

供应链弹性综合优化路径选择模型分析

刘家国, 周粤湘, 李 俊, 赵金楼

(哈尔滨工程大学 经济管理学院, 150001 哈尔滨)

摘 要: 为发挥有限资源的最大效用,在供应链弹性构建的过程中,寻找出弹性瓶颈,确定弹性指标优化顺序至关重要.在综合考虑木桶理论与效价理论结合的基础上,提出了一套供应链弹性综合优化路径选择的方法和模型,并给出了实例分析.结果表明,该优化路径选择方法在简单优化距离上不但考虑了决策者的偏好,而且还考虑了各个指标因素间相互影响的作用使得优化路径选择结果更加符合实际,这为供应链弹性优化指标顺序选择问题提供了参考,具有可行性.

关键词: 优化路径选择;木桶理论;效价理论;指标综合优化;供应链弹性

中图分类号: F224.9

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2014)05-0101-06

A comprehensive optimization path selection model of supply chain resilience

LIU Jiaguo, ZHOU Yuexiang, LI Jun, ZHAO Jinlou

(School of Economics and Management, Harbin Engineering University, 150001 Harbin, China)

Abstract: In order to maximum the effectiveness of the limited resources, it is crucial to find out the bottleneck of the resilience and determine optimal path in the supply chain resilience optimization process. Combining the barrel theory and the utility valence theory, this paper puts forward an integrated method for the path selection of supply chain resilience optimization problem. The results show that the optimal path selection method considers both the preferences of the decision-makers and the interaction among the various indicators. The example shows that the optimal path selected by the proposed method is in line with reality, and it is feasible. This provides a reference for the path selection of supply chain resilience optimization problem.

Keywords: optimization path selection; wooden barrel theory; utility valence theory; indexes comprehensive optimization; supply chain resilience

供应链弹性首先出现在有关供应链脆弱性的研究中,而供应链脆弱性的研究源于1999年台湾“9·21”大地震对世界芯片市场的影响,自从2001年英国爆发口蹄疫和美国“9·11”恐怖事件、2003年非典型肺炎(SARS)之后,供应链脆弱性引起了广泛关注^[1-2].同时伴随着经济全球化的进一步加强,各个企业面临着一个比以往更加复杂、更加充满竞争的外部环境,这就要求现在供应链体系要有一种面对突发事件具有快速响应、快速做出应对的能力即供应链弹性,以使得供应链

在复杂多变的环境下能够维持相对稳定,减少损失.这是因为供应链突发事件不同于供应链日常风险,这类风险发生概率小,难于预测,但可能造成企业本身甚至整个供应链网络的巨大损失^[3-7]. Coutu^[8]将材料学中弹性的定义类比到供应链管理之中,认为供应链的弹性是从困境恢复过来的能力.Lee^[9]对具有较高水平的供应链弹性的特点进行了概括,得出了:敏捷的反应力、良好地适应力和全面的协同匹配.More等^[10]在对供应链中的某些固有属性的研究后为供应链弹性的构建构思了一个整合的框架.Pettit等^[11-12]则从影响因素方面入手,对供应链弹性进行分析,得出影响供应链弹性能力的两个关键因素即供应链能力以及供应链固有的脆弱性,通过这两个因素可以对供应链弹性状况进行定性的分析,其中:供应链能力起到

收稿日期: 2013-04-23.

基金项目: 教育部高等学校博士点专项基金资助项目(200802171023);
教育部人文社会科学一般研究资助项目(11YJC630131);
黑龙江省自然科学基金资助项目(QC2009C26).

作者简介: 刘家国(1979—),男,博士,副教授.

通信作者: 刘家国,liujiaguo@hrbeu.edu.cn.

