

绿色供应链网络设计研究:低碳共生演化视角^{*}

曹翠珍^{*,1} 赵国浩²

(1. 山西财经大学工商管理学院,太原 030031;
2. 山西财经大学管理科学与工程学院,太原 030006)

摘要:构建了绿色供应链低碳共生演化的概念模型,揭示了绿色供应链自适应系统动态演化控制机理;用碳足迹来分析碳排放对供应链总成本的影响,引入不同市场的响应时间变量,考虑响应时间对供应链销售收入的影响;借助罚函数系数来平衡成本、响应时间、碳排放三者的相互制约关系,将多目标优化问题转化为单目标优化,建立了绿色供应链网络设计决策模型,使整个网络在环境质量和经济效益的效率边界实现 Pareto 最优;最后通过数值分析验证了模型的有效性,为绿色供应链网络设计提供辅助决策方案,旨在促进整个供应链的可持续发展。

关键词:绿色供应链;网络设计;共生演化;碳足迹

中图分类号:F224 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1006-6055.2014.03.017

Study on Network Design of Green Supply Chain:a Low-carbon Symbiotic Evolution Perspective^{*}

CAO Cuizhen^{*,1} ZHAO Guohao²

(1. College of Business Administration, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan 030031;
2. College of Management Science & Engineering, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan 030006)

Abstract: A conceptual model of low-carbon symbiotic evolution is established, and the model reveals dynamic evolution mechanism of adaptive system for green supply chain. The influence of carbon emissions is evaluated on supply chains' total cost using carbon footprint, by introducing difference market response-time variables to consider the influences of the response time on the sale income of supply chain. Penalty function coefficient is introduced to balance cost, response time and carbon footprint, which converts the multi-objective optimization problem to a single-objective one. A network optimization model is developed to balance the three targets of supply chain profitability, service level and environmental protection. An example is offered as proof of this model's effectiveness, serving as a supplementary solution to optimization design of green supply chain network.

Key words: green supply chain; network design; symbiotic evolution; carbon footprint

1 引言

“节能低碳,绿色发展”将引领中国未来的发展,决定着新一轮的国家竞争力。中国作为全球第一大 CO₂ 排放国,面临着巨大的减排压力。以低能耗、低排放、低污染为特征的低碳发展模式是未来经济发展模式的新选择^[1]。如果要减缓 CO₂ 排放量的增长,发展第三产业将是一个政策选择^[2]。现代物流业作为新兴服务产业已成为国民经济的重要组成部分和综合国力的重要标志。低碳物流与绿色供

应链是以低碳为主要特征的生态产业体系。绿色供应链管理是指企业在满足资源节约、安全生产和环境保护等法律法规的前提下,建立高效和经济的供应链管理系统为客户提供充分的服务,并承担起伴随产品生命周期全过程的必要的社会责任^[3]。绿色供应链管理本质上是可持续发展战略在现代企业管理中的体现,其充分考虑了资源和环境的问题,而资源、环境、人口又是当今人类社会面临的三大主要问题。

绿色供应链管理是供应链管理领域最热门的研究话题之一,也是使得环境质量与企业竞争力增强最终得到双赢发展的关键路径。供应链管理的目标是供应链整体价值最大化。最好的供应链不仅是快速和成本效益好,更应该具有敏捷(Agile)、适应性强(Adaptable)、利益一致(interests Aligned)的特点,

2013-12-09 收稿,2014-01-07 接受

^{*} 国家自然科学基金(71173141,70873079),山西省高等学校人文社会科学重点研究基地项目(20111312),山西省高校重点学科建设项目(晋教研[2010]7号)资助

