

# 基于质保服务的供应链契约协调机制

严 帅<sup>1</sup>, 李四杰<sup>2</sup>, 卞亦文<sup>1</sup>

(1. 上海大学悉尼工商学院, 上海 201800; 2. 东南大学系统工程研究所, 江苏 南京 211189)

**摘要:** 质保服务策略已成为提高供应链绩效的重要手段, 提供质保服务必然承担相应的成本, 而这种成本将影响整个供应链的管理决策和绩效水平。本文以一个制造商和一个零售商组成的两阶段供应链为对象, 考虑产品需求同时受产品价格和质保期长度影响, 研究分别由制造商和零售商提供质保服务情形下供应链的协调问题。研究发现批发价格契约无法有效实现供应链的协调, 而通过相应的供应链参数设计, 基于收益共享和质保成本共担的契约和回购契约能实现供应链的协调。最后, 算例分析说明了本文所设计契约的合理性和有效性。

**关键词:** 供应链管理; 协调; 质量保证服务; 契约

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2013)05-0677-09

## Supply chain coordination contracts based on warranty service

Yan Shuai<sup>1</sup>, Li Sijie<sup>2</sup>, Bian Yiwen<sup>1</sup>

(1. Sydney Institute of Language & Commerce, Shanghai University, Shanghai 201800, China;

2. Institute of Systems Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China )

**Abstract:** Warranty service has been an important tool in enhancing a supply chain's performance. Warranty service results in warranty costs, which will affect the decision making processes and performances of any given supply chain. This paper investigates the coordination mechanisms of a two stage supply chain with a manufacturer and a retailer, under the assumption that product demand is a function of the warranty period and product price. It is found that the decentralized supply chain cannot be coordinated effectively by the wholesale price contract, which is widely used in the supply chain practice; however, the supply chain can be coordinated by the proposed contract with revenue sharing and warranty-cost sharing, and the buy-back contract, which are implemented by the specified supply chain parameters. Finally, a numerical example is used to illustrate the proposed contracts of supply chain coordination.

**Key words:** supply chain management; coordination; warranty service; contract

## 1 引言

社会经济技术的快速发展使得制造型企业之间的竞争更加激烈, 竞争形式已经从产品竞争、价格竞争扩展到非价格竞争以及产品与售后服务的全面竞争。在同类产品功能特性差异日益缩小的情况下, 区别制造型企业之间竞争优势与劣势的关键指标是产品所附带的产品质量保证(product warranty)服务(本文简称质保服务)的差异<sup>[1]</sup>。产品保证可视为制造商(或销售商)与消费者之间的一种契约性协议。产品质保服务作为售后服务的一部分, 制造商(或销售商)需要承担在质保期内因产品故障而向顾客提供维修、更换或其他保证服务的成本。一般来说, 质保内容越丰富, 质保服务成本越高; 质保期限越长, 质保服务成本越高。

收稿日期: 2013-07-08; 修订日期: 2013-09-03。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71001024;71101085);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(2010009;2120042)。

在供应链管理实践中,质保服务策略已经成为供应链管理的重要内容,可以提高供应链整体的运作绩效。在现实中,质保服务可以由制造商、零售商或第三方服务供应商提供;提供质保服务必然要承担相应的成本,而这种成本必然影响其管理决策,最终影响整个供应链成员的决策和绩效水平。因此,本文从质保服务角度对供应链管理的决策和绩效进行研究是供应链管理领域的创新。通过基于质保服务的供应链契约设计,研究分布式供应链协调策略,促进供应链成员的合作运营和供应链整体绩效水平的提高。

现有文献中,质保服务的研究主要集中在四个方面。1)产品质保服务策略及其成本收益分析:文献[2-6]分析了不同产品、不同质保服务策略(如免费更换与维修、收费更换与维修等)下的服务期限、服务内容、服务成本与收益等。2)产品质量管理及质保策略:文献[7-9]研究了产品的质量控制、产品使用过程中的质量检测策略以及质保服务策略等。3)产品质保服务作为营销手段及其影响:将质保服务作为产品质量的信号(质保期限越长,产品质量越高),主要研究质保服务期限与消费者购买行为和感知行为的关系,以及其对产品营销的影响等,参见文献[10]。4)从保险理论角度研究质保服务:将产品质保服务作为一种经济补偿,文献[11,12]研究了在产品发生故障时如何补偿消费者的问题。

