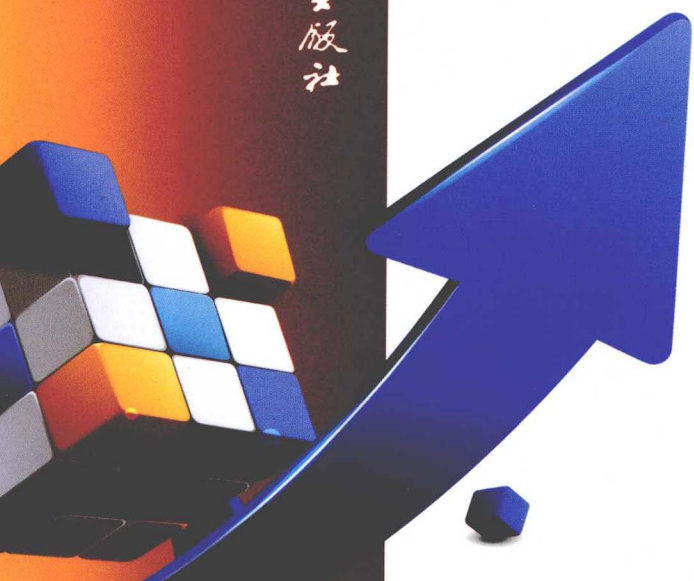


主动回收下的 逆向供应链系统建模与优化

MODELING AND OPTIMIZATION OF
REVERSE SUPPLY CHAIN SYSTEM WITH
ACTIVE ACQUISITION

李响◎著

中国物资出版社



主动回收下的逆向供应链系统 建模与优化

李 响 著

中国物资出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

主动回收下的逆向供应链系统建模与优化 / 李响著. —北京: 中国物资出版社, 2011. 11

ISBN 978 - 7 - 5047 - 4054 - 0

I. ①主… II. ①李… III. ①供应链—系统建模②供应链—最佳化
IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 234911 号

策划编辑 郑欣怡
责任编辑 郑欣怡

责任印制 方朋远
责任校对 孙会香 杨小静

出版发行 中国物资出版社

社 址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼 邮政编码 100070

电 话 010 - 52227568 (发行部) 010 - 52227588 转 307 (总编室)
010 - 68589540 (读者服务部) 010 - 52227588 转 305 (质检部)

网 址 <http://www.clph.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京京都六环印刷厂

书 号 ISBN 978 - 7 - 5047 - 4054 - 0/F · 1621

开 本 710mm × 1000mm 1/16

印 张 15.25

字 数 258 千字

版 次 2011 年 11 月第 1 版

印 次 2011 年 11 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

版权所有 · 侵权必究 · 印装差错 · 负责调换

本书得到国家自然科学基金 (Nos. 71002077、70971069) 和
霍英东基础研究基金 (No. 121078) 的资助。

前 言

20 世纪以来，全球经济高速发展带来的资源供给短缺、环境污染加剧等问题日益突出。传统的经济增长模式以牺牲环境为代价，造成了地球资源不断减少和生态环境危机，整个人类的生存环境面临严峻的考验。为提高资源利用率、减轻环境污染压力，欧美发达国家开始对废旧物品、原材料以及包装材料等进行回收、处理和再利用。通过强制立法，政府责令生产企业对产品的整个生命周期负责，并要求他们回收处理所生产的产品或包装物品等。这必然要求企业对产品的逆向流动进行综合管理，由此出现了逆向物流。在逆向物流中一般会涉及多主体、多环节，对产品回收、再利用、再流通等整个逆向流程进行一系列的活动，这些主体、环节和活动形成链状结构，构成了逆向供应链。

逆向供应链具有逆向物流和供应链的双重特征。一方面，它包含逆向物流的内涵和外延。目前许多国家已经把发展逆向物流作为实施可持续发展战略的重要途径和实现方式，而逆向供应链中的物流活动完全涵盖逆向物流的范畴，包括废旧物资、中间产品和再制造成品等的回收、仓储、运输及其他各种形式的流通。另一方面，逆向供应链具有一般供应链多主体、多环节、多渠道的特征，是集成物流、信息流、资金流三流合一并连通上下游成员企业和最终消费者的价值链，其内涵已经大大超越了逆向物流的概念。例如，就信息流来说，在逆向供应链中不同企业间的信息如何共享，从而达到供应链成员的双赢或多赢？就资金流来说，如何根据供应链成员的工作结果来对整个供应链利润实现合理的分配，从而激励更高效回收或再制造活动来提升供应链绩效？此外，逆向供应链的最重要特性——随机性是如何在不同企业之间传递和作用的？多链构成的逆向供应链网络中的回收竞争与合作对系统决策和绩效有什么影响？



