

基于 agent 行为的供应链低碳化建模与仿真^{*}

李昊^{1,2}, 赵道致¹

(1. 天津大学 管理与经济学部, 天津 300072; 2. 吉林师范大学 计算机学院, 吉林 四平 136000)

摘要: 从供应链低碳化出发, 分析了企业碳配额、碳交易市场中的碳价格以及消费者主观购买行为等因素对企业利润的影响。采用 Repast Symphony 实验仿真平台和 Groovy 开发语言, 在复杂的不确定市场环境下, 对供应链参与方行为进行仿真, 建立了引入碳交易因素以后的供应链模型。模型中包含消费者对产品的选择、低碳化运输和采购、供应商选择等市场行为。仿真结果表明, 企业碳配额和消费者主观购买行为对企业利润的影响较大, 对碳交易市场中的碳价格影响较小, 初步验证了模型的有效性。

关键词: 低碳化; 供应链; 代理; 仿真; 行为

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)08-2982-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.046

Agents behavior based modeling and simulation for low-carbon supply chain

LI Hao^{1,2}, ZHAO Dao-zhi¹

(1. Faculty of Management & Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. College of Computer, Jilin Normal University, Siping Jilin 136000, China)

Abstract: This paper established a simulation model after the introduction of carbon trading factors in supply chain with consideration of the uncertainty in a complex market environment and the behavior of participants, and analyzed the impact on corporate profits of company carbon credits, carbon price in carbon trading market and subjective behavior of consumers. The model used Repast Symphony platform and Groovy programming language. Agents behavior included the choice of consumers, low carbon transport and procurement and vendor selection. Simulation results show that the impact on corporate profits of company carbon credits and subjective behavior of consumers is high, carbon price in carbon trading market is low, and validated the feasibility of the model.

Key words: low-carbon; supply chain; agent; simulation; behavior

从《联合国气候变化框架公约》《京都议定书》《巴厘路线图》到《坎昆协议》, 国际社会一直在保护环境和应对气候变化上努力。低碳是人类生活、经济发展以及社会进步追求的目标, 从供应链角度来研究制造、运输、仓储到零售的主要经济活动时, 低碳化同样是不可忽视的重要因素。对于低碳经济中的生产企业来说, 在生产运营中, 实现低碳和可持续发展尤为重要。

参考可持续发展^[1]、绿色供应链^[2,3]以及产品生命周期理论^[4], 在传统供应链结构基础上, 增加了原材料碳排放指标、制造商生产过程碳排放、产品运输过程碳排放、制造商与上下游企业的碳交易以及消费者对消费产品的选择等因素。由此形成新的低碳化供应链结构如图1所示。

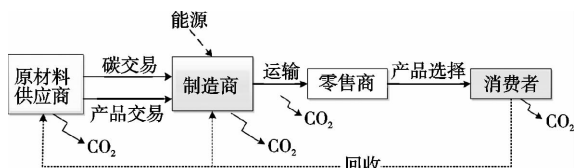


图1 低碳化供应链结构

供应链管理是不确定市场环境下多级参与方相互影响的复杂系统, 而供应链中参与者的主观行为又使得研究的不确定性和复杂性增加^[5-7], 很难对其建立传统的数理模型, 而对供

应链管理的定性分析又无法准确地对发展趋势进行预测。

基于主体(agent)的计算机仿真方法是用来分析、模拟现实经济复杂适应系统的一个有效的方法^[8,9]。通过对供应链参与方主体建模^[10], 对其行为进行仿真, 分析它们的自有属性、行为规则、学习模式、决策规则, 以及外部环境特征和演化机制等, 有助于更好地研究供应链组织形式和机制设计。

1 基于 agent 的供应链低碳化模型

本文建立的供应链理论模型如图2所示, 主体分布的二维市场空间如图3所示, 空间内包含一个处于中心位置的零售商, S 个原材料供应商, M 个不同策略的制造商以及数量为 N 的消费者。

1) 原材料供应商主体

原材料供应商与制造商之间存在着原材料交易和碳交易, 在模型中, 原材料的价格 $p_s(t)$ 包含原材料生产自身成本、运输成本和生产运输过程碳排放导致的成本, 碳排放量 $e_s(t)$ 包括原材料本身碳排放量和生产运输附加的碳排放量。由于原材料市场的不确定性, 每周原材料的属性为不确定因素。制造商主要以这两个属性作为采购决策依据。

