

# Quality Competition, Cooperation and Coordination for Green Supply Chain of Wood-Based Panel under the Policy Guidance

Zhisong Chen<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Business School, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>Dare Technology Co., Ltd., Zhenjiang Jiangsu

Email: zhisongchen@gmail.com

Received: Oct. 25<sup>th</sup>, 2015; accepted: Nov. 7<sup>th</sup>, 2015; published: Nov. 11<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Currently, China's wood based panel (WBP) industry is faced with backward overcapacity, waste of resources, environmental pollution, and lack of efficient cooperation and coordination mechanism between the upstream and downstream. Considering the practice of WBP industry, WBP green supply chain system with one branch-wood supplier and two competed WBP manufacturers is defined, further, quality competition, cooperation and coordination model of WBP green supply chain under the policy guidance of value-added tax refund and environmental tax collection are respectively built, and the quality coordination mechanism of revenue-cost sharing for WBP green supply chain under the policy guidance is built, finally, the comparative numerical analysis is carried out. The results show that: (1) the policy of value-added tax refund with threshold and environmental tax collection makes WBP enterprises have economical motivation to implement green supply chain improvement, improving the efficiency of resources and energy, reducing the pollution emissions and improving the overall performance and competitiveness; (2) owing to the advantages of resource recycling, green environmental protection and high comprehensive efficiency in the WBP green supply chain management mode, WBP enterprises have internal motivation to carry out green supply chain improvement, promoting industrial restructuring and upgrading; (3) the optimal profits of supply chain and its members under coordination situations are higher than those under competition and cooperation situations, and coordination mechanism of revenue-cost sharing contract has advantages of high efficiency, cooperation and Pareto improvement; (4) self-construction of the economic forest farm and the choice of economical branch-wood can effectively reduce the unit cost of branch-wood, enhancing technology development and process improvement can effectively reduce the processing cost and

improvement cost of WBP green supply chain management, which is beneficial for improving the operational performance of the whole WBP supply chain and its participants.

## Keywords

Policy Guidance, Wood-Based Panel, Green Supply Chain, Quality Competition, Cooperation, Coordination

# 政策引导下人造板绿色供应链质量竞争、合作与协调研究

陈志松<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>南京师范大学商学院, 江苏 南京

<sup>2</sup>大亚科技股份有限公司, 江苏 镇江

Email: zhisongchen@gmail.com

收稿日期: 2015年10月25日; 录用日期: 2015年11月7日; 发布日期: 2015年11月11日

## 摘要

当前,我国人造板产业落后产能过剩,资源浪费和环境污染严重,产业上下游企业之间缺乏有效的合作和协调机制。本文结合人造板产业实际,界定了一个枝桠材供应商和两个相互竞争的人造板制造商组成的人造板绿色供应链系统;进而,分别构建了增值税即征即退和环境税等政策引导下人造板绿色供应链的质量竞争、合作与协调模型,并建立了政策引导下人造板绿色供应链的收益分享-成本分担质量协调机制,并进行了对比数值分析。研究结果表明:(1)有条件的增值税即征即退政策和征收环境税政策,使得人造板企业有经济动因开展人造板绿色供应链管理,提高资源能源利用率和企业竞争力;(2)人造板绿色供应链管理模式的资源循环利用和绿色环保优势,使得人造板企业有内在动力开展绿色供应链管理改进活动,推进产业的转型和升级;(3)协调情形下的人造板绿色供应链及其成员的最优利润均高于竞争和合作情形,收益分享-成本分担的契约协调机制具有高效协同和帕累托改进的优势;(4)通过自建经济林场、选用经济材,强化技术研发和工艺流程改进,降低加工成本和绿色供应链管理成本,有助于提高人造板供应链整体及其成员的运营绩效。

## 关键词

政策引导,人造板,绿色供应链,质量竞争,合作,协调

## 1. 引言

在全球气候变化大背景下,世界各国开始寻求经济增长模式的全面转变,走节约型的可持续发展道路,大力提倡低碳经济、循环经济。人造板的制造和利用,有着成本低廉、用之不竭、环保经济、坚固耐用等无可比拟的显著竞争优势,已经成为家居、地板、橱柜、包装等领域必备的基础材料。人造板(wood based panel),以森林三剩物(采伐、造材、加工过程中的剩余物,包括枝桠材、小径材等)或其他非木材植

物(农作物秸秆、蔗渣等)为原料,经一定机械加工分离成各种单元材料后,施加或不施加胶粘剂和其他添加剂胶合而成的板材或模压制品。人造板主要包括纤维板、胶合板和刨花板等三大类产品,其延伸产品和深加工产品达上百种。人造板的生产和使用,大大提高了木材资源的综合利用率,1立方米人造板可代替3~5立方米原木使用,节约了大量的原木、减少了对森林的砍伐,契合了低碳经济和循环经济的理念。

2013年,在欧美经济疲弱、国内房地产调控以及要素成本不断上涨等多重因素作用下,作为世界人造板生产、消费、进口贸易的第一大国,我国人造板行业遭受到严峻挑战,产能扩张与亏损现象并存。国家统计局统计数据显示,我国人造板产量从2005年的5322.83万立方米增长至2013年的27,220.58万立方米,增长了4倍;2013年,我国人造板企业亏损比例达到了7%。由于我国针对人造板等产业制定了增值税即征即退的政策,在环保法的执行上没有受过处罚、得到省级以上质检产业合格证的检测报告、所用原材料为森林三剩物和次小薪材的企业可以获得增值税即征即退的补贴,该政策的门槛相对来说并不高,因此,不少民间资本涌入人造板行业追逐利润,引发产能高速增长。而这种高速增长的产能中,有相当一部分属于高污染、高浪费、高成本的落后产能,中国林产工业协会副会长钱小瑜指出:“目前,我国人造板行业有近40%的落后产能生产线亟需更新换代”[1]。部分人造板企业存在较严重的资源浪费和环境污染等问题,与循环经济理念背道而驰,是不可持续的发展方式,亟需淘汰落后产能,提高产品质量,提升资源综合利用率,减少环境污染,促进产业转型升级,实施人造板绿色供应链管理,政府适当的政策引导将有助于促进这种转型和升级;相比于人造板产能的高速增长,人造板下游地板、家具等相关加工产品需求增长较慢,上游枝桠材供给相对不足,人造板与其上下游的发展不匹配,供应链参与主体片面追求各自利益最大化,由此带来的双边化效应严重,人造板产业上下游缺乏有效的沟通与协调,亟需构建有效的人造板绿色供应链协调机制。