从实践的角度, 逆向供应链不断发展的现实迫切需要以上一些问题得到解答。而从研究的角度, 对这类问题的研究, 特别是针对逆向供应链中典型问题进行系统理论研究的专著、书籍非常少见。本书正是瞄准工业界的热点同时又是研究的空白点, 基于运营管理和优化理论的相关工具、方法, 对逆向供应链中的一系列问题建立定量模型并进行优化研究, 发掘其中的管理学意义和经验, 并力求做到问题从实践中来, 结果回到实践中去。特别是针对现今企业和逆向供应链主动回收废旧产品的现象, 强调通过现金买回等经济激励方式对废旧产品的回收进行主动控制, 系统地研究其中的回收管理、库存控制、生产计划、销售定价、竞争博弈、契约协调等问题。

本书分为4篇共10章。第1篇为研究背景, 主要介绍本书的研究动机、问题和方法以及通过对前人研究的回顾, 铺托本书的创新点和贡献。第2篇为再制造系统, 主要研究集中式决策的再制造系统, 包括纯再制造系统和较为复杂的制造/再制造混合系统。第3篇为逆向供应链, 研究了完全信息下的逆向供应链协调和不完全信息下的委托代理机制。第4篇为供应链网络, 研究了双链和多链下横向竞争、合作的供应链网络。本书集成了笔者近年来在逆向供应链领域的最新研究成果, 内容丰富而又自成体系。总体的研究思路是从集中式到分散式, 从完全信息到不完全信息, 从单链到多链, 从简单到复杂, 后面章节的研究内容以前面的章节为基础, 循序渐进, 不断深化, 并特别注意不同章节、不同模型、不同假设之下结果的对照与联系。

近年来, 我国明确提出要加快建设资源节约型、环境友好型社会, 政府对废旧产品回收、处理和再利用问题的重视程度不断提高, 相继出台了一系列法律法规对企业的产品回收责任等问题做了明确规定。政府还以各种方式引导和推动企业实施逆向供应链管理, 取得了一定的经济和社会效益。随着产品生命周期日益缩短, 我国汽车、电器、电子产品等更新换代和淘汰高峰期的到来, 以产品回收处理、再利用为导向的逆向供应链的实践和研究必将不断发展, 希望本书能够起到抛砖引玉的作用, 引起更多有识之士对我国逆向供应链领域的关注和研究。

本书虽酝酿已久, 然而成书较为仓促, 错误或不当之处, 恳请大方之家不吝赐教。

最后, 感谢蔡小强教授、李勇建教授对笔者多年的帮助, 不仅包括研究

上的合作，他们更是我生活中的良师益友。感谢刘秉镰教授一直以来的关心和支持。感谢国家自然科学基金和霍英东基础研究基金的资助。感谢本书出版过程中中国物资出版社给予的大力支持。

感谢我的家人，我永远的爱。

李 响

2011 年 8 月

目 录

第1篇 研究背景

1 研究动机、问题与方法	3
1.1 研究动机和问题	3
1.2 理论基础和方法工具	5
1.2.1 库存理论	5
1.2.2 供应链协调理论	7
1.2.3 委托代理理论	8
1.3 研究框架和内容安排	9
2 逆向供应链概述与发展	13
2.1 逆向物流概述	13
2.1.1 逆向物流的概念	13
2.1.2 逆向物流的驱动因素	14
2.1.3 逆向物流的特点	18
2.1.4 逆向物流系统流程与再制造	19
2.2 从逆向物流到逆向供应链	22
2.2.1 逆向供应链系统	22
2.2.2 主动回收下的逆向供应链	26
2.3 逆向供应链研究概述与回顾	31
2.3.1 定性研究	32



2.3.2 库存管理	33
2.3.3 回收管理	36
2.3.4 博弈与竞争	38
2.3.5 研究回顾小结	40

第2篇 再制造系统

3 随机产率和随机需求下的再制造系统优化	45
3.1 引言	45
3.2 系统运行流程与模型假设	47
3.2.1 运行流程	47
3.2.2 模型假设	48
3.3 模型优化与分析	49
3.3.1 优化求解	49
3.3.2 数值分析	53
3.3.3 模型扩展	58
3.4 本章小结	63
4 随机回收和随机产率下的制造/再制造混合系统优化	64
4.1 引言	64
4.2 模型假设与运行流程	66
4.2.1 模型假设	67
4.2.2 运行流程	68
4.3 模型优化与分析	70
4.3.1 模型1: 制造时间短的情形	70
4.3.2 模型2: 制造时间长的情形	78
4.3.3 两种特殊情形	87
4.4 本章小结	91

