

风险厌恶零售商考虑信息预测成本的协调机制^①

肖群^{1,2}, 马士华²

(1. 云南财经大学商学院, 昆明 650221; 2. 华中科技大学管理学院, 武汉 430074)

摘要: 在 CVaR 风险度量准则下, 将信息预测成本作为运营成本之一, 建立了风险厌恶的零售商的需求信息预测投入和订货量的联合决策随机模型, 研究了风险态度对零售商最优决策的影响. 通过分析得出在分散决策下, 随着零售商风险厌恶程度的增加, 零售商提高信息预测水平, 以减小需求不确定风险. 同时减少订货量, 降低订货过量的风险. 证明了在一定条件下, 传统的收益共享契约能实现供应链协同, 但适用范围较小. 由信息预测成本分担与收益共享组成的联合契约可扩大供应链协同的范围, 消除风险态度和双重边际对零售商决策行为的影响, 使得零售商的需求预测水平和订货量同时达到系统风险中立环境下的最优水平.

关键词: 信息预测; 风险规避; 收益共享; 成本分担; 供应协调

中图分类号: F224.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2016)11-0045-09

0 引言

经济全球化使各地区经济相互依存程度不断加深, 市场的供给不仅受产品质量、服务等因素的影响, 汇率的波动、政治格局的改变、通货膨胀、产品的预期等相关因素也影响着产品的市场需求. 企业为了更好的预测市场需求, 减小市场不确定性带来的风险, 不仅要销售的历史数据进行技术性分析, 还不惜重金聘请专业机构利用多元化信息结合宏观形势进行估计.

专业信息预测在帮助企业提高决策水平的同时也会增加企业的运营成本. 据统计美国每年在市场调查和预测上的花费占全球一半之多, 达到了46亿美元. 特别在2008年经济危机后, 很多企业因为经济持续不景气或自身的债务状况等原因, 更是加大了信息预测的投入以规避市场不确定性带来的风险. 企业规避风险的态度和信息预测成本影响了信息预测水平和产品订货量. 如何在分散决策下设计协同机制, 消除风险规避和双

重边际对企业的决策影响, 使得信息预测投入和产品订货量达到系统最优水平, 对经济不景气下企业能否严格控制运营成本, 提高自适应性, 增强抗风险能力有重要意义.

信息预测投入的成本和获得的收益对供应链的影响引起了部分学者的关注. Lariviere^[1] 研究显示当需求预测成本比较低时, 可以通过返利契约让零售商进行需求预测. Li 等^[2] 研究了在考虑信息预测成本的前提下, 不同的信息预测投入方法对新产品生产决策的影响. Fu 等^[3] 研究了一定条件下回购契约和收益共享契约能使得零售商的订货量和信息预测水平达到系统集中决策下的最优水平.

以上的研究都假设零售商是风险中立的, 实际中为了加快金融危机后经济复苏, 政府庞大的支持计划和宽松的货币政策累积了恶性通胀的风险, 很多企业因为风险管理水平和化解风险的能力不足, 使得企业的风险态度趋于保守, 而企业的订货量和信息预测水平亦因其风险态度受到影

^① 收稿日期: 2013-11-04; 修订日期: 2014-12-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71472069; 71362016).

作者简介: 肖群(1979), 女, 四川资中人, 博士生. Email: xiaoqun182@sina.com

响。CVaR 的风险度量准则是近些年发展起来的一种有效的风险度量方法^[4-6]。作为下半偏差风险度量方法, CVaR 主要度量最终收益低于预期收益所产生的损失风险。与其他风险度量方法相比, CVaR 具有次可加性和凸性等良好性质,易于量化和分析。最近有学者将 CVaR 引入到供应链风险管理中, Chen 等^[7]研究了没有缺货惩罚时 CVaR 风险度量准则下的最佳订购策略, 林强等^[8]研究了在 CVaR 风险度量准则下集权供应链系统以及分权供应链系统中风险规避零售商与风险规避供应商的最优决策行为。安智宇等^[9]在 CVaR 的风险度量准则下研究了基于条件风险值最小的制造商的最优订货策略。李绩才等^[10]则研究了下游损失厌恶型零售商之间存在竞争的收益共享契约协调模型。Chen 等^[11]研究了 CVaR 风险度量准则下零售商的定价和库存联合决策。上述研究显示了风险厌恶对最优决策的影响。另外一些学者则提出可通过契约设计消除双重边际和风险态度对供应链决策的影响。汪贤裕等^[12]提出通过比例回购和折价回购契约实现供应链协调和风险分担。艾兴政等^[13]提出通过合理设计收益共享契约, 可使得供应链纵向联盟的选择不受价格波动风险的影响。Choi 等^[14]研究在中值方差风险度量准则下, 可通过批发价契约使得风险厌恶的零售商的订货量达到系统风险中立下的最优订货量。

本文对 Fu 等^[3]的研究成果进行了扩展: 假设零售商是风险规避的, 基于 CVaR 风险度量准则下, 提出收益共享契约使得风险厌恶的零售商的最终订货量和信息预测水平不受其风险态度的影响, 仍然是供应商所希望的系统集中决策下的最优水平。通过分析得出传统的收益共享契约实现供应链协同的范围较小, 进而提出了收益共享和信息预测成本共担的联合契约扩大供应链协同范围。

