基于可控交货期的供应链 Stackelberg 决策研究

何景师[1] 戴 航[1] 张智勇[2]

1. 东莞职业技术学院，物流工程系，东莞 523808

2. 华南理工大学，经济与贸易学院，广州 510006

摘 要：时间已成为供应链敏捷运作的瓶颈要素。在供应商和分销商供应链上下游的 Stackelberg 模型中，本文构建了基于可变交货期的供应链决策模型。通过对供应链决策模型的计算，分析了考虑压缩交货期费用分担和延迟交货惩罚对交货期、订货量、供应链成本的影响，认为在供应商和分销商中存在最优的交货期和订货批量，可得到供应链最优的决策。算例的计算结果表明，该模型可以优化供应链上下游企业的决策，从而为规划决策者提供科学依据。

关键词：交货期；供应链；Stackelberg 模型

中图分类号：F252.2 **文献标识码**：A **文章编号**：1672-4747(2012)03-0013-08

Stackelberg Decision in a Supply Chain Based on Controllable Lead Time

HE Jing-shi[1] DAI Hang[1] ZHANG Zhi-yong[2]

1. Department of Logistics Engineering, Dongguan Polytechnic, Dongguan 523808, Guangdong, China

2. College of Economics and Trade, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China

Abstract: Time is a bottle-neck element of the supply chain agile operation in practice. In Stackelberg model of a supply chain between the upstream and downstream stages, a supply

收稿日期：2011-09-29.

基金项目：广东省软科学项目（2010B070300018）、中国物流学会项目（2011CSLKT185）、东莞市软科学项目（2011JY06）。

作者简介：何景师（1984-），男，瑶族，湖南永州人，硕士，东莞职业技术学院物流工程系讲师，研究方向：物流与供应链管理。

chain model based on controllable lead time was constructed. Through calculation of the supply chain model, this paper analyzed the influence lead time crashing cost sharing and the delay penalty impact on the lead time, order quantity and supply cost. It is pointed out that optimal lead time and order quantity decision-making existed in a supply chain, which could get the supply chain optimal decision. The result from an example revealed that the model could optimize the decision making of the supply chain upstream and downstream enterprises. Therefore, it provided a piece of scientific evidence for the planners to develop effective solutions.

Key words: Lead time, supply chain, Stackelberg models

0 引 言

在供应链管理中，时间已经成为关键的竞争要素，基于时间的竞争要求企业加强交货期管理以提高竞争力。缩短交货期可以有效地降低库存量、减少资金积压、提高对顾客的服务水平、增加企业的竞争能力，尤其是在市场竞争日愈激烈的今天。因此，对交货期的控制已成为近年来企业界与学术界关注的焦点。

在供应链二阶模型中，交货期又叫供应商提前，是指从下游发出订单到下游收到上游供应的货物的时间间隔。在“供应商-分销商-顾客”三阶供应链结构中，交货期又分为供应商交货期、分销商交货期。大量研究和实践证明，交货期缩短可以给企业带来巨大的利润。Liao 等[1]基于库存连续检查策略提出了提前期可控的库存模型，但该模型中假设订货量为固定，仅考虑提前期为唯一的决策变量。Ouyang[2-3]、Moon[4]学者也从不同角度探讨企业如何有效地缩短提前期，但是以上文献都仅从单个企业角度探讨压缩提前期问题。事实上，供应链决策需要企业与其上下游企业进行合作共同制定压缩交货期计划。BEN-DAYA 等[5]将交货期与订货量一同视为决策变量，考虑两者的联合决策问题。该文献研究假设交货期决策权由下游控制，缩短交货期的费用也完全由下游支付。杨文胜[6]建立采购商为主方、供应商为从方的 Stackelberg 博弈模型，讨论准时采购过程中采购商与供应商决策的交互影响关系，并在供应商完成分析采购商与供应商的最优策略及库存成本参数等对决策产生的影响。李怡娜[7]提出了一种基于满意度的不对称 Nash 协商模型来制定最优费用分担比，来进行联合库存优化。蒋良奎[8] 提出由 2 个零售商和 1 个供应商组成的供应链决策问题，建立供应商先公布交货提前期零售商再决定其订购量的决策模型。

