

# 物流服务水平影响市场需求变化的 TPL 协调合同<sup>①</sup>

吴庆, 但斌

(重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400044)

**摘要:** 针对 TPL 服务提供商努力提高物流服务水平可以显著影响市场对客户企业产品需求的情形, 运用动态博弈模型研究了这一情形下的协调合同设计问题. 博弈模型表明常见的物流合同不能有效的协调 TPL 服务提供商和客户企业的决策行动. 为了解决这一问题, 设计了一种服务成本共担合同和一种收入共享与服务成本共担的组合式合同. 前一种合同只能协调 TPL 服务提供商的物流服务水平决策; 而后一种合同既可以协调 TPL 服务提供商的物流服务水平决策, 又能协调客户企业的存货决策, 并且能实现双方的共赢. 最后, 给出了相应的算例.

**关键词:** 第三方物流; 外包; 博弈; 协调; 收入共享; 服务成本共享; 合同设计

**中图分类号:** F224.32   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2008)05-0064-12

## 0 引言

随着商业的全球化、以及竞争的加剧, 许多企业纷纷将自己的非核心业务——物流业务外包给第三方物流服务提供商 (third party logistics service providers, TPLSP)<sup>[1]</sup>. 高水平的专业化第三方物流服务不仅可以帮助客户企业降低、节约物流成本, 而且还可以帮助客户企业提高顾客对产品的需求, 实现销售收入的增长<sup>[2]</sup>. 当 TPLSP 提供的物流服务水平达到或超过顾客的期望时, 顾客的满意度得到提高, 从而顾客对客户企业的产品会产生更大的市场需求, 最终会导致客户企业的收入和利润实现增长. 已有的研究表明物流服务水平的高低对顾客再次购买的行为有直接的显著的影响<sup>[3]</sup>; 高水平的顾客满意度有助于企业市场份额和利润水平的提高<sup>[4,5]</sup>. 例如, 当当网、或易趣网上的一家店铺, 即客户企业, 向顾客销售其产品. 在顾客下达定单后, 产品的递送任务由一家 TPLSP 完成. 客户企业会要求 TPLSP 在一个具体的时间窗内, 例如 1 周内, 完成这项递送任务. 显

然, 递送的时间窗越紧, 即递送的速度越快, 顾客越喜欢. 随着递送服务水平的提高, 顾客的需求会出现增长, 客户企业的销售收入也会出现增长. 但是, TPLSP 与客户企业之间存在着一定的利益冲突. 客户企业希望 TPLSP 努力提高物流服务水平. 然而, 努力是需要付出成本的; 努力之后, 客户企业产品需求的增长也存在不确定性, TPLSP 会承担一定的风险. 所以, 如果没有足够的激励措施, TPLSP 会缺乏进一步提高物流服务水平的意愿和动力. 那么, 如何协调双方的利益冲突? 有效的合同提供了一种好的制度安排, 可以激励 TPLSP 努力提高物流服务水平实现客户企业销售收入的增长, 从而实现双方的共赢. 然而, 如何设计有效的外包合同具有挑战性<sup>[6]</sup>.

目前, 国内外关于 TPLSP 与客户企业合作问题的研究主要从实证研究和合同设计的角度展开. 实证研究主要针对什么因素会对双方的合作关系造成影响的问题. 例如, 文献[7]分析了运作环境的变化对双方的合作关系形成造成的影响. 文献[8]的研究表明当客户企业的人员规模、历

① 收稿日期: 2006-09-13; 修订日期: 2008-04-08;

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2007AA040801); 国家社会科学基金资助项目(06XJY020); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-05-0769).

作者简介: 吴庆(1977-), 男, 湖北公安人, 博士生. Email: dr.wuqing@gmail.com

史、收入和外包服务的程度等情况不同时,对外包决策因素(比如成本、服务的质量、风险和更换TPLSP的容易程度)强调的重点也不同.另一方面,已有的合同设计主要研究的是如何设计一种有效的机制使客户企业的利益最大化,缺乏从系统的角度设计最优合同的研究.例如,文献[9]运用博弈论中的显示性原理研究了当TPLSP提供服务的质量和成本是私人信息时,第三方物流服务的购买方如何设计合同激励TPLSP讲真话的问题.文献[10]研究了一个制造商和一个通过招标竞价筛选产生的运输商的运输合同参数设计问题,其目标是 minimized 制造商的期望总成本.文献[11]研究了在TPLSP的运作能力和努力水平均为非对称信息的条件下,物流服务的需求方如何设计激励合同诱导TPLSP选择有利于其效用最大化行动的问题.显然,客户企业的最优合同不一定是系统的最优合同.而且,这些研究没有关注努力或服务影响需求这一因素对合同设计的影响.

关于努力或服务影响需求的合作问题,国内外的研究对象主要集中在供应链的上下游企业<sup>[12-19]</sup>,缺乏对TPLSP及其客户企业的研究.常见的单一合同不能实现供应链的协调,例如回购(buy back)、收入共享(revenue sharing)、数量弹性(quantity flexibility)、线性数量折扣(linear quantity discount)、销售返利(sale rebate)合同,需要采用限制性合同或组合式合同才能实现供应链的协调<sup>[13-17]</sup>.本文的研究也将采用这种组合式合同设计的方法.但不同的是本文的研究对象是TPLSP及其客户企业.研究对象的不同造成了TPLSP和客户企业的合作问题与供应链的合作问题存在较大的差异:(1)TPLSP的收入来源于客户企业的销售收入,如果其他条件不变,努力提供更好的物流服务并不能使其获得更好的直接收益,需要通过客户企业进行转移支付,而经销商的销售努力可以使其获得直接的收益;(2)一般情况下,TPLSP不需要承担任何存货风险,而经销商需要承担全部或部分的存货风险;(3)道德风险的来源不同.在供应链中,零售商既要进行存货决策又要进行努力决策,这容易引起单边道德风险问题.例如,制造商可以利用回购合同协调零售商的存货决策问题;但是,当产品的市场需求比较低时,回购会导致零售商偷懒、降低其促销的努力水

平.在供应链的其他协调合同中,也普遍存在类似的道德风险问题<sup>[16]</sup>.在物流外包渠道中,TPLSP选择物流服务水平、客户企业进行存货的决策,这可能会引起双边道德风险问题.例如,当TPLSP不能观测产品的市场需求时,客户企业可能会隐藏需求信息、少订购产品以避免存货风险;当客户企业不能观测物流服务的水平时,如果没有足够的激励,TPLSP会倾向于偷懒.在考虑这些差异的情况下,拟从TPLSP努力提高物流服务水平影响市场对客户企业产品需求变化的角度,设计一种收入共享与服务成本共担的协调合同,实现系统利润的最优、双方的共赢.

## 1 模型的假设与条件

一个TPLSP为一个客户企业提供物流服务;同时,客户企业向顾客销售其产品,产品的市场需求是随机的.根据达成的物流合同,客户企业对TPLSP进行转移支付.在常见的物流外包合同中,客户企业对TPLSP的转移支付为: $T(C_{CF}, p_l, q) = C_{CF} + p_l q$ ,其中,客户企业支付给TPLSP的固定部分的物流费用 $C_{CF}$ 不会随着其存货量 $q$ 的变动而发生变动<sup>[20]</sup>.在物流外包协议中,针对各种不同的情况,客户企业经常会要求TPLSP提供一个比较详细的报价清单,清单一般会具体到单位产品的物流价格,这样有利于客户企业核算单位产品的总成本.

