文章编号: 1001-0920 (2010) 09-1292-05

考虑提前期压缩的Newsvendor型产品供应链协调模型

王圣东[1], 周永务[2]

(1. 解放军电子工程学院 数学教研室，合肥 230037；2. 华南理工大学 工商管理学院，广州 510641)

摘 要: 在假定制造商的单位生产成本是关于提前期的减函数的前提下, 将提前期视为可控决策变量, 建立了带有提前期压缩的Newsvendor型产品供应链协调模型, 讨论了提前期压缩对供应链及其成员收益的影响, 并利用由回购和回扣/惩罚所组成的联合契约实现了供应链的协调. 数值仿真分析结果验证了结论的正确性.

关键词: 供应链管理；Newsvendor 型产品；提前期；联合契约

中图分类号: F273 **文献标识码:** A

Supply chain coordination model for Newsvendor-type products with lead-time compression

WANG Sheng-dong[1], *ZHOU Yong-wu*[2]

(1. Department of Mathematics，Electronic Engineering Institute of People's Liberation Army，Hefei 230037，China; 2. School of Business Administration，South China University of Technology，Guangzhou 510641，China. Correspondent: WANG Sheng-dong，E-mail：mswangsd@sina.com.cn)

Abstract: Under the assumption that the unit production cost of the manufacturer is a decreasing function of the lead time, a supply chain coordination model for Newsvendor-type products with lead-time compression is developed by thinking of the lead time as the decision variable. The effect of the variation of lead time on the expected profit of each member as well as the supply chain system is explored. A combined contract of return policy and sales rebate/penalty policy is proposed to complete the perfect coordination of the supply chain. Numerical simulation shows the correctness of the conclusion.

Key words: Supply chain management；Newsvendor-type products；Lead-time；Combined contract

1 引 言

Newsvendor 型产品也称作单周期产品或季节性产品, 是指具有市场需求不确定性大、生产提前期长、销售期短、期末未售出商品残值低等显著特征的一类产品的总称. 有些Newsvendor 型产品, 比如流行玩具、家用电脑等, 其提前期往往只有3~7天, 相对于几个月的销售期, 这几天的提前期往往可以忽略不计[1-3]. 但对于另外一些Newsvendor 型产品, 比如服装, 其提前期却长达几个月[4]. 在过去的几十年里, 关于提前期的研究激起了学术界和企业界的浓厚兴趣. 针对提前期问题的研究一般来说可分为3类: 第1类是将提前期看作随机变量[5-8]; 第2类是将提前期看作模糊变量[9-11]; 而第3类则是将提前期看作确定型可控决策变量[12-15].

本文着重于上述第3类问题的研究, 即将提前期看作确定型可控决策变量来探讨最优提前期和订购量的联合确定问题. 已有的可控提前期的模型[12-15]大都只考虑了制造商或零售商的单节点优化问题, 很少涉及供应链的协调运作. 文献 [4] 从供应链协调的角度来探讨提前期压缩问题, 并以服装业为研究对象, 提出了利用快速反应策略以减少提前期. [16]在[4]的基础上研究了含补偿策略的快速反应供应链系统. 但[4,16]假定提前期压缩量是事先给定的常数. 最近, [17,18]将提前期压缩量看作一个外生变量, 研究了两层供应链中提前期压缩量的变化对供应链及其成员收益的影响. 然而在实际商业运作中, 销售商往往会通过控制提前期来获取较为准确的市场需求预测, 从而最大化自己的利润. 另外, [17,18]的研究都基于如

收稿日期: 2009-08-06；**修回日期:** 2009-10-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70771034, 70772029, 70971041)；高等学校全国优秀博士论文作者专项基金项目(200565)；广东省教育厅人文社会科学重点研究基地重大项目(08JDXM63003).

作者简介: 王圣东(1974−), 男, 安徽肥东人, 副教授, 博士, 从事物流与供应链管理的研究；周永务(1964−), 男, 安徽庐江人, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理等研究.