^{**} 通讯作者,E-mail:caocuizh@sina.com

即:Triple-A^[4]。而绿色供应链管理是以较高的资源效率来实现整个供应链上经济效益、环境效益和社会效益的统一。因此,绿色供应链的价值集中体现在其“反应能力”、“赢利水平”、“绿色发展”的有机统一。绿色供应链网络设计不仅决定着供应链的结构和价值,还关系到整个社会物流系统和交通运输的合理化及低碳发展。因此,网络设计成为绿色供应链管理的核心问题,Hugo 等^[5]将环境问题融入到供应链网络设计中,从选择、分配等战略问题和具体投资选择等战术问题,对供应链网络设计进行研究;Zamboni 等^[6]采用生命周期法与供应链网络优化相结合的方法构建了生物能源的供应链模型,并据此来评估经济发展和环境保护的可持续性。融合碳排放的供应链网络设计是目前绿色供应链网络设计关注的焦点问题之一,Cruz^[7]以利润最大化、污染物排放最小化、风险最小化为目标模拟了绿色供应链管理的决策行为;Sundarakani^[8]建立了静态和动态环境下供应链全局的碳足迹分析模型并进行数值验证,论证了碳足迹在供应链设计中的重要地位;Chaabane 等^[9]分析了在碳交易市场条件下的绿色供应链网络设计问题,提出了平衡“供应链总成本增加和碳排放减少”的有效途径。国内对绿色供应链网络设计的研究成果很少,方健等^[10]借鉴绿色供应链及可持续供应链的网络设计的相关成果,探讨了构建考虑碳排放的供应链网络设计时应着重关注的相关问题。但关于绿色供应链网络设计有效的决策模型和更深入的定量研究尚不多见。

绿色供应链网络设计着重研究如何通过平衡环境保护、经济效益、社会效益来实现供应链系统协调,但环境问题非常复杂,需要有科学的量化分析工具。用碳足迹来衡量碳排放的环保指标可以有效解决以碳排放为主要污染的环境问题。供应链网络是非线性、动态而复杂的网络,低碳共生演化是绿色供应链自适应系统发展的内在机理,因此,本文基于供应链的低碳共生演化视角,根据“序参量”主宰供应链系统动态演化原理,以供应链总利润最大化为目标,不仅考虑市场响应时间对供应链销售收入的影响,而且引入碳足迹考虑碳排放对供应链总成本的影响,借助罚函数系数来平衡成本低、响应时间快、碳排放少三者的相互制约关系,将多目标优化问题转化为单目标优化,建立网络设计决策模型,统筹供应链的赢利能力、柔性和环境质量三个目标,为绿色供应链网络设计提供辅助决策方案,旨在推动绿色

供应链管理的有效实施,促进经济社会的绿色低碳发展。

2 低碳共生演化概念模型

绿色供应链是基于低碳经济提出的一种理念。供应链结构大多呈现网络结构,在网络结构中存在纵向和横向两种复杂的竞争关系^[11]。绿色供应链网络中涉及的众多具有异质性和自主决策能力的主体,这些主体随时可以根据外部环境变化和其他主体策略的改变而调整自己的行为,因此主体与环境以及主体与主体之间的关系是非线性、动态而复杂的网络关系。在共生与竞争关系的交织之中,供应链组织与系统外界以及系统内部成员协调合作,构成了命运与共的生态系统^[12]。绿色供应链自适应系统是在低碳经济发展环境下催生的一种新型的有机—适应型组织系统,是供应链为实现节点组织利益与环境保护共赢,灵活适应绿色低碳发展要求,自身不断发展完善的结果。供应链自适应系统能够实时感知需求的变动,通过供应链同步来为合作伙伴提供正确信息,以便合作伙伴能够携手对出现的变化做出柔性响应,敏捷地适应新形势^[13]。

根据赫尔曼·哈肯的协同学基本原理,在一个复杂系统的演化过程中,子系统之间密切合作、协同一致、相互作用结合而成一种合力,它就是“序参量”。序参量一旦形成,便成为系统的控制中心,反过来对所有子系统起着支配和主导作用,从而决定整个系统的有序结构和功能行为^[14]。供应链剩余是供应链系统的“序参量”,它支配并主导着整个供应链系统的演化和发展。根据“序参量”控制机理^[15],绿色供应链自适应系统在“序参量”供应链剩余驱使下,各子系统竞争合作,相互作用,使得支持低碳演化的良性涨落放大,支持高碳演化的非良性涨落受抑,最终促使供应链从低级向高级共生演

