

二级设施物流配送网络优化

王 勇 刘 永 樊建新 著

西南交通大学出版社

• 成 都 •

内容简介：本书从二级设施物流配送网络优化的视角研究了现代城市物流配送网络优化问题。综观国内外研究概况，当前物流配送网络优化多集中在研究配送网络中的设施选址问题和车辆路径问题（Vehicle Routing Problem, VRP），而缺乏从整体的角度研究物流配送网络优化问题，为此本书构建了基于“设施选址-客户点聚类-配送区域划分-车辆路线优化”的二级设施物流配送网络优化框架，探讨了各环节之间的紧密联系，并结合实际案例和标准数据集进行了深入的计算、分析。

本书适合硕士生、博士生学习，也可以供相关研究机构和规划部门进行物流配送网络优化和现代城市物流规划时学习参考。

前 言

城市物流配送是现代物流业的一个重要内容，现代物流业是融合了仓储业、运输业、货代业和信息业等的复合型服务业，是国民经济的重要组成部分，在促进经济发展和增强国民经济竞争力等方面发挥着重要作用。《国民经济第十二个五年规划纲要》中指出：要大力发展现代物流业，加快建立社会化、专业化、信息化的现代物流服务体系，大力发展第三方物流，优化物流业发展的区域布局，支持物流园区、物流中心、物流功能区等物流功能集聚区有序发展。现代物流业的兴起，给城市的发展带来了新的商机和发展契机，城市的现代化必须以物流的现代化为依托，城市的发展离不开城市物流的发展和完善。当前我国物流费用占了货品总成本的 30%，运输成本比西方发达国家高出 3 倍，我国货运车辆的空驶率平均为 42%，其中有 17.2% 的物流企业空驶率达 50%。另外，从产品的供应链结构来看，90% 的时间消耗在流通环节，在生产环节的时间只占 10%。由此可见，物流配送业的发展具有巨大的潜力和广阔的前景，而二级设施配送网络是物流配送网络的组成部分，物流配送网络可以拆分为多个二级设施配送网络的形式。因此，对二级设施物流配送网络优化展开科学、合理的研究具有一定的必要性和重要性。

本书共分为 7 章，研究思路遵循提出问题、理论综述、建立模型和实例分析这一主要脉络，具体分述如下：

第 1 章构成了本书的研究基础和理论综述。阐述了二级设施配送网络优化研究的背景、意义、范围、目标和方法；同时对相关理论的研究现状和不足进行了阐述。

第 2 章提出了城市物流配送网络优化的框架，较为全面地阐释了城市物流配送网络的类型及其存在的配送形式，对二级设施配送网络优化进行了特征分析，并对智能算法理论和模糊逻辑方法的概念进行了深入分析。

第 3 章对二级设施配送网络优化的第一阶段——设施选址问题进行了系统分析和优化，建立了多设施选址的综合评价指标体系，设计了多设施选址优化流程，并结合实例进行了基于权重变化的选址方案敏感度分析。

第 4 章对二级设施配送网络优化的第二阶段——客户点聚类问题进行了研究，设计了基于客户点多重特性的聚类算法，并结合实例进行了比较、分析和优化。

第5章对二级设施物流配送网络优化的第三阶段——配送区域划分问题进行了深入研究，构建了二级设施配送网络中一级设施位置固定和二级设施位置不确定的数学规划模型，并设计了粒子群和遗传算法相结合的混合算法求解数学模型。

第6章对二级设施物流配送网络优化的第四阶段——车辆路线问题进行了深入研究，构建了带时间窗的配送和收集同时可拆分的车辆路径混合整数规划模型，设计了求解模型的两阶段启发式算法，并基于Solomon数据集进行了分析验证。

第7章对全书进行总结，提炼出全书的创新点，并对全书中存在的不足进行了分析，对后续研究进行了思考和展望。

本书研究的成果主要为：建立了基于群决策理论的多设施选址综合评价体系，提出基于区间数优度函数法的指标集成模型，并揭示了多设施选址弱偏好关系和强偏好关系的存在性，从而为二级设施配送网络优化找到了突破口；设计了基于公理模糊集理论的客户点聚类算法，提取聚类单元的模糊描述和进行聚类单元间的微调操作，进而为客户点聚类问题研究提供了新的研究思路；建立了二级设施配送网络区域划分的线性规划模型，揭示了多设施分布与模型构建的内在关联，从而大大降低了二级设施配送网络优化的复杂度；构建了带时间窗的配送和收集同时可拆分的车辆路径混合整数规划模型，并设计了求解模型的两阶段启发式算法，从而将现有研究向前推进了一小步。

希望通过上述研究工作，为物流配送网络优化和智能交通技术的发展提供理论依据和方法借鉴，从而减少设施规划不合理、物流配送空驶率和交错运输等现象，有效提升我国物流配送网络优化的效率。

本书的研究得到了国家自然科学基金——生鲜农产品冷链多中心共同配送收益分配优化研究（71402011），基于负效应极小化目标的大城市交通能源供应网络系统优化与管理（71471024），重庆市社会科学规划基金（2013YBJJ035）和重庆市教委科学技术研究项目（KJ1400307）的资助，本书的出版得到重庆交通大学管理科学与工程博士点基金和重庆交通大学博士启动基金项目的大力支持，在此表示由衷的感谢！

王 勇

2014年9月

目 录

1 绪 论	1
1.1 选题背景及研究意义	1
1.2 国内外研究概述	4
1.3 城市物流配送网络优化问题概述	16
1.4 主要研究内容和研究方法	22
1.5 本章小结	24
2 基于二级设施配送的城市物流配送网络优化框架研究	错误! 未定义书签。
2.1 二级设施配送下城市物流配送网络优化的基础分析	错误! 未定义书签。
2.2 基于二级设施配送的城市物流配送网络优化的特性分析	错误! 未定义书签。
2.3 配送网络优化求解方法概述	错误! 未定义书签。
2.4 本章小结	错误! 未定义书签。
3 二级设施配送网络中多设施选址优化研究	错误! 未定义书签。
3.1 概 述	错误! 未定义书签。
3.2 设施选址综合评价指标体系	错误! 未定义书签。
3.3 多设施选址问题的相关数学描述	错误! 未定义书签。
3.4 多设施选址问题的优化方法	错误! 未定义书签。
3.5 算例分析	错误! 未定义书签。
3.6 本章小结	错误! 未定义书签。
4 二级设施配送网络中客户点聚类问题优化研究	错误! 未定义书签。
4.1 概 述	错误! 未定义书签。
4.2 客户点聚类优化问题的数学描述	错误! 未定义书签。

4.3	客户点聚类问题的优化算法	错误! 未定义书签。
4.4	算例分析	错误! 未定义书签。
4.5	本章小结	错误! 未定义书签。
5	二级设施配送网络中物流配送区域划分优化研究	错误! 未定义书签。
5.1	概 述	错误! 未定义书签。
5.2	物流配送区域划分问题的数学模型	错误! 未定义书签。
5.3	改进粒子群-遗传算法的混合算法	错误! 未定义书签。
5.4	算例分析	错误! 未定义书签。
5.5	本章小结	错误! 未定义书签。
6	二级设施配送网络中需求可拆分的车辆路线问题研究	错误! 未定义书签。
6.1	概 述	错误! 未定义书签。
6.2	带时间窗集送货可拆分的车辆路线问题的数学描述	错误! 未定义书签。
6.3	基于多目标规划模型的启发式算法	错误! 未定义书签。
6.4	算例分析	错误! 未定义书签。
6.5	本章小结	错误! 未定义书签。
7	结论与展望	错误! 未定义书签。
7.1	本书工作总结	错误! 未定义书签。
7.2	本书主要创新点	错误! 未定义书签。
7.3	研究展望	错误! 未定义书签。
	参考文献	错误! 未定义书签。



1 绪论

1.1 选题背景及研究意义

1.1.1 选题背景

在全球经济一体化的进程中，物流是现代社会赖以存在的基本经济活动之一，被喻为“第三利润源泉”，并已成为当前企业“最重要的竞争领域”。随着全球经济的高速发展和知识经济时代的到来，市场竞争日益加剧，科学技术飞速发展，现代物流已成为国民经济在高起点上持续发展的基础动力，并为企业在激烈的市场竞争中把握竞争优势提供有效支撑。现代物流作为一种先进的组织方式和管理技术，被广泛认为是企业降低物资消耗和提高劳动生产率以外的重要利润源泉，并在国民经济和社会发展中发挥着重要作用。因此，各国政府部门、企业和研究机构纷纷将注意力转向以信息化、系统化、敏捷化和顾客向导化为特征的现代化物流管理模式。

