

自适应供应链及其递归结构的设计与研究

马汉武, 周元敏, 王 跃, 张 超

(江苏大学 管理学院 工业工程系, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 在自适应供应链($A_{\text{dapt}}\text{SC}$)及其主要特性的分析研究基础上,运用活性系统模型(viable systems model, VSM)的核心思想,对自适应供应链的递归结构进行了构建与研究。结合具体公司情境,从整体上描述其组成部分及各部分之间的相互关系,以递归结构描述其应对突发事件的能力和自适应机理,利用结构熵模型,从信息传输效率的角度对该公司的自适应供应链递归结构进行测量与实证。研究结果表明,递归结构更有利于自适应供应链的构建与应用。自适应供应链的结构设计研究对供应链信息技术开发与应用、先进供应链的实施与管理具有非常重要的指导意义。

关键词: 自适应供应链; 递归结构; 结构熵; 自适应控制

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)10-3632-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.008

Research on adaptive supply chain and design of its recursive structure

MA Han-wu, ZHOU Yuan-min, WANG Yue, ZHANG Chao

(Dept. of Industrial Engineering, School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: Beginning with analyzing concept and main characteristics of adaptive supply chain, this paper established recursive structure for adaptive supply chain with Beer's viable system model(VSM). In the empirical analysis, it described its components and the relationship on the whole, and described its adaptive mechanism and ability to respond to variation with the help of recursive structure. Then, using the structural information entropy theory model, it measured the VSM-based adaptive supply chain recursive structure from the perspective of information transmission efficiency for firm C. The results show that recursive structure is more conducive to development and application of adaptive supply chain, researching on the design of adaptive supply chain, and enhancing managerial insight into advanced supply chain management.

Key words: adaptive supply chain($A_{\text{dapt}}\text{SC}$); recursive structure; structure entropy; adaptive control

0 引言

自适应(adaptive)指主体调整自己以应对环境刺激的行为。企业欲在恰当时间将恰当数量和恰当质量的恰当物品送到恰当地点(5 just right)的客户手中,关键在于快速响应(quickly response, QR)乃至实时响应(real-time response)顾客的个性化需求,构建与提升供应链。基于此,HP、SAP等机构率先提出了自适应供应链($A_{\text{dapt}}\text{SC}$),也有译为调适性供应链^[1],强调对顾客需求的实时响应以及组织对环境的自适应控制能力。而供应链绩效的提高、先进的技术支撑和高效的运行机制能有效地发挥效用,首先取决于高效精简的结构。因此,无论是理论界还是企业都极为重视供应链的设计与研究。

Ivanov等人^[2]从流程的角度,对自适应供应链规划与运营控制进行了多结构处理,提出了多结构共同协作的 $A_{\text{dapt}}\text{SC}$ 计划概念模型和数学模型,并用Anylogic仿真验证了模型的有效性。但是其强调的是信息的完全共享,在实践应用中存在很大局限。张纪会等人^[3]建立了适应性供应链的复杂网络演化模型,利用度分布、聚类系数和平均路径长度三个统计指标分析了其无标度特性等生长演化规律,最后给出了仿真结果。付秋

芳等人^[4]提出了即时顾客化定制供应链(instant customized supply chain, ICSC)的概念与其拓扑结构,并应用系统工程理论和方法,建立了其理论模型。李良等人^[5]在对供应链结构进行描述和分类的基础上,利用博弈模型从理论的角度研究了结构对供应链成员合作策略的影响。

以上三项研究在构建供应链模型上具有重大意义,但是缺少实际的应用价值。Qi等人^[6]提出了一个局部世界网络模型,用来描述供应链,用节点之间的相关度来建立网络中每一个节点的局域世界,但是其没有考虑节点去除的情况。Gu等人^[7]介绍了一个新型的网络增长规则,包括节点的增加和减少,建立了一个局域世界演化网络来调查节点去除及局域世界连贯性对网络结构的影响。

