

风险偏好与供应商选择的计算实验模型

张圣忠, 李 洋

(长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:为了识别风险偏好对供应商选择策略的影响,利用 Multi-Agent 方法和 Eclipse 开发平台构建了包含 3 种具有不同风险偏好供应商组合的计算实验模型。假定产品日需求量服从正态分布,模拟零售商在采用 (S, s) 库存策略的情境下供应商组合的竞争机制和零售商采购价格、库存及利润的变动趋势。并在各个安全库存水平选择具有不同风险偏好的供应商组合进行实验,对零售商日平均利润、日平均库存量和平均采购价格进行数据分析。研究表明:在单供应商获胜机制下,随着零售商安全库存的增加,通过具有相同风险偏好的供应商组合竞争能够降低零售商的采购价格,提高零售商的利润;存在一个安全库存水平值,当零售商安全库存水平低于这一值时,风险回避供应商组合的竞争对零售商有利,当零售商安全库存水平高于这一值时,风险追寻供应商组合的竞争对零售商更有利。

关键词:物流工程;供应链管理;供应商选择;风险偏好;计算实验

中图分类号:F274;C93-03 **文献标志码:**A

Computational experiment model for risk preference and supplier selection

ZHANG Sheng-zhong, LI Yang

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to research the impact of suppliers' risk preference on the supplier selection policy, this paper set up a computational experiment model composed of 3 supplier selection with different risk preference by using Multi-Agent method and Eclipse platform. Assuming that product demand per day obeyed normal distribution and retailers used (S, s) inventory policy, the competition mechanism of supplier selection and the changes of retailers' purchase price, inventory and profit were simulated. Experiments on supplier selection with different risk preference were conducted under different levels of safety stock, and the retailer's day average profit, average inventory and average purchase price were analyzed. The results show that under single supplier win mechanism, competition of supplier selection with the same risk preference can reduce the retailers' purchase price and improve the retailers' profit with the increase of retailers' safety stock. There is a safety stock level, when the retailers' level of safety stock is lower than that level, the retailers should choose the risk-averse supplier selection; when the retailers' level of safety stock is higher than that level, the retailer should choose the risk-seeking supplier selection. 1 tab, 3 figs, 23 refs.

收稿日期:2013-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(71001011);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-11-0716);

教育部科学技术研究重点项目(109147);中央高校基本科研业务费专项资金(人文社科)重点项目(CHDW2011ZD003)

作者简介:张圣忠(1978-),男,安徽寿县人,副教授,工学博士, E-mail: szzhang@chd.edu.cn.

Key words: logistics engineering; supply chain management; supplier selection; risk preference; computational experiment

0 引言

供应商选择是供应链管理领域的焦点问题之一,其核心是供应商评价的标准和供应商选择的方法^[1]。供应商评价标准研究始于20世纪60年代Dickson基于对170个采购代理和采购管理者的调查而总结出的23个供应商选择准则,之后众多学者依据市场需求变化、市场竞争演进、技术创新、产业属性、企业文化、企业管理模式、采购策略以及决策方法等因素的影响或约束,从不同角度对供应商评价标准进行了扩充或重新排序,也有很多文献对不同阶段的研究成果进行了总结^[2-11]。归纳起来,供应商评价标准包括定性的标准和定量的标准,具体评价指标包括价格、质量、提前期、采购费用、交货可靠性、地理位置、服务、环保等,但很少有学者关注相关决策者风险偏好对供应商选择的影响。