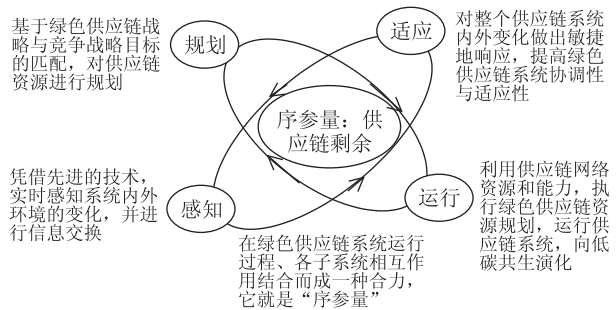


图1 绿色供应链系统演化概念模

Figure 1 Conceptual model for green supply chain evolution

化,实现向低碳运营模式转型。绿色供应链系统演化概念模型可以用图 1 表示,由一个“规划—运行”的前馈环和一个“感知—适应”的反馈环构成。

3 网络设计的思想及假设

3.1 网络设计的基本思想

绿色供应链网络优化与设计不同于一般的供应链网络设计,不仅仅要同时优化成本和服务水平,实现经济效益最大化,在 Pareto 最优前沿效率边界线上寻求一种供应链网络结构^[16],更需要在动态环境下考虑整个供应链上碳排放对供应链价值实现与可持续发展的影响,在供应链的经济效益和环境质量的效率边界上实现均衡。图 2 表示绿色供应链的网络设计时环境质量和经济效益的权衡关系,环境质量改善、二氧化碳的低排放需要供应链上各主体企业进行必要的投入,这就会损失一定的经济效益。所以,同时考虑环境质量和经济效益时,获得的环境质量和经济效益的 Pareto 效率边界,可以在效率边界上找到一个处于环境质量高、经济效益差(如 B 点)和环境质量低、经济效益好(如 C 点)之间的平衡解(如 A 点)。这样就能以较少的投入实现较大的环境质量改善,从而寻求经济效益和环境保护双赢的供应链优化方案。D 点处于效率边界下面,是无效率的点,要向 A 点移动,到达效率边界。随着低碳、绿色技术的快速发展和管理制度的不断创新,还可以将效率边界向外推到新的效率边界,使供应链的环境质量和经济效益得到更好的提升,进一步增强整个供应链的竞争优势。但是这些移动和推移只有通过具体的优化模型对整个绿色供应链的网络系统进行不断地优化、整合、再设计才能实现。因此,绿色供应链网络设计决策实质是根据供应链自

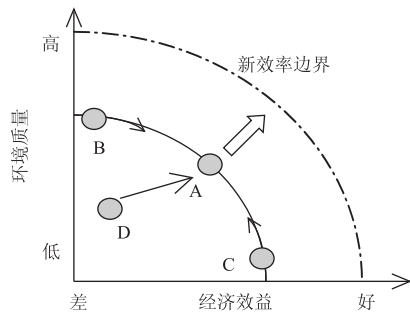


图 2 环境质量和经济效益效率边界

Figure 2 Efficiency boarder between environment quality and economic benefit

适应系统在“序参量”的主导下低碳共生演化的控制机理,以谋求这一驱动力最大化为目标,在环境质量和经济效益的 Pareto 效率边界上寻求平衡点,并随着系统的“感知—适应—反馈”动态演化过程,将效率边界向外推到更高水平的效率边界上,实现供应链系统的绿色、可持续发展。

3.2 网络设计的假设

碳足迹提供了分析人类活动对气候变化影响的新视角^[17]。网络设计首先需要分析碳排放对供应链总成本的影响,准确科学测算供应链各节点的碳足迹及整个供应链上碳足迹的阈值。本文根据英国碳信托(Carbon Trust)公司对碳足迹的定义:用以确定和衡量每件产品或每一项活动的供应链流程中温室气体总排放的碳当量。在 Sundarakani^[8]的研究基础上用碳足迹来测度供应链上各节点及通道上的碳排放。然后在此基础上结合碳排放对绿色供应链网络设计的战略和战术要素的影响,从战略上设计绿色供应链的功能、整体布局、各类设施的备选地址,从战术上设计网络系统中的能力及各类设施之间的运输量、网络通道、交通运输方式选择,进而有效构建绿色供应链网络。

