

文章编号: 1003-207(2010)05-0066-10

# 基于不同交货期策略的两供应商-单制造商协同供货模型

李 果<sup>1</sup>, 张 祥<sup>1</sup>, 马士华<sup>2</sup>

(1. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081; 2. 华中科技大学管理学院, 武汉 430074)

**摘 要:** 构建了基于不同交货期策略的两供应商-单制造商协同供货模型。在对基于交货窗的协议交货期交货策略 1 和基于费用分担的可控交货期交货策略 2 进行分析和描述后, 根据策略 1 建立了交货窗下基于协议交货期的两供应商-单制造商的 stackelberg 对策模型, 分析了各自的最优决策; 根据策略 2 建立了费用分担机制下基于可控交货期的两供应商-单制造商协调优化模型, 给出了求解最优值的算法。接着分析了策略 2 优于策略 1 下的交货期压缩费用分担系数, 给出了分担系数的范围, 在此基础上建立了基于改进理想点的不对称 Nash 协商交货期压缩费用分担协调策略。最后通过数例对两种交货策略进行了分析比较并验证了本文的分担协调策略是有效的。

**关键词:** 交货期策略; 两供应商-单制造商; Stackelberg 对策; Nash 协商

中图分类号: F273.7 文献标识码: A

## 1 引言

20 世纪 90 年代以来, 时间已成为竞争的关键要素。越来越多的企业意识到在采购过程中不仅应重视与数量相关的订货批量问题, 也应重视与时间相关的订货提前期即供应商交货期问题。近年来 JIT 技术在日本企业的成功应用有力地说明了缩短提前期将会增强企业有效客户反映 (ECR) 能力和竞争力, 因此基于提前期来控制供应商库存的不确定性引起了很多学者的兴趣。

Liao 和 Shyu(1991)<sup>[1]</sup> 最早将提前期分为多个操作时段, 在假定每个时段内提前期缩短时间和成本为线性关系下, 求解使得总成本最小的提前期。Ouyang 等(1996)<sup>[2]</sup> 在 Liao 和 Shyu(1991)<sup>[1]</sup> 的基础上将订货量也作为决策变量, 并考虑了缺货回补和缺货损失的情况。Moon 和 Choi(1998)<sup>[3]</sup>, Hargata 和 Ben-Daya(1999)<sup>[4]</sup> 进一步拓展了 Ouyang 等(1996)<sup>[2]</sup> 的模型, 考虑通过对订货批量、订货点和提前期的决策使一个连续性库存系统年总成本最

小。基于文献[1-4]的研究, Pan 和 Hsiao(2002, 2004, 2005)<sup>[5-7]</sup>, Ouyang(2002, 2004, 2007)<sup>[8-10]</sup>, Lee(2005, 2006, 2007)<sup>[11-13]</sup>, Lin(2009)<sup>[14]</sup> 等学者从不同角度对可控提前期的问题进行了研究。如 Pan 和 Hsiao(2002, 2004)<sup>[5,6]</sup> 考虑了提前期单位成本存在固定和变动成本情况下的可控提前期问题。Ouyang(2002, 2004)<sup>[8,9]</sup> 考虑了供需一体化的库存决策。Lee(2007)<sup>[13]</sup> 考虑了再订购折扣和可控订货成本等因素的可控提前期库存问题。Lin(2009)<sup>[14]</sup> 考虑了可控订货成本和再订购折扣的库存优化问题。

国内马士华和王福寿(2006)<sup>[15]</sup> 分析和比较了需求时间价格敏感下的两种不同模式对可控提前期决策的影响。鲁其辉和朱道立(2008)<sup>[16]</sup> 考虑了交货时间不确定的季节性产品供应链协调问题, 比较了信息共享和不共享对供应链绩效的影响。李怡娜(2009)等<sup>[17]</sup> 比较了零售商承担缩短交货期费用和零售商与供应商共同承担缩短交货期费用的两种交货策略在供应链成本上的差异, 提出了一种基于满意度的不对称 Nash 协商模型来决定最优费用分担比例。

然而上述文献研究都是以制造商单一节点或系列系统 (Series System), 如单供应商-单制造商为研究对象, 没有考虑到基于 BOM 关系的多供应商-单制造商的协同供货决策问题。在基于 BOM 关

收稿日期: 2009-09-15; 修订日期: 2010-08-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70972005, 70773088, 70672040); 国家 863/CIMS 主题资助(2006AA04Z153)

作者简介: 李果(1980-), 男(土家族), 湖南怀化人, 北京理工大学管理与经济学院讲师, 博士, 研究方向: 物流与供应链管理。

系的 JIT 装配制造系统中, 当制造商面临的市场需求随机时, 由于各供应商的提前期不完全一致, 这时会存在部分零部件库存过大而紧缺零部件缺货的现象, 最终导致制造商无法按期装配生产<sup>[18]</sup>。根据文献[18]的统计, 我国下游厂商因上游厂商不能及时足量供货而不满意者占 18.35%, 很不满意者占 2.33%。可见, 基于 BOM 关系的多供应商- 单制造商系统协同供货问题不仅涉及到供应商和制造商之间的纵向协同, 而且要求供应商之间的横向协同, 其在现实中更为普遍。

基于此, 魏晨和 马士华(2008)<sup>[19]</sup> 研究了随机可控提前期下基于瓶颈供应商的两供应商- 单制造商协同供货问题, 比较了分散决策契约和集中决策契约下供应链的总体收益, 提出了一种供应链渠道收益分配机制。马士华和李果(2010)<sup>[20]</sup> 研究了供应商随机产出下两供应商- 单制造商系统在溢出库存惩罚下的风险共享协同模型。然而上述研究并未考虑不同交货期策略和交货期决策权对两供应商- 单制造商系统协同供货的影响。

在交货期策略上, 以往以单一节点或系列系统为研究对象的文献大都假设交货期决策权由下游控制, 缩短提前期的费用完全由下游支付。然而现实中为了获得更好的供应链收益, 上下游按一定比例承担交货期压缩费用的情形也是比较常见的。

在供应链的实际运作中, 常见有下列两种不同交货期策略, 策略 1 为基于交货窗( delivery windows) 的协议交货期交货策略, 即供应商根据自己交货能力与制造商要求, 让制造商指定一个最早和最晚交货期, 最早最晚交货期构成了交货窗<sup>[21]</sup>。在交货窗内, 供应商先决定最优的交货期, 然后制造商决定订货批量的交货策略, 交货窗内交货期的缩短不需要交货期压缩费用; 策略 2 为基于费用分担的可控交货期策略, 即制造商和供应商共同决定订货批量提前期和生产批量, 缩短提前期的费用可按一定比例由上下游分担的交货策略<sup>[17]</sup>。基于上述研究的局限和实际运作的情况, 本文将研究不同交货策略下两供应商- 单制造商的两级供应链库存优化与协调问题。