模型的符号表示: $p$ —客户企业销售单位产品的价格; $p_l$ —TPLSP提供的单位产品物流服务的价格; $q$ —客户企业的存货量; $C_{CF}$ —客户企业支付给TPLSP的固定部分的物流费用; $C_{LF}$ —TPLSP获得固定收益 $C_{CF}$ 而付出的成本; $c_c$ —客户企业的单位产品成本; $c_l$ —TPLSP提供单位产品的物流服务成本; $s$ —销售季节末的存货残值; $T$ —客户企业对TPLSP的转移支付; $\xi$ —销售季节的随机需求; $\xi'$ —TPLSP努力提高物流服务水平后的市场需求; $f(\xi)$ —销售季节随机需求的密度函数; $F(\xi)$ —销售季节随机需求的分布函数; $\bar{F}(\xi) = 1 - F(\xi)$ ;  $e$ —TPLSP提供的物流服务水平; $C(e)$ —TPLSP提高物流服务水平的服务成本; $\theta$ —TPLSP分担服务成本的比重; $\phi$ —客户企业分享收入的权重.

模型的假设:

**假设 1** TPLSP 和客户企业都是理性的,且风险偏好都是中性的. 双方的所有信息都是共同知识.

**假设 2**  $p > c_i + p_l > 0; c_l, c_c > 0; 0 < \theta, \phi < 1$ . 存货的残值较低,有时需要处理成本,甚至会出现残值为负的情况.

**假设 3**  $p, c_c, c_l, s, C_{LF}$  是外生的;  $p_l, e, C_{CF}$  是内生的.

客户企业的单位产品价格是外生的,这意味着客户企业面临的市场是一个完全竞争市场,其是价格的接受者;或者客户企业面临的市场是一个寡头垄断市场,其是价格追随者.

**假设 4** 对于  $\forall \xi > 0, f(\xi) > 0$ , 且  $f(\xi)$  在  $(0, +\infty)$  是连续的,  $F(0) = 0$ .

**假设 5** 物流服务水平的高低是可以度量的,并且是可以被证实的 (verifiable). 高水平的物流服务质量可以导致顾客对客户企业的产品产生更大的市场需求. 在这里,假设物流服务水平与市场需求存在这样的函数关系:  $\xi' = e\xi$ , 其中  $e \geq 1$ .

由于服务是无形的,物流服务水平主要是指客户企业和顾客对 TPLSP 提供的物流服务的一种感知和评估. 一般,物流服务水平可以用这几个维度来度量: 可靠性 (reliability), 合时性 (timeliness), 响应能力 (responsiveness), 解决问题的能力 (problem solving ability), 准确性 (accuracy), 顾客服务 (customer service) 和柔性 (flexibility)<sup>[21,22]</sup>. 根据不同的目的和竞争的需要,客户企业可以选择不同的指标来衡量 TPLSP 提供的物流服务水平. 例如,网上商店主要用递送的速度和准确性来衡量 TPLSP 提供的物流服务的水平. 并且,递送的速度和准确性是可以被证实的. 根据发货单和顾客的收货单,客户企业可以确定递送的速度与准确性.

一般,物流服务水平对市场需求的影响存在两种模式: 1) 加法模式, 即  $\xi' = e + \xi$ ; 2) 乘法模式, 即  $\xi' = Z(e)\xi$ . 在第一种模式下,物流服务水平对市场需求的影响是确定的. 显然,这与现实情况相距较远. 在第二种模式下,物流服务水平对市场需求的影响是随机的. 这种模式与现实情况更为吻合. 在这里,假设物流服务的边际效率为一常数, 即  $Z(e) = e$ .

**假设 6**  $C(e)$  在区间  $e \in [1, +\infty]$  是递增的凹函数,且满足  $C(e = 1) = 0$ . 这表示随着物流服务水平的提高, TPLSP 付出的服务成本会越来越大,且服务的边际成本呈递增趋势. 当物流服务水平保持不变时, TPLSP 的边际服务成本为零.

## 2 常见的物流合同模型

### 2.1 系统集中式决策模式

如果将 TPLSP 和客户企业看成一个系统,从系统的角度进行决策,这种决策模式就是系统集中式决策模式.

客户企业、TPLSP 的期望利润函数分别是

$$\Pi_C(q, T) = pE(\min(q, e\xi)) + sE(q - e\xi)^+ - c_c q - T \tag{1}$$

$$\Pi_L(e, T) = T - c_l q - C_{LF} - C(e) \tag{2}$$

那么,系统的期望利润是

$$\Pi(q, e) = pE(\min(q, e\xi)) + sE(q - e\xi)^+ - (c_c + c_l)q - C_{LF} - C(e) \tag{3}$$

令  $S(q, e) = E(\min(q, e\xi))$ , 可以推导出

$$S(q, e) = q - e \int_0^{q/e} F(\xi) d\xi, E(q - e\xi)^+ = q - S(q, e). \text{ 则式(3)转换为}$$

$$\Pi(q, e) = (p - s)S(q, e) - (c_c + c_l - s)q - C_{LF} - C(e) \tag{4}$$

对式(4)求  $e$  的二阶偏导数, 可得  $\partial^2 \Pi(q, e) / \partial e^2 = -(p - s)q^2 f(q/e) / e^3 - d^2 C(e) / de^2$ . 由于  $f(q/e) > 0, d^2 C(e) / de^2 > 0$ , 易知  $\partial^2 \Pi(q, e) / \partial e^2 < 0$ . 所以,  $\Pi(q, e)$  在  $e \in [1, +\infty]$  具有唯一的最优解  $\bar{e}$ , 且满足  $dC(\bar{e}) / d\bar{e} = (p - s)\Gamma(q/\bar{e})$ , 其中,  $\Gamma(q) = \int_0^q \xi dF(\xi)$ .

对式(4)求  $q$  的二阶偏导数, 可得  $\partial^2 \Pi(q, e) / \partial q^2 = -(p - s)f(q/e) / e < 0$ . 所以,  $\Pi(q, e)$  在  $q \in [0, +\infty)$  具有唯一的最优解  $\bar{q}$ , 且满足  $\bar{q} = e\bar{F}^{-1}((c_c + c_l - s) / (p - s))$ . 当  $e = 1$  时, 即物流服务水平保持不变时, 系统的最优存货决策量为  $\bar{q}_0 = \bar{F}^{-1}((c_c + c_l - s) / (p - s))$ .

由此可得, 系统的最优存货决策量为  $\bar{q} = e\bar{q}_0$ , 最优物流服务水平  $\bar{e}$  满足

$$dC(\bar{e}) / d\bar{e} = (p - s)\Gamma(\bar{q}_0) \tag{5}$$

那么, 系统的最优期望利润为  $\Pi(\bar{q}, \bar{e}) = \bar{e}(p -$

$$s) \Gamma(\bar{q}_0) - C_{LF} - C(\bar{e}).$$

**命题1**  $\Pi(\bar{q}, \bar{e}) > \Pi(\bar{q}_0, e = 1)$ .

**证明** 令  $\Pi(q, e) = e(p - s)\Gamma(\bar{q}_0) - C_{LF} - C(e)$ , 其中  $q = e\bar{q}_0$ . 当物流服务水平保持不变时, 即  $e = 1$  时,  $\Pi(q, e) = \Pi(\bar{q}_0, e = 1)$ . 由于  $d^2C(e)/de^2 > 0$ , 易知  $\Pi(q, e)$  是  $e$  的凸函数. 那么, 一阶最优条件满足:  $dC(e)/de = (p - s)\Gamma(\bar{q}_0)$ . 又由于  $dC(\bar{e})/d\bar{e} = (p - s)\Gamma(\bar{q}_0)$ , 可知  $\Pi(q, e)$  在  $e \in [1, \bar{e}]$  递增. 所以,  $\Pi(q = e\bar{q}_0, \bar{e}) > \Pi(\bar{q}_0, e = 1)$ , 即  $\Pi(\bar{q}, \bar{e}) > \Pi(\bar{q}_0, e = 1)$ .