在“供应商-分销商-顾客”这种三阶供应链结构中，供应商延迟交货会导致分销商交货周期的延长，压缩供应商交货时间能有效缩短分销商的交货时间，从而有效减少整个供应链的交货周期。研究和实践证明，这对顾客需求（订货量）也会产生影响，而分销商订货量与供应商交货期也有一定的关系。在双方信息完全的情况下，供应链上下游均追求目标成本最小。在“供应商-分销商-顾客”这三阶供应链结构中，供应商延迟交货要支付一定的延迟成本，而供应商延迟交货也会导致分销商延迟交货而向最终顾客支付一定的延迟成本。对于供应链中的供应商和分销商，在决策过程中，双方均基于完全信息的，这是一个 Stackelberg 博弈模型。因此，本文将以交货期和订货量为决策变量，考虑延迟交货成本，建立一个可控交货期的 Stackelberg 博弈模型。

1 模型构建

1.1 模型基本假设

本文研究由一个供应商和一个下游分销商买方组成的两级供应链结构，买方（分销商）MTS 方式即按库存生产的方式向其下游的顾客提供产品。买方向顾客提供的产品由上游供应商提供，上游供应商按 MTO 方式生产，即接到订货批量后再生产。

为了便于后文的描述，在此首先定义相关变量（如表 1 所示）。

表 1　相关变量的表示符号

Tab.1　Relative　notations

符号	意　义
t	供应商实际交货期，$F(t)$为其分布函数 $f(t)$为其密度函数，平均交货期为 $1/\theta=T_0$
T_0	未压缩前初始交货期
T_x	标准交货期即供应商承诺的交货期
R	单位时间顾客平均需求
σ	顾客需求标准差
p	供应商提供给分销商的单位产品价格
m	供应商单位产品成本 $m<p$
S_x	供应商生产准备成本
S_y	分销商的单次订货成本
h	单个产品库存保管费率
Q	分销商订货量
α	缩短交货周期每单位时间花费的成本
β	单位延迟时间的补偿成本
k	单位产品运输成本
φ	压缩交货周期成本供应商分担比例
ρ	分销商库存安全系数
$C(t)$	缩短交货周期费用

基本假设：

（1）供应链买方，即分销商每隔一段时间订货一次，每次订货数量都为 Q。

（2）下游买方，即分销商的服务服从顾客需求为 R_t 标准差为 $\sqrt{t}\sigma$ 的正态分布。

（3）缩短交货期的费用按一定的分担比例由上下游分担。

(4）供应商以下游买方的订货批量为生产批量，每次分销商订货后，供应商均会采用重新安排生产，产生生产准备成本 S_x。

（5）实际交货期 t 服从渐近指数分布[9]。因此，假设其服从参数为 θ 的指数分布，$1/\theta$ 为供应商实际完成订单的平均交货期，则其密度函数为：

$$f(t)=\int\begin{matrix}\theta e^{-\theta t} & t>0 \quad \theta>0 \\ 0 & t\leqslant 0\end{matrix} \tag{1}$$

相应的分布函数为：

$$F(t)=1-e^{-\theta} \quad (\theta>0) \tag{2}$$

1.2　交货期费用分担模型

缩短交货期的费用按一定的分担比例由上下游分担。假定供应商分担比例为φ，买方即分销商分担比例为 1-φ，供应商的总成本由库存持有成本、订货成本、运输成本、供应商所分担的缩短交货期费用、以及供应商交货不准时所罚的延迟成本。

供应商成本为：

$$\begin{aligned}C_x=&\frac{Q}{2}mh+\frac{R}{Q}S_x+kQ+\varphi\alpha\frac{R}{Q}\int_0^{Tx}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t\\&+\beta\frac{R}{Q}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t\end{aligned} \tag{3}$$

