

基于成本 - 收益分析的逆向供应链网络演化机制分析

易 俊^{1,2}, 王苏生¹

(1. 哈尔滨工业大学深圳研究生院城市规划与管理学院, 广东 深圳 518055;

2. 暨南大学财务与国有资产管理处, 广东 广州 510630)

摘要: 不同于发达国家 TPT (第三方回收) 的逆向供应链模式, 我国逆向供应链具有无标度网络特征, 其中大多数逆向供应链下游企业是走街串巷的个体商贩及其家庭作坊。本文提出基于成本 - 收益分析的我国逆向供应链网络演化机制。其中, 废品回收站点需要支付固定的生产场所租金和投资购买专业生产设备, 该固定成本可以在回收废品数量中均摊。当回收站点选择下游家庭作坊 (或流动商贩) 的最优数量时, 将依据成本 - 收益分析获得最大化利益。最后, 广东清远市电子产品废弃物回收网络的案例, 以及 NetLogo 平台下数值仿真结果, 较好地验证了理论分析结果。

关键词: 网络演化; 逆向供应链; 成本 - 收益分析; 无标度网络; 数值仿真

中图分类号: F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-6062(2013)02-0123-06

0 引言

随着全球化市场竞争的日趋激烈、产品生命周期的不断缩短及公司利润的持续降低, 逆向供应链 (reverse supply chain) 成为企业降低成本的有效途径^[1]。逆向物流 (Reverse Logistics) 是一种包含了产品退回、物料替代、物品再利用、废弃处理、再处理、维修与再制造等流程的物流活动^[2]。在逆向物流概念的基础上, 逆向供应链是指企业为了从客户手中回收使用过的产品所必需的一系列活动, 其目的是对回收品进行处置, 或者再利用。研究表明, 有效的逆向供应链能够提升顾客满意度, 同时增加企业利润^[3]。由于信息技术突飞猛进、全球采购、虚拟企业、非核心业务外包等兴起, 以及技术和系统分享、决策权力的扩展和无限服务, 供应链正在迅速地发展为一种“需求 - 供给网络”^[4]。类似的, 在产品的逆向物流过程中, 从废旧产品 (或缺陷产品) 的收集, 到回收处理中心、产品拆解中心, 经价值恢复处理, 直到再分销市场, 同样要经过一系列的结点和运输路线。由这些逆向供应链的设施点及设施点之间的线路构成的拓扑结构就是逆向供应链网络。

考虑到逆向供应链网络中废旧产品的供货不确定性、质量不确定性和回收时间不确定等, 现有一些研究文献运用优化技术分析了逆向供应链网络的结构设计。其中, Pochampally 和 Gupta 提出了逆向供应链网络战略规划的阶段数学规划模型^[5]。Nagurney 和 Toyasaki 发展了一个电子废弃物的逆向供应链多层网络均衡模型^[6]。Das 和 Chowdhury 提出了一个整合的逆向供应链网络规划方法, 其中标准组件的产品以不同质量等级进行生产和销售^[7]。

Lieckens 和 Vandaele 将现有模型进行扩展后讨论了逆向供应链网络的有效设计^[8]。El-Sayed 等人在风险模型下进行了多时期、多等级的逆向物流网络设计^[9]。Wongthatsanekorn 等人运用多时间尺度特征的马尔科夫决策模型研究了逆向供应链网络增长的战略决策问题^[10]。徐茵、马祖军和达庆利等人分别运用混合整数规划和非线性规划模型和优化理论, 研究了逆向供应链的网络结构设计和物流选址等问题^[11, 12, 13]。

