

# 供应中断下考虑风险规避的物流服务质量控制

邢鹏<sup>1</sup>, 张翠华<sup>1</sup>, 王语霖<sup>2</sup>, 江军<sup>1</sup>

(1. 东北大学工商管理学院, 辽宁沈阳 110169; 2. 北京航空航天大学化学与环境学院, 北京 102206)

**摘要:** 考虑风险规避的物流服务集成商(LSI)与提供商(FLSP),研究了供应中断条件下的物流服务质量的控制问题,并建立了供应中断下考虑风险规避的LSI与FLSP的质量-效用模型,求得LSI与FLSP的Stackelberg均衡解.最后,运用Matlab R2013a进行数值仿真,分析了物流服务集成商质量监督努力水平、订单分配比例与主物流服务提供商质量缺陷担保之间的关系,以及相关参数对物流服务集成商效用、主物流服务提供商效用和次物流服务提供商效用的影响.

**关键词:** 物流服务供应链;质量控制;供应中断;风险规避;Stackelberg博弈

**中图分类号:** F 719 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2016)04-0604-05

## Logistics Service Quality Control Considering Risk Aversion Under Supply Disruption

XING Peng<sup>1</sup>, ZHANG Cui-hua<sup>1</sup>, WANG Yu-lin<sup>2</sup>, JIANG Jun<sup>1</sup>

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. School of Chemistry and Environment, Beihang University, Beijing 102206, China. Corresponding author: ZHANG Cui-hua, E-mail: chzhang@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** Considering logistics service integrator (LSI) and functional logistics service provider (FLSP) with risk aversion, the logistics service quality control was studied under supply disruption. The quality-utility models and equilibrium solutions of LSI and FLSP with risk aversion were obtained under supply disruption and the Stackelberg game, respectively. Finally, a numerical simulation was conducted by the Matlab R2013a. The correlations among LSI's effort level of quality supervision, proportion of order allocation and main FLSP's quality defect warranties were analyzed. The impact of parameters on utilities of LSI, main FLSP and second FLSP were also discussed.

**Key words:** logistics service supply chain; quality control; supply disruption; risk aversion; Stackelberg game

近年来,服务业成为国民经济的重要产业.物流服务供应链(logistics service supply chain, LSSC)作为一种典型的服务供应链,吸引了学者的普遍关注<sup>[1-4]</sup>.田宇<sup>[1]</sup>认为LSSC是一种由集成物流服务供应商的供应商→集成物流服务供应商→制造、零售企业的模式.刘伟华<sup>[2]</sup>考虑了LSSC各成员间的物流服务能力问题,通过合作契约,已达到LSSC协调.李剑锋等<sup>[3]</sup>研究了利润

最大化下的二级LSSC的定价与效率问题,建立了以物流服务集成商(logistics service integrator, LSI)为核心企业的集成商与提供商(functional logistics service provider, FLSP)之间的Stackelberg博弈模型,得出了LSI的最优定价与最优订购量.服务质量越来越成为服务供应链运作的一个关键的问题.Liu等<sup>[5]</sup>考虑多阶段条件下LSSC的质量监督与合作问题,构建了LSI与

收稿日期: 2015-02-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71371043);教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20130042110031);中央高校基本业务费专项资金资助项目(N130206001);辽宁省社科规划基金资助项目(L13BJY023);辽宁省百千万人才工程项目(2013921072).

作者简介: 邢鹏(1987-),男,辽宁大连人,东北大学博士研究生;张翠华(1971-),女,辽宁沈阳人,东北大学教授,博士生导师.

FLSP 之间的博弈模型. 同时, Liu 等<sup>[6]</sup> 研究了由一个服务提供商和一个功能商组成的 LSSC 质量控制问题. 而且, Liu 等<sup>[7-10]</sup> 分别分析了基于理性预期均衡、预测行为和竞争性招标策略及累积前景理论的两级物流服务供应链订单分配问题.

