



产品竞争与顾客选择下的 清洁生产技术演化模型

刘小峰^{1,2}, 盛昭瀚², 杜建国^{2,3}

1 南京财经大学 会计学院, 南京 210023

2 南京大学 社会科学计算实验中心, 南京 210008

3 江苏大学 管理学院, 江苏 镇江 212013

摘要: 清洁生产技术是可持续发展的重要途径, 却难以在实践中推广。采用计算实验方法研究产品竞争和顾客选择对清洁生产技术演化的影响, 聚焦规模报酬不变型产品的清洁生产技术, 设定生产者和消费者的适应性规则、产品交易和技术选择规则, 构建产品竞争与顾客选择下的清洁生产技术演化模型。通过多主体建模手段在计算机上实现, 对不同情景下的系统多样性、演化、主体行为以及初始敏感性等问题进行研究。研究表明, 系统演化呈现多样性特征, 演化路径表明过分依赖市场的自由竞争不一定会提高产品的品质和环境水平, 过分地引进清洁生产技术极有可能损害传统技术生产者的利益。揭示了顾客消费行为偏好对技术系统演化的影响, 发现传统技术产品很难进入到一个环保型意识较高的地区或国家, 而清洁技术产品进入到一个环保意识较低的地区或国家却有机会获得一定的市场份额。

关键词: 计算实验; 演化; 清洁生产技术; 复杂自适应系统; 顾客消费行为

中图分类号: F224.32

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2013.06.003

文章编号: 1672-0334(2013)06-0025-10

1 引言

推行和发展清洁生产技术是减少环境污染的重要手段, 是各国政府走可持续发展道路的主要倡导, 中国自2002年发布《清洁生产促进法》以来, 清洁生产工作取得了一定成绩。在“十二·五”规划中, 对于清洁生产明确提出要求, 如工业固体废弃物综合利用率达到72.00%, 资源产出率提高15.00%等^[1]。中国已经成为参与清洁生产技术活动最为活跃的国家之一。

尽管人们充分肯定清洁生产技术 in 改善环境方面的重要作用, 但由于其正面的经济外部性, 清洁生产技术很难通过市场这一无形的手来充分发挥其效力。在现实发展中, 由于清洁生产技术不成熟、清洁

产品价格偏高、消费者环境意识不够强烈等原因, 清洁生产技术很难得到自主、快速有效地推广^[2], 环境规则与企业生产技术之间能否实现“双赢”问题引发人们积极关注^[3]。在这种背景下, 若要更好地推广清洁生产技术、研究清洁生产技术演化规律, 就必须考虑相关参与主体自发的市场行为, 包括供应链成员行为和消费者行为, 否则就可能遭遇市场的惩罚。截至2012年4月中国绿色选择联盟共收录了5 000多家企业的97 000条违规排污记录, 形成污染地图, 追踪污染源所属企业, 确认排污企业与品牌企业的供货关系, 进而影响企业的污染控制与技术选择行为^[4]。消费者等主体在市场中与生产者及其他消费者存在广泛的行为和信息交互, 会影响到消费者当

收稿日期: 2013-05-03 **修返日期:** 2013-11-28

基金项目: 国家自然科学基金(71071072, 71171099, 71203085, 71301070); 江苏省社会科学基金(13SHC014); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 刘小峰(1983-), 男, 江西瑞金人, 毕业于南京大学, 获管理学博士学位, 现为南京财经大学讲师, 研究方向: 环境行为与环境管理、无形资产评估等。E-mail: xiaofenglau@163.com

期或未来的消费选择^[5-6],导致系统演化变得复杂,使评估各个因素对技术选择的影响变得困难^[7]。本研究基于复杂自适应系统理论构建清洁生产技术演化模型,采用计算实验方法实现该模型,并分析清洁生产技术在不同情景下的演化规律。

2 相关研究评述

对于技术演化问题,从 Nelson 等^[8]建立演化经济理论后,已有许多学者根据现实需求建立不同的技术演化模型,其演化模型的结果也不尽相同^[9-10],但很多技术演化模型是从纳尔逊-温特(Nelson-Winter, NW)模型开始的,主要研究一些运营性经济变量对技术创新的影响,如资本生产率、投资决策、生产成本等^[11-12]。除了企业内部因素对技术演化的影响外,学者们对企业外部因素对技术演化或扩散的影响也给予极大关注,如技术引进与自主创新的协同效应^[13]、环境政策对技术演化影响^[14]、公共政策对计算机技术演化影响^[15-16]、地缘差异对清洁生产技术扩散影响^[17]。NW模型一般假设产业内所有企业生产单一同质产品,只研究产品工艺创新,较少涉及产品性能创新,而且模型普遍对消费者反应关注不够^[11];非NW模型一般假设市场中技术的基本特征不会发生变化,从而分析技术的扩散和变迁,挖掘不同技术在市场中的演化规律。而在现实中,企业进行市场竞争时,不同技术水平的产品对不同类型消费者的吸引力不一样;而且技术的特征是随时间变化的、是动态的,其产品是随技术演化动态更新的,这对清洁生产技术而言更为明显,只有消费者认可清洁环保产品并有能力购买才能良性地推动清洁生产技术的健康发展。因此,研究者需要重点考虑这种主体之间的交互性导致的系统演化的差异性,对清洁生产技术的动态性和相关主体的交互性给予充分的关注,这方面已有一些学者做了积极的探索。Remmen^[18]分析员工参与、团队学习等因素对于清洁生产技术发展的影响;黄采金等^[19]基于系统控制理论构建清洁生产技术演化模型,探讨企业偏好模式和从众选择模式对技术市场演变的影响。

清洁生产技术是具有正外部性的准公共产品,市场的力量常常不足以推动其良性发展,为此,政府公共政策和非营利性组织的因素也是学者们关注的重要方面。大多数学者认为政府环境政策对清洁生产技术发展具有正面的作用^[14,20],甚至有学者呼吁中国应构建清洁生产技术的强制许可制度^[21],这虽不符合中国颁布的《清洁生产促进法》对一般生产企业强调自愿原则,却也反映了学者对于清洁生产技术推广的学术主张。除了政府的强力政策外,周建华等^[22]认为企业自愿组成的非营利组织在清洁生产技术推广上拥有信息充分和集体行动效率等比较优势,可实现环境绩效和行业发展的双赢。但现有研究大多从宏观分析和实证分析的角度阐述政府政策对于清洁生产技术发展的必要性,或者从定性的角度构建政府引导策略模型,较难反映出不同政策或

