

具有服务水平约束的提前期可控的一体化库存模型*

程云龙¹, 潘显兵¹, 秦春蓉¹, 牟 琼²

(1. 重庆邮电大学 移通学院, 重庆 401520; 2. 重庆邮电大学 理学院, 重庆 400065)

摘要:针对一个生厂商一个销售商组成的二级供应链,当生厂商采取批量生产等量运输时,考虑到第一次订购的提前期包含生产启动时间和生产时间,提出各订购周期设置不同再订购点和采取不同的提前期压缩策略,建立了一个具有服务水平约束的提前期可控的一体化库存模型。最后利用模型性质设计迭代算法,并以实例验证模型和算法的有效性。

关键词:一体化库存模型;提前期压缩;服务水平约束

中图分类号:O227;F253.4

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2016)05-0089-07

随着顾客个性化需求的不断提高和竞争的日趋激烈,供应链从传统的基于成本的竞争转移到基于时间的竞争。压缩提前期可以减少安全库存、降低库存资金风险、加速顾客响应,改善顾客服务水平,实现多目标的同时改进^[1]。因此,压缩提前期成为企业界与学术界关注的焦点之一。

Gross 等人^[2]首先通过模拟的方法研究了压缩提前期对库存水平的影响。Liao 等人^[3]假定提前期包含多个独立时段,每个时段有一个正常持续时间与最小持续时间,且可通过追加额外成本缩短提前期,建立了一个以提前期为唯一决策变量的库存模型。Ben-Daya 等人^[4]在 Liao 等人^[3]研究的基础上,进一步将订购量作为决策变量,探讨销售商的最优订购策略,使得单位时间的订购费、存储费和提前期压缩成本最小。Ouyang 等人^[5]假设允许缺货,且缺货仅部分延期交货,建立了一个提前期可控的经济批量模型。邱晗光等人^[6]将延期交货率表示为等待时间和折扣价格的函数,以订购量、再订购点、提前期和折扣价格为决策变量,建立一个连续盘点的 EOQ 模型。Hariga 等人^[7]和黄波等人^[8]分别对需求为任意分布时的提前期最优控制策略进行了研究。然而上述提前期可控的库存模型,都是针对单个企业的情况。

随着企业竞争的日趋激烈和供应链管理的成功应用,一体化库存管理被越来越多的企业视作提高竞争力和降低系统费用的有效方式之一。于是将准时制生产方式和供应链管理思想有机结合,引起了企业界和学术界的足够重视。近 10 多年以来,众多学者对供应链中的提前期压缩问题进行了深入的研究。Pan 等人^[9]将提前期压缩策略引入到供应链管理系统,假设生厂商采取批量生产等量运输策略,单位时间提前期的压缩成本为常数,以运输次数、订购量和提前期为决策变量,建立了一个提前期可控的一体化库存模型。Ouyang 等人^[10]在 Pan 等人^[9]的基础上,进一步将再订购点增加为决策变量,且允许缺货。Lin^[11]将延期交货率表示为折扣价格的函数,研究提前期和订购费均可控的最优订购策略。Pan 等人^[12]和 Chang 等人^[13]将单位时间提前期的压缩成本为常数进行了扩展,假设单位时间的压缩成本是订购量的线性函数,从不同的角度对提前期可控的一体化库存模型进行了研究。陈志刚等人^[14]假设提前期压缩成本与提前期长度满足幂函数关系,且存在顾客流失,建立了单一销售商单一生产商的一体化库存模型。Dey 等人^[15]研究了需求为三角模糊数,提前期成本是提前期长度的负指数函数时的最小费用模型。

然而,上述提前期可控的一体化库存模型,都假定提前期与订购量无关,每次订购的提前期相等。在实际生产过程中,通常订购量越大提前期越长,生产率越大提前期越小。Hsiao^[16]与 Christoph^[17]将提前期表示成订购量与生产率的函数,并指出当生产商采取批量生产多次运输策略时,第一次订购的提前期包含了生产启动时间

* 收稿日期:2016-04-19 修回日期:2016-05-20 网络出版时间:2016-07-13 14:03

资助项目:国家自然科学基金数学天元基金(No. 11426055);重庆市教委科学技术研究项目(No. KJ1502001);重庆邮电大学自然科学基金(No. A2008-44)

作者简介:程云龙,男,讲师,研究方向为优化与管理,E-mail:chylmq@126.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20160713.1403.034.html>