命题1表示在常见的物流合同下, 集中式决策模式下系统提高物流服务水平时获得的最优利润会高于其在物流服务水平保持不变时的最优利润.

## 2.2 独立分散式决策模式

现实中, 由于 TPLSP 和客户企业都是独立的利益体, 一般都只会从各自的利益角度出发进行决策, 这种决策模式就是独立分散式决策模式.

双方博弈的过程为: 首先, TPLSP 与客户企业协商确定固定部分的物流费用; 然后, TPLSP 选择单位产品的物流服务价格和物流服务水平; 其次, 客户企业判断 TPLSP 的单位产品物流服务价格是否合理、提供的物流服务水平是否能够满足要求, 从而选择是否接受. 若接受, 双方达成协议, 根据合同参数和市场需求状况, 在销售季节前, 客户企业选择存货的数量; 销售季节来临, 需求发生. 最终, 根据达成的物流合同, 客户企业对 TPLSP 进行转移支付. 若拒绝, 则博弈结束.

在常见的物流合同下, 客户企业的期望利润函数为

$$\Pi_c(q, e) = (p - s)S(q, e) - (c_c + p_l - s)q - C_{CF} \quad (6)$$

对式(6)求  $q$  的二阶偏导数, 可得  $\partial^2 \Pi_c(q, e)/\partial q^2 = -(p - s)f(q/e)/e < 0$ . 所以,  $\Pi_c(q, e)$  在  $q \in [0, +\infty)$  具有唯一的最优解  $q_1$ , 且满足  $q_1 = e\bar{F}^{-1}((c_c + p_l - s)/(p - s))$ . 当  $e = 1$  时, 即物流服务水平保持不变, 客户企业的最优存货决策量为  $q_0 = \bar{F}^{-1}((c_c + p_l - s)/(p - s))$ .

另外, 由于  $\partial S(q, e)/\partial e = \Gamma(q/e) > 0$ , 其中  $\Gamma(q) = \int_0^q \xi dF(\xi)$ , 易知  $\partial \Pi_c(q, e)/\partial e > 0$ , 即在常见的物流合同下, 随着物流服务水平的提高, 客

户企业的利润会递增. 所以, 在常见的物流合同下, TPLSP 越努力提高物流服务水平, 客户企业越喜欢. 但是, 随着物流服务水平的提高, TPLSP 的服务成本也在递增, TPLSP 并没有提高物流服务水平的内在激励与动力.

TPLSP 的期望利润函数为

$$\Pi_L(q, e) = (p_l - c_l)q + C_{CF} - C_{LF} - C(e) \quad (7)$$

与实物商品相比较, 服务具有无形的、不可分离的(无法将服务的生产与其消费分离开)、易逝(无法存储)的特征<sup>[23]</sup>. 所以, TPLSP 不用担心物流服务的存储问题. 而在供应链中, 商品的供应商需要考虑商品的生产、存储与销售问题.

在供应链中, 通常供应商具有商品数量与价格的决策权. 通过这两个决策权, 供应商可以控制自己的利润水平与存货风险. 而在 TPLSP—客户企业渠道中, TPLSP 只有物流服务价格的决策权, 其提供的物流服务业务量取决于客户企业的存销量, 这就造成了 TPLSP 无法控制自己的收益水平. 但是, 对 TPLSP 有利的是, 由于物流服务不可分离的特征, 其不用考虑物流服务提供后销售不出去的风险.

从式(7)分析可知, 在常见的物流合同下, 不管客户企业的产品是否顺利卖出, TPLSP 都会根据提供的物流服务获得相应的收入, 同时也不用承担产品的任何存货风险. 当物流服务水平提高时, TPLSP 获得的平均收益会低于物流服务水平保持不变时所获得的平均收益. 显然, 在 TPLSP 的资源有限、物流业务量比较充足的情况下, 如果不给予任何激励措施, TPLSP 不愿意付出任何努力提高物流服务水平.

但是, 由于高水平的物流服务质量可以促进顾客对客户企业产品需求的增长, 从而可以使 TPLSP 获得物流业务量增长的好处, 同时为了巩固与客户企业的合作关系, 在某种程度上 TPLSP 会付出一定的努力. 根据需求信息, TPLSP 会推测客户企业的存货决策量. 假设  $q = S(q, e) + \tau$ ,  $\tau$  为一调整常数. 则式(7)转换为

$$\Pi_L(q, e) = (p_l - c_l)(S(q, e) + \tau) + C_{CF} - C_{LF} - C(e) \quad (8)$$

对式(8)求  $e$  的二阶偏导数, 可得  $\partial^2 \Pi_L(q, e)/\partial e^2 = -(p_l - c_l)q^2 f(q/e)/e^3 - d^2C(e)/de^2$ . 由于 TPLSP

是理性的,为了获取满意的经济利润,其提供的物流服务价格一般会满足  $p_l > c_l$ . 又由于  $f(q/e) > 0, d^2C(e)/de^2 > 0$ , 易知  $\partial^2\Pi_L(q, e)/\partial e^2 < 0$ . 所以,  $\Pi_L(q, e)$  在  $e \in [1, +\infty)$  具有唯一的最优解  $e_1$ , 且满足  $dC(e_1)/de_1 = (p_l - c_l)\Gamma(q/e_1)$ .

由此可得, 客户企业的最优存货决策量为  $q_1 = e_1q_0$ , TPLSP 的最优物流服务水平  $e_1$  满足

$$dC(e_1)/de_1 = (p_l - c_l)\Gamma(q_0) \tag{9}$$

那么, 客户企业的最优期望利润为  $\Pi_C(q_1, e_1) = e_1(p - s)\Gamma(q_0) - C_{CF}$ ; TPLSP 的最优期望利润为

$$\Pi_L(q_1, e_1) = e_1(p_l - c_l)q_0 - C(e_1) + C_{CF} - C_{LF}$$

**命题2**  $e_1 < \bar{e}; q_1 < \bar{q}; \Pi(q_1, e_1) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

**证明** 当  $e = 1$  时, 由  $\partial^2S(q, e)/\partial q^2 = -f(q) < 0$ , 可得  $\partial S(q, e)/\partial q = \bar{F}(q)$  是  $q$  的递减函数. 由于  $p_l > c_l$ , 比较  $q_0 = \bar{F}^{-1}((c_c + p_l - s)/(p - s))$  与 2.1 节的  $\bar{q}_0 = \bar{F}^{-1}((c_c + c_l - s)/(p - s))$ , 易知  $q_0 < \bar{q}_0$ . 又由于  $p - s > p_l - c_l$ , 比较 2.1 节式(5) 的右边与式(9) 的右边, 易知  $dC(\bar{e})/d\bar{e} > dC(e_1)/de_1$ . 因此, 由  $C(e)$  的函数性质可得  $\bar{e} > e_1$ .

比较 2.1 节的  $\bar{q} = \bar{e}\bar{q}_0$  与  $q_1 = e_1q_0$ , 由于  $q_0 < \bar{q}_0, e_1 < \bar{e}$ , 可得  $q_1 < \bar{q}$ .

由 2.1 节式(4) 的函数性质可知, 任意给定  $e$  不变, 由  $q_1 < \bar{q}$  可得  $\Pi(q_1, \bar{e}) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ ; 类似的, 任意给定  $q$  不变, 由  $e_1 < \bar{e}$  可得  $\Pi(q_1, e) < \Pi(q_1, \bar{e})$ . 由此可得,  $\Pi(q_1, e_1) < \Pi(q_1, \bar{e})$ .