随着行为经济学的崛起, 越来越多的学者开始考虑行为因素对供应链管理的影响. 李剑锋等<sup>[11]</sup> 进行了基于期权与具有风险规避特征的 LSI 的 LSSC 协调研究, 利用条件风险值, 建立了 LSI, FLSP, LSSC 风险规避模型, 求得 LSI 的初始最优订购量、期权最优购买量及价格、最优执行价格.

本文在已有文献对 LSSC 质量控制问题研究的基础上, 针对供应中断条件下考虑风险规避的物流服务问题, 建立了质量控制模型, 求得 Nash 与 Stackelberg 博弈均衡解, 并运用数值仿真对结果进行详细分析.

### 1 问题描述

考虑了由一个 LSI, 两个 FLSP 和最终客户构成的物流服务供应链, 如图 1 所示.

考虑到 FLSP 可能发生的不确定风险而造成供应中断, LSI 选择了 Main FLSP (M-FLSP) 和 Second FLSP (S-FLSP). 当 M-FLSP 因不确定风险造成部分供应中断, 不能提供全部的物流服务, LSI 可以转由向 S-FLSP 购买物流服务或者在潜在物流服务市场中寻求新的合作伙伴.

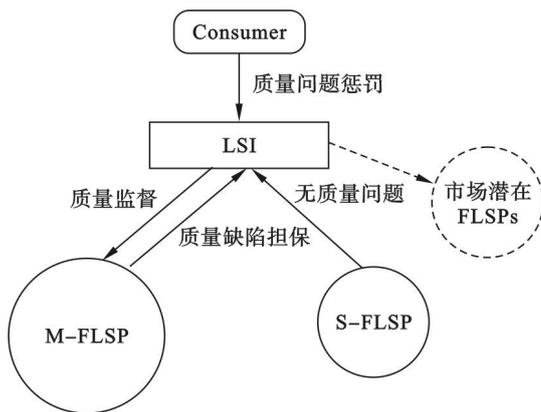


图 1 物流服务供应链质量控制  
Fig. 1 Quality controlling in LSSC

物流服务需求服从指数分布:  $D = Me^{-kpq}$ . 其中:  $k$  为客户对需求的敏感系数;  $p$  为客户所接触到的物流服务的价格;  $q$  为 FLSP 提供物流服务的缺陷水平. 在 LSSC 运作过程中, M-FLSP 决策自身提供的物流服务的缺陷担保水平为

$q_0$ , 来实现自身收益最大化. 实际物流服务质量缺陷服从指数分布, 其密度函数为  $f(q) = (1/\mu)e^{-q/\mu}$ . 如发生供应中断, S-FLSP 需提供 M-FLSP 无法提供的物流服务, S-FLSP 的物流服务单位成本更高, 物流服务价格也相对更高, 此时 S-FLSP 可获得稳定的收益. 假定 M-FLSP 发生供应中断的概率  $\phi (0 < \phi < 1)$  恒定, 且在供应中断条件下能提供部分物流服务, 其数量比例恒定为  $\gamma (0 < \gamma < 1)$ .

LSI 在 LSSC 中处于领导地位, FLSP 在提供物流服务时, LSI 可选择质量监督或不监督. 选择质量监督, 需支付质量监督成本  $C$ :  $C(\xi) = 1/2\alpha\xi^2$ . 其中:  $\alpha$  为质量监督努力成本系数;  $\xi$  为质量监督的努力水平. 当 LSI 通过质量监督发现 FLSP 存在质量缺陷问题, LSI 就会采取惩罚, 对 FLSP 提供的物流服务进行打折, 折扣价为  $r (0 < r < 1)$ . 如果选择不监督, 如出现质量缺陷问题, FLSP 不需承担任何责任. FLSP 提供的物流服务质量达不到实际质量要求, 客户对 LSI 采取惩罚, 索要赔偿, 单位惩罚价格为  $\eta$ .  $C_1, C_2$  为 M-FLSP 和 S-FLSP 提供的物流服务单位成本;  $C_3$  为供应中断时, S-FLSP 提供中断下物流服务的单位成本. LSI 进行订单分配时, 分配的数量比例是恒定的:  $\beta (0.5 < \beta < 1)$ ,  $\beta$  分配给 M-FLSP,  $1 - \beta$  分配给 S-FLSP. LSI 制定契约, 吸引 FLSP 参与 LSSC 运作时, 必须满足两者的保留收益, 分别为  $\Pi_0^M, \Pi_0^S$ .

