文章编号:1003－207(2015)10－0107－06
DOI:10.16381/j.cnki.issn1003－207x.2015.10.012

预测精度和成本双时变的短生命周期产品供应链优化与协调

苏菊宁[1],刘晨光[2],殷 勇[3,2]

(1. 西安理工大学经济与管理学院,陕西 西安 710054;
2. 西北工业大学管理学院 陕西 西安 710072;
3. 日本同志社大学研究生院商业研究科,日本 京都 602－8680)

摘 要:对于提前期可压缩的短生命周期产品供应链,压缩提前期可以提高销售商的需求预测精度,但增加了制造商的生产成本,因而供应链面临何时订货、订多少,以及如何实现 Pareto 改进的挑战。通过建立数学模型并求解,分析了分散系统和集中系统的最优决策,进一步开发了一个激励方案以实现供应链成员之间的协调。研究结果表明:具有订货回馈与惩罚的动态批发价契约能够有效协调双时变参数供应链,契约参数 α 在一定范围内取值可实现供需双方共赢。

关键词:供应链协调;短生命周期产品;时变参数;订货回馈与惩罚
中图分类号:F224 **文献标识码**:A

1 引言

买方市场的形成和技术的快速进步,使得产品的流行趋势不断变化,产品更新换代速度越来越快。比如流行服饰、季节性产品、家具、个人电脑、手机以及其他电子消费品等,它们的需求不确定性大,销售周期短而生产提前期长。鉴于销售周期较短,销售商只有一次订货机会,在销售季节来临之前,根据需求预测进行订货。由于制造商的生产提前期较长,因而销售商的预测周期较长,预测误差往往比较大。在纺织服装行业,服装销售商要提前半年甚至更长时间向制造商订货。运动服饰及装备制造商欧耐尔公司对 hammer3/2 冲浪服装的预测,尽管用于辅助预测的信息十分准确,但是预测仍有相当大的不确定性,50%的情况下实际的需求与预测值的偏差大于 25%[1]。需求预测误差与预测周期有关,预测周期越长,预测误差越大。越接近销售季节,销售商收集到的市场条件信息越多,需求预测的误差就会变小。例如沃尔玛对服装的调查发现,如果在销售季节开始之前的 26 周进货,需求预测误差达 40%左右,如果提前 16 周订货,需求预测误差为 20%左右,如果在很靠近销售季节开始的时候进货,则需求预测误差只有 10%左右[2]。Iyer 和 Bergen[3] 通过实证研究指出,利用快速响应(Quick Response, QR)系统,可以将 8 个月的订货提前期压缩至 4 个月,使 65%的预测误差减少至 35%。然而,快速响应能力通常不是免费获得的,它常常意味着更昂贵的成本。这是因为,要对销售商的订单做出快速响应,制造商就要增加生产能力的投入,例如对工人实行弹性工作时间、利用季节性工人或者利用转包合同,这些投入增加了制造商的生产成本。可以看出,缩短提前期对于供应链是一把双刃剑,它在使销售商的需求预测误差减小的同时,却使制造商的生产成本增加。因此,对于提前期可压缩的短生命周期产品供应链,面临两个挑战:(1)什么时候订货、订多少;(2)如何使提前期压缩策略被销售商和制造商都接受,实现双赢。

对于第一个问题,Chen 等[4]、蔡清波等[5]、宋华明等[6]在报童模型中研究了当需求预测精度随订货

收稿日期:2013－05－07; **修订日期**:2014－08－08
基金项目:国家自然科学基金资助项目(71171161,71371153);教育部人文社科基金资助项目(13YJA630077);陕西省自然科学基金资助项目(2011JM9004);陕西省重点学科建设专项资金项目(00X901)

作者简介:苏菊宁(1968－),女(汉族),陕西乾县人,西安理工大学经济与管理学院,教授,博士,研究方向:物流与供应链管理.