政策组合对清洁生产技术演化的影响,数理逻辑和计算机情景模拟的精细分析变得必要。

综上所述,技术演化研究已取得了积极的成果,不同因素对技术演化影响的研究也有较大突破,然而对清洁生产技术而言,相关主体的同质假设以及用一些常量或服从某些特定函数的变量或假设处理某些因素对清洁生产技术的影响较难反映出其本质特征,清洁生产技术涉及环境问题的相关主体的交互性、动态性等复杂性特征,促使一些研究者寻找新的研究方法^[23-24]。本研究基于计算实验方法,从行为与复杂性的视角出发^[25],认为市场参与者是有限理性的、自适应的,系统中消费者选择产品时会根据自身特点综合考虑价格、品质和环境水平因素^[26],生产者会根据消费者信息和市场竞争信息自适应做出技术选择^[27],在此基础上采用计算实验方法分析传统生产技术和清洁生产技术在不同情景下的演化规律,研究消费者产品选择行为和生产竞争者技术选择行为对市场结构和产品技术特征的影响,评估清洁生产技术在不同市场竞争情形下的应用前景,同时分析不同政策对技术演化的影响,为政府推行清洁生产技术提供决策支持。

3 模型结构

3.1 模型描述

本研究构建的模型中主要包含生产者和消费者两种主体,两种主体均具有自适应性,会根据环境、自身特点、交互信息等做出适合自身发展的选择。生产者在产品竞争和顾客选择影响下选择适合自身的技术路径,消费者根据自身偏好和市场信息购买产品,生产者技术选择影响消费者的偏好和需求水平,同时消费者偏好和需求水平的改变影响生产者的技术选择,主要关系如图1所示。

(1) 消费者根据自己的偏好、需求水平(图1的箭头1)和市场信息(图1的箭头1')做出是否购买该产品的选择。

(2) 生产者根据消费者偏好、需求水平(图1的箭头2)和竞争者行为(图1的箭头2')做出适合自身的技术路径选择。生产者做出技术路径选择后,其生产的产品信息将得到更新,并形成新的市场信息,这些市场信息会在下一周期影响消费者的行为和属性变化,如是否选择产品、调整自身偏好和需求水平。

(3) 交易后,消费者根据市场中产品特征的平均水平(图1的箭头3)和自己的消费偏好(图1的箭头3')更新自身的需求水平。

(4) 若某个生产者在交易中不能满足与之接触的所有消费者的需求水平(图1的箭头4),同时在竞争中没有达到一定数量的盈余积累,将遭到市场的淘汰。

3.2 模型假设

为更准确地刻画清洁生产技术模型,本研究对模型做如下假设。

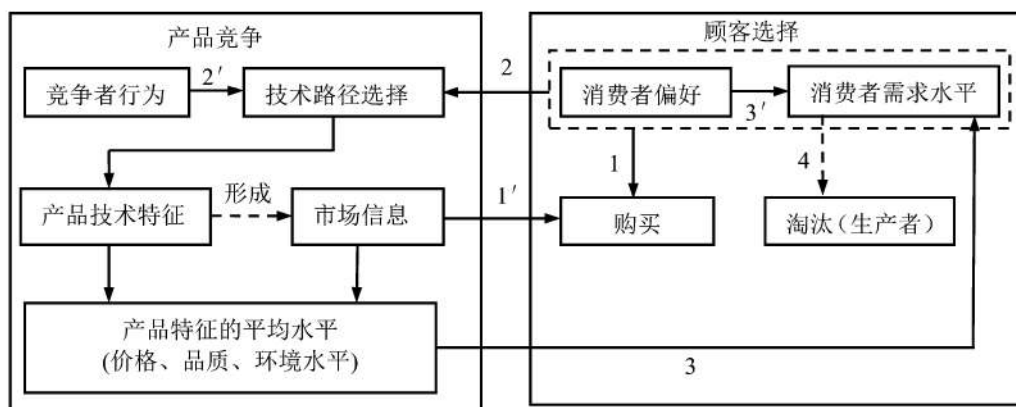


图1 清洁生产技术演化模型

Figure 1 Clean Production Technology Evolutionary Modeling

(1) 系统内有 n 个生产者、 m 个消费者。所有生产者生产同类产品,但产品的价格、质量和环境水平各不相同,即产品同类但不同质。在演化初期,有 n_0 个生产者采用清洁生产技术,在环境水平、产品品质和国家政策方面有竞争优势;有 $(n - n_0)$ 个生产者采用传统生产技术,在生产效率和产品价格方面具有竞争优势。

(2) 生产过程中,为生存或获得更大的竞争优势,生产者在同行竞争和消费者产品选择影响下进行技术创新,技术创新随时间遵循的路径称为技术路径^[28]。参考已有研究^[11-12,28],本研究假设生产者的技术创新是渐进式创新,技术创新的方向为提高生产率、提高产品性能或提高产品的环境水平。

(3) 根据对产品价格、品质和环境水平的敏感程度,本研究把消费者分为3类。第1类为实用型消费者,对产品的品质要求较高,期望适中的价格和可接受的产品环境水平,这类人群占有所有消费者的比例为 α_1 ;第2类为环保型消费者,对产品的环境水平有严格的要求,对价格相对不敏感,这类人群占有所有消费者的比例为 α_2 ;第3类为经济型消费者,对价格非常敏感,对品质和环境水平的表现要求相对较低,这类人群占有所有消费者的比例为 $(1 - \alpha_1 - \alpha_2)$ 。

(4) 假设研究的产品是规模报酬不变型产品,即生产效率不会随生产规模的扩大而提高,只有提高技术水平,才能提高经济效益。生产函数满足柯布-道格拉斯生产函数,技术特征符合 North^[29] 提出的中性技术模式,即

$$Y = A(t)L^{1-\varepsilon}D^\varepsilon \quad (1)$$

其中, Y 为产值, $A(t)$ 为生产技术水平, L 为投入的劳动力, D 为投入的资本, $(1 - \varepsilon)$ 为劳动力产出的弹性系数, ε 为资本产出的弹性系数。此外,本研究假设研究的产品为易逝性产品,不存在产品积压情况。

3.3 参与者行为规则

本研究认为系统中的参与者处于竞争和供应链中的不同位置,会根据环境和其他参与者的行为变

化调整自己的行为以实现不同的目的,即参与者具有自适应性。系统参与者之间的行为交互主要由简单的规则驱动,这些交互可能引起系统的非线性动态变化,导致系统演化路径变得复杂^[30],即适应性造就复杂性。参与主体的自适应性以及适应性造就复杂性的模型特征是复杂自适应系统理论建模与其他建模方法的本质区别,下面主要通过对参与主体的属性和行为规则的描述刻画系统成员之间的交互关系。