1 模型描述

1.1 考虑信息预测成本的 Newsvendor 模型

一个供应商与零售商组成二级供应链。零售商要在销售季节来临之前向供应商订货。零售商

面临的是随机需求 ξ , 服从某个分布。为了能很好地估计随机需求, 零售商聘请专家对需求进行预测。根据 Winkler 提出的模型有^[15, 16]: 假设需求 ξ 的先验分布为 $N(\mu_0, \sigma_0^2)$ 。如第 i 位专家对需求的预测为 x_i , 则预测误差为 $x_i - \xi \sim N(0, \sigma^2)$, 且各位专家的需求预测误差相互独立。(所有专家的需求预测误差相同不影响本文得到的结果)。令 $r = \sigma^2 / \sigma_0^2$, 表示相对预测误差。 $\phi(\cdot)$, $\Phi(\cdot)$ 分别是标准正态分布的密度函数和分布函数。

本研究与 Fu 文中的假设一致^[3], 假设零售商向 n ($n \leq N$) 位专家咨询了需求预测, 每位专家的咨询费用为 k 。当假设所聘请专家的成本不一样, 为 $\frac{1}{2}kn^2$ 时, 尽管预测水平低于专家成本一致时, 但不影响本文的研究, 相关结论依然成立。虽然需求预测能提高预测的准确度, 但零售商考虑到咨询成本, 需决策究竟请多少位专家进行预测。

引理 1 x_1, x_2, \dots, x_n 是对随机变量 ξ 的预测, 则需求随机变量 ξ 服从的后验分布为

$$\xi | x_1, x_2, \dots, x_n \sim N(\mu_n, \sigma_n^2) \quad \text{其中 } \mu_n = \frac{r\mu_0 + \sum_{j=1}^n x_j}{r+n},$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sigma^2}{r+n}.$$

1.2 系统风险中立的集中决策

零售商与供应商在集中决策下, 将需求信息预测成本考虑到报童模型中, 产品零售价为 p , 成本为 c , 零售商的订货量为 y , 每位专家预测需求费用为 k 。建立两个阶段的动态规划模型

$$\max_{n \in \{0, 1, \dots, n\}} \{-kn + E_{x_1, \dots, x_n} \max [pE_{\xi | x_1, \dots, x_n} \min(\xi, y) - cy]\} \quad (1)$$

采用逆推法求解该模型。第二阶段的模型是报童模型。根据 Zhu^[17]的研究有, 最优订货量为

$$y^l = \mu_n + Z^l \sigma_n \quad \text{其中 } Z^l = \Phi^{-1}\left(\frac{p-c}{p}\right), \text{ 代入(1)}$$

式, 得到最优的需求信息预测水平为

$$n^l = \min \left\{ N \operatorname{argmin} \left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \leq \frac{k}{p\phi(Z^l)\sigma} \right) \right\} \quad (2)$$

则将式(2)代入式(1)得到集中决策下,风险中立的零售商的最优订货量为 $y^l = \mu_n + Z^l \sigma_n$.

在集中决策下,风险中立的零售商的期望利润为 $-kn^l + (p - c)\mu_0 - p\phi(Z^l)\sigma\sqrt{\frac{1}{r+n^l}}$ 则多雇佣一个专家的边际价值为 $p\phi(Z^l)\sigma\left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}}\right)$, 令 $k_n = \begin{cases} p\phi(Z^l)\sigma\left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}}\right) & n=0, 1, \dots, N-1 \\ 0 & n=N \end{cases}$ 则有 $k_N < k_{N-1} < \dots < k_1 < k_0$.

需求不确定性受很多因素的影响,有些因素有规律可循,则通过专业机构的分析,提高此部分需求预测的精准度.但对于相对无规律可循的那部分需求,难以从历史数据和已有的销售经验中获取有用的信息,以降低这部分需求的不确定性.故总体来说,无规律可循的那部分需求使得信息预测的边际效用呈现递减.结合式(2)可得出当预测边际价值等于预测边际成本时,信息预测达到最优水平.

1.3 风险度量准则

本研究选择条件风险值 $CVaR$ 作为风险度量标准.对某一置信水平 $\eta \in [0, 1]$, $CVaR$ 度量了低于 η 分位数的平均利润,且不考虑利润超出分位数水平的部分.相比 VaR , $CVaR$ 更加容易计算,具体定义如下

$$CVaR_\eta[\pi(y)] = E[\pi(y) | \pi(y) < VaR_\eta(\pi(y))] = \max_{V \in R} \left\{ V + \frac{1}{\eta} E[\min(\pi(y) - v, 0)] \right\} \quad (3)$$

可以证明这两个定义是广义等价的. η 被称为风险厌恶因子, η 越小表示零售商的风险厌恶程度越高. $\eta = 1$ 时,零售商是风险中性的.

