第 31 卷 第 10 期 控 制 与 决 策 2016 年 10 月
Vol. 31 No. 10 Control and Decision Oct. 2016

文章编号: 1001-0920 (2016) 10-1811-06 DOI: 10.13195/j.kzyjc.2015.1383

风险规避零售商期末二次订购的供应链决策模型

汪峻萍, 姚大庆, 杨志林

(合肥工业大学 数学学院，合肥 230009)

摘 要: 以风险规避零售商和风险规避供应商组成的两层供应链系统为研究对象, 在条件风险估值的风险度量准则下讨论两生产模式下风险规避零售商的最优订购策略和风险规避供应商的最优生产策略. 通过数值实验得出如下结论: 若零售商的风险规避度越小, 则零售商的第 1 次最优订购量越多, 风险利润越大; 供应商的第 1 次最优生产量随着供应商的风险规避度减小而增大; 零售商的风险规避度越小, 越不利于供应商的生产投机行为.

关键词: 风险规避；二次订购；两生产模式；最优订购策略；最优生产策略

中图分类号: F272.3 **文献标志码:** A

Decision making model of supply chain based on risk-averse retailer's second order at end of sales season

WANG Jun-ping, YAO Da-qing, YANG Zhi-lin

(School of Mathematics，Hefei University of Technology，Hefei 230009，China．Correspondent：YAO Da-qing，E-mail: 971746653@qq.com)

Abstract: Under the condition of the risk measurement criteria, a supply chain system consisting of one risk-averse retailer and one risk-averse supplier is considered. The optimal order strategy of the risk-averse retailer and the optimal production strategy of the risk-averse supplier in the two production mode are discussed. Through numerical experiments, main conclusions are obtained as followed: A smaller retailer's risk aversion will lead to a larger first optimal order quantity and a greater risk profit of the retailer; the supplier's first optimal manufacturing quantity increases as the risk aversion of the supplier decreases; the smaller the risk aversion of the retailer is, the more unfavorable the production speculation behavior of the supplier will be.

Keywords: risk-aversion；second order；two production mode；optimal order strategy；optimal production strategy

0 引 言

科技的迅猛发展给市场带来了两个深刻变化, 一是产品市场竞争加剧; 二是产品生命周期逐渐缩短. 例如, 苹果手机更新换代速度很快, 苹果公司迅速推出 iphone 5、iphone 6 等新款式, 而 iphone 3 和 iphone 4 等老的款式很快就过时了. 对于带有两次订购机会的 Newsvendor 问题, 学术界进行了广泛的研究. 文献 [1] 首先提出销售商在销售期末是有第 2 次订购机会的, 并建立了相应的模型; 文献 [2] 提出销售商在销售期内的两个不同时间点各有一次订购机会, 并建立了相应的模型; 文献 [3] 则针对销售商在不同时期的两次订购请求, 设计了不同的生产模式进行应对; 文献 [4] 对文献 [1] 作了进一步推广, 将销售商的存贮费用引入二次订购的 Newsvendor 型产品供应链中, 设计了回购契约来达到供应商和销售商两层供应链的完美协调; 文献 [5-6] 建立了带有两阶段生产模式的 Newsvendor 型产品供应链优化与协调模型. 但是, 上述文献并没有涉及供应链成员的风险态度对供应链成员最优决策的影响, 这与实际情况不符, 因为在现实中供应链成员不仅追求利润的最大化, 还对风险有着一定规避的态度.

近年来, 学术界对风险规避的报童模型越来越重视. 例如, 文献 [7] 以弹性市场需求为研究对象, 考虑了供应链优化与协调问题, 分析了供应链成员风险态度对最优决策行为的影响; 文献 [8] 研究了当损失厌恶零售商面临批发价格和具有现货采购机会时的零部件采购问题; 文献 [9] 考虑了带有风险偏好和退货手段的供应链优化问题, 分析了风险厌恶态度对退货

收稿日期: 2015-11-10；**修回日期:** 2015-12-31.

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(1508085MG141)；合肥工业大学博士专项基金项目(JZ2015HGBZ0503).

作者简介: 汪峻萍(1975−), 女, 副教授, 博士, 从事供应链协调与管理等研究；姚大庆(1990−), 男, 硕士生, 从事供应链协调与管理的研究.

策略的影响; 文献 [10] 利用下游风险控制理论研究了零售商下游风险对整个供应链的影响; 文献 [11] 则证明了在风险厌恶型两层供应链中, 退货策略可以帮助制造商获取更大的利润. 但是, 这些文献并没有考虑零售商期末二次订购和供应商两生产模式何以应对销售商的两次不同订购等重要问题, 显然与实际的商业运作存在一定的差距.