与生产时间,因此每次订购的提前期并不相等。同时,在上述研究提前期压缩的模型中,都将缺货量作为一种惩罚成本加入目标函数,然而 Chen 等人^[18]指出,在实际生活中,很难准确评估单位缺货成本,而服务水平却相对容易刻画。文献[19-21]从各种不同角度,研究具有服务水平约束的可控提前期问题,但将各订购周期的提前期视为相等,未考虑第一个订购周期包含生产时间和生产启动时间。

本文在文献[17,19]的基础上,假定生厂商采取批量生产多次运输策略,考虑到销售商第一次订购的提前期相比其余周期多了生产启动时间与生产时间,提出不同订购周期设置不同再订购点与各周期采取不同的提前期压缩策略。以运输次数、订购量、各周期的提前期和安全因子为决策变量,构建了一个具有服务水平约束的提前期可控的一体化最小费用模型,并根据目标函数的性质设计了一个迭代算法。最后通过数值实验对提前期及库存决策进行分析,得到了一些关于提前期和库存最优决策的规律。与 Glock^[17]的主要区别在于利用服务水平约束取代缺货成本,并改进了按比例压缩第一个订购周期与其余各周期的提前期,建立了一个约束优化模型,且纠正了其提前期压缩成本计算公式;与 Jha 等人^[19]的不同在于考虑了各周期提前期不相等这一事实,并将安全因子作为决策变量。

1 符号说明与模型假设

1.1 符号说明

P 为生产商年均生产率,记 $\rho=1/P$; D 为销售商年均需求量; S 为每个生产周期的生产启动费; A 为销售商每次的订购费; h_v 为生产商单位产品的年均库存费; h_b 为销售商单位产品的年均库存费; m 为生厂商每个生产周期的运送次数; R_1 为销售商第一个订购周期的再订购点; R_2 为销售商第 2 个到 m 个订购周期的再订购点; k_1 为销售商第一个订购周期的安全因子; k_2 为销售商第 2 个到 m 个订购周期的安全因子; L_2 为各订购周期的运输时间; α 为缺货率。

1.2 模型假设

- 1) 考虑一个销售商和一个生产商构成的二级供应链系统,销售同一件产品;
- 2) 销售商单位时间的需求 X 服从正态分布,标准差为 δ ;
- 3) 销售商实行连续盘点的订购策略,即库存一旦降至再订购点,每次订购等量的产品;
- 4) 生产商采取批量生产等量运输策略,即在一个生产周期内,一次生产订购量的 m 倍,分 m 次运输,每次运输 Q 的产品;
- 5) 销售商的提前期由生产启动时间 t_s 、生产时间 Q/P 和产品运输时间 L_2 三部分构成。产品运输时间 L_2 包括 n 个互独立的时段,每个时段有一个正常持续时间 u_i 和一个最小持续时间 v_i ,单位时间的压缩成本为 c_i ,且 $c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_n$,每次压缩从单位时间压缩成本最小的操作时段开始压缩。记 L_2^i 为压缩 L_2 的前 i 个时段到最小持续时间,即 $L_2^i = \sum_{r=1}^n u_r - \sum_{r=1}^i (u_r - v_r), i=1,2,\dots,n$;
- 6) 生产启动时间 t_s 有一个正常持续时间 u_s 和最小持续时间 v_s ,单位时间的赶工成本为 c_s 。

2 模型建立

设在 $t=0$ 时,销售商的库存降至 R_1 ,销售商向生产商发出 Q 的订单;而此时生产商的库存为零,生产商在经过准备时间 t_s 后以生产率 P 立即开始生产,在经过 t_s+Q/P 时间后,订购量为 Q 的产品被生产出来,生产商立即将其运送给销售商,并继续组织生产,直到生产 mQ 的产品为止。于是,在随后的第 2 个到 m 个订购周期内,当销售商的库存水平降至 R_2 时,销售商向生产商再次发出 Q 的订单,但由于生厂商持有剩余库存,生产商在接到销售商的订单后,可立即将其运送给销售商。生产商与销售商的库存水平图如图 1 所示。