尽管质保服务在产品质量管理的研究中较为广泛,但供应链管理中质保服务研究才刚刚兴起。

在供应链决策方面,文献[13]基于买卖双方行为选择的Nash均衡模型,研究如何应用合同管理中的质量担保决策控制产品质量问题。文献[14]研究了制造商提供质保服务、零售商提供质保服务以及两者共同提供质保服务三种情形下的供应链中最优定价决策问题。文献[15]研究了当消费者能否感知产品质量信息的两种情形下零售商提供的质保服务对制造商提供的质保服务产生的影响及质保服务管理决策问题。文献[16,17]研究了供应链中由制造商和零售商分别提供质保服务情形下最优管理决策和供应链收益问题。文献[18]提出延保服务吸引力指数,研究了供应链中的服务模式问题。文献[19]研究了由制造商直销和零售商分销的双渠道供应链的最优质保决策及供应链收益问题。这些研究主要侧重于分析质保服务的提供方的最优决策及其对供应链整体和成员收益的影响。

在供应链协调问题的研究中,文献[20,21]研究了制造商提供质保情形下的供应链协调问题,研究发现收入与质保成本共享契约能够有效地实现供应链协调。文献[22]研究了供应商和制造商组成的供应链中供应商和制造商分别确定质保期情形下的产品质量与质保服务的最优决策问题,并讨论了制造商提供质保服务的供应链协调问题,研究认为供应商制定的回购契约能有效实现供应链协调。然而,现有质保服务策略下供应链协调研究具有明显的局限性:1)假定产品需求受到质保期限长度的影响,在需求函数设计中没有考虑产品销售价格因素;2)假设产品的故障率服从指数分布这种特殊的情形<sup>[20,21]</sup>,而这种故障率无法描述在产品使用过程中随着时间的推移出现的重大故障的情形。

本文以一个制造商和一个零售商组成的两阶段供应链为对象,在需求函数构建时考虑产品质保服务期限和产品价格,研究供应链的最优决策及供应链成员之间的协调机制。文章首先探讨分别由制造商和零售商提供产品质保服务情形下的供应链决策问题,在此基础上构建供应链协调的决策模型,以批发价契约、收益共享与质保成本共担契约及回购契约为基础,研究供应链的协调决策问题。最后,采用算例对基于契约的供应链协调问题进行分析和说明。

## 2 问题描述

考虑一个制造商和一个零售商组成两级供应链系统,制造商生产一种单一产品,并通过零售商销售。首先假定制造商和零售商之间信息完全共享,且风险中性,并愿意为出售的商品提供质保服务。

质保服务由制造商或零售商提供,在质保期内,制造商或零售商需承担因产品故障而向顾客提供各种维修或更换的保证服务成本。假定制造商生产产品的单位成本为 $c_p$ ,制造商的产品批发价格为 $p_w$ ,零售商的产品零售价格为 $p_r$ ,质保服务期为 $l_w$ ,质保期间产品的维修或更换所产生的服务成本为 $c_w$ ,零售商的订货量为 $Q$ ,并假定制造商按订货量安排生产,单位产品的残值为 $v$ 。假设 $\gamma_i$ 为质保提供方的产品单位质保服务成本( $i = m, r$ ),在质保期内产品发生故障的次数为 $kl_w^2$ ( $k$ 为常数)<sup>[17]</sup>,则质保提供方的质保期内产品质保服务

总成本为  $c_w = kl_w^2 \gamma_i$ (此成本函数能够有效刻画产品质保成本随使用时间而不断增加的特性).

记  $\pi_m$ 、 $\pi_r$ 、 $\pi_c$  和  $\pi_d$  分别为制造商、零售商、集中式供应链和分散式供应链的期望利润. 为简化问题, 本文不考虑缺货成本和存货成本, 不失一般性, 假定  $v < c_p < p_w < p_r$ .

假定消费者具有风险规避特性, 并假定产品质量处于同一水平, 因此, 在这种情况下, 产品价格越高, 产品需求越低; 而产品质保期越长, 产品需求越高. 因此, 产品需求与产品零售价格成反比, 与质保期限成正比<sup>[17]</sup>. 假定需求函数是线性函数, 考虑零售价格和质保期长度的产品需求函数定义为

$$D(p_r, l_w) = M - \alpha p_r + \beta l_w + \varepsilon, \quad (1)$$

其中  $M$  为潜在基本需求,  $\alpha$  和  $\beta$  为需求对价格和质保期的敏感度,  $\varepsilon$  为服从  $[A, B]$  上某种分布的连续随机变量, 其概率密度和分布函数分别为  $h(\cdot)$  和  $H(\cdot)$ ,  $H^{-1}(\cdot)$  为  $H(\cdot)$  的反函数. 线性需求假设在现有文献中也较为常见, 如文献[14,16,23]. 因此, 零售商订货量可分为  $Q_1 = M - \alpha p_r + \beta l_w$  和  $Q_2 = z$  两个部分; 前者为确定性需求部分, 后者为应对随机需求  $\varepsilon$  的订货量.

