第 21 卷　第 5 期　　中国管理科学　　Vol. 21, No. 5
2013 年　10 月　　Chinese Journal of Management Science　　Oct.,　2013

文章编号:1003－207(2013)05－0057－11

不确定需求情境下的供应链预测契约设计

李武强[1],刘树林[2],孙荣庭[1],李毅斌[1]

(1. 长安大学经济与管理学院,陕西 西安　710064;
2. 西安交通大学管理学院,陕西 西安　710049)

摘　要:以报童模型为基础,研究了在由单一生厂商和零售商组成的供应链系统中,生产商如何通过契约设计来影响零售商的需求预测行为,使其收益最大化的问题。文章基于静态博弈模型对此问题进行了分析,发现在整合供应链情境下,当需求预测成本较小时选择预测能够获得更高的期望收益;在分散式供应链情境下,当生产商选择预测契约时,预测成本最终由生产商承担,且其期望收益为预测成本的减函数,而选择无预测契约时则为预测成本的非减函数;最后通过生产商期望收益对比,给出了最优策略。

关键词:供应链;预测;契约;缺货损失

中图分类号:F224;F274　　　**文献标识码**:A

1　引言

当前市场上存在大量的短生命周期产品,有的仅在特定时期销售,例如新款衣服、鞋等时尚服饰产品;有的则因为技术更新的加快导致其很快会被新产品所取代,例如新型手机或者电子产品。为了保证此类产品更多的售出,生产商则需根据零售商的订单在进入热销季节前进行大量生产。然而此类产品的销售,往往面对着很大的需求的不确定性[1－2]。如果订货量与市场需求不匹配则会给销售者带来较大的损失[3],例如订购过多导致的库存剩余损失[4－5],或者订货不足所造成的缺货损失[6－7]。因此,一些零售商往往在在提交订单前对市场需求进行预测,以确保合理的订货量[8]。

目前,已有许多学者基于需求预测对供应链进行了研究。例如,Miyaoka 等[9]针对由供货商和直接面对客户的生产商组成的供应链进行了研究,发现准确的预测能够提高整合供应链的系统收益;Shin 等[10]则发现当存在多个彼此竞争的零售商且预测投资可观测时,采用批发价格契约或两部制定价契约会引发预测投入过高的行为;宋华明等[11]基于贝叶斯需求预测更新方法,从供需博弈角度探讨了易逝品供应链库存管理的基本问题;陈金亮等[12]则建立了具有需求预测更新的计划模型,并设计了最小订货比例合同,激励零售商共享私人信息。然而以上研究都是基于零售商肯定会对需求信息进行预测的情景,忽略了预测成本对于零售商预测行为的影响,即是否值得预测的问题。Taylor 等[13]虽然对此问题进行了分析,但其研究是基于契约对比分析的基础上进行的,且该研究并没有考虑缺货损失对于供应链收益的影响。

当不考虑缺货损失时,就意味着需求越高零售商收益越好。事实上,当缺货损失较大时,较高的需求也有可能对零售商造成损失,此时根据准确的需求信息进行订货则显得尤为必要。已有一些学者在考虑缺货损失的基础上对供应链需求预测问题进行了研究,由于该问题的复杂性,现有研究往往对研究内容作了一定的限制,例如有些研究仅从订货商的角度进行分析,例如,胡本勇等[14]基于订货点更接近产品销售季节时预测更准确的假设,为零售商制定了延迟订货策略;Rahman 等[15]则根据不同产品需求波动类型的不同,为订货商提供了不同产品的预测方法。还有一些研究则假定供应链双方的信息是共享的,例如 Yang 等[16]对由两个供应商和一个零售商组成的供应链进行了研究,发现能否达到供应链协调与需求预测的过程无关;安彤[17]则根据需求预测的模糊程度,为供应商设计了契约来激励零售商进行促销。最后,还有一些学者仅将预测定义为供应链中某一方所拥有的信息,并没有涉及到预

收稿日期:2011－05－17; **修订日期**:2013－01－18
基金项目:国家社会科学基金资助项目(13BJY080);陕西省软科学研究计划项目(2012KRZ10)
作者简介:李武强(1984－),男(汉族),河南三门峡,长安大学经济与管理学院讲师,博士,研究方向:供应链.

测的方式或者原理(如根据时间序列预测或者市场调研),例如 Yan 等[18]对于由授权方和特许经营方组成的供应链的研究,Wu 等[19]基于集成存货政策对供应链的研究等。

综上所述可知,目前针对供应链中零售商需求预测行为的研究,较少的考虑预测成本以及缺货损失对于预测行为的影响,特别是缺货损失方面的研究,往往是基于特定背景以及假设的基础上进行的。本文在已有研究的基础上,针对由单一生产商和零售商组成的供应链,研究了生产商如何通过契约设计来影响零售商的需求预测行为,使其收益最大化的问题。相对于已有研究,本文具有以下特点:其一,预测信息并非完全共享,零售商是否对市场进行了预测,生产商并不知情;其二,不同于基于时间序列的需求预测情景,本研究中预测行为指的是零售商在提交订单前花费一定的成本对市场需求进行调研,强调了生产周期的紧迫性,更加符合现实中零售商的预测行为;其三,基于生产商的角度,在考虑缺货损失的基础上运用激励相容理论构建契约。

文章的研究思路如下:首先对整合供应链下的是否需要需求预测的问题进行了分析;其次在分散式供应链情境下,针对供应商不希望零售商进行需求预测以及希望零售商进行需求预测的两种情景分别构建了订货契约,并通过两种情景的对比得出了生产商的最优策略;最后,通过算例分析对文中结论进行了检验。

2 模型设计

根据上述研究问题,本文假定存在一个由单一生产商和零售商组成的供应链,其中零售商在销售季节到来之前向生产商订购产品,生产商则根据订单进行生产。由于零售商直面客户群体,因此其具备花费一定成本对市场进行调研,获取更准确的需求信息的能力。而生产商在供应链中占主导地位,其主要目的在于通过契约来影响零售商的需求预测行为,使其收益最大化。基于上述情景,本文做以下假设。

假设零售商在销售季节到来之前向生产商订购 q 单位产品并支付订购费用 T,生产商则根据订单进行生产,单位产品生产成本 c_M。产品销售价格 p 由市场决定,缺货成本 c_O。所售产品具有短生命周期特征,且销售期过后剩余产品对于顾客的价值大幅下降,本文中假定剩余产品的价格忽略不计。

市场需求为公共信息,其为服从 $F_N(\cdot)$ 分布的非负随机变量 D_N,且 $E(D_N)=\mu_N$,其中 N 表示没有对市场需求进行预测 。在产品订购前零售商选择是否进行预测,预测成本 g 亦为公共信息。如果预测,则会得到更准确的市场需求信号 $S\in\{L,H\}$。需求信号 S 对应的市场需求为服从 $F_S(\cdot)$ 分布的非负随机变量 D_S,且 $S=H$ 的概率为 α,$S=L$ 的概率为 $(1-\alpha)$,$E(D_S)=\mu_S$。由此可知,$F_N(x)=\alpha F_H(x)+(1-\alpha)F_L(x)$,$\mu_N=\alpha\mu_H+(1-\alpha)\mu_L$。