由假设 5) 和图 1 可知,销售商第 1 次订购的提前期为 $Q/P+t_s+L_2=\rho Q+L_1$,即 $L_1=t_s+L_2$,第 2 次到 m 次的提前期为 L_2 。将 c_s 与 c_1, c_2, \dots, c_n 按从小到大的顺序重新排列,设 $c'_1 \leq c'_2 \leq \dots \leq c'_{n+1}$ 。记 L_1^j 为压缩 L_1 的前 j 个时段到最小持续时间,即 $L_1^j = \sum_{r=1}^{n+1} u'_r - \sum_{r=1}^j (u'_r - v'_r), j=1,2,\dots,n+1$,则在第 1 个订购周期内,销售商因缩短提前期而追加的成本为 $C(L_1) = c'_j (L_1^{j-1} - L_1) + \sum_{r=1}^{j-1} c'_r (u'_r - v'_r), L_1 \in [L_1^j, L_1^{j-1}], j=1,2,\dots,n+1$ 。销售商

第 2 个到 m 个订购周期因缩短提前期而追加的成本为

$$C(L_2) = c_i(L_2^{i-1} - L_2) + \sum_{r=1}^{i-1} c_r(u_r - v_r),$$

$$L_2 \in [L_2^i, L_2^{i-1}], i = 1, 2, \dots, n.$$

销售商第 1 个订购周期的平均库存量为 $\frac{Q}{2} + R_1 - D(\rho Q + L_1)$, 第 2 个到 m 个订购周期的平均库存量为 $\frac{Q}{2} + k_1 \delta \sqrt{\rho Q + L_1}$, 第 2 个到 m 个订购周期的平均库存量为 $\frac{Q}{2} + R_2 - DL_2 = \frac{Q}{2} + k_2 \delta \sqrt{L_2}$ 。所以, 销售商年期期望库存费为 $h_b \left[\frac{Q}{2} + \frac{1}{m} k_1 \delta \sqrt{\rho Q + L_1} + \frac{m-1}{m} k_2 \delta \sqrt{L_2} \right]$ 。

销售商年期期望总费用 = 订购费 + 库存费 + 压缩提前期的追加成本, 即

$$C_b = \frac{DA}{Q} + h_b \left[\frac{Q}{2} + \frac{1}{m} k_1 \delta \sqrt{\rho Q + L_1} + \frac{m-1}{m} k_2 \delta \sqrt{L_2} \right] + \frac{D}{Q} \left[\frac{1}{m} C(L_1) + \frac{m-1}{m} C(L_2) \right],$$

生产商年均库存量为

$$\left\{ \left\{ mQ \left[\rho Q + (m-1) \frac{Q}{D} \right] - \frac{m^2 \rho Q^2}{2} \right\} - \left\{ \frac{Q^2}{D} [1+2+\dots+(m-1)] \right\} \right\} \frac{D}{mQ} = \frac{Q}{2} [m(1-\rho D) - 1 + 2\rho D]。$$

于是, 生产商年期期望总费用 = 生产准备费 + 产品库存费, 即

$$C_v = \frac{SD}{mQ} + h_v \frac{Q}{2} [m(1-\rho D) - 1 + 2\rho D]。$$

令 $G(m, L_1, L_2) = A + \frac{S}{m} + \frac{1}{m} C(L_1) + \frac{m-1}{m} C(L_2)$, $H(m) = h_b + h_v [m(1-\rho D) - 1 + 2\rho D]$, 则系统年期期望

总费用为 $C_T = \frac{D}{Q} G(m, L_1, L_2) + \frac{Q}{2} H(m) + h_b \left[\frac{1}{m} k_1 \delta \sqrt{\rho Q + L_1} + \frac{m-1}{m} k_2 \delta \sqrt{L_2} \right]$ 。

又销售商在第一个提前期内的期望缺货量为 $B(R_1) = \int_{R_1}^{\infty} (X - R_1) f(X) dX = \delta \sqrt{\rho Q + L_1} \phi(k_1)$, 第 2 个到 m 个提前期内的期望缺货量为 $B(R_2) = \int_{R_2}^{\infty} (X - R_2) f(X) dX = \delta \sqrt{L_2} \phi(k_2)$ [12], 其中 $\phi(k_i) = \varphi(k_i) - k[1 - \Phi(k_i)]$, $i = 1, 2$, $\varphi(k_i)$, $\Phi(k_i)$ 分别表示标准正态分布的密度函数和分布函数。

于是, 可建立如下约束优化模型

$$\begin{aligned} \min C_T &= \frac{D}{Q} G(m, L_1, L_2) + \frac{Q}{2} H(m) + h_b \left[\frac{1}{m} k_1 \delta \sqrt{\rho Q + L_1} + \frac{m-1}{m} k_2 \delta \sqrt{L_2} \right], & (1) \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \frac{\delta \sqrt{\rho Q + L_1} \phi(k_1)}{Q} \leq \alpha & (2) \\ \frac{\delta \sqrt{L_2} \phi(k_2)}{Q} \leq \alpha & (3) \end{cases} \end{aligned}$$

