零售商主导的短生命周期产品供应链订货策略①

徐贤浩, 聂思玥
(华中科技大学管理学院, 武汉 430074)

摘要: 针对短生命周期产品的特点,探讨了当零售商为供应链的核心主导商时,由供应商和零售商构成的短生命周期产品二级供应链的订货决策模型.当零售商占主导地位时,零售商则会通过竞价手段将供应商的产品订购价格压制在比较低的水平,并且根据供应商的报价来选择向其订货的数量.同时由于零售商直接面临消费群体,因而可以通过增加营销信号帮助供应商消除产品积压的现象.运用博弈论来分析供应链中各利益主体在不同条件下的决策与利益分配关系,并以契约方式提出了有效的激励措施,最后进行了算例分析和验证.

关键词: 短生命周期产品; 供应链; 订货策略; 博弈; 激励
中图分类号: F270 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2009)04-0083-11

0 引 言

称市场价值在比较短的时间内发生贬值的产品为短生命周期产品(short life cycle products).短生命周期产品根据变质的性质,可以分为物理性变质产品如鲜花等和价值性变质产品如电脑硬件等.技术进步和顾客的偏好使得产品更新换代的速度不断加快,许多产品因淘汰而迅速贬值,例如计算机、电子产品、电气设备、汽车以及时装等产品.这类短生命周期产品具有较短的销售周期,通常只有 1次订货机会来应对最佳销售期[1].这就要求这类产品的生产必须精准,而现实中时变的、个性化的需求给精准生产带来极大挑战.近年来,为了对短生命周期产品的随机顾客需求进行管理,有些学者提出了快速反应(quick response)的策略[2~4],力图通过制造商缩短产品的生产时间来提高反应速度,以使零售商能够延迟订货.

激烈的市场竞争使供应链中各节点企业为了追求利益最大化而产生冲突,各供应链成员基于局部最优的原则进行决策,再加上其在供应链中的地位[5]、势力和风险偏好[6]上所存在的差异,导致各自的决策偏离渠道整体性能最优的轨迹[7].若决策无法使系统利润达到最大,这就是双重边际效用(double marginalization)现象[8],短生命周期产品供应链的强不确定性和快速响应性使得利益冲突问题更加突出.在外部市场需求为随机的前提下,制造商如何设计有效的机制使零售商更好地合作,这方面已经有许多研究成果. Pasternack等[9]研究了供应链中企业间合作时的价格回购模型; Lee, Seunjin等[10]研究了供应链中上下游企业如何设计各种合同来保证能进行更好的合作.因为产品属于短生命周期产品并且为单周期,价格决策的意义重大, Chen等[11]提出了随机需求下多个零售商的价格博弈,并得到了纯策略纳什均衡解.卜祥智、赵泉午等[12]研究了多个企业在竞争环境下的广告投入和订货策略博弈行为.陆贵斌、甘小冰等[13]研究了一个制造商和两个零售商的两级供应链系统中,当确定的市场需求与产品的市场零售价格有关时,3种不同定价方式下的最优定价、库存策略以及供应链成员

① 收稿日期: 2007-07-19; 修订日期: 2008-09-03.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70472059); 国家高技术研究发展计划资助项目(2006AA04Z153).
作者简介: 徐贤浩(1964—), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: xxhao@mail.hust.edu.cn

和系统的收益等问题, 提出了分散决策系统中的一种激励机制. 梁樑、王志强等[14]研究了动态联盟供应链优化调整问题, 在三边指派博弈的基础之上建立了多边情形下指派博弈的多层供应链优化调整方案的求解模型, 并证实了该求解模型中合作博弈核心的存在性. 许明辉、于刚[15]等考虑在只包含 1个供应商和 1个零售商的供应链中如何用提供给顾客的服务来提升实际需求, 以提高供应链的局部或整体效益.

以上文献均没有涉及当零售商在短生命周期产品供应链中占主导地位时供应商的生产成本、价格控制策略与订货模式等问题. 现实中零售巨头, 如沃尔玛等控制了供应链的主动权, 订货过程中议价能力和订货策略是本文探讨的课题原型. 本文通过分析短生命周期产品的特性, 根据短生命周期产品的特点及提出了特殊的生产平均成本函数, 并根据生产成本函数绘制了两种不同的供应商生产成本比较图. 利用短生命周期产品供应商的特殊生产成本函数, 零售商构造了巧妙的订货配额制度, 从而可以间接控制供应商的报价行为, 达到有效保护零售商利益的目的. 在两个供应商均有订货决策变量的情况下, 利用博弈论研究了零售商、供应商之间的订货决策模型, 涉及了订货报价, 订货生产批量等问题, 最后通过零售商的激励措施有效防止了供应商出现产品积压的情况, 使参与方的利润得到了改善.

1 问题描述及基本假设

考虑由两个独立的供应商 (分别记为 S_1、S_2) 和零售商 (记为 R) 构成的供应链, 零售商在这个二级供应链中占主导地位. 零售商 R、供应商 S_i ($i = 1, 2$) 决策相互独立且为理性参与者, 均以自身利益最大化为目标. 该供应链生产和销售同一种具有较短最佳销售期的短生命周期产品, 产品的残值假定为零, 其中 S_i 的单位生产制造成本函数为 $Ac_i(q_i)$, q_i 为 S_i 的产量. 由于短生命周期产品的不确定性, S_i 在初期不能确定市场需求, 生产时间被压缩. 当 q 较小时, 不能形成规模生产; 当 q 较大时, 生产制造时间不足, 需要额外加班, 造成单位成本上升. q_{o1}、q_{o2} 分别为 S_1、S_2 的初始最优生产批量, 且 S_i 相互间了解对方的产能情况, 产能情况短期内不发生变化.

若 S_i 的生产规模较小, 其小生产批量生产平均成本较低, 且变化较缓, 而生产批量较大时平均成本高且变化速率快, 即 $Ac_i'(x) > 0, Ac_i''(x) > 0$ $(x > q_{oi})$; 反之, 若 S_i 的生产规模较大则 S_i 在小生产批量生产情况下不经济, 成本变化速率快, 生产批量大时恰好相反, 即 $Ac_i'(x) < 0, Ac_i''(x) < 0$ $(x < q_{oi})$.

