

# 基于公平关切和服务合作价值的服务供应链应急协调策略

马雪松<sup>†</sup>, 陈荣秋

(华中科技大学 管理学院, 武汉 430074)

**摘要:** 考虑顾客的行为因素, 基于服务提供商与客户的双方公平关切和服务合作价值构建了服务供应链的应急管理模型. 该模型将服务供应链中服务集成商与服务供应商的双边努力服务合作、服务合作价值、同时相对公平关切行为导入服务供应链的分析中, 改进了现有模型中服务产品化、仅与服务供应商单方努力相关、无服务合作价值、仅单方具有公平关切行为或仅具有绝对公平关切行为的服务供应链模型表述的不足. 在此基础上, 分析了在服务市场规模、服务价格敏感系数、服务质量敏感系数同时扰动下服务供应商与服务集成商的最优努力水平变化情况, 结合 Nash 博弈框架提出了服务供应链的契约协调应急策略, 更加符合服务供应链的实际情况.

**关键词:** 服务供应链; 契约协调; 公平关切; 双边合作努力; 服务合作价值; 应急管理

中图分类号: F406

文献标志码: A

## Service supply chain disruption coordinating strategy based on fairness concerns and cooperation values

MA Xue-song<sup>†</sup>, CHEN Rong-qiu

(School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Considering the customer behavior factors, the paper constructs the service supply chain coordination and disruption theoretical model based on mutual fairness between the service provider and the client and the cooperation value. This model improves the current supply chain model by phasing in the service bilateral efforts, service cooperation value, and relative fairness concern of the service provider and integrator. It fills the gap and limitation of current models of regarding service as product, service only related with one-side effort, no service cooperation values, only service provider having fairness concern or absolute fairness concerns. Based on that, the coordination and disruption strategies are analyzed and provided considering the disruptions including the service market scale, service price, service quality happened in the same time under the Nash gaming frame, which is much more reflect actual service supply chain cases.

**Keywords:** service supply chain; contract coordinating; fairness concerns; bilateral cooperation efforts; service cooperation value; disruption management

## 0 引言

伴随着服务业的迅猛发展, 服务供应链的应急事故时有发生, 如航空服务供应链因突发雷暴造成的航班延误和航运服务能力不足、医疗服务供应链在面临大规模病害时应对不及时或不恰当造成的医疗服务短缺也是一个普遍的问题, 这些应急事件对服务供应链乃至整个服务业的发展均造成了不小的冲击, 应该在服务供应链的研究中加以重视. 但是在查询相关文献库后不难发现, 对于服务供应链应急管理的研究, 尤其是服务供应链应急数理模型研究还鲜有涉及, 所得文献寥寥无几.

近年来有很多学者从不同角度分别研究了供应链在不同情形下的协调策略, 对现实供应链的运作起到了十分重要的指导作用. 但是大部分研究对象为传统的产品供应链, 针对服务供应链的协调研究亟待补充和完善.

服务供应链是由服务供应链中服务各方共同合作而产生的供应链, 服务供应链中各参与方之间的关系由于服务的特性使然与传统的供应链相比也有所不同, 其中服务供应链中成员的行为因素是一个重要的区别特征, 在这些行为因素中有两点逐渐引起了研究者的关注.

收稿日期: 2016-03-03; 修回日期: 2016-05-05.

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(51685168)

作者简介: 马雪松(1974—), 男, 博士生, 从事运营与供应链管理的研究; 陈荣秋(1942—), 男, 教授, 博士生导师, 从事生产运作管理等研究.

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: ma\_xs@163.com

1) 服务合作. 服务供应链中服务是整个供应链的核心部分, 在服务各方共同努力合作下方能进行, 离开服务参与方中的任意一方的努力合作, 服务都无法完成, 自然也构不成健全的服务供应链. 因此, 与服务供应商的努力一样, 客户方的努力同样是重要的因素而不能被忽视. 此外, 现有研究表明, 服务合作中会产生服务价值, 因此这部分服务价值也应该作为服务供应链的收益加以考虑.

2) 公平关切. 现实中服务供应链中的成员直接面对顾客实施服务, 因此在服务过程中对公平的关注显得愈发突出. 如果服务供应链中的成员所获得的收益与公平的收益之间有差异, 则会感受到不公平, 这种不公平的感受将会对其运营决策产生影响. 因此, 服务供应链中公平关切行为因素也应该被考虑到服务供应链的研究中.

此外, 在服务供应链发生应急情形时上述行为因素又对供应链的运营协调产生什么样的影响, 这些问题均值得进行研究. 因此, 如何针对服务供应链中服务是由服务双方共同努力合作且顾客具有公平关切这些特有行为属性来构建更加符合实际情况的服务供应链应急管理模型, 对于服务供应链的研究显得至关重要, 同时也更具有实际意义.

## 1 研究现状

在顾客与服务供应商的合作价值方面, Payne等<sup>[1]</sup>基于S-D逻辑的概念框架探讨了顾客价值创造合作的过程, 研究指出: 顾客为公司的价值共同创造者, 顾客与公司的合作会产生合作价值.

Roels等<sup>[2]</sup>在委托人和代理人双边努力行为共同决定供应链最终产出的假设下, 考察不同契约安排对双边努力行为和利润的影响, 研究结果表明: 当产出受代理人努力程度影响较大时, 固定工资合约最优; 当产出受委托人努力程度影响较大时, 固定工资加投入回报合约最优; 而当双方努力作用相同时, 固定工资加收益共享合约最优.

Kaya<sup>[3]</sup>研究发现, 在制造商努力影响市场需求的情形下, 数量折扣或同时运用收益共享和成本分担契约能够完全协调供应链运作; 而在供应商努力影响市场需求的情形下, 只有同时运用收益共享和成本分担契约才能够协调供应链运作.

陈金亮<sup>[4]</sup>研究了供应商的产品供应能力、服务集成能力与合作绩效之间的作用关系, 通过理论与实证研究, 发现产品供应能力与服务集成能力均会促进合作绩效, 伙伴关系合法性还分别对产品供应能力与合作绩效、服务集成能力与合作绩效之间起到部分

中介效应. 这一研究结果表明, 服务集成商与服务供应商之间也存在合作努力关系, 将会产生服务合作价值.

在公平关切研究方面, Fehr等<sup>[5]</sup>指出, 顾客会比较自身获得的利润与其他利益相关者的利润获得, 基于这一结果建立了相对公平关切模型. 杜少甫等<sup>[6]</sup>将这一相对公平模型引入传统的两阶段供应链中, 通过行为运筹分析研究了公平关切行为倾向对供应链契约与协调的影响, 结果表明零售商的公平关切不会改变供应链的协调状态.

Bolton等<sup>[7]</sup>研究表明, 顾客也会比较自身获得的利润与总体利润的分配比例, 如果顾客获得的利润比例偏离公平利润分配比例, 则顾客将感受到不公平, 据此建立了绝对公平关切模型. 黄松等<sup>[8]</sup>将这一绝对公平模型导入单制造商与单零售商的两级供应链, 研究表明在零售商和制造商考虑绝对公平关切时, 批发价契约无法实现供应链的渠道协调, 在一定条件下零售商的绝对公平关切并不会加重双重边际化效应, 而制造商的绝对公平关切则既可能减轻也可能加重双重边际化效应.

Caliskan-Demirag等<sup>[9]</sup>证明批发价格契约能够协调具有公平关切行为特征的供应链. Yang等<sup>[10]</sup>研究了销售渠道的协调问题, 结果表明零售商的公平关切行为既可能增加也可能降低整个供应链的利润水平.