定义需求信号 L 表示市场需求较低的情景,信号 H 表示市场需求较高的情景,则有 $F_H(x)\leqslant F_L(x)$,$\mu_H\geqslant\mu_L$。为了下文描述方便,定义 $\bar{F}_S(x)\equiv 1-F_S(x)$,$S\in\{L,N,H\}$;易知 $F_S(x)$ 为非减函数,相应的 $\bar{F}_S(x)$ 为非增函数。

假定生产商和零售商风险中性,且生产商在供应链中处于优势地位,零售商参与供应链的条件为其期望收益大于保留收益,为了描述方便并不失一般性,我们假设零售商的保留收益为零。为了避免缺货损失,零售商往往会订购更多的产品,而这往往会造成严重的产品剩余,因此准确的市场需求信息显得格外重要。然而,当预测成本足够大时,对市场需求进行预测则会得不偿失,造成供应链系统期望收益的下降,进而损害生产商的利益。如何针对不同的预测成本及需求信号设计订货契约 (q_C,T_C),来保证生产商的利益则显得十分必要。其中 $c\in\{L,N,H\}$,表示契约类型。

生产商和零售商行动序列如下:

(1)生产商根据预测成本设计契约。

(2)零售商选择是否预测。如果预测,则得到需求信号 S(私有信息)。

(3)零售商选择契约,或者不参与供应链。如果选定契约,则根据契约信息向生产商订货并支付订购费用。

(4)零售商销售产品,获得收益。

3 整合供应链情景

基于模型假设,本文首先对整合供应链情境下的最优策略进行了分析。在整合供应链情境下,决策者只有一个,系统的目标为期望收益最大化。此时,需要决策的问题有两个:其一,是否需要进行预测;其二,产品的最佳生产量。为了解决这两个问题,本节首先分析了没有对市场需求进行预测时,产品的最佳生产量以及系统的期望收益;其

次，分析了对市场需求进行预测时，对应不同需求信号的最佳产品生产量以及系统期望收益；最后，对不预测情境和预测情境的系统期望收益进行比较，找出两种情景下系统期望收益相等时的预测成本，并定义其为预测成本的临界值，给出系统的最优策略，并以此为基准与下文的分散供应链情景进行对比分析。

如果系统决定对市场需求不进行预测，则其所得到的需求信息为 D_N，此时决策变量为产品生产量 q_N，系统的期望收益为：

$$\prod\nolimits_N(q_n) = pE\min(D_N, q_N) - c_O E\max(D_N - q_N, 0) - c_M q_N = p\left[\int_0^{q_N} x f_N(x)dx + q_N(1 - F_N(q_N))\right] - c_O\int_{q_N}^{+\infty}(x - q_N)f_N(x)dx - c_M q_N = (p + c_O)\int_0^{q_N}\bar{F}_N(x)dx - c_M q_N - c_O\mu_N$$

易知 $\prod_N(q_n)$ 是关于 q_N 的凹函数，并且在 $q_N^I = \bar{F}_N^{-1}(\frac{c_M}{p + c_O})$ 处取得最大值。

如果系统选择预测，则其花费成本 g 并得到市场需求信号 $S \in \{H, L\}$，此时决策变量为 q_S。根据所得到的需求信息，不包含预测成本的系统期望收益为：

$$\prod\nolimits_F(q_H, q_L) = \alpha[pE\min(D_H, q_H) - c_O E\max(D_H - q_H, 0) - c_M q_H] + (1 - \alpha)[pE\min(D_L, q_L) - c_O E\max(D_L - q_L, 0) - c_M q_L] = \alpha\left[(p + c_O)\int_0^{q_H}\bar{F}_H(x)dx - c_M q_H\right] + (1-\alpha)\left[(p + c_O)\int_0^{q_L}\bar{F}_L(x)dx - c_M q_L\right] - c_O\mu_N$$

易知 $\prod_F(q_H, q_L)$ 是关于 q_S 的凹函数，并且在 $q_S^I = \bar{F}_S^{-1}(\frac{c_M}{p + c_O})$ 处取得最大值。同时，可知系统的期望收益（$\prod_F(q_L^I, q_H^I) - g$）是关于预测成本 g 的减函数，且：

$$\prod\nolimits_F(q_L^I, q_H^I) \geqslant \prod\nolimits_F(q_N^I, q_N^I) = \prod\nolimits_N(q_N^I)$$

由上可知，必然存在预测成本临界值 $g^I \equiv \prod_F(q_L^I, q_H^I) - \prod_N(q_N^I)$。

定理 1　当 $g < g^I$ 时，整合系统最优策略为预测，且当需求信号为 $L(H)$ 时产品的最佳生产量为 $q_L^I(q_H^I)$；当 $g \geqslant g^I$ 时，不预测并生产产品 q_N^I。

由定理 1 可知，当市场需求的预测成本较小时，对市场需求进行预测能获得较高的期望收益，此时如果预测到的市场需求为高需求情景则产品最优生产量为 q_H^I，如果预测到的市场需求为低需求情景则产品最优生产量为 q_L^I；当市场需求预测成本较高时，对市场进预测会减少系统的期望收益，此时系统的最优策略为不进行预测并直接生产产品量 q_N^I。

4　分散式供应链

与整合式供应链情境下决策方式不同，在分散式供应链情景下，生产商和零售商各自决策，且零售商仅当收益非负时才会向生产商订货。本节基于生产商的角度进行契约设计，期望通过契约来控制零售商的预测决策，使生产商的期望收益最大化。同上节一样，本节首先分析了生产商不希望零售商进行预测时，该如何设计契约；其次，分析了生产商希望零售商进行预测时如何设计契约；最后，对以上两种情景的生产商期望收益进行对比，找出了预测成本的临界值，给出了生产商的最优策略。