根据上述假设, 本文将 S_{ij} 之间的可能情况描述如图 1和图 2所示:

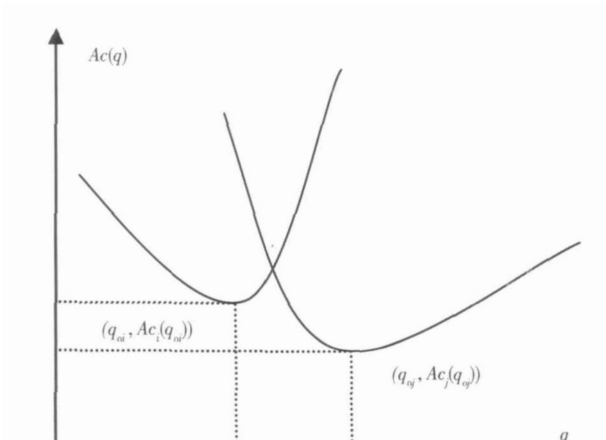

图 1 $Ac_i(q_{oi}) > Ac_j(q_{oj})$ 时平均生产成本图

Fig. 1 Chart of average production cost when $Ac_i(q_{oi}) > Ac_j(q_{oj})$

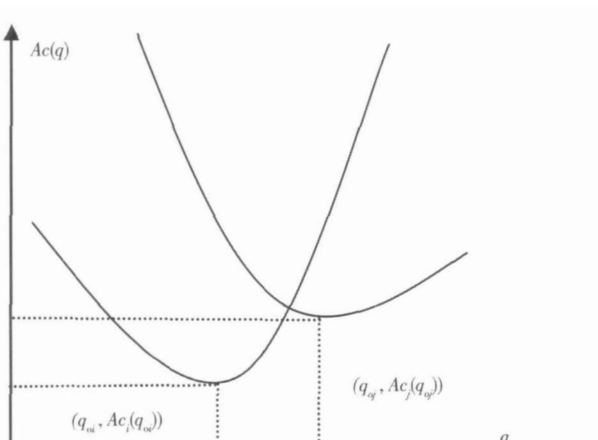

图 2 $Ac_i(q_{oi}) < Ac_j(q_{oj})$ 时平均生产成本图

Fig. 2 Chart of average production cost when $Ac_i(q_{oi}) < Ac_j(q_{oj})$

设 $Ac_i^{-1}(x)$ 为 $Ac_i(x)$ 的反函数, 则

$$Ac_i^{-1}(x) = \begin{cases} Ac_{i1}^{-1}(x) & x \leqslant q_{oi} \\ Ac_{i2}^{-1}(x) & x > q_{oi} \end{cases} \tag{1}$$

R以 P_m 为市场价在市场上销售该产品, 实际最大心理承受订货报价为 P_a(该价格 S_i 均不知晓). S_i 分别对 R有一个预估的心理承受订货报价 p_{ia}, 满足 $Ac_i(q_{oi}) << p_{ia} < P_m$. 若 $p_i > P_a$, R不向 S_i 订货. R的单位缺货损失是 l.

R在销售期开始前的某个适当时间, 向 S_i 发出总共订货为 Q 的订货信息, 由 S_i 各自提供产品报价, R根据 S_i 的报价 p_i 确定 S_i 的订货配额 Q_i, 原则为:

1) 若 $p_i < p_j$, $(i \neq j, i, j = 1, 2)$, 则

① $\sum_{i=1}^{2} q_i < Q$, R分别以 p_i、p_j 的价格向 S订购全部产品;

② $q_i > Q > q_j$, R向 S_i 订购数量为 Q 的产品, 不再向 S_j 订货;

③ $q_i < Q < \sum_{i=1}^{2} q_i$, R将 S_i 的产品全部订购, 差额由 S_j 来补充.

2) 若 $p_i = p_j$, 优先从货源充足的供应商订货.

定义 1 假设供应链由 l 个节点组成, 第 $i(i = 1, \cdots, l)$ 个节点包含企业 $e_{ik}(k = 1, \cdots, n)$, $c_{e_{ik}}$ 为企业 e_{ik} 的供应链支撑能力, 若 $\sum c_{e_{ik}} << \sum c_{e_{jk}}$, 则认为供应链中第 i 节点与第 j 节点能力完全不匹配, 称之为病态供应链.

当 $q_{oi} > Q$ $(i = 1, 2)$ 时, 供应链符合上述病态供应链的定义, 对这种情况的分析失去实际意义, 本文将不讨论.

上述 4种情况假定 S_i 选择产量为初始最优生产批量为前提. Q 的确定由 R根据历次销售期的销量来预测今次的销量而决定. 若 $q_{oi} > q_{oj}$, 则 $Ac_j(Q) = \infty$.

2 订货机制及博弈过程

由于 S_i 为理性参与者, 若决策过程中无法避免亏损的状况, 将选择退出竞争.

定义 2 在博弈 G 中 i 的战略空间为 s_i, 行动空间 $A_i \in s_i$ 为类型依存型. 设 $\exists a_i \in A_i$, a_i 为 i 的某一特定行动, 若对 $\forall a_j (j = 1, \cdots, n) \in A_j$, 都满足概率函数 $F(u_i(a_1, \cdots, a_i, \cdots, a_n) \geqslant W) = 1$, 其中 W 是 i 的最小期望效用, 则称 a_i 为 i 的安全策略, 由多个 a_i 组成的行动集称为安全策略集.

当 S_i 初始最优生产批量的平均生产成本相对低时, 根据 R的订货原则, S_i 在竞争中占有报价优势, 当 S_i 选择报价策略集: $A_i = \{p_i \mid p_i \in [Ac_i(q_{oi}), Ac_j(q_{oj})]\}$ 时, 由定义 2可知 A_i 即为安全策略集, 而 $s_i = \{p_i \mid p_i \in [Ac(q_{oi}), P_{ia}]\}$ 就构成了 S_i 的报价战略空间. 安全策略集为报价战略空间的一个子集.

由图 1、图 2可知, S_i 在无产品积存时的利润表达式为

$$\Pi_{S_i}(p_i, q_i) = [p_i - Ac(q_i)]q_i \tag{2}$$

当 S_i 在决策过程中, 出现产品积存情况其利润表达式为

$$\Pi_{S_i}(p_i, q_i, Q_i) = [p_i - Ac(q_i)]Q_i - (q_i - Q_i)Ac(q_i) \tag{3}$$

式 (2) 和式 (3) 中, p_i 表示 S_i 报价, q_i 表示 S_i 选择的生产批量, Q_i 表示 R向 S_i 订购的最终量.

在接到 R的订货信息后, 将根据 Q 与 q_{oi} 间的关系和自身利益最大化的目标来决定不同的产品报价和生产批量. 下面将分 3种情况分别进行讨论.