浦徐进等<sup>[11]</sup>研究了制造商为主导、供应商为随从的两阶段供应链, 研究发现供应商的过度自信和公平关切都是促使其自身提高努力投入的因素, 但是供应商公平关切的存在会降低制造商努力投入水平, 在一定条件下供应商过度自信会提高制造商努力投入的程度.

柳键等<sup>[12]</sup>针对服务提供商是公平中性的、服务集成商具有公平关切行为, 建立了服务提供商与服务集成商的博弈模型, 研究结果表明成本共担契约和收入共享契约都无法实现服务供应链的协调, 而组合式契约能有效协调服务供应链且协调具有一定柔性.

由上面分析可以看出, 现有的供应链管理模型绝大部分是针对产品供应链的, 并不完全适用于服务供应链, 而少数服务供应链的契约协调模型研究则忽略了服务供应链中的服务集成商与服务供应商之间的合作关系及其合作价值的作用, 也就是服务供应商与服务集成商各自努力水平以及服务合作价值对服务供应链的影响, 均带有一定的片面性.

本文将从服务合作双边努力和服务合作产生价值的角度, 重新构建基于公平关切的服务供应链应急

管理模型,并分析服务供应链的双边努力水平对服务供应链的影响,从而提出服务供应链在应急情形下的契约协调建议来拓展服务供应链的研究范围。

## 2 基准服务供应链模型构建

### 2.1 模型描述及假设

考虑一个服务供应商与一个服务集成商构成的二级服务供应链,服务供应商与服务集成商双方共同努力合作,提供服务能力,服务集成商充当服务提供商与顾客之间的媒介提供辅助性服务,从服务供应商处购买服务能力,之后将所购买的服务能力出售给最终顾客。此种服务供应链在现实中比较常见,如一个由医院为服务提供商、医疗中介为服务集成商、病人为顾客的医疗服务供应链;一个由旅游景点方为服务提供商、旅行社为服务集成商、游客为顾客的旅游服务供应链等。

基于上述服务供应链结构描述,本文作出如下假设:

1) 服务供应商以单位服务成本  $c$  构建服务容量为  $s$  的服务系统,服务集成商以价格  $w$  向服务提供商购买服务能力后以服务单位价格  $p$  向顾客出售服务。

2) 服务供应商与服务集成商信息对称、有限理性,均具有公平关切特性。由于服务具有无形性、不可分割性等特性,服务供应链中顾客等各参与方在服务合作中受服务感知等心理因素影响更加明显,他们往往会将自身获得的利润水平与其他成员进行比较,因此采用相对公平关切模型作为本文研究的基础。设服务集成商的相对公平关切系数为  $f_x$ ,服务供应商的相对公平关切系数为  $f_y$ ,且  $f_x > 0, f_y > 0$ 。

3) 服务供应商与服务集成商双边服务合作产出为连续可微的柯布-道格拉斯生产函数  $V(x, y) = x^\alpha y^{1-\alpha}, x > 0, y > 0. \alpha \in (0, 1)$  表示服务集成商相对重要性参数,  $1 - \alpha$  则表示服务供应商的相对重要性,且  $V(x, 0) = V(0, y) = 0. \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{\partial V(x, y)}{\partial x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\partial V(x, y)}{\partial y} = \infty$ , 表示如果任意一方不努力则合作无产出,任意一方付出极大努力则合作产出极大,服务双方为互补性服务<sup>[2,13]</sup>。

4) 设服务集成商和服务供应商的单位努力水平分别为  $x$  和  $y$ , 则服务集成商的单位努力水平成本为  $\eta x^2/2$ , 服务供应商的单位努力水平成本为  $\eta y^2/2$ 。1/2 表示双方为风险中性,双方的努力水平可以被第3方不免费证实<sup>[4,13]</sup>。  $\eta > 0$ , 为努力成本参数。

5) 服务集成商所得到的合作收益  $V_x(x, y) = \rho x^\alpha y^{1-\alpha}$ , 服务供应商所得到的合作收益  $V_y(x, y) =$

$(1 - \rho) x^\alpha y^{1-\alpha}$ 。其中  $\rho$  为服务合作产出在服务集成商与服务供应商之间的分配因子,取决于服务双方的剩余索取权的分配,  $0 \leq \rho \leq 1$ 。

6) 服务质量  $Q$  由服务供应商和服务集成商双边共同努力水平决定,且正相关。  $Q(x, y) = \lambda x^\alpha y^{1-\alpha}, \lambda > 0$  为服务质量相对于服务供应链双边努力水平的敏感系数。

7) 由以上假设可知,服务市场实际需求受市场规模、市场价格以及服务质量的影响,即

$$D = a - kp + \theta Q(x, y) = a - kp + \theta \lambda x^\alpha y^{1-\alpha} \tag{1}$$

其中  $a > 0$  为市场规模且足够大,  $k \geq 1$  为需求对价格的敏感系数,  $\theta > 0$  为市场需求对服务质量的敏感系数。为使市场需求为正,设  $a - kp > 0$ 。由于服务具有不可分割性,因此  $D$  设定为整数。

### 2.2 集中化服务供应链决策

在集中化服务供应链中,服务集成商与服务供应商被看作一个整体,双方在信息共享的情况下统一作出最优决策,以追求服务供应链的利润最大化,并确定出双方的最优努力水平和服务价格。服务供应链利润函数为

$$\Pi_I = (a - kp + \theta \lambda x^\alpha y^{1-\alpha}) \left( p + x^\alpha y^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} \eta x^2 - \frac{1}{2} \eta y^2 \right) \tag{2}$$

将式(2)对  $p$  求一阶导数并令其等于0,可以得到服务供应链最优服务价格为

$$p^* = \frac{1}{4k} (2a + 2kc + 2\theta \lambda x^\alpha y^{1-\alpha} - 2kx^\alpha y^{1-\alpha} + k\eta x^2 + k\eta y^2) \tag{3}$$

将式(3)代入(1),可得最优服务订购量为

$$q^* = \frac{1}{2} \left( a + \theta \lambda x^\alpha y^{1-\alpha} + kx^\alpha y^{1-\alpha} - kc - \frac{1}{2} k\eta x^2 - \frac{1}{2} k\eta y^2 \right) \tag{4}$$

将式(2)分别对  $x, y$  求一阶偏导并令其等于0,联立式(3),利用 Maple 软件可求得服务双方最优努力水平为

$$x^* = \frac{(1 - \alpha)(\theta \lambda + k) \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \alpha}}}{\eta k \left[ \frac{(1 - \alpha) \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \alpha}}}{\alpha} \right]} \tag{5}$$

$$y^* = \frac{(1 - \alpha)(\theta \lambda + k)}{\eta k \left[ \frac{(1 - \alpha) \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \alpha}}}{\alpha} \right]} \tag{6}$$

将式(5)、(6)代入(2),可得集中化服务供应链的

最大利润.

将式(5)、(6)代入(4),可得集中化服务供应链最优服务订购量.

由以上分析可知,服务供应链最优价格与服务质量正相关,当市场对服务质量比较敏感时,可通过加大服务努力水平来提高服务质量,同时应该相应地提高服务价格以获取最大利润.通过进一步分析可以得到命题1.

**命题1** 集中化服务供应链中服务双方的最优努力水平比值为其在服务合作中相对重要程度的平方根之比.

**证明** 将式(5)和(6)相除,可得服务双方最优努力水平比值,满足

$$\frac{x}{y} = \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1/2}.$$

表明服务双方的最优努力水平比值取决于服务双方在服务供应链中的相对重要程度的平方根之比,重要度高的一方应付出较大努力.特别地,若  $\alpha = 1/2$ , 则  $x = y$ .  $\square$

### 2.3 分散化服务供应链决策

在分散化服务供应链中,服务供应商与服务集成商分别依据自身利益作出决策而不考虑对方的利益.服务供应商首先确定服务价格  $w$  ( $w > c$ ) 及努力水平  $y$ , 服务集成商在知道服务供应商提出的服务价格的基础上,再确定努力水平  $x$  和服务需求量  $q$ , 服务双方构成单周期Stackelberg博弈.

