

# 反向物流系统的研究现状与展望

吴 刚<sup>1,2</sup>, 晏启鹏<sup>2</sup>, 陈兰芳<sup>1</sup>, 王煜洲<sup>2</sup>

(1.西南交通大学 峨眉校区, 四川 峨眉 614202; 2.西南交通大学 交通运输学院, 四川 成都610031)

**摘 要:** 随着资源、环境与社会经济发展之间的矛盾日益突出, 反向物流越来越受到广泛关注。从研究的问题和研究方法两个方面回顾了国内外与反向物流有关的研究成果, 尤其是对反向物流网络结构的研究。在对现有研究进行分析 and 评述的基础上, 指出了反向物流研究的可能趋势。

**关键词:** 反向物流; 综述; 反向物流网络

中图分类号: F252.24

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2006)12-0197-04

## 0 前言

随着资源、环境与社会经济发展之间的矛盾日益突出, 人们越来越关注反向物流的发展。反向物流(Reverse logistics), 亦称逆向物流, 目前还没有关于它的统一定义。Carter<sup>[1]</sup>根据反向物流形成的原因将其分为狭义和广义两种。广义包括由废弃物回收、制造企业边角废料回收和退货形成的反向物流。而狭义则仅包括废弃物反向物流, 这与国家标准《物流术语》中的废弃物物流<sup>[2]</sup>类似。美国反向物流执行委员会与美国物流管理委员会由反向物流的定义引出了它的又一不同理解。前者将反向物流定义为: 为重新获取产品的价值或使其得到正确处理, 产品从消费地到来源地的移动过程<sup>[3]</sup>。其侧重点在于“回收”活动。后者对反向物流的定义: “为了重新获得或进行适当处理, 对从使用地回到原点的原材料、库存材料、产成品和有关信息, 所实施的计划、执行和有效控制的过程<sup>[4]</sup>”, 其强调的是“再制造”活动(见表1)。

表1 不同反向物流定义的内涵

回收	[2]	[3][5]
回收/再制造	[6]	[4]

废弃物 废弃物/边角废料/退货

对反向物流回收阶段和再制造阶段的研究存在很大不同(见表2)。本文主要研究

表2 对反向物流回收阶段和再制造阶段研究的区别

比较项目	回收阶段	再制造阶段
涉及的主要活动	收集/检查/分离/处理/运输/储存等	再制造/处置/运输/储存等
主要研究内容	回收模式/回收机制/运作模式/渠道选择/网络设计与优化(选址/线路优化等)	库存控制/生产计划
主要研究方法	定性分析/案例分析/聚类分析/博弈分析/定量分析等	案例分析/定量分析
研究性质	宏观(或中观)层次	微观层次

反向物流回收阶段, 并将其称为狭义的反向物流。

## 1 反向物流的典型特征及驱动因素

### 1.1 反向物流的典型特征

(1) 高度不确定性。反向物流产品产生的地点、时间及回收产品的质量和数量预测的困难性, 导致了回收利用成本和回收产品去向的不确定性<sup>[7]</sup>。同时, 再制造产品需求的不确定性, 又使供需很难达到平衡。相比之下, 传统的正向物流则要简单得多, 原材料和零部件按照“5R”供应是对其基本的要求。

(2) 反向物流目标和活动具有多样性。反向物流除了要满足成本和质

量要求外, 还要重点考虑环境保护等因素。另外, 反向物流活动包括收集、运输、储存、检查、分离、拆解、维修、装配等, 比正向物流活动复杂。

(3) 反向物流与正向物流存在不同的结构。从拓扑结构看, 反向物流网络属于“多对少”的收敛结构, 与正向物流正好相反。从利润结构看, 反向物流系统价值增加更多体现在回收阶段, 再生加工阶段增加的价值比率较低, 正向物流系统价值增加则来源于原材料到产成品的生产阶段和销售阶段(见图1)。

反向物流这些特征, 从根本上增加了其研究、决策和实施的复杂性和困难性。需要注意的是, 虽然反向物流与正向物流之间在回收、再制造方面存在显著差别但在配送方面的差异却很小<sup>[8]</sup>。

