风险规避供应链的回购契约安排①

代建生[1]，孟卫东[1]，范 波[2]
(1. 重庆大学经济与工商管理学院，重庆 400030;
2. 重庆师范大学经济与管理学院，重庆 400047)

摘要: 运用 CVaR 方法研究了具有促销效应且风险规避供应链的回购契约协调问题. 探讨了促销效应和风险规避对最优订购量的影响，指出促销效应的存在增大了最优订购量，而销售商的风险规避减小了最优订购量. 考察了两种能协调风险规避供应链的改进回购契约安排，表明当销售商不过于规避风险时，引入成本分摊机制的回购契约就能协调供应链; 但当销售商非常规避风险时，需要对回购商品的数量进行限制且使回购价格不小于批发价格才能协调供应链. 最后讨论了供应商对两类契约的选择问题，并考察了销售商的风险规避对回购价格的影响.

关键词: 供应链协调; 回购契约; 促销效应; 条件风险价值
中图分类号: C934; F274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 9807(2015)05 - 0057 - 11

0 引 言

回购契约主要运用于易腐易蚀品经营行业[1-2]，在这类行业中商品的销售期比较短暂且面临较大的市场不确定性. 理论界对回购契约进行了大量研究，很多文献考察了回购契约能否协调供应链以及回购契约的参数应满足什么条件下才能协调供应链的问题[3-6]，另一些文献则在使用回购契约协调供应链的背景下分析了渠道成员的博弈决策行为，比如信息分享和退货政策等[7-8].

在报童框架下，影响商品订购决策的因素通常会影响契约的可协调性. 在完成渠道协调的情形下，当决策企业的偏好发生变化或者行为发生改变致使销售商的订购决策偏离系统最优时，必然要求调整协调契约的参数，以诱导销售商的订购决策恢复系统最优. 商品的订购决策受到成员企业的风险和公平偏好以及促销和定价行为等的影响，渠道成员实施促销努力或者调整价格将改变市场对商品的需求[9]，从而影响商品的订购决策. 渠道成员对公平和风险的态度也会影响其订购决策，销售商越关注公平，或者越厌恶风险，其订购量就越少[10-12]. 因此，渠道成员的偏好及其行为将影响契约的可协调性，Xu 等[13]研究了风险规避对双向收益共享契约参数的影响，杜少甫等[10]表明公平偏好不影响收益共享和回购契约的协调性，毕功兵等[14]区分了有利不公平厌恶和不利不公平厌恶，指出在有利不公平厌恶下批发价格契约能更好地协调供应链，Cachon[15]则分析了零售商的促销和定价决策对契约协调的影响. 本文将考察渠道成员的风险偏好和促销效应对契约协调的综合影响，下面就有关文献进行综述.

存在促销效应时，标准的收益共享契约和回购契约都不能协调供应链[15]. Krishnan 等[16]考察了需求被观察到之后再采取促销努力的渠道协调问题，提出了诸如成本分摊契约与回购契约的组合、限制性回购契约等多个能实现渠道协调的契约安排. 徐最等[17]在考察供应商的订购决策和促

① 收稿日期: 2012 - 06 - 19; 修订日期: 2014 - 03 - 16.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71462023; 71362025; 71162019).
作者简介: 代建生(1978—)，男，四川华蓥人，博士. Email: jiansheng. dai@163. com

销决策的基础上，设计了两种能完成渠道协调的限制性回购契约. 总之，通过引入成本分摊机制，或对多种契约机制加以组合，存在促销效应的供应链可被契约机制协调[18-20]. 不过这些研究都是在渠道成员风险中性假设下进行的.

在风险规避假设下考察契约协调问题是近年来的研究热点[13,21-23]，Gan 等[24]指出当下侧风险规避的渠道成员面临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[25]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. Choi 等[26]和 Gan 等[27]运用均方分析技术讨论了渠道成员风险规避下的回购契约协调问题. 这些文献都没有探讨促销效应对渠道协调的影响.

当供应链存在促销效应且渠道成员具有风险规避偏好时，上面提到的能完成渠道协调的契约安排或其组合还有效吗? 比如，在风险中性下，成本分摊的回购契约能够协调存在促销效应的供应链[16]的结论，在风险规避假设下还成立吗? 本文将要表明，上述结论有限地成立，其中有限性体现在两个方面: 一是在风险规避下，需要对成本分摊的回购契约的参数加以修正(后文提及为 A 型改进回购契约) ; 二是这一结论只适用于渠道成员不过于规避风险的情形. 当渠道成员非常规避风险时，需要对 A 型改进回购契约的回购数量和回购价格进行限制(后文提及为 B 型改进回购契约) 方可完成渠道协调.

技术上，由于测度风险的 CVaR 标准具有良好的结构和计算特性，且与二阶以及高阶随机占优保持一致性[12]，本文将使用 CVaR 方法来评价风险规避销售商的风险价值.