3.3.1 生产主体的适应性规则

一般而言,生产主体在生产之前需要根据自身特点和市场判断进行技术路径选择,在销售产品时需要进行产品定价。同时,生产主体的决策也影响着自身的发展,如技术路径选择决定生产情况(如产品数量和特征)、产品特征和产品价格决定销售状况、销售状况和资本积累等情况决定生产者是否被市场淘汰。

由于产品具有异质性和规模报酬不变性(模型假设4),竞争时可能出现市场细分现象^[31],产品价格并不是主要的竞争手段,为此本研究假设生产者的定价是基于生产成本的,有

$$p = c(1 + \mu) \quad (2)$$

其中, p 为产品价格; c 为生产成本,由生产方式和技术水平决定, $c = \frac{(D + LG)}{Y}$, G 为单位劳动力成本; μ 为生产者的满意利润水平。易得生产者的盈利水平 U 为

$$U = q_0p - qc \quad (3)$$

其中, q_0 为销售量, q 为生产量。由于产品是规模报酬不变型产品(模型假设4),故假设生产者主要对技术进行投入。当 $U > 0$ 时,其投资额为 R , $R = \theta U(1 - \sigma)$, θ 为用于技术投资的比例, σ 为资本盈余等。 R^1 为生产者致力于提高生产效率的技术创新投入, $R^1 = b_1R$, b_1 为该生产者在提高生产效率方面的投资比例; R^2 为生产者致力于提高产品品质的技术创新投入, $R^2 =$

b_2R, b_2 为该生产者在提高产品品质方面的投资比例; R^3 为生产者致力于改善产品的环境水平的技术创新投入, $R^3 = b_3R, b_3$ 为该生产者在改善产品的环境水平方面的投资比例; 且有 $b_1 + b_2 + b_3 = 1$ 。

最后, 若生产者不能很好地满足消费者的需求致使入不敷出, 即所有生产周期的盈余之和小于零, 则将在市场竞争中遭到淘汰, 即

$$\Pi = \sum (U - R) < 0 \quad (4)$$

其中, Π 为生产者所有周期的累积盈余, 是扣除技术投入之后的累积盈余。

3.3.2 消费主体的适应性规则

消费者在选择产品时都有自己的理由, 本研究主要考虑产品价格、品质和环境水平对消费者选择的影响, 并用阈值水平来表示消费者在面对某种产品时的可接受程度^[2,5,15-16]。设消费者 i 在价格维度的阈值为 $\bar{p}_i, i = 1, 2, \dots, m$, 表示该消费者在选择产品时产品价格不能超过 \bar{p}_i ; 在产品品质维度的阈值为 \bar{w}_i , 表示该消费者在选择产品时对产品品质的要求不能低于 \bar{w}_i ; 在产品环境水平维度的阈值为 \bar{h}_i , 表示该消费者在选择产品时对产品环境水平的要求不能低于 \bar{h}_i 。在此基础上, 本研究设定消费者 i 的需求量 d_i 为

$$d_i = \begin{cases} (\bar{p}_i - p_a)^{q_1} (w_a - \bar{w}_i)^{q_2} (h_a - \bar{h}_i)^{q_3}, & \text{存在产品满足 } p \leq \bar{p}_i \text{ 且 } w \geq \bar{w}_i \text{ 且 } h \geq \bar{h}_i \\ 0, & \text{不存在产品满足 } p \leq \bar{p}_i \text{ 且 } w \geq \bar{w}_i \text{ 且 } h \geq \bar{h}_i \end{cases} \quad (5)$$

其中, w 为交易产品的品质; h 为交易产品的环境水平; p_a 为交易系统中产品的平均价格; w_a 为交易系统中产品的平均品质; h_a 为交易系统中产品的平均环境水平; q_1 为消费者在产品价格维度上的购买参数, q_2 为消费者在产品品质维度上的购买参数, q_3 为消费者在产品环境水平维度上的购买参数, 对于每一个具体的消费者来说, q_1, q_2, q_3 均为常数。

消费者在与生产者交易及与其他消费者交流的过程中, 会不断改变自身在各个方面的阈值水平, 依据模型假设 3, 设定主要改变规则如下。

(1) 当消费者 i 为实用型时, 对品质的要求较高, 希望购买到品质较高而且价格和环境水平都在可承受范围的产品, 其阈值水平满足

$$\bar{p}_i = p_a(1 + \rho_{1i}) \quad \bar{w}_i = w_a(1 + \phi_{1i}) \quad \bar{h}_i = h_a(1 - \psi_{1i}) \quad (6)$$

其中, ρ_{1i} 为实用型消费者在产品价格上与平均水平相比的度量, ϕ_{1i} 为实用型消费者在产品品质上与平均水平相比的度量, ψ_{1i} 为实用型消费者在产品环境水平上与平均水平相比的度量。

(2) 当消费者 i 为环保型时, 对产品的环境水平极其敏感, 希望购买到环保型产品而且品质和价格都在可承受范围的产品, 其阈值水平满足

$$\bar{p}_i = p_a(1 + \rho_{2i}) \quad \bar{w}_i = w_a(1 + \phi_{2i}) \quad \bar{h}_i = h_a(1 + \psi_{2i}) \quad (7)$$

其中, ρ_{2i} 为环保型消费者在产品价格上与平均水平相比的度量, ϕ_{2i} 为环保型消费者在产品品质上与平均水平相比的度量, ψ_{2i} 为环保型消费者在产品环境水平上与平均水平相比的度量。

(3) 当消费者 i 为经济型时, 对价格的要求极高, 希望购买到比别人便宜而且品质和环境水平有一定保证的产品, 其阈值水平满足

$$\bar{p}_i = p_a(1 - \rho_{3i}) \quad \bar{w}_i = w_a(1 - \phi_{3i}) \quad \bar{h}_i = h_a(1 - \psi_{3i}) \quad (8)$$

其中, ρ_{3i} 为经济型消费者在产品价格上与平均水平相比的度量, ϕ_{3i} 为经济型消费者在产品品质上与平均水平相比的度量, ψ_{3i} 为经济型消费者在产品环境水平上与平均水平相比的度量。

3.3.3 交易规则

在本研究构建的复杂自适应系统中, 假设交易成本较小, 可以忽略, 生产主体和消费主体每个周期都将进行交易, 其交易规则如下。

(1) 生产主体生产的产品无论是数量还是产品技术特征(价格、品质和环境水平)均满足消费主体的需求, 那么交易成功。消费主体获取产品和相关信息后暂时离开交易系统, 生产主体若仍有部分数量的产品未成功交易, 则仍然留在系统寻求下一个合适的买家。

(2) 生产主体生产的产品技术特征满足该消费者的需求, 而生产主体的产品数量不足, 交易成功, 生产主体获得货款和交易信息后暂时离开交易系统, 消费主体继续寻找合适的卖家。