3 模型求解

固定 m, Q, k , 分别对目标函数求 L_1 与 L_2 的二阶偏导有

$$\frac{\partial C_T}{\partial L_1} = -\frac{Dc_j'}{mQ} + \frac{1}{2m} \delta k_1 h_b (\rho Q + L_1)^{-\frac{1}{2}}, \frac{\partial^2 C_T}{\partial L_1^2} = -\frac{1}{4m} \delta k_1 h_b (\rho Q + L_1)^{-\frac{3}{2}} < 0, L_1 \in [L_1^j, L_1^{j-1}],$$

$$\frac{\partial C_T}{\partial L_2} = -\frac{(m-1)Dc_i}{mQ} + \frac{(m-1)}{2m} \delta k_2 h_b L_2^{-\frac{1}{2}}, \frac{\partial^2 C_T}{\partial L_2^2} = -\frac{(m-1)}{4m} \delta k_2 h_b L_2^{-\frac{3}{2}} < 0, L_2 \in [L_2^i, L_2^{i-1}],$$

即 C_T 是 $L_1 \in [L_1^j, L_1^{j-1}]$ 和 $L_2 \in [L_2^i, L_2^{i-1}]$ 的凹函数。因此, 最优的 L_1 和 L_2 分别在 L_1^j, L_2^i 处取得 ($i = 0, 1, \dots, n, j = 0, 1, \dots, n+1$)。

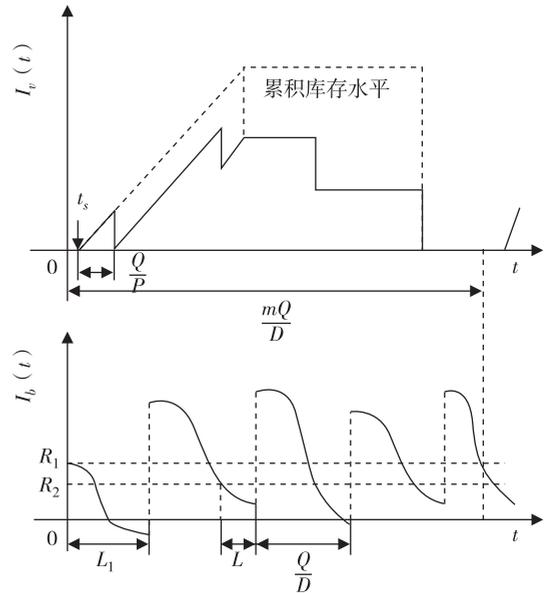


图 1 生产商与销售商的库存水平图
Fig. 1 The inventory pattern for the vendor and the buyer

对约束优化问题(1),构造其 Lagrange 函数

$$L = \frac{D}{Q}G(m, L_1, L_2) + \frac{Q}{2}H(m) + h_b \left[\frac{1}{m}k_1\delta\sqrt{\rho Q + L_1} + \frac{m-1}{m}k_2\delta\sqrt{L_2} \right] - \lambda[\alpha Q - \delta\sqrt{\rho Q + L_1}\phi(k_1)] - \mu[\alpha Q - \delta\sqrt{L_2}\phi(k_2)],$$

则由 KKT 条件得

$$\begin{cases} -\frac{D}{Q^2}G(m, L_1, L_2) + \frac{H(m)}{2} + \frac{h_b k_1 \delta \rho}{2m\sqrt{\rho Q + L_1}} - \lambda \left(\alpha - \frac{\delta \phi(k_1) \rho}{2\sqrt{\rho Q + L_1}} \right) - \mu \alpha = 0 \\ h_b \frac{1}{m} \delta \sqrt{\rho Q + L_1} - \lambda \delta \sqrt{\rho Q + L_1} [1 - \Phi(k_1)] = 0 \\ h_b \frac{m-1}{m} \delta \sqrt{L_2} - \mu \delta \sqrt{L_2} [1 - \Phi(k_2)] = 0 \\ \lambda [\alpha Q - \delta \sqrt{\rho Q + L_1} \phi(k_1)] = 0, \lambda \geq 0 \\ \mu [\alpha Q - \delta \sqrt{L_2} \phi(k_2)] = 0, \mu \geq 0 \end{cases}.$$

