

# 公平关切下三级供应链收益共享契约协调机制研究

张学习, 刘胜

(重庆大学机械工程学院, 重庆, 400044)

**摘要:** 本文研究供应链成员具有公平关切时基于收益共享契约的三级供应链协调问题。通过改进 Nash 讨价还价公平关切效用模型, 分别建立了单一成员具有公平关切、供应链成员均具有公平关切的收益共享契约协调模型, 分析公平关切对收益共享契约的影响, 最后通过算例进行说明。研究表明: 在供应链成员具有公平关切时, 收益共享契约仍可协调三级供应链, 且协调关系不发生变化, 但契约参数的具体取值受公平关切行为的影响。

**关键词:** 公平关切; 收益共享契约; 三级供应链; 供应链协调

**中图分类号:** F252

## Coordination Mechanism Research of Revenue-sharing Contracts Under Three-stage Supply Chain Under Fairness

ZHANG Xuexi, LIU Sheng

(School of Mechanical Engineer, Chongqing University, Chongqing 400044)

**Abstract:** In this paper, we study the problem of three-stage supply chain coordination based on revenue sharing contract when the supply chain members have fairness concerns. Established a revenue sharing contract coordination model that a single member has fairness concerns and the supply chain members have fairness concerns by improving the Nash bargaining fairness concerns utility model. analyzed the impact of fair concern on the revenue sharing contract, and explains the results by an example. Research shows that: Revenue sharing contract can coordinate the three-stage supply chain and the coordination relationship have no change when the supply chain members have fairness concerns. But, the specific values of contract parameters is affected by the fairness concerns behavior.

**Key words:** Fairness concerns; Revenue sharing contract; Three-stage supply chain supply; Chain coordination

## 0 引言

在当今供应链与供应链之间的竞争中, 取得成功的关键之一是供应链成员之间的协调程度。供应链契约是实现供应链协调的有效激励机制, 其中最具有代表性的是收益共享契约。Bo 等研究了在多级供应链中, 最下游节点与链中所有节点间的收益共享分配机制<sup>[1]</sup>。Sheu 研究了在对最终客户进行价格促销的情况下, 收益共享契约对由供应商、零售商组成的二级供应链分销渠道的影响<sup>[2]</sup>。Becker-Peth 等研究了在行为因素影响下的收益共享契约, 通过将参考依赖估值纳入经典规范性决策模型来研究其对库存决策的影响<sup>[3]</sup>。Hu 等研究了在供给和需求均具有不确定性且具有服务要求的供应链优化与协调问题, 并通过收益共享契约对其进行协调<sup>[4]</sup>。许民利等研究了供应商风险中性、零售商风险规避、需求和产量都随机的供应链系统决策问题, 研究表明: 收益共享契约能够提高需求和产量都随机下的供应链系统运作效率, 并在一定条件下实现供应链的协调<sup>[5]</sup>。

但以上研究往往假定决策者是完全理性, 然而, 在现实经济活动中, 决策者越来越关注

**作者简介:** 张学习 (1990-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 供应链管理、企业管理

**通信联系人:** 刘胜 (1971-), 男, 四川遂宁人, 重庆大学机械学院副教授, 研究方向: 企业战略管理及管理技术、电子商务与供应链管理、生产运作管理. E-mail: liu@cqu.edu.cn

公平性，即公平关切。大量行为实验研究表明，公平关切能够影响决策者的行为<sup>[6]</sup>，且公平关切对供应链契约协调供应链系统的影响最大<sup>[7]</sup>，因此，公平关切是供应链契约设计需考虑的关键因素之一<sup>[8]</sup>。Cui 等首次将公平关切引入简单的二级供应链中<sup>[9]</sup>。Du 等研究了供应商与零售商都具有公平关切的二级供应链报童问题<sup>[10]</sup>。毕功兵等研究了零售商不公平厌恶对批发价契约协调的影响及零售商的公平关切行为对销售回扣契约的影响<sup>[11,12]</sup>。王宁宁等研究了在模糊需求下零售商具有公平关切行为的批发价契约、收益共享契约对供应链系统协调问题<sup>[13,14]</sup>。刘志等研究了再制造商公平关切下闭环供应链系统的产品设计与生产决策问题<sup>[15]</sup>。

以上研究公平关切对供应链契约的影响，大多数集中在二级供应链中，且假设仅一方具有公平关切，鉴于此，本文考虑单一成员公平关切、供应链成员均公平关切时，三级供应链的收益共享契约协调问题，以期能为决策者提供更加贴近实际情况的决策依据。

## 1 基本模型

本文以报童模型为基础，假设供应链的上游企业向下游企业提供季节性很强的单一产品，在销售开始之前，下游企业只有一次订货机会，在供应商与制造商交易的过程中，供应商处于领导地位，在制造商与零售商交易的过程中，制造商处于领导地位。作为领导地位的供应商、制造商，其目标是通过设计契约使供应链系统实现协调。 $c_i (i = s, m, r)$  分别表示供应商、制造商、零售商的边际成本，产品的单位零售价格为  $p$ ，零售商以单位批发价格  $w_m$  从制造商处订货  $q_r$ ，供应商提供给制造商原材料或半成品的批发价格为  $w_s$ ，制造商的生产量为  $q_m$ ， $\phi_i (i = m, s)$  分别表示零售商、制造商的保留收益比例， $v$  销售季节末未出售产品的单位残值。市场需求量为  $X$ ，其概率密度函数为  $f(x)$ ，需求分布函数为  $F(x)$ ，且  $F(x)$  连续可微，且满足  $F(0) = 0$ ，并记  $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ 。

$S(q)$  为零售商期望销售量，则：

$$S(q) = E \min(x, q) = q - \int_0^q F(x) dx \quad (1)$$

$I(q)$  销售期末零售商的期望剩余量，则：

$$I(q) = E(q - x)^+ = q - S(q) \quad (2)$$

为了研究方便，假设供应商、制造商、零售商都是风险中性且理性的，即要保证： $w_s > c_s$ ，

$$w_m > w_s + c_m, \quad p > w_m + c_r, \quad c_s + c_m + c_r > v。$$

在收益共享契约协调的三级供应链系统中，零售商以低于制造商边际生产成本的批发价

格  $w_m$  从制造商处订购产品，同时承诺以销售收入  $(1-\phi_m)$  的比例返还给制造商，零售商保留销售收入  $\phi_m$  的比例。制造商以低于供应商边际生产成本的批发价格  $w_s$  从供应商处订购产品，同时承诺以销售收入  $(1-\phi_s)$  的比例返还给供应商，制造商保留销售收入  $\phi_s$  的比例。