在有关逆向供应链网络结构的现有文献研究中, 第一, 现有文献研究对象主要是针对发达国家的逆向供应链网络设计, 逆向供应链企业已经具有一定的发展规模, 因此逆向供应链网络结构相对简单, 除非是全球范围内从事废旧物品回收经营的跨国公司。在中国从事废旧产品回收利用的企业主要是充分发挥进城务工人员廉价劳动力优势, 在市场竞争中逐渐演化形成遍布城乡、成千上万的走街串户个体商贩和家庭作坊^[14]。他们凭借简单的生产工具从事着废旧产品的收集、清洗、分拣、除杂、归类等初步处理工作, 然后将初步处理后的废旧产品出售给所在地域附近的上游回收商, 汇总后销往制造商进行再生产。和发达国家相比, 我国的劳动力比较廉价, 通过走街串巷的流动的个体商贩及其家庭作坊来进行废旧产品的分类收集, 不仅可节省开支, 同时还可解决一部分进城务工的农村剩余劳动力的就业问题, “居民消费者 - 分散的废品收购站点 (回收商) - 制造商”构成逆向供应链网络的各个组成部分。不同于发达国家的相对简单分层网络结构, 我国逆向供应链网络具有无标度网络特征。第二, 现有文献研究主要集中在逆向供应链网络的优化设计方

收稿日期: 2012-01-40 修回日期: 2012-01-49

基金项目: 国家软科学研究计划资助项目 (2006GXQ3D120)

作者简介: 易俊 (1965—), 男, 湖北洪湖人, 哈尔滨工业大学深圳研究生院城市规划与管理学院博士生, 研究方向: 投资管理和供应链研究。

面,但是对于逆向供应链网络的演化机制却较少研究。实际上,不仅是逆向供应链复杂网络的演化机制缺少研究,即使在复杂网络理论,有关复杂网络的动态网络学研究也是近年来刚刚开始^[15,16,17]。本文第二节概述我国逆向供应链具有的无标度网络结构特征;第三节分析了我国逆向供应链网络基于成本 - 收益分析的演化机制,一定地域内从事废旧产品回收的个体商贩及其家庭作坊必须具有一定数量规模(形成相应的产业集聚),才能保证上游回收商和制造商获得盈利;第四节结合广东省清远市废旧电子产品回收网络的案例,进一步验证了理论分析结果;第五节在 NetLogo 平台上进行了逆向供应链无标度网络演化过程的数值仿真分析。

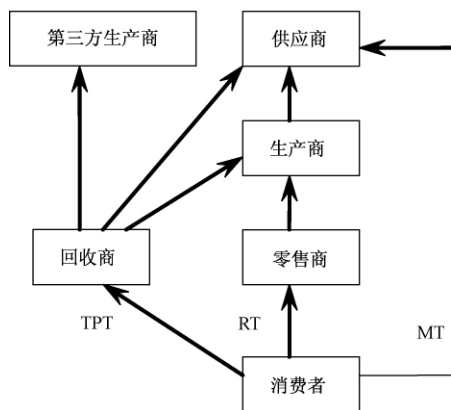
1 我国逆向供应链的无标度网络特征

自从上个世纪 80 年代以来,中国经济开始了持续增长繁荣接近 30 年,并迅速发展成为“世界工厂”,引起了世界范围内原材料的广泛需求。作为自然资源的有益补充,中国企业开始充分利用废弃产品,包括废钢材、废纸、废塑料、旧家电等等,进行回收、拆解和再利用过程。随着中国经济体制由计划经济转换到市场经济,原先计划经济时代建立的国有废品回收站逐渐废弃,以进城务工人员为主构成的城市拾荒人员和从事废弃电子产品拆解的家庭小作坊取而代之,构成了我国目前逆向物流的第一线从业人员^[14]。

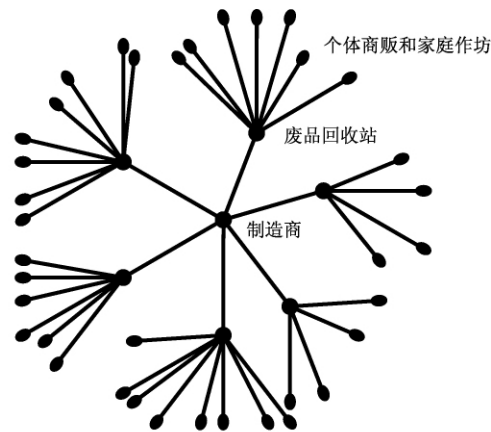
进入 90 年代以来,中国农村剩余劳动力大规模地转移到中小城镇和大城市寻找更好的工作机会。由于从事逆向供应链废旧产品回收、分拣、清洗、拆解等工作不需要较高的

