第 28 卷 第 7 期
Vol. 28 No. 7

控 制 与 决 策
Control and Decision

2013 年 7 月
Jul. 2013

文章编号: 1001-0920 (2013) 07-1023-05

延迟支付下损失厌恶型零售商参与的供应链运作及协调

刚 号, 唐小我, 慕银平

(电子科技大学 经济与管理学院，成都 610054)

摘 要: 在延期支付下研究零售商为损失厌恶型的供应链运作及协调性问题. 研究表明: 系统存在唯一的纳什均衡; 损失厌恶型零售商在订货上可能表现得更加积极; 订货量随零售商损失厌恶的加深而减少; 批发价格随零售商损失厌恶的加深而增加; 供应商更倾向于选择损失厌恶更小的零售商, 以达到提高期望利润的目的. 在协调方面, 通过引入回购合同在某种程度上缓解了零售商的资金约束, 同时使得供应链达到协调, 而这种协调经证明是具有柔性的.

关键词: 延期支付；初始自有资金；损失厌恶；协调

中图分类号: F273.7 **文献标志码:** A

Operation and coordination of supply chain under delay in payment with a loss-averse retailer

GANG Hao, TANG Xiao-wo, MU Yin-ping

(School of Management and Economics，University of Electronic Science and Technology of China，Chengdu 610054, China．Correspondent：GANG Hao，E-mail：gang.ho@163.com)

Abstract: This paper argues the operation and coordination of supply chain under delay in payment with a loss-averse retailer. It is indicated that the Nash equilibrium exists in decentralized decision, the loss-averse retailer is likely aggressive in ordering, the order quantity is decreases with respect to the retailer's increasing loss-aversion, the wholesale price is increasing with respect to the retailer's increasing loss-aversion, and the supplier is apt to choose the retailer with less loss-aversion in order to improve performance. The buy-back contract that can be proved flexible maintains the coordination of supply chain under this setting.

Key words: delay in payment；initial reserved budget；loss-averse；coordination

0 引 言

进入 21 世纪, 随着市场竞争的加剧, 传统供应链成员的经营越来越受到资金瓶颈的约束, 这种情况在零售业中尤其突出. 关于供应链中存在资金约束情况的理论研究, 目前已逐渐成为学术界的研究热点.

较早涉及资金约束问题的研究是在确定需求下的延期支付问题, 早在 20 世纪 70 年代, 人们在财务管理的研究中就得出了业者之间的资金融通相比金融机构而言更具优势[1], 因此延期支付作为一种短期商业信贷的主要方式, 已广泛地存在于商业活动中. 针对延期支付在供应链运作中对供应链绩效影响的研究是在 EOQ 模型的基础上进行的. Goyal[2]于 1985 年首先研究了延迟支付情况下的 EOQ 模型; 陈琦[3]建立了临时性延期支付下零售商的最优定价和库存模型, 研究了延期支付起始时段在零售商单个成交周期内时, 零售商选择临时成交的决策问题和当延期支付起始时段为有限计划期时, 零售商的动态定价和库存联合决策问题; 张义刚等[4]针对短生命周期产品建立了延迟支付下的批发价契约模型; Dada 等[5]研究了如果在借贷的成本不高的情况下有资金约束的零售商借贷后的采购量低于理想的情况, 借方所收取的利率随着零售商的资产增加而降低, 并设计了一种非线性的借贷合同能使供应链协调运作; Raghavan 等[6]研究了在单一供应商和单一零售商组成的两层供应链中, 供应商和零售商都面临资金约束时的联合融资决策问题, 结果表明当供应商和零售商中任何一方出现资金约束时, 联合融资决策总能改善整个供应链的绩效.

收稿日期: 2012-04-11；**修回日期:** 2012-05-24.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(70932005)；四川省软科学项目(2009ZR0064)；四川省科技支撑计划项目(2010GZ0155).

