

本套丛书汇集全国众多学者对物流领域内的
前沿理论和技术的探讨和研究，旨在推广学术研
究成果，促进我国物流产业的振兴和发展。

中国物流前沿理论学术著作丛书

ZHONGGUOWULIU

QIANYANLILUNXUESHU

ZHUZUOCONGSHU

闭环供应链的生产 优化和契约协调

李新军 © 著

中国物资出版社

中国物流前沿理论学术著作丛书

国家自然科学基金资助项目（编号：70472033）

闭环供应链的生产优化和 契约协调

李新军 著

中国物资出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

闭环供应链的生产优化和契约协调/李新军著. —北京: 中国物资出版社,
2009. 9

(中国物流前沿理论学术著作丛书)

ISBN 978 - 7 - 5047 - 3196 - 8

I. 闭… II. 李… III. 物资供应—物资管理 IV. F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 149452 号

策划编辑 张 茜

责任编辑 张 茜

责任印制 方朋远

责任校对 孙会香 杨小静

中国物资出版社出版发行

网址: <http://www.clph.cn>

社址: 北京市西城区月坛北街 25 号

电话: (010) 68589540 邮政编码: 100834

全国新华书店经销

三河欣欣印刷有限公司印刷

开本: 710mm×1000mm 1/16 印张: 13.75 字数: 232 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978 - 7 - 5047 - 3196 - 8/F · 1254

印数: 0001—2000 册

定价: 25.00 元

(图书出现印装质量问题, 本社负责调换)

序 言

随着自然资源枯竭和环境保护问题的日益严重,废旧产品的回收再利用及无害化和资源化处理受到了社会的普遍关注,促使许多国家及企业越来越重视产品的回收处理,闭环供应链也就应运而生。闭环供应链是指以正向供应链及其末端顾客的产品为起点,经过退货、直接再利用、维修、再制造、再循环回收或废弃处理等逆向运作所形成的物流、资金流和信息流的闭环系统。也就是说,闭环供应链是指从产品的全生命周期角度出发,将正向供应链活动和逆向供应链活动整合起来,对产品的回收、再加工和再销售整个流程进行设计和管理。

闭环供应链是供应链领域一个新兴的研究方向,在国内外的研究还处于起步期。有效的闭环供应链运作,对社会和企业而言都具有重大意义。从社会的角度来说,闭环供应链可以有效地保护环境,减少能源与不可再生资源消耗,提高资源利用率,实现可持续发展战略;从企业的角度来说,高效的闭环供应链运作不仅能够降低物料成本,进而提高市场占有率,增强竞争优势和增加企业收益,而且可以通过提高客户满意度提升企业形象。

本书内容作为国家自然科学基金资助项目(编号:70472033)的阶段性成果,主要研究闭环供应链的库存控制策略、生产优化策略、契约协调机制以及决策权威结构效率等问题。首先,研究了一种新型的再制造条件下考虑废弃处理和允许缺货的EOQ库存控制模型;其次,研究了基于产品寿命次数的多期闭环供应链生产优化模型和再制造成本随机分布且考虑价格竞争的二期闭环供应链生产优化模型;再次,研究了由一个制造商和一个零售商组成的闭环供应链的收入共享契约模型和随机需求条件下允许退货的单周期单一产品闭环供应链的批发价—退货价契约协调模型;接



着，研究了由一个制造商和两个零售商组成的二级闭环供应链中各成员企业决策权威的变化对于运作效益的影响；最后，分析了惠普、摩托罗拉和IBM等国际著名企业的闭环供应链实践。

全国政协委员，民盟江苏省委副主委
东南大学经管学院教授，博士生导师

达庆利

2009年3月20日

前 言

基于对经济效益和环保效益的考虑,对闭环供应链的研究越来越成为管理领域的研究热点。闭环供应链是指从产品的全生命周期角度出发,将正向供应链活动和逆向供应链活动整合起来,对产品的回收、再加工和再销售整个流程进行设计和管理。本书主要研究闭环供应链的库存控制策略、生产优化策略、契约协调机制以及决策权威结构效率等问题。研究内容包括:

第1章介绍了研究背景、研究意义以及研究思路和方法;第2章回顾、分析和总结了当前国内外的相关研究现状;第3章研究了一种新型的再制造条件下考虑废弃处理和允许缺货的EOQ库存控制模型;第4章研究了基于产品寿命次数的多期闭环供应链生产优化模型和再制造成本随机分布且考虑价格竞争的二期闭环供应链生产优化模型;第5章研究了由一个制造商和一个零售商组成的闭环供应链的收入共享契约模型和随机需求条件下允许退货的单周期单一产品闭环供应链的批发价—退货价契约协调模型;第6章研究了由一个制造商和两个零售商组成的二级闭环供应链中各成员企业决策权威的变化对于运作效益的影响;第7章给出了一些物流公司和世界著名企业的闭环供应链实践;第8章给出了本书工作总结并展望了进一步的研究方向。

本书的创新可以概括为以下五个方面:

(1) 提出了一个制造批次多个再制造批次和多个制造批次一个再制造批次、考虑废弃处理和允许缺货的、制造生产率和再制造生产率有限的经济订货批量模型。

(2) 基于闭环供应链的全生命周期思想,考虑到产品的再制造次数,引入产品寿命次数和产品回收率,建立了可再制造的回收产品与新制造产品之间的数量关系,并证明了将可再制造产品全部用于再制造时能够实现利润最大化。

(3) 建立了再制造成本随机分布和产品价格竞争条件下的闭环供应链二期生产优化模型。在回收率一定的条件下,建立了回收产品的再制造成本与再制造率之间的函数关系;引入消费者偏好系数构造了再制造产品和



新制造产品之间的价格竞争；建立了以追求利润最大化为目标的模型，并证明了该模型为凸规划。

(4) 利用收入共享契约和批发价—退货价契约研究闭环供应链各成员企业之间的协调与优化，实现制造商和销售商之间对于增加利润的任意分配。在满足契约协调的参与约束和激励相容约束的条件下，给出了实现闭环供应链协调的充要条件。

(5) 研究了由一个制造商和两个零售商组成的二级闭环供应链中各成员企业决策权威的变化对于运作效益的影响。当制造商打破传统的权威结构，使得两个零售商的决策有先后次序，即制造商和两个零售商这三者之间依次形成 Stackelberg 博弈关系时，能够获得最大的整体供应链利润、消费者剩余以及社会福利。

本书的编写既注重传统供应链管理的一般理论体系，更注重闭环供应链运作过程中的生产优化、契约协调以及结构效率等关键性问题的研究，并在最后给出了国际著名企业的闭环供应链实践，理论与实际结合紧密。

本书研究了供应链管理的最前沿问题——闭环供应链，可作为物流与供应链管理的爱好者、学者和从业人员的读本，也可供经济管理类相关专业的本科生、研究生使用或参考。

本书受到国家自然科学基金资助项目“网络环境下电子类产品逆向物流系统结构的研究”（编号：70472033）的资助，在此表示感谢。

本书在编写和出版过程中得到了东南大学经济管理学院和烟台大学经济与工商管理学院的大力支持，得到了中国物资出版社的大力支持，得到了前辈们和同行们的支持、关心和热情帮助，他们提出了许多极为宝贵的建议，作者在此致以衷心的感谢！特别要感谢烟台大学经济与工商管理学院副院长王淑云教授提供的无私帮助！

本书在编写过程中，借鉴和参考了大量的文献，基本都在书后的参考文献中列出，但是挂一漏万，无法穷举，在此表示深深的谢意。同时，由于编者水平有限，书中定会存在一些错误或容易引起歧义之处，敬请同行专家和读者批评指正。

李新军

2009年4月16日

1 绪 论	(1)
1.1 研究背景及研究意义	(1)
1.2 研究思路与方法	(2)
1.3 本书内容和创新点	(4)
2 逆向物流与闭环供应链研究进展	(7)
2.1 逆向物流	(7)
2.2 闭环供应链	(28)
2.3 本章小结	(42)
3 闭环供应链的库存控制模型	(44)
3.1 库存控制	(44)
3.2 闭环供应链库存控制	(56)
3.3 本章小结	(68)
4 闭环供应链生产优化问题	(69)
4.1 供应链生产优化	(69)
4.2 基于产品寿命次数的闭环供应链生产优化模型	(85)
4.3 再制造成本随机分布的闭环供应链生产优化模型	(96)
4.4 本章小结	(109)
5 闭环供应链的契约协调机制	(110)
5.1 供应链契约协调研究综述	(110)