2.1 $\sum_{i=1}^{2} q_{oi} < Q$ 时 $S_i(i = 1, 2)$ 之间博弈分析

由于 $\sum_{i=1}^{2} q_{oi} < Q$, 这时 S_i 最小的生产量会选择初始最优生产批量 q_{oi}. 然而 S_i 的这种决策显然不能满足 R的订货量 Q, 在有利可图的情况下, S_i 均会考虑增加生产批量并且尽量提高报价来维护自己的利益. $Ac_i(q_{oi}) > Ac_j(q_{oj})$ 时与 $Ac_i(q_{oi}) < AC_j(q_{oj})$ 的分析一致, 考虑 $Ac_i(q_{oi}) < Ac_j(q_{oj})$, 如图 3

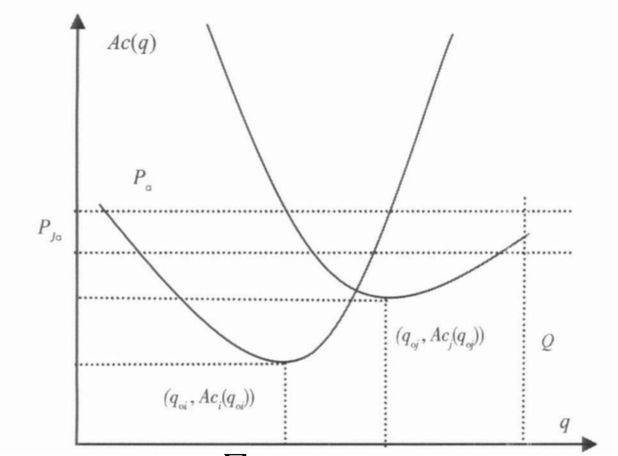

图 3 $\sum q_{oi} < Q$ 的辅助分析图

Fig 3 Auxiliary analysis chart when $\sum q_{oi} < Q$

结论 1 $\sum_{i=1}^{2} q_{oi} < Q$ 时, S_i、S_j 间博弈的 Nash 均衡是

$$\begin{cases} p_i = p_j = \arg\max(\Pi_{S_{ij}}(p, q)) \\ \sum q = Q \end{cases}$$

若 S_i 为风险规避者, 其报价安全策略集是

$\{p_i \mid p_i \in [Ac_i(q_{oi}), Ac_j(q_{oj})]\}$, S_j 则选择 $p_j = P_{ja}$

证明 对式(2)求偏导, 得到

$$\frac{\partial \Pi_{S_i}(p_i, q_i)}{\partial q_i} = [p_i - Ac_i(q_i)] - q_i \frac{\partial Ac(q_i)}{\partial q_i} = 0 \tag{4}$$

由式(4)得到 p_i 与 q_i 的关系式, 又有

$$\begin{cases} p_i = p_j \\ q_j = Q - q_i \end{cases} \tag{5}$$

将式(4)、式(5)代入, 得到下式

$$\Pi_{S_j}(p_j, q_j) = [p_j - Ac_j(q_j)]q_j = \Pi_{S_j}(q_j) \tag{6}$$

在区间 $x \in [q_{oj}, Ac_{j2}^{-1}(P_{ja})]$ 上, 由假设知 $Ac_j(q_j)$ 为单调函数, 故式(5)为 q_j 的单调函数, 因而可以利用一阶条件求出唯一满足: $q_j = \arg\max(\Pi_{S_j}(q_j))$. 利用式(4)、(5)可以依次解出 p_j、p_i、q_i.

上述 Nash 均衡解

$s_i = \{(p_i, q_i)\}$, $s_j = \{(p_j, q_j)\}$

是唯一存在的. 根据 R 的订货配额原则, 若 S_i 选择 $p_i > p_j$, 则 S_j 亦将提高报价, 在利益最大化驱动下, q_i、q_j 同步放大, 这样就必然会导致产品积压; 若 S_i 选择 $p_i < p_j$, 则其期望利润将减少, 亦不可行.

若 S_i 选择风险规避型决策, 显然其报价安全策略集为 $\{p_i \mid p_i \in [Ac_i(q_{oi}), Ac_j(q_{oj}))\}$. 下面讨论 $p_i = Ac_j(q_{oj})$ 这个特殊点.

当 S_i 选择 $p_i = Ac_j(q_{oj})$ 时, 若 S_j 也选择 $p_j = Ac_j(q_{oj})$, 此时 S_j 最优生产批量为 q_{oj}, 且 S_j 获得最大利润零. 因此, 在 S_i 采取安全策略时, S_j 无法在价格上取得优势. 而 S_j 的战略空间为: $s_j = \{p_j \mid p_j \in [Ac_j(q_{oj}), P_{ja}]\}$, 其中 P_{ja} 为 S_j 预估 R 的心理接受价格. 由假设, 此时 $Ac_i(Q) = \infty$, S_i 单独无法满足 R 的订单量. S_j 将获得剩余订单, 通过选择报价 $p_j = P_{ja}$ 以争取更大的单个产品利润.

由上述分析, 结论 1 得证. 一般认为, 在占优势的情况下, 决策者趋于采取风险规避的措施以确保能够获得利益[16].

2.2 $q_{oi} < Q < q_{oj}$ 时 $S_{ij}(i, j = 1, 2)$ 之间博弈分析

当 $q_{oi} < Q < q_{oj}$ 时, 依据图 1、图 2 可以分以下两种情况讨论

1) $Ac_i(q_{oi}) > Ac_j(q_{oj})$ 时的分析

S_j 占报价优势, 当 $p_j < p_i$ 成立时, 则 R 向 S_j 订购数量为 Q 的产品, 不再向 S_i 订货, 这样 S_i 将面临出局危险. S 相互了解产能情况, 所以 S_i 将压低报价 p 从而获得生存机会. 由于 $q_{oj} > Q$, 且短生命周期产品的残值假定为零, S_j 选择产量时将考虑产品积存情况, 大量积存将造成较大损失.

