

R/M集成供应链模型与决策

Models and Decisions for R/M Integrated Supply Chain

顾巧论 著



科学出版社

R/M 集成供应链模型与决策

顾巧论 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于作者多年的研究成果,主要针对 R/M 集成供应链的特点,对 R/M 集成供应链优化问题的建模与决策进行研究。本书以 R/M 集成供应链中选址、配送、定价、生产和库存等环节为主线,以废旧产品回收再制造为要点,兼顾不同科学方法在模型构建中的应用,对相关内容进行取舍融合而成。内容的系统性和方法的多样性是本书宗旨。

本书适合于从事再制造、逆向物流、闭环供应链及 R/M 集成供应链相关研究的科研工作者阅读,也可作为管理类硕士和博士研究生的参考书,还可供在实践中涉及再制造、逆向物流、闭环供应链及 R/M 集成供应链的企业决策者参考。

图书在版编目(CIP)数据

R/M 集成供应链模型与决策/顾功论著. —北京: 科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-042777-9

I. ①R… II. ①顾… III. ①供应链管理 IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 294403 号

责任编辑: 陈晓辉 / 责任校对: 柏连海

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 北大彩印

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张: 16

字数: 370 000

定价: 64.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62142126 编辑部电话 010-62138978-2009

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

R/M (Remanufacturing/Manufacturing, 再制造/制造) 集成供应链是指再制造和制造并存情况下的供应链, 是正向供应链和逆向供应链的集成。从再制造的角度, R/M 集成供应链是一种闭环供应链。由于在对废旧产品实施再制造的过程中, 存在部分可直接再使用的废旧产品以及拆解后存在可循环材料, 因此 R/M 集成供应链中也包含再使用闭环供应链和再循环闭环供应链。进一步, 由于拆解后存在需要运输到焚烧填埋场进行填埋的废弃物, 而焚烧填埋场不是正向供应链的成员, 因此 R/M 集成供应链中也包含废弃处理开环供应链。

从广义上说, R/M 集成供应链是闭环供应链和开环供应链的混合供应链, 呈现一主三辅的特点: 一主指其中的再制造闭环供应链; 三辅指其中再使用闭环供应链、再循环闭环供应链和废弃处理开环供应链。

本书基于 R/M 集成供应链的特点, 对 R/M 集成供应链优化问题的建模与决策进行研究。本书有三个特点: 一是研究时间跨度较长, 从 2002 年至 2014 年, 本书是在作者完成博士学位论文“再制造系统建模与优化方法研究”、博士后研究报告“三类供应链若干问题的研究——逆向供应链、R/M 集成供应链和 MC/MP 集成供应链”、主持完成国家自然科学基金项目“基于风险控制的 R/M 集成供应链优化问题研究”以及留学访问期间与知名教授合作研究的基础上, 总结十余年的研究成果, 将若干优化模型有机结合而成; 二是内容范畴较宽, 包括 R/M 集成供应链选址—配送模型、配送网络优化模型、废旧产品回收定价策略、废旧产品和其他产品同时定价策略、生产计划优化策略、库存最优控制策略及物联网环境下 R/M 集成供应链新型模式; 三是模型建立涉及方法较多, 包括混合整数规划、模糊规划、随机规划、博弈论、马尔科夫决策及系统动力学等。

本书具体内容如下。

第 1 章是 R/M 集成供应链概述, 包括再制造、R/M 集成供应链定义和结构、R/M 集成供应链的实施环境。此章主要介绍废旧产品回收利用方式, 给出回收利用方式中的再制造过程; 介绍供应链的分类, 给出 R/M 集成供应链定义、R/M 集成供应链结构; 提出面向循环经济的制造业系统模式, 并从社会共生层、企业共生层和核心层详细论述了 R/M 集成供应链的实施环境。

第 2 章介绍选址—配送确定性规划模型, 包括选址—配送初期模型和选址—配送扩展模型。此章主要为再制造/制造商解决如下问题: 再制造实施初期, 拆解中心的选址及物流分配; 再制造顺利实施且生产(再制造/制造)需要扩大时, 装配厂、批发商和拆解中心的选址及物流分配。

第 3 章介绍选址—配送不确定性规划模型, 包括选址—配送模糊规划模型、选址—配送随机规划模型和回收数量的不确定性等参数对选址配送的影响。此章主要考虑回收产品的数量具有不确定性的特点, 建立 R/M 集成供应链选址—配送不确定性规划模型。

将各消费区域废旧产品的回收量看成是三角模糊数, 建立 R/M 集成供应链选址—配送模糊规划模型; 将各消费区域废旧产品的回收量看成是随机参数, 建立 R/M 集成供应链选址—配送随机规划模型; 建立有缺货惩罚的随机规划模型, 并通过算例分析回收数量的不确定性等参数对模型最优解的影响。

