

文章编号: 1001-0920(2008)08-0905-05

## 基于回购契约的供应链协调与风险分担分析

肖玉明, 汪贤裕

(四川大学 工商管理学院, 成都 610064)

**摘要:** 利用 Stackelberg 主从博弈方法研究在供应商和销售商的边际成本都随产量递增的情况下, 供应链的协调问题和风险分担问题. 研究结果表明回购契约可以协调供应链. 供应商的最优回购契约是: 供应商允许销售商对剩余订货全部按批发价退货, 供应商采用边际成本加成定价的方式来确定批发价, 加成比例由市场需求的满足率决定; 节点企业分担的风险之比等于两企业在供应链最优订货量处的边际成本之比.

**关键词:** 供应链; 协调; 回购契约; 风险

中图分类号: F274

文献标识码: A

### Analysis on coordination and risk sharing of supply chain based on buy back contract

XIAO Yurming, WANG Xianyu

(Business School, Sichuan University, Chengdu 610064, China. Correspondent: XIAO Yurming, E-mail: xymdd@sina.com)

**Abstract:** The supply chain coordination and risk sharing problems are researched under the condition of the supplier's and the retailer's marginal cost functions increasing with outputs with Stackelberg game model. The result shows that the supply chain can be coordinated by the buy back contract. The supplier buys back all the residual order of the retailer's at the wholesale price, and determines the wholesale price in the method of marginal cost-plus pricing. The cost-plus ratio is determined by the meeting rate of the market demand. In the supplier's optimal contract, the risk ratio of the two firms equals their marginal cost ratio at the supply chain's optimal order.

**Key words:** Supply chain; Coordination; Buy back contract; Risk

### 1 引言

供应链管理已成为学术研究的一个热点问题,也是企业战略管理的一项重要内容. 供应链是由不同企业组成的特定联盟形式,因而供应链中分散式决策模式比集中式决策模式更为常见. 因此,如何协调供应链的运作是供应链研究的一个核心问题. 供应链节点企业之间的契约是构建供应链的纽带,而市场需求的不确定性又是导致不协调的主要因素. 因而从不确定市场需求出发,通过供应链契约的研究以实现供应链协调,构成了供应链研究的一个重要内容.

供应链契约的类型较多,主要有:批发价格契约、回购契约、收益共享契约、数量柔性契约、数量折扣契约、数量承诺契约、销售回扣契约等契约模型.

文献[1,2]对供应链契约研究进行了综述,对常见的供应链契约模型进行了分类,对几种典型的供应链契约模型作了分析.[3]基于几种主要的契约模型分析了供应链的协调问题.[4]研究了供应商在单一批发价下,使用回购契约可以使销售商的订货量达到实现供应链协调所需要的数量.[5]分析了含有回购契约的3种不同形式对供应商和销售商所产生的不同的风险.于辉等人在[4]的基础上,进一步研究了在突发事件下利用回购契约对供应链的协调问题<sup>[6]</sup>. [7]分析了一类具有风险规避特性的零售商加盟的供应链协作契约机制设计问题,研究了零售商为风险中性和风险规避时选择的订货行为.[8]分析了非对称信息下供应链中供应商的回购决策,用委托-代理模型研究了供应商的最优回购策略,得到了

收稿日期: 2007-06-06; 修回日期: 2007-09-02.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70571055,70471069).

作者简介: 肖玉明(1967—),男,重庆奉节人,讲师,博士生,从事管理科学的研究;汪贤裕(1947—),男,江苏苏州人,教授,博士生导师,从事管理科学、数量经济等研究.

供应商的最优决策方案.[9]讨论了当供应商使用回购契约与零售商交易时,取得供应链协调的条件,结合数值算例说明了所得结论,并讨论了回购契约在应用中的问题.[10]研究了在传统零售渠道和直销渠道并存的情况下,供应商如何设计回购契约的问题.该文在两种不同信息条件(共享需求预测和不共享需求预测)下讨论了最优订货量和回购价格,并对整个供应链的利润获得情况作了比较分析.