下假定: 无论交货提前期如何改变, 制造商的单位生产成本是固定不变的, 从而出售给销售商的单位批发价格也是不变的. 此假定固然降低了所讨论问题的复杂性, 但却使所建立的模型与现实不相吻合. 因为在实际中, 制造商若要缩短其交货提前期, 必然要开动更多的机器、雇佣更多的劳动力、采用更先进生产工艺, 这些无疑会增加制造商的生产成本. 在放松[17,18]的上述假定下, 本文考虑了带有提前期压缩的供应链协调问题. 下面, 以合肥鼓楼商厦的凯撒服饰专柜为例说明本文的研究背景.

合肥鼓楼商厦凯撒服饰专柜是合肥地区凯撒(中国)服饰有限公司一个较大的加盟商. 凯撒服饰公司每年都在5月底召开冬季产品订货会并发布当年的冬季最新流行款式. 对于凯撒公司的加盟商来说, 越早下订单, 其购买的单价就越低, 越临近销售期, 其购买的单价就越高. 但鼓楼商厦的凯撒服饰专柜却不急于下订单, 而是一边销售夏秋两季的服饰, 一边搜集市场发出的信息来更新自己对冬季市场需求的预测. 在充分权衡了市场需求信息预测的准确性和购买单价的高低后, 凯撒服饰专柜一般会在8月底才发出订单.

本文考虑了由单个制造商和单个销售商组成的两层供应链的最优生产(或订购)量和提前时间联合决策问题. 与文献[17,18]不同, 本文在假定制造商的单位生产成本是关于提前期的减函数前提下, 将提前期看作可控决策变量, 建立了带有提前期压缩的Newsvendor型产品供应链协调模型, 讨论了提前期压缩对供应链及其成员收益的影响, 并利用由回购和回扣/惩罚所组成的联合契约实现了供应链的协调.

2　记号与假定

文中变量与函数的意义如下: p表示销售商单位产品的销售价格; k表示单位产品缺货损失费用; v表示期末未售出产品的单位残值; $[0,T]$表示制造商供货的提前期范围; t表示销售商提交订单的时刻, 也表示提前期的压缩量, $t\in[0,T]$; Q表示销售商在t时刻的订货量; $c(t)$, $w(t)$分别表示在提前期内的t时刻制造商对应的单位产品生产成本和批发价格; X_t表示在提前期内的t时刻销售商对市场需求的预测值是一个非负随机变量, 其均值和均方差分别为$\mu(t)$和$\sigma(t)$; $F(x,t)$, $f(x,t)$分别表示市场需求X_t的概率分布函数和概率密度函数.

假设 1　$\mathrm{d}c(t)/\mathrm{d}t>0$, 即随着提前期压缩量$t$的增大, 制造商的交货期$(T-t)$将变短, 因而其单位产品生产成本$c(t)$将增加.

假设 2　$\mathrm{d}w(t)/\mathrm{d}t>0$, 即制造商给予销售商的单位产品批发价格$w(t)$随着$t$的增加而增大.

假设 3　设$\mu(t)=\mu$, $\sigma(t)$是关于t的递减函数(其合理性见文献[17-19]).

假设 4　不失一般性, 假定$p>w(t)>c(t)>v$.

3　集中决策系统

考虑由单个制造商和单个销售商组成的供应链系统. 由记号和假设可知, 如果销售商提交订单时刻t越接近销售季节开始时刻, 则其收集的信息量越多, 对市场需求预测的精度也越高, 但其购买产品的单位成本却越大. 因此, 销售商需要决策合适的订购时刻t及相应的订购量Q以最大化自己的期望利润.

首先考虑集中控制系统. 在集中控制下, 供应链系统的期望利润为

$$\Pi_c^s(Q,t)=(p+k-v)S(Q)-(c(t)-v)Q-k\mu, \tag{1}$$

其中$S(Q)=Q-\int_0^Q F(x,t)\mathrm{d}x$.

