

## 不对称信息下第四方物流配送时间契约设计

徒君<sup>1</sup>, 黄敏<sup>2</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 优化与决策研究所, 辽宁 阜新 123000; 2. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

**摘要:** 第四方物流与第三方物流构成委托代理关系, 信息不对称与风险规避为第四方物流配送时间契约设计带来了难题. 对此, 分别在集中式决策、对称成本信息和不对称成本信息3种情景下进行研究, 给出最优配送时间契约, 并对最优契约结果进行分析. 实验结果表明: 最优契约能够实现第三方物流的激励, 有效地管理物流配送时间; 同时, 不对称信息与风险规避均会降低系统表现. 数值实验说明了不对称信息与风险规避对最优配送时间契约的影响.

**关键词:** 第四方物流; 第三方物流; 配送时间; 契约设计; 不对称信息

中图分类号: F252.3

文献标志码: A

## Delivery time contract design under asymmetric information for fourth party logistics

TU Jun<sup>1</sup>, HUANG Min<sup>2</sup>

(1. Institute of Optimization and Decision, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: TU Jun, E-mail: tovegar@126.com)

**Abstract:** Fourth party logistics and third party logistics constitute a principal-agent relationship. Due to the asymmetric information and risk averse, it is difficult to design fourth party logistics delivery time contract, which is studied in the centralized decision-making, symmetric cost information and asymmetric cost information scenarios respectively. The optimal delivery time contract is obtained and the optimal results are analyzed. Results show that the optimal contract can incite the third party logistics, and manage the delivery time effectively. However, both the asymmetric information and risk averse can reduce the channel performance. The numerical experiment is given to show the effect of asymmetric information and risk averse on the optimal delivery time contract.

**Keywords:** fourth party logistics; third party logistics; delivery time; contract design; asymmetric information

### 0 引言

第四方物流(4PL)是“一个供应链的集成商,它对公司内部和具有互补性的服务供应商所拥有的不同资源、能力和技术进行整合和管理,提供一整套供应链解决方案<sup>[1-2]</sup>”。作为物流供应链的整合者与集成者,第四方物流日益为业界和学术界认识和认可<sup>[3-7]</sup>. 第四方物流是第三方物流(3PL)与外包物流客户之间的衔接者,对第三方物流的配送过程进行管理和监督<sup>[8]</sup>.

在第三方物流的配送过程中,物流任务的按时到达和及时完成是客户的要求和第四方物流关注的重点. 货物的按时送达关系着客户企业的实时制造、及

时满足客户需求以及由于提前和拖期带来的库存成本和缺货成本等<sup>[9]</sup>. 然而, 不对称信息和风险规避阻碍着第四方物流对第三方物流配送时间的有效管理. 第三方物流配送努力不能被第四方物流所观察, 导致第三方物流可以偷懒, 即存在道德风险问题; 第三方物流努力成本信息可能是私有的, 即存在逆向选择问题; 第三方物流作为物流任务的实际承担者, 面临着实际运作中的风险, 往往是风险规避的.

第四方物流与第三方物流构成了典型的委托代理关系, 基于委托代理理论设计合理的激励契约是实现第三方物流管理的有效方式. Lim<sup>[10]</sup>研究了第三方物流私有服务质量和成本情况下外包物流的契约

收稿日期: 2015-06-16; 修回日期: 2015-11-13.

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(71325002, 61225012); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110042110024); 流程工业综合自动化国家重点实验室基础科研业务费项目(2013ZCX11).

作者简介: 徒君(1982—), 男, 讲师, 博士, 从事物流风险管理的研究; 黄敏(1968—), 女, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理研究.

设计;王勇等<sup>[11-12]</sup>研究了第四方物流作业分包的契约设计;徒君等<sup>[13-14]</sup>研究了考虑配送质量风险与配送时间风险的第四方物流契约设计. 决策者风险态度对决策的影响也成为学者们的研究热点. 赵海霞等<sup>[15]</sup>研究了风险规避型零售商的链与链竞争定价合同设计;代建生等<sup>[16]</sup>研究了销售商风险规避下具有促销效应的收益共享契约;王新辉等<sup>[17]</sup>研究了销售商风险规避下双边信息不对称的供应链协调问题.

可以看到,尽管学者们对私有信息和风险规避下的契约设计问题进行了广泛研究,但是对不对称信息下第四方物流配送时间契约设计问题缺乏关注. 因此,在不对称信息下,考虑风险规避行为,设计第四方物流配送时间契约具有理论价值和现实意义.