由于 $\lambda \neq 0, \mu \neq 0$, 从而

$$\phi(k_1^*) = \frac{\alpha Q^*}{\delta \sqrt{\rho Q^* + L_1}}, \phi(k_2^*) = \frac{\alpha Q^*}{\delta \sqrt{L_2}}, \quad (4)$$

$$\lambda^* = \frac{h_b}{m[1 - \Phi(k_1^*)]}, \mu^* = \frac{(m-1)h_b}{m[1 - \Phi(k_2^*)]}, \quad (5)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DG(m, L_1, L_2)}{H(m) + \frac{h_b k_1^* \delta \rho}{m\sqrt{\rho Q^* + L_1}} + \lambda^* \left(\frac{\delta \phi(k_1^*) \rho}{\sqrt{\rho Q^* + L_1}} - 2\alpha \right) + 2\mu^* \alpha}}. \quad (6)$$

根据上述性质,可用迭代算法求出约束问题(1)的解,具体如下。

第 1 步:令 $m=1$;

第 2 步:对每一个 L_1^i 执行 1)~5), $j=1, 2, \dots, n+1$;

1) 对每一个 $L_1^i, i=1, 2, \dots, n$, 计算 $Q_{\text{old}} = \sqrt{\frac{2DG(m, L_1, L_2)}{H(m)}}$, 并令 $k_1 = k_2 = 0$, 若约束条件(2), (3)式均满足, 转入第 3 步; 若仅满足条件(3), 则由(4)式求出 k_1 , 转入第 3 步; 否则, 转入 2);

2) 将 Q_{old} 代入(4)式, 得 k_1 与 k_2 ;

3) 将 Q_{old}, k_1, k_2 代入(5)式, 得 λ 与 μ ;

4) 将 $Q_{\text{old}}, k_1, k_2, \lambda, \mu$ 代入(6)式, 得 Q_{new} ;

5) 若 $|Q_{\text{old}} - Q_{\text{new}}| = 0$, 转入第 3 步; 否则令 $Q_{\text{old}} \leftarrow Q_{\text{new}}$, 转入 2);

第 3 步:将 $m, L_1^i, L_2^i, Q, k_1, k_2$ 代入(1)式, 得到固定 m, L_1^i, L_2^i 的最优解 $C_T(m, L_1^i, L_2^i)$;

第 4 步:记 $C_T(m, L_1^i, L_2^*) = \min_{i=1, 2, \dots, n} C_T(m, L_1^i, L_2^i)$, 得到固定 m, L_1^i 的最优解 $C_T(m, L_1^i, L_2^*)$;

第 5 步:记 $C_T(m, L_1^*, L_2^*) = \min_{j=1, 2, \dots, n+1} C_T(m, L_1^j, L_2^*)$, 得到固定 m 的最优解 $C_T(m, L_1^*, L_2^*)$;

第 6 步:令 $m=m+1$, 重复第 2 步到第 5 步, 直到 $C_T(m+1, L_1^*, L_2^*) > C_T(m, L_1^*, L_2^*)$, 令 $C_T(m^*, L_1^*, L_2^*) = C_T(m, L_1^*, L_2^*)$, 则 $C_T(m^*, L_1^*, L_2^*)$ 是模型的最优解。

4 数值分析

考虑单个生厂商单个销售商组成的二级供应链系统, 假设 $D=1\ 000$ 件/年, $P=3\ 200$ 件/年, $A=25$ 元/次, $S=400$ 元/次, $h_b=5$ 元/(件·年), $h_v=4$ 元/(件·年), $\delta=7$ 件/周, $\alpha=0.015$, 销售商提前期各时段的构成如表 1 所示。利用上述迭代算法, 各变量的最优计算结果如表 2 所示。由表 2 易知, 运输次数对系统的费用和订购量的影响显著, 随着运输次数的逐渐增加, 每次的订购量逐渐降低, 而系统总费用先降后增。因此, 合理增加运输次数, 能有效地降低系统总费用, 与相关文献的结果一致。然而, 当运输次数固定时, 第一个订购周期的最优提前期为 7 周, 而其余周期的提前期为 6 周, 两者的比值并不等于起初提前期最大持续时间的比值 $\left(\frac{6}{7} \neq \frac{8}{9}\right)$, 因此,