供应链买方即分销商每次订货数量相同都为 Q。下游买方的库存成本包括库存成本、向上游订货的订货成本、运输成本、所分担的交货期缩短费、供应商不准时交货导致分销商向下游客户支付的延迟成本。因此，得到买方即分销商的成本为：

$$\begin{aligned}&C_d=hp(\frac{Q}{2}+\rho\sigma\sqrt{t})+\frac{R}{Q}S_y+kQ+\\&\alpha(1-\varphi)\frac{R}{Q}\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t+\beta\frac{R}{Q}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t\end{aligned} \tag{4}$$

特别地，当φ=0 时交货期压缩费用完全由下游买方承担。

2　基于可控交货期供应链决策

2.1　分散决策

在完全信息下的 Stackelberg 博弈模型中，存在两种决策策略：（Ⅰ）下游买方（分销商）先确定订货批量 Q，供应商再决定交货期。（Ⅱ）供应商先向下游买方公布交货期后，买方决定自己的最优订货策略。本文将基于这两种策略进行分析。

我们分别在这两种情形下建立交货期决策模型。

策略Ⅰ　下游买方先确定订货批量，上游供应商再决定向下游买方供货的交货期

下游买方先确定订货批量 Q，供应商在观测到下游买方的订货批量后，再决定向下游买方供货的提前期。显然，该决策过程为下游买方先动的 Stackelber 博弈模型。

首先考虑给定订货批量 Q 的前提下，供应商的交货期决策。供应商的问题是：

$$\min C_x=\frac{Q}{2}mh+\frac{R}{Q}S_x+kQ +\varphi\alpha\frac{R}{Q}\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t+\beta\frac{R}{Q}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t \tag{5}$$

式（5）中，对供应商承诺的交货周期 T_x 求导得到：

$$\frac{\partial C_x}{\partial T_x}=\varphi\alpha\frac{R}{Q}F(T_x)+\beta\frac{R}{Q}F(T_x)-\beta$$

$$\frac{\partial^2 C_x}{\partial^2 T_x}=\varphi\alpha\frac{R}{Q}f(T_x)+\beta\frac{R}{Q}f(T_x)\geqslant 0 \tag{6}$$

因而，在给订货批量 Q 的前提下，供应商成本最小的最优交货期决策为：

$$T^*{}_x=F^{-1}(\frac{\beta}{\alpha\varphi+\beta}) \tag{7}$$

可见供应商最优交货期与订货量无关，供应商成本最小的最优交货期决策取决于供应商分担成本比例，缩短交货周期每单位时间花费的成本和供应商单位延迟时间向分销商交付的补偿成本这三个变量。

在完全信息情况下，下游分销商可以预测到供应商将交货期确定为 T_x，又因为对于给定的 T_x，对式（5）求导得：

$$\frac{\partial C_y}{\partial Q}=k-(1-\varphi)\alpha\frac{R}{Q^2}\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t -\beta\frac{R}{Q^2}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t+\frac{1}{2}hp-\frac{R}{Q^2}S_y$$

$$\frac{\partial^2 C_y}{\partial^2 Q}=2(1-\varphi)\alpha\frac{R}{Q^3}\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t +2\beta\frac{R}{Q^3}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t+2\frac{R}{Q^3}S_y \tag{8}$$

式（8）中 $\frac{\partial^2 C_y}{\partial^2 Q}\geqslant 0$。

所以式（5）是关于 Q 的凹函数，当 Q_0 满足以下条件买方即分销商成本最小：

$$Q_0{}^2=2R\frac{S_y+(1-\varphi)a\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t+\beta\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t}{hp+2k} \tag{9}$$