命题2 表示在常见的物流合同下, 分散式决策模式下 TPLSP 的最优物流服务水平、客户企业的最优存货决策量以及系统的最优利润都会低于集中式决策模式下系统的最优物流服务水平、最优存货决策量以及最优利润.

由于 TPLSP 和客户企业都是理性的, 其目标都是追求自身利益的最大化. 因此, 双方的博弈会导致物流服务水平的扭曲 (distortion of logistics service levels), 即  $e_1 < \bar{e}$ , 和数量的扭曲 (quantity distortion), 即  $q_1 < \bar{q}$ . 从而, 系统的利润会出现损失, 即  $\Pi(e_1, q_1) < \Pi(\bar{e}, \bar{q})$ .

**命题3**  $\Pi_C(q_1, e_1) > \Pi_C(q_0, e = 1), \Pi_L(q_1, e_1) > \Pi_L(q_0, e = 1)$ .

**证明** 由于  $\Pi_L(q, e)$  是  $e$  的凸函数, 一阶最

优条件满足:  $dC(e_1)/de_1 = (p_l - c_l)\Gamma(q_0) > 0$ . 可得  $e_1 > 1$ . 又由于  $q_1 = e_1q_0$ , 可得  $q_1 > q_0$ . 给定  $q$  不变,  $\Pi_L(q, e)$  在  $e \in [1, e_1]$  上递增, 可得  $\Pi_L(q_1, e_1) > \Pi_L(q_1, e = 1)$ . 另外, 给定  $e$  不变,  $\Pi_L(q, e)$  在  $q \in [0, +\infty]$  上递增, 又由于  $q_1 > q_0$ , 可以推导出  $\Pi_L(q_1, e = 1) > \Pi(q_0, e = 1)$ . 所以,  $\Pi_L(q_1, e_1) > \Pi_L(q_0, e = 1)$ .

令  $\Pi_C(q, e) = e(p - s)\Gamma(q_0) - C_{CF}$ , 其中  $q = eq_0$ . 当物流服务水平保持不变时, 即  $e = 1$  时,  $\Pi_C(q, e) = \Pi_C(q_0, e = 1)$  显然,  $\Pi_C(q, e)$  在  $e \in [1, +\infty)$  上是递增函数. 由此可得,  $\Pi_C(q = e_1q_0, e_1) > \Pi_C(q = q_0, e = 1)$ , 即  $\Pi_C(q_1, e_1) > \Pi_C(q_0, e = 1)$ .

命题3 表示在常见的物流合同下, 提高物流服务水平时客户企业和 TPLSP 所获得的利润都会高于物流服务水平保持不变时他们各自所获得的利润.

### 3 协调合同模型

#### 3.1 服务成本共担合同

为了激励 TPLSP 努力提高物流服务水平, 客户企业愿意分担部分服务成本. 除了 TPLSP 会根据其分担的服务成本的比例  $\theta$  选择自己的物流服务水平, 双方博弈的过程与 2.2 节基本相同.

在服务成本共担合同, 客户企业对 TPLSP 的转移支付为

$$T(C_{CF}, \theta, p_l, q) = C_{CF} + p_l q + (1 - \theta)C(e)$$

客户企业、TPLSP 的期望利润函数分别为

$$\Pi_C(q, e) = (p - s)S(q, e) - (c_c + p_l - s)q - C_{CF} - (1 - \theta)C(e) \tag{10}$$

$$\Pi_L(q, e) = (p_l - c_l)q + C_{CF} - C_{LF} - \theta C(e) \tag{11}$$

式(10)、式(11) 表示服务成本共担合同. 当  $\theta = 1$  时, 其退化为常见的物流合同. 在这种情况下, 当物流服务水平提高时, 双方都可以从中受益, 但 TPLSP 承担全部服务成本, TPLSP 会缺乏提高物流服务水平的内在激励与动力. 另一方面, 由于不承担任何服务成本, 只享受提高物流服务水平所带来的收益, 客户企业希望 TPLSP 提供的物流服务的水平越高越好. 所以, 双方存在一定的利益冲突. 当  $\theta = 0$  时, 客户企业负担全部服务成本, 而受益的是双方. 另外, 由于没有任何成本约束, TPLSP 会倾向于偷懒, 而不是努力提高物流服务

水平,存在一定的道德风险问题.因此,合理的服务成本的分担比例须满足  $0 < \theta < 1$ .

从式(11)分析可知,与常见的物流合同相同,在服务成本共担合同下 TPLSP 也不会承担任何客户企业产品的存货风险.

类似 2.2 节的式(6)、式(7)的求解过程,可得客户企业的最优存货决策量为  $q_2 = e_2 q_0$ , TPLSP 的最优物流服务水平  $e_2$  满足

$$dC(e_2)/de_2 = (p_l - c_l)\Gamma(q_0)/\theta \quad (12)$$

那么,客户企业的最优期望利润为  $\Pi_C(q_2, e_2) = e_2(p - s)\Gamma(q_0) - C_{CF} - (1 - \theta)C(e_2)$ ; TPLSP 的最优期望利润为  $\Pi_L(q_2, e_2) = e_2(p_l - c_l)q_0 - \theta C(e_2) + C_{CF} - C_{LF}$ .

**命题 4**  $e_1 < e_2 \leq \bar{e}, q_1 < q_2 < \bar{q}, \Pi(q_1, e_1) < \Pi(q_2, e_2) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

**证明** 比较式(9)与式(12),由  $0 < \theta < 1$  可知  $dC(e_2)/de_2 > dC(e_1)/de_1$ . 由于函数  $C(e)$  是凹函数,可得  $e_2 > e_1$ . 另外,由于 TPLSP 是理性的,在服务成本共担合同下,其提供的物流服务水平不会高于集中式决策模式下的最优物流服务水平,即  $e_2 \leq \bar{e}$ . 所以,  $e_1 < e_2 \leq \bar{e}$ .

由于  $q_1 = e_1 q_0, q_2 = e_2 q_0, \bar{q} = \bar{e} \bar{q}_0$ , 又已知  $q_0 < \bar{q}_0$ , 由此可得,  $q_1 < q_2 < \bar{q}$ .

由 2.1 节式(4)的函数性质可知,任意给定  $e$  不变,由  $q_1 < q_2$  可得  $\Pi(q_1, e_1) < \Pi(q_2, e_1)$ ; 任意给定  $q$  不变,由  $e_1 < e_2$  可得  $\Pi(q_2, e_1) < \Pi(q_2, e_2)$ . 由此可得  $\Pi(q_1, e_1) < \Pi(q_2, e_2)$ . 类似的,由  $q_2 < \bar{q}$  可得  $\Pi(q_2, e_2) < \Pi(\bar{q}, e_2)$ ; 由  $e_2 \leq \bar{e}$  可得  $\Pi(\bar{q}, e_2) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ . 由此可得,  $\Pi(q_2, e_2) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ . 所以,  $\Pi(q_1, e_1) < \Pi(q_2, e_2) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

命题 4 表示在服务成本共担合同下, TPLSP 提供的物流服务水平、客户企业的存货决策量以及系统的总利润都会优于其在常见的物流合同下的情况,即,服务成本共担合同优于常见的物流合同.但是,在服务成本共担合同下, TPLSP 提供的物流服务水平不会高于系统集中式决策模式下的物流服务水平,客户企业的存货决策量与系统的总利润仍然会低于其在系统集中式决策模式下的情况,即,服务成本共担合同不能实现 TPLSP 与客户企业之间的完全协调.