服务供应商的利润函数为

$$\Pi_y = q \left[ w + (1-\rho)x^\alpha y^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta y^2 \right]. \quad (7)$$

其中:  $w$  为服务供应商设定的服务价格,  $\eta y^2/2$  为服务供应商的努力成本,  $(1-\rho)x^\alpha y^{1-\alpha}$  为服务供应商从服务合作中得到的合作收益.

服务集成商的利润函数为

$$\Pi_x = q \left( p - w + \rho x^\alpha y^{1-\alpha} - \frac{1}{2}\eta x^2 \right). \quad (8)$$

其中:  $\rho x^\alpha y^{1-\alpha}$  为服务集成商从服务合作中得到的收益,  $w$  为服务集成商向服务供应商支付的服务费用,  $\eta x^2/2$  为服务集成商的努力成本,  $p$  为市场服务价格.

相对公平关切下服务供应商的效用函数为

$$U_y = \Pi_y - f_y (\Pi_x - \Pi_y) = (1 + f_y) \Pi_y - f_y \Pi_x. \quad (9)$$

将式(7)、(8)代入(9),得

$$U_y = (1 + f_y) q \left[ w + (1-\rho)x^\alpha y^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta y^2 \right] - f_y q \left( p - w + \rho x^\alpha y^{1-\alpha} - \frac{1}{2}\eta x^2 \right). \quad (10)$$

将式(10)对  $y$  求一阶导数并令其等于0,解得服务供应商最优努力水平为

$$y_s^* = e^{\frac{\ln \left[ \frac{(1-\alpha)(1+f_y-2\rho f_y-\rho)}{\eta(1+f_y)} \right] + \alpha \ln(x)}{1+\alpha}}. \quad (11)$$

相对公平关切下服务集成商的效用函数为

$$U_x = \Pi_x - f_x (\Pi_y - \Pi_x) = (1 + f_x) \Pi_x - f_x \Pi_y. \quad (12)$$

将式(7)、(8)代入(12),得

$$U_x = (1 + f_x) q \left( p - w + \rho x^\alpha y^{1-\alpha} - \frac{1}{2}\eta x^2 \right) - f_x q \left[ w + (1-\rho)x^\alpha y^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta y^2 \right]. \quad (13)$$

将式(13)对  $x$  求一阶导数并令其等于0,可得服务集成商最优努力水平为

$$x_s^* = \left[ \frac{\eta(1+f_x)y^{\alpha-1}}{\alpha(2\rho f_x + \rho - f_x)} \right]^{\frac{1}{\alpha-2}}. \quad (14)$$

将式(13)对  $q$  求一阶导数并令其等于0,可求得使服务集成商效用最大的服务订购量,满足

$$(1 + f_x) \left( p - w + \rho x^\alpha y^{1-\alpha} - \frac{1}{2}\eta x^2 \right) - f_x \left[ w + (1-\rho)x^\alpha y^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta y^2 \right] = 0. \quad (15)$$

由式(1)求得  $p = (a + \theta \lambda x^\alpha y^{1-\alpha} - q)/k$ ,代入式(15),解得服务集成商最优服务订购量为

$$q_s^* = \frac{1}{4(1+f_x)} (4k\rho f_x x^\alpha y^{1-\alpha} + 2\theta \lambda f_x x^\alpha y^{1-\alpha} - \eta k f_x x^2 + \eta k f_x y^2 + 2\rho k x^\alpha y^{1-\alpha} - 2k f_x x^\alpha y^{1-\alpha} + 2\theta \lambda x^\alpha y^{1-\alpha} - \eta k x^2 + 2kc f_x - 4kw f_x + 2a f_x - 2kw + 2a). \quad (16)$$

联立式(11)、(14)、(16),可解出分散式服务供应链最优努力水平和最优服务订购量,因其解析式非常复杂冗长,此处不再给出.

分散化服务供应链利润函数为  $\Pi_s = \Pi_x + \Pi_y$ .

### 3 应急服务供应链模型构建与协调

服务供应链的市场条件往往会因为应急事件的发生而产生变化,如在2015年禽流感疫情暴发期间,人们对医疗服务的需求大幅增加,不但市场规模发生了变化,同一时期对服务价格的敏感系数也发生了变化,而且在紧急状态下人们对服务质量的敏感系数也会变化.下面本文就这种情形构建服务供应链在服务双方同时具有相对公平关切的应急管理模型加以分析,研究服务供应商和服务集成商双边服务努力水平在公平关切情形下会有些什么样的变化.

假设在应急事件下的市场规模、顾客对服务价格的敏感系数、市场需求对服务质量的敏感系数均发生了变化,其变化量分别为  $\Delta a, \Delta k, \Delta \theta$ . 为使得该

变化有实际意义, 当且仅当  $a + \Delta a > 0, k + \Delta k > 0, \theta + \Delta \theta > 0$ .

用符号“~”表示应急事件产生相应扰动后的服务供应链各参数, 则扰动后服务实际需求为

$$\tilde{D} = \tilde{a} - \tilde{k}\tilde{p} + \tilde{\theta}\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} = (a + \Delta a) - (k + \Delta k)\tilde{p} + (\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha}. \quad (17)$$

### 3.1 集中化服务供应链应急决策

服务市场发生扰动后, 服务市场的实际需求  $\tilde{D}$  有可能不等于扰动发生前的最优服务订购量  $q^*$ , 服务供应链利润函数为

$$\tilde{\Pi}_I = [(a + \Delta a) - (k + \Delta k)\tilde{p} + (\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha}] \times \left( \tilde{p} + \tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 \right) - \lambda_1(\tilde{q} - q^*) - \lambda_2(q^* - \tilde{q}).$$

其中:  $\lambda_1$  为实际服务需求高于原计划最优服务订购量时付出的单位额外成本;  $\lambda_2$  为实际服务需求低于原计划最优服务订购量时付出的剩余服务处理单位额外成本;  $\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$ .

这里会有两种情形:

1)  $\tilde{D} > q^*$ . 此时扰动发生后实际服务市场需求高于原服务市场需求, 服务供应商需要提供更多服务量来满足需求, 但会产生额外的成本  $\lambda_1(\tilde{q} - q^*)$ , 如扩大服务能力需付出的人员工资、服务实施成本等.

集中化服务供应链在扰动发生后的利润函数为

$$\tilde{\Pi}_I = [(a + \Delta a) - (k + \Delta k)\tilde{p} + (\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha}] \times \left( \tilde{p} + \tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 \right) - \lambda_1[(a + \Delta a) - (k + \Delta k)\tilde{p} + (\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - q^*]. \quad (18)$$

2)  $\tilde{D} < q^*$ . 此时扰动发生后实际服务市场需求低于原服务市场需求, 服务供应商的服务能力有剩余. 考虑到服务的无形性、不可存贮性, 剩余服务无残值, 服务供应商满足服务需求后只需停止服务即可, 而无闲置库存成本等额外服务处理成本支出, 假设剩余服务能力不能转移, 因此剩余服务能力处理额外成本  $\lambda_2(q^* - \tilde{q})$  为0, 即  $\lambda_2 = 0$ .

集中化服务供应链在扰动发生后的利润函数为

$$\tilde{\Pi}_I = [(a + \Delta a) - (k + \Delta k)\tilde{p} + (\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha}] \times \left( \tilde{p} + \tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 \right). \quad (19)$$

进一步分析式(18)、(19), 得到下述命题.