本文以风险规避零售商和风险规避供应商组成的两层供应链系统为研究对象, 在条件风险估值的风险度量准则下讨论两生产模式下风险规避零售商的最优订购策略和风险规避供应商的最优生产策略. 虽然本文的研究是建立在文献 [6-7] 的基础上, 但与这两篇文章有如下明显的区别: 文献 [6] 未考虑供应链成员风险规避态度对供应链成员最优决策的影响; 文献 [7] 虽然考虑了供应链成员风险规避态度对供应链绩效的影响, 但未考虑零售商期末二次订购和供应商两生产模式何以应对零售商的两次不同订购等问题.

1 模型描述与假设

考虑一个两层供应链系统, 供应商和零售商都是风险规避的. 其中: η_r 为零售商的风险规避系数, η_s 为供应商的风险规避系数, 且 $\eta_r \leqslant \eta_s$ (因为在现实环境中零售商更接近市场, 所以零售商的风险规避程度比供应商高). 假定零售商在销售期前和销售期末各有一次订购机会, 则供应商采用便宜和昂贵两种不同的生产模式来应对零售商的两次订购[6,12].

为了便于模型求解, 不妨假设 p 为零售商的单位产品销售价格, Q 为零售商在销售季节开始之前需确定的订购量, $c_s(c_f)$ 为供应商单位产品在便宜 (昂贵) 生产模式下的生产成本, v 为销售期末单位未售出产品的剩余价值, X 为随机市场需求, $w_s(w_f)$ 为供应商单位产品在便宜 (昂贵) 生产模式下的批发价, $\beta(0 \leqslant \beta \leqslant 1)$ 为缺货发生时愿意等待延期供货的比率, $M(M \geqslant Q)$ 为供应商利用便宜生产模式生产的量, 随机需求 X 的概率分布函数为 $F(x)$, X 的概率密度函数为 $f(x)$. 其中: $v < c_s < c_f < p, c_s < w_s < w_f < p, w_f > c_f, f(x) \geqslant 0$.

2 模型求解

2.1 零售商的最优订购策略

对于零售商而言, 需要在销售季节之前确定最优的第 1 次订购量, 以获得更多的销售利润. 基于以上假设, 可知零售商的利润函数为

$$\varPi_r = p\min(X,Q) - w_sQ + v(Q-X)^+ + (p-w_f)\beta(X-Q)^+. \tag{1}$$

考虑到零售商是风险规避的, 追求风险价值最大化, 因此在 CVaR 标准下, 零售商的风险价值为

$$\mathrm{CVaR}_{\eta_r}(\varPi_r(Q)) = \max_{u\in R}\Big\{u + \frac{1}{\eta_r}\mathrm{E}[\min(\varPi_s(Q)-u,0)]\Big\}. \tag{2}$$

其中: E 是期望算子; $\eta_r \in (0,1]$ 是零售商的风险规避系数, η_r 越小, 零售商风险规避程度越大.

令

$$G(Q,u) = \mathrm{CVaR}_{\eta_r}(\varPi_r(Q)) = \max_{u\in R}\Big\{u + \frac{1}{\eta_r}\mathrm{E}[\min(\varPi(Q)-u,0)]\Big\}.$$

将式 (1) 代入 (2), 得

$$G(Q,u) = u - \eta_r^{-1}\Big[\int_0^Q (u - px - v(Q-x) + w_sQ)^+ f(x)\mathrm{d}x + \int_Q^{+\infty}(u-(p-w_s)Q - \beta(p-w_f)(x-Q))^+ f(x)\mathrm{d}x\Big]. \tag{3}$$

下面根据 u 的不同取值区间对式 (3) 分 3 种情形进行讨论分析.

1) 当 $u \leqslant (v-w_s)Q$ 时, 有

$$G(Q,u) = u,\ \frac{\partial G(Q,u)}{\partial u} = 1.$$

2) 当 $(p-w_s)Q \geqslant u > (v-w_s)Q$ 时, 有

$$G(Q,u) = u - \eta_r^{-1}\int_0^{(u-(v-w_s)Q)/(p-v)}(u - px - v(Q-x) + w_sQ)f(x)\mathrm{d}x; \tag{4}$$

$$\frac{\partial G(Q,u)}{\partial u}\Big|_{u=(v-w_s)Q} = 1,$$

$$\frac{\partial G(Q,u)}{\partial u}\Big|_{u=(p-w_s)Q} = 1 - \eta_r^{-1}F(Q).$$

3) 当 $u > (p-w_s)Q$ 时, 有

$$G(Q,u) = u - \eta_r^{-1}\Big[\int_0^Q (u - px - v(Q-x) + w_sQ)f(x)\mathrm{d}x + \int_Q^{(u-(p-w_s)Q)/(\beta(p-w_f))+Q}(u-(p-w_s)Q - \beta(p-w_f)(x-Q))f(x)\mathrm{d}x\Big]; \tag{5}$$

$$\frac{\partial G(Q,u)}{\partial u} = 1 - \eta_r F\Big(\frac{u-(p-w_s)Q}{\beta(p-w_f)} + Q\Big).$$