(3) 若生产主体生产的产品有某一项不满足消费主体的需求水平, 那么交易失败, 双方继续停留在系统中选择合适的交易对象。若生产主体最终找不到合适的交易对象, 依据模型假设 4, 产品的市场有效期为一个周期, 生产主体无法收回交易失败部分的生产成本; 若消费主体最终找不到合适的交易对象, 该消费主体放弃交易, 空手而归, 调整自身参数后, 等待下一周期重新进入交易市场。

3.3.4 技术选择规则

生产技术的选择同时受到同行产品竞争行为和消费者行为的影响, 本研究假设生产主体具有自适应特征, 会根据局部市场反馈信息自适应调节技术投入比例, 在模型中体现为生产者对不同方向技术创新投入比例 b_1, b_2 和 b_3 的确定。

本研究设定生产者技术路径选择, 将生产者生产和销售产品、消费者购买产品、生产者获取市场信息作为一个演化周期。在第 $k(k = 1, 2, \dots)$ 周期, 生产主体的产品技术特征分别为产品价格 p_k 、产品品质 w_k 和产品环境水平 h_k , 在交易过程中接触的所有消费者的平均需求水平为产品价格 p_{ak} 、产品品质 w_{ak} 、产品环境水平 h_{ak} , 生产主体在提高生产效率、提高产品品质、改善产品的环境水平方面的投入比例分布为 b_{1k}, b_{2k} 和 b_{3k} , 生产主体主要根据消费者反馈信息和竞争情况做出技术选择调整。生产主体在与消费主体

进行交易时,对产品不同技术特征进行评估,对薄弱的技术特征方面加大创新投资力度。自适应变化规则为若生产主体的产品供不应求,则生产主体根据产品技术特性提高生产率,有 $b_{1k} = 1, b_{2k} = 0, b_{3k} = 0$;当产品供大于求时,若 $p_{k-1} < p_{\alpha(k-1)}$ 且 $w_{k-1} > w_{\alpha(k-1)}$ 且 $h_{k-1} > h_{\alpha(k-1)}$,有 $b_{1k} = b_{2k} = b_{3k} = \frac{1}{3}$,否则有

$$b_{1k} = \frac{\max\{(w_{\alpha(k-1)} - w_{k-1}), 0\} + \max\{(h_{\alpha(k-1)} - h_{k-1}), 0\}}{2[\max\{(p_{k-1} - p_{\alpha(k-1)}), 0\} + \max\{(w_{\alpha(k-1)} - w_{k-1}), 0\} + \max\{(h_{\alpha(k-1)} - h_{k-1}), 0\}]} \quad (9)$$

$$b_{2k} = \frac{\max\{(p_{\alpha(k-1)} - p_{k-1}), 0\} + \max\{(h_{\alpha(k-1)} - h_{k-1}), 0\}}{2[\max\{(p_{k-1} - p_{\alpha(k-1)}), 0\} + \max\{(w_{\alpha(k-1)} - w_{k-1}), 0\} + \max\{(h_{\alpha(k-1)} - h_{k-1}), 0\}]} \quad (10)$$

$$b_{3k} = \frac{\max\{(p_{k-1} - p_{\alpha(k-1)}), 0\} + \max\{(w_{\alpha(k-1)} - w_{k-1}), 0\}}{2[\max\{(p_{k-1} - p_{\alpha(k-1)}), 0\} + \max\{(w_{\alpha(k-1)} - w_{k-1}), 0\} + \max\{(h_{\alpha(k-1)} - h_{k-1}), 0\}]} \quad (11)$$

其中, $b_{1k} + b_{2k} + b_{3k} = 1$ 。

在第 k 周期,生产主体在提高生产效率中的创新效果为 θ_{1k} 、其投资额为 $b_{1k}R_k$;在提高产品品质中的创新效果为 θ_{2k} 、其投资额为 $b_{2k}R_k$;在改善产品环境水平中的创新效果为 θ_{3k} 、其投资额为 $b_{3k}R_k$ 。生产主体在提高生产效率、提高产品品质、改善产品的环境水平中的创新效果取决于其投资额和前一周期的技术水平 $\theta_{1(k-1)}$ 、 $\theta_{2(k-1)}$ 和 $\theta_{3(k-1)}$ ^[11-12]。以提高生产效率的创新效果为例,有函数关系 $\theta_{1k} = \theta_{1(k-1)} + N_k$,生产者在提高产品品质、改善产品的环境水平方面的创新效果函数相同, N_k 为提高生产效率随机地前进的步数,具有Poisson分布密度,即

$$P\{N_k = x\} = \frac{\exp(-\lambda_k)\lambda_k^x}{x!} \quad (12)$$

其中, λ_k 为平均前进步数, $\lambda_k = 1 - \exp(-\varphi b_{1k}R)$, φ 为创新投入的标度参数。生产主体在每一时期的平均前进步数 λ_1 总是小于1,因而技术进步是缓慢递增的,而非激进的(满足模型假设2)。

4 计算实验和结果分析

4.1 计算实验

在清洁生产路径演化模型中,生产主体和消费主体的行为在系统的演化过程中均具有自主性,表现出自适应性特征,根据复杂自适应理论,适应性造就复杂性。此外,技术创新中的随机性和不确定性以及自适应主体获得信息的局部性和不对称性也在不同程度上导致了系统的动态复杂性。计算实验方法是一种处理复杂性的情景建模方法,可以有效应对上述分析的系统复杂性。本研究采用计算实验方法实现前文构建的清洁生产技术演化模型,基本思路为,构建生产主体和消费主体,建立主体之间的规则,包括交互规则和演化规则等,同时刻画影响主体行为的情景变化,然后在计算机平台上实现该模型,抽取和分析主要参数变化分析清洁生产技术的演化规律^[30]。

对清洁生产选择的路径演化模型的计算实验,本研究主要采纳图1的构架,利用多主体技术产生生产主体和消费主体,并按前述内容设置相应的环境参数、交互流程和规则,主要初始参数为 $n = 10, n_0 = 3, m = 50, \alpha_1 = 0.300, \alpha_2 = 0.200, \sigma = 0.300, \mu = 0.300$,为使结果具有对比性,初始投入的劳动力和资本均相同, $L = 10, D = 100, G = 10, \varepsilon = 0.600$ 。初期清洁生产技术水平尚不成熟,对于清洁生产主体, $A(t) = 10, w_1 = 1.200, h_1 = 1.250$;对于传统生产主体, $A(t) = 12, w_1 = 1, h_1 = 1$ 。消费主体的特征具有随机性,在一个合理的区间内服从随机分布。