在分散式供应链情境下，零售商和生产商的期望收益分别为：

$$R(S, C) = pE\min(D_S, q_C) - c_O E\max(D_S - q_C, 0) - T_C$$

$$M(q_C, T_C) = T_C - c_M q_C$$

上式中，S 表示零售商所观测到的市场需求信号，$S = N$ 表示零售商没有进行预测；C 则表示零售商所选择的契约类型。各情境下零售商的期望收益函数见附录 1。

4.1　无预测契约

假定需求预测成本足够大时，对需求进行预测会使得供应链以及生产商的期望收益减少，此时生产商为了确保零售商选择不预测并接受契约，其提供唯一契约（q_N, T_N）。而零售商为了确保自己收益最大化则根据所给契约进行决策，首先选择是否进行预测，然后选择是否接受契约。如果零售商选择预测并得到一定的市场信号 $S \in \{H, L\}$，其只有在 $R(S, N) \geqslant 0$ 时才会接受契约，否则拒绝参与。因此，如果零售商选择预测，其期望收益：

$$R_F(S, N) = \alpha\max(R(H, N), 0) + (1 - \alpha)\max(R(L, N), 0)$$

根据零售商的选择可知，防止零售商进行预测并确保生产商收益最大化的契约必满足：

$$\max_{q_N, T_N}\ \{T_N - c_M q_N\}$$

$s.t.$

$R(N,N) \geqslant R_F(S,N) - g \quad (IC)$

$R(N,N) \geqslant 0 \quad (IR)$

在上式中,激励相容约束 (IC) 表明零售商选择不预测并接受契约时的期望收益要大于预测后的期望收益,从而确保零售商不会选择预测。而理性约束 (IR) 则表明零售商在不预测时会接受契约,保证了零售商会参与供应链。

由目标函数求解比较复杂,因此需要结合不同的情景对其进行简化处理。首先,对激励相容约束 (IC) 进行分析。可知,若零售商预测后所得收益为负,即 $R_F(S,N) < 0$,则 (IC) 自然成立;若零售商预测后,对应于任何市场信号其收益都非负,即 $R_F(S,N) \geqslant 0$,则 $R(N,N) = R_F(S,N)$,显然此情景下则 (IC) 也成立。因此,激励约束条件 (IC) 仅需要从以下两种情况进行考虑:

(1)当 $R(L,N) \leqslant 0$, $R(H,N) \geqslant 0$ 时,(IC) 可转换为 $(1-\alpha)[R(N,N) - \Phi(q)] + g \geqslant 0$,即 $R(N,N) \geqslant \Phi(q) - g/(1-\alpha)$;

(2)当 $R(L,N) \geqslant 0$, $R(H,N) \leqslant 0$ 时,(IC) 可转换为 $\alpha R(N,N) + (1-\alpha)\Phi(q) + g \geqslant 0$,即 $R(N,N) \geqslant -[(1-\alpha)\Phi(q) + g]/\alpha$。

其中 $\Phi(q) = (p+c_O)\int_0^q [\bar{F}_N(x) - \bar{F}_L(x)]dx - c_O(\mu_N - \mu_L)$,其表示零售商不预测时所获期望收益与预测后所得市场需求信号为 L 时的期望收益之差。

由上分析可将激励约束 (IC) 转换为:

$\min\{(1-\alpha)[R(N,N) - \Phi(q)], \alpha R(N,N) + (1-\alpha)\Phi(q), 0\} + g \geqslant 0 \quad (IC')$

生产商的期望收益亦可表示为系统期望收益减去零售商期望收益($\prod_N(q_N) - R(N,N)$),其关于 $R(N,N)$ 递减。根据理性约束 (IR) 可知,当 $R(N,N) = 0$ 时生产商期望收益最大化。结合约束方程 (IC') 及 (IR) 取 $R(N,N)$ 的最小值,此时 $R(N,N) = \max\{\Phi(q) - g/(1-\alpha), -[(1-\alpha)\Phi(q) + g]/\alpha, 0\}$。

通过上述分析,将有约束的目标方程 (OBJ) − (IR),可以转换成无约束的目标方程:

$$\max_{q_N} \{\prod_N(q_n) - \max\{\Phi(q) - g/(1-\alpha), -[(1-\alpha)\Phi(q) + g]/\alpha, 0\}\} (OBJ')$$

对上式求解可发现,最优契约并非是确定的,而是与 $\Phi(q_N^I)$ 有关。首先给出 $\Phi(q_N^I) \geqslant 0$ 时的契约。

定理 2 当 $\Phi(q_N^I) \geqslant 0$ 时,防止零售商进行预测的最优订货量、订购费用契约 (q_N^*, T_N^*) 为:

$$(q_N^*, T_N^*) = \begin{cases} (q_L^I, (p+c_O)\int_0^{q_L^I} \bar{F}_L(x)dx - c_O\mu_L + g/(1-\alpha) & g \in [0, (1-\alpha)\Phi(q_L^I)) \\ (\Phi^{-1}(\frac{g}{1-\alpha}), (p+c_O)\int_0^{\Phi^{-1}(\frac{g}{1-\alpha})} \bar{F}_N(x)dx - c_O\mu_N) & g \in (1-\alpha)[\max\{0, \Phi(q_L^I)\}, \Phi(q_N^I)) \\ (q_N^I, (p+c_O)\int_0^{q_N^I} \bar{F}_N(x)dx - c_O\mu_N) & g \geqslant (1-\alpha)\Phi(q_N^I) \end{cases}$$

由定理 2 可知,当预测成本较高时,即 $g \geqslant (1-\alpha)\Phi(q_N^I)$ 时,如果零售商对市场需求进行预测,则无论市场需求为何种情景其期望收益都为负,而由理性约束 (IR) 可知,如果零售商选择不预测时其收益为零,因此零售商必然选择不预测并接受契约,此情景下生厂商获得最大收益;当预测成本减少时,即当 $g \in (1-\alpha)[\max\{0, \Phi(q_L^I)\}, \Phi(q_N^I))$ 时,随着预测成本的降低,生产商为了防止零售商进行预测,必须降低契约中产品的生产量,显然此举会导致生产商以及供应链整体收益的下降;当预测成本 $g \in [0, (1-\alpha)\Phi(q_L^I))$,零售商选择对市场需求进行预测时的期望收益为正,此情景下生产商为了防止零售商进行预测,必须使得零售商选择不预测时的期望收益等于选择预测时的期望收益,显然此情景下零售商会获得一定的收益。

由上述分析可知,零售商在给定契约情境下,必然不会对需求进行预测,其期望收益为:

$$R_N = \begin{cases} \Phi(q_L^I) - \frac{g}{1-\alpha} & g \in [0, (1-\alpha)\Phi(q_L^I)) \\ 0 & g \geqslant \max\{0, (1-\alpha)\Phi(q_L^I)\} \end{cases}$$

易知,当预测成本较小时,即 $g \in [0, (1-\alpha)\Phi(q_L^I))$ 时零售商获得额外的期望收益,且收益随着预测成本的增加而减少;当 $g \geqslant \max\{0, (1-\alpha)\Phi(q_L^I)\}$ 时零售商的期望收益为零,而生产商的期望收益即为系统的期望收益。

在零售商接受契约后,生产商的期望收益为:

$$M_N=\begin{cases}(p+c_O)\int_0^{q_L^I}\bar{F}_L(x)dx-c_O\mu_L-c_Mq_L^I+g/(1-\alpha) & g\in[0,(1-\alpha)\Phi(q_L^I))\\(p+c_O)\int_0^{\Phi^{-1}(\frac{g}{1-\alpha})}\bar{F}_N(x)dx-c_O\mu_N-c_M\Phi^{-1}(\frac{g}{1-\alpha}) & g\in(1-\alpha)[\max\{0,\Phi(q_L^I)\},\Phi(q_N^I))\\(p+c_O)\int_0^{q_N^I}\bar{F}_N(x)dx-c_O\mu_N-c_Mq_N^I & g\geqslant(1-\alpha)\Phi(q_N^I)\end{cases}$$