当 $F^{-1}(\eta_r) < Q$ 时, $u^* \in ((v-w_s)Q, (p-w_s)Q]$, 利用式 (4) 可得

$$u^* = (p-v)F^{-1}(\eta_r) + (v-w_s)Q. \tag{6}$$

将式 (6) 代入 (4), 得

$$G(Q) = (p-v)F^{-1}(\eta_r) + (v-w_s)Q - \eta_r^{-1}\int_0^{F^{-1}(\eta_r)}(p-v)F^{-1}(\eta_r)f(x)\mathrm{d}x. \tag{7}$$

对式 (7) 两边求关于 Q 的偏导, 得 $\partial G(Q)/\partial Q = v - w_s < 0$. 当 $F^{-1}(\eta_r) \geqslant Q$ 时, $u^* \in [(p-w_s)Q, +\infty)$, 利用式 (5), 可得

$$u^* = \beta(F^{-1}(\eta_r) - Q)(p-w_f) + (p-w_s)Q. \tag{8}$$

综上所述, $u^* = \beta(F^{-1}(\eta_r) - Q)(p - w_f) + (p - w_s)Q$.

将式 (8) 代入 (5), 得零售商的风险利润函数为

$$\begin{aligned}&\text{CVaR}_{\eta_r}(\Pi_r(Q)) = \\&\beta(F^{-1}(\eta_r) - Q)(p - w_f) + (p - w_s)Q- \\&\eta_r^{-1}\Big[\int_Q^{F^{-1}(\eta_r)} \beta(p - w_f)(F^{-1}(\eta_r) - x)f(x)\mathrm{d}x+ \\&\int_0^Q (\beta(F^{-1}(\eta_r) - Q)(p - w_f)+ \\&(p - v)(Q - x))f(x)\mathrm{d}x\Big].\end{aligned} \tag{9}$$

对式 (9) 两边求关于 Q 的偏导, 得

$$\begin{aligned}&\frac{\partial \text{CVaR}_{\eta_r}(\Pi_r(Q))}{\partial Q} = \\&-\beta(p - w_f) + (p - w_s)- \\&\eta_r^{-1}\int_0^Q ((p - v) - \beta(p - w_f))f(x)\mathrm{d}x.\end{aligned} \tag{10}$$

又因

$$\begin{aligned}&\frac{\partial^2 \text{CVaR}_{\eta_r}(\Pi_r(Q))}{\partial Q^2} = \\&-\eta_r^{-1}(p - v - \beta(p - w_f))f(Q) < 0,\end{aligned}$$

所以令式 (10) 等于零, 可得

$$Q^* = F^{-1}\eta_r\Big[\frac{(p - w_s) - \beta(p - w_f)}{(p - v) - \beta(p - w_f)}\Big].$$

综上所述, 零售商的第 1 次最优订购量为 $Q^* = F^{-1}\eta_r\Big[\dfrac{(p - w_s) - \beta(p - w_f)}{(p - v) - \beta(p - w_f)}\Big]$.

性质 1　零售商的第 1 次最优订购量是关于零售商风险规避度的减函数, 同时是关于便宜生产模式下供应商单位产品批发价的减函数, 也是关于昂贵生产模式下供应商单位产品批发价的增函数.

证明略(通过对 Q^* 分别求关于 η_r、w_s 和 w_f 的导数即可得到性质 1).

性质 1 表明, 零售商的第 1 次最优订购量不仅受到零售商风险态度的影响, 也受到供应商单位批发价的影响. 具体表现为: 当零售商越害怕风险时, 零售商的第 1 次最优订购量越低; 当零售商越不害怕风险时, 零售商的第 1 次最优订购量越高. 当便宜生产模式下供应商的单位产品批发价格越大时, 零售商的第 1 次最优订购量越低; 当昂贵生产模式下供应商的单位产品批发价格越大时, 零售商的第 1 次最优订购量越高.

性质 1 的管理意义如下: 当昂贵生产模式下供应商的单位产品批发价格较大, 便宜生产模式下供应商的单位产品批发价格较小时, 零售商会倾向在第 1 阶段订购较多的产品; 当昂贵生产模式下供应商的单位产品批发价格较小, 便宜生产模式下供应商的单位产品批发价格较大时, 零售商会倾向在第 2 阶段订购较多的产品. 因此, 站在供应商的立场上考虑问题, 当供应商面对风险规避程度不同的零售商时, 欲使其在第 1 阶段订购等量的产品, 可以采取不同的批发策略.

