第 17 卷第 12 期 管 理 科 学 学 报 Vol. 17 No. 12
2014 年 12 月 JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCES IN CHINA Dec. 2014

# 横向转载应对需求突变①

陈敬贤[1,2]，王国华[2]，梁 樑[1]
(1. 中国科学技术大学管理学院，合肥 230026; 2. 南通大学商学院，南通 226019)

**摘要:** 研究了相互竞争的零售商利用横向转载策略来应对市场需求突变的问题. 以两个相互竞争的零售商为研究对象，当突发事件造成市场需求发生突变时，零售商可以选择横向转载策略来应对突变需求，建立了无突变无转载、有突变无转载和有突变有转载三种情形下两零售商的非合作博弈模型，给出了博弈存在唯一纯战略纳什均衡的充分条件，证明了对称性博弈的纯战略纳什均衡解是唯一存在的，并分析了零售商在三个纳什均衡战略下的定价和安全库存的关系. 进一步分析了均衡战略与零售商竞争强度系数的单调关系，并给出了横向转载策略有效应对随机需求突变的条件及其理论证据. 数值算例则从计算仿真的角度对研究结论进行了验证. 研究结果表明，对于相互竞争的零售商而言，利用横向转载来应对需求突变是十分有益的，零售商的期望利润在一定条件下由于横向转载的实施而实现了帕累托改进. 但较低的转载价格可能会使得零售商没有激励选择横向转载策略. 因而，合理确定转载价格则是利用横向转载策略应对需求突变的关键问题. 这一结论为企业实施有效的应急管理措施提供理论支持.

**关键词:** 供应链管理; 突变管理; 横向转载; 需求突变
**中图分类号:** F273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2014)12-0027-11

## 0 引 言

近年来突发事件的频繁发生，不仅给国家宏观层面造成了极大的经济损失，而且企业微观层面的损失也不容忽视，如“512”汶川地震期间锌供应链的中断，给众多以锌为原材料的企业运作造成了重大影响 “非典事件”的发生致使市场对口罩、板蓝根等产品的需求发生突变，致使相关企业的运作困难，等等. 如何应对突发事件，减小突发事件给企业带来的负面影响是当前企业运作管理领域最为重要的研究课题之一. 丹麦学者 Clausen 领导的学术团队于 2001 年首次提出了突变管理(disruption management)的基本理论[1]，在国内也被称为干扰管理[2]或中断管理[3]. 后经于刚等的拓展与推广[4]，已成为运筹与管理科学领域的重要研究问题，在各个领域均得到了一定程度的成功应用.

供应链管理作为运作管理的重要组成部分，有关突变风险的供应链应对策略的研究也受到了相应关注，相关研究文献不断增加，从所利用的研究方法来看，主要可以分为 3 个方面: 1) 相关实证研究和案例研究. Hendricks 和 Singhal[5-6]曾先后根据上市公司公布的有关突变风险的频率数据，利用事件研究法(event study methodology)，从实证的角度研究了供应链突变风险对企业长期股票价格、股权风险和股东财富的影响; Kleindorfer 和 Saad[7]提出了一个供应链突变风险的框架模型，并利用美国化学行业 1995 年—2000 年的实际数据讨论了此框架模型在实际风险管理的应用; Oke 和 Gopalakrishnan[8]从高频率低影响的运

① 收稿日期: 2011-07-11; 修订日期: 2013-07-22.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71401082; 71110107024; 71301062); 教育部人文社会科学基金资助项目(14YJC630009); 教育部博士点基金资助项目(20123227110023).
作者简介: 陈敬贤(1982—)，男，安徽肥东人，博士生，副教授. Email: jxchenms@vip.163.com

作风险和低频率高影响的突变风险两个维度，根据对美国零售业供应链的案例分析研究了供应链风险分类和减缓( mitigation) 策略，并提出了 4 个有针对性的命题. 类似的研究还有 Dowty 和 Wallace[9]，等等. 2) 协调供应链应对突变风险. Xiao 等[10-11]在数量折扣契约的基本框架下，研究了多个协调应对供应链突变风险的方案; 于辉[3]等先后提出了利用改进的数量折扣契约、回购契约、批发价契约和收益共享契约来应对供应链突发事件; 曹二保和赖明勇[12]提出利用收益共享契约来协调成本和需求同时突变的供应链; 张菊亮和陈剑[13]提出利用未售货补偿契约来协调供应链应对突发事件，等等. 3) 相关管理策略研究，Tomlin[14]研究了突变风险缓解策略对于供应链的价值体现问题; Tang[15]结合诺基亚、利丰和戴尔的现实案例，提出了延迟制造、战略库存、柔性供应、零部件制造外包、经济利益驱动供应、柔性运输、多式联运、动态定价收益管理、计划分类和大众化产品等 9 种供应链应对多种突变风险的鲁棒性运作策略，等等.

从已有的关于供应链应对突变风险的研究文献来看，大部分文献侧重于研究通过供应链上下游企业间的合作与协调来应对突变风险，忽略了同级企业间合作应对突变风险的研究. 产生于上个世纪 60 年代的横向转载( lateral transshipment) 策略作为供应链上同级企业合作管理库存的风险共担策略，在实际中对于供应链降低库存成本有着重要的作用，得到学术界和实业界的广泛关注. 近年来在顶级运作管理期刊上大量的相关研究仍在不断出现，详细的分析参见 Paterson 等[16]的综述性文章. 但无论是从供应链突变管理的研究范畴来看，还是从横向转载的研究范畴来看，研究利用横向转载策略来应对供应链突变风险的文献尚未发现. 本文将从供应链上同级企业合作管理库存的角度出发，研究相互竞争型零售商如何利用横向转载策略来应对市场需求突变，期望为供应链突变风险管理提供一点新的研究思路，也为实际企业寻求更为有效的风险管理方法提供理论参考.

## 1 价格竞争

考虑存在价格竞争的两个零售商，他们销售同种产品，相互之间具有一定的替代性，记为零售商 $i(i = 1,2)$ 和零售商 $j(j = 3 - i)$. 两个零售商从同一个供应商处订货，批发价格 $w$ 由供应商确定，供应商使用相同的批发价格 $w$ 对零售商进行销货. 正常情况下，零售商 $i$ 的需求 $D_i$ 由需求参数 $a$、产品价格 $p_i$、零售商 $j$ 的产品价格 $p_j$ 以及外生不确定性变量 $\varepsilon_i$ 共同确定. 根据 Ingene 和 Parry[17]及 Zhao 和 Atkins[18]的研究，本文将 $D_i$ 表示成 $D_i = q_i(\boldsymbol{p}) + \varepsilon_i$，其中 $\boldsymbol{p}$ 表示零售商的价格向量，$\boldsymbol{p} = (p_i, p_j)$; $q_i(\boldsymbol{p}) = a_i - p_i + \theta p_j$，易知 $\frac{\partial q_i(\boldsymbol{p})}{\partial p_i} < 0$ 和 $\frac{\partial q_i(\boldsymbol{p})}{\partial p_j} > 0$ 成立，另外 $\theta$ 为价格竞争系数，$0 < \theta < 1$; 本文假设 $\varepsilon_i$ 服从一定的随机分布，其累积分布函数为 $\phi(\varepsilon_i)$，概率密度函数为 $\psi(\varepsilon_i)$，并假设 $\phi(\varepsilon_i)$ 为可微的严格递增函数，且为递增的失效率函数( increasing failure rate，IFR) . 零售商 $i$ 的订货量 $Y_i$ 可表示为 $Y_i = q_i(\boldsymbol{p}) + y_i$，其中 $y_i$ 可理解为应对不确定性需求的库存阈值或安全库存量. 正常情形下，各零售商在观测到制造商的批发价格 $w$ 后，同时确定产品价格 $p_i$ 和安全库存量 $y_i$. 若市场需求发生突变( 本文假设市场随机需求 $\varepsilon_i$ 发生突变) ，允许零售商在需求满足前再使用一次横向转载来应对突变需求，但需提前签订相应的转载契约，确定单位产品转载价格②，记为 $\rho$. 该问题各事件的序关系为: 1) 外部供应商宣布批发价格 $w$; 2) 零售商决定签订横向转载协议; 3) 零售商同时确定决策变量 $p_i$ 和 $y_i$; 3) 供应商观测到 $p_i$ 和 $y_i$ 并满足零售商的订货量; 4) 需求实现且市场需求突变风险发生; 5) 横向转载实施，需求被满足.

