

## 不同任务结构下外包物流配送时间契约设计

徒君<sup>1</sup>, 黄敏<sup>2</sup>, 赵世杰<sup>1</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:** 外包物流的快速发展带来了新的契约设计问题, 研究不同任务结构下的外包物流配送时间契约设计具有重要意义. 首先, 从第四方物流的视角出发, 考虑外包物流配送时间契约, 分别针对串行任务结构和并行任务结构, 建立委托代理数学模型; 然后, 给出最优契约的确定方法, 并对最优契约结果进行分析; 最后, 通过数值实验验证了两种不同任务结构下配送时间契约设计方法的有效性.

**关键词:** 外包物流; 第四方物流; 配送时间; 契约设计; 任务结构

中图分类号: F252.3

文献标志码: A

## Delivery time contract design under different task structures for outsourcing logistics

TU Jun<sup>1</sup>, HUANG Min<sup>2</sup>, ZHAO Shi-jie<sup>1</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:** The rapid development of outsourcing logistics provides new contract design issues, and it is important to study the delivery time contract design under different task structures. From the fourth party logistics perspective, delivery time contract design of outsourcing logistics is considered, and the principal-agent models are established to aim at the serial and parallel task structure respectively. The methods for determining the optimal contract are given, and the results of the optimal contract are analyzed. Finally, numerical experiments verify the effectiveness of the delivery time contract design method under two different task structures.

**Keywords:** outsourcing logistics; fourth party logistics; delivery time; contract design; task structure

### 0 引言

第三方物流(3PL)以其专业化的物流服务能力为客户提供了高质量物流服务<sup>[1]</sup>. 然而, 随着客户需求的不断提高, 第三方物流缺乏对客户物流供应链整合能力的问题日益突出<sup>[2]</sup>. 近年来, 作为物流供应链的整合者, 第四方物流(4PL)逐渐为业界和学术界认识和认可<sup>[3-7]</sup>. 第四方物流作为第三方物流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>. 在第三方物流配送过程中, 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拖期带来的库存成本与缺货成本等<sup>[9]</sup>. 对不同任务结构下的配送时间进行有效管理和控制具有重要意义.

4PL与3PL构成了典型的委托代理关系, 通过设计契约对3PL配送过程进行管理是有效的方法. 王勇等<sup>[10]</sup>研究了4PL作业分包的契约设计, 建立了一对多的多任务委托代理模型; 考虑了4PL为整合资源所付出的努力程度对3PL的影响, 研究了4PL对3PL的分包与激励问题<sup>[11]</sup>. Huang等<sup>[12]</sup>考虑到3PL的私有成本信息, 分别在3类情况下研究了4PL货损货差质量风险的契约设计. Lim<sup>[13]</sup>研究了3PL私有服务质量和成本情况下外包物流的契约设计, 建立了引导3PL说真话的激励机制. 尽管学者们对外包物流契约设计问题进行了一定研究, 但是对不同任务结构下配送时间契约设计问题缺乏关注. 本文从第四方物流视角出发, 分别针对串行、并行任务结构, 研究外包物流配送时

收稿日期: 2014-08-24; 修回日期: 2015-02-04.

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.

间契约设计问题.

## 1 问题描述

外包物流客户有一项物流配送任务,分为两个配送子任务,并分别由两个3PL独立完成.两个物流子任务可能为串行任务结构或并行任务结构.在串行结构下,两个3PL先后完成各自的配送任务,任务总时间为两个3PL配送时间之和,见图1(a).在并行结构下,两个3PL同时开始配送,任务总时间为两个3PL配送时间的较长者,见图1(b).

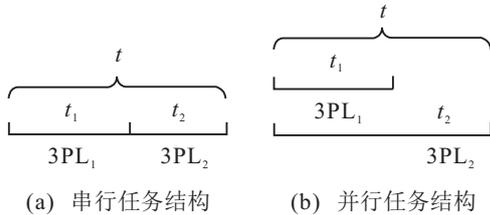


图1 任务结构

每个子任务的配送时间依赖于该任务上3PL配送中投入的努力程度(如选择的配送方式、路线,投入的设备、人员等).努力程度越大,配送时间越短,3PL付出的努力成本也越大.如果总配送时间达不到要求,4PL将承担相应的惩罚.4PL只能观察到实际的配送时间,无法观察到3PL真实的努力程度,即3PL可能会偷懒.因此,4PL需要设计最优的配送时间契约,激励3PL努力工作,缩短配送时间,最大化期望利润.