提前期而变化时，订货量和订货时机的确定方法。鲁其辉等[7]、Lau 等[8]在供应链环境下考虑了不同时点订货的需求预测不同，研究了提前期压缩对供应链上不同成员的影响，但他们没有把订货时机作为决策变量。对于第二个问题，宋华明等[9-10]考虑需求预测精度受订货时间影响，把订货量和订货时机同时作为决策变量，研究了可实现供应链协调的契约，但他们没有考虑时间压缩成本。宋华明[11]、李明等[12]在考虑赶工成本的条件下研究了供应链的协调，但他们没有给出最佳订货时机的决策方法。宋华明等[13]、王圣东等[14]给出了最优订货量和最佳订货时机的求解方法，研究了实现供应链协调的契约，但他们没有进一步研究实现供应链成员 Pareto 改进的条件。Li Yina 等[15]将提前期作为可控的决策变量，在信息对称和不对称两种情况下，提出了具有 Pareto 优势的供应链协调机制，但他们没有考虑提前期压缩对需求预测的影响。

本文考虑压缩提前期对需求预测精度和生产成本的双重影响，讨论短生命周期产品供应链中订货数量和订货时机的联合决策。在此基础上，力图开发出能够实现此类具有双时变参数供应链的协调策略，并探寻协调策略具有 Pareto 优势的使能条件。

2 问题描述

在一个制造商和销售商组成的二级供应链中，生产和销售一种季节性产品，销售商在销售季节来临之前根据需求预测提前订货，制造商接到订单后按 MTO 形式组织生产。为了降低供应链的经营风险，制造商允许销售商可以晚于正常订货提前期 T 订货。若正常订货时点记为 0，则销售商的订货时机 t 可以在[0，T]范围内任意选择，如图 1 所示。

订货提前期越短，销售商对市场需求预测的误差越小，积压和缺货的风险就越小。然而，当制造商自己拥有的资源只能满足正常交货期的供货时，在交货期压缩的情况下，制造商必须借用外部的资源才能保证按时供货，从而引起单位产品的生产成本随之增加。因此，对此类供应链来说，压缩提前期有利有弊，决策者不但要选择合适的订货量，还要寻求恰当的订货时机。假设各类信息在供应链中是完全对称的，制造商和销售商都是风险中性的。

变量说明：

p— 销售商的市场售价

q— 销售商的订货量，决策变量

T— 正常订货提前期，即在正常生产情况下，从提交订单到收到货物的时间

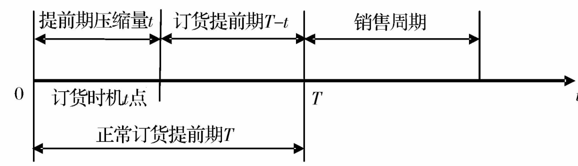

图 1 订货时机示意图

t— 销售商的订货时机，决策变量。$0 \leqslant t \leqslant T$，$t = 0$ 表示销售商按正常订货提前期订货，$t = T$ 表示最晚订货时机，t 也是订货提前期压缩量，如图 1 中所示。

c_0 —制造商的正常生产成本，即 $t = 0$ 时的生产成本

c_t —提前期压缩 t 时的生产成本，设 $c_t = c_0 + \delta t$，δ 为生产成本对提前期的敏感系数。T 时点的成本记为 c_T。

w_0 —销售商按正常订货提前期订货时的批发价格，$c_0 < w_0 < p$

w_t —提前期压缩 t 时的批发价。当制造商的生产成本随提前期压缩而提高时，他一般也会设置时变的批发价，使得批发价也随提前期的缩短而提高，由于双方势均力敌，制造商并不在供应链中占有优势地位，所以他的批发价涨幅会与成本涨幅持平。T 时点的批发价记为 w_T，$c_T < w_T < p$。

s —销售季节末未售出商品的残值，$s < c_0$

ξ —销售商单位产品的缺货成本

x —销售商面对的市场需求，假设需求服从正态分布，均值为 μ，标准差为 σ。销售商的预测精度可用标准差 σ 表示，根据前面的分析，随着订货提前期的缩短，预测精度提高，σ 变小，订货提前期为 t 时的标准差记为 σ_t，采用 Chen 等[4]的线性关系假设，σ_t 可表示为：$\sigma_t = \sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_T}{T} t$，$\sigma_0$ 为按正常订货提前期订货时需求预测的标准差，σ_T 为最晚订货时需求预测的标准差。x 的密度函数和分布函数分别记为 $f(x,t)$ 和 $F(x,t)$，表示在 t 时点订货时，预测的需求 x 的概率密度函数和分布函数，假设 $F(x,t)$ 二阶可微。标准正态分布的密度函数和分布函数分别记为 $\varphi(x)$ 和 $\Phi(x)$。