首先考虑无转载无突变的具有价格竞争的报童模型. 假设外部供应商的产能充足，两零售商订货均可被满足. 不失一般性，假设销售期末剩余产

② 没有任何理由认为，在实际中存在一种可行的转载契约允许转载双方可以设置不同的转载价格. 因此，这里并不考虑零售商配置不同的转载价格，而认为转载价格是相同的，决定转载价格的是转载双方讨价还价的能力( bargaining power) . 另外，本文这里的转载价格已经包含了转载单位产品转载方需付出的转载重置成本.

品残值为 0,单位产品缺货成本为 0,则零售商 $i$ 的期望利润为

$$\pi_i(\boldsymbol{p},y) = p_i \mathrm{E}[\min(Y_i,D_i)] - wY_i = \pi_i^{\mathrm{d}}(\boldsymbol{p}) + p_i \mathrm{E}[\min(y_i,\varepsilon_i)] - wy_i \quad (1)$$

其中

$$\pi_i^{\mathrm{d}}(\boldsymbol{p}) = (p_i - w)q_i(\boldsymbol{p}) = (p_i - w)(a - p_i + \theta p_j)$$

若记零售商 $i$ 和零售商 $j$ 在无转载无需求突变情形下的定价与订货博弈为 $\Gamma$,则可将该博弈定义为

$$\Gamma \overset{\mathrm{def}}{=} (\{i,j\},\{\boldsymbol{p},\boldsymbol{y}\},\Pi)$$

其中,$\{i,j\}$ 表示参与人集;$\{\boldsymbol{p},\boldsymbol{y}\}$ 表示两零售商的战略集,$\boldsymbol{p} = (p_i,p_j)$ 和 $\boldsymbol{y} = (y_i,y_j)$;$\Pi$ 表示博弈的支付函数集,且 $\Pi = (\pi_i(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y}), \pi_j(\boldsymbol{p},\boldsymbol{y}))$. 定理 1 描述了该博弈的纳什均衡战略.

**定理 1** 1) 给定批发价格 $w$,博弈 $\Gamma$ 存在纯战略纳什均衡解,且零售商 $i$ 的最优反应函数由以下两式的唯一解决定;2) 若博弈 $\Gamma$ 为对称性博弈,则存在唯一的纯战略纳什均衡解$(p^{\mathrm{N}},y^{\mathrm{N}})$.

$$\frac{\partial \pi_i^{\mathrm{d}}}{\partial p_i} + \mathrm{E}[\min(y_i,\varepsilon_i)] = 0 \quad (2)$$

$$p_i \int_{y_i}^{+\infty} \psi(\varepsilon_i)\,\mathrm{d}\varepsilon_i - w = 0 \quad (3)$$

定理 1 说明了两个零售商间的博弈 $\Gamma$ 纳什均衡解的存在性与唯一性. 若博弈 $\Gamma$ 为对称性博弈时,式(2)和式(3)将确定唯一的纯战略纳什均衡解$(p^{\mathrm{N}},y^{\mathrm{N}})$,所对应的订货量记为 $Y_i^{\mathrm{N}}$. 但若市场需求发生突变,定理 1 所示的博弈及其均衡战略就不能描述零售商的定价和订货行为. 下文将分析需求突变时的零售商如何进行定价和库存决策行为.

## 2 需求突变

首先给出单报童模型的最优解. 若零售商间不存在竞争($\theta=0$),联立式(2)和式(3)即可得到最优的销售价格和安全库存,记为$(p_i^{\#},y_i^{\#})$,对应的最优订货量为 $Y_i^{\#}$. 不失一般性,假设突发事件的发生致使零售商 $i$ 的需求 $\varepsilon_i$ 的分布函数由 $\phi(\varepsilon_i)$ 变为 $F(\varepsilon_i^{\mathrm{d}})$,相应地密度函数由 $\psi(\varepsilon_i)$ 变为 $f(\varepsilon_i^{\mathrm{d}})$. 根据文献[19]所述的随机市场规模理论,本文认为零售商 $i$ 的市场需求增大(减少)是指:对任意的 $y \geqslant 0$ 有 $\bar{F}(y) \geqslant \bar{\phi}(y)$ 成立,其中 $\bar{F}(y) = 1 - F(y)$. 零售商 $j$ 面临需求的分布函数和密度函数仍为 $\phi(\varepsilon_j)$ 和 $\psi(\varepsilon_j)$. 首先考虑无转载情形,相应的零售商 $i$ 的产品价格记为 $\bar{p}_i$,安全库存记为 $\bar{y}_i$,期望利润记为 $\bar{\pi}_i(\bar{p},\bar{y})$. 两零售商之间的博弈可定义为 $\bar{\Gamma} \overset{\mathrm{def}}{=} (\{i,j\},\{\bar{\boldsymbol{p}},\bar{\boldsymbol{y}}\},\{\bar{\Pi}\})$,含义与博弈 $\Gamma$ 类似. 类似于式(1)的形式,零售商 $i$ 和零售商 $j$ 的期望利润 $\bar{\pi}_i(\bar{\boldsymbol{p}},\bar{\boldsymbol{y}})$ 和 $\bar{\pi}_j(\bar{\boldsymbol{p}},\bar{\boldsymbol{y}})$ 为

$$\bar{\pi}_i(\bar{\boldsymbol{p}},\bar{\boldsymbol{y}}) = \bar{\pi}_i^{\mathrm{d}}(\bar{\boldsymbol{p}}) + \bar{p}_i \mathrm{E}[\min(\bar{y}_i,\varepsilon_i^{\mathrm{d}})] - w\bar{y}_i - \lambda_{\mathrm{u}}(\bar{y}_i - y_i^{\mathrm{N}})^{+} - \lambda_{\mathrm{s}}(y_i^{\mathrm{N}} - \bar{y}_i)^{+} \quad (4)$$

$$\bar{\pi}_j(\bar{\boldsymbol{p}},\bar{\boldsymbol{y}}) = \bar{\pi}_j^{\mathrm{d}}(\bar{\boldsymbol{p}}) + \bar{p}_j \mathrm{E}[\min(\bar{y}_j,\varepsilon_j^{\mathrm{d}})] - w\bar{y}_j - \kappa_{\mathrm{u}}(\bar{y}_j - y_j^{\mathrm{N}})^{+} - \kappa_{\mathrm{s}}(y_j^{\mathrm{N}} - \bar{y}_j)^{+} \quad (5)$$

式(4)中: $\varepsilon_i^{\mathrm{d}}$ 为突变后的需求,当需求增大时,记 $\varepsilon_i^{\mathrm{d}} = \varepsilon_i^{+}$,当需求减小时,记 $\varepsilon_i^{\mathrm{d}} = \varepsilon_i^{-}$;$\lambda_{\mathrm{u}}$ 为需求突变致使 $\bar{y}_i - y_i^{\mathrm{N}} > 0$ 时,零售商 $i$ 需支付的单位偏离成本;$\lambda_{\mathrm{s}}$ 为需求突变致使 $y_i^{\mathrm{N}} - \bar{y}_i > 0$ 时,零售商 $i$ 需支付的单位偏离成本. 对于零售商 $j$ 而言,虽然需求未发生突变,但由于两零售商间的竞争也将导致零售商 $j$ 调整价格 $p_j$ 和安全库存 $y_j$,同样会引发偏离成本. 类似于零售商 $i$ 的设置,式(5)中 $\kappa_{\mathrm{u}}$ 和 $\kappa_{\mathrm{s}}$ 与 $\lambda_{\mathrm{u}}$ 和 $\lambda_{\mathrm{s}}$ 的含义相同.

为了反映突发事件的影响,假设 $\lambda_{\mathrm{u}} > \kappa_{\mathrm{u}} > 0$ 和 $\lambda_{\mathrm{s}} > \kappa_{\mathrm{s}} > 0$. 需要指出,以上两式中的$(p_i^{\mathrm{N}},y_i^{\mathrm{N}})$并不一定总是等于对称性博弈下的$(p^{\mathrm{N}},y^{\mathrm{N}})$,甚至可能不是唯一的,但一定是个纯战略. 因此,利用此值来度量偏离成本是可行的. 定理 2 描述了博弈 $\bar{\Gamma}$ 存在唯一纳什均衡战略的条件.

**定理 2** 给定批发价格 $w$,博弈 $\bar{\Gamma}$ 存在唯一纯战略纳什均衡解的充分条件为

$$(\bar{\boldsymbol{p}},\bar{\boldsymbol{y}}) \in \left\{(\bar{\boldsymbol{p}},\bar{\boldsymbol{y}}): \frac{\bar{F}(\bar{y}_i)}{\bar{p}_i f(\bar{y}_i)} < 1 \wedge \frac{\bar{\phi}(\bar{y}_j)}{\bar{p}_j \psi(\bar{y}_j)} < 1\right\}$$

若突发事件不仅造成了零售商 $i$ 的需求突变,也使得零售商 $j$ 的需求发生了突变,其需求分

布函数由 $\phi(\varepsilon_j)$ 变为 $F(\varepsilon_j^{\mathrm{d}})$，相应地需求密度函数由 $\psi(\varepsilon_j)$ 变为 $f(\varepsilon_j^{\mathrm{d}})$ ③. 类似于定理2 的证明，本文不加证明地给出定理 3 中的第 1) 部分显然成立; 利用定理 1 的证明方法，易知定理 3 中的第 2) 部分成立.