第 4 章介绍配送网络优化模型, 包括基于顾客意愿的物流配送网络优化模型、多周期物流配送网络优化模型和消费者生活水平对物流配送网络的影响。本章主要解决如下问题: 考虑废旧产品回收数量、顾客返还意愿和回收价格三者的关系, 建立物流配送网络优化模型; 基于正向物流中再制造产品/新产品市场和逆向物流中废旧产品市场, 建立多周期物流网络费用最小化运作模型; 依据问卷调查结果, 消费者的生活水平对废旧产品的回收价格有很大影响。考虑消费者生活水平, 建立物流配送网络优化模型, 分析消费者生活水平对物流配送网络的影响。

第 5 章介绍废旧产品回收定价策略, 包括回收量无约束时废旧产品回收定价策略、有最低回收量的废旧产品回收定价策略、有固定需求底线的废旧产品回收定价策略。本章针对回收量无约束, 即需求市场对再生品的需求不加限制, 而且废旧产品有足够的供应的情况下, 应用博弈理论对废旧产品回收的定价策略进行研究; 在此基础上, 针对有最低回收量限制的情况, 应用博弈理论研究非合作情况下制造商和回收商的最优定价策略及合作定价策略; 针对制造商对废旧产品有固定需求底线的情况, 研究当回收高峰期(回收数量将超过需求量)、低峰期(回收数量将低于需求量)时制造商和零售商各自相应的定价策略及联合定价策略。

第 6 章介绍具有不确定因素的废旧产品回收定价策略, 包括不完全信息下废旧产品回收定价策略、有质量检测的废旧产品回收定价策略、质量不确定性对回收定价的影响、基于模糊回收价格的废旧产品定价策略。本章主要解决如下问题: 应用委托—代理理论, 研究在观测不到有关回收商运营成本的真实信息的情况下, 制造商如何设计合理的激励合同, 以使回收商在签约以后选择适宜的行动以实现制造商利润的最大化; 针对废旧产品质量的不确定性, 基于四种回收处理模式(制造商负责回收和处理; 第三方负责回收、制造商负责处理; 零售商负责回收、制造商负责处理; 第三方负责回收和处理), 研究有废弃处理时废旧产品的定价策略; 深入讨论废旧产品质量的不确定性对逆向供应链定价策略的影响; 针对回收价格的不确定性, 将回收价格看作是三角模糊数, 应用模糊理论和博弈理论对回收价格浮动的基准点进行决策。

第 7 章介绍废旧产品和其他产品同时定价策略, 包括废旧产品和新产品同时定价策略、有竞争的废旧产品和新产品同时定价策略、两阶段废旧产品和新产品同时定价策略、考虑投资风险的废旧产品和升级产品同时定价策略。本章主要解决如下问题: 针对新产品的批发价格和零售价格会受到废旧产品回收价格的影响, 研究废旧产品回收价格、新产品批发价格和零售价格的同时定价策略; 在有竞争关系的两个闭环供应链中, 新产品的批发价格和零售价格不仅受到废旧产品回收价格的影响, 也受到市场占有率和两种产品的替代比率的影响, 据此, 研究有竞争的两个闭环供应链中批发价格、零售价格和回收价格的定价策略; 考虑到新产品的消费市场和废旧产品的供应市场之间的关系以及消费者对废旧产品的估价, 研究新产品和废旧产品的两阶段定价策略; 针对升级产品投资风险, 研究废旧产品和升级产品的定价策略及投资风险控制策略。

第8章介绍生产计划优化策略,包括生产、回收和拆解计划联合决策;有检测误差的回收量、订单量最优决策。本章主要解决如下问题:考虑制造商、批发商、零售商、零部件供应商、原材料供应商、回收商和拆解中心的决策之间的相互作用,应用系统动力学方法,构建R/M集成供应链系统动力学模型,研究R/M集成供应链所有成员的联合决策;在逆向供应链的早期获得废旧产品的质量信息是非常有用和非常重要的(即使这种信息不完全准确),针对这种早期不完全准确的质量信息,研究具有检测误差的回收商回收量和再制造商订单量的最优决策。

第9章介绍库存最优控制策略,包括基于市场的R/M集成库存随机最优控制和多阶段R/M集成库存随机最优控制。本章主要解决如下问题:对单品种、周期盘点、外部需求为固定量、具有随机再制造零部件的再制造/制造集成库存,考虑再制造零部件单位成本、新零部件(新购或新制造)单位成本和固定成本及有缺货赔偿的情况,利用马尔科夫决策理论研究再生品和新产品不同的市场需求时库存随机最优控制策略;在此基础上,考虑超过库存容量的那部分再制造零部件有附加费用的情况,利用马尔科夫决策理论研究库存容量有限时库存的随机最优控制策略。