2.2　供应商的最优生产策略

对于供应商而言, 供应商会在接到零售商的第 1 次订单 Q^* 后决策自己的生产批量, 因此, 站在供应商的立场, 到了销售季节末存在如下 3 种情况:

1) $0 \leqslant X \leqslant Q^*$. 在此情况下, 到了销售季节末供应商的库存量为 $M - Q^*$,供应商的利润函数为

$$\Pi_s = w_sQ^* - c_sM + v(M - Q^*). \tag{11}$$

2) $Q^* \leqslant X \leqslant Q^* + (M - Q^*)/\beta$. 在此情况下, 到了销售季节末供应商的库存量为 $M - Q^* - \beta(X - Q^*)$, 供应商的利润函数为

$$\begin{aligned}\Pi_s = {}& w_sQ^* - c_sM + \beta w_f(X - Q^*)+ \\& v(M - Q^* - \beta(X - Q^*)).\end{aligned} \tag{12}$$

3) $Q^* + (M - Q^*)/\beta < X$. 在此情况下, 到了销售季节末, 延期供给的需求量超过了供应商的库存量, 因此, 供应商需要启动昂贵生产模式, 生产量为 $Q^* + \beta(X - Q^*) - M$, 供应商的利润函数为

$$\begin{aligned}\Pi_s = {}& w_sQ^* - c_sM + \beta w_f(X - Q^*)- \\& c_f(Q^* - \beta(X - Q^*) - M).\end{aligned} \tag{13}$$

仿照零售商的风险利润函数, 可得供应商的风险利润函数为

$$\begin{aligned}&\text{CVaR}_{\eta_s}(\Pi_s(M)) = \\&\max_{u\in R}\Big\{u + \frac{1}{\eta_s}\text{E}[\min(\Pi_s(M) - u, 0)]\Big\}.\end{aligned} \tag{14}$$

其中: E 是期望算子; $\eta_s \in (0, 1]$ 是供应商的风险规避系数, η_s 越大, 供应商风险规避程度越小.

令

$$\begin{aligned}&H(M, u) = \text{CVaR}_{\eta_s}(\Pi_s(M)) = \\&\max_{u\in R}\Big\{u + \frac{1}{\eta_s}\text{E}[\min(\Pi_s(M) - u, 0)]\Big\},\end{aligned}$$

结合式 (11) ∼ (14), 可得

$$\begin{aligned}&H(M, u) = \\&u - \eta_s^{-1}\Big[\int_0^{Q^*} (u - w_sQ^* + c_sM- \\&v(M - Q^*))^+ f(x)\mathrm{d}x+ \\&\int_{Q^*}^{Q^* + (M - Q^*)/\beta} (u - w_sQ^* + c_sM - \beta w_f(x - Q^*)- \\&v(M - Q^* - \beta(x - Q^*)))^+ f(x)\mathrm{d}x+ \\&\int_{Q^* + (M - Q^*)/\beta}^{+\infty} (u - w_sQ^* + c_sM - \beta w_f(x - Q^*)+ \\&c_f(Q^* + \beta(x - Q^*) - M))^+ f(x)\mathrm{d}x\Big].\end{aligned} \tag{15}$$

下面根据 u 的不同取值区间对式 (15) 分 3 种情形进行讨论分析.

1) 当 $u\leqslant v(M-Q^*)-c_sM+w_sQ^*$ 时, 有

$$H(M,u)=u,\ \frac{\partial H(M,u)}{\partial u}=1.$$

2) 当 $v(M-Q^*)-c_sM+w_sQ^*<u\leqslant w_sQ^*-c_sM+w_f(M-Q^*)$ 时, 有

$$\begin{aligned}&H(M,u)=\\&u-\eta_s^{-1}\Big[\int_0^{Q^*}(u-w_sQ^*+c_sM-\\&v(M-Q^*))f(x)\mathrm{d}x+\\&\int_{Q^*}^{\frac{u-w_sQ^*+c_sM+\beta w_fQ^*-v(M-Q^*)-\beta vQ^*}{\beta(w_f-v)}}(u-w_sQ^*+\\&c_sM-\beta w_f(x-Q^*)-\\&v(M-Q^*-\beta(x-Q^*)))f(x)\mathrm{d}x\Big];\end{aligned}\tag{16}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\partial H(M,u)}{\partial u}\Big|=\\&1-\eta_s^{-1}F((u-w_sQ^*+c_sM+\beta w_fQ^*-\\&v(M-Q^*)-\beta vQ^*)/(\beta(w_f-v))),\\&\frac{\partial H(M,u)}{\partial u}\Big|_{u=v(M-Q^*)+w_sQ^*-c_sM}=1-\eta_s^{-1}F(Q^*),\\&\frac{\partial H(M,u)}{\partial u}\Big|_{u=w_sQ^*-c_sM+w_f(M-Q^*)}=\\&1-F(Q^*+(M-Q^*)/\beta).\end{aligned}\tag{17}$$

