

北京大学中国改革理论与实践研究中心丛书

Optimization Strategies for Facility Location
Problem of Reverse Logistic Center

任志刚●著

逆向物流网络选址优化策略研究

中国社会科学出版社

北京大学中国改革理论与实践研究中心丛书

Optimization Strategies for Facility Location
Problem of Reverse Logistic Center

任志刚●著

逆向物流网络选址优化策略研究

中国社会科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

逆向物流网络选址优化策略研究/任志刚著. —北京: 中国社会科学出版社, 2011. 6

ISBN 978 - 7 - 5004 - 9050 - 0

I. ①逆… II. ①任… III. ①计算机网络—应用—物资企业—选址—研究 IV. ①F253.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 165890 号

责任编辑 卢小生
责任校对 刘娟
封面设计 李尘工作室
技术编辑 戴宽

出版发行 **中国社会科学出版社**

社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号

邮 编 100720

电 话 010—84029450(邮购)

网 址 <http://www.csspw.cn>

经 销 新华书店

印 刷 新魏印刷厂

装 订 广增装订厂

版 次 2011 年 6 月第 1 版

印 次 2011 年 6 月第 1 次印刷

开 本 880 × 1230 1/32

印 张 6.5

插 页 2

字 数 170 千字

定 价 28.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书,如有质量问题请与本社发行部联系调换
版权所有 侵权必究

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究背景	(1)
第二节 问题的提出及其意义	(6)
第三节 概念界定	(11)
一 逆向物流	(11)
二 人工免疫系统	(16)
第四节 研究目标	(17)
第五节 研究框架及内容	(19)
第六节 章节安排	(22)
第七节 主要创新点	(24)
第二章 相关研究综述	(27)
第一节 选址问题	(27)
一 选址问题的产生和分类	(29)
二 国内外选址问题研究现状	(32)
第二节 物流配送中心选址	(39)
第三节 逆向物流选址模型与优化策略	(45)
一 逆向物流驱动因素	(46)
二 模型与选址优化策略	(51)

2	逆向物流网络选址优化策略研究	
	三 逆向物流中的路径优化	(59)
	第四节 人工免疫系统优化	(62)
	第五节 本章小结	(72)
第三章	逆向物流网络选址策略模型	(76)
	第一节 基本的逆向物流选址策略模型	(77)
	第二节 Jayaraman 逆向物流网络选址策略模型	(84)
	第三节 基本最短路径逆向物流选址策略模型	(88)
	第四节 正一逆向最短路径物流网络选址策略模型	(91)
	第五节 本章小结	(95)
第四章	用于逆向物流网络选址策略优化的人工 免疫系统模型	(98)
	第一节 人工免疫系统优化模型	(99)
	一 免疫模型	(99)
	二 免疫规则	(100)
	三 基本免疫算法	(106)
	四 免疫优化与遗传算法	(107)
	第二节 算法收敛性	(112)
	第三节 Jayaraman 逆向物流选址免疫优化策略	(115)
	一 试验数据	(115)
	二 免疫优化策略	(116)
	三 结果与讨论	(117)
	第四节 本章小结	(120)
第五章	基本最短路径物流网络选址优化策略	(122)
	第一节 TSP 与遗传算法	(123)

第二节 三角形编码与启发式变异	(125)
一 三角形表示	(125)
二 基于三角形表示的启发式算子	(126)
第三节 最短路径免疫优化策略	(129)
一 算法设计	(129)
二 试验与讨论	(132)
第四节 基本最短路径物流网络选址策略优化	(144)
第五节 本章小结	(150)
第六章 正一逆向最短路径物流网络选址的免疫优化策略	(153)
第一节 算子设计	(153)
一 编码策略	(153)
二 克隆选择规则	(155)
三 免疫记忆规则	(158)
第二节 算法描述	(158)
第三节 试验与讨论	(159)
一 算法性能试验	(160)
二 算法参数分析	(168)
第四节 本章小结	(172)
第七章 结论与研究展望	(173)
第一节 主要结论	(173)
第二节 主要贡献与创新	(176)
第三节 研究展望	(178)
一 关于模型	(178)
二 关于逆向物流网络选址优化	(179)

