Advances in Social Sciences 社会科学前沿, 2018, 7(9), 1560-1566
Published Online September 2018 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ass
https://doi.org/10.12677/ass.2018.79231

Hans汉斯

Study on Disruption Decision-Making of Closed-Loop Supply Chain with Diseconomies of Production Scale

Qi Li, Ning Zhang, Zongyu Mu

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

Received: Aug. 24th, 2018; accepted: Sep. 10th, 2018; published: Sep. 17th, 2018

Abstract

The problems of disrupting decision and coordination are researched for closed-loop supply chain with one manufacture exhibiting diseconomies of production scale and one retailer collecting used products under demand disruption. The results show that compared with the equilibrium decision of normal operating environment, when the degree of disturbance is not large, the order quantity/sales volume and the amount of waste products recovered are robust. When the degree of disturbance is large, it should be adjusted according to the disturbance direction, the order/sales volume of the product and the amount of recycling of the waste product; when the degree of reduction is larger, the closed-loop supply chain system will be destroyed.

Keywords

Closed-Loop Supply Chain, Diseconomies of Scale, Demand Disruption, Disruption Decision-Making

生产规模不经济闭环供应链的应急决策研究

李　琦，张　宁，牟宗玉

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

收稿日期：2018年8月24日；录用日期：2018年9月10日；发布日期：2018年9月17日

摘　要

针对由单一回收废旧品的制造商和单一销售产品的零售商所组成的生产规模不经济闭环供应链，在突发事件

文章引用：李琦，张宁，牟宗玉. 生产规模不经济闭环供应链的应急决策研究[J]. 社会科学前沿, 2018, 7(9): 1560-1566.
DOI: 10.12677/ass.2018.79231

干扰其最大市场需求规模发生扰动的情况下，研究了系统的应急均衡决策问题。结果表明：相比较正常运营环境的均衡决策，当扰动程度不大时，产品的订购/销售量及废旧品的回收量均具鲁棒性；当扰动程度较大时，均应按扰动方向调整产品的订购/销售量及废旧品的回收量；当减少程度很大时，闭环供应链系统会被破坏。

关键词

闭环供应链，规模不经济，需求扰动，应急决策

1. 引言

闭环供应链的有效管理可很好地实现社会的经济和生态效益，已成为国内外学者广泛研究的热点问题。Savaskan 较早通过构建闭环供应链的回收渠道决策模型，研究了回收废旧品的渠道选择问题[1]；随后，Savaskan 等将成果拓展到由竞争零售商组成的闭环供应链系统的回收渠道选择问题[2]。然而，文献[1] [2]均是在正常运营环境下开展的研究。实践中，各类突发事件会干扰供应链的正常运营，使得产品的市场需求和生产成本等因素发生扰动。Qi 等较早以传统供应链为对象，考虑产品的市场需求受突发事件干扰的情况，研究了其应急决策问题[3]。基于 Qi 的研究，一些学者开展了闭环供应链的应急决策问题。如：考虑产品的市场需求发生扰动，韩小花等研究了竞争型闭环供应链的应急决策问题[4]，孙嘉轶等以两周期闭环供应链为对象，发现及时改变正常运营环境下的决策对各企业更有利[5]；考虑产品的生产成本发生扰动，Wu 等以竞争型闭环供应链为对象，发现正常运营环境下的均衡决策在扰动较小时具有鲁棒性，在扰动较大时应按扰动方向进行调整[6]；吴海燕等考虑制造商处产品的生产成本发生扰动、竞争对手处产品的生产成本发生扰动，以及二者的产品生产成本同时发生扰动，研究了闭环供应链的应急决策，发现单扰动较大影响产量与制造商利润，双扰动较大影响产品的销售价格、回收率与零售商利润[7]；考虑产品的市场需求和生产成本同时发生扰动，王玉燕等研究发现价格和产量在扰动较大时需做出调整[8]。