2 风险厌恶的零售商与风险中立的供应商的供应链协同

2.1 收益共享契约下风险厌恶零售商的最优订货与预测信息投入策略分析

供应商在销售季节前以批发价 w 向零售商

提供产品.在销售季节末供应商将获得部分收益.假设供应商占有销售收益的份额为 γ ,零售商的份额为 $1 - \gamma$.在收益共享契约下,零售商的期望利润函数为

$$\max_{n \in \{0, 1, \dots, n\}} \left\{ -kn + E_{x_1, \dots, x_n} \max_{y \geq 0} \left[E_{\xi | x_1, \dots, x_n} \left((1 - \gamma) p \min(\xi, y) \right) - wy \right] \right\} \quad (4)$$

在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下,风险厌恶的零售商的期望利润为

$$\max_y CVaR_\eta[\pi(y)] = \max_y \max_{v \in R} \left\{ g(y, v) \right\} = v + \frac{1}{\eta} E[\min(\pi(y) - v, 0)] \quad (5)$$

命题1 在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下,分散决策下零售商在收益共享契约下的最优订货量为 $y_{\gamma-\eta}^* = \mu_n + Z_{\gamma-\eta}^* \sigma_n$ 其中 $Z_{\gamma-\eta}^* = \Phi^{-1}\left(\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p}\right)$, 最优信息预测水平为

$$n_{\gamma-\eta}^* = \min \left\{ N, \operatorname{argmin} \left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \leq \frac{k}{[(1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^* - (1-\gamma)p((1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^* - \phi(Z_{\gamma-\eta}^*))]\sigma} \right) \right\}$$

证明 在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下,分散决策下零售商在收益共享契约下的最优订货量为 $y_{\gamma-\eta}^* = \mu_n + Z_{\gamma-\eta}^* \sigma_n$ 其中 $Z_{\gamma-\eta}^* = \Phi^{-1}\left(\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p}\right)$ (证明见附录).

将 $y_{\gamma-\eta}^*$ 代入到式(4)有

$$\begin{aligned} & \max_{n \in \{0, 1, \dots, n\}} \left\{ -kn + E_{x_1, \dots, x_n} \max_{y \geq 0} \left[E_{\xi | x_1, \dots, x_n} \left((1 - \gamma) p \min(\xi, y) \right) - wy \right] \right\} = \\ & \max_{n \in \{0, 1, \dots, n\}} \left\{ -kn + [(1-\gamma)p-w]\mu_0 + \right. \\ & \left. [(1-\gamma)p((1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^* - \phi(Z_{\gamma-\eta}^*)) - (1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^*]\sigma\sqrt{\frac{1}{r+n}} \right\} \end{aligned}$$

将上式对 n 求导,得到

$$-k + [(1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^* - (1-\gamma)p] \left((1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^* - \phi(Z_{\gamma-\eta}^*) \right) \sigma \left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \right)$$

与系统集中决策下的最优信息预测水平的求解相似,最优的信息预测水平就是当信息预测带

来的边际价值小于或等于信息预测边际成本 k 时的 n

$$n_{\gamma-\eta}^* = \min \left\{ N \operatorname{argmin} \left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \leq \frac{k}{[(1-\eta)(w-(1-\gamma)p)Z_{\gamma-\eta}^* + (1-\gamma)p\phi(Z_{\gamma-\eta}^*)]\sigma} \right) \right\}$$

命题2 在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下,收益共享契约下风险规避的零售商需要的信息预测水平高于风险中立时的水平,即 $n_{\gamma-\eta}^* \geq n_{\gamma}^*$,且信息预测水平 $n_{\gamma-\eta}^*$ 随风险厌恶因子 η 减小而增加.

证明 $\frac{\partial Z_{\gamma-\eta}^*}{\partial \eta} = \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} \frac{1}{\phi(Z_{\gamma-\eta}^*)}$,

$$\frac{\partial \phi(Z_{\gamma-\eta}^*)}{\partial \eta} = \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} (-Z_{\gamma-\eta}^*)$$

令

$$h(\eta) = (1-\eta)(w-(1-\gamma)p)Z_{\gamma-\eta}^* + (1-\gamma)p\phi(Z_{\gamma-\eta}^*)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h(\eta)}{\partial \eta} &= -(w-(1-\gamma)p)Z_{\gamma-\eta}^* + (1-\eta) \times \\ & \quad (w-(1-\gamma)p) \frac{\partial Z_{\gamma-\eta}^*}{\partial \eta} + (1-\gamma)p \frac{\partial \phi(Z_{\gamma-\eta}^*)}{\partial \eta} \\ &= -\frac{(1-\eta)}{(1-\gamma)p} [w-(1-\gamma)p]^2 \frac{1}{\phi(Z_{\gamma-\eta}^*)} < 0 \end{aligned}$$

$$l(n_{\gamma-\eta}^*) =$$

$$\frac{k}{[(1-\eta)(w-(1-\gamma)p)Z_{\gamma-\eta}^* + (1-\gamma)p\phi(Z_{\gamma-\eta}^*)]\sigma}$$

则有 $\frac{\partial l(n_{\gamma-\eta}^*)}{\partial \eta} = -\frac{\partial h(\eta)}{\partial \eta} \frac{k}{(h(\eta)\sigma)^2} > 0$.