**命题2** 服务市场规模扰动量、顾客对服务价格的敏感系数扰动量、市场需求对服务质量的敏感系数扰动量在满足特定条件时, 服务供应链可以通过调

整服务供应商和服务集成商的最优努力水平在相应扰动发生后利润取得最大值.

**证明** 1) 当  $\tilde{D} > q^*$  时, 分析式(18), 为使利润函数有最大值, 应满足  $\partial\tilde{\Pi}_I/\partial\tilde{p} > 0$ , 且  $\partial^2\tilde{\Pi}_I/\partial^2\tilde{p} < 0$ , 即

$$\frac{\partial\tilde{\Pi}_I}{\partial\tilde{p}} = (-k - \Delta k) \left( \tilde{p} + \tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 \right) + (a + \Delta a) - (k + \Delta k)\tilde{p} + (\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - \lambda_1(-k - \Delta k) > 0,$$

$$\frac{\partial^2\tilde{\Pi}_I}{\partial^2\tilde{p}} = -2k - 2\Delta k < 0.$$

解得

$$\Delta a >$$

$$(k + \Delta k) \left( \tilde{p} + \tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 - \lambda_1 \right) + (k + \Delta k)\tilde{p} - (\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - a, \quad (20)$$

$$\Delta k > -k. \quad (21)$$

将式(18)分别对  $x, y$  求一阶偏导并令其等于0, 因服务供应商与服务集成商双方同等重要, 代入  $\alpha = 1/2$ , 联立求解可得服务集成商与服务供应商最优努力水平分别为

$$\tilde{x}^* = \frac{\theta\lambda + \lambda\Delta\theta + k + \Delta k}{2\eta(k + \Delta k)}, \quad (22)$$

$$\tilde{y}^* = \frac{\theta\lambda + \lambda\Delta\theta + k + \Delta k}{2\eta(k + \Delta k)}. \quad (23)$$

最优服务订购量为

$$\tilde{D}^* = \frac{1}{8\eta(k + \Delta k)} (-4c\eta k^2 - 8c\eta k\Delta k - 4c\eta\Delta k^2 - 4\eta k^2\lambda_1 - 8\eta k\Delta k\lambda_1 - 4\eta\Delta k^2\lambda_1 + \lambda^2\theta^2 + 2\lambda^2\theta\Delta\theta + \lambda^2\Delta\theta^2 + 4a\eta k + 4a\eta\Delta k + 4\eta k\Delta a + 4\eta\Delta a\Delta k + 2k\lambda\theta + 2k\lambda\Delta\theta + 2\lambda\theta\Delta k + 2\lambda\Delta\theta\Delta k + k^2 + 2k\Delta k + \Delta k^2). \quad (24)$$

此时有  $\tilde{D} > q^*$ , 即

$$\frac{1}{8\eta(k + \Delta k)} (-4c\eta k^2 - 8c\eta k\Delta k - 4c\eta\Delta k^2 - 4\eta k^2\lambda_1 - 8\eta k\Delta k\lambda_1 - 4\eta\Delta k^2\lambda_1 + \lambda^2\theta^2 + 2\lambda^2\theta\Delta\theta + \lambda^2\Delta\theta^2 + 4a\eta k + 4a\eta\Delta k + 4\eta k\Delta a + 4\eta\Delta a\Delta k + 2k\lambda\theta + 2k\lambda\Delta\theta + 2\lambda\theta\Delta k + 2\lambda\Delta\theta\Delta k + k^2 + 2k\Delta k + \Delta k^2) >$$

$$\frac{1}{2} \left( a - \frac{(\theta\lambda + k)^2}{4\eta k} - kc \right). \quad (25)$$

当  $\tilde{D} > q^*$  时, 服务供应链发生相应扰动后, 服务集成商和服务供应商可通过调整努力水平式(22)、(23)所示, 相应扰动因子在满足式(20)、(21)、(25)的条件下, 使得服务供应链利润达到最大值。

2) 当  $\tilde{D} < q^*$  时, 分析式(19), 同理为使利润函数有最大值, 应满足  $\partial \tilde{\Pi}_I / \partial \tilde{p} > 0$ , 且  $\partial^2 \tilde{\Pi}_I / \partial^2 \tilde{p} < 0$ , 即

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{\Pi}_I}{\partial \tilde{p}} &= \\ &(-k - \Delta k) \left( \tilde{p} + \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} \eta \tilde{x}^2 - \frac{1}{2} \eta \tilde{y}^2 \right) + \\ &(a + \Delta a) - (k + \Delta k) \tilde{p} + (\theta + \Delta \theta) \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} > 0, \\ \frac{\partial^2 \tilde{\Pi}_I}{\partial^2 \tilde{p}} &= -2k - 2\Delta k < 0. \end{aligned}$$

解得

$$\begin{aligned} \Delta a > (k + \Delta k) \left( \tilde{p} + \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} \eta \tilde{x}^2 - \frac{1}{2} \eta \tilde{y}^2 \right) + \\ (k + \Delta k) \tilde{p} - (\theta + \Delta \theta) \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - a, \quad (26) \end{aligned}$$

$$\Delta k > -k. \quad (27)$$

将式(19)分别对  $x, y$  求一阶偏导并令其等于0, 同样服务供应商与服务集成商双方同等重要时, 代入  $\alpha = 1/2$ , 可解得服务集成商与服务供应商最优努力水平分别为

$$\tilde{x}^* = \frac{\theta \lambda + \lambda \Delta \theta + k + \Delta k}{2\eta(k + \Delta k)}, \quad (28)$$

$$\tilde{y}^* = \frac{\theta \lambda + \lambda \Delta \theta + k + \Delta k}{2\eta(k + \Delta k)}. \quad (29)$$

最优服务订购量为

$$\begin{aligned} \tilde{D}^* &= \frac{1}{8\eta(k + \Delta k)} (-4c\eta k^2 - 8c\eta k \Delta k - 4c\eta \Delta k^2 + \\ &\lambda^2 \theta^2 + 2\lambda^2 \theta \Delta \theta + \lambda^2 \Delta \theta^2 + 4a\eta k + 4a\eta \Delta k + \\ &4\eta k \Delta a + 4\eta \Delta a \Delta k + 2k\lambda \theta + 2k\lambda \Delta \theta + \\ &2\lambda \theta \Delta k + 2\lambda \Delta \theta \Delta k + k^2 + 2k\Delta k + \Delta k^2). \quad (30) \end{aligned}$$

此时有  $\tilde{D} < q^*$ , 即

$$\begin{aligned} \frac{1}{8\eta(k + \Delta k)} (-4c\eta k^2 - 8c\eta k \Delta k - 4c\eta \Delta k^2 + \\ \lambda^2 \theta^2 + 2\lambda^2 \theta \Delta \theta + \lambda^2 \Delta \theta^2 + 4a\eta k + 4a\eta \Delta k + \\ 4\eta k \Delta a + 4\eta \Delta a \Delta k + 2k\lambda \theta + 2k\lambda \Delta \theta + 2\lambda \theta \Delta k + \\ 2\lambda \Delta \theta \Delta k + k^2 + 2k\Delta k + \Delta k^2) < \\ \frac{1}{2} \left( a - \frac{(\theta \lambda + k)^2}{4\eta k} - kc \right). \quad (31) \end{aligned}$$

当  $\tilde{D} < q^*$  时, 服务供应链发生相应扰动后, 服务集成商和服务供应商可通过调整努力水平式(28)、(29)所示, 相应扰动因子在满足式(26)、(27)、(31)的条件下, 使得服务供应链利润达到最大值。□

