

制造商激励策略下零售商主导回收的 闭环供应链系统动力学建模

苗世迪^{1,2}, 王腾飞¹, 陈德运^{1,2}

(1. 哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 哈尔滨理工大学 计算机科学与技术博士后流动站, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 分析对比了国内外电子废弃物的回收处理现状, 通过对近年来美的集团在回收模式建设中所遇到的问题进行分析研究, 运用系统动力学方法对闭环供应链下零售商主导回收模式进行了研究, 引入了制造商激励策略, 并且构建相关模型进行仿真。仿真结果表明: 与传统供应链相比, 零售商主导回收模式下电子产品的销售率得到提高, 市场份额得到增长, 随着影响比和制造商激励系数的不断调整, 制造商激励策略得到优化, 电子废弃物的回收效率得到明显的提升。

关键词: 闭环供应链; 回收模式; 系统动力学; 契约; 电子废弃物

DOI: 10.15938/j.jhust.2017.06.017

中图分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1007-2683(2017)06-0087-08

System Dynamics Model of Closed-loop Supply Chain Dominated by Retailers under Manufacturer's Incentive Strategy

MIAO Shi-di^{1,2}, WANG Teng-fei¹, CHEN De-yun^{1,2}

(1. School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. Computer Science and Technology Postdoctoral Programme, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: This article first analyzes the present situation of the recycling of e-waste domestically and overseas and discusses the difficulty which Media corp. encountered in the construction of recycling mode. Then this article constructs a recycling model dominated by retailers with system dynamics method based on a closed-loop supply chain and a manufacturer's incentive strategy is introduced. The simulation results show that there is an increase in the sales rate and market share of electronic products in the recycling model dominated by retailers compared with the traditional supply chain. An obvious increase in the efficiency of the recycling of e-waste is revealed through the adjustment of the manufacturer's incentive strategy.

Keywords: closed-loop supply chain; system dynamics; remanufacturing; supply chain management; incentive strategy

收稿日期: 2017-03-22

基金项目: 黑龙江省博士后资助项目(LBH-Z15100).

作者简介: 苗世迪(1979—), 男, 副教授, 硕士研究生导师, E-mail: msdking@aliyun.com;

王腾飞(1993—), 男, 硕士研究生;

陈德运(1962—), 男, 教授, 博士研究生导师.

0 引言

电子废弃物俗称电子垃圾,主要包括各种废旧手机、电脑、电冰箱、电视机、洗衣机以及一些企事业单位废弃不再使用的电器或电子设备。2014年,全球产生的电子垃圾总量共有4 180万吨,且还在以每年200万吨的速度增长,其中我国的电子垃圾制造量为603.3万吨,2015年则达到了650万吨,仅次于美国位列世界第二。我国已进入电子产品报废的高峰期,报废量年均增长20%,预计到2020年每年报废数量将达到1.37亿台。绿色化、产业化的发展道路是进行电子废弃物回收处理及资源化利用的必经之路,建立有效的电子产品废弃物的回收处理体系和资源化再生利用体系,对于我国资源缺乏、能源短缺现状的解决、人类生存环境的改善、人们健康水平的提高以及推动实现循环经济的可持续发展具有十分重大的意义。

目前,国内外在对供应链管理方面的研究主要有:Geyer和Jackson指出实施闭环供应链管理有经济和环境两个基础目标^[1]。Steven认为供应链或供应链管理的解释都是围绕有效的采购与分销、合作者间的运作集成以及合作伙伴的长期合伙关系三个主题展开的^[2]。乔佩利等研究了多级供应链之间协调优化问题,并验证了协调策略的优化性^[3]。

在对闭环供应链研究方面,Guide和Krikke等人认为,闭环供应链不仅包含传统的正向供应链,还包括产品回收、检测、分类、处理、配送和再销售等附加活动组成的逆向供应链^[4-5]。Nagurney等研究了由电子垃圾所引发的环境污染问题,提出了一个管理废旧产品(包括废旧产品的回收)的整体模型框架^[6]。Hammond等在此基础上提出的闭环供应链网络包含了制造商和消费者这两层,在这个模型中,制造商负责回收和管理各自的废旧产品,交易费用也未被考虑进来^[7]。基于供应链系统绩效的考虑,Fleischmann分别从企业战略、战术和运营三个管理层面构建了一个闭环供应链网络设计模型^[8]。乔佩利从物流的角度研究的闭环供应链逆向运输策略问题,采用改进的禁忌搜索算法优化了最优解^[9]。Huang等在零售商和第三方同时竞争废弃物市场的背景下,刻画了分布式和一体化情形下闭环供应链价格策略和回收策略的供应链运作情况,通过对比单回收渠道和双回收渠道两种模式,得出互利的回收渠道能为制造商和消费者带来优势的结论^[10]。

