风险约束下退货合同对供应链的协调性分析①

姚　忠
(北京航空航天大学经济管理学院，北京 100083)

摘要：在零售商在风险约束下，分析了退货策略对单周期供应链的协调性. 首先运用报童库存模型建立了供应链决策模型，然后运用解析法对满足零售商下游风险约束下的零售商决策进行了优化分析. 对于供应商的决策，采用数值分析方法分析了零售商下游风险对其决策的影响. 研究表明，在风险约束制约下，零售商和供应商的期望利润都有所减少，退货合同的协调性较无风险约束情况下弱. 最后，对未来的研究方向给出了建议.

关键词：下游风险；退货策略；供应链协调；风险管理

中图分类号：F253　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1007 - 9807(2008)03 - 0096 - 10

0　引　言

在供应链合同(契约)研究中，多数研究假定决策者是风险中性的[1,2]. 但实际运作中，他们都是风险规避的. 因为在不确定和动态的商务环境下，决策者不仅期望获得最大的利润，而且也想知道获得最大利润的概率有多大. 无风险约束下的供应链协调机制在风险约束下未必有效. 本文对退货策略——种在供应链协调策略中十分普通的策略—在决策者风险规避的态度下，是否能有效地提高供应链的绩效或至少获得 Pareto 提高进行了探讨. 具体来说，退货策略能否在满足供应链中零售商风险约束下，使得供应链系统的利润或绩效有所提高.

经济学中的风险管理研究很多，本文不作介绍. 风险型供应链的研究文献已有一些，综合性的文献回顾参见 Tang[3]、吴军等[4]、周艳菊等[5]研究. 下面主要针对管理科学和运筹学领域与本文相关的研究作简单回顾，即对考虑风险约束条件下的供应链管理文献进行简单综述. 按照风险测度的定量分析方法，风险模型主要分为效用函数方法来测度风险和金融学中使用的风险测度方法(如 VaR, CVaR, mean-variance 等). 基于效用函数的风险测度方法主要在库存模型文献中使用[6]. 在供应链中采用效用函数测度风险因素的研究中，Lau 等[7]是较早采用效用函数分析零售商风险态度的研究. 该文研究了在报童模型结构的供应链系统中，制造商采用退货策略时对零售商、制造商自己和供应链系统的影响. 研究发现退货策略的反直觉特征，即制造商采用这一策略对风险规避地零售商不利. 在考虑供应链决策者风险规避的情况下，Agralwal 等[8]采用需求依赖价格的报童模型供应链结构，效用函数为利润的增凹函数，研究了风险规避的零售商如何选择订购量和零售价. 该文研究了两种价格影响需求分布的模型：一是价格变化影响需求分布的方差(需求与价格的关系是乘法形式)，这种情况下风险规避的零售商采用高价格低订货量策略；二是价格变化只影响需求分布的均值(需求与价格的关系是加法形式)，这种情况零售商采用低价策略，而订货量与需求的灵敏度相关. 在此基础上，Agralwal 等[9]又考虑了多个风险规避的零售商的情形，供应商(经纪商)设计一个合同菜单，诱导

① 收稿日期：2007 - 05 - 28；修订日期：2008 - 05 - 30.
基金项目：国家自然科学基金资助项目(70672020).
作者简介：姚　忠(1964—)，男，河北张北人，博士，副教授，Email：iszhyao@ buaa.edu.cn

风险规避的零售商从菜单中选择一个合同，从而最大化供应商的利润，同时提高了零售商的订货量. Tsay[10] 考虑了风险规避对供应链双方的影响. 供应商宣布退货策略，零售商在不知道需求的前提下订购一定的数量商品，当观测到需求后，零售商制定零售价进行销售. 该文研究发现，与风险中性情况相比，风险规避情况的订价策略和订货量存在极大的不同，且对零售商风险错误估计的惩罚代价很大. Gan 等[11] 应用指数效用函数来测度零售商的风险，研究了退货合同、收益分享合同和利润分享合同对供应链的协调性. 以上模型均采用报童库存模型来建立供应链系统模型. Chen 等[6] 推导了联合优化库存和定价策略，考虑了风险规避的态度. 但该文不属于供应链研究层面的文献. Cachon 等[12] 分析了提前采购合同对分配库存风险的影响，不过该文提到了"风险"是指期望的未售库存成本，没有用具体的风险测度来分析供应链节点上的库存问题. 基于效用函数的风险测度方法的缺点是效用函数难以确定. 因此，实际应用中会遇到困难. Kleindorfer 等[13] 分析了供应链风险管理的概念框架，该文是从供应链突发事件风险（disruption risk）的角度来建立风险概念模型，突发事件风险是指自然灾害、经济危机、恶意行为（如恐怖主义活动）引起的正常经济活动混乱.