70 则不考虑供应链成员公平关切时零售商、制造商、供应商的期望利润函数分别为：

$$\pi_r = \phi_m[pS(q) + vI(q)] - w_m q - c_r q = \phi_m(p-v)S(q) + (\phi_m v - w_m - c_r)q \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \pi_m &= \phi_s[(1-\phi_m)(pS(q) + vI(q)) + w_m q] - w_s q - c_m q \\ &= \phi_s(1-\phi_m)(p-v)S(q) + [\phi_s(1-\phi_m)v + \phi_s w_m - w_s - c_m]q \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \pi_s &= (1-\phi_s)[(1-\phi_m)(pS(q) + vI(q)) + w_m q] + w_s q - c_s q \\ &= (1-\phi_s)(1-\phi_m)(p-v)S(q) + [(1-\phi_s)(1-\phi_m)v \\ &\quad + (1-\phi_s)w_m + w_s - c_s]q \end{aligned} \quad (5)$$

供应链系统的期望利润函数为：

$$\pi_c = \pi_r + \pi_m + \pi_s = (p-v)S(q) + (v-c)q \quad (6)$$

其中， $c$  表示产品的总成本，即  $c = c_r + c_m + c_s$ 。

在分散决策状态下，供应链节点企业都以自身利润的最大化为目标，制定最佳的决策，根据式 (3) 和式 (4)，易知零售商最佳的订货量  $q_r^*$ 、制造商的最佳生产量  $q_m^*$  分别满足：

$$\bar{F}(q_r^*) = \frac{w_m + c_r - \phi_m v}{\phi_m(p-v)} \quad (7)$$

$$\bar{F}(q_m^*) = \frac{w_s + c_m - \phi_s w_m - \phi_s(1-\phi_m)v}{\phi_s(1-\phi_m)(p-v)} \quad (8)$$

75 在集中决策时，供应链上各节点企业可以看成是一个经济实体，他们都以系统利润最大化为目标，共同决策，根据式 (6)，系统的最佳订货量  $q_c^\circ$  满足：

$$\bar{F}(q_c^\circ) = \frac{c-v}{p-v} \quad (9)$$

为了实现供应链协调，达到供应链系统全局最优，需确保在分散决策下，供应链节点企业都达到各自最大利润的同时，也实现了集中决策下供应链系统利润的最大值，即在收益共享契约下，应使零售商的最佳订货量、制造商的最佳订货量、集中决策时的最佳订货量三者相等。根据式 (7)、式 (8) 和式 (9) 得订货量满足的条件是：

80

$$\bar{F}(q_r^*) = \bar{F}(q_m^*) = \bar{F}(q_c^*) \quad (10)$$

由式 (10)，经过计算得出：

$$\begin{cases} w_m = \phi_m c - c_r \\ w_s = \phi_s c - \phi_s c_r - c_m \end{cases} \quad (11)$$

由于  $w_m > 0$ ， $w_s > 0$ ，进而可得到收益分配因子  $\phi_r$  与  $\phi_m$  的取值范围如下：

$$\frac{c_r}{c} < \phi_m < 1, \quad \frac{c_m}{c - c_r} < \phi_s < 1 \quad (12)$$

因此，当契约参数满足 (11) 式与 (12) 式时，收益共享契约就可以实现供应链的协调。

## 2 Nash 讨价还价公平关切模型重构

85 本文依据供应链节点企业各自的实力及对所在供应链系统的贡献为前提，以杜少甫 (2013) 构建的有两个经济实体参加的 Nash 讨价还价公平关切模型为基础<sup>[16]</sup>，构建适合三级供应链节点企业均具有公平关切的公平参考框架，以此来刻画决策者对公平的感知，并引入公平关切系数来描述决策者的效用函数。

90 假设供应商、制造商、零售商的 Nash 讨价还价的期望公平利润为  $(\bar{\pi}_s, \bar{\pi}_m, \bar{\pi}_r)$ ，即为决策者感知公平的参考解。其决策者效用的高低取于实际所得利润与参考解的关系，如果供应链节点企业实际所得利润大于决策者感知的公平参考解，其效用就会增加，如果实际所得利润小于决策者感知的公平参考解，其效用就会降低。此时零售商、制造商、供应商的效用函数可用以下表示：

$$u_r = \pi_r + \lambda_r (\pi_r - \bar{\pi}_r) = (1 + \lambda_r) \pi_r - \lambda_r \bar{\pi}_r \quad (13)$$

$$u_m = \pi_m + \lambda_m (\pi_m - \bar{\pi}_m) = (1 + \lambda_m) \pi_m - \lambda_m \bar{\pi}_m \quad (14)$$

$$u_s = \pi_s + \lambda_s (\pi_s - \bar{\pi}_s) = (1 + \lambda_s) \pi_s - \lambda_s \bar{\pi}_s \quad (15)$$

$\lambda_r, \lambda_m, \lambda_s$  分别表示零售商、制造商、供应商的公平关切系数， $\lambda_r > 0, \lambda_m > 0, \lambda_s > 0$ ；

95 当  $\lambda_r = \lambda_m = \lambda_s = 0$  时，是供应链节点企业公平关切中性时情况，显然有  $\bar{\pi}_r + \bar{\pi}_m + \bar{\pi}_s = \pi^0$

根据 Nash 讨价还价解的公理，即参与人效用乘积的最大化是唯一满足他的公理的解，

根据不动点定理，Nash 讨价还价最优解 即为寻找的公平解，即  $\pi_r^* = \bar{\pi}_r, \pi_m^* = \bar{\pi}_m, \pi_s^* = \bar{\pi}_s$ 。

