Advances in Social Sciences 社会科学前沿, 2018, 7(2), 193-201
Published Online February 2018 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ass
https://doi.org/10.12677/ass.2018.72033

Disrupting Equilibrium Decision and Contract Coordination of Supply Chain with Diseconomies of Scale

Ke Li, Jinsong Hu, Zongyu Mu

Qingdao University, Qingdao Shandong
Email: mzydragon@163.com

Received: Feb. 5th, 2018; accepted: Feb. 19th, 2018; published: Feb. 27th, 2018

Abstract

A supply chain model with one manufacture and one retailer is given to improve the operation efficiency of the system with diseconomies of scale. The equilibrium decision of the supply chain with diseconomies of scale is analyzed, and revenue sharing contact is used to coordinate the system to solve the "double marginal effect" problem, and to improve the profit of the system and all members. And then, we analyze the disrupting equilibrium decision under the case that the market demand is disrupted, and a disrupting revenue sharing contract is designed to effectively response to the disruption.

Keywords

Supply Chain Management, Diseconomies of Scale, Demand Disruption, Equilibrium Decision, Revenue Sharing Contract

规模不经济供应链的应急均衡决策及契约协调

李　珂，胡劲松，牟宗玉

青岛大学商学院，山东 青岛
Email: mzydragon@163.com

收稿日期：2018年2月5日；录用日期：2018年2月19日；发布日期：2018年2月27日

摘　要

为提升生产存在规模不经济供应链的运营效率，构建了一个制造商和一个零售商所组成的规模不经济供

文章引用：李珂，胡劲松，牟宗玉. 规模不经济供应链的应急均衡决策及契约协调[J]. 社会科学前沿，2018，7(2): 193-201. DOI: 10.12677/ass.2018.72033

应链模型，分析了规模不经济供应链的均衡决策，并利用收益共享契约协调解决了“双重边际效应”问题，在规模不经济下提高了供应链和各企业的利润；进而，考虑突发事件干扰市场需求扰动使得供应链的运营再次变得没有效率的问题，分析了规模不经济供应链的应急均衡决策，并设计了具抗突发事件性的应急收益共享契约，实现了对突发事件的有效应对。

关键词

供应链管理，规模不经济，需求扰动，均衡决策，收益共享契约

1. 引言

伴随着我国刺激消费政策(如 2016 年国家发改委等 24 部位印发的《关于促进消费带动转型升级的行动方案》)的相继出台以及家庭收入的不断提高，各类产品的市场需求快速增加，这就促使企业不断扩大生产规模，增加产量。然而，受限于自身落后的技术水平、低效的管理能力，企业经营普遍面临着生产规模不经济的问题。因此，探讨生产规模不经济下供应链中各企业的运营决策问题，提高系统效率就成为必然。近年来，Ha 等[1]针对两个由一个制造商和一个零售商构成且存在古诺竞争和伯川德竞争的供应链模型，研究了在生产技术存在规模不经济特性的竞争性供应链中纵向信息共享的影响。赵海霞等[2]研究了价格竞争和规模不经济对制造商链与链纵向控制结构选择的影响。赵海霞等[3]针对由两个制造商和两个排他性零售商构成的竞争性供应链，基于链与链的数量竞争和制造商的规模不经济环境，分别从制造商和零售商同时实现帕累托改的角度研究了市场竞争强度和规模不经济参数对合同选择的影响。赵海霞等[4]针对由两个制造商和两个排他性零售商构成的链与链数量竞争模型，研究了存在规模不经济的制造商对于竞争供应链的纵向合同选择问题。王先甲等[5]针对由一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链，研究了制造商在规模不经济特性下双渠道供应链的协调策略。聂佳佳等[6]针对由一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链，研究了规模不经济对制造商直销渠道选择的影响。