5.2 闭环供应链的收入共享契约	(117)
5.3 随机需求条件下产品退货政策协调与优化	(127)
 6 闭环供应链决策权威研究	(137)
6.1 供应链决策权威研究	(137)
6.2 决策权威对于闭环供应链运作效益的影响分析	(143)
 7 闭环供应链的实践	(156)
7.1 闭环供应链应用的现状分析	(156)
7.2 国际著名公司的电脑回收计划	(159)
7.3 著名物流企业的退货物流管理方式分析	(164)
7.4 国际著名企业的闭环供应链实例分析	(167)
7.5 本章小结	(176)
 8 研究结论与未来展望	(178)
8.1 本书主要研究工作	(178)
8.2 进一步研究工作与展望	(180)
 参 考 文 献	(182)
附录 A: 废弃电器电子产品回收处理管理条例	(198)
附录 B: 鼓励汽车、家电“以旧换新”实施方案	(204)

1 绪 论

1.1 研究背景及研究意义

1.1.1 研究背景

随着自然资源枯竭和环保问题的日益严重,废旧物品的回收再利用受到了普遍重视,许多国家已经立法,责令制造商要对产品的整个生命周期负责,以期节约资源和保护环境。目前,在发达国家中废旧物品的回收再利用已经成为制造业和零售业的行业惯例。德国 1991 年就颁布有关条例,要求厂商回收所有销售物品的包装材料,并要求回收率应为 60%~75%;荷兰则要求汽车制造商对所有废旧的汽车实行重复利用。

于是,闭环供应链这一新兴的科学领域日渐成为理论界和企业界关注的焦点。闭环供应链管理是一种实现产品全生命周期管理的理念,该理念同样强调通过供应链上各个实体的协同运作来实现整个系统的最大效益。闭环供应链管理所面向的系统无论从其深度还是广度,都大大超越了传统供应链管理。从广度上讲,闭环供应链管理所要优化的系统不仅包含了正向系统,还包含了逆向系统;从深度上讲整个系统不是简单的“正向+逆向”,它涉及从战略层到运作层的一系列变化,其管理的复杂程度和难度都远超过了传统供应链管理。闭环供应链管理的目的是为了实现经济与环境的综合效益,该管理理念不仅有助于企业的可持续发展,也有助于整个国际社会的可持续发展,在构筑“加强环境绩效”优势方面,闭环供应链管理所表现出的威力远远超过了传统供应链管理。

1.1.2 研究意义

闭环供应链的研究具有重要的现实意义和理论意义。

现实意义主要表现在以下几个方面:闭环供应链是供应链领域一个新兴的研究方向,在国内外的研究还处于起步期。有效的闭环供应链运作,



对社会和企业而言都具有重大的意义。从社会的角度来说, 闭环供应链可以有效地保护环境, 减少能源与不可再生资源的消耗, 提高资源利用率, 实现可持续发展战略; 从企业的角度来说, 高效的闭环供应链运作不仅能够降低物料成本, 进而提高市场占有率, 增强竞争优势和增加企业收益, 而且可以通过提高客户满意度提升企业形象。

理论意义主要表现在以下几个方面: 首先, 关于制造/再制造集成系统的经济订货批量研究, 丰富了供应链的库存控制理论; 其次, 基于回收产品的产品寿命次数和再制造成本的随机分布的闭环供应链生产优化, 丰富了供应链的生产运作理论; 再次, 关于新制造产品和再制造产品的单向替代性和产品差异定价以及再制造产品对于新制造产品市场占有率的影响等方面的研究, 丰富了供应链的渠道理论和销售理论; 然后, 收入共享契约和批发价—退货价契约对于闭环供应链各成员企业的利益协调, 丰富了供应链的契约协调理论; 最后, 不同权威结构对于闭环供应链运作效益的研究, 丰富了闭环供应链的一般结构理论。综上所述, 将逆向供应链和企业原有的正向供应链进行优化整合, 发展了基于实现产品全生命周期管理哲理的闭环供应链理论。