由上面易知供应商效用又可以表示为:

$$u_s(\pi, \pi_r, \pi_m) = (1 + \lambda_s)(\pi - \pi_r - \pi_m) - \lambda_s(\pi - \bar{\pi}_r - \bar{\pi}_m) \quad (16)$$

对上述模型进行求解, 当满足  $k_1 u_m u_r - (k_2 u_s - k_3 u_m - k_4 u_r)^2 > 0$ , 其中

$$k_1 = 4(1 + \lambda_r)(1 + \lambda_m)(1 + \lambda_s)^2, \quad k_2 = (1 + \lambda_r)(1 + \lambda_m), \quad k_3 = (1 + \lambda_r)(1 + \lambda_s),$$

$k_4 = (1 + \lambda_m)(1 + \lambda_s)$ , 可得由目标函数对  $\pi_r$ 、 $\pi_m$  的二阶偏导数构成的海塞矩阵是负定的,

所以目标函数是严格凹函数, 存在唯一的最优解, 且满足如下一阶条件:

$$\frac{\partial u_r u_m u_s(\pi, \pi_r, \pi_m)}{\partial \pi_r} = (1 + \lambda_r) u_m u_s - (1 + \lambda_s) u_r u_m = 0$$

$$\frac{\partial u_r u_m u_s(\pi, \pi_r, \pi_m)}{\partial \pi_m} = (1 + \lambda_r) u_r u_s - (1 + \lambda_s) u_r u_m = 0$$

通过求解可得零售商、制造商、供应商的公平参考利润为:

$$\bar{\pi}_r = \frac{1 + \lambda_r}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} \pi \quad (17)$$

$$\bar{\pi}_m = \frac{1 + \lambda_m}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} \pi \quad (18)$$

$$\bar{\pi}_s = \frac{1 + \lambda_s}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} \pi \quad (19)$$

### 3 公平关切下收益共享契约协调模型建立及求解

#### 3.1 仅零售商公平关切

仅考虑零售商具有公平关切时, 在上述公平关切模型中  $\lambda_m = \lambda_s = 0$ , 即制造商、供应商的效用函数等于公平中性时的期望利润。此时, 零售商、供应链系统的效用函数为:

$$u_{rr} = (1 + \lambda_r) \pi_r - \frac{\lambda_r (1 + \lambda_r)}{3 + \lambda_r} \pi_c \quad (20)$$

$$u_{cr} = u_{rr} + u_{mr} + u_{sr} = \lambda_r \pi_r + \frac{3 - \lambda_r^2}{3 + \lambda_r} \pi_c \quad (21)$$

其中  $u_{ri} (i = r, m, s, a)$  分别表示仅零售商、仅制造商、仅供应商及供应链系统均具有公平关切时零售商的效用, 制造商、供应商, 供应链系统的效用函数表示相同。

在分散决策下，零售商具有公平关切时，效用函数  $u_{rr}$  对  $q$  求一阶、二阶偏导为：

$$\frac{\partial u_{rr}}{\partial q} = (1 + \lambda_r)[\phi_m(p - v)\bar{F}(q) + (\phi_m v - w_m - c_r)] - \frac{\lambda_r(1 + \lambda_r)}{3 + \lambda_r}[(p - v)\bar{F}(q) + (v - c)]$$

$$\frac{\partial^2 u_{rr}}{\partial q^2} = (-\phi_m + \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r})(1 + \lambda_r)(p - v)f(q)$$

115 由  $\frac{\partial^2 u_{rr}}{\partial q^2} < 0$ ，得  $\phi_m > \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r}$ ，此时零售商的最佳订货量存在唯一值，令  $\frac{\partial u_{rr}}{\partial q} = 0$ ，得

零售商的最佳订货量满足：

$$\bar{F}(q_{rr}^*) = \frac{(3 + \lambda_r)(c_r + w_m - \phi_m v) + \lambda_r(v - c)}{(3 + \lambda_r)\phi_m(p - v) - \lambda_r(p - v)} \quad (22)$$

由于制造商是公平中性的，因此使制造商效用最大时的最佳生产量等于使其利润最大时的最佳生产量，即  $q_{mr}^* = q_m^*$ ，且满足：

$$\bar{F}(q_{mr}^*) = \bar{F}(q_m^*) = \frac{w_s + c_m - \phi_s w_m - \phi_s(1 - \phi_m)v}{\phi_s(1 - \phi_m)(p - v)} \quad (23)$$

120 集中决策时供应链上各节点企业以系统效用最大化为目标，共同决策产品的最佳订货量，由供应链系统效用函数  $u_{cr}$  对  $q$  求一阶、二阶偏导为：

$$\frac{\partial u_{cr}}{\partial q} = \lambda_r[\phi_m(p - v)\bar{F}(q) + (\phi_m v - w_s - c_r)] + \frac{3 - \lambda_r^2}{3 + \lambda_r}[(p - v)\bar{F}(q) + (v - c)]$$

$$\frac{\partial^2 u_{cr}}{\partial q^2} = [-\lambda_r\phi_m + \frac{\lambda_r^2 - 3}{3 + \lambda_r}](p - v)f(q)$$

当  $\frac{\lambda_r^2 - 3}{(3 + \lambda_r)\lambda_r} < \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r} < \phi_m$  时， $\frac{\partial^2 u_{cr}}{\partial q^2} < 0$ ，此时  $u_{cr}$  是  $q$  的严格凹函数，其存在唯一

125 的最优解，令  $\frac{\partial u_{cr}}{\partial q} = 0$  得集中决策时供应链系统最佳的订货量  $q_{cr}^\circ$  满足：

$$\bar{F}(q_{cr}^\circ) = \frac{\lambda_r(3 + \lambda_r)(c_r + w_m - \phi_m v) - (3 - \lambda_r^2)(v - c)}{\lambda_r(3 + \lambda_r)\phi_m(p - v) + (3 - \lambda_r^2)(p - v)} \quad (24)$$

借鉴 Giannoccaro I 等研究的结果，在信息对称的情况下，制造商为了使自身的利润最大化，其最佳生产量必然与零售商的最佳订货量相等<sup>[17]</sup>，本文把这一理论引用到考虑公平关切时，制造商为了使自身的效用最大化，其最佳生产量必然与零售商的最佳订货量相等。