从上述可以看出,回购契约作为一种协调供应链的策略已受到许多学者的重视,不少文献从多方面对该契约进行了研究.但上述这些文献在研究供应链的协调时几乎都假设供应商或销售商或两者的单位(生产、销售)成本或边际成本是常数,而事实往往并不如此.并且,已有文献往往只分析了供应链协调的条件,很少进行供应链协调时节点企业的风险分担分析.

本文分析在节点企业的边际成本递增情况下供应链的协调问题以及协调时节点企业之间的风险分担问题.

## 2 基本假设

本文研究一个二级供应链的协调问题.该供应链由一个供应商和一个销售商组成,围绕单一产品运作一个周期,销售商面临随机需求分布.为了建立模型和讨论问题的方便,作如下假设:

1) 信息是完全的,即供应商与销售商都知道双方的成本结构和销售商面临的市场需求的分布.

2) 产品的市场价格  $p$  不变,市场需求(用  $x$  表示)是一随机变量,其分布函数为  $F(x)$ ,且  $F(x)$  连续、可微,密度函数为  $f(x)$ .

3) 供应商的成本函数为  $c_1 = c_1(q)$ ,其中  $q$  为供应商生产的产品数量;销售商的成本函数为  $c_2 = c_2(q)$ ,其中  $q$  为销售商的订货量.假设它们的边际成本都是递增的.

4) 供应商和销售商都是风险中性的.

5) 供应链实行分散式决策,供应商和销售商的决策构成一个 Stackelberg 博弈,供应商是主,销售商是从.其决策顺序是供应商以单一批发价  $w$  给销售商提供产品.对期末未卖出的产品,供应商允许销售商全部退货.退货价格为  $(0, 1)$ ,为折价参数,由供应商确定.销售商在知道以上信息后,决定自己的订货量  $q$  并向市场销售产品.

6) 销售商未销售出的产品对供应商和销售商的价值均为 0.

## 3 模型建立及求解

销售商订货量为  $q$  时的期望销售量为

$$S(q) = q - \int_0^q F(x) dx. \quad (1)$$

由此可知销售商的订货量剩余值(没能售出的部分)的期望值为

$$q - S(q) = \int_0^q F(x) dx. \quad (2)$$

由式(1)、(2)及前面的假设条件容易计算出供应商、销售商和供应链的期望利润分别为

$$E(\pi_s) = (q - c_1(q)) - \int_0^q F(x) dx, \quad (3)$$

$$E(\pi_r) = ((p - w)q - c_2(q)) - (p - w) \int_0^q F(x) dx, \quad (4)$$

$$E(\pi) = (pq - c_1(q) - c_2(q)) - p \int_0^q F(x) dx. \quad (5)$$

由式(3)、(4)可知,供应商和销售商的期望利润都是由两部分组成,即在订货量为  $q$  时的期望收益和由需求的不确定造成的期望风险损失.

下面先求销售商的最优订货量  $q^*$ .

式(4)可改写为

$$E(\pi_r) = p(q - \int_0^q F(x) dx) + \int_0^q F(x) dx - (c_2(q) + wq).$$

其中:  $p(q - \int_0^q F(x) dx) + \int_0^q F(x) dx$  是销售商的期望收入,  $c_2(q) + wq$  是销售商订货为  $q$  时的订货和销售成本之和.

根据边际收益等于边际成本的原则,得销售商的最优订货量  $q^*(w, p)$  应满足

$$c_2'(q) + w = p - (p - w)F(q). \quad (6)$$

式(6)的等号左边是销售商的边际成本,右边是边际收入.

容易证明,在给定  $w$  和  $p$  的情况下,式(6)存在唯一解  $q^*$ .