## 1 问题描述

4PL 有一项物流配送任务,需由一个 3PL 完成配送. 物流配送时间与 3PL 在配送中投入的努力程度有关,努力程度越大,配送时间越短. 同时,天气、交通状况等随机因素会对配送时间产生影响. 当配送任务完成时,配送时间可以确切地观察到. 更大的努力需要 3PL 付出更多的努力成本,努力程度不可观察. 假设配送任务是应急的,越快越好(处于缺货状态),4PL 单位时间需遭受时间风险损失(缺货成本). 因而,4PL 需要设计有效的配送时间契约以激励 3PL 努力工作,缩短配送时间. 决策时序见图 1.

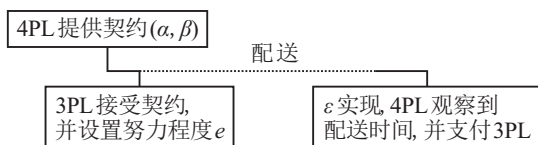


图 1 决策时序

用  $e$  表示 3PL 的配送努力程度,  $e \geq 0$ . 努力成本为  $c(e) = ke^2/2$ ,  $k > 0$  是成本系数, 平方形式意味着努力程度递增的边际成本, 这与实际情况是一致的, 除以 2 是为了简化数学表达, 不失一般性. 令  $t(e) = a - be + \varepsilon$  表示配送时间,  $a > 0$  和  $b > 0$  为已知参数,  $a$  为常规配送时间,  $b$  为 3PL 努力产出系数,  $\varepsilon$  是影响配送时间的随机因素, 在  $[-m, m]$  上均匀分布. 随机因素假设为均匀分布的目的是确保配送时间不会小于零. 注意到, 当  $e = 0$  时,  $t(e) = a + \varepsilon$ , 表明 3PL 存在一个常规的配送努力, 而本文努力是指 3PL 为缩短配送时间而做出的额外努力. 此外, 假设  $a$  足够大, 使得配送时间  $t(e)$  非负. 配送时间函数具有实际意义, 例如, 两地间存在常规配送时间, 3PL 通过努力可以将配送时间缩短, 努力方式可以为改变运输方式或加班加点等. 单位时间 4PL 需承担配送时间风险损失  $p$ ,  $p > 0$ . 3PL 的保留效用是  $R$ , 代表着 3PL 契约之外的最大期望效用. 4PL 向 3PL 提供两部分线性契约  $g(e)$

$= \alpha - \beta t(e)$ ,  $\alpha$  是固定支付,  $\beta$  是配送时间激励系数. 易见,  $\alpha$  能够实现利润在 4PL 与 3PL 之间的任意分配,  $\beta$  用于激励 3PL 努力工作. 假设 4PL 与客户的契约关系事先已经确立(本文不加讨论), 4PL 从客户处获得的收益为  $B$ , 并令  $B$  足够大, 以确保 4PL 总能获得正的利润. 此外, 考虑到 3PL 实际承担物流任务, 投入的努力面临着产出不确定风险, 而 4PL 直到货物送达前不需投入任何资金, 假设 3PL 是风险规避的, 而 4PL 风险中性.

## 2 集中式决策

在集中式决策下, 4PL 和 3PL 组成一个整合公司, 整合公司是风险中立的. 确定最优的努力程度以最大化期望利润

$$\max \Psi_I = E[B - pt(e) - c(e)] = B - p(a - be) - ke^2/2, \quad (1)$$

其中下标“ $I$ ”代表整合公司.

式(1)对于  $e$  是凹的, 由一阶条件  $d\Psi_I/de = 0$  可得, 该整合公司的最优努力程度  $e_I^* = bp/k$ .

**命题 1** 在集中式决策下, 整合公司最优地设置努力程度  $e_I^* = bp/k$ , 获得的最大期望利润为  $\Psi_I^* = B + b^2p^2/(2k) - pa$ .

可以看到, 整合公司的最优配送时间努力随着产出系数  $b$  和风险惩罚系数  $p$  的增大而增大, 随努力成本系数  $k$  的增大而减小. 系统最大期望利润随  $b$  的增大而增大, 随  $k$  的增大而减小. 期望配送时间为  $t = a - b^2p/k$ . 命题 1 描述了整个系统的最优配送努力, 提供了关于系统最优表现的上界.