第10章介绍物联网环境下R/M集成供应链新型模式,包括物联网环境下R/M集成供应链的结构和特点、物联网环境下R/M集成供应链新型运作模式。本章主要给出物联网环境下R/M集成供应链的定义,研究物联网环境下R/M集成供应链的结构和特点,提出产品DNA的概念;基于物联网环境下R/M集成供应链的结构和特点,细化产品DNA信息的表示方式,探讨包括物流层、EPC层和信息层的物联网环境下R/M集成供应链新型模式。

感谢天津市宣传文化“五个一批”人才项目和天津职业技术师范大学科研发展基金重点预研项目对本书出版的支持。

本书的内容基于多年的研究成果,在研究过程中,得到国家自然科学基金项目“基于风险控制的R/M集成供应链优化问题研究”(主持)和“再制造系统的建模、控制与优化研究”(参加)及教育部人文社会科学研究基金重点项目“面向制造企业的逆向物流激励政策与制度研究”(参加)的资助,在此表示感谢。另外,在研究期间,本人参考了大量国内外相关文献,在此对每位专家学者表示感谢。

感谢科学出版社编辑为本书的出版所给予的宝贵建议和付出的努力。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏、错误与片面性,恳请读者不吝赐教。

顾巧论

2014年9月

目 录

第 1 章 R/M 集成供应链概述	1
1.1 再制造概述	1
1.1.1 废旧产品回收处理方式	1
1.1.2 再制造的过程	2
1.2 R/M 集成供应链的定义和结构	3
1.2.1 供应链的分类	3
1.2.2 R/M 集成供应链的定义	6
1.2.3 R/M 集成供应链的结构	6
1.3 R/M 集成供应链的实施环境	7
1.3.1 面向循环经济的制造业系统模式	7
1.3.2 社会共生层	8
1.3.3 企业共生层	9
1.3.4 核心层	10
本章小结	11
参考文献	12
第 2 章 选址—配送确定性规划模型	14
2.1 选址—配送初期模型	14
2.1.1 物流网络的结构	14
2.1.2 模型假设和符号说明	15
2.1.3 模型	17
2.1.4 模型求解及案例	17
2.2 选址—配送扩展模型	20
2.2.1 物流网络扩展结构	20
2.2.2 问题描述及模型特点	20
2.2.3 模型	22
2.2.4 实例	23
本章小结	25
参考文献	25
第 3 章 选址—配送不确定性规划模型	27
3.1 选址—配送模糊规划模型	27
3.1.1 带模糊参数的模型	28
3.1.2 模糊机会约束规划模型	28
3.1.3 模糊机会约束的清晰等价类	29
3.1.4 应用实例及分析	30

3.2 选址—配送随机规划模型	32
3.2.1 带有随机变量的规划模型	33
3.2.2 机会约束规划模型	34
3.2.3 机会约束的确定性等价类	34
3.2.4 算例	36
3.3 回收数量的不确定性等参数对选址配送的影响	38
3.3.1 问题描述及模型特点	38
3.3.2 模型	39
3.3.3 案例及各种参数影响分析	42
本章小结	46
参考文献	47
第4章 配送网络优化模型	49
4.1 基于顾客意愿的物流配送网络优化模型	49
4.1.1 假设和符号	50
4.1.2 模型	51
4.1.3 数值结果及分析	53
4.2 多周期物流配送网络优化模型	54
4.2.1 问题描述	55
4.2.2 模型	57
4.2.3 算例	59
4.3 消费者生活水平对物流配送网络的影响	65
4.3.1 生活水平与回收价格的关系	65
4.3.2 改进的模型	65
4.3.3 算例分析	66
本章小结	68
参考文献	68
第5章 废旧产品回收定价策略	71
5.1 回收量无约束时废旧产品回收定价策略	71
5.1.1 问题描述	71
5.1.2 斯坦克尔伯格均衡	73
5.1.3 合作博弈—联合定价	74
5.1.4 两种博弈效率的比较	75
5.1.5 数值算例	76
5.1.6 联合定价时的合同曲线	77
5.2 有最低回收量的废旧产品回收定价策略	78
5.2.1 问题描述	78
5.2.2 斯坦克尔伯格博弈模型	79
5.2.3 联合优化问题	85
5.3 有固定需求底线的废旧产品回收定价策略	88

