

文章编号:1007-6735(2012)06-0535-06

需求规模和采购成本双扰动军事物流博弈分析

李建民^{1,2}, 董 鹏², 孟庆霞³

(1. 武汉大学 系统工程研究所, 武汉 430072; 2. 海军工程大学 管理工程系, 武汉 430033; 3. 荆楚理工学院 经济管理学院, 荆门 448000)

摘要: 为提高物流的运作效率, 以一个承制商、一个军事物资采购中心和 n 个舰艇部队构成的供应链系统为研究对象, 运用博弈理论, 建立了因战场形势发生急剧变化导致的军事物资需求规模和采购成本同时扰动的动态模型, 对其进行分析和求解, 得出前线指挥部决策者应该采取的最优需求量、设置的最优价格, 并给出相应的整体最大收益. 最后, 对博弈分析结果进行数值计算和分析, 理论与结果相一致, 是可行的.

关键词: 需求规模; 成本; 双扰动; 博弈分析
中图分类号: E 075; N 94 **文献标志码:** A

Military Logistics Game Analysis Under Double Disturbances of Demand Scale and Purchase Cost

LI Jian-min^{1,2}, DONG Peng², MENG Qing-xia³

(1. *Institute of Systems Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China*; 2. *Department of Management Science, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China*; 3. *School of Economy and Management, JingChu University of Technology, Jingmen 448000, China*)

Abstract: To improve operation efficiency of logistics, the supply chain consisting of a military materials purchase center and n warship troops was studied. According to the game theory, a military benefit-led dynamic model was established under double disturbances of demand scale and purchase cost due to drastic circumstances changing on battlefield. Based on analysing and solving the model, the superior demand and the optimal setting of price, that the front-line decision-makers should take, as well as the corresponding overall maximum benefit were obtained. Finally, the game results of numerical analysis show that the results are consistent with the theoretical ones and the method is feasible.

Key words: demand scale; cost; double disturbances; game analysis

生活中经常会遇到诸如需求变化、物价上涨、承制商不能及时或中断供应原材料、自然灾害以及局部战争等突发性事件, 不仅会造成舰艇部队物资需求规模变化, 也会使军事物资采购中心的采购成本

收稿日期: 2012-03-17
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71231007); 海军工程大学青年自然科学基金资助项目(HGDQNJ11038); 海军工程大学社会科学基金资助项目(HGDSK2012E35)
作者简介: 李建民(1976-), 男, 讲师. 研究方向: 供应链和装备采购. E-mail: ljm184@163.com

(包括紧急采购增加的运输成本、储存成本和人工成本等)发生变化,这将会直接影响供应链成员的管理决策,进而影响承制商的生产计划,导致整个军事物流系统运作失常或供应链不再协调.对于军事物流系统中的决策者而言,当面临需求规模和采购中心的采购成本同时扰动时,至今还没有一个相对量化的标准.在供应链领域,Xu等^[1-2]研究了非线性需求函数和生产成本为凸函数的情形下,需求发生扰动时,由一个供应商和一个零售商构成的供应链扰动管理问题及其协调机制.Yang等^[3]考虑了生产函数为凸函数,当生产费用出现变动时,如何用扰动管理的方法修改原来的计划,使系统能够平稳运行且对生产存储造成的影响最小.Tomlin^[4]考虑了一个零售商和两个供应商组成的供应链系统,其中一个供应商具有稳定的生产能力,另一个生产不稳定,当供应商的供应出现扰动时,给出了各种情况下的应急策略.Qi等^[5]首次对需求扰动下的供应链协调问题进行了分析,在假设零售商面对的市场需求关于零售价格是线性函数的情形下,研究了当市场需求扰动时,供应链如何利用全单位数量折扣契约来协调应对.上述文献考虑的都是单因素发生扰动,比如需求规模、生产成本等,而管理实践中,突发性事件往往造成军事物流系统两个或两个以上因素同时发生扰动,对于这种情况,目前来看文献很少,而且也没有进行系统的研究.本文在此基础上,研究战场形势变化导致军事物流需求规模和采购中心采购成本同时扰动的博弈问题,为决策者进行决策提供支持.