## 2 基于交货窗的协议交货期交货策略模型

### 2.1 模型描述与参数定义

考虑一个两供应商- 单制造商的两级周期性补货系统。制造商采用  $(Q, r)$  订货策略, 当零部件  $i$  ( $i = 1, 2$ ) 库存水平小于订货点  $r_i$  时, 其向供应商  $i$  发

出  $Q_i$  单位的订货量; 供应商以生产率  $P_i$  生产  $m_i Q_i$  件产品, 分  $m_i$  次以批量  $Q_i$  交付, 实际交货提前期为  $L_i$ , 如图 1。

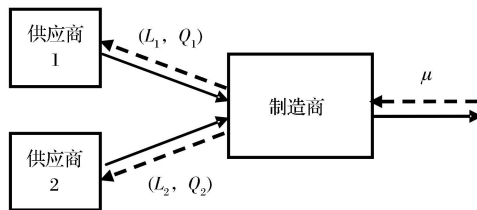


图 1 两供应商- 单制造商供货系统示意图

制造商单位时间需求服从  $(\mu, \sigma^2)$  的正态分布, 概率密度函数为  $f(\cdot)$ , 则零部件  $i$  在提前期  $L_i$  内需求的均值为  $\mu L_i$ , 方差为  $\sigma^2 \sqrt{L_i}$ 。

每个供应商只供应一种零部件, 且各供应商之间零部件装配比例是 1:1 (假若为  $n:1$ , 模型中可做处理, 使其变为 1:1, 因此直接假设 1:1 不失一般性)。当制造商任何一种零部件缺货时, 制造商将无法装配并由此导致缺货。

实际交货期  $L_i$  的最终确定由供应商和制造商协议解决。在交货策略 1 下, 供应商的最晚交货期为  $L_i^m$ , 供应商的最早交货期  $L_i^s$ , 存在  $L_i^s \leq L_i^m$ 。供应商在交货窗  $[L_i^s, L_i^m]$  内决定最优的交货时间以使得自己的库存成本最小化, 交货窗内交货期的减小不需要成本投入。在交货策略 2 下, 供应商公布最早交货期  $L_i^s$ , 制造商决定订货批量, 交货期缩短费用由两者共同协议分担。供应商最早交货期  $L_i^s$  由  $n$  个相互独立的操作时段构成, 每个操作时段的最短持续时间为  $t_{ik}$ , 正常持续时间为  $T_{ik}$ , 缩短单位时间的交货期成本为  $a_{ik}$ , 在这里排序使  $a_{i1} \leq a_{i2} \leq \dots \leq a_{in}$ 。定义  $L_i^s \equiv \sum_{k=1}^n T_{ik}$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ )。记  $L_{ik} = L_i^s - \sum_{k=1}^l (T_{ik} - t_{ik})$  表示前  $l$  个时段被压缩到最短时间的交货期。当交货期在区间  $[L_{il}, L_{i,l-1}]$  时, 缩短交货期的成本为:

$$C_i(L_i) = a_{il}(L_{i,l-1} - L_i) + \sum_{k=1}^{l-1} a_{ik}(T_{ik} - t_{ik})$$

其他参数定义如下:

- $s$ : 制造商每次订货固定成本;
- $A_i$ : 供应商  $i$  每次生产的准备成本;
- $h_i$ : 零部件  $i$  的单位库存费用;
- $\beta$ : Backorder 比例系数;
- $\lambda$ : 供应商  $i$  承担交货期压缩费用的比例, 简称交货期压缩费用分担系数。

## 2 2 供应商和制造商的库存模型

### 2 2 1 制造商库存成本模型

制造商在单位时间内的总成本包括三部分: 订货成本、库存成本和缺货成本。

1) 订货成本。制造商每次订货成本为  $s$ , 单位时间需求量为  $\mu$ , 每次订货量为  $Q_i$ , 则单位时间的订货成本为  $\sum_{i=1}^2 s \frac{\mu}{Q_i}$ 。

2) 库存成本。对于零部件  $i$  来说, 提前期  $L_i$  内的市场需求分布为  $f_i(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi} L_i} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma^2 L_i}}$ , 订货点  $r_i = \mu L_i + k\sigma \sqrt{L_i}$ , 则零部件  $i$  在其一个订货周期内的缺货量为  $B(r_i) = \int_{r_i}^{\infty} (x - r_i) f(x) dx = \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k)$ , 其中  $\omega_i(k) = \phi(k) - k[1 - \Phi(k)]$ ,  $\phi(k)$  和  $\Phi(k)$  分别为标准正态分布的概率密度函数和分布函数。则零部件  $i$  在制造商的单位时间内平均库存量为:

$$I \approx \frac{1}{2} [Q_i + E[x - r_i]^+ + (1 - \beta)B(r_i) + E[x - r_i]^+ + (1 - \beta)B(r_i)] = \frac{Q_i}{2} + k\sigma \sqrt{L_i} + (1 - \beta)B(r_i) \quad (1)$$

由于两个零部件按 1: 1 的关系装配生产, 当零部件  $j$  缺货时, 则装配不能进行, 这将导致零部件  $i$  没有按照单位时间  $\mu$  的平均速度消耗而发生积压, 因此零部件  $i$  单位时间总平均库存量为单位时间平均库存量加上平均积压库存, 即

$$I_i = \frac{Q_i}{2} + k\sigma \sqrt{L_i} + (1 - \beta)\sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k) + \frac{\mu}{Q_i} \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) \quad (2)$$

3) 缺货成本。当零部件 1 和零部件 2 同时缺货时, 其缺货概率为  $P\{(D > r_1) \cap (D > r_2)\} = P(D > r_1)P(D > r_2)$ 。在一定服务水平约束下有  $\frac{E[(D - r_i)^+]}{Q_i} \leq 1 - \alpha$ , 可见  $P(D > r_i)$  是关于  $\alpha$  的减函数, 所以在较高服务水平  $\alpha$  下 (如 0.95, 0.975 等), 两零部件同时缺货的概率  $P\{(D > r_1) \cap (D > r_2)\}$  极小, 可忽略不计, 从而模型正确性得以保证<sup>[22]</sup>。

当零部件  $i$  缺货, 制造商装配中断, 最终导致制造商产品缺货, 则单位时间制造商缺货费用为:

$$\sum_{i=1}^2 \frac{D}{Q_i} \pi \beta B(r_i) = \sum_{i=1}^2 \frac{D}{Q_i} \pi \beta \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k) \quad (3)$$