作者简介: 刚号(1975−), 男, 讲师, 博士生, 从事管理经济分析、供应链管理的研究；唐小我(1955−), 男, 教授, 博士生导师, 从事数理经济分析等研究.

目前, 相关研究中同时考虑延期支付和供应链成员存在损失偏好的文献几乎没有. 在考虑供应链成员面对损失态度方面, 文献 [7] 基于均值方差法研究了制造商和销售商均为风险厌恶者的情况下, 决策者风险厌恶态度对回购策略的影响. 索寒生等[8]用前景理论对风险厌恶的零售商决策行为进行了研究, 认为利益共享契约需强制执行, 批量折扣契约自动执行. 刘珩等[9] 也在前景理论框架下探讨了存在缺货损失下的由损失厌恶型零售商与风险中性型供应商组成的供应链价格补贴契约设计, 认为损失厌恶型的零售商在批发价格契约下的订货可能偏离系统最优订货, 供应商通过价格补贴契约可以协调整个供应链.

本文在已有文献的基础之上, 着重研究了以需求为不确定、零售商存在资金约束时, 供应商向其提供延期支付信用, 同时制定批发价格以达到利润最大化为背景的供应链运作机制问题. 与此类似的有文献 [4], 文献 [4] 针对短生命周期产品延迟支付下的批发价契约进行了研究, 并假设零售商在满足保留利润前提下确定最优订货批量. 应该指出, 保留利润可能是一种次优的选择. 本文针对文献 [4] 的假设进行改进, 并结合供应链下游成员是损失厌恶的情形, 进而更深入地研究了延迟支付条件下供应链的运作及协调问题.

1 模型参数说明及基本假设

采用前景理论刻画 loss-averse 的风险类型[10], 效用函数可表示为

$$U_r(q)=\begin{cases}\Pi,\ \Pi\geqslant 0;\\ \lambda\cdot\Pi,\ \Pi<0.\end{cases}$$

其中 $\lambda>1$ 表示损失厌恶.

为分析方便, 首先给出一些其他数学符号的说明如下: B 表示零售商的资金量, ζ 表示市场随机需求变量, c 表示供应商生产成本, w 表示批发价格, p 表示市场中商品的销售价格, q 表示供应链中的商品订购量, q^c 表示集中化供应链最优订购量, $*$ 代表最优决策变量的上标.

不失一般性, 假定 $p\geqslant w>c>0, p=1$. 另有如下基本假设.

假设 1 供应链由一个零售商与一个供应商组成, 零售商为损失厌恶型, 供应商为风险中性, 且两者对市场信息的预期一致.

假设 2 市场随机需求分布函数具有递增失败率 (IFR) 分布的特征, 即 $h(x)=f(x)/\bar{F}(x)$ 为增函数.

假设 3 零售商破产后剩余资产为零.

2 集中化供应链均衡策略分析

从整合决策的视角考虑, 供应链只有一个决策主体在销售季节开始前确定最优的生产批量, 最优化问题为

$$U^c(q)=\lambda\int_0^{cq}(\zeta-cq)f(\zeta)\mathrm{d}\zeta+\int_{cq}^{q}(\zeta-cq)f(\zeta)\mathrm{d}\zeta+\int_q^{+\infty}(q-cq)f(\zeta)\mathrm{d}\zeta.$$

对 $U^c(q)$ 分别求一阶和二阶导数, 可得

$$\frac{\partial U^c(q)}{\partial q}=-c\lambda+c\lambda\bar{F}(cq)+\bar{F}(q)-c\bar{F}(cq),$$

$$\frac{\partial^2 U^c(q)}{\partial q^2}=-(\lambda-1)c^2f(cq)-f(q)<0.$$

因此, 集中决策下供应链最优订购量 q^c 满足以下方程:

$$\bar{F}(q^c)=c[\lambda-(\lambda-1)\bar{F}(cq^c)].\tag{1}$$

3 分散化供应链均衡策略分析

3.1 零售商最优合同策略

$(wq-B)^+$ 为零售商从供应商处获得的延期付款信用, 当需求低过临界值 $(wq-B)^+$ 时将导致零售商不能偿还信用款而破产, 这时零售商会得到破产保护. 假设破产时零售商剩余资产为零, 即零售商不用继续偿还信用款, 则零售商的期望利润为

$$\Pi_r(q)=-B,\ \zeta<qw-B;$$

$$\Pi_r(q)=\zeta-qw<0,\ qw-B<\zeta<qw;$$

$$\Pi_r(q)=\zeta-qw>0,\ qw<\zeta<q;$$

$$\Pi_r(q)=q-qw,\ \zeta>q.$$

从而零售商的效用为

$$\begin{aligned}U_r(q)=&\lambda\cdot\int_0^{wq-B}(-B)\cdot f(\zeta)\cdot\mathrm{d}\zeta+\\&\lambda\cdot\int_{wq-B}^{wq}(\zeta-wq)\cdot f(\zeta)\cdot\mathrm{d}\zeta+\\&\int_{wq}^{q}(\zeta-wq)\cdot f(\zeta)\cdot d\zeta+\\&\int_q^{+\infty}(q-wq)\cdot f(\zeta)\cdot\mathrm{d}\zeta.\end{aligned}$$

由于 q 是零售商的决策变量, 对 $U_r(q)$ 求 q 一阶导数, 化简并令其为零可得

$$\bar{F}(q)=w[\lambda\bar{F}(wq-B)+(1-\lambda)\bar{F}(wq)].\tag{2}$$

当零售商存在最优订购量时, 相关参数一定满足式 (2). 对 $U_r(q)$ 求 q 的二阶导数, 化简可得

$$\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}^2U_r(q)}{\mathrm{d}q^2}=&-\bar{F}(q)[h(q)-wh(wq-B)]-\\&(\lambda-1)w^2\bar{F}(wq)[h(wq)-\\&h(wq-B)]<0.\end{aligned}\tag{3}$$

式 (3) 中应用了式 (2) 和假设 2 关于 $h(x)$ 函数的性质, 这样 $U_r(q)$ 为凹函数, 从而保证零售商的订货量有最优解.

由式 (2) 可以看出, 在延期支付条件下, 对于给定的批发价格 w, 零售商的订货量受到 λ 的影响, 这里不

妨比较一下零售商为不同类型时的订货量. 若 $\lambda < 1$, 即零售商为损失偏好型, 则有 $q > \bar{F}(w)$, 这时零售商的订货量会大于传统报童模型下的订货量(现实中不太可能); 若 $\lambda = 1$, 即零售商为损失中性, 也有 $q > \bar{F}(w)$; 若 $\lambda > 1$, 即零售商为损失厌恶型, 则零售商的订货量不能确定比传统报童模型下的订货量是大还是小, 这是否意味着对于 $\lambda > 1$ 的零售商, 延期支付下的批发价格合同能使供应链达到协调时的订货量呢? 为此, 下面对供应商的定价策略进行分析.

3.2　供应商最优运作策略

当需求低于 $(wq-B)^+$ 时将会导致零售商不能偿还信用款而破产, 这时零售商会得到破产保护, 因此供应商的效用为

$$U_s(w,q(w)) = \int_0^{w\cdot q-B}(B+\zeta)\cdot f(\zeta)\mathrm{d}\zeta + \int_{w\cdot q-B}^{+\infty} qw\cdot f(\zeta)\mathrm{d}\zeta - qc.$$

对 U_s 求 w 的一阶导数并令其为零, 可得

$$\frac{\mathrm{d}U_s(w)}{\mathrm{d}w} = \left(q + w\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}w}\right)\bar{F}(wq-B) - c\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}w}. \tag{4}$$