令$\Pi_c^s(Q,t)$对Q分别求一阶和二阶导数可得

$$\partial\Pi_c^s(Q,t)/\partial Q=$$
$$(p+k-v)[1-F(Q,t)]-c(t)+v, \tag{2}$$

$$\partial^2\Pi_c^s(Q,t)/\partial Q^2=-(p+k-v)f(Q,t). \tag{3}$$

由式(3)可知$\partial^2\Pi_c^s(Q,t)/\partial Q^2<0$. 因此, 令$\partial\Pi_c^s(Q,t)/\partial Q=0$可得最优订购量$Q_c^*$满足

$$F(Q_c^*)=\eta_c(t)\text{或}Q_c^*=F^{-1}(\eta_c(t)), \tag{4}$$

其中$\eta_c(t)=[p+k-c(t)]/(p+k-v)$.

将式(4)代入(1)可得

$$\begin{aligned}\Pi_c^s(t)=&(p+k-c(t))F^{-1}(\eta_c(t))-k\mu-\\&(p+k-v)\int_0^{F^{-1}(\eta_c(t))}F(x,t)\mathrm{d}x.\end{aligned} \tag{5}$$

由于$c(t)$和$F(x,t)$的一般性, 无法证明$\Pi_c^s(t)$的下凹性, 但由一阶最优性条件可得

$$\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}\Pi_c^s(t)}{\mathrm{d}t}=&-\frac{\mathrm{d}c(t)}{\mathrm{d}t}F^{-1}(\eta_c(t))-(p+k-v)\times\\&\int_0^{F^{-1}(\eta_c(t))}\frac{\partial F(x,t)}{\partial t}\mathrm{d}x=0.\end{aligned} \tag{6}$$

由以上分析得出如下定理:

定理 1　在集中决策下, 使得系统期望利润达到最大化的最优订购量Q_c^*和最优提前期压缩量t_c^*分别由式(4)和(6)给出.

由上述定理, 可得如下推论:

推论 1　若随机变量X_t的分布函数$F(x,t)$满足$\partial F(x,t)/\partial t>0$, 则供应链提前期的压缩将导致供应链收益减少.

证明　若$\partial F(x,t)/\partial t>0$, 则由假定$\mathrm{d}c(t)/\mathrm{d}t>0$可得$\mathrm{d}\Pi_c^s(t)/\mathrm{d}t<0$, 即$\Pi_c^s(t)$是关于$t$的减函数, 从而提前期压缩量$t$越大, 供应链的收益越小. □

推论1的结果与文献[17,18]得出的结论恰好相反. 文献[17,18]在假定制造商的成本为固定不变的常

数的前提下得出: 供应链的收益随着压缩量 t 的增加而增加.

下面解释为什么会得出这样一个截然不同的结论.

由于在推论 1 中假定 $F(x,t)$ 是关于 t 的单增函数, 不妨令 $0 \leqslant t_1 < t_2 \leqslant T$, 则有 $F(x,t_1) < F(x,t_2)$, 也即

$$P\{X_{t_1} \leqslant x\} < P\{X_{t_2} \leqslant x\}. \tag{7}$$

上式显示随机变量 X_{t_2} 取值落在 x 左侧的概率要大于随机变量 X_{t_1} 取值落在 x 左侧的概率, 也即 t_2 时刻的需求 X_{t_2} 随机低于在 t_1 时刻的需求 X_{t_1}. 这说明随着时间 t 的增加, 随机需求 X_t 减小的可能性增加, 从而导致供应链预期收益的减小. 需要强调的是, 推论 1 的结论只在 X_t 的分布函数满足条件 $\partial F(x,t)/\partial t > 0$ 时才成立; 当该条件不满足时, 通过大量的数值仿真可知, 最优提前期压缩量 t_c^* 一般都落在 $(0,T)$ 内.

另外, 如果采用文献[17,18]提供的模型, 在一体化决策下, 供应链中的制造商应该将自己的提前期降为零 (详见 [17] 中推论 1 和 [18] 中结论 1), 也即使用 Just-in-time 供货策略, 然而事实并非如此. 比如 Iyer 和 Bergen[4] 通过实证研究发现制造商可将交货提前期从 8 个月压缩至 4 个月, 相应地将预测误差从 65% 降至35%. 制造商们之所以没有动力将提前期降为零, 一个可能的原因就是生产成本的困扰. 这从另一个方面说明了本模型寻找最优提前期压缩量以平衡预测误差和生产成本的合理性.