3) 当 $w_sQ^*-c_sM+w_f(M-Q^*)<u$ 时, 有

$$\begin{aligned}&H(M,u)=\\&u-\eta_s^{-1}\Big[\int_0^{Q^*}(u-w_sQ^*+c_sM-\\&v(M-Q^*))f(x)\mathrm{d}x+\\&\int_{Q^*}^{Q^*+(M-Q^*)/\beta}(u-w_sQ^*+c_sM-\\&\beta w_f(x-Q^*)-v(M-Q^*-\beta(x-Q^*)))f(x)\mathrm{d}x+\\&\int_{Q^*+(M-Q^*)/\beta}^{\frac{u-w_sQ^*+c_sM+\beta Q^*(w_f-c_f)-c_f(M-Q^*)}{\beta(w_f-c_f)}}(u-w_sQ^*+\\&c_sM-\beta w_f(x-Q^*)+\\&c_f(\beta(x-Q^*)+Q^*-M))f(x)\mathrm{d}x\Big];\end{aligned}\tag{18}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\partial H(M,u)}{\partial u}=\\&1-\eta_s^{-1}F((u-w_sQ^*+c_sM+\beta Q^*(w_f-c_f)-\\&c_f(M-Q^*))/(\beta(w_f-c_f))).\end{aligned}\tag{19}$$

由零售商最优订购策略推导过程可知 $1-\eta_r^{-1}F(Q^*)\geqslant 0$, 又因 $\eta_r\leqslant\eta_s$, 可得

$$1-\eta_s^{-1}F(Q^*)\geqslant 1-\eta_r^{-1}F(Q^*)\geqslant 0.$$

当 $\beta(F^{-1}(\eta_s)-Q^*)+Q^*<M$, 即 $1-F(Q^*+(M-Q^*)/\beta<0$ 时, 由推导的过程可知 $u^*\in(v(M-Q^*)-c_sM+w_sQ^*,w_sQ^*-c_sM+w_f(M-Q^*)]$. 再利用式 (17), 可得

$$\begin{aligned}&u^*=\beta F^{-1}(\eta_s)(w_f-v)+w_sQ^*-\\&c_sM-\beta w_fQ^*+v(M-Q^*)+\beta vQ^*.\end{aligned}\tag{20}$$

将式 (20) 代入 (16), 可得

$$\begin{aligned}&H(M)=\\&\beta F^{-1}(\eta_s)(w_f-v)+w_sQ^*-c_sM-\\&\beta w_fQ^*+v(M-Q^*)+\beta vQ^*-\\&\eta_s^{-1}\Big[\int_0^{Q^*}\beta(w_f-v)(F^{-1}(\eta_s)-Q^*)f(x)\mathrm{d}x+\\&\int_{Q^*}^{F^{-1}(\eta_s)}\beta(w_f-v)(F^{-1}(\eta_s)-x)f(x)\mathrm{d}x\Big].\end{aligned}\tag{21}$$

对式 (21) 两边求关于 M 的导数, 得 $\partial H(M)/\partial M=v-c_s<0$.

当 $\beta(F^{-1}(\eta_s)-Q^*)+Q^*\geqslant M$, 即 $1-F(Q^*+(M-Q^*)/\beta\geqslant 0$ 时, 可知 $u^*\in(w_sQ^*-c_sM+w_f(M-Q^*),+\infty)$. 再利用式 (20), 可得

$$\begin{aligned}&u^*=\beta F^{-1}(\eta_s)(w_f-c_f)+w_sQ^*-c_sM+\\&c_f(M-Q^*)-\beta Q^*(w_f-c_f).\end{aligned}\tag{22}$$

综上所述, $u^*=\beta F^{-1}(\eta_s)(w_f-c_f)+w_sQ^*-c_sM+c_f(M-Q^*)-\beta Q^*(w_f-c_f)$.

将式 (22) 代入 (18), 可得供应商的风险利润函数为

$$\begin{aligned}&\mathrm{CVaR}_{\eta_s}(\varPi_s(M))=\\&\beta F^{-1}(\eta_s)(w_f-c_f)+w_sQ^*-c_sM+\\&c_f(M-Q^*)-\beta Q^*(w_f-c_f)-\\&\eta_s^{-1}\Big[\int_0^{Q^*}(\beta(w_f-c_f)(F^{-1}(\eta_s)-Q^*)+\\&(c_f-v)(M-Q^*))f(x)\mathrm{d}x+\\&\int_{Q^*}^{Q^*+(M-Q^*)/\beta}(\beta(w_f-c_f)(F^{-1}(\eta_s)-Q^*)+\\&(c_f-v)(M-Q^*)-\beta(w_f-v)(x-Q^*))f(x)\mathrm{d}x+\\&\int_{Q^*+(M-Q^*)/\beta}^{F^{-1}(\eta_s)}\beta(w_f-c_f)(F^{-1}(\eta_s)-x)f(x)\mathrm{d}x\Big].\end{aligned}\tag{23}$$