（T_x,Q_0）为下游买方先动的 Stackelberg 博弈的均衡结果。得到结论：

结论 1　在完全信息静态博弈中，T_x 是供应商的占优战略无论下游买方怎样选择订货批量，供应商都会将交货期确定为 T_x，分销商决策在先对供应商的交货期决策不会产生影响。

策略Ⅱ　供应商先公布交货期后，下游买方决定最优订货策略

在完全信息博弈下，假设供应商完全拥有下游买方的订货成本及库存成本等相关信息，当供应商向下游买方公布了承诺交货期后，买方决定自己的最优订货策略。显然，在该订货的决策过程中，买方根据供应商决策情况进行分析。

在此模型下，供应商承诺交货期的情况不变，下游买方的最优订货批量决策。买方根据供应商承诺交货期选择订货量 Q，以最小化自身的总成本，分销商成本问题转化为：

$$\min C_y=hp(\frac{Q}{2}+\rho\sigma\sqrt{t})+\frac{R}{Q}S_y+kQ +\alpha(1-\varphi)\frac{R}{Q}\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t +\beta\frac{R}{Q}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t \tag{10}$$

这就是供应商先决策下买方成本模型，对模型（10）的 Q 求导得到：

$$\frac{\partial C_y}{\partial Q}=\frac{hp}{2}-\frac{R}{Q^2}S_y+k-\alpha(1-\varphi)\frac{R}{Q^2}\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t -\beta\frac{R}{Q^2}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t$$

$$\frac{\partial^2 C_y}{\partial^2 Q}=2\frac{R}{Q^3}S_y+2\alpha(1-\varphi)\frac{R}{Q^3}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t +2\beta\frac{R}{Q^3}\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t\geqslant 0 \tag{11}$$

可知，对于固定的交货周期，C_y 是 Q 的凹函数，存在最优的订货批量 Q*（如式 12），使分销商成本最小。

$$Q^{*\,2}=2R*\frac{s_y+\alpha(1-\varphi)\int_0^{T_x}(T_x-t)f(t)\mathrm{d}t+\beta\int_{T_x}^{\infty}(t-T_x)f(t)\mathrm{d}t}{hp+2k} \tag{12}$$

在完全信息情况下，供应商预测到下游买方将根据式（12）确定其订货批量，供应商的问题转换为：供应商如何在分销商订货批量确定条件 Q^* 下选择交

货期以最小化自身的总成本。

用 C_z 表示供应商的总成本模型，则供应商的成本模型为：

$$\min C_z = \frac{R}{Q^*}S_x + kQ^* + \varphi\alpha\frac{R}{Q^*}\int_0^{T_x}(T_x - t)f(t)\mathrm{d}t + \beta\frac{R}{Q^*}\int_{T_x}^{\infty}(t - T_x)f(t)\mathrm{d}t + \frac{Q^*}{2}mh \tag{13}$$

对式（10）求导得：

$$\begin{aligned}\frac{\partial C_z}{\partial T_x} &= \frac{R}{Q^*}\left[(\varphi\alpha+\beta)F(T_x)-\beta\right]\\ \frac{\partial^2 C_z}{\partial T_x^2} &= \frac{R}{Q^*}\left[(\varphi\alpha+\beta)f(T_x)\right] \geqslant 0\end{aligned} \tag{14}$$

可知，供应商成本是关于交货期的凹函数，有最优交货期使供应商成本最小。令

$$\frac{\partial C_x}{\partial T_x} = \frac{R}{Q^*}\left[(\varphi\alpha+\beta)F(T_x)-\beta\right] = 0$$

得到

$$T_x^* = F^{-1}\left(\frac{\beta}{\varphi\alpha+\beta}\right) \tag{15}$$

在供应商先决策下，供应商可以预计买方的需求量，在确定的订货批量下，从而做出最优交货期决策为 $T_x^* = F^{-1}\left(\frac{\beta}{\varphi\alpha+\beta}\right)$。因此（$T_x^*$，$Q^*$）为供应商先决策条件下的博弈均衡结果。