人力资本和复杂的生产设备,该行业吸引了成千上万名进城务工的农村剩余劳动力。与发达国家相比,我国劳动力成本更为低廉。通过手工操作完成废旧产品的清洗、分拣、拆解等回收工作,不仅占用较少的固定设备投资成本,而且解决了大量进城务工人员就业问题。与进城务工人员工资待遇较低、人力资源丰富的国情特征相适应,遍布城乡各地的走街串巷的个体商贩和家庭作坊(Family Workshop)成为我国逆向供应链的最主要回收模式。

由于个体商贩和家庭作坊从事逆向供应链产品回收的生产规模较小,考虑到废旧产品长途运输的成本,其交易对象(即产品的终端消费者)集中在某一区域范围内。在一定的地理区域内,往往形成了由若干家废品回收站点和下游大量的个体商贩(终端节点)组成的逆向供应链网络。其中,遍布城乡的成千上万家个体商贩和家庭作坊处于逆向供应链网络的最底层,他们完成废旧物品的搜集、清洗、分拣和拆解等基本的回收工作后,将其销往附近的废品回收站。若干家废品回收站处于逆向供应链网络的中间层,他们将回收的废品按照制造商的生产工艺要求,进行规范化的分拣和包装,集中销往制造商,最终完成废旧产品的回收再利用。随着废品回收站经营规模的扩大,通过引进一些清洗、拆解设备替代人工操作,提高生产效率,进而提供更为优惠的废品回收价格,吸引更多的个体商贩和家庭作坊成为其下游供应商。不同于发达国家的相对简单分层网络结构(如图 1 中 a 所示),我国逆向供应链网络具有 BA 复杂网络增长和优先连接的无标度特征,其结构示意图见图 1(b) 所示。



(a) 发达国家和地区的逆向供应链层级网络



(b) 我国逆向供应链的无标度网络

图 1 不同逆向供应链网络结构的示意图

2 基于成本 - 收益分析的逆向供应链网络演化机制

由于废旧产品的质量存在着较大的不确定性,从几乎没有使用过的新产品到基本丧失功能的废弃物,假设具有不确定质量分布的废旧产品需求函数为:

$$D(p) = \alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i - \beta p \quad (1)$$

式中 α 为废品质量评价系数, β 为废品价格评价系数, p (q_i) 为废品质量 q_i 的分布概率, p 为个体商贩提供的每单位废品的折旧价格。

走街串巷的个体商贩和家庭作坊的利润为:

— 124 —

$$u_{packman} = D(p) \cdot (r - p) \quad (2)$$

式中 r 为废品回收站点提供的每单位废品回收价格。

求导可得,当个体商贩和家庭作坊达到利润最大化的条件下均衡的折旧价格 p^* 为:

$$\partial u_{packman} / \partial p = 0 \quad p^* = (r \cdot \beta + \alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i) / 2\beta \quad (3)$$

废品回收站需要固定的废品储备场所和专用的回收设备,假设废品回收站为此支付固定成本 R ,包括工作场所的租金和专用设备的购置费。这笔固定费用支出可以在回收废品的总数量中进行分摊。由于每一个个体商贩和家庭作

坊的生产规模相差不大,通过适当的单位转换,该固定成本 R 可以被处于逆向供应链网络最下游的个体商贩和家庭作坊数目 m 均摊。因此,废品回收站点的利润函数为:

$$u_{station} = D(p) \cdot \varepsilon(t - r - c) - R/m \quad (4)$$

式中 μ 为制造商提供的收购价格, ε 为废品回收率, c 为每单位废品的回收成本。

将式(1)和(3)代入上述中,可得:

$$u_{station} = \frac{1}{2}(\alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i - r \cdot \beta) \cdot \varepsilon(t - r - c) - R/m \quad (5)$$