**定理 3** 1) 给定批发价格 $w$，博弈 $\hat{\Gamma}$ 存在唯一纯战略纳什均衡的充分条件为

$$(\hat{\boldsymbol{p}},\hat{\boldsymbol{y}}) \in \left\{(\hat{\boldsymbol{p}},\hat{\boldsymbol{y}}: \frac{\overline{F}(\hat{y}_i)}{\hat{p}_i f(\hat{y}_i)} < 1\right\}$$

2) 若博弈 $\hat{\Gamma}$ 为对称性博弈，则存在唯一的纯战略纳什均衡 $(\hat{p}^{\mathrm{N}},\hat{y}^{\mathrm{N}})$ .

定理3 中，$\hat{\Gamma}$ 表示零售商 $i$ 和零售商 $j$ 需求均发生突变后的博弈，即 $\hat{\Gamma} \overset{\mathrm{def}}{=} (\{i,j\},\{\hat{\boldsymbol{p}},\hat{\boldsymbol{y}}\},\{\hat{\Pi}\})$，含义与博弈 $\Gamma$ 类似解释. 相应的变量意义表示两零售商需求均发生突变的情况.

以上两个定理给出了在突发事件造成市场需求发生突变时，相互竞争的零售商存在唯一纯战略纳什均衡的充分条件. 但并未说明在需求突变后，唯一存在的纳什均衡纯战略与需求无突变情形下的唯一存在的纳什均衡战略( 博弈 $\Gamma$ 的均衡解) 的关系，也就无法反映出在市场需求突变后两个零售商的决策行为的变化，进而无法反映出需求突变对于零售商定价和订货决策的影响. 命题 1 反映了市场需求突变对于零售商均衡战略的影响. 在命题 1 中，$(\overline{p}^{\mathrm{N}},\overline{y}_i^{\mathrm{N}})$ 表示博弈 $\overline{\Gamma}$ 中当零售商采取相同价格策略时的纳什均衡解，而且假设这一均衡是唯一存在的.

**命题 1** 1) 当 $\lambda_{\mathrm{u}}$, $\lambda_{\mathrm{s}}$, $\kappa_{\mathrm{u}}$, $\kappa_{\mathrm{s}} \to 0$ 时，若突发事件造成需求增大( $\overline{F}(y) \geqslant \bar{\phi}(y)$ )，有 $p^{\#} \geqslant \overline{p}^{\mathrm{N}} = \hat{p}^{\mathrm{N}} \geqslant p^{\mathrm{N}}$ 和 $y^{\#} \geqslant \hat{y}^{\mathrm{N}} \geqslant \overline{y}_i^{\mathrm{N}} \geqslant \overline{y}_j^{\mathrm{N}} \geqslant y^{\mathrm{N}}$；若突发事件造成需求减小( $\overline{F}(y) \leqslant \bar{\phi}(y)$ )，有 $p^{\#} \geqslant p^{\mathrm{N}} \geqslant \hat{p}^{\mathrm{N}} = \overline{p}^{\mathrm{N}}$ 和 $y^{\#} \geqslant y^{\mathrm{N}} \geqslant \overline{y}_j^{\mathrm{N}} \geqslant \overline{y}_i^{\mathrm{N}} \geqslant \hat{y}^{\mathrm{N}}$；2) 当 $\lambda_{\mathrm{u}}$, $\lambda_{\mathrm{s}}$, $\kappa_{\mathrm{u}}$, $\kappa_{\mathrm{s}} \to +\infty$ 时，无论需求增大或减小，都有 $\overline{p}^{\mathrm{N}} = \hat{p}^{\mathrm{N}} = p^{\mathrm{N}} \leqslant p^{\#}$，$\hat{y}^{\mathrm{N}} = \overline{y}_i^{\mathrm{N}} = \overline{y}_j^{\mathrm{N}} = y^{\mathrm{N}} \leqslant y^{\#}$ .

命题 1 给出零售商 $i$ 和零售商 $j$ 选择同样的零售价格时，市场需求突变对于零售商的定价和安全库存的影响. 当需求突变引起的单位偏离成本可忽略不计时，由命题 1 可以得到以下几点启示: 1) 与不存在竞争的最优零售价格和安全库存相比，相互竞争时均衡零售价格和安全库存较小，但当需求增大时，零售商的均衡价格和安全库存会有所增加，但仍不会高于无竞争时的最优解; 当需求减小时，零售商的均衡价格和安全库存会有所下降. 2) 当只有一个零售商需求增大时，而另一个零售商需求不变时，零售商将提高零售价格和安全库存，但遭受突变的零售商调整的幅度比需求未突变的零售商的幅度要大，而当需求减小时，有类似的结论成立. 由上可以发现，当需求增大时，零售价格的提高必将损害最终顾客的福利，如非典期间的板蓝根等产品; 而当需求减小时，安全库存的调整将在一定程度上会导致顾客抢购产品的现象发生. 这也从理论侧面反映了突发事件引起市场需求规模突变时，实施价格管制的重要.

命题 2 对这一事实作出了进一步的说明.

**命题 2** 1) 对于博弈 $\Gamma$ 的唯一纯战略纳什均衡解 $(p^{\mathrm{N}},y^{\mathrm{N}})$，有 $\frac{\mathrm{d}p^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$，$\frac{\mathrm{d}y^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$ 或 $\frac{\mathrm{d}p^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} < 0$，$\frac{\mathrm{d}y^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} < 0$；2) 对于博弈 $\hat{\Gamma}$ 的唯一纯战略纳什均衡解 $(\hat{p}^{\mathrm{N}},\hat{y}^{\mathrm{N}})$，有 $\frac{\mathrm{d}\hat{p}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$，$\frac{\mathrm{d}\hat{y}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$ 或 $\frac{\mathrm{d}\hat{p}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} < 0$，$\frac{\mathrm{d}\hat{y}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} < 0$ .

命题 2 表明对称情形下的纯战略纳什均衡解在突变前后随着竞争强度 $\theta$ 的变化而变化的趋势. 第 1) 部分表明: 需求突变前，随着竞争强度的改变，均衡价格和安全库存均作同向变化; 在需求突变后，随着竞争强度的改变，均衡价格和安全库存仍作同向变化. 但根据命题 1 可知，当需求增大

③ 也可以假设突变对零售商 $i$ 和零售商 $j$ 的影响不尽相同，相应地两个零售商在突变后的需求分布函数和密度函数并不相同，但为了计算及表达方式上的方便，本文假设突变后的两零售商的需求分布函数和密度函数是相同的，相应的结论完全适用于两个零售商的分布函数和密度函数不相同的情况.

后，$\hat{p}^{\mathrm{N}} \geqslant p^{\mathrm{N}}$ 和 $\hat{y}^{\mathrm{N}} \geqslant y^{\mathrm{N}}$. 且需求突变后较高的零售价格易使得条件 $(2-\theta)\hat{p}^{\mathrm{N}} f(\hat{y}^{\mathrm{N}}) > \overline{F}^2(\hat{y}^{\mathrm{N}})$ 成立. 因此，此时竞争性系数 $\theta$ 越大，市场价格将进一步增加，突发事件的影响将会愈加明显. 此时如果不实施价格管制，零售商最终将会由于需求的突变而将产品价格稳定在较高的水平上，且价格竞争愈激烈，零售价格将愈大. 而需求减小后，零售商将会由于相互竞争的恶化而导致过低的定价水平，最终零售商会由于无利可图而选择退出市场. 因此，命题 2 实际上是给出了在突发事件引起需求突变后，实施价格管制的理论证据. 值得一提的是，竞争强度系数的增加也将导致企业持有较高的安全库存，而势必将导致零售商库存成本的提高，影响其期望利润. 特别是在需求增大后，企业将会由于较多的安全库存而产生的庞大库存成本而使得期望利润大量减少. 因此，无论是对于零售商还是对于顾客来说，在需求突变后大幅调整价格都是十分有害的，这一点反映了价格管制的重要意义.