1 军事物流需求规模和采购成本双扰动模型

1.1 问题描述和假设

考虑一个承制商、一个军事物资采购中心和 n 个舰艇部队构成的供应链系统,它们之间的行为决策可用 Stackelberg 博弈来描述.在该博弈中采购中心占主导地位,决定着供应价格和供应量,舰艇部队是跟随者;承制商和采购中心基于对舰艇部队的需求预测制定相应的生产计划和采购计划,如图1所示^[6-8].当战场形势急剧变化后,舰艇部队的物资需求规模发生变化,采购中心的采购成本也会变化.模型假设如下:

a. 采购中心必须满足舰艇部队的需求量,承制商必须满足军事物资采购中心的采购量.

b. 舰艇部队 i ($i=1,2,\dots,n$) 的实际物资需求量为 q_i ,军事物资供应价格为 p_i , q_i 为 p_i 的线性

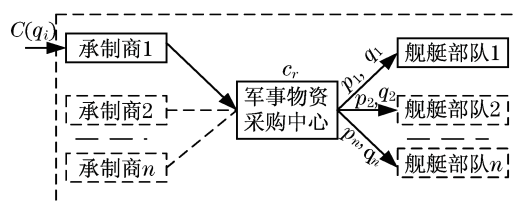


图1 三级供应链结构模型

Fig.1 Three grade supply chain structure mode

递减函数,设 $q_i = d_i - kp_i$. 其中, $d_i > 0$ 为需求规模, $k > 0$ 为价格敏感系数(设为常数).

c. 承制商生产加工该产品的成本 $C(q_i)$ 是其生产数量的凸函数,如生产更多的产品时,需要投入一些员工加班费、通讯费、人员调整费等;若是外购,则外购部分的费用要比自己生产的成本高些.

d. 采购中心的单位采购成本为 c_r ,如运输、储存、装卸搬运费用等.

$\Delta d_i, \Delta c_r$ 分别表示舰艇部队需求规模和采购中心采购成本的变化量,只有当 $d_i + \Delta d_i > 0, c_r + \Delta c_r > 0$ 时才有意义. 设 $\bar{q}_i$ 为战场形势变化后舰艇部队 i 的实际需求量, q_i^* 为战场形势没有发生变化时的最优需求量, $\bar{p}_i$ 为战场形势变化后的物资供应价格,则

$$\bar{q}_i = d_i + \Delta d_i - k\bar{p}_i \quad (1)$$

$$\Delta q_i = \bar{q}_i - q_i^* \quad (2)$$

从式(2)可知,当 $\Delta q_i > 0$ 时采购中心应该采购更多的军事物资来满足新的需求,当 $\Delta q_i < 0$ 时有剩余物资. 设 m_1 表示必须重新购买新材料来增加产量所产生的单位额外成本, m_2 表示必须将多余材料以低于成本价出售来减少产量而遭致的单位额外成本,且 m_1, m_2 均是大于 0 的, $(x)^+ = \max\{0, x\}$, 则供应链渠道 i 收益函数可表示为

$$\Pi_i(\bar{q}_i) = \bar{q}_i \left(\frac{d_i + \Delta d_i - \bar{q}_i}{k} - c_r - \Delta c_r \right) - C(\bar{q}_i) - m_1(\bar{q}_i - q_i^*)^+ - m_2(q_i^* - \bar{q}_i)^+ \quad (3)$$

那么,整个供应链系统的收益函数可表示为

$$\Pi(\bar{q}) = \sum_{i=1}^n \Pi_i(\bar{q}_i) = \sum_{i=1}^n \left[\bar{q}_i \left(\frac{d_i + \Delta d_i - \bar{q}_i}{k} - c_r - \Delta c_r \right) - C(\bar{q}_i) - m_1(\bar{q}_i - q_i^*)^+ - m_2(q_i^* - \bar{q}_i)^+ \right]$$

其中, $\bar{q} = (\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_n)$. 设 $\bar{q}^* = (\bar{q}_1^*, \bar{q}_2^*, \dots, \bar{q}_n^*)$ 是供应链整体收益函数取得最大时的最优需求量,所以当需求规模和采购成本同时变化时,可以得

到引理 1:

- a. 当 $\Delta d_i \geq k\Delta c_r$ 时,有 $\bar{q}_i^* \geq q_i^*$;
b. 当 $\Delta d_i \leq k\Delta c_r$ 时,有 $\bar{q}_i^* \leq q_i^*$.