4	逆向物流网络选址优化策略研究	
	三 关于免疫优化策略	(179)
	参考文献	(180)
	后记	(202)

第一章

绪 论

第一节 研究背景

在过去的几十年里，贸易自由化、全球资本市场的成长与整合、信息和通信技术的进步，创造出一个正在增长的全球市场，原来分割型的国家或地区市场正在逐渐演变成一个统一的全球市场。全球化战略的趋势，使得物流企业和生产企业更加紧密地联系在一起，形成了社会化的大分工。市场经济越发达，流通的作用就越重要。由于计算机和网络化的发展，大大缩短了流通的过程，企业的交易成本将主要被物流所占用，物流成本的高低，就成了企业在市场竞争中能否取胜的决定因素。因此，在国际上，物流产业被认为是国民经济发展的动脉和基础产业，其发展程度成为衡量一国现代化程度和综合国力的重要标志之一，被喻为促进经济增长的“加速器”和“第三利润源泉”^①。同时，随着经济全球化持续发展、科学技术

^① 冯耕中：《物流配送中心规划与设计》，西安交通大学出版社2004年版，第110—115页。

2 逆向物流网络选址优化策略研究

水平不断提高以及专业化分工进一步深化, 在世界各国开始了一场对各种物流功能、要素进行整合的物流革命。这种物流资源整合和一体化, 不再仅仅局限在某个企业层面上, 而是转移到相互联系、分工协作的整个产业链条上, 形成了以供应链管理为核心的、社会化的物流系统, 特别是随着第三方物流的出现, 物流活动逐步从生产、交易和消费过程中分化出来, 成为一种专业化的、由独立的经济组织承担的新型经济活动。据统计, 一般商品从厂商到用户的时间中有 90% 消耗在物流环节中。我国国民生产总值的 15% 在物流上, 在商品的成本组成 20% 是物流成本^①。同时, 由于绿色管理逐渐受到重视, 相继出现相关的绿色物流管理, 因此, 除了企业保持或提升竞争力之外, 在部分发达国家, 企业甚至面临着必须遵循绿色物流管理相关的法令或规定才得以继续营运与获利的困境, 因此, 如何有效地提升绿色物流管理, 尤其是逆向物流管理, 就成为企业重要的管理议题之一^②。

废弃物再利用与再生资源的利用已经成为企业经营的关键议题之一, 逆向物流活动对企业经营是非常重要且不容忽视的^③。我国物流市场的发展虽然落后于外国, 但是, 它已经成为学界和业界共同关注的热点问题之一。按照国际货币基金组织 1999 年的统计, 我国当年物流成本为 13867 亿元人民币, 第三方物流业务市场规模为 4618 亿元人民币; 参考国际货币基金组织的有关

① 王之泰:《现代物流管理》, 工人出版社 2001 年版, 第 30—34 页。

② Minahan T., *Manufacturers Take Aim at End of the Supply Chain*, *Purchasing*, 1998, 124 (6): pp. 111 - 112; 纪宗衡、林明辉:《逆向物流网络设计之小世界基因算法》, [2006 - 05 - 09] (<http://tbi2006.atist.org/CD/Papers/2006tbi2165.doc>)。

③ Minahan T., *Manufacturers Take Aim at End of the Supply Chain*, *Purchasing*, 1998, 124 (6): pp. 111 - 112.