国内外学者从不同的角度对供应链结构设计进行了研究,但是很少有学者对其结构进行定量评价。近年来,有学者将物理学中的熵引入到组织结构设计的评价中,并取得了一定进展。吕坚等人^[8]用熵评价直线职能制、事业部制两种组织结构的信息传递效果和效率,证明了组织层次、管理幅度、分权对组织结构敏捷性有重大影响。贾燕等人^[9]把熵理论应用到供应链复杂性的研究中,量化分析供应链各节点之间复杂性产生

收稿日期: 2012-03-12; 修回日期: 2012-04-16

作者简介: 马汉武(1964-),男,江苏南通人,教授,博士,主要研究方向为工业工程与创新、供应链物流管理、复杂系统建模与优化(mahanwu@126.com);周元敏(1985-),女,河南信阳人,硕士,主要研究方向为供应链系统建模与仿真、工业工程;王跃(1986-),女,山西吕梁人,硕士,主要研究方向为生产计划与控制、工业工程;张超(1987-),男,江苏南京人,硕士,主要研究方向为工业工程、供应链管理。

的原因以及复杂性沿供应链在上下游合作伙伴之间的传递过程,为进一步降低供应链的复杂性奠定基础。陈业华等人^[10]针对供应链网络结构的特征,应用信息熵原理及生态网络理论,定义供应链产品流动的生态网络熵聚合度,建立供应链产品动态定价的生态网络熵模型,描述供应链产品中间价格波动的动态过程,给出熵模型收敛的一般性条件及其均衡解。同理,自适应供应链作为一个特殊的组织机构,熵也能够反映其组织层次的高低对信息流通的影响及管理幅度大小对信息传递效率的影响。因此,借助熵能够很好地从信息传输的角度评价自适应供应链的结构。

总结前人的研究,本研究将在探索自适应供应链本质内涵的基础上,致力于研究自适应供应链的递归结构及其信息传输效率;结合实例建立其基于 VSM 的自适应供应链的递归结构模型,借用熵的概念,从信息传递有序度的角度进行评价,并将其与以虚拟组织为核心的供应链结构进行比较。

1 自适应供应链的特性及其递归结构

1.1 自适应供应链的特性及运营机制

Adaptive,与其说是一种新的技术、新的方法,不如说它是一种新的思想,广泛运用于控制系统领域。相对基于时间的竞争战略,自适应供应链更加强调基于事件的驱动,即根据事件的变化从结构与流程上调整系统自身,以响应需求特性。简而言之,自适应 = 事件驱动 + 协同响应。可以认为,所谓自适应供应链,是指围绕核心企业,通过控制信息流、物流、资金流,将供应商、制造商、分销商、零售商以及最终用户整合到一个自适应的、实时响应的、无缝化程度高的功能网络链条系统之中,形成一个具有学习能力的高度可视化动态联盟。相对于其他先进供应链战略,自适应供应链是一个以信息技术为支撑、可视化程度高、具有学习能力的动态联盟,具有极其重要意义的六大特征,如图 1 所示。

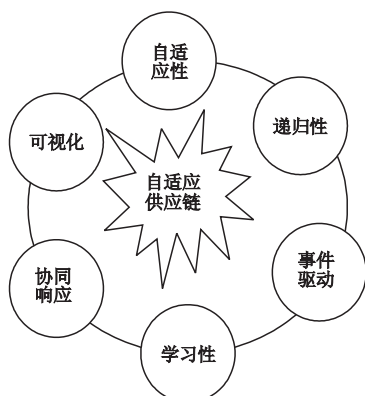


图1 自适应供应链的特征

Beer 在活性系统模型中,用递归性来描述部分中能够找到整体的现象。在自适应供应链中,递归性是指企业内部供应链结构中含有外部供应链的结构形式,以及自适应供应链上的各个节点企业内部的结构形式也与外部供应链的结构形式相同。环境的动态性以及系统的复杂性,导致自适应供应链存在着多样性差异,外部环境与管理层、管理层与运作层之间均存在多样性差异,递归性结构帮助组织迅速从一个进程转换到另一个进程。自适应性是指供应链在环境随时间变化的条件下,自组织地改变自身行为的能力,即为了