正向影响作用;而供应链固有的脆弱性起到负向影响的作用.Mitra 等^[13]针对供应链改进其弹性的研究中运用了模糊数学的方法做出了定量分析.刘浩华^[14]在对供应链弹性进行研究后,指出了有关提升供应链弹性能力的原则:适当冗余、增强柔性、“预嵌”弹性、快速反应和多层防御.此外,还有不少学者^[15-16]都对供应链弹性、供应链柔性和供应链鲁棒性等进行了深入的比较、分析,为供应链弹性能力的评价提供了一些思路.

目前的研究主要集中在宏观方面,诸如对供应链弹性内涵、弹性框架、弹性设计等的探讨.而在实践中,企业供应链弹性构建往往是基于当前供应链弹性评估基础上进行优化和改进,那么合理确定弹性瓶颈,寻找合理的弹性指标优化顺序便成为了供应链弹性优化的前提.基于此,本文在针对指标体系的优化顺序问题上,提出了一种优化路径选择的模型,并将各个指标的优化距离作为评判各项供应链弹性指标优化先后顺序的标准,以期决策者提供一种解决优化先后问题的思路.

1 模型构建

1.1 理论设计

对弹性指标进行优化的目的是使供应链提高自身弹性,增强其适应外部或者内部变化的能力,而在对供应链弹性指标进行优化的时候,由于企业决策受到资金、资源、人力等的限制,不可能将所有指标都进行优化.供应链弹性指标的优化问题上必然会涉及到一个孰重孰轻、高低优劣的问题,作为决策者会选择一些重要的、见效快的指标先进行优化,因而在考虑整体供应链弹性优化问题上要找出各个指标的优化先后顺序,即其优化路径选择的问题.在分析优化路径时不仅要从单一的评判标准来衡量各指标的优先顺序,而且应该做到多维度、多角度的考虑,使之能形成一个综合全方面的优化路径以供企业做出更加准确的决策.本文依据木桶理论和效价理论两个维度,对供应链弹性指标进行综合优化,以期能找出一条同时能兼顾两种维度的供应链弹性指标优化路径的方法.

1) 木桶效应与优化路径.木桶理论说的是由多块木板构成的木桶,其价值在于其盛水量的多少,但决定木桶盛水量多少的关键因素是其最短的板块.这块短板就成了这个木桶盛水量的“限制因素”.要想提高木桶的容量,就应该设法加高最短的那块木板的高度.将供应链弹性看作是由众

多木板组成的木桶,将影响供应链弹性高低的各个指标看作是组成木桶的各个木板.从而此“短板”则指的是影响供应链弹性高低的那些薄弱环节,供应链弹性的高低取决于供应链各个指标中最差的一项指标.所以在优化供应链指标的先后顺序上,必须要考虑所有指标中的“短板”,确保最差指标率先优化,将会在很大程度上快速增强供应链弹性,提高供应链弹性的整体水平.

2) 效价理论与路径选择.效价理论来源于性价比的思想,性价比即性能与价格之间的比值,它的比值越大说明性价比越高.基于上述性价比思想,效价理论思想即效用与成本的比值,也就是说在考虑经济活动中不仅要考虑到所能产生的效用,而且还要考虑产生这种效用所要付出的成本,即要考虑效价比,效价比越大,说明该经济活动越值得去做.将效价思想应用到供应链弹性优化上来说就是要考虑各个指标优化过程中企业的成本,以及所付出成本所能带来的指标优化程度或效用.效价比越高说明优化该指标更加经济、更加合理.基于效价理论维度,供应链弹性指标优化路径选择的先后顺序就是要分别计算各个指标相应的效价比,通过比较各自的效价比去决定优先顺序,效价理论在供应链弹性指标优化中就是要找到那些能用更低的成本来达到一定的效用的指标,以期通过较低的成本投入来实现较大的效用回报.

3) 综合理论维度与路径选择.企业在对各个指标优化顺序做决策的时候一方面是要保证改进优化弹性指标中的“短板”,以使供应链整体弹性等级得到快速有效的提升,避免因为单一因素的影响使得整个供应链处于不稳定状态;另一方面也要充分考虑企业在优化指标的过程中所要付出的成本问题,做到以尽可能低的付出得到较高的回报,使自己的效价比尽可能达到最大.因而在两种理论综合考虑下的各个指标的优化路径选择的一般思路可以表述为:

1) 确定优化对象、优化目标以及可供优化的指标.