然而，上述文献的研究均考虑供应链运营处于不在变化的环境中。实践中，各类不确定突发事件会干扰供应链的正常运营，使得系统的运营变得不再有效率。针对该类问题，Qi 等[7]最早研究了供应链的应急均衡策略问题。随后，国内外许多学者拓展了应急管理成果，如：Xu 等[8]考虑突发事件干扰生产成本的情况，研究了数量折扣契约协调供应链的问题；Xiao 等[9]针对突发事件同时干扰市场需求和生产成本的情况，探讨了全单位数量折扣契约和增量单位数量折扣契约协调供应链的问题；Zhang 等[10]针对由一个制造商和两个零售商组成的供应链，在突发事件干扰市场需求的情况下，研究了收益共享契约协调供应链的问题；Huang 等[11]以双渠道供应链为对象，考虑突发事件干扰生产成本的情况，研究了分散式决策和集中式决策供应链的定价及生产决策问题，并指出契约协调突发事件干扰下双渠道供应链是一个值得探讨的领域。王旭等[12]研究了市场规模和再制造成本同时扰动时闭环供应链的应对及协调策略。韩小花等[13]研究了面对需求扰动时最优的生产策略与协调机制的设计问题。吴海燕等[14]分别在制造商扰动、竞争对手扰动和双扰动三种情况下研究了闭环供应链的最优生产决策问题。孙嘉轶等[15]在确定性需求的条件下构建第一及第二周期闭环供应链模型，研究了面对需求扰动两周期闭环供应链回收策略和协调问题。然而，已有应急管理成果均忽略了生产存在规模不经济的问题。

针对现有关于供应链的规模不经济和应急管理理论成果的不足，对两者予以融合，研究规模不经济供应链的应急管理问题。通过构建模型研究：1) 规模不经济供应链的均衡决策及收益费用共享契约协调问题；2) 需求扰动下供应链的应急均衡决策问题；3) 设计具抗突发事件性的应急收益共享契约问题。

2. 基本模型

2.1. 模型描述

本文考虑由一个制造商和一个零售商所组成的供应链，制造商采购原材料生产产品，然后将其批发给零售商，因制造商生产产品的规模已达到一定程度，受资源的限制，其产品产量增加的比例小于成本增加的比例，即出现规模不经济；零售商获得产品后将其销售给消费者；制造商和零售商之间存在着斯塔克博格博弈关系，且制造商为领导者，零售商为跟随者；制造商和零售商之间为完全信息，且两者均为风险中性成员。

2.2. 模型假设及符号说明

类似 Ha 等[1]对生产存在规模不经济行为的表述方式，假设制造商生产产品的总成本为 $c_m=\frac{1}{2}bq^2$。其中，b 代表规模不经济的弹性系数，其大小代表规模不经济程度，q 代表制造商生产产品数量，假设供需相等，则 q 也为零售商处面临的产品市场需求，易知在任何正的生产水平 q 上，生产的边际成本 bq 为正；制造商销售产品给零售商的单位批发价格为 w (制造商的决策变量)；零售商销售产品的单位销售价格为 p (零售商的决策变量)；零售商面临的产品市场需求为 $q=\phi-\beta p$。

基于以上假设及符号说明可得制造商、零售商和供应链的利润函数分别为：

$$\Pi_m^d\left(w,q\right)=wq-c_m \tag{1}$$

$$\Pi_r^d\left(w,q\right)=pq-wq \tag{2}$$

$$\Pi^c\left(q\right)=pq-c_m \tag{3}$$

2.3. 集中式决策模型

本节讨论供应链中的制造商和零售商均已供应链利润最大化为决策目标，将此时供应链中的制造商和零售商的决策称为集中式决策。可得命题 1：

命题 1 在集中式决策供应链中，产品的单位销售价格为 $p^{c*}=\frac{\phi\left(\beta b+1\right)}{\beta\left(\beta b+2\right)}$ 时，销售量为 $q^{c*}=\frac{\phi}{\beta b+2}$，整个供应链获得最优利润为 $\Pi^{c*}=\frac{\phi^2}{\beta\left(\beta b+2\right)^2}$。

证明因为 $\frac{\partial\Pi^2\left(q\right)}{\partial q^2}=-\left(\frac{2}{\beta}+b\right)<0$，故 $\Pi\left(q\right)$ 存在关于 q 的极大值点。