5.3.1 问题描述	88
5.3.2 斯坦克尔伯格均衡	90
5.3.3 纳什均衡	92
5.3.4 联合定价—合作博弈模型	93
5.3.5 策略分析及数值算例	94
本章小结	96
参考文献	96
第 6 章 具有不确定因素的废旧产品回收定价策略	98
6.1 不完全信息下废旧产品回收定价策略	98
6.1.1 问题描述	99
6.1.2 委托—代理模型	99
6.1.3 算例分析	104
6.2 有质量检测的废旧产品回收定价策略	110
6.2.1 问题描述	110
6.2.2 最优定价策略	112
6.2.3 最优结果分析	114
6.3 质量不确定性对回收定价的影响	115
6.3.1 问题描述	115
6.3.2 最优定价决策	116
6.3.3 参数 λ 和 δ 对最优值的影响	117
6.3.4 数值算例	118
6.4 基于模糊回收价格的废旧产品定价策略	120
6.4.1 预备知识	121
6.4.2 问题描述	121
6.4.3 非合作博弈模型	124
6.4.4 联合定价—合作博弈模型	126
本章小结	127
参考文献	127
第 7 章 废旧产品和其他产品同时定价策略	130
7.1 废旧产品和新产品同时定价策略	130
7.1.1 三种回收模型	131
7.1.2 各种模型最优定价决策及比较分析	133
7.1.3 数值算例及参数分析	137
7.2 有竞争的废旧产品和新产品同时定价策略	142
7.2.1 模型和假设	142
7.2.2 优化结果	145
7.2.3 算例分析	151
7.3 两阶段废旧产品和新产品同时定价策略	153
7.3.1 假设和符号	153

7.3.2 第一阶段的定价策略	154
7.3.3 第二阶段的定价策略	154
7.3.4 算例分析	155
7.4 考虑投资风险的废旧产品和升级产品的同时定价策略	157
7.4.1 投资风险分析	158
7.4.2 定价和风险控制策略	159
7.4.3 算例分析	159
本章小结	160
参考文献	161
第 8 章 生产计划优化策略	165
8.1 生产、回收和拆解计划联合决策	165
8.1.1 模型	166
8.1.2 r 的最优值	176
8.1.3 基于最优 r 的联合决策	177
8.1.4 最优值 r 对联合决策的影响分析	179
8.2 有检测误差的回收量、订单量最优决策	180
8.2.1 问题描述	181
8.2.2 模型构建和优化	184
8.2.3 集中决策的情形	190
8.2.4 检测准确性和回收产品质量对最优回收量的影响	193
本章小结	196
参考文献	197
第 9 章 库存最优控制策略	199
9.1 基于市场的 R/M 集成库存随机最优控制研究	199
9.1.1 再制造/制造集成库存模式	200
9.1.2 问题描述	200
9.1.3 库存随机控制策略	202
9.1.4 算法及案例	205
9.2 多阶段 R/M 集成库存随机最优控制	206
9.2.1 问题描述	206
9.2.2 主要结果	208
本章小结	211
参考文献	212
第 10 章 物联网环境下 R/M 集成供应链新型模式	213
10.1 物联网环境下 R/M 集成供应链的结构和特点	213
10.1.1 物联网环境下 R/M 集成供应链的结构	214
10.1.2 物联网环境下 R/M 集成供应链的特点	216
10.2 物联网环境下 R/M 集成供应链新型运作模式	218
10.2.1 产品 DNA 的定义	219

10.2.2 引入 DNA 的运作模式	220
本章小结	222
参考文献	223
附录 A 引理 7.1~引理 7.4 的证明	225
附录 B 等式和常量	228
附录 C 本领域部分相关成果介绍	231
参考文献	234
后记	239

第 1 章 R/M 集成供应链概述

本章研究要点如下。

要点 1: R/M 集成供应链中的再制造 (R)。介绍废旧产品回收处理方式; 细化废旧产品再制造的过程。

要点 2: R/M 集成供应链的定义和结构。主要从供应链的分类、R/M 集成供应链与闭环供应链的关系入手, 探讨 R/M 集成供应链的定义和结构。

要点 3: R/M 集成供应链的实施环境。主要从循环经济的角度, 探讨基于社会共生层、企业共生层和核心层的制造业系统模式, 该模式融入了再制造、再使用和再循环, 从而展示 R/M 集成供应链的实施环境。

1.1 再制造概述

新产品成为废旧产品是其必然。废旧产品若不回收处理, 将造成资源浪费并导致环境污染。废旧产品回收处理有不同的方式, 再制造是其中一种。

1.1.1 废旧产品回收处理方式

废旧产品回收处理方式包括再制造 (Remanufacturing)、再使用 (Reusing)、再循环 (Recycling) 和废弃处理 (Disposal) (Gungor 和 Gupta, 1999; Nagel 和 Meyer, 1999; Fleischmann, 2001; 蒋洪伟和韩文秀, 2002; 夏守长和奚立峰, 2002; 顾巧论和陈秋双, 2003)。