LSI 可进行两种决策: ① 物流服务质量监督努力水平  $\xi$ ; ② 物流服务的分配比例  $\beta$ . LSI 具有风险规避特征, 运用 CARA 效用函数:  $U(x) = -e^{-\rho x}$ . 其中:  $\rho (\rho > 0)$  为风险规避程度,  $\rho$  越大说明规避风险程度越高. 当  $\rho = 0$  时, 为风险中性. 根据 Matsui<sup>[12]</sup> 对 CARA 函数的处理方法可得 LSI 的期望效用函数为  $E[U(\Pi_1)] = U\{E(\Pi_1) - (1/2) \times \rho\sigma^2 [p_0 - \gamma\beta p_1 - (1 - \beta)p_2 - \beta(1 - \gamma)p_3]^2\}$ , LSI 与 FLSP 的目标函数由收益最大化转为效用最大化. 其中:  $p_0$  为 LSI 提供给客户的物流服务单位价格;  $p_1, p_2$  为 M-FLSP 和 S-FLSP 提供给 LSI 的物流服务单位价格;  $p_3$  为供应中断时, S-FLSP 提供给 LSI 物流服务的单位价格. 需求函数为  $D = M \exp(-kqp) + \varepsilon$ . 其中:  $M$  为市场规模;  $k > 0$  为顾客对价格、质量的敏感系数;  $p$  为给定价格;  $q$  为质量缺陷;  $\varepsilon$  是市场需求不确定性的部分, 服从  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ . S-FLSP 无决策变量, 不参与 LSSC 博弈, S-FLSP 根据 LSI 与 M-FLSP 的决策结果, 得到期望效用, 假定 M-FLSP, S-FLSP 都为风险

中性.

### 2.1 模型建立

LSI 为风险规避型, 则  $\rho > 0$ , 期望效用函数为

## 2 模型的建立与求解

$$\Pi_1 = Dp_0 - \gamma\beta DC(\xi) - \gamma\beta Dp_1 - (1-\beta)Dp_2 - (1-\gamma)\beta Dp_3 - \int_{q_0}^{+\infty} \eta\gamma\beta Df(q) dq + \xi \int_{q_0}^{+\infty} (1-r)\gamma\beta Dp_1 f(q) dq, \tag{1}$$

$$\max E[U(\Pi_1)] = \max U\{E(\Pi_1) - \frac{1}{2}\rho\sigma^2[p_0 - \gamma\beta p_1 - (1-\beta)p_2 - \beta(1-\gamma)p_3]^2\}. \tag{2}$$

M-FLSP 的期望效用函数为

$$\Pi_F^M = \gamma\beta Dp_1 - \gamma\beta DC_1 - \xi \int_{q_0}^{+\infty} (1-r)\gamma\beta Dp_1 f(q) dq, \tag{3}$$

$$\max E[U(\Pi_F^M)] = \max U\{E(\Pi_F^M) - \frac{1}{2}\rho\sigma^2[p_0 - \gamma\beta p_1 - (1-\beta)p_2 - \beta(1-\gamma)p_3]^2\}. \tag{4}$$

因为 M-FLSP 为风险中性, 则  $\rho = 0$ , 所以,  $\max E[U(\Pi_F^M)] = \max U[E(\Pi_F^M)]$ . (5)

S-FLSP 的期望效用函数为

$$\Pi_F^S = (1-\beta)Dp_2 - (1-\beta)DC_2 + (1-\gamma)\beta Dp_3 - (1-\gamma)\beta DC_3, \tag{6}$$

$$\max E[U(\Pi_F^S)] = \max U\{E(\Pi_F^S) - \frac{1}{2}\rho\sigma^2[p_0 - \gamma\beta p_1 - (1-\beta)p_2 - \beta(1-\gamma)p_3]^2\}. \tag{7}$$