### 3 供应链集中决策

供应链契约协调是指采用某种协调契约能够克服供应链中存在的“双重边际化”问题, 使得供应链成员的各种决策活动(如定价、订货量)所创造的供应链收益与供应链的集中决策时一致. 为了分析分散式供应链的协调问题, 本文首先对供应链决策的最佳情形——集中决策进行研究.

令  $S = \min\{Q, D(p_r, l_w)\}$ , 表示供应链中产品的实际销售量. 在集中决策下, 供应链期望利润为

$$\pi_c(Q, p_r, l_w) = (p_r - c_w - v)E[S] - c_p Q + v Q, \quad (2)$$

其中  $E[S] = \int_A^{Q-D(p_r, l_w)} (x + D(p_r, l_w))h(x)dx + \int_{Q-D(p_r, l_w)}^B Qh(x)dx$ .

对于供应链集中决策模型(2), 制造商提供质保和零售商提供质保两种不同情形下供应链利润的差异主要在于制造商和零售商提供的单位质保成本不同. 通过确定最佳订货量、产品零售价格和质保期的长度, 可以实现供应链系统的利润最大化. 分析供应链集中决策模型, 得到如下引理.

**引理 1** 供应链的期望利润函数  $\pi_c(Q, p_r, l_w)$  是关于  $Q, p_r$  和  $l_w$  的凹函数.

**证明** 令  $\xi = Q - D(p_r, l_w)$ , 有

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_c(Q, p_r, l_w)}{\partial Q} &= (p_r - c_w - v) \int_\xi^B h(x)dx - c_p + v, \\ \frac{\partial^2 \pi_c(Q, p_r, l_w)}{\partial Q^2} &= -(p_r - c_w - v)h(\xi) < 0, \\ \frac{\partial \pi_c(Q, p_r, l_w)}{\partial p_r} &= \int_A^\xi (x + D(p_r, l_w))h(x)dx + \\ &\quad \int_\xi^B Qh(x)dx - \alpha(p_r - c_w - v) \int_A^\xi h(x)dx, \\ \frac{\partial^2 \pi_c(Q, p_r, l_w)}{\partial p_r^2} &= -\alpha h(\xi) - \alpha \int_A^\xi h(x)dx - \alpha^2(p_r - c_w - v)h(\xi) < 0, \\ \frac{\partial \pi_c(Q, p_r, l_w)}{\partial l_w} &= -2kl_w r_w \left( \int_A^\xi (x + D(p_r, l_w))h(x)dx + \int_\xi^B Qh(x)dx \right) + \\ &\quad \beta(p_r - c_w - v) \int_A^\xi h(x)dx, \\ \frac{\partial^2 \pi_c(Q, p_r, l_w)}{\partial l_w^2} &= -2kr_w \left( \int_A^\xi (x + D(p_r, l_w))h(x)dx + \int_\xi^B Qh(x)dx \right) - \\ &\quad 4kr_w l_w \beta \int_A^\xi h(x)dx - \beta^2(p_r - c_w - v) < 0. \end{aligned}$$

因此,  $\pi_c(Q, p_r, l_w)$  是关于订货量  $Q$ 、零售价格  $p_r$  和质保期限长度  $l_w$  的凹函数. 证毕.

由引理 1 可知, 若产品零售价格和质保期长度给定时, 可以得到集中决策情形下的供应链最优订货量  $Q^c(p_r, l_w) = H^{-1} \left( \frac{p_r - c_w - c_p}{p_r - c_w - v} \right) + D(p_r, l_w)$ .

## 4 分散决策的供应链协调

本文研究制造商和零售商分别提供质保服务两种情形下供应链决策问题.

### 1) 制造商质保下的供应链决策

在制造商提供质保服务的供应链中, 制造商首先确定产品批发价格  $p_w$  和质保期长度  $l_w$ ; 零售商根据市场需求确定订货量  $Q$  和产品零售价格  $p_r$ .

制造商的期望利润为  $\pi_m(p_w, l_w) = (p_w - c_p)Q - c_w E[S]$ .

零售商的期望利润为  $\pi_r(Q, p_r) = (p_r - c)E[S] - (p_w - v)Q$ .

由引理 1, 零售商的利润函数是关于  $Q$  和  $p_r$  的凹函数, 则由  $\frac{\partial \pi_r(Q, p_r)}{\partial Q} = 0$  可得到最佳订货量, 即

$$Q^m(p_r, l_w) = H^{-1} \left( \frac{p_r - p_w}{p_r - v} \right) + D(p_r, l_w).$$

### 2) 零售商质保下的供应链决策

在零售商提供质保服务的供应链中, 制造商首先确定产品批发价格  $p_w$ , 零售商根据市场需求确定订货量  $Q$ 、质保期长度  $l_w$  和产品零售价格  $p_r$ .

制造商的期望利润为  $\pi_m(Q, p_w) = (p_w - c_p)Q$ .