用连续变量  $e_i$  表示3PL的努力程度,  $e_i \geq 0, i = 1, 2$ .事实上,3PL努力程度存在上限,本文不在这方面作过多讨论.3PL的努力成本为

$$c_i = k_i e_i^2 / 2,$$

其中  $k_i > 0$  是3PL的努力成本系数.每个子任务的配送时间为

$$t_i = a_i - b_i e_i + \varepsilon_i.$$

其中:  $a_i$  是常规配送时间;  $b_i$  是努力产出系数;  $\varepsilon_i$  是影响配送时间的随机因素,  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_i^2), i = 1, 2$ .物流任务总配送时间为  $t$ , 3PL的保留利润是  $R_i$ .4PL从客户处获得固定收益  $B$ .4PL分别向每个3PL提供一个两部分风险共担契约

$$g_i = \alpha_i - \beta_i t_i.$$

其中:  $\alpha_i$  是固定支付,  $\beta_i$  是风险承担系数.不失一般性,假设4PL和3PL都是风险中性的.此外,假设客户对配送时间的要求为越快越好,即配送任务为应急配送(如缺货情况下的配送),单位时间4PL需承担配送时间惩罚  $p$ .

## 2 串行任务结构下的最优契约

本节假设两个物流子任务为串行任务结构,显

然,物流任务的总完成时间为两个子任务配送时间之和,即  $t = \sum_{i=1}^2 t_i$ .考虑到4PL是风险中性的,4PL最大化期望利润为

$$\begin{aligned} \Pi = E \left[ B - \sum_{i=1}^2 g_i - p \sum_{i=1}^2 t_i \right] = \\ B - \sum_{i=1}^2 [\alpha_i + (p - \beta_i)(a_i - b_i e_i)]. \end{aligned} \quad (1)$$

基于3PL得到的契约支付与投入的努力成本,考虑到它们的风险中性,每个3PL最大化自身期望利润为

$$\begin{aligned} \pi_i = E[g_i - c_i] = \\ \alpha_i - \beta_i(a_i - b_i e_i) - k_i e_i^2 / 2, \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (2)$$

为了确保3PL能够接受契约,3PL期望利润不能低于它的保留利润  $R$ ,即满足个体理性约束(IR).同时,由于4PL无法观察到3PL的努力程度,在实际配送中,3PL一定是按照使自身利润最大的方式进行努力,即满足激励相容约束(IC).因此,4PL通过优化下面的数学模型来确定最优契约参数:

$$\max \Pi = B - \sum_{i=1}^2 [\alpha_i + (p - \beta_i)(a_i - b_i e_i)]; \quad (3)$$

$$\text{s.t. } \pi_i \geq R_i; \quad (4)$$

$$e_i^* = \operatorname{argmax}_{e_i}(\pi_i), \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

由式(5),利用  $\partial \pi_i / \partial e_i = \beta_i b_i - k_i e_i = 0$ ,可得  $e_i^* = b_i \beta_i / k_i, i = 1, 2$ .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  $\alpha_i$  的取值来提高自己的期望利润,直到式(4)取得等式为止.因此,设置

$$\alpha_i^* = R_i + \beta_i(a_i - b_i e_i) + k_i e_i^2 / 2.$$

通过将  $e_i^*$  和  $\alpha_i^*$  代入4PL目标函数,可得到

$$\Pi = B - \sum_{i=1}^2 \left[ R_i + \frac{b_i^2 \beta_i^2}{2k_i} + p \left( a_i - \frac{b_i^2 \beta_i}{k_i} \right) \right]. \quad (6)$$

由  $\partial \Pi / \partial \beta_i = -b_i^2 \beta_i / k_i + b_i^2 p / k_i = 0$ ,可以获得  $\beta_i^* = p, i = 1, 2$ .通过代入,可以获得其他最优结果.