将式 (1) 和 (2) 代入 (4), 化简并令其为零, 可得

$$\bar{F}(q) = c\cdot\left[\lambda\frac{1-wqh(wq-B)}{1-qh(q)} + (1-\lambda)\frac{\bar{F}(wq)}{\bar{F}(wq-B)}\frac{1-wqh(wq)}{1-qh(q)}\right]. \tag{5}$$

下面考察 $1-q^*\cdot h(q^*)$:

若 $1-q^*\cdot h(q^*) < 0$ 成立, 则由式 (5) 易知有 $q > \bar{F}^{-1}(c)$, 再由式 (2) 可知有 $q > \bar{F}^{-1}(w^*)$, 从而有 $w^* < c$, 这与已知矛盾. 因此, 在延期支付条件下, 供应链最优成交量 q^* 一定满足下式:

$$1-q^*\cdot h(q^*) \geqslant 0. \tag{6}$$

对 $U_s(w,q(w))$ 求 w 的二阶导数并化简, 可得

$$\frac{\mathrm{d}^2U_s(w)}{\mathrm{d}w^2} = \left[2\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}w} + w\frac{\mathrm{d}^2q}{\mathrm{d}w^2} - \left(q+w\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}w}\right)^2\cdot h(wq-B)\right]\bar{F}(wq-B) - \frac{\mathrm{d}^2q}{\mathrm{d}w^2}c, \tag{7}$$

其中 $\mathrm{d}q/\mathrm{d}w$ 和 $\mathrm{d}^2q/\mathrm{d}w^2$ 由式 (2) 用隐函数求导法则得到. 代入式 (7), 并由式 (2)、(6) 和 $h(x)$ 函数为凸函数的性质(文献 [11] 指出, 对于均匀分布、指数分布、形状参数大于等于 2 的威布尔分布和压缩了分布区间的正态分布函数, $h(x)$ 不仅为增函数而且是凸函数) 可得 $\mathrm{d}^2U_s(w)/\mathrm{d}w^2 < 0$, 即供应商的效用是批发价格的凹函数. 这样, 联立式 (2) 和 (5), 可解得唯一批发价格 w^* 和最优成交量 q^*. 综上所述, 有如下命题:

命题 1　供应链最优成交量 q^* 和批发价格 w^* 存在且唯一.

$$\mathrm{d}q/\mathrm{d}w = -\{\lambda\bar{F}(wq-B)[1-wqh(wq-B)] - (\lambda-1)\bar{F}(wq)[1-wqh(wq)]\}/\{\bar{F}(q)[h(q)-wh(wq-B)] + (\lambda-1)\bar{F}(wq)[h(wq)-h(wq-B)]\}. \tag{8}$$

命题 2　供应链最优成交量 q^* 是批发价格 w^* 的减函数.

证明　首先考察零售商在订货时对批发价格的反应, 零售商的订货策略遵循式 (2), 这里写出 $\mathrm{d}q/\mathrm{d}w$ 的表达式为式 (8). 需要注意的是, 式 (8) 中的自变量 w 并不等价于 w^*, 当 $w \doteq w^*$ 时, 由式 (6) 和假设 2 可知下式也同样成立:

$$1-w^*q^*\cdot h(w^*q^*) > 0. \tag{9}$$

将式 (6) 和 (9) 代入 (8) 易得 $\mathrm{d}q^*/\mathrm{d}w^* < 0$, 从而结论成立. □

对于有损失厌恶的零售商, 随着 λ 的变化会对 q^* 和 w^* 有何影响? 对此, 给出如下命题.

命题 3　$q^*(\lambda)$ 是 λ 的减函数.

证明　这里分两步证明.