证明 假设当 $\Delta d_i \geq k\Delta c_r$ 时,有 $\bar{q}_i^* < q_i^*$, 则 $\bar{q}_i^*$ 为式(3)最优解的充要条件是 $\bar{q}_i^*$ 为式(4)的最优解.

$$\Pi_i(\bar{q}_i) = \bar{q}_i \left(\frac{d_i + \Delta d_i - \bar{q}_i}{k} - c_r - \Delta c_r \right) - C(\bar{q}_i) - m_2(q_i^* - \bar{q}_i) \quad (4)$$

$$\frac{d\Pi_i(\bar{q}_i)}{d\bar{q}_i} = \frac{d_i + \Delta d_i - 2\bar{q}_i}{k} - c_r - \Delta c_r -$$

$C'(\bar{q}_i) + m_2 = 0$, 解得当 $\bar{q}_i^*$ 满足下式时, 供应链渠道 i 收益取得最大.

$$2\bar{q}_i^* = d_i + \Delta d_i - k[C'(\bar{q}_i^*) + c_r + \Delta c_r - m_2] \quad (5)$$

当需求和采购成本不变时, 供应链渠道 i 收益为: $\Pi_i(q_i) = q_i \left(\frac{d_i - q_i}{k} - c_r \right) - C(q_i)$. 易验证 $\Pi_i(q_i)$ 为凹函数, 当 q_i^* 满足下式时, 供应链渠道 i 收益取得最大.

$$2q_i^* = d_i - k[c_r + C'(q_i^*)] \quad (6)$$

式(5)减式(6), 得 $\bar{q}_i^* - q_i^* = \frac{1}{2}[\Delta d_i - k\Delta c_r - kC'(\bar{q}_i^*) + kC'(q_i^*) + km_2]$.

因 $C(q_i)$ 为凸函数, 则 $C''(q_i) > 0$, $C'(q_i)$ 为增函数, 而又假设 $\bar{q}_i^* < q_i^*$, 于是有 $C'(\bar{q}_i^*) - C'(q_i^*) < 0$; 结合已知条件 $\Delta d_i \geq k\Delta c_r$, $km_2 > 0$, 则 $\bar{q}_i^* - q_i^* = \frac{1}{2}[\Delta d_i - k\Delta c_r - kC'(\bar{q}_i^*) + kC'(q_i^*) + km_2] \geq 0$, 即 $\bar{q}_i^* \geq q_i^*$, 这与假设相矛盾, 因此假设不成立. 故当 $\Delta d_i \geq k\Delta c_r$ 时, 有 $\bar{q}_i^* \geq q_i^*$. 同理可证引理 1 中的结论 b.

引理 1 表明, 当舰艇部队需求减少而采购中心采购成本增加时, 条件 $\Delta d_i \leq k\Delta c_r$ 一定成立, 此时承制商应改变生产计划, 降低生产水平. 当舰艇部队需求增加而采购中心采购成本降低, 条件 $\Delta d_i \geq k\Delta c_r$ 一定成立, 此时承制商应增加生产水平来满足舰艇部队的需求, 采购中心会为了保障供应采购更多的物资. 当舰艇部队需求和采购中心采购成本同时增加或同时降低时, 承制商应根据引理 1 给定的条件来判断生产计划, 采购中心应根据引理 1 给定的条件来决定其最优采购量.

1.2 分析与求解

a. 当 $\Delta d_i = k\Delta c_r$ 时, $\bar{q}_i^* = q_i^*$, 此时供应链渠道 i 收益函数可表示为

$$\Pi_i(q_i) = q_i \left(\frac{d_i - q_i}{k} - c_r \right) - C(q_i) \quad (7)$$

求导式(7), 可求得满足供应链渠道 i 收益最大值时的最优解 $2q_i^* = d_i - k[C'(q_i^*) + c_r]$.