1 基本假设和 CVaR 简介

1.1 基本假设和符号说明

假设 1 供应链由 1 个供应商和 1 个销售商构成.

关于对这个假设合理性的解释，可以参考文献[19].

假设 2 商品的市场需求是不确定的，用连续随机变量 ξ 来表示，$0 \leqslant \xi \leqslant U$，其分布函数和密度函数分别记为 $F(\xi)$ 和 $f(\xi)$，且对一切 $\xi \in [0, U]$，满足 $f(\xi) > 0$.

假设 3 销售商的促销努力 e 影响商品市场需求分布的规模(scale of distribution) ，商品需求与促销努力的关系模型化为乘法关系，即 $e\xi$，其中 $e \geqslant 1$[16]; 促销成本 $C(e)$ 关于 e 严格凸、增、二阶可导，且满足以下条件: $C(1) = 0$，$C'(1) = 0$.

假设 4 供应商供给的产品具有报童类商品属性，生产成本 c 及市场价格 p 外生给定.

销售商只有 1 次订购机会，设其订购量为 y，商品的最终市场销量为 $\min\{y, e\xi\}$; 剩余商品无残余价值，过度需求无缺货成本.

假设 5 供应链使用回购契约进行协调，供应商主导供应链，设定契约安排.

本文考察 3 种回购契约: 标准回购契约、A 型改进回购契约和 B 型改进回购契约，在分权系统下，分别用上标 b、A 和 B 表示相应的决策变量. 集权系统的决策变量用上标 I 来表示.

假设 6 供应商风险中性，追求期望收益最大化; 销售商下侧风险规避，追求风险价值最大化，其风险价值用 CVaR 方法来测度; 供应商和销售商的保留收益均为零.

供应链的收益依赖于订购量 y 和促销努力 e，使用符号 $\pi_{SC}(y,e)$ 来表示供应链的利润函数，即

$$\pi_{SC}(y,e) = p\min\{y,e\xi\} - cy - C(e) \quad (1)$$

供应商和销售商的利润，分别用下标 S 和 R 来表示. 符号 $\pi_s^b(y,e)$ 表示标准回购契约下供应商的利润函数，而 $\pi_R^A(y,e)$ 表示 A 型改进回购契约下销售商的利润函数.

在本文中，符号 $[x]^+$ 表示 $\max\{x,0\}$，$\boldsymbol{R}$ 表示实数集合.

1.2 条件风险价值(CVaR)

CVaR 度量了低于 η 分位数以下部分收益的平均值，而忽略收益超出这一分位数的部分. 设销售商的利润函数为 $\pi_R(\cdot)$，在 CVaR 方法下，销售商的条件风险价值为

$$\begin{aligned} \mathrm{CVaR}_\eta(\pi_R(\cdot)) &= \mathrm{E}\{\pi_R(\cdot) \mid \pi_R(\cdot) \leqslant q_\eta[\pi_R(\cdot)]\} \\ &= \frac{1}{\eta}\int_{\pi_R(\cdot) \leqslant q_\eta[\pi_R(\cdot)]} \pi_R(\cdot) f(\xi)\,d\xi \quad (2) \end{aligned}$$

其中: E 是期望算子; $\eta \in (0,1]$ 是对销售商风险规避

程度的度量，η 越小，销售商越规避风险，$\eta=1$ 对应着风险中性的情形；$f(\cdot)$ 是随机变量 ξ 的密度函数；而 $q_\eta(\xi)$ 为随机变量 ξ 的 η 分位数，即

$$q_\eta[\pi_R(\cdot)]=\sup_{v\in R}\{v \mid \Pr[\pi_R(\cdot)\le v]\le\eta\} \quad (3)$$

Rockafellar 和 Uryasev[18] 给出了 CVaR 的另一个定义

$$\mathrm{CVaR}_\eta(\pi_R(\cdot))=\max_{v\in R}\left\{v+\frac{1}{\eta}\mathrm{E}[\min(\pi_R(\cdot)-v,0)]\right\} \quad (4)$$

并证明上述两个定义等价，而后者具有良好的计算特性，更易进行数学分析，本文拟采用后者.

由式(4)知，$\mathrm{CVaR}_\eta(\pi_R(\cdot))$ 是 $\pi_R(\cdot)$ 的非减函数.