## 2. 文献综述

绿色供应链管理是一种全面和系统的综合考虑环境影响和资源效率的供应链运营管理模式。绿色供应链的概念最早由美国密歇根州立大学的制造研究协会在1996年进行一项“环境负责制造(ERM)”的研究中首次提出,又称环境意识供应链(Environmentally Conscious Supply Chain, ECSC)。绿色供应链管理(Green Supply Chain Management, 简称GSCM)是一种在整个供应链中综合考虑环境影响和资源效率的现代管理模式,它以绿色制造理论和供应链管理技术为基础,涉及供应商、生产厂、销售商和用户,其目的是使得产品从物料获取、加工、包装、仓储、运输、使用到报废处理的整个过程中,对环境的影响(负作用)最小,资源效率最高。国内外的专家学者对绿色供应链竞争与协调博弈模型进行了深入研究。比如Sheu等(2011, 2012)研究了政府金融干预下的竞争性绿色供应链讨价还价框架和政府金融干预对绿色供应链竞争的影响[2][3];Zhang等(2013)研究了非合作博弈下的三层绿色供应链的协调机制[4];Al-e-hashem等(2013)构建了考虑柔性提前期、非线性购买和短缺成本的绿色供应链随机总生产计划模型[5];朱庆华等(2011)建立了绿色供应链管理中考虑产品绿色度和政府补贴分析的三阶段博弈模型[6]。

但现有的文献中关于人造板绿色供应链管理的研究较少,王源渊等(2010, 2011)基于绿色供应链管理理论构建了适合我国人造板企业的循环物流运作模式,并探究了人造板产业实施绿色供应链管理的动因,构建了人造板绿色供应链运作过程模型,设计了人造板绿色供应链的绿色度评价指标体系[7][8]。除此以外,也有学者对木制品供应链进行了相关研究,如Siry等(2006)深入研究了美国南部、加拿大西部、巴西、瑞典和澳大利亚等主要木材生产区域的木材供应链的纤维可用性和成本对于工业盈利能力的影响[9];Espinoza等(2010)使用案例研究方法对木制品供应链的质量指标进行了深入研究,研究表明,扩大设施的持续改进的努力使得核心企业实现高度的内部整合,供应商的质量管理是实现外部整合的关键,供应链

上任何一点的低质量会影响到客户满意、利润减少和下游节点的高成本，最终使得整个供应链系统竞争力下降[10]；Espinoza 等(2010)运用五步法构建了木制品供应链的绩效指标体系，为供应链合作伙伴之间的协作和有效的改进提供信息[11]；张智光(2009, 2011)从绿色供应链角度研究了探讨林纸一体化系统的结构、特性及其绿色共生机制[12] [13]；张智光(2012)构建了林业绿色供应链的共生关系椭圆轨道模型、多层次结构模型、“三链”共生循环结构模型、5R 循环经济结构模型和 Multi-Agent 运行机制模型[14]；席正(2010)通过问卷调查和实地调研分析了木制品供应链管理的存在问题，并运用数学建模构建了最佳的木制品物流和供应链管理方案[15]；宋雨屏(2012)运用木地板供应链物流网络的概念模型分析了湖南省木地板供应链物流网络的结构、主要运营模式以及链上成员之间的关系，并构建了基于成本最优的木地板供应链物流网络优化模型[16]；汪潘进(2012)构建了基于层次分析法的供应链环境下的木制品企业成品库存管理绩效评体系[17]。

现有的文献关于人造板绿色供应链质量竞争的研究极少，只有对于一般供应链的质量竞争问题研究的文献，比如 Banker 等(1998)构建了需求依赖价格和产量下的零售商竞争供应链模型，分析了不同的竞争环境下的质量均衡水平[18]；Hall 等(2000)构建了产能约束下的产品(服务)质量竞争的动态模型，分别探讨了单阶段和多阶段有界的情形[19]；Zhu 等(2007)研究了拥有自主品牌的分销商或零售商进行产品设计，并将产品外包给上游供应商进行加工的供应链质量改进问题，研究表明分销商的参与对供应链绩效有重要影响，分销商在质量改进中的职责是不可能全部推卸给供应商的，合作对于提高产品质量有着重要作用[20]；鲁其辉等(2009)研究了质量与价格双重竞争下的供应链的均衡与协调策略[21]；曹俊等(2010)研究了闭环供应链中制造商和再制造商的价格与质量的双重竞争[22]；侯玲等(2013)研究了风险规避下供应链质量竞争的均衡策略[23]。

可见，现有的文献关于人造板绿色供应链管理、人造板绿色供应链质量的研究还很不足。面对人造板产业存在的退税政策门槛低、落后产能过剩、产品质量差、上下游缺乏有效的沟通与协调等问题，现有的研究没有给出答案。因此，亟需开展人造板绿色供应链质量管理、政策引导调整等相关研究，以促进人造板产业的转型升级和健康可持续发展。若不及时开展相关理论研究和实践应用，将会引发更多的重复建设、低效运营、资源浪费和环境污染，陷入更加严重的恶性循环。