相应的最优供应价格为

$$p_i^* = \frac{d_i}{2k} + \frac{1}{2}[c_r + C'(q_i^*)] \quad (8)$$

此时供应链渠道 i 最大收益为

$$\Pi_i^*(q_i) = \frac{(d_i - kc_r)^2 - [kC'(q_i^*)]^2}{4k} \quad (9)$$

由式(6)和式(8)可知, 采购中心的最优订货量与需求规模正相关, 与采购成本负相关, 与承制商的边际生产成本有关. 供应价格与需求规模和采购成本正相关, 需求量大, 则价格上涨, 同时如果采购成本增加, 相应的价格也会上涨. 在取得收益最大化之后, 还要确定供应链收益的合理分配, 一般可以通过各种契约和能力约束来实现整体利益的协调^[9].

b. 当 $\Delta d_i > k\Delta c_r$ 时, 有 $\bar{q}_i^* > q_i^*$, 此时供应链渠道 i 的收益函数可简化为

$$\Pi_i(\bar{q}_i) = \bar{q}_i \left(\frac{d_i + \Delta d_i - \bar{q}_i}{k} - c_r - \Delta c_r \right) - C(\bar{q}_i) - m_1(\bar{q}_i - q_i^*) \quad (10)$$

不考虑约束条件 $\bar{q}_i^* > q_i^*$, 对式(10)进行分析可知该函数存在唯一的最优解使收益最大, 求导可得

$$2\bar{q}_i = d_i + \Delta d_i - k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_i) + m_1] \quad (11)$$

式(11)减式(6)可得

$$2(\bar{q}_i - q_i^*) + k[C'(\bar{q}_i) - C'(q_i^*)] = \Delta d_i - k\Delta c_r - km_1 \quad (12)$$

由 $C(q_i)$ 为凸函数, 可知 $C'(q_i)$ 为增函数, 并且有: 当 $\bar{q}_i^* \geq q_i^*$ 时, $2(\bar{q}_i - q_i^*) + k[C'(\bar{q}_i) - C'(q_i^*)] \geq 0$; 当 $\bar{q}_i^* < q_i^*$ 时, $2(\bar{q}_i - q_i^*) + k[C'(\bar{q}_i) - C'(q_i^*)] < 0$.

下面分两种情形讨论在约束条件 $\bar{q}_i^* \geq q_i^*$ 下满足式(12)的最优需求量.

情况 1 $\Delta d_i - k\Delta c_r - km_1 \geq 0$, 当 $\bar{q}_i^* \geq q_i^*$, 表明 $\bar{q}_i$ 能最大化式(10), 此时的最优解记为

$$\bar{q}_i^* = \bar{q}_i = \frac{d_i + \Delta d_i - k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_i^*) + m_1]}{2} \quad (13)$$

相应的最优供应价格为

$$\begin{aligned} \bar{p}_{i1}^* &= \frac{d_i + \Delta d_i - \bar{q}_{i1}^*}{k} = \\ &= \frac{d_i + \Delta d_i + k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_i^*) + m_1]}{2k} = \\ &= p_i^* + \frac{\Delta d_i + k(\Delta c_r + m_1)}{2k} > p_i^* \end{aligned} \quad (14)$$

此时供应链渠道 i 的最大收益为

$$\begin{aligned} \Pi_{i1}^* &= (\bar{p}_{i1}^* - c_r - \Delta c_r) \bar{q}_i^* - C(\bar{q}_i^*) - \\ &= m_1(\bar{q}_i^* - q_i^*) = \Pi_i^* + \left(\frac{\Delta d_i - k\Delta c_r}{k}\right) q_i^* - \\ &= [C(\bar{q}_i^*) - C(q_i^*)] + \\ &= \frac{[\Delta d_i - k\Delta c_r - k(m_1 - C(q_i^*))]^2 - [kC(\bar{q}_i^*)]^2}{4k} \end{aligned} \quad (15)$$

从式(13)~(15)可以看出,当 $\Delta d_i - k\Delta c_r - km_1 \geq 0$ 时,舰艇部队 i 的最优需求量和最大收益都受到需求规模和采购成本变化量的影响.

