{C_{h1} (C_{h1} + C_{11})^2} + \frac{C_{h1} C_{12}}{(C_{h1} + C_{11})^2} + 1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}} \right] + (C_{r1} + C_{r2}) - \sqrt{C_{h1} C_{s1}} \frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}{\sqrt{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}} \cdot \sqrt{y} \sqrt{\left(1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}}\right) \frac{C_h C_1 (C_{h1} + C_{11})}{C_{h1} C_{c2} (C_h + C_1)}} - C_{i0}. \quad (17)$$

因为

$$\frac{C_{h1} C_{12}}{(C_{h1} + C_{11})^2} + 1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}} > 1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}},$$

$$1 + \frac{C_{11}^2 C_{h2}}{C_{h1} (C_{h1} + C_{11})^2} > \frac{C_h C_1 (C_{h1} + C_{11})}{C_{h1} C_{c2} (C_h + C_1)},$$

并且由于规模经济的存在 $C_{r1} + C_{r2} > C_{r0}$, 若 $A \geq 0$, $B \geq 0$, $A \neq B$, 则有 $\frac{1}{2}(A + B) > \sqrt{AB}$, 故

$$\Delta D = D - D_{JMI} = \frac{1}{2} \sqrt{C_{h1} C_{s1}} \frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}{\sqrt{C_{h1} + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}} \sqrt{y} \cdot \left[1 + \frac{C_{11}^2 C_{h2}}{C_{h1} (C_{h1} + C_{11})^2} + \frac{C_{h1} C_{12}}{(C_{h1} + C_{11})^2} + 1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}} \right] + (C_{r1} + C_{r2}) - \sqrt{C_{h1} C_{s1}} \frac{w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}{\sqrt{C_h + w(y) \int_{z_i}^{d+1} (t - a_{i+1}) f(t) dt}} \sqrt{y} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{C_{s2}}{C_{s1}}\right) \frac{C_h C_1 (C_{h1} + C_{11})}{C_{h1} C_{c2} (C_h + C_1)}} - C_{i0} > 0. \quad (18)$$

由式(18)可以看到, 联合库存管理模式下的综合库存成本低于传统的供应链模型.

4 基于鲁宾斯坦讨价还价模型的联合库存收益分配

联合库存管理模式优于传统的供应链库存管理模式, 产生成本节约, 可将这部分成本节约额视为剩余收益. 制造商和需求方作为理性个体, 进行联合库存管理时, 都希望获得更多的剩余收益, 那具体应该如何分配才是公平合理的呢? 对于一对一联合库存管理模式, 只有两个参与者, 本文选用 Rubinstein

轮流出价讨价还价模型. Rubinstein 证明在无限期轮流出价博弈中,存在唯一的子博弈精炼均衡结果:

$$u_1 = (1 - \delta_2) / (1 - \delta_1 \delta_2),$$

$$u_2 = \delta_2 (1 - \delta_1) / (1 - \delta_1 \delta_2).$$

式中, δ_1 和 δ_2 分别表示供应商和需求方的权重因子. 权重因子越大,从联合库存成本节约中分到的收益也越大. 权重因子取决于各方的议价能力、谈判成本、退出壁垒、核心竞争力和风险偏好程度等,而且与议价能力、风险偏好程度和核心竞争力正相关,与谈判成本和退出壁垒等负相关.

假定耐心程度主要由三个因素引起,即风险偏好程度、核心竞争力和谈判成本. 这里可以运用模

糊综合评判法来对各个联盟参与者的耐心程度进行评价. 基于三个影响因素,得出因素集 $U = \{ \text{风险偏好, 核心竞争力, 谈判成本} \}$.

考虑到三个因素对耐心程度的影响程度不同,应对各个因素赋予不同的权重,相应的权向量为 $A = \{ w_1, w_2, w_3 \}$,因素的评价集为 $V = \{ \text{低, 较低, 中等, 较高, 高} \}$,并赋予评价集各元素以量值 $V = \{ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 \}$,表示评价集各元素与耐心程度系数值大小的对应关系. 为了得到从 U 到 V 的模糊关系矩阵,可邀请有关专家组成耐心程度系数评估小组,并根据三种因素处于不同评价程度的关系对应表,见表 1.