风险偏好是决策者面对风险时所产生的权衡利害关系的心理反应,它体现了决策者对待风险的态度,一般分为风险回避、风险中性、风险追寻3类。在供应链竞争的背景下,由于成员企业之间存在普遍的业务关联与合作关系,成员企业决策者的风险偏好会对供应链上下游企业的决策及其收益产生影响^[12]。具体到供应商选择问题,在供销双方长期合作的情形下,供应商的风险偏好至少会体现在其不同时段的价格增减幅度上,进而会影响到采购方的收益。部分学者基于风险偏好的影响,研究了不同偏好组合下供应链的协作方式、契约设计、激励机制等问题^[13-15];少数学者尝试将决策者的偏好信息引入供应商评价模型,以便更科学地选择供应商,但其中的偏好信息是选择方的,没有反映供应商的决策态度^[16-17]。

基于以上认识,本文利用Multi-Agent方法和Eclipse 4.2.0开发平台,通过构建可控制且可重复的计算实验模型,模拟零售商在采用(S,s)库存策略的情境下,3种具有不同风险偏好的供应商组合的竞争趋势,并分析其对零售商采购价格、库存及利润的影响,以指导零售商的策略选择。

1 计算实验及其在供应链管理领域的应用

计算实验主要通过抽象与符号化,对社会或经济现象最基本的情景进行建模,构造人工社会,再以计算机为“实验室”模拟现实世界物质运动的基本动力和规律。由于计算实验能够突破传统社会实验在成本、法律、道德等方面的约束,目前已经被应用于经济演化、社会管理、环境治理、金融市场、产业集聚、技术创新、重大工程项目管理、供应链管理等诸多社会科学研究领域^[18-19]。

在供应链管理领域,孟庆峰应用多主体建模方式(ABM)构建供应链实验平台,研究了需求不确定、供应不确定及提前期不确定对供应链整体绩效的影响,并提出了降低供应链不确定性的优化措施和策略^[20];盛昭瀚等通过计算实验研究方法,建立了以提前期和价格为影响因子的实验模型,讨论了4种类型的两阶段供应链竞争策略和随机库存策略;李真等针对多个供应商和多个零售商组成的结构可变的供应链网络,分析了供应商均不采用协调策略、部分采用协调策略以及均采用协调策略3种情景下供应链网络的竞争绩效^[21];盛昭瀚等利用回购契约,研究了包含一个风险中性供应商和多个相互竞争的风险偏好分销商的两阶段供应链协调问题;杨凌杰借助结算实验模型,研究了供应链网络内风险知识传播的特征和效果,并提出了相应的风险监控和预防措施^[22];李真采用计算实验方法对工程供应链的工期优化、成本优化、质量激励、工期风险、协同决策五大问题进行了研究^[23]。从上述研究可以发现,计算实验由于具有可重复、高效率、低成本等特点,已经成为供应链管理领域重要的研究手段之一,可以尝试将其用于研究风险偏好对供应商选择策略的影响。本文以盛昭瀚等人的研究成果为基础,对其中的模型进行改造,并引入供应商风险偏好因素,以模拟其对供应商选择决策的影响。

2 计算实验模型设计及参数设定

2.1 原型系统

本文构造了3个具有不同风险偏好的供应商组

合,分别为风险回避供应商组合、风险中性供应商组合和风险追寻供应商组合,并作以下假设:

(1)所有供应商的产品相同,主要通过价格和提前期进行竞争;

(2)每个组合均由 3 个具有相同风险偏好的供应商组成,但组合内 3 个供应商的提前期不同,每次只有一个供应商能通过竞价胜出。

2.2 行为设定

在实验前,假定产品日需求量服从正态分布,零售商采用 (S, s) 库存策略,即在当前库存小于安全库存时候选择订货,订的货物数目保证货到时库存为最大库存。除此之外,对零售商和供应商的行为设定如下:

(1)零售商行为:①如果所有供应商竞价相同,那么提前期短的供应商将胜出;②如果没有供应商提前期满足要求,那么提前期最短的供应商将胜出。

(2)供应商行为:①如果供应商在上个订货期中竞价成功,他将提高这一时期的报价;②如果供应商在上个订货期中竞价失败,他将降低这一时期的报价;③所有报价必须在供应商的最小利润和目标利润之间波动。