4 联合协调契约：分散决策系统

在分散决策系统下, 销售商根据自身利益最大化来确定自己的最优订购量以及最优提前订购时刻 t, 而制造商则根据销售商的订购量来确定其生产量. 通过推导发现: 量折扣契约、回购策略、回扣契约以及收益共享契约等传统契约都不能使本模型中的供应链达到协调状态, 但通过将回购契约与回扣/惩罚契约相结合得到的联合契约可实现供应链的协调.

联合契约具有如下形式: $\{w(t), r, \tau, Y\}$. 其内容为: 制造商以单位价格 $w(t)$ 将产品批发给销售商, 并且承诺在销售季节末以单位价格 r 回购销售商未售出的产品. 同时, 制造商向销售商提供一个销售目标 Y, 如果销售商超额完成任务, 则制造商对于超额部分的销售量每单位给予 τ 元的奖励; 如果销售商的销售量没有达到 Y, 则制造商对于没有完成任务的部分每单位给予 τ 元的惩罚.

这里需要注意的是, 在上述契约中并没有对提前订购时刻 t 作任何规定, 这意味着在契约协调下, 最优提前订购时刻仍然由销售商来独立决策. 因此, 虽然在契约参数中出现与时间有关的参数 $w(t)$, 但本文需确定的是批发价格 $w(t)$ 的形式, 而不是 t 的最优值.

下面, 首先讨论在给定联合契约 $\{w(t), r, \tau, Y\}$ 下, 销售商和制造商如何独立确定各自的最优策略; 然后分析如何设计合适的契约参数以达到供应链协调运作.

4.1 给定联合契约下, 供应链双方的最优决策

类似于集中控制系统, 在给定联合契约 $\{w(t), r, \tau, Y\}$ 下, 销售商、制造商以及系统的期望利润分别为

$$\Pi_d^b(Q,t) = (p+k+\tau-r)S(Q) - (w(t)-r)Q - k\mu - \tau Y, \tag{8}$$

$$\Pi_d^m(Q) = (w(t)-c(t))Q - (r-v)(Q-S(Q)) - \tau(S(Q)-Y), \tag{9}$$

$$\Pi_d^s(Q,t) = (p+k-v)S(Q) - (c(t)-v)Q - k\mu. \tag{10}$$

采用与集中决策系统下相似的分析, 易得如下定理:

定理 2 对于给定的联合契约 $\{w(t), r, \tau, Y\}$, 使销售商的期望利润达到最大化的最优订购量 Q_d^* 和最优订购时刻 t_d^* 分别由以下两式给出:

$$Q_d^* = F^{-1}(\eta_d(t_d^*)), \tag{11}$$

$$-(p+k+\tau-r)\int_0^{F^{-1}(\eta_d(t_d^*))} \frac{\partial F(x,t)}{\partial t}\mathrm{d}x - \frac{\mathrm{d}w(t)}{\mathrm{d}t}\Big|_{t=t_d^*} F^{-1}(\eta_d(t_d^*)) = 0, \tag{12}$$

其中 $\eta_d(t) = [p+k+\tau-w(t)]/(p+k+\tau-r)$.

对于制造商而言, 在给定联合契约 $\{w(t), r, \tau, Y\}$ 下, 将采取 make-to-order 的模式来应对销售商的订单, 即制造商的最优生产量为 Q_d^*.

4.2 协调契约的设计和绩效评价

为了使供应链达到协调, 考虑如下契约参数集合 $\{w^*(t), r^*, \tau^*, Y^*\}$:

$$\begin{cases} w^*(t) = \tau^* + c(t), \\ r^* = \tau^* + v, \\ \tau^* > 0, \\ 0 < Y^* < Q_c^*, \\ 0 \leqslant \tau^* Y^* \leqslant \Pi_c^s(Q_c^*). \end{cases} \tag{13}$$

定理 3 若契约参数 $\{w^*(t), r^*, \tau^*, Y^*\}$ 满足式 (13), 则由回购和回扣/惩罚组成的联合契约能够实现供应链协调.

限于篇幅, 证明略.