1) 考察 $q^*(\lambda)$ 关于 λ 的单调性. 假定 $q^*(\lambda)$ 关于 λ 不单调, 则一定存在 $\lambda_1 \neq \lambda_2 > 1$, 使得 $q^*(\lambda_1) = q^*(\lambda_2)$. 根据命题 2 的结论可推知 $w^*(\lambda_1) = w^*(\lambda_2)$, 表明两条曲线 $(q^*,w^*)_{\lambda_1}$ 和 $(q^*,w^*)_{\lambda_2}$ 重合为一条曲线, 即为同一条曲线, 从而有 $\lambda_1 = \lambda_2$, 与假设矛盾, 所以 $q^*(\lambda)$ 一定是 λ 的单调函数.

2) 考察增减性. 假定 $q^*(\lambda)$ 是 λ 的增函数, 则有

$$\lim_{\lambda\to+\infty} q > \lim_{\lambda\to 1} q.$$

由以上分析可知 $\lim\limits_{\lambda\to+\infty} q = 0$, 而当 $\lambda \to 1$ 时, 如果 $q \to 0$, 则由式 (2) 可得 $w \to 1$, 由式 (5) 可得 $c \to 1$, 与已知条件不符, 从而 $\lim\limits_{\lambda\to 1} q > 0$, 与假设矛盾, 因此结论成立. □

命题 4　$w^*(\lambda)$ 是 λ 的增函数.

证明　由命题 2 和命题 3 的结论容易推出 $w^*(\lambda)$ 是 λ 的单调增函数. □

由图 1 和图 2 可以看出, 命题 1 ∼ 命题 4 成立. 另外, 还有一个有趣的现象, 对于拥有不同自有资金量的零售商, 不论是订货量还是批发价格均呈现出不同的特点: 1) 对于零售商而言, 拥有自有资金量越多订货越保守, 反之, 则会更加激进. 原因在于破产保护的存在实际上鼓励了自有资金少的零售商多订货, 如果销售季节来临后已实现的需求为高, 则零售商会获得超额收益, 如果为低, 则零售商可以通过宣布破产来逃避债务, 因此零售商的自有资金越多相应的破产成本也越大, 反之则越小. 2) 对于供应商而言, 对拥有越多自有资金量零售商会设定较低的批发价格, 以吸引

零售商增加订货量, 对于拥有较少自有资金量的零售商, 供应商会设定较高的批发价格, 以补偿其向零售商提供延期付款所面临的不能到期还款的风险.

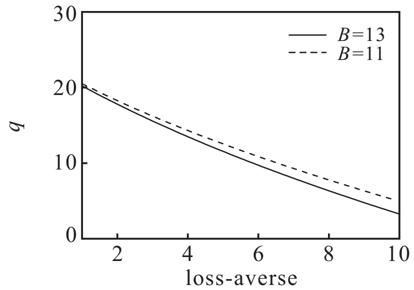

图 1 订货量示意图 ($\zeta\sim$**均匀分布** $U(0,50), c=0.3$)

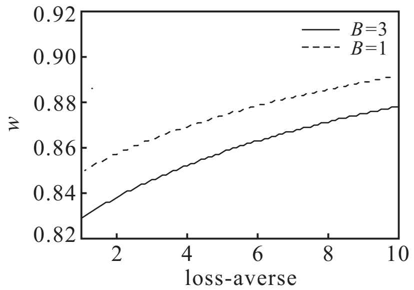

图 2 批发价格示意图 ($\zeta\sim$**均匀分布** $U(0,50), c=0.3$)

由图3可以看出, U_s、U_r 和系统总期望利润均随着 λ 的增加而减小, 说明供应商更倾向于选择更小 λ 的零售商. 这对于该供应链而言是理性的选择, 因为这样会增加供应链的效用, 同时增加的产出也有利于消费者.

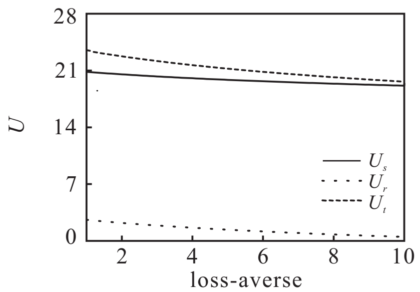

图 3 期望利润示意图 ($\zeta\sim$**均匀分布** $U(0,50,c=0.3,B=1)$)

上述对图1 ~图3的解释与现实中的直觉是一致的.