本研究试图回答如下两个问题：如何刻画人造板企业的质量竞争与合作、有效地协调上下游实现人造板绿色供应链优化运营及其效率提升，如何调整政策以引导和促进人造板产业科学合理的转型升级。因此，本文在增值税即征即退和征收环境税的政策引导下，分别构建人造板绿色供应链的质量竞争、合作和协调模型，进而，构建政策引导下的人造板绿色供应链的收益分享 - 成本分担质量协调机制，并进行对比数值分析，从而为相关部门的政策制定和调整提供决策参考，为人造板产业的转型升级和优化运营提供理论支撑和技术支持。

### 3. 人造板绿色供应链界定及模型假设

为激励人造板供应链企业积极推行清洁生产和绿色供应链管理改进，设定政府对于人造板生产过程中的单位废弃物征收适当的环境税，对于实施绿色供应链管理改进、并达到相应标准的人造板企业给予增值税即征即退的优惠政策，而对于未采取绿色供应链管理改进的企业仍需征收增值税。在该政策引导下，人造板供应链企业有压力和经济动因实施绿色供应链管理，通过出灰螺旋节电改造、生产线不停机换板、采用新型磨片、造板连续生产线产能提升、废纤维风机节能改造、ESB 上料系统改造、过小木片输送系统改造以及“三废”循环利用等工艺流程改造项目，提高资源能源综合利用率，减少对于环境的负影响，一方面，减少了资源能源消耗，有效地降低了产品成本，提高了综合绩效和产品竞争力；另一方面，节约了大量木材资源、水资源和电力能源等，极大的减少了“三废”排放，产生了明显的经济效

益、社会效益和环境效益。人造板生产过程中的“三废”主要包括工艺废渣、废水和大气污染物。人造板生产过程中的工艺废渣主要包括树皮、过小木片、砂光粉、锯屑等，工艺废渣绝大部分回收用于热能中心的燃料，多余部分过小木片、砂光粉等出售给相关企业，用于燃料和造纸原料。所有废水均收集至污水处理站进行处理后循环利用，大部分水以水蒸汽形式经纤维干燥系统和凉水塔排放至空气中，污水回用于木片清洗。生产用水主要用于热能中心产生蒸汽及制胶车间、空压站和冷冻机组循环冷却，热能中心的蒸汽用于加热，冷凝水循环至热能中心。热能中心燃烧过程中产生的高温烟气，经多管旋风除尘后进入生产线用于烘干设备，既减少了筛选所产生的各种废料，又回收用于热能，并大大降低了燃料消耗；采取高效袋式除尘器，将收下的木粉尘用气流输送至热能中心作燃料。

为简化问题分析，我们考虑由一个枝桠材供应商和两个相互竞争的人造板制造商组成的人造板供应链系统，在该系统中，枝桠材供应商从各种渠道收集和采购枝桠材，人造板制造商向枝桠材供应商采购枝桠材，通过剥皮切片、水洗热磨、施胶干燥、分选铺装、热压成型、砂光切割等绿色环保工艺将枝桠材加工成人造板产品，并将产品销售给市场中的顾客。如图 1 所示为人造板绿色供应链示意图。

为建模需要，定义  $i = \{1, 2\}$ ， $j = 3 - i$ ，本文设定如下参数：单位枝桠材成本为  $c$ ，单位枝桠材批发价为  $w$ ；人造板产品一般根据甲醛释放量被划分为 E2 ( $\leq 30$  mg/100g)、E1 ( $\leq 9$  mg/100g)、E0 ( $\leq 5$  mg/100g) 三个等级，目前，后来日本农林省甚至推出了超 E0 级环保标准(目前国际上最顶级的标准)，显然，甲醛释放量越小的人造板产品质量越高，对应的售价也相应越高，因此，设定人造板制造商  $i$  和  $j$  人造板产品的初始甲醛释放量为相同水平，人造板制造商  $i$  的人单位造板产品的甲醛释放减少量为  $e_i$ ，单位人造板产品的甲醛释放减少所付出的成本为  $c_e(e_i) \equiv c_e e_i$ ，其中  $c_e$  为甲醛释放减少所付出的成本因子；人造板制造商  $i$  的人造板单位产品售价为  $p_i$ ，且人造板单位产品售价  $p_i$  是关于甲醛释放减少量  $e_i$  的函数，即  $p_i(e_i) = p_0 + f e_i$ ，其中， $p_0$  为甲醛释放量相同水平下人造板产品的基准价格， $f$  为人造板产品售价对于甲醛释放减少量的反应程度；参照 Tsay 等(2000)的研究[24]，人造板制造商  $i$  面临的人造板产品需求函数为  $d_i(e_i, e_j) = a_i - b p_i(e_i) + g e_i - h e_j$ ，其中， $a_i$  为人造板制造商  $i$  的潜在市场规模(需求基数，反映人造板产品对市场的内在吸引力)， $b$  为市场需求对人造板产品价格的反应程度， $g$  和  $h$  表示市场需求对人造板甲醛释放减少量的反应程度；为简化需求函数，令  $k \equiv b f - g$ ，则有  $d_i(e_i, e_j) = a_i - k e_i - h e_j$ ； $q_i$  为人造板制造商  $i$  的枝桠材订购量， $q_i \equiv \lambda d_i$ ，其中， $\lambda$  为单位人造板的木材消耗量。

人造板绿色供应链管理的参数包括：单位枝桠材的过小木片产出率为  $\kappa_s$ ，过小木片的销售收益为  $r_s$ ；单位枝桠材的树皮产出率为  $\kappa_r$ ，树皮用于销售或用于燃料带来的经济效益为  $r_r$ ；单位人造板的锯屑粉和