Π_s—销售商的期望利润，Π_m—制造商的期望利润，Π—供应链整体的期望利润。

后文中，下标加 j 表示集中决策供应链系统，下标加 x 表示分散决策协调系统。上标带 * 表示最优值。

3　分散系统的最优决策

分散控制供应链中,制造商和销售商是两个不同的利益主体,销售商按照使自己利润最大化的原则决定订货量和订货时机,制造商只有选择接受或不接受订货的权利。这时,销售商和制造商的期望利润函数分别为:

$$\Pi_s(q,t)=(p+\xi-w_t)q-(p+\xi-s)\int_0^q F(x,t)dx-\xi\mu \tag{1}$$

$$\Pi_m(q,t)=(w_t-c_t)q=[(w_0+\delta t)-(c_0+\delta t)]q=(w_0-c_0)q \tag{2}$$

$\Pi_s(q,t)$ 是关于 q 和 t 的二元函数,首先,要用 Hesser 矩阵是否负定来判别其最优解是否存在。但由于 $\Pi_s(q,t)$ 对 t 的一阶微分和二阶微分难以表示成代数式,故难以判别 Hesser 矩阵的负定性。但根据本文具体问题的性质,可知销售商存在利润最大的最优订货时点和最优订货量。这是因为,对于订货时点来说,销售商早订货可以获得较低的批发价,但却要承受较大的需求预测误差,带来较大的积压和短缺成本,相反,晚订货可以降低需求预测误差,减少积压和缺货成本,但却要支付较高的购买成本,因此,必存在最优的订货时点;对于订货量来说,在给定的时点订货时,订货量过多,会带来积压成本增加,订货量过少,会造成短缺成本上升,因而,也必存在最优的订货量。

当存在最优解时,要根据驻点的二阶微分来判别其存在极大值还是极小值。如果二元函数的二阶微分均为小于零的负数,则存在极大值,驻点就是最大值点。

因此,本文借鉴 Petruzzi 等[16]、Savaskan 等[17]和葛静燕[18]对此类问题的处理方法,即首先假定 t 给定,求解 q 对 t 的最优反应函数 $q^*(t)$;然后将 $q^*(t)$ 带入目标函数中,求出最优订货时点 t^*。进而将 t^* 带入最优反应函数 $q^*(t)$ 中,求出最优订货量 q^*。

在(1)式中,固定 t,求关于 q 的一阶和二阶微分,可知函数 $\Pi_s(q,t)$ 是关于 q 的严格凹函数,存在最优订货量 $q^*(t)=\mu+z\sigma_t$,

$$\text{其中,}z=\Phi^{-1}\left(\frac{p+\xi-w_t}{p+\xi-s}\right) \tag{3}$$

将 $q^*(t)$ 带入(1)式整理后有:

$$\Pi_s^*(t)=(p+\xi-s)[\mu\Phi(z)-\sigma_t\varphi(z)]-\mu\xi \tag{4}$$

由式(3)可推出 $w_t=p+\xi-(p+\xi-s)\Phi(z)$,再结合 $w_t=w_0+\delta t$,$c_T=c_0+\delta T$ 和 $\sigma_t=\sigma_0-\frac{\sigma_0-\sigma_T}{T}t$,可推导出下式:

$$\sigma_t=\sigma_0-\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[(p+\xi-w_0)-(p+\xi-s)\Phi(z)] \tag{5}$$

将(5)式带入(4)式,这样就把 $\Pi_s^*(t)$ 化为关于变量 z 的一元函数:

$$\Pi_s^*(z)=(p+\xi-s)\{\mu\Phi(z)-\sigma_0\varphi(z)+\varphi(z)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[(p+\xi-w_0)-(p+\xi-s)\Phi(z)]\}-\mu\xi \tag{6}$$

对(6)式求关于 z 的一阶和二阶导数,因为 $\varphi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x^2}{2}}$,所以 $\frac{d\varphi(x)}{dx}=-x\varphi(x)$,有:

$$\frac{d\Pi_s^*(z)}{dz}=(p+\xi-s)\varphi(z)\{\mu+z[\sigma_0-(p+\xi-w_0)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}]+(p+\xi-s)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[z\Phi(z)-\varphi(z)]\} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}\frac{d^2\Pi_s^*(z)}{dz^2}=&-z(p+\xi-s)\varphi(z)\{\mu+z[\sigma_0-(p+\xi-w_0)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}]+(p+\xi-s)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[z\Phi(z)-\varphi(z)]\}\\&+(p+\xi-s)\varphi(z)\{\sigma_0-(p+\xi-w_0)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}+(p+\xi-s)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[\Phi(z)+2z\varphi(z)]\}\end{aligned} \tag{8}$$