2) 评价各个指标的优劣程度并计算各个指标的效价比,将指标在各个维度进行排序.

3) 按照给定的模型方法选择路径依次对各指标进行优化,首先确保充分优化排序第 1 的指标.

4) 检查供应链整体弹性等级,若达到目标,则停止优化,若未达到目标,则重复步骤 2)、3),直到供应链整体弹性等级达到预期优化目标.

在构建弹性指标综合优化路径模型的时候就要兼顾两种理论维度,做到“鱼”和“熊掌”兼得的程度,所以,要将两种优化理论放在一个模型中考虑.本文基于几何平面距离的思想,将两种维度放在同一坐标系中进行研究,以使得在对指标优化路径进行选择的时候能兼顾两种单一理论下的优化顺序.本文在对已有的文献[17]中的模型框架进行改进与优化,使之能更符合实际,能更有效地对指标优化顺序进行排列.

1.2 相关假设与参数设定

为了研究方便,对指标综合优化路径选择模型作如下假设:

- 1)单一理论维度下其坐标刻度是相等的,即相邻两个指标在该维度下的优化等级提升是一样的.
- 2)两种理论维度在企业决策者眼中是有各自权重的,且两者的权重之和为 1.
- 3)各个指标之间不是相互独立的,即指标优化后也会相应的对其他的指标产生影响.

本文所用到的模型参数和符号具体如表 1 所示.

表 1 参数及符号设定

符号	含义
$A, B, C, \dots$	弹性指标
x_i	第 i 个弹性指标在“木桶理论”维度的优化距离
y_i	第 i 个弹性指标在“效价理论”维度的优化距离
X	各弹性指标的“木桶理论”维度下的优化距离向量
Y	各弹性指标的“效价理论”维度下的优化距离向量
L	弹性指标综合优化距离
γ	为决策者偏好“木桶理论”维度的权重
A	影响因子矩阵
X'	A 作用下各指标在“木桶理论”维度下的实际优化距离向量
Y'	A 作用下各指标在“效价理论”维度下的实际优化距离向量
x'_i	指标 i 在 A 作用下在“木桶理论”维度下的实际优化距离
y'_i	指标 i 在 A 作用下在“效价理论”维度下的实际优化距离

表中 x_i, y_i 的大小表示该理论维度的优化顺序,值越大,表明在该维度下越先优化.表 1 中

$$X = (x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_n)^T, \\ Y = (y_1 \quad y_2 \quad \cdots \quad y_n)^T.$$

$1-\gamma$ 为“效价理论”维度的权重,其中 $0 \leq \gamma \leq 1$. 表 1 中 A 可以用下列矩阵表示即 $A = [a_{ij}]$. 其中, a_{ij} 为第 i 个指标对第 j 个指标的影响因子,它表示第 i 个指标优化 1% 的时候相应的第 j 个指标会优化 a_{ji} ,显然 $a_{ii} = 1$.

模型具体构建过程如下:

- 1)建立一个直角坐标系,横轴代表“木桶理论”维度,即在此维度下的优化路径,纵轴代表“效价理论”维度,即在此维度下的优化路径.
- 2)将各指标基于“木桶理论”所得出的优化

距离 x_i 依次排列在横坐标轴的相应位置上,其中, x_i 越大表示在该维度下应该优先优化.同样的方法将各指标基于“效价理论”的优化距离 y_i 排列在纵坐标的相应位置上,其中 y_i 越大表示在该维度下越先优化.

3)同时考虑两种优化理论维度,并在兼顾决策者偏好以及指标间的相互影响作用的前提下计算各个指标的综合优化距离 L , L 最大的指标最先优化.

1.3 模型分析与求解

在上述所构建的理论模型框架中,只要求出各个指标的综合优化距离 L 即可得到整个供应链弹性综合优化路径.