求导,可得废品回收站点达到利润最大化时提供的均衡回收价格 r^* 为:

$$\partial u_{station} / \partial r = 0 \quad r^* = [\alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i + \beta \cdot (t - c)] / 2\beta \quad (6)$$

制造商的利润函数为:

$$u_{manufacturer} = D(p) \cdot (w - \varepsilon \cdot t) \quad (7)$$

式中 w 为产品的出厂销售价格。

将式(1)、(3)和(6)代入上述中,可得:

$$u_{manufacturer} = \frac{1}{4}[\alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i - \beta \cdot (t - c)] \cdot (w - \varepsilon \cdot t) \quad (8)$$

求导,可得制造商达到利润最大化时提供给废品回收站的废品收购均衡价格 t^* 为:

$$\begin{aligned} \partial u_{manufacturer} / \partial t &= 0 \quad t^* \\ &= (\alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i \cdot \varepsilon + \beta w + \beta \varepsilon c) / 2\beta \varepsilon \end{aligned} \quad (9)$$

在图1所示的逆向供应链社会网络中,废品回收站处于逆向供应链网络结构的关键节点位置,其连接着下游成千上万家个体商贩(或者家庭作坊)和上游的制造商。由于废品回收站正常运营时需要支付废品堆放场所固定租金和生产设备购置费,作为固定成本通过提供最优的均衡收购价格 r^* ,从而均摊到每个下游个体商贩或家庭作坊中。因此,废品回收站点在确定自己的经营地域辐射范围(即下游个体商贩或家庭作坊的数目)时,其将根据利润非负 $u_{station} > 0$ 的基本原则,进行成本-收益分析。

将(6)和(9)式代入到废品回收站点的利润函数中,得逆向供应链网络的增长条件为:

$$m > \frac{3\beta \varepsilon \cdot R}{(\varepsilon \cdot \alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i - \beta w + \beta \varepsilon c)(\beta w + \beta \varepsilon c - \varepsilon \cdot \alpha \sum_i p(q_i) \cdot q_i)} \quad (10)$$

废品回收站点的废品回收和分拣、拆解等处置能力的大小,取决于其是否拥有较为宽阔的废品堆放场所和专业化的生产加工设备。随着废品回收站点在场地租金(决定着是否占据更好的经营地段,拥有更广阔的下游辐射空间)和专业化回收设备购置费(决定着单位时间内处理废品的生产效率)投入 R 的增加,其下游供货渠道的个体商贩和家庭作坊数目 m 越大。这一现象符合无标度复杂网络的优先连接和增长原则。

根据经典的无标度 BA 网络度分布的平均场解析解^[17,18]:

$$P(k_i(t) < k) = 1 - \frac{n^{1/\beta} t}{k^{1/\beta}(t + n_0)} \quad (11)$$

式中 β 为常数,取值为 $1/2$; n 为新增节点的度分布,取值为 1,即每个新加入的个体商贩和家庭作坊均向附近一家废品收购站点交易; n_0 为初始时刻节点的数目,初始时刻逆向供应链网络仅有一家制造商,取值为 1; t 为逆向供应链网络的动态演化周期数,当演化周期足够长时 $t \approx t + n_0$ 。

在逆向供应链网络的所有企业中,个体商贩和家庭作坊的数目 m 所占比例为:

$$P(k_i(t) < 2) = 0.75 \quad (12)$$

3 案例分析:来自清远市龙塘镇的废旧电子产品回收网络

电子产品废弃物(EOL, end-of-life electronic products)包括各种废旧电脑、通信设备、电视机、电冰箱、空调以及被淘汰的精密电子仪器仪表等。目前全球每年产生约 5 亿吨电子产品废弃物,主要产于发达国家,全球有七成电子产品废弃物倾倒入中国。在全国八大电子产品废弃物集散地中,广东省汕头贵屿镇、清远龙塘镇和南海大沥镇占全国电子产品废弃物进口市场的一半份额^[19]。电子产品废弃物本身蕴含着巨大的经济价值,对其进行循环再生利用将会产生巨大的经济效益和良好的社会效益。美国向中国等亚洲国家大量输出高科技电子垃圾,除了美国没有在限制将有害物质转移到其他国家的《巴塞尔公约》签字外,亚洲国家低廉的工资、普遍缺乏环保标准以及相应的有效法律体系保障也是重要的内部原因。我国自然资源人均占有极度匮乏,但是具有源源不断的巨量优质低价劳工储备,从而为电子产品废弃物的无害化和资源化处理提供了巨大的需求与条件。