情况 2 $0 < \Delta d_i - k\Delta c_r \leq km_1$, 当 $\bar{q}_i^* \leq q_i^*$ 不满足约束条件 $\bar{q}_i^* \geq q_i^*$ 时,由凹函数的性质知,在区间 $[\bar{q}_i, \infty]$ 内,供应链渠道 i 收益函数的最大值为

$$\bar{q}_{i2}^* = q_i^* \quad (16)$$

相应的最优供应价格为

$$\begin{aligned} \bar{p}_{i2}^* &= \frac{d_i}{2k} + \frac{1}{2}[c_r + C'(q_i^*)] + \\ &= \frac{\Delta d_i}{k} = p_i^* + \frac{\Delta d_i}{k} \end{aligned} \quad (17)$$

供应链渠道 i 的整体收益函数为

$$\Pi_{i2}^* = \Pi_i^* + \frac{\Delta d_i - k\Delta c_r}{k} q_i^* \quad (18)$$

从式(16)~(18)可得,当 $0 < \Delta d_i - k\Delta c_r \leq km_1$ 时,虽然需求规模和采购成本同时发生扰动,但是产品计划产量并没有发生变化,仍然是原来的 q_i^* ,只是这时的供应链收益增加了,这是由于形势变化导致供应价格上涨,从而带来的收益增加,可以超过采购成本增加带来的收益的减少;或者是采购成本减少带来的收益的增加,可以超过因需求规模缩小、供应价格下跌而导致收益的减少.采购中心的最优订货量不受需求规模和采购成本的影响,仍保持原计划采购量不变,即承制商在该情形下也不需要改变生产计划.在该情形下,只要需求规模发生变化,其供应价格总是要作出相应的调整,且供应价格

与需求规模的变化量正线性相关.由式(18)可知,在该情形下,供应链渠道 i 收益比原计划收益要大.当 $\Delta d_i \leq k\Delta c_r$ 时,由引理 1 知,最优订购量小于 q_i^* ,此时供应链渠道 i 收益函数可表示为

$$\begin{aligned} \Pi_{i2}^*(\bar{q}_i) &= \bar{q}_i \left(\frac{d_i + \Delta d_i - \bar{q}_i}{k} - c_r - \Delta c_r \right) - \\ &= C(\bar{q}_i) - m_2(q_i^* - \bar{q}_i) \end{aligned} \quad (19)$$

在没有任何约束的条件下,当 $\bar{q}_{i2}$ 满足下式(20)时为式(19)的最优解.

$$2\bar{q}_{i2} = d_i + \Delta d_i - k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_{i2}) - m_2] \quad (20)$$

式(20)减式(6),可得

$$\begin{aligned} 2(\bar{q}_{i2} - q_i^*) + k[C'(\bar{q}_{i2}) - C'(q_i^*)] &= \\ \Delta d_i - k\Delta c_r + km_2 \end{aligned} \quad (21)$$

同上,可分两种情形来讨论式(19)满足约束条件 $\bar{q}_i^* \leq q_i^*$ 的最优订货量.

情况 3 当 $-km_2 \leq \Delta d_i - k\Delta c_r \leq 0$ 时,

$$\begin{aligned} \bar{q}_{i3}^* &= q_i^*, \bar{p}_{i3}^* = p_i^* + \frac{\Delta d_i}{k}, \Pi_{i3}^* = \\ &= \Pi_i^* + \frac{\Delta d_i - k\Delta c_r}{k} q_i^* \end{aligned}$$

情况 4 当 $\Delta d_i - k\Delta c_r \leq -km_2$ 时,

$$\begin{aligned} \bar{q}_{i4}^* &= \frac{d_i + \Delta d_i - k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_{i4}^*) - m_2]}{2} \\ \bar{p}_{i4}^* &= \frac{d_i + \Delta d_i + k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_{i4}^*) - m_2]}{2k} \\ \Pi_{i4}^* &= (\bar{p}_{i4}^* - c_r - \Delta c_r) \bar{q}_{i4}^* - C(\bar{q}_{i4}^*) - m_1(\bar{q}_{i4}^* - \\ &= q_i^*) = \Pi_i^* + \left(\frac{\Delta d_i - k\Delta c_r}{k}\right) q_i^* - C(\bar{q}_{i4}^*) - C(q_i^*) + \\ &= \frac{[\Delta d_i - k\Delta c_r + k(m_2 + C(q_i^*))]^2 - [kC(\bar{q}_{i4}^*)]^2}{4k} \end{aligned}$$

现实中军事物资的供应价格是不可能小于承制商的生产成本和采购中心的采购成本之和的,即对于任意的需求量 $q_i > 0$,总有 $p_i - C'(q_i) - c_r - \Delta c_r > 0$,等价于 $d_i + \Delta d_i - k[c_r + \Delta c_r + C'(q_i)] > 0$.