零售商的期望利润为  $\pi_r(Q, l_w, p_r) = (p_r - c_w - v)E[S] - (p_w - v)Q$ .

由引理 1 可以证明零售商的期望利润函数  $\pi_r$  是关于  $Q$ 、 $p_r$  和  $l_w$  的凹函数, 由  $\frac{\partial \pi_r(Q, p_r)}{\partial Q} = 0$  求得最佳

$$\text{订货量 } Q^r(p_r, l_w) = H^{-1} \left( \frac{p_r - c_w - p_w}{p_r - c_w - v} \right) + D(p_r, l_w).$$

在供应链的运营中, 为了应对市场需求变化所带来的风险, 供应链成员通常采用成本共担、收益共享和回购等契约来应对风险, 实现供应链的协调决策. 本文主要基于价格契约(批发价和回购契约)以及收益共享和质保服务成本共担契约研究供应链的协调问题.

### 4.1 批发价格契约

批发价格契约是指零售商根据市场需求和批发价格决定订购量, 制造商根据零售商的订购量组织生产. 因此, 该契约中制造商的利润是确定的, 零售商完全承担市场风险.

制造商提供质保服务时, 最优订货量为  $Q^m(p_r, l_w) = H^{-1} \left( \frac{p_r - p_w}{p_r - v} \right) + D(p_r, l_w)$ , 要使得供应链协调, 最优订货量必须满足  $Q^m = Q^c$ , 则有  $p_w = \frac{(p_r - v)(c_p - v)}{p_r - c_w - v} + v$ ; 令  $\sigma = \frac{p_w - v}{c_p - v} > 1$ , 由  $\pi_r = \sigma \pi_c > \pi_c$ , 那么  $\pi_m < 0$ . 因此, 在批发价格契约下, 制造商的利润为负值, 无法实现供应链的协调.

当零售商提供质保服务时, 最优订货量  $Q^r(p_r, l_w) = H^{-1} \left( \frac{p_r - c_w - p_w}{p_r - c_w - v} \right) + D(p_r, l_w)$ . 为了实现供应链协调, 必须满足  $Q^r = Q^c$ , 则  $c_p = p_w$ , 即产品批发价格等于产品生产成本, 制造商无法获得利润, 制造商和零售商失去了合作的基础.

因此, 在批发价格契约下, 制造商和零售商的分散决策无法实现供应链的协调, 无法获得供应链运作的最佳绩效.

### 4.2 收益共享和质保成本共担契约

收益共享和质保成本共担契约是指制造商给零售商一个较低的批发价格, 同时获得一部分零售商

的销售收益,且质保服务成本由两者共担.这是一种非常常见的供应链契约,特别是针对在线的零售行业,如Amazon,eBay等.

假设零售商获得供应链总收入(包括销售收入和残值收入)的比例为 $\phi$ ,制造商提供质保时,零售商承担保修服务总成本的比例为 $\lambda_1$ ;零售商提供质保时,零售商承担保修服务总成本的比例为 $\lambda_2$ .

### 1) 制造商提供质保服务

制造商和零售商的期望利润分别为

$$\pi_m(p_w, l_w) = (p_w - c_p)Q - (1 - \lambda_1)c_w E[S] + (1 - \phi)((p_r - v)E[S] + vQ - p_w Q),$$

$$\pi_r(Q, p_r) = \phi((p_r - v)E[S] - p_w Q + vQ) - \lambda_1 c_w E[S].$$

根据供应链协调的定义,可得到下列定理1和定理2.

**定理1** 对于给定的质保期 $l_w$ ,若契约参数满足 $\frac{\phi p_w - \phi v}{c_p - v} = \frac{\phi(p_r - v) - \lambda_1 c_w}{p_r - c_w - v} = \eta_1$ 且 $0 < \eta_1 < 1$ ,则收益共享与质保成本共担契约能够实现供应链系统协调.

**证明** 若零售商能够获得利润且满足 $\phi(p_r - v) - \lambda_1 c_w > 0$ ,那么零售商的期望利润函数为凹函数.对某一给定的 $l_w$ ,为实现供应链系统协调,零售商最优订货量 $Q^*$ 需要满足

$$\frac{\partial \pi_r(Q, p_r, l_w)}{\partial Q} = \phi(p_r - v) \int_{Q-D(p_r, l_w)}^B h(x)dx - \phi p_w + \phi v - \lambda_1 c_w \int_{Q-D(p_r, l_w)}^B h(x)dx = 0,$$

$$\text{即 } \int_{Q-D(p_r, l_w)}^B h(x)dx = \frac{\phi p_w - \phi v}{\phi(p_r - v) - \lambda_1 c_w}.$$

由于参数满足 $\frac{\phi p_w - \phi v}{c_p - v} = \frac{\phi(p_r - v) - \lambda_1 c_w}{p_r - c_w - v} = \eta_1$ ,此时可证零售商最优订货量与集中决策时的最优订货量相等.