当不考虑权重因素以及指标间的相互影响时, L 可以由简单的坐标距离公式求得,即

$$L = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}. \tag{1}$$

在只考虑各个弹性指标的相互影响因子矩阵 A 的作用时,可得出

$$X' = AX = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} (x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_n)^T. \tag{2}$$

同理有

$$Y' = AY. \tag{3}$$

式(3)可理解为当优化某一指标的时候由于其对其他指标的促进作用,使得该指标的实际优化作用变大,即优化该指标的同时能使得其他指标也得到相应的不同程度的优化,在模型框架中变为向右向上移动,表明该指标在考虑到相互影响作用的时候,相比以前优化距离更大,更应该先优化.

此时有实际优化距离

$$L = \sqrt{x_i'^2 + y_i'^2}. \tag{4}$$

当只考虑权重因素时,每个人眼中对两种理论维度的相对重要性不尽相同,所以必须要考虑 γ 的影响,因而权重综合优化距离可有

$$L = \sqrt{(\gamma x_i')^2 + [(1-\gamma)y_i']^2}. \tag{5}$$

式中: $\gamma x_i \leq x_i$ 可理解为在综合考虑两种维度下,“木桶理论”这一单一维度下各个指标的相对的优化距离都相应的缩短为原来的 γ 倍; $(1-\gamma)y_i$ 也可作同样的理解.

综上两个因素分析可得到最终实际综合优化距离 L 为

$$L = \sqrt{(\gamma x_i')^2 + [(1-\gamma)y_i']^2}. \tag{6}$$

这样通过计算出各个指标的 L 就可对各个指标的优化顺序做出判断,得到整个供应链弹性的

优化路径.

通过上述模型框架可以很容易的看出当一个指标在两种维度下都处于最先优化的顺序时,它在综合优化框架中却不一定会是顺序第 1.

2 模型讨论与算例分析

2.1 优化指标体系

供应链的性能及管理的效果需要选择相关的指标进行度量和评价^[18].供应链弹性能力的度量与评价同样的也要进行相关的指标分解与分析,从而保证基于评价指标后的指标优化得到实现.

本文通过对相关文献介绍、借鉴与供应链弹性相关的指标体系的研究以及专家的意见,分别从供应链网络结构、供应链产品生产配送、供应链各企业之间信息传递和相互信任程度、供应链的风险管理、各节点企业库存能力以及供应链资金弹性等几个方面进行指标划分,分解出评判供应链弹性能力的指标体系,结果如表 2 所示.

表 2 供应链弹性指标体系

目标层	1 级指标	2 级指标
供应链的弹性能力	供应链网络弹性	生产商数量
		供应商数量
		分销商数量
	供应链产品生产弹性	产品品种弹性
		新产品的设计弹性
		产品生产数量弹性
		产品生产时间弹性
	供应链产品配送弹性	生产商配送能力
		供应商配送能力
		分销商配送能力
	供应链信息系统弹性	生产商信息系统建设水平
		供应商信息系统建设水平
		分销商信息系统建设水平
		供应链之间信息沟通机制
	供应链企业间的互信关系	供应链企业间的信息传递时间
		生产商与供应商的互信程度
		供应商与分销商的互信程度
		生厂商与分销商的互信程度
供应链的弹性能力	供应链风险管理	同级别企业间的互信程度
		产品生产风险管理
		产品配送风险管理
		产品市场需求风险管理
		产品原材料供给风险管理
	供应链各节点库存能力	产品生产外部环境风险管理
		生产商的库存能力
		供应商库存能力
		分销商库存能力
	供应链资金弹性	产品市场价格弹性
		企业利润率弹性
		供应链融资能力弹性

2.2 案例分析

2.2.1 案例介绍

LX 集团全球分为 2 大总部:第 1 个是位于中国北京市 LX 集团全球行政总部的所在地 LX 中国大厦;第 2 个是 2004 年 LX 集团收购美国著名企业全球 PC 业务时在纽约刚设立的临时总部,称为 LX 国际.2004 年 LX 集团收购美国某企业全球 PC 业务后,同时在中国北京和美国北卡罗莱纳州的罗利设立两个主要运营中心,通过 LX 自己的销售机构、LX 业务合作伙伴以及与该企业的联盟,新 LX 的销售网络遍及全世界.LX 在全球有 27 000 多名员工.研发中心分布在中国的北京、深圳、厦门、成都和上海,日本的东京以及美国北卡罗莱纳州的罗利.