然而，文献[1]-[8]均未考虑系统生产会存在规模不经济问题。近年我国经济发展处于新旧动能转换的关键时期，传统产业落后的生产技术、低效的管理能力使得产品生产普遍面临规模不经济问题[9] [10]。因此，一些学者开始研究生产规模不经济供应链的运营决策问题。如：赵海霞等研究发现供应链中各成员确定的利润分享比例随规模不经济程度的增大而增大，但当其增至一定范围后开始降低[11]；Ha 等研究发现规模不经济系数越大，信息共享对供应链越有利[12]；聂佳佳等研究发现规模不经济因素影响明显时，不开通供应链的直销渠道是最优选择[13]。然而，成果[11] [12] [13]均以传统供应链为研究对象，未考虑兼顾经济和生态效益的闭环供应链面临生产规模不经济时的均衡决策问题。

针对现有成果不足，本文构建经济模型研究生产规模不经济闭环供应链的均衡决策问题，进而考虑突发事件干扰产品的最大市场需求规模发生扰动的情况，研究生产规模不经济闭环供应链的应急均衡决策问题；最后，比较分析正常运营环境和突发事件干扰下的均衡决策，得到具管理学启示的应急管理成果。

2. 基本模型

2.1. 模型描述

闭环供应链系统由单一的制造商和单一的零售商所组成，两者存在着 Stackelberg 博弈关系，制造商

为领导者，零售商为跟随者；制造商一方面利用原材料生产新产品，另一方面利用自身回收的废旧品生产再制品，且新产品和再制品的均面临生产规模不经济问题；新产品与再制品同质；企业间信息对称。

2.2. 模型假设及符号说明

产品的单位批发价格为w，制造商的决策变量；制造商回收废旧品的单位价格为A，制造商的决策变量；生产新产品的规模不经济弹性系数为c_n，生产再制品的规模不经济弹性系数为c_r，参考文献[12]，假设生产新产品的总成本为$c_n q_n^2$，生产再制品的总成本为$c_r q_r^2$；新产品的订购/销售量为q_n，零售商的决策变量；零售商回收废旧品的单位价格为p_r，废旧品的回收量为q_r，参考文献[14]，废旧品的回收量是其单位销售价格的增函数，即零售商提供的回收废旧品的单位价格越高，回收量越大，令$q_r = a + bp_r$；产品的单位销售价格为p，产品的订购/销售量为q，满足一般市场规律，为其单位销售价格的线性减函数，有$q = \alpha - \beta p$，其中，$q = q_n + q_r$，α为产品的最大市场需求规模为，β为产品的价格敏感系数。

制造商和零售商的利润函数分别为：

$$\Pi_m\left(w, q_r\right) = w\left(q_n + q_r\right) - p_r q_r - c_n q_n^2 - c_r q_r^2 \tag{1}$$

$$\Pi_r\left(q_n\right) = \left(\frac{\alpha - q_n - q_r}{\beta} - w\right)\left(q_n + q_r\right) \tag{2}$$

3. 正常运营环境下的均衡决策

正常运营环境中，制造商和零售商作为理性决策者，均为追求自身利润最大化的利己者。作为Stackelberg博弈领导者的制造商率先决策产品的单位批发价格和废旧品的回收量；作为跟随者的零售商随后决策产品的订购/销售量。基于式(1)和(2)，利用逆向归纳法求解得命题1。

命题1：正常运营环境中，制造商决策产品的单位批发价格为$w^* = \dfrac{\alpha\left[\left(1+bc_r\right)\left(1+\beta c_n\right)+bc_n\right]-\beta ac_n}{\beta\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$，废旧品的回收量为$q_r^* = \dfrac{\alpha bc_n + a\left(2+\beta c_n\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$，零售商决策新产品的订购量为$q_n^* = \dfrac{\alpha\left(1+bc_r\right)-2a}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$，各企业可得最优利润。

证明：利用逆向归纳法求解，先求零售商关于制造商决策的反应函数。因为$\dfrac{\mathrm{d}\Pi_r^2\left(q_n\right)}{\mathrm{d}q_n^2} = -2 < 0$，故$\Pi_r\left(q_n\right)$存在关于$q_n$的极大值点。令$\dfrac{\mathrm{d}\Pi_r\left(q_n\right)}{\mathrm{d}q_n} = 0$，可得：$q_n\left(w, q_r\right) = \dfrac{\alpha - q_r - \beta q_r - \beta w}{\left(1+\beta\right)}$。