令 $\frac{\partial\Pi\left(q\right)}{\partial q}=0$，可得：$q^{c*}=\frac{\phi}{\beta b+2}$。

此时易得：$p^{c*}=\frac{\phi\left(\beta b+1\right)}{\beta\left(\beta b+2\right)}$。

故集中式决策供应链获得最优利润为 $\Pi^{c*}=\frac{\phi^2}{2\beta\left(\beta b+2\right)}$。

命题 1 得证。

由命题 1 易知，b 越大，产品的单位销售价格越高，产品的销售量越少，供应链的利润越少。

2.4. 分散式决策模型

本节讨论供应链中的制造商和零售商均为独立决策的理性人，两者均以自身利润最大化为决策目标，将此时供应链中的制造商和零售商的决策称为分散式决策。考虑制造商和零售商之间存在着斯塔克博格博弈关系，且制造商为领导者，其会率先决策产品的单位批发价格，零售商在观测到制造商的决策后，决策产品的单位销售价格。利用逆向归纳法可得命题 2：

命题 2 在分散式决策供应链中，产品的单位批发价格为 $w^{d*}=\dfrac{\phi(\beta b+2)}{\beta(\beta b+4)}$，产品的单位销售价格为 $p^{d*}=\dfrac{\phi(\beta b+3)}{\beta(\beta b+4)}$ 时，销售量为 $q^{d*}=\dfrac{2\phi}{b\beta+4}$，制造商获得最优利润为 $\Pi_m^{d*}=\dfrac{4\phi^2}{\beta(\beta b+4)^2}$，零售商获得最优利润为 $\Pi_r^{d*}=\dfrac{\phi^2}{\beta(\beta b+4)^2}$，整个供应链获得最优利润为 $\Pi^{d*}=\dfrac{5\phi^2}{\beta(\beta b+4)^2}$。

证明因为制造商和零售商之间存在着斯塔克博格博弈关系，且制造商为领导者，故利用逆向归纳法求解。

第一步，分析零售商的决策。

因为 $\dfrac{\partial\Pi_r^{d2}(w,p)}{\partial p^2}=-2\beta<0$，故 $\Pi_r^d(w,p)$ 存在关于 p 的极大值点。

令 $\dfrac{\partial\Pi_r^d(w,p)}{\partial p}=0$，可得：$p^*(w)=\dfrac{\phi+\beta w}{2\beta}$。

此时易得：$q^*(w)=\dfrac{\phi-\beta w}{2}$。

第二步，分析制造商的决策。

将 $q^*=\dfrac{\phi-\beta w}{2}$ 带入制造商的利润函数 $\Pi_m^d(w,q)$ 可得：

$$\begin{aligned}\Pi_m^d(w,q^*)&=\Pi_m^d(w)\\&=-\frac{b\beta^2+4\beta}{8}w^2+\frac{b\beta\phi+2\phi}{4}w-\frac{b\phi^2}{8}\end{aligned}\tag{4}$$

由(4)式可知 $\dfrac{\partial\Pi_m^{d2}(w,q)}{\partial w^2}=-\dfrac{\beta(\beta b+4)}{4}<0$，故 $\Pi_m^d(w,q)$ 存在关于 w 的极大值点。

令 $\dfrac{\partial\Pi_m^d(w,q)}{\partial w}=0$，可得：$w^{d*}=\dfrac{\phi(\beta b+2)}{\beta(\beta b+4)}$。

第三步，将 w^{d*} 分别带入 $p^*(w)$ 和 $q^*(w)$ 可得：$q^{d*}=\dfrac{\phi}{b\beta+4}$，$p^{d*}=\dfrac{\phi(\beta b+3)}{\beta(\beta b+4)}$。

故制造商获得最优利润为 $\Pi_m^{d*}=\dfrac{\phi^2(\beta b+2)}{2\beta(\beta b+4)^2}$，零售商获得最优利润为 $\Pi_r^{d*}=\dfrac{\phi^2}{\beta(\beta b+4)^2}$，整个分散式决策供应链获得最优利润为 $\Pi^{d*}=\dfrac{\phi^2}{2\beta(\beta b+4)}$。