2) 制造商主体

收稿日期: 2012-01-31; 修回日期: 2012-03-02 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71072155)

作者简介: 李昊(1977-), 男, 吉林四平人, 博士研究生, 主要研究方向为物流与供应链管理、计算机仿真等(lihao719@163.com); 赵道致(1956-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为物流与供应链管理。

制造商采购决策行为按照侧重价格和碳排放量,分为价格优先型、环保优先型和折中型三种。

制造商每周期的碳排放量配额固定情况下, t 周期碳排放量剩余量为

$$\delta_m(t) = E_m(t) - \sum_{i=1}^{g_m(t)} (e_{si}(t) + e_{mi}) \quad (1)$$

其中: $g_m(t)$ 为生产产品数量,当采用按需生产方式时,为使零售商库存保持稳定,则制造商每周期生产产品数量等于上一期零售商商品销售数量 $q_{mr}(t-1)$; $E_m(t)$ 为制造商最大碳排放量; $e_s(t)$ 为原材料碳排放量; e_m 为生产单位产品碳排放量。

CA 为制造商每周期的免费碳排放量配额,如果 $\delta_m(t) > 0$,碳排放剩余将累计到下一周期,即

$$E_m(t+1) = \delta_m(t) + CA \quad (2)$$

产品的批发价格由生产成本 c_m 、原材料成本 $p_s(t)$ 和购买碳排放权费用所决定:

$$w_{sm}(t) = \begin{cases} \alpha \times (c_m + p_s(t)) & \delta_m(t) \geq 0 \\ \alpha' \times \left(c_m + p_s(t) + \frac{|\delta_m(t)| \cdot p_e(t)}{g_m(t)} \right) & \delta_m(t) \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中: α 、 α' 为采用加成定价法的价格系数, $p_e(t)$ 为单位碳排放交易价格。当 $\delta_m(t) < 0$ 时,制造商 t 周期的利润为

$$\Pi_m(t) = \sum_{i=1}^{g_m(t)} (w_{sm}(t) - c_m - p_s(t)) - |\delta_m(t)| \cdot p_e \quad (4)$$

3) 零售商主体

零售价格 $p_{smr}(t)$ 由产品批发价格和运输成本决定,运输成本由零售商到制造商距离 d_{mr} 与单位距离运输成本 c_d 决定。

产品的碳排放量通过对碳足迹的测量,包括原材料消耗的碳排放量、生产过程中消耗的碳排放量以及运输过程中带来的碳排放量。

忽略运营成本,零售商 t 周期的利润为

$$\Pi_r(t) = \sum_{m=1}^M (p_{smr}(t) - w_{sm}(t) - d_{mr} \cdot c_d) \cdot q_{mr}(t) \quad (5)$$

4) 消费者主体

市场上消费者的消费行为具有很大的不确定性。根据产品的价格和碳排放量 $e_{smr}(t)$,不同类型消费者会选择不同商品。只看重价格而不考虑碳排放量,模型中称为价格优先型消费者,其比例为 $\rho(p_{\min})$;愿意为降低碳排放量支付更高的费用去选择产品,模型中称为环保优先型消费者,其概率为 $\rho(e_{\min})$ 。

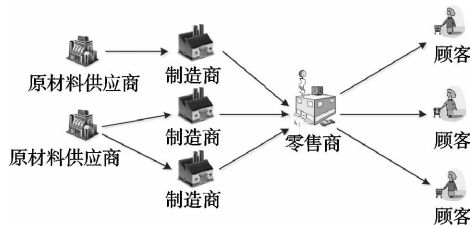


图2 多主体供应链结构

2 仿真结果与分析

本文采用 Repast Simphony 2.0 实验仿真平台和 Groovy 开发语言对以上设定的 agent 进行仿真实现。整个仿真共执行 200 个周期,每个周期对应在供应链上的产品生命周期,主体行为时间序列图如图 4 所示,仿真结果如图 5~8 所示。

参数设定值如表 1 所示,其中:碳足迹测量数据以英国标准协会(BSI)颁布的《pas 2050 产品与服务生命周期阶段的温室气体评估规范》为标准,使用英国碳基金(Carbon Trust)提供

的碳足迹计算工具,以一种假定的高碳排放量日用产品的碳排放量数据作为仿真初始参数;企业碳配额参考欧盟排放交易体系(EU ETS)2008 年非高能耗企业数据;碳排放价格变化范围参照美国区域温室气体减排交易(RGGI)市场价格。