Saha等用分布式和一体化比较分析并优化了制造商主导回收、零售商主导回收和第三方主导回收三种回收模式^[11]。

在对回收策略制定研究方面,Yang等提出了一个由原材料供应商、制造商、零售商、消费者以及回收中心所构成的通用的闭环供应链网络模型,并研究了一些参数对供应链网络利润的影响^[12]。结合具体实践情况,余福茂等把电子废弃物回收处理模式分成了即生产商回收模式、经销商回收模式、第三方回收模式以及专业处理企业回收模式四种类型,分别建立了相应模式下考虑回收补贴激励机制的决策模型,并通过对各回收处理决策模型的讨论,得出了其最优参数^[13]。在纳什博弈、合作博弈、生产商主导和零售商主导为体现形式的四种供应链形态下,南国芳等运用博弈论的方法建立了零售商产品回收决策模型,模型中充分体现了零售商在产品回收中的促销优势,并对比分析了生产商主导回收条件下的统一定价和差别定价策略,结果表明零售商主导产品回收模式下供应链的共同利润能够达到最大化^[14]。王文宾等考虑到外界激励对闭环供应链网络效率的影响,研究了政府的惩罚政策与补贴政策分别对网络中制造商与回收商的影响,并且对参数进行分析得出结论^[15]。Marx-Gomez等在返回数量预测过程中引入了模糊推理、神经网络等人工智能技术^[16]。考虑到废旧产品的质量和用户心理回收价格等因素,针对再制造系统中以整体再制造为主要利用方式的废旧产品,阳成虎等建立了无约束混合整数规划情形下的单周期回收模型。研究表明,稳定的回收来源能有效的提高废旧产品的回收价格和回收数量^[17]。Hess和Mayhew考虑了产品种类、产品价格和返回原因等因素,开发了预测返回产品数量随时间的累积趋势的回归模型^[18]。肖复东等在考虑零售商的不同需求风险规避度时,针对零售商追求最大化效用分别建立了由不同回收主导方负责回收的三种闭环供应链模型,并比较分析了三种模式中制造商最大期望利润、零售商的最大期望效用以及最优回购比例。研究表明闭环供应链中的最优决策会明显受到零售商的不同风险规避度的影响^[19]。Cohen等人构建了废弃产品回收的单级库存模型,假设经过一定的时间延迟,销售的产品以固定比例被制造商收回,分析对比得出了其最优解,但未考虑订货提前期和固定的回收费用等问题^[20]。Golroudbary等提出了一个考虑收集中心、顾客满意度和绿色形象因子的闭环供应链系统动力学模

型,模型的构建以解决需求延迟和返货率低等瓶颈问题为目标^[2]。

对零售商主导的回收模式供应链进行研究,通过对供应链上各节点企业关系的协调优化以及供应链管理模式的改善,提高供应链的整体绩效,对于进一步认识零售商的地位和作用,充分发挥零售商在供应链中的主导权,具有重要的指导意义和借鉴作用。本文基于以上理论观点,分析美的集团的废旧电子产品回收项目,将零售商作为回收主导方引入供应链回收流程,研究了由单一的制造商和零售商组成的闭环供应链系统,运用系统动力学方法对闭环供应链下零售商主导回收模式构建相关模型并进行仿真。仿真结果表明,将零售商作为回收主导方引入供应链回收流程,可以有效的分担传统闭环供应链上制造商的回收压力,有利于制造商专注于其核心生产业务,并充分利用了零售商广泛的营销网络进行废旧电子产品的回收,减少了对大量固定回收站点的投资(包括回收站点的建设与维护等费用)和分散管理的难度。同时综合考虑零售商的回收积极性,制定制造商激励策略,实现对废旧电子产品回收效果的最优化。