达到供应链的(期望、最优)目标,通过保留、改进或兼并等方式形成新特征,实现供应链系统自治的能力。在自适应供应链中,自适应主要是通过控制系统不断地修订供应链自身的参数、形成输入与输出之间的反馈回路来实现的。协同响应是指供应链节点之间通过实现信息和事件的共享,进而准确快速地满足顾客化需求。在传统供应链中,供应链节点企业会为了保证自身的利益不受损失,在信息传递的过程中夸大需求而导致牛鞭效应的出现,所以自适应供应链通过协同响应避免这种现象的出现。可视化即供应链的可见性,不仅对供应链中的库存和资源进行追踪,还要对可用资源的信息进行评价和管理,更要求对资源和作业计划进行管理,以避免潜在问题的出现。自适应供应链的可视化提供供应链上主要流程的实时信息,提高相应流程的运营效率,巩固战略联盟统一战线,增加顾客满意度。学习能力主要是针对自适应供应链节点而言,各节点利用运营和调整系统时所积累的经验处理未来可能碰到的相似问题的能力。事件驱动要求自适应供应链系统能够实时掌握顾客化的需求属性的变动。事件驱动将自适应供应链的管理层与运作层紧密结合,大大提高了系统的运营效率。

流程与整体必须结合起来进行研究。根据 SCOR (supply chain operations reference) 模型,一般供应链运营包括计划、源货、制造、交货和退货五个流程。自适应供应链在这五个方面有其具体表现和特性^[11]:

- 事件驱动特性要求其必须与环境零距离接触,及时获取需求信息、社会环境与未来环境信息,才能及时掌控顾客需求响应特性。
- 计划系统根据输入信息 $U(t)$, 平衡需求与供应能力,制定满足需求的行动方案。
- 自适应供应链内部四个流程之间的协调与响应,即供应商关系管理 (supplier relationship management, SRM)、制造执行系统 (manufacture executive system, MES)、客户关系管理 (customer relationship management, CRM)、退货管理 (return management, RM)。
- 响应结果经由计划系统输出 $Y(t)$ 。
- 控制系统根据输入与输出之间的误差 $E(t)$, 调整自适应供应链内部的结构与流程,其中 $E(t) = U(t) - Y(t)$ 。

图 2 描述了基于 Internet、EDI、RFID 等自适应供应链的运营机制。

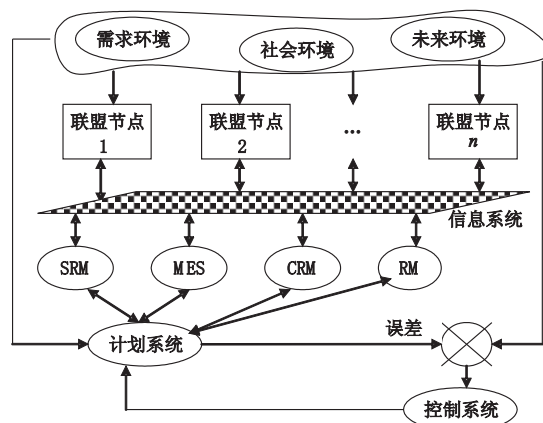


图2 自适应供应链的运营机制

1.2 自适应供应链的递归结构

自适应供应链是一个具有高度动态性的系统,复杂性与多样性是其内在特征。考虑到供应链系统柔性、时间及资源的约束,平衡环境、组织、管理之间的多样性差异就势在必行。HP在探索建立自适应供应链时,明确提出在实施自适应供应链管理时,必须要提供一个简单且标准的环境^[12]。依据 Beer 的活性系统模型(viable systems model, VSM)^[13],通过递归分解(recursion),即部分中能够找到整体的现象,不仅能够平衡环境与组织、组织与管理之间的多样性差异,而且为自适应供应链的结构设计提供了一个简单且标准的环境。图3所示为自适应供应链系统的三阶递归结构,组织系统将不能处理或不处理的需求环境差异经一阶递归结构传递给下层管理系统,下层管理系统通过二阶递归结构将本阶层不能处理的管理层差异继续传递给操作系统来处理,依次逐阶分解差异,直至系统将差异完全消化。在递归分解过程中,每一阶系统都是由更小的标准子系统构成,从而提高了整个供应链在复杂多样性环境中的自适应生存能力。