数据,并结合我国“十五”物流发展规划进行预测,2010年我国的物流成本为28505亿元人民币,第三方物流业务市场规模为11972亿元人民币。这些数字都清楚地说明了我国物流市场的开发潜力非常巨大^①。

随着科学技术的进步和人民生活水平的提高,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日渐缩短,更新换代速度加快,被人们淘汰和废弃的物品也越来越多。与此同时,随着公众环保意识的日益增强,许多国家加大了环保的立法力度,开始要求生产企业对产品主命周期全过程负责,尤其是废旧产品的回收处理。从物流的角度来看,废旧产品的回收和重新利用形成了一种从消费者到生产者的附加物资流,这就是物流中的逆向物流(Reverse Logistics)^②。

但长期以来,管理者一直将顾客退回的物品以及产品使用后的废弃物排除在企业经营战略之外,对这些物品沿供应链逆向渠道的收集、运输和分拨——即逆向物流活动几乎没有引起应有的重视。直至自20世纪90年代末,逆向物流才逐渐受到国内外物

^① 汪应洛:《现代物流管理系列丛书总序》,西安交通大学出版社2003年版,第46—59页。

^② Rommert Dekker, Moritz Fleischmann, Jacqueline M., Bloembof-Ruwaard, et al., Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review, *European Journal of Operational Research*, 1997, 103: 1 - 17; Moritz Fleischmann J. A. E. E. van Nunen Jacqueline M., Bloembof-Ruwaard, Reviewing Distribution Issues in Reverse Logistics// Speranza, Stahly, New Trends in Distribution Logistics, London: Springer, 1999: 23 - 44; Rommert Dekker, Ovidiu Liste, A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design, *European Journal of Operational Research*, 2005, 160 (1): 268 - 287; Butz C., Fritsch A., Sommer-Dittrich T., Baumgarten, H., Supply Chain Management and Reverse Logistics - integration of Reverse Logistics Processes into Supply Chain Management Approaches, *Electronics and the Environment*, 2003, (5): 79 - 83; Rommert Dekker, Mortiz Fleischmann, Hans Ronald Krikke, Simme Douwe P. Flappe, A Characterization of Logistics Networks for Product Recovery, *Omega*, 2000, 28 (6): 653 - 666.

4 逆向物流网络选址优化策略研究

流学者和企业管理者的高度重视。这是因为，对逆向物流的有效管理，不仅能保护环境，为企业带来明显的经济效益，而且还能强化企业的竞争优势，提高供应链的整体绩效。目前，逆向物流战略已成为国外许多企业管理战略（如 Xerox、BMW、3M、HP、Estee Lauder 等）的重要组成部分^①。

有关资料显示，在美国，1997 年企业与产品回收相关的成本约为 350 亿美元，占当年 GDP 的 0.5%^②；1999 年的逆向物流成本约占物流成本的 5%，到 2001 年，逆向物流成本所占比例翻了一番，大约为 10%^③；1999 年回收商品的总价值达 620 亿美元，这意味着零售商将损失大约 100 亿—150 亿美元，而处理这些产品的成本估计达 400 亿美元^④。在欧洲，1994 年，纸品的再生量达到了 2770 万吨，年增长率大约为 7%，纸品回收率为 43%；玻璃的再生量达到 700 万吨，年增长率大约为 10%，回

① 王长琼：《国外逆向物流的经济价值及管理策略初探》，《外国经济与管理》2003 年第 8 期；Giannis T. Tsoufias, Harold Krikke, Costas P. Pappis, Jacqueline Bloemhof-Ruward, Design Principles for Closed Loop Supply Chain: Optimizing Economic, Logistic and Environmental Performance, Report Series Research in Management ERS - 2001 - 62 - LISs Erasmus University Rotterdam, Netherlands, 2001；Raymond A., Patterson Vaidyanathan Jayaraman, Erik Rolland, The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures, *European Journal of Operational Research*, 2003, 150 (1): 128 - 149。

② Dekker R., de Koster M. B. M., Pappis, Verbeke W. Kokkinaki, A. I., E-business Models of Reverse Logistics: Contributions and Challenges, Information Technology: Coding and Computing, Proceedings International Conference on, 2002: 470 - 476。

③ 柳键：《供应链的逆向物流》，《商业经济与管理》2002 年第 6 期。

④ Ko Chang Seong, Min Hokey, Ko Hyun Jeung, A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-echelon Reverse Logistics Network for Product Returns, *Omega*, In Press, Corrected Proof, Available online 2004 - 06 - 10, 1 - 14；Min Hokey Ko Hyun Jeung, The Dynamic Design of a Reverse Logistics Network for Repair Facilities. UPSi and LDI Working Papers, 2003, 11。