Glock^[17]提出的按比例压缩第一个订购周期与其余各周期的提前期并不能得到最优策略。

对上述供应链系统,当服务水平取不同值时,其最优决策变量如表 3 所示,系统单位时间的期望费用和再订购点随服务水平变化的变化趋势如图 2 所示。由表 3 和图 2a 可知,当服务水平低于 92%时,提高服务水平,并不会增加系统的费用,若继续提高服务水平,系统费用逐渐增大,且递增速度越来越快。这一结果与实际生活相符,当服务水平低于一定水平时,企业可通过提高管理水平和改善服务态度等非资金性投入来提高服务水平。然而,这种方式有一个极限,一旦服务水平超过该极限,就需要企业注入资金,且资金的边际效应递减。因此,企业会寻求服务水平与资金投入的平衡点,而不会追求过高的服务水平。图 2b 表明,第一个订购周期的再订购点高于其余各周期的再订购点,数值结果表明不同周期设置不同的再订购点是合理的,能进一步降低系统费用。同时从图 2b 可观察到,各周期的再订购点一般会随服务水平的提高而增大,但当服务水平处于某个区间时,再订购点却随服务水平的提高而降低。如 $\alpha \in [0.05, 0.06]$ 时, R_2 随服务水平的提高而降低。这是因为增加安全库存和缩短提前期均可提高服务水平,当提前期一定时,企业可通过增加安全库存以提高服务水平,但当安全库存增加达到一定量后,增加的库存费超过因压缩提前期而追加的成本,企业则采取压缩提前期的方式来提高服务水平,从而导致安全库存的降低。

图 3 描绘了 $\alpha=0.05, \delta$ 取不同值时的变化情况。从图 3 可知,单位时间的费用随 δ 的增大而增大。订购量在 δ 分别取 $[0,4], [5,16], [17,40]$ 时基本保持不变,但在 $\delta=5,17$ 时,订购量发生跳跃,对应的运输次

表 1 销售商的提前期

Tab.1 The buyers' lead time data

	持续时间/d	追加成本 $c_i/(元 \cdot d^{-1})$
$[u_1, v_1]$	[6,20]	0.1
$[u_s, v_s]$	[0,7]	0.5
$[u_2, v_2]$	[6,20]	1.2
$[u_3, v_3]$	[9,16]	5.0

表 2 不同 m 的计算结果 (提前期单位为周)

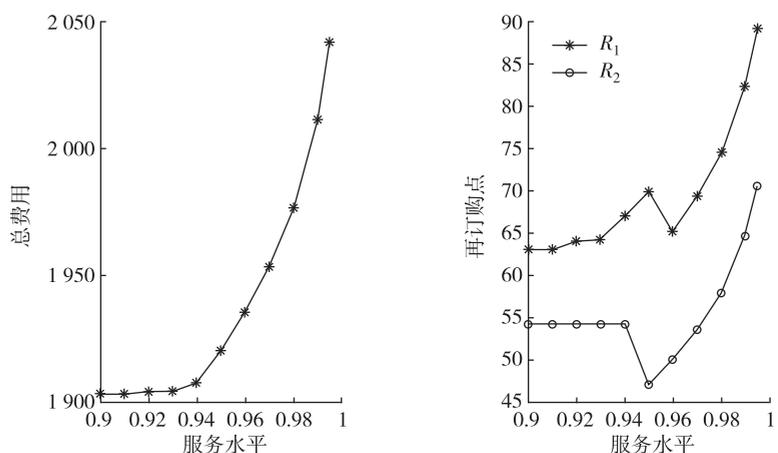
Tab.2 Results for different values of m (Lead time in weeks)

m	L_1^*	L_2^*	k_1^*	k_2^*	R_1^*	R_2^*	Q^*	C_T^*
1	7		0.421 3		80.3		377.8	2 362.7
2	7	6	0.670 1	0.489 5	78.2	55.4	229.8	2 078.7
3	7	6	0.820 4	0.679 8	77.8	58.6	169.0	2 006.8
4	7	6	0.927 1	0.809 0	77.9	60.9	135.3	1 991.8
5	7	6	1.009 1	0.905 2	78.1	62.5	113.7	1 999.6