供应链研究风险模型中，沿用金融学中对风险控制方法来控制供应链风险模型的文献有[4,6,9,14~20]. 自从 Markowitz[21] 在提出用均值-方差测度不确定风险模型以来，在组合证券研究中得到广泛的应用. 该方法主要是用均值来刻画期望的利润，用方差来测度利润的不确定风险. 供应链协调性研究中，也经常求期望利润最大化的目标函数. 因此，用均值-方差来描述供应链风险是一种有益的延伸. Chen 等[14] 采用均值方差（mean-variance）作为决策者的目标函数，得出了在风险控制下的供应链决策与风险中性情况下极大的不同. 张向阳等[19] 供应链管理中的不确定因素、风险类型及其来源，讨论了减小和防范供应链风险的方法及其分担原则，建立了供应链管理中的风险分担和利益分配模型. 钟宁等[20] 用期权契约的机制来分析风险型供应链的优化问题，通过引入独立式期权机制与嵌入式期权机制，针对供应商与分销商，分别探讨了在多供应商，多分销商的供应链模型下的独立式期权机制，以及单供应商、多分销商的供应链模型下的嵌入式期权机制. 分析了市场需求不确定情况下，衍生工具对供应链绩效的影响. Seifert 等[17] 推导了供应链中短期现货市场存在下，用均值方差作为零售商目标函数的优化决策. Gan[16] 等延伸了文献[11]的研究，但采用了下游风险测度方法对零售商风险规避情况下的退货和收入分享两种合同协调性进行了分析. 如果零售商的风险与供应商分享的话，有限的退货量可获得供应链的协调. 另一种情况是，如果供应链的利润超过了零售商的利润目标，那么超过的部分将由供应商获得. 在 Gan 等[16] 的基础上，Deng 等[15] 研究了一对一供应链结构下，供应链成员存在风险约束机制的对供应链合同协调性. 该文假定所有的合同均以优化供应链系统的利润为目标的合作方式展开的，实际上是在一体化的营销渠道情形的供应链系统下，考虑了供应商和零售商的风险测度，研究了提前采购合同、部分提前购买+部分随机采购合同（相当于二次订购）等几种合同的协调性. 该文假定需求分布、零售价格、供应商的生产成本是外部给定的. 决策变量只有一个订货量. 研究结果表明退货合同、收益分享合同和部分提前购买加部分随机购买合同不能协调供应链系统，最后给出了"讲真话（truth-telling）"的合同，即供应商和零售商将自己的风险态度告知对方，可获得供应链系统的协调. Deng 等[15] 的研究与 Gan 等[16] 的研究不同之处在于，前者是分析整个系统的利润分享，而后者分析的是超额利润分享，即通过合同获得超过供应链成员的目标利润后的剩余利润，而且两者的研究方法也不尽相同. 需要指出的是，上述文献中构建的模型均是基于单周期库存模型（即报童库存模型）. 赵道致等[22] 研究利润分配和风险控制两个因素在供应链合作中的交互影响，运用下游风险约束对一个三层供应链模型中风险厌恶型分销商与其下游风险中性零售商之间的合作契约设计和建模. 结果表明对供应链合作契约进行有效设计，风险中性方为风险规避方主动提供相应的风险保护，满足其风险约束的同时，可提高系统的利润，从而达到协调供应链的目的. 此外，Yang 等[23] 运用下游风险测度方法对报童库存模型进

行了研究.认为在下游风险的约束下,报童模型的订货量是下降的,但该文的研究主要是分析优化库存量的问题,不是针对供应链优化分析.本文是在Deng等[15]的基础展开研究的,与Deng等[15]不同之处在于,本文假定供应链成员是不同的实体单位,即零售商在满足自己的风险测度情况下最大化自己的利益为目标,而不考虑供应商的风险态度,这种情况下的研究文献参见Wu等的研究[18],但Wu等[18]的研究考虑的是预定合同(reservation contract).此外,本文假定供应商的批发价给定的,决策变量为供应商的退货价格和零售商的订货量.

1 一体化营销渠道和符号说明

考虑一个由一个供应商和一个零售商组成的供应系统.作为衡量不同合同绩效的标杆标准,我们首先分析零售商与供应商合作营销,即一体化营销渠道(integrated channel)的情况.在一体化营销渠道中,供应商的生产成本c,零售商在需求实现之前以该成本价定购Q单位的商品,然后以零售价p销售给客户,$p>c$是基本假定.这里假定零售价格由市场决定.随机需求x的分布函数和密度函数分别为$F(x)$和$f(x)$,均值和方差分别为μ和s.假设T为供应商的投资现金或零售商支付给供应商的转移支付.该转移支付也许是与订货量相关的量,但也许包括运输成本,等,因此我们不假定其具体形式.

本文沿用Deng等[6]的记号.记Π_r,Π_s分别为零售商和供应商的利润,则

$$\Pi_r = p\min\{Q,x\} - T \tag{1}$$

$$\Pi_s = T - cQ \tag{2}$$

设零售商和供应商的风险参数分别为(α_r,β_r),(α_s,β_s),用零售商的利润低于α_r的概率最多为β_r,供应商的利润低于α_s的概率最多为β_s来测度供应链成员的风险.这种测度风险的方法是由Markowitz[21]首次提出的,在金融学中称作下游风险(downside risk).在管理科学与运筹学中,称作机会约束.如果最坏的损失置信水平低于给定的边界的话,它等价于VaR(Value-at-Risk)约束[16].如果$\alpha=0$,则相当于决策者的放弃风险规避的决策.进一步,风险规避对(α_1,β_1)和(α_2,β_2),如果$\alpha_1\leqslant\alpha_2$且$\beta_1\geqslant\beta_2$,则后者比前者的风险规避大[16].基于以上的假设和记号.在供应链中首次使用下游风险的文献是Chen等[14].一体化的营销渠道(integrated channel)决策可表示为

$$(\mathrm{C0})\ \max_{Q\geqslant 0}\ pE[\min\{x,Q\}] - cQ$$
$$\text{s.t. } P\{p\min\{Q,x\} - T \leqslant \alpha_r\} \leqslant \beta_r$$
$$P\{T - cQ \leqslant \alpha_s\} \leqslant \beta_s \tag{3}$$

注意,这里在一体化营销渠道中考虑了零售商和供应商的风险测度.报童问题(C0)是凹函数且在$Q_n^* = F^{-1}(\frac{p-c}{p})$获得最大值($n$表示无风险约束).问题在于如何满足零售商和供应商的风险约束情况下的订货量(此时相当于生产量)Q_{IC}^*.