通过简单的计算可知,销售商的最优订货量  $q^*$  与批发价和折价系数之间的关系满足

$$\frac{\partial q^*}{\partial w} < 0, \quad \frac{\partial q^*}{\partial p} > 0. \quad (7)$$

其中

$$\frac{\partial q^*}{\partial w} = \frac{- (1 - F(q^*))}{c_2'(q^*) + (p - w)f(q^*)},$$

$$\frac{\partial q^*}{\partial p} = \frac{F(q^*)}{c_2'(q^*) + (p - w)f(q^*)}. \quad (8)$$

由于各节点企业参与供应链的目的是想获得更高的收益,只有条件(6)并不能保证销售商会加入供应链.供应商在确定契约参数  $w$  和  $p$  的值时,要保证销售商至少获得他能够接受的最低利润,否则销售商不会加入供应链.为简单起见,假设该最低利

润为 0, 并且供应商知道这一信息.

若要保证销售商加入供应链, 由式(4) 应有下式成立:

$$\frac{p(q - \int_0^q F(x) dx) - c_2(q)}{q - \int_0^q F(x) dx} \quad (9)$$

供应链协调的一个重要方面, 就是使得销售商的最优订货量与集中式决策下供应链利润最大时的订货量相等. 因此, 需要知道供应链利润最大时的订货量.

式(5) 可改写为

$$E(\cdot) = p(q - \int_0^q F(x) dx) - (c_1(q) + c_2(q)).$$

其中:  $p(q - \int_0^q F(x) dx)$  是供应链的期望销售收入;  $c_1(q) + c_2(q)$  是供应链产量为  $q$  时的生产和销售成本. 根据边际收益等于边际成本的原则, 得供应链的最优订货量  $\bar{q}$  应满足下式:

$$c_1(q) + c_2(q) + pF(q) = p. \quad (10)$$

由式(10) 知, 供应链的最优订货量  $\bar{q}$  的确定只与供应商和销售商的成本函数、市场状况(价格和市场需求分布) 有关, 而与契约参数无关.

尽管供应链的最优订货量与契约参数无关, 但销售商的最优订货量却与契约参数密切相关. 由式(6) 可知, 在市场状况(即  $p$  和  $F(x)$ ) 和自身成本函数不变的情况下, 销售商的最优订货量由契约参数确定. 因此, 需要分析供应商如何设置契约参数才能使供应链达到协调.

将式(10) 代入(6), 可得

$$-c_1(\bar{q}) = F(\bar{q}). \quad (11)$$

由式(11) 可知, 在供应链协调时的订货量  $\bar{q}$  确定后, 供应商为了协调供应链, 他确定的契约参数  $\alpha$  和  $\beta$  应满足式(11). 此时销售商的订货量等于  $\bar{q}$ .

由式(11) 还可看出, 批发价  $w$  与折价系数  $\alpha$  是正向变化的关系.

供应商在设法协调供应链的同时也需考虑自己的利益. 作为一个独立的企业, 他同样追求自己利润的最大化. 因此需要分析供应商在保证供应链协调的条件下, 如何设置契约参数以使自己的利润达到最大.

易知, 最优契约的参数是如下数学规划问题的最优解  $\alpha^*$  和  $\beta^*$ .

$$\begin{aligned} \max E(\cdot) &= \bar{q} - c_1(\bar{q}) - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx, \\ \text{s. t. } & -c_1(\bar{q}) = F(\bar{q}), \end{aligned}$$

$$\frac{p(\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx) - c_2(\bar{q})}{\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx}, \quad 0 \leq \bar{q} \leq 1.$$

该数学规划问题等价于如下规划问题:

$$\begin{aligned} \max E(\cdot) &= (\bar{q} - \frac{1}{F(\bar{q})} \int_0^{\bar{q}} F(x) dx) + \frac{c_1(\bar{q})}{F(\bar{q})} \int_0^{\bar{q}} F(x) dx - c_1(\bar{q}), \\ \text{s. t. } & \frac{p(\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx) - c_2(\bar{q})}{\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx}, \quad 0 \leq \bar{q} \leq 1. \end{aligned} \quad (12)$$