由上式可以看出，当 $g\geqslant(1-\alpha)\Phi(q_N^I)$ 时，生产商取得固定收益，且其收益与整合供应链情境下的无预测契约收益相等，此时可到达供应链协调；当 $g<(1-\alpha)\Phi(q_N^I)$ 时，生产商的收益随着预测成本的减少而减少，这与定理 2 的分析结果是一致的。

定理 3　当 $\Phi(q_N^I)<0$ 时，防止零售商进行预测的最优订货量、订购费用契约 (q_N^*,T_N^*) 为：

$$(q_N^*,T_N^*)=\begin{cases}(q_H^I,(p+c_O)\int_0^{q_H^I}\bar{F}_H(x)dx-c_O\mu_H+g/(1-\alpha) & g\in[0,-(1-\alpha)\Phi(q_H^I))\\(\Phi^{-1}(\frac{-g}{1-\alpha}),(p+c_O)\int_0^{\Phi^{-1}(\frac{-g}{1-\alpha})}\bar{F}_N(x)dx-c_O\mu_N) & g\in(1-\alpha)[\max\{0,-\Phi(q_H^I)\},-\Phi(q_N^I))\\(q_N^I,(p+c_O)\int_0^{q_N^I}\bar{F}_N(x)dx-c_O\mu_N) & g\geqslant-(1-\alpha)\Phi(q_N^I)\end{cases}$$

定理 3 根据预测成本的不同制定相应的契约，其原因与定理 2 相同，此处不再赘述。另外，在定理 3 所述契约情境下，零售商和生厂商的收益函数同当定理 2 情景类似，此处不再重复。而之所以分两种情景分别制定对应的无预测契约，主要原因在于缺货损失的存在，使得供应链期望收益更加不确定，即使高需求也未必带来高收益。

4.2　预测契约

假定当预测成本 g 足够小时，零售商选择预测并接受契约后生产商获得最大期望收益，此时为了激励零售商对市场进行预测，生产商分别针对不同预测信号提供契约 (q_L,T_L)，(q_H,T_H)。同前一节一样，对于给定契约零售商先选择是否进行预测，再决定是否接受契约。此时，确保零售商进行预测且使生产商获得最大期望收益的契约必满足：

$$\max_{(q_L,T_L),(q_H,T_H)}\{\alpha(T_H-c_Mq_H)+(1-\alpha)(T_L-c_Mq_L)\}\quad(OBJ)$$

s.t.

$$R(L,L)\geqslant 0\quad(IR1)$$

$$R(H,H)\geqslant 0\quad(IR2)$$

$$R(L,L)\geqslant R(L,H)\quad(IC1)$$

$$R(H,H)\geqslant R(H,L)\quad(IC2)$$

$$\alpha R(H,H)+(1-\alpha)R(L,L)-g\geqslant 0\quad(IR3)$$

$$\alpha R(H,H)+(1-\alpha)R(L,L)-g\geqslant R(N,H)\quad(IC3)$$

$$\alpha R(H,H)+(1-\alpha)R(L,L)-g\geqslant R(N,L)\quad(IC4)$$

上式中，激励相容约束 $(IC1)$ 和 $(IC2)$ 表明，零售商在得到需求信号 $L(H)$ 后选择与信号对应的契约 (q_L,T_L) $((q_H,T_H))$ 会获得较高的收益，确保了零售商一定会选择与信号对应的契约。$(IR1)$ 和 $(IR2)$ 则表明当零售商预测并选择与需求信号相对应的契约后所获得的收益大于其保留收益，确保了零售商在预测后参与供应链。$(IC3)$ 和 $(IC4)$ 表明零售商选择预测后所获得的期望收益要大于其不预测而任选一类契约的期望收益，这就保证了零售商如果接受契约，则其一定选择预测。$(IR3)$ 则表明零售商选择预测并接受契约的期望收益会大于其保留收益，保证了零售商会对市场需求进行预测并参与供应链。

对上述约束方程进行简化，以便于分析，具体如下。由于 $R(N,L)=\alpha R(H,L)+(1-\alpha)R(L,L)$，因此可将 $(IC3)$ 转换为 $R(L,L)-R(L,H)\geqslant g/(1-\alpha)$，由此可得出 $(IC1)$；同理，可由 $(IC4)$ 得出 $(IC2)$。

由此，$(OBJ)-(IC4)$ 可转换为：

$$\max_{(q_L,T_L),(q_H,T_H)}\{\alpha(T_H-c_Mq_H)+(1-\alpha)(T_L-c_Mq_L)\}\quad(OBJ')$$

s.t.

$$R(L,L)\geqslant 0\quad(IR1')$$

$$R(H,H)\geqslant 0\quad(IR2')$$

$$\alpha R(H,H)+(1-\alpha)R(L,L)-g\geqslant 0\quad(IR3')$$

$$R(L,L)-R(L,H)\geqslant g/(1-\alpha)\quad(IC3')$$

$R(H,H)-R(H,L)\geqslant g/\alpha$ $(IC4')$

根据库恩塔克定理可知 $(OBJ')-(IC4')$ 的最优解位于可行域边界上，由于在 $(IC3')$ 与 $(IC4')$ 的边界线上 T_H 随着 T_L 的增大而增大，且目标函数 (OBJ') 是关于 T_H 和 T_L 的增函数，因此可知最优解必位于 $(IR1')$、$(IR2')$ 或 $(IR3')$ 的边界线上（附录2）。由于最优契约的解存在不确定性，因此下文将根据相应的约束条件分别进行求解。

(1)最优解位于 $(IR1')$ 的边界线上，即 $R(L,L)=0$。

此情景下，$T_L=(p+c_O)\int_0^{q_L}\bar{F}_L(x)dx-c_0\mu_L$，则 $(IR3')$ 转变为 $R(H,H)\geqslant g/\alpha$，由此可知，$(IR2')$ 必然成立。

定义：$\Delta(q)=E[\min(D_H,q)-\min(D_L,q)]$

$\Upsilon(q_L,q_H)=\alpha(1-\alpha)(p+c_O)[\Delta(q_H)-\Delta(q_L)]$

$T_{H1}=(p+c_O)\int_0^{q_H}\bar{F}_H(x)dx-(p+c_O)\Delta(q_L)-c_0\mu_L-g/\alpha$ $T_{H2}=(p+c_O)\int_0^{q_H}\bar{F}_H(x)dx-c_0\mu_H-g/\alpha$

目标函数 (OBJ') 是关于 T_H 的增函数，且根据 $(IR3')$ 和 $(IC4')$ 分别可以得出：

$T_H\leqslant T_{H2}$ $(IR3'')$；$T_H\leqslant T_{H2}$ $(IC4'')$。

由约束方程 $(IR3'')$、$(IC4'')$ 可知 $T_H=\min(T_{H1},T_{H2})$。当 $\Phi(q_L)\geqslant 0$ 时，$T_H=T_{H1}$；当 $q_L\leqslant\Phi^{-1}(0)$ 时，$T_H=T_{H2}$。以下分两种情况来讨论，首先令 $T_H=T_{H1}$，此时 $(OBJ')-(IC4')$ 转变为：

$$\max_{(q_L,T_L),(q_H,T_H)}\{\alpha(T_{H1}-c_Mq_H)+(1-\alpha)(T_L-c_Mq_L)\} \quad (OBJ'')$$

s.t.