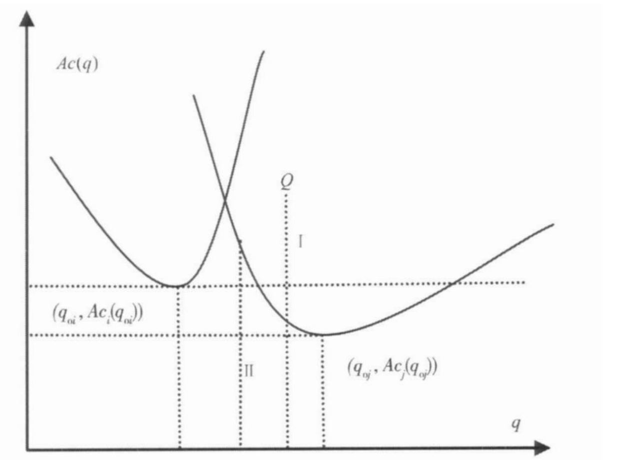

图 4 $q_{oi} < Q < q_{oj}$ 的辅助分析图

Fig 4 Auxiliary analysis chart when $q_{oi} < Q < q_{oj}$

结论 2 在上述条件下, 若 $Ac_j(Q) < Ac_i(q_{oi})$ (即 Q 在图 4 中位置 Ⅰ), 则 S_j 安全策略集

$s_j = \{p_j \mid p_j \in [x_m, Ac_i(q_{oi})]\}$

S_i退出竞争; 若$Ac_j(Q) > Ac_i(q_{oi})$(Q在图 4位置 Ⅱ), 则 S_j安全策略集

$s_j = \{p_j = x^*, q_j = y^*\}$

x_m, x^*, y^*, 推算证明如下.

证明　若 $Ac_j(Q) < Ac_i(q_{oi})$, 在 $x \in [Ac_j(q_{oj}), Ac_j(Q)]$, $y \in [Q, q_{oj}]$, 构造 S_j存在产品积压时的利润函数为

$$\Pi_{S_j}(x, y) = [x - Ac_j(y)]Q - Ac_j(y) \times (y - Q) \quad (7)$$

令式(7)等于零, 求得 x、y之间的关系式, 由 $x \in [Ac_j(q_{oj}), Ac_j(Q)]$, $y \in [Q, q_{oj}]$ 可以求出符合条件的最小 x值 x_m. 这样 S_j的安全报价策略集是

$\{p_j \mid p_j \in [x_m, Ac_i(q_{oi})]\}$

占优报价策略是

$p_j = Ac_i(q_{oi})$

相应的最优产量分区间进行计算. 在区间$[Ac_{j1}^{-1}(Ac_i(q_{oi})), Q]$上用式(2)计算, 式中参数$p_i = Ac_i(q_{oi})$, 求出最优产量 q_1; 在区间$[Q, q_{oj}]$上利用式(3)计算, 求出最优产量 q_2. 令 $q_k = q_1$、q_2, 所以 S_j的占优策略是

$$\{p_j = Ac_i(q_{oi}), q_j = q_k \in \arg\max \Pi_{S_j}(p_j, q_k)\}.$$

S_i无应对策略, 退出竞争.

若 $Ac_j(Q) > Ac_i(q_{oi})$, 此时可能出现 $\Pi_{S_j}(Ac_i(q_{oi}), q_j) < 0$恒成立, $q_j \in [Q, q_{oj}]$, 这说明 S_j在低产量的生产成本时较大, 报价 $p_j = Ac_i(q_{oi})$太低. 利用式(7), 在 $x \in [Ac_i(q_{oi}), Ac_j(Q)]$, $y \in [Q, q_{oj}]$,寻找x的最小值x^*和对应的 y值 y^*. S_j出于风险考虑将选择策略集$\{p_j = x^*, q_j = y^*\}$. 此时 S_i的占优报价策略集为

$\{p_i \mid p_i \in Ac_i(q_{oi}), x^*\}$

$p_i = x^*$ 时最优生产批量 q_i可在区间$(Ac_{i1}^{-1}(x^*), Ac_{i2}^{-1}(x^*))$上利用式(2)计算.

2) $Ac_i(q_{oi}) < Ac_j(q_{oj})$时的分析

如图 5所示, S_i由于占报价优势会选择风险规避策略, 即

$\{p_i \mid p_i \in [Ac_i(q_{oi}), Ac_j(q_{oj})]\}$

当 $p_i = Ac_j(q_{oj})$时, S_j只有选择 $p_j = p_i = Ac_j(q_{oj})$, 此时对应的 $q_j = q_{oj} > Q$, 因此 S_j将有产品积存而造成亏损, 退出竞争. 由假设, 若 $Ac_i(q_{oi}) < Ac_j(q_{oj})$, 则 S_i无法单独满足 R的订单要求, S_j将补充差额.

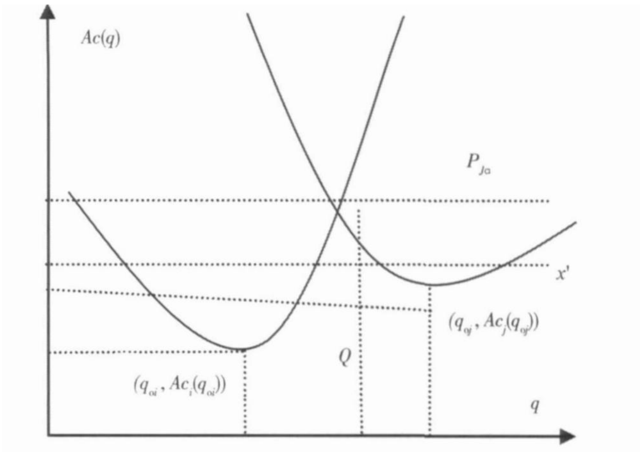

图 5　$Ac_i(q_{oi}) < Ac_j(q_{oj})$的辅助分析图

Fig 5 Auxiliary analysis chart when $Ac_i(q_{oi}) < Ac_j(q_{oj})$

结论 3　本节条件下, S_i的报价安全策略集是

$s_i = \{p_i \mid p_i \in [Ac_i(q_{oi}), x')\}$

而 S_j的报价策略集则是

$s_j = \{p_j \mid p_j \in [x', P_{ja}]\}$

最优报价是 $p_j = P_{ja}$, x'的计算在证明中给出.

证明　S_j的最低报价 $p_j \in [Ac_j(q_{oj}), Ac_j(Q)]$, 且满足: 通过选择合适的生产批量, 使其在获得全部订单的前提下最终利润为零. 推算如下

令式(7)为零, 求出产量 y与报价 x的关系式, 再根据$x \in [Ac_j(q_{oj}), Ac_j(Q)]$, $y \in [Q, q_{o2}]$, 计算出 x的最小值 x'.

分别计算供应商 S在选择$p = x'$时的最优生产批量, 对于 S_i有

$$\Pi_{S_i}(x) = [x' - Ac_i(y)]^* \min(Q, y) - g(y)Ac_i(y), \ y \in [q_{oi}, +\infty) \quad (8)$$

在该式中 $g(y) = \begin{cases} 0 & y \leqslant Q \\ y - Q & y > Q \end{cases}$, 利用一阶导数条件求出 S_i最优生产批量 y'.