2 模型分析

作为比较的标杆，首先考察供应链系统最优决策. 集权供应链面临的问题是选择最优订购量和促销努力，实现供应链期望收益的最大化，即

$$\max_{y,e}\mathrm{E}\pi_{SC}(y,e)=\max_{y,e}p\,\mathrm{E}\min\{y,e\xi\}-C(e)-cy \quad (5)$$

由式(5)，有

$$\mathrm{E}\pi_{SC}(y,e)=(p-c)y-p\int_0^{y/e}(y-e\xi)\mathrm{d}F(\xi)-C(e)$$

$\mathrm{E}\pi_{SC}(y,e)$ 关于 y 和 e 联合凹，式(5)的解(y^{I*}，e^{I*})可由一阶最优条件来刻画，利用其一阶最优条件化简后得到

$$F\left(\frac{y^{I*}}{e^{I*}}\right)=\frac{p-c}{p} \quad (6)$$

$$C'(e^{I*})=p\int_0^{F^{-1}((p-c)/p)}\xi\mathrm{d}F(\xi) \quad (7)$$

2.1 标准回购契约

假设7 供应商和销售商达成以下回购契约(w,b)：供应商以批发价格 $w(c<w<p)$ 向销售商供应商品，并按每单位 b 的价格回购剩余商品. 后文提及为标准回购契约. 为了避免订购过度，总是约定 $b<w$[20].

在标准回购契约下，当销售商采取策略组合(y,e)时，供应商和销售商的利润函数分别为

$$\pi_S^b(y,e)=(w-c)y-b(y-e\xi)^+ \quad (8)$$

$$\begin{aligned}\pi_R^b(y,e)&=p\min\{y,e\xi\}-wy+b(y-e\xi)^+-C(e)\\&=(p-w)y-(p-b)\times(y-e\xi)^+-C(e)\end{aligned} \quad (9)$$

由假设6和式(4)，在标准回购契约下，风险规避的销售商面临的问题是

$$\max_{y,e}\mathrm{CVaR}_\eta(\pi_R^b(y,e))=\max_{y,e}\max_{v\in R}\left\{g(v,y,e):=v+\frac{1}{\eta}\mathrm{E}[\min\{\pi_R^b(y,e)-v,0\}]\right\} \quad (10)$$

借助变换 $\min\{\pi_R^b(y,e)-v,0\}=-[v-\pi_R^b(y,e)]^+$，可将 $g(v,y,e)$ 表示为

$$\begin{aligned}g(v,y,e)=v&-\frac{1}{\eta}\int_0^{y/e}[v+(w-b)y-(p-b)e\xi+C(e)]^+\mathrm{d}F(\xi)-\\&\frac{1}{\eta}\int_{y/e}^{U}[v-(p-w)y+C(e)]^+\mathrm{d}F(\xi)\end{aligned} \quad (11)$$

引理1 在规划(10)中，给定(y,e)，如果 $F(y/e)\le\eta$，则

$$v^*(y,e)=(p-w)y-C(e)$$

如果 $F(y/e)>\eta$，则

$$v^*(y,e)=(p-b)eF^{-1}(\eta)-(w-b)y-C(e)$$

借助引理1，可得以下结论.

命题1 在标准回购契约下，销售商的最优订购量 y^{b*} 和最优促销努力 e^{b*} 满足以下一阶条件

$$F\left(\frac{y^{b*}}{e^{b*}}\right)=r \quad (12)$$

$$C'(e^{b*})=\frac{p-b}{\eta}\int_0^{F^{-1}(r)}\xi\mathrm{d}F(\xi) \quad (13)$$

其中 $r=\eta\frac{p-w}{p-b}$.

命题1刻画了销售商最优决策满足的条件，可利用这一结果考察外生参数对决策变量的影响. 由式(12)和(13)，直接运用隐函数定理，可得命题2.

命题2 y^{b*} 和 e^{b*} 是关于 w 的减函数，关于 b 和 η 的增函数.

销售商的风险规避不仅影响订购决策，也影

响促销决策，销售商越规避风险，其订购量和促销努力就越小.

下面讨论标准回购契约的协调问题. 要完成渠道协调，要求 $y^{b*} = y^{I*}$，$e^{b*} = e^{I*}$，根据式(6)、(7)和式(12)、(13)，等价于要求 $w = c$ 且 $b = (1-\eta)p$. 将这一结果代入式(8)，有 $\pi_S(y,e) \leqslant 0$，其中当 $\eta < 1$ 时严格不等式成立，这表明标准回购契约不能协调供应链.

2.2 A 型改进回购契约 (w, b, ϕ)

假设 7′ 供应商与销售商达成以下契约安排 (w, b, ϕ)：在标准回购契约 (w, b) 的基础上，由供应商分摊销售商部分促销成本，并设其分摊比例为 $1-\phi$，其中 $\phi \in [0,1]$. 后文称这一契约安排为 A 型改进回购契约.