本文用供应商报价的增减幅度来标识供应商的风险偏好类型,即风险越追寻,报价的增减幅度越大。

2.3 符号说明

$C_i (i=1, 2, 3)$ 为供应商单位产品生产的成本; c 为零售商每日单位产品库存成本; P_i, P 分别为供应商销售价格 ($i=1, 2, 3$) 和零售商的零售价格; $t_i (i=1, 2, 3)$ 为供应商提前期; S, s, s_n, S_{ave} 分别为零售商最大库存、零售商安全库存、零售商第 n 天库存 ($n=1, 2, 3, \dots, 500$) 及日平均库存; D 为零售商所卖货物的日需求量,服从正态分布; $d_n (n=1, 2, 3, \dots, 500)$ 为零售商第 n 天卖出货物的数量; R_{ave} 为零售商日平均利润; m 为总采购次数; P_j, P_{ave} 分别为零售商第 j 次采购价格 ($j=1, 2, 3, \dots, 500$) 和平均采购价格; $B_j (j=1, 2, \dots, m)$ 为第 j 次采购货物的数量; T 为实验时间(500 d)。

2.4 实验情景设计

在交易过程中,尽量保证零售商不断货,每天卖出的货物数量服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 。当 $s_n \geq S$ 时,不需要订货;当 $s_n < S$ 时,需要订货,这时候根据当前货物数量去选择不同的提前期和进货数量。若

$s_n - 3\mu > 0$, 说明 3 个供应商都能够满足零售商要求,选择 P_1, P_2, P_3 中最小的订货,订货数量为 $S - (s_n - 3\mu)$; 若 $s_n - 3\mu < 0$, 且 $s_n - 2\mu > 0$, 说明只有供应商 1、2 可以满足要求,则选择 P_1, P_2 最小的订货,订货数量为 $S - (s_n - 2\mu)$; 若 $s_n - 2\mu < 0$, 且 $s_n - \mu > 0$, 说明只有供应商 1 可以满足要求,只能选择定供应商 1 的货物,订货数量为 $S - (s_n - \mu)$; 若 $s_n - \mu < 0$, 只能选择供应商 1, 订货数量为 S 。这次竞标胜出的供应商根据风险偏好去增加下次竞标价格,未中标的 2 个供应商也根据风险偏好去降低下次竞标价格。按此情境运行 500 d,最后可得到的结果包括零售商日平均利润 R_{ave} 、日平均库存量 S_{ave} 以及平均采购价格 P_{ave} 。目标函数的计算公式为

$$R_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^{500} P d_n - \sum_{j=1}^m P_j B_j - \sum_{h=1}^{500} s_n c}{T}$$

$$S_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^{500} s_n}{T}$$

$$P_{ave} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j}{m}$$

2.5 初始参数设置

对 3 个供应商组合分别设计实验,在每个实验中 $t_1=1, t_2=2, t_3=3$ 。在提前期不同的情况下,供应商的成本分别为 $c_1=215, c_2=210, c_3=205$,所有供应商的报价在其成本的 108% 到 120% 之间波动。第 1 组实验中供应商报价增减幅度为当前的 1%, 第 2 组实验中供应商报价增减幅度为当前的 3%, 第 3 组实验中供应商报价增减幅度为当前的 5%。对于零售商而言, D 服从 $N(3\ 543, 354^2)$ 的分布;销售价格 P 固定为 300 元;每日每件产品库存成本 c 固定为 3 元;最大库存 S 设定为 60 000 件;安全库存 $s \in [7\ 000, 15\ 000]$, 以 1 000 为单位变动。

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

基于上述实验设计和 Multi-Agent 方法,运用 Java 语言编写程序,在 Eclipse 4.2.0 平台上进行模拟。在具体实验过程中,分别在各个安全库存水平选择具有不同风险偏好的供应商组合进行实验,每个实验重复运行 5 次,记录每次实验所获得的零售商日平均利润、日平均库存量和平均采购价格,再取其 5 次实验结果平均值获得最终实验结果见下页表 1。