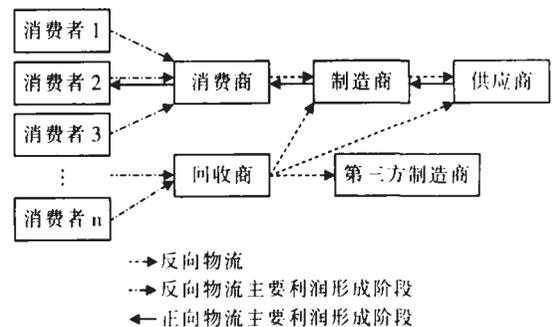


图1 反向物流的收敛结构和利润结构

收稿日期: 2005-12-12

作者简介: 吴刚(1972-), 男, 四川南江人, 博士研究生, 研究方向为物流理论及应用。

1.2 反向物流的驱动因素

(1) 基于环境保护的法规强制性要求。为了减轻废旧产品对环境的危害,包括我国在内的许多国家和地区都通过立法强制要求生产商(或进口商)对产品整个生命周期负责,即对废旧产品回收处理实行生产者延伸责任(EPR)或由生产商、销售商和消费者共同承担责任。

(2) 基于经济效益的经济性要求。回收处理废旧产品不仅可以节约原材料、降低生产成本,而且还能通过树立企业“环保”形象获得间接经济效益。据测算,“环保”形象能够给企业带来高于平常 5%~15% 的输入<sup>[9]</sup>。反对将 EPR 强加给企业,通过经济效益驱动发展反向物流在美国占主导地位<sup>[10]</sup>。

(3) 基于循环经济的可持续发展要求。在发展循环经济的 4 种措施中,其效果呈递减排列(见图 2)。其中,直接再用、再制造再用与废弃处置都与反向物流发展有关。可见,源自社会公众的可持续发展要求也会推动反向物流发展,尤其是在此过程中始终贯彻 ISO14000 标准,该驱动作用会更显著。

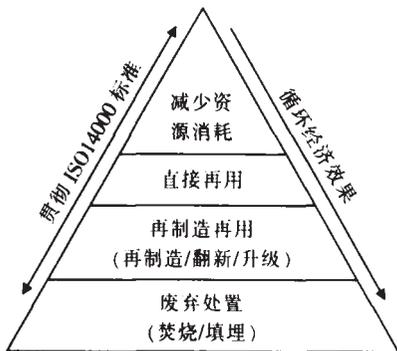


图 2 发展循环经济的层次结构

(4) 基于售后服务的竞争性要求。为了增强市场竞争能力,提高产品销售率,企业通常都会作出必要的退货承诺。在电子商务环境下,实际发生的退货量迅速增加<sup>[11]</sup>。这就要求与之相关的反向物流同步发展。

2 反向物流网络结构比较及设计原则

2.1 反向物流网络结构

根据反向物流渠道与正向物流渠道之间的集成程度,可将反向物流网络结构分为开环、闭环、混合和线形 4 种,它们之间的比较见表 3。

2.2 反向物流网络结构设计原则

表 3 反向物流网络结构比较

比较项目	开环结构	闭环结构	混合结构	线形结构
含义	回收的产品不回到原始设备制造商(OEMs),而是用于其它企业(第三方制造商)的反向物流网络	回收的产品回到 OEMs 进行再处理的反向物流网络	部分回到产品提供商,部分不回到产品提供商	反向物流渠道与正向物流渠道完全重合
特征	(1)与正向物流渠道独立; (2)与正向物流差别小; (3)规模经济对反向物流活动影响较大; (4)回收处理一般不需要特定的产品知识	(1)与正向物流渠道有集成,但集成度较低; (2)网络结构复杂; (3)回收处理需要特定的产品知识	(1)考虑因素多,优化难度大; (2)适用范围小	(1)与正向物流渠道高度集成,甚至重合; (2)适用范围小; (3)是闭环结构的特殊情况
适合产品	钢副产品/地毯/家电/车辆/塑料等以原材料回收为主的产品	复印机/手机/印刷线路板等以零部件回收为主的产品	可重复使用的包装物(托盘集装箱/塑料箱等)	部分退货产品
文献	[12][13][14]	[7][15]	[16][17]	暂无相关研究成果

在进行反向物流网络设计时,应考虑以下因素<sup>[9]</sup>:

(1) 集中度。集中度是指实施类似活动的地点数量。在一个集中网络中,每个活动仅被安排在个别地方;但是在一个分散的网络中,相同的作业可能需要在几个不同的平行位置实施。因此,可以把集中度视为衡量网络水平一体化或“宽度”的指标。

(2) 数量水平。数量水平是指商品渡过的设施数量,它表示网络的“深度”或垂直一体化程度。在一个单一水平的网络中,所有活动被集中在一类设施中完成,而在多水平网络中,不同的活动则需要不同的设施中进行。