命题 2 得证。

由命题 2 易知，b 越大，制造商给零售商产品的单位批发价格越高、零售商处产品的单位销售价格也越高，产品的销售量越少，制造商和零售商的利润越少。

结论 1 集中式决策和分散式决策供应链存在如下关系：$p^{c*} < p^{*}$，$q^{c*} > q^{d*}$，$\Pi^{c*} > \Pi^{d*}$。

证明 $p^{c*} - p^{d*} = \dfrac{\phi(\beta b+1)}{\beta(\beta b+2)} - \dfrac{\phi(\beta b+3)}{\beta(\beta b+4)} = -\dfrac{2\phi}{\beta(\beta b+2)(\beta b+4)} < 0$；

$$q^{c*} - q^{d*} = \frac{\phi}{\beta b+2} - \frac{\phi}{b\beta+4} = \frac{2\phi}{\beta b+2} > 0\text{；}$$

$$\Pi^{c*} - \Pi^{d*} = \frac{\phi^2}{2\beta(\beta b+2)} - \frac{\phi^2}{2\beta(\beta b+4)} = \frac{2\phi^2}{2\beta(\beta b+2)(\beta b+4)} > 0\text{。}$$

结论 1 得证。

由结论 1 可知，相比较集中式决策供应链，分散式决策供应链中产品的销售价格过高，产品的市场需求较低，故系统的利润较低，这是因为分散式决策成员的利己行为产生的“双重边际效应”问题。因此，解决该问题提高分散式决策供应链的运营效率就成为必然。

2.5. 收益共享契约协调模型

定义 1 如果契约使集中式决策供应链的最优决策行为构成各交易企业的一个纳什均衡，且每个企业均没有意愿偏离该纳什均衡，则称该契约能够协调供应链。

引理 1 如果契约协调使零售商的利润函数是集中式决策供应链利润函数的仿射函数(线性函数)，即 $\Pi_r = \eta\Pi^c + A$，其中，$0 < \eta < 1$，A 为任意的常数，则该契约能够协调供应链。

本节设计的收益共享契约 (w,η) 的协调机理为：制造商以单位批发价格 w 向零售商批发产品，零售商将产品销售后向制造商转移 $(1-\eta)\dfrac{(\phi-q)q}{\beta}$ 部分的销售收益。其中，$\eta(0<\eta<1)$ 为收益共享比例。因此，在收益共享契约 (w,η) 的协调下，制造商和零售商的利润函数分别为：

$$\Pi_m^r(w,q,\eta) = \Pi_m^d(w,q) + (1-\eta)\frac{(\phi-q)q}{\beta} \tag{7}$$

$$\Pi_r^r(w,q,\eta) = \Pi_r^d(w,q) - (1-\eta)\frac{(\phi-q)q}{\beta} \tag{8}$$

命题 4 收益共享契约 (w,η) 中的参数取值满足 $w^{r*}(\eta) = \dfrac{1}{2}\eta bq$ 关系时，其能够协调分散式决策供应链，且制造商和零售商可在区间 $\dfrac{2(\beta b+2)}{(\beta b+4)^2} \le \eta \le \dfrac{\beta^2 b^2}{(\beta b+4)^2}$ 内通过讨价还价确定收益共享比例 η 的值分配系统的最优利润。

证明收益共享契约 (w,η) 中的参数取值满足 $w^{r*}(\eta) = \dfrac{1}{2}\eta bq$ 等关系时，该契约协调下的零售商的利润函数为：

$$\Pi_r^r\left(w^{r*}(\eta),q,\eta\right) = \eta\left(pq - \frac{1}{2}bq^2\right) = \eta\Pi^c(q) \tag{9}$$