将$q_n\left(w, q_r\right)$代入制造商的利润函数$\Pi_m\left(w, q_r\right)$可得：

$$\Pi_m\left(w, q_r\right) = w\left(\frac{\alpha - q_r - \beta q_r - \beta w}{1+\beta} + q_r\right) - p_r q_r - c_n\left(\frac{\alpha - q_r - \beta q_r - \beta w}{1+\beta}\right)^2 - c_r q_r^2。$$

令$A = \dfrac{\partial\Pi_m^2\left(w, q_r\right)}{\partial w^2} = -\dfrac{2\beta\left(1+\beta+\beta c_n\right)}{\left(1+\beta\right)^2} < 0$、$B = \dfrac{\partial\Pi_m^2\left(w, q_r\right)}{\partial w\partial q_r} = \dfrac{\partial\Pi_m^2\left(w, q_r\right)}{\partial q_r\partial w} = -\dfrac{2c_n\beta}{\left(1+\beta\right)}$、$C = \dfrac{\partial\Pi_m^2\left(w, q_r\right)}{\partial q_r^2} = -\dfrac{2\left(1+bc_n+bc_r\right)}{b}$，可知$A < 0$、$AC - B^2 = \dfrac{4\beta\left(1+\beta\right)\left[\left(1+c_n\right)\left(1+bc_r\right)+bc_n\right]}{b\left(1+\beta\right)^2} > 0$。故函数$\Pi_m\left(w, q_r\right)$的海塞矩阵$\begin{bmatrix} A & B \\ B & C \end{bmatrix}$负定，其为严格凹函数，存在唯一最优产品批发价$w$和废旧品回收率$q_r$，

使制造商获得的利润最大。

令 $\frac{\partial \Pi_m(w,q_r)}{\partial w}=0$、$\frac{\partial \Pi_m(w,q_r)}{\partial q_r}=0$，可得：$w^*=\frac{\alpha\left[(1+bc_r)(1+\beta c_n)+bc_n\right]-\beta ac_n}{\beta\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$、$q_r^*=\frac{\alpha bc_n+a(2+\beta c_n)}{2\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$。

将 w^* 和 q_r^* 代入 $q_n(w,q_r)$ 可得：$q_n^*=\frac{\alpha(1+bc_r)-2a}{2\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$。

命题 1 得证。

4. 突发事件干扰下的应急均衡决策

正常运营环境中，制造商和零售商依据命题 1 安排生产/销售计划。突发事件发生了，使得产品的最大市场需求规模由 α 变为 $\alpha+\Delta\alpha$，则其市场需求函数变为 $q=\alpha+\Delta\alpha-\beta p$。相比正常运营环境中系统的均衡决策，产品订购/销售量的变化为 $\Delta q=q-q^{d*}$。其中，1) 当 $\Delta q>0$ 时，调整生产计划多生产产品会产生额外单位生产成本 $\lambda_1>0$；2) 当 $\Delta q<0$ 时，调整生产计划处理产品会产生额外单位处理成本 $\lambda_2>0$。假设由制造商承担额外总成本，可得制造商和零售商的利润函数分别为：

$$\overline{\Pi}_m(w,q_r)=w(q_n+q_r)-p_rq_r-c_nq_n^2-c_rq_r^2-\lambda_1\left(q-q^{d*}\right)^+-\lambda_2\left(q^{d*}-q^M\right)^+ \tag{3}$$

$$\overline{\Pi}_r(q_n)=\left(\frac{\alpha+\Delta\alpha-q_n-q_r}{\beta}-w\right)(q_n+q_r) \tag{4}$$

