

考虑潜在突发危机的供应链事前优化决策

杜少甫, 朱贾昂, 梁 樾, 董 雨, 刘天

(中国科学技术大学 管理学院, 合肥 230026)

摘 要 考虑潜在突发危机 市场需求的双向影响, 提出了突发危机依赖需求并特别关注到了伴随突发危机可能出现的负需求现象, 供应链双方 据 突发危机和市场相关信息的收集、分析 共享, 形成 突发危机随机性以及需求的危机依赖性的共同信念. 以此为基础构建报童 景下的分析模型, 探讨了双方的博弈过程, 揭示了潜在突发危机 供应链成员的事前决策 博弈均衡结果的影响. 此外, 通过数值分析说明了所构建的模型的应用, 并证实讨论了潜在突发危机的随机特征的影响.

关键词 供应链; 突发危机; 突发危机依赖需求; 报童; 博弈

Ex-ante optimal decision-makings for two-level supply chain with potential disruptions

DU Shao-fu, ZHU Jia-ang, LIANG Liang, DONG Yu, LIU Tian-zhuo

(School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract Considering the bidirectional influence of potential sudden crisis on market demand, a model of sudden crisis dependent demand is proposed, which particularly focuses on the negative demand phenomenon that may occur along with sudden crisis. According to the collection, analysis and sharing of information about sudden crisis and market, a common belief of sudden crisis randomness and crisis dependency of demand is formed. On this basis, an analytical model is constructed under the newsboy scenario. The game process between two parties is discussed, and the impact of sudden crisis on the equilibrium results of the game is revealed. In addition, the application of the constructed model is explained by numerical analysis, and the impact of the stochastic characteristics of potential sudden crisis is verified and discussed.

Key words supply chain; sudden crisis; sudden crisis dependent demand; newsboy; game

1 引言

市场环境杂多变, 存在诸多不确定因素. 这些不确定性有可能源自运作系统内部因素, 也可能是受到某些外部突发危 (自然灾) 的冲 所致. 对于 应链系统而言, 其最直接的表现就是需求不确定性, 进而在 散 策情况下引起双重边 , 致使 应链整体效率降低^[1-2]. 问题受到 术界 产业界的 度 注. 近二十年来, 许多 者围绕 应链 散 策问题开展了大量的研究, 以揭示双重边 的 源, 寻求提升 应链效率甚至是促成 应链协调的有效途径, 典型的 应链契约、信息 享等. Pasternack^[3] 最早明确提出 应链契约 协调, 指出通 特定的契约安排, 应链协调状态是可达到的, 并发展出 契约. 之 , 许多 者提出 种能促成协调的契约形式, 种新契约形式都是在报童背景下深入讨论批发 契约 的基础上提出的. 报童问题 单周期库存问题, 其结 单、具有 强的代表性 可扩展性, 而在 应链相 研究中常被首先考虑. Cachon^[4] 认为报童问题虽然 单, 但对 应链契约研究已经 . Su^[5] 也认为报童模型是 应链契约研究不可缺少的 . 同时, Cachon^[4] 认为批发 契约作为契约安排的一种, 虽然无法实现 应链协调, 但因其 在实 中 存在 易 理性而仍然值得深入研究, 当伴随协调性契约的

收稿日期: 2011-09-26

资助项目: 自然科学基金 (70901067); 教育部博士点 金 (20093402120012); 自然科学基金创新研究群体科学 金 (70821001); 中央 校 本科研业务 专项资金 (WK2040150006)

作者简介: 杜少 (1980), 男, 安 山人, 博士, 教授, 研究兴趣: 应链, 行为运作, E-mail: dsyf@ustc.edu.cn; 朱 昂 (1987), 男, 安 宿州人, 士研究生; 梁樾 (1962), 男, 北京人, 博士, 教授, 博士生导师; 董雨 (1968), 男, 安 阳人, 博士, 教授; 刘天卓 (1978), 男, 龙江讷 人, 博士, 教授.

理成本超 潜在的利润提升时, 应商就 倾向于批发 契约. 这也使得报童背景下的批发 契约问题深受 者 注. 问题本质上属于 Stackelberg 博弈.