1 零售商主导回收的闭环供应链特点

美的集团是一家以家电业为主的大型企业集团,目前在中国拥有规模化的家电生产基地和出口基地,旗下拥有美的、小天鹅、威灵、华凌等十余个品牌。美的集团自创办以来,在家电行业内一直保持稳定快速增长,注重技术创新,致力于成为全球家电类顶级的制造企业集团。2012年政府通过激励机制鼓励和约束生产企业进行废旧电子回收的途径已在我国有了一定的实现,由于美的集团在我国家电行业中占据有市场优势,其很快就设立了废旧电子回收项目。然而,项目实施半年以来,美的集团又被迫终止了该回收项目。主要原因如下:

1) 企业建立正规的废旧电器回收处理项目,需要较高的投入成本。

2) 作为回收再制造企业的代表,美的集团在建设回收处理项目上投入了大量的资金,却一直没有得到政府的补贴,给企业资金的流动带来了极大的压力。

3) 由企业废旧电子产品进行回收,缺乏当地政府的支持,回收活动影响范围较小,导致回收效果不明显。

因此,在不影响产品需求的情况下,构建科学合理的电子产品回收体系,实现废旧电子产品的回收再制造,是保证美的集团家电行业可持续发展的重要途径。基于以上理论观点,并以改善美的集团在废旧电子产品回收方面的不足为目标,将零售商作为回收主导方引入供应链回收流程,可以有效弥补当前供应链在回收能力方面的缺陷。

零售商主导的回收模式(retailers dominate the recycling, RDR),其模型如图1所示。在图中,RDR模式是由制造商和零售商分工合作,制造商负责电子产品的生产,而零售商则负责电子产品的销售以及废旧电子产品的回收。实际上,利用零售商的电子产品销售网络和物流体系,充分发挥零售商的主导作用,电子废弃物回收问题可以得到改善,理由如下:

1) 由零售商组建起来的电子产品零售网络遍布全国的城乡各地,以各零售点作为废旧电子产品回收站不仅极大的方便了消费者参与电子废弃物的回收活动,而且另建回收渠道的成本也得到了节省。

2) 依托原有的电子产品零售网络运输和配送体系,可以方便的将各零售点回收的废旧电子产品返回到制造商手中,节约运输成本。

3) 通过零售商对废旧电子产品进行回收,可以优化回收效,使回收得到的废旧电子产品能够及时得到合理的处置。

4) 消费者环保意识的不断提升对企业的社会责任有了更高的要求,也导致了零售市场的竞争越来越激烈。在这种情况下,零售商有通过承担社会责任协助企业进行形象塑造的内在动力,而由零售商主动进行电子废弃物的回收也很好的体现了参与环境治理、承担社会责任的要求。