LX 公司处于一个巨大的供应链网络中,供应链总部在北京,全球采购中心在深圳,5 间核心的自主制造厂分别位于北京、上海、深圳、厦门和惠阳.LX 构建了全球的物流体系,保证全球的物料供应和成品向客户端配送的整个物流网络.LX 在全球有近百家的销售机构,产品销售 160 多个国家和地区,全球拥有数万家的合作企业.在如此环境下,LX 公司优化自己供应链弹性,加大其抗击外界以及内部突发事件的影响显得尤为重要.

现 LX 公司想要企业能在全球化浪潮中能更好地适应内外部环境的变化,减少因为突发事件的发生而对企业造成巨大损失,现在由于公司只有有限的资金来对供应链指标进行优化,所以有必要找出所有指标中优化效果最好的先进行优化,以期在有限资源限制下达到优化效果最好.

由于篇幅所限,现以能影响供应链整体弹性的 4 个指标“同级别企业间的互信程度”、“生产商与供应商的互信程度”、“供应商与分销商的互信程度”以及“生产商与分销商的互信程度”为例运用上述所建立的模型框架对这 4 个指标优化的先后顺序进行排列.

分别用 ET、MT、ST、DT 代表上述 4 个指标,在“木桶理论”维度下,通过指标评价优劣得出的优化顺序为 DT、ST、MT、ET,即先优化 DT,继而为 ST、MT,最后是 ET,这也表明,在该体系中,供应链弹性指标中“与分销商的互信程度”就是限制供应链整体弹性等级的“短板”.在“效价理论”维度下通过计算效价比得到的优化顺序为 MT、ST、DT、ET,其中,MT 指标效价比最高,在该维度下最应该先优化.

在这里根据 5 位专家评价得到指标间的相互影响因子如表 3 所示.

表 3 指标间的相互影响因子

相关指标	ET	MT	ST	DT
ET	1.00	0.10	0.30	0.15
MT	0.20	1.00	0.15	0.10
ST	0.30	0.20	1.00	0.25
DT	0.10	0.20	0.15	1.00

为了保证关系矩阵的有效性和一致性考虑到该矩阵是较低维度可对各相关数据进行手动一致性检查从而保证关联数据不出现矛盾.该案例中 4 个指标之间相互影响因子都是正向促进作用,一致性良好.

同时依据专家打分法,取 5 个专家对两种理论维度权重进行打分,取最后的平均分可以得出该案例中决策者偏好“木桶理论”维度所占权重 $\gamma = 0.4$,则“效价理论”维度所占权重为 $1 - \gamma = 0.6$.

2.2.2 案例讨论

按照以上所建模型,将 4 个指标在单一维度下按其优化顺序依次标注在坐标轴上,可得到各个指标组成的优化向量 $X = (1 \ 2 \ 3 \ 4)^T$ 和 $Y = (1 \ 4 \ 3 \ 2)^T$,这样可得到指标 ET、MT、ST、DT 的坐标,如图 1 所示.