统的 应链研究往往是针对常 场 境的, 然而近年来突发危 (包括自然灾 汶川地震、 典事 等, 场震动 三聚氰氨事 、台湾塑 波等) 频发, 对人们的生产生 造成了巨大 响, 应链运作受突发危 响的例子也不胜枚举. 因此, 越来越多的 者开始 注 应链危 应 问题. Causen 等^[6] 最早提出应 理 (disruption management) 念, 然而针对 应链运作中的应 理研究尚处起步阶^[7]. 值得一提的是, 在此研究 向上 内 外的进展 本保持同步. Qi 等^[8] 首次探讨了受危 响的 应链契约 协调问题, 研究了在确定的 性需求 数情形下 应链运用数量折扣契约应对突发危 事 . 近年来 应链危 应 问题也吸引了 内研究 者的研究兴趣. 于 等^[7,9-10] 在 种 统 应链契约 础上考虑了突发危 事 对 场需求的 响, 进而提出了 应链对突发危 事 的事 最优应对策略, 并重 出具有抗危 性且鲁棒性的新协约形式.

综上所述, 目前 应链危 应 理的研究越来越受到 注. 现有相 研究多 中在危 事 发生 的事 应对, 而在突发危 事 发生之前考虑其对 应链运作的 响进而做出事前优 策的文章 少 . Chen Yano^[1] 在这 面做了 的尝试性研究, 讨论了需求不确定性源自天气的 应链效率提升 险 理问题. Buzna 等^[11] 研究发现虽然危 灾难具有突发性, 但它们往往表现出一些特征. 许多自然科 社 科 领域的研究均发现: 通常对于特定危 事 而言, 其发生频率 严重程度之 往往具有 律 (power law) 系, 这在现实中有大量的统 数据支持, 例 : 地震统 中著名的 G-R 定律^[12]、社 财 Pareto 布 (著名的“二八律”)^[13-14] 等. 实 也证实, 突发危 事 发生之前往往有 种征兆 (先验信息). 通 收 析这些信息, 人们往往形成对突发危 事 发生的一种主 信念 (通常可形式 为主 率 曲 拟). 尽 有可能 现实存在差距, 但正是这种主 信念将直接 响到 策主体的 策行为.

本文将考虑潜在突发危 对 场需求的双向 响, 提出突发危 依赖需求并特别 注到了伴随突发危 可能出现 的需求现象. 以此为 础 建两阶 应链下的报童模型, 析 应链双 的博弈 程, 并探讨突发危 的随 特征 需求的危 依赖性对 策的 响. 于 等^[7,9-10] 的研究 注的是突发危 事 一旦发生的 应对 契约设 问题, 同时他们对“ 场 模增大 (少)”的理解 (文献 [7] [10]) 隐 略了突发危 对 场波动性的 响. 本文则 注于 策主体 据对潜在突发危 以 需求的危 依赖性的信念做出事前优 策, 并且考虑到突发危 对 场波动性的 响.

2 问题描述与假设参数

本文考虑 应链-零售商两阶 应链情形, 场需求具有 节性, 销售 节内有潜在突发危 发生的可能性, 场需求 受到突发危 严重程度的 响, 这种 响是双向的, : 有可能促使需求 模增大 小. 为刻 场需求对危 的双向依赖, 不 允许销售 节潜在突发危 的严重程度 在整 实数域取值. 无论是正向危 是 向危 , 程度越 , 需求 模受 响越大. 伴随着销售 节内潜在突发危 的发生, 有可能出现 需求现象 (比 退 、召 等), 这在现实生 中存在, 例 : 三聚氰氨事 、 田召 事 、台湾塑 波等, 而在 统 应链研究中较少

012

$f_s(s) = \frac{1}{s} \phi\left(\frac{s-\mu_s}{s}\right)$, $F_s(s) = \Phi\left(\frac{s-\mu_s}{s}\right)$, 其中 $\phi(\cdot), \Phi(\cdot)$ 别为标准正态 布的 率密度 数 累 布 数. 事实上, 若考虑 种突发危 的综 响而 特定危 的单一 响, 中心 限定理可为此 设的 理性 提 理论支持.