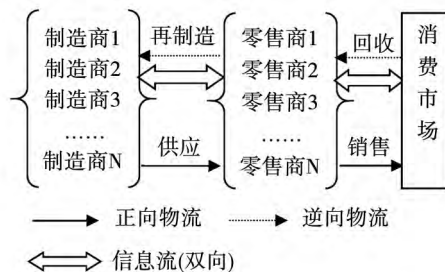


图1 零售商主导的回收模式模型

2 系统动力学模型的构建

本文将运用系统动力学方法,以美的集团某家

用电器的销售及回收再制造情况为例建立电子废弃物回收系统模型,研究在零售商主导回收模式下供应链的运行情况。

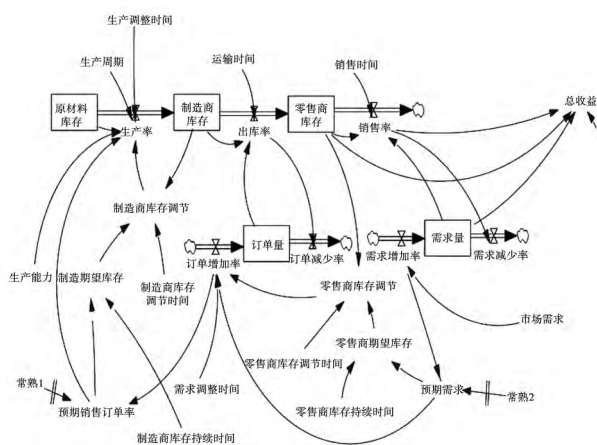


图2 当前美的集团经营模式的系统动力学流图

图2为不带回收的三级供应链,分别由一个原材料库存、一个制造商库存和一个零售商库存构成。通过向上游采购得到原材料,制造商对原材料进行加工成为产品,零售商根据市场需求向制造商订货,然后将产品销售给市场。该模式下的供应链功能太过单一,导致市场上废弃电子产品增多,既消耗产能,又会造成环境的污染。这种供应链仅限于点到点的集成,注重于内部联系且灵活性差。如果其中某一个节点作用失效或某一个环节延迟对接,其它节点企业创造价值的活动乃至整个供应链的价值增值都会受到影响。其弊端具体表现在以下三个方面:

1) 市场变化能力迟钝。随着信息化时代的不断发展,大多数没有使用互联网等先进技术的传统企业,其落后的内部业务流程和信息传递方式严重制约了企业自身业务的发展,使得整个供应链无法快速的对实时多变的市场需求作出响应。

2) 各成员企业之间缺乏信赖。一方面,由于供应链的各节点企业是具有不同经济利益的实体,他们习惯于以自己的文化层次、社会地位、战略目标来理解和看待彼此之间的合作关系,从而容易对合作伙伴的行为产生不理解或者不信任的现象。另一方面,供应链各企业成员在合作过程中,往往会采取一系列保护和防范措施去避免将企业机密暴露给对方,降低了供应链参与各方的信任度,极大的抑制了供应链的运作效率。

3) 供应链失调。在传统的供应链管理中,如果供应链中的每一个节点企业都未考虑其行为对整条

供应链效益的影响,而只顾着追求自身利益的最大化,供应链在这种情况下就会产生失调现象。由于供应链失调而导致各成员企业间的实时供求信息不能及时得到共享,企业只能依据各自内部独立的预测和需求信息机制来制定其运营策略,从而使供应链的整体效益受到供应链“牛鞭效应”带来的负面影响。

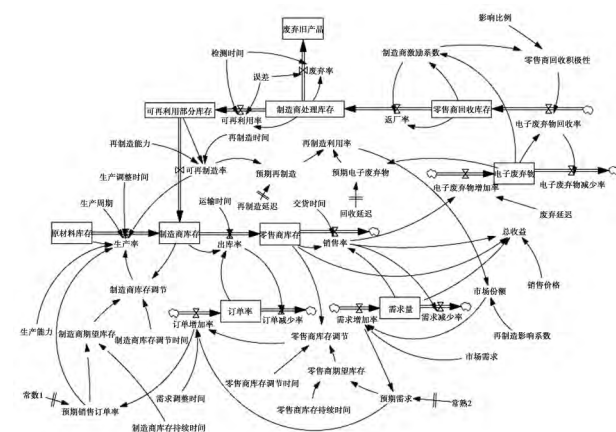


图3 零售商主导的回收模式系统动力学流图

图3为改进后的零售商主导的回收模式供应链,在零售商将产品销售给市场后,由它自己进行废弃电子产品的回收,并直接返回给制造商,制造商对其进行检测处理,可再利用的部分进行返厂再制造,不能再利用的作废弃处理。这种回收模式是制造商通过与零售商达成协议,零售商作为回收主体,起着连接制造商和市场的作用,主要负责产品的销售和回收工作,而制造商只需要负责产品的生产和再制造,以及给予零售商在回收方面一定的经济补偿。

这种由零售商负责的回收模式在电子产品回收行业以及家居生活用品的回收中是比较常见的。零售商是整个供应链中最靠近市场的一个节点,如果其作为供应链的回收核心,则供应链对于市场需求的直接获取和市场出现波动反应的及时处理都会快捷得多。在当今市场消费者地位越来越重要的情况下,掌握了实时需求信息的零售商协助供应链管理者的各种决策也会更加现实和理性,因此由零售商主导回收的模式具有很大的发展优势和进步空间。

由于零售商主导回收存在着回收成本,所以制造商需要制定适当的激励策略和条约,来激励零售商在回收方面的努力程度。如图4所示。通过正规渠道回收的废旧电子产品只能销售给具有专业资质的处理企业,而处理企业不仅是废旧物资回收处理