容易证明,  $\bar{q} = \frac{1}{F(\bar{q})} \int_0^{\bar{q}} F(x) dx$ . 因此  $\alpha$  越大, 供

应商的利润越大. 显然  $\alpha = 1$  时,  $E(\cdot)$  取最大值. 因此供应商的最优契约参数为

$$\alpha^* = 1, \quad \beta^* = p - \frac{c_2(\bar{q})}{\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx}. \quad (13)$$

由式(13) 可知, 在最优契约下, 对销售商未卖出的订货, 供应商允许销售商以订货价全部退货, 这与供应商和销售商的成本状况和市场需求状况无关. 但结合式(10) 可知, 最优批发价的确定与这些因素都有关.

当  $\alpha^* = 1$  时, 由式(11) 可得

$$\beta^* = \frac{c_1(\bar{q})}{1 - F(\bar{q})}. \quad (14)$$

由式(13) 和(14), 有

$$p = \frac{c_1(q)}{1 - F(\bar{q})} + \frac{c_2(\bar{q})}{\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx}. \quad (15)$$

由式(15) 可知, 在供应商的最优契约下, 供应商采用边际成本加成定价的方式确定批发价. 其加成比例为  $\frac{F(\bar{q})}{1 - F(\bar{q})}$ , 由市场需求满足率  $F(\bar{q})$  决定. 而销售商在批发价的基础上采用平均成本定价的方式确定自己的销售价格, 并且销售商则只能获得最低利润.

#### 4 供应链协调时的利润分配与风险分担分析

##### 4.1 供应链协调时的利润分配分析

##### 4.1.1 供应链协调时契约参数 $\alpha$ 和 $\beta$ 之间的关系

由前面的分析可知, 供应链协调时, 契约参数应满足如下两个条件:

$$\beta = \frac{c_1(\bar{q})}{1 - F(\bar{q})}, \quad (16)$$

$$\frac{\frac{c_1(\bar{q})}{\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx}}{p(\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx) - c_2(\bar{q})} = \frac{c_1(\bar{q})}{\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx} \quad (17)$$

式(17)保证了供应商和销售商都能获得非负利润. 式(16)和(17)确定了供应链协调时契约参数之间的关系.

4.1.2 供应链协调时的利润分配分析

将式(16)分别代入式(3)和(4),可得

$$E(s) = \frac{c_1(\bar{q})}{1 - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx} (\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx) - c_1(\bar{q}) \quad (18)$$

$$E(r) = p(\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx) - \frac{c_1(\bar{q})}{1 - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx} (\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx) - c_2(\bar{q}) \quad (19)$$

由式(18)和(19)可知,供应商和销售商的利润由退货比例,市场需求状况和自身的成本状况共同确定. 如果市场需求状况(即市场需求的分布函数和产品的市场价格)一定,在 $\bar{q}$ 时的成本(边际成本和平均成本)一定,则利润就由退货比例确定. 并且由式(18)易知,供应商获得的利润是随退货比例严格递增的. 当 $\alpha = 1$ 时,供应商的利润达到最大,这就是式(13)中的最优契约参数. 容易证明,在最优契约下供应商和销售商的利润之比为

$$\frac{E(s)}{E(r)} = \frac{kc_1(\bar{q}) - c_1(\bar{q})}{kc_2(\bar{q}) - c_2(\bar{q})} \quad (20)$$

其中  $k = \frac{\bar{q} - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx}{1 - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx}$

4.2 供应链协调时的风险分担分析

由式(3)~(5)可知,在供应链协调时,由于市场需求的不确定性导致供应链利润的期望风险损失为  $p \int_0^{\bar{q}} F(x) dx$ . 其中: 由供应商分担的部分为  $\int_0^{\bar{q}} F(x) dx$ , 销售商分担的部分为  $(p - \alpha) \int_0^{\bar{q}} F(x) dx$ . 分别用  $r_s$  和  $r_r$  表示供应商和销售商分担的风险,有

$$r_s = \frac{c_1(\bar{q})}{1 - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx} \int_0^{\bar{q}} F(x) dx \quad (21)$$

$$r_r = (p - \alpha) \frac{c_1(\bar{q})}{1 - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx} \int_0^{\bar{q}} F(x) dx \quad (22)$$