其中，$(x)^+=\max\{0,x\}$。

命题 2：最大市场需求规模扰动下，制造商决策产品的单位批发价格为 $\overline{w}$，废旧品的回收量为 $\overline{q}_r$，零售商决策新产品的订购/销售量为 $\overline{q}_n$，各企业可得最优利润。其中，1)当 $\Delta\alpha\ge\beta\lambda_1$，$\overline{w}=w^*+\frac{\Delta\alpha\left[(1+bc_r)(1+\beta c_n)+bc_n\right]+\beta\lambda_1(1+bc_n+bc_r)}{\beta\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_r=q_r^*+\frac{bc_n(\Delta\alpha-\beta\lambda_1)}{2\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_n=q_n^*+\frac{(1+bc_r)(\Delta\alpha-\beta\lambda_1)}{2\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$；2) 当 $-\beta\lambda_2<\Delta\alpha<\beta\lambda_1$，$\overline{w}=w^*+\frac{\Delta\alpha}{\beta}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*$；3) 当 $\frac{2a}{(1+bc_r)}-\alpha-\beta\lambda_2<\Delta\alpha\le-\beta\lambda_2$，$\overline{w}=w^*+\frac{\Delta\alpha\left[(1+bc_r)(1+\beta c_n)+bc_n\right]-\beta\lambda_2(1+bc_n+bc_r)}{\beta\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_r=q_r^*+\frac{bc_n(\Delta\alpha+\beta\lambda_2)}{2\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_n=q_n^*+\frac{(1+bc_r)(\Delta\alpha+\beta\lambda_2)}{2\left[(1+bc_r)(2+\beta c_n)+2bc_n\right]}$。

证明：首先，分析 $\Delta\alpha>0$，即突发事件干扰最大市场需求规模变大的情况。

假设 1：当 $\Delta\alpha>0$ 时，有 $\overline{q}\ge q^*$、$\overline{q}_r\ge q_r^*$ 成立。基于式(3)和(4)，利用逆向归纳法求解，易得零售商关于制造商决策的反应函数为 $\overline{q}_n=\frac{\alpha+\Delta\alpha-2q_r-\beta w}{2}$，将其代入式(3)可得：

$$\begin{aligned}\overline{\Pi}_m(w,q_r)=&w\left(\frac{\alpha+\Delta\alpha-\beta w}{2}+q_r\right)\\&-\frac{q_r^2}{b}+\frac{a}{b}q_r-c_n\left(\frac{\alpha+\Delta\alpha-2q_r-\beta w}{2}\right)^2\\&-c_rq_r^2-\lambda_1\left(\frac{\alpha+\Delta\alpha-\beta w}{2}+q_r-q^*\right)\end{aligned} \tag{5}$$

基于本假设约束，可得如下 K-T 条件：

$$\begin{cases}\dfrac{\alpha+\Delta\alpha-2\overline{q}_r-2\beta\overline{w}}{2}+\overline{q}_r+\beta c_n\left(\dfrac{\alpha+\Delta\alpha-\beta\overline{w}-2\overline{q}_r}{2}\right)+\dfrac{\beta\lambda_1}{2}-\dfrac{\beta\gamma_1}{2}=0\\ -\dfrac{2\overline{q}_r}{b}+\dfrac{a}{b}+c_n\left(\alpha+\Delta\alpha-2\overline{q}_r-\beta\overline{w}\right)-2c_r\overline{q}_r+\gamma_2=0\\ \gamma_1\left(\dfrac{\alpha+\Delta\alpha-\beta\overline{w}}{2}-q^{d*}\right)=0,\gamma_2\left(\overline{q}_r-q_r^*\right)=0\\ \gamma_1,\gamma_2\ge 0,\overline{w}\ge 0,\overline{q}\ge q^*>0,\overline{q}_r\ge q_r^*>0\end{cases}\tag{6}$$

情况 1：当 $\gamma_1=0,\gamma_2>0$ 时，由式(6)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha\left(1+\beta c_n\right)+\beta\lambda_1}{\beta\left(2+\beta c_n\right)}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*+\dfrac{\Delta\alpha-\beta\lambda_1}{2\left(2+\beta c_n\right)}$。由 $\overline{q}\ge q^*$，可得 $\Delta\alpha\ge\beta\lambda_1$；由 $\gamma_2>0$，可得 $\Delta\alpha<\beta\lambda_1$，故 $\Delta\alpha$ 为空集，此解无效。