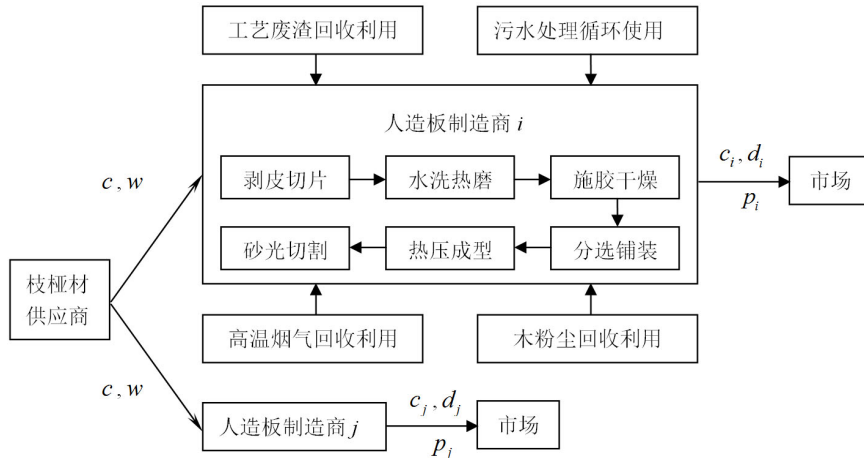


Figure 1. Green supply chain of wood-based panel  
图 1. 人造板绿色供应链

砂光粉产出率为  $\kappa_p$ ，锯屑粉和砂光粉用于销售或用于燃料带来的经济效益为  $r_p$ ；单位人造板的其他工艺废渣产出率为  $\kappa_w$ ，锯屑粉和砂光粉用于燃料带来的经济效益为  $r_w$ ；单位枝桠材的废水产出比率为  $\vartheta$ ，废水循环利用带来的经济效益及处理成本分别为  $r_g$  和  $c_g$ ；单位枝桠材的木粉尘及高温烟气等大气污染物产出比率为  $\nu$ ，大气污染物回收利用带来的经济效益及处理成本分别为  $r_v$  和  $c_v$ ；人造板平均密度为  $\rho$ ，则可以定义  $r \equiv r_s \kappa_s + r_t \kappa_t + r_p \kappa_p \rho / \lambda + r_w \kappa_w \rho / \lambda + (r_g - c_g) \vartheta + (r_v - c_v) \nu$  为单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益，则定义人造板制造商  $i$  的单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益为  $r_i$ ；政府对单位人造板产品生产过程中的单位废弃物征收环境税为  $t$ ，人造板制造商  $i$  的单位人造板产品加工成本为  $c_i$ ，人造板制造商  $i$  的绿色供应链改造减少的单位人造板产品加工成本  $c_i^r$ ，人造板制造商  $i$  实施人造板绿色供应链管理改造的成本为  $IC_i$ 。本文的决策变量为：人造板制造商  $i$  的单位人造板产品甲醛释放减少量  $e_i$ ，单位枝桠材批发价  $w$ 。本文尝试在征收环境税的政策引导下，分别构建人造板绿色供应链的竞争、合作和协调模型，并进行对比数值分析。

## 4. 政策引导下人造板绿色供应链质量竞争、合作与协调模型分析

### 4.1. 政策引导下人造板绿色供应链质量竞争模型分析

竞争情形下，人造板制造商  $i$  的最优化问题如下：

$$\max_{e_i} \Pi_{M_i}(e_i, e_j) = [p_i(e_i) - c_e(e_i) - (c_i - c_i^r) + \lambda(r_i - t) - \lambda w] d_i(e_i, e_j) - IC_i$$

为简化表示，令  $C_i \equiv (c_i - c_i^r) - \lambda(r_i - t)$ ， $l \equiv f - c_e$  则有

$$\max_{e_i} \Pi_{M_i}(e_i, e_j) = (p_0 + le_i - C_i - \lambda w)(a_i - ke_i - he_j) - IC_i \quad (1)$$

分别求解目标函数关于  $e_i$  的一阶条件和二阶导数，则有人造板制造商  $i$  的均衡甲醛释放减少量为：

$$e_i^d(w) = \frac{2k(la_i + kC_i) - h(la_j + kC_j)}{l(4k^2 - h^2)} - \frac{kp_0}{l(2k + h)} + \frac{\lambda k}{l(2k + h)} w \quad (2)$$

将  $e_i^d(w)$ 、 $e_j^d(w)$  带入枝桠材供应商的利润函数中可得：

$$\max_w \Pi_s(w) = (w - c) \lambda \sum_{i=1}^2 d_i(e_i^d(w), e_j^d(w)) \quad (3)$$

分别求解目标函数关于  $w$  的一阶条件和二阶导数，则有枝桠材供应商的均衡批发价为：

$$w_d = \frac{l(a_i + a_j)}{4\lambda(k + h)} - \frac{C_i + C_j}{4\lambda} + \frac{p_0}{2\lambda} + \frac{c}{2} \quad (4)$$

则人造板制造商  $i$  的均衡甲醛释放减少量为：

$$e_i^d = \frac{2k(la_i + kC_i) - h(la_j + kC_j)}{l(4k^2 - h^2)} + \frac{k(a_i + a_j)}{4(2k + h)(k + h)} - \frac{k(C_i + C_j)}{4l(2k + h)} + \frac{\lambda kc - kp_0}{2l(2k + h)} \quad (5)$$

因此，竞争情形下人造板制造商  $i$ 、枝桠材供应商和供应链的均衡利润分别为：

$$\Pi_{M_i}^d = (p_0 + le_i^d - C_i - \lambda w_d)(a_i - ke_i^d - he_j^d) - IC_i \quad (6)$$

$$\Pi_s^d = (w_d - c) \lambda \sum_{i=1}^2 (a_i - ke_i^d - he_j^d) \quad (7)$$

$$\Pi_{SC}^d = \sum_{i=1}^2 [(p_0 + le_i^d - C_i - \lambda c)(a_i - ke_i^d - he_j^d) - IC_i] \quad (8)$$