此时，为了实现供应链系统全局最优，则制造商的最佳生产量与零售商的最佳订货量必然相等，且与集中决策的最佳订货量相等，即满足  $\bar{F}(q_{rr}^*) = \bar{F}(q_{mr}^*) = \bar{F}(q_{cr}^*)$ ，即：

$$\begin{aligned} \frac{(3 + \lambda_r)(c_r + w_m - \phi_m v) + \lambda_r(v - c)}{(3 + \lambda_r)\phi_m(p - v) - \lambda_r(p - v)} &= \frac{w_s + c_m - \phi_s w_m - \phi_s(1 - \phi_r)v}{\phi_s(1 - \phi_m)(p - v)} \\ &= \frac{\lambda_r(3 + \lambda_r)(c_r + w_m - \phi_m v) - (3 - \lambda_r^2)(v - c)}{\lambda_r(3 + \lambda_r)\phi_m(p - v) + (3 - \lambda_r^2)(p - v)} \end{aligned}$$

根据上式，经过求解可得到：

$$\begin{cases} w_m = \phi_m c - c_r \\ w_s = \phi_s c - \phi_s c_r - c_m \end{cases} \quad (25)$$

如果批发价格满足 (25) 式，收益共享契约仍然能够协调三级供应链，使分散状态时的最佳订购量等于集中决策时的最佳订购量。与公平中性时相对比，三级供应链系统的协调关系式与零售商公平关切程度无关，但由以上分析可知，契约参数的具体取值受零售商公平关切行为的影响，需满足式 (26)，否则零售商公平关切时，收益共享契约则不能协调三级供应链。

$$\phi_m > \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r} \quad (26)$$

### 3.2 仅制造商公平关切

仅制造商具有公平关切时，在公平关切模型中  $\lambda_r = \lambda_s = 0$ ，此时零售商、制造商的效用函数等于其公平中性时的期望利润。此时，制造商、供应商系统的效用函数为：

$$u_{mm} = (1 + \lambda_m)\pi_m - \frac{\lambda_m(1 + \lambda_m)}{3 + \lambda_m}\pi_c \quad (27)$$

$$u_{cm} = u_{rm} + u_{mm} + u_{sm} = \lambda_m\pi_m + \frac{3 - \lambda_m^2}{3 + \lambda_m}\pi_c \quad (28)$$

由于零售商公平中性，因此使其效用最大时的最佳订购量等于其利润最大时的最佳订购量，即  $q_{rm}^* = q_r^*$ ，即满足：

$$\bar{F}(q_{rm}^*) = \bar{F}(q_r^*) = \frac{w_m + c_r - \phi_m v}{\phi_m(p - v)} \quad (29)$$

制造商的效用函数  $u_{mm}$  对  $q$  求一阶、二阶偏导为：

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_{mm}}{\partial q} &= (1 + \lambda_m)[\phi_s(1 - \phi_m)(p - v)\bar{F}(q) + \phi_s(1 - \phi_m)v + \phi_s w_m - w_s - c_m] \\ &\quad - \frac{\lambda_m(1 + \lambda_m)}{3 + \lambda_m}[(p - v)\bar{F}(q) + (v - c)] \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 u_{mm}}{\partial q^2} = [-(1 + \lambda_m)\phi_s(1 - \phi_m) + \frac{\lambda_m(1 + \lambda_m)}{3 + \lambda_m}](p - v)f(q)$$

145 由制造商的效用函数  $u_m$  对  $q$  的二阶导数知, 当  $\phi_s(1 - \phi_m) > \frac{\lambda_m}{3 + \lambda_m}$  时,  $\frac{\partial^2 u_{mm}}{\partial q^2} < 0$ , 此

时存在唯一的最佳生产量使制造商效用最大, 且该最佳生产量  $q_{mm}^*$  满足:

$$\bar{F}(q_{mm}^*) = \frac{(3 + \lambda_m)[w_s + c_m - \phi_s(1 - \phi_m)v - \phi_s w_m] + \lambda_m(v - c)}{[(3 + \lambda_m)\phi_s(1 - \phi_m)(p - v) - \lambda_m](p - v)} \quad (30)$$

在仅制造商公平关切时, 供应链系统的效用  $u_{cm}$  对求  $q$  一阶、二阶导数为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_{cm}}{\partial q} &= \lambda_m[\phi_s(1 - \phi_m)(p - v)\bar{F}(q) + \phi_s(1 - \phi_m)v + \phi_s w_m - w_s - c_m] \\ &\quad + \frac{3 - \lambda_m^2}{3 + \lambda_m}[(p - v)\bar{F}(q) + (v - c)] \\ \frac{\partial^2 u_{cm}}{\partial q^2} &= [-\lambda_m\phi_s(1 - \phi_m) - \frac{3 - \lambda_m^2}{3 + \lambda_m}](p - v)f(q) \end{aligned}$$

150 由上式知, 当  $\phi_s(1 - \phi_m) > \frac{\lambda_m}{3 + \lambda_m} > \frac{\lambda_m^2 - 3}{\lambda_m(3 + \lambda_m)}$  时,  $\frac{\partial^2 u_{cm}}{\partial q^2} < 0$ , 此时存在唯一的最佳

订货量使供应链系统的效用达到最大, 该最佳订货量  $q_{cm}^\circ$  满足:

$$\bar{F}(q_{cm}^\circ) = \frac{\lambda_m(3 + \lambda_m)[w_s + c_m - \phi_s(1 - \phi_m)v - \phi_s w_m] - (3 - \lambda_m^2)(v - c)}{[\lambda_m(3 + \lambda_m)\phi_s(1 - \phi_m) - (3 - \lambda_m^2)](p - v)} \quad (31)$$

在收益共享契约下, 制造商具有公平关切时, 若要实现供应链系统全局最优, 则制造商的最佳订货量与零售商的最佳订货量必然相等, 且与集中决策的最佳订货量相等, 即满足