## 3 对称成本信息下的最优契约

在分布式决策下, 4PL 和 3PL 分别独自作出决策以最大化自身期望效用. 作为独立的决策人, 3PL 与 4PL 往往拥有不同的决策信息. 本节假设 4PL 能够掌握 3PL 努力成本系数  $k$ , 即对称成本信息. 第 4 节考虑 4PL 不能完全掌握 3PL 成本系数  $k$  的情景, 即不对称成本信息.

在对称成本信息下, 4PL 的利润函数为

$$w = B - (\alpha - \beta t) - pt. \quad (2)$$

基于契约支付, 3PL 的利润函数为

$$v = \alpha - \beta t - ke^2/2. \quad (3)$$

考虑到 3PL 是风险规避的, 假设 3PL 具有均值方差(MV)效用函数<sup>[18]</sup>

$$\pi_S = E[v] - \rho \text{var}(v) = \alpha - \beta(a - be) - ke^2/2 - 2\rho m^2 \beta^2. \quad (4)$$

其中: 下标“ $S$ ”代表对称成本信息,  $\rho \geq 0$  是 3PL 的风险规避度, 乘以 6 是为了简化数学表达.

注意到, 为了确保3PL能够接受契约, 3PL从契约所得不能低于它的保留效用  $R$ , 需要  $\pi_S \geq R$ , 即个体理性约束 (IR). 同时, 由于4PL无法观察到3PL的努力程度, 在实际配送中, 3PL一定是按照使自身效用最大的方式进行努力, 则  $e^* = \arg \max_e \{\pi_S\}$ , 即激励相容约束 (IC).

4PL是风险中性的, 最大化期望利润. 因此, 4PL求解如下数学模型以确定最优契约参数:

$$\max \Pi_S = E[w] = B - \alpha - (p - \beta)(a - be); \quad (5)$$

$$\text{s.t. } \pi_S \geq R, \quad (6)$$

$$e^* = \arg \max_e \{\pi_S\}. \quad (7)$$

由式(7), 利用一阶条件  $\partial \pi_S / \partial e = \beta b - ke = 0$ , 可得  $e_S^* = b\beta/k$ . 由于4PL可以在不改变其他决策变量取值的情况下, 通过降低目标函数中  $\alpha$  的取值而提高自己的期望效用, 直到式(6)取得等式为止. 因而, 令  $\alpha_S^* = R + \beta(a - be) + ke^2/2 + 2\rho m^2 \beta^2$ . 将  $e_S^*$  和  $\alpha_S^*$  代入式(5), 可得到

$$\Pi_S = B - R - \frac{b^2 \beta^2}{2k} - 2\rho m^2 \beta^2 - p\left(a - \frac{b^2 \beta}{k}\right). \quad (8)$$

易见, 式(8)对于  $\beta$  是凹的, 利用一阶条件  $\frac{d\Pi_S}{d\beta} = 0$ , 解得  $\beta_S^* = pb^2/(b^2 + 4\rho km^2)$ .

**命题2** 在分布式决策下, 如果3PL的成本信息是对称的, 最优配送时间契约为

$$\alpha_S^* = R + \beta_S^*((4\rho km^2 - b^2)\beta_S^*/(2k) + a),$$

$$\beta_S^* = pb^2/(b^2 + 4\rho km^2).$$

3PL 最优配送时间努力为

$$e_S^* = pb^3/(kb^2 + 4\rho k^2 m^2).$$

4PL 与 3PL 最大期望效用分别为

$$\Pi_S^* = B + p^2 b^4 / (2kb^2 + 8\rho k^2 m^2) - pa - R,$$

$$\pi_S^* = R.$$

系统最大期望效用为

$$\Psi_S^* = \Pi_S^* + \pi_S^* = B + p^2 b^4 / (2kb^2 + 8\rho k^2 m^2) - pa.$$

可以看到, 随着3PL风险规避度  $\rho$  的增大, 3PL承担的配送时间风险惩罚系数  $\beta$  和努力程度  $e$  均减小. 3PL越风险规避, 越不愿意努力. 从而, 物流配送时间延长了, 4PL承担了更大的配送时间风险损失.

在最优契约中, 3PL仅能获得它的保留效用, 4PL攫取了整个系统的利润. 因此, 3PL风险规避对系统期望效用的降低即是对4PL期望效用的降低. 因此, 4PL可能会为降低3PL的风险规避采取措施、做出努力, 而这些努力需要付出成本. 如下命题为这类活动的价值提供了上界.