3 分析模型

为便于讨论而不失一般性, 不 考虑 应链双 对突发危 依赖需求的主 信念通 下 数拟 反映 (图 1).

$$D(s) = \mu_0 + \alpha s^n \quad (1)$$

其中 μ_0 为常 场需求 模, 正数 α 正奇数 别为需求对突发危 的敏 系数 敏 指数, 反映出 需求受突发危 的 响程度; 敏 指数 为正奇数确 保了需求对突发危 的双向依赖性.

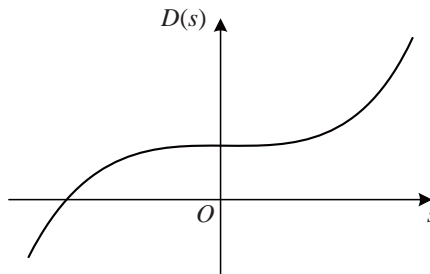


图 1 危机依赖的需求曲线

在此情况下, 需求 布 危 布存在 下 系:

$$F(x) = P(X \leq x) = P\left(\mu_0 + \alpha X^n \leq x\right) = F_s\left(\sqrt[n]{\frac{x - \mu_0}{\alpha}}\right) \quad (2)$$

$$f(x) = 1 - F(x) = 1 - F_s\left(\sqrt[n]{\frac{x - \mu_0}{\alpha}}\right) \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha^{1/n} \sqrt[n]{(x - \mu_0)^{(n-1)}}} f_s\left(\sqrt[n]{\frac{x - \mu_0}{\alpha}}\right) \quad (4)$$

零售商决策

零售商期望利润水平 π_r 为

$$\pi_r = p Q(s) - c_1 s \quad (5)$$

其中 $Q(s)$ 为在突发危 依赖需求 () 下订 策为 s 时的期望销售量. 值得一提的是, 由于存在 需求的可能性, 则期望销售量 统的 应链研究有所不同,

$$Q(s) = [F(x) \wedge q] = \int_{-\infty}^q x f(x) dx + \int_q^{+\infty} q f(x) dx = q - \int_{-\infty}^q x f(x) dx \quad (6)$$

不 仍然有 $Q'(s) = -f(s)$, 对 析没有明显 响. 零售商期望利润的一阶条 为

$$Q'(s) = -f(s) = -\frac{1}{\alpha^{1/n} \sqrt[n]{(x - \mu_0)^{(n-1)}}} f_s\left(\sqrt[n]{\frac{x - \mu_0}{\alpha}}\right)$$

$$F_s(\eta(w)) = 1 - \frac{w}{s(\eta)}, \text{ 考虑到累 布 数 嵌套 数 质 } \frac{F_s}{w} = -s'(\eta), \frac{F_s(w)}{w} = \frac{F_s}{w},$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial w} = \frac{\partial F_s(\eta(w))}{\partial F_s} / \frac{\partial F_s}{\partial \eta} = -\frac{1}{s'(\eta)}$$

则 商利润 批发的 阶条

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial w} = 0 + \eta^{\alpha-1} \left\{ 1 - \frac{w}{s(\eta)} \cdot \frac{s'(\eta)}{s(\eta)} \right\} = 0 \tag{12}$$

常 的 双 钟 布 (正 态 布; 状 参 数 大 于 1 的 Gamma、Erlang、Weibull 布 等) 的 失 败 率 递 增 (IFR)^[4]. 针 对 此 情 可 出 命 题.

命题 若潜在突发 从递增失败率的双钟布, 则 商利润 批发 单 的 充 条 是 率 对 统 .