$\Upsilon(q_L,q_H)\geqslant g$ $(IC3'')$

$q_L\geqslant\Phi^{-1}(0)$ $(IC4''-IR3'')$

由 $(IC3'')$ 可知，当 $\Upsilon(q_L,q_H)<g$ 时，即意味着零售商在预测情境下的期望收益要小于不预测而直接选择 (q_H,T_H) 的期望收益，此时，必须提高 q_H 以诱导零售商进行预测，相应的生产商也会损失一定的期望收益。定义 $\Upsilon_H(q_H)=\Upsilon(q_{L1}^*,q_H)$，其为 q_H 的增函数。此时成立的条件为 $\Upsilon_H(q_H)\geqslant g$，即 $q_H\geqslant\Upsilon_H^{-1}(g)$。由以上分析可得出最优契约，如下：

引理1 引导零售商进行预测的订货量、订购费用预测契约 (q_{L1}^*,T_{L1}^*)，(q_{H1}^*,T_{H1}^*) 为：

$$q_{L1}^*=\max\{\underset{q_L\geqslant 0}{\mathrm{argmax}}\{(p+c_O)\int_0^{q_L}[\bar{F}_L(x)-\alpha\bar{F}_H(x)]dx-(1-\alpha)c_Mq_L\},\Phi^{-1}(0)\}$$

$$T_{L1}^*=(p+c_O)\int_0^{q_{L1}^*}\bar{F}_L(x)dx-c_O\mu_L$$

$$q_{H1}^*=\max\{q_H^I,\Upsilon_H^{-1}(g)\}$$

$$T_{H1}^*=(p+c_O)\int_0^{q_{H1}^*}\bar{F}_H(x)dx-c_O\mu_L-(p+c_O)\Delta(q_{L1}^*)-g/\alpha$$

对于给定契约 (q_{L1}^*,T_{L1}^*)、(q_{H1}^*,T_{H1}^*)，由约束方程可知，零售商必然会选择预测，并根据所得到的需求信号选择相对应的契约。此时，零售商的期望利润为：

$$R_{F1}=\alpha R(H,H)+(1-\alpha)R(L,L)-g=\Phi^{-1}(q_{L1}^*)$$

由上式可以看出零售商在面对预测契约时，其期望收益为固定值，仅与 q_{L1}^* 有关。而此时，生产商的收益为：

$$M_{F1}=\alpha(T_{H1}^*-c_Mq_{H1}^*)+(1-\alpha)(T_{L1}^*-c_Mq_{L1}^*)=\alpha[(p+c_O)\int_0^{q_{H1}^*}\bar{F}_H(x)dx-c_Mq_{H1}^*]+(1-\alpha)[(p+c_O)\int_0^{q_{L1}^*}\frac{\bar{F}_L(x)-\alpha\bar{F}_H(x)}{1-\alpha}dx-c_Mq_{L1}^*]-c_O\mu_L-g$$

由上式可得知，生产商的收益随着预测成本的增加而减少，并且预测成本完全由生产商承担。

同理，当 $T_H=T_{H2}$ 时，可得出引理2。

引理2 引导零售商进行预测的订货量、订购费用预测契约 (q_{L2}^*,T_{L2}^*)，(q_{H2}^*,T_{H2}^*) 为：

$$q_{L2}^*=\min\{q_L^I,\Phi^{-1}(0)\}$$

$$T_{L2}^*=(p+c_O)\int_0^{q_{L2}^*}\bar{F}_L(x)dx-c_O\mu_L$$

$$q_{H2}^*=\max\{q_H^I,\Phi^{-1}(g/(1-\alpha))\}$$

$$T_{H2}^*=(p+c_O)\int_0^{q_{H2}^*}\bar{F}_H(x)dx-c_O\mu_H-g/\alpha$$

引理2的分析同引理1的分析类似，不再赘述，以下于此雷同。

在此契约下：$R_{F2}=0$；$M_{F2}=\alpha(T_{H2}^*-c_Mq_{H2}^*)+(1-\alpha)(T_{L2}^*-c_Mq_{L2}^*)$。

(2)最优解位于 $(IR2')$ 的边界线上，即 $R(H,H)=0$。

此情景下，与 $(IR1')$ 边界线 $R(L,L)=0$ 的分析类似，最优解的可能为两种，分别通过引理3和引理4给出。

定义：$\Upsilon_L(q_L)=\Upsilon(q_L,q_{H4}^*)$，其为 q_L 的减函数。

引理3 引导零售商进行预测的订货量、订购费用预测契约 (q_{L3}^*,T_{L3}^*)，(q_{H3}^*,T_{H3}^*) 为：

$$q_{L3}^{*} = \min\{q_L^I, \Phi^{-1}(-g/(1-\alpha))\}$$

$$T_{L3}^{*} = (p+c_O)\int_0^{q_{L3}^{*}} \bar{F}_L(x)dx - c_O\mu_L - g/(1-\alpha)$$

$$q_{H3}^{*} = \max\{q_H^I, \Phi^{-1}(0)\}$$

$$T_{H3}^{*} = (p+c_O)\int_0^{q_{H3}^{*}} \bar{F}_H(x)dx - c_O\mu_H$$

在此契约下：$R_{F3} = 0$；$M_{F3} = \alpha(T_{H3}^{*} - c_M q_{H3}^{*}) + (1-\alpha)(T_{L3}^{*} - c_M q_{L3}^{*})$。

引理 4　引导零售商进行预测的订货量、订购费用预测契约 (q_{L4}^{*}, T_{L4}^{*})，(q_{H4}^{*}, T_{H4}^{*}) 为：

$$q_{L4}^{*} = \min\{q_L^I, \Upsilon_L^{-1}(g)\}$$

$$T_{L4}^{*} = (p+c_O)\int_0^{q_{L4}^{*}} \bar{F}_L(x)dx - c_O\mu_H + (p+c_O)\Delta(q_{H4}^{*}) - g/(1-\alpha)$$

$$q_{H4}^{*} = \min\{\underset{q_H \geqslant 0}{\operatorname{argmax}}\{(p+c_O)\int_0^{q_H}[\bar{F}_H(x)-(1-\alpha)\bar{F}_L(x)]dx - \alpha c_M q_H\}, \Phi^{-1}(0)\}$$

$$T_{H4}^{*} = (p+c_O)\int_0^{q_{H4}^{*}} \bar{F}_H(x)dx - c_O\mu_H$$

在此契约下：$R_{F4} = -\Phi^{-1}(q_{H4}^{*})$；$M_{F4} = \alpha(T_{H4}^{*} - c_M q_{H4}^{*}) + (1-\alpha)(T_{L4}^{*} - c_M q_{L4}^{*})$。