#### 4.2. 政策引导下人造板绿色供应链质量合作模型分析

合作情形下，人造板制造商  $i$  和  $j$  合作下的最优化问题如下：

$$\max_{e_i, e_j} \Pi_{M_{ij}}(e_i, e_j) = (p_0 + le_i - C_i - \lambda w)(a_i - ke_i - he_j) - IC_i + (p_0 + le_j - C_j - \lambda w)(a_j - ke_j - he_i) - IC_j \quad (9)$$

分别求解目标函数关于  $e_i$  和  $e_j$  的一阶条件和二阶 Hessian 矩阵，当  $k > h$  时，即满足  $bf > g + h$  条件时，Hessian 矩阵为负定，目标函数有极大值，满足一阶条件式的解为唯一的最优解。则有人造板制造商  $i$  和  $j$  的均衡甲醛释放减少量为：

$$e_i^{cd}(w) = \frac{k(la_i + kC_i + hC_j) - h(la_j + kC_j + hC_i)}{2l(k^2 - h^2)} - \frac{p_0}{2l} + \frac{\lambda w}{2l} \quad (10)$$

$$e_j^{cd}(w) = \frac{k(la_j + kC_j + hC_i) - h(la_i + kC_i + hC_j)}{2l(k^2 - h^2)} - \frac{p_0}{2l} + \frac{\lambda w}{2l} \quad (11)$$

将  $e_i^{cd}(w)$ 、 $e_j^{cd}(w)$  带入枝桠材供应商的利润函数中可得：

$$\max_w \Pi_S(w) = (w - c)\lambda \sum_{i=1}^2 d_i(e_i^{cd}(w), e_j^{cd}(w)) \quad (12)$$

分别求解目标函数关于  $w$  的一阶条件和二阶导数，则有枝桠材供应商的均衡批发价为：

$$w_{cd} = \frac{l(a_i + a_j)}{4\lambda(k + h)} - \frac{C_i + C_j}{4\lambda} + \frac{p_0}{2\lambda} + \frac{c}{2} \quad (13)$$

则人造板制造商  $i$  的均衡甲醛释放减少量为：

$$e_i^{cd} = \frac{k(la_i + kC_i + hC_j) - h(la_j + kC_j + hC_i)}{2l(k^2 - h^2)} + \frac{a_i + a_j}{8(k + h)} - \frac{C_i + C_j}{8l} - \frac{p_0}{4l} + \frac{\lambda c}{4l} \quad (14)$$

因此，合作情形下人造板制造商  $i$ 、枝桠材供应商和供应链的均衡利润分别为：

$$\Pi_{M_i}^{cd} = (p_0 + le_i^{cd} - C_i - \lambda w_{cd})(a_i - ke_i^{cd} - he_j^{cd}) - IC_i \quad (15)$$

$$\Pi_S^{cd} = (w_{cd} - c)\lambda \sum_{i=1}^2 (a_i - ke_i^{cd} - he_j^{cd}) \quad (16)$$

$$\Pi_{SC}^{cd} = \sum_{i=1}^2 [(p_0 + le_i^{cd} - C_i - \lambda c)(a_i - ke_i^{cd} - he_j^{cd}) - IC_i] \quad (17)$$

#### 4.3. 政策引导下人造板绿色供应链质量协调模型分析

政策引导下的人造板绿色供应链的最优化问题如下：

$$\max_{e_i, e_j} \Pi_{SC}(e_i, e_j) = (p_0 + le_i - C_i - \lambda c)(a_i - ke_i - he_j) - IC_i + (p_0 + le_j - C_j - \lambda c)(a_j - ke_j - he_i) - IC_j \quad (18)$$

分别求解目标函数关于  $e_i$  和  $e_j$  的一阶条件和二阶 Hessian 矩阵，当  $k > h$  时，即满足  $bf > g + h$  条件时，Hessian 矩阵为负定，目标函数有极大值，满足一阶条件式的解为唯一的最优解。则有人造板制造商  $i$  和  $j$  的最优甲醛释放减少量为：

$$e_i^c = \frac{k(la_i + kC_i + hC_j) - h(la_j + kC_j + hC_i)}{2l(k^2 - h^2)} - \frac{p_0}{2l} + \frac{\lambda c}{2l} \quad (19)$$

$$e_j^c = \frac{k(la_j + kC_j + hC_i) - h(la_i + kC_i + hC_j)}{2l(k^2 - h^2)} - \frac{p_0}{2l} + \frac{\lambda c}{2l} \quad (20)$$

一般地，分散博弈决策下无法实现供应链全局绩效最优，建立契约协调机制有利于供应链绩效的帕累托改进。本文引入一种收益分享 - 成本分担契约，构建政策引导下的人造板绿色供应链协调决策机制：枝桠材供应商以低于其成本的批发价向人造板制造商供应枝桠材，人造板制造商*i*将销售收益、加工成本和甲醛释放减少成本等以一定的比例 $1-\phi$ 分享(或分担)给枝桠材供应商(该比例由双方协商决定)，最终确保双方的收益水平高于分散博弈决策情形，达到人造板绿色供应链最优绩效。则有收益分享 - 成本分担契约下人造板制造商*i*的最优化问题如下：

$$\max_{e_i} \Pi_{M_i}^{RS}(e_i, e_j) = [\phi(p_0 + le_i - C_i) - \lambda w](a_i - ke_i - he_j) - IC_i \quad (21)$$

分别求解目标函数关于 $e_i$ 的一阶条件和二阶导数，则有收益分享 - 成本分担契约下人造板制造商*i*的均衡甲醛释放减少量为：

$$e_i^d(w) = \frac{2k(la_i + kC_i) - h(la_j + kC_j)}{l(4k^2 - h^2)} - \frac{kp_0}{l(2k + h)} + \frac{\lambda k}{\phi l(2k + h)} w \quad (22)$$