假设存在 z^*,使得 $\frac{d\prod_s^*(z)}{dz}\Big|_{z=z^*}=0$ 成立,则必有:

$$\mu+z^*[\sigma_0-(p+\xi-w_0)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}]+(p+\xi-s)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[z^*\Phi(z^*)-\varphi(z^*)]=0 \tag{9}$$

将 z^* 带入(8)式并引用(9)式,令 $\frac{d^2\Pi_s^*(z)}{dz^2}<0$ 的情况下,则可推出:

$$\sigma_0+(p+\xi-s)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[\Phi(z^*)+2z^*\varphi(z^*)]<(p+\xi-w_0)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0} \tag{10}$$

于是可得出:当存在 z^* 满足(9)和(10)两式时,销售商的利润在 z^* 点取得最大值。利用(3)式和 $w_t=w_0+\delta t$、$\delta=\frac{c_T-c_0}{T}$,由 z^* 可求出最优订货时点为:

$t^* = \frac{[(p+\xi-w_0)-(p+\xi-s)\Phi(z^*)]T}{c_T-c_0}$。然后求出与 t^* 对应的预测精度 $\sigma^* = \sigma_0 - \frac{\sigma_0-\sigma_T}{T}t^*$ 以及最优订货量 $q^* = \mu + z^*\sigma^*$。

销售商在 $t=0$ 的时点订货时，可计算出他的最优订货量是 $q_0^* = \mu + z_0\sigma_0$，其中 $z_0 = \Phi^{-1}(\frac{p+\xi-w_0}{p+\xi-s})$。

由(3)式和 $w_t = w_0 + \delta t$ 可知 z 是 t 的减函数。所以，当 t 在 $[0,T]$ 区间取值时，z 的变动范围为 $[z(T),z_0]$，其中 $z(T) = \Phi^{-1}(\frac{P+\xi-w_0+c_0-c_T}{p+\xi-s})$。

当(9)和(10)两式中有一个不满足时，由于 $\Pi_s^*(z)$ 是关于 z 的连续函数，因此，其必然在端点取得最大值，这时比较 $\Pi_s^*(z(T))$ 和 $\Pi_s^* = (z_0)$ 的大小，如果 $\Pi_s^*(z_0) > \Pi_s^*(z(T))$，则 $z^* = z_0$，最优订货时点 $t^*=0$，最优订货量 $q^* = q_0^* = \mu + z_0\sigma_0$。如果 $\Pi_s^*(z(T)) > \Pi_s^*(z_0)$，则 $z^* = z(T)$，最优订货时点 $t^* = T$，最优订货量 $q^* = \mu + z(T)\sigma_T$。

将 t^* 和 q^* 带入(1)和(2)式，就可得到双时变参数供应链在分散决策下销售商和制造商的利润：

$$\Pi_s^* = \Pi_s(q^*,t^*) = (p+\xi-s)[\mu\Phi(z^*) - \sigma^*\varphi(z^*)] - \mu\xi \tag{11}$$

$$\Pi_m^* = (w_0-c_0)(\mu+z^*\sigma^*) \tag{12}$$

两者相加得到供应链的利润：

$$\Pi^* = (p+\xi-s)[\mu\Phi(z^*)-\sigma^*\varphi(z^*)]-\mu\xi+(w_0-c_0)(\mu+z^*\sigma^*)$$

4 集中系统的最优决策

在集中控制的供应链中，制造商和销售商是一个利益整体，供应链决策者以供应链整体利益最大化为目标决定最优的订货量和订货时点。供应链整体的期望利润函数为：

$$\Pi_j(q,t) = (p+\xi-c_t)q-(p+\xi-s)\int_0^q F(x,t)dx - \xi\mu \tag{13}$$

采用与 3 节相同的方法可推导出：当存在满足下面两式(14)和(15)的 z_j^* 时，供应链的利润在 z_j^* 点取得最大值：

$$\mu+z_j^*[\sigma_0-(p+\xi-c_0)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}]+(p+\xi-s)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[z_j^*\Phi(z_j^*)-\varphi(z_j^*)]=0 \tag{14}$$

$$\sigma_0+(p+\xi-s)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0}[\Phi(z_j^*)+2z_j^*\varphi(z_j^*)] < (p+\xi-c_0)\frac{\sigma_0-\sigma_T}{c_T-c_0} \tag{15}$$