**命题 5** 当合同参数满足  $\theta = (p_l - c_l)\Gamma(q_0)/[(p - s)\Gamma(q_0) + (p_l - c_l)q_0]$  时,系统

在服务成本共担合同下的利润达到最优,即,对于  $\forall q_2, e_2, \Pi(q_2^*, e_2^*) \geq \Pi(q_2, e_2)$ , 其中,  $e_2^*$  表示在服务成本共担合同下系统利润达到最优时的物流服务水平,  $q_2^* = e_2^* q_0$ .

**证明** 已知  $\Pi_C(q_2, e_2) = e_2(p - s)\Gamma(q_0) - C_{CF} - (1 - \theta)C(e_2)$ ,  $\Pi_L(q_2, e_2) = e_2(p_l - c_l)q_0 - \theta C(e_2) + C_{CF} - C_{LF}$ , 那么  $\Pi(q_2, e_2) = [(p - s)\Gamma(q_0) + (p_l - c_l)q_0]e_2 - C(e_2) - C_{LF}$ . 易知,  $\Pi(q_2, e_2)$  是  $e_2$  的凸函数. 那么,一阶最优条件满足

$dC(e_2^*)/de_2^* = (p - s)\Gamma(q_0) + (p_l - c_l)q_0$  同时,  $e_2^*$  满足条件式(12). 所以,在服务成本共担合同下系统利润达到最优时,合同参数满足  $\theta = (p_l - c_l)\Gamma(q_0)/[(p - s)\Gamma(q_0) + (p_l - c_l)q_0]$ .

命题 5 意味着在服务成本共担合同下,选择合适的物流服务成本的分担比例可以实现系统利润的最优.但是,从命题 4 可知,这一最优利润仍然低于系统在集中式决策模式下所获得的最优利润.

**命题 6** 当合同参数满足  $\theta = (p_l - c_l)/[(p - s) + (p_l - c_l)]$  时,对于  $\forall e, q, \Pi_C(q_2^*, e_1^*) \geq \Pi_C(q_2, e_2)$ , 其中,  $e_2^*$  表示在服务成本共担合同下客户企业利润达到最优时的物流服务水平,  $q_2^* = e_2^* q_0$ .

**证明** 由式(10),易知  $\partial^2 \Pi_C(q, e)/\partial e^2 < 0$ , 可得  $\Pi_C(q, e)$  在  $e \in [1, +\infty)$  具有唯一的最优解  $e_2^*$ , 且满足  $dC(e_2^*)/de_2^* = (p - s)\Gamma(q_0)/(1 - \theta)$ . 另外,在服务成本共担合同下, TPLSP 提供的最优物流服务水平满足式(12). 因此,当  $\theta = (p_l - c_l)/[(p - s) + (p_l - c_l)]$  时,  $e_2 = e_2^*$ , 即 TPLSP 提供的物流服务水平能达到客户企业希望的最优水平. 由  $\Pi_C(q, e)$  的函数性质可得,对于  $\forall e, q, \Pi_C(q_2^*, e_2^*) \geq \Pi_C(q_2, e_2)$ .

命题 6 意味着在服务成本共担合同下,选择合适的物流服务成本的分担比例可以实现客户企业利润的最优.

**命题 7** 当合同参数满足  $\theta = (p_l - c_l)\Gamma(q_0)/[(p - s)\Gamma(\bar{q}_0)]$  时,  $e_2 = \bar{e}; q_2 < \bar{q}; \Pi(q_2, e_2) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

**证明** 当  $\theta = (p_l - c_l)\Gamma(q_0)/[(p - s)\Gamma(\bar{q}_0)]$  时,由式(12)可得  $dC(e_2)/de_2 = (p -$

$s)F(\bar{q}_0)$ . 由函数  $C(e)$  的单调性可知,  $e_2 = \bar{e}$ .

由  $q_2 = e_2q_0$ , 可得  $q_2 = \bar{e}q_0$ . 又由  $q_0 < \bar{q}_0$ , 可得  $\bar{e}q_0 < \bar{e}\bar{q}$ , 即  $q_2 < \bar{q}$ .

由 2.1 节式(4) 的函数性质可知, 任意给定  $e$  不变, 由  $q_2 < \bar{q}$  可得  $\Pi(q_2, e_2) < \Pi(\bar{q}, e_2)$ , 即  $\Pi(q_2, e_2) < \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

命题 7 表示服务成本共担合同可以协调 TPLSP 提高物流服务水平的决策, 但不能协调客户企业的存货决策. 在这种合同下, 系统所获得的利润会低于其在集中式决策模式下所获得的最优利润.

### 3.2 收入共享与服务成本共担合同

由于服务成本共担合同不能协调客户企业的存货决策, 下面设计一种收入共享与服务成本共担的组合式合同.

从第 2.2 节命题 2 的分析可知, 由于 TPLSP 追求自身利益的最大化, 其提供的单位产品物流服务价格会高于其物流成本, 这会造成客户企业单位产品边际成本的上升, 从而导致了数量扭曲的问题. 为了解决这一问题, 客户企业可以设计一种合同激励 TPLSP 降低单位产品的物流服务价格, 从而实现双方的共赢.

在供应链中, 为了激励分销商多订购产品, 供应商可以采用回购 (buy back)、收入共享 (revenue sharing)、数量弹性 (quantity flexibility)、线性数量折扣 (linear quantity discount)、销售返利 (sale rebate) 等合同形式分担分销商的存货风险. 而在物流外包渠道中, 由于 TPLSP 提供的是服务而不是商品, 其并没有激励客户企业多订购商品的直接动力. 另外, 由于物流服务具有无形的、不可分离的、易逝的特征, 不存在物流服务提供后未销售完或对多提供的物流服务进行回购的问题. 所以, 数量弹性、回购以及销售返利合同并不适用于解决物流外包渠道中的数量扭曲问题. 当客户企业的物流业务量达到一定水平时, 客户企业可以要求 TPLSP 以数量折扣的方式降低其物流服务价格; 另外, 为了激励 TPLSP 降低物流服务价格, 客户企业可以让 TPLSP 分享其销售收入. 在本文中, 主要关注后一种方式, 即收入共享合同, 如何解决数量扭曲的问题.

根据分享的客户企业销售收入的比例  $1 - \phi$ , TPLSP 选择提供的单位产品物流服务的价格; 同

时根据分担的服务成本的比例  $\theta$ , TPLSP 选择提供的物流服务的水平. 双方博弈的过程与 2.2 节基本相同.

在收入共享与服务成本共担的组合式合同下, 客户企业对 TPLSP 的转移支付为

$$T(C_{CF}, p_l, \theta) = (p_l + (1 - \phi)s)q + (1 - \phi) \times (p - s)S(q, e) + C_{CF} + (1 - \theta)C(e)$$

客户企业、TPLSP 的期望利润函数分别为

$$\Pi_C(q, e) = \phi(p - s)S(q, e) - (c_c + p_l - \phi s)q - C_{CF} - (1 - \theta)C(e) \quad (13)$$

$$\Pi_L(q, e) = (p_l - c_l)q + (1 - \phi)pS(q, e) + (1 - \phi)(q - S(q, e))s + C_{CF} - C_{LF} - \theta C(e) \quad (14)$$

式(13)、式(14) 表示收入共享与服务成本共担合同. 当  $\phi = 1$  时, 其退化为服务成本共担合同; 当  $\phi = 1, \theta = 1$  时, 其退化为常见的物流合同. 从命题 2 和命题 4 的分析可知, 在这两种合同下都存在着数量扭曲的问题. 当  $\phi = 0$  时, TPLSP 占有了客户企业的全部收入, 客户企业不能获得任何收益. 显然, 这难以达成任何有效的协议. 所以, 合理的收入分配比例应满足  $0 < \phi < 1$ .