虽然国家环保总局、海关总署等部门曾联合发文,明确规定自 2000 年 4 月 1 号起禁止进口废电视机及显像管、废计算机、废显示器及显示管、废复印机、废摄(录)像机、废家用电话机等十一类废电器。然而由于政府监控不力、地方保护主义等众多原因,仍然有大量的电子产品废弃物通过夹带走私或者直接走私流入我国。而且,中国每年电脑新增销量上千万台,未来 5 至 10 年的年增量更被业内人士估计为 25% 左右,当前旧电脑的淘汰量每年估计为 500 万台以上,并且随着液晶显示器的出现并逐渐成为市场主流,传统球面显示器电脑的淘汰速度将会加快,我国国内电子产品市场每年也将产生巨量的高科技电子垃圾。

随着电子产品拆解重镇广东省汕头贵屿镇遭到当地政府的严厉打击,清远市龙塘镇开始扮演起广东省电子废弃物的拆解中心角色。龙塘镇位于清远市区东面,距市中心 20 公里路程,人口大约 10 万人,有着 30 多年电子产品废弃物的处理经验,目前拥有超过 1000 家拆解厂,超过 5 万人的拆解队伍进行手工劳作,每年拆解的电子产品废弃物近百万吨。主要人员来自湖南、湖北等地的农民工,用锤子和煤炉解体电脑、复印机,没有专业的防护措施。处理电子废物的平均工资为每天约 20 元。近年来,随着金属价格上涨,龙塘镇每月处理的电子产品废弃物达到 2000 个标准集装箱,每个集装箱重达 25 吨。拆解处理电子产品废弃物成为当地主

要产业和收入来源^[19]。

分析广东省清远市龙塘镇电子产品废弃物回收网络的演化机制,在废品回收站的利润公式(4)中,忽略单位处理成本 c ,可得:

$$u_{station} = D(p) \cdot (\varepsilon t - r) - R/m \quad (13)$$

式中 $D(p)$ 为废品回收站的需求函数。其中,据相关资料介绍,“龙塘镇每月处理的电子废弃物达到2000个标准集装箱,每个集装箱重达25吨。超过5万人的拆解队伍每天在不停地劳作^[19]”。因此,计算可得每个劳动力单月拆解电子废弃物数量为 $N = 2000 \times 25 / 50000 = 1$ 吨。设每个家庭作坊雇佣工人数为 k ,则每个家庭作坊的拆解量为 k 吨。设回收站联系着周边 m 个家庭作坊,则需求函数为 $D(p) = mk$ 吨;

ε 为电子产品废弃物的回收率,以手机为例,“平均每100克手机机身中含14克铜、0.19克银、0.03克金和0.01克钽^[20]”,以考虑废铜回收比率 $\varepsilon = 0.14$;

t 为制造商提供的废旧金属报价,根据2005年4月12日清远地区废旧金属报价:锡口铜(90~91%)28400~28600元/吨,此处取 $t = 28400$ 元/吨;

r 为废品回收站提供的进口价格。根据资料介绍,货物从香港中间商进口价格1500元,经过香港中间商和下游厂商分销加价1000元/层^[19],则进口价格 $r = 3500$ 元/吨;

R 为固定成本,包括工商税收、房屋租金和劳动力工资,根据相关资料介绍,“每个月还是要向有关部门缴纳一些费用的,每个月缴的费用超过1万元……花了两万多元租了200多平方米的厂房,做起了电子废弃物的处理生意^[19]”,“为了节约成本和节省时间,工人就住在厂里……报酬视工作的熟练程度而定,平均是1000元左右^[21]”,因此,固定成本为: $R = 10000 + 20000 + 1000k$ 元/月。