**命题1** 在串行任务结构下,4PL提供给两个3PL的最优配送时间契约为

$$\begin{cases} \beta_i^* = p, \quad i = 1, 2; \\ \alpha_i^* = R_i + p a_i - b_i^2 p^2 / (2k_i). \end{cases}$$

3PL的最优配送时间努力程度为  $e_i^* = b_i p / k_i$ .3PL获得的期望利润为其保留利润,即  $\pi_i^* = R$ .4PL获得的最大期望利润为

$$\Pi^* = B - \sum_{i=1}^2 \left[ R_i + p \left( a_i - \frac{b_i^2 p}{2k_i} \right) \right].$$

可以看到,两个3PL的风险承担系数  $\beta_i$  与4PL单位时间承担的时间惩罚  $p$  相等,这表明在最优契约

下, 4PL 可以将时间惩罚完全转移给 3PL. 不仅如此, 4PL 还通过固定支付  $\alpha_i$  攫取了整个系统的剩余利润, 仅让 3PL 获得它的保留利润. 这个契约对于 4PL 来说是最优的, 激励了 3PL 按照自己的意愿付出最优努力, 4PL 获得了最大的期望利润.

在这种最优契约下, 每个 3PL 的最优努力程度与它的努力产出系数  $b_i$  和单位时间惩罚  $p$  成正比, 即 3PL 效率越高, 惩罚系数越大, 3PL 所付出的努力程度就越大. 相反, 3PL 的努力程度随它的成本系数  $k_i$  增大而降低. 这个结果是很直观的, 体现了“能者多劳”的规律. 同时可以看到, 两个 3PL 的努力程度是相互独立的.

### 3 并行任务结构下的最优契约

本节假设两个物流子任务为并行任务结构, 因此, 任务总完成时间为两个任务配送时间的较大者, 即  $t = \max\{t_1, t_2\}$ . 此时, 4PL 的期望利润为

$$\begin{aligned} \Pi = E & \left[ B - \sum_{i=1}^2 g_i - p \max\{t_1, t_2\} \right] = \\ & B - \sum_{i=1}^2 [\alpha_i - \beta_i(a_i - b_i e_i)] - \\ & pE[\max\{a_1 - b_1 e_1 + \varepsilon_1, a_2 - b_2 e_2 + \varepsilon_2\}]. \quad (7) \end{aligned}$$

考虑到子任务结构的改变没有影响 3PL 的目标函数, 并且个体理性约束与激励相容约束也没有发生改变. 因此, 4PL 在满足约束条件 (4) 和 (5) 的前提下, 求解下面模型以确定最优契约

$$\begin{aligned} \max \Pi = & \\ & B - \sum_{i=1}^2 [\alpha_i - \beta_i(a_i - b_i e_i)] - \\ & pE[\max\{a_1 - b_1 e_1 + \varepsilon_1, a_2 - b_2 e_2 + \varepsilon_2\}]. \quad (8) \end{aligned}$$

为了求解上述优化模型, 需要对  $E[\max\{a_1 - b_1 e_1 + \varepsilon_1, a_2 - b_2 e_2 + \varepsilon_2\}]$  进行处理. 了解到, 如果  $X_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$ ,  $X_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$ , 则有

$$E[\max\{X_1, X_2\}] = \mu_1 \Phi(v) + \mu_2 \Phi(-v) + w\varphi(v).$$

其中

$$\begin{aligned} w^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2, \quad v = (\mu_1 - \mu_2)/w, \\ \varphi(x) &= e^{-\frac{x^2}{2}}/\sqrt{2\pi}, \quad \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \varphi(t)dt, \end{aligned}$$

$\varphi(x)$  和  $\Phi(x)$  分别是标准正态分布的概率密度函数和累积分布函数<sup>[14]</sup>.