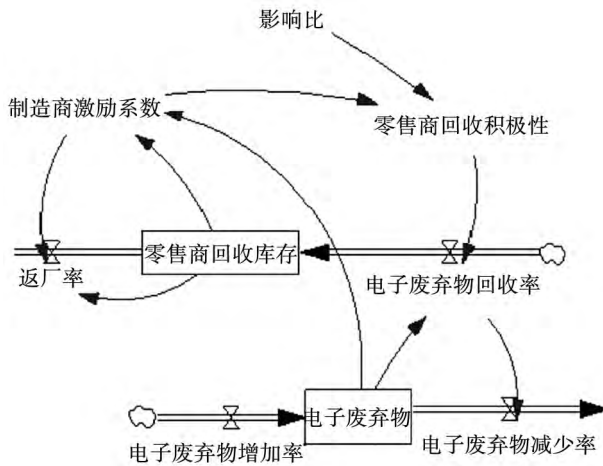


图4 制造商激励策略流程图

项目中最获利的环节,也是政府财政补贴的主要对象,导致零售商在废旧电子产品回收方面获利远远低于个体回收者。在这种背景下,一方面政府可以通过调节税收、财政补贴等政策降低零售商的回收成本;另一方面,制造商可以通过适当的激励政策对参加回收的零售商进行补贴,使得零售商可以适当的提高废旧电子产品的回收价格,增加其在回收市场的竞争优势。制造商也可以通过授予回收绩效优异的零售企业各种社会荣誉等方式进行奖惩,同样也能对零售商的回收积极性起到良好的激励作用。制造商激励策略具体规则如下:

制造商激励系数 = IF THEN ELSE(零售商回收库存 < = (0.8 * 电子废弃物) , IF THEN ELSE(零售商回收库存 < = (0.5 * 电子废弃物) , IF THEN ELSE(零售商回收库存 < = (0.3 * 电子废弃物) , 0.1, 0.2) , 0.3) , 0.5) .

当零售商回收库存 < = 0.3 * 电子废弃物时,制造商对零售商的激励系数是 0.1;

当 0.3 * 电子废弃物 < 零售商回收库存 < = 0.5 * 电子废弃物时,制造商对零售商的激励系数是 0.2;

当 0.5 * 电子废弃物 < 零售商回收库存 < = 0.8 * 电子废弃物时,制造商对零售商的激励系数是 0.3;

当零售商回收库存 > = 0.8 * 电子废弃物时,制造商对零售商的激励系数是 0.5。

零售商回收积极性 = 制造商的激励系数 * 影响比例。

在该策略中,我们通过零售商回收库存在电子废弃物中所占的比重来确定制造商对零售商的激励系数,比重值越大,制造商对零售商的激励系数越

高,两者呈线性正比关系,零售商回收积极性也会有相应的提高,其中调整影响比也可以对零售商回收积极性产生影响。随着零售商回收积极性的提高,市场上电子废弃物的流通数也会相应的减少。

3 模型的主要参数及方程

假设在电子废弃物回收系统供应链模型中,市场对美的集团某家用电器的需求服从标准正态分布,

$$\text{市场需求} = \text{RANDOM NORMAL}(1, 1000, 100, 100, 2) \quad (1)$$

部分常量设置如表1所示。

表1 常量设置

参量	值
生产周期	2
交货时间	1
销售价格	10
再制造能力	0.36
误差	0.2
运输时间	1
生产能力	10
常数1	12
再制造时间	1.2
再制造延迟	48

仿真时间长度: INITIAL TIME = 0 Week, FINAL TIME = 100 Week, TIME STEP = 1 Week, 表示仿真周期为 100 个周,一周为一个步长。

主要函数关系表达式:

其中生产率受生产能力、生产周期、原材料库存等多个因素的影响, $\text{生产率} = \text{MAX}(\text{MIN}(\text{生产能力}, \text{MIN}(\text{供应商库存} / \text{生产周期}, \text{MIN}(\text{预期销售订货率} - \text{可再制造率})), \text{制造商库存调节} / \text{生产调整时间})) , 0)$ (2)

$$\text{不带回收模式下, 制造商库存} = \int_{t_0}^t (\text{生产率} - \text{出库率}) dt \quad (3)$$

$$\text{在零售商主导回收模式的体系下, 考虑到可再制造率的影响, 制造商库存} = \int_{t_0}^t (\text{生产率} + \text{可再制造率} - \text{出库率}) dt \quad (4)$$

$$\text{订单增加率} = \text{MIN}(\text{预期需求}, \text{零售商库存调节}) / \text{需求调整时间} \quad (5)$$

$$\text{需求增加率} = \text{市场需求} * (1 + \text{市场份额}) \quad (6)$$

$$\text{电子废弃物回收率} = \text{零售商回收积极性} * \text{电子废弃物} \quad (7)$$

$$\text{可再制造率} = (\text{可再利用部分库存} / \text{再制造时间}) * \text{再制造能力} \quad (8)$$

$$\text{市场份额} = \text{再制造影响系数} * \text{再制造利用率} \quad (9)$$

$$\text{总收益} = \text{MIN}(\text{零售商库存}, \text{需求量}) * \text{销售价格} * \text{销售率} \quad (10)$$

4 仿真结果及分析

为了方便模型计算,本文对此模型作如下假设,且这些假设不影响模型结果的准确性。

假设1: 本文建立的模型仅考虑生产、回收、再制造一种(废旧)产品,且再制造产品与新产品在质量上无任何差别。

假设2: 模型中各节点影响供应链正常运作的因素均不受制约(包括生产能力、技术、人员、设备等因素)。

假设3: 本文回收的废旧电子产品是指消费市场上各种废弃不再使用的电子产品,而不考虑消费者因产生质量问题而进行的退换货电子产品。

假设4: 由于受到生产商的委托,零售商在销售的同时还负责废旧电子产品的回收工作;而生产商负责对废旧电子产品的拆卸和处理,以便投入到再制造品的生产中。

假设5: 假设再制造闭环供应链中的信息是完全对称的,而且有稳定的回收来源;通过回收得到的废弃电子产品全部都可以进行返厂再制造,无须考虑制造商和零售商的库存成本和缺货成本。

模型构建用于探讨在某段时间内,实施零售商主导回收模式下供应链所产生的总收益情况以及对市场份额的影响。仿真结果如下:

1) 零售商主导回收模式对市场份额和销售率的影响。图5表明了在一定市场份额的情况下,实施零售商主导回收模式将对该电子产品市场份额的增长产生积极的影响,且逐渐趋于平稳。这是因为通过零售商对废旧电子产品进行回收,一方面既节约了原材料采购成本,又减少了资源浪费,为企业带来经济效益;另一方面有助于缓解废旧电子产品带来的环境压力,发展企业与消费者以及政府之间的互信关系,为企业建立良好的绿色形象,实现

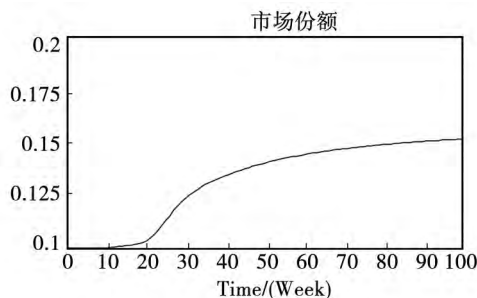


图5 实施零售商主导回收模式对市场份额的影响

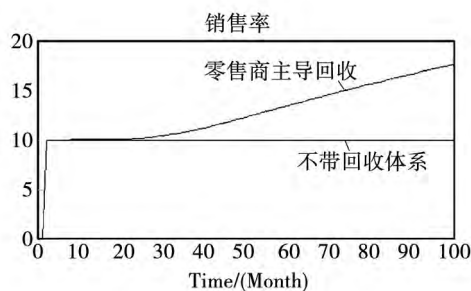


图6 实施零售商主导回收模式对销售率的影响

社会效益。从图6可以看出,在增加了零售商主导回收模式后,该家用电器的销售率也较不带回收模式有了明显的提升。这是因为一方面零售商可以使用现有的正向物流渠道使回收产品逆向运达制造商,避免了制造商建立和维护回收网络方面的大量投资;另一方面零售商回收方式灵活可以促进产品的回收,回收率增加可以更大程度地重复利用资源和促进环保。