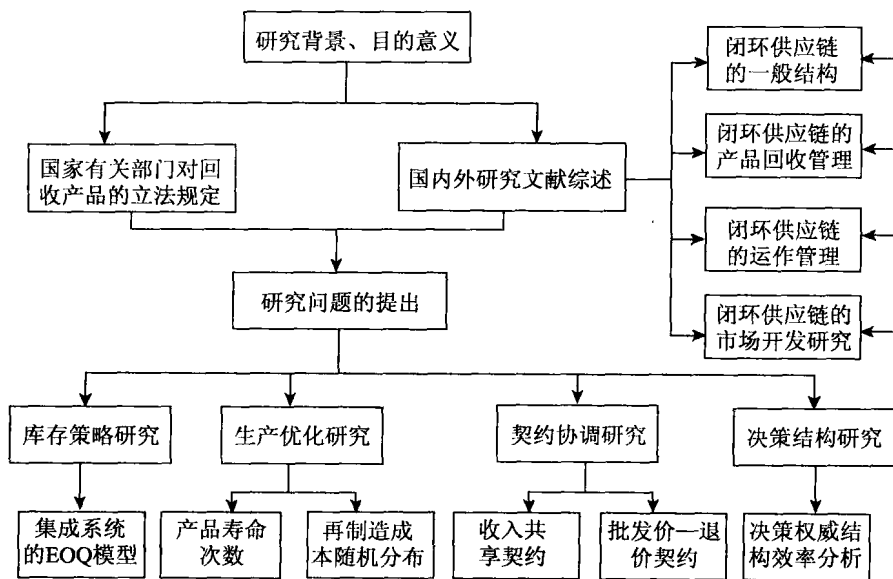
1.2 研究思路与方法

1.2.1 研究思路

本书的研究思路是定性分析和定量研究相结合、理论与实际相结合。本书在归纳总结已有闭环供应链管理相关研究成果的基础上, 深入分析和把握相关领域的国内外研究现状和发展动向, 综合考虑闭环供应链系统构建的决策因素: 政府法律法规政策、成员关系、契约和利润分配, 建立闭环供应链系统的一般结构。首先, 研究制造/再制造集成系统下的 EOQ 库存控制理论, 分析制造批量和再制造批量的相互影响; 其次, 基于闭环供应链的全生命周期思想, 考虑回收产品的再制造次数, 引入产品寿命次数, 建立回收产品中可再制造部分与前几期新制造产品之间的数量关系, 分析可再制造产品的数量约束以及每期新制造产品的非负约束对该模型的影响; 再次, 根据回收产品质量的不确定性引入再制造成本随机分布函数

来探究再制造成本与再制造率之间的关系,引入消费者偏好系数构造再制造产品和新制造产品之间的价格竞争,建立以追求利润最大化为目标的两期优化模型;然后,将收入共享契约和批发价—退货价契约应用到闭环供应链的协调与优化研究中,解决分散决策下的“利润双重边际化”效应,实现闭环供应链整体利润最大化和各成员利润分配合理化;最后,研究由一个制造商和两个零售商组成的二级闭环供应链中各成员企业决策权威的变化对于运作效益的影响,针对三种决策权威结构,给出制造商和两个零售商的最优决策变量和最优利润值的表达式,得出了每个销售商的销售数量和回收努力系数、制造商批发价格以及总销售数量的变化,并从社会效益的角度分析了消费者剩余以及社会福利的变化。

本书根据研究内容,按照先定性后定量、从简单到复杂循序渐进的逻辑研究顺序,将基于下图所描述的技术路线框架展开研究。



本书研究技术路线



1.2.2 研究方法

本书本着提出问题—分析问题—解决问题的逻辑，主要采用如下方法进行研究：

(1) 定性研究和定量研究相结合的研究方法。在对问题进行机理性的定性分析的基础上，综合应用运筹学、博弈论、数理统计等理论建立数学模型进行量化分析，得出科学的结论。

(2) 计算机仿真模拟的方法。有些模型由于参数较多、变量关系复杂，难于求出解析解，采用仿真模拟的方法，得到数值解，进一步归纳出数学模型的特点和性质。

1.3 本书内容和创新点

1.3.1 本书内容

本书研究闭环供应链的库存控制策略、生产优化策略、契约协调策略以及决策权威结构效率等问题，主要内容如下：

第1章为绪论。指出本书的研究背景、研究意义、主要研究方法、研究的整体思路以及研究的主要内容和创新点。

第2章为逆向物流与闭环供应链研究进展。首先，回顾了国内外关于闭环供应链的重要研究团体以及相关专著；其次，分析了闭环供应链一般网络结构的研究成果；再次，从产品回收管理、产品运作管理和再制造产品再销售三个层面展开论述；最后，回顾了闭环供应链管理的过程整合以及契约协调机制研究。

第3章为闭环供应链的库存控制模型。根据传统的非瞬间生产 EOQ 库存模型，提出了一种新型的制造/再制造集成系统下考虑废弃处理和允许缺货的 EOQ 模型，给出了制造批量和再制造批量的完整表达式，并得出了一些有益的结论。