4.2 计算结果和分析

本研究进行多次计算实验,发现系统的演化表现出多样性特征,实验次数较少(小于10次)时,系统的多样性难以得到统计意义上的规律,表现出零散的统计分布特征;随着实验次数的增加(大于30次之后),最终市场占有率情况(演化周期=200时)逐步出现明显的统计规律,实验达到50次及更多时(100次、150次、200次),呈现出比较一致的大体趋势,故本研究选择50次作为判断节点,设实验次数为 T 。本研究进行50次的计算实验,每个实验的演化周期为200,实验结果表明,在同样的初始条件下,系统出现了演化的多样性特征。根据最终市场份额的占有率情况,本研究把这种演化多样性分为两种,第1种为传统技术生产者在最终市场竞争中获得优势(市场占有率>50%),其出现的频次记为 T_1 ;第2种为清洁生产技术在最终的市场竞争中获得优势,其出现的频次记为 T_2 。

本研究在初始参数条件下做了多次计算实验,主要得到以下几个有价值的结果。

(1) 系统多样性。在50次实验中,共出现27次传统技术生产者在最终市场竞争中获得优势的情况,即 $T_1 = 27$,图2描述了该情形下的市场结构演化情况;与此相对,共出现有23次清洁生产技术在最终的市场竞争中获得优势的情况,即 $T_2 = 23$,图3描述了该情形下的市场结构演化情况。

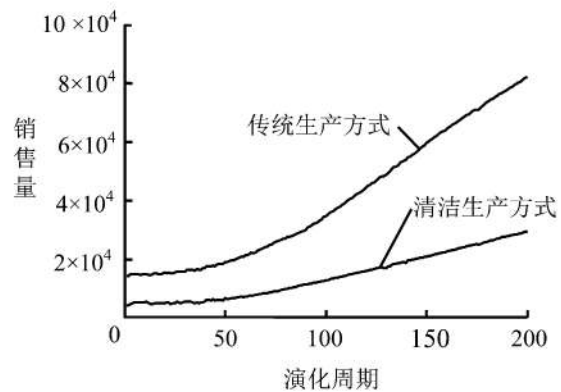


图2 T_1 情形下的市场结构演化图
Figure 2 Evolution of Market Structure in Scenario T_1

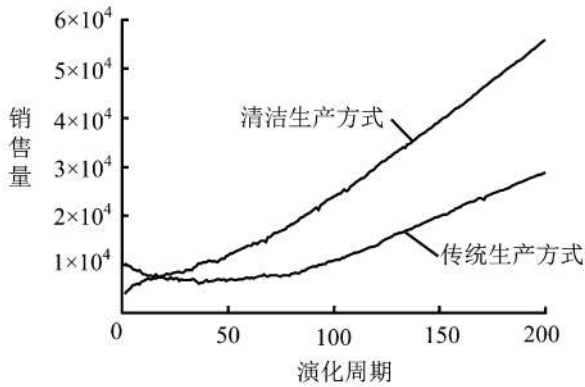


图3 T_2 情形下的市场结构演化图
Figure 3 Evolution of Market Structure in Scenario T_2

(2) 尽管系统演化表现出多样性特征,但给定的初始计算实验条件下,系统的演化仍表现出一定的规律性。图4和图5分别给出 T_1 和 T_2 情形下产品特征变化情况,包括平均生产率、产品品质水平和产品环境水平的变化情况,基于(2)式,选取单位投入的产量作为平均生产率度量产品的价格水平,平均生产率越高,产品价格越低,反之亦然。

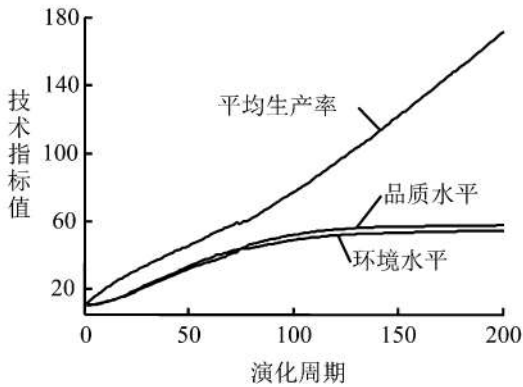


图4 T_1 情形下产品特征变化图
Figure 4 Change of Product Characteristics in Scenario T_1

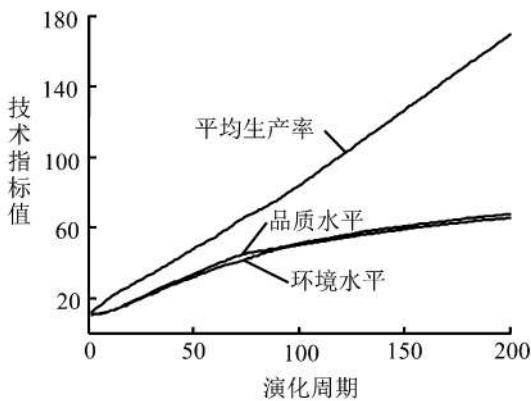


图5 T_2 情形下产品特征变化图
Figure 5 Change of Product Characteristics in Scenario T_2

(3) 对系统状态在时间维度上的特征做进一步分析,图6和图7分别描述了清洁技术采纳者在 T_1 和 T_2 情形下市场份额的演化情况,重点刻画了在渐进式创新模式下生产者能否保持持续的创新。

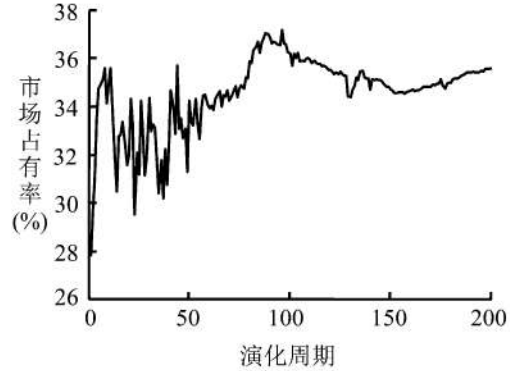


图6 T_1 情形下的清洁生产技术采纳者市场份额演化图
Figure 6 Market Share Evolution of Clean Production Technology Adopter in Scenario T_1

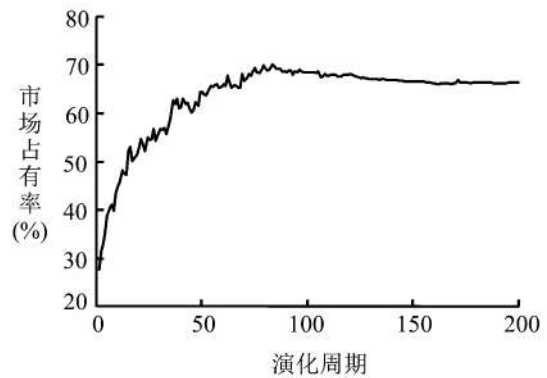


图7 T_2 情形下的清洁生产技术采纳者市场份额演化图
Figure 7 Market Share Evolution of Clean Production Technology Adopter in Scenario T_2