下面分析协调后的供应链利润分配情况.

由式 (8), (9) 以及定理 3 可得

$$\Pi_d^b(Q_d^*, t_d^*) = \Pi_c^s(Q_c^*, t_c^*) - \tau^* Y^*, \tag{14}$$

$$\Pi_d^m(Q_d^*, t_d^*) = \tau^* Y^*, \tag{15}$$

其中: $\Pi_d^b(Q_d^*, t_d^*)$ 为关于 τ^* 的递减函数, 而 $\Pi_d^m(Q_d^*, t_d^*)$ 为关于 τ^* 的递增函数. 因此, τ^*充当了利润分配的角色. 假定 Y^* 在 $(0, Q_c^*]$ 中取定一个固定值, 不妨令 $Y^* = Y_e$. 则当 $\tau^* = 0$ 时, $\Pi_d^b(Q_d^*, t_d^*) = \Pi_c^s(Q_c^*, t_c^*)$, 也即销售商占有了系统的全部利润; 而当$\tau^*$= $\Pi_c^s(Q_c^*, t_c^*)/Y_e$ 时, $\Pi_d^m(Q_d^*, t_d^*) = \Pi_c^s(Q_c^*, t_c^*)$, 即制造商攫取了系统的全部利润. 因此, 当$\tau^*$ 在 $[0, \Pi_c^s(Q_c^*, t_c^*)/Y_e]$ 内取值时, 系统的期望利润可在供应链双方之间任意分配. 需要注意的是: 本文假定 Y^*在 $(0, Q_c^*]$ 内取某一固定值, 随着 Y^* 取值不同, 意味着存在不同的契约参数集合(也即不同的契约)可实现供应链协调. Cachon[20]在介绍回扣契约时也出现了存在一系列的契约可以协调供应链的情况, 他指出之所以会出现这种情况, 是因为契约的参数个数过多的缘故, 但这一系列契约的效果是等价的.

5 数值仿真分析

为了说明模型的求解过程和相关结论, 本文给出了如下算例.

首先, 需要给出随机变量 X_t 的确切分布. 假定 X_t在 $[\mu - \sqrt{3}\sigma(t), \mu + \sqrt{3}\sigma(t)]$ 上服从均匀分布. 容易验证 $\partial F(x,t)/\partial t < 0$, 并且 X_t 的均值始终为 μ, 但均方差为 $\sigma(t)$. 假定 $\sigma(t) = \sigma_0 + (\sigma_T - \sigma_0)t/T$, 其中 σ_0 和 σ_T 分别表示 t =0 和 $t = T$ 时刻的均方差; 生产成本函数 $c(t) = c_0 + (c_T - c_0)t/T$, 其中 c_0 和 c_T 分别表示 t =0 和 $t = T$ 时刻的生产成本. 模型中用到的参数值分别为: $p = 16$, $k = 4$, $v = 2$, $T = 40$, $c_0 = 5$, $c_T = 12$, $\sigma_0 = 100$, $\sigma_T = 20$, $\mu = 100$.