由以上分析可知, 服务集成商与服务供应商在服务双方同等重要时最优努力水平相等; 最优努力水平与服务市场规模扰动量无关; 最优努力水平与服务市场需求对服务质量的敏感系数扰动量成正比, 即当服务市场对服务质量要求更高时, 服务双方均应加强服务水平投入以获得服务供应链最大利润; 最优努力水平与对服务价格的敏感系数扰动量非线性相关, 即当服务价格敏感系数增大或减小时, 最优努力水平有可能增大也有可能减小, 同时取决于服务供应链其他相关参数变化量。

### 3.2 分散化服务供应链应急决策

分散化服务供应链中服务集成商与服务供应商均从自身的利益出发来制定决策, 构成单周期 Stackelberg 博弈。假设由服务供应商承担相应扰动额外成本。

类似集中化服务供应链, 这里仍有两种情形。

1) 当  $\tilde{D} > q^*$  时, 扰动后服务供应商的利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi_{\tilde{y}} &= \\ &\tilde{q} \left[ \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} \eta \tilde{y}^2 \right] - \lambda_1 (\tilde{q} - q^*) = \\ &\tilde{q} \left[ \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} \eta \tilde{y}^2 \right] - \\ &\lambda_1 [(a + \Delta a) - (k + \Delta k) \tilde{p} + \\ &(\theta + \Delta \theta) \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - q^*]. \quad (32) \end{aligned}$$

扰动后服务集成商的利润函数为

$$\Pi_{\tilde{x}} = \tilde{q} \left( \tilde{p} - w + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \frac{1}{2} \eta \tilde{x}^2 \right). \quad (33)$$

扰动后相对公平关切下服务供应商的效用函数为

$$U_{\tilde{y}} = \Pi_{\tilde{y}} - f_y (\Pi_{\tilde{x}} - \Pi_{\tilde{y}}) = (1 + f_y) \Pi_{\tilde{y}} - f_y \Pi_{\tilde{x}}. \quad (34)$$

将式(32)、(33)代入(34), 得

$$\begin{aligned} U_{\tilde{y}} &= \\ &(1 + f_y) \left\{ \tilde{q} \left[ \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} \eta \tilde{y}^2 \right] - \right. \\ &\lambda_1 [(a + \Delta a) - (k + \Delta k) \tilde{p} + (\theta + \Delta \theta) \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \\ &\left. q^* \right\} - f_y \tilde{q} \left( \tilde{p} - \tilde{w} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \frac{1}{2} \eta \tilde{x}^2 \right). \quad (35) \end{aligned}$$

扰动后相对公平关切下服务集成商的效用函数为

$$U_{\tilde{x}} = \Pi_{\tilde{x}} - f_x (\Pi_{\tilde{y}} - \Pi_{\tilde{x}}) = (1 + f_x) \Pi_{\tilde{x}} - f_x \Pi_{\tilde{y}}. \quad (36)$$

将式(32)、(33)代入(36), 得

$$\begin{aligned} U_{\tilde{x}} &= (1 + f_x) \tilde{q} \left( \tilde{p} - \tilde{w} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \frac{1}{2} \eta \tilde{x}^2 \right) - \\ &f_x \left\{ \tilde{q} \left[ \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} \eta \tilde{y}^2 \right] - \right. \\ &\left. \lambda_1 [(a + \Delta a) - (k + \Delta k) \tilde{p} + \right. \end{aligned}$$

$$(\theta + \Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - q^* \} \}. \quad (37)$$

分别将式(35)对  $\tilde{y}$ 、式(37)对  $\tilde{x}$  求一阶导数并令其等于0, 联立求解可得

$$\tilde{x}_s = \left[ \frac{\eta\tilde{q}(1+f_x)\tilde{y}^{\alpha-1}}{\alpha(\lambda\theta\lambda_1f_x + \lambda\Delta\theta\lambda_1f_x + 2\tilde{q}\rho f_x + \tilde{q}\rho - \tilde{q}f_x)} \right]^{\frac{1}{\alpha-2}}, \quad (38)$$

$$\tilde{y}_s = e^{\frac{\ln[m_1] + \alpha \ln(\tilde{x})}{1+\alpha}}, \quad (39)$$

其中

$$m_1 = (1-\alpha)(\tilde{q} + \tilde{q}f_y - \lambda\theta\lambda_1f_y - \lambda\Delta\theta\lambda_1f_y - \lambda\theta\lambda_1 - \lambda\Delta\theta\lambda_1 - 2\tilde{q}\rho f_y - \tilde{q}\rho) / \eta\tilde{q}(1+f_y).$$

当服务集成商与服务供应商同等重要时, 即  $\alpha = 1/2$ , 由命题1和契约理论可知, 服务供应链服务双方讨价还价的纳什均衡策略是服务双方均分服务合作收益, 即  $\rho = 1/2$  (李慧芬等<sup>[13]</sup>). 将  $\alpha = 1/2, \rho = 1/2$  代入式(38)、(39), 将式(37)对  $\tilde{q}$  求一阶导数并令其等于0, 联立求解, 可解得扰动后服务集成商最优努力水平  $\tilde{x}_s^*$ 、服务供应商最优努力水平  $\tilde{y}_s^*$ 、服务集成商最优服务订购量  $\tilde{q}_s^*$  最终解。

2) 当  $\tilde{D} < q^*$  时, 扰动后服务供应商的利润函数为

$$\Pi_{\tilde{y}} = \tilde{q} \left[ \tilde{w} + (1-\rho)\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 \right]. \quad (40)$$

扰动后服务集成商的利润函数为

$$\Pi_{\tilde{x}} = \tilde{q} \left( \tilde{p} - w + \rho\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 \right). \quad (41)$$

扰动后相对公平关切下服务供应商的效用函数为

$$U_{\tilde{y}} = (1+f_y)\tilde{q} \left[ \tilde{w} + (1-\rho)\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 \right] - f_y\tilde{q} \left( \tilde{p} - \tilde{w} + \rho\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 \right). \quad (42)$$

扰动后相对公平关切下服务集成商的效用函数为

$$U_{\tilde{x}} = (1+f_x)\tilde{q} \left( \tilde{p} - \tilde{w} + \rho\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - \frac{1}{2}\eta\tilde{x}^2 \right) - f_x\tilde{q} \left[ \tilde{w} + (1-\rho)\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}\eta\tilde{y}^2 \right]. \quad (43)$$

同理, 分别将式(42)对  $\tilde{y}$ 、(43)对  $\tilde{x}$  和  $\tilde{q}$  求一阶导数并令其等于0, 联立可解得

$$\tilde{x}_s = \left[ \frac{\eta(1+f_x)\tilde{y}^{\alpha-1}}{\alpha(2\rho f_x + \rho - f_x)} \right]^{\frac{1}{\alpha-2}}, \quad (44)$$

$$\tilde{y}_s = e^{\frac{\ln \left[ \frac{(1-\alpha)(1+f_y-2\rho f_y-\rho)}{\eta(1+f_y)} \right] + \alpha \ln(\tilde{x})}{1+\alpha}}, \quad (45)$$

$$\tilde{q}_s^* = \frac{1}{2(1+f_x)} (2\theta\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} + 2\Delta\theta\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} + 2a +$$

$$2\Delta a - 2k\tilde{w} - 2\Delta k\tilde{w} + 2af_x + 2\Delta af_x - 2kf_x\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - \eta kf_x\tilde{x}^2 - \eta\Delta kf_x\tilde{x}^2 + \eta kf_x\tilde{y}^2 + \eta\Delta kf_x\tilde{y}^2 + 2\rho k\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} + 2\rho\Delta k\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} + 4k\rho f_x\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} + 2\theta\lambda f_x\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} + 2\theta\Delta\lambda f_x\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} + 4\Delta k\rho f_x\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - \eta\Delta k\tilde{x}^2 - \eta k\tilde{x}^2 - 4k\tilde{w}f_x - 4\Delta k\tilde{w}f_x + 2kc f_x + 2\Delta kc f_x). \quad (46)$$