因为 S-FLSP 为风险中性, 则  $\rho = 0$ , 所以,

$$\max E[U(\Pi_F^S)] = \max U[E(\Pi_F^S)]. \tag{8}$$

### 2.2 Stackelberg 博弈下模型求解

$$\text{令 } \frac{dE[U(\Pi_1)]}{d\beta} = 0, \text{ 解得}$$

$$\beta^* = \frac{\gamma D[-C - \eta\mu f + \xi(1-r)p_1\mu f] + [D - \rho\sigma^2(p_0 - p_2)][-\gamma p_1 + p_2 - (1-\gamma)p_3]}{\rho\sigma^2[-\gamma p_1 + p_2 - (1-\gamma)p_3]^2}. \tag{9}$$

$\frac{d^2 E[U(\Pi_1)]}{d\beta^2} = -\rho\sigma^2[-\gamma p_1 + p_2 - (1-\gamma)p_3]^2 < 0$  恒成立, 所以  $\beta^*$  为  $E[U(\Pi_1)]$  最大值点.

$$\text{令 } \frac{dE[U(\Pi_1)]}{d\xi} = 0, \text{ 化简得}$$

$$\xi^3 + y_1\xi + y_2 = 0, \tag{10}$$

$$y_1 = \frac{2\mu k p_0 \{[\gamma\beta p_1 + (1-\beta)p_2 + \beta(1-\gamma)p_3 - p_0](1-r)(\mu k p_0 + 1) - \mu k p_0 \gamma \beta (1-r)(p_1 - C_1)\}}{\alpha \gamma \beta (\mu k p_0 - 2)(1-r)(\mu k p_0 + 1)}, \tag{11}$$

$$y_2 = \frac{2\mu k p_0 (p_1 - C_1)}{\alpha p_1 (\mu k p_0 - 2)(1-r)}. \tag{12}$$

根据 Cardano 公式, 解得

$$\xi^* = \sqrt[3]{-\frac{y_2}{2} - \sqrt{(\frac{y_2}{2})^2 + (\frac{y_1}{3})^3}} + \sqrt[3]{-\frac{y_2}{2} + \sqrt{(\frac{y_2}{2})^2 + (\frac{y_1}{3})^3}}, \tag{13}$$

$$\xi^* = \mu \ln \frac{p_1(1-r)(\mu k p_0 + 1)}{\mu k p_0 (p_1 - C_1)} \left[ \sqrt[3]{-\frac{y_2}{2} - \sqrt{(\frac{y_2}{2})^2 + (\frac{y_1}{3})^3}} + \sqrt[3]{-\frac{y_2}{2} + \sqrt{(\frac{y_2}{2})^2 + (\frac{y_1}{3})^3}} \right]. \tag{14}$$

证明 解关于 LSI 订单分配系数  $\beta$  及质量监督努力水平  $\xi$  的函数关系  $h(\beta, \xi)$ , 根据  $h(\beta, \xi)$  构造海塞矩阵 (Hessian matrix):

$$\mathbf{H}_\beta(h) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 h}{\partial \beta^2} & \frac{\partial^2 h}{\partial \beta \partial \xi} \\ \frac{\partial^2 h}{\partial \xi \partial \beta} & \frac{\partial^2 h}{\partial \xi^2} \end{bmatrix}, \mathbf{H}_\xi(h) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 h}{\partial \xi^2} & \frac{\partial^2 h}{\partial \xi \partial \beta} \\ \frac{\partial^2 h}{\partial \beta \partial \xi} & \frac{\partial^2 h}{\partial \beta^2} \end{bmatrix}. \tag{15}$$

经判定,  $\mathbf{H}_\beta(h)$ ,  $\mathbf{H}_\xi(h)$  都为负定矩阵, 则原目标函数都含有最大值.