制造商单位时间的期望总成本 ( $ECM$ ) 为:

$$ECM = \sum_{i=1}^2 \{h_i [\frac{Q_i}{2} + k\sigma \sqrt{L_i} + (1 - \beta)\sigma$$

$$\cdot \sqrt{L_i} \omega_i(k) + \frac{\mu}{Q_i} \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k)] + s \frac{\mu}{Q_i} + \frac{\mu}{Q_i} \pi (1 - \beta)\sigma \cdot \sqrt{L_i} \omega_i(k)\} \quad (4)$$

### 2 2 2 供应商库存成本模型

供应商  $i$  的成本包括两个部分: 生产准备成本和库存成本。

1) 生产准备成本。供应商  $i$  每批次生产准备成本为  $A_i$ , 生产批量为  $m_i Q_i$ , 单位时间的平均需求量为  $\mu$ , 则供应商  $i$  的一个生产周期为  $T_m = \frac{m_i Q_i}{\mu}$ , 因此, 供应商  $i$  单位时间期望生产准备成本为  $\frac{\mu}{m_i Q_i} A_i$ 。

2) 库存成本。供应商  $i$  以生产率  $P_i$  生产  $m_i Q_i$  件零部件, 分  $m_i$  次以批量  $Q_i$  交付, 则供应商  $i$  的平均库存水平为<sup>[10]</sup>:

$$I_m = \frac{Q_i}{2} [m_i (1 - \frac{\mu}{P_i}) - 1 + \frac{2\mu}{P_i}] \quad (5)$$

则供应商  $i$  在单位时间的期望总成本为:

$$ECS_i(m_i) = A_i \frac{\mu}{m_i Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2} [m_i (1 - \frac{\mu}{P_i}) - 1 + \frac{2\mu}{P_i}] \quad (6)$$

## 2 3 基于交货策略 1 的库存优化分析

当实施交货策略 1 后, 供应商首先给定交货窗  $[L_i^l, L_i^m]$  内协议交货期  $L_i^c$ , 制造商决定订货批量  $Q_i$ , 供应商再决定生产批量  $m_i$ 。此问题可以归结为一类 Stackelberg 主从对策问题, 即供应商  $i$  寻求成本最小化的协议交货期  $L_i^c$  和生产批量  $m_i$ , 制造商寻求成本最小化的订货批量  $Q_i$ 。在给定一个协议交货期  $L_i^c \in [L_i^l, L_i^m]$  内, 则有

命题 1: 对于给定的协定交货期 ( $L_i^c, L_i^c$ ), 制造商单位时间总成本  $ECM$  为 ( $Q_1, Q_2$ ) 联合凸函数, 则使得  $ECM$  最小值的  $Q_i^*$  满足

$$Q_i^* = \left[ \frac{2\mu s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + \pi (1 - \beta)\sigma \sqrt{L_i^c} \omega_i(k)}{h_i} L_j^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

证明: 对  $ECM$  中的决策变量  $Q_i$  求导, 则

$$\frac{\partial ECM(Q_i)}{\partial Q_i} = -s \frac{\mu}{Q_i^2} + \frac{h_i}{2} - \frac{\mu}{Q_i^2} \pi (1 - \beta)\sigma \cdot \sqrt{L_i^c} \omega_i(k) - \frac{\mu}{Q_i^2} h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) \quad (8)$$

对于任意给定的安全因子  $k$ , 有  $\omega(k) > 0$

$$\frac{\partial^2 ECM(Q_i)}{\partial Q_i^2} > 0 \tag{9}$$

Hessian 矩阵

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 ECM(Q_1, Q_2)}{\partial Q_1^2} & \frac{\partial^2 ECM(Q_1, Q_2)}{\partial Q_1 \partial Q_2} \\ \frac{\partial^2 ECM(Q_1, Q_2)}{\partial Q_2 \partial Q_1} & \frac{\partial^2 ECM(Q_1, Q_2)}{\partial Q_2^2} \end{bmatrix} > 0$$

令式 (8) 等于 0, 即证。

接下来对供应商  $i$  进行分析, 由于  $\frac{\partial ECS_i^2(m_i)}{\partial m_i^2}$

$= \frac{2A_i \mu}{Q_i m_i^3} > 0$ , 可知  $ECS_i(m_i)$  是关于  $m_i$  的凸函数,

令  $\frac{\partial ECS_i(m_i)}{\partial m_i} = 0$ , 则最佳生产批量的决策为:

$$m_i^* = \frac{1}{Q_i^*} \sqrt{\frac{2A_i P_i \mu}{h_i(P_i - \mu)}} \tag{10}$$

将式 (12) 带入式 (8) 中, 可得供应商最优的成本为:

$$ECS_i(m_i^*) = \sqrt{2h_i A_i \mu (1 - \frac{\mu}{P_i})} + h_i \frac{Q_i^*}{2} [\frac{2\mu}{P_i} - 1] \tag{11}$$

从式 (11) 可知, 在交货期策略 1 下, 供应商的最优的总成本和制造商的订货批量有关, 而制造商的订货批量又与供应商给出的协议交货期  $L_i^s \in [L_i^s, L_i^m]$  有关, 因此供应商  $i$  可以通过调整交货窗内的协议交货期  $L_i$  来改变制造商的最优订货批量  $Q_i^*$ , 间接地调整制造商的最优订货批量, 在 stackelberg 对策博弈中, 最终使得自己的总成本最小化。

### 3 基于费用分担的可控交货期交货策略

在实施交货策略 2 后, 原问题变成了一个基于可控提前期交货策略的供应链联合库存模型, 当引入交货期压缩成本  $C_i(L_i)$  后, 令制造商承担供应商  $i$  提前期压缩的成本为  $\sum_{i=1}^2 (1 - \lambda) C_i(L)$ , 供应商  $i$  承担的为  $\lambda C_i(L)$ , 则在策略 2 下的供应链联合库存模型为:

$$ETC_{sc} = \sum_{i=1}^2 \left[ \frac{\mu}{Q_i} [s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + \pi(1 - \beta) \sigma] \right]$$

$$Q_{i,ETC} = \left\{ \frac{2\mu [s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + C_i(L) + \pi(1 - \beta) \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k) + \frac{A_i}{m_i}]^{\frac{1}{2}}}{h_i [m_i (1 - \frac{\mu}{P_i}) + \frac{2\mu}{P_i}]} \right\} \tag{20}$$