引理 如果$(p-c)F^{-1}(\beta_r)\geqslant\alpha_r+\alpha_s$,一体化渠道的最优生产量为

$$Q_{IC}^* = \min\left\{Q_n^*, \frac{pF^{-1}(\beta_r)-\alpha_r-\alpha_s}{c}\right\},\text{其中}$$

$$Q_n^* = F^{-1}(\frac{p-c}{p}). \tag{4}$$

证明 Deng等[15]给出了图解法的证明,这里用解析法证明.

只要求出满足问题(C0)约束条件的最大生产量的可行域$Q_{\max}$,然后取$Q_{\max}$与Q_{IC}^*的最小者即为最优解.

分析问题(C0)的第二个约束可知,供应商生产多少能满足自己的风险约束,还与其投资量T有关,假定投资量T充裕的,满足其利润目标α_s的概率为1,只要$\beta_s>0$即可.因此

$$T\geqslant\alpha_s+cQ\ \text{或者}\ Q\leqslant\frac{T-\alpha_s}{c} \tag{5}$$

如果希望获得$Q_{\max}$,则T越大越能满足我们的要求.那么再分析零售商的约束条件.首先分析$Q>x$的情况,由(C0)的零售商约束条件可得(其中将式(5)代入)

$$P\{p\min\{Q,x\} - T \leqslant \alpha_r\} \leqslant \beta_r$$
$$\Rightarrow P\{px - cQ - \alpha_s \leqslant \alpha_r\} \leqslant \beta_r$$
$$\Rightarrow P\left\{x \leqslant \frac{\alpha_r+\alpha_s+cQ}{p}\right\} \leqslant \beta_r$$
$$\Rightarrow F\left(\frac{\alpha_r+\alpha_s+cQ}{p}\right) \leqslant \beta_r$$
$$\Rightarrow Q \leqslant \frac{pF^{-1}(\beta_r)-\alpha_r-\alpha_s}{c}$$

这正是满足零售商和供应商风险约束的最大生产量 $Q_{\max}$.

如果 $Q \leqslant x$，根据(5)的推导方法并考虑引理的条件，那么显然最大生产量 $Q_{\max} \leqslant \dfrac{\alpha_r + \alpha_s}{p - c} \leqslant \dfrac{pF^{-1}(\beta_r) - \alpha_r - \alpha_s}{c}$. 注意上述分析是在满足零售商风险约束下得出的，因此该条件满足(C0)的所有约束.　　证毕.

需要提出的是，风险约束解中与供应商的下游风险控制参数 $\beta_s > 0$ 即可，在解中与该参数无关. 引理说明，如无风险约束，则最优生产量即为报童模型最优解. 但存在下游风险约束下，最优解要么是报童解，要么是风险约束条件的解. 从解的结构看，判断那个解作为最终解依赖于系统的参数，这个问题有待深入研究.

2　退货合同

现在考虑分散结构的情况，即由一个供应商和一个零售商组成的供应链系统. 供应商在制定退货策略时首先以单位批发价 w 售给零售商，并告知零售商可以 b 价格退货，零售商在需求实现之前以批发价定购 Q 单位的商品，然后以零售价 $p(>w)$ 销售给客户. 如果订货量超过了实际需求，则剩余订货量以 b 价格退还给供应商. 此即为本文研究的退货策略合同. 当然退货合同的形式很多，见 Lariviere 等[24] 综述性分析. 因为可以退货，所以零售商的订货量一般较大，不会产生缺货的状况. 其他假设同前. 这里假设 T 为零售商和供应商之间的现金转移支付.

零售商风险约束的退货合同

在允许退货时，零售商订购量为 Q 单位，那么支付给供应商的转移支付 $T(x,Q) = wQ - b\max\{Q-x,0\}$. 显然，转移支付不仅依赖于批发价，也依赖于订购量和退货价. 零售商的决策为

$$(\mathrm{C1})\ \begin{array}{l} \max\limits_{Q \geqslant 0}\ pE[\min\{x,Q\}] - wQ + bE[\max\{Q-x,0\}] \\ \text{s.t.}\ P\{\Pi_r \leqslant \alpha_r\} \leqslant \beta_r \end{array} \tag{12}$$

其中，$\Pi_r = p\min\{x,Q\} - T(x,Q)$

无风险约束的供应商的决策为

$$\max_{b>0}\ wQ - cQ - bE[\max\{Q-x,0\}] \tag{13}$$

依据 Stackelberg 博弈过程，首先解零售商的问题.

定理1　如果 $(p-w)F^{-1}(\beta_r) \geqslant \alpha_r$，退货合同下，风险约束下零售商的最优订货量为，

$$Q_{DC}^* = \min\left\{Q_{nb}^*, \frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r) - \alpha_r}{w-b}\right\},$$

其中 $Q_{nb}^* = F^{-1}\left(\dfrac{p-w}{p-b}\right)$，$Q_{DC}^*$ 表示分散结构下的最优订货量.