在这一契约下，销售商的利润函数

$$\pi_R^A(y,e) = p\min\{y, e\xi\} - wy + b(y - e\xi)^+ - \phi C(e) \tag{14}$$

采用与命题 1 相同的证明方法，可表明销售商的最优订购量 y^{A*} 和促销努力 e^{A*} 满足以下一阶条件（其中 $\phi \in (0,1]$）

$$F\left(\frac{y^{A*}}{e^{A*}}\right) = r \tag{15}$$

$$C'(e^{A*}) = \frac{p-b}{\eta\phi}\int_0^{F^{-1}(r)} \xi \mathrm{d}F(\xi) \tag{16}$$

由式(15)和(16)，运用隐函数定理，可得到下面的命题 3.

命题 3 y^{A*} 和 e^{A*} 是关于 w 和 ϕ 的减函数，关于 b 和 η 的增函数.

比较式(6)、(7)和式(15)、(16)可以发现，要实现渠道协调，要求

$$\frac{p-c}{p} = \eta\frac{p-w}{p-b} \tag{17}$$

$$p\int_0^{F^{-1}\left(\frac{p-c}{p}\right)} \xi \mathrm{d}F(\xi) = \frac{p-b}{\eta\phi}\int_0^{F^{-1}\left(\eta\frac{p-w}{p-b}\right)} \xi \mathrm{d}F(\xi) \tag{18}$$

式(17)和(18)包含 3 个内生变量，而只有两个方程，故其解拥有 1 个自由度. 为了表述的方便，选择 ϕ 作为自由变量. 对任意 $\phi \in (0,1]$，联立求解上面两式，得到

$$\begin{aligned} w^{A*}(\phi) &= (1-\phi)p + \phi c, \\ b^{A*}(\phi) &= (1-\eta\phi)p \end{aligned} \tag{19}$$

定理 1 当 $\eta \leqslant \frac{p-c}{p}$ 时，不存在能协调渠道的 A 型改进回购契约. 当 $\eta > \frac{p-c}{p}$ 时，存在某个 $\phi \in [0,1]$，且参数满足 $\frac{p-w}{p-c} = \frac{p-b}{\eta p} = \phi$ 的 A 型契约能协调供应链.

在式(19)中，当 $\eta = 1$ 时，$b^{A*}(\phi) = (1-\phi)p$，它就是风险中性下成本分摊回购契约的回购价格. 特别地，当 $\eta = 1$ 时，条件 $\eta > \frac{p-c}{p}$ 总能得到满足，因而引入成本分摊机制的回购契约总能协调风险中性的供应链. A 型改进回购契约是对适用于风险中性的成本分摊回购契约的修正，需修正的契约参数只涉及到回购价格，批发价格不变.

在 CVaR 风险度量准则下，销售商仅在期望意义上最大化低于 η 分位数的那部分收益水平，只要 $b < w$，给定 e，$y^{A*}(e)$ 就存在上界 $eF^{-1}(\eta)$，因而 A 型契约不能使 $\eta \leqslant \frac{p-c}{p}$ 的销售商的两个决策变量同时达到系统最优.

综上，能协调风险中性供应链的回购契约 (w, b, ϕ)，在风险规避假设下并非总是有效的.

2.3 B 型改进回购契约 (w, b, ϕ, p, y^{I*})

假设 7″ 供应商与销售商达成以下契约安排：对销售商的订购量小于 y^{I*} 时，批发价格为 w，对销售商的订购量大于 y^{I*} 时，批发价格为 p；对订购量不超过 y^{I*} 的剩余商品，供应商按不低于 w 的价格 b 进行回购；同时由供应商分摊销售商部分促销成本，其分摊比例为 $1-\phi$. 后文称这一契约安排为 B 型改进回购契约.

在 B 型改进回购契约 (w, b, ϕ, p, y^{I*}) 下，销售商的利润函数为

$$\pi_R^B(y,e) = \begin{cases} p\min\{y, e\xi\} - wy + b(y - e\xi)^+ - \phi C(e), & y \leqslant y^{I*} \\ p\min\{y, e\xi\} - wy + b(y^{I*} - e\xi)^+ - p(y - y^{I*}) - \phi C(e), & y \geqslant y^{I*} \end{cases} \tag{20}$$

命题 4　在 B 型改进回购契约 (w, b, ϕ, p, y^{I*}) 下，销售商的最优订购量 $y^{B*} = y^{I*}$，而最优促销努力 e^{B*} 满足以下一阶最优条件

$$\eta\phi C'(e^{B*}) \begin{cases} = (p-b)\int_0^{y^{B*}/e^{B*}} \xi \mathrm{d}F(\xi), & e^{B*} > \dfrac{y^{B*}}{F^{-1}(\eta)} \\ \geqslant (p-b)\int_0^{y^{B*}/e^{B*}} \xi \mathrm{d}F(\xi), & e^{B*} = \dfrac{y^{B*}}{F^{-1}(\eta)} \\ = (p-b)\int_0^{F^{-1}(\eta)} \xi \mathrm{d}F(\xi), & e^{B*} < \dfrac{y^{B*}}{F^{-1}(\eta)} \end{cases} \tag{21}$$

与标准回购契约和 A 型回购契约有所不同，在 B 型回购契约下，销售商的最优订购量与回购价格等契约参数的具体大小无关，也独立于风险规避系数，但销售商的促销努力受上述参数的影响. 式(21) 表明以下结论成立.