另外，需要指出的是，命题 1 的结论是在假设零售商定价相同的前提下得到的，这一假设条件对于博弈 $\Gamma$ 和博弈 $\hat{\Gamma}$ 是可以接受的，因为两零售商处于相同的情况下，这一假设将使博弈 $\Gamma$ 和博弈 $\hat{\Gamma}$ 转化为对称性博弈. 但对于博弈 $\overline{\Gamma}$ 而言，这一假设是个较强的假设条件. 因为当 $\bar{p}_i \neq \bar{p}_j$ 时，对于两个零售商的互动决策，从数学解析的角度是无法给出精确的比较关系. 下面以需求减小为例进行定性分析，需求增大时可以进行类似分析. 当仅有零售商 $i$ 需求突变时，零售商 $i$ 会将市场价格 $\bar{p}_i$ 降至 $\hat{p}^{\mathrm{N}}$，而此时零售商 $j$ 的市场需求并没有发生突变，但零售商 $j$ 将观测到零售商 $i$ 的降价行为，并将这一行为视为零售商 $i$ 的竞争行为( 无论零售商 $j$ 知不知道是由于市场需求突变而引发零售商 $i$ 降价的，他将会把这一降价行为理解为零售商 $i$ 的竞争行为) ，因此零售商 $j$ 也将会选择价格 $\hat{p}^{\mathrm{N}}$. 反过来，零售商 $i$ 也会视零售商 $j$ 的降价为竞争行为，甚至视为 “趁火打劫”行为. 因为此时零售商 $i$ 将会把零售商 $j$ 的降价理解为零售商 $j$ 在观测到市场需求突变的基础上做出的反应( 事实上，零售商 $j$ 并不一定真正观测到了零售商 $i$ 的需求突变) . 此时，理性的零售商 $i$ 将会进一步降价，理性的零售商 $j$ 也将会进一步降价，但由于二者的偏离成本不等，因此均衡状态下的( 如果存在) 零售商 $j$ 的市场价格将会低于零售商 $i$ 的市场价格. 如此，市场需求的突变使得零售商间的竞争恶化，此时若不进行价格调控，将会恶化突发事件的结果. 下文将讨论零售商利用横向转载策略来应对市场需求突变.

## 3　横向转载

假设两个零售商在上文所述事件序的第 2) 步中签订横向转载协议，决定在市场需求突变后采用横向转载来应对需求突变. 这里将在两零售商需求都发生突变的情形下，研究横向转载策略下两零售商应对需求突变的定价和库存行为④. 此时零售商间博弈记为 $\tilde{\Gamma} \stackrel{\mathrm{def}}{=} (\{i,j\}, \{\tilde{\boldsymbol{p}}, \tilde{\boldsymbol{y}}\}, \{\widetilde{\Pi}\})$，含义与博弈 $\tilde{\Gamma}$ 类似. 于是，零售商 $i$ 的期望利润为

$$\begin{aligned}\tilde{\pi}_i(\tilde{\boldsymbol{p}},\tilde{\boldsymbol{y}}) = {} & \tilde{\pi}_i^{\mathrm{d}}(\tilde{\boldsymbol{p}}) + \tilde{p}_i \mathrm{E}\left[\min(\tilde{y}_i, \varepsilon_i^{\mathrm{d}})\right] + \\ & (\tilde{p}_i - \rho_{ji}) \mathrm{E}T_{ij} + \rho_{ij} \mathrm{E}T_{ji} - w\tilde{y}_i - \\ & \lambda_{\mathrm{u}}(\tilde{y}_i - y_i^{\mathrm{N}})^+ - \lambda_{\mathrm{s}}(y_i^{\mathrm{N}} - \tilde{y}_i)^+ \end{aligned} \tag{6}$$

其中: $\rho_{ij} = \rho_{ji} = \rho$ 表示转载价格; $\lambda_{\mathrm{u}}$ 和 $\lambda_{\mathrm{s}}$ 为单位产品偏离成本; $\mathrm{E}T_{ij}$ 表示零售商 $i$ 对于零售商 $j$ 的期望转载量，有 $T_{ij} = \left[\min((\tilde{y}_i - \varepsilon_i^{\mathrm{d}})^+, (\varepsilon_j^{\mathrm{d}} - \tilde{y}_j)^+)\right]$. 根据前文 3 个定理的证明方法，可以得到定理 4.

**定理 4**　1) 给定批发价格 $w$ 和转载价格 $\rho$，博弈 $\tilde{\Gamma}$ 存在唯一纯战略纳什均衡的充分条件为

④　这样的假设主要原因有两个方面，一是大部分关于横向转载的研究都指出涉及转载的各方一般是地理位置较为相近的零售商，对于相距较远的零售商实行横向转载可能会造成比向上游企业补货更多的补货成本，横向转载的快速补货优势也难以发挥，关于这一点 Paterson 等 [16] 的综述性论文有详细描述; 二是地理位置较近的零售商，假设双方市场需求规模都发生突变也是合理的.

$(\tilde{p},\tilde{y}) \in$

$$\left\{\begin{array}{l}\{(\tilde{p},\tilde{y}):2-\theta > \bar{F}(\tilde{y}_i) + \\ \quad \Pr(\varepsilon_j^{\mathrm{d}} < \tilde{y}_j, \varepsilon_i^{\mathrm{d}} + \varepsilon_j^{\mathrm{d}} > \tilde{y}_i + \tilde{y}_j) - \\ \quad \Pr(\varepsilon_i^{\mathrm{d}} > \tilde{y}_i, \varepsilon_i^{\mathrm{d}} + \varepsilon_j^{\mathrm{d}} < \tilde{y}_i + \tilde{y}_j)\} \\ \cap \\ \{(\tilde{p},\tilde{y}):\{|-\tilde{p}_i f(\tilde{y}_i) + (\tilde{p}_i - \rho_{ji})(g_{ij}^2 - g_{ij}^1) + \\ \quad \rho_{ij}(b_{ij}^2 - b_{ij}^1)| > (\tilde{p}_i - \rho_{ji}) g_{ij}^1 + \rho_{ij} b_{ij}^1\}\end{array}\right.$$

其中

$$\begin{cases} b_{ij}^1 = \Pr(\varepsilon_i^{\mathrm{d}} < \tilde{y}_i) f_{\varepsilon_i^{\mathrm{d}}+\varepsilon_j^{\mathrm{d}} | \varepsilon_i^{\mathrm{d}} < \tilde{y}_i}(\tilde{y}_i + \tilde{y}_j) \\ b_{ij}^2 = \Pr(\tilde{y}_i + \tilde{y}_j > \varepsilon_i^{\mathrm{d}} + \varepsilon_j^{\mathrm{d}}) f_{\varepsilon_i^{\mathrm{d}} | \tilde{y}_i + \tilde{y}_j > \varepsilon_i^{\mathrm{d}} + \varepsilon_j^{\mathrm{d}}}(\tilde{y}_i) \\ g_{ij}^1 = \Pr(\varepsilon_i^{\mathrm{d}} > \tilde{y}_i) f_{\varepsilon_i^{\mathrm{d}}+\varepsilon_j^{\mathrm{d}} | \varepsilon_i^{\mathrm{d}} > \tilde{y}_i}(\tilde{y}_i + \tilde{y}_j) \\ g_{ij}^2 = \Pr(\varepsilon_i^{\mathrm{d}} + \varepsilon_j^{\mathrm{d}} < \tilde{y}_i + \tilde{y}_j) f_{\varepsilon_i^{\mathrm{d}} | \varepsilon_i^{\mathrm{d}} + \varepsilon_j^{\mathrm{d}} < \tilde{y}_i + \tilde{y}_j}(\tilde{y}_i) \end{cases}$$

2) 若博弈 $\tilde{\Gamma}$ 为对称性博弈，则博弈 $\tilde{\Gamma}$ 存在唯一的纯战略纳什均衡解 $(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}})$.

定理4 中的 $b_{ij}^1$、$b_{ij}^2$、$g_{ij}^1$ 和 $g_{ij}^2$ 是 $\mathrm{E}T_{ij}$ 和 $ET_{ji}$ 关于 $\tilde{y}_i$ 和 $\tilde{y}_j$ 的二阶偏导数的系数项，可以参考文献[20]的方法求得；$f_x$ 则表示随机变量 $x$ 所对应的概率密度函数；第2)部分的证明则需要考察两个反应函数的交点是否唯一，可以利用定理1的证明方法证明. 另外，第2)部分表明了存在横向转载时，需求突变后的零售商博弈 $\tilde{\Gamma}$ 存在唯一的纯战略纳什均衡解 $(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}})$. 为了验证转载的效率，命题3 给出了关于均衡战略 $(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}})$ 和 $(\hat{p}^{\mathrm{N}},\hat{y}^{\mathrm{N}})$ 及最优解 $(p^{\#},y^{\#})$ 的比较关系.