证明　在退货合同机制下，式(12)中目标函数的报摊模型解为 $Q_{nb}^* = F^{-1}\left(\dfrac{p-w}{p-b}\right)$，即无风险退货合同的最优订货量. 考虑零售商的风险约束，当 $x \leqslant Q$ 时，通过简单的代数计算有

$$\begin{aligned} P\{\Pi_r \leqslant \alpha_r\} \leqslant \beta_r &\Rightarrow P\{p\min\{x,Q\} - wQ + b\max\{Q-x,0\} \leqslant \alpha_r\} \leqslant \beta_r \\ &\Rightarrow P\{px - Qw + b(Q-x) \leqslant \alpha_r\} \leqslant \beta_r \\ &\Rightarrow P\left(x \leqslant \frac{\alpha_r + Q(w-b)}{p-b}\right) \leqslant \beta_r \\ &\Rightarrow Q \leqslant \frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r) - \alpha_r}{w-b}; \end{aligned}$$

当 $x > Q$ 时，有 $Q \leqslant \dfrac{\alpha_r}{p-w}$，考虑条件 $(p-w)F^{-1}(\beta_r) \geqslant \alpha_r$，有

$$Q_{\max} \leqslant \frac{\alpha_r}{p-w} \leqslant \frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r) - \alpha_r}{w-b}.$$

满足零售商约束条件的最优订货量为

$$Q_{DC}^* = \min\left\{Q_{nb}^*, \frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r) - \alpha_r}{w-b}\right\},$$

其中 $Q_{nb}^* = F^{-1}\left(\dfrac{p-w}{p-b}\right)$　　(14)

证毕.

定理1表明，零售商的最优决策与一体化渠道决策基本类似. 但风险约束下的订货量仅与零售商的下游风险相关. 供应商给零售商提供退货条件，应该有效地缓和零售商的风险. 为此分析如下.

在风险约束生效的情况下，即零售商的最优订货量为 $Q_{DC}^* = \dfrac{(p-b)F^{-1}(\beta_r) - \alpha_r}{w-b}$，如果 $w > b$，则 Q_{DC}^* 关于 b 的增函数. 也就是说，零售商的订货量随着退货价格的提高而增大，这与风险中性

情况是一致的. 当 $b \to w$ 时, 零售商的订货量可达无穷大, 这是合理的, 因为如果退货价格等于批发价格, 那就意味着零售商没有任何负担. 因此, 供应商是不会将退货价格等于批发价的. 而且, 供应商有关于退货价的优化决策.

依据 Stackelberg 博弈次序, 供应商知道这样的决策后, 自己才决定自己的优化退货价. 供应商的目标函数有如下特性.

定理 2 无风险约束的供应商其目标函数在: 1) 如果退货价格 $b > \frac{p(w-c)}{p-c}$, 即零售商无风险约束时; 2) 在 $(p-w)F^{-1}(\beta_r) \geqslant \alpha_r$, 即零售商存在下游风险约束时, 是关于退货价格 b 的凹函数.

证明见附录.

定理 2 说明, 供应商有自己的优化决策. 众所周知, 如果分布函数的逆函数没有显式表示的话, 获得关于 b 的解将十分困难. 那么零售商的风险参数对供应商的影响难以分析, 为此我们采用数值方法加以分析.

由于均匀分布的逆函数存在, 因此, 下面假设需求服从均匀分布作为例子来推导有关解. 为使推导简化, 假定 (0,1) 分布, 则当 $Q_{DC}^* = Q_{nb}^* = F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})$ 时, 一阶条件和二阶条件分别为

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial b} = \frac{[2(w-c)-(p+b)\rho]\rho}{2(p-b)} \tag{15}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial b^2} = -\frac{[2p(p+c-2w)+b(p+w-2c)]\rho}{(p-b)^3} \tag{16}$$

其中, $\rho = (p-w)/(p-b)$. 为使式(13) 有最大值, 只需式(16) 小于0. 满足式(16) 小于0的一个充分条件为 $p+c-2w \geqslant 0$. 注意该条件比定理 2 中的 $b > \frac{p(w-c)}{p-c}$ 条件弱.

那么, 令式(15) 等于0 可得 $b = \frac{(2w-2c-p)p}{w-2c+p}$. 该式容易证明 $b < w$.

当 $Q_{DC}^* = \frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}$ 时, 一阶条件和二阶条件分别为

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial b} = \frac{(w-c)(Q_{DC}^*-\beta_r)}{2(p-b)} - \int_0^{Q_{DC}^*}(Q_{DC}^*-x)\mathrm{d}x - b\frac{Q_{DC}^*-\beta_r}{w-b}Q_{DC}^* \tag{17}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial b^2} = \frac{(Q_{DC}^*-\beta_r)[2(w-c)-b(3Q_{DC}^*-\beta_r)]}{(w-b)^2} \tag{18}$$

可见, 只要 $2(w-c)-b(3Q_{DC}^*-\beta_r) \leqslant 0$ 或 $3[(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r]-\beta_r(w-b) \geqslant \frac{2(w-c)(w-b)}{b}$, 式(18) 为负, 因为根据假设 $(p-w)F^{-1}(\beta_r) \geqslant \alpha_r$, 注意到(0,1) 均匀分布时有 $F^{-1}(\beta_r) = \beta_r$, $Q_{DC}^* - \beta_r = \frac{(p-b)\beta_r-\alpha_r}{w-b} - \beta_r = \frac{(p-w)\beta_r-\alpha_r}{(w-b)} > 0$. 不过, 从一阶条件(17) 显式地解出 b 不是件容易的事情.