物流业是融合了仓储业、运输业、货代业和信息业等的复合型服务业，是国民经济的重要组成部分，在促进经济发展方式和增强国民经济竞争力等方面发挥着重要作用。物流业的兴起，给城市的发展带来了新的商机和发展契机，城市的现代化必须以物流的现代化为依托，城市的发展离不开城市物流的发展和完善。随着我国城市化进程的逐渐加快，城市将在我国经济和社会发展中发挥更大的作用，地区竞争日益表现为城市之间的竞争。由于现代城市拥有发达的工业体系，同时城市又具有较强的聚集力和辐射力，消费集中而且需求量大，将逐渐成为现代商品流通的中心，因此，城市物流业的发展具有巨大的潜力和广阔的前景。而在城市物流中，配送作为一种高效的现代物流方式和先进合理的社会化流通体制，配送体系与模式又直接决定着城市物流业的发展。

初期的物流配送出现在 20 世纪 60 年代初期，当时只是一种单一型、粗



放型的活动，其特点是：活动范围小，规模也较小，主要是通过促销的形式来发挥作用。到 20 世纪 60 年代中期，随着经济发展速度的逐渐加快，商品市场竞争日趋激烈，货物需求量的急剧增加，欧美发达国家开始组建配送中心或配送组织，并逐渐建立配送体系。20 世纪 80 年代以后，受多种社会及经济因素的影响，物流配送业有了长足的发展，配送区域进一步扩大，并且实施配送的国家已不限于发达国家，许多次发达国家和发展中国家也按照流通社会化的要求实行了物流配送制，并积极开展物流配送。在全球范围内最具代表性的物流配送企业是美国的沃尔玛公司，沃尔玛公司是目前美国和世界上最大的连锁集团，2011 年度销售额达到了 4 190 亿美元，拥有连锁店 8 500 家，并且针对区域范围内连锁店的规模和数量，建立相应的区域物流中心和配送中心，开展相应的物流配送服务。

物流配送是现代城市物流的一项重要内容，它是我国现代市场经济体制、现代科学技术和现代物流思想的综合产物。同时，物流配送也是现代城市物流中一个重要的直接与消费者相连的环节，是按照各个用户的不同订货要求，在配送节点（商店、仓库、货运站、港口、物流中心、配送中心等）进行存储、分拣、加工和配货等作业，同时考虑配送货物的质量和体积，充分利用车辆的载重和容积进行车载货物的配装和配送线路的确定，并将配好的货物及时送交收货人的过程。此外，现代城市物流配送已根据客户需求变化的情况，从“少品种、大批量、少批次、长周期”向“多品种、小批量、多批次、短周期”转变。

据相关资料显示，2010 年我国工业企业流动资金周转率为 3.56 次/年，发达国家一般超过 15 次/年，社会物流总费用占国民生产总值的比重为 18%，高于国外发达国家一倍以上，而我国物流费用占了货品总成本的 30%，运输成本比西方发达国家高出 3 倍，我国货运车辆的空驶率平均为 49%，其中有 17.2% 的物流企业空驶率达 50%。另外，从产品的供应链结构来看，90% 的时间消耗在流通环节，在生产环节的时间只占 10%。我国物流业的发展一直落后于经济的发展，物流配送水平难以满足电子商务的需求，物流配送企业的规模小，物流配送系统运行效率低下，配送车辆的交错运输和空驶率较高，物流配送的时间性、安全性都难以得到有效保障，这些不仅带来较高的配送成本和低下的服务水平，影响着以物流配送为基础的综合运输业和电子商务的发展，而且带来了交通堵滞、环境恶化等负面效应。随着人民生活水平的提高、城市化进程的加快以及中国社会城市居民老龄化的到来，消费者要求商家提供便捷、周到的服务，对商品配送提出了更高的要求。此外，现有相关研究缺乏对城市物流配送网络优化问题进行系统全面的分析，因此，如何



实现快速而准确的配送是现代城市物流在经营方面，同时也是物流配送网络优化理论研究领域必须要解决的重要课题。

1.1.2 研究城市物流配送网络优化问题的意义

研究城市物流配送网络优化问题有利于建立商家与客户间的良好关系，进而增强企业的核心竞争力，提高城市物流配送水平，从而提高企业的经济效益和社会效益；建立高效的物流配送体系，有利于降低配送成本，促进现代物流业的进一步发展。具体表现在以下几方面：

(1) 有利于提高服务质量，增强企业竞争力。

优化城市物流配送网络有利于建立高效的物流配送体系，降低客户的风险，提高客户满意度，进而提高服务质量，从而促进现代物流业的进一步发展和增强企业的核心竞争力。

(2) 有利于提高城市物流配送水平，进而提高企业的经济效益和社会效益。

对于传统城市物流配送的决策问题，如配送中心选址、物流中心、配送中心等设施各自的配送范围、车辆配送的最佳线路等，还处于半人工决策状态，整个物流过程的技术支持比较落后。通过对城市物流配送网络进行优化研究，可以明确配送工作的每个环节，进一步完善物流配送技术体系，同时为物流发展提供坚实的理论和政策支持，进而提高企业的经济效益和社会效益。

(3) 有利于降低配送成本，提高配送效率。

传统的城市物流配送存在交易量小、客户数少等情况，针对这种情况，通过人工调度可以达到合理安排配送和降低成本的目的。一旦出现交易量增加、需求客户数增加、交易速度加快等情况，配送调度就会超出人工的能力范围，通过对城市物流配送网络进行优化研究，可以对大规模数据问题进行处理，并可提高工作效率和服务质量，同时降低配送成本。

(4) 有利于减轻城市交通负担，促进城市可持续发展。

用传统的物流配送调度方法处理大规模数据问题，会使配送的行车路线变长，导致配送车辆数目增加，从而增加城市的交通负担。通过对城市物流配送网络进行优化，可以使物流企业在完成配送工作量的前提下，减少车辆出行次数，减少车辆行驶里程数，增加车辆装载率，进而减轻对城市交通拥堵和交通环境产生的影响，促进城市可持续发展。

(5) 有利于优化网络结构，进一步完善理论研究。

对城市物流配送网络进行系统全面的研究，将构建分析复杂物流配送系统的适应能力，从而为城市物流配送系统研究提供新的视角和研究思路，并



将进一步优化城市物流配送网络结构，同时填补当前理论研究的不足之处。

综上所述，本书研究从顺利实施城市物流配送网络优化的整体角度出发，基于系统综合评价理论、公理模糊集理论、运筹学理论、系统工程理论、模糊规划理论、数学规划理论、智能算法理论等，对城市物流配送网络及其各个子环节进行深入研究，搭建一个可以实现对城市物流配送网络系统进行整体优化的研究体系，从而为第三方物流企业和运输行业提供更好的理论和技术支撑，进而提高企业的服务质量、降低经营成本、增加经济效益和社会效益。因此，本书的研究选题具有较强的理论价值和现实意义。

1.2 国内外研究概述

国内外学者对城市物流配送网络优化问题的研究内容涉及物流设施选址问题、配送网络中的客户点聚类问题、配送区域划分问题和车辆路线问题等方面。特别是随着经济社会的发展和人民生活水平的提高，以及城市物流配送系统中问题的逐渐凸显，国内外学者对城市物流配送系统给予了高度关注并迅速展开了相关研究，也取得了一定的研究成果。

1.2.1 物流设施选址问题的研究现状

设施选址问题的研究在 20 世纪 60 年代中期开始兴起，Hakimi (1964) 研究了通信网络转接中心和高速公路警署的选址问题，确定设施在网络上的选址使得客户与最近设施间的总距离之和最小化。在那之后，选址问题吸引了众多国内外学者参与研究，并取得了许多成果。

1. 建立模型进行设施选址方面的相关研究

国外学者在建立模型求解设施选址问题方面已经取得了一系列的研究成果。Aikens (1985) 给出了九个基本的选址模型，包括简单选址模型、有容量限制的选址模型、需求变动的选址模型、动态选址模型等，其目标函数几乎都是使运输费用和固定选址投资费用最小。Syam (2002) 提出了一个基于物流成本的集成数学模型研究设施选址问题。Barahona 和 Jensen (1998) 用混合整数规划建立了仓库选址模型，除考虑了选址的固定费用、运输费用外，还考虑了库存费用，此模型用 Dantzig-Wolfe 分解算法进行了求解，并用次梯度优化方法来加速上述算法的收敛。Holmberg (1999) 考虑了非线性运输费