$l(n_{\gamma-\eta}^*)$ 随 η 减小而减小;而 $l(n_{\gamma-\eta}^*)$ 越小,

$$\operatorname{argmin} \left[\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \right] \text{ 越大.}$$

$$\text{故 } \operatorname{argmin} \left[\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \right] \text{ 随 } \eta \text{ 减小}$$

而增大.当 $\eta = 1$ 时,有 $n_{\gamma-\eta}^* = n_{\gamma}^*$,因为 $0 < \eta \leq 1$ 故有 $n_{\gamma-\eta}^* \geq n_{\gamma}^*$.

当零售商是风险规避时,为了减少对于未来的需求预测的不确定性,零售商愿意多聘请专家进行预测,以减少风险.特别当 $\eta < 1$ 时, $n_{\gamma-\eta}^*$ 随着 η 的减少而增加,零售商的风险厌恶程度越大,对需求预测水平要求越高,对需求信息预测投入越多.

命题3 在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下,收益

共享契约下风险厌恶的零售商的订货量低于风险中立时的订货量,且在相同信息预测水平下,零售商的订货量随着风险厌恶因子 η 的减小而减小.

证明 在收益共享契约下,根据 Qi 提出的模型,在预测信息 $x_1, \dots, x_{n_{\gamma}^*}$ 下,风险中立的零售商的订货量为 $E_{\xi | x_1, \dots, x_{n_{\gamma}^*}} y_{\gamma}^* = \mu_0 + Z_{\gamma}^* \sigma \sqrt{\frac{1}{r+n_{\gamma}^*}}$.

在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下,风险厌恶的零售商在预测 $x_1, \dots, x_{n_{\gamma-\eta}^*}$ 下,订货量为 $E_{\xi | x_1, \dots, x_{n_{\gamma-\eta}^*}} y_{\gamma-\eta}^* =$

$$\mu_0 + Z_{\gamma-\eta}^* \sigma \sqrt{\frac{1}{r+n_{\gamma-\eta}^*}}.$$

$$\text{因为 } 0 < \eta \leq 1, Z_{\gamma-\eta}^* = \Phi^{-1} \left(\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} \right) \leq$$

$$\Phi^{-1} \left(\frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} \right) = Z_{\gamma}^*.$$

$$\text{由命题2知 } Z_{\gamma-\eta}^* = \Phi^{-1} \left(\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} \right) \text{ 随}$$

η 减小而减小.故 $Z_{\gamma-\eta}^* \sigma \sqrt{\frac{1}{r+n_{\gamma-\eta}^*}}$ 随 η 减小而减小,命题3得证.

$$\text{在需求信息预测下, } Z_{\gamma-\eta}^* = \Phi^{-1} \left(\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} \right)$$

表示零售商的期望订货量受风险偏好的影响.为了规避风险,零售商的风险厌恶程度越高,订货量越低.

本研究建立的需求信息预测投入和订货量的联合决策随机模型中,未考虑缺货惩罚,零售商只承担订货过量的风险.随着风险厌恶程度增加,零售商为了降低订货过量的风险,减小订货量,同时希望提高需求信息预测水平,减小需求不确定带来的风险.

2.2 收益共享契约下风险厌恶的零售商与风险中立的供应商的供应链协同

命题4 在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下:

1) 当 $\frac{p-c}{p} < \eta \leq 1$ 时,收益共享契约可以进行供应链协同,其中供应商所获得的收益率 γ 满足 $\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} = \frac{p-c}{p}$,且 $0 \leq$

$$\frac{p\gamma\phi(Z^l) + (1-\eta)[(1-\gamma)p-w]Z^l}{p\phi(Z^l)} \leq \frac{k_{n-1}-k}{k_{n-1}},$$

零售商所得到的利润占集中决策下系统整体利润的百

$$\text{分比不少于 } \frac{-kn+(1-\gamma) \frac{p-c}{\eta} \frac{k}{k_{n+1}} \sigma \sqrt{\frac{1}{r+n}}}{-kn+(p-c)\mu_0 - p\phi(Z') \sigma \sqrt{\frac{1}{r+n}}};$$

2) 当 $0 \leq \eta < \frac{p-c}{p}$ 时 收益共享契约无法实现供应链协同.

证明 1) 在收益共享契约下 ,对风险厌恶零

$$-k - [(1-\gamma)p((1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^* - \phi(Z_{\gamma-\eta}^*)) - (1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^*] \sigma \left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \right) \leq 0$$

$$-k - [(1-\gamma)p((1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^* - \phi(Z_{\gamma-\eta}^*)) - (1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^*] \sigma \left(\sqrt{\frac{1}{r+n-1}} - \sqrt{\frac{1}{r+n}} \right) > 0$$

由此可得 $\frac{k}{k_{n-1}} \leq \frac{(1-\gamma)p[\phi(Z_{\gamma-\eta}^*) - (1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^*] + (1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^*}{p\phi(Z')} \leq \frac{k}{k_n}$