对于 S_j有

$$\Pi_{S_j}(y) = [x' - Ac_j(y)]Q - (y - Q)Ac_j(y), \ y \in [Q, q_{oj}] \quad (9)$$

对该式用一阶导数条件求出 S_j的最优生产批

量 y''.

若 $y' > y''$, 则 S_i选择报价 $p_i = p_j = x'$;

若 $y' < y''$, S_i选择报价 $p_i = p_j = x'$显然是不明智的决策, 因为按照订货配额原则, R将向 S_j订购全部数量产品. 这时 S_i的报价策略集是

$$\{p_i \mid p_i \in [Ac_i(q_{oi}), x')\}$$

而 S_j的报价策略集则是

$$\{p_j \mid p_j \in [x', P_{ja}]\}$$

获得最大利润的最优报价是 $p_j = P_{ja}$.

2.3 $q_{oi} < Q < \sum_{i=1}^{2} q_{oi}$时 $S_i\ (i = 1, 2)$之间博弈分析

讨论图 6所示情形, 此时 $Ac_i(q_{oi}) > Ac_j(q_{oj})$且 $q_{oi} < q_{oj}$. S_j占报价优势, 其安全报价策略集是

$$\{p_j \mid p_j \in [Ac_j(q_{oj}), Ac_i(q_{oi})]\}$$

为了使自身利益最大化必然选择 $q_j \geqslant q_{oj}$.

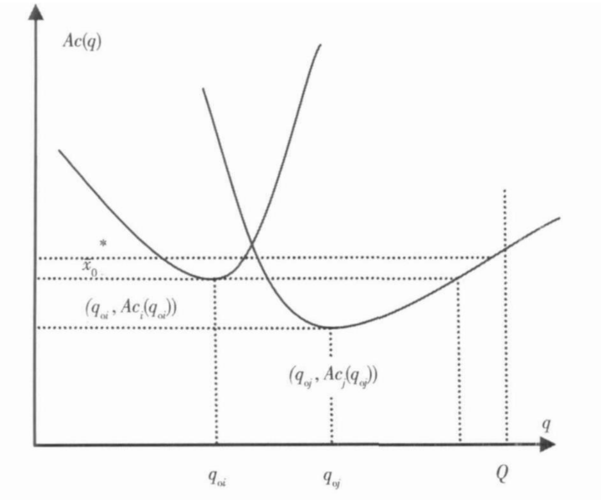

图 6 $q_{oi} < Q < \sum q_{oi}$的辅助分析图

Fig. 6 Auxiliary analysis chart when $q_{oi} < Q < \sum q_{oi}$

由于 $Q < \sum_{i=1}^{2} q_{oi}$, 当两者报价相同时, S_i的生产批量须满足 $q_i \leqslant Q - q_{oj} < q_{oi}$. 因而当 $p_j = Ac_i(q_{oi})$时, S_i的最低报价在区间$[Ac_i(q_{oi}), Ac_i(Q - q_{oj})]$上, 设为 x_0^*, 满足下式

$$\Pi_{S_i}(x, q_i) = [x - Ac_i(q_i)](Q - q_{oj}) - [q_i - (Q - q_{oj})]Ac_i(q_i) = 0 \quad (10)$$

其中 $x \in [Ac_i(q_{oi}), Ac_i(Q - q_{oj})]$, $q_i \in [Q - q_{oj}, q_{oi}]$; 这样可以求出符合要求的最小报价 x_0^* 和对应的 q_i值, 这也即是当 $p_j = Ac_i(q_{oi})$时 S_i的最低报价.

在 $p \in [Ac_i(q_{oi}), x_0^*]$时, 若 $p_i > p_j$, 设 S_j的最优生产批量为 q_j^*, 当 $q_j^* > Q$时, S_i将退出竞争; 当 $q_j^* < Q$时, 剩余份额为$Q - q_j^* < q_{oi}$由 S_i补充. 当满足 $p_i < p_j$, 则 R将优先向 S_i订货. 设此时 S_i的最优生产批量为 $q_i^* > q_{oi}$, 剩余份额为 $Q - q_i^* < q_{oj}$由 S_j补充. 在报价固定的情况下, S_i、S_j理想生产批量为 q_{oi}、q_{oj}, 上述情况下两个供应商的利润都没有达到最大, 从而得到结论 4

结论 4 S_i的报价策略集 s_i与 S_j的报价策略集 s_j存在交集 $p \in [Ac_i(q_{oi}), x_0^*]$, 在这个报价区间里双方利润不能同时最大化.

从上面分析知道, S_i与 S_j的选择具有极大的关联性, 总是不能同时达到利益最大, 下文将讨论激励机制的设计.

3 激励设计及收益分析

由于 S和 R间的利润均没有达到最大化, 尚有提升空间. R为了提高供应链中各方的满意度而采取一个激励措施, 旨在提高整个供应链中各方的利润水平.

3.1 激励机制

现 R提出一个激励方案: 若 $p_i \geqslant p_j\ (i, j = 1, 2)$且 $p_i / p_j \leqslant \alpha$($\alpha$由 R确定, 且 $1 \leqslant \alpha \leqslant 2$), 则 R将在营销渠道中增加营销信号, 以便将 S的积压产品销售出去, 相应的营销费用 $h(q)$由 S承担. 其中 q表示积压的产品数量, $h(q)$随着 q的增大增加速率变大, 即 $h'(q) > 0$且 $h''(q) > 0$

该激励模型必须满足参与约束(IR)与激励相容约束(IC)[17]. 参与约束(IR): S参与后的期望利润不小于参与前可以获得的最大利润 $\Pi_S(p^*, q^*)$, 而 R采取该激励后的利润也不能小于之前的利润 Π_R; 激励相容约束(IC): S和 R均以最大化自身效用为目标.

若激励后的利润用 Π'表示, 根据上述约束该激励模型可以表达如下

$$\max \Pi'_R$$
$$\text{s.t.} \quad (\text{IR}) \begin{cases} \Pi'_{S_i} \geqslant \Pi_{S_i}(p^*, q^*) \\ \Pi'_R \geqslant \Pi_R \end{cases}$$
$$(\text{IC}) \quad \alpha \in \max \Pi'_{S_i} \quad (i = 1, 2) \quad (11)$$

这个激励方案可以有效约束报高价的供应

商, 而其在原始方案下出现积压的产品也有了解决办法.

3.2　收益分析

因 2.3小节是现实中比较典型的情况, 本文仅以 2.3小节为例利用特征点分析各方的利益分配.