当服务集成商与服务供应商同等重要时, 将  $\alpha = 1/2, \rho = 1/2$  代入式(44)、(45)、(46), 联立求解可得扰动后服务集成商最优努力水平  $\tilde{x}_s^*$ 、服务供应商最优努力水平  $\tilde{y}_s^*$ 、服务集成商最优服务订购量  $\tilde{q}_s^*$  最终解。

扰动后分散化服务供应链利润函数为  $\tilde{\Pi}_s = \tilde{\Pi}_{\tilde{x}} + \tilde{\Pi}_{\tilde{y}}$ 。

### 3.3 应急服务供应链契约协调

分别比较扰动后的分散化与集中化服务供应链服务双方的最优努力水平与最优订购量, 易知扰动后的服务供应链未达到协调。进一步分析其协调策略, 可以得到下述命题。

**命题3** 服务供应链在扰动发生后可以在一定条件下通过收益共享加努力成本共担的复合契约达到双边努力水平和服务订购量的协调。

**证明** 设收入共享加努力成本共担契约因子为  $\{\tilde{w}, \tilde{\varphi}_1, \tilde{\varphi}_2, \tilde{\varphi}_3\}$ ,  $\tilde{w} < \tilde{p}$  为扰动后服务供应商设定的较低服务单价,  $\tilde{\varphi}_1$  为扰动后收益分享因子,  $\tilde{\varphi}_2$  和  $\tilde{\varphi}_3$  为扰动后努力成本共担因子。  $\tilde{\varphi}_1 \in (0, 1)$  表示扰动后服务集成商收益分享比例,  $1 - \tilde{\varphi}_1$  则表示扰动后服务供应商的收益分享比例;  $\tilde{\varphi}_2 \in (0, 1)$  表示扰动后服务集成商共担的服务供应商努力成本比例,  $1 - \tilde{\varphi}_2$  则表示扰动后服务供应商承担的自我努力成本比例;  $\tilde{\varphi}_3 \in (0, 1)$  表示扰动后服务集成商承担的自我努力成本比例,  $1 - \tilde{\varphi}_3$  则表示扰动后服务供应商共担的服务集成商努力成本比例。

以下需分两种情形加以分析:

1) 当  $\tilde{D} > q^*$  时, 服务供应商的利润函数为

$$\Pi_{\tilde{\varphi}_n\tilde{y}} = \tilde{q} \left[ (1-\tilde{\varphi}_1)\tilde{w} + (1-\rho)\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2}(1-\tilde{\varphi}_2)\eta\tilde{y}^2 - \frac{1}{2}(1-\tilde{\varphi}_3)\eta\tilde{x}^2 \right] - \lambda_1[(a+\Delta a) - (k+\Delta k)\tilde{p} + (\theta+\Delta\theta)\lambda\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - q^*]. \quad (47)$$

服务集成商的利润函数为

$$\Pi_{\tilde{\varphi}_n\tilde{x}} = \tilde{q} \left( \tilde{\varphi}_1\tilde{w} + \tilde{p} + \rho\tilde{x}^\alpha\tilde{y}^{1-\alpha} - \tilde{w} - \frac{1}{2}\tilde{\varphi}_2\eta\tilde{y}^2 - \frac{1}{2}\tilde{\varphi}_3\eta\tilde{x}^2 \right). \quad (48)$$

扰动后相对公平关切下服务供应商的效用函数为

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} = \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} - f_y (\Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} - \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}}) = \\ (1 + f_y) \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} - f_y \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}}. \quad (49)$$

将式(47)、(48)代入(49),得

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} = (1 + f_y) \left\{ \tilde{q} \left[ (1 - \tilde{\varphi}_1) \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \right. \right. \\ \left. \left. c - \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_2) \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_3) \eta \tilde{x}^2 \right] - \right. \\ \left. \lambda_1 [(a + \Delta a) - (k + \Delta k) \tilde{p} + \right. \\ \left. (\theta + \Delta \theta) \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - q^*] \right\} - \\ f_y \tilde{q} \left( \tilde{\varphi}_1 \tilde{w} + \tilde{p} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \tilde{w} - \right. \\ \left. \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_2 \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_3 \eta \tilde{x}^2 \right). \quad (50)$$

扰动后相对公平关切下服务集成商的效用函数为

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} = \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} - f_x (\Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} - \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}}) = \\ (1 + f_x) \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} - f_x \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}}. \quad (51)$$

将式(47)、(48)代入(51),得

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} = (1 + f_x) \tilde{q} \left( \tilde{\varphi}_1 \tilde{w} + \tilde{p} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \tilde{w} - \right. \\ \left. \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_2 \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_3 \eta \tilde{x}^2 \right) - f_x \left\{ \tilde{q} \left[ (1 - \tilde{\varphi}_1) \tilde{w} + \right. \right. \\ \left. \left. (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_2) \eta \tilde{y}^2 - \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_3) \eta \tilde{x}^2 \right] - \lambda_1 [(a + \Delta a) - \right. \\ \left. (k + \Delta k) \tilde{p} + (\theta + \Delta \theta) \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - q^*] \right\}. \quad (52)$$

分别将式(50)对 $\tilde{y}$ 、式(52)对 $\tilde{x}$ 求一阶导数并令其等于0,可解得

$$\tilde{y}_{\tilde{\varphi}_n}^* = e^{\frac{\ln[m_2] + \alpha \ln \tilde{x}}{1 + \alpha}}, \quad (53)$$

$$\tilde{x}_{\tilde{\varphi}_n}^* = \left[ \frac{\eta \tilde{q} (2f_x \tilde{\varphi}_3 - f_x + \tilde{\varphi}_3) \tilde{y}^{\alpha-1}}{\alpha (\lambda \theta f_x \lambda_1 + \lambda \Delta \theta f_x \lambda_1 + 2\tilde{q} \rho f_x + \tilde{q} \rho - \tilde{q} f_x)} \right]^{\frac{1}{\alpha-2}}, \quad (54)$$

其中

$$m_2 = (\lambda \theta f_y \lambda_1 + \lambda \Delta \theta f_y \lambda_1 + \lambda \Delta \theta \lambda_1 + \lambda \theta \lambda_1 + \\ 2\tilde{q} \rho f_y + \tilde{q} \rho - \tilde{q} f_y - \tilde{q}) (\alpha - 1) / \eta \tilde{q} (1 + \\ f_y - \tilde{\varphi}_2 - 2f_y \tilde{\varphi}_2).$$

由式(17)求得 $\tilde{p} = (\theta \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} + \Delta \theta \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} + a + \Delta a - \tilde{q}) / (k + \Delta k)$ ,代入式(52)并对 $\tilde{q}$ 求一阶导数,令其等于0,可得服务集成商最优服务订购量满足下式:

$$(1 + f_x) \left[ \tilde{\varphi}_1 \tilde{w} + \frac{1}{k + \Delta k} (\theta \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} + \Delta \theta \lambda \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} + \right. \\ \left. a + \Delta a - \tilde{q}) - \tilde{w} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_2 \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_3 \eta \tilde{x}^2 \right] -$$

$$\frac{(1 + f_x) \tilde{q}}{k + \Delta k} - f_x \left[ (1 - \tilde{\varphi}_1) \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \right. \\ \left. \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_2) \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_3) \eta \tilde{x}^2 - \right. \\ \left. \lambda_1 \left( 1 + \frac{q^*}{\tilde{q}} - \frac{2 \text{abs}(1, \tilde{q})}{\text{signum}(\tilde{q})} \right) \right]. \quad (55)$$