整理后得到

$$0 \leq \frac{p\gamma\phi(Z_{\gamma-\eta}^*) + (1-\eta)[(1-\gamma)p-w]Z_{\gamma-\eta}^*}{p\phi(Z')} \leq \frac{k_{n-1}-k}{k_{n-1}} \tag{6}$$

当 $\eta > \frac{p-c}{p}$ 时 ,供应链系统要达到协同水平 ,则要求信息预测水平和零售商订货量同时为系统的最优信息预测水平和最优订货量 . 则有 $n_{\gamma}^* = n^l$ 且 $y_{b-\eta}^* = y^l$, 即有 $Z_{\gamma}^* = Z^l$, 将 $\eta \times \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} = \frac{p-c}{p}$ 代入式 (6) 整理后有

$$0 \leq \frac{p\gamma\phi(Z^l) + \frac{1-\eta}{\eta}(1-\gamma)(p-c)Z^l}{p\phi(Z')} \leq \frac{k_{n-1}-k}{k_{n-1}} \tag{7}$$

将式 (7) 代入风险厌恶零售商的利润函数中可得到当 $k_n \leq k < k_{n-1}$ $n = 1; \dots; N$ 供应链协同下零售商所得到的最小收益不能低于供应链的总体收益的比例 . 而当 $(k \geq k_0)$ 时 ,信息预测的成本大于边际收益 供应链系统不会进行信息预测 退化为一般的风险厌恶的零售商的收益共享契约协同.

2) 当 $\eta < \frac{p-c}{p}$ 时 ,同上分析 ,供应链如果达到协同则有 $\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} = \frac{p-c}{p}$, 即 $\frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} > 1$, 则 $w < 0$. 零售商的订货量会远远高于系统的最优订货量 ,故此时收益共享契约无法实现供应链协同.

2.3 收益共享和信息预测成本共担组成的联合契约的供应链协同

由命题 4 知 ,传统的收益共享契约只能在满

售商的期望利润函数求导得

$$-k + [(1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^* - (1-\gamma) \times p((1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^* - \phi(Z_{\gamma-\eta}^*))] \times \sigma \left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \right)$$

容易验证零售商的期望利润函数是离散凸的 . 故最优信息预测水平 n 一定是使上式非正的最小整数 . 则有

足一定条件下才能达到供应链协同 . 根本原因是供应商与零售商分享了基于信息预测的销售带来的收益 ,但信息预测成本却全部由零售商一个人承担 . 故在此情况下 ,在传统的收益共享契约中引入信息预测成本分担机制 ,供应商和零售商共同分担信息预测成本和市场不确定性引起的风险 .

供应商不仅采用收益共享契约分担零售商的销售风险 ,且与零售商分担信息预测成本 ,零售商的期望利润为

$$\max_{n \in \{0, 1, \dots, n\}} \{ -(1-\alpha)kn + E_{x_1, \dots, x_n} \times \max_{y \geq 0} [E_{\xi | x_1, \dots, x_n} ((1-\gamma)p \min(\xi, y)) - wy] \}$$

其中 α 为供应商分担信息预测成本的比例 .

命题 5 在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下 ,分散决策下零售商在收益共享契约和预测信息成本共担机制下的最优订货量为 $y_{\gamma-\eta}^{\alpha*} = \mu_n + Z_{\gamma-\eta}^{\alpha*} \sigma_n$, 其中 $Z_{\gamma-\eta}^{\alpha*} = \Phi^{-1} \left(\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} \right)$, 最优信息预测水平为

$$n_{\gamma-\eta}^{\alpha*} = \min \left\{ N, \operatorname{argmin} \left(\sqrt{\frac{1}{r+n}} - \sqrt{\frac{1}{r+n+1}} \leq \frac{(1-\alpha)k}{[(1-\eta)wZ_{\gamma-\eta}^* - (1-\gamma)p((1-\eta)Z_{\gamma-\eta}^* - \phi(Z_{\gamma-\eta}^*))] \sigma} \right) \right\}$$

命题5的证明与命题1的证明类似.

命题6 在 $\eta - CVaR$ 风险度量准则下,当 $\frac{p-c}{p} < \eta \leq 1$ 且 $p-c < \eta(p-w)(1-\eta)wZ^l - (1-\gamma)p((1-\eta)Z^l - \phi(Z^l)) \geq p\phi(Z^l)$ 时,收益共享契约和信息预测成本分担机制可以实现供应链协同. 其中供应商所获得的收益率 γ 和批发价 w 满足 $\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} = \frac{p-c}{p}$, 且 $\alpha = 1 - \frac{(1-\eta)wZ^l - (1-\gamma)p((1-\eta)Z^l - \phi(Z^l))}{p\phi(Z^l)}$.

证明 当供应链系统达到协同水平时,分散决策下,信息预测水平和订货量同时为系统的最优信息预测水平和最优订货量. 则有 $n_{\gamma-\eta}^* = n^l$ 和 $y_{b-\eta}^* = y^l$, 即有 $Z_{\gamma-\eta}^* = Z^l$, 即 $\eta \frac{(1-\gamma)p-w}{(1-\gamma)p} = \frac{p-c}{p}$ 则可得到 $1-\gamma = \frac{w\eta}{c-p(1-\eta)}$ 因为 $0 \leq \gamma \leq 1$ 则可推出 $p-c < \eta(p-w)$. 同时为了让批发价 $w > 0$ 则有 $\frac{p-c}{p} < \eta \leq 1$ (见命题4证明).