3.2.1　激励前的收益分析

1) 当 $p_j = x_0^*$, 此时 $p_i \in [Ac_i(q_{oi}), x_0^*]$, 则 R 将优先向 S_i 订货. 通过在区间 $[Ac_{i1}^{-1}(x_0^*), Ac_{i2}^{-1}(x_0^*)]$ 最大化式(2), 可以求得最优产量 q_i^*, 对于 S_j 其最优产量则是 $q_j^* \in \arg\max \Pi_{S_j}(p_j, q_j) \times q_j \in [Q - q_i^*, q_{oj}]$. 所以各方的利润如下.

对于 S_j, 可能出现产品积存, 利润是

$$\Pi_{S_j}(p_j, q_j) = [x_0^* - Ac_j(q_j^*)](Q - q_i^*) - [q_j^* - (Q - q_i^*)]Ac_j(q_j^*) \tag{12}$$

对于 S_i, 当 p_i 接近 x_0^* 时最大利润可以达到

$$\Pi_{S_i}(p_i, q_i) = [x_0^* - Ac_i(q_i^*)]q_i^* \tag{13}$$

对于 R, 不会出现缺货损失, 利润是

$$\Pi_R = q_i^*(P_m - p_i) + (Q - q_i^*)(P_m - x_0^*) \tag{14}$$

2) 当 $p_j = Ac_i(q_{oi})$, 此时 S_i 将选择 $p_i = P_{ia}$, 各方的利润如下.

对于 S_j, 此时最优产量 q_j^* 可以利用式(2)一阶导数条件求出, 于是得到

$$\Pi_{S_j}(p_j, q_j) = [Ac_i(q_{oi}) - Ac_j(q_j^*)]q_j^* \tag{15}$$

对于 S_i, 当 $P_{ia} < P_a$, 可以先通过式(2)求出理想生产批量 q_{i0}, 若 $q_{i0}^* > Q - q_j^*$ 则在 $[Q - q_j^*, q_{oi}]$ 上利用式(3)一阶导数最优条件求出 $q_i^* = q'_{i0}$, 否则 $q_i^* = q_{i0}$, 此时 S_i 的利润是

$$\Pi_{S_i}(p_i, q_i) = [P_{ia} - Ac_i(q_i^*)] \times \min(q_i^*, Q - q_j^*) - XAc_i(q_i^*) \tag{16}$$

其中 $X = \begin{cases} q_i^* + q_j^* - Q & q_i^* + q_j^* > Q \\ 0 & q_i^* + q_j^* < Q \end{cases}$;

当 $P_{ia} > P_a$, 则 S_i 将不能获得订单, 直接损失是

$$L_{S_i}(P_{ia}, q_i^*) = Ac_i(q_i^*)q_i^* \tag{17}$$

对于 R, $P_{ia} < P_a$ 时的利润是

$$\Pi_R = q_j^*[P_m - Ac_i(q_{oi}^*)] + \min(q_i^*, Q - q_j^*)(p_m - P_{ia}) - [Q - q_j^* - \min(q_i^*, Q - q_j^*)]l \tag{18}$$

$P_{ia} > P_a$ 时的利润是

$$\Pi_R = q_j^*[P_m - Ac_i(q_{oi}^*)] - (Q - q_j^*)l \tag{19}$$

3.2.2　激励后的收益分析

在 3.1节的激励机制下, 占报价优势的供应商不会冒险报高价, 而不占报价优势的另一方怕失去获得营销帮助而造成产品积压也不敢报高价. 由图 6, S_j 占报价优势, 在有激励措施时:

1) S_j 保守地选择 $p'_j = Ac_i(q_{oi})$, 此时 $p'_i \geqslant p'_j$, 各方的收益情况如下.

对于 S_j, 利润没有发生变化, 仍然为式(15).

对于 S_i, 其安全报价是 $p'_i \leqslant \alpha p'_j$, 通过降低报价 $p'_i = \alpha p'_j$ 以消除积压产品, 则

$$\Pi'_{S_i}(p'_i, q'_i) = [p'_i - Ac_i(q'_i)]q'_i - h(\Delta q) \tag{20}$$

其中, p'_i 为调整的报价, 积压的产品数量 $\Delta q = q'_i - (Q - q'_j)$, q'_i 是报价 p'_i 时的最优生产批量, 可以通过最大化式(20)得到.

对于 R, 由于 S_i 积压的产品被销售而产生了额外的利润, 其利润变为

$$\Pi'_R = (P_m - p'_j)q'_j + (P_m - p'_i)q'_i \tag{21}$$

2) S_j 若选择 $p'_j = \alpha Ac_i(q_{oi})$, 而 S_i 则会冒险选择 $p'_i \in [Ac_i(q_{oi}), \alpha Ac_i(q_{oi})]$, 这样 R 将优先向 S_i 订货. 在这种情况下, 3方的利润如下.

对于 S_i, 设其定价是 p'_i, 最优生产批量 q'_i 可以通过对下式的最优化求得, 由于产品将全部被订购, 其利润表达式为

$$\Pi'_{S_i}(p'_i, q'_i) = [p'_i - Ac_i(q'_i)]q'_i \tag{22}$$

对于 S_j, 当 $p'_j = \alpha Ac_i(q_{oi})$ 时, 由于 $p'_j > p'_i$, 设其最优生产批量为 q'_j, 则利润表达式为

$$\Pi'_{S_j}(p'_j, q'_j) = [\alpha Ac_i(q_{oi}) - Ac_j(q'_j)]q'_j - h(\Delta q') \tag{23}$$

其中, $\Delta q' = q'_j - (Q - q'_i)$, 令式(15)中 $p_j = \alpha Ac_i(q_{oi})$, 最优化式(15)可以得到 q'_j, 代入式(23)可以求出 S_j 此时利润.

由于 S_i、S_j 的生产批量均加大, R 的利润达到最大, 为

$$\Pi'_R = (P_m - p'_j)q'_j + (P_m - p'_i)q'_i \tag{24}$$

结论 5 在 3.1节的激励方案中, α的最优取值范围是

$$\frac{P_m \sum_{i=1}^{2} q_{oi} - (P_m - P_a)(Q - q_{oj}) - (P_m - Ac_i(q_{oi}))q_{oj}}{Ac_i(q_{oi}) \sum_{i=1}^{2} q_{oi}} \geqslant \alpha \geqslant 1 + \frac{(P_a - Ac_i(Q - q_{oj}))(Q - q_{oj}) + h(\sum_{i=1}^{2} q_{oi} - Q)}{Ac_i(q_{oi}) q_{oi}} \tag{25}$$

并可以在 S报价前预先给定.