表 3 不同服务水平的计算结果

Tab.3 Results for variation of service level

α	m^*	L_1^*	L_2^*	k_1^*	k_2^*	R_1^*	R_2^*	Q^*	C_T^*
0.1	5	9	8	0	0	63.0	54.2	110.3	1 903.3
0.09	5	9	8	0	0	63.0	54.2	110.3	1 903.3
0.08	4	9	8	0	0	64.0	54.2	131.3	1 903.9
0.07	4	9	8	0.003 2	0	64.2	54.2	132.8	1 904.2
0.06	4	9	8	0.123 2	0	67.0	54.2	132.7	1 907.6
0.05	4	9	6	0.237 3	0	69.8	47	136.7	1 920.2
0.04	4	7	6	0.326 7	0.173 3	65.2	49.9	136.4	1 935.4
0.03	4	7	6	0.519 0	0.378 4	69.3	53.5	136.0	1 953.5
0.02	4	7	6	0.765 9	0.639 6	74.5	57.9	135.5	1 976.7
0.01	4	7	6	1.138 5	1.029 8	82.3	64.6	134.9	2 011.5
0.005	4	7	6	1.465 5	1.369 3	89.2	70.5	134.5	2 041.8



a 系统单位时间的期望费用随服务水平变化的变化趋势 b 再订购点随服务水平变化的变化趋势

图 2 α 取不同值时 C_T 和 R 的变化趋势

Fig.2 Variation of C_T and R for different α

数分别减少一次,即当需求波动较小时,应采取小批量多次运输策略,而需求波动较大时,应适当提高每次的运输量,从而提高安全库存,以保证服务水平。图 3d 表明,各周期的提前期呈阶梯递减形状,即仅当需求波动突破某个阈值时,才会追加成本缩短提前期。同时图 3d 也进一步表明,第一个周期和其余周期的压缩策略不同,也不是按固定比例压缩的。因此,将第一个订购周期的非生产提前期 L_1 和其余周期的提前期 L_2 作为独立的决策变量是有必要的。

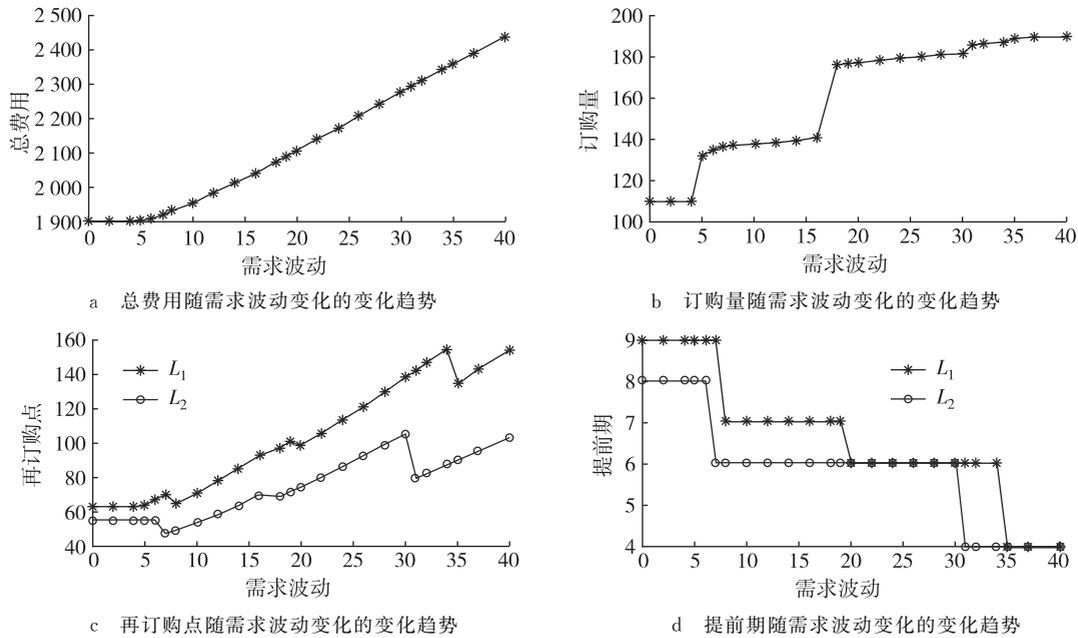


图 3 δ 取不同值时 C_T , Q , k and R 的变化趋势

Fig. 3 Variation of C_T , Q , k and R for different δ

5 结束语

对单个生产商单个销售组成的二级供应链系统,当生产商采取批量生产等量运输时,考虑到第一个订购周期相比其余各周期多了生产启动时间和生产时间,提出采取不同压缩策略和设置不同再订购点,构建了一个具有服务水平约束的提前期可控的集成化库存模型,并给出了求解模型最优解的迭代算法。数值结果表明,通过适当增加运输次数、不同周期采取不同的压缩策略和再订购点,能有效降低系统总费用。