当供应链系统达到协同水平时有 $Z_{\gamma-\eta}^* = Z^l$, 由 $n_{\gamma-\eta}^* = n^l$, 可推出 α .

当风险厌恶因子和批发价满足一定条件后,在传统收益共享契约下,分散决策下风险厌恶的零售商的信息预测水平高于集中决策下的系统最优水平时,可以通过预测信息成本分担机制使得供应链协同.

3 数值算例

假设需求服从均值 $\mu_0 = 100$, 方差为 $\sigma = 50$ 的正态分布. 供应商的批发价为 $w = 5$, 产品的生产成本 $c = 4$, 零售价分别为 $p = 18$ $p = 10$. 零售商聘请信息预测专家的单位成本 $k = 10$, 信息预测偏差 $r = 0.25$. $\gamma = 0.3$ 意味零售商将收益的30%分享给供应商,作为对供应商较低批发价的补偿. 供应商是风险中立的,而零售商是风险厌恶的,且其风险厌恶系数 $\eta \in (0, 1]$. 图1和图2

说明了风险态度对信息预测水平和订货量的影响. 与文中命题2、命题3一致,随着风险厌恶程度增加,零售商愿意加大信息预测投入,提高信息预测水平,减小需求的不确定性. 同时零售商会降低订货量,规避订货过量的风险. 图1和图2还显示了较高零售价的产品增加了零售商的单位利润空间,当零售商风险厌恶程度减小时,高利润产品的订货量增加幅度远大于低利润产品的订货量增加幅度. 同时高利润产品使得零售商愿意加大信息预测的投入. 故高利润产品的订货量和信息预测水平更容易受到零售商风险态度的影响.

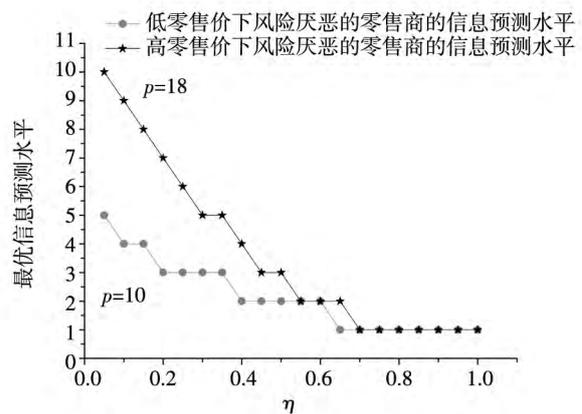


图1 零售价和风险厌恶程度对信息预测水平的影响
Fig. 1 Effect of price and η on information acquisition level

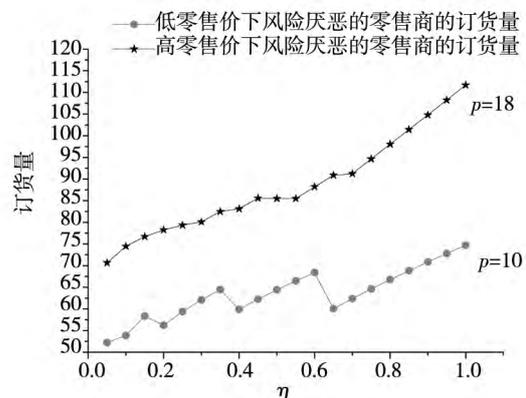


图2 零售价和风险厌恶程度对订货量的影响
Fig. 2 Effect of price and η on order quantity

$\gamma = 0.1$ $\gamma = 0.35$ 意味零售商将收益的10%和35%分享给供应商,作为对供应商较低批发价的补偿. 图3和图4说明了当零售商是风险厌恶

时,高收益率下零售商的产品单位利润空间较大,故订货量和信息预测水平都高于低收益率下的水平.当产品属于完全竞争商品,价格完全由市场决定时,供应商可以通过让零售商收益率提高而减少风险厌恶引起的负面影响.

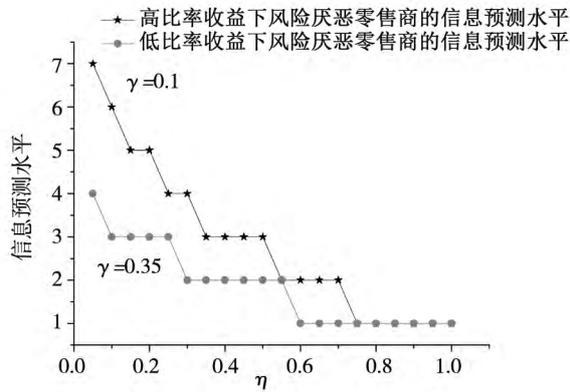


图 3 收益比例和风险厌恶程度对信息预测水平的影响
Fig. 3 Effect of γ and η on information acquisition level