综上所述, 在 Stackelberg 博弈下的均衡解为

$${}^{\text{st}}\Pi_1 = (\beta^*, \xi^*, q_0^*),$$

$${}^{\text{st}}\Pi_F^M = (\beta^*, \xi^*, q_0^*),$$

$${}^{\text{st}}\Pi_F^S = (\beta^*, q_0^*).$$

## 3 数值仿真分析

参数取值见表 1.

1)  $\xi, q_0$  与  $\beta$  之间的关系.  $\zeta \in [0.3, 1]$ ,  $q_0 \in [0.850, 0.867]$ , 仿真结果如图 2 所示. 当 LSI 质量监督努力水平  $\xi$  一定, LSI 的订单分配比例  $\beta$  随  $q_0$  增大而增大; 当  $q_0$  一定, LSI 的订单分配比

例  $\beta$  随  $\xi$  增大而增大。

表 1 参数取值  
Table 1 Parameter values

参数	值	参数	值	参数	值	参数	值
$\mu$	0.1	$p_0$	55	$\gamma$	0.85	$C_3$	25
$k$	0.1	$p_1$	30	$r$	0.15	$C_1$	20
$\eta$	5	$p_2$	45	$\rho$	0.5	$C_2$	22
$\alpha$	6	$p_3$	50	$\sigma$	5	$M$	30 000

2)  $\xi, \beta$  与  $U(\Pi_1)$  之间的关系.  $\beta \in [0.5, 1]$ ,  $\xi \in [0.3, 1]$  中, LSI 的效用如图 3 所示. 当  $\beta$  一定,  $\xi$  接近于 0.07 时, LSI 期望效用达到最大;  $\xi \in [0, 0.07]$ , LSI 的期望效用随  $\xi$  的增大而增大. 因为质量努力水平较低, 产生的质量监督成本也较低, 但是可以获得较高的惩罚成本, 所以, 总体期望效用是呈上升趋势的. 但是当  $\xi \in [0.07, 1]$  时, LSI 的期望效用随  $\xi$  的增大而减小. 因为此时质量监督努力水平高, 产生的质量监督成本较高, 即使高监督努力水平带来更多惩罚折扣, 并不能弥补质量监督成本, 所以期望效用呈递减趋势.

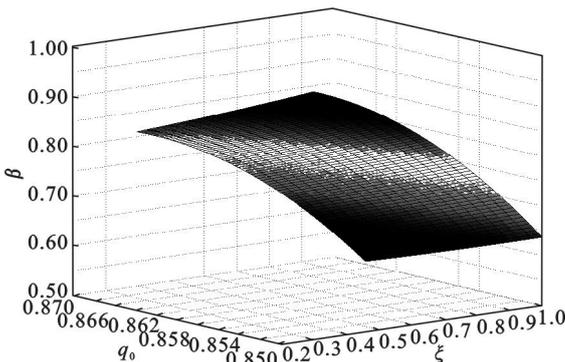


图 2  $\xi, q_0$  与  $\beta$  之间的关系  
Fig. 2 Relations among  $\xi, q_0$  and  $\beta$

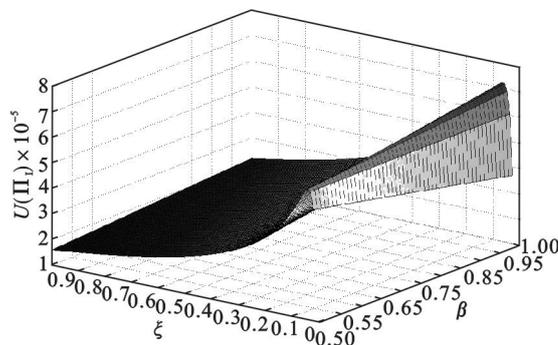


图 3  $\xi, \beta$  与  $U(\Pi_1)$  之间的关系  
Fig. 3 Relations among  $\xi, \beta$  and  $U(\Pi_1)$

3)  $\xi, \beta$  与  $U(\Pi_F^M)$  之间的关系.  $\beta \in [0.5, 1]$ ,  $\xi \in [0, 1]$ , M-FLSP 的效用  $U(\Pi_F^M)$  随  $\xi$  与  $\beta$  的变化趋势如图 4 所示. 当  $\xi$  一定, M-FLSP 的效

用随  $\beta$  增大而增大, 因为  $\beta$  表示 M-FLSP 所得的物流服务分配比例,  $\beta$  越大, M-FLSP 的收益越大, 效用就越大, 且当  $\beta = 1$  时, M-FLSP 的效用达到最大. 当  $\beta$  一定, M-FLSP 的效用随  $\xi$  减小而增大,  $\xi$  减小, LSI 的质量监督力度下降, M-FLSP 被 LSI 的惩罚就会下降, M-FLSP 的损失降低, 故效用总体呈递增趋势.