证明 假定在激励前, S_i、S_j选择产量分别为 $Q - q_{oj}$、q_{oj}, 报价分别为 P_a、$Ac_i(q_{oi})$; 激励后报价均为 $\alpha Ac_i(q_{oi})$, 生产批量为原始最优生产批量, 则可以得到

$$\begin{cases} (\alpha - 1)Ac_i(q_{oi})q_{oi} - h(\sum_{i=1}^{2} q_{oi} - Q) \geqslant (P_a - Ac_i(Q - q_{oj}))(Q - q_{oj}) \\ 1 \leqslant \alpha \leqslant 2 \\ (P_m - \alpha Ac_i(q_{oi})) \sum_{i=1}^{2} q_{oi} \geqslant (P_m - P_a)(Q - q_{oj}) + (P_m - Ac_i(q_{oi}))q_{oj} \end{cases} \tag{26}$$

对式(26)求解, 得到式(25). 在式(25)中, 只要 S的生产成本函数确定, 则 α的范围也确定, 这样 R就可在报价之前公布激励方案, 并提供合适的 α以使供应链中各方的利润都达到最大.

4 算例分析

华中地区某时令节日饰品供应链由 1个零售商(垄断型大商场)和多个供应商组成. 为抽取符合本文讨论的样本, 作者选取其中两个供应商中圣诞产品系的数据研究. 供应商向零售商供应圣诞系列产品(为保护商业秘密, 数据进行了同步缩放处理), S_i的平均生产成本函数为

$$Ac_i(x) = 0.64x^3 - 31x^2 + 482x - 2191 \quad x \in [13.5, 29]$$

S_j的平均生产成本函数为

$$Ac_j(x) = -0.042x^3 + 6x^2 - 263x + 3800 \quad x \in [18, 57]$$

根据上述函数可以用 matlab 7.0绘制其成本函数如图 7所示.

零售商 R以价格 $P_m = 300$在市场上出售该产品, 其能接受的最高报价为 $P_a = 250$. 假设零售商向供应商的订货量 $Q = 48$, 零售商的单位缺货损失为 $l = 50$, 营销支出函数为 $h(x) = 3x^2$. 由上述数据计算如图 7所示, $q_{oi} = 19.2517$, $Ac_i(q_{oi}) = 165.3925$(点Ⅰ);

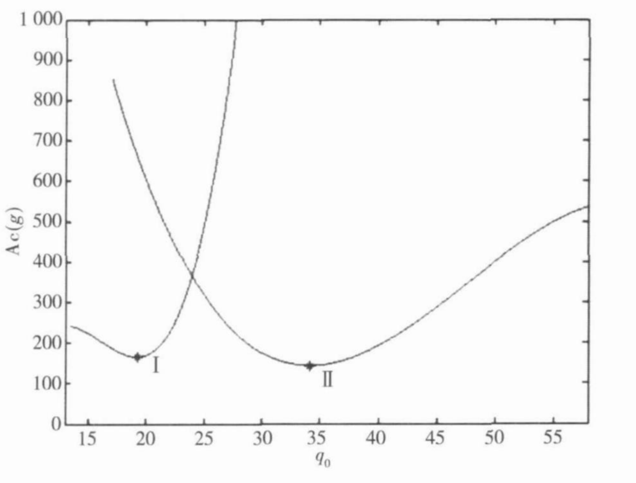

图 7 平均生产成本函数图

Fig. 7 Function chart of average production cost

$q_{oj} = 34.1925$, $Ac_j(q_{oj}) = 143.1690$(点Ⅱ). 显然, 数据满足 $q_{oi} < Q < \sum_{i=1}^{2} q_{oi}$, 根据式(10), 可以得到 S_i在图 6所示情形的最低报价 $p_i = x_0^* = 225.6240$.

特征点 $P_j = Ac_i(q_{oi})$利润均衡分析: 将 $p_i = P_{ia}$, 及 q_i^*、q_j^* 代入式(16), 可以求得 S_i的利润; 若 $P_{ia} > P_a$, 则将上述数据代入式(17)即可. 将 $p_j = Ac_i(q_{oi})$和 q_j^* 代入式(15)可以得到 S_j的利润. R的利润分别按照式(18)、(19)计算. 结果如表 1所示.

表 1　激励前零售商、供应商在特征点的利润均衡

Table 1 Retailers and suppliers' profit balance at feature points before incentive

参与主体		订货策略		平均生产成本 $Ac(q)$	实际订货量 Q_i	产品积压量	积压或者缺货损失	最终利润
		报价	生产批量					
S_i		$p_i = P_{ia} = 245$①	13.616	240.233	13.616	0	0	64.867
S_i		$p_i = 255 > P_a$②	13.616	240.233	0	13.616	3 270.955	−3 270.955
S_j		$p_j = 165.393$	34.384	143.231	34.384	0	0	762.010
R	Ⅰ	—	—	—	48	—	0	5 377.256
R	Ⅱ				34.384		680.800	3 947.618

注: 表中标注 ①、② 表示 p_i 取不同的值, 和 R 的 Ⅰ、Ⅱ 分栏相对应.

激励之后的 $p_j = Ac_i(q_{oi})$ 特征点利润均衡和订货报价比 α 有关, 如前文所述, 当 S_j 选择 $p_j = Ac_i(q_{oi})$, 其利润不发生变化, 仍然为式 (15), 即 $\Pi_{S_j} = 762.010$ 依据式 (25), 可以计算出 α的取值范围是: $1.076 \leqslant \alpha \leqslant 1.221$ 本文分析了 α的变化对 S_i和 R利润的影响, 如图 8所示.

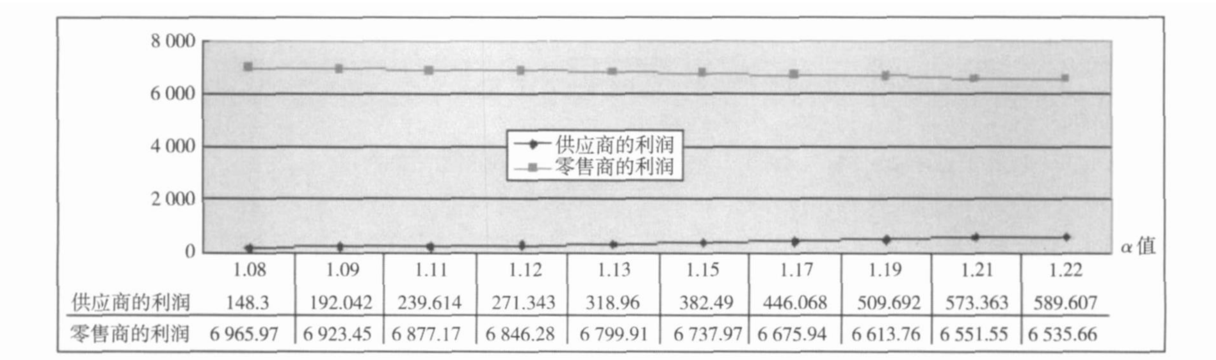

图 8　采用激励后 α值变化对供应商 S_i和零售商 R的利润影响

Fig 8 The profit influence of supplier S_i and retailer R result from the change of α under incentive