证明 商利润 批发 的二阶偏导

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial w^2} = -\frac{\eta^{\alpha-1}}{s(\eta)} \left\{ 2 + \frac{w}{s(\eta)} \left[\frac{s''(\eta)}{s'(\eta)} - \frac{(\alpha-1)}{\eta s(\eta)} \right] \right\} \tag{13}$$

对 失 败 率 $r_s(\cdot) \equiv s'(\cdot)/s(\cdot)$ 递 增 的 双 钟 突 发 布,

$$r_s'(\cdot) = \frac{s''(\cdot)s(\cdot) + s'^2(\cdot)}{s^2(\cdot)} > 0 \Leftrightarrow \frac{s''(\cdot)}{s'^2(\cdot)} > -\frac{1}{s(\cdot)},$$

此,

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial w^2} < -\frac{\eta^{\alpha-1}}{s(\eta)} \left\{ 1 + \frac{w}{s(\eta)} \frac{(\alpha-1)}{\eta s(\eta)} \right\}.$$

当 $(\alpha-1) > 0$ 且 $r_s'(\cdot) < 0$ 时, 必

$$r_s'(\cdot) \equiv \frac{s''(\cdot)}{s'^2(\cdot)} < -\frac{1}{s(\cdot)} < 0,$$

则 此 时 二 阶 偏 导 < 0 , 商 利 润 对 批 发 具 单 .

在 命 题 4 所 示 条 件 下, 满 足 (12) 的 w^* 大 值 点, 若 $w^* \in (0, \infty)$, 则 商 最 批 发 策 略 $w^* = w^*$, 而 对 $w^* \notin (0, \infty)$, 虽 然 从 角 度 讲 w^* 将 在 边 值 处 取 得, 但 前 所 述, 这 都 将 导 致 交 叉 法 达 成, 失 去 了 实 效 .

值 得 进 步 说 明 的 是, 命 题 4 解 决 了 大 类 潜 在 突 发 问 题, 其 是 对 情 况 . 此 外, 命 题 4 出 的 是 商 利 润 单 的 充 必 条 件, 对 条 件 情 况 必 不 具 单 一 性, 使 对 多 情 况, 可 通 过 式 确 定 最 批 发 策 略.

$$w^* = \arg \max_w \pi_s(w), w \in (0, \infty), 0 + \eta^{\alpha-1} \left\{ 1 - \frac{w}{s(\eta)} \cdot \frac{s'(\eta)}{s(\eta)} \right\} = 0 \tag{14}$$

4 数值分析

为 了 说 明 本 模 型 的 实 效, 我 们 提 出 数 值 算 例: 若 产 品 场 售 价 $p = 100$, 生 产 成 本 $c = 20$, 常 求 $w_0 = 150$; 双 方 事 前 对 售 节 潜 在 突 发 的 同 意 表 示 $\mu_s = 0, \sigma_s = 2$ 的 正 态 分 布, $\eta \sim (0, 4)$, 并 通 过 对 场 突 发 的 了 解 对 突 发 的 场 求 数 据 拟 合, 求 受 突 发 的 程 度 $\alpha = 5$, 求 对 突 发 的 敏 感 程 度 $\beta = 3$, 则 求 率 $P_{NegativeDemand} = 6.01\%$. 双 方 展 开 Stackelberg 博 弈, 在 充 考 虑 到 零 售 商 对 产 品 批 发 的 反 应 情 况 下, 商 将 在 可 批 发 定 空 间 $w \in [20, 93.99]$ 内 制 订 出 最 批 发 策 略 $w^* = 77.58$. 在 此 批 发 策 略 下, 考 虑 到 潜 在 突 发 带 来 的 损 失, 零 售 商 制 订 最 订 量 $w^* = 132.58$. 此 时, $w^* = 132.58$.

表 1 潜在突发危机均值的影响

μ_s	$P_{NegativeDemand}$	$W_{upbound}$	W^*	q^*	π_s^*	π_r^*
-1.0	14.60%	85.4	65.59	120.72	5503.33	-2247.15
-0.8	12.43%	87.57	68.18	123.41	5945.91	-1503.20
-0.6	10.50%	89.50	70.68	125.94	6382.96	-894.63
-0.4	8.79%	91.21	73.09	128.31	6811.63	-404.58
-0.2	7.30%	92.70	75.39	130.52	7229.29	-17.44
-0.1	6.63%	93.37	76.50	131.57	7433.24	142.08
0	6.01%	93.99	77.58	132.58	7633.57	281.15
0.1	5.44%	94.56	78.63	133.56	7830.04	401.38
0.2	4.91%	95.09	79.65	134.50	8022.41	504.28
0.4	3.97%	96.03	81.60	136.26	8394.03	663.79
0.6	3.19%	96.81	83.43	137.89	8746.96	770.32
0.8	2.54%	97.46	85.15	139.38	9080.06	833.34
1.0	2.00%	98.00	86.74	140.74	9392.50	861.21