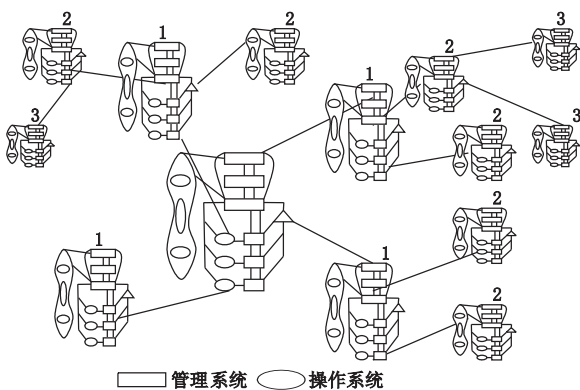


图3 自适应供应链递归结构

2 A_{dapt}SC 递归结构的时效熵和质量熵测量模型

2.1 A_{dapt}SC 结构熵测量的可行性及定义

1) A_{dapt}SC 具有耗散结构的特征

自适应供应链是一个复杂的自适应系统,不断地与外部环境(需求环境、现实环境、未来环境)进行信息交换,具有耗散结构开放性、非线性、非平衡性、随机涨落性的特征。随着供应链节点企业的进入和退出,自适应供应链节点企业之间关系的不稳定性凸现,自适应供应链系统会呈现出有效能量减少、无效能量增加的过程。熵值的增加能反映出系统从有序向无序状态动态演化的过程。

2) 信息效率是衡量 A_{dapt}SC 结构效率的重要指标

从信息论的角度看,信息传递效率和质量的低高能够反映出系统结构的复杂性、有序度及进化发展过程。随着组织层次、管理幅度的增加,信息在自适应供应链系统中的传播将会产生损失甚至失真。信息流是自适应供应链系统协调有序运行的核心,决定着自适应供应链对突发事件的处理能力。为了增加系统信息的有序度,一定要减少自适应供应链结构在设计上的混乱与无序性。不同系统结构的熵值不同,因此结构熵可以用来反映自适应供应链结构的宏观有序程度,间接地评价其结构运行效率。

3) A_{dapt}SC 的结构熵和有序度定义

自适应供应链作为一个复杂自适应系统,其适应能力的影响因素之一就是组织结构化的程度。参照信息熵理论,用有序度来定义自适应供应链的结构化程度^[14]: $R = 1 - \frac{H}{H_{\max}}$ 。其中, H 表示自适应供应链的结构熵; $H_{\max}$ 表示系统的最大熵值,与系统的复杂特性相关。 R 越大,表示系统的有序化程度越高,自适应供应链的结构效率越高。

一个系统,其结构的有序性与信息的传输效率相关,也就是信息流通的时效性和正确性。因此,计算自适应供应链的有序度时,应综合考虑其中信息传输的时效有序度和质量有序度。用公式 $R = \alpha R_1 + \beta R_2$ ^[14]表示。其中: R_1 表示系统中的时效有序度; R_2 表示质量有序度; α, β 分别表示系统中信息传输时效和质量的权重系数。