供应链管理的终极目标是追求供应链整体价值最大化,供应链剩余是供应链系统的“序参量”,它支配并主导着整个供应链系统的演化和发展。而供应链的价值和供应链剩余都随着供应链总利润的增加而增加,因此利润最大化不仅决定了其他财务目标,也是价值最大化的一种体现,同时也能反映供应链剩余最大化。本文以利润最大化为目标函数,在前期研究的基础上,引入不同市场的响应时间函数,考虑响应时间对供应链总销售收入的影响,通过罚函数系数同时考虑成本、响应时间、碳足迹三者的均衡,构建网络设计模型。两个罚函数系数分别为:延期交货罚函数系数,定义为未能满足客户响应,系统需求延期的单位处罚成本;碳排放罚函数系数,定义为系统碳排放超过规定阈值的单位处罚成本。现作如下假设:

- 1) 各种待建设施只在给定的备选点中选址,这些备选点都可以在日常系统运行机制下进行科学仿真,并能较好地满足绿色供应链规划运行的需求;
- 2) 节点之间的单位运输成本、单位运输时间、单位运输碳足迹可以通过日常运营数据加工和系统仿真学习积累得到,且与运量呈线性关系;

3)各节点的容量、建设运营成本、碳足迹均可以通过供应链上信息共享,并通过绿色供应链自适应系统实时跟踪获取;

4)不同消费区域的价格是可预测的,并且响应时间对供应链总销售收入的影响函数可以通过实证分析,借助已有曲线拟合手段得到。

4 网络设计模型的构建

4.1 参数符号说明

P = 备选工厂的节点集
 P_i = 工厂 i 的制造能力, $i \in P$
 C_i^P = 工厂 i 的建设与运营成本, $i \in P$
 T_i^P = 工厂 i 的单位生产时间, $i \in P$
 CF_i^P = 工厂 i 的单位生产活动碳足迹, $i \in P$
 D = 备选配送中心的节点集
 D_e = 配送中心 e 的处理能力, $e \in D$
 C_e^D = 配送中心 e 的建设与运营成本, $e \in D$
 T_e^D = 配送中心 e 的单位处理时间, $e \in D$
 CF_e^D = 配送中心 e 的单位处理活动碳足迹, $e \in D$
 R = 需求点的节点集
 R_j = 需求点 j 的需求量, $j \in R$
 T_{GNS} = 网络系统目标响应时间
 CF_{GNS} = 网络系统碳足迹阈值(碳排放的最大限制值)
 C_{ie}^D = 工厂 i 到配送中心 e 的单位运输成本, $i \in P, e \in D$
 C_{ej}^R = 配送中心 e 到需求点 j 的单位运输成本, $e \in D, j \in R$
 T_{ie}^D = 工厂 i 到配送中心 e 的单位运输时间, $i \in P, e \in D$
 T_{ej}^R = 配送中心 e 到需求点 j 的单位运输时间, $e \in D, j \in R$
 CF_{ie}^D = 工厂 i 到配送中心 e 的单位运输碳足迹, $i \in P, e \in D$
 CF_{ej}^R = 配送中心 e 到需求点 j 的单位运输碳足迹, $e \in D, j \in R$
 r_j = 产品在需求市场 j 的价格
 T_j = 产品在需求市场 j 的响应时间, $[t_{j1}, [t_{j2}]$ 为产品在市场 j 的响应区间
 CT_{GNS} = 延期交货罚函数系数,表示需求延期满

足的单位处罚成本
 CCF_{GNS} = 碳足迹罚函数系数,表示系统碳排放超过规定目标的单位处罚成本
 CT_{GNS} 和 CCF_{GNS} 根据不同区域、不同产品、不同阶段选择不同值,如在经济较发达区域的创新型产品的投入期, CT_{GNS} 要选择较大的系数,使得延期交货处罚成本占目标函数的重要权重;而 CCF_{GNS} 的选择可以参照不同区域、不同阶段的碳税,也要考虑企业或产品的生命周期,如当步入成长期以后,低碳发展、绿色发展成为主题,要选择较大的系数。