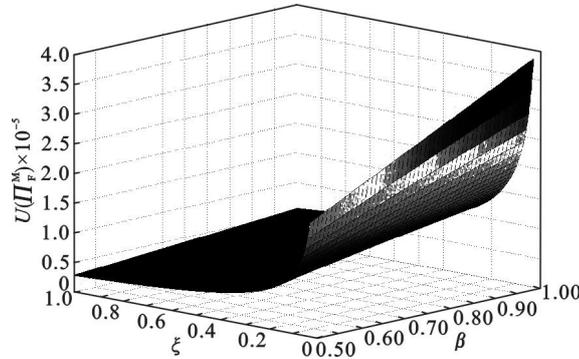


图 4  $\xi, \beta$  与  $U(\Pi_F^M)$  之间的关系  
Fig. 4 Relations among  $\xi, \beta$  and  $U(\Pi_F^M)$

选取  $\xi \in [0, 1]$ ,  $\beta \in [0.5, 1]$ , S-FLSP 的期望效用随  $\xi$  与  $\beta$  的变化趋势如图 5 所示. 在  $\beta$  一定的条件下, S-FLSP 期望效用随  $\xi$  增大而减小. 因为  $\xi$  减小时, 即 LSI 的质量监督努力水平不高, M-FLSP 就会降低质量缺陷担保, 以求得到更多的物流服务需求, 物流服务总需求量的增大, S-FLSP 所得物流服务订单量也相应增加, 故 S-FLSP 期望效用也增大, 且当  $\xi$  趋近于 0 时, S-FLSP 期望效用达到最大.

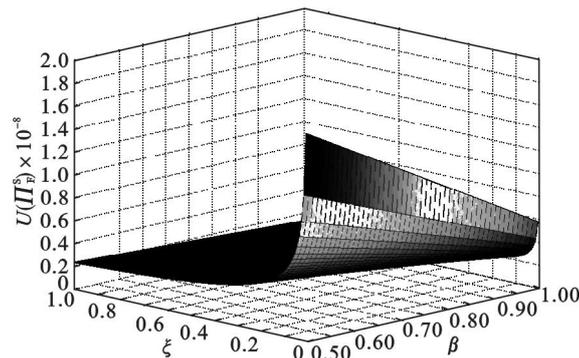


图 5  $\xi, \beta$  与  $U(\Pi_F^S)$  之间的关系  
Fig. 5 Relations among  $\xi, \beta$  and  $U(\Pi_F^S)$

在  $\xi$  一定的条件下, S-FLSP 期望效用随  $\beta$  增大而减小, 根据需求函数可知,  $\beta$  越大, M-FLSP 所得的物流服务订单量就越大, 而 S-FLSP 所得的物流服务量就变少, 所以 S-FLSP 期望效用逐渐变小, 且当  $\beta$  等于临界值 0.5 时, S-FLSP 期望效用达到最大值.

## 4 结 论

本文建立了供应中断下考虑风险规避的物流服务质量控制模型,运用 Stackelberg 博弈进行求解,通过数值仿真知,LSI 的期望效用总体上随 LSI 质量监督努力水平的增大而减小,随物流服务订单分配系数的增大而增大,M-FLSP 的收益随 LSI 订单分配系数的增大而增大,随 LSI 质量监督努力水平减小而增大.未来的研究可考虑多个参与者的风险态度下三级或者四级 LSSC 的质量控制问题.