用的选址问题，并用分枝定界法进行了求解。Owen 和 Daskin (1999) 考虑了设施选址问题的动态特性和需求的随机变动性，建立了动态选址模型和随机选址模型。Aiken (1985) 给出了线性规划、0-1 整数规划、动态规划等基本形式的选址模型，并指出目标函数一般是使总的选址费用最小，不同的规划形式主要取决于费用函数的形式。Chiu (1986) 研究了连续需求情况下具有无限队列能力的单设施选址问题，目标是使得平均响应时间最短。Ballou (1968) 进行了动态选址模型的研究，欲解决的问题是：确定一个仓库的位置，使得系统在有限的、跨时间周期的规划内获得最大利润，文章用静态、确定型优化方法来求解动态问题。Ballou 的模型在目标函数中没有考虑时间结构和成本因素，而 Wesolowsky (1973) 则在目标函数用一个 0-1 整数变量将设施再选址成本考虑进来，并采用结合分枝定界技术的枚举法求解模型的最优解，Drezner (1995) 对这个模型进行了进一步的修订，新的模型用期望成本替代了原来的给定成本，并将设施再选址的概率考虑了进来。Linda (2001) 研究了配送中心选址与设施建造的固定成本、库存成本、运输成本和客户服务质量之间的关系，建立了选址目标函数，并进行了实证研究。Sun (2008) 提出了一个双层混合整数规划模型用于优化配送中心选址位置，其中，上层模型最小化规划者的成本，而下层模型则是最小化顾客的成本。Ajay (2008) 研究了配送中心服务范围、服务水平、成本信息等因素与选址的关系，建立了双层规划模型，并设计了启发式算法求解模型。Hande 等 (2011) 建立了一个基于博弈理论的双层整数非线性规划数学模型求解存在竞争性的设施选址问题，其中，目标函数同时最大化每个设施的利润和对客户的吸引力。

国内选址模型研究起步较晚。蔡希贤等于 20 世纪 80 年代中期对国外一些经典的选址模型进行了介绍，包括 Baumol-Wolfe 模型、混合整数规划模型、有能力限制的设施选址问题等模型与相应的算法。在随后较长的一段时间内，选址问题的模型研究并未引起国内学者的足够重视，直到 90 年代中后期，随着供应链管理和物流研究的兴起，广大学者才开始关注选址问题。

国内选址问题的模型研究是从多目标选址问题开始的，这体现了国内选址问题的模型研究较好地吸收了国外相关研究的先进成果，能够在较高的起点上开展进一步的工作。常玉林等 (2000) 研究了有能力限制的单设施随机选址模型，该模型考虑了紧急事件到达服从泊松分布的 M/G/1 排队系统在具有顾客损失的情况下，实现服务-随机顾客的平均费用最小化的目标。杨波等 (2002) 提出了一个单设施随机选址模型，通过计算 n 个备选设施地址的停止-损失值，确定选址问题的停止-损失序，采用最小值标准确定最优设施地址。孙会君等 (2003) 考虑物流规划部门与客户双方利益及选址地点对路



线安排的影响,采用双层规划模型对物流配送中心选址问题展开研究。金莉等(2010)针对一个钢材销售企业三级物流网络中的两级设施进行选址,采用多站式运输方式计算运输成本,研究三级物流网络的选址-路径问题,并采用嵌入拉格朗日启发式算法的分枝定界方法来求解。郑称德等(2009)构建了一个包括生产商、物流中心、中转点及零售商等4类节点的多层物流网络,并以零售商需求驱动,根据自下而上的规划逻辑,建立了该网络选址规划的数学模型。汤希锋等(2009)将可靠性作为物流服务水平的一种测度,提出了配送中心系统可靠度的计算方法,建立了物流中心选址的多目标优化模型。王保华等(2009)在随机优化模型的基础上,构建了鲁棒优化模型研究了不确定环境下物流中心的选址优化问题。周爱莲等(2009)根据需求动态变化的特点,建立了多周期的企业分销物流中心随机机会约束稳健性选址模型,对现阶段物流中心选址问题进行研究。

2. 设计智能算法进行设施选址方面的相关研究

智能算法(Intelligent Algorithm)是近些年发展起来的计算方法,对求解大规模数据问题比较有效,包括人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)方法、模拟退火算法(Simulated Annealing, SA)、遗传算法(Genetic Algorithm, GA)、禁忌搜索算法(Tabu Search, TS)等。国内外学者应用智能算法进行设施选址方面已取得了一定的研究成果。

Holmberg等(1999)设计了一个拉格朗日启发式算法,并用此算法研究有能力限制的单设施选址问题。Zhou等(2003)提出了一个基于网络单纯形法和遗传算法的混合智能算法研究有能力限制的选址-分配问题。Liu等(2006)考虑了多种因素并应用地理信息系统和蚁群算法进行了新的消防站选址方面的研究。Shahin等(2004)提出了一个集成人工神经网络和模糊聚类算法的新方法研究数据划分问题,并对划分后的各组数据选择聚集点。Shi(2002)应用人工神经网络模型和模糊聚类方法研究了选址问题。Razavi等(2012)提出了一个混合数据融合方法,研究设施选址位置的可靠性。Gen和Syarif(2005)设计了混合遗传算法和优化模型,研究多产品和多周期下的设施选址和库存管理问题。

马良等(1997, 1998)对有约束的多目标平面选址问题进行了研究,采用模拟退火算法对模型进行求解。蒋良奎(1999)对他们的工作进行了改进,提出了一种将混沌优化方法与Dixon算法相结合的混合算法,该算法可以克服模拟退火算法最终解收敛于局部最优解的缺陷,同时具有较快的收敛速度。



刘海燕等（2000）提出了基于 benders 分解思想的算法，研究了具有分段线性成本函数的物流配送中心选址问题。袁庆达等（2001）提出了优化区域公共物流中心规模和选址问题的二级非线性规划模型，设计了求解该模型的遗传模拟退火算法，并给出了一个实际的算例。丁雪枫等（2009）设计了基于模拟植物生长的智能算法，用于求解易腐物品物流中心选址问题。

由上述研究成果可以看出，设计智能算法进行设施选址问题的研究主要分为三种情况：第一种情况是结合现代信息技术（如 GIS 技术、GPS 技术等）和智能算法进行设施选址；第二种情况是与模糊方法、聚类方法等结合研究设施选址问题；第三种情况是针对精确数学方法（如动态规划法、分支定界法等）不能满足求解模型本身需要而设计智能算法来进一步求解模型研究设施选址问题。

3. 应用综合评价方法进行设施选址方面的相关研究

应用综合评价方法进行设施选址研究是物流中选址问题的延伸，它是运用定性和定量相结合的方法从若干备选方案中确定最终的最优选址方案。现有的评价方法主要有 Delphi、AHP 法、DEA 法、灰色聚类法、模糊评价法和神经网络评价方法等。

Chu（2002）提出了一个基于一系列决策因素的模糊 TOPSIS（Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution）模型用于研究设施选址问题。Ross 和 Jayaraman（2008）在供应链网络设计中应用一种启发式的评价方法进行配送中心选址优化，并将配送时间、服务能力、运作成本等作为评价对象进行研究。Ku（2011）应用组合评价方法进行多需求和不确定条件下的配送中心选址优化研究。Chou（2008）提出了一个集成短期和长期的多标准决策分析方法解决设施选址问题。Wey 和 Chang（2009）给出了一个混合层次分析法（AHP）和数据包络分析法（DEA）研究设施选址排序问题。Yu 等（2011）应用基于模糊逻辑的层次分析法对多个潜在的城市公交中心位置进行评价排序研究。Awasthi 等（2011）进行了城市物流配送中心选址的深入研究，以建造成本、环境影响、顾客便利性、可达性等作为选址的评价标准，并应用模糊评价方法进行了分析求解研究。

国内学者多应用模糊理论与评价方法相结合研究设施选址问题。陆华等（2002）运用模糊综合评判原理，建立了多准则的配送中心选址模型。韩世莲等（2004）运用多准则模糊层次分析法进行配送中心选址的综合评价与决策，并建立了由三层共 15 条准则构成的评价指标体系。韩庆兰等（2004）通过建