式 (20) 中, 当提前期压缩至最小时, 有  $L_i =$

$$\sum_{k=1}^n t_{ik}, L_j = \sum_{k=1}^n t_{jk}, \text{ 当提前期不压缩时, } L_i =$$

$$\cdot \left[ \sqrt{L_i} \omega_i(k) + \frac{A_i}{m_i} + C_i(L) \right] + \frac{h_i}{2} Q_i \left[ m_i \left( 1 - \frac{\mu}{P_i} \right) + \frac{2\mu}{P_i} \right] + h_i [k\sigma \sqrt{L_i} + (1 - \beta) \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k)] \tag{12}$$

$$s. t. \frac{\sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k)}{Q_i} \leq 1 - \alpha \tag{13}$$

#### 3.1 最优解判定函数的构造

对  $ETC_{sc}$  分别求关于  $Q_i, m_i, L_i$  的偏导, 有

$$\frac{\partial ETC_{sc}}{\partial Q_i} = - \mu Q_i^{-2} [s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + \pi(1 - \beta) \sigma]$$

$$\cdot \left[ \sqrt{L_i} \omega_i(k) + C_i(L) + \frac{A_i}{m_i} \right] + \frac{h_i}{2} \left[ m_i \left( 1 - \frac{\mu}{P_i} \right) + \frac{2\mu}{P_i} \right] \tag{14}$$

$$\frac{\partial ETC_{sc}}{\partial m_i} = - \frac{A_i \mu}{Q_i m_i^2} + h_i \frac{Q_i}{2} \left( 1 - \frac{\mu}{P_i} \right) \tag{15}$$

$$\frac{\partial ETC_{sc}}{\partial L_i} = \frac{1}{2} L_i^{-\frac{1}{2}} \{ h_i [k\sigma + (1 - \beta) \sigma \omega_i(k)] + \frac{\mu}{Q_i} \pi(1 - \beta) \sigma \omega_i(k) \} - \frac{\mu}{Q_i} a_i \tag{16}$$

$$\frac{\partial ETC_{sc}^2}{\partial Q_i^2} > 0 \tag{17}$$

$$\frac{\partial ETC_{sc}^2(Q_i, m_i, L_i)}{\partial m_i^2} > 0 \tag{18}$$

$$\frac{\partial ETC_{sc}^2(Q_i, m_i, L_i)}{\partial L_i^2} < 0 \tag{19}$$

命题 2: 对于固定的  $m_i$  和  $L_i \in [L_i^l, L_i^{l+1}]$ ,  $ETC_{sc}$  是  $(Q_1, Q_2)$  的联合凸函数。

证明: 由式 (17) 可知  $\frac{\partial^2 ETC_{sc}}{\partial Q_i^2} > 0$  且 Hessian

矩阵正定, 即

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 ETC(Q_1, Q_2)}{\partial Q_1^2} & \frac{\partial^2 ETC(Q_1, Q_2)}{\partial Q_1 \partial Q_2} \\ \frac{\partial^2 ETC(Q_1, Q_2)}{\partial Q_2 \partial Q_1} & \frac{\partial^2 ETC(Q_1, Q_2)}{\partial Q_2^2} \end{bmatrix} > 0$$

即证。

命题 3: 对于固定的  $m_i$  和  $L_i \in [L_i^l, L_i^{l+1}]$ ,  $ETC_{sc}$  有最优解时, 必然存在  $Q_{i, \min} \leq Q_{i,ETC} \leq Q_{i, \max}$ 。

证明: 令式 (14) 为 0, 则有

$$\sum_{k=1}^n T_{ik}, L_j = \sum_{k=1}^n T_{jk}, \text{ 存在 } Q_{i, \min} \leq Q_{i,ETC} \leq Q_{i, \max}, \text{ 其中}$$

$$Q_{i \min} = \left\{ \frac{2H_i s + h_i \sigma \sqrt{\sum_{k=1}^n t_{jk} \omega_j(k)} + \pi(1-\beta) \sigma \sqrt{\sum_{k=1}^n t_{ik} \omega_i(k)} + \frac{A_i}{m_i}}{h_i \left[ m_i \left( 1 - \frac{\mu}{P_i} \right) + \frac{2\mu}{P_i} \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

$$Q_{i \max} = \left\{ \frac{2H_i s + h_i \sigma \sqrt{\sum_{k=1}^n T_{jk} \omega_j(k)} + \sum_{k=1}^n a_{jk} (T_{jk} - t_{jk}) + \sum_{k=1}^n a_{ik} (T_{ik} - t_{ik}) + \pi(1-\beta) \sigma \sqrt{\sum_{k=1}^n T_{ik} \omega_i(k)} + \frac{A_i}{m_i}}{h_i \left[ m_i \left( 1 - \frac{\mu}{P_i} \right) + \frac{2\mu}{P_i} \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

命题 4: 供应商  $i$  最优生产批量  $m_i^*$  存在上界和下界, 即  $m_i^* \in [m_i^{lower}, m_i^{upper}]$ 。

证明: 将式(20) 带入式(12), 有

$$ETC_{sc}(m_i) = \sum_{i=1}^2 \left\{ [2H_i(s + \pi(1-\beta)\sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k) + \frac{A_i}{m_i} + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + C_i(L)) (m_i (1 - \frac{\mu}{P_i}) + \frac{2\mu}{P_i})]^{\frac{1}{2}} + h_i [k \sigma \sqrt{L_i} + (1-\beta)\sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k)] \right\} \quad (23)$$

忽略掉不含  $m$  的项, 则令

$$Y(m_i) = [2H_i(s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + \pi(1-\beta) \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k) + C_i(L) + \frac{A_i}{m_i}) (m_i (1 - \frac{\mu}{P_i}) + \frac{2\mu}{P_i})]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$\cdot \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k) + C_i(L) + \frac{A_i}{m_i} (m_i (1 - \frac{\mu}{P_i}) + \frac{2\mu}{P_i})]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

将式(24) 进行平方, 并忽略掉  $Y^2(m_i)$  中与  $m_i$  无关的项, 令

$$Z(m_i) = 2H_i m_i [s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + \pi(1-\beta) \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k) + C_i(L) + \frac{A_i}{m_i}] (1 - \frac{\mu}{P_i}) + \frac{4\mu^2 A_i h_i}{m_i P_i} \quad (25)$$

令  $m_i$  的最优解为  $m_i^*$ , 则有

$$\begin{cases} Z(m_i^*) \leq Z(m_i^* - 1) \\ Z(m_i^*) \leq Z(m_i^* + 1) \end{cases} \quad (26)$$

$$\quad (27)$$

根据式(26)和(27), 则有

$$m_i^* (m_i^* - 1) \leq \frac{2H_i}{[s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + C_i(L) + \pi(1-\beta) \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k)] (P_i - \mu)} \quad (28)$$

$$m_i^* (m_i^* + 1) \geq \frac{2H_i}{[s + h_i \sigma \sqrt{L_j} \omega_j(k) + C_i(L) + \pi(1-\beta) \sigma \sqrt{L_i} \omega_i(k)] (P_i - \mu)} \quad (29)$$