利用模型提供的方法通过仿真计算可得如下结果: 1) 在集中控制下, 系统的最优订购时刻(或最优提前期压缩量) $t_c^* = 29.6$, 最优订购量 $Q_c^* = 104.7$, 系统的期望利润为$\Pi_c^s(Q_c^*, t_c^*) = 1\,431.6$. 2) 在分散决策下, 若不存在协调契约, 即 $r = 0$, $\tau = 0$, $Y = 0$, 且制造商的单位产品批发价格为外生变量, 则双方将独立决策自己的最优策略. 不失一般性, 假定制造商采取加成定价法来确定自己的批发价, 也即 $w(t) = (1+\alpha)c(t)$, 其中 $\alpha = 0.5$. 在此情形下, 销售商的最优订购时刻 $t_d^* = 20.1$, 最优订购量 $Q_d^* = 85.1$, 制造商、销售商以及系统的期望利润分别为: $\Pi_d^m(Q_d^*, t_d^*) = 362.2$, $\Pi_d^b(Q_d^*, t_d^*) = 596.1$, $\Pi_d^s(Q_d^*, t_d^*) = 958.3$. 3) 在联合契约下, 假定制造商设定的销售目标 $Y = 80$, 则当单位回扣/惩罚值τ^* 在[0, 17.9]内取值, 且 $w^*(t)$ 和 r^* 的取值满足式(13)时, 由回购和回扣/惩罚所组成的联合契约可以实现供应链的协调. 比如, 若$\tau^* = 6.0$, $w^*(t) = 6.0 + c(t)$, $r^* = 8$, 则销售商的最优订购时刻$t_d^* = 29.6$, 最优订购量$Q_d^* = 104.7$, 制造商、销售商以及系统的期望利润分别为: $\Pi_d^m(Q_d^*, t_d^*) = 480.0$, $\Pi_d^b(Q_d^*, t_d^*) = 951.6$, $\Pi_d^s(Q_d^*, t_d^*) = 1431.6$. 通过比较可知, 协调后系统的期望利润相对于分散决策下系统期望利润增加的百分比 $\Delta = 49.3\%$. 这么大的利润提升空间意味着设计契约以协调供应链双方成员协调运作具有重要的意义.

下面分析期末剩余产品的残值 v 和预测精度变化对分散和集中控制下供应链的最优策略及相应期望利润的影响. 由于篇幅有限, 这些灵敏度分析不再列出, 这里只给出规律性的结论和相关的管理启示.

1) 首先, 随着 σ_T 的增加, t_d^* 和 t_c^* 也增加, 但 Q_d^* 和 Q_c^*却减小. 这说明在分散和集中这两种决策下, 随着需求的不确定性增加, 销售商一方面会进一步压缩提前期以获得更精确的预测, 另一方面会减少订购量以降低过多库存的危险. 其次, 无论是分散决策还是集中决策情形, 供应链系统的期望利润都随着需求的不确定性增加而减少. 另外, 随着需求的不确定性增加, 协调以后供应链系统期望利润相对于分散决策系统下供应链系统期望利润增加百分比将增大, 这说明了需求的不确定性越大, 供应链节点企业更应加强协调运作以增强整条链的竞争力和赢利能力.

2) 无论是在分散决策下还是在集中决策下, 随着期末剩余产品的残值增加, 销售商的订购量也增加, 并且销售商的提前期压缩量也增大. 其次, 供应链系统的期望利润都随着期末剩余产品的残值增加而增加. 另外, 随着单位产品残值的增加, 协调以后供应链系统期望利润相对于分散决策系统下供应链系统期望利润增加百分比将增大, 这说明了单位产品的残值越大, 供应链协调运作越有价值.

6 结　论

本文在假定制造商的单位生产成本是关于提前期的减函数前提下, 将提前期看作可控决策变量, 建立了带有可控提前期的 Newsvendor 型产品供应链协调模型. 已有文献[17, 18]通过研究得出如下结论: 供应链的收益随着压缩量 t 的增加而增加. 但本文的研究却得出了一个截然不同的结论, 即在一定条件下, 供应链的收益随着压缩量 t 的增加而减小. 另外, 本文还设计了一个由回购和回扣/惩罚所组成的联合契约, 该契约不仅能实现供应链的协调, 而且还可使系统的期望利润在供应链双方之间任意分配.

参考文献(References)

[1] 周永务, 王圣东. 库存控制理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

(Zhou Y W, Wang S D. Inventory control: Theory and methodology [M]. Beijing: Science Press, 2009.)

[2] Zhou Y W, Wang S D. Manufacturer-buyer coordination for newsvendor type products with two ordering opportunities and partial backorders [J]. European J of Operational Research, 2009, 198(3): 958-974.

[3] 王圣东, 周永务. 带有两次订购机会且两阶段需求相关的Newsboy模型[J]. 控制与决策, 2009, 24(5): 706-710.
(Wang S D, Zhou Y W. Newsboy model with two ordering opportunities and correlated demands between two periods [J]. Control and Decision, 2009, 24(5): 706-710.)

[4] Iyer A V, Bergen M E. Quick response in manufacturer-retailer channels [J]. Management Science, 1997, 43(4): 559-570.