对式(13) 求  $q$  的二阶偏导数, 可得  $\partial^2 \Pi_C(q, e) / \partial q^2 = -\phi(p - s)f(q/e)/e < 0$ . 所以,  $\Pi_C(q, e)$  在  $q \in [0, +\infty)$  具有唯一的最优解  $q_3$ , 且满足  $q_3 = e\bar{F}^{-1}((c_c + p_l - \phi s) / (\phi(p - s)))$ .

对式(14) 求  $e$  的二阶偏导数, 可得  $\partial^2 \Pi_L(q, e) / \partial e^2 = -(1 - \phi)(p - s)q^2 f(q/e) / e^3 - \theta d^2 C(e) / de^2 < 0$ . 所以,  $\Pi_L(q, e)$  在  $e \in [1, +\infty)$  具有唯一的最优解  $e_3$ , 且满足  $dC(e_3) / de_3 = (1 - \phi) \times (p - s) \int_0^{q_3} \xi dF(\xi) / \theta$ .

由此可得, 客户企业的最优存货决策量为  $q_3 = e_3 \bar{F}^{-1}((c_c + p_l - \phi s) / (\phi(p - s)))$ , TPLSP 的最优物流服务水平  $e_3$  满足  $dC(e_3) / de_3 = (1 - \phi) \times$

$$(p - s) \int_0^{q_3} \xi dF(\xi) / \theta.$$

**命题 8** 当合同参数同时满足下列条件时

$$p_l = \phi c_l - (1 - \phi)c_c \quad (15)$$

$$\theta = 1 - \phi \quad (16)$$

$$e_3 = \bar{e}; q_3 = \bar{q}; \Pi(q_3, e_3) = \Pi(\bar{q}, \bar{e}).$$

**证明** 当合同参数满足条件(15) 和(16) 时,

式(13)、式(14)分别转换为

$$\Pi_C(q, e) = \phi \Pi(q, e) + \phi C_{LF} - C_{CF} \quad (17)$$

$$\Pi_L(q, e) = \theta \Pi(q, e) - (1 - \theta) C_{LF} + C_{CF} \quad (18)$$

显然,客户企业、TPLSP的期望利润函数都是系统利润函数的仿射函数.因此,在这种收入共享与服务成本共担合同下, $\bar{q}$ 是客户企业的最优存货决策量,即 $q_3 = \bar{q}$ ;  $\bar{e}$ 是TPLSP提供的最优物流服务水平,即 $e_3 = \bar{e}$ .显然, $\Pi(q_3, e_3) = \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

命题8表示收入共享与服务成本共担合同既可以协调TPLSP的物流服务水平的决策,又能协调客户企业的存货决策.在这种合同下,系统的利润能够实现最优.

值得注意的是,通过调整合同参数 $\{\phi, \theta, C_{CF}\}$ 可以实现系统利润在客户企业和TPLSP之间的任意分配.现实中,客户企业、TPLSP通常都会有自己的机会成本,即保留利润( $\Pi_i(q, e) > 0, i = C, L$ ).一般情况,保留利润应满足这样的条件: $\Pi_i(q, e) < \Pi_i(q, e), \sum \Pi_i(q, e) \leq \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

所以,这就限制了系统利润在两者之间的任意分配,合同参数 $\{\phi, \theta, C_{CF}\}$ 会有一些的限制范围.合理的利润分配应该达到这样的目的:TPLSP、客户企业的利润都可以得到改善,即是一种帕累托改进.

另外,从 $p_l = \phi c_l - (1 - \phi)c_c$ 分析可知:当 $0 < 1 - \phi \leq c_l / (c_l + c_c)$ 时, $0 \leq p_l < c_l$ ;当 $1 - \phi > c_l / (c_l + c_c)$ 时, $p_l < 0$ ,这种情况表示为了获得更大份额的收入,TPLSP需要对客户企业进行补贴.总之,在这种合同下,TPLSP提供的单位产品物流服务的价格会低于其成本,并且与其分享收入的份额成反向关系.式(14)右边的第一项表明,由于TPLSP提供的单位产品物流服务的价格会低于其成本,其收益会出现损失;由于季末存货的残值(式(14)右边的第三项为TPLSP分享季末残值收入的份额)较低、有时甚至为负,这部分损失主要由TPLSP分享的客户企业的期望销售收入(式(14)右边的第二项)和TPLSP所获得的固定部分的物流费用(式(14)右边的第四项)来弥补.但是,由于市场对客户企业的产品需求存在不确定性,TPLSP会承担一定的存货风险.在市场对客户企业的产品需求旺盛的情况下,TPLSP可以获得更多的收益;在市场需求比较萧条的情况下,TPLSP的收益可能会出现亏损.

**命题9** 当合同参数满足条件(15)、(16),

并满足下列条件时

$$e_1(p - s)\Gamma(q_0) / [\bar{e}(p - s)\Gamma(\bar{q}_0) - C(\bar{e})] < \phi < 1 - [e_1(p_l - c_l)q_0 - C(e_1)] / [\bar{e}(p - s)\Gamma(\bar{q}_0) - C(\bar{e})] \quad (19)$$

与常见的物流合同相比较,在收入共享与服务成本共担合同下,TPLSP、客户企业以及系统的利润都能得到改善,即 $\Pi_L(q_3, e_3) > \Pi_L(q_1, e_1)$ ,  $\Pi_C(q_3, e_3) > \Pi_C(q_1, e_1)$ ,  $\Pi(q_3, e_3) > \Pi(q_1, e_1)$ ;同时,系统达到最优状态,即 $e_3 = \bar{e}$ ;  $q_3 = \bar{q}$ ;  $\Pi(q_3, e_3) = \Pi(\bar{q}, \bar{e})$ .

**证明** 由命题8可知,当合同参数满足式(15)和式(16)时,可得 $e_3 = \bar{e}$ ;  $q_3 = \bar{q}$ ;  $\Pi(e_3, q_3) = \Pi(\bar{e}, \bar{q})$ .另外,由命题2可知, $\Pi(q_3, e_3) > \Pi(q_1, e_1)$ .

由命题8可知, $\Pi_C(q_3, e_3) = \phi \Pi(\bar{q}, \bar{e}) + \phi C_{LF} - C_{CF}$ ,  $\Pi_L(q_3, e_3) = (1 - \phi)\Pi(\bar{q}, \bar{e}) - \phi C_{LF} + C_{CF}$ .又已知 $\Pi(\bar{q}, \bar{e}) = \bar{e}(p - s)\Gamma(\bar{q}_0) - C_{LF} - C(\bar{e})$ ,  $\Pi_C(q_1, e_1) = e_1(p - s)\Gamma(q_0) - C_{CF}$ ,  $\Pi_L(q_1, e_1) = e_1(p_l - c_l)q_0 - C(e_1) + C_{CF} - C_{LF}$ .由合同参数条件式(19),可以推导出 $\Pi_L(q_3, e_3) > \Pi_L(q_1, e_1)$ ,  $\Pi_C(q_3, e_3) > \Pi_C(q_1, e_1)$ .

命题9意味着当合同参数满足一定条件时,收入共享与服务成本共担合同不仅可以协调数量和物流服务水平的扭曲问题,还可以实现TPLSP与客户企业的双赢,即双方的利润改善符合帕累托改进原则.