式(28)和式(29)的解的范围为  $[m_i^{lower}, m_i^{upper}]$ 。

### 3.2 模型求解分析与算法

根据式(18)有  $\frac{\partial ETC_{sc}^2(Q_i, m_i, L_i)}{\partial m_i^2} > 0$ , 而最优的  $m_i^* \in [m_i^{lower}, m_i^{upper}]$ , 则令  $[m_i^{lower}, m_i^{upper}]$  和  $[m_2^{lower}, m_2^{upper}]$  区间内的可行  $m_1$  和  $m_2$  的个数为  $s_1$  和  $s_2$ , 则遍历取  $(m_1, m_2)$  的组合数为  $s_1 \cdot s_2$ 。

根据式(19)有  $\frac{\partial ETC_{sc}^2(Q_i, m_i, L_i)}{\partial L_i^2} > 0$ , 可知对于固定的  $m_i, Q_i, ETC_{sc}(Q_i, m_i, L_i)$  是  $L_i$  在区间  $[L_{i-1}, L_i]$  上的凹函数, 其最小值必定在区间  $[L_{i-1}, L_i]$  上的端点取得。因此只需考虑提前期为  $L_{ik}$  时,  $k = 1, 2, \dots, n$ , 总成本  $ETC_x$  的最小值, 在数例计算中我们采用遍历取固定值组合的方式处理  $L_{ik}$ , 则原非线性规划问题可以转换成了多步执行的线性规划问题, 遍历取组合的数为  $s_1 \cdot s_2 \cdot n^2$ 。

本文用于求解最优  $ETC_x$  具体的算法如下:  
 步骤 1: 按照性质 4, 计算  $m_i^*$  的范围, 那么有  $m_1^* \in [m_1^{lower}, m_1^{upper}]、m_2^* \in [m_2^{lower}, m_2^{upper}]$ ;  
 步骤 2: 令  $m_2 = m_2^{lower}$ ;

步骤 3: 令  $m_1 = m_1^{lower}$ ;

步骤 4: 令  $i = 1, 2$ , 则

(1) 对两个供应商 1 和 2 的单位时间交货期成本  $c_{1k}$  和  $c_{2k}$  进行排序, 使得  $c_{11} \leq c_{12} \leq \dots \leq c_{1n}, c_{21} \leq c_{22} \leq \dots \leq c_{2n}$  初始化  $k = 0$ ;

(2) 令  $k = k + 1$ ;

(3) 对于  $k = 1, 2, \dots, n$ , 根据式(20) 计算对应的交货期区段  $(L_k, L_{k-1})$  的  $Q_{1k}$  和  $Q_{2k}$  令  $Q_1 = Q_{1k}, Q_2 = Q_{2k}$ ;

(4) 若  $Q_{1k} \leq Q_{1, k-1}$ , 则令  $Q_{1k} = Q_{1, k-1}$ , 若  $Q_{11} \leq Q_{1k}$ , 则令  $Q_{1k} = Q_{11}$ ;

若  $Q_{2k} \leq Q_{2, k-1}$ , 则令  $Q_{2k} = Q_{2, k-1}$ , 若  $Q_{21} \leq Q_{2k}$ , 则令  $Q_{2k} = Q_{21}$ ;

(5) 转入步骤(2), 直到  $k = n$ 。根据式(20) 得到不同提前期下的  $Q_{1k}$  和  $Q_{2k}$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ), 将  $Q_{1k}$  和  $Q_{2k}$  在  $k = 1, 2, \dots, n$  下, 组成不同的组合数  $(Q_{1k}, Q_{2k})$ , 则组合数共有  $n^2$ 。根据步骤(3) 的定义 则有  $n^2$  个  $(Q_{1k}, Q_{2k})$  对应  $n^2$  个可行组合  $(Q_1, Q_2)$ ;

(6) 令  $ETC_{sc}^*(Q_1^*, Q_2^*, m_1^*, m_2^*, L_1^*, L_2^*) =$

$\text{Min}\{ETC_x(Q_{1k}, Q_{2k}, m_1, m_2, L_{1k}, L_{2k}), k = 1, 2, \dots, n\}$

步骤 5: 如果  $m_1 \geq m_1^{upper}$ , 则进入下一步; 如果  $m_1 < m_1^{upper}$ , 则令  $m_1 = m_1 + 1$ , 转入步骤 4;

步骤 6: 如果  $m_2 \geq m_2^{upper}$ , 则进入下一步; 如果  $m_2 < m_2^{upper}$ , 则令  $m_2 = m_2 + 1$ , 转入步骤 3;

步骤 7: 令  $ETC_{sc}^{**}(Q_1^{**}, Q_2^{**}, m_1^{**}, m_2^{**}, L_1^{**}, L_2^{**}) = \text{Min}\{ETC_x^*(Q_1^*, Q_2^*, m_1^*, m_2^*, L_1^*, L_2^*), m_1 \in [m_1^{lower}, m_1^{upper}], m_2 \in [m_2^{lower}, m_2^{upper}]\}$ , 则

这时使得  $ETC_{sc}^{**}(Q_1^{**}, Q_2^{**}, m_1^{**}, m_2^{**}, L_1^{**}, L_2^{**})$  最小的解为全局最优解。

### 4 费用分担机制与协调策略

#### 4.1 基于交货期策略比较的费用分担机制

在交货期策略 1 下, 供应商和制造商之间存在着 Stackelberg 对策博弈。而在交货期策略 2 下, 供应商和制造商共同决定交货期, 且交货期压缩费用由双方协议分担, 令

$$\begin{cases} \Delta ECS_1(\lambda) = ECS_1(Q_1^*, m_1^*, L_1^*) - ECS_1(Q_1^*, m_1^*, L_1^*, \lambda) & (30) \\ \Delta ECS_2(\lambda) = ECS_2(Q_2^*, m_2^*, L_2^*) - ECS_2(Q_2^*, m_2^*, L_2^*, \lambda) & (31) \\ \Delta ECM(\lambda, \lambda) = ECW(Q_1^*, Q_2^*, m_1^*, m_2^*, L_1^*, L_2^*) - ECW(Q_1^*, Q_2^*, m_1^*, m_2^*, L_1^*, L_2^*, \lambda, \lambda) & (32) \end{cases}$$