立选址决策的模糊评价矩阵，利用 BP 神经网络避免了传统算法的不足，较客观地对多个选址方案的优劣进行评价。刘筱洁等（2007）建立了配送中心选址的模糊神经网络模型，并以专家评价值作为期望的输出，训练网络，评价多个配送中心选址方案。王晓博等（2006）提出了定量化的启发式算法与定性化的综合评价法相结合来确定电子商务环境下配送中心选址的方法。关志民等（2005）从供应链管理的实际需要出发，分析了影响配送中心选址的主要因素，建立了由公共设施、经营环境、交通运输、宏观环境及社会效益等五方面指标组成的评价指标体系，并给出了一种使定性和定量的方法有机结合的模糊多指标评价方法。李亚茹等（2010）分析了物流中心规划影响因素之后，构建了物流中心规划方案的评价指标体系，提出物流中心规划中可采用多种评价方法综合评价，避免单一评价方法带来的刚性，从而减轻决策失误。周爱莲（2009）等提出了一种基于模糊物元可拓的物流中心选址方案优度评价方法，进行物流中心选址方案评价问题的研究。崔广彬和李一军（2007）考虑到客户需求的模糊性，建立了多仓库单级物流配送系统中的设施选址、车辆运输路线安排、库存控制的集成优化模型，用来解决在给定的多个潜在设施点中选出一系列设施的位置，并给出了求解该模型的启发式算法。

应用综合评价方法进行设施选址可以将定性和定量的方法相结合进行问题研究，特别是对于一些因素无法用定量的方法直接表示时，可以用定性的方法予以表示，然后，应用模糊理论方法将定性的指标转化为定量的形式参与选址计算。因此，与模型方法和智能算法进行设施选址相比，综合评价方法有其特有的优势，特别是将综合评价方法与模型方法或智能算法相结合研究设施选址问题，更具实际意义。

1.2.2 客户点聚类问题的研究现状

人们对聚类问题的研究已经有相当长的历史，1963年由 Robert Sokal 和 Peter Sneath 合著的 *Principles of Numerical Taxonomy* 一书对聚类的研究起到了很大的推动作用。所谓聚类（clustering），就是将一群物理的或抽象的对象，根据它们之间的相似程度分为若干组，并使得同一个组内的数据对象具有较高的相似度，而不同组中的数据对象则是不相似的。目前的聚类算法很多，主要包括基于划分的聚类算法 K-means、基于层次的聚类算法 BIRCH、基于密度的聚类算法 DBSCAN、基于网格的聚类算法 WaveCluster、基于模型的聚类算法和模糊聚类算法等，但不同的算法有各自的特点：基于划分的聚类算法适用于类数固定、偏好球形的聚类；基于层次的算法则能得到不同力度上



的多层次聚类结构；基于密度的聚类算法可以在含“噪声”的数据库中发现任意形状以及不同规模的聚类结果；基于网格的聚类算法处理数据的速度快，处理时间独立于数据对象的数目；基于模型的方法则适用于数据分布已知的聚类；模糊聚类算法则适用于数据集或其组成元素含有模糊性因素的聚类问题。对于客户点聚类问题，国内外学者已经取得了一定的研究进展。

国外部分学者对客户点聚类问题进行了相关研究，Zakrzewska 和 Murlewski (2005) 基于银行客户数据，比较了 DBSCAN、K-mean 和两阶段聚类方法的实证效果，研究结果表明 K-means 算法对大数据集效果显著，但对于噪声数据的敏感性较强，而两阶段聚类算法虽然对噪声不敏感，但不适宜对大数据集的计算，同时 DBSCAN 对输入参数的要求较高，使得模型应用的代价过大。Zaiane 和 Lee (2002) 以 DBSCAN 算法为基础，将客户点数据模型化为一组多边形，借助这些多边形对数据空间进行划分，引入可视性和可视空间的概念，该算法处理凸多边形时效果良好，但对于凹多边形效果不佳。常见的客户点聚类问题研究集中在商业领域和通信领域的客户关系管理 (Customer Relationship Management, CRM) 问题中。Shin 和 Sohn (2004) 采用 K-means、SOM 和模糊 K-means 三种算法对股票交易客户进行细分，发现模糊 K-means 明显比其他两种方法稳健。Boone 和 Roehm (2002) 针对零售行业日益积累的海量客户数据，采用基于 Hopfield 网络的人工神经网络技术对客户进行了细分，研究结果表明该方法相比 K-means 算法，对初始条件的敏感性大大降低。Abascal 等 (2006) 从定性和定量研究相结合的角度出发，应用基于多因素多分析 (MFA) 的多准则聚类方法，对国外某电信公司数据仓库中的客户数据进行分析，并建立了性能较为优越的电信客户细分模型。Sheu (2007) 提出了一个混合模糊优化方法用于物流配送中的客户点聚类问题，该方法考虑客户点需求的变化进行相应的聚类操作。

客户点聚类是客户行为分析的一个重要分析手段，通过聚类操作把大量的客户聚成不同的类，在每个类里的客户拥有相似的属性，而不同类的客户具有的属性则不同，细致而切实可行的客户聚类对企业的经营策略有很大益处。国内学者对客户点聚类问题的研究也取得了一些研究成果。吴斌等 (2003) 提出了一种基于群体智能的客户行为分析聚类算法，该算法能够满足客户聚类和分类的要求，特别是在大客户分析以及一对一营销中特殊客户的分析方面，该算法具有直观、类别特征明显等特点。阎长顺等 (2007) 针对现有的模型聚类算法解决客户不确定性行为的不足，提出了基于云模型的动态客户细分分类模型，该模型引入了动态概念描述的思想，以隶属度高的类别被选中的概率大为程序设计原则，实现了客户点分类处理过程的动态性，并收到



了良好的分类效果。范英等（2004）结合通信行业的实际情况，提出了应用 K-means 聚类算法实现通信行业客户细分，解决了通信行业缺乏客户细分手段的问题，提高了通信企业的效益和竞争力。王红军等（2003）综合应用响应曲面法、适应性关联分析技术和系统聚类法，提出了根据客户需求效用值进行客户群聚类划分的新方法研究客户点聚类问题。陈智高等（2006）依据期货业客户管理特点，构建了期货业客户价值预测模型，并提出基于客户当前价值和增值价值的两维聚类细分方法研究期货业客户点聚类问题。

综观国内外相关文献可以看出，对物流配送网络中客户点聚类问题的研究较少，同时可以发现，在客户点聚类的实际应用研究中，可以根据不同的应用、数据类型和目的，选择合适的聚类方法或组合聚类方法研究问题。但是一般的聚类算法往往需要事先根据需求指定聚类数目进行聚类研究，而这样的聚类方法往往需要反复调整来确定合适的聚类数目，这也是现有的聚类算法存在的不足之处。

1.2.3 配送区域划分问题的研究现状

物流配送区域划分问题是一个多约束、多目标决策的组合优化问题，而对含有大规模客户点的配送区域划分问题的研究更具实际意义。国内外进行配送区域划分的研究主要是从以下两个方面进行，一是基于定位-路径问题的配送区域划分，二是基于算法和相关区域划分方法的配送区域划分。

1. 基于定位-路径问题的配送区域划分

定位-路径问题（The Location-Routing Problem, LRP）是城市物流配送系统中最关注的问题之一，而基于定位-路径问题的物流配送区域划分则是首先定位设施结点，然后对每个设施结点求解 VRP 问题或旅行商问题（Traveling Salesman Problem, TSP），进而得到每个设施所属的配送区域。研究这一问题需要考虑物流配送系统的整体性和前瞻性，因此，很多企业管理者对这一问题都倾向于用所获得的经验来进行决策。

国内外学者基于定位-路径问题的物流配送区域划分研究取得了一些研究成果。Chien（1993）对于定位-路径问题提出了一种路径长度估计的方法，并采用了一系列的启发式求解思想，首先通过改进的最近邻设施点方法寻找定位设施点的初始解，然后通过一系列的客户端路径更换操作进行路径优化，最后比较说明了提出方法的有效性。Nagy 和 Salhi（1998）应用禁忌搜索算法



研究定位-路径问题，并基于定位设施点到客户的距离和来评价邻域的移动过程。Lin 等（2002）研究定位-路径问题允许车辆进行多次运输，首先确定需要的设施定位点最小数量，然后根据 VRP 求解方法对定位设施点的所有组合进行完备评价，通过评价所有的分配方案来分配运输的车辆，最后通过定位设施点确定服务客户点线路，进而得到各定位设施点的服务范围。Lopes 等（2008）采用决策支持工具（Decision Support Tool, DST）研究了一个两水平的（仓库和客户，depots and customers）、具有同类运输车的、有能力约束的定位-路径问题（Capacitated Location Routing Problem, CLRP），该工具基于 Windows 平台框架结构开发，在定位-路径问题研究中具有较好的计算分析和判断能力。Karaoglan 等（2012）研究了同时收集和配送货物的定位-路径问题，构建了混合整数规划模型，提出了一个启发式方法求解该问题，并取得了较好的求解结果。Moghaddam 等（2010）研究了多目标定位-路线问题，并建立了一个双层数学模型用以最小化总的运输成本和最大化总的服务需求。Prodhon（2011）提出了一个混合进化算法用于求解仓库和车辆均有能力限制的周期性定位-路线问题。Derbel 等（2012）提出了一个包含迭代局部搜索和遗传操作的混合算法用于研究定位-路线问题，该混合算法包含了基于迭代局部搜索的杂交过程和基于遗传算法的改进过程。