收率接近 60% (1997 年《欧洲统计年鉴》)①。在德国, 销售包装的回收目标必须在 60%—75%②。在荷兰, 工业废料的重复利用率从 1992 年的 36% 提高到了 1994 年的 46% (CBS③, 1998); 1997 年的生活垃圾为 800 万吨, 其中 13% 被掩埋, 38% 被焚烧用于能源再生, 46% 被重复使用 (CBS, 1998)④。由此不难看出, 逆向物流业务正呈现快速增长的态势。另一方面逆向物流又给企业提供了市场机遇。美国逆向物流 1996 年的市场价值是 47 亿美元, 2000 年为 77 亿美元; 1996 年全球除美国之外的逆向物流市场价值是 153 亿美元, 2000 年为 223 亿美元。随着外包比例越来越高, 逆向物流的市场价值会越来越大。表 1-1 显示了全球回收物流的市场价值。

表 1-1 全球回收物流市场价值 单位: 百万美元, %

年份	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	增长率
市场结构								
高新技术高附加值产品	1496	1621.6	1757.9	1905.5	2065.6	2239.1	2427.2	8.40

① Rommert Dekker, Moritz Fleischmann, Jacqueline M., Bloemhof-Ruwaard, et al., Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review, *European Journal of Operational Research*, 1997, 103: 1-17; Moritz Fleischmann J. A. E. E., van Nunen Jacqueline M. Bloemhof-Ruwaard, Reviewing Distribution Issues in Reverse Logistics// Speranza, Stahly, *New Trends in Distribution Logistics*, London: Springer, 1999: 23-44.

② Rommert Dekker, Moritz Fleischmann, Jacqueline M., Bloemhof-Ruwaard, et al., Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review, *European Journal of Operational Research*, 1997, 103: 1-17.

③ Statistics Netherlands, <http://www.cns.nl/en/>.

④ Rommert Dekker, Moritz Fleischmann, Jacqueline M., Bloemhof-Ruwaard, et al., Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review, *European Journal of Operational Research*, 1997, 103: 1-17; Moritz Fleischmann J. A. E. E. van Nunen Jacqueline M., Bloemhof-Ruwaard, Reviewing Distribution Issues in Reverse Logistics// Speranza, Stahly, *New Trends in Distribution Logistics*, London: Springer, 1999: 23-44.

续表

市场结构	年份							
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	增长率
绿色产品	259.7	270.1	280.9	292.1	303.8	316.9	326.8	3.91
包装和托盘回收利用	346	383.4	424.8	470.7	521.8	577.8	640.2	10.80
终端消费者维修品	1681.5	1849.7	2034.6	2238.1	2462	2708.1	2978.9	10.00
普通废弃物	4130.4	4460.8	4817.7	5203.1	5619.4	6068.9	6554.4	8.00
特殊废弃物	3256.4	3696.1	4195	4761.4	5404.1	6137.1	6961.7	13.50
有毒品	1470.9	1603.3	1747.6	1904.9	2076.4	2263.2	2466.9	9.00
废弃物收集、归类、加工处理	8857.8	9760.2	10760.4	11869.4	13099.4	14465.9	15983.1	10.34
合计	21498.7	23645.2	26018.9	28645.2	31552.5	34777	38339.2	10.12

资料来源：《中外物流快讯》。

第二节 问题的提出及其意义

面对如此大的市场，企业岂能不动心？之所以没有几家企业愿意全心全意地应对逆向物流的挑战，可能的原因是：(1)对大多数企业来讲，在正向物流系统中创造并持续应用最佳业务实践已经是非常艰巨的挑战了；(2)逆向物流较之正向物流有着显著的不同，更加复杂、更加不确定。表 1-2 从不同角度比较了逆向物流和正向物流的不同之处^①。