第一种情况:假设由一对进城务工夫妻构成的家庭作坊,劳动力 $k = 2$ 人,劳动力不支付工资,但是需要租借房屋。则根据公式(13),该地区废品回收站获得盈利的最低临界值为:

$$u_{station} = 2m \cdot (0.14 \times 28400 - 3500) - 30000/m > 0 \quad (14)$$

计算求解,可得 $m \geq 6$,即每个电子废弃物回收站,最少联系着周边6个夫妻二人构成的家庭作坊。

第二种情况:根据相关资料介绍,“龙塘镇位于清远市区东面,距市中心20公里路程。这个只有10万人的小镇,目

前有超过1000家非法拆解厂,超过5万人的拆解队伍每天在不停地劳作^[19]”,因此该地区家庭作坊的平均雇佣工人数为 $k = 50000 / 1000 = 50$ 人/家。则根据公式(13),该地区废品回收站获得盈利的最低临界值为:

$$u_{station} = 50m \cdot (0.14 \times 28400 - 3500) - 80000/m > 0 \quad (15)$$

计算求解,可得 $m > 1.83$,即该地区每个电子废弃物回收站至少辐射附近1~2个小规模的家庭作坊,该特征符合BA无标度网络的基本特征:大部分节点度分布为1~2。

4 基于NetLogo平台的逆向供应链网络演化过程模拟

在NetLogo仿真软件平台下^[22],对清远市龙塘镇废旧电子产品逆向供应链网络的基于成本-收益分析演化机制进行编程模拟分析。逆向供应链无标度网络演化结果的模拟效果图见图2所示,其是一个无标度复杂网络,核心节点为从事废品再利用的制造商,终端节点是走街串户的个体商贩和家庭作坊,中间节点是联系着1~2家个体商贩的废品回收站点。

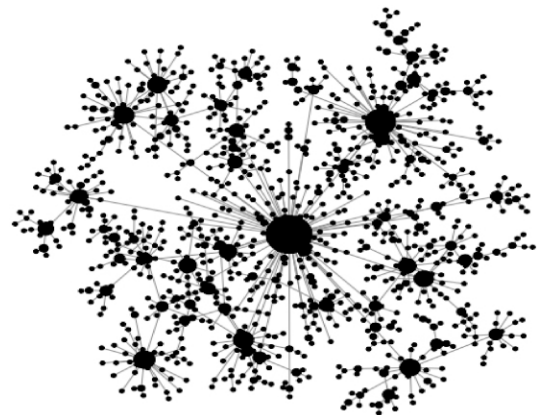


图2 逆向供应链的无标度网络演化结果的模拟效果图
(企业数 $m = 1001$)

废旧电子产品的逆向供应链网络的度分布图见图3所示,其近似的符合复杂网络幂律分布的无标度特征。其中,节点企业度分布数小于3的个体商贩和家庭作坊企业数目为906,剩余的94个节点企业为废品回收站点,还有一个核心节点企业为从事废品回收再利用的制造商,其连接着84家下游回收企业。

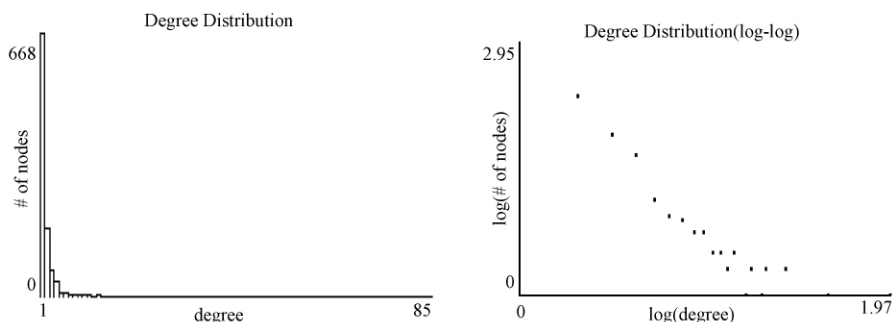


图3 逆向供应链网络近似幂律分布的度分布图

结论:在 NetLogo 仿真软件平台下模拟分析清远市龙塘镇废旧电子产品逆向供应链网络的基于成本-收益分析生成机制,逆向供应链网络是一个无标度复杂网络,网络临界规模为 1001 个节点,核心节点为从事废品再利用的制造商,度分布为 $D_r = 84$ 。