近年来，定位-路径问题也吸引了部分国内学者的研究兴趣。田青等（2004）研究了存在运输规模经济的连锁零售企业的配送中心选址和车辆路径问题，并提出一种基于物流网络系统的组合遗传算法，分析了需求和运输距离变化对系统总成本及方案选择的影响。黄春雨等（2004）建立了以缩短物流多阶段相应周期和成本为优化目标的设施定位-运输路线安排问题模型，并在模型中加入了对不同运输方式选择的变量，以满足用户对不同运输速度和成本的需求。邱晗光等（2006）建立了开放式的设施定位-路径模型，并设计了基于遗传算法、模拟退火算法的改进粒子群算法对模型进行了求解。崔广斌等（2007）从物流系统集成角度出发，建立了基于双层规划法的供应链二级分销网络中设施选址、车辆运输路线安排、库存控制的集成优化模型，用来解决在多个潜在设施中选出一系列设施位置，并确定巡回运输线路，同时给出了求解模型的启发式算法。代颖等（2012）从系统集成优化的角度出发，研究了应急物资配送中心定位和配送车辆路径的联合决策问题，建立了优化模型，并设计了一种两阶段启发式算法予以求解。

国内外文献在研究基于定位-路径问题的物流配送区域划分时，往往是首先确定定位设施结点或潜在的定位设施结点，然后对每个结点求解 VRP 问题或旅行商问题，而对于配送网络中的货物运输量及运输成本随客户点归属设



施点不同而变化, 以及定位设施点因服务客户数量变化而造成成本随之变化等研究少有文献涉及。

2. 基于算法和相关区域划分方法的配送区域划分

在现实生活中, 大部分国内外企业尤其是中国的企业在很大程度上采用邮政编码或依靠经验进行配送区域划分。而对于应用算法和相关区域划分方法进行物流配送区域划分方面, 国内外部分学者做了相关研究。

Harrison (1986) 针对牛奶的收集与配送问题进行了研究, 并提出了一种基于牛奶收集和配送的区域划分方法。Golden 和 Wasil (1987) 介绍了 Coca-Cola 公司采用一种栅格系统将大的城区和地域分成小的区域或单元, 但没有给出具体的划分方法。Cheong 等 (2002)、Beasley 和 Christofides (1997) 都采用了基于邮政编码的客户区域化整合方法, 这样做的缺点是区域划分没有考虑区域内外的道路和交通状况, 有可能导致区域内部以及分派后区域组内的客户的不连通, 对客户的服务无法连续进行。Julien 和 David (1995) 采用改进的启发式分区算法研究基于配送线路优化的配送区域划分问题。Rodrigue 和 Notteboom (2010) 研究了货物配送的区域划分问题, 并对北美洲和欧洲的海运物流运输进行了配送区域划分的比较分析。

西安石油大学的张志勇在 1995 年发表的《区域划分的新方法——收缩法》一文中介绍了将系统内的各单元沿可达关系逐步收缩, 最终无路可通的单元必属于不同的部分, 从而获得区域划分的结果; 同时他又在 2000 年发表的《区域划分的一种新方法——拟回路法》, 提出将系统内单元间的单向可达关系全部视为双向可达关系, 而不同部分的单元一定是不连通的, 进而进行物流配送区域的划分。池洁和李莉 (2003) 提出应用最小支撑树算法进行物流配送区域的划分和配送路线优化。薛伟和孙玲 (2007) 提出应用区域面积分割法进行配送区域的划分, 从而达到降低企业成本的目的。孙兰清和葛临东 (2007) 提出了基于判决引导算法的双模式盲均衡算法来研究配送区域划分问题, 同时研究了区域划分边界的确定, 在配送区域划分中具有较好的应用价值。梅新等 (2008) 在物流配送过程中提出了一种基于城市道路距离的两次空间聚类的实现框架和算法思想, 并指出配送区域划分聚类采用基于密度的算法 (DBSCAN 算法), 较为宽泛地进行了物流配送区域聚类划分研究。曹二保等 (2007) 研究了大规模物流配送车辆调度问题, 提出其整数规划数学模型, 把大规模配送车辆调度问题转化为配送区域划分问题和单车线路优化问题两个子问题, 用改进的启发式分区算法解决配送区域划分问题, 并运用混合遗传



算法解决分区内的配送车辆单车线路优化问题。

通过上述国内外相关研究可以看出，基于算法和相应区域划分方法进行物流配送区域划分方面的研究，大多集中于宏观层面和小规模客户点存在的物流配送系统中，而对于存在潜在定位设施点、大规模客户点、货物运输量变化、设施库存成本等因素综合考虑的物流配送区域划分问题，几乎没有文献做过深入研究。

1.2.4 车辆路线问题的相关研究现状

目前，大多数对城市物流配送网络优化问题的研究是以车辆路线问题（Vehicle Routing Problem, VRP）研究为基础的，而大部分车辆路线问题的研究都预先设定了限制条件，就是每个需求点的需求量必须由一辆车在一次服务中完成，且任何路线上的总的需求量不能超过车辆的装载能力。而在实际的物流运作中，如果客户点的需求量超出了单车的装载量（或剩余装载量），就需要对客户点进行拆分配送，即一个客户点的需求由一辆以上的车满足，这种运输方式无论是在总运输距离还是在派车数目上都可以进一步优化 VRP，这一问题被称为 SDVRP（Split Delivery Vehicle Routing Problem）问题。在实际配送中，SDVRP 问题存在以下两种情况：

(1) N 个客户点的需求总量恰好等于 m 辆车的装载量，在 VRP 模型中，需要 m 辆以上的车辆，但如果允许对需求点进行多车访问，则可以做到刚好用 m 辆车完成配送任务；

(2) 某客户点的需求大于单车的装载量时，需要对该客户点的需求量进行拆分配送，因此，在实际物流配送运输中，对需求可拆分的车辆路线问题研究具有很强的现实意义。

国内外学者对需求可拆分的车辆路线问题进行了研究，并取得了一些研究成果，特别是国外学者对需求可拆分的车辆路线问题的研究进行了一定的延伸和扩展。

1. 国外学者在需求可拆分的车辆路线问题上的相关研究

需求可拆分的车辆路线问题最早由 Dror 和 Trudeau 在 1989 年提出，他们指出 SDVRP 是一种约束松弛的 VRP，并构造了 SDVRP 的整数规划模型，也称为 k -SDVRP 模型，这一模型至今仍是研究 SDVRP 的主要数学模型。Archetti 等（2008）探讨了研究 SDVRP 的意义和应用的条件，指出了当平均需求大于



$1/2$ 并小于 $2/3$ 时, 利用拆分运输可以极大地优化结果。Belenguer 等 (2000) 在非满载范围内提出了降低约束的 SDVRP 整数规划模型, 在此基础上为 SDVRP 构建了一个多面体模型, 并从这一多面体模型出发对 SDVRP 的多项特性进行了分析。Jin 等 (2008) 提出了一个两阶段启发式算法, 并成功地求解了需求可拆分的车辆路线问题。Lee 等 (2006) 建立了一个基于需求可拆分问题的动态规划模型, 并使用最短路径搜索算法求解该模型。

国外部分学者对 SDVRP 问题进行了扩充研究。Frizzell 和 Giffin (1995) 将时间限制引入 SDVRP, 构造了带时间窗的 SDVRP, 简称 SDVRPTW 问题, 并给出了求解 SDVRPTW 问题的思路。Ho 和 Haugland (2004) 提出了一个针对带时间窗的 SDVRP 问题的禁忌搜索算法, 该算法包含两阶段操作, 第一阶段操作是通过节点互换得到 VRP 问题的初始解, 第二阶段操作是通过需求拆分和合并来改进初始解。Belfiore 和 Yoshizaki (2009) 研究了车载容量不同的带时间窗的 SDVRP 问题, 并给出了一个基于初始解的启发式算法。Salani 和 Vacca (2011) 建立了一个基于带时间窗的 SDVRP 问题的混合整数规划模型, 并设计了一个分支定价算法求解该模型。这些问题的提出丰富了 SDVRP 的研究内容。