参考文献:

[1] Tersine R J. Principles of inventory and materials management[M]. New York:North Holland,1982.
 [2] Gross D,Soriano A. The effect of reducing lead time on inventory levels simulation analysis [J]. Management Science,1969,16(2):61-76.
 [3] Liao C J, Shyu C H. An analytical determination of lead time with normal demand[J]. International Journal of Operations & Production Management,1991,11(9):72-78.
 [4] Ben-Daya M, Hariga M. Inventory models involving lead time as decision variable[J]. Journal of the Operational Research Society,1994,45(5):579-582.
 [5] Ouyang L Y, Yen 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(6):829-832.
 [6] 邱哈光,张旭梅,但斌,等. 可控提前期下复杂部分短缺量拖后的库存模型[J]. 系统工程学报,2010,25(5):689-695.
 Qiu H G,Zhang X M,Dan B,et al. Inventory model under controllable lead time and considering time-varying partial backlogging rate[J]. Journal of Systems Engineering,2010,25(5):689-695.
 [7] 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.
 [8] 黄波,陈晖,罗兵,等. 提前期,构建成本和短缺量拖后率均可控的 EOQ 模型[J]. 中国管理科学,2007,15(6):67-72.
 Huang B,Chen H,Luo B,et al. EOQ Model with controllable lead time,setup cost and backordering rate[J]. Chinese Journal of Management Science,2007,15(6):67-72.
 [9] Pan J, Yang J. A study of integrated inventory with con-

- trollable lead time[J]. *International Journal of Production Research*, 2002, 40(5):1263-1272.
- [10] Ouyang L Y, Wu K S, Huo C H. Integrated vendor-buyer cooperative models with stochastic demand in controllable lead time[J]. *International Journal of Production Economics*, 2004, 92(3):255-266.
- [11] Lin Y J. An integrated vendor-buyer inventory model with backorder price discount and effective investment to reduce ordering cost[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 56(4):1597-1606.
- [12] 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.
- [13] Chang H C, Ouyang L Y, Wu K S, et al. Integrated vendor-buyer cooperative inventory models with controllable lead time and ordering cost reduction[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 170(2):481-495.
- [14] 陈志刚, 徐渝, 汪媛. 基于非线性提前期成本的供需一体化库存模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2008, 28(3):64-70.
Chen Z G, Xu Y, Wang Y. Integrated vendor-buyer cooperative inventory model with nonlinear lead time crashing cost[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2008, 28(3):64-70.
- [15] Dey O, Chakraborty D. A fuzzy random periodic review system with variable lead-time and negative exponential crashing cost[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2012, 36(12):6312-6322.
- [16] Hsiao Y C. A note on integrated single vendor single buyer model with stochastic demand and variable lead time[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 114(1):294-297.
- [17] Glock C H. Lead time reduction strategies in a single-vendor-single-buyer integrated inventory model with lot size-dependent lead times and stochastic demand[J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 136(1):37-44.
- [18] Chen F Y, Krass D. Inventory models with minimal service level constraints[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 134(1):120-140.
- [19] Jha J K, Shanker K. Two-echelon supply chain inventory model with controllable lead time and service level constraint[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 57(3):1096-1104.
- [20] Jha J K, Shanker K. Single-vendor multi-buyer integrated production-inventory model with controllable lead time and service level constraints[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2013, 37(4):1753-1767.
- [21] Li Y N, Xu X J. Supply chain coordination with controllable lead time and asymmetric information[J]. *European Journal of Operational Research*, 2011, 217(1):108-119.

Integrated Inventory Model with Controllable Lead Time and Service Level Constraint

CHENG Yunlong¹, PAN Xianbing¹, QIN Chunrong¹, MOU Qiong²

(1. College of Mobile Telecommunications, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 401520;

2. School of Science, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: This paper considers a two-echelon supply chain consisting of a single-vendor and a single-buyer. We assume that the vendor produces a product in a batch and delivers the lot to the buyer with a number of equal-sized batches. Because the lead time of the first order is composed of production preparation time and production time, each cycle take different reorder point and lead time reduction. An Integrated stochastic inventory model with controllable lead time and service level constraint is considered. And then, an iterative procedure is proposed for solving the model. Finally, numerical examples are used to illustrate the validity of the model and algorithm.

Key words: integrated inventory model; lead time reduction; service level constraint

(责任编辑 黄 颖)