又因 $\dfrac{\partial^2\mathrm{CVaR}_{\eta_s}(\varPi_s(M))}{\partial M^2}=-\eta_s^{-1}(c_f-v)\beta^{-1}f(Q^*+(M-Q^*)/\beta)<0$, 对式 (23) 两边求关于 M 的一阶偏导数, 再令 $\partial\mathrm{CVaR}_{\eta_s}(\varPi_s(M))/\partial M=0$, 可得

$$M=\beta\Big(F^{-1}\Big(\eta_s\frac{c_f-c_s}{c_f-v}\Big)-Q^*\Big)+Q^*.$$

但是, 供应商的第1阶段的生产量必须满足零售商第1阶段的订购量, 即 $M\geqslant Q^*$. 因此, 当 $\eta_s\dfrac{c_f-c_s}{c_f-v}\geqslant\eta_r\Big[\dfrac{(p-w_s)-\beta(p-w_f)}{(p-v)-\beta(p-w_f)}\Big]$ 时, $M^*=\beta\Big(F^{-1}\Big(\eta_s\dfrac{c_f-c_s}{c_f-v}\Big)-Q^*\Big)+Q^*$; 当 $\eta_s\dfrac{c_f-c_s}{c_f-v}<\eta_r\Big[\dfrac{(p-w_s)-\beta(p-w_f)}{(p-v)-\beta(p-w_f)}\Big]$ 时, $M^*=Q^*$.

令 $T_1=\eta_r\dfrac{p-w_s-\beta(p-w_f)}{p-v-\beta(p-w_f)}$, $L_1=\eta_s\dfrac{c_f-c_s}{c_f-v}$. 这里可以将 T_1 看作零售商的近似风险规避系数, 将

L_1 看作供应商的近似风险规避系数.

性质 2　当 $L_1 \geqslant T_1$ 时, 供应商的第 1 次最优生产量 $M^* = \beta\Big(F^{-1}\Big(\eta_s\dfrac{c_f - c_s}{c_f - v}\Big) - Q^*\Big) + Q^*$; 当 $L_1 < T_1$ 时, 供应商的第 1 次最优生产量 $M^* = Q^*$.

证明略.

性质 2 表明, 在两生产模式下, 零售商的第 1 次最优订购量不一定等于供应商的第 1 次最优生产量, 当达到一定条件时, 供应商的第 1 次最优生产量往往大于零售商的第 1 次最优订购量. 如果零售商在销售期末观察到实际需求要大于其在销售季节初的最优订购量, 则零售商会发出第 2 次订单. 正是预测到零售商可能会进行第 2 次订购, 对于供应商而言则可以存在投机行为, 即在销售季节开始之前以便宜生产方式制造出超过零售商第 1 次订购量的产品, 然后将剩余的产品在销售季节末以昂贵生产模式的批发价格出售给零售商. 显然, 这种投机行为可以为供应商带来超额利润.

性质 3　当 $L_1 \geqslant T_1$ 时, 供应商的第 1 次最优生产量是关于供应商风险规避度的减函数; 当 $L_1 < T_1$ 时, 供应商的第 1 次最优生产量与供应商风险规避度无关. 在任何条件下, 供应商的第 1 次最优生产量都是关于零售商风险规避程度的减函数.

证明　当 $L_1 < T_1$ 时, $M^* = Q^*$, 对 M^* 分别求关于 η_s 和 η_r 的导数, 易得 $\partial M^*/\partial\eta_s = 0, \partial M^*/\partial\eta_r = \partial Q^*/\partial\eta_r > 0$; 当 $L_1 \geqslant T_1$ 时, $M^* = \beta\Big(F^{-1}\Big(\eta_s\dfrac{c_f - c_s}{c_f - v}\Big) - Q^*\Big) + Q^*$, 对 M^* 分别求关于 η_s 和 η_r 的偏导数, 化简后可得到 $\dfrac{\partial M^*}{\partial\eta_s} = \beta\dfrac{c_f - c_s}{c_f - v}\dfrac{1}{f(M^* - Q^*)} > 0, \dfrac{\partial M^*}{\partial\eta_r} = (1-\beta)\dfrac{\partial Q^*}{\partial\eta_r} > 0$. □

性质 3 表明, 在任何条件下, 供应商的第 1 次最优生产量与零售商的风险规避程度有关. 但是, 在一定条件下供应商的第 1 次最优生产量与零售商和自身的风险规避度都有紧密联系. 具体表现为: 在特定情况下, 若供应商越不害怕风险, 则供应商的第 1 次最优生产量越大; 若供应商越害怕风险, 则供应商的第 1 次最优生产量越小. 在任何条件下, 若零售商越害怕风险, 则供应商的第 1 次最优生产量越小; 若供应商越不害怕风险, 则供应商的第 1 次最优生产量越大.