近年来, 另有一些学者开始将注意力逐渐转移到同时配送和收集的车辆路线问题上, 并证明了单车在同一客户点混合装载配送和收集产品是有必要的和可行的, 这一类型的问题被称为 VRPSDP (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Deliveries and Pickups) 问题。Nanry 和 Barnes (2000) 应用禁忌搜索算法求解带时间窗的同时配送和收集的车辆路线 (VRPSDPTW) 问题。Li 和 Lim (2001) 提出了一个亚启发式算法用于研究 VRPSDPTW 问题。Mitra (2008) 设计了一个并行聚类算法用于研究配送和收集可拆分的车辆路线问题。

2. 国内学者在需求可拆分的车辆路线问题上的相关研究

国内学者在需求可拆分的车辆路线问题上的研究起步较晚, 因此, 研究成果也相对较少。谢毅 (2006) 设计了禁忌搜索算法和遗传算法研究了需求可拆分的物流车辆路线问题。隋露斯等 (2008) 设计了蚁群算法求解需求可拆分车辆路径问题。杨亚璋等 (2010) 设计了启发式算法对集送货可拆分的车辆路径问题进行研究。孟凡超等 (2010) 改进了传统的 VRP 问题的数学模型, 并利用禁忌搜索算法 (Taboo Search Algorithm, TSA) 研究了需求可拆分的车辆路径问题。刘旺盛等 (2011) 针对单车场、单车型、无时间窗要求、纯装货或纯卸货情况, 设计了分段求解算法求解需求可拆分的车辆路径问题。



李三彬等（2011）研究了需求可拆分的不同种车辆开放式车辆路径问题，给出了整数规划的数学模型，利用禁忌搜索算法进行求解。

从总体上讲，SDVRP 及其扩展问题是 VRP 问题的一个较新的分支，国内对这一问题的研究较少，而国外对这一问题进行了一定的延伸和扩展研究，但还不是很充分，特别是对带时间窗且同时配送和收集可拆分的车辆路线问题的研究，还未见文献涉及。

1.2.5 研究进展与小结

通过对现有文献的研究发现，城市配送网络优化方面的研究越来越受到国内外学者的关注，并取得了一定的研究成果，主要体现在三个方面：一是研究问题越来越细化，研究角度多维化；二是采用的研究方法多样化，其他学科的理论方法被大量引入，并成为研究问题的有利工具；三是研究内容不断深入和拓展，研究问题的限制条件增加，特别是对城市物流配送网络优化最后环节的车辆路线问题，已经向需求可拆分、同时配送和收集、时间窗限制等方面拓展。

虽然目前对城市物流配送网络优化问题的研究取得了一系列成果，但从整体角度研究城市物流配送网络优化问题还存在明显的不足，主要表现在以下几个方面：

（1）多个设施同时选址问题的研究稀缺。

现在大多数的物流设施选址问题都是对单一设施选址问题的研究，而随着经济和社会的发展，单一设施选址已经不能满足城市发展的需要，合理的多设施选址可以降低建造成本，同时可以促进生产和消费两种流量的协调与配合，保证物流系统规划的平衡发展。然而，相关文献对于多设施选址问题鲜有涉及，特别是对城市物流配送网络中物流中心位置确定，需要同时选择多个配送中心位置协调物流中心运作的类似设施选址问题还未见文献报道。

（2）针对物流配送网络中客户点聚类问题的研究较少。

物流配送网络中存在大规模客户点，如何根据客户点的多样化货物配送需求、需求产品的生命周期、需求产品的相似度、地理因素、交通运输条件等划分客户点为不同的配送单元，配送单元的合理划分是城市物流配送网络优化的基础。然而，现有的聚类算法研究客户点聚类问题往往需要事先根据已知条件确定聚类数目，而对于类似物流配送网络中客户点多重特性，聚类数目事先不确定的研究较少。

（3）鲜有文献涉及物流配送区域划分问题的研究。



在城市物流配送网络中，基于客户聚类单元数划定，考虑存在多级设施定位点、设施定位点数目不确定、大规模客户聚类单元、多车型运输、设施定位点配送需求量变化等因素，研究城市物流配送网络优化问题，具体包括确定设施定位点的数目和位置以及客户点聚类单元的归属，进而确定各级设施的配送范围；然而，这种从整体角度研究城市物流配送网络优化问题鲜有文献涉及。

(4) 缺少对带时间窗的集送货可拆分的车辆路线问题研究。

对城市物流配送网络优化问题进行系统分析，最终环节需要在各级设施已划定的配送范围内展开车辆路线问题研究。传统的 VRP 问题的研究已趋于成熟，而需求可拆分的车辆路线问题（SDVRP）是 VRP 问题的一个较新的分支，逐渐受到国内外学者的重视，并将这一问题进行延伸和扩展研究，但对于时间窗限制、同时配送和收集、需求可拆分等条件下的车辆路线问题研究相对较少。

研究城市物流配送网络优化问题，首先需要对这一问题进行系统、全面的认识，把握住问题的本质特性；然后要分析问题的组成部分，并理清各部分需要解决的问题以及各部分之间的相互关系；最后，针对各部分需要解决的问题进行系统、深入的研究，从而形成对城市物流配送网络优化问题的全面认识和把握。

1.3 城市物流配送网络优化问题概述

1.3.1 城市物流配送问题概述

城市物流配送是整个物流过程的一部分，是包括配送设施选址、备货、储存、配送加工、分拣配货、配装、配送运输、送达服务等商业活动，它是物流与商流相结合的一种特殊环节，同时也是整个物流过程中的关键环节。

在城市物流配送中，配送设施选址是用于确定配送设施位置和数量，进而实现配送成本减少和提高配送效率的目的；备货环节主要包括筹备货源、订货、集货、进货以及质量检查、结算和交接等，该环节可以集中用户的需求，有利于提高配送的效益；储存在配送中主要包括储备和暂存两种基本形态，其中，储备是按照配送经营的具体要求，形成对物流配送的资源保证，而暂存则是按分拣配货的要求，在理货场地所做的少量储存准备；配送加工主要是在物流配送中根据客户的要求进行产品再加工的一种流通加工的形式，该环节可以大大提高客户的满意程度；分拣配货是企业为了提高送货服务水平而进行的一项准备工作，该环节是配送企业为完善配送服务而进行竞争和提高自身经济效益的必然延伸，也是配送服务向高级形式发展的必然



要求；配装环节是集中不同用户的配送货物，进行搭配装载以提高车辆的运能和运力，进而提高送货水平和降低送货成本；配送运输位于运输的末端环节，是考虑城市中配送用户多、交通路线复杂等特点而进行的货物配装和路线搭配的运输方式；送达服务环节则是考虑到货物送达和用户接货往往出现不协调的现象，而进行的卸货地点、卸货方式等的确定服务，进而实现货物的顺利移交和相关手续的有效处理。

城市物流配送网络优化问题是城市物流配送的重要组成部分，它主要用于对城市物流配送的各环节进行深入研究，并分析物流配送各环节间的相互关系，达到提高企业经济效益和社会效益以及满足客户服务要求的目的，进而优化城市物流配送网络，减轻城市交通负担，促进城市的可持续发展。此外，本书所研究的城市物流配送网络是对第三方物流配送企业和大型零售企业以及连锁企业进行物流配送时的配送网络进行研究。

1.3.2 城市物流配送网络优化问题描述

1. 基于多级设施配送的城市物流配送网络优化问题的描述

多级设施配送是指物流配送网络中存在的第一级设施—第二级设施—…—第 n 级设施—客户的多级配送网络形式。基于多级设施配送的城市物流配送网络优化可分为以下四步进行：第一步操作是进行多级设施选址，即从第一级设施开始逐级确定各级设施的位置和数量；第二步操作是确定各级设施的位置和数量后，根据客户点的需求特性（产品时间窗要求、产品数量需求等）和地理属性等划分大规模客户点为不同的聚类单元；第三步操作是根据各级设施的位置和数量划分各自的配送区域，进而确定各级设施的配送范围；第四步操作是各级设施的配送范围划定后，在各级设施确定的配送范围内进行配送线路优化。

2. 基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题的描述

二级设施配送网络是多级设施配送网络的组成部分，它是指配送网络中存在的第一级设施—第二级设施—客户的三级配送网络形式。基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题可描述为：针对城市物流配送网络中存在的第一级设施—第二级设施—客户的三级配送网络形式，首先，选取合适的