当 $0 < \eta_1 < 1$ 时,制造商和零售商能够获得利润,且利润能够在供应链中进行任意分配.因此,收益共享与质保成本共担契约能够实现供应链的协调. 证毕.

定理1表明,在给定的质保期长度水平下,制造商和零售商通过供应链参数的确定(双方可以合作商定),即 $\frac{\phi p_w - \phi v}{c_p - v} = \frac{\phi(p_r - v) - \lambda_1 c_w}{p_r - c_w - v}$ ,可以实现供应链分散决策的协调,零售商和制造商可以获得供应链渠道利润的比例分别为 $\eta_1$ 和 $1 - \eta_1$ ,即 $\pi_m(Q, p_r, l_w) = (1 - \eta_1)\pi_c(Q, p_r, l_w)$ , $\pi_r(Q, p_r, l_w) = \eta_1\pi_c(Q, p_r, l_w)$ .此时,可以证明,制造商和零售商获得了比分散决策时更多的利润.

**定理2** 若供应链系统的期望利润函数为 $l_w$ 的凹函数,收益共享与质保成本共担契约能实现供应链系统协调,契约参数满足条件如下:

$$1) (p_r - c_w - v) \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w} - \frac{\partial c_w}{\partial l_w} E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}] = 0;$$

$$2) \lambda_1 = \eta_1.$$

**证明** 由条件1)可知

$$\frac{\partial \pi_c}{\partial l_w} = (p_r - c_w - v) \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w} - \frac{\partial c_w}{\partial l_w} E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}] = 0,$$

$$\frac{\partial \pi_m}{\partial l_w} = -(1 - \lambda_1) \frac{\partial c_w}{\partial l_w} E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}] - (1 - \lambda_1) c_w \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w} +$$

$$(1 - \phi)(p_r - v) \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w},$$

$$\frac{\partial^2 \pi_m}{\partial l_w^2} = -2(1 - \lambda_1) \frac{\partial c_w}{\partial l_w} \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w} - (1 - \lambda_1) \frac{\partial^2 c_w}{\partial l_w^2} E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}] < 0,$$

因此,供应链期望利润函数为  $l_w$  的凹函数.

对于给定的  $Q^*$ ,由条件2)可知,

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_m}{\partial l_w} &= -(1 - \lambda_1) \frac{\partial c_w}{\partial l_w} E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}] - (1 - \lambda_1)c_w \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w} + \\ &(1 - \phi)(p_r - v) \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w} = 0.\end{aligned}$$

可见,  $\frac{\partial \pi_c}{\partial l_w} = 0$  和  $\frac{\partial \pi_m}{\partial l_w} = 0$  同时成立,能够实现供应链集中式决策与分散式决策的一致性. 证毕.

定理2表明,在质保期长度为变量时,只有供应链参数满足所限定的条件,供应链才能实现协调,所设定的条件尽管严格,但通过供应链成员的合作和协议,能实现分布式供应链的整体收益最优.此时,基于定理1,可直接得到  $\lambda_1 = \phi$ ,表明在特定质保长度前提下,零售商分担的成本与共享的利润比例一致.

## 2) 零售商提供质保服务

制造商和零售商的期望利润分别为

$$\begin{aligned}\pi_m(Q, p_w) &= (p_w, c_p)Q - (1 - \lambda_2)c_w E[S] + (1 - \phi)((p_r - v)E[S] - (p_w - v)Q), \\ \pi_r(Q, l_w, p_r) &= \phi((p_r - v)E[S] - p_w Q + vQ) - \lambda_2 c_w E[S].\end{aligned}$$

与制造商提供质保服务情形类似,零售商提供质保时,可以得到如下结论.

**定理3** 对某一给定的  $l_w$ ,若契约参数满足  $\frac{\phi(p_w - v)}{c_p - v} = \frac{\phi(p_r - v) - \lambda_2 c_w}{p_r - c_w - v} = \eta_2$  和  $0 < \eta_2 < 1$ ,则收益共享和质保成本共担契约能实现供应链系统协调.

**定理4** 若供应链系统的期望利润函数为  $l_w$  的凹函数,收益共享和质保成本共担契约能实现供应链系统协调,契约参数满足下列条件:

$$1) (p_r - c_w - v) \frac{\partial E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}]}{\partial l_w} - \frac{\partial c_w}{\partial l_w} E[\min\{Q, D(p_r, l_w)\}] = 0;$$

$$2) \lambda_2 = \eta_2.$$

定理3和定理4的证明和表达的含义分别与定理1和2类似,这里不再给出.