4.2 决策变量与函数

x_{ie} = 工厂 i 到配送中心 e 的运量
 y_{ej} = 配送中心 e 到需求点 j 运量
 $u_i = \begin{cases} 1, & \text{在节点 } i \text{ 建设工厂} \\ 0, & \text{不在节点 } i \text{ 建设工厂} \end{cases}, i \in P$
 $v_e = \begin{cases} 1, & \text{在节点 } e \text{ 建设配送中心} \\ 0, & \text{不在节点 } e \text{ 建设配送中心} \end{cases}, e \in D$
 $G(T_j)$ = 产品在需求市场 j 的响应时间对销售收入的影响函数

4.3 数学模型

$$\begin{aligned} \text{Max} P = & \sum_{j \in R} G(T_j) r_j \sum_{e \in D} y_{ej} - [(\sum_{i \in P} \sum_{e \in D} C_{ie}^D x_{ie} + \sum_{e \in D} \sum_{j \in R} C_{ej}^R y_{ej} + \sum_{i \in P} C_i^P u_i + \sum_{e \in D} C_e^D v_e) + \\ & CT_{GNS} \times (\sum_{i \in P} \sum_{e \in D} T_{ie}^D x_{ie} + \sum_{e \in D} \sum_{j \in R} T_{ej}^R y_{ej} + \sum_{i \in P} T_i^P u_i \sum_{e \in D} x_{ie} + \sum_{e \in D} T_e^D v_e \sum_{j \in R} y_{ej} - T_{GNS}) \\ & + CCR_{GNS} \times (\sum_{i \in P} \sum_{e \in D} CF_{ie}^D x_{ie} + \sum_{e \in D} \sum_{j \in R} CF_{ej}^R y_{ej} + \sum_{i \in P} CF_i^P u_i \sum_{e \in D} x_{ie} + \sum_{e \in D} CF_e^D v_e \sum_{j \in R} y_{ej} - CF_{GNS})] \end{aligned}$$

s. t.

$$\sum_{e \in D} x_{ie} \leq P_i u_i, i \in P \tag{1}$$
$$\sum_{j \in R} y_{ej} \leq D_e v_e, e \in D \tag{2}$$
$$\sum_{e \in D} y_{ej} \geq R_j, j \in R \tag{3}$$
$$\sum_{i \in P} x_{ie} = \sum_{j \in R} y_{ej}, e \in D \tag{4}$$
$$t_{j1} \leq T_j \leq t_{j2}, j \in R \tag{5}$$
$$u_i \in \{0, 1\}, i \in P \tag{6}$$
$$v_e \in \{0, 1\}, e \in D \tag{7}$$
$$x_{ie} \geq 0, y_{ej} \geq 0, i \in P, e \in D, j \in R \tag{8}$$

上述模型目标函数中第一部分为销售收入,第

二部分为各项成本之和(其中第一项为网络建设与运输成本,第二项为未能满足客户响应需求的处罚成本,第三项为碳足迹超过规定目标的处罚成本)。约束(1)、(2)能力限制;约束(3)需求量限制;约束(4)是节点容量平衡限制;约束(5)到(8)限制了变量的取值范围。

5 算例分析

5.1 参数设置

随着全球低碳经济的发展浪潮,某大型设备公司现研发出一种高附加值的创新型产品需要投放两个市场,其中市场 1 处于发达地区,产品单价为 15 万美元,顾客需求的响应时间为 1~2 周;市场 2 处于欠发达地区,产品单价为 10.5 万美元,顾客需求的响应时间为 3~5 周;预计供应链的总成本为年均 2 600 万美元。整个供应链上的碳足迹为 8 500 吨,拟从三个备选工厂和配送中心中选择工厂和配送中心构建供应链网络。算例中供应链上节点及节点之间的需求量、能力、成本、时间等数据是在实证调研基础上,借鉴 Arntzen 等^[18]的研究方法作适当仿真处理,碳足迹根据 Sundarakani^[8]和罗希等^[19]研究来测算。具体数据见表 1~3。