命题 5　e^{B*} 是关于 b 和 ϕ 的减函数.

在 A 型和 B 型契约下，回购价格对促销努力的影响刚好相反. 在 B 型契约下，销售商的最优订购量与回购价格的具体大小无关，但回购价格越高，剩余商品的机会成本就越小，因而销售商有激励降低促销努力水平. 此外，销售商的风险规避对促销努力的影响是不确定的.

命题 6　在 3 种契约安排下，促销效应的存在都增大了最优订购量.

证明　略.

由于促销效应的存在，对随机变量 ξ 的任意实现，商品的市场需求都将大于无促销效应下的对应需求，因而销售商有激励去增大订购量. 当促销努力影响市场需求分布的规模时，最优订购量也成比例地增加，这个比例由供应链系统要求的最优促销努力所确定.

定理 2　存在某个 $\phi \in (0,1]$，使得 B 型改进回购契约 (w, w, ϕ, p, y^{I*}) 能够协调风险规避的供应链，其中契约参数满足以下条件

$$\begin{cases} p - b = \phi\eta p, & \eta \geqslant \dfrac{p-c}{p} \\ (p-b)\int_0^{F^{-1}(\eta)} \xi \mathrm{d}F(\xi) = \phi\eta p\int_0^{F^{-1}[(p-c)/p]} \xi \mathrm{d}F(\xi), & \eta \leqslant \dfrac{p-c}{p} \end{cases} \tag{22}$$

当 $\eta \leqslant \dfrac{p-c}{p}$ 时，销售商非常规避风险，为了激励其订购量达到集权系统下的最优，要求 $w \leqslant b$，这使得销售商有过度订购的激励，因而需要对剩余商品的回购数量设定上限. 协调供应链的 B 型改进回购契约在本质上是引入成本分摊机制的限制性回购契约，这一契约要求对回购数量的上限和回购价格的下限进行限制: 只对低于最优订购量的剩余商品进行回购，且回购价格不小于批发价格.

定理 1 给出了适用于 $\eta > \dfrac{p-c}{p}$ 的 A 型改进回购契约，在这一契约下，当订购的商品不能实现最终销售时，销售商将面临损失的风险. 定理 2 给出了适用于风险规避供应链的 B 型改进回购契约，当订购的商品不大于 y^{I*} 时，无论其最终是否实现销售，销售商都不会因商品订购而受损. 综上，当销售商不过于规避风险时，即使销售商订购的商品存在损失的可能性，也能够协调供应链; 而当销售商非常规避风险时，销售商必须从商品订购中获利，不能承担任何损失，否则其订购决策不能实现最优.

与销售商的风险偏好通过影响订购决策来影响契约的协调性有所不同，销售商的促销行为不仅影响商品的订购决策——因而要求对协调契约的参数加以修正——而且促销行为本身也需要协调. 因此，无论是 A 型回购契约还是 B 型回购契约，都引入了成本分摊机制，通过这一机制可使销售商的促销努力达到系统最优，在此基础上，调整回购契约参数以激励销售商的订购决策实现系统最优，从而完成渠道协调.

3　进一步讨论

B 型改进回购契约的一个特例是 $(w, b, \phi, p,$

y^{I*}). 从供应商的立场来看,当 B 型改进回购契约的参数满足 $b = w$ 时,供应商能实现最大的期望收益. 虽然 A 型和 B 型改进回购契约都能协调 $\eta > \frac{p - c}{p}$ 的供应链,但对任意给定的成本分摊比例,供应商在 A 型契约中的批发价格大于在 B 型契约中的批发价格,因而供应商更愿意选择 A 型契约.

定理 3 从供应商的立场来看,当 $\eta > \frac{p - c}{p}$ 时,最优回购契约是 A 型改进回购契约,当 $\eta \leqslant \frac{p - c}{p}$ 时,最优回购契约是 $w = b$ 的 B 型改进回购契约.

无论销售商的促销努力能否影响市场需求,也无论销售商风险规避程度如何,供应商总能设计某一回购契约来协调供应链,并根据销售商的风险规避程度从 A 型或 B 型改进回购契约中选择某一契约予以实施.

定理 4 在供应商的最优回购契约中,1) 当 $\eta > \frac{p - c}{p}$ 时,回购价格随销售商风险规避程度增大而上升; 当 $\eta < \frac{p - c}{p}$ 时,回购价格随销售商风险规避程度增大而下降. 2) 当供应商选择 A 型回购契约时,批发价格与销售商的风险规避程度无关; 而当供应商选择 B 型回购契约时,批发价格等于回购价格.