## 4.3 回购契约

回购契约是指在销售季节结束时,零售商还有剩余产品未售出,制造商和零售商签订合同以一个合理的价格  $b$  回购剩余的产品,从而刺激零售商增加订购量,扩大产品销售量,此时  $v + b < c_p < p_w < p_r$ .

当制造商提供质保时,制造商和零售商的期望利润分别为

$$\pi_m(p_w, l_w) = (p_w - c_p - b)Q - (c_w - b)E[S],$$

$$\pi_r(Q, p_r) = (p_r - v - b)E[S] - (p_w - v - b)Q.$$

由于零售商期望利润函数是关于  $Q$  的凹函数,因此,由  $\frac{\partial \pi_r(Q, p_r)}{\partial Q} = 0$  可得

$$Q^m(p_r, l_w) = H^{-1} \left( \frac{p_r - p_w}{p_r - v - b} \right) + D(p_r, l_w).$$

为实现供应链系统协调,需满足  $Q^m = Q^c$ ,即  $\frac{p_r - p_w}{p_r - v - b} = \frac{p_r - c_w - c_p}{p_r - c_w - v}$ ;此时,零售商决定的最优订货量也是供应链整体运作绩效达到最优时的订货量.由此可得,供应链整体绩效达到最优的退货价格为

$$b = \frac{(p_r - v)(p_w - c_w - c_p + c_w(p_r - p_w))}{p_r - c_w - c_p} > 0.$$

若零售商提供质保时, 制造商和零售商的期望利润分别为

$$\begin{aligned}\pi_m(Q, p_w) &= (p_w - c_p - b)Q + bE[S], \\ \pi_r(Q, l_w, p_r) &= (p_r - c_w - v - b)E[S] - (p_w - v - b)Q,\end{aligned}$$

与制造商提供质保服务情形类似, 可得供应链整体绩效最优时的退货价格为

$$b = \frac{(p_r - c_w - v)(p_w - c_p)}{p_r - c_w - c_p} > 0,$$

此时, 回购契约能实现供应链的协调.

## 5 算例分析

为简化说明, 本节仅采用算例分析说明收益共享和质保成本共担契约实现供应链的协调. 假定 $\varepsilon$ 为服从 $[A, B]$ 的均匀分布, 相关的供应链基本参数为 $M = 2250, \alpha = 14.1, \beta = 14, c = 75, k = 6, v = 25, A = -250, B = 500$ .

由 $Q^c(p_r, l_w) = H^{-1} \left( \frac{p_r - c_w - c_p}{p_r - c_w - v} \right) + D(p_r, l_w)$ 可得 $Q_c^* = 684.292$ , 此时, 供应链的最大利润 $\pi_c = 21957.8$ . 而在分散式系统下, 当制造商提供质保时, 可计算出零售商的最优订货量 $Q_m^* = 335.216$ , 此时制造商和零售商的利润分别为 $\pi_m = 10980.6$ 和 $\pi_r = 5654.71$ ; 当零售商提供质保时, 可计算出零售商订货量 $Q_r^* = 381.675$ , 此时制造商和零售商的利润分别为 $\pi_m = 10341.5$ 和 $\pi_r = 6456.31$ . 如表1所示.

表 1 供应链决策及绩效  
Table 1 Decision-making and performance of supply chain

	$l_w$	$p_w$	$p_r$	$Q$	$\pi_r$	$\pi_m$	$\pi_c$
Case C	0.21		117.865	684.292			21957.8
Case M	0.28	107.759	127.697	335.216	5654.71	10980.6	
Case R	0.47	102.095	137.629	381.675	6456.31	10341.5	

注: Case C指集中式决策, Case M指制造商提供质保时分散式决策, Case R指零售商提供质保时分散式决策.

由表1可知, 在分散供应链系统中, 无论制造商提供质保, 还是零售商提供质保, 供应链分散决策时的订货量小于集中决策的订货量, 制造商和零售商的利润之和也小于集中式供应链的总利润, 供应链的系统收益未达到最优.

下文仅以制造商提供质保服务为例, 分析收益共享和质保服务成本共担契约下的供应链整体及成员收益问题, 计算结果如表2所示.