结论 2　在完全信息共享和策略 II 条件下供应商最优交货期与分销商订货量无关。

结论 3　在两种不同策略下，最优交货期决策结果一样，因此，供应商和分销商决策顺序对结果无影响。

结论 4　在完全信息条件下，策略 I 、策略 II 的最优交货周期都只与三个因素有关：压缩交货周期成本分担比例 φ；缩短交货周期每单位时间花费的成本 α；供应商单位延迟时间向分销商交付的补偿成本 β。供应商最优交货期与订货量、产品成本、库存费用等无关。

2.2　供应链决策

在完全信息条件下，根据供应商和分销商 Stackelberg 博弈模型分析得出：

命题 1　存在最优压缩交货期费用分担比例，使得最优交货期小于初始交货期。最优分担比例只与供应商压缩时间成本、供应商延迟时间成本有关系。

证明：$T_x^* = F^{-1}(\frac{\beta}{\varphi\alpha+\beta}) = T_0 = \frac{1}{\theta}$

得到：$\varphi^* = \frac{\beta}{\alpha(\mathrm{e}-1)}$

可知，当 $\varphi \geqslant \varphi^*$ 时，供应商最优承诺交货期 T_x^*，小于初始交货期 T_0；当 $\varphi < \varphi^*$ 时，供应商交货期大于初始交货期，发生延迟交货。

命题 2　供应链最优交货期与压缩交货期成本分担比例成反比。供应商分担比例越大，最优交货期越小；供应商分担比例越小，最优交货期越大。

命题 3　缩短交货期单位时间花费成本与交货期成反比。缩短交货周期每单位时间花费的成本越大，供应商最优交货期越小；反之，缩短交货期单位时间成本越小，供应商最优交货期越大。

命题 4　供应商单位延迟时间向分销商交付的补偿成本与供应商最优交货期成正向关系。即延迟补偿成本越高，最优交货期越大；补偿成本越低，最优交货期越小。

证明：

对于 T^* 大于最小交货期，小于标准交货期，即 $T_x^* < T^* < T_x$，有

$$\begin{aligned}\frac{\partial T^*_x}{\partial \varphi} &= \frac{-\beta}{\theta\varphi(\alpha\varphi+\beta)} \leqslant 0\\ \frac{\partial T^*}{\partial \alpha} &= \frac{\beta}{-\theta\alpha(\varphi\alpha+\beta)} \leqslant 0\\ \frac{\partial T^*}{\partial \beta} &= \frac{1}{\theta(\varphi\alpha+\beta)} \geqslant 0\end{aligned} \tag{16}$$

命题得证。

3　算例分析

数据来自国内某机械分销企业 Z 和其上有零部件供应商 Y 的资料。根据调研资料，我们得到如下数据：θ=1/12d；R=500 台；Q=20 台；P=15 元/台；m=10 元/台；S_x=35 元/次；S_y =25 元/次；h=0.4 元/台；ρ=0.2；α=8 元；β=2.5 元；k=2 元；φ=60%；

根据前文分析，策略 I 和策略 II 最优交货期和订

货批量相同，按照调研数据 φ=60%，得最优订货决策（T_x^*，Q^*），供应商成本 C_x，买方即分销商成本 C_y 以及供应链总成本 $C_z=C_x+C_y$ 得到表 2 所示：

表 2　当前供应链成本

Tab. 2　Current supply chain cost

变量	T_x^*	Q^*	C_x	C_y	C_z
数值	4.18	111	1 263.37	1 191.53	2 067.85

（1）最优交货期与供应商成本、分销商成本、总成本的关系

根据前文分析得到最优交货期为 $T_x^*=F^{-1}\left(\dfrac{\beta}{\varphi\alpha+\beta}\right)$，改变压缩交货期费用供应商分担比例 φ 得到不同的交货期、供应商成本、分销商成本、供应链总成本，如图 1 所示。