2.2 A_{dapt}SC 时效熵模型

信息传输的时效熵具体指系统内的信宿在某一个特定时间段内能否及时收到信源传递信息的不确定性^[14]。用 H_1 表示自适应供应链系统的时效熵,在某时间段内,自适应供应链系统中任意两个元素 i, j 之间的时效熵定义为

$$H_1(i, j) = -p_1(i, j) \log p_1(i, j) \quad (1)$$

用时效微观态 A_1 表示系统中任意两元素之间联系的状态。定义自适应供应链中任意两个元素 i, j 之间的最短相关长度为 L_{ij} ,即两元素直接相连的长度为1,每中转一次长度增加1。由此得到自适应供应链系统的微观时效态为 $A_1 = \sum_i \sum_j L_{ij}$,则任意两个元素 i, j 之间联系的时效微观状态出现的概率定义为 $P_{ij} = \frac{L_{ij}}{A_1}$ 。依据信息时效熵的定义,自适应供应链的总时效熵为

$$H_1 = \sum_i \sum_j H_1(i, j) = - \sum_i \sum_j p_1(i, j) \log_2 p_1(i, j) \quad (2)$$

自适应供应链的时效有序度为 $R_1 = 1 - \frac{H_1}{H_{1\max}}$,其中 $H_{1\max} = \log_2 A_1$ 表示最大时效熵。

2.3 A_{dapt}SC 质量熵模型

信息质量熵描述的是信息传输质量的不确定性的^[14]。用 H_2 表示自适应供应链系统的质量熵,在某时间段内,自适应供应链系统中任意两个元素 i, j 之间的质量熵定义为

$$H_2(i, j) = -p_2(i, j) \log_2 p_2(i, j) \quad (3)$$

用质量微观态定义自适应供应链系统中与元素 i 有直接联系的元素的数量,称之为元素联系跨度。定义质量微观态的总数为 A_2 , K_i 表示联系跨度,则任意元素 i 的质量微观状态出现的概率定义为 $P_i = \frac{K_i}{A_2}$,自适应供应链的总质量熵为

$$H_2 = \sum_i \sum_j H_2(i, j) = - \sum_i \sum_j p_2(i, j) \log_2 p_2(i, j) \quad (4)$$

依据质量有序度定义,自适应供应链的质量有序度为 $R_2 = 1 - \frac{H_2}{H_{2\max}}$,其中 $H_{2\max} = \log_2 A_2$ 表示最大质量熵。

3 案例与实证分析

本文在 Wang 等人^[15]建立的基于虚拟组织的某纺织企业供应链结构的基础上,构建其基于 VSM 的自适应供应链结构。

公司 C 建于 1970s, 是全球时尚链中的主导制造商和供应商, 客户主要是企业用户, 提供设计、制造、再生产和贸易服务。核心公司只生产 10 种主导织物的七种, 另外三种外包给 H 公司, 如图 4 所示。从公司 C 的供应链实体之间的联系可以发现以下几个问题: a) 核心公司不能完全控制下属制造企业; b) 外包公司 H 通常会直接将产品销售给客户, 与核心公司 C 形成竞争关系; c) 每个生产基地分散采购, 降低了议价能力。公司 C 为了巩固自己的市场地位, 准备收购外包公司 H, 同时调整供应链结构。在咨询公司的帮助下, C 公司建立了基于虚拟组织的供应链结构, 如图 5 所示。