表 1 耐心程度系数各因素的评价程度

Table 1 Evaluation relations of each aspect for patience degree coefficient

风险偏好	核心竞争力	谈判成本	评价等级
低	市场占有率低、创新能力低、制造能力低	谈判过程极其复杂	低
较低	市场占有率较低、创新能力较低、制造能力较低	谈判过程复杂性显著增加	较低
一般	市场占有率一般、创新能力一般、制造能力一般	谈判过程复杂性大幅度增加	中等
较高	市场占有率较高、创新能力较高、制造能力较高	谈判过程复杂性局部增加	较高
高	市场占有率高、创新能力高、制造能力高	谈判过程简单	高

让他们按照评价集五个等级对影响耐心程度的三个因素的高低进行评价. 对每个专家的评价结果进行统计分析,将每个因素在各个等级上的评价结果折合成 $[0, 1]$ 区间的数值. 通过矩阵方式的计算,从而就可以得到了三个影响耐心程度因素的模糊向量 $A_{\text{风险偏好}}$ 、 $A_{\text{核心竞争力}}$ 和 $A_{\text{谈判成本}}$.

然后,将三个模糊向量合成一个矩阵,可以得到模糊关系矩阵如下:

$$R = \begin{bmatrix} A_{\text{风险偏好}} \\ A_{\text{核心竞争力}} \\ A_{\text{谈判成本}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \end{bmatrix}$$

然后,考虑到三个影响因素的权重向量,进行模糊综合评判:

$$B = A \cdot R = (w_1, w_2, w_3) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \end{bmatrix} = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5].$$

一般来说,模糊综合评判结果向量 B 中各分量之和不等于 1,于是要对向量 B 进行归一化处理,处理后为

$$B' = [b'_1, b'_2, b'_3, b'_4, b'_5].$$

进而求得耐心程度的系数大小为

$$\delta = B' \cdot V^T = (b'_1, b'_2, b'_3, b'_4, b'_5) \cdot \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.5 \\ 0.7 \\ 0.9 \end{bmatrix} =$$

$$0.1b'_1 + 0.3b'_2 + 0.5b'_3 + 0.7b'_4 + 0.9b'_5. \quad (19)$$

当 μ_1, μ_2 已知时,可以得到供应商和需求方的成本节约额分配结果,分别为

$$\Delta D_1 = u_1 \Delta D = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2} \Delta D,$$

$$\Delta D_2 = u_2 \Delta D = \frac{\delta_2 (1 - \delta_1)}{1 - \delta_1 \delta_2} \Delta D. \quad (20)$$

5 算例分析

有一个供应商和一个商业企业需求方构成的供应链,该供应链以计划期为周期供货,该计划期为 1 个月. 假设 t 时刻需求函数为 $f(t) = u - vt^2$ 且 $u > 0, v > 0$, 价格函数为 $w(y) = m - ny$, 且 $m > 0, n > 0$; 制造商的成本函数为 $c(y) = \delta y + 0.4\theta y^2$, 且 $\delta > 0, \theta > 0$; 因为 $c'(y) > 0, c''(y) > 0, P'(y) < 0$, 其他已知条件如表 2 所示.

对供应商一次订单处理成本 C_{s2} 分别取 300、400、500、600、700 和 800 万元,进行数值实验,得到数值实验结果见下表 3.

表 2 供应链联合库存联盟各成员企业参数

Table 2 Parameters for each member in a supply chain alliance

项目	参数	数值
函数各项系数	u	48
	v	0.12
	m	32
	n	0.01
	δ	0.062
	θ	0.00005
需求方单件产品每年的库存持有成本	C_h /万元	6
供应商单件产品每年的库存持有成本	C_h /万元	6
需求方的缺货成本	C_{11} /万元	$61.76 - 0.0193y$
供应商的缺货成本	C_{12} /万元	$0.062y + 0.0000386y^2$
需求方一次订单处理成本	C_s /万元	250

表 3 传统库存模式下与联合库存模式下的库存成本比较

Table 3 Comparison of cost under the traditional inventory mode and JMI mode

C_{s2} /万元	y /万件	传统库存模式			D_{JMI} /万元	ΔD /万元
		$C_1(y)$ /万元	$C_2(y)$ /万元	D /万元		
300	3148	1658	4450	6108	4008	2100
400	3128	1708	4895	6603	4168	2435
500	3116	1768	4992	6760	4256	2504
600	3102	1805	5608	7413	5250	2163
700	3096	1825	5925	7750	6254	1496
800	3107	1916	9986	11902	6854	5048

前面运用经济订货批量模型,对联合库存模式下与传统的库存管理模式下的库存成本进行了比较,定量地证明联合库存模式在节约整个供应链库存成本上的优势。同时,又选择了 Rubinstein 轮流出

价讨价还价模型,利用已经模拟出来的成本节约模型代入公式,可得出供应商与需求方的利益分配情况如表 4 所示。

表 4 联合库存模式下的成本节约额在供应商和需求方之间的分配

Table 4 Allocation of cost saving under the JMI model between the supplier and the retailer