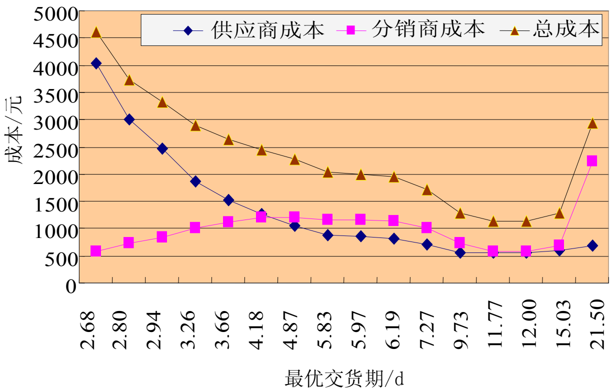

图 1　最优交货期与成本的关系

Fig. 1　Relations between optimal lead time and cost

可知 $\varphi^*=\dfrac{\beta}{\alpha(e-1)}$，得到最优交货期。

（2）压缩成本分担比例与供应链成本、最优交货期和订货量的关系

根据前文分析，可知供应商成本是关于最优交货期的凹函数，有最优交货期使供应商成本最小。供应商成本、分销商成本和供应链总成本是压缩成本分担比例的凹函数，如图 2 所示。

根据图 1、图 2 可知，当 φ 满足 $\varphi^*=\dfrac{\beta}{\alpha(e-1)}$ 时，成本最优即 φ^*=0.1455。此时，供应商成本、分销商成本、总成本最小。

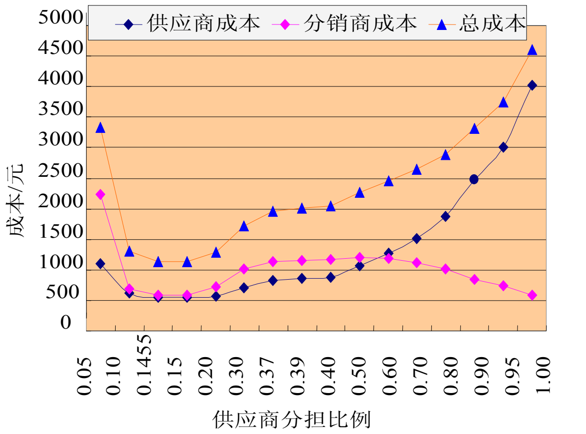

图 2　成本分担比例与成本的关系

Fig. 2　Relations between cost sharing ratio and cost

根据公式 $T_x^*=F^{-1}(\dfrac{\beta}{\varphi\alpha+\beta})$ 可知，T_x^*=12，即供应商的交货期和初始交货期一致时，供应链最优。因而得到供应链最优决策如表 3。

表 3　优化后供应链决策

Tab. 3　Supply chain decision after optimization

变量	T_x^*	Q^*	C_x	C_y	C_z
数值	12	50	550	583.14	1133.14
优化比例/(%)	–	–	56.47	51.06	45.20