^① Ko Chang Seong, Min Hokey, Ko Hyun Jeung, A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-echelon Reverse Logistics Network for Product Returns, *Omega*, In Press, Corrected Proof, Available Online 2004-06-10, 1-14; Min Hokey Ko Hyun Jeung, The Dynamic Design of a Reverse Logistics Network for Repair Facilities. UPSi and LODI Working Papers, 2003, 11; 曾凡婷、孙蛟：《浅析逆向物流—逆向物流、正向物流与环保物流比较》，《物流技术》2003年第10期。

表 1-2 逆向物流和正向物流的比较

对比角度	逆向物流	正向物流
预测	困难	容易
数量	小批量	标准化大批量
质量	产品质量参差不齐	产品质量统一
信息追踪	需人工、自动相结合	可自动追踪
订单周期	中长期（不确定）	短期（确定）
产品价值	中、低价值	高价值
产品处理方式	多样且不确定	确定
库存控制	不统一	统一
优先权	低	高
成本	隐蔽且影响因素复杂	透明相对比较确定
产生方式	推动、拉动	拉动
渠道	更复杂、多样（多阶段）	较复杂（单阶段或多阶段）
流动形式	回收模式多对一	分销模式一对多

表 1-2 表明，逆向物流同正向物流运作的起始点完全相反，逆向物流更加趋向于反应性的行为与活动，其中实物和信息的流动基本都是由供应链尾端的成员或最终消费者引起。其次，由于退回的物品有各种不同的原因，逆向物流产生的地点、时间和数量是难以预见的；正向物流则不然，按量、准时和指定发货点是其基本要求，并且在运输中力图发挥规模经济收益。再次，发生逆向物流的地点较为分散、无序，不可能集中一次向接受点转移。最后，逆向物流的处理系统与方式复杂多样，不同处理手段对恢复资源价值的贡献差异显著。另外，还要考虑制造商对于返回商品的处理往往还有一些特殊的规定，如在二级市场转卖的商品去除标识、撤销原有的铭牌等，这些因素都使得在逆向物流中

对于商品的处理选择众多，方向不明。

逆向物流和传统的正向物流在实际操作中有许多不同，而且对相应物流网络的依赖程度也不同，逆向物流运作的效率受逆向物流网络结构的影响更大。因而必须合理设计逆向物流网络，即确定废旧物品从消费地到起始地的整个流通渠道的结构，包括各种逆向物流设施的类型、数量和位置，以及废旧物品在设施间的运输方式等。

一般而言，废旧物品的回收包括^①：指定区域的分销中心或零售点收集回收的废旧物品，废旧物品经过汇总，运送到集中式的回收中心，在回收中心废旧物品经过修理、翻新、再制造重新获得价值或者进行没有任何商业价值的产品处理（可能存在社会效益，如废水处理等）。废旧物品的回收需要确定回收中心的地址和处理能力，目标是逆向物流的总成本最小化、回收中心的处理能力充分利用、消费者退还产品的便利程度最大化等。由于逆向物流与正向物流有着千丝万缕的联系，而且逆向物流存在着更大的不确定性和多样性，因此逆向物流网络的设计问题非常困难。从以往对物流及逆向物流选址问题的有关研究来看，尽管有不少学者和专家对逆向物流选址这一问题进行了深入的研究，也取得了不少的研究成果^②，逆向物流模型和选址策略优化是两个

① Ko Chang Seong, Min Hokey, Ko Hyun Jeung, A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-echelon Reverse Logistics Network for Product Returns, *Omega*, In Press, Corrected Proof, Available Online 2004 - 6 - 10, 1 - 14; Min Hokey Ko Hyun Jeung, The Dynamic Design of a Reverse Logistics Network for Repair Facilities, UPSi and Lodi Working Papers, 2003, 11.

② Jayaraman V., Patterson R., Rolland E., The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures, *European Journal of Operational Research*, 2003, 150 (1): 128 - 149; Schultmann F., Zumkeller M., Rentz O., Modeling Reverse Logistic Tasks within Closed-loop Supply Chains: An Example from the Automotive Industry, *European Journal of Operational Research*, 2006, 171: 1033 - 1050.