第一级设施和第二级设施的位置和数量；其次，根据第一级设施和第二级设施所处的位置以及客户点的多重特性进行客户点聚类单元的划分；然后，根据各级设施的位置和数量以及客户点聚类单元的分布情况，确定第一级设施和第二级设施各自的配送范围；最后，以第一级设施和第二级设施为物流据点，以其配送范围内分布的客户点为研究对象，在满足一定的约束条件（如车辆的容量限制、行驶里程限制，时间窗限制，客户点对货物的需求量、发货量等）下，达到一定的优化目标（如配送里程最短、费用最少、使用车辆数最少，平均装载率较高等），进而实现配送线路的优化。采用科学合理的方法优化上述操作过程，最终实现城市物流配送网络的全局优化。

1.3.3 本书所研究的城市物流配送网络优化问题界定

二级设施配送是多级设施配送的基础，同时，二级设施配送网络也是城市物流配送网络的组成部分，城市物流配送网络可以拆分为多个二级设施配送的形式。因此，本书将研究基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题。首先，明确该问题的构成要素；然后，考虑优化该问题的具体步骤以及明确每一步需要达到的目标；最后，采取各种数学方法以及在数学方法基础上发展和演变出来的模糊方法优化各阶段问题，进而实现既定的目标。

1. 基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题的构成要素

基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题主要包括物流中心（第一级设施）、配送中心（第二级设施）、客户、货物、车辆、配送网络、约束条件和目标函数等要素。

（1）物流中心。

物流中心是在城市物流网络中处于枢纽或重要地位，且具有较完整的物流环节，并能将物流集散、包装、仓库、中转、加工、配送、信息和控制等功能实现一体化运作的物流据点。物流中心的位置可以是确定的，也可以是不确定的，其供应的货物品种可能只有一种，也可能有多种。在本书的研究中，物流中心是作为高于配送中心（第二级设施）级别的一级设施形象参与问题的研究。

（2）配送中心。

配送中心是将集货、分货、中转、配货、配装、送货等多种服务功能融为一体的物流据点。在城市物流配送网络中，配送中心的数量可以只有一个，



也可以有多个；配送中心的位置可以是确定的，也可以是不确定的。在本书的研究中，配送中心是作为低于物流中心（第一级设施）级别的二级设施形象参与问题的研究。

（3）客户。

客户包括零售商店、超市等。客户的属性包括客户的地理属性、客户所处位置的交通条件、客户需求货物的数量、需求货物的时间窗、需求货物的次数等。

在城市物流配送系统中，一般用二维变量来表示客户的地理属性，以表示客户与配送中心或物流中心的相对位置，进而将具有类似地理属性的客户作为是否合并为同一聚类单元的必要条件。此外，一般应用模糊指标评价客户所处位置的交通条件，具有类似交通条件属性的客户也作为是否合并为同一聚类单元的必要条件。

单一客户的需求（或供应）货物的数量可能大于车辆的最大装载量，也可能小于车辆的最大装载量。客户需求（或供应）货物的时间是指要求货物送到（或取走）的时间，对配送时间的要求可以分为以下几种情况：①无时间窗要求；②硬时间窗要求，即要求在指定的时间窗内完成配送任务；③软时间窗要求，即有时间窗限制，但可以不遵守时间窗，如果不遵守则要给予一定的惩罚。

对于客户需求（或供应）货物的次数可能仅有一次，也可能为多次，即需要多次配送服务，多次配送服务可以由一辆车提供，也可以由多辆车来完成。

（4）货物。

货物是配送的对象。可将每个客户需求的货物看成一批货物，每批次货物都包括货物名称、包装类型、货物重量、体积、要求送到（或取走）的时间和地点、能否分批配送等属性。

货物的商品名称和包装类型是选用配送车辆类型以及决定何种货物可与其同车配送的依据。货物的重量和体积用于决定车辆的装载决策，当单一客户的需求（或供应）货物量或体积超过配送车辆的最大装载重量或容积时，则该客户将需要大型车辆（装载量和容积满足需求）或多台车辆完成配送。货物送到（或取走）的时间和地点是制订车辆配送线路的依据。允许货物拆分配送是指即使客户的需求量在一辆车的装载量以内，客户的需求货物也可以用多辆车拆分送到（或取走）。

（5）车辆。

车辆是城市物流配送网络中货物的运输工具，其主要属性为：车辆类型、装载量、单次配送的最大行驶距离、车辆的出发地及完成任务后的返回地等。



车辆类型有专用车辆和通用车辆之分，专用车辆是用于转运一些特殊性质的货物，如冷链食品、低温药品等，而通用车辆则适用于装运大多数普通货物。车辆的装载量是指单车的最大装载重量和最大装载容积，此外，车辆的装载量可以相同，也可以不同。对单车单次配送的形式距离要求可分为以下几种情况：① 无运输距离限制；② 有运输距离限制；③ 有运输距离限制，但如果不遵守此限制，需要额外支付费用。

车辆配送前的出发地可以在物流中心、配送中心或停车场，而车辆完成配送任务后，可以返回出发地，也可以停放在任何配送中心、物流中心或停车场。其中，完成配送任务后返回出发地属于封闭车辆路线问题，不返回出发地则属于开放车辆路线问题。

（6）配送网络。

配送网络是由物流中心（一级设施）、配送中心（二级设施）、客户，以及物流中心与客户之间、配送中心与客户之间、两两客户之间的路径组成，路径的属性包括方向和距离等。

（7）约束条件。

基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题应满足的约束条件主要包括：

- ① 满足所有客户对一级设施（物流中心）和二级设施（配送中心）在位置和数量方面的要求；
- ② 区域划分后，能在一级设施和二级设施的现有运力范围内满足所有客户；
- ③ 在一级设施和二级设施各自的配送范围内，满足客户对货物品种、规格和数量的要求，满足货物配送时间窗的限制；
- ④ 单车配送过程中的实际载货量不能超过车辆的最大允许装载量；
- ⑤ 在各级设施的配送区域内，满足所有配送线路中送到（或取走）的货物量之和等于该配送区域内总的需求量（或供应量）。

（8）目标函数。

对基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题的各阶段，可以只选取一个目标，也可以选用多个目标。经常选用的目标函数主要有：

① 设施选址位置合理，数量最优。在城市物流配送网络优化问题中，选址位置设置和数量选取对城市物流配送网络优化将有较大影响，因此，它是进行城市物流配送网络优化的首要目标。

② 综合费用最低。降低综合费用是实现城市物流配送网络优化的基本要求。在配送区域划分阶段，相关费用包括设施建设费用、运营费用、车辆维护和行驶费用等。



③ 配送总里程最短。配送里程与车辆的耗油量、车辆的维护费用等直接相关，并且它也决定着运输的成本。因此，确定配送线路时，此指标较为常用。

④ 平均装载率最合理。该目标要求充分利用车辆的装载能力，使运输过程中的平均装载率最高。

⑤ 车辆的使用数量最少。该目标要求使用较少的车辆完成配送任务。

2. 对本书所研究的城市物流配送网络优化问题的界定

由上述叙述可知，现实中的物流配送网络优化问题十分复杂，针对不同的假设条件，研究问题就不同。为方便进行建模和求解，我们对本书所研究的物流配送网络优化问题进行如下界定：

(1) 研究基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题，第一级设施（物流中心）位置确定，需要考虑众多不确定因素确定第二级设施（配送中心）的位置和数量。

(2) 考虑设施位置、客户点需求（或供应）的货物特性，以及客户点所处的地理属性和交通条件等属性，研究确定客户点组成的聚类单元。

(3) 以第一级设施（物流中心）和第二级设施（配送中心）为物流据点，以聚类单元为研究对象，划分各级设施的配送范围，且二级设施所需（或供）货物量直接来自（或送达）一级设施。

(4) 第一级设施配送货物到客户以及第二级设施配送货物至客户所用的车辆类型相同，但其不同于一级设施和二级设施间的运输车辆。

(5) 第一级设施（物流中心）和第二级设施（配送中心）在各自的配送区域内向多个客户送货（或取货，或既送货又取货），设施位置和客户点位置确定，且能够满足客户的所有需求。

(6) 每个客户的货物需求量（或供应量）可以超过车辆的最大允许装载量，针对客户所需求（或供应）的货物可以进行拆分配送（分批配送），并由多辆车完成。

(7) 时间窗限制：需要满足客户要求的需求（或供应）货物送到（或取走）的时间窗，提前将造成等待，拖后将无法完成配送。

(8) 车辆完成配送任务后要返回各自的出发地。

(9) 整个研究过程需要考虑多个优化目标。

在上述界定的基础上，本书研究基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题。基于国内外相关研究文献，笔者发现，大部分研究指出对于城市