4 供应链协调性分析

由上述分析可知, 零售商的订货量随着自有资金量的减少而增加, 当 $B\to 0$ 时订货量达到最大值. 由式(2)和(5)可知, 订货量最大值与 λ 无关, 而集中决策下的成交量与 λ 有关, 从而当 λ 足够小时供应链会出现不协调的情况.

针对供应链不能达到协调的情况, 这里引入供应商回购合同, 以下标 b 代表回购合同下的参数, 其中 $w_b>c_b>0$ 且 $w_b\in(c,1)$. 下面考察回购合同是否可以使供应链达到协调.

当 $\zeta<q_b$ 时, 令需求低于临界值 $\widetilde{q}$ 时将使得零售商不能支付融资额而导致破产, 则由 $w_b\cdot\zeta-B=\widetilde{q}+(\zeta-\widetilde{q})\cdot c_b$ 可得

$$\widetilde{q}=\frac{(w_b-c_b)\cdot q_b-B}{1-c_b}.$$

令需求低于临界值 $\bar{q}$ 时零售商能支付融资额而不会导致破产, 但利润仍然为负, 则由 $w_bq_b=\bar{q}+(q_b-\bar{q})c_b$ 可得

$$\bar{q}=\frac{(w_b-c_b)q_b}{1-c_b}.$$

因此, 零售商利润为

$$\varPi_{rb}=-B,\ \zeta\sim(0,\widetilde{q});$$

$$\varPi_{rb}=\zeta-q_bw_b+(q_b-\zeta)c_b<0,\ \zeta\sim(\widetilde{q},\bar{q});$$

$$\varPi_{rb}=\zeta-q_bw_b+(q_b-\zeta)c_b>0,\ \zeta\sim(\bar{q},q_b);$$

$$\varPi_r(q_b)=q_b-q_bw_b,\ \zeta\sim(q_b,+\infty).$$

则零售商的效用为

$$\begin{aligned}&U_{rb}(q_b)=\\&\lambda\cdot\int_0^{\widetilde{q}}(-B)\cdot f(\zeta)\cdot\mathrm{d}\zeta+\\&\lambda\cdot\int_{\widetilde{q}}^{\bar{q}}(\zeta-qw_b+(q-\zeta)c_b)\cdot f(\zeta)\cdot\mathrm{d}\zeta+\\&\int_{\bar{q}}^{q}[\zeta-qw_b+(q-\zeta)c_b]\cdot f(\zeta)\cdot\mathrm{d}\zeta+\\&\int_{\bar{q}}^{+\infty}[q_b-qw_b]\cdot f(\zeta)\cdot\mathrm{d}\zeta.\end{aligned}$$

对 $U_{rb}(q_b)$ 求 q_b 一阶导数并令其为零, 化简可得

$$\begin{aligned}&(1-c_b)\bar{F}(q_b)=\\&(w_b-c_b)[\lambda\bar{F}(\widetilde{q})-(\lambda-1)\bar{F}(\bar{q})].\end{aligned}\tag{10}$$

对 $U_{rb}(q_b)$ 求 q_b 的二阶导数, 应用式(10)可得

$$\frac{\mathrm{d}^2U_r(q_b)}{\mathrm{d}q_b^2}<0,$$

即 $U_{rb}(q_b)$ 是关于 q_b 的凹函数. 将协调时成交量代入式(10), 可得到回购合同 (w_b,c_b) 的相关参数满足以下关系:

$$\bar{F}(q^c)=\frac{(w_b-c_b)}{(1-c_b)}[\lambda\bar{F}(\widetilde{q}_b)-(\lambda-1)\bar{F}(\bar{q}_b)].\tag{11}$$