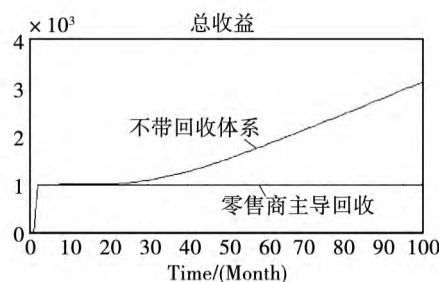


图7 总收益对比

2) 零售商主导回收模式下供应链的总收益情况。从图7可以看出,因为该供应链的原材料有限,所以在不带回收体系模式下的总收益是固定的。而在增加了零售商主导回收模式后,实现了废旧电子产品的回收利用及其再制造,使得供应链的总收益有了明显的提高。构建电子废弃物逆向物流回收模式项目具有一次投资、长期利用的特点,建立零售商

主导电子废弃物回收模式,企业可以通过检验和修复等程序将回收所得的可用零部件直接投入再生产,间接减少生产成本,从而使产品的使用效能达到最大化。生产成本的降低必然会带来总收益的上升,亦即利润最大化/成本最小化是企业构建电子废弃物逆向物流回收模式的根本动力。

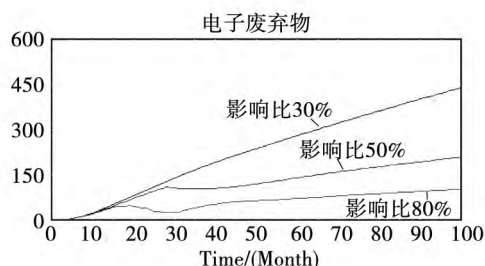


图8 制造商激励策略对电子废弃物数量的影响

3) 制造商激励策略对废弃电子产品数量的影响。实施零售商主导回收模式对废弃电子产品进行回收,零售商的回收积极性受制造商激励策略的影响,从而会影响到废弃电子产品的回收量。模型中,通过调整相关参数,分别设置影响比系数为30%、50%、80%,运行模型,得到制造商激励策略对废弃电子产品数量的影响,如图8所示,说明在其它影响因素稳定的情况下,随着影响比系数的提高,废弃电子产品的数量也会随之减少。具体数据变化如表2所示。

表2 制造商激励策略对电子废弃物数量的影响

时间	影响比		
	30%	50%	80%
第10周	22.3561	21.3259	19.9091
第30周	140.166	107.696	28.581
第50周	245.787	134.331	71.223
第70周	340.895	182.589	93.1629
第90周	429.756	219.359	110.08

从表2中可以看出,在第10周,影响比从30%上升到80%,电子废弃物从22.3561减少到19.9091;在第30周,影响比从30%上升到80%,电子废弃物从140.166减少到28.581;类似的第50周、第70周、第90周也表现出相同趋势。由此我们可以得到,在某一个固定的时间节点,随着影响比系数的升高,电子废弃物的数量会逐渐减少,两者呈负相关关系。这表明制造商的激励策略对电子废弃物的回收是有效的。

5 提高闭环供应链回收效率的对策建议

采用零售商主导的回收模式构建并实施电子废弃物的回收,不仅有助于企业实现经济效益的最大化,还有助于促进社会环境效益的最大化。通过对零售商主导模式下回收供应链流程的总体设计,并借助系统动力学工具对其进行模拟仿真分析,仿真结果表明零售商主导的回收模式对家用电器的销售率以及市场份额的增长产生了积极的影响,在引入了制造商激励策略后,废旧电子产品的回收效果也有了明显的提升。

结合本文建立的零售商主导的回收模式系统动力学模型,得到以下结论:

- 1) 相比于传统供应链,零售商主导的回收模式是占优的;
- 2) 实施制造商激励策略有助于提升电子废弃物的回收效率;
- 3) 随着影响比系数的升高,电子废弃物的数量会逐渐减少。

为了保证电子废弃产品逆向供应链的有效构建及实施,制造商和零售商应考虑以下策略及建议:

- 1) 大力宣传电子废弃产品的再制造及利用等相关环保信息,重视企业社会形象的树立;
- 2) 完善彼此之间的联合回收契约,实现供应链效益的最大化;
- 3) 零售商应充分发挥自身在逆向供应链中的独特优势,做制造商和消费者之间的有效衔接点;
- 4) 制造商应改善和升级其制造工艺理念,重视再制造流程与制造流程的统一结合。