(3)最优解位于 $(IR3)$ 的边界线上，即 $\alpha R(H,H) + (1-\alpha)R(L,L) = g$。

在 $(IR3)$ 边界线上，生产商的最优期望收益等于引理 2 情境下的期望收益(附录 3)，因此省略此边界线上关于预测契约的描述，当生产商选择最优预测契约时可参照引理 2。

综上所述，当市场行情确定时，依据以上四类契约对生产商的期望收益进行对比，选择使生产商期望收益最大的契约，并定义其为最优预测契约。

定理 4　引导零售商进行预测的最优契约为 (q_{Lj}^{*}, T_{Lj}^{*})，(q_{Hj}^{*}, T_{Hj}^{*})，且 $M_{Fj} \geqslant \max_{i \neq j} M_{Fi}$，$i,j = 1,2,3,4$。

由上述分析可知，生产商为了激励零售商进行需求预测，必须根据预测成本对产品生产量进行调整，而这会导致生产商期望收益的减少，且在最优契约情境下预测成本由生产商承担，其期望收益 M_{Fi} 随着预测成本的增加而减少，并且此情景下供应链的收益明显小于整合供应链情景；零售商在给定的契约情境下，会选择接受契约并对市场需求进行预测，其期望收益 R_{Fi} 为固定值，仅与生产商所选择的契约相关，与预测成本无关。

4.3　生产商的最优策略

上文已分别给出在分散式供应链情境下，无预测以及预测情景下生产商的最优契约，并得出了相应的生产商期望收益。本部分主要通过两种情景下生产商期望收益的对比，探讨是否存在预测成本临界值，并为生产商制定最优的策略。

由上文可知 M_{Fj} 是关于预测成本 g 的减函数，而 M_N 是关于 g 的非减函数。因此，当 $g=0$ 时，若 $M_{Fj} \geqslant M_N$，则必然存在预测成本临界值 $g^{II} \geqslant 0$，使得 $M_{Fj} = M_N$；若 $M_{Fj} < M_N$，则表明在任何情境下无预测契约都要优于预测契约，g^{II} 不存在。

定理 5　若 g^{II} 存在，则当 $g < g^{II}$ 时，生产商的最优策略为提供最优预测契约；若 g^{II} 存在且 $g \geqslant g^{II}$，或者 g^{II} 不存在时，生产商的最优策略为提供最优无预测契约。

在分散式供应链情境下，由于零售商预测信息的不对称性增加了两类契约中生产商期望收益的不确定性，使得预测成本临界值更加难以确定。显然，如果存在预测成本临界值，则生产商的策略选择同定理 1 相似；如果不存在预测临界值，则不对市场需求进行预测最优。

5　算例

上文通过数理模型分析，分别构建了整合式以及分散式供应链两种情景下的最优契约，并描述了需求预测成本与最优契约、供应链双方收益的关系，下文则对相关参数赋值，通过算例分析，对上文结论进行验证。

令 $\alpha = 0.6$，$p = 20$，$c_O = 15$，$c_M = 5$，$D_H \sim e(1/12)$，$D_L \sim e(1/10)$，可得出以下结果。

在分散式供应链情境下，$q_N^I = 21.79$，可知 $\Phi(q_N^I) = 6.76 \geqslant 0$，因此在无预测契约中选择定理 2－1 中的契约。而在预测契约中 $M_{Fj} = M_{F1} = M_{F2}$，因此根据定理 4 在本算例中选择 $j=1$ 作为最优预测契约(或者选择 $j=2$ 亦可，对生产商最优策略的选择无影响)，由引理 1－1 可知 $q_{L1}^{*} = \Phi^{-1}(0) = 16.02$，且当 $g \leqslant \Upsilon_H(q_H^I) = 3.33$ 时，$q_{H1}^{*} = q_H^I = 23.35$。而当 $g = 0$ 时，$M_{F1} = 57.70 > M_N = 52.70$，因此可知必然存在需求预测临界值 $g^{II} = 1.43$。根据定理 5 可知，当 $g < 1.43$ 时，生产商的最优策略为提供预测契约 $(16.02, 129.48)$，$(23.35, 180.00 - g/0.6)$；当 $g \geqslant 1.43$ 时，生产商的最优策略为提供定理 2 中的无预测契约。

根据图 1 可知，当 $g \in [0, 1.43)$ 时，零售商的收益为 0，生产商获得系统的期望收益，且其收益随着预测成本的增加而减少。当 $g \in [1.43, 1.68)$

时，零售商获得额外期望收益，并随着预测成本的增加而减少，根据前文分析可知此收益为生产商防止零售商选择预测所做的补偿，其大小等于零售商预测后选择无预测契约的期望收益(图 1－b)；生产商的期望收益在此阶段随着预测成本的增加而增加，而系统期望收益则恒定为 56.91。当 $g \in [1.68, 2.7)$ 时，零售商的收益为 0，生产商获得系统的期望收益，且其收益随着预测成本的增加而增加。当 $g \in [2.7, +\infty)$ 时，生产商获得恒定的系统期望收益。