5 结论

改革开放以来,我国逆向物流的废旧品回收市场在市场化竞争过程中,利用我国丰富的人力资源,逐渐演化为由核心上游制造商、若干家废品回收站点、大量的下游个体商贩和家庭作坊(终端节点)组成的逆向供应链网络。不同于发达国家地区逆向供应链的层级网络结构,我国逆向供应链具有无标度网络结构特征。

本文提出基于成本-收益分析的我国逆向供应链网络演化机制。其中,废品回收站点的废品回收和分拣、拆解等处置能力的大小,取决于其是否拥有较为宽阔的废品堆放场所和专业化生产加工设备,这一现象符合无标度复杂网络的优先连接和增长原则。由于废品回收站正常运营时需要支付废品堆放场所固定租金和生产设备购置费,可以均摊到每个下游个体商贩或家庭作坊中。因此,废品回收站点在确定自己的经营地域辐射范围(即下游个体商贩或家庭作坊的数目)时,其将根据利润非负的基本原则,进行成本-收益分析。根据废品回收站点的利润非负条件,得出逆向供应链网络的增长条件。最后,通过分析广东清远市龙塘镇电子产品废弃物回收网络的案例,以及 NetLogo 平台的数值仿真结果,较好地验证了理论分析结果。

和发达国家相比,尽管我国的劳动力工资比较廉价,通过进城务工人员对遍布城乡的固体废弃物进行收集、清洗、拆解、分拣等回收工作,不仅可节省开支,同时还可解决一部分进城务工的农村剩余劳动力的就业问题,但是该种回收模式也面临着环境污染严重、损害劳工身心健康等一系列严重的问题。在分析我国逆向供应链网络演化过程中,如何界定政府监管部门的角色定位和作用?从充分利用廉价人力资源的无标度网络结构,逐步演化成发达国家以专业化回收公司为主的层级网络结构,其演化路径和演化条件是什么?这些问题有待于未来进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 王昊. 逆向供应链理论的研究现状及发展前景[J]. 物流科技, 2006, 29(8): 60~62.
- [2] Stock JR. Reverse Logistics [M]. Oak Brook Illinois, IL: Council of Logistics Management, 1992.
- [3] Prahinski C, Kocabasoglu C. Empirical research opportunities in reverse supply chains[J]. Omega, 2006, 34(6): 519~532.
- [4] Guide VDR, Van Wassenhove LN. The reverse supply chain[J]. Harvard Business Review, 2002, 80(2): 25~26.
- [5] Pochampally KK, Gupta SM. Strategic planning of a reverse supply chain network[J]. International Journal of Integrated Supply Management, 2005, 1(4): 421~441.
- [6] Nagurney A, Toyasaki F. Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling[J]. Transportation Research Part E, 2005, 41(1): 1~28.
- [7] Das K, Chowdhury AH. Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 135(1): 209~221.
- [8] Lieckens K, Vandaele N. Reverse logistics network design with stochastic lead times[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(2): 395~416.
- [9] El-Sayed M, Afia N, El-Kharbotly A. A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk[J]. Computers & Industrial Engineering, 2010, 58(3): 423~431.
- [10] Wongthatsanakorn W, Realff MJ, Ammons JC. Multi-time scale Markov decision process approach to strategic network growth of reverse supply chains[J]. Omega, 2010, 38(1~2): 20~32.
- [11] 徐茵, 张敏洪. 大规模逆向物流网络非线性优化模型的研究[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(6): 749~755.
- [12] 马祖军, 张殿业, 代颖. 再制造逆向物流网络优化设计模型研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2004, 2(2): 55~56.
- [13] 达庆利, 黄祖庆, 张钦. 逆向物流系统结构研究的现状及展望[J]. 中国管理科学, 2004, 12(1): 131~138.
- [14] 陈富勇. 农民工占领废品回收市场[N]. 重庆晚报, 2007-3-6.
- [15] Barabási AL, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509~512.
- [16] Ohtsuki H, Hauert C, Lieberman E, Nowak MA. A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks[J]. Nature, 2006, 441(7092): 502~505.
- [17] 刘德海, 王维国. 维权型群体性突发事件社团网络结构与策略的协同演化机制[C]. 第十三届中国管理科学学术年会论文集, 2011: 101~108.
- [18] Watts DJ, Strogatz SH. Collective dynamics of "small-world" networks[J]. Nature, 1998, 393(6684): 409~410.
- [19] 王华平等. 粤“电子洋垃圾”黑幕大起底: 一年拆百万吨[EB/OL]. 大洋网. http://news.dayoo.com/guangdong/gb/content/2007-06/08/content_2847499.htm. 2007-6-8.
- [20] 国外处理电子垃圾主要做法[N]. 浙江日报, 2003-8-25.
- [21] 孟登科, 穆彤等. 破解英国垃圾入华利益链, 出口每吨可赚 2000 元[N]. 南方周末, 2007-2-4.
- [22] Wilensky U. NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> [EB/OL]. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL. 1999.