$\bar{F}(q_{rm}^*) = \bar{F}(q_{mm}^*) = \bar{F}(q_{cm}^\circ)$ , 即:

$$\begin{aligned} \frac{w_m + c_r - \phi_m v}{\phi_m(p - v)} &= \frac{(3 + \lambda_m)[w_s + c_m - \phi_s(1 - \phi_m)v - \phi_s w_m] + \lambda_m(v - c)}{[(3 + \lambda_m)\phi_s(1 - \phi_m)(p - v) - \lambda_m](p - v)} \\ &= \frac{\lambda_m(3 + \lambda_m)[w_s + c_m - \phi_s(1 - \phi_m)v - \phi_s w_m] - (3 - \lambda_m^2)(v - c)}{[\lambda_m(3 + \lambda_m)\phi_s(1 - \phi_m) - (3 - \lambda_m^2)](p - v)} \end{aligned}$$

经过计算化简得:

$$\begin{cases} w_m = \phi_m c - c_r \\ w_s = \phi_s c - \phi_s c_r - c_m \end{cases} \quad (32)$$

有 (32) 式可知, 当企业间的收益分配比例与批发价格满足上式关系时, 供应链就实现了协调, 且协调条件与制造商公平关切程度无关, 即制造商公平关切对零售商的订货量、自

160 身的生产量没有影响。但通过以上分析，制造商公平关切对契约参数的具体取值有影响，具体是满足全局协调 ( $c/c_r < \phi_m < 1$ ,  $c_m/(c-c_r) < \phi_s < 1$ ) 的基础上，仍需满足以下条件：

$$\phi_s(1-\phi_m) > \frac{\lambda_m}{3+\lambda_m} \quad (33)$$

### 3.3 仅供应商公平关切

当仅供应商具有公平关切时，在公平关切模型中  $\lambda_r = \lambda_m = 0$ ，即零售商、制造商的效用函数等于其公平中性时的期望利润函数。此时供应商、供应链系统的效用函数为：

$$u_{ss} = (1+\lambda_s)\pi_s - \frac{\lambda_s(1+\lambda_s)}{3+\lambda_s}\pi_c \quad (34)$$

$$u_{cs} = u_{rs} + u_{ms} + u_{ss} = \lambda_s\pi_s + \frac{3-\lambda_s^2}{3+\lambda_s}\pi_c \quad (35)$$

165 与仅零售商、仅制造商公平关切时方法相同，求得当供应商公平关切时，供应链系统实现协调应满足：

$$\begin{cases} w_m = \phi_m c - c_r \\ w_s = \phi_s c - \phi_s c_r - c_m \end{cases} \quad (36)$$

170 由 (36) 式可知，当企业间的收益分配比例与批发价格满足 (36) 式关系时，供应链就实现了协调，且协调条件与供应商公平关切程度无关，即是供应商公平关切对零售商的最佳订货量、制造商的最佳生产量没有影响。同时，供应商公平关切行为对契约参数的具体取值范围有影响，具体是契约参数在满足全局协调 ( $c/c_r < \phi_m < 1$ ,  $c_m/(c-c_r) < \phi_s < 1$ ) 的基础上，仍需满足以下条件：

$$(1-\phi_s)(1-\phi_m) > \frac{\lambda_s^2-3}{\lambda_s(3+\lambda_s)} \quad (37)$$

### 3.4 供应链成员均公平关切

当供应商、制造商、零售商均具有公平关切时，其效用函数与供应链系统的效用函数分别为：

$$u_{ra} = (1+\lambda_r)\pi_r - \frac{\lambda_r(1+\lambda_r)}{3+\lambda_r+\lambda_m+\lambda_s}\pi_c \quad (38)$$

$$u_{ma} = (1+\lambda_m)\pi_m - \frac{\lambda_m(1+\lambda_m)}{3+\lambda_r+\lambda_m+\lambda_s}\pi_c \quad (39)$$

$$u_{sa} = (1+\lambda_s)\pi_s - \frac{\lambda_s(1+\lambda_s)}{3+\lambda_r+\lambda_m+\lambda_s}\pi_c \quad (40)$$

$$u_{ca} = u_{ra} + u_{ma} + u_{sa} = h_1\pi_r + h_2\pi_m + h_3\pi_s \quad (41)$$

$$\text{其中, } h_1 = \frac{3+3\lambda_r + \lambda_r\lambda_m + \lambda_r\lambda_s - \lambda_m^2 - \lambda_s^2}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s}, \quad h_2 = \frac{3+3\lambda_m + \lambda_m\lambda_r + \lambda_m\lambda_s - \lambda_r^2 - \lambda_s^2}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s},$$

$$175 \quad h_3 = \frac{3+3\lambda_s + \lambda_s\lambda_r + \lambda_s\lambda_m - \lambda_r^2 - \lambda_m^2}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s}。$$

与上述方法相同，当供应链成员均公平关切时，经计算得供应链系统实现协调应满足：

$$\begin{cases} w_m = \phi_m c - c_r \\ w_s = \phi_s c - \phi_s c_r - c_m \end{cases} \quad (42)$$

由(42)式知无论供应链节点企业是否具有公平关切，只要在批发价与收益分配比例之间建立(32)式的关系，总能实现供应链协调。同时，在供应链节点企业具有公平关切时，供应链系统实现协调的前提是在满足全局协调 ( $c/c_r < \phi_m < 1$ ,  $c_m/(c - c_r) < \phi_s < 1$ ) 的基

180 基础上，各成员公平关切与收益分配比例还需满足以下关系：

$$\begin{cases} \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} < \phi_m \\ \frac{\lambda_m}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} < \phi_s (1 - \phi_m) \\ \frac{3+3\lambda_s + \lambda_s\lambda_r + \lambda_s\lambda_m - \lambda_r^2 - \lambda_m^2}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} > (\lambda_s - \lambda_r)\phi_m + (\lambda_s - \lambda_m)\phi_s (1 - \phi_m) \end{cases} \quad (43)$$

由以上讨论可得出以下结论：

结论 1：仅单一成员具有公平关切，还是供应链成员均具有公平关切，对收益共享契约起协调作用的关系式没有任何影响，但对收益共享比例的取值范围有影响，且公平关切度越大，收益共享比例取值范围越小。