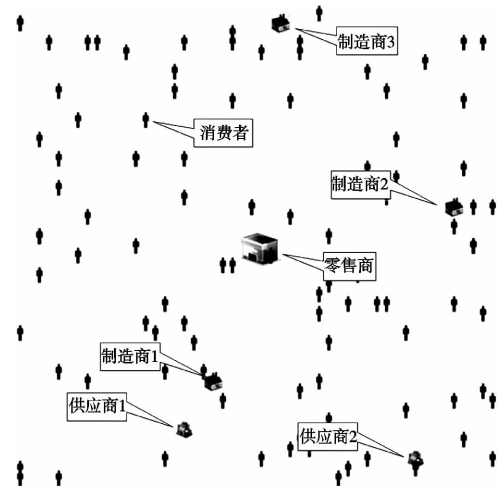


图3 主体随机分布的二维市场空间

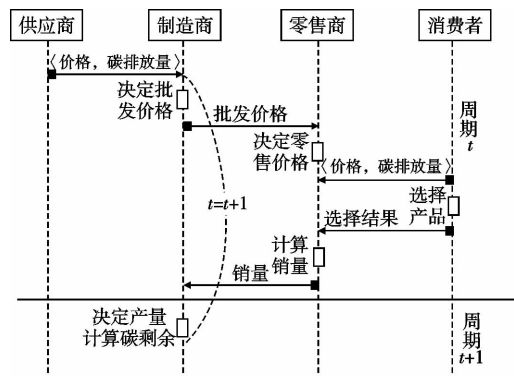


图4 序列图

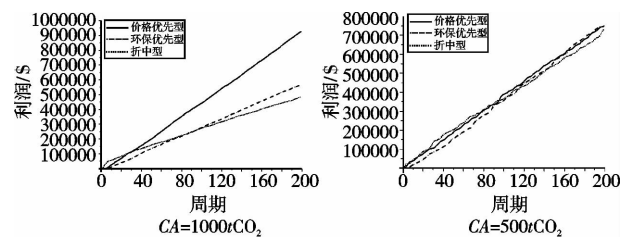


图5 碳配额影响制造商累积利润周期序列图

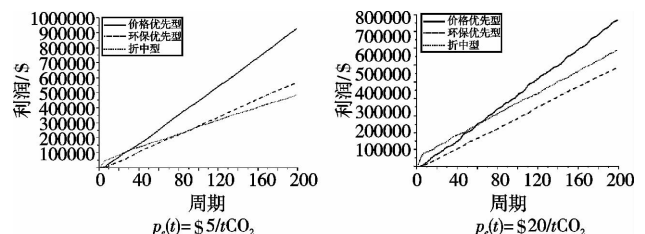


图6 碳排放价格影响制造商累积利润周期序列图

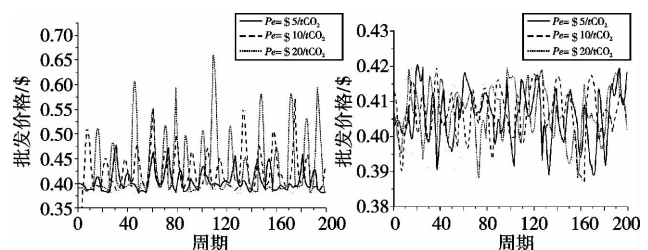


图7 碳排放价格影响产品批发价格周期序列图

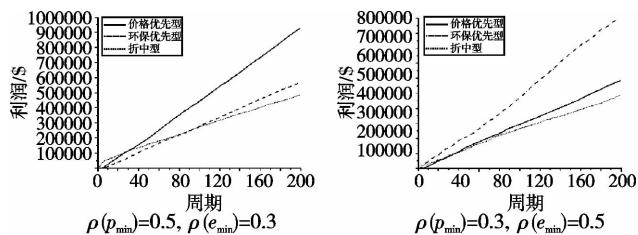


图8 消费者行为差异下制造商累积利润周期序列图

表 1 仿真的参数设定

	图 5	图 6、7	图 8
$\langle c_m, e_m \rangle$		$\langle \$0.1, 0.01tCO_2 \rangle$	
$\langle p_s(0), e_s(0) \rangle$		$\langle \$0.1, 0.01tCO_2 \rangle$	
$\langle c_d, e_d \rangle$		$\langle \$10^{-4}/km, 10^{-4}tCO_2/km \rangle$	
$E_m(0)$		$1000tCO_2$	
CA	-	$700tCO_2$	$700tCO_2$
$p_e(t)$	$\$5/tCO_2$	-	$\$5/tCO_2$
$\rho(p_{min})$	0.5	0.5	-
$\rho(e_{min})$	0.3	0.3	-