证明 将隐函数定理运用于式(22) 可完成第 1) 部分的证明; 利用定理 3 和式(19) 可完成第 2) 部分的证明.

一般地,销售商越规避风险,要使其增大订购量需要更大的激励强度,在批发价格和成本分摊比例相同的情形下就应制定更高的回购价格,定理 4 在 $\eta > \frac{p - c}{p}$ 下的结论是符合这一直觉的. 但当 $\eta < \frac{p - c}{p}$ 时,定理 4 的结论与这一直觉刚好相反. 在 B 型改进回购契约下,销售商的最优订购量独立于回购契约参数值的具体大小,因而契约参数选择的目的在于使销售商的促销努力达到系统最优. 由命题 5 可知,销售商的最优促销努力是回购价格的减函数. 利用式(21) 可以证明,在完成渠道协调的情形下,当 $\eta < \frac{p - c}{p}$ 时,销售商的最优促销努力随其风险规避程度的上升而减小. 因此,当销售商风险规避程度增大时,要使销售商的促销努力维持在系统最优,必然要求回购价格下降.

定理 4 揭示了以下管理启示,对 $\eta > \frac{p - c}{p}$ 的销售商,供应商需根据销售商的风险规避情况制定不同的回购价格,销售商越厌恶风险,回购价格越高,但制定的批发价格与销售商的风险规避程度无关; 对 $\eta < \frac{p - c}{p}$ 的销售商,应使批发价格和回购价格相等,且销售商越厌恶风险,批发价格和回购价格越低.

推论 1 在供应商的最优回购契约中,给定成本分摊比例 ϕ,回购价格 b 是销售商风险规避系数 η 的单峰函数,且在 $\eta = \frac{p - c}{p}$ 处取得峰值 $(1 - \phi)p + \phi c$.

证明 略.

给定 ϕ,b 的最大取值为 $(1 - \phi)p + \phi c$,它关于 ϕ 递减,其上确界为 p,下确界为 c.

4 结束语

促销效应和风险规避都将影响销售商的订购决策,从而影响回购契约的可协调性. 在 3 种回购契约下,促销效应的存在都增大了销售商对商品的订购量,而在标准回购契约和 A 型改进回购契约下,销售商的最优订购量随其风险规避程度的上升而减小. 无论是否存在促销努力效应,也无论销售商是否规避风险,总存在某些经过改进后的回购契约能够协调供应链. 只要契约参数满足一定条件,引入成本分摊机制的 A 型改进回购契约就能协调销售商不过于规避风险的供应链; 而 B 型改进回购契约能协调所有风险规避的供应链.

站在供应商的立场,当销售商的风险规避系数大于某一临界值时,应选用 A 型改进回购契

约,当销售商的风险规避系数小于该临界值时,应选用批发价格等于回购价格的B型改进回购契约,风险规避系数的临界值为$\frac{p-c}{p}$.在完成渠道协调的最优契约安排中,给定成本分摊比例,当$\eta > \frac{p-c}{p}$时,回购价格随销售商风险规避程度增大而上升;当$\eta < \frac{p-c}{p}$时,回购价格随销售商风险规避程度增大而下降.

参考文献:

[1] Pasternack B A. Optimal pricing and return policies for perishable commodities [J]. Marketing Science, 2008, 27(1): 133-140.

[2] Krishnan H, Winter R A. Inventory dynamics and supply chain coordination [J]. Management Science, 2010, 56(1): 141-147.

[3] Chen J, Bell P C. Coordinating a decentralized supply chain with customer returns and price-dependent stochastic demand using a buyback policy [J]. European Journal of Operational Research, 2011, 212(2): 293-300.

[4] Chiu C H, Choi T M, Tang C S. Price, rebate, and returns supply contracts for coordinating supply chains with price-dependent demands [J]. Production and Operations Management, 2011, 20(1): 81-91.

[5] 汪贤裕, 肖玉明. 基于返回策略与风险分担的供应链协调分析 [J]. 管理科学学报, 2009, 12(3): 65-70.
Wang Xianyu, Xiao Yuming. Research on supply chain coordination and risk sharing based on buy back policy [J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(3): 65-70. (in Chinese)

[6] 刘家国, 吴 冲. 基于报童模型的两级供应链回购契约协调研究 [J]. 中国管理科学, 2010, 18(4): 73-78.
Liu Jiaguo, Wu Chong. Study of a tow-level supply chain returns policy model based on the newsboy model [J]. Chinese Journal of Management Science, 2010, 18(4): 73-78. (in Chinese)

[7] Chen J. The impact of sharing customer returns information in a supply chain with and without a buyback policy [J]. European Journal of Operational Research, 2011, 213(3): 478-488.

[8] Su X. Consumer returns policies and supply chain performance [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2009, 11(4): 595-612.