从图 8中可以看出, S_i的利润随 α的增大而逐渐增加, 而零售商 R的利润则随着 α的增大而逐渐减小. 这一现象符合本文的逻辑, 也符合常理推断, 当 α增大时, S_i与 S_j的报价比增大, 此时 S_i可以将报价控制在较高的水平; α减小时, S_i的报价被控制在接近 S_j的报价 $p_j = Ac_i(q_{oi})$ 上, 因而利润也随之降低. 另从图 8可以看出, 和激励前相比较供应商和零售商的利润都有所增加, 分析其中原因可以得到: 由于激励机制的存在, α虽然限制了 S_i的报价, 但是由于产品积压的消除使得 S_i的利润增大; 而 R由于其在激励机制中利用渠道优势, 没有任何附加成本, 在保证低订购价格的前提下增大了产品的销售量, 使其利润大幅上升.

5　结束语

本文从短生命周期产品供应链的特性出发, 研究了由两个供应商、1个零售商组成的简单供应链中双方的订货机制, 并分析了供应商、零售商在不同订货机制下的利润分配. 从短生命周期产品供应链中当零售商占主导地位的假设出发, 利用短生命周期产品供应商的特殊生产成本函数, 零售商构造了巧妙的订货配额制度, 从而可以间接控制供应商的报价行为, 达到有效保护零售商利益的目的. 在两个供应商均有订货决策变量的情况下, 本文用博弈论知识建立了双方之间的博弈模型. 零售商的激励措施能有效防止供应商出现产品积压的情况, 使参与人的利润得到了改善. 解析分析和算例表明本文设计的订货模型和激励机制在保证零售商的利益前提下能够使供应链中博弈各方的利润最大化、协调供应链上下游利益分配起到了积极作用, 在实际应用中本文设计的方法值得借鉴.

参 考 文 献:

[1]黄宝凤, 仲伟俊, 张玉林. 短生命周期产品供应链中供需双方合作的价值研究[J]. 管理工程学报, 2005, 19(4): 105—110.

Huang Bao-feng, Zhong Wei-jun, Zhang Yu-lin. The value study of supply-demand coordination in supply chain with short life cycle products[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2005, 19(4): 105—110. (in Chinese)

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

[3] Marcia P, Amrik S S, Peter R. Quick response supply chain alliances in the Australian textiles, clothing and footwear industry[J]. International Journal of Production Economics, 1999, 62(2): 119—132.

[4] Kuroda M, Takeda K. General structure and characteristics of quick response production system[J]. Computers & Industrial Engineering, 1998, 35(4): 395—398.

[5] Charlas J C. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J]. Management Science, 2000, 46(3): 444—450.

[6] Maurice E S, Cachon G P. Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence[J]. Management Science, 2000, 46(3): 404—420.

[7] Andy A T. The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives[J]. Management Science, 1999, 45(10): 1339—1358.

[8] Myerson R B. Game Theory-Analysis of Conflict[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1991.

[9] Pasternack B A. Optimal pricing and return policies for perishable commodities[J]. Marketing Science, 1985, 4(2): 166—176.

[10] Lee H L, Whang Seunjin. Decentralized multi-echelon supply chains: Incentive and information[J]. Management Science, 1999, 45(5): 633—640.

[11] Chen Y, Yan H, L Yao. News Vendor Pricing Game[R]. Working Paper, Chinese University of Hong Kong, 2002.

[12] 卜祥智, 赵泉午, 黄 庆, 等. 易逝商品最优广告投入与订货策略的博弈分析[J]. 系统工程理论与实践. 2004, 24(11): 100—105.

Bu Xiang-zhi, Zhao Quan-wu, Huang Qing, *et al*. Game analysis of optimal advertising investment and order policy for perishable goods[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2004, 24(11): 100—105. (in Chinese)

[13]陆贵斌, 甘小冰, 胡奇英. 两阶段供应链中三种定价方式研究[J]. 管理工程学报. 2006, 20(1): 12—17.

Lu Gui-bin, Gan Xiao-bing, Hu Qi-ying. A research on three pricing scheme in a two-stage supply chain[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2006, 20(1): 12—17. (in Chinese)

[14]梁 樑, 王志强, 余玉刚, 等. 基于指派博弈的动态联盟供应链优化调整研究[J]. 管理科学学报. 2004, 7(4): 85—89.

Liang Liang, Wang Zhi-qiang, Yu Yu-gang, *et al*. Virtual enterprise s supply chain optimizing adjustment based on assignment game[J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(4): 85—89. (in Chinese)

[15]许明辉, 于 刚, 张汉勤. 具备提供服务的供应链博弈分析[J]. 管理科学学报. 2006, 9(2): 18—27.

Xu Ming-hui, Yu Gang, Zhang Han-qin. Game analysis in a supply chain with service provision[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(2): 18—27. (in Chinese)

[16]张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海三联书店, 2004.

Zhang Wei-ying. Game Theory and Information Economics[M]. Shanghai: San-Lian Bookstore, 2004. (in Chinese)

[17]让-雅克·拉丰, 大卫·马赫蒂摩. 激励理论(第1卷)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2002.

Jean-Jacques Laffont, David Martimort. The Theory of Incentives[M]. Beijing: China People University Press, 2002. (in Chinese)

Game analysis of ordering strategy based on short life-cycle products in a retailer dominated supply chain

XU Xian-hao, NIE Si-yue

School of Management, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China

Abstract Based on the characteristics of short life-cycle products, the ordering decision model of retailer dominated supply chain is discussed by using game theory. In the retailer dominated supply chain, the retailer is a core enterprise in the supply chain. Therefore, retailer can suppress products prices of suppliers to a low price through the tactics of product price competition of suppliers. After that, the retailer can decide its ordering quantity according to the quoted price proposed by suppliers. Meanwhile, retailer can also use marketing information to help suppliers to eliminate the overstocks of their products. In this paper, the strategy and the distribution of interests of every participant are analyzed in different conditions by using game theory, and an efficient incentive measures are developed. At last, an example is given to validate the conclusions of the model in the paper.

Key words short life-cycle products; supply chain; ordering strategy; game theory; incentive