## 4 算例

假设市场对客户企业产品的需求服从正态分布,即 $\xi \sim N(10, 4)$ .客户企业的单位产品成本 $c_c = 4$ ;TPLSP提供的单位产品物流服务成本 $c_l = 2$ ;单位产品的物流服务价格 $p_l = 3$ ;客户企业的单位产品销售价格 $p = 11$ ;在销售季节末,单位产品的残值 $s = 1$ ;TPLSP提高物流服务水平的服务成本 $C(e) = (e - 1)^2/2$ .另外,客户企业支付给TPLSP的固定部分的物流费用 $C_{CF} = 10$ ;TPLSP获得这部分固定收益而付出的成本 $C_{LF} = 8$ .

在常见的物流合同下,当物流服务水平保持不变时,在集中式决策模式下系统的最优存货决策量为 $\bar{q}_0 = 10$ ,系统的利润 $\Pi(\bar{q}_0, e = 1) = 34.021$ ;在分散式决策模式下客户企业的最优存

货决策量  $q_0 = 9.5$ , 客户企业的利润  $\Pi_C(q_0, e = 1) = 8.56$ , TPLSP 的利润  $\Pi_L(q_0, e = 1) = 11.5$ , 系统的利润  $\Pi(q_0, e = 1) = 20.06$ . 可见, 与系统的最优存货决策量相比较, 客户企业少订购了 0.5 个单位的产品; 双方的博弈导致系统的利润出现了 13.961 个单位的损失. 当 TPLSP 努力提高物流服务水平时, 在集中式决策模式下系统的最优物流服务水平  $\bar{e} = 43.021$ , 最优存货决策量为  $\bar{q} = 430.021$ , 系统的利润  $\Pi(\bar{q}, \bar{e}) = 916.903$ ; 在分散式决策模式下 TPLSP 提供的最优物流服务水平  $e_1 = 2.856$ , 客户企业的最优存货决策量  $q_1 = 27.132$ , 客户企业的利润  $\Pi_C(q_1, e_1) = 43.007$ , TPLSP 的利润  $\Pi_L(q_1, e_1) = 27.410$ , 系统的利润  $\Pi(q_1, e_1) = 70.417$ . 与分散式决策模式下的情况相比较, 集中式决策模式下的物流服务水平提高了 15.1 倍, 存货决策量增长了 14.8 倍, 系统的利润增长了 12.0 倍(命题 2), 这意味着有效的协调合同有充分的发挥作用的空间. 另外, 与物流服务水平保持不变的情况相比较, 提高物流服务水平时集中式决策模式下系统的利润增长了 26.0 倍(命题 1); 分散式决策模式下客户企业和 TPLSP 的利润分别增长了 4.0 倍、1.4 倍(命题 3).

如表 1 所示, 在服务成本共担合同下, 当 TPLSP 分担的物流服务成本的比例为 0.044 2 时, 其提供的物流服务水平达到了集中式决策模式下

的最优物流服务水平 43.021. 由于 TPLSP 是理性的, 其提供的物流服务水平不会超过这一最优水平(命题 4). 另外, 当 TPLSP 承担全部服务成本时, 其提供的物流服务水平为 2.856, 与常见物流合同下的情况相同. 所以, TPLSP 分担的物流服务成本的比例须满足  $\theta \in [0.044 2, 1]$ . 随着 TPLSP 分担的物流服务成本的比例从 1 减小到 0.044 2, TPLSP 提供的物流服务水平从 2.856 提高到 43.021, 其利润从 27.410 增长到 371.446. 这表明分担的物流服务成本比例的减少可以激励 TPLSP 提高物流服务水平. 另一方面, 随着 TPLSP 分担的物流服务成本比例的递减、物流服务水平的提高, 客户企业的存货决策量处于递增状态. 当 TPLSP 分担的物流服务成本的比例递减到 0.090 9 时, 其提供的物流服务水平为 21.418, 客户企业的利润达到最优 198.019(命题 6). 之后, 随着 TPLSP 分担的物流服务成本比例的递减到 0.047 1、物流服务水平达到 40.406 时, 客户企业的利润基本上为零, 之后开始出现亏损. 这意味着随着物流服务水平的提高, 市场对客户企业产品的需求在不断的增长, 这导致客户企业的收入在不断的增长; 但是当物流服务水平提高到一定水平后, 由于客户企业分担的物流服务成本递增的速度超过了其收入增长的速度, 这导致客户企业的利润开始减少.

表 1 服务成本共担合同参数、决策变量与利润变化情况

Table 1 The profit trend with service cost sharing contracts parameters and decision variables

$\theta$	$e_2$	$q_2$	$\Pi_C$	$\Pi_L$	$\Pi$
0.044 2 *	43.021 *	408.414	-54.740	371.446	316.706
0.046 0	41.348	392.804	-19.115	357.362	338.246
0.047 1 *	40.406	383.852	0.097 *	349.284	349.381
0.048 2	39.506	375.309	17.605	341.575	359.180
0.050 0	38.120	362.140	43.007	329.693	372.700
0.066 1 *	29.079	276.247	161.551	252.190	413.742 *
0.090 9 *	21.418	203.471	198.019 *	186.523	384.542
0.300 0	7.187	68.273	109.988	64.532	174.520
0.400 0	5.640	53.580	88.220	51.274	139.494
0.500 0	4.712	44.764	74.010	43.319	117.329
0.600 0	4.093	38.887	64.059	38.016	102.075
0.800 0	3.320	31.540	51.081	31.387	82.468
1.000 0	2.856	27.132	43.007	27.410	70.417

注:  $\theta \in [0.044 2, 1]$ .

随着 TPLSP 分担的物流服务成本的比例减少到 0.066 1 时,系统的利润增长到最优水平 413.742(命题 5);当这一比例从 0.066 1 递减到 0.044 2 时,TPLSP 提供的物流服务水平达到系统集中式决策模式下的最优水平 43.021,客户企业的存货决策量达到 408.414,仍低于系统集中式决策模式下的最优存货决策量 430.021,系统的

利润递减到 316.706,低于系统集中式决策模式下的最优利润 916.903(命题 7).另外,由表 1 易知,TPLSP 提供的物流服务的水平、客户企业的存货决策量以及系统的利润都优于其在常见的物流合同下的情况,但不会优于其在系统集中式决策模式下的情况(命题 4).

表 2 收入共享与服务成本共担合同参数、决策变量与利润变化情况

Table 2 The profit trend with revenue-service cost sharing contracts parameters and decision variables

$\phi$	$\theta$	$p_l$	$\bar{e}$	$\bar{q}$	$\Pi_c$	$\Pi_L$	$\Pi$
0.030 0	0.970 0	- 3.820 0	43.021	430.210	17.747	899.156	916.903
0.040 0	0.960 0	- 3.760 0	43.021	430.210	26.996	889.907	916.903
0.057 3 *	0.942 7	- 3.656 1	43.021	430.210	43.006 *	873.897	916.903
0.100 0	0.900 0	- 3.400 0	43.021	430.210	82.490	834.413	916.903
0.200 0	0.800 0	- 2.800 0	43.021	430.210	174.981	741.922	916.903
0.400 0	0.600 0	- 1.600 0	43.021	430.210	359.961	556.942	916.903
0.500 0	0.500 0	- 1.000 0	43.021	430.210	452.452	464.451	916.903
0.666 7 *	0.333 3	0.000 0 *	43.021	430.210	606.602	310.301	916.903
0.800 0	0.200 0	0.800 0	43.021	430.210	729.922	186.981	916.903
0.972 5 *	0.027 5	1.835 0	43.021	430.210	889.468	27.435 *	916.903
0.980 0	0.020 0	1.880 0	43.021	430.210	896.405	20.498	916.903

注:  $\phi \in (0,1)$ .