**命题3** 在分布式决策下, 如果3PL的成本信息

是对称的, 则3PL风险规避对4PL期望效用的影响为

$$\Psi_I^* - \Psi_S^* = 2\rho b^2 p^2 m^2 / (b^2 + 4\rho km^2).$$

#### 4 不对称成本信息下的最优契约

本节考虑努力成本系数  $k$  为3PL私有, 4PL无法确切掌握. 假设3PL可能为两种成本类型: 高成本类型3PL的成本系数为  $k_h$ , 低成本类型3PL的成本系数为  $k_l$ ,  $k_l < k_h$ . 假设4PL关于3PL的成本类型具有一个先验知识, 认为3PL以概率  $r$  属于高成本, 以  $1 - r$  概率属于低成本. 在这种情况下, 基于显示原理<sup>[9]</sup>, 4PL设计高低两种契约(菜单契约).

此时, 4PL期望利润为3PL成本系数  $k$  的期望, 则4PL求解如下数学模型以确定菜单契约:

$$\max \Pi_A = rE[B - (\alpha_h - \beta_h t_h) - p t_h] + (1 - r)E[B - (\alpha_l - \beta_l t_l) - p t_l]; \quad (9)$$

$$\text{s.t. } \alpha_h - \beta_h(a - be_h) - k_h e_h^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_h^2 \geq R, \quad (10)$$

$$\alpha_l - \beta_l(a - be_l) - k_l e_l^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_l^2 \geq R, \quad (11)$$

$$\alpha_h - \beta_h(a - be_h) - k_h e_h^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_h^2 \geq \alpha_l - \beta_l(a - be_l) - k_l e_l^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_l^2, \quad (12)$$

$$\alpha_l - \beta_l(a - be_l) - k_l e_l^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_l^2 \geq \alpha_h - \beta_h(a - be_h) - k_h e_h^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_h^2, \quad (13)$$

$$e_h^* = \arg \max_{e_h} \{\alpha_h - \beta_h(a - be_h) - k_h e_h^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_h^2\}, \quad (14)$$

$$e_l^* = \arg \max_{e_l} \{\alpha_l - \beta_l(a - be_l) - k_l e_l^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_l^2\}. \quad (15)$$

其中下标“A”代表不对称成本信息. 式(10)和(11)是高低成本类型3PL的个体理性约束, 式(12)和(13)确保3PL选择与其真实成本类型对应的契约, 式(14)和(15)是3PL的激励相容约束.

通过观察, 可以对上述约束条件进行简化. 首先, 由于  $k_h > k_l$ , 联立式(10)和(13)可以得到式(11); 其次, 式(13)必须为等式, 否则4PL总是可以在不改变其他约束条件的情况下, 通过减小  $\alpha_l$  来增大自己的期望效用; 再次, 式(12)可以由  $e_l \geq e_h$  代替; 最后, 式(10)必须为等式, 否则, 总是可以在不改变其他约束条件的前提下, 通过同时减小  $\alpha_h$  和  $\alpha_l$  来使4PL的目标函数增大. 因此, 可以将上述模型的约束条件简化为

$$\text{s.t. } \alpha_h - \beta_h(a - be_h) - k_h e_h^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_h^2 = R, \quad (16)$$

$$\alpha_l - \beta_l(a - be_l) - k_l e_l^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_l^2 =$$

$$\alpha_h - \beta_h(a - be_h) - k_l e_h^2 / 2 - 2\rho m^2 \beta_h^2, \quad (17)$$

$$e_l \geq e_h, \quad (18)$$

$$e_h^* = b\beta_h/k_h, \quad (19)$$

$$e_l^* = b\beta_l/k_l. \quad (20)$$

由约束条件 (16) 可得

$$\alpha_h^* = R + \beta_h(a - be_h) + k_h e_h^2/2 + 2\rho m^2 \beta_h^2,$$

代入式 (17), 得

$$\alpha_l^* =$$

$$R + \beta_l(a - be_l) + k_l e_l^2/2 + (k_h - k_l)e_h^2/2 + 2\rho m^2 \beta_l^2.$$