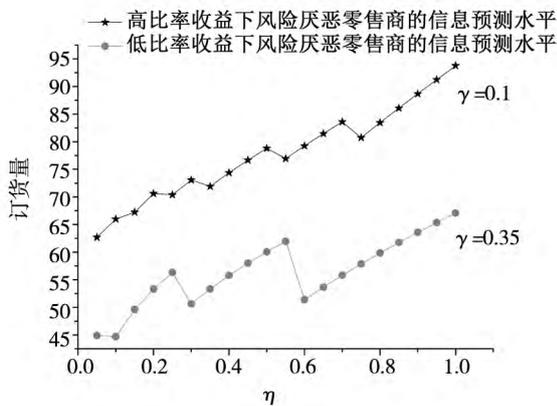


图 4 收益比例和风险厌恶程度对订货量的影响
Fig. 4 Effect of γ and η on order quantity

图 5 和图 6 显示了当零售商是风险规避时,零售商和供应商的利润均随零售商收益率增加而增加.当供应商按更高的比例将收益分配给零售商时,尽管供应商从单位产品获得的利润减小,但收益比例的增加使得零售商订货过量的风险减小.一方面零售商会增加订购量,另一方面会增加信息预测的投入.订货量的增加和信息预测水平的提高,使得供应链的整体收益提高更快.特别随着风险厌恶程度增加,高收益比例消除零售商风险规避的负面影响较为显著.如图 5 和图 6

所示,信息预测带来的供应链整体利润提高使得供应商与零售商的利润都分别提高,实现双赢.

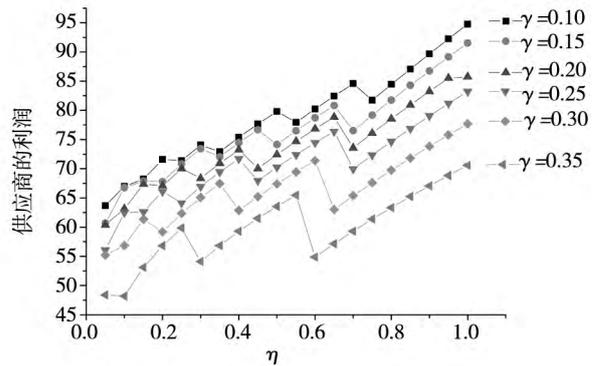


图 5 收益比例和风险厌恶程度对供应商利润的影响
Fig. 5 Effect of γ and η on supplier's profits

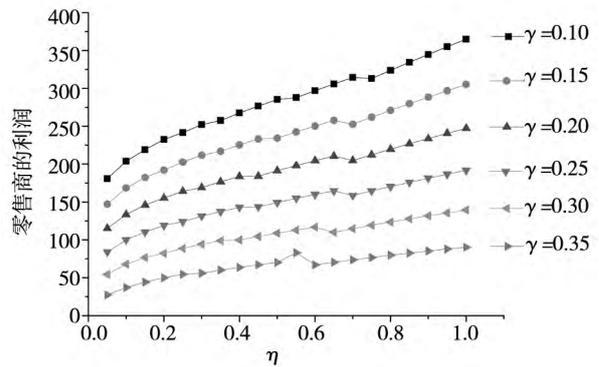


图 6 收益比例和风险厌恶程度对零售商利润的影响
Fig. 6 Effect of γ and η on retailer's profits

假设需求服从均值 $\mu_0 = 100$, 方差为 $\sigma = 50$ 的正态分布. 供应商的批发价为 $w = 1$, 产品的成本 $c = 4$, 零售价 $p = 9$. 零售商聘请信息预测专家的单位成本 $k = 10$, 信息预测偏差 $r = 0.25$. 供应商是风险中立的, 而零售商是风险厌恶的, 其风险厌恶系数 $\eta \in (0, 1]$. 供应商试图通过提供合理的收益共享和信息预测成本共担联合契约, 使得零售商的订货量和信息预测水平达到系统中立时的最优水平. 根据命题 6 可计算得出表 1. 表 1 中随着零售商的风险厌恶水平增加, 零售商的收益率提高, 增加零售商单位产品的利润以吸引零售商增加订货量, 同时减少零售商对信息预测成本的分担比率, 提高信息预测水平, 实现供应链协同.

表1 不同风险厌恶程度下联合契约协同参数设置

Table 1 Parameters on joint contract coordination under various risk averse degree

| η | <0.6 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1 |
|--------------------------|------|---------|-----------|---------|---------|---------------|---------|---------|---------|
| $w_{\gamma-\eta}^*$ | × | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| γ_{η}^* | × | 0.235 | 0.462 | 0.571 | 0.636 | 0.679 | 0.710 | 0.732 | 0.750 |
| $\alpha_{\gamma-\eta}^*$ | × | 0.996 | 0.986 | 0.980 | 0.978 | 0.976 | 0.974 | 0.973 | 0.972 |
| $n_{\gamma-\eta}^*$ | × | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| $y_{\gamma-\eta}^*$ | × | 103.388 | 103.388 | 103.388 | 103.388 | 103.388 | 103.388 | 103.388 | 103.388 |
| | | | $n^I = 4$ | | | $y^I = 103.4$ | | | |