通过上式可以看出，零售商的利润函数为集中式决策供应链利润函数的仿射函数。因此，由引理 1 可知，收益共享契约 $(w^{r*}(\eta),\eta)$ 协调了分散式决策供应链。此时，制造商和零售商的利润函数分别为：

$$\Pi_m^r\left(w^{r*}(\eta),q^{c*},\eta\right)=(1-\eta)\Pi^{c*} \tag{10}$$

$$\Pi_r^r\left(w^{r*}(\eta),q^{c*},\eta\right)=\eta\Pi^{c*} \tag{11}$$

制造商和零售商参与收益共享契约必须满足参与约束，即两者在收益共享契约$\left(w^{r*}(\eta),\eta\right)$的协调下所获得的利润不能少于分散式决策下各自获得的利润，故应有$\Pi_m^r\left(w^{r*}(\eta),q^{c*},\eta\right)\ge\Pi_m^{d*}$且$\Pi_r^r\left(w^{r*}(\eta),q^{c*},\eta\right)\ge\Pi_r^{d*}$。可得：$\dfrac{2(\beta b+2)}{(\beta b+4)^2}\le\eta\le\dfrac{\beta^2b^2}{(\beta b+4)^2}$。

命题 4 得证。

由命题 4 易知，b越大，契约协调下制造商给零售商产品的单位批发价格越高，且零售商可分配的利润空间也越小。

3. 应急均衡决策模型

突发事件发生前，制造商根据零售商反馈的市场需求预测安排了生产q^{c*}数量产品的生产计划。突发事件发生了，其导致最大市场需求规模由ϕ变为$\phi+\Delta\phi$(显然须有$\phi+\Delta\phi>0$才有意义)，从而相对于零售价格p，零售商面临的市场需求变为$q=\phi+\Delta\phi-\beta p$。若突发事件发生后的生产计划为生产$q$数量的产品，相比较突发事件之前的最优销售量$q^{c*}$，相应的销售量的变化为$\Delta q=q-q^{c*}$。当$\Delta q>0$时，对于增加的$\Delta q$数量的产品由于调整生产计划而会产生额外的单位生产成本$\lambda_1>0$；当$\Delta q<0$时，对于减少的$-\Delta q$数量的产品由于调整生产计划而会产生额外的单位处理成本$\lambda_2>0$。故突发事件发生后可得供应链的利润函数为：

$$\Pi^{c\prime}(q)=\frac{(\phi+\Delta\phi-q)}{\beta}q-\frac{1}{2}bq^2-\lambda_1\left(q-q^{c*}\right)^+-\lambda_2\left(q^{c*}-q\right)^+ \tag{11}$$

命题 5 当突发事件导致集中式决策供应链中的最大市场需求规模发生变化时，若$\Delta\phi>0$，则$\bar{q}\ge q^{c*}$ ($\bar{q}$为突发事件干扰下集中式决策供应链的最优产品销售量)；若$\Delta\phi<0$，则$\bar{q}\le q^{c*}$。

证明令$A'=\dfrac{\partial^2\Pi^{c\prime}(q)}{\partial q^2}=-\dfrac{2}{\beta}<0$，故函数$\Pi^{c\prime}(q)$为严格凹函数，存在唯一最优产品销售量$\bar{q}$，使得集中式决策供应链的利润最大。

首证若$\Delta\phi>0$，则$\bar{q}\ge q^{c*}$成立，下面利用反证法证明。

假设当$\Delta\phi>0$时，有$\bar{q}<q^{c*}$成立。突发事件发生前，集中式决策闭环供应链的利润函数有$\Pi^c\left(q^{c*}\right)>\Pi^c(\bar{q})$，即$\dfrac{\left(\phi-q^{c*}\right)}{\beta}q^{c*}-\dfrac{1}{2}bq^{c*2}>\dfrac{(\phi-\bar{q})}{\beta}\bar{q}-\dfrac{1}{2}b\bar{q}^2$。当突发事件导致最大市场需求规模变大后，根据假设有$\bar{q}<q^{c*}$成立。因为