当服务集成商与服务供应商同等重要时,将 $\alpha = 1/2, \rho = 1/2$ 代入式(53)、(54)、(55),可解得扰动后服务集成商最优努力水平 $\tilde{x}_{\tilde{\varphi}_n}^*$ 、服务供应商最优努力水平 $\tilde{y}_{\tilde{\varphi}_n}^*$ 、服务集成商最优服务订购量 $\tilde{q}_{\tilde{\varphi}_n}^*$ 最终解。

若要服务供应链在扰动后达到协调,需要使扰动后集中化最优服务量与分散化最优服务量相等,即 $\tilde{q}^* = \tilde{q}_{\tilde{\varphi}_n}^*$ ,且服务双方的最优努力水平在集中化决策时与分散化决策时也要同时相等,即 $\tilde{y}_{\tilde{\varphi}_n}^* = \tilde{y}^*$ 和 $\tilde{x}_{\tilde{\varphi}_n}^* = \tilde{x}^*$ .代入相应各值表达式后联立求解可得 $\tilde{\varphi}_1, \tilde{\varphi}_2, \tilde{\varphi}_3$ 的值。

2)当 $\tilde{D} < q^*$ 时,服务供应商的利润函数为

$$\Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} = \tilde{q} \left[ (1 - \tilde{\varphi}_1) \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \right. \\ \left. \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_2) \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_3) \eta \tilde{x}^2 \right]. \quad (56)$$

服务集成商的利润函数为

$$\Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} = \tilde{q} \left( \tilde{\varphi}_1 \tilde{w} + \tilde{p} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \tilde{w} - \right. \\ \left. \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_2 \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_3 \eta \tilde{x}^2 \right). \quad (57)$$

扰动后相对公平关切下服务供应商的效用函数为

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} = \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} - f_y (\Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} - \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}}) = \\ (1 + f_y) \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} - f_y \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}}. \quad (58)$$

将式(56)、(57)代入(58),得

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} = \\ (1 + f_y) \tilde{q} \left[ (1 - \tilde{\varphi}_1) \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - c - \right. \\ \left. \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_2) \eta \tilde{y}^2 - \frac{1}{2} (1 - \tilde{\varphi}_3) \eta \tilde{x}^2 \right] - \\ f_y \tilde{q} \left( \tilde{\varphi}_1 \tilde{w} + \tilde{p} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \tilde{w} - \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_2 \eta \tilde{y}^2 - \right. \\ \left. \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_3 \eta \tilde{x}^2 \right). \quad (59)$$

扰动后相对公平关切下服务集成商的效用函数为

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} = \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} - f_x (\Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}} - \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}}) = \\ (1 + f_x) \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} - f_x \Pi_{\tilde{\varphi}_n \tilde{y}}. \quad (60)$$

将式(56)、(57)代入(60),得

$$U_{\tilde{\varphi}_n \tilde{x}} = \\ (1 + f_x) \tilde{q} \left( \tilde{\varphi}_1 \tilde{w} + \tilde{p} + \rho \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \tilde{w} - \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_2 \eta \tilde{y}^2 - \right. \\ \left. \frac{1}{2} \tilde{\varphi}_3 \eta \tilde{x}^2 \right) - f_x \tilde{q} \left[ (1 - \tilde{\varphi}_1) \tilde{w} + (1 - \rho) \tilde{x}^\alpha \tilde{y}^{1-\alpha} - \right.$$

$$c - \frac{1}{2}(1 - \tilde{\varphi}_2)\eta\tilde{y}^2 - \frac{1}{2}(1 - \tilde{\varphi}_3)\eta\tilde{x}^2]. \quad (61)$$

同  $\tilde{D} > q^*$  时的分析方法类似, 分别将式(58)对  $\tilde{y}$ 、式(61)对  $\tilde{q}$  和  $\tilde{x}$  求一阶导数并令其等于 0, 并代入  $\alpha = 1/2, \rho = 1/2$ , 可解得扰动后服务集成商最优努力水平  $\tilde{x}_{\tilde{\varphi}_n}^*$ 、服务供应商最优努力水平  $\tilde{y}_{\tilde{\varphi}_n}^*$ 、服务集成商最优服务订购量  $\tilde{q}_{\tilde{\varphi}_n}^*$  最终解。

欲使服务供应链达到协调, 令  $\tilde{q}^* = \tilde{q}_{\tilde{\varphi}_n}^*$ , 且  $\tilde{y}_{\tilde{\varphi}_n}^* = \tilde{y}^*, \tilde{x}_{\tilde{\varphi}_n}^* = \tilde{x}^*$ . 代入相应各式后联立求解, 可得  $\tilde{\varphi}_1, \tilde{\varphi}_2, \tilde{\varphi}_3$  的值。

以上两种情形下, 各协调因子均需满足  $\tilde{\varphi}_1, \tilde{\varphi}_2, \tilde{\varphi}_3 \in (0, 1)$  以及  $\tilde{D} > q^*$  或  $\tilde{D} < q^*$  的约束条件; 此外, 服务供应商和服务集成商在协调后的利润也需要大于协调前的利润水平(例如通过满足条件的  $\tilde{w}$  调节), 如此服务双方才有动力实施契约协调, 协调契约才有效。□

由以上分析可知, 扰动后的服务供应链在满足特定条件下, 可采用收益共享加成本共担复合契约, 通过调整相应契约因子来达到协调, 表明服务供应商与服务集成商的双边努力水平可以作为一个重要的协调因素, 使得服务供应链在应对市场扰动时具有一定的鲁棒性。

### 4 数值算例

下面通过数值算例来分析验证上述服务供应链的协调及其应急管理模型。设  $a = 1000, k = 2, \theta = 2, \lambda = 1, \eta = 1, c = 10, f_x = 0.6, f_y = 0.2$ , 利用 Maple 软件可求得基准情形下集中化服务供应链  $x^* = 1, y^* = 1, p^* = 253.25, q^* = 489, \Pi_I = 120\ 530$ ;

分散化服务供应链:  $x_s^* = 0.17, y_s^* = 0.19, w = 200, p_s^* = 385.69, q_s^* = 229, \Pi_s = 43\ 708.28$ 。

通过分析以上基准情形下计算结果可知: 集中化服务供应链中服务双方同等重要, 其最优努力水平相等; 分散化服务供应链中由于服务双方均从自身利益出发, 各自的努力水平大为降低, 导致服务订购量减少而使得服务供应链利润小于集中化决策时的利润; 同时, 由于服务集成商的相对公平关切系数大于服务供应商的相对公平关切系数, 使得服务集成商的最优努力水平小于服务供应商的最优努力水平。

扰动发生后, 设  $\Delta k = 1, \Delta \theta = 1, \lambda_1 = 1$ , 当  $\tilde{D} > q^*$  时,  $\Delta a = 100$ ; 当  $\tilde{D} < q^*$  时  $\Delta a = -100$ . 利用 Maple 软件可求得应急情形下, 扰动发生后集中化服务供应链: 当  $\tilde{D} > q^*$  时, 即在扰动后服务需求大于原计划最优服务订购量时,  $\tilde{x}^* = 1, \tilde{y}^* = 1, \tilde{p}^* = 189.33, \tilde{q}^* = 535, \tilde{\Pi}_I = 95\ 897$ ; 当  $\tilde{D} < q^*$  时, 即在扰动后服务需求小于原计划最优服务订购量时,  $\tilde{x}^* =$