第3篇 逆向供应链

5 “回收商一再制造商” 逆向供应链协调	95
5.1 引言	95
5.2 模型假设与运行流程	97
5.2.1 运行流程	98
5.2.2 模型假设	98
5.3 模型优化与分析	100
5.3.1 批发价合同下的分散式决策系统	100
5.3.2 集中式决策系统	102
5.3.3 供应链协调机制	104
5.3.4 数值分析	111
5.4 多回收商逆向供应链的协调	116
5.4.1 非竞争的回收商	117
5.4.2 竞争的回收商	118
5.5 本章小结	121
 6 “再制造商一分销商” 逆向供应链协调	 122
6.1 引言	122
6.2 模型假设与运行流程	123
6.2.1 运行流程	123
6.2.2 模型假设	124
6.3 模型优化与分析	125
6.3.1 批发价合同下的分散式决策系统	125
6.3.2 集中式决策系统	131
6.3.3 供应链协调机制	132
6.3.4 数值分析	133
6.4 本章小结	136

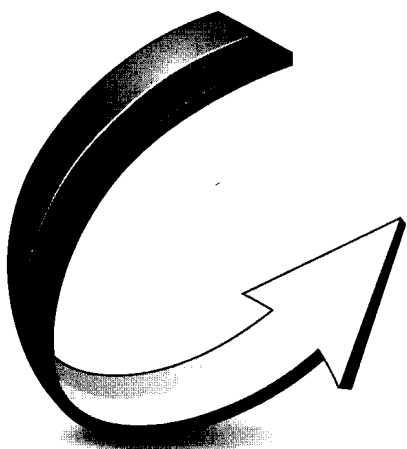


7 不对称信息下的逆向供应链合同机制设计	137
7.1 引言	137
7.2 考虑回收定价的信息不对称逆向供应链	138
7.2.1 问题描述与数学模型	139
7.2.2 问题分析与最优合同	141
7.3 考虑 EPR 回收比例约束的逆向供应链	152
7.3.1 问题描述与数学模型	153
7.3.2 问题分析与最优合同	155
7.3.3 数值分析	161
7.4 本章小结	165

第4篇 供应链网络

8 回收竞争下的逆向供应链双链博弈	169
8.1 引言	169
8.2 双链博弈模型	171
8.3 均衡结果与分析	173
8.3.1 均衡推导与结果	173
8.3.2 均衡分析	178
8.4 批发价讨价还价下的双链博弈	182
8.4.1 讨价还价下的单链	182
8.4.2 讨价还价下的双链	183
8.5 本章小结	187
9 随机回收下的多链回收竞争与合作博弈	189
9.1 引言	189
9.2 多链的联合回收合作博弈	190
9.2.1 合作博弈的重要引理	191

9.2.2 模型描述与假设	192
9.2.3 博弈的平衡性	195
9.2.4 数值算例	197
9.3 多链的竞争回收非合作博弈	199
9.3.1 模型描述与假设	200
9.3.2 均衡分析	201
9.3.3 数值分析	205
9.4 本章小结	208
 10 结 语	 210
10.1 主要贡献和结论	210
10.2 未来研究方向	213
 参考文献	 215



第1篇 研究背景

本篇介绍本书的研究背景，分为两章。第1章介绍了研究动机、提出研究问题并总结了用到的研究方法；第2章介绍了本书的主题——逆向供应链在工业界的发展和在学术界的研究状况。

1 研究动机、问题与方法

1.1 研究动机和问题

产品的回收再利用是十分常见的现象。很多年以前，废铁、废纸及用过的饮料瓶就已经是我们回收再利用的对象了。近年来，随着可持续发展的要求不断提升和绿色工业革命的兴起，国内外企业和学者对绿色制造以及产品回收利用方面的研究和实践不断深入，如何使制造业最有效地利用资源同时最大限度地减少环境污染，已成为一个重要的课题。此外，激烈的市场竞争使得产品的生命周期不断缩短，居高不下的退货率和对产品退换维修等售后服务的要求日益提高，也使得越来越多的企业开始重视对产品返回的处理。

由于适应了以上需要，逆向物流和再制造工程正在成为极具发展前景的新兴产业。据统计，早在 1996 年，美国专业再制造公司已经超过 7.3 万家，直接雇用 48 万人，生产 46 种再制造产品，每年的销售额超过 530 亿美元。其中汽车再制造产业的年销售额是 365 亿美元，有 6000 家企业进行打印机硒鼓的再制造，年销售额达到 30 亿美元。欧洲也通过了有利于再制造工程的相关法律和法规，且正在德国建设欧洲再制造技术中心。相比之下，我国的逆向物流和再制造业的发展还处在起步阶段，相关的支持政策和法律法规尚不健全，参与企业数量少、规模小，逆向回收率低，再制造技术也有较大差距。即使是在再制造业发达的西方国家，由于逆向物流和再制造系统的复杂性，也仍然存在着大量的管理问题有待解决。