3　数值模拟实验

为了验证模型的求解过程, 给出以下数值: $p = 12, c_s = 2, c_f = 4, \beta = 0.5, v = 0.5$, 随机需求 X 服从均匀分布(0, 1 000), 并令

$$\varDelta_s = \mathrm{CVaR}_{\eta_s}(\varPi_s(M^*)) - \mathrm{CVaR}_{\eta_s}(\varPi_s(Q^*)).$$

利用模型提供的方法所得到的结果如表 1 和表 2 所示. 其中: 表 1 考虑了参数 η_s、w_s 和 w_f 对零售商第 1 次最优订购决策的影响; 表 2 考虑了参数 η_s 和 η_r 对供应商最优生产决策的影响.

表 1　参数 η_s、w_s 和 w_f 对零售商第 1 次最优订购决策的影响 ($\eta_s = 0.8$)

η_r	w_s	w_f	Q^*	$\mathrm{CVaR}_{\eta_r}(\varPi_r(Q^*))$
0.4	4.0	7.0	244	1 292.5
0.5	4.0	7.0	306	1 620.6
0.6	4.0	7.0	367	1 944.6
0.7	4.0	7.0	428	2 268.6
0.8	4.0	7.0	489	2 592.6
0.8	4.5	7.0	444	2 414.8
0.8	5.0	7.0	400	2 247.1
0.8	5.5	7.0	356	2 085.5
0.8	6.0	7.0	311	1 926.4
0.8	6.0	7.5	324	1 774.3
0.8	6.0	8.0	337	1 613.5
0.8	6.0	8.0	349	1 441.5
0.8	6.0	9.0	360	1 258.9

从表 1 可见: 1) 若零售商的风险规避度越小, 则零售商的第 1 次最优订购量越多, 零售商的风险利润越大; 若零售商的风险规避度越大, 则零售商的第 1 次最优订购量越少, 零售商的风险利润越小. 2) 当供应商在便宜生产模式下的批发价越大时, 零售商的第 1 次最优订购量越少, 零售商的风险利润越小, 零售商会倾向在第 2 阶段订购更多的产品; 当供应商在昂贵生产模式下的批发价越大时, 虽然零售商的第 1 次最优订购量越来越多, 但是零售商的风险利润越小, 零售商越会倾向在第 1 阶段订购更多的产品. 从供应商的立场看, 当供应商面对风险规避程度不同的零售商时, 欲使其在第 1 阶段订购等量的产品, 可以采取不同的批发策略. 表 1 验证了性质 1.

表 2　参数 η_s 和 η_r 对供应商最优生产决策的影响 ($w_s = 4.0, w_f = 7.0$)

η_s	η_r	$L_1 \geqslant T_1$?	Q^*	M^*	$\mathrm{CVaR}_{\eta_r}(\varPi_r(Q^*))$	$\mathrm{CVaR}_{\eta_r}(\varPi_r(M^*))$	$\varDelta_s$
0.60	0.60	否	367	367	801.9	801.9	0
0.65	0.60	是	367	369	826.4	831.8	5.4
0.70	0.60	是	367	384	852.8	900.7	47.9
0.75	0.60	是	367	398	880.7	973.8	93.1
0.80	0.60	是	367	412	909.8	1 052.5	142.7
0.80	0.65	是	397	427	946.3	1 035.4	89.1
0.80	0.70	是	428	450	985.7	1 044.9	59.2
0.80	0.75	否	458	458	1 025.7	1 025.7	0
0.80	0.80	否	489	489	1 068.7	1 068.7	0
0.825	0.80	否	489	489	1 080.6	1 080.6	0
0.85	0.80	否	489	489	1 093.0	1 093.0	0

从表2可见: 1) 无论供应商和零售商的风险规避程度如何, 当满足条件 $L_1 \geqslant T_1$, 即供应商的近似风险规避系数大于等于零售商的近似风险规避系数时, 供应商的第1次最优生产量总是大于零售商的第1次最优订购量, 在此情形下, 供应商存在生产投机行为; 当满足条件 $L_1 < T_1$, 也就是供应商的近似风险规避系数小于零售商的近似风险规避系数时, 供应商的第1次最优生产量总是等于零售商的第1次最优订购量, 此时供应商不存在生产投机行为. 2) 当满足条件 $L_1 \geqslant T_1$ 时, 若供应商的风险规避度越小, 则供应商的第1次最优生产量越多, 供应商的风险利润越大, 而且供应商投机行为赚取的利润越大; 当不满足条件 $L_1 \geqslant T_1$, 即 $L_1 < T_1$ 时, 供应商的第1次最优生产量与供应商的风险程度无关, 但是供应商的风险利润却随着供应商的风险规避度的不断减小而不断增大. 3) 无论 $L_1 \geqslant T_1$ 是否成立, 若零售商的风险规避度越小, 则供应商的第1次最优生产量越多, 但是供应商投机行为赚取的风险利润越少, 即零售商的风险规避度越小时, 不利于供应商的生产投机行为.