表 1 不同安全库存水平下的实验结果

Tab. 1 Experiment results under different levels of safety stock

组合种类		不同安全库存(件)的实验结果								
		7 000	8 000	9 000	10 000	11 000	12 000	13 000	14 000	15 000
风险回避供 应商组合	R_{ave}^1 /元	39 611.0	41 686.4	41 215.3	41 192.1	116 117.7	116 114.1	116 034.0	137 994.8	132 067.1
	S_{ave}^1 /件	33 406	33 485	33 502	33 500	34 261	34 263	34 261	33 988	34 349
	P_{ave}^1 /元	252.91	252.70	252.91	252.91	231.21	231.21	231.21	227.00	227.14
风险中性供 应商组合	R_{ave}^2 /元	33 308.1	34 650.1	35 200.0	34 581.1	119 449.4	119 444.8	119 419.1	139 812.5	139 201.7
	S_{ave}^2 /件	33 424	33 495	33 484	33 503	34 259	34 258	34 260	34 091	34 348
	P_{ave}^2 /元	254.73	254.73	254.48	254.73	230.32	230.32	230.32	225.14	225.21
风险追寻供 应商组合	R_{ave}^3 /元	33 200.0	33 835.2	33 900.7	33 803.5	122 558.3	122 900.5	122 857.2	141 309.0	142 490.2
	S_{ave}^3 /件	33 465	33 503	33 499	33 502	34 222	34 260	34 249	34 168	34 354
	P_{ave}^3 /元	254.93	254.93	254.93	254.93	229.33	229.40	229.40	225.07	224.31

其中 R_{ave}^i 、 S_{ave}^i 、 P_{ave}^i ($i=1,2,3$) 分别为零售商选择风险回避供应商组合、风险中性供应商组合、风险追寻供应商组合的日平均利润、日平均库存和平均采购价格。

3.2 实验结果分析

为了直观反映供应商风险偏好对供应商选择策略的影响,接下来对 3 个实验在不同安全库存水平下的结果进行对比分析,比较因素包括日平均利润、平均采购价格和日平均库存。同时,依据实验结果的总体变动规律,将安全库存水平划分为 2 个区间,即[7 000,10 000]和[11 000,15 000]。

图 1 反映的是零售商在不同安全库存水平下,面对不同风险偏好供应商组合的平均采购价格变化趋势。从图中可以看出,总体上不同实验中零售商的平均采购价格都随着安全库存的增加而降低。从不同区间来看,当 $s \in [7\ 000, 10\ 000]$ 时, $P_{ave}^3 > P_{ave}^2 > P_{ave}^1$, 即风险回避供应商组合实验后的采购价格最低,因为在此区间安全库存水平较低,只有提前期最小的供应商能够满足零售商需要,进而供应商会不断提高报价,直到实验设定的最大值,而此时风险回避供应商的报价增幅最小;当 $s \in [11\ 000, 15\ 000]$ 时, $P_{ave}^1 > P_{ave}^2 > P_{ave}^3$, 即风险追寻供应商组合实验后的采购价格最低,因为在此区间随着零售商安全库存的增加,具有不同提前期的供应商都有机会满足零售商要求,供应商之间的价格竞争越发激烈,进而导致采购价格的降低,而此时风险追寻供应商的降价幅度最大。需要说明的是,当安全库存水平增加到 11 000 件时,采购价格显著降低,这主要与安全库存以 1 000 件为单位变动有关。由此可以得出如下结论:在单供应商获胜机制下,随着零售

商库存水平的增加,通过具有相同风险偏好的供应商组合竞争能够降低采购价格;当零售商安全库存水平较低时,风险回避供应商组合的竞争更有利于降低采购价格;当零售商安全库存水平较高时,风险追寻供应商组合的竞争更有利于降低采购价格。