C_{s2} /万元	ΔD /万元	(δ_1, δ_2)	u	ΔD_1 /万元	ΔD_2 /万元
300	2100	(1/2, 1/2)	2/3	1400	700
400	2435	(1/3, 2/3)	3/7	1282	1153
500	2504	(2/5, 3/5)	10/19	1318	1186
600	2163	(1/2, 1/2)	2/3	2109	1054
700	1496	(3/5, 2/5)	15/19	2370	632
800	5048	(2/3, 1/3)	6/7	3547	591

6 结论

在供应链管理模式下,联合库存是一种有效的改善供应链库存管理、降低供应链库存成本的途径。本文从供应链的角度讨论了一个供应商和一个需求

方情况下的联合库存成本问题,并将缺货成本计入供应链库存成本的范围,通过比较分析可以看到,相比于传统的供应库存模式,联合库存模式下的供应链库存成本可以得到明显降低。联合库存带来的库存成本降低额可以看作是一种供应链合作收益,需

要在供应商和需求方之间进行合理的分配. 本文还基于鲁宾斯坦轮流出价讨价还价模型,建立了联合库存合作收益在供应商和需求方之间的共享分配机制. 通过算例分析,证明了联合库存降低供应链成本的现实意义,并验证了鲁宾斯坦讨价还价模型在联合库存收益共享机制中应用的可行性. 后续的研究可以讨论一对多、多对一以及多对多供应链联合库存模式下的成本变化情况. 由于鲁宾斯坦轮流出价讨价还价模型的局限,在这些情况下的适用性可能存在一些问题,需要寻求其他的合作博弈方法来解决一对多、多对一以及多对多情况下的收益分摊问题.

参 考 文 献

- [1] Lee C C, Chu W H J. Who should control inventory in a supply chain? *Eur J Oper Res* 2005, 164(1): 158
- [2] Wong H, Oudheusden D V, Cattrysse D. Cost allocation in spare parts inventory pooling. *Transp Res Part E*, 2007, 43(4): 370
- [3] Zhou Y W. Two-echelon supply chain coordination through the unified number of annual orders. *Int J Prod Econ*, 2009, 117(1): 162
- [4] Kim B, Leung J M Y, Park K T, et al. Configuring a manufacturing firm's supply network with multiple suppliers. *IIE Trans*, 2002, 34(8): 663
- [5] Ghodsypour S H, O'Brien C. The total cost of logistics in supplier selection under condition of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *Int J Prod Econ*, 2001, 73(1): 15
- [6] Ouyang L Y, Wu K S, Ho C H. An integrated vendor-buyer inventory model with quality improvement and lead time reduction. *Int J Prod Econ*, 2007, 108(1/2): 349
- [7] Cheng H, Zhang Z G. Integrated supplier's ordering model under multiple-supplier. *Ind Eng Manage*, 2004, (4): 27
(程海芳, 张子刚. 多供应商条件下集成供应商订货模型研究. *工业工程与管理*, 2004, (4): 27)
- [8] Yang H, Guo W, Bi H L, et al. Research on pooling inventory optimization for large equipment manufacturer's maintenance parts. *China Mach Eng*, 2009, 20(15): 1802
(杨华, 郭伟, 毕海玲, 等. 大型设备制造企业维修备件联合库存优化研究. *中国机械工程*, 2009, 20(15): 1802)
- [9] Song H M, Yang H, Luo J Q. A distribution free demand with controllable lead time integrated inventory. *Oper Res Manage*, 2011, 20(2): 64
(宋华明, 杨慧, 罗建强. 需求分布未知且提前期可控的联合库存决策. *运筹与管理*, 2011, 20(2): 64)
- [10] Luo B, Huang B, Lu N. A vendor-managed inventory model with linear time varying demand and partial backlogging. *Syst Eng Theory Pract*, 2006, (5): 36
(罗兵, 黄波, 卢娜. 一种线性时变需求且短缺量部分拖后的 VMI 模型. *系统工程理论与实践*, 2006, (5): 36)
- [11] Bao X Z, Liu C, Zhang J B. Study on cost allocation of integrated supply based on EOQ model. *Chin J Manage Sci*, 2009, 17(1): 101
(鲍新中, 刘澄, 张建斌. 基于 EOQ 的集成供应成本分摊问题研究. *中国管理科学* 2009, 17(1): 101)
- [12] Zhong L G, Lin L, Ma Q H. Research on profit distributive strategy of manufacturers and retailers in a supply chain. *J Syst Eng*, 2005, 20(6): 644
(钟磊刚, 林琳, 马钦海. 基于二级供应链的利润分配策略分析. *系统工程学报* 2005, 20(6): 644)
- [13] Kattuman P A, Green R J, Bialek J W. Allocating electricity transmission costs through tracing: a game-theoretic rationale. *Operations Research Letters*, 2004, 32(2): 114
- [14] Mutuswami S. Strategyproof cost sharing of a binary good and the egalitarian solution. *Math Soc Sci*, 2004, 48(3): 271