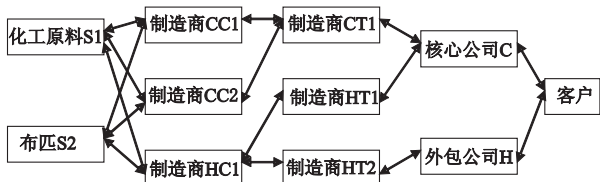


图4 C公司的简单供应链结构

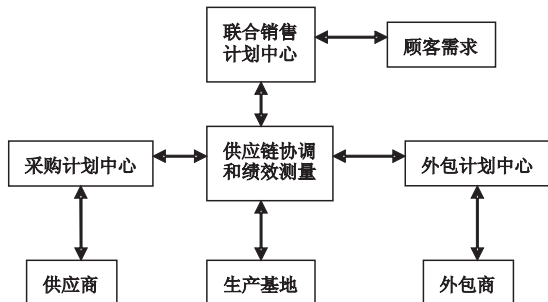


图5 基于虚拟组织的供应链结构

在自适应供应链系统中, 供应链主体各节点首先要具备学习能力, 以增加处理突发事件的能力; 其次, 各节点直接主动接触需求环境并进行信息交流感测, 缩短信息传递的时间, 避免信息传递的失真; 各节点能够随需求环境变化来调整自身的结构及其他参数来协同响应变化。C 企业属于时尚界, 更加追求对顾客需求的实时响应, 因此, 本研究借助 VSM 建立该企业的自适应供应链。VSM 思想要求系统结构与环境的紧密接触, 特别是其递归性思想更有利于自适应供应链节点快速地形成动态联盟。基于 VSM 建立的公司 C 的自适应供应链结构如图 6 所示。

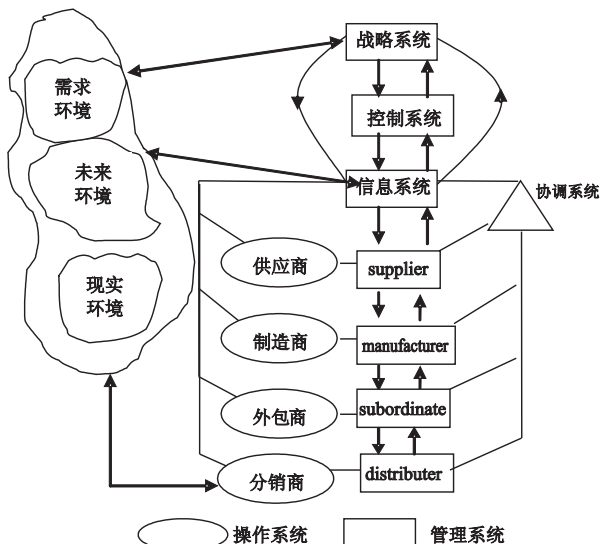


图6 基于VSM的自适应供应链结构

在管理系统中, 协调系统确保以和谐的方式稳定而有效地

利用资源, 处理运作系统面临的短期问题, 抑制运作分区间无法控制的振荡, 应付运作分区管理者之间的冲突。控制系统处理运作单元中遇到的协调系统无法解决的问题、各供应链节点管理者的资源议价, 定期对各运作分区进行质量审计和财务审计。战略系统负责政策制定, 从整体上平衡组织各节点的需求, 并从整体上控制与驾驭自适应供应链系统。而运作系统中, C 公司的供应商、制造商、外包商以及分销商则实行黑箱管理, 自主决策。

为了更有说服力, 本文以 C 公司已经建立的基于虚拟组织的供应链结构为比较对象, 利用结构熵模型, 从系统时效和质量两个方面, 将其与基于 VSM 的自适应供应链结构进行比较。两种供应链结构有序度的比较结果如表 1 所示。

表 1 两种供应链结构有序度比较

供应链结构	时效熵 H_1	质量熵 H_2	时效有序度 R_1	质量有序度 R_2	有序度 $R = \alpha R_1 + (1 - \alpha) R_2$
虚拟组织型 SC	5.286	2.597	0.185	0.278	$0.278 - 0.093\alpha$
VSM 型 $A_{\text{adapt}}SC$	6.5	2.605	0.181	0.418	$0.418 - 0.237\alpha$

基于虚拟组织构建的供应链结构, 时效有序度高于基于 VSM 的自适应供应链结构, 但是质量有序度相对较低, 这说明信息传递的实效与质量性能两项指标不能同时达到最优, 与前人的研究结论相符。当 $0 < \alpha < 0.972$ 时, 基于 VSM 建立的自适应供应链结构更加具有优势; 当 $0.972 < \alpha < 1$ 时, 基于虚拟组织建立的供应链结构较优; 当 $\alpha = 0.972$ 时, 两种结构无优劣之分。对于纺织行业来说, 虽然更加注重信息传递的时效性, 及时了解流行元素, 但是从时效性和质量两因素的角度综合考虑, 一般情况下, $0 < \alpha < 0.972$ 的几率要更大。该结果基本验证了基于 VSM 的自适应供应链由于其管理幅度窄, 管理层次适中, 供应链节点有更大的自治能力, 信息流通效率较高; 而基于虚拟组织的供应链结构则因为沟通渠道多而稍逊一筹。