$\Pi^{c\prime}(\bar{q})=\left(\dfrac{\phi+\Delta\phi}{\beta}\right)\bar{q}-\dfrac{\bar{q}^2}{\beta}-\dfrac{b\bar{q}^2}{2}-\lambda_2\left(q^{c*}-\bar{q}\right)<\left(\dfrac{\phi+\Delta\phi}{\beta}\right)\bar{q}-\dfrac{\bar{q}^2}{\beta}-\dfrac{b\bar{q}^2}{2}<\Pi^{c\prime}\left(q^{c*}\right)$，这与$\bar{q}$为$\Pi^{c\prime}(q)$的最优值矛盾，故当$\Delta\phi>0$时，有$\bar{q}\ge q^{c*}$。

同理可证，若$\Delta\phi<0$，则$\bar{q}\le q^{c*}$。

命题 5 得证。

命题 6 在最大市场需求规模发生扰动的情况下，当产品的销售量为$\bar{q}$时，整个系统获得最优利润。其中，1) 当$\Delta\phi\le-\beta\lambda_2$时，有$\bar{q}=q^{c*}+\dfrac{\Delta\phi+\beta\lambda_2}{\beta b+2}$；2) 当$-\beta\lambda_2<\Delta\phi<\beta\lambda_1$时，有$\bar{q}=q^{c*}$；3) 当$\Delta\phi\ge\beta\lambda_1$时，

有 $\bar{q}=q^{c^*}+\dfrac{\Delta\phi-\beta\lambda_1}{\beta b+2}$。

证明基于命题 5 的结论可分两种情况进行求解分析。

情况 1：当 $\Delta\phi>0$ 时，由命题 5 可知 $\bar{q}\ge q^{c^*}$，故集中式决策供应链的利润函数为：

$$\Pi^{c'}(q)=\frac{(\phi+\Delta\phi-q)}{\beta}q-c_m-\lambda_1\left(q-q^{c^*}\right) \tag{12}$$

且满足约束：

$$f_1(q)=q^{c^*}-q\le 0 \tag{13}$$

引入广义拉格朗日乘子 γ_1，设 K-T 点为 $\bar{q}$，可得 K-T 条件：

$$\begin{cases}-\dfrac{\bar{q}}{\beta}+\dfrac{(\phi+\Delta\phi-\bar{q})}{\beta}-b\bar{q}-\lambda_1+\gamma_1=0\\ \gamma_1\left(q^{c^*}-\bar{q}\right)=0\\ \gamma_1\ge 0,q^{c^*}-\bar{q}\le 0\end{cases} \tag{14}$$

对(14)式求解可得：1) 当 $0<\Delta\phi<\beta\lambda_1$ 时，有 $\bar{q}=q^{c^*}$；2) 当 $\Delta\phi\ge\beta\lambda_1$ 时，有 $\bar{q}=q^{c^*}+\dfrac{\Delta\phi-\beta\lambda_1}{\beta b+2}$。

情况 2：当 $\Delta\phi<0$ 时，由命题 5 可知 $\bar{q}\le q^{c^*}$，故集中式决策供应链的利润函数为：

$$\Pi^{c'}(q)=\frac{(\phi+\Delta\phi-q)}{\beta}q-c_m-\lambda_2\left(q^{c^*}-q\right) \tag{15}$$

且满足约束：

$$f_2(q)=q-q^{c^*}\le 0 \tag{16}$$

引入广义拉格朗日乘子 γ_2，设 K-T 点为 $\bar{q}$，可得 K-T 条件：

$$\begin{cases}-\dfrac{\bar{q}}{\beta}+\dfrac{(\phi+\Delta\phi-\bar{q})}{\beta}-b\bar{q}+\lambda_2-\gamma_2=0\\ \gamma_2\left(\bar{q}-q^{c^*}\right)\le 0\\ \gamma_2\ge 0,\bar{q}-q^{c^*}\le 0\end{cases} \tag{17}$$

对(17)式求解可得：1) 当 $-\beta\lambda_2<\Delta\phi<0$ 时，有 $\bar{q}=q^{c^*}$；2) 当 $\Delta\phi\le-\beta\lambda_2$ 时，有 $\bar{q}=q^{c^*}+\dfrac{\Delta\phi+\beta\lambda_2}{\beta b+2}$。