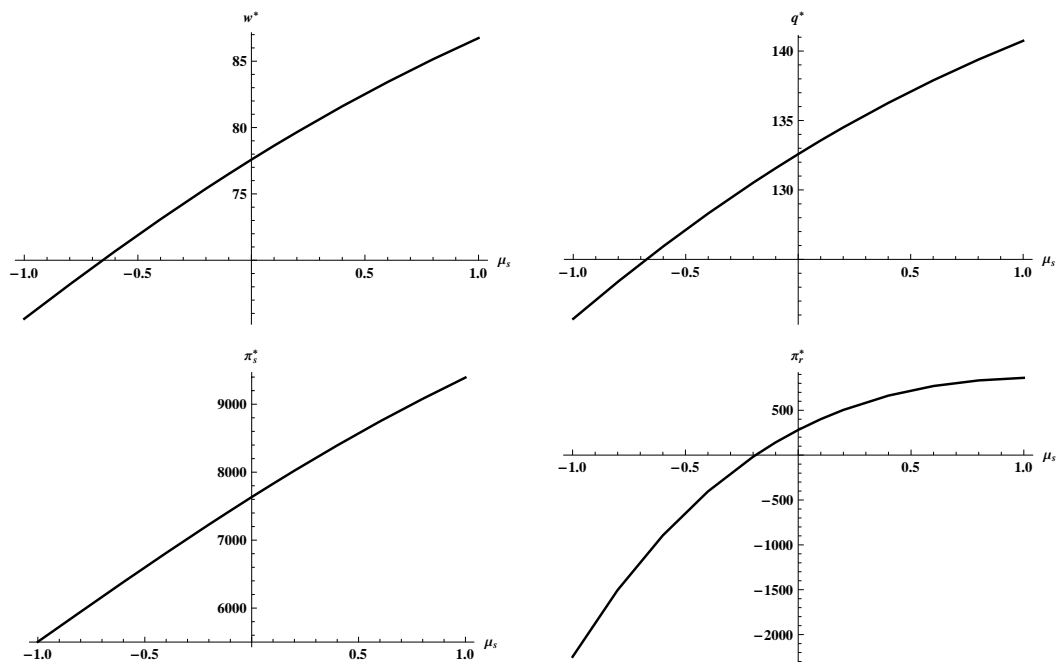


图 4 潜在突发危机均值影响 意图

表 2 图 5 显示了销售 节潜在突发危 的波动性 (标准差) 发生变 对均 结 的 响: 随着潜在突发危 波动性 σ_s 的上升, 需求出现的可能性明显增大, 伴随突发危 的 场 险越大, 零售商为控制 险 将 订 模, 为了 励零售商 订, 应商将通 降低批发的 式 担部 险, 应商期望利润水平降低, 而在 应商 担 险情况下零售商期望利润水平 先有所提升但最终 是逐渐下降, 其下降趋势明显甚至出现 利润的原因

表 2 潜在突发危机标准差的影响

s	$P_{NegativeDemand}$	$W_{upbound}$	w^*	q^*	π_s^*	π_r^*
0.5	$2.57 \times 10^{-}$	100	98.19	144.26	11279.36	254.262
0.75	$1.71 \times 10^{-}$	100	95.39	139.93	10549.19	593.059
1	0.09%	99.91	91.76	136.6	9802.25	937.464
1.25	0.65%	99.35	87.86	134.44	9123.01	1158.66
1.5	1.91%	98.08	84.08	133.23	8537.93	1161.64
1.75	3.79%	96.21	80.63	132.69	8045.37	883.595
2	6.01%	93.99	77.58	132.58	7633.57	281.15
2.25	8.36%	91.64	74.9	132.77	7288.92	-679.824
2.5	10.70%	89.3	72.57	133.12	6999.01	-2030.04