Network Evolutionary Mechanism of Reverse Supply Chain Based on Cost-benefit Analysis

YI Jun^{1,2}, WANG Su-sheng¹

(1. Shenzhen Graduate School , Harbin Institute of Technology , Guangzhou 518055 , China;

2. Department of Finance and state-owned assets management , Jinan University , Guangzhou 510632 , China)

Abstract: Reverse supply chain appears as an effective way to reduce cost for an enterprise and cope with changes to the current environment , such as fierce global competition , shortening product life cycle and reduced company profit. The existing literatures are mainly related to the optimal design of reverse supply chain network in developed countries. There are limited literatures about the evolutionary mechanism of reverse supply chain network in China. The research provides the evolutionary mechanism of Chinese reverse supply chain based on cost-benefit analysis.

Firstly , the paper summarizes free-scale network characteristics of Chinese reverse supply chains. TPT (Third Party Take-Back) is the main recycling model with the relatively simple network structure even though the large-scale transnational corporation engages in waste recycling processing services. Most recycling enterprises in China are ambulant packmen going from door to door and through their family workshops. Reverse supply chain network in China is composed of various components , such as “resident consumer – dispersive recycling station – manufacturer” , which has the Growth and Preferential Attachment characteristics of BA free-scale network.

Secondly , the paper proposes an evolutionary mechanism of reverse supply chain networks driven by cost-benefit analysis in China. Recycling station is in the crucial position in the network structure of reverse supply chain , which connects with numerous downstream packmen or their family workshops , and upstream manufacturers. Recycling station should pay the fixed cost including the rent of working site and equipment expense , which can be shared equally among every downstream family workshop. To maximize profit , recycling station conducts cost-benefit analysis to identify appropriate business scope of the radiation; that is , the number of downstream family workshops. Only if the number of downstream family workshops has reached a certain scale can a certain level of industrial gathered effect be formed , as well as the profit of upstream recycling stations and manufacturers be obtained.

Thirdly , the practical data affirm theoretically analytical outcomes based on our case analysis of recycle network of EOL electronic products in Longtang Town , Qingyuan City and simulation analysis on the Netlogo platform . The case analysis shows that every recycling station of EOL electronic products at least connects with one or two family workshops in close proximity. Simulation analysis results show that the critical scope of reverse supply chain network includes 1001 nodes , and the degree of distribution is 84.

In summary , Most of downstream enterprises in Chinese reverse supply chain network are packmen and their family workshops. The paper proposes an evolutionary mechanism of reverse supply chain that recycling station can use to optimize the number of downstream family workshops based cost-benefit analysis.

Key words: network evolution; reverse supply chain; cost-benefit analysis; scale-free network; simulation analysis

中文编辑: 杜 健; 英文编辑: Charlie C. Chen