(3) 供应链成员间的关系。应考虑供应链参与者之间的关系和行为。比如,供应商、OEMs、服务提供商、政府部门和顾客等,他们都会影响反向物流网络设计。

(4) 产品特征。产品特征是很多的,比如重量、体积、易脆性、有毒性、腐蚀性、经济价值和过时性等。产品的这些物流和经济特征影响回收产品再生形式选择和对反向物流网络结构的要求。

设计研究,包括网络结构、选址决策和网络节点功能、能力决策;二是反向运输线路优化;三是网络设计比较研究。

3.1 反向物流网络设计

对反向物流网络的定量研究比较见表 4。在已有的研究中,文献[8, 12]研究的是地毯回收,文献[6, 15, 18]研究对象是电子产品,另外还涉及到对空集装箱<sup>[16]</sup>、钢副产品<sup>[13]</sup>和建筑用砂<sup>[19]</sup>的研究。所有这些研究中,研究的目标主要针对回收、再生设施的位置和数量<sup>[8, 12, 13, 15, 19]</sup>优化,另有一些只优化了设施位置<sup>[8, 18]</sup>,文献[16]除了对位置和数量进行优化,还确定了系统需要的空集装箱的数量、出租租金。建立的数学模型除文献[12]采用的是非线性规划模型外,其余都是混合整数线性规划模型。另外,所有研究都有相当强的假设。另外,Caruso<sup>[20]</sup>为确定废弃物处理工厂的数量和位置,建立了区位—分配(location-allocation)模型,通过启发式算法得到了模型的最优解。

除文献[21]是基于随机方法建模外,上述模型都没有考虑不确定性问题,他们对不确定性通常都是通过情景分析和参数分析

3 反向物流网络研究

表 4 反向物流网络研究比较

研究	优化目标	建立的模型	研究假设	研究对象	文献
反向物流网络研究的主要内容	设施位置/数量	非线性规划	单位处理成本固定	地毯	[12]
			回收点已知		[8]
涉及 3 个方面:一是网络	设施位置	混合整数规划 (MILP)	砂分布已知/供应量基于估计	建筑用砂	[19]
			设施能力可根据需要调整	钢副产品	[16]
			再生产品与回收产品可以不同	电子产品	[15]
			固定补给和拆解过程	电子产品	[6]
设施位置/数量等	设施位置/数量等	混合整数规划 (MILP)	回收率		[18]
			空箱回收独立于重箱动力	空集装箱	[16]

解决,但另一方面不确定性又是反向物流网络最重要的特征。最近关于鲁棒网络设计研究是迈向该方向的第一步<sup>[9]</sup>。一般而言,对随机因素的逼近处理并不能很好地反映问题的本质,对于随机性问题,网络鲁棒性设计是个关键的问题,而采用确定模型难以进行鲁棒性讨论<sup>[24]</sup>。

上述文献中集成处理正向物流与反向物流的很少。文献[13, 15, 19, 23]建立的模型考虑了这两类网络的联合区位问题。但是,可能还没有模型处理合并线路的问题<sup>[10]</sup>。原因有3个<sup>[24]</sup>:一是多数物流系统没有处理反向渠道产品移动的设施或条件;二是反向物流成本可能比正向物流成本更高;三是回收的产品经常不能在正向物流网络中以同样方式进行运输、储存或处理。另外,反向物流与正向物流之间并不具有必然的对称性<sup>[10]</sup>。

### 3.2 反向运输线路优化

Peirce<sup>[25]</sup>在废弃物处理设施和处理技术既定的条件下,利用线性规划模型阐述中转站、处理设施和长期储存仓库之间的运输线路问题。Jennings<sup>[26]</sup>则研究了多类型废弃物运输问题,它们阐述了有害废弃物区域处理系统的简单车辆线路问题,并试图完成成本优化或者支线优化目标。Zografos<sup>[27]</sup>以运输风险、运输时间和处理风险最小化作为研究目标,研究对象是单一类型废弃物。Min<sup>[28]</sup>在确保运输时间条件下,通过建立目标规划模型确定运输模型,以最小化召回产品运输和反向配送成本。Koo<sup>[29]</sup>等利用模糊理论和多目标优化技术研究了韩国有害废弃物处理中心设施的区位和车辆线路问题。文献[30, 31]采用了和Koo类似的集成运输线路优化与反向物流网络设计的研究方法。