**命题3** 1) 当 $\lambda_{\mathrm{u}}$，$\lambda_{\mathrm{s}}$，$\kappa_{\mathrm{u}}$，$\kappa_{\mathrm{s}} \to 0$ 且 $\rho \in [0,p]$ 时，若突发事件造成需求增大 $(\bar{F}(y) \geq \bar{\phi}(y))$，有 $p^{\#} \geq \hat{p}^{\mathrm{N}} \geq \tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 和 $\hat{y}^{\mathrm{N}} \leq \tilde{y}^{\mathrm{N}} \leq y^{\#}$；若突发事件造成需求减小 $(\bar{F}(y) \leq \bar{\phi}(y))$，有 $p^{\#} \geq \tilde{p}^{\mathrm{N}} \geq \hat{p}^{\mathrm{N}}$ 和 $\tilde{y}^{\mathrm{N}} \leq \hat{y}^{\mathrm{N}} \leq y^{\#}$；2) 当 $\lambda_{\mathrm{u}}$，$\lambda_{\mathrm{s}}$，$\kappa_{\mathrm{u}}$，$\kappa_{\mathrm{s}} \to +\infty$ 且 $\rho \in [0,p]$ 时，无论需求增大或减小，有 $\tilde{p}^{\mathrm{N}} = \hat{p}^{\mathrm{N}} \leq p^{\#}$，$\tilde{y}^{\mathrm{N}} = \hat{y}_i^{\mathrm{N}} \leq y^{\#}$；3) 当 $\lambda_{\mathrm{u}}$，$\lambda_{\mathrm{s}}$，$\kappa_{\mathrm{u}}$，$\kappa_{\mathrm{s}} \to 0$ 且 $\rho > p$ 时，有 $\tilde{p}^{\mathrm{N}} = \hat{p}^{\mathrm{N}} \leq p^{\#}$，$\tilde{y}^{\mathrm{N}} = \hat{y}^{\mathrm{N}} \leq y^{\#}$.

命题3 中的转载价格 $\rho$ 取值范围的右端点值 $p$ 指的是纳什均衡下零售商的单位产品零售价格，命题3 中省去上标是为了反映不同参数下不同的纳什均衡价格. 当 $\rho = p$ 时，零售商转载不会获益. 使用命题1 的证明方法，易证命题3 是成立的. 由命题3 可知，无论需求增大或减小，横向转载的实施必将使得零售商单位产品零售价格 $p$ 和安全库存 $y$ 趋于稳定. 当需求增大时，转载博弈 $\tilde{\Gamma}$ 的均衡价格 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 小于无转载时的博弈 $\hat{\Gamma}$ 的均衡价格 $\hat{p}^{\mathrm{N}}$，而均衡的安全库存 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 大于 $\hat{y}^{\mathrm{N}}$，但仍将小于无竞争时的最优解 $y^{\#}$；当需求减小时，转载博弈 $\tilde{\Gamma}$ 的均衡价格 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 大于无转载时的博弈 $\hat{\Gamma}$ 的均衡价格 $\hat{p}^{\mathrm{N}}$，而均衡的安全库存 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 小于 $\hat{y}^{\mathrm{N}}$，但此时 $\hat{p}^{\mathrm{N}}$ 仍将小于无竞争时的最优解 $p^{\#}$. 这也表明，与无横向转载相比，横向转载策略下的需求突变对零售商的影响较小，零售商价格调整和安全库存调整的幅度也较小，这在一定程度上对于保障市场顾客的福利具有一定的意义. 但不可否认的是，突变的影响仍然存在，与无转载时的纳什均衡相比，横向转载下的纯战略纳什均衡仍然发生了偏移. 值得一提的是，当转载价格大于零售商单位产品零售价格时，转载不会使得零售商获益. 此时，转载并不会发生(除非缺货的机会成本特别大，本文并未考虑). 因此，均衡战略并未发生变化，如命题3 中的第3)部分所示. 为了进一步分析零售商间竞争强度对均衡战略的影响，命题4 考察了均衡战略 $(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}})$ 与 $\theta$ 的单调关系.

**命题4** 对于纳什均衡解 $(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}})$，$\dfrac{\mathrm{d}\tilde{p}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} < 0$ 和 $\dfrac{\mathrm{d}\tilde{y}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$ 不可能同时成立. 这也就意味着，随着竞争性强度的增加，博弈 $\tilde{\Gamma}$ 的纳什均衡定价 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 降低和安全库存 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 增加不可能同时发生；随着竞争性强度的减弱，零售商博弈 $\tilde{\Gamma}$ 的纳什均衡战略下的零售价格 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 增加和安全库存 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 降低不可能同时发生.

命题4 表明了在横向转载策略下，零售商间的竞争不会使得需求突变的影响持续恶化，这也正是横向转载的价值所在. 在横向转载策略下，零售商间的合作加强了，竞争性强度系数 $\theta$ 降低，但这并不会使得价格 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 增加和安全库存降低 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 同时发生，而 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 增加和 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 降低无疑会使得市场顾

客的利益受到损害. 举例来说,如果市场需求增大,此时横向转载策略下的纳什均衡价格 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 会增加且均衡的 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 也会降低,但横向转载的实施使得竞争性系数 $\theta$ 降低,而 $\theta$ 的降低不会恶化 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 的增大和 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 的降低. 另外,根据命题 2 的结论,只要 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 和 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 不是特别小(小于 1),命题 4 中的情形 $\frac{\mathrm{d}\tilde{p}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$ 和 $\frac{\mathrm{d}\tilde{y}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$ 最有可能发生. 而这一条件必然使得在随机需求突增后的均衡价格 $\tilde{p}^{\mathrm{N}}$ 和 $\tilde{y}^{\mathrm{N}}$ 都降低. 因此,即使不实施价格管制,零售商间横向转载一定程度上使得市场在突变前后的价格和安全库存保持稳定,这无论对于零售商还是对于市场顾客来说,都是十分有益的. 另外,需要说明的是,在无横向转载下的零售商博弈 $\Gamma$ 和博弈 $\hat{\Gamma}$,虽然 $\frac{\mathrm{d}\tilde{p}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} < 0$ 和 $\frac{\mathrm{d}\tilde{y}^{\mathrm{N}}}{\mathrm{d}\theta} > 0$ 也不会发生,但由于不存在横向转载,零售商间的相互竞争将会表现的愈加激烈,$\theta$ 的持续增大会使得突发事件的影响愈演愈烈,此时实施价格管制就显得异常重要. 如此看来,市场需求发生突变,零售商若由单纯的竞争关系转向横向转载下竞争与合作并存的关系是十分有益的.

上文论述反映了横向转载应对需求突变的积极意义,但针对两个相互竞争的且均以自身利益最大化的零售商而言,是否能从完全竞争的关系走向横向转载下的合作与竞争并存的关系,这将取决于零售商期望利润在转载实施前后的变化关系.

**命题 5**　对称性博弈 $\tilde{\Gamma}$ 的唯一纯战略纳什均衡 $(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}})$ 所对应的期望利润 $\tilde{\pi}_i(\tilde{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}})$ 和对称性博弈 $\hat{\Gamma}$ 的唯一纯战略纳什均衡 $(\hat{p}^{\mathrm{N}},\hat{y}^{\mathrm{N}})$ 所对应的期望利润 $\hat{\pi}_i(\hat{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\hat{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}})$ 有如下关系成立: 1) 当 $\rho = p$ 时,有 $\tilde{\pi}_i(\tilde{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}}) \geqslant \hat{\pi}_i(\hat{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\hat{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}})$; 2) 当 $\rho = 0$ 时,有 $\tilde{\pi}_i(\tilde{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}}) \leqslant \hat{\pi}_i(\hat{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\hat{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}})$.

命题 5 的结论表明,当转载价格与零售价格相等时,零售商的期望利润在横向转载实施以后能实现帕累托改进,但当转载价格等于 0 时,横向转载实施会降低零售商的期望利润. 本文命题 5 的结论与文献 [18] 的结论类似,但需要指出的是,命题 5 结论是在给定竞争强度系数 $\theta$ 的情况下得到的($\theta$ 可以取 [0,1] 间的任意值),文献 [18] 中的命题 4 则是在竞争强度系数 $\theta$ 取特定值得到的($\theta$ 取 $+\infty$ 和 0). 而由命题 5 可知,当两零售商采用较高的转载价格时,横向转载能使得零售商的期望利润得到改进. 进一步考虑转载价格是外生的,推论 1 是成立的. 另外,为了进一步验证在需求突变后实施横向转载的优势,推论 2 给出了两个有益的结论.