1. 再制造

再制造是一个将不能再用的产品恢复到“新”状态的过程。它通过一系列的处理, 首先对废旧产品进行回收、检测/拆卸, 可以用的零部件进行清洗、翻新或升级, 然后通过重新组装 (可能需要加进部分新的零部件), 得到在性能上和寿命上等同于原来产品的再制造产品。

可进行再制造的产品或零部件很多, 包括汽车、工程机械、机床及其零部件等的再制造, 以及大型废旧轮胎的翻新。仅以废旧汽车为例, 废旧汽车可再制造的零部件有发动机、变速箱、发电机、传动轴、机油泵、水泵等 (《2013—2017 年中国再制造产业发展前景与投资预测分析报告》)。随着再制造技术的稳定和提高, 可再制造的产品及种类将会更多。

2. 再使用

再使用主要是指产品的重新使用, 包括旧机电产品和旧包装的重新使用。租赁产品的到期返还和再租赁也属于再使用范畴。

可再使用的旧机电产品，指零部件只需简单的清洁、涂敷处理工艺后就可以重新使用，或对产品故障进行修理后重新使用，而不需要拆解和更换新零部件。例如，闲置的家用电器可能只是样式过时、功能较少等，并没有达到产品的寿命期。对这类家用电器，完全可以通过适当的方式进行回收，经二手市场销售后再次使用。

可再使用的包装是指包装内的物品取出或用完后包装仍可重新使用。这类包装小到各种瓶瓶罐罐等容器，大到运输使用的集装箱等。

3. 再循环

再循环主要是指材料再循环，例如，废旧报纸、塑料、钢铁、毯子等，通过回收、熔炼，使之变成可循环利用的原材料。另外，还有化学分解回收和燃烧回收。化学分解回收是指将回收零件的聚合物通过化学方式分解为基本元素或单元体，用于生产新塑料，也可用于生产其他产品，如石油、热油及沥青等。燃烧回收是指燃烧回收的材料用以生产和/或发电。

4. 废弃处理

废弃处理主要是指填埋，即将回收的废弃物品填埋掉，包括填埋前处理，这些前处理仅仅是为了使废弃物更具有自然可降解性、无毒性等，其中产生的能量不被回收利用。

在对废旧产品回收处理的方式中，再制造是更为符合循环经济和可持续发展的回收利用方式。

1.1.2 再制造的过程

再制造的过程主要包括废旧产品的收集、运输、存储、拆解、翻新处理、补充、再装配和废弃处理等环节，如图 1.1（顾巧论，2005）所示。

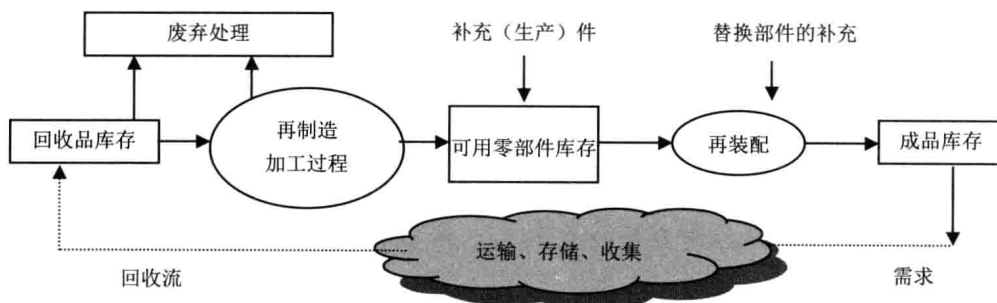


图 1.1 再制造过程

从图中可以看出：首先进行废旧产品的回收，回收的废旧产品进入回收品库存，经过再制造加工过程（拆解、翻新处理）得到可用再制造零部件，并进入可用零部件库存，最后，与替换部件一起经再装配形成最终产品，满足市场需求。

当回收品经初验认定难以满足基本质量要求（或库存积压过大）时，可进行废弃处理（作为废品出售或转卖其他再制造商）；在再制造加工过程中，同样会发现一些回收品的质量条件难以满足要求，或由于加工处理等缘故造成再制造零部件不合格，这时，也要进行废弃处理。