通过代入, 将 4PL 目标函数改写为

$$\max \Pi_A =$$

$$B - R - pa - r \left( \frac{b^2 + 4\rho k_h m^2}{2k_h} \beta_h^2 - \frac{pb^2}{k_h} \beta_h \right) - \\ (1-r) \left( \frac{b^2 + 4\rho k_l m^2}{2k_l} \beta_l^2 + \frac{b^2(k_h - k_l)}{2k_h^2} \beta_h^2 - \frac{pb^2}{k_l} \beta_l \right). \quad (21)$$

式 (21) 是关于  $\beta_h$  和  $\beta_l$  的联合凹函数, 由  $\frac{\partial \Pi_A}{\partial \beta_h} = 0$ ,  $\frac{\partial \Pi_A}{\partial \beta_l} = 0$  可解得

$$\beta_h^* = rpb^2 k_h / [b^2[k_h - (1-r)k_l] + 4\rho r m^2 k_h^2],$$

$$\beta_l^* = pb^2 / (b^2 + 4\rho k_l m^2).$$

**命题 4** 在分布式决策下, 如果 3PL 的成本信息是不对称的, 则高成本类型 3PL 的选择契约为

$$\alpha_{A,h}^* = R + \beta_{A,h}^*(a - (b^2 - 4\rho k_h m^2)\beta_{A,h}^*/(2k_h)),$$

$$\beta_{A,h}^* = rpb^2 k_h / [b^2[k_h - (1-r)k_l] + 4\rho r k_h^2 m^2],$$

最优努力程度为

$$e_{A,h}^* = rpb^3 / [b^2[k_h - (1-r)k_l] + 4\rho r k_h^2 m^2],$$

3PL 和 4PL 最大期望效用分别为

$$\pi_{A,h}^* = R,$$

$$\Pi_{A,h}^* = B - R - (b^2 + 4\rho k_h m^2)\beta_{A,h}^{*2}/(2k_h) + \\ pb^2 \beta_{A,h}^*/k_h - pa;$$

低成本类型 3PL 选择契约

$$\alpha_{A,l}^* = R + \beta_{A,l}^*(a - (b^2 - 4\rho k_l m^2)\beta_{A,l}^*/(2k_l)) +$$

$$b^2(k_h - k_l)\beta_{A,l}^{*2}/(2k_h^2),$$

$$\beta_{A,l}^* = pb^2 / (b^2 + 4\rho k_l m^2),$$

最优努力程度为

$$e_{A,l}^* = pb^3 / (k_l b^2 + 4\rho k_l^2 m^2),$$

3PL 和 4PL 最大期望效用分别为

$$\pi_{A,l}^* = R + \frac{b^2(k_h - k_l)}{2k_h^2} \beta_{A,h}^{*2},$$

$$\Pi_{A,l}^* = B - R - \frac{b^2(k_h - k_l)}{2k_h^2} \beta_{A,h}^{*2} + \frac{pb^2}{2k_l} \beta_{A,l}^* - pa.$$

可以看到, 在不对称成本信息下, 4PL 针对高低两类成本类型的 3PL, 设计高低两类契约, 3PL 为了最

大化自身效用, 选择与其成本类型相对应的契约, 间接显示其真实成本类型. 这说明, 基于显示原理设计的菜单契约能够有效区分 3PL 的成本类型, 实现 3PL “说实话”, 激励 3PL 努力工作, 从而实现在不对称成本信息下对配送时间的有效管理.

命题 4 表明, 不对称成本信息使两种成本类型 3PL 均受益. 一方面, 当 3PL 是高成本类型时, 尽管最优努力程度相对于对称信息情景降低了, 但依然可以获得它的保留效用, 3PL 得以偷懒. 另一方面, 低成本类型 3PL 的最优努力程度与对称信息情景相同, 此时, 该 3PL 获得了更大的期望效用.

然而, 无论 3PL 成本类型如何, 4PL 期望效用在不对称情景下均降低了. 当 3PL 是高成本类型时, 随着 3PL 努力程度的下降, 4PL 需要承担更多的配送时间风险损失; 当 3PL 是低成本类型时, 尽管 4PL 没有承担更多的配送时间损失, 但 4PL 向 3PL 支付更多以激励它施加最优努力程度. 也就是说, 4PL 需要为不对称成本信息买单, 付出信息租金. 因此, 为了更有效地降低配送时间风险损失, 4PL 可能采取措施收集 3PL 的成本信息, 改善系统表现. 显然, 在收集 3PL 成本信息的过程中会产生新的成本. 如下命题提供了这类活动价值的上界.