**推论 1**　当横向转载价格 $\rho$ 外生确定时,存在唯一的转载价格 $\rho^{\mathrm{T}}$ 使得当 $\rho < \rho^{\mathrm{T}}$ 时,有 $\tilde{\pi}_i(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}}) < \hat{\pi}_i(\hat{p}^{\mathrm{N}},\hat{y}^{\mathrm{N}})$; 当 $\rho > \rho^{\mathrm{T}}$ 时,有 $\tilde{\pi}_i(\tilde{p}^{\mathrm{N}},\tilde{y}^{\mathrm{N}}) > \hat{\pi}_i(\hat{p}^{\mathrm{N}},\hat{y}^{\mathrm{N}})$.

**推论 2**　当市场需求规模增大且 $\rho = p$ 时,有 $\tilde{\pi}_i(\tilde{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}}) \geqslant \hat{\pi}_i(\hat{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\hat{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}}) \geqslant \pi_i(\boldsymbol{p}^{\mathrm{N}},\boldsymbol{y}^{\mathrm{N}})$; 当市场需求规模增大且 $\rho = 0$ 时,有 $\hat{\pi}_i(\hat{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\hat{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}}) \geqslant \tilde{\pi}_i(\tilde{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{N}},\tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{N}}) \geqslant \pi_i(\boldsymbol{p}^{\mathrm{N}},\boldsymbol{y}^{\mathrm{N}})$.

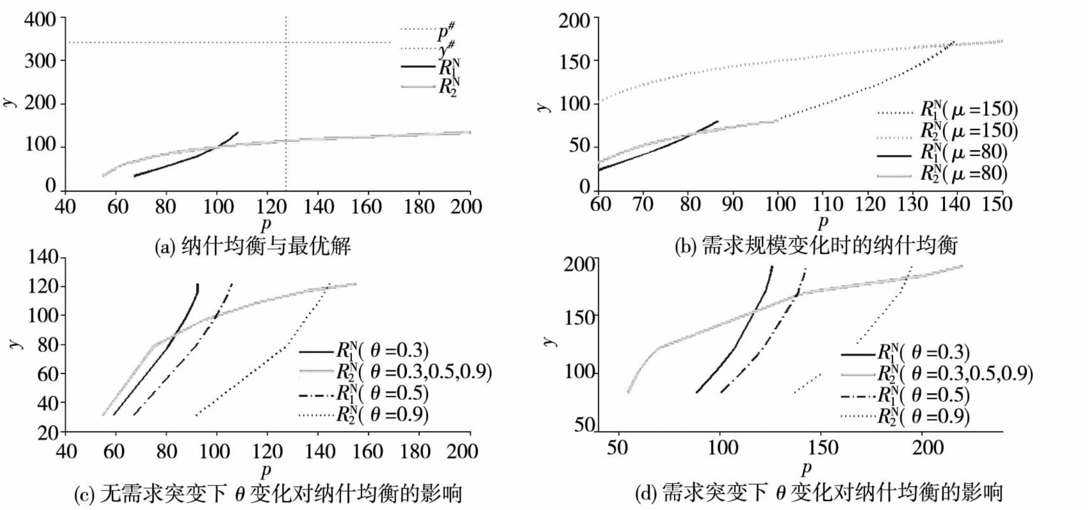
推论 1 的证明可根据求解一阶偏导数来进行,而推论 2 则可以利用命题 5 的证明方法得到. 推论 2 表明,在需求增大后,实施横向转载策略总可以使得零售商的利润得到增加. 而依据推论 1 的结论可知,如果转载价格是外生确定的,那么总可以找到唯一的转载价格,使得当转载价格大于此价格时,横向转载策略则是零售商的占优选择. 但对于需求减小时,由于难以判断 $\mathrm{E}[\min(y_i,\varepsilon_i)]$ 与 $\mathrm{E}[\min(y_i,\varepsilon_i^{t-})]$ 或 $\mathrm{E}[\min(y_i,\varepsilon_i^{t+})]$ 的随机序关系,故横向转载是否能使得零售商的期望利润得到增加还难以确定(与无突变相比),这将取决于需求突变程度的大小. 如果突发事件使得需求大幅度减小,那么即使实施横向转载也不可能达到零售商在突变前的利润,但合理确定转载价格,可以使得零售商在横向转载下的利润大于无转载下的利润. 如果突发事件使得需求减小幅度不大(至少不能大于 1 倍的 $\varepsilon_i^{\mathrm{d}}$),那么横向转载仍有可能使得突变后利润达到突变前零售商的期望利润. 此时,横向转载将会成为零售商应对需求突变的占优选择,它将使得零售商在需求减小的前提下仍保持较高的期望利润. 由此看来,对非合作的竞争型零售商而言,利用横向转载来应对随机需求突变是有效的方法.

## 4　数值算例

上文分析了相互竞争的零售商采用横向转载

策略来应对市场需求突变的纳什均衡战略及其性质. 为了更加直观地反映横向转载策略应对随机需求突变的效率，本节利用 3 个算例的计算仿真来验证上文相关研究结论.

**例 1** 令 $a = 20$，$w = 50$，$\theta = 0.5$，$\lambda_u = \lambda_s = 0$. 需求突变前零售商的需求分布为正态分布，有 $\varepsilon_i \sim N(100,50)$ . 考虑两种随机需求突变，分别为 $\varepsilon_i \sim N_1(150,50)$（市场需求规模增大）和 $\varepsilon_i \sim N_2(80,50)$（市场需求规模减小）. 在验证竞争性参数 $\theta$ 对于零售商均衡战略的影响时，$\theta$ 分别取 0.3、0.5 和 0.9. 该算例是用来验证命题 1 和命题 2 的结论，其计算结果如图 1 所示.



(a) 纳什均衡与最优解
(b) 需求规模变化时的纳什均衡
(c) 无需求突变下 $\theta$ 变化对纳什均衡的影响
(d) 需求突变下 $\theta$ 变化对纳什均衡的影响

**图 1 例 1 的计算结果**

Fig. 1 Computation results of example 1

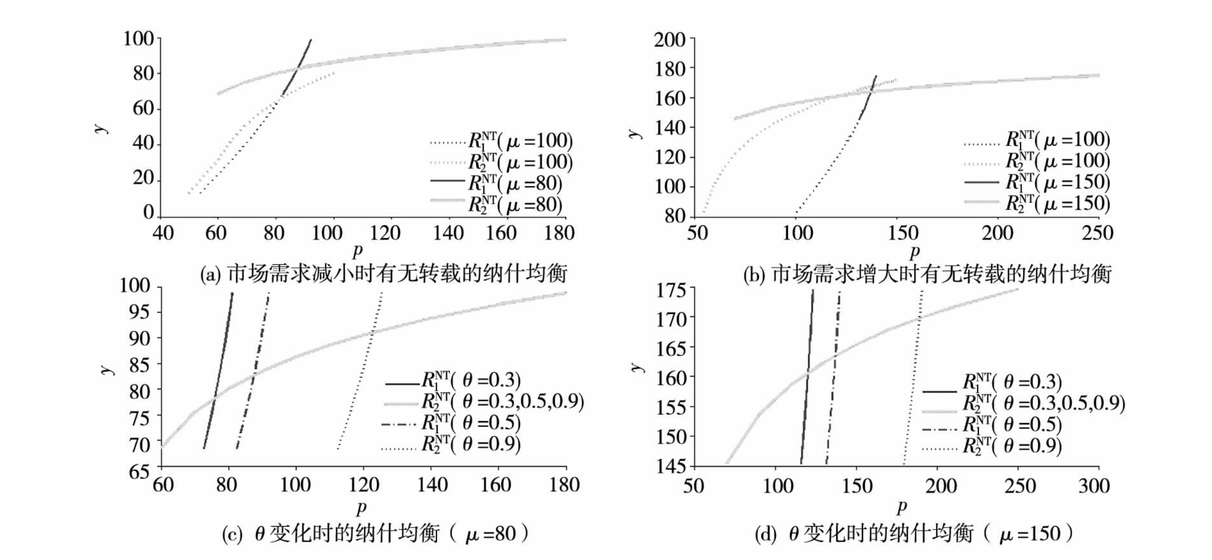
图 1(a) 给出了无竞争下两零售商的最优定价和安全库存策略（$p^{\#}$，$y^{\#}$）和有竞争情形下对称性博弈 $\Gamma$ 的唯一纯策略纳什均衡解（$p^N$，$y^N$）的比较关系. 它反映了与无竞争时的最优解相比，竞争使得零售商的价格和安全库存均有所降低，验证了命题 1 中关于（$p^{\#}$，$y^{\#}$）和（$p^N$，$y^N$）关系的结论. 图 1(b) 反映的是有竞争且市场需求发生突变情形下的纳什均衡战略（$\hat{p}^N$，$\hat{y}^N$）在需求增大和需求减小两种情形下的比较关系. 对比(a) 和(b) 可以发现，需求增大后的纳什均衡解要大于无需求突变时的纳什均衡解，而后者要大于需求减小时的纳什均衡解，但仍然小于无竞争时的最优解. 这一现象验证了命题 1 中（$p^{\#}$，$y^{\#}$）、（$p^N$，$y^N$）和（$\hat{p}^N$，$\hat{y}^N$）关系的结论. 图 1(c) 和(d) 给出了竞争性强度系数 $\theta$ 对于纯战略纳什均衡的影响，具体是在 $\theta$ 分别取 0.3、0.5 和 0.9 三个不同值的前提下，通过改变其中一个反应函数曲线来得到唯一的纳什均衡纯战略，进而比较相互之间的大小关系. 由于相关参数取算例中的定值时，相应的 $\frac{\mathrm{d}p^N}{\mathrm{d}\theta}$ 和 $\frac{\mathrm{d}y^N}{\mathrm{d}\theta}$ 及 $\frac{\mathrm{d}\hat{p}^N}{\mathrm{d}\theta}$ 和 $\frac{\mathrm{d}\hat{y}^N}{\mathrm{d}\theta}$ 均取正值，图 1(c) 和(d) 则验证了命题 2 中关于（$p^N$，$y^N$）和（$\hat{p}^N$，$\hat{y}^N$）对于 $\theta$ 单调关系的结论. 图 1 中的 $R_1$ 和 $R_2$ 表示相应的情境下，由零售商期望利润函数一阶条件所确定的两个反应函数，而它们的唯一交点记为纯战略纳什均衡.