1.3 博弈分析

当战场形势发生急剧变化,造成舰艇部队需求规模变化了 Δd_i ,采购中心的采购成本变化了 Δc_r ,且承制商的生产成本是其生产数量的凸函数,为使整体收益达到最大,决策者需要适时调整最优订货量和采购成本.根据扰动的不同变化情况,订购数量和供应价格分别为

$$\bar{q}_i^* = \begin{cases} \frac{d_i + \Delta d_i - k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_{i1}^*) + m_1]}{2} & \text{当 } \Delta d_i - k\Delta c_r \geq km_1 \\ q_i^* & \text{当 } -km_2 \leq \Delta d_i - k\Delta c_r \leq km_1 \\ \frac{d_i + \Delta d_i - k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_{i4}^*) - m_2]}{2} & \text{当 } \Delta d_i - k\Delta c_r \geq -km_2 \end{cases} \quad (22)$$

$$\bar{p}_i^* = \begin{cases} \frac{d_i + \Delta d_i + k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_{i1}^*) + m_1]}{2k} & \text{当 } \Delta d_i - k\Delta c_r \geq km_1 \\ \bar{p}_i^* + \frac{\Delta d_i}{k} & \text{当 } -km_2 \leq \Delta d_i - k\Delta c_r \leq km_1 \\ \frac{d_i + \Delta d_i + k[c_r + \Delta c_r + C'(\bar{q}_{i4}^*) - m_2]}{2} & \text{当 } \Delta d_i - k\Delta c_r \geq -km_2 \end{cases} \quad (23)$$

决策者应该采取的策略为:在舰艇部队需求规模和采购中心采购成本同时发生扰动的情况下,对原生产计划和采购计划有一定的鲁棒性,当 $|\Delta d_i - k\Delta c_r|$ 变化比较大时,超出了一定的范围,才会调整计划.当 $|\Delta d_i - k\Delta c_r|$ 变化比较小(满足 $-km_2 \leq \Delta d_i - k\Delta c_r \leq km_1$)时,保持原计划不变.此时,只需要通过调整供应价格弥补扰动发生时带来的偏差费用即可,此时供应价格只受需求规模的影响,随着需求规模的增大而增大,而与采购成本无关.而对于供应价格,不管 $|\Delta d_i - k\Delta c_r|$ 变化大或小,只要需求量发生了变化,则供应价格就要相应地作出调整.需求规模增加,供应价格上涨;需求规模减少,供应价格降低^[10-11].

2 算例分析

用一个简单的例子说明上述结论.当战场形势变化导致 d_i 和 c_r 同时扰动时,通过算例计算分析它们对供应链系统、采购中心和承制商收益的影响.设 $d_i = 200, c_r = 20, k = 4, m_1 = 5, m_2 = 5$,承制商的生产成本是需求量的凸函数, $C(q_i) = q_i^2$,可以根据价格需求关系算出 $q_i^* = 12$ 和 $p_i^* = 47$.但实际中往往是需求和采购成本同时增大或同时减小,因此仅对这两种情况进行分析.对扰动情况按上文的情况1~4分类,结果如表1.

表 1 d_i 和 c_r 的扰动对军事供应链的影响
Tab.1 Effect of d_i and c_r disturbance on military supply chain

	需求规模 扰动 Δd_i	采购成本 扰动 Δc_r	最优订购量 $\bar{q}_i^*$	最优供应 价格 $\bar{p}_i^*$	收益			承制商提供给 采购中心的 转价格
					承制商 (扰动前、扰动后)	采购中心 (扰动前、扰动后)	供应链渠道 i (扰动前、扰动后)	
情况 1	100	3	18.8	70.3	(156,82.56)	(24,419.24)	(180,501.8)	25
	-10	-15	15	43.75	(156,135)	(24,206.25)	(180,341.25)	25
情况 2	50	8	12	59.5	(156,156)	(24,78)	(180,234)	25
	-30	-10	12	39.5	(156,156)	(24,54)	(180,210)	25
情况 3	30	10	12	54.5	(156,156)	(24,-6)	(180,150)	25
	-50	-8	12	34.5	(156,156)	(24,-30)	(180,126)	25
情况 4	20	15	10	52.5	(156,140)	(24,-75)	(180,65)	25
	-70	-3	8.2	30.45	(156,118.76)	(24,-94.71)	(180,24.05)	25