**命题 5** 在分布式决策下, 如果 3PL 的成本信息是不对称的, 则 3PL 成本信息对 4PL 期望效用影响为

$$\Pi_S^* - \Pi_A^* = \frac{r(1-r)p^2 b^6 (k_h - k_l)}{2k_h [b^2 + 4\rho k_h m^2] [b^2(k_h - (1-r)k_l) + 4\rho r k_h^2 m^2]}.$$

接下来, 作为一个扩展, 研究 4PL 与 3PL 之间的协调问题. 基于合作博弈思想, 假设 3PL 与 4PL 进行合作, 向 4PL 汇报自己的真实成本系数  $k$ , 并在物流配送中投入与对称信息下一致的努力程度. 事实上, 在与 4PL 的长期交易下, 向 4PL 报告真实信息对 3PL 来说是有利的, 也是现实的.

在合作机制下, 高成本类型 3PL 的最优努力程度提高了, 从而需要考虑对系统增加利润的分配问题. 假设 4PL 与 3PL 通过谈判分配系统利润.

考虑到不对称成本信息下高成本类型 3PL 的最优努力程度为

$$e_{A,h}^* = rpb^3 / [b^2[k_h - (1-r)k_l] + 4\rho r k_h^2 m^2].$$

在合作机制下, 对应的努力程度为

$$e_{C,h}^* = pb^3 / (k_h b^2 + 4\rho k_h^2 m^2),$$

其中“C”代表合作机制. 易得系统增加利润

$$\Delta = (e_{C,h}^* - e_{A,h}^*) \left( pb - \frac{k}{2} (e_{C,h}^* + e_{A,h}^*) \right).$$

注意到,  $\Delta$  不含有随机变量, 则 4PL 和 3PL 均关心合作机制带来的期望利润的增加. 假设 4PL 分得增量利

润的比例为  $\lambda$ , 即获得  $\lambda\Delta$ . 4PL 和 3PL 分别最大化增加的期望效用分别为

$$\begin{aligned} \Pi_{C,h}^* - \Pi_{A,h}^* &= \lambda\Delta, \\ \pi_{C,h}^* - \pi_{A,h}^* &= (1 - \lambda)\Delta. \end{aligned}$$

标准的讨价还价过程收敛的结果可以由 NASH 谈判解来近似, 考虑下面的谈判模型:

$$\max \Phi = (\Pi_{C,h}^* - \Pi_{A,h}^*)^w \cdot (\pi_{C,h}^* - \pi_{A,h}^*)^{1-w}, \quad (22)$$

其中  $w$  和  $1 - w$  分别代表 4PL 和 3PL 的谈判力.

对  $\Phi$  取对数, 并利用一阶条件, 可解得  $\lambda^* = w$ . 因此, 有如下命题.

**命题 6** 在合作机制下, 高成本类型 3PL 的努力程度为  $e_{C,h}^* = pb^3 / (k_h b^2 + 4\rho k_h^2 m^2)$ , 当 4PL 的谈判力为  $w$  时, 获得的增量利润分配比例为  $\lambda^* = w$ , 而 3PL 获得系统增量利润的  $1 - w$ .

这是一个直观的结果. 无论是 4PL 还是 3PL, 谁拥有的谈判力强, 谁就能从合作中获利更多, 获得更多的期望效用. 合作机制使得 4PL 和 3PL 均受益, 并消除了不对称成本信息对系统表现的影响.

### 5 数值实验

本节通过数值实验调查不对称信息和风险规避对最优契约结果的影响. 基本参数设置如下:  $a = 10$ ,  $b = 4$ ,  $p = 3$ ,  $m = 2$ ,  $k_l = 3$ ,  $k_h = 5$ ,  $\rho = 0.5$ ,  $r = 0.5$ ,  $R = 10$ ,  $B = 50$ .

考虑到不对称成本信息使得低成本类型 3PL 获得更大的期望效用 (命题 4), 同时, 该 3PL 承担的配送时间激励系数  $\beta$  与对称信息下一致, 从而, 更多的利润由 4PL 通过固定收益  $\alpha$  支付给 3PL. 因此, 调查  $\alpha$  随  $r$  变化的规律. 固定其他参数不变, 令  $r$  在  $[0, 1]$  上取值, 所得结果见图 2.