综合考虑 $\Delta\phi>0$，$\Delta\phi=0$ 和 $\Delta\phi<0$ 时集中式决策供应链的最优决策可得命题 6。

命题 6 得证。

由命题 6 易知，1) 当市场需求扰动不大时($-\beta\lambda_2<\Delta\phi<\beta\lambda_1$)，稳定环境下的均衡决策具有一定的鲁棒性，且鲁棒性只与 λ_1 和 λ_2 正相关，与 b 无关；2) 市场需求扰动较大时($\Delta\phi\le-\beta\lambda_2$ 或 $\Delta\phi\ge\beta\lambda_1$)，应按照市场需求变化的方向相应的调整生产计划；3) 市场需求扰动较大时，b 越大，受规模不经济的影响，相应的调整生产计划的产量越小。

4. 应急契约协调模型

突发事件发生后，在收益共享契约协调下，制造商和零售商的利润函数分别为：

$$\Pi_m^{r\prime}(w,\eta) = wq - \frac{1}{2}bq^2 + (1-\eta)\frac{(\phi+\Delta\phi-q)q}{\beta} - \lambda_1\left(q-q^{c*}\right)^+ - \lambda_2\left(q^{c*}-q\right)^+ \tag{18}$$

$$\Pi_r^{r\prime}(q,\eta) = \frac{(\phi+\Delta\phi-q)}{\beta}q - wq - (1-\eta)\frac{(\phi+\Delta\phi-q)q}{\beta} \tag{19}$$

命题 7 在突发事件引起最大市场需求规模发生扰动的情况下，改进的收益共享契约 (w,η) 中的参数满足 $w' = \frac{1}{2}\eta bq + \eta\left[\lambda_1\left(1-\frac{q^{c*}}{q}\right)^+ + \lambda_2\left(\frac{q^{c*}}{q}-1\right)^+\right]$ 关系时，可协调突发事件干扰下的分散式决策供应链；同时，该契约也能协调稳定环境下的分散式决策供应链，且制造商和零售商可通过讨价还价确定收益共享比例 η 的值分配系统的最优利润。

证明考虑突发事件导致最大市场需求规模发生扰动的情况，在收益共享契约 $w' = \frac{1}{2}\eta bq + \eta\left[\lambda_1\left(1-\frac{q^{c*}}{q}\right)^+ + \lambda_2\left(\frac{q^{c*}}{q}-1\right)^+\right]$ 的协调下，零售商的利润函数为：

$$\Pi_r^{r\prime}(q,\eta) = \eta\left[\frac{(\phi+\Delta\phi-q)}{\beta}q - \frac{1}{2}bq^2 - \lambda_1\left(q-q^{c*}\right)^+ - \lambda_2\left(q^{c*}-q\right)^+\right] = \eta\Pi^{c\prime}(q) \tag{20}$$

即为突发事件干扰下集中式决策供应链利润函数的仿射函数，故由引理 1 可知，分散式决策供应链在改进的收益共享契约下实现了协调，且制造商和零售商可通过讨价还价确定收益共享比例 η 的值分配系统的最优利润。

当 $\Delta\phi = 0$，即突发事件不发生的稳定环境，由于不需要调整生产计划，故会有 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$，改进的收益共享契约中的参数满足 $w'(\eta) = \frac{1}{2}\eta bq$。此时，零售商的利润函数 $\Pi_r(q,\tau,\varphi') = \varphi'\left[\left(\frac{\phi}{\beta}-c_m\right)q - \frac{q^2}{\beta} + (\delta-A)\tau q - C_L\tau^2\right] = \varphi\Pi(q,\tau)$，即为稳定环境下集中式决策供应链利润函数的仿射函数。由引理 1 可知，分散式决策供应链在改进的收益共享契约下实现了协调，且制造商和零售商可通过讨价还价确定收益共享比例 η 的值分配系统的最优利润。

命题 7 得证。

由命题 7 可知，改进后的收益共享契约 (w',η) 不仅能够协调突发事件干扰下的分散式决策供应链，也能够协调稳定环境下的分散式决策供应链，即具有了抗突发事件性。