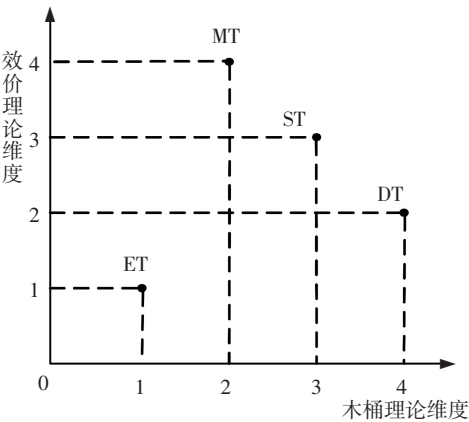


图 1 4 个指标在模型框架中的初始坐标

同时考虑到一个指标优化时必然会影响到其他,比如当指标“DT”得到优化的同时会影响到其他 3 个指标,即在“DT”增加的时候,必然会使得与“ST、MT、ET”得到相应的改善.则根据上述模型所得式(2)以及式(3)可以得出各个指标在不同理论维度下的实际优化距离向量为

$$X' = AX = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.10 & 0.30 & 0.15 \\ 0.20 & 1.00 & 0.15 & 0.10 \\ 0.30 & 0.20 & 1.00 & 0.25 \\ 0.10 & 0.20 & 0.15 & 1.00 \end{pmatrix} (1 \ 2 \ 3 \ 4)^T.$$

则可得

$$X' = (2.70 \ 3.05 \ 4.70 \ 4.95)^T.$$

同理有

$$Y' = AY = (2.60 \ 4.85 \ 4.60 \ 3.35)^T.$$

根据 γ 由式(6)可得出综合实际优化距离 $L_{ET'} = \sqrt{3.6}$,同理可得出 $L_{MT'}$ 、 $L_{ST'}$ 、 $L_{DT'}$.相应的 4 个指标计算过程中优化位置的移动过程如图 2 所示.

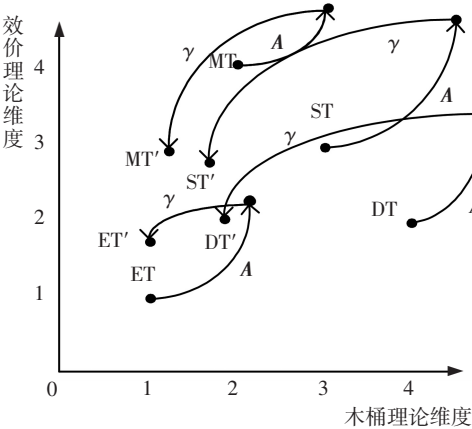


图 2 4 个指标在模型框架中的坐标移动

计算得到并根据各个指标的优化距离可得优化路径为 $ST > MT > DT > ET$.

综上可得该例中各个路径选择方法与结果分析如表 4 所示.

表 4 计算结果及路径选择

路径选择方法	路径选择结果	方法说明	结果分析
木桶理论维度	DT>ST>MT>ET	只考虑单一短板理论	能快速优化最差的指标,但是未考虑资金限制,易造成企业的有限资源达不到理想配置.
效价理论维度	MT>ST>DT>ET	只侧重计算效价比	能得到比较经济的方案,但却不能识别指标评价等级易造成优先优化水平高的指标,而使得优化路径不准确.
综合选择方法,不考虑 γ 、A	MT=DT>ST>ET	综合了两种理论维度,但未考虑决策偏好、因素关系	能兼顾两种维度,达到一种综合优化路径选择的方法,弥补单一维度的不足,但是却没能考虑到现实中的影响因素,略显不够全面.
综合选择方法,考虑 γ 、A	ST>MT>DT>ET	综合了两种理论维度,并考虑决策偏好、因素关系	综合考虑了两种维度并且加入了现实中存在的影响因素,更加确切的找到弹性优化瓶颈,确定优化路径,符合公司预期.

从以上案例中可以看出,虽然在单一的维度下,指标“DT”都不是应该最先考虑优化的,但在综合框架中却成为最应该先优化的,因为在两种不同的维度下,该指标都处于靠前位置,且该指标本身对其他指标的影响因子都较高,说明其本身优化的“价值”较高.在资源有限,不能同时优化所有指标的情况下,优先优化该指标不仅能较好的优化整个系统的短板,而且对企业来说付出的成本也较低,可以说在综合考虑种种因素下,该指标最先被优化是合理且有效的.从该案例可以看出供应链弹性指标的综合优化顺序,在考虑了决策者偏好以及各个指标之间相互影响,优化路径发生了变化,更加符合 LX 公司优化供应链弹性指标的实际情况.