如表 2 所示,在收入共享与服务成本共担合同下,随着客户企业分享收入的比例的递减,TPLSP 会逐步降低单位产品物流服务的价格,其承担的存货风险逐步递增,而其利润却稳步增长,这意味着分享客户企业收入的增加可以弥补 TPLSP 降低物流服务价格的损失,TPLSP 的收益与其承担的存货风险成正比.与服务成本共担合同相比较,随着 TPLSP 分担的物流服务成本比例的减少,TPLSP 提供的物流服务水平并不会呈递增态势,而是保持在系统集中式决策模式下的最优水平 43.021.由于在 TPLSP 分担的物流服务成本比例递减的同时,其分享客户企业收入的比例却在递增,而客户企业收入的增长与物流服务水平的提高成正比关系,这可以激励 TPLSP 努力将物流服务水平保持在最佳水平.

由表 2 易知,当客户企业分享收入的比例在  $\phi \in (0,1)$  上变化时,在合同参数满足一定条件下,TPLSP 提供的物流服务的水平、客户企业的存货决策量以及系统的利润都保持在系统集中式决

策模式下的最优水平 43.021、430.021 和 916.903(命题 8);当客户企业分享收入的比例在  $\phi \in (0.057 3, 0.972 5)$  上变化时,TPLSP 与客户企业的利润都会高于其在常见物流合同下的利润水平 27.435 和 43.006,即可以实现双方的共赢(命题 9).

## 5 结 论

由于 TPLSP 和客户企业都是独立的利益体,在常见的物流合同下,双方的博弈会导致物流服务水平的扭曲与和数量的扭曲,即,常见的物流合同不能有效的协调 TPLSP 的物流服务水平的决策和客户企业的存货决策,这会导致系统的最优利润出现损失.与常见的物流合同相比较,在服务成本共担合同下,TPLSP 提供的物流服务水平、客户企业的存货决策量以及系统的利润都会优于其在常见的物流合同下的情况.但是,这一合同只能协调 TPLSP 的物流服务水平的决策,不能协调客户企业的存货决策,系统的最优利润仍然会低于

其在集中式决策模式下所获得的最优利润. 在这两种合同下, 客户企业会承担全部存货风险, 而 TPLSP 不承担任何存货风险. 当合同参数满足一定条件时, 收入共享与服务成本共担合同不仅可以协调物流服务水平 and 数量的扭曲问题, 实现系

统利润的最优, 还可以实现 TPLSP 与客户企业的双赢. 但是, 与前两种合同相比较, TPLSP 从存货风险无关者的角色转变成了紧密的风险承担者, 其收益与其承担的存货风险成正比. 最后, 算例证实了上述结论.

### 参考文献:

- [1] Hum S H. A Hayes-Wheelwright framework approach for strategic management of third party logistics services[J]. *Integrated Manufacturing Systems*, 2000, 11(2): 132—137.
- [2] Gooley T B. Selling logistics[J]. *Logistics Management*, 1996, 35(11): 44—47.
- [3] Boyer K K, Hult G T M. Extending the supply chain: Integrating operations and marketing in the online grocery industry [J]. *Journal of Operations Management*, 2005, 23(6): 642—661.
- [4] Crosby L A, Evans K R, Cowles D. Relationship quality in services selling: An interpersonal influence perspective[J]. *Journal of Marketing*, 1990, 54(3): 68—81.
- [5] Anderson E W, Fornell C, Lehmann D R. Customer satisfaction, market share and profitability: Findings from Sweden[J]. *Journal of Marketing*, 1994, 58(3): 53—66.
- [6] Davis R. Setting up and managing outsourcing contracts to deliver value and accommodate change[J]. *Journal of Corporate Real Estate*, 2004, 6(4): 301—308.
- [7] Stank T P, Daugherty P J. The impact of operating environment on the formation of cooperative logistics relationships[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 1997, 33(1): 53—65.
- [8] Sheen G J, Tai C T. A study on decision factors and third party selection criterion of logistics outsourcing—an exploratory study of direct selling industry[J]. *Journal of American Academy of Business*, 2006, 9(2): 331—337.
- [9] Lim W S. A lemons market? An incentive scheme to induce truth-telling in third party logistics providers[J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, 125(3): 519—525.
- [10] Alp O, Erkip N K, Gullu R. Outsourcing logistics: Designing transportation contracts between a manufacturer and a transporter[J]. *Transportation Science*, 2003, 37(1): 23—39.
- [11] 刘志学, 许泽勇. 基于非对称信息理论的第三方物流合作博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2003, 11(5): 85—88.  
Liu Zhi-xue, Xu Ze-yong. TPL cooperative game analysis based on the asymmetric information theory[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2003, 11(5): 85—88. (in Chinese)
- [12] Desai P S, Srinivasan K. Demand signaling under unobservable effort in franchising: Linear and nonlinear price contracts [J]. *Management Science*, 1995, 41(10): 1608—1623.
- [13] Wang Y, Gerchak Y. Supply chain coordination when demand is shelf-space dependent[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2001, 3(1): 82—87.
- [14] Taylor T A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects[J]. *Management Science*, 2002, 48(8): 992—1007.
- [15] Cachon G P. Chapter 6: Supply chain coordination with contracts[A]. *Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management*[M]. Amsterdam: North Holland Publishers, 2003. 40—47.
- [16] Krishnan H, Kapuscinski R, Butz D A. Coordinating contracts for decentralized supply chains with retailer promotional effort[J]. *Management Science*, 2004, 50(1): 48—63.
- [17] 张菊亮, 陈 剑. 销售商的努力影响需求变化的供应链的合约[J]. *中国管理科学*, 2004, 12(4): 50—56.  
Zhang Ju-liang, Chen Jian. A coordinating contract of supply chain with sale-effort dependent demand[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2004, 12(4): 50—56. (in Chinese)
- [18] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations[J]. *Management Science*, 2005, 51(1): 30—44.

- [19] 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)
- [20] 但斌, 吴庆, 张旭梅等. 第三方物流服务提供商与客户企业的共享节约合同[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(2): 46—53.  
Dan Bin, Wu Qing, Zhang Xu-mei, et al. Shared-savings contracts between a third party logistics service provider and a client enterprise[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2007, 27(2): 46—53. (in Chinese)
- [21] Mentzer J T, Flint D J, Hult G T M. Logistics service quality as a segment-customized process[J]. Journal of Marketing, 2001, 65(4): 82—104.
- [22] Panayides P M, So M. The impact of integrated logistics relationships on third-party logistics service quality and performance[J]. Maritime Economics & Logistics, 2005, 7(1): 36—55.
- [23] Zeithaml V A, Parasuraman A, Berry L L. Problems and strategies in service marketing[J]. Journal of Marketing, 1985, 49(2): 33—46.

## Third party logistics coordinating contracts with logistics service dependent market demand

WU Qing, DAN Bin

College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China

**Abstract:** Since the improvement of logistics service levels caused by the efforts of a risk-neutral third party logistics service provider can significantly affect the market demand for the products of a risk-neutral client enterprise, a dynamic game-theory model is developed to solve the coordinating contract design problem in this condition. A common logistics contract cannot effectively coordinate the decisions between the third party logistics service provider and its client enterprise. To resolve the problem, a service cost sharing contract and a combination contract with revenue sharing and service cost sharing are designed. The former contract can only coordinate the levels of logistics service provided by the third party. However, the latter contract can coordinate not only the logistics service levels that the third party providers but also the inventories that the client enterprise chooses, and it can achieve a win-win outcome. Finally, a corresponding example is presented to illustrate the conclusions.

**Key words:** third party logistics; outsourcing; game; coordination; revenue sharing; service cost sharing; contract design