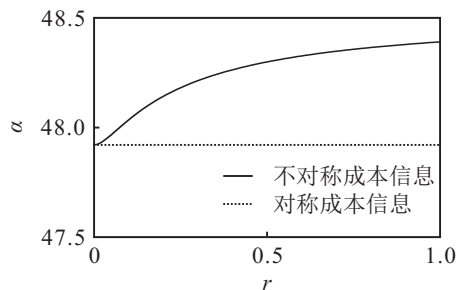


图 2 不对称信息对固定支付的影响

从图 2 可以看到, 在不对称信息下, 低成本类型 3PL 总是获得了比对称信息下更大的固定支付. 并且, 随着 3PL 属于高成本类型概率  $r$  的增大, 4PL 给予 3PL 的固定支付逐渐增大. 这表明, 此时为了确保低成本类型 3PL 说真话, 4PL 需付出更多信息租金, 否则该 3PL 更容易伪装成高成本类型, 得以偷懒.

另一方面, 3PL 的风险规避对两种信息情景下低成本类型 3PL 获得的固定支付的影响也值得关心. 固

定其他参数不变, 令 3PL 的风险规避度  $\rho$  在  $[0, 1]$  上取值, 所得结果见图 3.

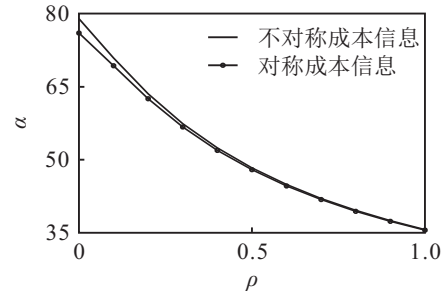


图 3 风险规避对固定支付的影响

可以看到, 在两种信息情景下, 随着 3PL 风险规避程度的增加, 3PL 获得的固定支付均随之下降. 原因在于, 此时整个系统的利润降低了, 3PL 获得的信息租金相应减少.

接下来, 调查 3PL 的风险规避对 4PL 期望效用的影响. 固定其他参数不变, 令  $\rho$  在  $[0, 1]$  上取值, 4PL 的期望效用随  $\rho$  的变化规律见图 4.

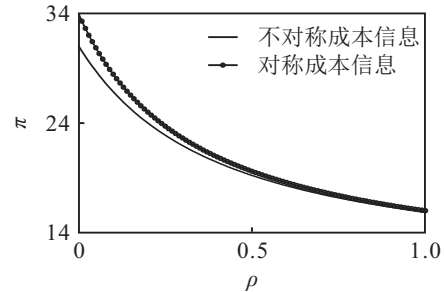


图 4 风险规避对 4PL 期望效用的影响

可以看到, 对 4PL 来说, 无论信息对称与否, 它的期望效用均随着  $\rho$  的增大而减小. 原因在于, 3PL 的风险规避降低了整个系统的利润. 注意到, 不对称信息削弱了风险规避对 4PL 期望效用的影响.

### 6 结 论

考虑了第四方物流与第三方物流的信息不对称和风险规避, 研究了配送时间契约设计问题, 分别给出了对称成本信息和不对称成本信息下的最优契约. 所设计契约能够激励第三方物流努力工作, 实现对配送时间的有效管理. 研究表明, 决策人的私有信息和风险规避均会降低系统表现. 因此, 在实际应用中, 应注意收集第三方物流成本信息, 并加强与第三方物流的交往和沟通, 以降低第三方物流的风险规避度. 未来, 可针对第四方物流亦拥有私有信息和风险规避的情景展开研究.

#### 参考文献(References)

[1] Buyukozkan G, Feyzioglu O, Sakir E M. Evaluation of 4PL operating models: A decision making approach based on 2-additive Choquet integral[J]. Int J of Production Economics, 2009, 121(1): 112-120.