为了使得供应商和制造商双方协调并能接受策略 2, 则必须

应商 1, 供应商 2 和制造商在实施交货策略 2 后的理想值, 对于交货策略 2 来说, 理想值是确定的, 令

$$\begin{cases} \Delta ECS_1(\lambda) > 0 & (33) \\ \Delta ECS_2(\lambda) > 0 & (34) \\ \Delta ECM(\lambda, \lambda) > 0 & (35) \end{cases}$$

根据式(33), 令

$$F_1(\lambda) = \Delta ECS_1(\lambda) = h_1 \left( \frac{\mu}{P_1} - \frac{1}{2} \right) [Q_1^* - Q_1^* J - \frac{\lambda HC_1(L_1^{**})}{Q_1^{**}}] \quad (36)$$

$$X^{upper} = \min\{1, \min\{\lambda \mid F_1(\lambda) \geq 0\}\} \quad (37)$$

同理根据式(34), 令  $F_2(\lambda) = \Delta ECS_2(\lambda)$  (38)

$$X^{upper} = \min\{1, \min\{\lambda \mid F_2(\lambda) \geq 0\}\} \quad (39)$$

同理根据式(35) 令

$$F_m(\lambda, \lambda) = \Delta ECM(\lambda, \lambda) > 0 \quad (40)$$

则  $\lambda + b_1 \lambda > b_2$  (41)

$b_1$  和  $b_2$  为式(40)中解出的相应系数, 式(41)表示了  $\lambda$  和  $\lambda$  下限必须满足的约束。

#### 4.2 基于改进理想点的不对称 Nash 协商协调策略

成本分担系数  $\lambda$  对供应商和制造商的成本有着显著影响。因此, 如何确定合理的成本分担系数, 以使供应商和制造商在实施交货策略 2 后均得到改善, 是需要解决的关键问题。在实际运作中,  $\lambda$  的取值是由双方协商确定, 因此本文提出一种基于改进理想点法的 Nash 协调策略。

令  $d_{s1}$ ,  $d_{s2}$  和  $d_m$  分别表示供应商 1、供应商 2 和制造商与理想点的比例。对于  $\lambda$  和  $\lambda$  在满足式(37), (39) 和 (41) 条件下,  $\max \Delta ECS_1(\lambda)$ ,  $\max \Delta ECS_2(\lambda)$  和  $\max \Delta ECM(\lambda, \lambda)$  分别表示供

$$\begin{cases} d_{s1} = \frac{\Delta ECS_1(\lambda)}{\max \Delta ECS_1(\lambda)} & (42) \\ d_{s2} = \frac{\Delta ECS_2(\lambda)}{\max \Delta ECS_2(\lambda)} & (43) \\ d_m = \frac{\Delta ECM(\lambda, \lambda)}{\max \Delta ECM(\lambda, \lambda)} & (44) \end{cases}$$

当实际成本节约越大时, 则相应的比例  $d_{s1}$ 、 $d_{s2}$  和  $d_m$  越大。现实中  $(\lambda, \lambda)$  的具体取值受买卖双方双方的谈判实力、技巧、所拥有的信息和风险因素的影响。令影响供应商 1 和制造商谈判的综合因素值分别为  $\theta_1$  和  $1 - \theta_1$ , 供应商 2 和制造商谈判的综合因素值分别为  $\theta_2$  和  $1 - \theta_2$ , 则基于改进理想点法的不对称 Nash 协调的费用分担模型为:

$$\max V_{nash} = \max\{d_{s1}^{\theta_1} \cdot d_m^{1-\theta_1} + d_{s2}^{\theta_2} \cdot d_m^{1-\theta_2}\} \quad (45)$$

式(45)为费用分担模型, 基于改进的理想点法的 Nash 协调策略将会确定具体的费用分担比例  $(\lambda, \lambda)$ 。

### 5 数例分析

本文采用 Pan 等(2002)<sup>[6]</sup>使用的部分数据:  $\mu = 600$  单位/年,  $s = 200$  元/次,  $h_1 = 15$  元/单位·年,  $h_2 = 20$  元/单位·年,  $\pi = 50$  元/单位,  $\delta = 7$  单位/周,  $A_1 = 450$  元/次,  $A_2 = 400$  元/次。为了确保模型的正确性, 定义服务水平  $\alpha$  为 0.95。交货期的构成如下表 1 所示:

在交货期策略 2 下, 当  $\beta = 0.5$  时, 根据性质 4 可以得到  $m_1$  和  $m_2$  的范围, 其均为  $[3, 6]$ , 则  $m_1$  和  $m_2$  的组合数为 16 个。按照上述算法, 在采用遍历

取值的情况下,可以得到原问题的最优解。当  $m_1$  和  $m_2$  的组合为(3, 3) 时,按照算法的步骤 4,则可得到如下结果:

表 1 供应商  $i$  最短交货期  $L_i$  的组成部分

交货期构成(时间单位为天,成本单位为元)							$L_{ik}$		$C(L_i)$	
操作时段 $k$	正常作业时间 $T_{ik}$		最短作业时间 $t_{ik}$		单位赶工成本 $a_{ik}$		$L_{1k}$	$L_{2k}$	$C_1(L_1)$	$C_2(L_2)$
0	$T_{1k}$	$T_{2k}$	$t_{1k}$	$t_{2k}$	$a_{1k}$	$a_{2k}$	0	0	0	0
1	20	15	4	5	2	2.5	32	27	32	25
2	16	12	6	5	5.1	6	22	20	83	67
3	12	10	8	5	32.1	40.2	18	15	211.4	268

表 2 当  $m_1 = 3, m_2 = 3$  时基于交货期策略 2 的算法优化表

$L_{1k}$	$L_{2k}$	$Q_1$	$Q_2$	$ETC_{sc}$	$L_{1k}$	$L_{2k}$	$Q_1$	$Q_2$	$ETC_{sc}$
L10	L20	122.3	118.87	27863.2	L12	L20	118.9	116.3	27367.6
L10	L21	120.0	116.4	26582.4	L12	L21	116.2	114.7	26210.4
L10*	L22*	117.8	114.21	26012.8	L12* *	L22* *	113.5	113.2	25021.7
L10	L23	113.5	116.55	26502.1	L12	L23	110.9	115.8	25561.3
L11	L20	120.6	117.1	27252.5	L13	L30	123.3	113.5	28028.6
L11	L21	118.3	113.2	26103.9	L13	L31	120.5	110.2	27151.2
L11*	L22*	115.4	114.5	25346.1	L13	L32	116.2	109.8	26210.5
L11	L23	112.7	116.1	25825.3	L13*	L33*	113.4	113.1	25531.8

从表 2 可知,当  $m_1 = 3, m_2 = 3$  时,交货期策略 2 下最优的成本为 25021.7,其对应的订货策略为 ( $L_{12} = 22, L_{22} = 20, Q_1 = 113.5, Q_2 = 113.2$ )。当