第4章为闭环供应链生产优化问题。第4章分为两个部分，第一部分是基于产品寿命次数的闭环供应链生产优化策略研究。基于闭环供应链的全生命周期思想，考虑到回收产品的再制造次数，引入产品寿命次数，建

立了回收产品中可再制造部分与前几期新制造产品之间的数量关系,分析了可再制造产品的数量约束以及每期新制造产品的非负约束对该模型的影响,证明了对回收产品中的可再制造部分全部进行再制造时能够实现利润最大化目标。第二部分是再制造成本随机分布的闭环供应链生产优化模型。首先,分析了再制造成本与再制造率之间的函数关系,引入了伽马分布;然后,引入消费者偏好系数,构造了再制造产品和新制造产品之间的价格竞争,并分析了由此对新制造产品市场占有率的影响;最后,建立了以追求利润最大化为目标的模型,证明了该模型为凸规划,并给出了伽马分布条件下解的表达式。

第5章为闭环供应链的契约协调机制。闭环供应链的收入共享契约研究。将收入共享契约应用到闭环供应链的协调与优化问题中,一方面,可以避免传统分散式供应链中出现的“利润双重边际化”问题;另一方面,制造商将回收废旧产品的收益全部转让给销售商,符合“谁付出,谁收益”的原则,更能激发销售商的回收努力,从而达到集中决策模式下最优回收努力水平。针对随机需求条件下允许退货的单周期单一产品闭环供应链,通过批发价—退货价契约在制造商和销售商两者之间实现集中决策相对于分散决策增加利润的任意分配。

第6章为闭环供应链决策权威研究。研究了由一个制造商和两个零售商组成的二级闭环供应链中各成员企业决策权威的变化对于运作效益的影响。

第7章为闭环供应链的实践。首先分析了戴尔公司、惠普公司、苹果公司、联想公司、IBM和GATEWAY等国际著名公司的电脑回收计划,然后研究了曼哈顿、Callstar、东芝公司和Neiman Marcus等著名物流企业的退货管理,最后详细分析了索尼爱立信公司、摩托罗拉公司和IBM等企业的闭环供应链具体实施策略。

第8章为总结与展望。总结全文主要成果,提出合理的实施方案和建议,并展望进一步研究的问题。

1.3.2 本书创新点

从总体上来说,本书的创新之处在于站在OEM的角度,研究如何将正向供应链和逆向供应链的各项活动进行整合,获取回收产品的残余价

值,从而为企业获得更多的利润。

具体而言,本书的创新之处主要体现在如下五点:

(1) 提出了一个制造批次多个再制造批次和多个制造批次一个再制造批次的经济订货批量闭环供应链模型。在这两个模型中,制造生产率和再制造生产率是有限的,即每个批量的制造和再制造要经过一个生产过程;引入再制造率,回收的产品一部分用于再制造,其余作废弃处理,并且把决策变量——再制造系数作为选择回收产品用于再制造和废弃处理的比例衡量标准;允许缺货,引入决策变量——缺货因子作为在单个的制造和再制造周期中,缺货时间占整个周期的比例衡量标准。在这些约束条件下,给出了相应的经济订货批量表达式及其性质。

(2) 建立了基于产品寿命次数的闭环供应链的多期生产优化模型。基于闭环供应链的全生命周期思想,考虑到回收产品的再制造次数,引入产品寿命次数和产品回收率,建立了可再制造的回收产品与新制造产品之间的数量关系,并证明了将可再制造产品全部用于再制造时能够实现利润最大化的目标。克服了现有的多数文献中没有将回收产品中可再制造部分和产品寿命次数联系起来而假定每期回收产品的可再制造率相同的缺陷和不足。

(3) 建立了再制造成本随机分布和产品价格竞争的闭环供应链二期生产优化模型。基于回收产品质量的不确定性,假定再制造成本服从随机分布,分析闭环供应链的生产优化问题;基于消费者对新制造产品和再制造产品的差异心理价位,引入消费者偏好系数来界定新制造产品和再制造产品在同一市场上销售时的价格竞争问题。

(4) 利用收入共享契约和批发价—退货价契约,研究由一个制造商和一个销售商组成的闭环供应链的契约协调机制。在满足契约协调的参与约束和激励相容约束的条件下,给出了实现闭环供应链协调的充要条件。