由 z_j^* 可求出最优订货时机 $t_j^* = \frac{[(p+\xi-c_0)-(p+\xi-s)\Phi(z_j^*)]T}{c_T-c_0}$，然后求出与 t_j^* 对应的预测精度 $\sigma_j^* = \sigma_0 - \frac{\sigma_0-\sigma_T}{T}t_j^*$ 和最优订货量 $q_j^* = \mu + z_j^*\sigma_j^*$。

当制造商不同意压缩订货提前期，销售商只能在 $t=0$ 的时点订货时，可计算出集中决策供应链的最优订货量是 $q_{j0}^* = \mu + z_{j0}\sigma_0$，其中 $z_{j0} = \Phi^{-1}(\frac{p+\xi-c_0}{p+\xi-s})$。

如果(14)和(15)两式中有一个不满足，与 3 节类似，比较 $\Pi_j^*(z_j(T))$ 和 $\Pi_j^*(z_{j0})$ 的大小，如果 $\Pi_j^*(z_{j0}) > \Pi_j^*(z_j(T))$，则 $z_j^* = z_{j0}$，最优订货时点 $t_j^* = 0$，最优订货量 $q_j^* = q_{j0}^* = \mu + z_{j0}\sigma_0$。如果 $\Pi_j^*(z_j(T)) > \Pi_j^*(z_{j0})$，则 $z_j^* = z_j(T)$，最优订货时点 $t_j^* = T$，最优订货量 $q_j^* = \mu + z_j(T)\sigma_T$。其中 $z_j(T) = \Phi^{-1}(\frac{P+\xi-c_T}{p+\xi-s})$。

将 t_j^* 和 q_j^* 带入(13)式得到双时变参数供应链在集中决策下的整体利润：

$$\Pi_j^* = (p+\xi-s)[\mu\Phi(z_j^*)-\sigma_j^*\varphi(z_j^*)]-\mu\xi \tag{16}$$

可以看出，集中决策与分散决策下的决策结果不一致，订货时点不同，订货量也不同。

5 供应链的协调方案

如何设计一种协调或激励机制，使得现实中更为普遍的分散供应链达到集中供应链的绩效，这是供应链管理中的核心问题。有效的协调契约提供了一种很好的制度安排。契约设计就要研究如何使双方都愿意压缩提前期，大家都能获利，实现共赢。

我们的契约设计思路是：比较 q^* 和 q_0^*，发现压缩订货提前期后需求预测精度提高了，销售商的订货量减少了。故造成了制造商利润的下降。因此，在制定协调策略时，就要想办法使销售商愿意多订货，以确保制造商的利润不低于正常订货时的利润。本文设计一种具有订货回馈与惩罚的动态批发价契约，即制造商制定动态的批发价 $w_{tx} = c_t + \alpha(p-c_0)$，并给销售商设定一个订货目标 q_0^*，如果销售商的订货量超过了这个目标值，即 $q > q_0^*$，制造商给予超额部分 $g = q - q_0^*$ 的每单位产品以 $b = \alpha(p-c_0)$ 的奖励，如果低于目标量，即 $q < q_0^*$，将对低

于部分 $g=q_0^*-q$ 的每单位产品予以 $b=\alpha(p-c_0)$ 的惩罚。

在此契约下，销售商的期望利润函数为：

$$\Pi_{sx}(q,t)=(p+\xi-w_{tx})q-(p+\xi-s)\int_0^q F(x,t)dx-\xi\mu+bg=(p+\xi-c_t)q-(p+\xi-s)\int_0^q F(x,t)dx-\xi\mu-\alpha(p-c_0)q_0^*=\Pi_j(q,t)-\alpha(p-c_0)q_0^*$$