从表 1 中可以看出:
a. 当需求和采购成本同时发生同方向的扰动时,在一定的条件下,并不会对原有的生产计划和采购计划产生影响,两者之间存在着一种相互抗衡和制约的作用,即一者变化带来的不利影响可以被另

一者变化带来的有利影响抵消或部分抵消,此时供应链的生产计划保持不变,如表 1 中情况 2 和情况 3 的 4 种扰动情况.在该情形下,只需要适当地调整供应价格即可达到供应链的最优,且此时只有当需求规模发生变化时,才需要调整供应价格,供应价格

随需求规模的增大(减少)而上涨(减低)。

b. 当需求和采购成本同时发生同方向的扰动时,并且两者之间的关系超过一定的条件,如表1中情况1和情况4的4种扰动情况时,承制商的生产计划和采购中心的采购计划都要随之进行调整,可通过增加订购量且提高供应价格,或者减少订购量且降低供应价格来达到供应链的最优。同时在情况1下,供应链的生产计划必须作出调整,并且供应链的最优生产量、最优价格和最优利润随着需求规模的增大而增大,随着采购成本的增加而增加。

c. 从表1还可以看出,如果在需求和采购成本同时发生扰动时,策略不作调整,即使整个供应链的收益为正,承制商和采购中心可能也会因为自己单方面无利可图(得到负的收益)退出供应链,从而使得双方都失去盈利机会。

通过研究还发现,在不同的扰动情形下,供应链的最优订购量、最优供应价格和供应链的最优利润,与采购成本、需求规模及它们的扰动存在着一定的关系。当突发事件导致需求和采购成本同时发生不同方向的扰动,并且两者之间的关系超过一定的条件时,如当采购成本增加和需求减少时,与稳定状态时相比,承制商会通过减少生产来应对突发事件;当采购成本减少和需求增加时,承制商会通过增加生产来应对突发事件,引理1已证明之。

3 结 论

对其动态模型进行分析并得出在舰艇部队需求规模和采购成本同时发生扰动时,原来生产计划和采购计划仍有一定的鲁棒性,变化比较小时,保持原计划不变,若超出一定范围,才会调整计划。计划的改变取决于需求和采购成本两种扰动的综合作用。本文仅对单承制商、单采购中心、多舰艇部队组成的三级供应链进行了研究,后续将考虑多承制商、多采购中心、多舰艇部队时的情形,或者考虑需求函数为非线性需求或随机需求时,研究多种扰动因素对供

应链的影响;这些扰动因素之间的关联关系及相互影响、变动的机理也是今后研究的方向。

参考文献:

- [1] Xu M, Qi X, Yu G, et al. The demand disruption management problem for a supply chain system with nonlinear demand functions [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2003, 12(1): 82 - 97.
- [2] Xu M, Gao X. Supply chain coordination with demand disruption under convex production cost function [J]. Wuhan University Journal of Natural Science, 2005, 10(3): 493 - 498.
- [3] Yang J, Qi X, Yu G. Disruption management in production planning [R]. Austin: The University of Texas, 2005.
- [4] Tomlin B. On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks [J]. Management Science, 2006, 52(5): 639 - 657.
- [5] Xia Y, Yang J, Golany B, et al. Real-time disruption management in a two-stage production and inventory system [J]. IIE Transactions, 2004, 36(1): 1 - 15.
- [6] 吴献金, 杨泽寰. 成本和需求同时扰动的多零售商供应链协调[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2010, 37(5): 88 - 92.
- [7] 罗云金. 战时军事物流的博弈分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [8] 冯花平. 基于多因素扰动的供应链应急协调研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008.
- [9] Huang C C, Yu G, Wang S, et al. Disruption management for supply chain coordination with exponential demand function [J]. Acta Mathematica Scientia, 2006, 26(4): 655 - 669.
- [10] 雷东, 高成修, 李建斌. 需求和生产成本同时扰动时的供应链协调[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(9): 51 - 59.
- [11] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contract strengths and limitations [J]. Management Science, 2005, 51(1): 30 - 44.