表 1 节点之间的单位运输成本、时间、碳足迹
Table 1 Unit transport cost, unit time, and unit carbon footprint between nodes

From	To	C (MYM)	T (d)	CF (t)	From	To	C (MYM)	T (d)	CF (t)
P1	DC1	2 340	2	780	DC1	R1	4 780	2	983
P1	DC2	4 450	3	890	DC1	R2	1 450	3	786
P1	DC3	3 440	2	560					
P2	DC1	2 670	2	800	DC2	R1	6 230	2	889
P2	DC2	1 890	3	780	DC2	R2	4 560	3	459
P2	DC3	4 560	1	569					
P3	DC1	8 380	2	1120	DC3	R1	1 023	3	963
P3	DC2	6 730	4	790	DC3	R2	5 250	6	569
P3	DC3	1 920	2	799					

表 2 网络上各节点的能力及建设运营成本
Table 2 Capacities and construction cost of all nodes on the network

P	Capacity	Cost(MYM)	DC	Cost(MYM)	Capacity	R	Demand
P1	720	45 000	DC1	200 000	460	R1	750
P2	900	65 000	DC2	100 000	780	R2	450
P3	600	90 000	DC3	150 000	1 000		

表 3 网络上各节点的单位处理时间及碳足迹
Table 3 Unit processing time and carbon footprint between nodes on the network

P	Time (d)	Carbon Footprint (T)	DC	Time (d)	Carbon Footprint (T)
P1	7	650	DC1	10	890
P2	9	890	DC2	13	987
P3	5	1 000	DC3	12	780

5.2 数值分析

首先,需要构建 $G(T_j)$ 函数。通过对两个市场进行调研和实证研究进行曲线拟合,并结合 LINGO11.0 对模型的反复测试,我们选取以下函数

$$G(T_1) = \frac{1}{(T_1)^2}, G(T_2) = \frac{1}{1 + T_2}$$

经实证检验能较好地逼近实际情况。

其次,需要选择适当的罚函数系数。高附加值的创新型产品要求供应链有很强的反应能力,且产品处于投入期需要有极强的柔性。罚函数系数 CT_{GSN} 应选择较大的数 989, CCF_{GSN} 则可参照不同区域的碳税选取 798。

应用 LINGO11.0 对该问题进行编码调试并求解,可以得出网络设计辅助决策方案:从战略层面节点选择为:选择工厂 1 和 3,配送中心 1 和 2;从运作层面具体配送路径方案可将此模型作为线路优化工具根据数据的动态更新进行实时优化。同时,可以求得当 T_j 取不同值时的优化方案。对于市场 1,延长响应时间,降低反应速度,利润大幅减少;而对市场 2,降低反应速度,利润减少的幅度远远少于市场 1。这一结论对于兼顾供应链整体系统和不同消费区域的需求,平衡供应链的“反应能力”、“赢利水平”、“绿色发展”具有极其重要的意义。

通过算例可见:模型的有效性与可行性是建立在数据真实可靠的基础上。因此,供应链的集成化与信息共享是模型提供的决策方案得以实施的根本保障。这就要求供应链上以核心企业为主导建立数据中心,借助绿色供应链自适应系统的感知和学习能力,实时收集数据,不断进行系统仿真与敏感性分析,并在仿真过程中对模型中的参数进行适时更新与修正。在优化和设计供应链网络时,需要对日常供应链实际运营数据进行分析、加工、处理,并根据低碳经济发展水平的要求和技术合理选择罚函数系数,才能实现绿色供应链网络的不断优化整合。

6 结论

本文揭示了绿色供应链网络中存在的非线性、复杂而动态的关系,分析了绿色供应链自适应系统内部、系统与环境之间相互作用,不断演化发展的过程及控制机理,构建了以系统“序参量”供应链剩余为驱动力的低碳共生演化的概念模型。在此基础上,研究了绿色供应链进行网络设计决策,需要在经济价值和环境质量的 Pareto 前沿构成绿色供应链的