情况 2：当 $\gamma_1>0,\gamma_2=0$ 时，由式(6)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha}{\beta}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*$；由 $\gamma_1>0$，可得 $\Delta\alpha<\beta\lambda_1$，故 $0<\Delta\alpha<\beta\lambda_1$ 时，此解有效。

情况 3：当 $\gamma_1=0,\gamma_2=0$ 时，由式(6)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha\left[\left(1+bc_r\right)\left(1+\beta c_n\right)+bc_n\right]+\beta\lambda_1\left(1+bc_n+bc_r\right)}{\beta\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_r=q_r^*+\dfrac{bc_n\left(\Delta\alpha-\beta\lambda_1\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_n=q_n^*+\dfrac{\left(1+bc_r\right)\left(\Delta\alpha-\beta\lambda_1\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$；由 $\overline{q}\ge q^*$，可得 $\Delta\alpha\ge\beta\lambda_1$；由 $\overline{q}_r\ge q_r^*$，可得 $\Delta\alpha\ge\beta\lambda_1$，故 $\Delta\alpha\ge\beta\lambda_1$ 时，此解有效。

情况 4：当 $\gamma_1>0,\gamma_2>0$ 时，由式(6)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha}{\beta}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*$；由 $\gamma_1>0$，可得 $\Delta\alpha<\beta\lambda_1$；由 $\gamma_2>0$，可得 $\Delta\alpha<\beta\lambda_1$，同时 $\Delta\alpha>0$，故 $0<\Delta\alpha<\beta\lambda_1$ 时，此解有效。

综合情况 1~4，1)若 $0<\Delta\alpha<\beta\lambda_1$，$\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha}{\beta}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*$；2)若 $\Delta\alpha\ge\beta\lambda_1$，$\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha\left[\left(1+bc_r\right)\left(1+\beta c_n\right)+bc_n\right]+\beta\lambda_1\left(1+bc_n+bc_r\right)}{\beta\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_r=q_r^*+\dfrac{bc_n\left(\Delta\alpha-\beta\lambda_1\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_n=q_n^*+\dfrac{\left(1+bc_r\right)\left(\Delta\alpha-\beta\lambda_1\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$。

同理可证，当 $\Delta\alpha>0$ 时，假设 2：有 $\overline{q}\ge q^*$、$\overline{q}_r<q_r^*$ 成立；假设 3：有 $\overline{q}<q^*$、$\overline{q}_r\ge q_r^*$ 成立；假设 4：有 $\overline{q}<q^*$、$\overline{q}_r<q_r^*$ 成立，均不存在有效解。

其次，分析 $\Delta\alpha<0$，即突发事件干扰最大市场需求规模变小的情况。

假设 5：当 $\Delta\alpha<0$ 时，有 $\overline{q}\le q^*$、$\overline{q}_r\le q_r^*$ 成立。基于式(3)和(4)，利用逆向归纳法求解，易得零售商关于制造商决策的反应函数为 $\overline{q}_n=\dfrac{\alpha+\Delta\alpha-2q_r-\beta w}{2}$，将其代入式(3)可得：

$$\begin{aligned}\overline{\Pi}_m\left(w,q_r\right)=&\,w\left(\frac{\alpha+\Delta\alpha-\beta w}{2}+q_r\right)\\&-\frac{q_r^2}{b}+\frac{a}{b}q_r-c_n\left(\frac{\alpha+\Delta\alpha-2q_r-\beta w}{2}\right)^2\\&-c_rq_r^2+\lambda_2\left(\frac{\alpha+\Delta\alpha-\beta w}{2}+q_r-q^*\right)\end{aligned}\tag{7}$$

基于本假设约束，可得如下 K-T 条件：

$$\begin{cases}\dfrac{\alpha+\Delta\alpha-2\overline{q}_r-2\beta\overline{w}}{2}+\overline{q}_r+\beta c_n\left(\dfrac{\alpha+\Delta\alpha-\beta\overline{w}-2\overline{q}_r}{2}\right)-\dfrac{\beta\lambda_4}{2}+\dfrac{\beta\gamma_3}{2}=0\\ -\dfrac{2\overline{q}_r}{b}+\dfrac{a}{b}+c_n\left(\alpha+\Delta\alpha-2\overline{q}_r-\beta\overline{w}\right)-2c_r\overline{q}_r-\gamma_4=0\\ \gamma_3\left(q^*-\dfrac{\alpha+\Delta\alpha-\beta\overline{w}}{2}\right)=0,\gamma_4\left(q_r^*-\overline{q}_r\right)=0\\ \gamma_3、\gamma_4\geq 0,\overline{w}\geq 0,q^*\geq\overline{q}>0,q_r^*\geq\overline{q}_r>0\end{cases}\tag{8}$$