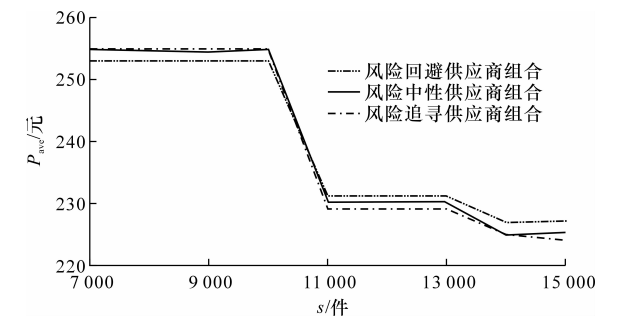


图 1 零售商平均采购价格变动趋势

Fig. 1 Trend of retailers' average purchase price

下页图 2 反映的是零售商在不同安全库存水平下,面对不同风险偏好供应商组合的日平均库存变化趋势。从数值上分析,随着安全库存的增加,不同实验中零售商的日平均库存都呈现小幅波动,但总体波动范围较小。从图 2 中可以看出,当安全库存增加到 11 000 件时,日平均库存突然升高,因为此时 3 个不同提前期的供应商均满足要求,选择提前期为 t_1 的供应商必然推高库存量;而当安全库存增加到 14 000 件时,日平均库存又突然降低,因为此时库存量较为接近能够满足 3 d 的提前期,第 3 d 结束时库存量接近于 0,这样就使得平均库存略微下降。从根本上来说,上述趋势更多是由最大库存和日需求量的设定值所决定的,总体上零售商日平均库存的变化不显著,由此可以得出以下结论:在单供应商获胜机制和具有相同风险偏好的供应商组合竞

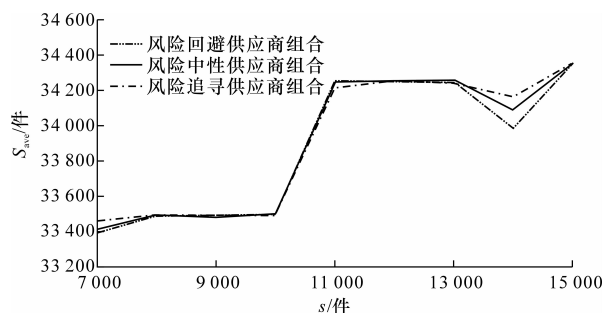


图2 零售商日平均库存变动趋势

Fig. 2 Trend of retailers' average inventory per day

争情形下,供应商风险偏好对零售商的库存水平影响不显著。

图3反映的是零售商在不同安全库存水平下,面对不同风险偏好供应商组合的日平均利润变化趋势。从图中可以看出,总体上不同实验中零售商的日平均利润都随着安全库存的增加而增加,这主要是由采购价格的变动引起的。从不同区间来看,当 $s \in [7\ 000, 10\ 000]$ 时, $R_{ave}^1 > R_{ave}^2 > R_{ave}^3$, 即零售商选择风险回避的供应商能够获得最高利润; 当 $s \in [11\ 000, 15\ 000]$ 时, $R_{ave}^3 > R_{ave}^2 > R_{ave}^1$, 即零售商选择风险追求的供应商能够获得最高利润。根据以上分析可以得出如下结论: 在单供应商获胜机制下, 随着零售商库存水平的增加, 通过具有相同风险偏好的供应商组合竞争能够增加零售商利润; 当零售商安全库存水平较低时, 风险回避供应商组合的竞争更有利于增加零售商利润; 当零售商安全库存水平较高时, 风险追求供应商组合的竞争更有利于增加零售商利润。