为了实现人造板绿色供应链协调，则必须满足 $e_i^d(w) = e_i^c$ 和 $e_j^d(w) = e_j^c$ ，则有协调批发价为：

$$w_c = \phi \left\{ \frac{(2k + h)[k(la_i + kC_i + hC_j) - h(la_j + kC_j + hC_i)]}{2\lambda k(k^2 - h^2)} - \frac{2k(la_i + kC_i) - h(la_j + kC_j)}{\lambda k(2k - h)} - \frac{hp_0}{2\lambda k} + \frac{(2k + h)c}{2k} \right\} \quad (23)$$

因此，协调情形下人造板制造商*i*、枝桠材供应商和供应链的最优利润分别为：

$$\Pi_{M_i}^c = [\phi(p_0 + le_i^c - C_i) - \lambda w_c](a_i - ke_i^c - he_j^c) - IC_i \quad (24)$$

$$\Pi_S^c = \sum_{i=1}^2 \left\{ [\lambda(w_c - c) + (1 - \phi)(p_0 + le_i^c - C_i)](a_i - ke_i^c - he_j^c) \right\} \quad (25)$$

$$\Pi_{SC}^c = \sum_{i=1}^2 \left[ (p_0 + le_i^c - C_i - \lambda c)(a_i - ke_i^c - he_j^c) - IC_i \right] \quad (26)$$

## 5. 数值分析

某人造板供应链由枝桠材供应商和两个相互竞争的人造板制造商组成，单位枝桠材成本为 $c = 0.40$ 元/kg，甲醛释放减少所付出的成本因子为 $c_e = 145$ (元/m<sup>3</sup>)/(mg/100g)，人造板产品售价对于甲醛释放减少量的反应程度为 $f = 500$ (元/m<sup>3</sup>)/(mg/100g)，市场需求对人造板产品价格的反应程度为 $b = 100$ ，甲醛释放量相同水平下人造板产品的基准价格 $p_0 = 1000$ 元/m<sup>3</sup>，市场需求对人造板产品甲醛释放减少量的反应程度为 $g = 500$ 和 $h = 200$ ，满足 $bf > g + h$ 条件，单位人造板的木材消耗量为 $\lambda = 1890$ kg/m<sup>3</sup>，人造板平均密度为 $\rho = 850$ kg/m<sup>3</sup>；人造板制造商1和2面临的潜在市场需求分别为 $a_1 = 400,000$ m<sup>3</sup>和 $a_2 = 300,000$ m<sup>3</sup>；人造板制造商1的单位枝桠材的过小木片产出率为 $\kappa_s = 1\%$ ，过小木片的销售收益为 $r_s = 0.4$ 元/kg；树皮产出率为 $\kappa_t = 7\%$ ，单位枝桠材的树皮用于销售或用于燃料带来的经济效益为 $r_t = 1.0011$ 元/kg；单位人造板的锯屑粉和砂光粉产出率为 $\kappa_p = 9\%$ ，锯屑粉和砂光粉用于销售或用于燃料带来的经济效益为 $r_p = 3.8930$ 元/kg；单位人造板的其他工艺废渣产出率 $\kappa_w = 1\%$ ，锯屑粉和砂光粉用于燃料带来的经济效益为 $r_w = 3.8930$ 元/kg，单位枝桠材的废水产出比率为 $\vartheta = 0.001$ m<sup>3</sup>/kg，废水循环利用带来的经济效益及处理成本分别为 $r_g = 3.1$ 元/m<sup>3</sup>和 $c_g = 0.8$ 元/m<sup>3</sup>；单位枝桠材的木粉尘和高温烟气等大气污染物产出比率为 $\nu = 0.5\%$ ，大气污染物回收利用带来的经济效益及处理成本分别为 $r_v = 4.5$ 元/kg和 $c_v = 0.6$ 元/kg，则依据前述定义，人造板制造商1的单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益 $r_1 = 0.271$ 元/kg，设定人造板制造商2的单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益 $r_2 = 0.251$ 元/kg；政府对单位人造板产品生产中废弃物征收



的环境税  $t = 0.01$  元/ $m^3$ ; 人造板制造商 1 和 2 的单位产品加工成本分别为  $c_1 = 938.28$  元/ $m^3$  和  $c_2 = 958.28$  元/ $m^3$ , 人造板制造商 1 和 2 的绿色供应链管理改造减少的单位产品加工成本分别为  $c'_1 = 30.87$  元/ $m^3$  和  $c'_2 = 25.87$  元/ $m^3$ , 则根据前述定义, 有  $C_1 = 414.12$  元/ $m^3$ ,  $C_2 = 476.92$  元/ $m^3$ , 人造板制造商 1 和 2 实施人造板绿色供应链管理改造的成本分别为  $IC_1 = 856,000$  元和  $IC_2 = 900,000$  元。供应链收益分享 - 成本分担比率设定为  $1 - \phi = 30\%$ 。下面从政策引导下的人造板绿色供应链视角, 考虑竞争、合作与协调三种情形, 进行对比数值计算和分析, 计算结果如表 1 所示。