5. 结论

本文考虑市场需求扰动的情况下，研究了生产存在规模不经济供应链的应急策略问题。通过研究得到几点结论：1) 规模不经济的弹性系数越大，产品的批发和销售价格越高，产品的销售量越少，系统及各成员的利润越少，收益共享契约可协调规模不经济供应链，且协调契约的设计受规模不经济弹性系数的影响；2) 市场需求发生扰动后，稳定环境下的均衡决策具有一定的鲁棒性，且鲁棒性与额外的生产和处理成本正相关，与规模不经济的弹性系数无关，市场需求扰动较大时，应按照市场需求变化的方向相应的调整生产计划，且规模不经济的弹性系数越大，受规模不经济的影响，相应的调整生产计划的产量越小；3) 设计的应急收益共享契约能够协调突发事件下和稳定环境下的规模不经济供应链，即具有了抗突发事件性。

资助项目

山东省自然科学基金项目(ZR2017BG002)；中国博士后科学基金项目(2016M592149)。

参考文献 (References)

[1] Ha, A.Y., Tong, S. and Zhang, H. (2011) Sharing Demand Information in Competing Supply Chains with Production Diseconomies. *Mathematics of Operations Research*, **57**, 566-581. https://doi.org/10.1287/mnsc.1100.1295

[2] 赵海霞, 艾兴政, 唐小我. 链与链基于价格竞争和规模不经济的纵向控制结构选择[J]. 控制与决策, 2012, 27(2): 193-198.

[3] 赵海霞, 艾兴政, 唐小我. 制造商规模不经济的链与链竞争两部定价合同[J]. 管理科学学报, 2013, 16(2): 60-70.

[4] 赵海霞, 艾兴政, 滕颖, 等. 基于制造商规模不经济的链与链竞争数量折扣合同选择[J]. 管理工程学报, 2013, 27(4): 110-118.

[5] 王先甲, 周亚平, 钱桂生. 生产商规模不经济的双渠道供应链协调策略选择[J]. 管理科学学报, 2017, 20(1): 17-31.

[6] 聂佳佳, 石纯来. 规模不经济对制造商开通直销渠道的影响[J]. 运筹与管理, 2017, 26(2): 68-75.

[7] Qi, X., Bard, J.F. and Yu, G. (2004) Supply Chain Coordination with Demand Disruptions. *Omega*, **32**, 301-312. https://doi.org/10.1016/j.omega.2003.12.002

[8] Xu, M., Qi, X.T., Yu, G., *et al*. (2006) Coordinating Dyadic Supply Chains When Production Costs Are Disrupted. *IIE Transactions*, **38**, 765-775. https://doi.org/10.1080/07408170600575447

[9] Xiao, T.J. and Qi, X.T. (2008) Price Competition, Cost and Demand Disruptions and Coordination of a Supply Chain with One Manufacturer and Two Competing Retailers. *Omega*, **36**, 741-753. https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.02.008

[10] Zhang, W.G., Fu, J.H., Li, H.Y. and Xu, W.J. (2012) Coordination of Supply Chain with a Revenue-Sharing Contract under Demand Disruptions When Retailers Compete. *International Journal of Production Economics*, **138**, 68-75. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.001

[11] Huang, S., Yang, C. and Liu, H. (2013) Pricing and Production Decisions in a Dual-Channel Supply Chain When Production Costs Are Disrupted. *Economic Modeling*, **30**, 521-538. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.10.009

[12] 王旭, 高攀, 景熠. 两零售商竞争的闭环供应链应对突发事件[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(2): 430.

[13] 韩小花, 吴海燕, 王蓓. 需求扰动下竞争型闭环供应链的生产与协调决策分析[J]. 运筹与管理, 2015, 24(3): 68-78.

[14] 吴海燕, 韩小花. 再制造成本扰动情景下制造商竞争型闭环供应链的生产决策[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(4): 1129-1138.

[15] 孙嘉轶, 滕春贤, 姚锋敏. 需求扰动下闭环供应链回收决策及协调策略[J]. 系统工程学报, 2017, 32(5): 699-709.