$m_1$  和  $m_2$  在其区间[3, 6] 范围内取值时,则不同  $m_1$  和  $m_2$  组合下的最优值见表 3。

表 3 不同  $m_1$  和  $m_2$  下基于策略 2 的供应链成本最优值

$m_1$	$m_2$	$L_{1k}$	$L_{2k}$	$Q_1$	$Q_2$	$ETC_{sc}$
3	3	L12	L22	113.5	113.2	25021.7
3	4	L12	L22	112.7	111.5	24824.6
3	5	L12	L22	111.2	113.7	25231.8
3	6	L13	L23	110.6	115.4	25485.2
4	3	L12	L22	112.9	113.2	24523.4
4	4	L12	L22	110.8	110.6	24335.1
4	5	L13	L22	110.2	109.3	24759.2
4	6	L13	L23	109.7	111.5	25054.9
5	3	L12	L22	111.3	113.2	24686.5
5	4	L13	L22	112.1	112.8	24892.1
5	5	L13	L23	112.8	113.1	25032.2
5	6	L13	L23	113.7	113.5	25158.5
6	3	L13	L22	111.0	113.0	25136.5
6	4	L13	L23	111.0	112.9	25112.3
6	5	L13	L23	111.0	112.8	25095.4
6	6	L13	L23	111.0	112.7	25072.6

从表 3 可以看出,当  $m_1 = 4, m_2 = 4$  时,交货期策略 2 下最优的成本为 24335.1,其对应的订货策略为 ( $L_{12} = 22, L_{22} = 20, Q_1 = 110.6, Q_2 = 110.8$ )。表 4 比较了交货期 1 和 2 下最优解及参数变化情况。

从表 4 可以看出,当  $\beta$  变化时,交货期策略 2 下供应链最优成本均比交货期策略 1 下的最优成本

小,这说明交货期策略 2 通过对两供应商提前期较好的控制,实现了两供应商之间的供货协同,因此相对交货期策略 1 来说,供应链总成本要小。当  $\beta$  值增大时,基于交货期策略 1 和策略 2 的供应链总成本最优值均减小,且两种策略的总成本最优值的差值减小。

表 4 交货期 1 和交货期 2 下的供应链的最优解及参数设置

$\beta$	交货期策略 1				交货期策略 2		
	$m_1^*, m_2^*$	$Q_1^*, Q_2^*$	$ETC_{\beta}^*$	$L_{ik}^*, L_{2k}^*$	$m_1^{i*}, m_2^{i*}$	$Q_1^{i*}, Q_2^{i*}$	$ETC_{\beta}^{i*}$
1	3, 3	110 2, 108 5	23952 8	L10, L20	3, 3	106 2, 105 2	23652 8
0.75	4, 4	112 6, 111 3	24543 5	L12, L22	4, 4	108 5, 108 2	23902 5
0.5	5, 5	115 9, 113 8	25762 9	L12, L22	4, 4	110 8, 110 6	24335 1
0.25	6, 5	121 4, 118 5	26894 1	L13, L22	5, 4	116 2, 113 7	25536 9
0	6, 6	119 3, 118 0	28632 4	L13, L23	5, 5	117 1, 124 2	27349 7

为了确定合理的  $\lambda$  值, 使双方采用策略 2 后有较好的协调, 根据式 (42) - (44), 则有

$$\begin{cases} d_{s1} = \frac{91.8 - 118.8\lambda}{91.8} \\ d_{s2} = \frac{76.8 - 119.1\lambda}{76.8} \\ d_m = \frac{118.8\lambda + 119.1\lambda - 34.5}{134.1} \end{cases}$$

根据式 (37) 和 (39) 可知  $\lambda$  和  $\lambda_2$  的上限分别为 0.773 和 0.645, 而  $\lambda$  和  $\lambda_2$  的下线必须满足式  $118.8\lambda + 119.1\lambda - 34.5 > 0$ 。

据式 (45), 可以得到基于改进理想点的 Nash 协调费用分担模型为:

$$\begin{aligned} \max V_{nash} = & \max \left\{ \left( \frac{91.8 - 118.8\lambda}{91.8} \right)^{\theta_1} \right. \\ & \cdot \left( \frac{118.8\lambda + 119.1\lambda - 34.5}{134.1} \right)^{1-\theta_1} \\ & + \left( \frac{76.8 - 119.1\lambda_2}{76.8} \right)^{\theta_2} \\ & \left. \cdot \left( \frac{118.8\lambda + 119.1\lambda - 34.5}{134.1} \right)^{1-\theta_2} \right\} \end{aligned}$$

当谈判能力综合因素值  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的取值确定时, 则可得到具体的费用分担系数  $\lambda$  和  $\lambda_2$ 。

当  $\theta_1 = 0.7, \theta_2 = 0.7$  时, 本文得到 Nash 协调费用分担模型值与供应商 1 费用分担系数  $\lambda$  和供应商 2 的费用分担系数变化关系图, 如图 2。可见, 在每一个不同的特定谈判能力下,  $\lambda$  变化时, 模型总存在最优值。

## 6 结语

交货期是供应链库存管理中的一个重要问题。在两供应商- 单制造商系统中, 由于供应商交货提前期的存在, 当制造商的需求随机时, 则制造商所库存的供应商零部件在交货提前期内可能会发生缺货, 进而引起制造商无法装配生产并导致最终产品缺货。基于此, 本文研究和分析了现实中两种不同交货期策略下两供应商- 单制造商供货优化与协调

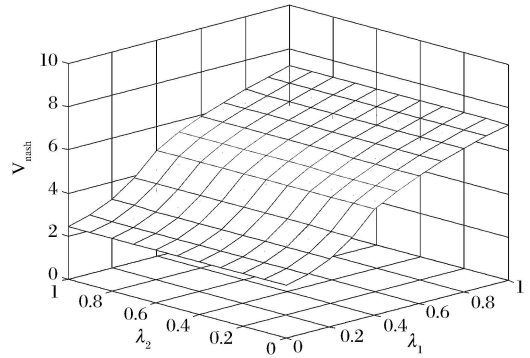


图 2 Nash 协商值与  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  变化趋势图

问题。通过分析和证明, 得出以下结论:

(1) 在基于交货窗的协议交货期交货策略 1 下, 供应链库存优化决策是一个供应商为主的 Stackelberg 主从对策。对给定的协定交货期  $(L_1^i, L_2^i)$ , 制造商单位时间总成本  $ECM$  为  $(Q_1, Q_2)$  联合凸函数, 而供应商  $i$  最优生产批量的决策解存在, 且供应商  $i$  可以通过调整交货窗内的协议交货期  $L_i^i$  来改变制造商的最优订货批量  $Q_i^{i*}$ , 间接地调整制造商的最优订货批量, 最终使得自己的总成本最小化。