当从回收品得到的可用再制造零部件难以满足需求时，也可通过生产或外购得到相应的新零部件，不过，这样会增加产品成本。

单件回收品拆解再制造的过程见图 1.2（顾巧论，2005），步骤如下。

（1）回收品拆解得到各零部件。

（2）对每个零部件进行初验评估，如果可用则直接进入可用件库存，否则须进行清洗和测试。

（3）经清洗和测试后，如果确认不可用，则直接处理掉；如果不用修复即可用，则进入可用件库存，否则进行修复。如果确认无法修复，则处理掉。

（4）经修复、部件测试后，如果可用，则进入可用件库存，否则处理掉。

（5）用可用零部件或新零部件重新装配成再制造产品。

（6）再制造产品经最终测试进入成品库存。

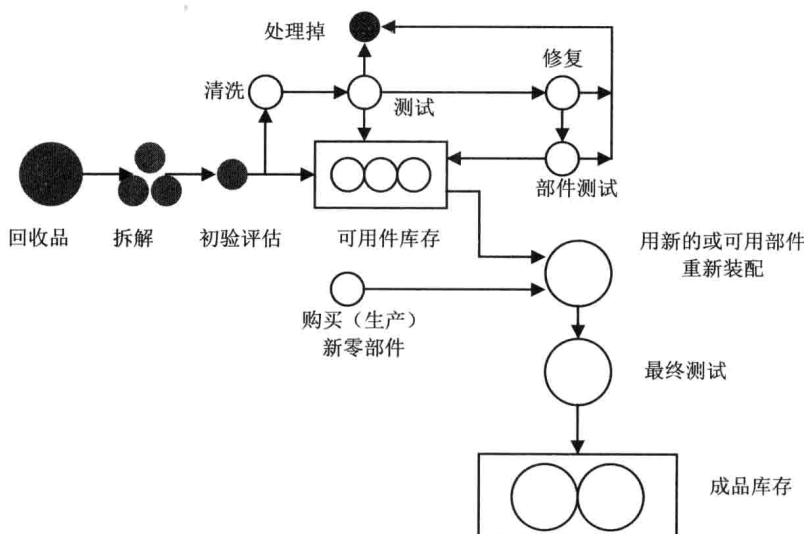


图 1.2 单件回收品拆解再制造过程

既然新产品成为废旧产品是其必然，那么，废旧产品再制造和新产品制造也必然密切相关。再制造和制造的融合，也为供应链注入了新的元素和特点。

R/M（Remanufacturing/Manufacturing，再制造/制造）集成供应链是以再制造和制造两种生产方式为主的供应链。同时，该供应链附带再使用、再循环和废弃处理的功能特性。

1.2 R/M 集成供应链的定义和结构

1.2.1 供应链的分类

按照不同的分类标准，供应链可分为多种类型。供应链可以按物流方向、生产模式、物流驱动模式、运作模式、物流涉及的空间范围等进行分类（顾巧论，2007），如图 1.3 所示。当然，供应链的分类方法不是唯一的，图 1.3 中仅列出了最常见的、最基本的供应链类型，而且，不同类型供应链可以组合。比如，正向供应链和逆向供应链集成可形

成闭环供应链；MC（Mass Customization）供应链和 MP（Mass Production）供应链可构成 MC/MP 集成供应链。又如，精益供应链和敏捷供应链可以组合成精益—敏捷供应链（任玮和赵沛桢，2007）等。下面主要介绍按物流方向划分的供应链。

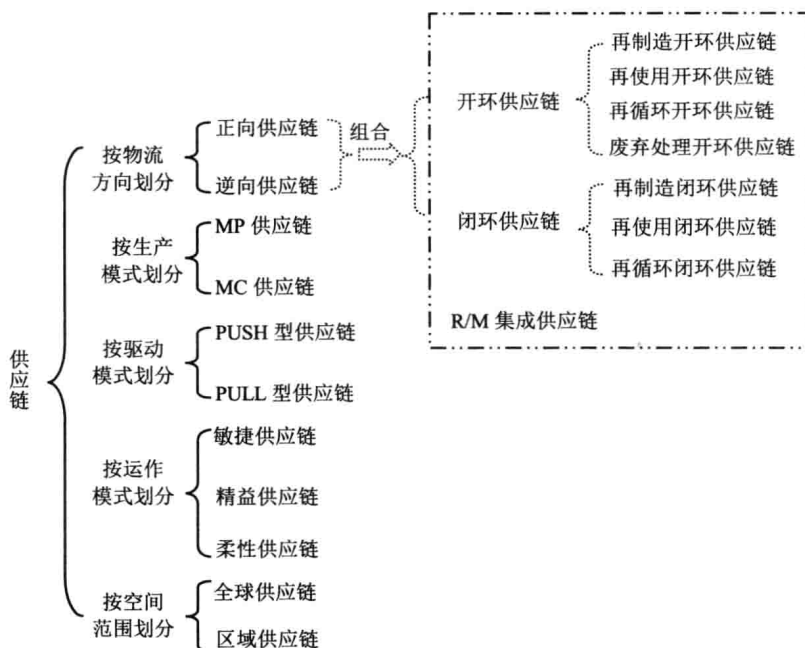


图 1.3 供应链的分类

1. 正向供应链和逆向供应链

按物流方向划分，供应链可以分为正向供应链（Forward Supply Chain）和逆向供应链（Reverse Supply Chain）。

正向供应链是围绕核心企业，通过对信息流、物流、资金流的控制，从采购原材料开始，到制成中间产品以及最终产品，最后由分销网络把产品送到消费者手中，是“供应商→制造商→分销商→零售商→消费者”的传统供应链。