185 由结论 1 可得以下推论。

推论 1：当供应链节点企业具有公平关切时，收益共享契约不一定能协调供应链，此时需通过其他渠道协调供应链。

结论 1 与推论 2 说明，供应链节点企业在缔结收益共享契约机制时，应充分考虑彼此的公平关切程度，通过制定合理的收益分配比例来实现供应链渠道协调。

190 结论 2：在供应链成员具有公平关切，且收益共享契约能协调供应链时，与公平中性相比，零售商最佳订货量、制造商最佳生产量、供应链系统的最佳订货量没有变化。

证明：由于在协调状态下，零售商的最佳订货量、制造商的最佳生产量与集中决策时最佳订货量相等，因此只需证明零售商在公平关切与公平中性时的最佳订货量相等。仅供应链成员均公平关切时，令公平关切下零售商的最佳订货量减去公平中性时的最佳订货量，即：

195

$$\bar{F}(q_{ra}^*) - \bar{F}(q_r^*) = \frac{(c_r + w_m - \phi_m v) + \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} (v - c)}{\phi_m (p - v) - \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} (p - v)} - \frac{w_m + c_r - \phi_m v}{\phi_m (p - v)}$$

经过化简得  $\bar{F}(q_{ra}^*) - \bar{F}(q_r^*) = 0$ ，单一成员具有公平关切时同样的方法可证，证毕。

由结论 1 及结论 2 可得以下推论：

推论 2：在供应链成员具有公平关切，且收益共享契约能协调供应链时，与公平中性相比，零售商、制造商、供应商及供应链的利润不会发生变化。

200

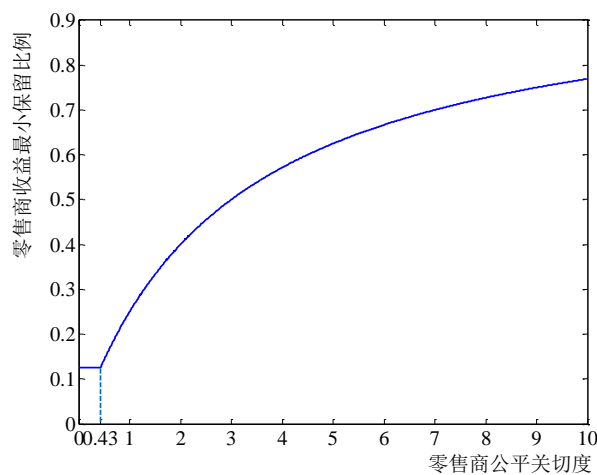
#### 4 算例分析

为了更好地说明所建立的模型及求解结论的有效性，下面将通过算例对公平关切下零售商、制造商、供应商、供应链系统的利润及效用进一步分析。参考文献中的数据，假设某产品市场需求服从正态分布  $X \sim N(100, 40^2)$ ，产品的市场销售价格  $p = 35$ ，零售商单位产品销售成本  $c_r = 1$ ，制造商的单位产品生产成本  $c_m = 2$ ，供应商单位原材料供应成本  $c_s = 5$ ，未出售的产品单位净残值  $v = 3$ 。

205

##### (1) 零售商公平关切对收益共享契约的影响

首先令零售商的公平关切系数取不同的值，观察其对制造商与零售商之间的收益分配比例取值范围的影响，如图 1 所示



210

图 1 收益共享契约下  $\lambda_r$  对  $\phi_m$  的影响

Fig.1 The impact of  $\lambda_r$  to  $\phi_m$  on revenue sharing contract

从图 1 可以得出，在供应链系统实现协调时，随着零售商公平关切系数逐渐增大，零售商保留的最小收益分配比例逐渐增加，收益分配比例可取值范围逐渐减小。在实际交易过程

215 中，零售商公平关切越强，制造商在契约设置上将收益分配比例取值范围订的越小，具体数值订的越大，即制造商会牺牲自身的一部分利润去满足零售商；如果零售商对公平关切不强，制造商将不会设置过高的收益分配比例。说明在具有公平关切时，供应链节点企业的利润可分配空间逐渐减少。

(2) 制造商公平关切对收益共享契约的影响

220 由于制造商与上下游两个企业都有交易，因此首先固定  $\phi_m = 0.45$ ，观察制造商公平关切对  $\phi_s$  的影响，如图 2 所示；然后固定  $\phi_s = 0.55$ ，观察制造商的公平关切对  $\phi_m$  的影响，如图 3 所示。