(2) 在基于费用分担的可控交货期策略 2 下, 两供应商- 单制造商系统的供货协同实质上是一个供应链联合库存的协调和优化, 制造商存在最优订货批量, 而供应商存在最优生产批量范围。

(3) 费用分担系数  $\lambda$  和  $\lambda_2$  有范围限定, 在此范围内, 交货策略 2 下的节点企业库存成本均小于交货策略 1 下, 在此基础上, 本文提出了基于改进理想点的不对称 Nash 协商交货期费用分担模型, 其能够较好协调交货期压缩的成本分担问题。数例分析对交货期策略 1 和策略 2 的优化进行了比较分析, 在某个特定的费用分担系数范围内, 策略 2 优于策略 1。

然而, 本文的不同交货期策略下两供应商- 单制造商系统协同模型是基于分解方法建立的近优模型。在较高服务水平下, 模型的精度和准确性是可



以保证,然而在较低服务水平下,模型的准确性和精度是需要验证的。因此,今后研究可考虑建立比较通用的两供应商-单制造商协同供货模型。

### 参考文献:

- [1] Liao, C. J., Shyu, C. H.. An analytical determination of lead time with normal demand[J]. International Journal of Operations Production Management, 1991, 11: 72- 78
- [2] Ouyang, L. Y., Yeh, N. C., Wu, K. S.. Mixture inventory model with backorders and lost sales for variable lead time [J]. Journal of the Operational Research Society, 1996, 47: 829- 832
- [3] Moon, I., Choi, S.. A note on lead time and distributional assumptions in continuous review inventory models [J]. Computers and Operations Research, 1998, 25 (11): 1007- 1012
- [4] Hariga, M., Ben- Daya, M.. Some stochastic inventory models with deterministic variable lead time [J]. European Journal of Operational Research, 1999, 113 (1): 42- 51
- [5] Pan, J. C. H., Hsiao, Y. C., Lee, C. J.. Inventory models with fixed and variable lead time crash costs considerations [J]. Journal of the Operational Research Society, 2002, 53 (9): 1048- 1053
- [6] Pan, J. C. H., Lo, M. C., Hsiao, Y. C.. Optimal reorder point inventory models with variable lead time and backorder discount considerations[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 158 (2): 488- 505
- [7] Pan, J. C. H., Hsiao, Y. C.. Integrated inventory models with controllable lead time and backorder discount considerations[J]. International Journal of Production Economics, 2005, 93- 94: 387- 397
- [8] Ouyang, L. Y., Chen, C. K., Chuang, H. C.. Quality improvement, setup cost and lead time reductions in lot size reorder point models with an imperfect production process [J]. Computers and Operations Research, 2002, 29: 1701- 1717
- [9] Ouyang, L. Y., Wu, K. S., Ho, C. H.. Integrated vendor buyer cooperative models with stochastic demand in controllable lead time [J]. International Journal of Production Economics, 2004, 92: 255- 266
- [10] Ouyang, L. Y., Chuang, B. R., Lin, Y. J.. The inter- dependent reductions of lead time and ordering cost in periodic review inventory model with backorder price discount [J]. International Journal of Information and Management Sciences, 2007, 18(3): 195- 208
- [11] Lee, W. C.. Inventory model involving controllable backorder rate and variable lead time demand with the mixtures of distribution [J]. Applied Mathematics and Computation, 2005, 160 (3), 701- 717.
- [12] Lee, W. C., Wu, J. W., Hsu, J. W.. Computational algorithm for inventory model with a service level constraint, lead time demand with the mixture of distributions and controllable negative exponential backorder rate [J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 175 (2): 1125- 1138
- [13] Lee, W. C., Wu, J. W., Lei, C. L. Computational algorithmic procedure for optimal inventory policy involving ordering cost reduction and back- order discounts when lead time demand is controllable [J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 189 (1): 186- 200
- [14] Lin, Y. J.. An integrated vendor- buyer inventory model with backorder price discount and effective investment to reduce ordering cost [J]. Computers and Industrial Engineering, 2009, 56: 1597- 1606
- [15] 马士华,王福寿. 时间价格敏感需求下的供应决策模式研究[J]. 中国管理科学, 2006, 14(3): 13- 19.
- [16] 鲁其辉,朱道立. 含交付时间不确定性的供应链协调策略研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 50- 60.
- [17] 李怡娜,叶飞,徐学军. 可控提前期供应链库存优化的费用分担模型[J]. 系统工程学报, 2009, 24 (1): 9- 17.
- [18] Frank, S., Ma, S. H., Michael, B.. Internationalisation of Logistics Systems: How Chinese and German Companies Enter Foreign Markets[M]. Springer, Berlin, 2008.
- [19] 魏晨,马士华. 基于瓶颈供应商提前期的供应链协同契约研究[J]. 中国管理科学, 2008, 16(3): 50- 56.
- [20] 马士华,李果. 供应商产出随机下基于风险共享的供应链协同模型[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16 (3): 563- 572.
- [21] Corbett, L. M.. Delivery windows- a new view on improving manufacturing flexibility and on- time delivery performance [J]. Production and Inventory Management Journal, 1992, 33(3): 74- 80.
- [22] Gurnani, H., Akella, R., Lehoczky, J.. Supply management in assembly systems with random yield and random demand [J]. IIE Transactions, 2000, 32(8): 701- 714.

## Supply Coordination Model of Two-suppliers and One manufacturer System Based on Different Delivery Policies

LI Guo<sup>1</sup>, ZHANG Xiang<sup>1</sup>, MA Shi-hua<sup>2</sup>

(1 School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2 School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Supply coordination model of two-suppliers and one manufacturer based on different delivery policies is established. After analysis and description of agreed delivery date based on delivery window (called policy 1) and controllable delivery date based on cost sharing (called policy 2), the Stackelberg model of two-suppliers and one manufacturer system based on agreed delivery date under delivery window is constructed, according to policy 1 and the optimal decision of each side. According to policy 2 the optimization and collaboration model of two-suppliers and one manufacturer system, based on controllable delivery date under cost sharing mechanism, is built up, and the algorithm of optimal solution is given. Then, range of the cost sharing coefficient is given after analysis of the situation that policy 2 is superior to policy 1, and the coordination policy of asymmetric Nash Equilibrium is put forward based on adapted ideal point. Finally, the two delivery policies are compared and the sharing collaborative policy is proved effective in numerical example.

**Key words:** delivery policy; two-suppliers and one manufacturer; Stackelberg Game; Nash consultation