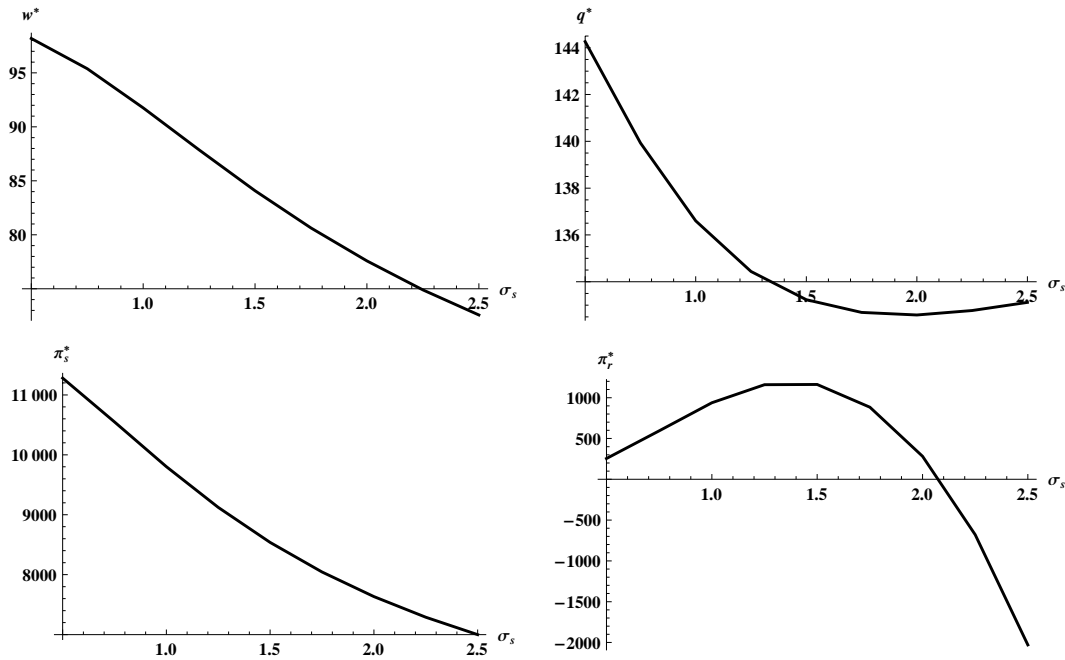


图 5 潜在突发危机标准差影响 意图

表 3 需求对突发危机的敏感系数的影响

k	$P_{NegativeDemand}$	$W_{upbound}$	w^*	q^*	π_s^*	π_r^*
0.2	$2.78 \times 10^{-}$	100	96.23	141.00	10748.92	497.325
0.4	0.02%	99.98	93.83	138.29	10210.52	754.631
0.6	0.08%	99.92	91.97	136.75	9841.35	920.965
0.8	0.21%	99.79	90.43	135.74	9559.39	1032.82
1.0	0.39%	99.61	89.11	135.02	9331.63	1107.52
2.0	1.75%	98.25	84.47	133.32	8595.16	1173.7
3.0	3.27%	96.73	81.47	132.77	8161.60	982.941
4.0	4.71%	95.29	79.28	132.60	7860.64	668.417
5.0	6.01%	93.99	77.58	132.58	7633.57	281.15
6.0	7.19%	92.81	76.19	132.65	7453.24	-153.779