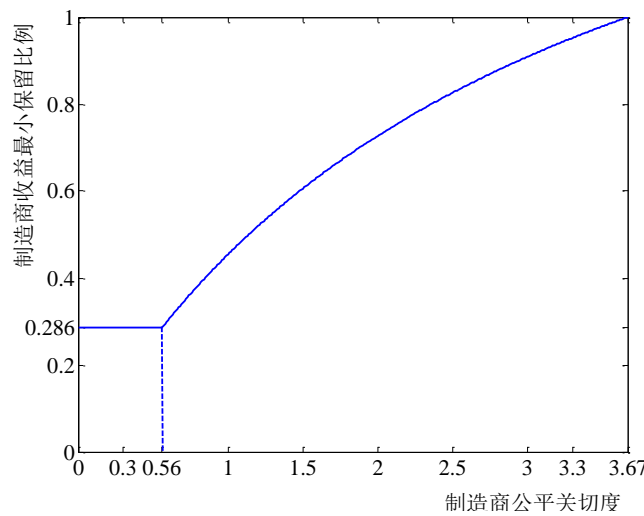


图 2 收益共享契约下  $\lambda_m$  对  $\phi_s$  的影响

Fig.2 The impact of  $\lambda_m$  to  $\phi_s$  on revenue sharing contract

225

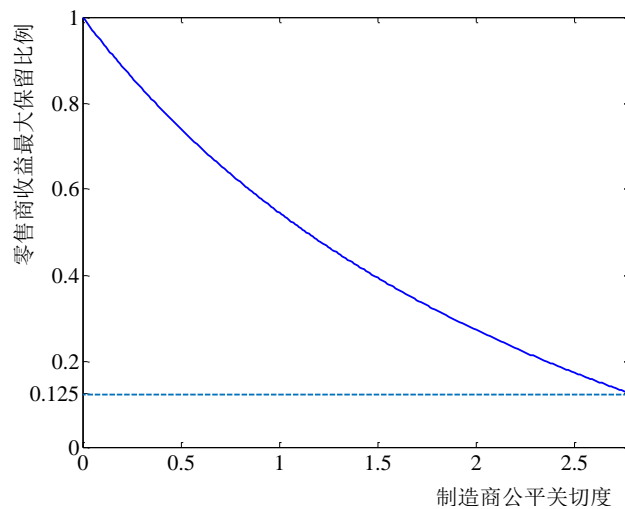


图 3 收益共享契约下  $\lambda_m$  对  $\phi_m$  的影响

Fig.3 The impact of  $\lambda_m$  to  $\phi_m$  on revenue sharing contract

从图 2 可以看出，随着制造商公平关切度的增加，制造商保留收益的最小值逐渐增加， $\phi_m$  的取值范围逐渐缩小，当  $\lambda_m > 3.67$ ，制造商倾向于保留所有的收益，不愿意与供应商分  
230 享，此时收益共享契约将不能协调制造商具有公平关切的供应链，在实际交易中，制造商将拒绝供应商提供的收益共享契约。

当  $\phi_s = 0.55$  时，从图 3 可以得出，随着制造商公平关切度的增加，制造商分享给零售商的最大收益比例逐渐减小，其具体取值范围也逐渐缩小，在与零售商的具体交易中表现为：  
235 制造商公平意识越强烈，其越想分享更多零售商的收益，当  $\lambda_m > 2.78$  时，收益共享契约将不能协调制造商具有公平关切的供应链。

(3) 供应商公平关切对收益共享契约的影响

同样，首先固定  $\phi_m = 0.45$ ，观察供应商公平关切对制造商与供应商间的收益分配比例的影响，如图 4 所示；然后固定  $\phi_s = 0.55$ ，观察供应商公平关切对制造商与零售商间的收益分配比例的影响，如图 5 所示。

240

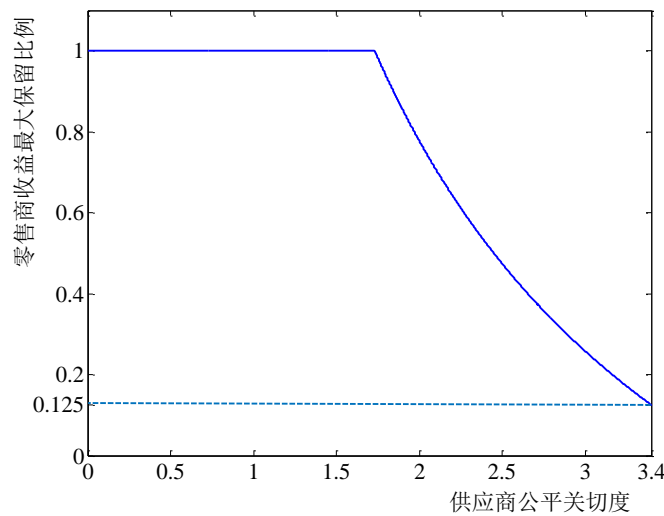


图 4 收益共享契约下  $\lambda_s$  对  $\phi_m$  的影响

Fig.4 The impact of  $\lambda_s$  to  $\phi_m$  on revenue sharing contract

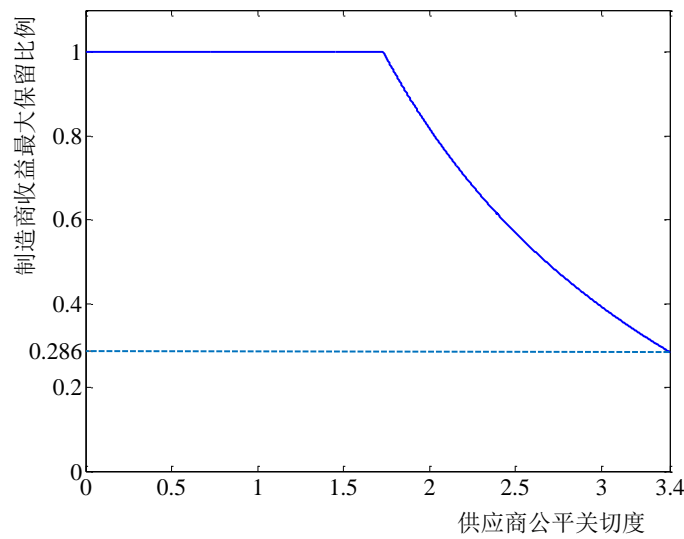


图 5 收益共享契约下  $\lambda_s$  对  $\phi_s$  的影响

245

Fig.5 The impact of  $\lambda_s$  to  $\phi_s$  on revenue sharing contract

由图 4 和图 5 能够得出，当  $\lambda_m \leq 1.7$  时，供应商的公平关切行为对上下游两个交易的收益共享契约都没有影响；当  $1.7 < \lambda_m < 3.4$  时，上下游两个收益分配比例的最大取值都随供应商公平关切度的增加而减小，取值范围也逐渐减小，这说明在实际交易过程中随着供应商公平关切度的增加，供应商倾向于保留更多的利润；当  $\lambda_m \geq 3.4$  时，收益共享契约将不能协调供应商具有公平关切的供应链。

250

(4) 供应链成员均公平关切对收益共享契约的影响

当供应链成员均具有公平关切，固定  $\phi_m = 0.45$ ， $\phi_s = 0.55$  时，根据公式 (5.30) 得，要使在收益共享契约下供应链系统实现协调，零售商、制造商、供应商的公平关切度应满足以下条件：

255

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\lambda_r}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} < 0.45 \\ \frac{\lambda_m}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} < 0.3025 \\ \frac{3(1 + \lambda_s) + \lambda_r(\lambda_s - \lambda_r) + \lambda_m(\lambda_s - \lambda_m)}{3 + \lambda_r + \lambda_m + \lambda_s} > 0.45(\lambda_s - \lambda_r) + 0.3025(\lambda_s - \lambda_m) \end{array} \right.$$