$1, \tilde{y}^* = 1, \tilde{p}^* = 155.5, \tilde{q}^* = 437, \tilde{\Pi}_I = 63\ 510$ . 扰动发生后分散化服务供应链: 当  $\tilde{D} > q^*$  时,  $\tilde{x}_s^* = 0.168, \tilde{y}_s^* = 0.192, \tilde{p}_s^* = 195.27, \tilde{q}_s^* = 515, \tilde{\Pi}_s = 95\ 609$ ; 当  $\tilde{D} < q^*$  时,  $\tilde{x}_s^* = 0.168, \tilde{y}_s^* = 0.194, \tilde{p}_s^* = 23.7, \tilde{q}_s^* = 830, \tilde{\Pi}_s = 11\ 975.05$ 。

通过分析以上扰动发生后的计算结果可知: 扰动发生后集中化服务供应链中服务双方重要性保持不变, 其最优努力水平仍然相等; 分散化服务供应链中由于服务双方均从自身利益出发, 各自的努力水平大为降低, 导致服务订购量减少而使得服务供应链利润小于集中化决策时的利润。此时由于服务集成商的相对公平关切系数大于服务供应商的相对公平关切系数, 加之扰动因素的影响, 使得服务集成商的最优努力水平小于服务供应商的最优努力水平, 两者较之扰动前均有不同程度的调整。

努力成本共担的收益共享契约下应急服务供应链: 当  $\tilde{D} > q^*$  时,  $\tilde{x}_{\tilde{\varphi}_n}^* = 1, \tilde{y}_{\tilde{\varphi}_n}^* = 1, \tilde{q}_{\tilde{\varphi}_n}^* = 535, \tilde{\Pi}_{\tilde{\varphi}_n I} = 95\ 897$ , 相应的分配因子为  $\varphi_1 = 0.452(\tilde{w} = 20$  时),  $\varphi_2 = 0.681, \varphi_3 = 0.386$ ; 当  $\tilde{D} < q^*$  时,  $\tilde{x}_{\tilde{\varphi}_n}^* = 1, \tilde{y}_{\tilde{\varphi}_n}^* = 1, \tilde{q}_{\tilde{\varphi}_n}^* = 435, \tilde{\Pi}_{\tilde{\varphi}_n I} = 63\ 510$ , 相应的分配因子为  $\varphi_1 = 0.465(\tilde{w} = 20$  时),  $\varphi_2 = 0.679, \varphi_3 = 0.386$ . 此时服务供应链在相应协调因子的调解下达到了服务双边努力水平和服务订购量的同时协调, 使得扰动后的集中化供应链利润水平与分散化供应链利润水平相等。同时可以看出, 相对公平关切系数对最优努力水平的影响, 相对公平关切系数大的一方将付出相对较小的努力水平。验证了命题 1~命题 3 的正确性。

### 5 结 论

本文根据服务供应链的一般特性, 首次将服务供应链中两个比较重要的行为因素(即服务集成商与服务供应商的双边努力服务合作、同时具有相对公平关切行为) 导入服务供应链的分析中, 将服务质量与服务双边努力水平相关, 考虑了服务合作价值, 构建了服务双方共同努力合作的、具有服务合作价值的、双方均具有相对公平关切的服务供应链应急管理模型, 改进了现有模型中服务产品化、仅与服务供应商单方努力相关、无服务合作价值、仅单方具有公平关切行为的服务供应链模型表述, 符合服务供应链的一般特性而更具有现实意义。

在此基础上分析了服务供应链的双边努力水平对应急契约协调策略的影响, 结果表明服务集成商的努力水平与服务供应商的努力水平一样, 对服务供应链的协调有着十分重要的作用; 服务供应链在集中化应急决策时, 服务双方的最优努力水平比值取决于

其在服务合作中的相对重要程度;成本共担的收益共享复合契约可以在特定条件下使得服务供应链的服务订购量和服务努力水平在服务双边努力、产生服务合作价值、双方同时具有相对公平关切行为时同时达到协调;在公平关切的影响下,相对公平关切系数大的一方将付出相对较小的努力水平;给出了算例予以验证,得到的相关研究结论对现实中的服务供应链的实际运营具有一定的理论指导意义。

本文所建立的服务供应链模型是基于服务双边努力合作和公平关切,为简化模型便于分析而忽略了服务供应链的合作信任等影响因素,另外现实中服务双方的风险态度也并非总为风险中性.本文讨论了二级服务供应链的契约协调情况,对多级服务供应链的服务合作努力情形及契约协调分析将更加具有实际意义.这些问题将有待于后续进一步研究.

#### 参考文献(References)

- [1] Payne A F, Storbacka K, Frow P. Managing the co-creation of value[J]. *J of the Academy of Marketing Science*, 2008, 36(1): 83-96.
- [2] Roels G, Karmarkar U S, Carr S. Contracting for collaborative services[J]. *Management Science*, 2010, 56(5): 849-863.
- [3] Kaya O. Outsourcing V S. In-house production: A comparison of supply chain contracts with effort dependent demand[J]. *Omega*, 2011, 39(2):168-178.
- [4] 陈金亮. 产品供应能力, 服务集成能力与合作绩效的关系研究: 服务供应链的视角[J]. *经济管理*, 2012, 4: 50-58.  
(Chen J L. Research on the relationship between product availability, service integration capabilities and cooperation performance: A perspective of service supply chain[J]. *Economic Management J*, 2012, 4: 50-58.)
- [5] Fehr E, Schmidt K M. A theory of fairness, competition, and cooperation[J]. *Quarterly J of Economics*, 1999, 114(3): 817-868.
- [6] 杜少甫, 杜婵, 梁樑. 考虑公平关切的供应链契约与协调[J]. *管理科学学报*, 2010, 13(11): 41-48.  
(Du S F, Du C, Liang L, et al. Supply chain coordination considering fairness concerns[J]. *J of Management Sciences in China*, 2010, 13(11): 41-48.)
- [7] Bolton G E, Ockenfels A. ERC: A theory of equity, reciprocity, and competition[J]. *American Economic Review*, 2000, 90(1): 166-193.
- [8] 黄松, 杨超, 刘慧. 指数需求下考虑绝对公平关切的供应链定价模型[J]. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(4): 823-831.  
(Huang S, Yang C, Liu H. Pricing models in supply chains under exponential demand with absolute fairness concerns[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(4): 823-831.)
- [9] Caliskan-Demirag O, Chen Y F, Li J. Channel coordination under fairness concerns and nonlinear demand[J]. *European J of Operational Research*, 2010, 207(3): 1321-1326.
- [10] Yang J, Xie J, Deng X, et al. Cooperative advertising in a distribution channel with fairness concerns[J]. *European J of Operational Research*, 2013, 227(2): 401-407.
- [11] 浦徐进, 诸葛瑞杰. 考虑供应商过度自信和公平关切的供应链双边努力行为研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2014, 20(6): 1462-1470.  
(Pu X, Zhuge R J. Bilateral efforts of supply chains considering supplier's overconfidence and fairness[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2014, 20(6): 1462-1470.)
- [12] 柳键, 舒斯亮. 考虑公平关切的服务供应链协调契约[J]. *控制与决策*, 2015, 30(1): 98-104.  
(Liu J, Shu S L. Coordination contract of service supply chain considering fairness concerns[J]. *Control and Decision*, 2015, 30(1): 98-104.)
- [13] 李慧芬, 杨德礼, 王建军. 考虑信息粘性的服务合作生产控制权分配[J]. *运筹与管理*, 2012, 21(6): 205-210.  
(Li H F, Yang D L, Wang J J. Service co-production residual right allocation considering information stickiness[J]. *Operations Research and Management Science*, 2012, 21(6): 205-210.)
- [14] Xue M, Field J M. Service coproduction with information stickiness and incomplete contracts: Implications for consulting services design[J]. *Production and Operations Management*, 2008, 17(3): 357-372.

(责任编辑: 孙艺红)