在总风险一定的情况下,供应链风险在供应商和销售商之间的分担情况由退货比例 $\alpha$ 确定. 容易证明,在最优契约下供应商和销售商分担的风险之

比等于他们在 $\bar{q}$ 处的边际成本之比,即

$$\frac{r_s}{r_r} = \frac{c_1(\bar{q})}{c_2(\bar{q})} \quad (23)$$

由式(21)有

$$\frac{dr_s}{d\alpha} = \frac{1}{(1 - \int_0^{\bar{q}} F(x) dx)^2} c_1(\bar{q}) \int_0^{\bar{q}} F(x) dx > 0 \quad (24)$$

由式(24)知,供应商分担的风险是随退货比例严格递增的.

由上述分析可知,供应商获得的利润和分担的风险都是随退货比例严格递增的,这符合一般的收益和风险之间的权衡关系,即获得的收益越高,承担的风险就越大.

既然在最优契约下销售商可将剩余订货按批发价全部退给销售商,那么销售商的风险又从何而来呢?

通过分析最优契约下的式(4)可以看出:如果市场需求是确定的,就等于 $\bar{q}$ ,则销售商的利润为  $(p - \alpha) \bar{q} - c_2(\bar{q})$ ;而当市场需求不确定时,尽管销售商为销售数量 $\bar{q}$ 的订货花费了 $c_2(\bar{q})$ 的成本,但仍会有  $\int_0^{\bar{q}} F(x) dx$  的剩余订货,从而导致利润损失  $(p - \alpha) \int_0^{\bar{q}} F(x) dx$ ,这就是销售商承担的风险. 因此,销售商遭受风险损失的原因是市场需求的不确定性.

5 算 例

假设产品的市场价格  $p = 60$ ,市场需求量服从  $[100, 200]$  上的均匀分布,供应商成本函数为  $c_1 = 0.05q^2$ ,销售商成本函数为  $c_2 = 0.025q^2$ .

1) 协调分析. 将以上条件分别代入式(3)~(5),得供应商、销售商和供应链的期望利润表达式分别为

$$E(s) = - (0.05 + 0.005\alpha) q^2 + (1 + \alpha) q - 50 \quad (25)$$

$$E(r) = - (0.325 - 0.005\alpha) q^2 + (120 - \alpha) q - 50(60 - \alpha) \quad (26)$$

$$E(\pi) = - 0.375q^2 + 120q - 3000 \quad (27)$$

将  $c_1, c_2, p, F(q)$  代入式(6),可得销售商的最优订货量  $q^*$  与契约参数  $\alpha$  的关系式为

$$q^* = \frac{129 - (1 + \alpha)}{0.65 - 0.01\alpha} \quad (28)$$

由式(10)可计算出供应链协调时的订货量  $\bar{q} = 160$ . 令式(28)中的  $q^* = 160$ ,将其代入(16),(17),可得供应链协调时的契约参数应满足如下关系式:

$$\alpha = \frac{16}{1 - 0.6} \quad (29)$$

$$\frac{1280}{160 - 18} = \frac{7880}{160 - 18} \quad (30)$$

式(29), (30) 就是为了协调供应链, 即使销售商的订货量为 160, 供应商所确定的契约参数应满足的条件.