下面对需求服从正态分布的情况进行数值分析.

3 数值分析

本节对各种风险约束下的零售商和供应商的决策进行数值分析. 假设参数值如下:

$c=1$, $p=3$, $w=2$, $x \sim N(\mu,s)$, $\mu=100$, $s=15,25$, $\alpha_r=0, 50$, $\beta_r=0, 0.05, 0.2, 0.25, 0.4$.

注意这里的正态分布为截尾正态分布. 计算结果如表 1 所示. 没有给出 $\beta_r=1$ 的情况, 因为与 $\beta_r=0.4$ 相比没有新的发现. 数值优化可得出如下的结论, 零售商的风险约束在某些情况下不影响退货策略的决策, 但某些情况下却影响. 当风险测度发生影响时, 将降低退货策略的系统绩效. 这里系统绩效是用退货策略合同下零售商风险约束得系统期望利润与一体化渠道情况下零售商风险约束时系统期望利润之比来评价的. 更具体来说, 在风险测度 $\alpha_r=0$ 时, 随着 β_r 的增大, 即零售商风险规避态度的放松, 对供应链成员决策的影响开始增加(加黑数字). 但当风险测度 $\alpha_r=50$ 时, 即零售商有一定的保留利润要求, β_r 小时, 零售商的规避风险态度大时, 出现了风险测度对决策的影

响(如 $\beta_r = 0$ 的情形). 仔细计算发现，当 $\beta_r = 0.000\ 1$ 等值时，类似情况会发生. 这说明下游风险测度对风险规避极其大时，其约束作用开始生效.

表 1　零售商下游风险约束下退货合同的数值优化分析

Table 1 Numerical analysis for the returns policy under the retailer downside risk constraints

		$\alpha_r = 0$						$\alpha_r = 50$					
$\sigma = 15$, $\mu = 100$	$\beta_r =$	0.00	0.05	0.20	0.25	0.30	0.40	0.00	0.05	0.20	0.25	0.30	0.40
	b^*	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	**0.50**	**0.54**	0.75	0.75	0.75	0.75	**0.50**
	$Q* =$	97.92	97.92	97.92	97.92	**92.13**	**96.20**	**96.45**	97.92	97.92	**89.88**	**92.13**	**96.20**
	$R^{*a} =$	86.67	86.67	86.67	86.67	**83.57**	**85.51**	**85.68**	86.67	86.67	**83.17**	**83.57**	**85.51**
	$S^{*a} =$	94.16	94.16	94.16	94.16	**92.13**	**94.06**	**94.09**	94.16	94.16	**89.88**	**92.13**	**94.06**
	$Total^{*a} =$	180.83	180.83	180.83	180.83	**175.70**	**179.57**	**179.77**	180.83	180.83	**173.05**	**175.70**	**179.57**
	E_b^f	0.984 7	0.984 7	0.984 7	0.984 7	**0.956 8**	**0.977 9**	**0.978 9**	0.984 7	0.984 7	**0.942 4**	**0.956 8**	**0.977 9**
		$\alpha_r = 0$						$\alpha_r = 50$					
$\sigma = 25$, $\mu = 100$	$\beta_r =$	0.00	0.05	0.20	0.25	0.30	0.40	0.00	0.05	0.20	0.25	0.30	0.40
	$b^* =$	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	**0.50**	**0.57**	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	$Q^* =$	96.53	96.53	96.53	**83.14**	**86.89**	**93.67**	**94.43**	96.53	96.53	**83.14**	**86.89**	**93.67**
	$R^* =$	77.79	77.79	77.79	**71.95**	**72.61**	**75.85**	**76.38**	77.79	77.79	**71.95**	**72.61**	**75.85**
	$S^* =$	90.27	90.27	90.27	**83.14**	**86.89**	**90.11**	**90.18**	90.27	90.27	**83.14**	**86.89**	**90.11**
	$Total^* =$	168.06	168.06	168.06	**155.09**	**159.51**	**165.96**	**166.56**	168.06	168.06	**155.09**	**159.51**	**165.96**
	E_b^f	0.972 9	0.972 9	0.972 9	**0.897 9**	**0.923 4**	**0.960 8**	**0.964 2**	0.972 9	0.972 9	**0.897 9**	**0.923 4**	**0.960 8**

a: R^*, S^*, $Total^*$ 分别表示零售商、供应商和供应系统的优化期望利润.

b: E_f为退货策略合同下零售商风险约束得系统期望利润与一体化渠道情况下零售商风险约束时系统期望利润之比.

总之，数值计算给出了如下的结论：1) 当零售商的风险规避态度放松时和特别紧时，下游风险测度对供应链成员的决策生效. 2) 风险约束当生效时，系统的绩效均下降，根据 Gan 等[11] 的定义，退货策略不能协调供应链系统.