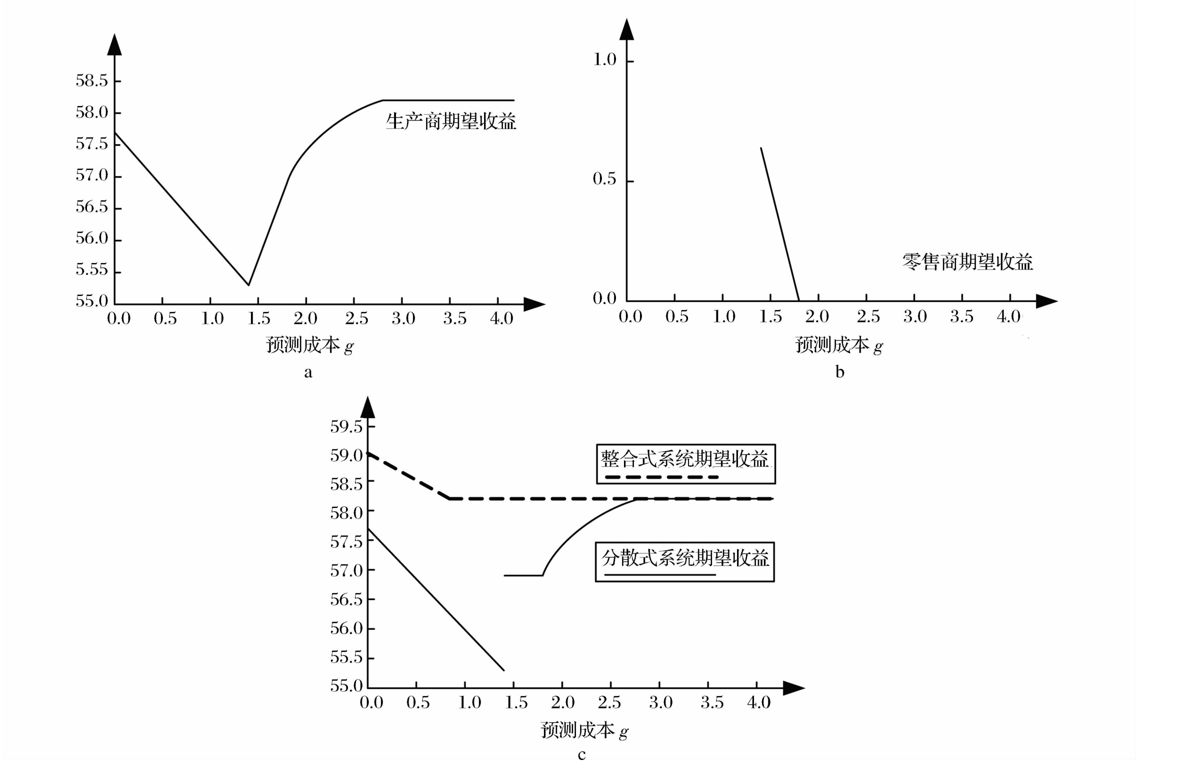

图 1 期望收益与预测成本

在整合式系统中(图 1－c)，$g^I = 0.82$，根据定理 1 可知：当 $g < 0.82$ 时，选择预测会获得较高的期望收益；当 $g \geqslant 0.82$ 时，选择不预测为系统最优选择，且当 $g \geqslant 2.7$ 时，分散式系统和整合式系统期望收益相等。

6 结语

本文研究了需求不确定情境下，如何设定契约来引导零售商对市场需求进行预测或者不预测，进而达到生产者期望收益最大化的目的。研究发现，在分散式供应链中当生产商提供无预测契约时，其期望收益为预测成本的非减函数，特别是当预测成本足够大时，生产商的期望收益可以达到整合供应链情景下无预测时的期望收益；而当生产商提供预测契约时，其期望收益为预测成本的减函数，而且为了诱导零售商选择预测以及保证其选择与预测信号相对应的契约，生产商必须对最优订货量以及订购费用进行调整，因此其期望收益要低于整合供应链情境下的期望收益。最后通过生产商期望收益对比，给出了最优策略。

然而，对于短生命周期产品的预测契约设计，还有许多方面值得进一步的研究。例如，当需求预测可以分多个阶段进行，且预测投入可根据各阶段预测结果终止时，该如何制定契约？另外，现实中生产商往往面对多个零售商，且各个零售商的预测成本也因其所在地区而不同，此时生产商又该如何决策？

附录

(1)相关函数表达式

$$E\min(D_N, q_N) = \int_0^{q_N} \bar{F}_N(x)dx$$

$$E\max(D_N - q_N, 0) = \int_0^{q_N} \bar{F}_N(x)dx - \mu_N$$

$$R(N,N) = (p + c_O)\int_0^{q_N} \bar{F}_N(x)dx - c_O\mu_N - T_N$$

$$R(L,N) = R(N,N) - (p + c_O)\int_0^{q_N}[\bar{F}_N(x) - \bar{F}_L(x)]dx + c_O(\mu_N - \mu_L)$$

$$R(H,N) = R(N,N) + (p + c_O)\int_0^{q_N}[\bar{F}_H(x) -$$

$\bar{F}_N(x)]dx + c_O(\mu_N - \mu_H)$

$$R(L,L) = (p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_L(x)dx - c_O\mu_L - T_L$$

$$R(H,H) = (p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_H(x)dx - c_O\mu_H - T_H$$

$$R(N,L) = (p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_N(x)dx - c_O\mu_N - T_L$$

$$R(H,L) = (p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_H(x)dx - c_O\mu_H - T_L$$

$$R(N,H) = (p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_N(x)dx - c_O\mu_N - T_H$$

$$R(L,H) = (p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_L(x)dx - c_O\mu_L - T_H$$

(2)证明

由库恩－塔克定理,可将$(OJB')-(IC4)$可转化为:

$$\begin{cases}
\min\ \Lambda(T_H,T_L) = -\alpha T_H - (1-\alpha)T_L + c_M(q_H + q_L) \\
\Gamma_1(T_H,T_L) = (p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_L(x)dx - c_O\mu_L - T_L \\
\Gamma_2(T_H,T_L) = (p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_H(x)dx - c_O\mu_H - T_H \\
\Gamma_3(T_H,T_L) = \alpha[(p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_H(x)dx - T_H] + (1-\alpha)[(p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_L(x)dx - T_L] - c_O\mu_N - g \\
\Gamma_4(T_H,T_L) = (p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_L(x)dx - T_L - [(p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_L(x)dx - T_H] - g/(1-\alpha) \\
\Gamma_5(T_H,T_L) = (p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_H(x)dx - T_H - [(p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_H(x)dx - T_L] - g/\alpha \\
\Gamma_6(T_H,T_L) = T_L \\
\Gamma_7(T_H,T_L) = T_H
\end{cases}$$

其中,$\Gamma_6(T_H,T_L)$和$\Gamma_7(T_H,T_L)$分别表示$T_H,T_L \geqslant 0$。

引入拉格朗日乘子,可知,

$$\begin{cases}
-\alpha + r_2^* + \alpha r_3^* - r_4^* + r_5^* - r_7^* = 0 \\
-(1-\alpha) + r_1^* + (1-\alpha)r_3^* + r_4^* - r_5^* - r_6^* = 0 \\
r_1^*[(p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_L(x)dx - c_O\mu_L - T_L^*] = 0 \\
r_2^*[(p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_H(x)dx - c_O\mu_H - T_H^*] = 0 \\
r_3^*\{\alpha[(p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_H(x)dx - T_H^*] + (1-\alpha)[(p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_L(x)dx - T_L^*] - c_O\mu_N - g\} = 0 \\
r_4^*\{(p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_L(x)dx - T_L^* - [(p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_L(x)dx - T_H^*] - g/(1-\alpha)\} = 0 \\
r_5^*\{(p + c_O)\int_0^{q_H} \bar{F}_H(x)dx - T_H^* - [(p + c_O)\int_0^{q_L} \bar{F}_H(x)dx - T_L^*] - g/\alpha\} = 0 \\
r_6^* T_L = 0 \\
r_7^* T_H = 0 \\
r_1^*, r_2^*, r_3^*, r_4^*, r_5^*, r_6^*, r_7^* \geqslant 0
\end{cases}$$