重要的研究方向。

由于逆向物流系统的高度复杂性、多样性与供需失衡性,不但使得目前的模型只能从不同的视角反映逆向物流网络选址的特点^①,而且使得系统的运作更有赖于妥善的物流网络规划,因而在逆向物流管理中优化逆向物流网络显得尤为重要,其中,逆向物流网络设计最佳化问题尤其是当今研究的焦点^②。传统的 LP 松弛法、分支定界法、Purpose 法、Out-of-kilter 算法、Benders 算法等已经用于逆向物流网络选址优化^③,但是,这些方法一般对目标函数有连续、可导、可微等要求,而且当问题规模增加时,可能存在“组合爆炸”的危险,因此,以遗传算法、模拟退火算法等为代表的启发式计算智能方法的应用日益普遍。

计算智能是人工智能的深化和发展。如果说经典人工智能(如专家系统)是以知识库为基础,以顺序离散符号推理为特征含知识表达、推理和利用的知识系统,那么,计算智能则是以模型(数学模型、计算模型)为基础,以分布、并行、仿生计算为特征的含数据、算法和实现的信息系统。前者强调规则的形成和表示,而后者强调模型的建立和形成;前者依赖专家知识,而后者强调自组织、自学习和自适应。模仿生物智能(仿生)或

① 周垂日:《逆向物流管理的问题研究》,中国科学技术大学,2006年。

② 纪宗衡、林明辉:《逆向物流网络设计之小世界基因算法》[2006-05-09] (<http://tbi2006.atistr.org/CD/Papers/2006tbi2165.doc>), Jayamaram V., Patterson R., Rolland E., The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures, *European Journal of Operational Research*, 2003, 150 (1): 128 - 149; Schultmann F., Zumkeller M., Rentz O., Modeling Reverse Logistic Tasks Within Closed-loop Supply Chains: An Example From the Automotive Industry, *European Journal of Operational Research*, 2006, 171: 1033 - 1050.

③ 秦小辉、叶怀珍:《逆向物流系统网络选址问题研究现状及展望》,《商场现代化》2007, 497: 152 - 153。

物理现象（拟物）以形成解决复杂问题的算法，是计算智能研究的重要内容，仿生算法主要包括人工神经网络、细胞自动机、蚁群算法、离子群算法和人工免疫系统、遗传算法等，而拟物算法则有模拟退火和量子计算等。也有人把冯·诺伊曼（Von Neumann）实现的计算以外的其他计算方法叫做软计算（Soft Computing），多特（Y. Dote, 1998）拓展了软计算的概念，认为除了人工神经网络、模糊技术和进化计算外，还应该包括人工免疫系统和混沌理论^①。

本书在分析已有逆向物流网络选址模型的基础上，基于物流运输中的最短路径约束，提出一类最短路径逆向物流网络选址问题模型；建模过程中还考虑正/逆向物流共用同一物流网络，以及供需等环境为随机变量等情况；使这一问题的模型更加符合物流实际。为进一步发展新的物流网络模型提供借鉴，对现有的物流选址和逆向物流中心的选址也具有理论完善作用。

本书将人工免疫系统优化方法引入逆向物流网络选址问题的求解中，基于免疫系统中的克隆选择等相关机理，提出新的人工免疫系统智能优化策略，并对相关策略进行理论分析，力图构建一个比较完备的人工免疫系统逆向物流网络选址问题求解框架，不仅为逆向物流网络选址问题求解提供新方法，也将为人工免疫系统开辟新的应用研究领域。另外，还将为借助模拟生物机理解决复杂管理和物流问题提供新思路。

人工免疫系算法强调智能方法“应该从生物学而不是物理学受到启示”，有助于人工智能研究从基于“还原论”的传统 AI

^① Dote Y., Soft Computing (immune networks) in Artificial Intelligence, 1998 IEEE International Conference on Computational Cybernetics and Simulation., Institute of Electrical and Electronics Engineers, Incorporated, 1998. 1382 - 1387.