显然 $\Pi_{sx}(q,t)$ 与 $\Pi_j(q,t)$ 在同一点取得最大值，即在协调契约下，分散决策与集中决策结果一致。因此，由 4 节求出的集中决策结果 (t_j^*,q_j^*) 可得到协调契约下销售商、制造商和供应链的利润分别为：

$$\Pi_{sx}^*=(p+\xi-s)[\mu\Phi(z_j^*)-\sigma_j^*\varphi(z_j^*)]-\mu\xi-\alpha(p-c_0)q_0^* \tag{17}$$

$$\Pi_{mx}^*=\alpha(p-c_0)q_0^* \tag{18}$$

$$\Pi_x^*=(p+\xi-s)[\mu\Phi(z_j^*)-\sigma_j^*\varphi(z_j^*)]-\mu\xi \tag{19}$$

对比(19)和(16)式容易得出，在具有订货回馈与惩罚的动态批发价契约下，分散决策达到了集中决策的绩效，增加了整个供应链的利润。协调契约仅仅满足整体绩效的改进还不够，只有当在它的协调下能够同时满足各成员收益的 Pareto 改进时，各方才愿意自觉地执行该契约，该契约也才能够达到有效实现供应链渠道协调的目的。

销售商和制造商的参与约束是：$\Pi_{sx}^*\geqslant\Pi_s^*$，$\Pi_{mx}^*\geqslant\Pi_m^*$。由此解得：

$$\frac{(w_0-c_0)(\mu+z^*\sigma^*)}{(p-c_0)(\mu+z_0\sigma_0)}\leqslant\alpha\leqslant\frac{p+\xi-s}{(p-c_0)(\mu+z_0\sigma_0)}\{\mu[\Phi(z_j^*)-\Phi(z^*)]-[\sigma_j^*\varphi(z_j^*)-\sigma^*\varphi(z^*)]\}$$

于是可得出：对于预测精度和生产成本双时变的供应链，当 $\alpha^L\leqslant\alpha\leqslant\alpha^U$ 时，具有订货回馈与惩罚的动态批发价契约能够实现供应链协调，供应链整体达到最优，供应链成员利润实现 Pareto 改进。其中：

$$\alpha^L=\frac{(w_0-c_0)(\mu+z^*\sigma^*)}{(p-c_0)(\mu+z_0\sigma_0)},$$

$$\alpha^U=\frac{p+\xi-s}{(p-c_0)(\mu+z_0\sigma_0)}\{\mu[\Phi(z_j^*)-\Phi(z^*)]-[\sigma_j^*\varphi(z_j^*)-\sigma^*\varphi(z^*)]\}。$$

6　算例分析

为了验证理论分析得出的结论，本节给出模型中参数的具体取值。根据相关变量的实际意义，遵循各变量之间的合理关系，为模型中的已知参数赋值如下：$p=200$，$w_0=160$，$c_0=120$，$s=20$，$\xi=30$，$\mu=360$，$T=100$，$\sigma_0=180$，$\sigma_T=40$，$c_T=150$。价格参数的单位均为元，数量参数的单位均为件，时间参数的单位均为天。

采用 Matlab 软件进行求解，计算求得分散决策的最佳订货时机 $t^*=69.804$，最优订货量 $q^*=300$，销售商利润 $\Pi_s^*=1569$，制造商利润 $\Pi_m^*=12008$，供应链利润 $\Pi^*=13577$。集中决策的最优订货时机 $t_j^*=75.702$，订货量是 $q_j^*=344$，供应链利润 $\Pi_j^*=14562$。可看出集中决策供应链的利润大于分散决策供应链的利润。在具有订货回馈与惩罚的动态批发价契约下，求得协调条件是 α 在区间 $[0.5314,0.5750]$ 内取值。表 1 描述了 α 在该区间内取值时，销售商和制造商协调后的利润以及与协调前相比的利润增量。可看出随着 α 的增加，销售商的利润增量不断减少，而制造商的利润增量逐渐增加。

表 1　双时变参数情况下销售商和制造商协调后的利润及其增量

α	Π_{sx}^*	$\Delta\Pi_s=\Pi_{sx}^*-\Pi_s^*$	Π_{mx}^*	$\Delta\Pi_m=\Pi_{mx}^*-\Pi_m^*$
0.5314	2554	985	12008	0
0.5423	2308	739	12255	247
0.5532	2061	492	12501	493
0.5641	1815	246	12747	739
0.5750	1569	0	12993	985