逆向供应链之所以称为“逆向”，是相对于正向供应链而言的。逆向供应链是指为了从消费者手中回收使用过的产品，即废旧产品，所必须经过的一系列活动：回收、检测（拆解）及再利用，是“消费者→回收商→再利用者”的反向供应链。

在逆向供应链中，回收商可以是负责销售产品的零售商、生产产品的制造商，也可以是从事专业回收的第三方回收商。依据回收的废旧产品的种类和质量，再利用者可以是零售商（或消费者）、制造商、供应商（尤其是原材料供应商）以及第三方专业废旧物资再利用商。例如，回收检测后可直接再使用的废旧产品可以经由零售商销售给消费者，而对于回收的可再循环材料，如铁、塑料及包装等，可由第三方专业废旧物资再利用商进行处理。

2. 闭环供应链和开环供应链

正向供应链和逆向供应链组合可形成闭环供应链（Closed-Loop Supply Chain）和开环供应链（Opened-Loop Supply Chain）。

1) 闭环供应链

闭环供应链是正向供应链和逆向供应链的集成,是二者关系比较密切的一种组合。在闭环供应链的逆向供应链中,回收的废旧产品的再利用者属于正向供应链成员。此时,正向供应链和逆向供应链有多个交接点,包括消费者。

关于闭环供应链,尽管不同的研究有不同的解释,但这些解释都大同小异。例如,Fleischmann 等(1997)认为闭环供应链是传统的正向供应链加上废旧产品回收再利用的逆向供应链而构成闭环供应链,闭环供应链中产品或包装返回到原始制造商。Van Wassenhove 和 Guide(2003)认为闭环供应链是一种“制造—消费—再制造”的循环,该循环构成了封闭式的供应链活动。Ferguson 和 Souza(2010)认为闭环供应链是这样一类供应链,除了经典的从原材料供应商到最终消费者的正向物流外,还包含产品(消费者接触或使用后)从消费者到制造商的返回流。

依据废旧产品回收利用方式,闭环供应链又可分为再制造闭环供应链、再使用闭环供应链和再循环闭环供应链。对再制造闭环供应链的研究,如 Jayaraman 等(1999)提出了一种混合整数规划来确定电子元器件的再制造工厂的最佳数量和位置。Toktay 等(2000)对柯达公司一次性使用相机的回收流库存管理问题进行了研究。Fleischmann(2003)针对 IBM 闭环供应链和备用品管理,提出(S-1, S)库存策略。对再使用闭环供应链的研究,如 Kroon 和 Vrijens(1995)等针对可再利用运输包装容器设计了一个物流系统,建立了能确定空包装容器仓库数量和设置地点的选址定位混合整数规划模型。Del Castillo 和 Cochran(1996)研究墨西哥城的一家软饮料厂再使用灌装瓶子的生产和分销行为。对再循环闭环供应链的研究,黄小原等(2007)建立了一类参数与时滞不确定的闭环供应链动态系统模型,分析了闭环供应链动态系统的鲁棒运作问题,并结合国内钢铁行业废钢回收运作状况为背景,进行了仿真计算,并验证了鲁棒 H_∞控制结果。Spengler 等(1997)从环境和经济角度研究了钢渣的再生过程中处理能力、成员合作的可能性以及再循环设施布局问题,建立了多级选址定位模型。

2) 开环供应链

开环供应链和闭环供应链的主要区别在于逆向供应链的成员——再利用者。开环供应链也由正向供应链和逆向供应链构成,但在其逆向供应链中,回收的废旧产品的再利用者不是其正向供应链成员,正向供应链和逆向供应链仅有消费者一个交接点(正向供应链向消费者输送产品,而逆向供应链从消费者回收产品)。

关于开环供应链,Fleischmann 等(1997)认为开环供应链是指产品不回流到原始制造商,而是被其他企业使用的供应链。董景峰(2008)认为开环供应链中废旧产品由制造商回收,而由第三方生产商处理和使用。Rizzi 等(2013)认为开环供应链是指当回收再利用者不是原制造商时的供应链。