下面，讨论零售商、制造商、供应商公平关切度对各企业及供应链决策的影响，以及效用的影响，如表 1 所示。

表 1 收益共享契约下公平关切对供应链的影响

Tab. The impact of fair concerns on Supply Chain under revenue sharing contract

| $(\lambda_r, \lambda_m, \lambda_s)$ | $q_{ra}^*(q_{ma}^*, q_{ca}^o)$ | $\pi_r$ | $\pi_m$ | $\pi_s$ | $u_r$  | $u_m$ | $u_s$ | $u$    |
|-------------------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|--------|
| (0,0,0)                             | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1081.8 | 727.2 | 595.0 | 2404   |
| (0.4,0.4,0.4)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1194.0 | 697.6 | 512.5 | 2404   |
| (0.8,0.8,0.8)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1306.2 | 667.9 | 429.9 | 2404   |
| (0.8,0.4,0.4)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1194.7 | 725.4 | 540.3 | 2460.4 |
| (0.4,0.8,0.4)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1221.9 | 556.4 | 540.3 | 2318.6 |
| (0.4,0.4,0.8)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1221.9 | 725.4 | 318.4 | 2265.7 |
| (0.4,0.8,0.8)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1245.3 | 616.6 | 378.6 | 2240.5 |
| (0.8,0.4,0.8)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1254.9 | 748.8 | 378.6 | 2382.4 |
| (0.8,0.8,0.4)                       | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1254.9 | 616.6 | 563.7 | 2435.3 |
| (1,0.8,0.4)                         | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1239.0 | 643.2 | 574.1 | 2456.3 |
| (0.8,1,0.4)                         | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1281.5 | 529.8 | 574.1 | 2385.4 |
| (0.8,0.4,1)                         | 140                            | 1081.8  | 727.2   | 595.0   | 1281.5 | 759.2 | 265.4 | 2306.1 |

265

由表 1 知，当供应链成员均公平关切时，零售商的最佳订购量、制造商的最佳生产量与供应链系统的最佳订购量，及零售商、制造商、供应商与供应链的利润始终保持不变且等于公平中性时的最佳订购量，这说明当供应链成员均公平关切，收益共享契约仍然能协调三级供应链且协调条件与公平关切度无关。在效用方面，当零售商、制造商、供应商的公平关切度相同时，供应链系统效用也不发生变化，但随着公平关切度的增加，零售商的效用逐渐增大，而制造商、供应商的效用逐渐减小。

## 5 结论

270

公平关切时设计供应链契约时需考虑的关键因素之一。本文研究了单一供应链成员具有公平关切、供应链成员均具有公平关切时对收益共享契约协调三级供应链的影响，并与公平中性时进行对比，研究发现：①仅单一成员具有公平关切，还是供应链成员均具有公平关切，对收益共享契约起协调作用的关系式没有任何影响，但对收益共享比例的取值范围有影响，且公平关切度越大，收益共享比例取值范围越小；②在供应链成员具有公平关切，且收益共享契约能协调供应链时，与公平中性相比，零售商最佳订货量、制造商最佳生产量、供应链系统的最佳订货量没有变化。

275

为了研究方便，本文仅考虑了简单的三级供应链及信息完全对称的情况，对于更复杂结构的供应链，及需求信息、成本信息等不对称的情况可作为进一步的研究方向。

## 280 [参考文献] (References)

- [1] Vander Rhee B, Vander Veen J A A, Venugopal V, et al., A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains [J]. *Operations Research Letters*, 2010, 38(4):296-301.
- [2] Sheu J B. Marketing-driven channel coordination with revenue-sharing contracts under price promotion to end-customers[J]. *European Journal of Operational Research*, 2011,214(2): 246-255.
- 285 [3] Becker-Peth M, Thonemann U W. Reference points in revenue sharing contracts-How to design optimal supply chain contracts[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 249(3):1033-1049.
- [4] Hu B, Feng Y. Optimization and coordination of supply chain with revenue sharing contracts and service requirement under supply and demand uncertainty[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 183:185-193.
- 290 [5] 许民利,李舒颖.产量和需求随机下基于收益共享契约的供应链决策[J]. *控制与决策*, 2016, 31(8): 1435-1440.
- [6] Camerer C, Loewenstein G, Rabin M, *Advances in behavioral economics*[M]. Princeton: Princeton University Press, 2003.
- [7] Katok E, Pavlov V. Fairness in supply chain contracts: A laboratory study[J]. *Journal of Operations Management*, 2013, 31(3): 129-137.
- 295 [8] Fehr E, Kremhelmer S, Schmidt K M. Fairness and the optimal allocation of ownership rights[J]. *The Economic Journal*, 2008, 118(531): 1264-1284.
- [9] Cui T H, Z John Zhang. Fairness and channel coordination[J]. *Management Science*, 2007, 53(8): 1303-1314.
- [10] Du S, Nie T, Chu C, et al. Newsvendor model for a dyadic supply chain with Nash bargaining fairness concerns[J]. *International Journal of Production of Production Research*, 2014,52(17):5070-5085.
- 300 [11] 毕功兵,瞿安民,梁 樑.不公平厌恶下供应链的批发价格契约与协调[J]. *系统工程理论与实践*,2013,33(01):134-140.
- [12] 毕功兵,何仕华,罗艳,等.公平偏好下销售回扣契约供应链协调[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(10): 2505-2512.
- 305 [13] 王宁宁,王晓欢,樊治平.考虑模糊需求和不公平厌恶的批发价格契约与协调[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2015, 36(9): 1358-1362.
- [14] 王宁宁,王晓欢,樊治平.模糊需求下考虑公平关切的收益共享契约与协调[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(8): 139-147.
- [15] 刘志,李帮义,龚本刚,等.再制造商公平关切下闭环供应链生产设计决策与协调[J]. *控制与决策*, 2016, 31(9): 1615-1622.
- 310 [16] 杜少甫,朱贾昂,高冬,杜婵. Nash 讨价还价公平参考下的供应链优化决策[J]. *管理科学学报*, 2013, 16(3): 68-72.
- [17] Giannoccaro I, Potrandolfo P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts [J]. *International Journal of Production Economics*, 2004, 89(2): 131- 139.