4　结论与未来的研究方向

本文对零售商下游风险约束下的供应链协调问题进行了分析，主要考虑了退货合同的协调机制. 研究结果表明，在风险约束下，退货策略不能获得完美协调，甚至不能获得 Pareto 提高. 数值分析表明，为了减少供应链系统的损失，零售商和供应商的风险约束放松时，利润会接近无风险控制的情况. 本文研究中对风险的测度采用了下游的方法. 这种方法在金融研究中广泛采用，在供应链研究领域，Chen 等[14]、Deng 等[15]、Gan[16] 等文是采用这一方法的现有文献. 本文也沿用这一方法. 本文与 Deng 等[6] 文的不同在于，所考虑的供应链系统是各自独立的经济实体，而 Deng 等[15]、Gan[16] 等文是合作性的经济实体. 一个容易考虑到的问题是供应商也存在风险约束的退货合同，模型建立十分简单. 即零售商的目标函数同式(12)，其决策同式(14). 而供应商的决策为

$$\max_{b>0} wQ - cQ - bE[\max\{Q - x, 0\}]$$
$$\text{s.t. } P\{\Pi_s \leqslant \alpha_s\} \leqslant \beta_s \tag{19}$$

其中，$\Pi_s = T(x,Q) - cQ$

现在考虑供应商的风险约束时的最优退货价格. 仍然分两部分，即考虑

$$Q_{DC}^* = F^{-1}\left(\frac{p-w}{p-b}\right)$$

$$Q_{DC}^* = \frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r) - \alpha_r}{w-b}$$

将上述两式分别代入式(19) 中供应商的风险约束得

$$P\{(w-c)F^{-1}(\rho) - b\int_0^{F^{-1}(\rho)}(F^{-1}(\rho) - x)\cdot f(x)\mathrm{d}x \leqslant \alpha_s\} \leqslant \beta_s \tag{20}$$

和

$$P\{(w-c)\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\times b\int_0^{\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}-x\right)\cdot f(x)\mathrm{d}x\leqslant\alpha_s\}\leqslant\beta_s \tag{21}$$

观察上式可见,要对上述二式进行解析分析具有极大的挑战. 留作下一步研究的课题. 此外,对风险规避的大小或程度的研究是一个有趣的问题. Gan[16] 分析了自然负面风险(natural downside risk),即实际上是风险中性的经济实体的情况作为风险边界对风险共享合同进行了分析. 该文的模型仍然考虑的是利润存在的轨迹曲线,而没有寻求决策变量的解及其对供应链系统的影响. 此外,考虑多个零售商的情形是未来的研究方向.

参考文献:

[1]Eeckhoudt L, Gollier C, Schlesinger H. The risk-averse (and prudent) newsboy[J]. Management Science, 1995, 41(5): 786—794.

[2]Webster S, Weng Z K. A risk-free perishable item returns policy[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2000, 2(1): 100—106.

[3]Tang C T. Perspectives in Supply Chain Risk Management: A Review[EB/OL]. http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi? article=1059&context=anderson/dotm, 2005.

[4]吴　军, 李　健, 汪寿阳. 供应链风险管理中的几个重要问题[J]. 管理科学学报, 2006, 9(6), 1—12.
Wu Jun, Li Jian, Wang Shouyang. Some key problems in supply chain risk management[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(6): 1—12. (in Chinese)

[5]周艳菊, 邱菀华, 王宗润. 供应链风险管理研究进展的综述与分析[J]. 系统工程, 2006, 24(03): 1—7.
Zhou Yan-ju, Qiu Wan-hua, Wang Zong-run. A review on supply chain risk management[J]. Journal of Systems Engineering, 2006, 24(3): 1—7.

[6]Chen X, Sim M, Simchi-Levi D, Sun P. Risk aversion in inventory management[J]. Operations Research, 2003, 55(5): 828—842.

[7]Lau H S, Lau A H L. Manufacturer's pricing strategy and return policy for a single-period commodity[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 116: 291—304.

[8]Agrawal V, Seshadri S. Risk intermediation in supply chains[J]. IIE Transactions, 2000, 32(9): 819—831.

[9]Agrawal V, Seshadri S. Impact of uncertainty and risk aversion on price and order quantity in the newsvendor problem[J]. Manufacturing and Service Operation Management, 2000, 2(4): 410—423.

[10]Tsay A A. Risk sensitivity in distribution channel partnerships: Implications for manufacturer return policies[J]. Journal of Retailing, 2002, 78(2): 147—160.

[11]Gan X H, Sethi S P, Yan H. Coordination of supply chain with risk-averse agents[J]. Production and Operations Management, 2004, 13(2): 135—149.

[12]Cachon G P. The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, pull, and advance-purchase discount contracts[J]. Management Science, 2004, 50(2): 222—238.

[13]Kleindorfer P R, Saad G H. Managing disruption risks in supply chains[J]. Production and Operation Management, 2005, 14(1): 53—68.

[14]Chen F, Federgruen A. Mean-variance analysis of basic inventory models[A]. Columbia Business School, Columbia University, New York, NY, 2000.

[15]Deng S, Yano C A. Contracts for Supply Chains with Risk-constrained Buyers and Sellers[R]. Working Paper, IEOR Department, University of California, Berkeley, CA, 2002.

[16]Gan X H, Sethi S P, Yan H. Channel coordination with a risk-neutral supplier and a downside-risk-averse retailer[J]. Production and Operations Management, 2005, 14(1): 80—89.

[17]Seifert R W, Thonemann U W, Hausman W H. Optimal procurement strategies for online spot markets[J]. European Jour-

nal of Operational Research, 2004, 152: 781—799.

[18]Wu D, Kleindorfer P, Zhang J. Optimal bidding and contracting strategies for capital-intensive goods[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 137(3): 653—672.