4.2.1 不同情形下的产品特征变化

(1) 由图4和图5可以发现,在竞争环境下,无论是 T_1 情形还是 T_2 情形下,平均生产率、产品的环境水平和品质水平均得到一定的提高,在200个演化周期内,在 T_1 情形下,平均生产率由11.536提高到171.324,产品品质水平由10.517提高到57.601,产品环境水平由10.715提高到54.141;在 T_2 情形下,平均生产率由11.506提高到169.718,产品品质水平由10.541提高到67.523,产品环境水平由10.715提高到65.326。

(2) 对图4和图5的进一步分析可以发现,在演化的后期,产品的环境水平和品质演化达到市场均衡,尤其是在 T_1 情形下,第150个演化周期到200个演化周期内,产品品质仅提升了0.691,产品环境水平仅提高了0.911,平均每个演化周期分别仅提高了0.014和0.018,而前150个演化周期平均值分别为0.342和

0.281; T_2 情形下产品品质仅提升了0.863, 产品环境水平仅提高了1.014, 平均每个演化周期分别仅提高了0.017和0.020, 而前150个演化周期平均值分别为0.372和0.363。反映了市场中消费者和生产者在产品的品质和环境特征上达到某种均衡, 产品在品质和环境水平的提高速率明显降低。图6和图7更为直观地反映了这一系统特征, 在演化后期清洁生产者与传统生产者在市场结构中都形成了固定的份额, 其中, 在第150个演化周期到第200个演化周期, 清洁生产技术采纳者的市场份额保持在35.136%的平均水平, 方差为0.116; 在图7中, 市场稳定性更为明显, 清洁生产技术采纳者的市场份额保持在66.203%的平均水平, 方差为0.023。说明在渐进式创新环境下, 系统将在演化后期达到某种均衡, 生产者将缺乏持续创新动力。若要打破这种市场均衡, 可以引入一种新的生产模式, 或者进行激进式创新。

4.2.2 竞争情况和不同顾客比例的初始值对演化的影响

为进一步分析产品竞争和顾客选择影响下的清洁生产技术路径演化特征, 为推广清洁生产技术的相关利益者提供科学的决策参考, 本研究对一些关键参数 n_0 、 α_1 、 α_2 的初始条件做了修改, 试图分析初始竞争情况和顾客比例变化对演化结果的影响。图8刻画了 n_0 值对 T_2 值的影响, 图9刻画了不同 α_1 值和 α_2 值对 T_2 值的影响, 计算实验结果分析如下。

(1) 如图8所示, 当初始清洁生产技术采纳者占10%以下时, 将在市场竞争中遭到传统技术采纳者的排挤而在市场竞争中处于弱势 ($n_0 = 1, T_2 = 0$); 当占40%左右时, 清洁生产技术采纳者将获得比传统生产技术更好的竞争优势 ($n_0 = 4, T_2 = 28$); 当占50%以上时, 清洁生产技术采纳者将获得绝对的市场竞争优势 ($n_0 \geq 5, T_2 = 50$)。

(2) 不同 α_1 值和 α_2 值对 T_2 值的影响不同, 如图9所示, 即不同顾客的初始比例值会导致不同的系统演化结果。当环保型消费者比例 $\alpha_2 = 0.900$ 时, 无论实用型消费者比例 α_1 值为多少, 清洁生产技术采纳者都将获得绝对的市场竞争优势; 当 $\alpha_2 \in [0.600, 0.800]$

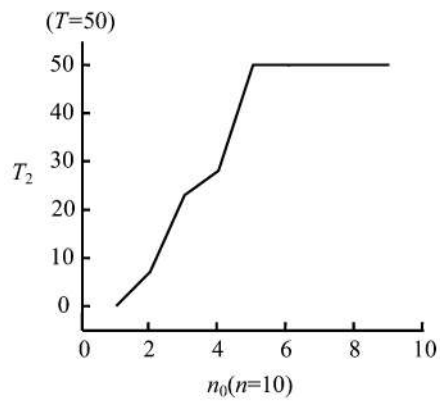


图8 n_0 值对 T_2 值的影响
Figure 8 Value of n_0 Affects to T_2

时, 清洁生产技术采纳者在市场竞争中只占得微弱的市场优势 ($T_2 \geq 25$), 但 α_1 值对市场竞争有较为明显的影响, 3种情况下的走势均不同; 当 $\alpha_2 \in [0.400, 0.500]$ 时, 传统技术采纳者在市场竞争中占得一定的市场优势, α_1 值越大, 对清洁生产技术采纳者的机会越大; 当 $\alpha_2 \in [0.100, 0.300]$ 时, 传统技术采纳者在市场竞争中占得较为明显的市场优势; 当 $\alpha_2 \leq 0.100$ 时, 由于环保型顾客的稀少, α_1 值越大, 对清洁生产技术采纳者的机会越大, 但无论 α_1 的值多大, 清洁生产技术采纳者都在市场竞争中处于弱势。

4.2.3 管理启示

计算实验结果给清洁生产技术的采纳者和政府部门决策者提供了积极的管理启示。

(1) 清洁生产技术的推广需要讲究适度。过分的相信市场自由发展 (计算实验中初始清洁技术采纳者占10%以下), 早期的极少数清洁生产技术采纳者将在与传统技术采纳者的竞争中处于劣势, 甚至在市场竞争中惨遭淘汰, 产品的品质和环境水平得不到明显的提高。相反, 过分的推行清洁生产技术, 或者大力引入国外竞争者 (计算实验中初始清洁生产技术采纳者占50%以上), 一方面使传统生产技术采纳者在竞争中处于劣势, 很难摆脱追赶者的角色,

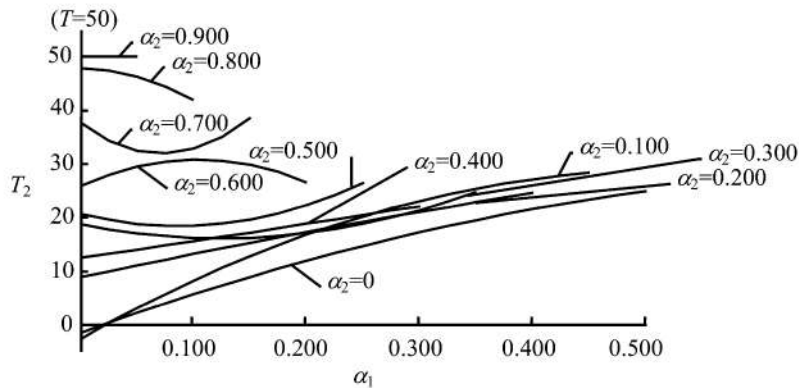


图9 不同 α_1 值和 α_2 值对 T_2 值的影响
Figure 9 Value of α_1 and α_2 Affect to T_2

容易掉进发达国家的陷阱,将极大地损害相关产业的政策发展,甚至影响到当地经济和就业等民生大计;另一方面迫使消费者改变消费习惯,如果产品的消费弹性相对刚性,那么势必影响到消费者的日常生活,给社会带来负面影响。当清洁生产技术适度推广时(计算实验中初始清洁生产技术采纳者占30%左右),整个系统会向良性的方向发展演化,既提高了传统生产技术采纳者的产品品质和环境水平,也使消费者的消费水平得到相应的提高,系统处于一种持续有序的演化状态,系统的所有主体都在不同程度上获益,是一种多赢的局面。