物流配送网络优化问题的研究应该是设施选址→客户点聚类→配送区域划分→路线优化的顺序进行研究；而极少文献中指出该研究应该是以客户点聚类→设施选址→配送区域划分→路线优化的顺序进行研究；本书对于该问题的研究是以设施选址→客户点聚类→配送区域划分→路线优化的顺序进行研究，具体研究内容包括：① 第二级设施（多配送中心）选址问题；② 客户点聚类问题；③ 带时间窗的物流配送区域划分问题；④ 带时间窗的集送货需求可拆分的车辆路线问题。

1.4 主要研究内容和研究方法

1.4.1 主要研究内容

本书研究基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题，二级设施配送是城市物流配送网络优化问题的研究基础，该问题是指在设施位置（物流中心）和客户点位置已知的前提下，首先确定多个潜在在第二级设施（配送中心）的数量和位置；其次，依据潜在设施位置、客户点分布情况、交通条件、地理位置等划分大规模客户点为不同的聚类单元；然后，根据设施位置、聚类单元分布、多车型运输等条件划分各级设施定位点及其配送区域；最后，对设施所在配送区域内进行线路优化研究。鉴于问题的复杂性，综合应用了多种理论和方法，对各个问题进行细致研究，并针对问题设计了相应的求解方法，进行了实证分析。本书的具体研究内容如下：

第1章 首先，介绍了本书的选题背景，阐明了研究城市物流配送网络优化问题的意义；其次，对城市物流配送网络中的多级设施配送形式和二级设施配送形式进行了详细描述，并对本书所研究的城市物流配送网络优化问题进行了范围界定；然后，针对本书的研究范围，从物流设施选址、客户点聚类、物流配送区域划分、需求可拆分的车辆路线问题四个方面对国内外研究现状进行了分析与总结，指出了现有研究的不足；最后，提出了本书的主要研究内容和研究方法。

第2章 主要对城市物流配送网络优化进行框架研究。首先，进行了城市物流配送网络优化的基础分析，较为全面地阐释了城市物流配送网络的类型及其存在的配送形式，明确了城市物流配送网络优化的实施主体和对象以及实施的具体步骤；其次，对基于二级设施配送网络优化问题进行了特征分析，并分别阐述了二级设施下城市物流配送网络优化的决策因素、特征及优化原则；最后，对本书所采用的优化方法进行了阐述。通过以上分析和探讨，



形成对城市物流配送网络的宏观、系统的认识，进一步清楚本书研究的对象和目的，从而为后续研究奠定基础。

第3章 主要在第一级设施位置（物流中心）和客户点位置已知的前提下，对多个二级设施（配送中心）位置进行选址研究。首先，针对现阶段二级设施物流网络中多配送中心选址的特点，分析了影响配送中心选址的主要因素，建立了配送中心选址的综合评价指标体系；其次，将语言变量值用三角模糊数表示进行选址综合评价，以集成后的方案评价指标值作为模糊聚类算法的输入，进行备选方案的聚类操作，并设计用以确定聚类的数目和分析聚类结果合理性的聚类有效性指标；然后，对各类内的备选址进行排序操作研究，并进行针对效益型和成本型指标的选址敏感性分析；最后，通过某城市配送中心选址的实例进行方法验证，并与其他模糊决策方法进行了比较说明。

第4章 主要研究城市物流配送网络中大规模客户点的聚类问题。首先，根据客户点的多样化货物配送需求、需求产品的生命周期、需求产品的相似度、地理因素、交通运输条件等建立客户点聚类的综合评价指标体系；其次，应用语言变量对二级指标属性下的客户点进行综合评价；然后，研究设计合理的聚类算法划分客户点为不同的聚类单元，同时设计聚类有效性指标确定合理的聚类单元数目；最后，通过实例分析说明方法的有效性，并进行了相应的比较分析。

第5章 主要研究在一级设施（物流中心）位置和客户聚类单元位置已知的前提下，确定二级设施位置及各级设施的配送区域。首先，综合考虑配送的多产品、多客户、时间限制等影响因素，以物流配送网络构建的总成本最小化为目标函数，研究建立基于聚类单元的固定成本和变动成本以及带时间窗的时滞成本的数学规划模型；然后，设计改进粒子群-遗传算法的混合算法求解建立的数学模型；最后，通过实例仿真说明该方法的求解过程。

第6章 主要在各级设施的配送区域内研究需求可拆分的车辆路线问题。首先，根据问题特点研究设计和定义相关变量，并研究构建基于上述问题的数学模型；然后，设计合理的两阶段启发式算法求解数学模型；最后，通过改进的 Solomon 数据验证所设计方法的有效性。

第7章 对本书的研究工作进行总结，指出本文研究的不足之处和主要创新点，以及该领域未来的研究方向。

1.4.2 本书的主要研究方法

二级设施物流配送网络优化理论和方法以及相关实证数据验证，涉及管



理学、统计学、模糊数学、计算机科学、信息科学等多个学科的内容，具有学科交叉的特点。因此，本书总体上采用多个学科的理论、模型、方法等对基于二级设施配送的城市物流配送网络优化问题进行系统研究。

本书综合运用了系统综合评价理论、公理模糊集理论、运筹学理论、系统工程理论、模糊规划理论、数学规划理论、智能算法理论等相关理论和方法，并注重对模型、算法和理论方法的创新与验证，以保证其在实际应用中的有效性。具体如下：

(1) 采用规范研究方法构建二级设施物流配送网络下的多配送中心选址综合评价指标体系；运用模糊集合理论将语言变量值用三角模糊数表示对各选址方案进行综合评价；应用区间数优度函数法将综合评价体系中的二级评价指标集成到一级评价指标上；设计模糊聚类算法以集成后的方案评价指标值为输入进行备选方案的聚类操作；运用模糊 TOPSIS 方法对各类内备选方案进行选址排序，并基于二级评价指标的权重变化进行选址的敏感性分析。

(2) 关于客户点聚类问题的研究。首先，建立客户点聚类的综合评价指标体系，并设计合理的语言变量隶属度函数对客户点进行综合评价；然后，应用模糊集成方法进行二级准则指标的集成操作；最后，运用模糊逻辑理论和公理模糊集理论划分客户点为不同的聚类单元，并设计加权模糊描述操作对初始聚类结果进行调整，同时设计聚类有效性指标来确定合理的聚类单元划分数目。

(3) 关于物流配送区域划分问题的研究，分析了配送的多产品、多客户、时间限制等影响因素，以物流配送网络构建的总成本最小化为目标函数，建立基于聚类单元的固定成本和变动成本以及带时间窗的时滞成本的数学模型，并提出了一种改进粒子群-遗传混合算法求解模型，该算法在评价函数中隐含加入了距离和时间等约束条件，并设计了算法间选择性赋予方法。

(4) 关于需求可拆分的车辆路线问题是研究车辆路线问题的松弛。首先，针对车辆路线问题在允许需求可拆分、同时配送和收集货物、时间窗限制等条件下，对相关变量进行了定义；然后，从定义的变量和所研究的问题出发，建立了求解带时间窗的同时配送和收集需求可拆分问题的混合整数规划 (Mixed Integer Program, MIP) 模型；最后，设计了基于求解混合整数规划模型的两阶段启发式算法，第一阶段启发式算法用于获取模型的初始解，第二阶段混合启发式算法用于改进初始解。

1.5 本章小结



本章作为全书的引文，通过对研究背景的剖析和现有国内外研究文献的归结，提出本书所要开展的研究内容及所采用的研究方法。

目前国内外许多学者对城市物流配送网络优化问题的相关环节研究已取得了丰硕的成果，这些研究成果广泛体现在二级设施配送网络中单个设施选址问题、定位-路线问题、带时间窗的需求可拆分车辆路线问题、同时配送和收集的车辆路线问题以及其他相关方面的文献之中。然而，现有的研究也存在明显的不足：一是现有文献通常侧重于对二级设施配送网络优化中的某个环节进行研究，而缺少对二级设施配送网络进行整体、深入的研究；二是现有文献尚未理清二级设施配送网络中各环节间的关系和各环节内多种因素的不确定性，对各环节间的关系和各环节内多种因素的不确定性认识不足必然导致大部分研究成果无法应用于实践。针对现有研究的不足，本书试图对基于二级设施配送的城市物流配送网络的每个环节进行研究，并重点考察各环节间的关系和对各环节内多种影响因素深入分析，以达到对二级设施物流配送优化问题的彻底认识。