- [2] Chen K, Su C. Activity assigning of fourth party logistics by particle swarm optimization-based preemptive fuzzy integer goal programming[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(5): 3630-3637.
- [3] Huang M, Cui Y, Yang S, et al. Fourth party logistics routing problem with fuzzy duration time[J]. *Int J of Production Economics*, 2013, 145(1): 107-116.
- [4] 黄敏, 崔妍, 林婉婷, 等. 带有费用折扣的多任务第4方物流路径优化问题[J]. *控制与决策*, 2013, 28(7): 997-1001.  
(Huang M, Cui Y, Lin W T, et al. Multi-task fourth party logistics routing problem with cost discount[J]. *Control and Decision*, 2013, 28(7): 997-1001.)
- [5] 李锐, 黄敏, 王兴伟. 基于混合概率解发掘算法的第四方物流弹性网络设计[J]. *控制与决策*, 2013, 28(10): 1536-1540.  
(Li R, Huang M, Wang X W. Resilient network design for fourth-party logistics based on hybrid probability solution discovery algorithm[J]. *Control and Decision*, 2013, 28(10): 1536-1540.)
- [6] Cui Y, Huang M, Yang S, et al. Fourth party logistics routing problem model with fuzzy duration time and cost discount[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2013, 50: 14-24.
- [7] 徒君, 黄敏, 薄桂华. 第四方物流研究综述[J]. *系统工程*, 2013, 31(12): 53-59.  
(Tu J, Huang M, Bo G H. A Review of research on fourth party logistics[J]. *Systems Engineering*, 2013, 31(12): 53-59.)
- [8] Fulconis F, Saglietto L, Paché G. Exploring new competencies in the logistics industry: The intermediation role of 4PL[J]. *Supply Chain Forum: An Int J*, 2006, 7(2): 68-77.
- [9] 刘蕾, 靳群, 唐小我. 考虑延迟交货风险的易逝品供应链回购契约研究[J]. *控制与决策*, 2012, 27(10): 1-6.  
(Liu L, Jin Q, Tang X W. Buy-back contract in perishable supply chain with delivery delay risk[J]. *Control and Decision*, 2012, 27(10): 1-6.)
- [10] Lim W. A lemons market? An incentive scheme to induce truth-telling in third party logistics providers[J]. *European J of Operational Research*, 2000, 125(3): 519-525.
- [11] 王勇, 杨金, 廖冰. 第四方物流作业分包的合同设计[J]. *系统工程学报*, 2007, 22(5): 520-524.  
(Wang Y, Yang J, Liao B. Contract design of job subcontracting for fourth party logistics[J]. *J of Systems Engineering*, 2007, 22(5): 520-524.)
- [12] 王勇, 罗富碧, 林略. 第四方物流努力水平影响的物流分包激励机制研究[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(2): 136-140.  
(Wang Y, Luo F B, Lin L. Fourth party logistics' efforts influenced subcontract incentive mechanism[J]. *Chinese J of Management Science*, 2006, 14(2): 136-140.)
- [13] 徒君, 黄敏. 基于契约设计的第四方物流质量风险管理[J]. *信息与控制*, 2014, 43(3): 276-281.  
(Tu J, Huang M. Contract design based quality risk management for fourth party logistics[J]. *Information and Control*, 2014, 43(3): 276-281.)
- [14] 徒君, 黄敏. 考虑交货期风险的第四方物流契约设计[J]. *控制工程*, 2014, 21(5): 780-784.  
(Tu J, Huang M. Contract design for fourth party logistics considering lead-time risk[J]. *Control Engineering of China*, 2014, 21(5): 780-784.)
- [15] 赵海霞, 艾兴政, 马建华, 等. 风险规避型零售商的链与链竞争两部定价合同[J]. *系统工程学报*, 2013, 28(3): 377-386.  
(Zhao H X, Ai X Z, Ma J H, et al. Two-part tariffs contract under chain-to-chain competition with risk-averse retailers[J]. *J of Systems Engineering*, 2013, 28(3): 377-386.)
- [16] 代建生, 孟卫东. 风险规避下具有促销效应的收益共享契约[J]. *管理科学学报*, 2014, 17(5): 25-34.  
(Dai J S, Meng W D. Revenue sharing contract for a risk-averse supply chain with promotional effect[J]. *J of Management Sciences in China*, 2014, 17(5): 25-34.)
- [17] 王新辉, 汪贤裕. 考虑销售商风险规避的双边信息不对称的供应链协调[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(3): 97-107.  
(Wang X H, Wang X Y. The coordination of supply chain with bilateral asymmetric information by considering risk aversion of retailer[J]. *Chinese J of Management Science*, 2015, 23(3): 97-107.)
- [18] Lau H, Lau A. Manufacturer's pricing strategy and return policy for a single-period commodity[J]. *European J of Operational Research*, 1999, 116(2): 291-304.
- [19] Myerson R. Incentive compatibility and the bargaining problem[J]. *Econometrica*, 1979, 47(1): 61-73.

(责任编辑: 齐 霖)