表 2 不同成本共担率和收益共享率下的结果  
Table 2 Results of different cost sharing rate and revenue sharing rate

$\lambda_1$	$\phi$	$p_w$	$\pi_r$	$\pi_m$	$\pi_c$	$(\pi_r + \pi_m)/\pi_c$
0.1	0.3	75.01	6 603.38	15 354.5	21 957.8	100%
0.5	0.3	75.03	6 571.32	15 386.5	21 957.8	100%
0.9	0.3	75.02	6 539.27	15 418.6	21 957.8	100%
0.1	0.4	75.01	8 807.17	13 150.7	21 957.8	100%
0.5	0.4	75.02	8 775.12	13 182.7	21 957.8	100%
0.9	0.4	75.01	8 743.06	13 214.8	21 957.8	100%
0.1	0.5	75.05	11 011.1	10 946.7	21 957.8	100%
0.5	0.5	75.03	10 978.9	10 978.9	21 957.8	100%
0.9	0.5	75.02	10 946.7	11 011.1	21 957.8	100%

在数值分析中, 为分析供应链参数对供应链决策和协调的影响, 本文分析了零售商利润分享比例 $\phi$ 和零

售商承担质保总成本比例  $\lambda_1$  的变化。由表2可知,收益共享和质保成本共担契约可实现供应链协调。此时,制造商和零售商的利润受到收益共享率和成本共担率影响,为使制造商和零售商能够达成合作决策,可以计算出收益共享率  $\phi$  取值范围为 [0.256, 0.501], 成本共担率  $\lambda$  的取值范围为 (0, 1]。

为说明收益共享率和质保成本共担率对供应链绩效的影响,分别计算了两种参数取值变化对制造商和零售商利润分配的影响,结果如图1和图2所示。

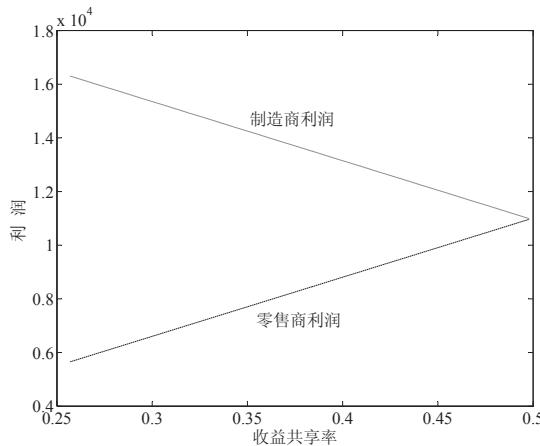


图1 不同收益共享率下制造商和零售商的利润( $\lambda = 0.1$ )

Fig. 1 Profit of manufacturers and retailers with different revenue sharing rate

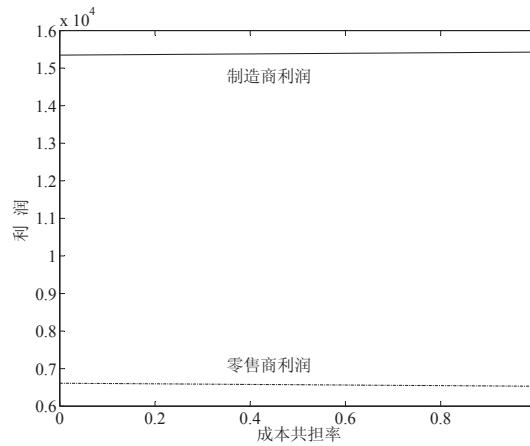


图2 不同成本共担率下制造商和零售商的利润( $\phi = 0.3$ )

Fig. 2 Profit of manufacturers and retailers with different cost sharing rate

由图1可知,在成本共担率固定时,制造商的利润随着收益共享率的增加而减小;零售商的利润随着收益共享率的增加而增大,最终制造商和零售商的利润趋于相等。但可以看出,不论成本共担率和收益共享率取何值,制造商和零售商的利润都大于供应量分散决策协调前的利润。

由图2可知,  $\phi$  取值对制造商和零售商利润的影响较小。由表2可知,当  $\lambda = \phi = 0.5$ , 制造商和零售商的利润相等且为供应链整体利润的50%。需要特别指出的是,当收益共享率为0时,即制造商与零售商共担质保服务成本,却不共享利润时,无法实现供应链的协调。

## 6 结束语

本文以一个制造商和一个零售商组成的供应链为对象,引入质保服务,考虑需求受产品价格和质保期长度的双重影响,研究以制造商为主导的供应链契约协调问题。分别研究了制造商和零售商提供质保服务情形下,基于批发价格契约、收益共享和质保服务成本共担契约及回购契约的供应链协调问题。理论分析表明:批发价格契约无法有效实现供应链的协调,收益共享和质保成本共担契约及回购契约能够有效地实现供应链协调。

本文所研究的问题主要是确定性需求下一个制造商和一个零售商组成的二级供应链协调问题,未来的研究将考虑以下三个问题:

- (1)多个制造商、零售商组成的多级供应链网络结构情形下的协调决策;
- (2)需求随机且受产品质量、质保服务内容、客户选择行为、市场竞争等因素的影响;
- (3)供应链成员决策的风险偏好。

## 参考文献:

- [1] Murthy D N P, Djameludin I. New product warranty: A literature review[J]. International Journal of Production Economics, 2002, 79(3): 231–260.