(2) 顾客的消费行为偏好会直接影响系统演化的结果,传统生产技术采纳者的产品要进入一个环保型意识较高的地区或国家,将很难有竞争力(在计算实验中 $\alpha_2 \geq 0.700$),而在现实贸易竞争中也常有这样的现象,即所谓的绿色贸易壁垒,如20世纪90年代欧美国家禁止进口含氟利昂冰箱的行为导致中国冰箱出口额下降了59%;相反,清洁生产技术采纳者的产品要进入一个环保意识较低的地区或国家,却有机会获得一定的市场份额,竞争市场中将可能出现市场细分的情景(在计算实验中 $\alpha_2 \leq 0.300$),如2008年中国爆发“三鹿毒奶粉”事件后,中国婴幼儿奶粉市场洋品牌在2011年已经占到50%以上的市场份额,在价格上也有了更大的话语权。

(3) 要达到产品环境水平的持续提高,实现社会的持续进步,需要不断地引入新的生产方式,或者创新出新的生产模式,因为当仅有一种生产方式革新时,只能带来渐进式创新,这种渐进式的创新将经历某一个时段后进入一个相对均衡的状态,此时产品的品质和环境水平将处于一个相对静止的状态,这时需要社会和政府倡导一种新的生产方式,实现产品品质和环境水平的再一次提升。同时,在计算实验中,大约进入到第100个演化周期时,系统将进入一种相对均衡状态,这时可以考虑倡导一种新的生产方式。

5 结论

基于计算机仿真的计算实验是管理科学全新的一种研究方法,应用计算实验方法分析社会环境问题具有方法论上的优势^[30]。本研究基于计算实验探讨在同行产品竞争行为和顾客选择行为影响下的清洁生产技术路径演化问题,得到如下研究结论。

(1) 基于行为与复杂性视角,利用计算实验方法构建并实现清洁生产技术演化模型,刻画了生产者竞争行为和顾客消费行为对清洁生产技术演化的影响,反映了清洁生产技术进步是创新企业自上而下努力和消费者自下而上市场选择的结果,拓展了技术演化模型,使模型更好地刻画清洁生产技术的特征。

(2) 通过计算实验,描述清洁生产技术以及相关主体行为演化出现的多样性特征,揭示系统的复杂性特征。在市场竞争环境下产品的生产率、品质和

环境水平均有一定程度的提高,但在演化后期,产品的品质水平和环境水平形成市场均衡格局;不同竞争和顾客消费情况会导致系统出现不同的演化结果,过分依赖市场的自由竞争不一定会提高产品的品质和环境水平,特别是在清洁生产技术处于萌芽发展阶段,过分地引进清洁生产技术极有可能损害传统技术生产者的利益,会给社会带来负面影响,只有适度地引导和控制清洁生产技术的推广和应用,才有可能既提升产品的品质和环境水平,又能有效降低产品价格,形成社会多赢局面。

本研究只是在理论上研究清洁生产技术在同行产品竞争行为和顾客选择行为影响下的演化问题,清洁生产技术演变的实证研究尚需进一步开展。此外,模型假定产品为规模报酬不变型的易逝性或更新速度很快的产品,存在一定的局限性。对于一般性的产品,生产者的技术选择和系统演化特性需要进一步分析和探讨。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业节能“十二·五”规划[R]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2012.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Twelfth Five-Year Plan of industrial energy efficiency [R]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, 2012. (in Chinese)
- [2] Pearson B. Market failure: Why the clean development mechanism won't promote clean development [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(2): 247-252.
- [3] 张成, 陆畅, 郭路, 于同申. 环境规制强度和生产技术进步[J]. *经济研究*, 2011, 46(2): 113-124.
Zhang Cheng, Lu Yang, Guo Lu, Yu Tongshen. The intensity of environmental regulation and technological progress of production [J]. *Economic Research Journal*, 2011, 46(2): 113-124. (in Chinese)
- [4] 郑易生, 刘源, Schroeder Patrick, 蔡凌萍, 侯艳丽, 邓冰, 等. 中国可持续发展回顾和思考1992-2011: 民间社会的视角[R]. 北京: [出版者不详], 2012.
Zheng Yisheng, Liu Yuan, Schroeder P, Cai Lingping, Hou Yanli, Deng Bing, et al. A civil society review of 20 years of sustainable development [R]. Beijing: [s. n.], 2012. (in Chinese)
- [5] Saint-Jean M. Polluting emissions standards and clean technology trajectories under competitive selection and supply chain pressure [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2008, 16(S1): S113-S123.
- [6] Saint-Jean M. Coevolution between suppliers and users through an evolutionary modeling [J]. *European*