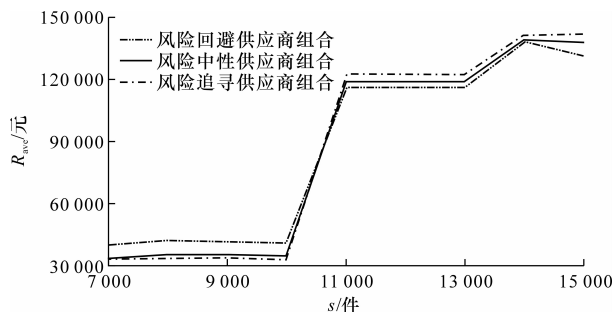


图3 零售商日平均利润变动趋势

Fig. 3 Trend of retailers' average profit per day

4 结 语

(1) 计算实验以计算机作为“实验室”, 通过构造人工社会来模拟经济或社会活动的基本动力和规律, 能够较好地突破传统社会实验在成本、道德、人

为因素等方面的约束, 为研究供应链背景下的成员企业风险偏好问题提供了科学工具。

(2) 零售商在采用 (S, s) 库存策略的情境下, 风险偏好对其供应商选择策略具有显著影响。在单供应商获胜机制下, 随着零售商库存水平的增加, 通过具有相同风险偏好的供应商组合竞争能够降低零售商的采购价格, 提高零售商的利润; 存在一个安全库存水平值, 当零售商安全库存水平低于这一值时, 风险回避供应商组合的竞争对零售商有利; 当零售商安全库存水平高于这一值时, 风险追求供应商组合的竞争对零售商更有利; 而不论安全库存处于什么水平, 风险中性供应商组合的竞争都对零售商不利。

(3) 为了更细致地揭示风险偏好对供应商选择策略的影响, 可以在本文所构建计算实验模型的基础上, 通过引入质量、采购费用、交货可靠性、服务、环保等因素, 改变供应商组合的偏好构成或获胜机制等方式作进一步深化研究。

参考文献:

References:

- [1] Chen Y H, Chao R J. Supplier selection using consistent fuzzy preference relations [J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(3): 3233-3240.
- [2] Gary W D. An analysis of vendor selection systems and decisions [J]. Journal of Purchasing, 1966, 2(1): 5-17.
- [3] Charles A W, John R C. A multi objective approach to vendor selection [J]. European Journal of Operational Research, 1993, 68(2): 173-184.
- [4] Charles A W, John R C, Benton W C. Vendor selection criteria and methods [J]. European Journal of Operational Research, 1991, 50(1): 2-18.
- [5] Thomas Y C, Janet L H. An exploration of supplier selection practices across the supply chain [J]. Journal of Operations Management, 1996, 14(4): 333-343.
- [6] Luitzende B, Eva L, Pierangela M. A review of methods supporting supplier selection [J]. European Journal of Purchasing & Supply Management, 2001, 7(2): 75-89.
- [7] 刘 晓, 李海越, 王成恩, 等. 供应商选择模型与方法综述 [J]. 中国管理科学, 2004, 12(1): 139-148.
LIU Xiao, LI Hai-yue, WANG Cheng-en, et al. A survey of supplier selection models and approaches [J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12(1):