[9] Seyed Esfahani M M, Biazaran M, Gharakhani M. A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer-retailer supply chains [J]. European Journal of Operational Research, 2011, 211 (2): 263-273.

[10] 杜少甫, 杜 婵, 梁 樑, 等. 考虑公平关切的供应链契约与协调 [J]. 管理科学学报, 2010, 13(11): 41-48.
Du Shaofu, Du Chan, Liang Liang, et al. Supply chain coordination considering fairness concerns [J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(11): 41-48. (in Chinese)

[11] 杜少甫, 朱贾昂, 高 冬, 等. Nash讨价还价公平参考下的供应链优化决策 [J]. 管理科学学报, 2013, 16(3): 68-72, 81.
Du Shaofu, Zhu Jiaang, Gao Dong, et al. Optimal decision-making for a Nash-bargain fairness-concerning newsvendor in a two-level supply chain [J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(3): 68-72, 81. (in Chinese)

[12] Chen F Y, Xu M, Zhang Z G. A risk-averse newsvendor model under the CVaR decision criterion [J]. Operations Research, 2009, 57(4): 1040-1044.

[13] Xu G, Dan B, Zhang X, et al. Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract [J]. International Journal of Production Economics, 2014, 147(A): 171-179.

[14] 毕功兵, 瞿安民, 梁 樑. 不公平厌恶下供应链的批发价格契约与协调 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(1): 134-140.
Bi Gongbing, Qu Anmin, Liang Liang. Supply chain coordination with wholesale price contract incorporating inequity aversion [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(1): 134-140. (in Chinese)

[15] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [C] // de Kok AG, Graves SC. Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management. Amsterdam: Elsevier, 2003: 229-339.

[16] Krishnan H, Kapuscinski R, Butz D A. Coordinating contracts for decentralized supply chains with retailer promotional effort [J]. Management Science, 2004, 50(1): 48 – 63.

[17] 徐　最，朱道立，朱文贵. 销售努力水平影响需求情况下的供应链回购契约[J]. 系统工程理论与实践，2008，28(4)：1 – 11.

Xu Zui, Zhu Daoli, Zhu Wengui. Supply chain coordination under buy-back contract with sales effort effects [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 28(4): 1 – 11. (in Chinese)

[18] Taylor T A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects [J]. Management Science, 2002, 48(8): 992 – 1007.

[19] Kunter M. Coordination via cost and revenue sharing in manufacturer-retailer channels [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 216(2): 477 – 486.

[20] Xing D, Liu T. Sales effort free riding and coordination with price match and channel rebate [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 219(2): 264 – 271.

[21] 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. (in Chinese)

[22] 李绩才，周永务，肖　旦，等. 考虑损失厌恶一对多型供应链的收益共享契约[J]. 管理科学学报，2013，16(2)：71 – 82.

Li Jicai, Zhou yongwu, Xiao Dan, et al. Revenue-sharing contract in supply chains with single supplier and multiple loss-averse retailers [J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(2): 71 – 28. (in Chinese)

[23] Chen F Y, Yano C A. Improving supply chain performance and managing risk under weather-related demand uncertainty [J]. Management Science, 2010, 56(8): 1380 – 1397.

[24] 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, 14(1): 80 – 89.

[25] Chen X, Shum S, Simchi-Levi D. Stable and coordinating contracts for a supply chain with multiple risk-averse suppliers [J]. Production and Operations Management, 2014, 23(3): 379 – 392.

[26] Choi T M, Li D, Yan H. Mean-variance analysis of a single supplier and retailer supply chain under a returns policy [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 184(1): 356 – 376.

[27] Gan X, Sethi S P, Yan H. Coordination of supply chains with risk-averse agents [C] // Choi T M, Cheng T C E. Supply Chain Coordination under Uncertainty. Berlin: Springer-Verlag, 2011: 3 – 31.

[28] Rockafellar R T, Uryasev S. Conditional value-at-risk for general loss distributions [J]. Journal of Banking and Finance, 2002, 26(7): 1443 – 1471.

Supply chain coordination with risk aversion via buy-back contracts

DAI Jian-sheng[1], *MENG Wei-dong*[1], *FAN Bo*[2]

1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. School of Economics & Management, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China

Abstract: This article investigates supply chain coordination with promotional effort and risk aversion via buy-back contracts under the CVaR decision criterion. It explores the impact of the retailer's promotional effort and risk aversion on its optimal order quantity, and shows that an increased promotional effort or a decreased risk aversion leads to a higher order quantity. Two types of buy-back contracts improved are designed to coordinate the supply chain under two different scenarios. In one case, the buy-back contracts combined with cost-sharing mechanism can coordinate the supply chain with a not-too-risk-averse retailer. In the other case, however, to achieve channel coordination when the retailer is excessively risk averse, it must impose some restrictions on the repurchase quantity and price: To buy back such a quantity that is not more than the difference between the quantity sold and the optimum order quantity, and to let the buy-back price be not less than the wholesale price. At last, it discusses the application of the two types of contracts for the sake of the supplier, and analyzes the impact of the retailer's risk aversion on the buy-back price.