**例 2** 令 $\rho_{ij} = \rho_{ji} = 60$，其他参数与例 1 相同. 为了计算方便，假设两个零售商的需求为相互独立的随机需求. 该算例是用来验证命题 3 和命题 4 的结论，其计算结果如图 2 所示，其中的上标 T 表示的是有转载的情形.

图 2(a) 给出了需求减小时相互竞争的零售商在有无转载的情形下的纳什均衡战略的比较关系，图 2(b) 给出了需求增大时相互竞争的零售商在有无转载的情形下的纳什均衡战略的比较关系. 它们反映了在需求减小时，横向转载下的纯战略纳什均衡要大于无转载下的纳什均衡战略; 在需求增大时，横向转载下的纯战略纳什均衡小于无转载下的纳什均衡战略. 但是，无论需求是增大还是减小，带有横向转载的零售商间的纳什均衡战略所对应的零售价格和安全库存都将远远小于无竞争下的相应最优解，这一现象验证了命题 3 中（$\hat{p}^N$，$\hat{y}^N$）、（$\tilde{p}^N$，$\tilde{y}^N$）和（$p^{\#}$，$y^{\#}$）相互关系的结论. 和例 1 一样，图 2(c) 和(d) 给出了竞争性强度

系数 $\theta$ 对于纯战略纳什均衡的影响，它们验证了命题3 的结论. 由图可知，随着 $\theta$ 的不断增大，纳什均衡战略所对应的均衡价格和安全库存都将相应地增大，但不难发现，增加的幅度较无转载时的幅度小. 由此可以发现，横向转载的存在对于弱化零售商之间的相互竞争是有益的，这一特性可以抑制需求突变的对于最终市场顾客福利的影响.

例3　令 $\rho_{ij}=\rho_{ji}\in[0,\tilde{p}^{N}]$，其他参数与例1 相同. 该算例是用来验证命题5 和推论1 及推论2 的结论，其计算结果如图3 所示.

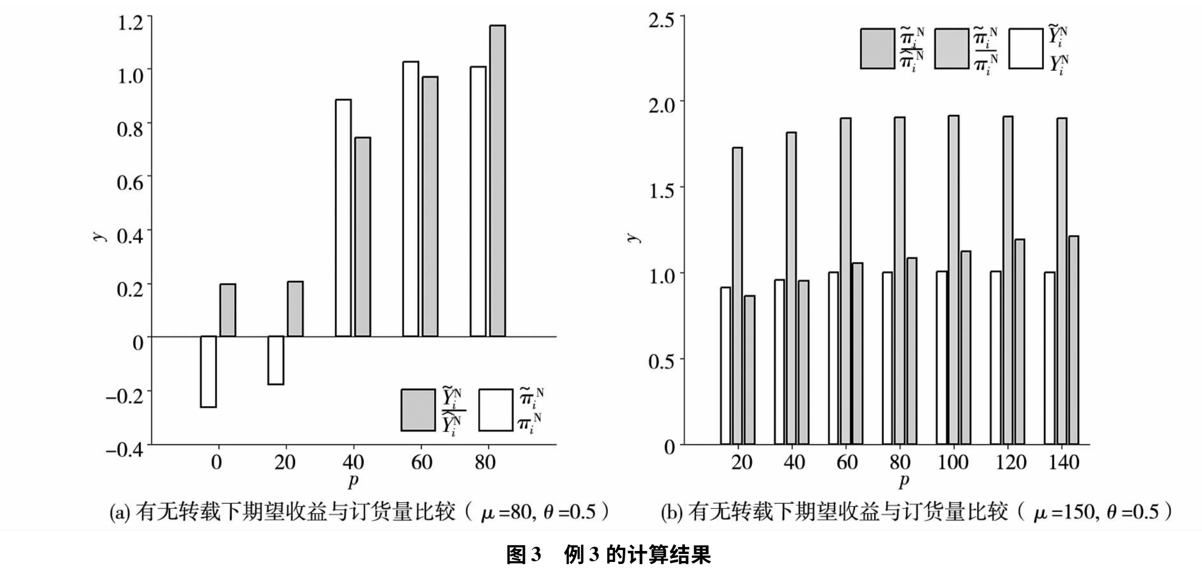



(a) 市场需求减小时有无转载的纳什均衡　(b) 市场需求增大时有无转载的纳什均衡

(c) $\theta$ 变化时的纳什均衡（$\mu=80$）　(d) $\theta$ 变化时的纳什均衡（$\mu=150$）

**图2　例2 的计算结果**

Fig. 2 Computation results of example 2




(a) 有无转载下期望收益与订货量比较（$\mu=80,\theta=0.5$）　(b) 有无转载下期望收益与订货量比较（$\mu=150,\theta=0.5$）

**图3　例3 的计算结果**

Fig. 3 Computation results of example 3

图3 给出了两种需求突变下，随着转载价格的变化，零售商 $i$ 期望利润的变化，并以二者的比值来衡量带有横向转载下的期望利润 $\tilde{\pi}_i^{N}$ 与无横向转载下的期望利润 $\hat{\pi}_i^{N}$ 的比较关系，图3(b) 还给出了 $\tilde{\pi}_i^{N}$ 与无转载无需求突变下的期望利润 $\pi_i^{N}$ 的比较关系. 由图3(a) 和(b) 可以发现，无论是在需求减小还是在需求增大的情况下，随着转载价格的增加，零售商 $i$ 的期望利润呈现先增后减的趋势，必然存在唯一的转载价格，使得转载价格 $\rho$ 大于此值时，横向转载下的期望利润大于无横向转载下的期望利润，由此验证了命题5 及推论1 和2 的结论. 由此可以发现，在需求突变发生后，提高横向转载单位产品的转载价格，对零售商是有益的. 但若未发生需求突变，此结论并不

一定成立. 另外由图 3 不难发现，当转载价格持续增加时( 接近于单位零售价格) ，虽然零售商的期望利润仍将大于无转载时的期望利润，但期望利润增加的幅度却减小了. 由该算例可以发现，确定较高的转载价格可以使得零售商采用横向转载而获益，但这并不表示此种利润增加会随着转载价格的增加而持续下去. 因此，转载价格也并非越大越好，正如命题 3 所述，超过零售商均衡价格的转载价格将不被接受，此时并不会实施横向转载，零售商转为无转载时的竞争情况. 因此，确定合理的转载价格对于利用横向转载策略来应对需求突变是非常重要的. 同时，图 3 还给出了不同转载价格 $\rho$ 所对应的订货量 $\tilde{Y}_i^N$ 与无转载下的订货量 $\hat{Y}_i^N$ 比较的关系. 另外，由图 3 可知，无论需求增大或减小，转载价格的提高会引起零售商增加总的订货量，且存在一个唯一的转载价格，使得 $\tilde{Y}_i^N > \hat{Y}_i^N$ 成立，但此唯一的转载价格并不一定与期望利润关系 $\tilde{\pi}_i^N > \hat{\pi}_i^N$ 所对应的唯一转载价格相一致. 由于本文讨论的是在转载价格外生的基础上进行分析，因此关于 $\hat{Y}_i^N$ 和 $\tilde{Y}_i^N$ 与转载价格 $\rho$ 的关系还需要作进一步分析. 本文的算例则给出了一些有益的结论.