本文虽然给出了零售商主导回收模式的系统动力学模型,但其在对模型的某些细节方面考虑得不够周全,在完善模型的相关影响因素以及对模型框架的补充上还有待深入。

参考文献:

- [1] GEYER R, JACKSON T. Supply Loops and Their Constraints: The Industrial Ecology of Recycling and Reuse [J]. California Management Review, 2004, 46(2): 55-73.
- [2] STEVENS, GRAHAM C. Integrating the Supply Chain [J]. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 1989, 19(8): 3-8.
- [3] 付立坤,乔佩利. 基于自适应分布式搜索的供应链协调优化算法 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2015, 20(2): 80-84.

- [4] GUIDE JDR, KRAUS ME, SRIVASTAVA R. Scheduling Policies for Remanufacturing [J]. International Journal of Production Economics, 1997(48): 187-204.
- [5] KRIKKE HR et al. Concurrent Product and Closed-Loop Supply Chain Design with an Application to Refrigerator [J]. International Journal of Production Research, 2003, 41(16): 3689-3719.
- [6] ANNA Nagurney, FUMINORI Toyasaki. Reverse Supply Chain Management and Electronic Waste Recycling: a Multi-tiered Network Equilibrium Framework for e-cycling [J]. Transportation Research Part E, 2005, 41(5): 1-28.
- [7] DAVID Hammond, PATRICK Beullens. Closed-loop Supply Chain Network Equilibrium Under Legislation [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 22(183): 895-908.
- [8] FLEISCHMANN M, KUIK R, DEKKER R. Controlling Inventories with Stochastic Item Returns: A Basic Model [J]. European Journal of Operational Research, 2001(38): 63-75.
- [9] 乔佩利,王娜. 电子商务供应链逆向物流的 LRIP 问题研究 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2016, 21(2): 28-31.
- [10] HUANG M, SONG M. Analysis for Strategy of Closed-loop Supply Chain with Dual Recycling Channel [J]. International Journal of Production Economics, 2013, 144(2): 510-520.
- [11] SAHA S, SARMAH SP, MOON I. Dual Channel Closed-loop Supply Chain Coordination with a Reward-driven Remanufacturing Policy [J]. International Journal of Production Research, 2016, 54(5): 1-15.
- [12] YANG GF, WANG ZP, LI XQ. The Optimization of the Closed-loop Supply Chain Network [J]. Transportation Research: Part E, 2009, 45(1): 16-28.
- [13] 余福茂,钟永光,沈祖志. 考虑政府引导激励的电子废弃物回收处理决策模型研究 [J]. 中国管理科学, 2014, 22(5): 131-137.
- [14] 王婷婷,南国芳. 基于博弈论的零售商产品回收决策模型 [J]. 系统工程学报, 2015, 30(6): 790-803.
- [15] 王文宾,达庆利,胡天兵,杨广芬. 基于惩罚与补贴的再制造闭环供应链网络均衡模型 [J]. 运筹与管理, 2010, 19(1): 65-72.
- [16] MARX-GOMEZ J, RAUTENSTRAUCH C, Niimbergrr A, et al. Neuro-fuzzy Approach to Forecast Returns of Scrapped Products to Recycling and Remanufacturing [J]. Knowledge-Based System. 2002(15): 119-128.
- [17] 阳成虎,刘海波,卞珊珊. 再制造系统中废旧产品回收策略 [J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(4): 875-880.
- [18] HESS J D, MAYHEW G E. Modeling Merchandise Returns in Direct Marketing [J]. Journal of Direct marketing, 1997, 11(2): 20-35.
- [19] 肖复东,聂佳佳,赵冬梅. 考虑零售商风险规避的闭环供应链回收策略研究 [J]. 工业工程与管理, 2011, 16(5): 60-67.
- [20] COHEN M A, NAHMIA S, PIERSKALL W P. A Dynamic Inventory System with Recycling [J]. Naval Research Logistics Quarterly, 1980, 27(2): 289-296.
- [21] GOLROUDBARY S R, ZAHRAEE S M. System Dynamics Model for Optimizing the Recycling and Collection of Waste Material in a Closed-loop Supply Chain [J]. Simulation Modelling Practice & Theory, 2015, (53): 88-102.

(编辑:王 萍)