效率边界,对没有处在效率边界上的现有网络系统进行整合优化,使整个网络实现 Pareto 最优。然后,通过碳足迹研究碳排放对绿色供应链总成本的影响,并考虑不同市场响应时间对供应链总销售收入的影响,建立绿色供应链网络设计决策模型,均衡了供应链的赢利能力、柔性和环境质量三个目标,并通过算例分析验证了模型的有效性和可行性。本文认为供应链网络是在节点企业充分信任和互动合作的过程中动态优化的,绿色供应链网络设计就是从根本上顺应系统发展的需求,科学设计与优化供应链网络结构,促进系统向高级有序的方向演化,形成复杂自适应系统,以实现供应链网络组织成员的共赢与可持续发展。同时,基于协调机制与心理契约的供应链共赢为信息共享和协调各方利益提供了基础,保障了绿色供应链设计的实时数据跟踪,这也是未来继续研究的方向。

参考文献

[1] 鲍健强,苗阳,陈锋. 低碳经济:人类发展方式的新变革[J]. 中国工业经济,2008,(4):153-160.

[2] 王锋,吴丽华,杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究,2010,(2):123-136.

[3] 何波. 绿色物流网络系统建模与效率边界分析[J]. 中国管理科学,2012,20(3):138-144.

[4] LEE H L. The Triple-A Supply Chain [J]. Harvard Business Review,2004,82(10):102-112.

[5] HUGO A,PISKOPOULOS E N. Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks [J]. Journal of Cleaner Production,2005,13(15):1 471-1 491.

[6] ZAMBONI A,RICHARD J M ,WOODS J,et al. Biofuels carbon footprints: Whole-systems optimisation for GHG emissions reduction [J].

Bioresource Technology,2011,102(16):7 457-7 465.

[7] CRUZ J M. Dynamics of Supply Chain Networks with Corporate Social Responsibility through Integrated Environmental Decision- Making [J]. European Journal of Operational Research,2008,184(3):1 005-1 031.

[8] SUNDARAKANI B,SOUZA R,GOH M,et al. Modeling carbon footprints across the supply chain[J]. International Journal of Production Economics,2010,128(1):43-50.

[9] CHAABANE A,RANMUDHIN A,KNAROUNE M,et al. Trade-off model for carbon market sensitive green supply chain network design [J]. International Journal of Operational Research,2011,10(4):416-441.

[10] 方健,徐丽群. 考虑碳排放的绿色供应链网络设计研究[J]. 现代管理科学,2012,(1):72-91.

[11] ALBER Y H,TONG S L. Contracting and information sharing under supply chain competition [J]. Management Science,2008,54(4):701-715.

[12] 王凤彬. 供应链网络与竞争优势[M]. 北京:中国人民大学出版社,2006.

[13] 曹翠珍,王俊新. 基于适应性供应链的应急物流网络优化研究[J]. 西北农林科技大学学报,2010,10(4):61-67.

[14] 李忱,王春和. 可持续发展协同机制研究[J]. 中国软科学,2004,(3):152-156.

[15] 卜华白. 企业价值网低碳共生演化的序参量控制机理研究[J]. 经济管理,2010,32(10):134-139.

[16] 何波,孟卫东. 考虑顾客选择行为的逆向物流网络设计问题研究[J]. 中国管理科学,2009,17(6):104-108.

[17] 计军平,马晓明. 碳足迹的概念和核算方法研究进展[J]. 生态经济,2011,(4):76-80.

[18] ARNTZEN B C,BROWN G G,HARRISON T P,et al. Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation[J]. Interfaces,1995,25(1):69-93.

[19] 罗希,张绍良,卞晓红,等. 我国交通运输业碳足迹测算[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2012,33(1):120-124.

作者简介

曹翠珍(1967-),女,博士研究生,教授,主要研究方向:战略管理,物流与供应链管理;

赵国浩(1958-),男,副校长,博士,教授,博导,主要研究方向:战略管理,能源资源管理。