(5) 研究由一个制造商和两个零售商组成的二级闭环供应链中各成员企业决策权威的变化对于运作效益的影响。当制造商打破传统的权威结构,使得两个零售商的决策有先后次序,即制造商和两个零售商这三者之间依次形成 Stackelberg 博弈关系时,能够获得最大的整体供应链利润、消费者剩余以及社会福利,丰富了闭环供应链的结构治理和效率理论。

2 逆向物流与闭环供应链研究进展

闭环供应链的产生某种程度上可以说是逆向物流逐步发展到今天的结果,因此逆向物流是闭环供应链中不可分割的一部分,也是闭环供应链中最重要的概念。为此,我们先介绍一下逆向物流的相关知识,然后在此基础上介绍闭环供应链,最后综述国内外专家对于闭环供应链的研究热点和最新进展。

2.1 逆向物流

随着科学技术的进步和人们生活水平的提高,消费者对产品多样化和个性化的要求越来越高,由此导致产品生命周期越来越短,更新换代的速度越来越快,被人们淘汰和废弃的物品也越来越多。与此同时,人们的环保意识不断增强,环保法规日益完善,许多国家规定原始设备制造商(Original Equipment Manufacturer, OEM)必须负责废旧产品的回收,有些国家甚至规定如果 OEM 不在本国,那么进口商负责回收产品^[1]。这些国家主要是欧盟国家、美国和日本等发达国家。

国外许多国家早在 20 世纪 80 年代就对废旧电子垃圾的处理予以重视,从法律的角度分别规定了政府、制造商、销售商、消费者甚至普通公民的责任和义务。德国 1991 年就颁布有关条例,要求厂商回收所有销售物品的包装材料,并要求回收率应为 60%~75%;荷兰则要求汽车制造商对所有废旧的汽车实行重复利用^[2]。2005 年 8 月 13 日欧盟开始实施的《废旧电子电气设备指令》(Directive of Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)^[3]和《电子电气设备中限制使用某些有害物质指令》(Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances, RoHS)规定了欧盟市场上的电子电器产品制造商必须自行承担报废产品回收、处理及再循环费用,并禁用有害物质。这两项指令对我国家电产品出口欧盟造成重大影响,迫使中国企业注重电子垃圾回收技术和环保科技含量的研究。我国也早就酝酿



相关立法,国家发展改革委员会颁布的《废弃电器电子产品回收处理管理条例》^[4]已经 2008 年 8 月 20 日国务院第 23 次常务会议通过,自 2011 年 1 月 1 日起施行。

基于环保立法等原因,联邦快递公司、通用汽车公司、IBM、西尔斯公司、强生公司、雅诗兰黛有限公司等世界知名公司都纷纷开展逆向物流活动。2005 年中国移动通信集团公司、摩托罗拉公司和诺基亚公司在北京共同启动的由三家企业联合发起了“绿箱子环保计划——废弃手机及配件回收联合行动”,主动回收废旧产品。目前,在发达国家中废旧物品的回收再利用已经成为制造业和零售业的行业惯例。中国每年因退货、过量生产、不合格品退回、报废和损坏等产生的损失正在以惊人的速度增长,因此,开展逆向物流对于受到巨大资源和环境制约的中国而言前景非常诱人。

2.1.1 逆向物流的定义

尽管逆向物流的概念很久以前就有了,但是这个术语的命名现在已经很难精确追溯到哪个具体的时间。像逆向渠道和逆向流这些术语已经出现在七十余篇科学文献中,但是它们都一贯和再循环联系在一起。美国的物流管理委员会早在 20 世纪 90 年代初期就公布了第一个逆向物流定义^[5]。

这个术语经常被看做是物流循环的角色、废弃物处理、有害物质的管理;从一个更广义的角度而言,它包括了资源减量化、再循环、置换、材料再利用和处理。

1992 年 Pohlen 和 Farris 基于市场原则和物质是通过分销渠道从一个消费者向制造商流动的观点,给逆向物流下了定义^[6]。在 1993 年 Kopicky^[7]保留了 Pohlen 和 Farris 关于和传统分销流相反方向的认识,认为“逆向物流是一个相当广泛的概念,涉及物流管理、包装和产品所产生的有害物质或无害物质的处理,它包含反向的配送,这种反向配送会使物品和信息向日常物流活动相反的方向流动。”

在 20 世纪 90 年代末期,Roberts 和 Tibben-Lembke^[8]认为逆向物流注重强调目标和过程:“与传统供应链反向,为价值恢复或处置合理而对原材料、中间库存、最终产品及相关信息从消费地到起始点的有效实际流动所进行的计划、管理和控制过程。”