- [2] Blischke W R, Murthy D N P. *Warranty Cost Analysis*[M]. New York: Marcel Dekker, 1994.
- [3] 于 健. 基于成本/效益分析的产品保证策略[J]. 工业工程与管理, 2005, 10(2): 53–56, 63.  
Yu Jian. Product warranty policy of the enterprise based on the analysis of the cost/benefit[J]. Industrial Engineering and Management, 2005, 10(2): 53–56, 63.(in Chinese)
- [4] Darghouth M N, Chelbi Anis, Ait-kadi D. A profit assessment model for equipment inspection and replacement under renewing free replacement warranty policy[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 135: 899–906.
- [5] 门 峰, 刘子先. 产品保证成本集成管理模式与方法[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(9): 1854–1859, 1866.  
Men Feng, Liu Zixian. Mode and method of product warranty cost integration management[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(9): 1854–1859, 1866. (in Chinese)
- [6] 于 健, 毛春苗, 陈相侄. 不完全维修的二维产品保证成本[J]. 工业工程与管理, 2010, 15(4): 57–61.  
Yu Jian, Mao Chunmiao, Chen Xiangzhi. Research on the cost of two-dimensional product warranty based on imperfect repair[J]. Industrial Engineering and Management, 2010, 15(4): 57–61. (in Chinese)
- [7] Hmurthy N P, Blischke W R. Strategic warranty management: A life-cycle approach[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2000, 47(1): 40–54.
- [8] Giri B C, Dohi T. Inspection scheduling for imperfect production processes under free repair warranty contract[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 183(1): 238–252.
- [9] Hsieh C C, Liu Y T. Quality investment and inspection policy in a supplier-manufacture supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 202(3): 717–729.
- [10] Spence M. Consumer misperception, product failure, and producer liability[J]. Review of Economic studies, 1977, 44(3): 561–572.
- [11] Heal G. Guarantees and risk sharing[J]. Review of Economic Studies, 1977, 44(3): 549–560.
- [12] Padmanabhan V. Usage heterogeneity and extended warranties[J]. Journal of Economics and Management Strategy, 1995, 4(1): 33–53.
- [13] 陈祥锋. 供应链中质量担保决策[J]. 科研管理, 2001, 22(3): 114–120.  
Chen Xiangfeng. Quality warranty decision in supply chain[J]. Science Research Management, 2001, 22(3): 114–120. (in Chinese)
- [14] Desai P S, Padmanabhan P. Durable good, extended warranty and channel coordination[J]. Review of Marketing Science, 2004, 2(2): 1–23.
- [15] Jiang B, Zhang X. How does a retailer's service plan affect a manufacturer's warranty[J]. Management Science, 2011, 57(4): 727–740.
- [16] Chen X, Li L, Zhou M. Manufacturer's pricing strategy for supply chain with warranty period-dependent demand[J]. Omega: The International Journal of Management Science, 2012, 40(6): 807–816.
- [17] Li K, Mallik S, Chhajed D. Design of extended warranties in supply chains under additive demand[J]. Production and Operations Management, 2012, 21(4): 730–746.
- [18] 王素娟, 胡奇英. 基于延保服务吸引力指数的服务模式分析[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(10): 2277–2284.  
Wang Sujuan, Hu Qiyong. Service modes analysis based on extended warranty services desirability index[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(10): 2277–2284. (in Chinese)
- [19] Tsao Y C, Su P Y. A dual-channel supply chain model under price and warranty competition[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2012, 8(3): 2125–2135.
- [20] Hu W T. Supply Chain Coordination Contracts with Free Replacement Warranty[D]. Philadelphia: Drexel University, 2008.
- [21] 桂云苗, 龚本刚, 程幼明. 保修期限促销策略下供应链协调[J]. 软科学, 2012, 26(5): 67–70.  
Gui Yunmiao, Gong Bengang, Cheng Youmin. Supply chain coordination under promoting strategy in the term of service[J]. Soft Science, 2012, 26(5): 67–70. (in Chinese)
- [22] Dai Y, Zhou S X, Xu Y. Competitive and collaborative quality and warranty management in supply chains[J]. Production and Operations Management, 2012, 21(1): 129–144.
- [23] Sinha S, Sarmah S P. Price and warranty competition in a duopoly supply chain[M] // Choi T M, Edwin Cheng T C. *Supply Chain Coordination under Uncertainty*. International Handbooks on Information Systems. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011: 281–314.

## 作者简介:

严 帅(1990—),男,安徽安庆人,硕士生,研究方向:质保服务管理,Email: ys0515@163.com;

李四杰(1979—),男,河南周口人,博士,副教授,研究方向:供应链管理,Email: sjli@seu.edu.cn;

卞亦文(1978—),男,安徽芜湖人,博士,副教授,研究方向:服务运作管理,评价与决策,Email: ywbian@shu.edu.cn.