其中

$$\widetilde{q}_b=\frac{(w_b-c_b)q^c-B}{1-c_b},\ \bar{q}_b=\frac{(w_b-c_b)q^c}{1-c_b}.$$

供应商的效用为

$$\begin{aligned}&U_{sb}(w_b^*,c_b^*)|_{q_b=q^c}=\\&\int_0^{\widetilde{q}_b}(B+\zeta)f(\zeta)\mathrm{d}\zeta+\\&\int_{\widetilde{q}_b}^{q^c}[w_b^*q^c-c_b^*(q^c-\zeta)]f(\zeta)\mathrm{d}\zeta+\\&\int_{q^c}^{+\infty}w_b^*q^cf(\zeta)\mathrm{d}\zeta-cq^c.\end{aligned}$$

要想达到供应链协调还必须满足激励相容(IC)条件, 即供应商的效用不会比分散化条件下的少. 令

在分散决策下的最优批发价格和订货量分别为 (w_d^*, q_d^*), 即有

$$U_{sb}(w_b^*, c_b^*)|_{q_b=q^c} - U_s(w_d^*, q_d^*) \geqslant 0.$$

将不等式左边化简, 可得

$$U_{sb}(w_b^*, c_b^*)|_{q_b=q^c} - U_s(w_d^*, q_d^*) =$$

$$(q_d^* - q^c)c + \int_{w_d^* \cdot q_d^* - B}^{q^c} \bar{F}(\zeta)\mathrm{d}\zeta - (1 - c_b^*)\int_{\widetilde{q}_b}^{q^c} \bar{F}(\zeta)\mathrm{d}\zeta \geqslant$$

$$(q_d^* - q^c)c + (q^c - w_d^* \cdot q_d^* + B)\bar{F}(q^c) -$$

$$\Big(\frac{q^c(1 - w_b^*) + B}{1 - c_b^*}\Big)\bar{F}(\widetilde{q}_b)(1 - c_b^*) >$$

$$[(1 - w_d^*)q_d^* + B]c - [(1 - w_b^*)q^c + B]\bar{F}(\widetilde{q}_b). \tag{12}$$

式 (12) 中的第 1 个不等式根据积分中值定理得到. 由于 $q^c > q_d^*$ 以及 $\bar{F}(\widetilde{q}_b) > c$, 由最后 1 个不等式可以看出, 当 $w_b^* > w_d^*$ 时才能满足供应商在任意需求分布下参与的必要条件. 通过调整 w_b^* 和 c_b^* 的取值范围使得式 (12) 右边不小于零, 且 w_b^* 和 c_b^* 应满足式 (10).

综上所述可得到以下推论.

推论 1　在回购合同 (w_b, c_b) 中, 在不减少供应商效用的情况下, 使延期支付下损失厌恶型零售商参与的供应链达到协调的必要条件是: w_b^* 的设定应满足 $(1 - w_d^*)/(1 - w_b^*) > q_c/q_d^*$, 且相关参数满足式 (10).

基于以上对协调性的分析, 在延迟支付下引入回购合同可以使供应链达到协调, 且这种协调是柔性的, 即可以任意分配系统预期利润, 以满足参与者的要求[12], 具体参数的选择将取决于谈判双方的讨价还价能力. 特别地, 当 $\lambda\bar{F}(\widetilde{q}_b) - (\lambda - 1)\bar{F}(\bar{q}_b) = 1$, 即为标准回购合同下订购量, $\bar{F}(q^c) = (w_b - c_b)/(1 - c_b)$, 且在达到协调时, 有 $(w_b - c_b)/(1 - c_b) = c$, 即 $w_b = c + c_b \cdot (1 - c)$.