如命题 1 所示，供应链最优交货期与压缩交货期成本分担比例成反比（图 3）。供应商分担比例越大，最优交货期越小，供应商分担比例越小，最优交货期越大。

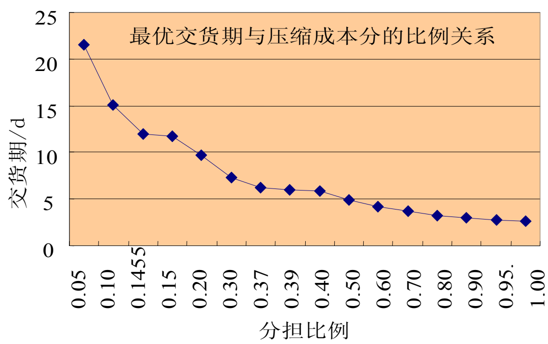

图 3　最优交货期与压缩交货期成本分担比例的关系

Fig. 3　Relations between optimal lead time and delivery cost sharing ratio

压缩时间成本分担比例与订货量之间的关系如图 4，可知在其他条件不变下，φ^*=0.1455 时，分销商订货量最小。

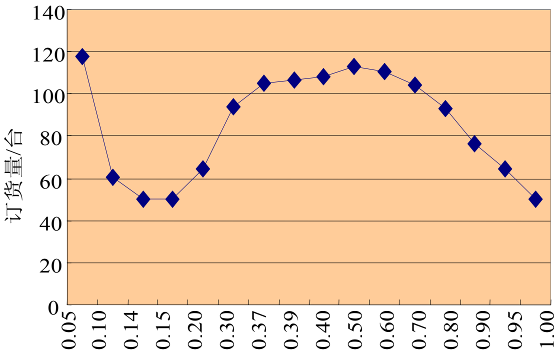

图 4　压缩交货期成本分担比例与最优订货量

Fig.4　Relation between optimal order quantity and cost sharing ratio

（3）初始交货期与供应链成本的关系

在最优压缩时间成本分担比例下即φ^*=0.1455，初始交货期变化与供应商成本、分销商成本、总成本关系如图 5。

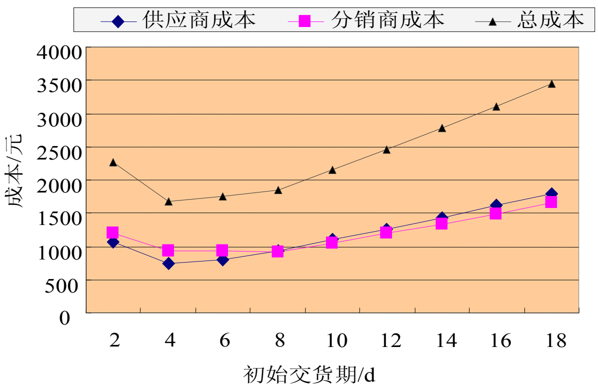

图 5　初始交货期与成本的关系

Fig.5　Relations between cost and initial lead time

可见，供应商最优交货期即等于初始交货期，这样成本最小。

（4）压缩时间成本与供应链成本的关系

在其他条件不变下，当φ^*=0.1455 时，分销商成本、供应商成本、总成本是压缩时间成本的凹函数，如图 6 所示。

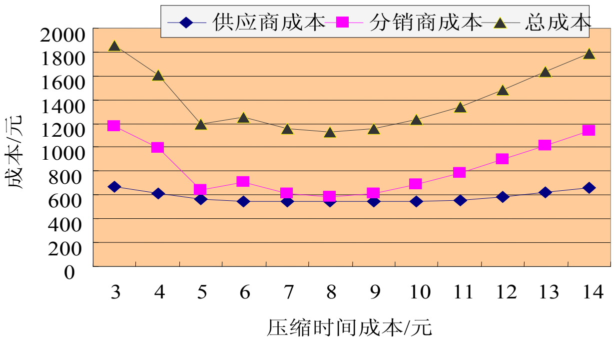

图 6　压缩时间成本与供应链成本关系

Fig.6　Relations between cost of the supply chain and the shorten time

（5）延迟时间成本与供应链成本关系

在交货期已确定下，当$\varphi \leq \varphi^*$=0.1455 时，供应商就会选择延迟交货，导致延迟交货成本大增，选φ=0.1，其他参数不变，得图 7。并可知，成本函数是关于单位时间压缩成本的凹函数。