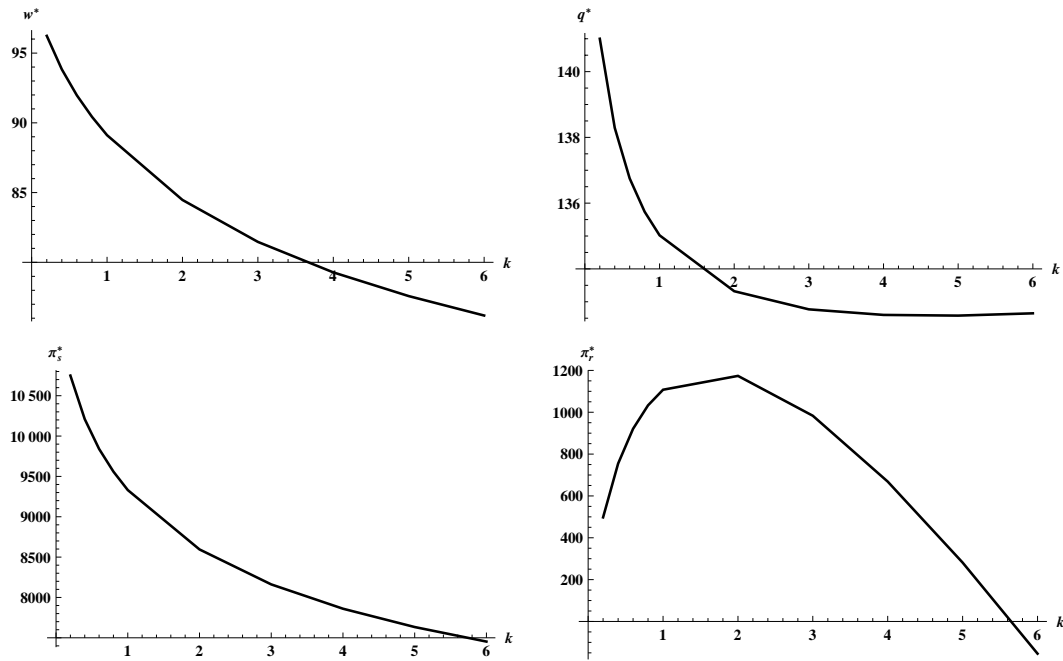


图 6 需求对突发危机的敏感系数影响 意图

5 结 与未来展望

本文考虑销售 节内潜在突发危 的情况下对 应链双 事前 策进行了深入的研究,提出了突发危 依赖需求并 注到伴随突发危 可能出现的需求现象, 应链双 据对突发危 场相 信息的收 、 析 享,形成对突发危 随 性以 需求的突发危 依赖性的 同信念. 以此 为 基 建报童背景 下的 析模型,探讨了双 的博弈 程,揭示了潜在突发危 响 应链成员的博弈均 结 . 文中指出为了应对销售 节潜在突发危 ,零售商最优订 量相对于常 情况 发生偏离,证实了潜在突发危 的 随 特征的显著 响. 通 数值 析证实:销售 节潜在突发危 的均值越大,期望 场 模将增大,零售商出于利 考虑 增 订 模,而 应商为了 享利 也 调 批发 ,双 的期望利润水平上升;销售 节潜在突发危 的波动性越大,零售商所面对的不确定性越大,零售商将 订 模以 避 险,而 应商也 通 调低批发 担部 险以 励零售商 订 , 应商的期望利润 下降,而零售商的期望利润则 先增 ;需求对突发危 越敏 ,潜在突发危 对 场需求 模 波动性的 响就 越明显,零售商为 避 险 订 模, 应商 调低批发 以 担 险, 应商的期望利润 越小,得 杜博杜出伴出财 不单此代

3] 于 , 陈 , 于 . 批发 契约下的 应链应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 1985, 4(2): 166-176.

4] 于 , 陈 , 于 . 协调 应链如 应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2005, 25(7): 9-16.

5] 于 , 陈 , 于 . 批发 契约下的 应链应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2006, 26(8): 33-41.

6] 于 , 陈 , 于 . 协调 应链如 应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2005, 25(8): 38-43.

7] 于 , 陈 , 于 . 批发 契约下的 应链应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2006, 26(8): 33-41.

8] 于 , 陈 , 于 . 协调 应链如 应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2005, 25(7): 9-16.

9] 于 , 陈 , 于 . 批发 契约下的 应链应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2006, 26(8): 33-41.

10] 于 , 陈 , 于 . 协调 应链如 应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2005, 25(8): 38-43.

11] 于 , 陈 , 于 . 批发 契约下的 应链应对突发事件 [// 系统 程理论与实 , 2006, 26(8): 33-41.

12] 刘斌. 地震学原理与应用 [M]. 北京: 科学 术大学出版社, 2009: 159.

13] K. , B. , F. 400- [// 系统 程理论与实 , 2006, 90(2): 290-295.

14] D. JB, A.F. D. [// 系统 程理论与实 , 2000: 605-675.