[19]张向阳，杨敏才，刘华明，张晓凤. 供应链管理中风险分担与利益分配机制研究[J]. 华中科技大学学报(社会科学版). 2004,(5): 99—102.
Zhang Xiangyang, Yang Minchai, Liu Huaming, Zhang Xiaofeng. The risk pooling and profit sharing mechanism in supply chain management[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Social Science Edition). 2005, 5: 99—102. (in Chinese)

[20]宁　钟，林　滨. 供应链风险管理中的期权机制[J]. 系统工程学报，2007，22(2): 141—147.
Nin Zhong, Lin Bin. Option mechanism in supply chain risk management[J]. Journal of Systems Engineering, 2007, 22(2): 141—147. (in Chinese)

[21]Markowitz H. Porfolio Selection: Efficient Diversification of Investment[M]. New Haven: Cowles Foundation Monograph 16. Yale University Press, 1959.

[22]赵道致，何龙飞. Downside-Risk 控制下的供应链合作契约研究[J]. 系统工程理论与实践，2007，27(4): 34—40.
Zao Daozhi, He Longfei. Research on supply chain cooperative contract on the theory of downside-risk control[J]. Journal of System Engineering Theory and Practice, 2007, 27(4): 34—40. (in Chinese)

[23]YANG Lei, GAO Chengxiu, CHEN Kebing, LI Jianbin. Downside risk-aversion analysis for a single-stage newsvendor problem[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences (English Edition), 2007, 12(2): 198—202.

[24]Lariviere M. Supply chain contracting and coordination with stochastic demand[A]. Chapter 8 in Quantitative Models for Supply Chain Management[M]. S. Tayur, M. Magazine, and R. Ganeshan, Eds, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999. 233—268.

Analysis of return policy for coordinating supply chain under downside risk constraints

YAO Zhong

School of Economic and Management, BeiHang University, Beijing 10083, China

Abstract: This paper analyzes the coordination of return policy for single-period supply chain consisting of one supplier and one retailer, the latter is constrained by downside risk. We model the decision problems with newsboy model and then analytically derive the optimal policies for the retailer. For the optimal decisions of supplier, we use the numerical method to analyze the effect of retailer downside risk on the decision variables and the profit of the supplier. Compared with the case of no risk constraints, the study has shown that the expected profits of both members of supply chain have been reduced under the control of the return policy, which means the return policy can not coordinate the supply chain under retailer downside risk constraint. We also give with a discussion of contract implementation issues and future research.

Key words: downside risk; return policy; supply chain coordination; risk management

附录　定理2的证明.

证明分两部分.

首先考虑 $Q_r^* = F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})$ 的情形. 为方便表示，设 $\rho = \frac{p-w}{p-b}$，将之及 Q_r^* 代入(13)的目标函数，则供应商的期望利润为

$$\pi_s = (w-c)F^{-1}(\rho) - b\int_0^{F^{-1}(\rho)} (F^{-1}(\rho) - x) \times f(x)\,\mathrm{d}x \tag{A-1}$$

供应商关于退货价 b 的一阶条件为

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial b} = \frac{(w-c-b\rho)\rho}{p-b}[F^{-1}(\rho)]'_b - \int_0^{F^{-1}(\rho)} (F^{-1}(\rho)-x)f(x)\,\mathrm{d}x \tag{A-2}$$

为方便推导,定义

$$A := [F^{-1}(\rho)]',\ B := \int_0^{F^{-1}(\rho)} (F^{-1}(\rho)-x)f(x)\,\mathrm{d}x \tag{A-3}$$

则上述一阶条件变为

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial b} = \frac{(w-c-b\rho)\rho}{p-b}A - B \tag{A-4}$$

由隐含数求导法则可得

$$\frac{\rho}{p-b}A' = \frac{-(w-c-b\rho)\rho-(p-b)[(-\rho-\frac{b\rho}{p-b})\rho+(w-c-b\rho)\frac{\rho}{p-b}]}{(w-c-b\rho)^2\rho^2}B + \frac{(p-b)}{(w-c-b\rho)\rho}\frac{\rho}{(w-c-b\rho)}B$$

$$= \left(\frac{-(w-c-b\rho)\rho-(w-c-b\rho-p\rho)\rho}{(w-c-p\rho)^2\rho^2} + \frac{(p-b)}{(w-c-b\rho)^2}\right)B$$

$$= \left(\frac{(p-b)}{(w-c-b\rho)^2} - \frac{2(w-c-b\rho)-p\rho}{(w-c-p\rho)^2\rho}\right)B$$

$$= \frac{2p\rho-2w+2c+b\rho}{(w-c-p\rho)^2\rho}B$$

因此

$$A' = \frac{(p-b)[2(p\rho-w+c)+b\rho]}{\rho^2(w-c-b\rho)^2}B \tag{A-5}$$

$$B' = \left(\int_0^{F^{-1}(\rho)} (F^{-1}(\rho)-x)f(x)\,\mathrm{d}x\right)'$$

$$= \int_0^{F^{-1}(\rho)} F^{-1}(\rho)'\frac{\rho}{p-b}f(x)\,\mathrm{d}x$$

$$= [F^{-1}(\rho)]'\frac{\rho^2}{p-b} = \frac{\rho^2 A}{p-b}$$

$$= \frac{\rho}{(w-c-b\rho)}B \tag{A-6}$$

(A - 1) 的二阶导数为

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial b^2} = \frac{(p-b)[(-\rho-\frac{b\rho}{p-b})\rho+(w-c-b\rho)\frac{\rho}{p-b}]+(w-c-b\rho)\rho}{(p-b)^2}A + \frac{(w-c-b\rho)\rho}{p-b}A' - \frac{\rho}{(w-c-b\rho)}B$$