情况 5：当 $\gamma_3=0,\gamma_4>0$ 时，由式(8)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha\left(1+\beta c_n\right)-\beta\lambda_2}{\beta\left(\beta c_n+2\right)}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*+\dfrac{\Delta\alpha+\beta\lambda_2}{2\left(\beta c_n+2\right)}$。由 $\overline{q}\leq q^*$，可得 $\Delta\alpha\leq-\beta\lambda_2$；由 $\gamma_4>0$，可得 $\Delta\alpha>-\beta\lambda_2$，故 $\Delta\alpha$ 为空集，此解无效。

情况 6：当 $\gamma_3>0,\gamma_4=0$ 时，由式(8)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha}{\beta}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*$；由 $\gamma_3>0$，可得 $\Delta\alpha>-\beta\lambda_2$，故 $-\beta\lambda_2<\Delta\alpha<0$ 时，此解有效。

情况 7：当 $\gamma_3=0,\gamma_4=0$ 时，由式(8)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha\left[\left(1+bc_r\right)\left(1+\beta c_n\right)+bc_n\right]-\beta\lambda_2\left(1+bc_n+bc_r\right)}{\beta\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_r=q_r^*+\dfrac{bc_n\left(\Delta\alpha+\beta\lambda_2\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_n=q_n^*+\dfrac{\left(1+bc_r\right)\left(\Delta\alpha+\beta\lambda_2\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$；由 $\overline{q}\leq q^*$，可得 $\Delta\alpha\leq-\beta\lambda_2$；由 $\overline{q}_r\leq q_r^*$，可得 $\Delta\alpha\leq-\beta\lambda_2$，故 $\dfrac{2a}{\left(1+bc_r\right)}-\alpha-\beta\lambda_2<\Delta\alpha\leq-\beta\lambda_2$ 时，此解有效。

情况 8：当 $\gamma_3>0,\gamma_4>0$ 时，由式(8)可得 $\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha}{\beta}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*$；由 $\gamma_3>0$，可得 $\Delta\alpha>-\beta\lambda_2$；由 $\gamma_4>0$，可得 $\Delta\alpha>-\beta\lambda_2$，同时 $\Delta\alpha<0$，故 $-\beta\lambda_2<\Delta\alpha<0$ 时，此解有效。

综合情况 5-8，1)若 $-\beta\lambda_2<\Delta\alpha<0$，$\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha}{\beta}$、$\overline{q}_r=q_r^*$、$\overline{q}_n=q_n^*$；2)若 $\dfrac{2a}{\left(1+bc_r\right)}-\alpha-\beta\lambda_2<\Delta\alpha\leq-\beta\lambda_2$，$\overline{w}=w^*+\dfrac{\Delta\alpha\left[\left(1+bc_r\right)\left(1+\beta c_n\right)+bc_n\right]-\beta\lambda_2\left(1+bc_n+bc_r\right)}{\beta\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_r=q_r^*+\dfrac{bc_n\left(\Delta\alpha+\beta\lambda_2\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$、$\overline{q}_n=q_n^*+\dfrac{\left(1+bc_r\right)\left(\Delta\alpha+\beta\lambda_2\right)}{2\left[\left(1+bc_r\right)\left(2+\beta c_n\right)+2bc_n\right]}$。

同理可证，当 $\Delta\alpha>0$ 时，假设 6：有 $\overline{q}\geq q^*$、$\overline{q}_r<q_r^*$ 成立；假设 7：有 $\overline{q}<q^*$、$\overline{q}_r\geq q_r^*$ 成立；假设 8：有 $\overline{q}<q^*$、$\overline{q}_r<q_r^*$ 成立，均不存在有效解。