3 结 论

1) 供应链整体弹性系统性能是由若干个指标体现的,增强供应链的抗击干扰的能力,就是要对这些指标进行优化,而在优化指标的过程中,由于企业的资源是有限的,所以在优化供应链弹性指标时,必然涉及到一个指标优化路径选择的问题.确定各个指标的优化先后顺序的优化方案,也就能在资源有限的条件下达到最佳的优化目标.

2) 本文通过在“木桶理论”和“效价理论”两种不同维度下得到的指标优化顺序,构建了一个综合优化框架模型,将两种理论维度同时纳入到模型中进行综合考虑并定义综合优化距离作为评判指标优化顺序的标准.由于考虑了分析优化指标时各种因素的影响,即决策者偏好的不同以及现实中各个指标之间相互影响的作用,引入相应的参数使模型更加符合现实,能更准确的反应实际情况.最后运用该模型分析了 LX 公司优化供应链弹性指标,得出了具体的优化路径.

参考文献

- [1] 张菊亮,陈剑.供应商管理库存应对突发事件[J].中国管理科学,2008,16(5):71-76.
- [2] 庞庆华.收益共享契约下三级供应链应对突发事件的协调研究[J].中国管理科学,2010,18(4):101-106.
- [3] KLEINDORFER P R, SAAD G H. Managing disruption risks in supply chains. *Production and Operations Management*[J], 2005, 14(1): 53-68.
- [4] KNEMEYER A M, ZINNA W, EROGLU C. Proactive planning for catastrophic events in supply chains. *Journal of Operations Management*[J], 2009, 27(2): 141-153.
- [5] 吴军,李健,汪寿阳.供应链风险管理中的几个重要问题[J].管理科学学报,2006,9(6):1-12.
- [6] 张宁,刘春林.应对供应链突发事件风险的企业协作应急策略[J].商业经济与管理,2011,(3):17-23.
- [7] SPEIER C, WHIPPLE J M, CLOSS D J, et al. Global supply chain design considerations: mitigating product safety and security risks [J]. *Journal of Operations Management*, 2011, 29(7/8): 721-736.
- [8] COUTU D L. How resilience works [J]. *Harvard Business Review*, 2002,80(5):46-50,52,55.
- [9] LEE L L. The triple-a supply chain[J]. *Harvard Business Review*, 2004,82(10):102-112.
- [10] MORE D, BABU A S. Perspectives, practices and future of supply chain flexibility [J]. *International Journal of Business Excellence*, 2008, 1(3): 302-336.
- [11] PETTIT T J, FIKSEL J, CROXTON K L. Ensuring supply chain resilience: development of a conceptual framework [J]. *Journal of Business Logistics*, 2010, 31(1): 1-21.
- [12] PETTIT T J, CROXTON K L, FIKSEL J. Ensuring supply chain resilience: development and implementation of an assessment tool [J]. *Journal of Business Logistics*, 2013, 34(1): 46-76.
- [13] MITRA K, GUDI R D, PATWARDHAN S C, et al. Towards resilient supply chains: uncertainty analysis using Fuzzy mathematical programming [J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2009,87(7): 967-981.
- [14] 刘浩华.打造弹性供应链[J].中央财经大学学报,2007(5):63-68.
- [15] 何丽红,王星星.供应链柔性与弹性的比较分析[J].商业时代,2010(15):22-23.
- [16] 朱新球,程国平.弹性供应链研究述评[J].中国流通经济,2011(3):43-47.
- [17] 李俊.基于可拓的供应链弹性综合评价研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.
- [18] 李群明,宋国宁,张士廉.供应链性能评价指标体系的研究[J].中国机械工程,2003,14(10):881-883.

(编辑 张 红)