由随机变量  $\varepsilon_1 \sim N(0, \sigma_1^2)$ ,  $\varepsilon_2 \sim N(0, \sigma_2^2)$ , 可知

$$\begin{aligned} t_1 &\sim N(a_1 - b_1 e_1, \sigma_1^2), \\ t_2 &\sim N(a_2 - b_2 e_2, \sigma_2^2). \end{aligned}$$

令  $w^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$ ,  $v = a_1 - b_1 e_1 - (a_2 - b_2 e_2)/w$ , 有

$$E[\max\{t_1, t_2\}] =$$

$$(a_1 - b_1 e_1) \Phi(v) + (a_2 - b_2 e_2) \Phi(-v) + w\varphi(v). \quad (9)$$

考虑到约束条件没有发生变化, 将

$$\begin{aligned} e_i^* &= b_i \beta_i / k_i, \\ \alpha_i^* &= R_i + \beta_i(a_i - b_i e_i) + k_i e_i^2 / 2 \end{aligned}$$

代入目标函数得

$$\begin{aligned} \max \Pi = & \\ & B - \sum_{i=1}^2 \left[ R_i + \frac{b_i^2}{2k_i} \beta_i^2 \right] - p \left( a_2 - \frac{b_2^2}{k_2} \beta_2 + \right. \\ & \left. \left( a_1 - \frac{b_1^2}{k_1} \beta_1 - \left( a_2 - \frac{b_2^2}{k_2} \beta_2 \right) \right) \int_{-\infty}^A \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \right. \\ & \left. \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{A^2}{2}} \right), \quad (10) \end{aligned}$$

其中

$$A = \frac{a_1 - b_1^2 \beta_1 / k_1 - (a_2 - b_2^2 \beta_2 / k_2)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}.$$

由  $\frac{\partial \Pi}{\partial \beta_i} = 0$  可得

$$\begin{aligned} \beta_1 - p \int_{-\infty}^A \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt &= 0, \\ \beta_2 - p + p \int_{-\infty}^A \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt &= 0. \end{aligned}$$

易见  $\beta_1 + \beta_2 = p$ ,  $\beta_2 = p - \beta_1$ . 从而, 有

$$\beta_1 - p \int_{-\infty}^{\frac{a_1 - \frac{b_1^2}{k_1} \beta_1 - a_2 + \frac{b_2^2}{k_2} (p - \beta_1)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0. \quad (11)$$

由于式 (11) 中积分的不可积性, 不能获得  $\beta_1$  的解析表达式. 然而, 当获得相关参数的取值后, 可以确定  $\beta_1$  的数值解, 这将在数值实验部分详细探讨. 当  $\beta_1$  确定后, 可以获得其他最优结果.

**命题 2** 在并行任务结构下, 4PL 的最优配送时间契约为

$$\begin{cases} \beta_1^*; \\ \beta_2^* = p - \beta_1^*; \\ \alpha_i^* = R_i + \beta_i^*(a_i - b_i^2/(2k_i)), \quad i = 1, 2, \end{cases}$$

其中  $\beta_1^*$  满足方程 (11). 两个 3PL 的最优配送时间努力力为  $e_i^* = b_i \beta_i^* / k_i$ , 获得的期望利润均等于它们的保留利润, 即  $\pi_i^* = R$ . 4PL 获得的期望利润为

$$\begin{aligned} \Pi^* = & \\ & B - \sum_{i=1}^2 \left[ R_i + \frac{b_i^2}{2k_i} \beta_i^{*2} \right] - p \left( a_2 - \right. \\ & \left. \frac{b_2^2}{k_2} \beta_2^* + \left( a_1 - \frac{b_1^2}{k_1} \beta_1^* - \left( a_2 - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{b_2^2}{k_2} \beta_2^* \right) \right) \int_{-\infty}^A \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{A^2}{2}} \right). \end{aligned}$$

显然, 在并行任务结构下, 4PL 针对两个 3PL 设计的配送时间契约是相关的. 由  $\beta_1 + \beta_2 = p$  可知, 两个 3PL 共同承担了 4PL 的配送时间惩罚. 特殊地,

当第1个3PL承担的时间惩罚系数 $\beta_1 = p$ 时,第2个3PL不需要承担惩罚,即 $\beta_2 = 0$ .此时,要求 $a_1 \gg a_2$ ,表明第1个3PL承担的物流任务为关键任务,反之亦然,这与串行结构下的结果是不同的.