模型分析和数值分析的研究结果表明: (1) 人造板绿色供应链视角下, 协调情形的人造板供应链、枝桠材供应商和人造板制造商  $i$  和  $j$  的最优利润均高于合作情形和竞争情形; 合作情形下的人造板供应链、枝桠材供应商和成本占优势的人造板制造商的最优利润均高于竞争情形, 但成本占劣势的人造板制造商的最优利润低于竞争情形; 协调情形下的枝桠材批发价低于合作情形, 合作情形下的枝桠材批发价低于竞争情形, 协调情形下的甲醛释放减少量低于合作情形, 合作情形下的甲醛释放减少量低于竞争情形。(2) 人造板绿色供应链视角下, 无论是竞争、合作还是协调情形, 单位人造板的木材消耗量越大, 人造板供应链、枝桠材供应商和人造板制造商  $i$  和  $j$  的最优利润越小。(3) 人造板绿色供应链视角下, 无论是竞争、合作还是协调情形, 单位枝桠材成本、政府对单位人造板产品生产中废弃物征收的环境税越大, 人造板供应链、枝桠材供应商和人造板制造商  $i$  和  $j$  的最优利润越小。(4) 人造板绿色供应链视角下, 无论是竞争还是合作情形, 人造板制造商  $i$  单位产品加工成本越大, 或人造板制造商  $i$  的绿色供应链管理改造减少的加工成本、单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益越小, 人造板制造商  $j$  的最优利润越大, 人造板制造商  $i$ 、枝桠材供应商和人造板绿色供应链的最优利润越小; 在协调情形下, 人造板制造商  $i$  单位产品加工成本越大, 或人造板制造商  $i$  的绿色供应链管理改造减少的加工成本、单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益越小, 人造板制造商  $i$  和  $j$ 、枝桠材供应商和人造板绿色供应链的最优利润越小。(5) 人造板绿色供应链视角下, 无论是竞争、合作还是协调情形, 甲醛释放减少成本越大, 人造板制造商  $i$  和  $j$ 、枝桠材供应商和人造板绿色供应链的最优利润越小。

## 6. 管理启示

从人造板产业供应链运营管理实务角度, 研究给我们的启示主要包括:

(1) 现有的政策引导主要是增值税的即征即退政策, 该优惠政策对于鼓励人造板产业的发展和壮大起到了关键性的作用。针对当前人造板产业面临低端产能过剩、资源浪费和环境污染等问题, 原有的增值税即征即退优惠政策的“门槛”宜进一步提高, 比如要求必须达到清洁生产、循环经济等相关行业标准才可以享受增值税即征即退优惠; 同时, 建议相关部门考虑和研究开征环境税, 促使人造板企业有经济

**Table 1.** Numerical analysis for quality competition, cooperation and coordination of WBP green supply chain  
**表 1.** 人造板绿色供应链竞争、合作与协调决策数值分析

情形	竞争	合作	协调
$w$ (元/kg)	1.00806	1.00806	0.39850
$e_1$ (mg/100g)	5.88863	5.88648	4.26783
$e_2$ (mg/100g)	4.96511	4.96073	3.34208
$\Pi_{M1}$ (元)	82,052,904.67	82,053,498.37	134,089,787.47
$\Pi_{M2}$ (元)	19,282,832.29	19,282,657.99	58,402,681.54
$\Pi_S$ (元)	184,532,567.80	184,905,360.86	186,201,728.65
$\Pi_{SC}$ (元)	285,868,304.76	286,241,517.22	378,694,197.66

动因积极开展清洁生产、循环经济和绿色供应链管理改进，淘汰落后产能，提高资源能源利用率，减少三废污染排放，减少资源能源消耗，降低单位产品成本，这有利于提升人造板企业的综合绩效和竞争能力，具有重要的社会效益和环境效益。

(2) 人造板绿色供应链管理具有资源循环利用和绿色环保的优势，将过小木片、树皮、锯屑粉、砂光粉、木粉尘等回收至热能中心作为燃料，节省了大量煤炭能源，多余的过小木片等可以销售给造纸等相关企业，可以获得较为可观的经济收益；对人造板生产过程中的废水进行循环处理使用，回用于木片清洗，节约了宝贵的水资源，同时也减少了环境污染；高温烟气等经多管旋风除尘后进入生产线用于烘干设备，既减少了原来筛选所产生的各种废料，又回收用于热能，并大大降低了燃料消耗。由于人造板绿色供应链管理模式的上述优势，人造板企业有内在动力开展绿色供应链管理改进活动，推进产业的转型和升级。

(3) 从模型分析和数值分析结果来看，两个相互竞争的人造板制造商的合作会带来人造板绿色供应链绩效的改进，但其中人造板加工成本较高、绿色供应链改造减少的加工成本及绿色供应链管理改进效益较低的人造板制造商在合作中的利润低于竞争情形，而这种合作只会带来竞争对手和枝桠材供应商利润的增加，所以这种“小团体”式的合作联盟是不稳定的，成本占劣势的人造板制造商没有经济动因参与这个合作联盟；而协调决策情形下的供应链及其成员的最优利润均高于竞争和合作情形；显然，相比于各自为政、缺乏沟通与协调的竞争和合作情形，本文所构建的收益分享-成本分担的契约协调机制有着“大联盟”式的合作稳定性，具有高效协同和帕累托改进的优势。政策引导下人造板绿色供应链收益分享-成本分担的契约协调机制具体如下：枝桠材供应商提供一种收益分享-成本分担的契约机制，并和人造板制造商谈判确定一个最优的收益分享-成本分担比率  $\phi$ ，枝桠材供应商以低于其成本的批发价向人造板制造商  $i$  和  $j$  供应枝桠材，人造板制造商  $i$  和  $j$  在此基础上决策最优的甲醛释放减少量，并将  $1-\phi$  比例的运营收益和绿色供应链管理改进成本分享(分担)给枝桠材供应商。相比于竞争和合作情形，该协调机制可以有效提高人造板绿色供应链各运营主体的运营绩效，实现帕累托改进。

(4) 从模型计算结果(8)、(17)和(26)来看，降低单位枝桠材成本、降低单位人造板产品加工成本、降低绿色供应链管理改造成本以及提高单位枝桠材绿色供应链管理改进效益，都有助于增加人造板供应链利润。因此，可以通过自建经济林场、选用经济型枝桠材等措施有效保障枝桠材供应，降低单位枝桠材成本；通过技术研发和工艺流程改进，促进资源能源回收和循环利用，提高资源能源利用率，变废为宝，有助于降低人造板加工成本、提高绿色供应链管理改进效益；通过技术研发和创新来降低人造板绿色供应链管理改造成本。以上对策都有助于提高人造板供应链整体及其参与主体的运营绩效。