### 3.3 反向物流网络比较研究

Thierry<sup>[32]</sup>基于再生网络物流成本优化,评估生产/配送和收集/再生网络的集成情况。再生产品假定在既定市场需求下,与新产品在相同条件下以同样的满意度出售。生产/配送网络包括工厂、仓库和市场3个层次。决策有关的成本包括变动的生产、搬运、检查、修理、处置和运输成本。假定所有设施位置固定,不存在固定成本。Fleischmann<sup>[9]</sup>研究了是否应当综合正向与反向物流。在假定回收点之间存在严格边界,返修点开放的情况下,认为产品再生的影响在一定范围内是相互的,如果放弃现有配送渠道,则应当寻找

综合方法重新集成设计企业的物流网络。从方法论的观点看,独立模拟前向和反向物流网络在许多情况下可以大幅降低问题规模。

## 4 其它研究热点问题与展望

反向物流需要研究的问题很多,不只是局限于以上几个方面。同时,由于反向物流的复杂性和高度不确定性,上述研究较多的领域在理论和实践中仍然需要进一步深入研究。

(1) 综合研究。包括综合多种再生资源(不同生产过程产生的相同副产品)、再生形式选择和配置(回收的单一产品或副产品能够在几个过程再生使用)、多余回收产品的处置和不能及时再生处理的回收/副产品库存、随机再生活动等问题<sup>[33]</sup>的研究。

(2) 集成研究。集成供应链管理和信息技术的反向物流和再生组织技术研究。现代信息技术有助于消除反向物流和再生过程中的不确定性<sup>[34, 35]</sup>;基于供应链管理理论基础上的反向物流与再生活动,能实现不同活动、组织之间紧密协调并弱化不确定性的影响<sup>[6, 10]</sup>。

(3) 前馈研究。在产品销售,甚至在产品设计时就考虑到回收要素和回收计划。如环境导向设计、全面环境质量管理、生命周期分析、绿色供应链管理、实施ISO14000标准<sup>[36, 37]</sup>以及工程学中的“循环再生设计”、“拆解设计”研究<sup>[38]</sup>等。

(4) 聚类研究。已有的研究大多针对的是单一产品,缺乏通用方法,也没有建立一般的研究框架。为此,可以根据回收产品特点、再生形式、再生要求、渠道参与者等进行聚类研究,形成不同的产品再生网络类型及再生组织技术类型,从而获得不同类别的通用研究方法和一般研究框架。Fleischmann<sup>[9]</sup>等在这方面做了一些开创性的工作,但是,他们得到的聚类结果是基于定性分析而没有进行定量研究,另外,文献[39]也提到了拆解工厂的地区聚类。

(5) 不确定性研究。前已分析,反向物流的本质特征是系统的不确定性。但是,已有的文献一般都局限于确定性问题的研究,其结论很难反映问题的实质。因此,进一步研究可集中在反向物流的不确定性方面。

(6) 博弈分析。包括政府、制造商、消费者以及有关第三方之间在反内反向物流参与者之间的信息存在明显不对称性。基于博

弈论的委托—代理理论研究反向物流回收模式、运作模式、付费机制既具有可行性,又具有紧迫性。

参考文献:

- [1] Carter C R, Ellram L M. Reverse Logistics: a Review of the Literature and Framework for Future Investigation[J]. Journal of Business Logistics, 1998, 19(1): 85-102.
- [2] 刘志学. 现代物流手册[M]. 北京: 中国物资出版社, 2001.
- [3] Rogers and Tibben Lembeke. Going Backward: Reverse Logistics Trends and Practices[M]. Pittsburgh PA: Reverse Logistics Executive Council, 1999.
- [4] Dennis W. Krumwiede, Chwen Sheu. A model for reverse logistics entry by third-party providers[J]. Omega, 2002, 30: 325-333.
- [5] De Brito M P, Dekker R. A Framework for Reverse Logistics[M]. ERIM Report Series Research in Management, ERS-2003-045-LIS, 2003.
- [6] Tung-Lai Hu et al. A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes[J]. Transportation Research Part E, 2002, 38: 457-473.
- [7] Krikke HR et al. Business case of a reverse logistic network re-design for copiers[J]. OR Spectrum 1999, 21(3): 381-409.
- [8] Mortiz Fleischmann et al. A characterization of logistics networks for product recovery[J]. Omega, 2000, 28: 653-666.
- [9] Ottoman, J. Waste not: Green strategies key to efficient products[J]. Marketing News, 1998, 32: 12-13.
- [10] Mortiz Fleischmann et al. Quantitative models for reverse logistics: A review[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 103: 1-17.
- [11] Dimitrios Vlachos, Rommert Dekker. Production, Manufacturing and Logistics Return handling options and order quantities for single period products[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 151: 38-52.
- [12] Louwers D et al. A facility location allocation model for re-using carpet materials[J]. Computers and Industrial engineering, 1999, 36, (4): 1-15.
- [13] Spengler T et al. Environmental integrated production and recycling management[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 97: 308-26.
- [14] Püchert H, Spengler T, Rentz Q. Strategic recy-