- Journal of Economic and Social Systems, 2005, 18 (2):255-284.
- [7] Hall J. Environmental supply chain dynamics [J]. Journal of Cleaner Production, 2000, 8(6):455-471.
- [8] Nelson R R, Winter S G. An evolutionary theory of economic change [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1982:178-183.
- [9] Dijk M, Yarime M. The emergence of hybrid-electric cars: Innovation path creation through co-evolution of supply and demand [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2010, 77(8):1371-1390.
- [10] Coccia M. Evolutionary trajectories of the nanotechnology research across worldwide economic players [J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2012, 24(10):1029-1050.
- [11] 高洁, 盛昭瀚. 产品竞争的产业演化模型研究 [J]. 中国管理科学, 2004, 12(6):96-102.
Gao Jie, Sheng Zhaohan. Evolutionary model of industrial dynamics for product competition [J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12(6):96-102. (in Chinese)
- [12] 盛昭瀚, 高洁, 杜建国. 基于 NW 模型的新熊彼特式产业动态演化模型 [J]. 管理科学学报, 2007, 10(1):1-8.
Sheng Zhaohan, Gao Jie, Du Jianguo. Neo-schumpeterian evolutionary model of industrial dynamics based on NW model [J]. Journal of Management Sciences in China, 2007, 10(1):1-8. (in Chinese)
- [13] 崔淼, 苏敬勤. 技术引进与自主创新的协同: 理论和案例 [J]. 管理科学, 2013, 26(2):1-12.
Cui Miao, Su Jingqin. Synergy between technology introduction and independent innovation: Theory and a case study [J]. Journal of Management Science, 2013, 26(2):1-12. (in Chinese)
- [14] 李瑾. 环境政策诱导下的技术扩散效应研究 [J]. 当代财经, 2008(7):18-23.
Li Jin. Effects of technology diffusion induced by environmental policy [J]. Contemporary Finance & Economics, 2008(7):18-23. (in Chinese)
- [15] 蒋景肖, 张磊. 农村新能源技术扩散的区际差异及成因: 以太阳能热水器为例 [J]. 科技与经济, 2011, 24(6):62-66.
Jiang Jingxiao, Zhang Lei. Research on spatial difference and causes of new energy technology diffusion in China rural market: A case for solar water heaters [J]. Science & Technology and Economy, 2011, 24(6):62-66. (in Chinese)
- [16] Malerba F, Nelson R, Orsenigo L, Winter S. "History-friendly" models of industry evolution: The computer industry [J]. Industrial and Corporate Change, 1999, 8(1):3-40.
- [17] Malerba F, Nelson R, Orsenigo L, Winter S. Public policies and changing boundaries of firms in a "history-friendly" model of the co-evolution of the computer and semiconductor industries [J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2008, 67(2):355-380.
- [18] Remmen A. Greening of Danish industry: Changes in concepts and policies [J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2001, 13(1):53-69.
- [19] 黄采金, 王意冈, 王浣尘, 陈明义. 可持续发展中清洁生产扩散的分析 [J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(3):403-407.
Huang Caijin, Wang Yigang, Wang Huanchen, Chen Mingyi. Analysis on clean production technology spread under sustainable development [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2004, 38(3):403-407. (in Chinese)
- [20] Frondel M, Horbach J, Rennings K. End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries [J]. Business Strategy and the Environment, 2007, 16(8):571-584.
- [21] 刘雪凤, 罗敏光. 论构建我国清洁能源技术强制许可制度 [J]. 中国科技论坛, 2012(6):36-42.
Liu Xuefeng, Luo Minguang. To construct the China's system of compulsory licensing of clean energy technology [J]. Forum on Science and Technology in China, 2012(6):36-42. (in Chinese)
- [22] 周建华, 张建民, 江华. 清洁生产技术、政府责任与行业协会职能: 以温州合成革行业为例 [J]. 华东经济管理, 2011, 25(7):1-5.
Zhou Jianhua, Zhang Jianmin, Jiang Hua. Cleaner production technology, government responsibility and function of industry association: Taking synthetic leather industry in Wenzhou as an example [J]. East China Economic Management, 2011, 25(7):1-5. (in Chinese)
- [23] Kanagaraj J, Velan T S, Mandal A B. Biological method for decolourisation of an azo dye: Clean technology to reduce pollution load in dye waste water [J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2012, 14(4):565-572.
- [24] 盛昭瀚, 金帅. 湖泊流域系统复杂性分析的计算实验方法 [J]. 系统管理学报, 2012, 21(6):771-780.
Sheng Zhaohan, Jin Shuai. Computational experiments for complexity analysis of lake-watershed system [J]. Journal of Systems & Management, 2012, 21(6):771-780. (in Chinese)
- [25] Tesfatsion L. Agent-based computational economics: Modeling economies as complex adaptive systems [J]. Information Sciences, 2003, 149(4):263-269.

- [26] Li G, Yang H, Sun L, Ji P, Feng L. The evolutionary complexity of complex adaptive supply networks: A simulation and case study [J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 124(2): 310–330.
- [27] Belis-Bergouignan M C, Oltra V, Jean M S. Trajectories towards clean technology: Example of volatile organic compound emission reductions [J]. *Ecological Economics*, 2004, 48(2): 201–220.
- [28] Oltra V, Saint-Jean M. Variety of technological trajectories in low emission vehicles (LEVs): A patent data analysis [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(2): 201–213.
- [29] North D C. *Structure and change in economic history* [M]. New York: W. W. Norton & Company, Inc., 1982: 78–81.
- [30] 盛昭瀚, 张维. 管理科学研究中的计算实验方法 [J]. *管理科学学报*, 2011, 14(5): 1–10. Sheng Zhaohan, Zhang Wei. Computational experiments in management science and research [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2011, 14(5): 1–10. (in Chinese)
- [31] Rubera G, Ordanini A, Calantone R. Whether to integrate R&D and marketing: The effect of firm competence [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2012, 29(5): 766–783.

Evolutionary Model of Cleaner Production Technologies under Product Competition and Consumer Choice

Liu Xiaofeng^{1,2}, Sheng Zhaohan², Du Jianguo^{2,3}

1 School of Accounting, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China

2 Computational Experiment Center for Social Science, Nanjing University, Nanjing 210008, China

3 School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

Abstract: It is difficult to practically apply clean production technologies, which is considered as an important way of sustainable development. Adopting the method of computational experiments to study the impact of product competition and consumer choice on the evolution of cleaner production technologies, the study focuses on the cleaner production technologies of products with constant returns to scale. And this study sets rules of adaptive behaviors of producers and consumers, product trading and technology selection to build the model of the evolution of cleaner production technologies under product competition and consumer choice. We also explore issues such as system diversity, evolution, agent behavior and initial sensitivity in different scenarios by the method of multi-agent simulation on computer. The results shows that: ① diversity of system evolution is obvious and evolution trajectories reveal that being overly dependent on free competition of market cannot ensure the improvement of product quality and environment level; and ② too much introduction of cleaner production technologies tends to damage the benefits of traditional technology adaptors. The computational experiment results also indicate that the customer's consumer behavior preferences influence technology evolution system. It is very difficult for products of traditional technology to enter to a mature market with high environmental protection consciousness, while cleaner products have opportunities to obtain certain market share in a market with less environmental protection consciousness.

Keywords: computational experiments; evolution; cleaner production technologies; complex adaptive system; customer's behavior

Received Date: May 3rd, 2013 **Accepted Date:** November 28th, 2013

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China(71071072, 71171099, 71203085, 71301070), Jiangsu Academy of Social Science Fund(13SHC014) and Project Funded by the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions(PAPD)

Biography: Dr. Liu Xiaofeng, a Jiangxi Ruijin native(1983 –), graduated from Nanjing University and is a Lecturer in the School of Accounting at Nanjing University of Finance and Economics. His research interests include environmental behavior and environment management, intangible asset valuation, etc. Email: xiaofenglau@163.com

□