## 7. 结论

本文结合人造板产业实际，界定了一个枝桠材供应商和两个相互竞争的人造板制造商组成的人造板绿色供应链系统；进而，分别构建了增值税即征即退和环境税等政策引导下人造板绿色供应链的质量竞争、合作与协调模型，并建立了政策引导下人造板绿色供应链的收益分享-成本分担契约协调机制，并进行了对比数值分析。研究表明：(1) 达到清洁生产、循环经济等相关行业标准条件下的增值税即征即退补贴的政策以及对人造板生产中的三废污染物排放征收环境税的政策，使得人造板企业有经济动因积极开展绿色供应链管理改进，淘汰落后产能，提高资源能源利用率，减少三废污染排放，降低单位产品成本，提高企业综合运营绩效和竞争能力；(2) 人造板绿色供应链管理模式的资源循环利用和绿色环保优势，使得人造板企业有内在动力开展绿色供应链管理改进活动，推进产业的转型和升级；(3) 协调情形下的人造板绿色供应链及其成员的最优利润均高于竞争和合作情形，收益分享-成本分担的契约协调机制具有高效协同和帕累托改进的优势；(4) 通过自建经济林场、选用经济材降低成本，强化技术研发和工

艺流程改进,降低加工成本和绿色供应链管理改造成本,提高绿色供应链管理效益,有助于提高人造板绿色供应链整体及其成员的运营绩效。

## 基金项目

中国博士后科学基金面上资助项目(2014M551623);江苏省博士后科研资助计划项目(1301077C);江苏省高校哲学社会科学基金资助项目(2014SJB094);江苏省高校自然科学基金面上项目(编号:15KJB110012);南京师范大学人文社会科学青年科研人才培养基金资助项目(编号:1409006)。

## 参考文献 (References)

- [1] 王硕. 我国人造板行业的现状思考及趋势判断——访中国林产工业协会副会长钱小瑜[J]. 中国人造板, 2013(1): 1-5.
- [2] Sheu, J.B. (2011) Bargaining Framework for Competitive Green Supply Chains under Governmental Financial Intervention. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **47**, 573-592. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2010.12.006>
- [3] Sheu, J.B. and Chen, Y.J. (2012) Impact of Government Financial Intervention on Competition among Green Supply Chains. *International Journal of Production Economics*, **138**, 201-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.024>
- [4] Zhang, C.T. and Liu, L.P. (2013) Research on Coordination Mechanism in Three-Level Green Supply Chain under Non-Cooperative Game. *Applied Mathematical Modelling*, **37**, 3369-3379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.08.006>
- [5] Al-e-hashem, S.M.J.M., Baboli, A. and Sazvar, Z. (2013) A Stochastic Aggregate Production Planning Model in a Green Supply Chain: Considering Flexible Lead Times, Nonlinear Purchase and Shortage Cost Functions. *European Journal of Operational Research*, **230**, 26-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.033>
- [6] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6): 86-95.
- [7] 王源渊, 王忠伟. 基于绿色供应链理论的人造板企业物流运作模式研究[J]. 物流工程与管理, 2010, 32(12): 63-65.
- [8] 王源渊. 人造板绿色供应链的构建及评价研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [9] Siry, J.P., Greene, W.D. and Harris, T.G. (2006) Wood Supply Chain Efficiency and Fiber Cost—What Can We Do Better? *Forest Products Journal*, **56**, 4-10
- [10] Espinoza, O.A., Bond, B.H. and Kline, E. (2010) Quality Measurement in the Wood Products Supply Chain. *Forest Products Journal*, **60**, 249-257.
- [11] Espinoza, O.A., Bond, B.H. and Kline, E. (2010) Supply Chain Measures of Performance for Wood Products Manufacturing. *Forest Products Journal*, **60**, 700-708.
- [12] 张智光. 林纸一体化绿色供应链系统的结构与特性分析[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版), 2009(4): 69-75.
- [13] 张智光. 绿色供应链视角下的林纸一体化共生机制[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 111-117.
- [14] 张智光. 实现产业与生态互利共生的林业绿色供应链模式研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(2): 3-10.
- [15] 席正. 大连志远木制品厂供应链管理研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [16] 宋雨屏. 湖南省木地板供应链物流网络优化研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [17] 汪潘进. 供应链环境下的木制品企业成品库存管理体系优化研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2012.
- [18] Banker, R.D., Khosla, I. and Sinha, K.K. (1998) Quality and Competition. *Management Science*, **44**, 1179-1192. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.44.9.1179>
- [19] Hall, J. and Porteus, E. (2000) Customer Service Competition in Capacitated Systems. *Manufacturing & Service Operations Management*, **2**, 144-165. <http://dx.doi.org/10.1287/msom.2.2.144.12353>
- [20] Zhu, K., Zhang, R.Q. and Tsung, F. (2007) Pushing Quality Improvement along Supply Chains. *Management Science*, **53**, 421-436. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.1060.0634>
- [21] 鲁其辉, 朱道立. 质量与价格竞争供应链的均衡与协调策略研究[J]. 管理科学学报, 2009, 12(3): 56-64.

- 
- [22] 曹俊, 熊中楷, 刘莉莎. 闭环供应链中新件制造商和再制造商的价格及质量水平竞争[J]. 中国管理科学, 2010, 18(5): 82-90.
- [23] 侯玲, 陈东彦, 滕春贤. 在风险规避下考虑质量因素的竞争供应链的均衡策略研究[J]. 运筹与管理, 2013, 22(1): 112-119.
- [24] Tsay, A.A. and Agrawal, N. (2000) Channel Dynamics under Price and Service Competition. *Manufacturing & Service Operations Management*, 4, 372-391. <http://dx.doi.org/10.1287/msom.2.4.372.12342>