## 5 结束语

本文以两个相互竞争的零售商为研究对象，研究了突发事件造成市场随机需求发生突变后的零售商利用横向转载来应对需求突变风险的合作策略. 在非合作分散式决策框架的范围内，本文构建了无需求突变无横向转载、有需求突变和无横向转载、有需求突变和有横向转载 3 种情形下的博弈模型，并对 3 个博弈的纳什均衡战略的存在性、唯一性及其性质进行了理论分析，在验证横向转载应对需求突变优势的基础上，提出了零售商应对需求突变风险的新的方法，获取了关于横向转载应对需求突变的一些有益的研究结论，这将为启发供应链突变管理后续研究及企业实施有效的应急措施奠定一定的基础.

虽然本文提出了新的零售商应对需求突变风险的方法，但仍存在一定的局限性，主要表现在: 1) 本文的部分研究结论是建立在不考虑零售商在需求突变后的单位偏离成本的基础上，而单位偏离成本不可忽略的研究则有待进一步开展. 虽然针对大部分非昂贵型低需求产品而言，单位偏离成本趋向于 0 是有可能的，但也不能忽视昂贵型低需求产品的横向转载应对，如 Grahovac 和 Chkkavarty [21] 就专门研究了针对此类产品的横向转载策略. 2) 本文未考虑多个零售商横向转载应对需求突变的情形，而在现实市场上大量零售商存在于同一区域市场也是常见的，多个零售商利用横向转载来应对需求突变也是值得开展研究的另一个问题. 考虑到数学解析方法在建模上的局限性，建议利用仿真优化的方法来研究上述问题并期待相关新的研究思路的出现，当然这些问题也是进一步开展研究的重点问题.

## 参 考 文 献:

[1] Clausen J, Larsen J, Larsen A, et al. Disruption management: Operations research between planning and execution [J]. OR/MS Today, 2001, 28(5): 40 – 43.

[2] 胡祥培，丁秋雷，张 漪，等. 干扰管理研究述评 [J]. 管理科学，2007，20(2): 2 – 8.
Hu Xiangpei, Ding Qiulei, Zhang Yi, et al. A review on disruption management [J]. Journal of Management Science, 2007, 20(2): 2 – 8. (in Chinese)

[3] 于 辉. 供应链合作与企业应急管理 [M]. 重庆: 重庆大学出版社，2009.
Yu Hui. Supply Chain Cooperation and Enterprise Emergency Management [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2009. (in Chinese)

[4] Yu G, Qi X. Disruption Management: Framework, Models, and Applications [M]. Singapore: World Scientific Publisher, 2004.

[5] Hendricks K B, Singhal V R. An empirical analysis of the effects of supply chain disruptions on long-run stock price performance and equity risk of the firm [J]. Production and Operations Management, 2005, 14(1): 35 – 52.

[6] Hendricks K B, Singhal V R. The effect of supply chain disruptions on shareholder value [J]. Total Quality Management,

2008, 19(7/8): 777 - 791.

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

[8] Oke A, Gopalakrishnan M. Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain [J]. International Journal of Production Economics, 2009, 118(1): 168 - 174.

[9] Dowty R A, Wallace W A. Implications of organizational culture for supply chain disruption and restoration [J]. International Journal of Production Economics, 2010, 126(1): 57 - 65.

[10] Xiao T, Yu G. Supply chain disruption management and evolutionarily stable strategies of retailers in the quantity-setting duopoly situation with homogeneous goods [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 173(2): 648 - 668.

[11] Xiao T, Qi X, Yu G. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete [J]. International Journal of Production Economics, 2007, 109(1/2): 162 - 179.

[12] **曹二保，赖明勇. 成本和需求同时扰动时供应链协调合约研究 [J]. 管理科学学报**, 2010, 13(7): 9 - 15.
Cao Erbao, Lai Mingyong. Research on coordination mechanism of supply chains when demand and cost are disrupted [J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(7): 9 - 15. (in Chinese)

[13] **张菊亮，陈　剑. 供应商管理库存应对突发事件 [J]. 中国管理科学**, 2008, 16(5): 71 - 76.
Zhang Juliang, Chen Jian. Vender manage inventory under disruption [J]. Chinese Journal of Management Science, 2008, 16(5): 71 - 76. (in Chinese)

[14] Tomlin B. On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks [J]. Management Science, 2006, 52(5): 639 - 657.

[15] Tang C S. Robust strategies for mitigating supply chain disruptions [J]. International Journal of Logistics: Research and Application, 2006, 9(1): 33 - 45.

[16] Paterson C, Kiesmuller G, Teunter R. Inventory models with lateral transshipments: A review [J]. European Journal of Operational Research, 2011, 210(2): 125 - 136.

[17] Ingene C A, Parry M E. Channel coordination when retailers compete [J]. Marketing Science, 1995, 14(4): 360 - 377.

[18] Zhao X, Atkins D R. Transshipment between competing retailers [J]. IIE Transactions, 2009, 41(8): 665 - 676.

[19] Lariviere M A, Porteus E L. Selling to the newsvendor: An analysis of price only contracts [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2001, 3(4): 293 - 305.

[20] Rudi N, Kapur S, Pyke D F. A two-location inventory model with transshipment and local decision making [J]. Management Science, 2001, 47(12): 1668 - 1680.

[21] Grahovac J, Chkkavarty A. Sharing and lateral transshipment of inventory in a supply chain with expensive low-demand items [J]. Management Science, 2001, 47(4): 579 - 594.

[22] Cachon G P, Netessine S S. Game Theory in Supply Chain Analysis [M] // Simchi-levi D, Wu S D, Shen Z J. Handbool of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.

[23] Zhao X, Atkins D R. Newsvendors under simultaneous price and inventory competition [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10(3): 539 - 546.

[24] Muller A, Stoyan D. Comparison Methods for Stochastic Models and Risks [M]. West Sussex: John Wiley & Sons, 2002.

# Managing demand disruption with lateral transshipment

*CHEN Jing-xian*[1,2], *WANG Guo-hua*[2], *LIANG Liang*[1]

1. School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;
2. School of Business, Nantong University, Nantong 226019, China

**Abstract:** This paper studied the value of lateral transshipment policy between two competitive retailers under

(下转第92页)

Hu Xiaoping, He Jianmin. Research on optimal liquidation strategy based on supply curve [J]. Journal of Systems Engineering, 2011, 26(2): 188 – 194. (in Chinese)

# Continuous optimal partial liquidation of the single stock's hedging under arithmetic Brownian movements

*TANG Yan-wei, CHEN Gang, LIU Xi-hua*
School of Economics, Qingdao University, Qingdao 266071, China

**Abstract:** The continuous liquidation trajectory of the single hedged stock is derived under the arithmetic Brownian movements, mean-variance utility, and linear market impact. The parameters analysis shows that the investors are like to liquidate quickly if they are more risk averse or the portfolio's variance is larger; if the correlation coefficient is negative, they want to execute more quickly and vice versa; the liquidation velocity changes are opposite to that of the correlation coefficient under the given hedging ratio. The partial liquidation's trajectory is more convex than the full liquidation's. Sometimes, the investors would over liquidate firstly and then recover the position.

**Key words:** stock index futures; hedging; optimal liquidation

(上接第 37 页)

demand disruption environment. Considered two retailers competing for selling homogeneous products, we assumed that retailers can use inventory pooling strategy to mitigate customer demand risks when demands are disrupted. Thus, three non-cooperative game models are established: no disruption and no transshipment case (NDNT), with disruption and no transshipment case (WDNT), and with disruption and with transshipment case (WDWT). Through a contraction mapping theory, we developed sufficient conditions for the Nash equilibrium to be existent and unique. We proved that each game of the three cases has a single pure strategy Nash equilibrium at symmetric configuration. Furthermore, we analyzed properties of the equilibrium and compared it with the other one. We also analyzed the monotone relationships of the competition degree parameters to the equilibriums based on solutions of partial derivatives equations and developed sufficient conditions that the transshipment policy is beneficial to the retailers. Through computation and simulation of a numerical example, we verified these conclusions. It is shown that retailers are always benefited from lateral transshipment when demands are disrupted because expected revenue will realize Pareto improvement after transshipment. However, relatively low transshipment prices will make retailers hurt by transshipment. Therefore, transshipment price configuration plays a key role in managing demand disruptions with transshipment. The results will provide theoretical supports for entities regarding disruption management.

**Key words:** supply chain management; disruption management; lateral transshipment; demand disruption