### 参考文献:

- [1] 田宇. 物流服务供应链构建中的供应商选择研究[J]. 系统工程理论与实践,2003(5):49-53.  
(Tian Yu. Supplier selection in constructing logistics service supply chain[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2003(5):49-53.)
- [2] 刘伟华. 物流服务供应链能力合作的协调研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.  
(Liu Wei-hua. Research on the coordination of capacity cooperation in logistics service supply chain[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University,2007.)
- [3] 李剑锋,陈世平,易荣华,等. 二级物流服务供应链定价及其效率研究[J]. 中国管理科学,2013,21(2):84-90.  
(Li Jian-feng, Chen Shi-ping, Yi Rong-hua, et al. Research pricing decision and efficiency in a two-level logistics service supply chain[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2013,21(2):84-90.)
- [4] Tse Y K, Tan K H. Managing product quality risk in a multi-tier global supply chain [J]. *International Journal of Production Research*,2011,49(1):139-158.
- [5] Liu W H, Xie D, Xu X C. Quality supervision and coordination of logistic service supply chain under multi-period conditions [J]. *International Journal of Production Economics*,2013,142(2):353-361.
- [6] Liu W H, Xie D. Quality decision of the logistics service supply chain with service quality guarantee[J]. *International Journal of Production Research*,2013,51(5):1618-1634.
- [7] Liu W H, Ge M Y, Yang D J. An order allocation model in a two-echelon logistics service supply chain based on the rational expectations equilibrium[J]. *International Journal of Production Research*,2013,51(13):3963-3976.
- [8] Liu W H, Ge M Y, Xie W C, et al. An order allocation model in logistics service supply chain based on the pre-estimate behavior and competitive-bidding strategy [J]. *International Journal of Production Research*,2014,52(8):2327-2344.
- [9] Liu W H, Xu X C, Kouhpaenejad A. Deterministic approach to the fairest revenue-sharing coefficient in logistics service supply chain under the stochastic demand condition [J]. *Computers & Industrial Engineering*,2013,66(1):41-52.
- [10] Liu W H, Liu C L, Ge M Y. An order allocation model for the two-echelon logistics service supply chain based on cumulative prospect theory [J]. *Journal of Purchasing and Supply Management*,2013,19(1):39-48.
- [11] 李剑锋,陈世平,黄祖庆,等. 基于期权与集成商风险规避的物流服务供应链协调[J]. 计算机集成制造系统,2013,19(5):1105-1114.  
(Li Jian-feng, Chen Shi-ping, Huang Zu-qing, et al. Logistic service supply chain coordination based on option and integrator risk aversion [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*,2013,19(5):1105-1114.)
- [12] Matsui K. Returns policy, new model introduction, and consumer welfare [J]. *International Journal of Production Economics*,2010,124(2):299-309.
- [12] Li H X, Li L X, Wang J Y, et al. Fuzzy decision making based on variable weights[J]. *Mathematical and Computer Modeling*,2004,39(2):163-179.
- [13] 李夕兵. 用沙坝矿微震实时监测与安全预警系统研究报告[R]. 长沙:中南大学,2014:65-93.  
(Li Xi-bing. Research report of seismic monitoring & safety early warning system in Yongshaba mine [R]. Changsha: Central South University,2014:65-93.)
- [14] Mikaeil R, Ataei M, Yousefi R. Application of a fuzzy analytical hierarchy process to the prediction of vibration during rock sawing [J]. *Mining Science and Technology (China)*,2011,21(5):611-619.

(上接第 598 页)

- [10] 高永涛,吴庆良,吴顺川,等. 基于 D 值理论的微震监测台网优化布设[J]. 北京科技大学学报,2013,35(12):1538-1545.  
(Gao Yong-tao, Wu Qing-liang, Wu Shun-chuan, et al. Optimization of microseismic monitoring networks based on the theory of D-optimal design [J]. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2013, 35(12):1538-1545.)
- [11] Khalkhali A. Best compromising crashworthiness design of automotive S-rail using TOPSIS and modified NSGAII[J]. *Journal of Central South University*,2015,22(1):121-133.