[5] Mohebbi E. Supply interruptions in a lost-sales inventory system with random lead time [J]. Computers and Operations Research, 2003, 30(3): 411-426.

[6] Janakiraman G, Roundy R O. Lost-sales problems with stochastic lead times: Convexity results for base-stock policies [J]. Operations Research, 2004, 52 (5): 795-803.

[7] 纪鹏程, 宋士吉, 吴澄. 随机需求和提前期环境下的精确库存成本建模[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(11): 2129-2133.
(Ji P C, Song S J, Wu C. Exact inventory cost model with random demands and lead time [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008,14(11): 2129-2133.)

[8] 马士华, 林勇. 基于随机提前期的(Q,r)库存模型[J]. 计算机集成制造系统, 2002, 8(5): 396-398.
(Ma S H, Lin Y. An inventory model based on stochastic lead time [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2002, 8(5): 396-398.)

[9] Dey J K, Kar S, Maiti M. An interactive method for inventory control with fuzzy lead-time and dynamic demand [J]. European J of Operational Research, 2005, 167 (2): 381-397.

[10] Rong M, Mahapatra N K, Maiti M. A two warehouse inventory model for a deteriorating item with partially/fully backlogged shortage and fuzzy lead time [J]. European J of Operational Research, 2008, 189 (1): 59-75.

[11] Maiti M K, Maiti M. Two-storage inventory model with lot-size dependent fuzzy lead-time under possibility constraints via genetic algorithm [J]. European J of Operational Research, 2007, 179(2): 352-371.

[12] Chuang B R, Ouyang L Y, Chuang K W. A note on periods review model with controllable setup cost and lead time [J]. Computers and Operations Research, 2004, 31 (4): 549-561.

[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 of Operational Research, 2006, 170 (2): 481-495.

[14] Chang H C, Yao J S, Ouyang L Y. Fuzzy mixture model involving fuzzy random variable lead time demand and fuzzy total demand [J]. European J of Operational research, 2006, 169 (1): 65-80.

[15] 夏海洋, 黄培清. 随机需求下提前期可控的生产–库存联合优化模型[J]. 控制与决策, 2008, 23(6): 631-636.
(Xia H Y, Huang P Q. Integrated production-inventory model with stochastic demand and controllable lead time[J]. Control and Decision, 2008, 23(6): 631-636.)

[16] 鲁其辉, 朱道立, 林正华. 带有快速反应策略供应链系统的补偿策略研究[J]. 管理科学学报, 2004, 7(4): 14-23.
(Lu Q H, Zhu D L, Lin Z H. Return policies in supply chain system with quick response strategy [J]. J of Management Science in China, 2004, 7(4): 14-23.)

[17] 宋华明, 马士华. 两阶段供应链中提前期压缩的影响与协调[J]. 管理科学学报, 2007, 10(1): 46-53.
(Song H M, Ma S H. Effect and coordination of lead-time compression in two-echelon supply chain [J]. J of Management Science in China, 2007, 10(1): 46-53.)

[18] 宋华明, 马士华. 供应链中提前期压缩的Pareto优化[J]. 控制与决策, 2006, 21(7): 776-780.
(Song H M, Ma S H. Pareto optimization in supply chain under lead-time reduction [J]. Control and Decision, 2006, 21(7): 776-780.)

[19] Chen M S, Chuang C C. An extended newsboy problem with shortage-level constraints[J]. Int J of Production Economics, 2000, 67(3): 269-277.

[20] Cachon G. Supply chain coordination with contracts[M]. North Holland: Chapter 6 of Handbooks in Operations Research and Management Science, 2003.

(上接第1291页)

[12] Wang J, Liu Z Y, Chen H. H-infinity output feedback control of constrained systems via moving horizon strategy [J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(11): 1176-1181.

[13] Chen T, Qiu L. H_∞design of general multi-rate sampled-date control systems [J]. Automatic, 1994, 30(7): 1139-1152.

[14] Boyd S, Ei Ghaoui L, Feron E, et al. Linear matrix inequalities in system and control theory [M]. Philadelphia: SIAM, 1994.