4 结 论

本文建立了由一个带有期末两次订购机会的风险规避零售商与风险规避供应商组成的供应链决策模型. 采用CVaR准则刻画风险规避零售商和风险规避供应商的风险利润, 分析了供应链成员的最优策略行为. 对零售商最优订购策略的研究结论主要有: 1) 若零售商的风险规避度越小, 则零售商的第1次最优订购量越多, 零售商的风险利润越大; 2) 当供应商在便宜生产模式下的批发价越大时, 零售商的第1次最优订购量越少, 零售商的风险利润越小; 3) 当供应商在昂贵生产模式下的批发价越大时, 虽然零售商的第1次最优订购量越来越多, 但是零售商的风险利润越小. 对供应商最优订购策略的研究结论主要有: 1) 无论供应商和零售商的风险规避程度如何, 当满足某种条件时, 供应商存在生产投机行为; 2) 当满足一定条件时, 若供应商的风险规避度越小, 则供应商的第1次最优生产量越多, 供应商的风险利润越大, 投机行为赚取的利润越多; 3) 零售商的风险规避度越小时, 越不利于供应商的生产投机行为.

以本文研究为基础, 可从以下几方面进行拓展: 1) 可考虑多个零售商和多个供应商的竞争模型, 研究期末二次订购和供应链成员风险规避态度的供应链决策问题; 2) 本文研究的供应链成员是风险规避的, 而现实中不少销售商和供应商是风险喜好的, 因此研究供应链成员的风险喜好也是很有意义的研究方向.

参考文献(References)

[1] Weng Z K. Coordinating order quantities between the manufacturer and the buyer: A generalized newsvendor model[J]. European J of Operational Research, 2004, 156(1): 148-161.

[2] Lau H S, Lau A H L. Reordering strategies for a newsboy-type product[J]. European J of Operational Research, 1997, 103(3): 557-572.

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

[4] Zhou Y, Li D H. Coordinating order quantity decisions in the supply chain contract under random demand[J]. Applied Mathematical Modeling, 2007, 31(6): 1029-1038.

[5] 王圣东, 周永务. 带有两次订购机会且两阶段需求相关的Newsboy模型[J]. 控制与决策, 2009, 24(5): 706-710.
(Wang S D, Zhou Y W. Newsboy model with two ordering opportunities and correlated demands between two periods[J]. Control and Decision, 2009, 24(5): 706-710.)

[6] 王圣东, 周永务. 带有两生产模式的Newsvendor型产品供应链协调模型[J]. 系统管理学报, 2011, 20(1): 71-77.
(Wang S D, Zhou Y W. Supply chain coordination model for newsvendor-type products with two production modes[J]. J of Systems Management, 2011, 20(1): 71-77.)

[7] 林强, 叶飞, 陈晓明. 随机弹性需求条件下基于CVaR与收益共享契约的供应链决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(12): 2296-2312.
(Lin Q, Ye F, Chen X M. Decision model for supply chain based on CVaR and revenue sharing contract under stochastic elastic demand[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2011, 31(12): 2296-2312.)

[8] Shen H, Pang Z, Cheng T C E. The component procurement problem for the loss-averse manufacturer with spot purchase[J]. Int J of Production Economics, 2011, 132(1): 146-153.

[9] Tasy A. Risk sensitivity in distribution channel partnerships: Implication for manufacturer return policies[J]. J of Retailing, 2002, 78(2): 147-160.

[10] 姚忠. 风险约束下退货合同对供应链的协调性分析[J]. 管理科学学报, 2008, 11(3): 96-105.
(Yao Z. Analysis of return policy for coordinating supply chain under downside risk constraints[J]. J of Management Sciences, 2008, 11(3): 96-105.)

[11] Lau H, Lau A. Manufacturer pricing strategy and return policy for a single period commodity[J]. European J of Operational Research, 1999, 116(2): 291-304.

[12] 王圣东. 基于多种生产和订购模式的Newsvendor型产品供应链协调问题研究[D]. 合肥: 合肥工业大学管理学院, 2009.
(Wang S D. Research on supply chain coordination issues for newsvendor-type products with multiple production and ordering modes[D]. Hefei: School of Management, Hefei University of Technology, 2009.)

(责任编辑: 曹洪武)