4 结束语

本文研究表明, 自适应供应链整合了价值链上的各个企业、流程及信息技术工具, 增加了供应链的连通性, 力争实时或近实时地响应顾客不断变化的需求, 帮助企业从“selling what I make”销售策略转换到“making what I sell”的经营理念上来。基于 VSM 建立的自适应供应链的递归结构, 力求与需求环境实时接触, 实现了信息在供应链节点之间的高效流通, 增加了供应链节点的自适应能力。在实证分析中, 应用熵模型从信息传输时效和质量的角度, 证明了自适应供应链的递归结构比基于虚拟组织的供应链的信息沟通效率高, 从而增加了供应链对顾客需求的响应能力。研究还发现, 自适应供应链与敏捷供应链等先进供应链管理战略必须相互补充, 而不能互相替代, 强强联合才能为企业创造最大的效益。

自适应供应链中的重要思想——自适应, 无论是对于技术高度发达的西方国家, 还是对于人力资源丰富的中国, 都是一条新的发展道路, 是供应链管理战略未来的发展方向。本文还处在探索自适应供应链是什么的阶段, 未来的研究将致力于研究其实现方式, 如自适应计划、自适应执行的具体机制与方法, 进一步为企业发展自适应供应链提供指导。

参考文献:

- [1] SAP White paper. Adaptive business networks: a strategy for mastering change and efficiency in manufacturing [EB/OL]. <http://www.sap.com>.
- [2] IVANOV D, SOKOLOV B, KAESCHEL J. A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations[J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 200(2): 409-420.
- [3] 张纪会, 徐军芹. 适应性供应链的复杂网络模型研究[J]. *中国管理科学*, 2009, 17(27): 76-79.
- [4] 付秋芳, 马士华, 林勇. IC 供应链的理论模型及其竞争优势分析的研究[J]. *工业工程与管理*, 2005(1): 25-28.
- [5] 李良, 徐作宁, 郭耀煌. 供应链结构对成员合作策略的影响[J]. *西南民族大学学报: 人文社科版*, 2004, 25(11): 165-166.
- [6] QI Xuan, LI Yan-jun, WU Tie-jun. A local-world network model based on inter-node correlation degree[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2007, 378(2): 561-572.
- [7] GU Yu-ying, SUN Ji-tao. A local-world node deleting evolving network mode[J]. *Physics Letters A*, 2008, 372(25): 4564-4568.
- [8] 吕坚, 孙林岩, 朱云杰, 等. 组织结构有序度的结构熵评价研究[J]. *预测*, 2003, 22(4): 72-74.
- [9] 贾燕, 王润孝, 殷磊, 等. 熵在供应链复杂性研究中的应用[J]. *机械科学与技术*, 2003, 22(5): 692-695.
- [10] 陈业华, 邱苑华. 供应链系统动态价格波动的熵模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2008(10): 59-64.
- [11] PERSSON F. SCOR template: a simulation based dynamic supply chain analysis tool[J]. *International Journal of Production Economics*, 2011, 131(1): 288-294.
- [12] HP report. Building an adaptive supply chain [EB/OL]. <http://www.hp.com>.
- [13] 高军, 赵黎明, 李学栋. 基于 VSM 的组织设计[J]. *天津大学学报*, 2001, 34(6): 749-753.
- [14] 张志峰, 肖人彬. 基于结构熵的生产系统有序性评价的实证研究[J]. *机械工程学报*, 2007, 43(6): 62-67.
- [15] WANG W Y C, CHAN H K. Virtual organization for supply chain integration: two cases in the textile and fashion retailing industry[J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 127(2): 333-342.