7　结语

相对于传统静态供应链的协调研究，探讨带有时变参数的动态供应链协调问题更符合短生命周期产品供应链的特点，当然问题也更复杂一些。本文讨论了预测精度和生产成本两个参数都时变的供应链。在分析过程中，采用三步建模法，先对分散决策进行了求解，然后求解了集中决策，通过对比两者的决策结果，发现集中供应链的服务水平和获利水平都高于分散供应链。随后为了寻求改进分散供应链绩效的策略，本文提出了具有订货回馈与惩罚的动态批发价契约。通过数理推理和数值计算证明，对带有双时变参数的短生命周期产品供应链，该契约能够实现完美协调，在满足供应链成员利益都有所改进的同时实现供应链全局最优。进一步本文还给出了协调策略具有 Pareto 优势的使能条件。

对于具有一定特殊性的短生命周期产品供应链，本文假设需求预测精度和生产成本都是随时间而变化的时变参数，虽然这一假设比传统的静态假设离实际更近了一些，但仍有完善的余地，后续研究会考虑

更多短生命周期产品供应链的特点以加进建模中。

参考文献：

[1] Gerard Cachon, Christian Terwiesch. 运营管理——供需匹配的视角(2 版)[M]. 任建标,译. 北京：中国人民大学出版社，2013.

[2] Blackburn J D. Time-based competition: the next battleground in American manufacturing [M]. Homewood: Business One Irw in,1991.

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

[4] Chen M S, Chuang C C. An extended newsboy problem with shortage-level constraints [J]. International journal production economics,2000,67(3):269－277.

[5] 蔡清波,鲁其辉,朱道立. 预测精度随时间变化的报童问题模型分析[J]. 预测,2003,22(5):42－45.

[6] 宋华明,马士华. 正态分布下时变参数的报童问题[J]. 预测,2005,24(6):67－70.

[7] 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.

[8] Lau A H L, Lau H S. The effects of reducing demand uncertainty in a manufacturer-retailer channel for single-period products [J]. Computers and operations research,2002,29 (11):1583－1602.

[9] 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.

[10] 宋华明,马士华. 二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.

[11] 宋华明. 可变提前期的易逝品供应链协调[J]. 中国管理科学,2007,15(3):68－74.

[12] 李明,戴更新,韩广华,等. 二级供应链中提前期压缩的价格协调机制[J]. 运筹与管理,2008,17(2):87－92.

[13] 宋华明,马士华. 考虑订货时间影响的扩展供应链收入共享契约[J]. 系统工程,2005,23(9):59－63.

[14] 王圣东,周永务. 考虑提前期压缩的 Newsvendor 型产品供应链协调模型[J]. 控制与决策,2010,25(9):1292－1296.

[15] Li Yina, Xu Xuejun, Zhao Xiande, et al. Supply chain coordination with controllable lead time and asymmetric information[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 217(1):108－119.

[16] Petruzzi N C, Dada M. Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions [J]. Operations Research,1999,47(2): 183－193.

[17] Savaskan R C, Bhattacharya S, Van Wassenhove L N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. Management Science,2004,50(2): 239－252.

[18] 葛静燕. 闭环供应链契约协调问题研究[D]. 上海：上海交通大学,2007.

Optimization and Coordination for Short-life-cycle Product Supply Chain with Double Time-varying Parameters of Forecast Accuracy and Cost

SU Ju-ning[1], **LIU Chen-guang**[2], **YIN Yong**[3,2]

(1. School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China;

2. School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

3. Business School, Doshisha University, Kyoto 602-8680, Japan)

Abstract: For a short-life-cycle product supply chain with controlled lead-time, the lead-time compression would raise the demand forecast accuracy of distributor, while would increase the production cost of manufacturer as well. So the supply chain management is obliged to solve the optimal ordering point and the optimal ordering quantity, as well as the coordination of distributor and manufacturer. The decision models of decentralized and centralized supply chain were proposed respectively. The optimal decisions of each party in both decentralized and centralized systems were solved. Further, an incentive scheme is developed to facilitate coordination between the two parties. The results show that the dynamic wholesale price contract based on order rebate and penalty policy is able to coordinate the supply chain with double time-varying parameters effectively, and this contract allows the system efficiency to be achieved as well as to improve the profits of all parties by tuning the contract parameter α.

Key words: supply chain coordination; short-life-cycle product; time-varying parameter; order rebate and penalty police