$$= \frac{-p\rho^2+2(w-c-b\rho)\rho}{(p-b)^2}\frac{p-b}{(w-c-b\rho)\rho}B + \frac{(w-c-b\rho)\rho}{p-b}\frac{(p-b)[2(p\rho-w+c)+b\rho]}{\rho^2(w-c-b\rho)^2}B - \frac{\rho}{(w-c-b\rho)}B$$

$$= \left[\frac{[-p\rho+2(w-c-b\rho)]}{(p-b)(w-c-b\rho)} + \frac{2(p\rho-w+c)+b\rho}{\rho(w-c-b\rho)} - \frac{\rho}{(w-c-b\rho)}\right]B$$

$$= \left[-\frac{(b-p+\rho)(2c-2w+(b+2p)\rho)}{\rho(p-b)(w-c-b\rho)}\right]B$$

$$= \left[-\frac{((p-b)^2-(p-w))(2p(p-w+c-w)+b(p-c+w-c))}{(p-b)(p-w)(b(p-c)+p(c-w))}\right]B \tag{A-7}$$

由上式可见,只要 $b(p-c)+p(c-w)>0$ 或 $b>\frac{p(w-c)}{p-c}$,则在 $Q_r^* = F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})$ 时,供应商的目标函数关于退货价为凹函数. 实际上,上述决策正是零售商无风险约束下退货合同最优决策存在的证明过程.

再考虑 $Q_r^* = \frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}$ 的情形,即考虑零售商风险约束时的情况. 代入式(13)得

$$\pi_s = (w-c)\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b} - b\int_0^{\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b} - x\right)f(x)\,\mathrm{d}x \tag{A-8}$$

(A - 8) 的一阶条件为

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial b} = \frac{(w-c)[(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r]}{(w-b)^2} - \int_0^{\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b} - x\right)f(x)\,\mathrm{d}x - b\int_0^{\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}}\left(\frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2}\right)f(x)\,\mathrm{d}x \tag{A-9}$$

二阶条件为

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial b^2} = \frac{2(c-w)[(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r]}{(w-b)^3} - \int_0^{\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}}\frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2}f(x)\,\mathrm{d}x - \int_0^{\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}}\frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2}f(x)\,\mathrm{d}x - b\frac{2(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^3}F^{-1}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\right) - b\left[\frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2}\right]^2 F^{-1'}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\right)$$

$$= \frac{2(c-w)[(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r]}{(w-b)^3} - 2\times$$

$$
\int_0^{\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}} \frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2} f(x)\,\mathrm{d}x -
b\frac{2(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^3}F^{-1} \times
\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\right) -
b\left[\frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2}\right]^2 \times
F^{-1'}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\right)
$$

$$
= \frac{2(c-w)[(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r]}{(w-b)^3} - 2 \times
\frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2}F^{-1}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\right) -
b\frac{2(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^3}F^{-1}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\right) -
b\left[\frac{(p-w)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{(w-b)^2}\right]^2 \times
F^{-1'}\left(\frac{(p-b)F^{-1}(\beta_r)-\alpha_r}{w-b}\right) \qquad (A-10)
$$

分析上式发现，在 $(p-w)F^{-1}(\beta_r) \geqslant \alpha_r$ 条件下，上式小于零，于是 (A－8) 关于 b 是凹的.

(上接第 77 页)

[18]陈　旭. 考虑期权合同供应链零售商订货[J]. 管理科学学报, 2006, 9(3): 17—23.
Chen Xu. Retailer's procurement decisions for supply chain with options contracts[J]. Journal of Management Science in China, 2006, 9(3): 17—23. (in Chinese).

[19]简志宏, 李楚霖. 柔性产品组合最优切换实物期权方法研究[J]. 管理科学学报, 2006, 9(1): 14—19.
Jian Zhihong, Li Chulin. Real option approach to optimal switching of flexible product-mix[J]. Journal of Management Sciences in China. 2006, 9(1): 14—19. (in Chinese)

[20]陈祥锋, 朱晨波. 供应链采购管理中的期权价值研究[J]. 系统工程学报, 2007, 22(4): 401—407.
Chen Xiangfeng, Zhu Chenbo. Real option and supply chain procurement contracts[J]. Journal of Systems Engineering, 2007, 22(4): 401—407. (in Chinese)

[21]Hadley G. Whitin T.. Analysis of Inventory System[M]. Englewood Cliffs: Prentice-Hill Inc. 1963.

Financial and operation decisions in budget-constrained supply chain

CHEN Xiang-feng, ZHU Dao-li, YING Wen-jun

School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: This paper studies the decision-making in a stylized supply chain where a supplier sells a single product to a news-vender retailer, who is budget-constrained and can get financial service from the competitive financial market. In such a setting, we study how the competition in the financial market, where each financial institution is supposed to be risk-neutral affects the operation and financial decisions in supply chain when the budget-constrained retailer receives financial service from the competitive financial market. Our results show that financial service would create value in the supply chain where parties have small-medium budget constraints, and the competition of financing service would affect the decisions of the supplier, retailer, and financial institution. In this paper, we also provide some insights for the practice in the supply chain where parties are budget-constrained.

Key words: budget constraints; financial service; wholesale contract; supply chain management