废旧产品回收是逆向物流和再制造过程的第一个环节，对再制造企业能否获利有很大的影响。以往的一些再制造企业被动等待消费者或终端用户自觉将生命周期完结的废旧产品交到其手中，这种方式被称为被动回收。这是



一种消极对待废旧产品回收流的办法，大都见于国外的回收物流体系。究其原因，主要是国外的环保法律法规健全，民众环保意识较高，消费者会自觉地将使用后产品（免费甚至自己付费）交还。最近几年来，随着逆向物流和再制造技术的发展，越来越多的企业认识到其中蕴藏的巨大利润，开始作为发起者主动地深入消费者群，采取以旧换新或者直接买回等方式，以经济利益刺激消费者进行产品回收。这种方式被称为主动回收。此外，由于再制造和逆向物流技术的专业性，采取主动回收方式的企业也常常与上下游的企业进行合作，例如，将回收业务外包给专门的回收商或者第三方，或通过专门的分销商对再制造产品进行促销、宣传或销售，由此形成了由多企业节点组成的逆向供应链，实现产品的回收、再制造和再流通。即针对逆向供应链中企业采用定价买回等方式主动回收废旧产品时面临的一些管理问题进行研究。值得指出的是，在欧美，企业主动回收的实例已经很多；在我国，由于法律法规的不完善和环保意识的淡薄，国人普遍接受的更多的是以企业回收为主导的向消费者进行经济补偿的回收方式，绝大部分的企业采取的也是这种方式，因此，对其进行研究对我国的再制造业和供应链管理的发展具有更重要的意义。

此外，逆向供应链的最主要的特点之一就是回收产品的随机性。具体来说，产品返回的数量是随机的，很难预测每次能够回收多少产品；产品返回的质量是随机的，很难预测有多少回收产品能够达到再制造要求的标准；产品返回的时间是随机的，很难预测什么时候、哪些产品的生命周期完结，用户愿意在什么时间返回产品。此外，逆向供应链中存在信息的不对称性，例如，当再制造商将产品回收业务外包给回收商时，回收商的成本类型等信息对再制造商来说存在不确定性。以上这些随机因素对再制造企业和整个逆向物流系统管理提出了严峻考验。如何利用回收定价等主动回收方式对回收端作出一定的控制，实现回收产品（原材料）和再制造产品需求（市场）的匹配，是逆向供应链中亟待解决的问题。

本书正是基于以上背景，针对以回收定价等方式进行主动回收的逆向供应链系统进行研究。我们提出若干重要研究问题：

（1）随机环境下的回收、再制造集中式系统的回收定价和销售定价如何决策，企业的风险态度对决策产生什么影响？



(2) 随机环境下制造/再制造混合系统中的回收、再制造和制造策略如何协调? 加快制造速度以提前获得再制造产率信息对系统的决策产生什么影响?

(3) 如何协调随机回收下的“回收商—再制造商”和“再制造商—分销商”逆向供应链?

(4) 不完全信息下的逆向供应链中的最优合同是怎样的, 此时信息的不确定性对供应链系统有何影响?

(5) 在回收竞争下的逆向供应链网络中, 链内的回收商和再制造商进行非合作竞争和合作博弈时的网络整体的均衡结构分别是什么样的?

(6) 随机回收下的多链网络进行横向结盟联合回收, 联盟是否稳定? 如果多链进行回收竞争, 是否存在唯一的均衡?

.....

我们将围绕以上问题, 建立定量的优化模型, 利用优化理论、博弈论、委托代理理论、供应链协调理论等方法论和工具, 分析模型最优解的性质, 通过挖掘其管理学意义回答以上问题, 并回到现实中对我们的答案进行进一步的印证。

1.2 理论基础和方法工具

本节介绍运作管理中三个重要的理论, 其中的一些概念、方法是本书的基础。

1.2.1 库存理论

对企业来说, 库存主要是指经营过程中为销售或生产耗用而储备的物资, 包括存储、加工中的以及在途的各种原材料、半成品、成品、包装物以及返回商品等。企业持有库存主要出于如下几个因素的考虑^[1]: 应对不确定的需求或供应的变动; 保持生产的连续性、稳定性; 达到订购的经济性等。

对库存的研究首先是在制造业中发展起来的。第二次世界大战以后, 人们开始致力于库存的风险性和不确定性方面的研究。在理论上, 这方面的研究成果已经相当丰富。最基本的库存问题是所谓的报童问题 (Newsvendor Problem): 面对单周期的随机需求 D , 缺货或过量订购会分别产生单位缺货损