下面进一步分析最优契约激励参数 $\beta_i$ 体现出来的规律.为了方便讨论,记两个3PL承担的物流任务分别为任务1和任务2.令

$$C = \frac{a_1 - \frac{b_1^2}{k_1}\beta_1 - a_2 + \frac{b_2^2}{k_2}(p - \beta_1)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

若 $a_1 - \frac{b_1^2}{k_1}\beta_1 - a_2 + \frac{b_2^2}{k_2}(p - \beta_1) > 0$ ,则意味着任务1的期望配送时间比任务2的期望配送时间长,任务1是期望的关键任务,即不考虑随机因素时的关键任务.

当任务1是期望的关键任务时,随着 $\sigma_1^2$ 的增大, $C$ 逐渐减小,这导致该3PL承担的时间惩罚 $\beta_1$ 开始变小.直观的解释为,随着任务1配送时间随机性的增加,任务1是关键任务的概率减小,对任务2上3PL加大激励更有价值.同样,随着 $\sigma_2^2$ 的增大, $\beta_1$ 也随之减小.这说明,不管是哪个3PL配送时间的随机性增大,任务1是关键任务的概率正在减小.特殊地,当 $\sigma_1^2$ 、 $\sigma_2^2$ 至少有一个很大时, $C$ 趋向于0,此时两个3PL承担的物流任务都可能是关键任务.因此, $\beta_1 \approx \beta_2 \approx 0.5p$ ,4PL给予两个3PL同样的配送时间激励.

**推论1** 在并行任务结构下,随着子任务配送时间随机性的增大,两个3PL承担的配送时间惩罚趋于一致.

注意到,随着 $k_1$ 的增大, $C$ 逐渐增大,则 $\beta_1$ 随之增大,4PL给予该3PL更大的配送时间惩罚.任务2上3PL承担的配送时间惩罚减小,这表明努力成本系数的相对减小带来了努力程度的降低.随着 $b_1$ 的增大, $C$ 逐渐减小,则4PL给予该3PL配送时间激励 $\beta_1$ 随之减小,这表明任务1是关键任务的概率逐渐变小.此时,任务2变得更可能是关键任务,因此, $\beta_2$ 逐渐增大,该3PL付出了更多的努力.

**推论2** 在并行任务结构下,某个3PL努力成本系数的增大使得另一个3PL可以降低配送时间努力,某个3PL努力产出系数的增大使得另一个3PL需要增大配送时间努力.

#### 4 数值实验

本节通过数值实验给出并行任务结构下4PL最优契约参数与3PL最优努力程度的数值解,并揭示不同系统参数对最优契约结果的影响.基本参数设置如下: $a_1 = a_2 = 30$ , $b_1 = b_2 = 4$ , $k_1 = k_2 = 4$ , $p = 8$ , $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = 4$ , $B = 50$ , $R = 20$ .易见,两个物流子任务与两个3PL均是同质的,这是为了便于接下来的对比

分析.基于Matlab软件的积分方程求解程序,给出最优契约结果的数值解.

由推论1可知,两个3PL共同分担了4PL的配送时间惩罚,因此主要以任务1为研究对象.在基本参数设置下, $\beta_1 = \beta_2 = p/2 = 4$ .通过让 $b_1$ 在 $[2, 6]$ 上变化,步长为0.5,研究配送时间产出能力对时间惩罚承担的影响,数值结果见表1.

表1 产出系数对激励系数的影响

	$b_1$								
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$\beta_1$	6.02	5.50	4.98	4.47	4.00	3.57	3.19	2.86	2.56
$\beta_2$	1.98	2.50	3.02	3.53	4.00	4.43	4.81	5.14	5.44

注意到,随着产出系数 $b_1$ 的增大,第1个3PL越来越高效,配送时间越来越短,所承担的物流任务为关键任务的概率越来越小,因此第1个3PL承担的时间惩罚随之递减,而第2个3PL所承担的时间惩罚越来越大.

基于获得的 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ ,由 $e_i = b_i\beta_i/k_i$ ,可得到3PL的最优努力程度与 $b_1$ 的对应关系.绘制努力程度随 $b_1$ 变化的趋势图,见图2.