- 139-148. (in Chinese)
- [8] Najla A, Mohamed H, Elkafi H. Supplier selection and order lot sizing modeling: a review[J]. Computers and Operations Research, 2007, 34(12): 3516-3540.
- [9] 陈启杰, 齐 菲. 供应商选择研究述评[J]. 外国经济与管理, 2009, 31(5): 30-37.
CHEN Qi-jie, QI Fei. A review of supplier selection [J]. Foreign Economics & Management, 2009, 31(5): 30-37. (in Chinese)
- [10] William H, Xu X W, Dey P K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: a literature review[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 202(1): 16-24.
- [11] Nung L C, Pei K H. An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(9): 10803-10811.
- [12] 赵晓明, 张玉林. 零售商风险厌恶性对供应商网络直销渠道选择的影响研究[J]. 软科学, 2011, 25(6): 135-139.
ZHAO Xiao-ming, ZHANG Yu-lin. Research on the impact of risk averse of retailers on internet direct marketing channel selection of suppliers[J]. Soft Science, 2011, 25(6): 135-139. (in Chinese)
- [13] 杨德礼, 郭 琼. 基于不同风险偏好组合的供应链协作方式的研究[J]. 管理科学, 2005, 18(5): 7-10.
YANG De-li, GUO Qiong. Research on supply chain coordination under various risk attitude portfolios[J]. Management Science in China, 2005, 18(5): 7-10. (in Chinese)
- [14] 桑圣举, 王炬香, 杨 阳. 具有风险偏好的三级供应链收益共享契约机制[J]. 工业工程与管理, 2008(4): 19-23.
SANG Sheng-ju, WANG Ju-xiang, YANG Yang. Study on revenue sharing contract mechanism in three-stage supply chain with risk preference[J]. Industrial Engineering and Management, 2008(4): 19-23. (in Chinese)
- [15] 鲁 凯. 供应商对不同风险偏好的销售商激励机制研究[J]. 物流技术, 2007, 26(11): 110-113.
LU Kai. Study on incentive policy of suppliers to distributors with different risk partiality[J]. Logistics Technology, 2007, 26(11): 110-113. (in Chinese)
- [16] 傅丽芳, 冯玉强, 刘克兴. 基于偏好约束锥 DEA 模型的供应商综合评价方法[J]. 情报杂志, 2007(7): 11-13, 19.
FU Li-fang, FENG Yu-qiang, LIU Ke-xing. Method for vendor selection based on preference constraint cone DEA model[J]. Journal of Information, 2007(7): 11-13, 19. (in Chinese)
- [17] 许 原. 对方案有偏好的 TOPSIS 供应商选择方法[J]. 物流科技, 2009(4): 40-42.
XU Yuan. Technique for order preference by similarity to ideal solution with preference information for supply chain[J]. Logistics Sci-Tech, 2009(4): 40-42. (in Chinese)
- [18] 盛昭瀚, 张 军, 杜建国. 社会科学计算实验理论与应用[M]. 上海: 上海三联书店, 2009.
SHENG Zhao-han, ZHANG Jun, DU Jian-guo. Theory and applications of computational experiment in social science[M]. Shanghai: Shanghai Sanlian Bookstore, 2009. (in Chinese)
- [19] 盛昭瀚, 张 军, 刘慧敏. 社会科学计算实验案例分析[M]. 上海: 上海三联书店, 2011.
SHENG Zhao-han, ZHANG Jun, LIU Hui-min. Case studies of computational experiment in social science [M]. Shanghai: Shanghai Sanlian Bookstore, 2011. (in Chinese)
- [20] 孟庆峰. 基于计算实验的供应链不确定性建模及其优化研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
MENG Qing-feng. Modeling and optimization of supply chain uncertainty based on computational experiment[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009. (in Chinese)
- [21] 李 真, 盛昭瀚, 孟庆峰. 基于计算实验的供应链返回策略竞争绩效[J]. 软科学, 2011, 25(11): 36-41.
LI Zhen, SHENG Zhao-han, MENG Qing-feng. Competition performance of return policy in supply chain based on computational experiment[J]. Soft Science, 2011, 25(11): 36-41. (in Chinese)
- [22] 杨凌杰. 基于计算实验的供应链网络风险传导研究[D]. 南京: 南京大学, 2012.
YANG Ling-jie. A study on risk diffusion of the supply chain network based on computational experiment [D]. Nanjing: Nanjing University, 2012. (in Chinese)
- [23] 李 真. 基于计算实验的工程供应链协调优化研究[D]. 南京: 南京大学, 2012.
LI Zhen. Research on construction supply chain coordination and optimization based on computational experiment[D]. Nanjing: Nanjing University, 2012. (in Chinese)