2) 供应链协调时的利润分配与风险分担. 式由 (18), (19) 可计算出供应链协调时供应商和销售商的利润分别为

$$E(\pi_s) = \frac{2560 - 288}{1 - 0.6} - 1280, \quad (31)$$

$$E(\pi_r) = 7880 - \frac{2560 - 288}{1 - 0.6}. \quad (32)$$

由式(21), (22) 可计算出供应链协调时供应商和销售商分担的风险分别为

$$r_s = \frac{288}{1 - 0.6}, \quad (33)$$

$$r_r = 1080 - \frac{288}{1 - 0.6}. \quad (34)$$

3) 最优契约下的利润分配与风险分担. 在式(31) ~ (34) 中, 令  $\beta = 1$  即可求得在最优契约下供应商、销售商的利润分配额和各自分担的风险. 其值分别为  $E(\pi_s) = 4400$ ,  $E(\pi_r) = 2200$ ,  $r_s = 720$ ,  $r_r = 360$ . 这里供应商与销售商的利润之比等于他们各自分担的风险之比不是一般性结论, 只是一种巧合, 与两企业的成本假设有关.

## 6 结 论

本文讨论一个单周期二级供应链的协调与风险分担问题. 在第 2 节的假设条件下, 得到如下结论:

1) 在节点企业边际成本递增的情况下, 回购契约能够实现供应链的协调.

2) 在供应商设计的最优契约中, 供应商允许销售商全部退货, 同时确定一个较高的批发价.

3) 在供应链协调的基础上分析了供应链风险的分担问题. 在总风险一定的情况下, 供应链风险在供应商和销售商之间的分担情况由退货比例确定, 并且在供应商的最优契约下两个企业分担的风险之比等于他们的边际成本之比.

本文的讨论对信息的要求很强, 供应商和销售商之间信息不对称以及双方不都是风险中性时的分析会更复杂, 对此将另文分析.

## 参考文献(References)

[1] Andy A Tsay, Steven Nahmias, Narendra Agrawal. Modeling supply chain contracts: A review [C]. Quantitative Models for Supply Chain Management.

- Holand: Klumer Academic Publishers, 1999: 1-36.
- [2] 杨德礼, 郭琼, 何勇, 等. 供应链契约研究进展[J]. 管理学报, 2006, 3(1): 117-125.  
(Yang D L, Guo Q, He Y, et al. Review of supply chain contracts[J]. Chinese J of Management, 2006, 3(1): 117-125.)
- [3] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [R]. Pennsylvania: University of Pennsylvania, 2003.
- [4] Cachon G P. Competitive supply chain inventory management[C]. Quantitative Models for Supply Chain Management. Holand: Klumer Academic Publishers, 1999: 111-146.
- [5] Cachon G P. The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, pull, and advance-purchase discount contracts[J]. Management Science, 2004, 50(1): 48-63.
- [6] 于辉, 陈剑, 于刚. 回购契约下供应链对突发事件的协调应对[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(8): 38-43.  
(Yu H, Chen J, Yu G. Supply chain coordination under disruptions with buy back contract [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2005, 25(8): 38-43.)
- [7] 叶飞, 李怡娜. 具有风险规避者加盟的供应链协作回购契约机制研究[J]. 工业工程与管理, 2006, 11(2): 1-4.  
(Ye F, Li Y N. Research on buy back contract mechanism for supply chain coordination with a risk-averse retailer [J]. Industrial Engineering and Management, 2006, 11(2): 1-4.)
- [8] 索寒生, 金以慧. 非对称信息下供需链中供应商的回购决策分析[J]. 控制与决策, 2004, 19(3): 335-338.  
(Suo H S, Jin Y H. Supplier's optimal buy back decision under asymmetric information in a two stage supply chain[J]. Control and Decision, 2004, 19(3): 335-338.)
- [9] 贾涛, 徐渝, 陈金亮. 回购策略: 存货促销与供应链协调[J]. 预测, 2006, (1): 76-80.  
(Jia T, Xu Y, Chen J L. Buy back policies: Retailer promotions with inventories and supply chain coordination[J]. Forecasting, 2006, (1): 76-80.)
- [10] Yao Dong-qing, Yue Xiao-hang, Wang Xiao-yin, et al. The impact of information sharing on a returns policy with the addition of a direct channel [J]. Int J of Production Economics, 2005, 97(2): 196-209.