4 结束语

本文建立了零售商为风险厌恶情况下的需求信息预测投入和订货量联合决策的随机模型,并分析了集中决策下和分散决策下的最优订货量和信息预测水平。结果显示随着风险厌恶程度增加零售商的减少订货量以降低订货过量带来的风险,同时提高信息预测水平,以减少市场不确定性

带来的风险。本研究提出通过收益共享契约,在一定条件下可进行供应链协同,但对参数设置要求较高,适用范围较小。进而提出收益共享和信息预测成本共担的联合契约,使得供应链在更大的范围内能进行协同。

本文考虑的信息预测成本为常数,现实中预测成本随着预测精度的提高而提高,考虑可变信息预测成本下,风险态度对零售商的订货量和信息预测投入是今后值得进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] Lariviere M. Inducing forecast revelation through restricted returns [R]. Working Paper, Northwestern University.
- [2] Li Y, Zhu K. Information acquisition in new product introduction [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 198(2): 618-625.
- [3] Fu Qi, Zhu K. Endogenous information acquisition in supply chain management [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 201(2): 454-462.
- [4] Rockafellar R T, Uryasev S. Optimization of conditional value-at-risk [J]. Journal of Risk, 2000, 2: 21-42.
- [5] Rockafellar R T, Uryasev S. Conditional value-at-risk for general loss distributions [J]. Journal of Banking and Finance, 2002, 26: 1443-1471.
- [6] 汪寿阳, 张维, 杨晓光, 等. 金融系统工程与风险管理 [J]. 管理科学学报, 2012, 15(11): 1-2.
Wang Shouyang, Zhang Wei, Yang Xiaoguang, et al. Financial systems engineering and risk management [J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(11): 1-2. (in Chinese)
- [7] Chen X, Sim M, Simchi-Levi D, et al. Risk aversion in inventory management [J]. Operations Research, 2007, 55(5): 828-842.
- [8] 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): 2296-2307.
Lin Qiang, Ye Fei, Chen Xiaoming. Decision models for supply chain based on CVaR and revenue sharing contract under stochastic elastic demand [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2011, 31(12): 2296-2307. (in Chinese)
- [9] 安智宇, 周晶. 考虑供应商违约风险的 CVaR 最优订货模型 [J]. 中国管理科学, 2009, 17(2): 66-70.
An Zhiyu, Zhou Jing. Manufacturer's procurement decision based on CVaR for supplier with default risk [J]. Chinese Journal of Management Science, 2009, 17(2): 66-70. (in Chinese)
- [10] 李绩才, 周永务, 肖旦, 等. 考虑损失厌恶——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): 71–82. (in Chinese)
- [11] Chen Y F, Xu M, Zhang Z G. Technical note: A risk-averse newsvendor model under the cvar criterion [J]. *Operations Research*, 2009, 57(4): 1040–1044.
- [12] 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)
- [13] 艾兴政, 马建华, 唐小我. 不确定环境下链与链竞争纵向联盟与收益分享 [J]. *管理科学学报*, 2010, 13(7): 1–8.
Ai Xingzheng, Ma Jianhua, Tang Xiaowo. Vertical alliances and revenue sharing of chain to chain competition under uncertainty [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(7): 1–8. (in Chinese)
- [14] Choi T M, Li D, Yan H, et al. Channel coordination in supply chains with agents having mean-variance objectives [J]. *Omega*, 2008, 36(4): 565–576.
- [15] Winkler R L. Combining probability distributions from dependent information sources [J]. *Management Science*, 1981, 27(4): 479–488.
- [16] Clemen R T, Winkler R L. Limits for the precision and value of information from dependent source [J]. *Operations Research*, 1985, 33(2): 427–442.
- [17] Zhu K, Thonemann U W. Modeling the benefits of sharing future demand information [J]. *Operations Research*, 2004, 52(1): 136–147.

Coordination of supply chains with endogenous investment in information acquisition and order quantity

XIAO Qun^{1,2}, MA Shi-hua²

1. School of Business, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China;
2. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: Under the conditional Value-at-risk (CVaR) criterion, a risk-averse retailer who jointly determines the investment of demand information forecasting and the product order quantity from a supplier is studied. The impacts of the risk-averse degree on the retailer's optimal investment in information forecasting and optimal order policy are analyzed. The results show that under the decentralized decision situation, the investment in information forecasting is increasing in the retailer's risk-averse degree in order to reduce the demand uncertainty risk, whereas the order quantity is decreasing in risk-averse degree to reduce the risk of over-quantity order. It is found that a revenue sharing contract can achieve the coordination of the risk-averse supply chain under certain business conditions. Furthermore, a revenue sharing and cost sharing contract is designed, compared with the traditional revenue sharing contract, the new combined contract can achieve the coordination of the risk-averse supply chain in a wider range and eliminate the risk-averse and double marginal effects, so that the retailer chooses the same investment in information forecasting and order quantity as in a risk-neutral centralized system.

Key words: information forecast; risk averse; revenue sharing; cost sharing; supply chain coordination