- ding and redistribution management—a case study for the scrap car recycling[J]. *Zeitschrift für Planung (ZP)*, 1996, 7: 27-44.
- [15] Jayaraman V et al. A closed loop logistics model for remanufacturing[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1999, 50: 497-508.
- [16] Kroon L, Vrijens G. Returnable containers: an example of reverse logistics[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1995, 25, (2): 56-68.
- [17] Trunk C. Making ends meet with returnable plastic containers[J]. *Material Handling Engineering*, 1993, 48(10): 79-85.
- [18] Li-Hsing shih. Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2001, 32: 55-72.
- [19] Barros AI, Dekker R, Scholten V. A two-level network for recycling sand: a case study[J]. *European Journal of Operational Research*, 1998, 110: 199-214.
- [20] Caruso, C., Colomi, A., Paruccini, M. The regional urban solid waste management system: A modeling approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 1993, 70: 16-30.
- [21] Ovidiu Listes, Rommert Dekker. A stochastic approach to a case study for product recovery network design[J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 160: 268-287.
- [22] 储供胜, 宋士吉. 反向物流及制造技术的研究现状和发展趋势[J]. *计算机集成制造系统—CIMS*, 2004, 10, (1): 10-14, 64.
- [23] Marin A, Pelegrin B. The return plant location problem: modelling and resolution[M]. *European Journal of Operational Research*, 1998, 104(2): 375-392.
- [24] Sarkis, J., Darnall, N., Nehman, G., Priest, J. The role of supply chain management within the industrial ecosystem[A]. Orlando, FL: Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1995, 229-234.
- [25] Peirce, J.J., Davidson, G.M. Linear programming in hazardous waste management[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1982, 108(5): 1014-1026.
- [26] Jennings, A.A., Scholar, R.L. Hazardous waste disposal network analysis[J]. *Journal of the Environmental Engineering*, 1984, 110(2): 325-342.
- [27] Zografos, K.G., Samara, S.S.A. Combined location-routing model for hazardous waste transportation and disposal[J]. *Transportation Research Record*, 1990, 1245: 52-59.
- [28] Vaidyanathan Jayaraman, Raymond A. Patterson, Erik Roland. The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures[J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 150: 128-149.
- [29] Koo, J.K., Shin, H.S., Yoo, H.C. Multiobjective siting planning for a regional hazardous waste treatment center[J]. *Waste Management and Research*, 1991, (9): 218-250.
- [30] Stowers, C.L., Paekar. Location models with routing considerations for a single obnoxious facility[J]. *Transportation Science*, 1993, 27(4): 350-362.
- [31] Nema, A.K., Gupta, S.K. Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation[J]. *Waste Management*, 1999, 19: 441-451.
- [32] Thierry M. An analysis of the impact of product recovery management on manufacturing companies[D]. Erasmus University Rotterdam, the Netherlands, 1997.
- [33] Stefan Minner. Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains[J]. *Int. J. Production Economics*, 2001, 71: 417-428.
- [34] 赵黎明, 王迈, 王刚. 电子商务对反向物流的影响[J]. *天津大学学报(社会科学版)*, 2004, 4(2): 101-104.
- [35] Seliger G.E. cycling platform for profitable reuse[A]. Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning Soft Research Park. IEEE, 2001, 28-29.
- [36] Sarkis, J. Evaluating environmentally conscious business practices[J]. *European Journal of Operational Research*, 1998, 107: 159-174.
- [37] Gianni T. Tsoulfas, Costas P. Pappis, Stefan Minner. An environmental analysis of the reverse supply chain of SLI batteries[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2002, 36: 135-154.
- [38] Kriwet, A., Zussman, E., Seliger, G. Systematic integration of design-for-recycling into product design[J]. *International Journal of Production Economics*, 1995, 38: 15-22.
- [39] Helmut Baumgarten, Christian Butz, Annerose Fritsch, Thomas Sommer-Dittrich. IEEE, 2003, (5): 29-83.

(责任编辑: 赵贤瑶)

## Literature Review and Prospects of Reverse Logistics

Abstract: In retrospect to the full achievements on reverse logistics network of primary research content, the theory and important methodology, especially structure of reverse logistics network modeling method are discussed. Based on the analysis, some likely new respects and approaches of reverse logistics research are indicated.

Key words: reverse logistics; review; reverse logistics network