Key words: supply chain coordination; buy back contract; promotional effort; CVaR

附录:

引理 1 的证明　分 3 种情形进行讨论:

1) 当 $v \leqslant (b-w)y - C(e)$ 时, 由式(11), 恒有 $g(v,y,e) = v$, 因而有 $\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v} = 1 > 0$, 以及 $\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v}\Big|_{v\to[(b-w)y-C(e)]} = 1$.

2) 当 $(b-w)y - C(e) \leqslant v \leqslant (p-w)y - C(e)$ 时

$$\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{\eta}F\left[\frac{v + (w-b)y + C(e)}{e(p-b)}\right]$$

故有 $\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v}\Big|_{v\to[(b-w)y-C(e)]^+} = 1$, 及 $\frac{\partial g(v)}{\partial v}\Big|_{v\to[(p-w)y-C(e)]^-} = 1 - \frac{1}{\eta}F\left(\frac{y}{e}\right)$.

3) 当 $v \geqslant (p-w)y - C(e)$ 时, 有 $\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{\eta} < 0$, 注意到 $F\left(\frac{y}{e}\right) < 1$, 必有

$$\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v}\Big|_{v\to[(p-w)y-C(e)]^-} > \frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v}\Big|_{v\to[(p-w)y-C(e)]^+}$$

前面的分析表明 v 的最优值只能在半开半闭区间 $((b-w)y - C(e), (p-w)y - C(e)]$ 内取得, 且只存在以下两种情形: ①如果 $F\left(\frac{y}{e}\right) \leqslant \eta$, 则 $\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v}\Big|_{v\to[(p-w)y-C(e)]^-} \geqslant 0$, 因而 $v^*(y,e) = (p-w)y - C(e)$; ②如果 $F\left(\frac{y}{e}\right) > \eta$, 那么 $\frac{\partial g(v,y,e)}{\partial v}\Big|_{v\to[(p-w)y-C(e)]^-} < 0$, 则在开区间 $((b-w)y - C(e), (p-w)y - C(e))$ 中, 必定存在某个 v 满足

$$1 - \frac{1}{\eta}F\left[\frac{v + (w-b)y + C(e)}{e(p-b)}\right] = 0$$

解之, 得 $v^*(y,e) = (p-b)eF^{-1}(\eta) - (w-b)y - C(e)$.

命题 1 的证明　由引理 1 和式(11), 当 $F\left(\frac{y}{e}\right) > \eta$ 时, 有

$$g(v^*(y,e),y,e) = (b-w)y - C(e) + \frac{(p-b)e}{\eta}\int_0^{F^{-1}(\eta)} \xi \mathrm{d}F(\xi) \tag{A-1}$$

由式(A-1), 有 $\frac{\partial g(v^*(y,e),y,e)}{\partial y} = b - w < 0$, 式(10)的解为 $y^{b*}(e) = eF^{-1}(\eta)$, 这与 $F\left(\frac{y}{e}\right) > \eta$ 相矛盾. 当 $F\left(\frac{y}{e}\right) \leqslant \eta$ 时, 有

$$g(v^*(y,e),y,e) = (p-w)y - C(e) - \frac{p-b}{\eta}\int_0^{y/e}(y - e\xi)\mathrm{d}F(\xi)$$

令 $g(y,e) = g(v^*(y,e),y,e)$, 其关于 y 的一阶最优条件给出 $y^{b*}(e) = eF^{-1}(r)$.

令 $g(e) = g(y^{b*}(e),e)$, 则有

$$g(e) = (p-w)eF^{-1}(r) - C(e) - \frac{p-b}{\eta}\int_0^{F^{-1}(r)} e(F^{-1}(r) - \xi)\mathrm{d}F(\xi)$$

$g(e)$ 关于 e 严格凹, 令 $\frac{\mathrm{d}g(e)}{\mathrm{d}e} = 0$ 可得到式(13), 再利用 $y^{b*}(e) = eF^{-1}(r)$ 可得到式(12).

定理 1 的证明　**前一部分的证明**　由式(19)和 $b < w$, 有 $(1-\phi)p + \phi c > (1-\eta\phi)p$, 故 $\eta > \frac{p-c}{p}$.

后一部分的证明　当 $\eta > \frac{p-c}{p}$ 时, $b^{A*}(\phi) < w^{A*}(\phi)$, 且当 $\frac{p-w}{p-c} = \frac{p-b}{\eta p} = \phi$ 时, 式(17)和(18)同时成立, 故有 $e^{A*} = e^{I*}$ 且 $y^{A*} = y^{I*}$.