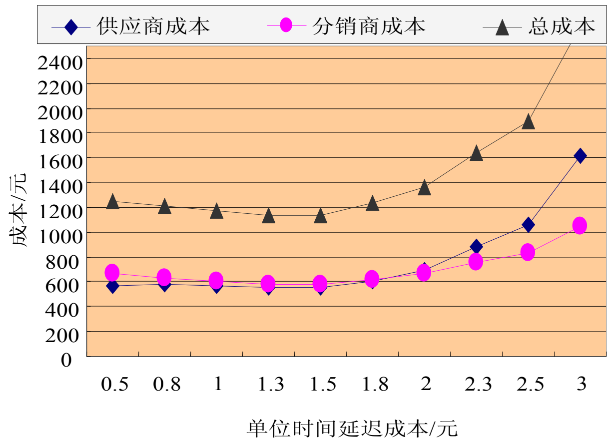

图 7　单位时间延迟成本与供应链成本的关系

Fig.7　Relations between cost of unit delay and supply chain

4　结束语

在由供应商和分销商组成的供应链 Stackelberg 中，由供应商、分销商按比例分担压缩交货期的费用，在两种不同决策模式下制定最优订货策略，模型分析得出最优交货期与订货数量并无关系，存在最优的交货期和订货批量使供应链成本最小。通过分析压缩时

间成本分担比例、压缩时间成本和延迟成本大小对供应链决策的影响，得到最优决策。通过算例验证，得出决策思路。将来可以进一步研究供应链集中决策下的模型。

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 (9) : 72-78.

[2] 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 (7) : 829-832.

[3] Ouyang L. Y., Chuang B. R. Stochastic inventory model involving variable lead time with a service level[J]. Yugoslav Journal of Operations Research, 2000, 10 (1) : 81-98.

[4] Moon I., Choi S. A note on lead time and distributional assumptions in continuous review inventory models [J]. Computers & Operations Research, 1998, 25 (11) : 1007-1012.

[5] BEN-DAYA M. RAOUF A. Inventory models involving lead time as decision variable [J]. J Operational ResSoc, 1994, 45 (5) : 5792582.

[6] 杨文胜，马士华，李　莉.供应链中准时采购的Stackelberg 模型及决策[J]. 系统工程理论方法应用，2005（2）：68-73.

[7] 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，（12）：9-17.

[8] 蒋良奎，汪传旭. 缩短交货提前期费用共担的供应链决策[J]. 上海海事大学学报，2008，(6):48-51.

[9] Karmarkar U. Manufacturing lead times, order release and capacity loading[A].In Graves S., Rinnooy Kan A, Zipkin P.(eds.):Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol.4, Logistics of Production and Inventory[M].Amsterdam: North- Holland, 1993.

（中文编辑：吴继屏）

上接第 12 页

参考文献

[1] 姚士谋，陈振光，朱英明. 中国城市群[M]. 合肥：中国科学技术大学出版社，2006.

[2] 金凤君. 我国空间运输联系的实验研究[J]. 地理学报，1991，46(1)：16-25.

[3] 张文尝，金凤君，唐秀芳. 空间运输联系的生成与增长规律研究[J]. 地理学报，1994，49(5)：440-448.

[4] 张文尝，金凤君，唐秀芳. 空间运输联系的分布与交流规律研究[J]. 地理学报，1994，49(6)：490-499.

[5] 曹小曙，阎小培. 珠江三角洲城际运输联系的特征分析[J]. 人文地理，2003，18(1)：87-89.

[6] 朱英明. 城市群经济空间分析[M]. 北京：科学出版社，2004.

[7] 李平华，陆玉麒. 长江三角洲空间运输联系与经济结构的时空演化特征分析[J]. 中国人口资源与环境，2005，15(1)：16-20.

[8] 刘　昕，吴永平，付　鑫. 京津都市圈空间运输联系的分布特征研究[J]. 公路交通科技，2006，23(10)：155-158.

[9] 雒海潮，宋利利，王珊珊. 中原城市群地区运输联系的时空演化分析[J]. 河南科技学院学报(自然科学版)，2008，36(3)：38-40.

[10] 张文尝，金凤君. 空间运输联系—理论研究实证分析·预测方法[M]. 北京：中国铁道出版社，1992.

[11] 许学强，周一星，宁越敏. 城市地理学[M]. 北京：高等教育出版社，1998.

（中文编辑：吴继屏）