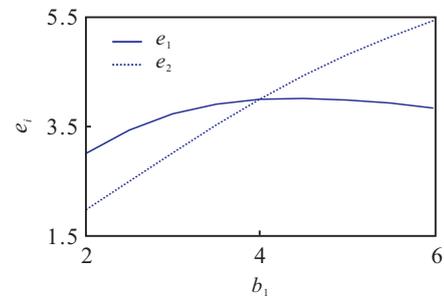


图2 产出系数对努力程度的影响

从图2可以看出,第2个3PL的最优努力程度 $e_2$ 随着 $b_1$ 的增大而不断增大.然而,第1个3PL的最优努力程度 $e_1$ 随着 $b_1$ 的变化趋势并不是单调的,呈现出先增后减的趋势.

让 $k_1$ 在 $[2, 6]$ 上变化,步长为0.5,研究努力成本系数对时间惩罚承担的影响,数值结果见表2.

表2 努力成本系数对激励系数的影响

	$k_1$								
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$\beta_1$	2.76	3.15	3.48	3.76	4.00	4.21	4.40	4.56	4.71
$\beta_2$	5.24	4.85	4.52	4.24	4.00	3.79	3.60	3.44	3.29

从表2可以看出, $k_1$ 越大,第1个3PL越不愿意多努力,任务1越可能是关键任务,因此该3PL承担的时间惩罚随之增加,而任务2上3PL承担的时间惩罚越来越小.

基于已获得的 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ ,研究 $k_1$ 对3PL最优努力程度的影响,获得 $e_1$ 和 $e_2$ 与 $k_1$ 的对应关系,绘制努力

程度随  $k_1$  变化趋势图, 见图3.

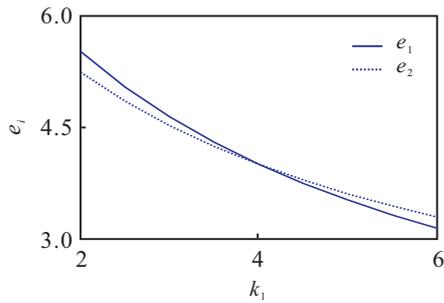


图3 努力成本系数对努力程度的影响

从图3可以看出, 两个3PL的最优努力程度均随着  $k_1$  的增大而减小, 这是很直观的. 当努力变得越来越昂贵时, 3PL更多的努力对4PL来说是得不偿失的. 此外,  $e_1$  随  $k_1$  的下降趋势比  $e_2$  更快. 当  $k_1 < k_2 = 4$  时, 第1个3PL的努力更廉价, 从而  $e_1 > e_2$ . 当  $k_1 = k_2 = 4$  时, 两个3PL是同质的, 因而努力程度也相同. 当  $k_1 > k_2 = 4$  时, 第1个3PL的努力更昂贵, 因此第2个3PL投入了更大的努力.

## 5 结 论

本文从第四方物流视角出发, 针对串行和并行两种任务结构, 研究外包物流最优配送时间契约设计问题. 研究结果表明: 在串行结构下, 4PL提供给两个3PL的配送时间契约是相互独立的, 并且可以推广到多个3PL情况; 在并行结构下, 4PL提供给两个3PL的配送时间契约是相关的, 4PL可以基于两个3PL各自所承担物流任务属于关键任务概率的大小, 给予两个3PL合理的配送激励. 本文所得结论可以为外包物流风险管理和契约设计问题提供建议和参考. 本文假设了4PL可以掌握3PL成本、产出等信息, 未来可考虑研究信息私有前提下的契约设计问题.

## 参考文献(References)

[1] Lieb R, Bentz B. The use of third-party logistics services by large American manufacturers: The 2004 survey[J]. *Transportation J*, 2005, 44(2): 5-15.

[2] Selviaridis K, Spring M. Third party logistics: A literature review and research agenda[J]. *Int J of Logistics Management*, 2007, 18(1): 125-150.

[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]. *Int J of Supply Chain Forum*, 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): 1505-1509. (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): 1505-1509.)

[10] 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.)

[11] 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.)

[12] Huang M, Tu J, Wang X W. Quality risk management of outsourcing logistics service: A fourth party logistics perspective[C]. *The 8th Int Conf on Service Systems and Service Management*. Tianjin: IEEE, 2011: 1-6.

[13] 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.

[14] Clark C E. The greatest of a finite set of random variables[J]. *Operations Research*, 1961, 9(2): 145-162. (责任编辑: 齐 粟)