开环供应链和闭环供应链的另一个区别是,开环供应链除了有再制造开环供应链、再使用开环供应链和再循环开环供应链外,还有废弃处理开环供应链。对再制造开环供应链的研究,魏洁和李军(2005)提出生产商联合体负责回收模式,该模式指生产同类商品的生产商,成立一个联合责任组织,由该组织负责这些生产商生产的同类产品的回收处置工作。Rizzi 等(2013)提出了九个主要因素,这些因素可用于评估合作策略对在开环供应链中实施制造商责任延伸制的影响。当回收的废旧产品可直接再使用时,对

再制造开环供应链的研究也同样适用于对再使用开环供应链的研究。对再循环开环供应链的研究, Barro 等 (1998) 对建筑废物和砂子的回收进行了研究。在荷兰, 回收砂子的网络结构由建筑废物企业联合回收协会建立, 该协会下属公司还能够对砂子进行分类。研究给出混合整数规划, 确定用来接收过滤砂子和清洁、保管污染砂子的处理设备的区域仓库布局。Louwers 等 (1999) 设计了地毯废品再循环的网络结构, 建立了确定预处理中心位置和处理能力的非线性连续选址定位模型, 这一模型除了考虑设备折旧成本外, 还可以自由选择预处理中心的设置地点。而所有对垃圾废弃物 (如不可回收再利用的生活垃圾) 的回收处理都属于废弃处理开环供应链的范畴。

1.2.2 R/M 集成供应链的定义

R/M (Remanufacturing/Manufacturing, 再制造/制造) 集成供应链是指再制造和制造并存情况下的供应链, 是正向供应链和逆向供应链的集成。在 R/M 集成供应链中, 再制造/制造商是供应链的核心成员, 废旧产品再制造是其首要任务。从再制造的角度, R/M 集成供应链是一种闭环供应链。由于在对废旧产品实施再制造的过程中, 存在部分可直接再使用的废旧产品以及拆解后存在可循环材料, 因此, R/M 集成供应链中也包含再使用闭环供应链和再循环闭环供应链。进一步, 由于拆解后存在需要运输到焚烧填埋场进行填埋的废弃物, 而焚烧填埋场不是正向供应链的成员, 因此, R/M 集成供应链中也包含废弃处理开环供应链。

从广义上说, R/M 集成供应链是闭环供应链和开环供应链的混合供应链, 呈现一主三辅的特点: 一主指其中的再制造闭环供应链; 三辅指其中再使用闭环供应链、再循环闭环供应链和废弃处理开环供应链。

1.2.3 R/M 集成供应链的结构

R/M 集成供应链的结构如图 1.4 所示。正向供应链中有原材料供应商、零部件供应

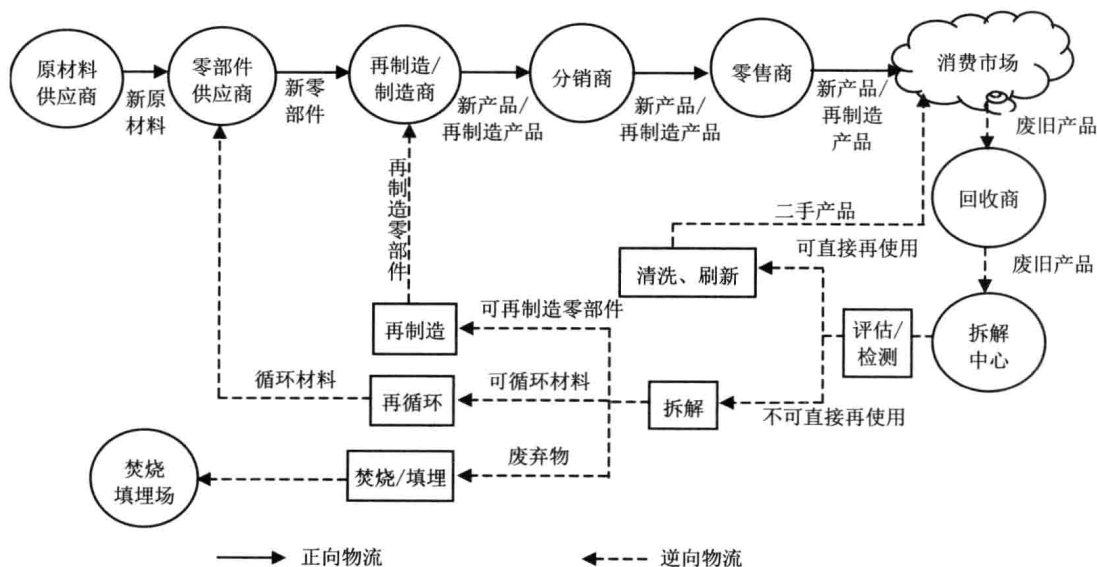


图 1.4 R/M 集成供应链的结构