5　算　例

下面用一算例来说明第 3 节的结论. 设需求分布为 $[0, 100]$ 上的均匀分布, $B = 4, c = 0.3, \lambda = 8$, 有 $q^c = 42.945$. 在分散决策下, 批发价格 $w_d^* = 0.593$, 订购量 $q_d^* = 33.553, U_{sd}^* = 8.558, U_{rd}^* = 4.292$, 这时出现了不协调的情况, 即 $q_d^* < q^c$. 考虑采用回购合同, 由推论 1 计算得出 $w_b > 0.682$. 选择 $w_b^* = 0.683$, 代入式 (11), 解得 $c_b^* = 0.607$, 从而有 $U_{sb}^* = 10.8, U_{rb}^* = 1.658$. 将采用回购合同前后的效用水平进行比较, 发现 $U_{sb}^* > U_{sd}^*$, 说明供应商的效用确有增加, 而 $U_{rb}^* < U_{rd}^*$, 说明零售商的效用减少了, 原因在于回购合同的应用使得零售商避免了破产的命运, 但却使零售商失去了利用破产保护逃避债务的“好处”, 从而看起来好像效用在减小, 这种现象可能会导致“道德风险”现象的出现, 即零售商并不情愿接受回购而宁愿冒着破产的风险. 解决这个问题的办法是供应商向零售商提供两种选择: 一是按照前述方法确定回购合同; 二是制定一个更高的惩罚性批发价格合同, 使得零售商接受后所获得的效用比之前的效用更小. 在本例中, 以回购合同中的批发价格就能达到此目的, 即 $U_{rd}^{|}{}_{w_d=0.683} = 1.568$, 这时零售商会选择接受回购合同.

6　结　论

本文在延迟支付且零售商为损失厌恶型的情况下, 深入全面地考察了供应链运作和协调问题, 并严格证明了所给出的命题和推论的正确性. 研究发现, 在延期支付下分散决策时, 系统存在唯一的纳什均衡; 零售商在订货上比传统模型可能会表现得更加积极; 订货量随零售商损失厌恶的加深而减少; 批发价格随零售商损失厌恶的加深而增加; 供应商更倾向于选择损失厌恶更小的零售商,以达到提高期望利润的目的.

在协调性方面, 研究了通过引入回购合同达到供应链协调的可能性, 证明了回购合同可以在某种程度上缓解零售商的资金状况, 同时使得供应链达到协调, 进一步拓展了供应链合同的适用领域.

对于信息不对称、零售价可变等在资金约束供应链中的影响问题, 将另文讨论.

参考文献(References)

[1] Schwartz R. An economic model of trade credit[J]. J of Financial Quantitative Analysis, 1974, 9(1): 643-657.

[2] Goyal S K. Economic order quantity under conditions of permissible delay in payments[J]. J of the Operational Research Society, 1985, 36(4): 335-338.

[3] 陈琦. 基于延期支付的零售企业最优定价和库存策略研究[D]. 上海: 同济大学经济与管理学院, 2008.
(Chen Q. Research on optimal retailers price and inventory decision under permitted delay of payment[D]. Shanghai: School of Economics and Management, Tongji University, 2008.)

[4] 张义刚, 唐小我. 延迟支付下短生命周期产品批发价契约研究[J]. 中国管理科学, 2011, 19(3): 63-69.
(Zhang Y G, Tang X W. Study on wholesale price contract of short life cycle product with permitting delay in payments[J]. Chinese J of Management Science, 2011, 19(3): 63-69.)

[5] Maqbool Dada, Qiaohai Hu. Financing newsvendor inventory[J]. Operations Research, 2008, 36(5): 569-573.

[6] Srinivasa Raghavan N R, Vinit Kumar Mishra. Short-term financing in a cash-constrained supply chain[J]. Int J of Production Economics, 2009, 43(1): 993-1001.

[7] Choi T M, Li D, Yan H M, et al. Channel coordination in supply chains with agents having mean-variance objectives[J]. Omega, 2008, 36(4): 565-576.

(下转第1032页)