当$r_1^* = r_2^* = r_3^* = r_4^* = r_5^* = r_6^* = r_7^* = 0$时,上述方程组必不成立,因此可知最优解必位于边界线上。

同时,当$\Gamma_4 = 0$时,$T_H = T_L + (p+c_O)\int_{q_L}^{q_H} \bar{F}_L(x)dx + g/(1-\alpha)$,可知$T_H$为$T_L$的增函数,因此可知此边界线上的最优解必位于其与边界线$\Gamma_1(T_H,T_L)=0$、$\Gamma_2(T_H,T_L)=0$或$\Gamma_3(T_H,T_L)=0$的交点之上。同理,可证得边界线$\Gamma_5=0$的最优解亦是如此。因此,可知最优解必位于$(IR1)$、$(IR2)$或$(IR3)$的边界线上。

证毕。

(3)证明

由$(IR3)$知,当$\alpha R(H,H)+(1-\alpha)R(L,L) = g$时(不包含其与$R(H,H)=0$,$R(L,L)=0$的交点),使生产商期望收益最大的化订货量、订购费用预测契约(q_{L5}^*, T_{L5}^*),(q_{H5}^*, T_{H5}^*)为:

$$q_{L5}^* = \min\{q_L^I, \Phi^{-1}(0)\}$$

$$T_{L5}^* = (p + c_O)\int_0^{q_{L5}^*} \bar{F}_L(x)dx + \alpha(p + c_O)\Delta(q_{H5}^*) - c_O\mu_N - g/(1-\alpha)$$

$$q_{H5}^* = \max\{q_H^I, \Phi^{-1}(g/(1-\alpha))\}$$

$$T_{H5}^* = (p + c_O)\int_0^{q_{H5}^*} \bar{F}_N(x)dx - c_O\mu_N$$

在此契约下:

$$R_{F5} = 0$$

$$M_{F5} = \alpha[(p + c_O)\int_0^{q_{H5}^*} \bar{F}_H(x)dx - c_M q_{H5}^*] + (1-\alpha)[(p + c_O)\int_0^{q_{L5}^*} \bar{F}_L dx - c_M q_{L5}^*] - c_O\mu_N - g$$

将此契约与（q_{L2}^*，T_{L2}^*），（q_{H2}^*，T_{H2}^*）对比可发现，$q_{L5}^* = q_{L2}^*$，$q_{H5}^* = q_{H2}^*$，因此可知：

$M_{F5} = M_{F2}$

证毕。

参考文献：

[1] Zhu Xiaowei，Mukhopadhyay S K，Yue Xiaohang. Role of forecast effort on supply chain profitability under various information sharing scenarios[J]. International Journal of Production Economics，2011，129(2)：284－291.

[2]申成霖，侯文华，张新鑫，等．基于信息更新与服务水平约束的供应链订货及协调决策[J]. 中国管理科学，2012，20(5)：55－63.

[3] Fisher M L，Hammond J H，Obermeyer W R，et al. Making supply meet demand in an uncertain world[J]. Harvard business review，1994，72(3)：83－93.

[4] Chen Fangruo，Federgruen A，Zheng Yusheng. Coordination mechanisms for a distribution system with one supplier and multiple retailers[J]. Management Science，2001，47(5)：693－708.

[5] You Pengsheng. Optimal replenishment policy for product with season pattern demand[J]. Operations Research Letters，2005，33(1)：90－96.

[6] 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.

[7] Akçay Y，Natarajan H P，Xu S H. Joint dynamic pricing of multiple perishable products under consumer choice[J]. Management Science，2010，56(8)：1345－1361.

[8] Cederlund J P，Kohli R，Sherer S A，et al. How Motorola put CPFR into action[J]. Supply Chain Management Review，2007，11(7)：28－35.

[9] Miyaoka J，Hausman W H. How improved forecasts can degrade decentralized supply chains[J]. Manufacturing & Service Operations Management，2008，10(3)：547－562.

[10] Shin H，Tunca T I. Do firms invest in forecasting efficiently? The effect of competition on demand forecast investments and supply chain coordination[J]. Operations Research，2010，58(6)：1592－1610.

[11] 宋华明，杨慧，罗建强，等．需求预测更新情形下的供应链 Stackelberg 博弈与协调研究[J]. 中国管理科学，2010，18(4)：86－92.

[12] 陈金亮，宋华，徐渝．不对称信息下具有需求预测更新的供应链合同协调研究[J]. 中国管理科学，2010，18(1)：83－89.

[13] Taylor T A，Xiao Wenqiang. Incentives for retailer forecasting：rebates vs. returns[J]. Management Science，2009，55(10)：1654－1669.

[14] 胡本勇，王性玉，彭其渊．不确定市场环境下的销售商订货策略分析[J]. 软科学，2007，21(4)：79－83.

[15] Rahman M A，Sarker B R. A Bayesian approach to forecast intermittent demand for seasonal products[J]. International Journal of Industrial and Systems Engineering，2012，11(2)：137－153.

[16] Yang Danqin，Choi T M，Xiao Tiaojun，et al. Coordinating a two-supplier and one-retailer supply chain with forecast updating[J]. Automatica，2011，47(7)：1317－1329.

[17] 安彤．模糊需求环境下供应商管理库存的延迟订货管理[J]. 系统工程，2011，29(5)：92－97.

[18] Yan Ruiliang，Wang Kaiyu. Franchisor-franchisee supply chain cooperation：Sharing of demand forecast information in high-tech industries[J]. Industrial Marketing Management，2012，41(7)：1164－1173.

[19] Wu Bingqing，Sarker R B. Optimal manufacturing and delivery schedules in a supply chain system of deteriorating items[J]. International Journal of Production Research，2013，51(3)：798－812.

The Designing of Supply Chain Contract with Demand Forecast

LI Wu-qiang[1]，LIU Shu-lin[2]，SUN Rong-ting[1]，LI Yi-bin[1]

(1. School of Economics and Management，Chang'An University，Xi'an 710064，China；

2. School of Management，Xi'an Jiaotong University，Xi'an 710049，China)

Abstract：The supply chain system composed of a manufacturer and a newsvendor retailer is the focus of this paper. In such system，the point is how to design contracts which aim at maximizing the manufacturer's expected revenue by incenting the retailer's demand forecast decision. A static game model is developed for the contract designing. It is found that the contract with demand forecast can lead to higher expected revenue with low forecasting cost in the centralized supply chain. As in the decentralize supply chain, the manufacturer bears the cost entirely and its expected revenue is negatively related to forecasting cost when the contract with demand forecast is selected, but the manufacturer's expected revenue is nondecreasing as forecasting cost increase when the contract without demand forecast is selected. Moreover, the optimal strategy about which contract can maximize the manufacturer's expected revenue is given.

Key words: supply chain; forecasting; contract; shortage cost