从图 5 中可以看出,免费碳配额越大,价格优先型制造商获得越大的利润。加强对制造企业碳配额的限制,可以有效遏制企业的逐利行为,引导企业进行低碳化采购和生产,也使得低碳排放原材料获得更好的市场销售量。碳交易智库 2011 年发布的报告中指出,欧洲钢铁和水泥公司积累了共高达 2.4 亿吨的碳配额,由于这些企业过剩的碳配额,使得企业为了自身利益,而反对欧盟收紧碳排放目标。这表明,免费碳配额过大,并不利于经济效率的提升和温室气体排放的降低。从图 6 中可以看出,碳排放配额价格的改变,对不同策略的制造商的利润影响不大。从图 7 中可以看出,碳排放配额价格升高,采用价格优先策略企业产品的批发价格会随之升高,而环保优先策略企业产品的批发价格没有明显的影响。受低迷的经济运行环境影响,欧洲企业碳排放配额超过工厂实际排放量,导致碳排放配额价格下滑。而提升碳配额价格,并不能有效遏制企业的逐利行为、更好保证环保优先企业利益。从图 8 中可以看出,市场中消费者选择会对企业的利润产生很大影响,当环保优先型消费者比例增加,会明显导致环保优先型企业利润上升,价格优先型企业利润下降。目前,欧洲、美国、韩国等国家都推出了不同的碳标签制度来标志产品碳排放指标,方便消费者了解产品对环境的影响程度。而这种碳标签的出现,有效地降低了企业碳排放量,并带来了很好的利润,比如法国 Casino 公司从 2008 年以来已经减少了 20 万吨 CO_2 排放量。与英国碳基金公司合作的可口可乐、博资、乐购等公司碳排放量减少和利润增加也都验证了仿真结果的正确性。

从企业的角度来看,采取哪种生产与采购策略来保证自身利润最大,应该首先对市场的消费者进行调研,当市场上环保优先型消费者比例等于或超过价格优先型消费者时,采用低碳

化采购和生产策略,会有效地提高企业的利润。从市场角度来看,政府应该通过提高消费者环保意识,有效地引导消费者购买环保型商品,从而可以使企业自发地向着低碳化生产转变。

3 结束语

本文从供应链参与方行为特征和市场不确定性出发,利用 agent 仿真技术,对供应链进行建模,通过建模结果分析与低碳化相关的决策因素,找出它们对企业利润的影响情况,以引导企业从逐利的角度转变为自发地选择低碳策略,并在保证总体利润的情况下,最终实现整个供应链上的低碳化。

本文下一步的工作是对各个因素的影响程度进行定量分析,并进一步研究不同碳交易机制下,各个因素对供应链低碳化的影响。

参考文献:

- [1] SEURING S, MÜLLER M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2008, 16(15): 1699-1710.
- [2] BEAMON B M. Designing the green supply chain[J]. *Logistics Information Management*, 1999, 12(4): 332-342.
- [3] SRIVASTAVA S K. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review[J]. *International Journal of Management Reviews*, 2007, 9(1): 53-80.
- [4] BOJARSKI A D, LAÍNEZ J M, ESPUÑA A, *et al.* Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: an LCA approach[J]. *Computers & Chemical Engineering*, 2009, 33(10): 1747-1759.
- [5] SIMPSON D, POWER D, SAMSON D. Greening the automotive supply chain: a relationship perspective[J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2007, 27(1): 28-48.
- [6] ABDALLAH T, DIABAT A, SIMCHI-LEVI D. A carbon sensitive supply chain network problem with green procurement[C]//Proc of the 40th International Conference on Computers and Industrial Engineering. 2010: 1-6.
- [7] LIN Ying-hui, ZHAO Xiao-fang, ZHAO Xiao-min. Supplier evaluation and selection under the context of reducing carbon emissions across a supply chain[C]//Proc of the 17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. 2010: 1426-1429.
- [8] NORTH M J, MACAL C M. Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation[M]. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- [9] FARMER J D, FOLEY D. The economy needs agent-based modeling[J]. *Nature*, 2009, 460: 685-686.
- [10] 张晴, 刘志学. 基于多 agent 的供应链信息协调建模与仿真[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(10): 3709-3711.