命题 2 得证。

命题 2 表明，与正常运营环境下闭环供应链系统的均衡决策相比：

1) 当最大市场需求规模的正扰动程度不大，即 $0<\Delta\alpha<\beta\lambda_1$ 时，制造商应保持废旧品的回收量不变，而应提高产品的单位批发价格，以获取更多的利润；同时，零售商应保持产品的订购/销售量不变。

2) 当最大市场需求规模的负扰动程度不大，即 $-\beta\lambda_2<\Delta\alpha<0$ 时，制造商应保持废旧品的回收量不变，而应降低产品的单位批发价格，以此来激励零售商保持产品的订购/销售量不变。

3) 当最大市场需求规模的扰动程度较大，即 $\Delta\alpha\geq\beta\lambda_1$ 或 $\Delta\alpha\leq-\beta\lambda_2$ 时，制造商应按扰动的方向调整废旧品的回收量和产品的单位批发价格，零售商应按扰动的方向调整产品的订购/销售量。即在产品的最大市场需求规模变的较大时，提高其价格和销量，以获取更多的利润；在产品的最大市场需求规模变的

较小时，降低其价格和销量，以此来拉动需求，避免利润的过多损失。

4) 当最大市场需求规模减少的程度很大，即 $\Delta\alpha < \frac{2a}{(1+bc_r)} - \alpha - \beta\lambda_2$ 时，因产品的订购/销售量小于零，闭环供应链系统会停产。

5. 结论

本文针对生产规模不经济闭环供应链，考虑突发事件会干扰其最大市场需求规模发生扰动的情况，研究了系统的应急均衡决策问题。结果表明：相比较正常运营环境的均衡决策，当产品的最大市场需求规模扰动程度不大时，废旧品的回收量和产品的订购/销售量均具鲁棒性；当产品的最大市场需求规模扰动程度较大时，废旧品的回收量和产品的订购/销售量均应按扰动方向进行调整；当产品的最大市场需求规模减少很大时，闭环供应链系统会被破坏。

在本文研究的基础上，可考虑企业生产由规模不经济向规模经济转变，以及突发事件干扰生产成本等因素发生扰动，探讨闭环供应链的应急决策问题。

基金项目

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

[1] Savaskan, R.C., Bhattacharya, S. and Wassenhove, L.N.V. (2004) Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing. *Management Science*, **50**, 239-252. https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0186

[2] Savaskan, R.C. and Wassenhove, L.N.V. (2006) Reverse Channel Design: The Case of Competing Retailers. *Management Science*, **52**, 1-14. https://doi.org/10.1287/mnsc.1050.0454

[3] 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

[4] 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.

[5] 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.

[6] Wu, H., Han, X., Yang, Q., *et al.* (2018) Production and Coordination Decisions in a Closed-Loop Supply Chain with Remanufacturing Cost Disruptions When Retailers Compete. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **29**, 227-235. https://doi.org/10.1007/s10845-015-1103-z

[7] 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.

[8] 王玉燕. 需求与成本双扰动时闭环供应链的生产策略和协调策略[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(5): 1149-1157.

[9] Dixon, H.D. (1994) Inefficient Diversification in Multi-Market Oligopoly with Diseconomies of Scope. *Economica*, **61**, 213-219. https://doi.org/10.2307/2554958

[10] Bairam, E.I. 1996 () Non-Convex Cost and the Behaviour of Inventories: Some Disaggregate Results. *Applied Economics Letters*, **3**, 687-691. https://doi.org/10.1080/135048596355664

[11] 赵海霞, 艾兴政, 唐小我. 链与链基于规模不经济的纵向联盟和利润分享[J]. 管理科学学报, 2014, 17(1): 48-56.

[12] 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

[13] 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.

[14] Bakal, I.S. and Akcali, E. (2006) Effects of Random Yield in Remanufacturing with Price-Sensitive Supply and Demand. *Production & Operations Management*, **15**, 407-420. https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2006.tb00254.x

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD
   下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2169-2556，即可查询
2. 打开知网首页 http://cnki.net/
   左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：ass@hanspub.org