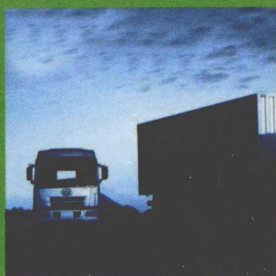


- 湖南商学院出版基金资助项目
- 湖南省教育厅科学研究资助项目
- 湖南省科技厅基础应用研究资助项目
- 湖南省哲学社会科学基金资助项目
- 湖南省哲学社会科学成果评审委员会课题资助项目



库存—运输 整合优化模型与应用

KUCUN-YUNSHU ZHENGHE

YOUHUA MOXING YU YINGYONG

谢小良 著

海南出版社

湖南商学院学术专著基金、湖南省教育厅科学研究项目、湖南省哲学社会科学基金项目、湖南省科技厅基础应用研究项目和湖南省哲学社会科学成果评审委员会项目资助出版

库存-运输整合优化模型与应用

谢小良 著

海南出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

库存：运输整合优化模型与应用/谢小良著. —海口：
海南出版社，2009. 5

ISBN 978 - 7 - 5443 - 3035 - 0

I. 库... II. 谢... III. 库存—仓库管理：物质
管理—研究 IV. F253.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 070754 号

库存——运输整合优化模型与应用

谢小良 著

责任编辑：古 华

出版发行：海南出版社

地 址：海口市金盘开发区建设三横路 2 号

邮 编：570216

电 话：0898—66830929（海口）
0731—84863905（长沙）

网 址：<http://www.hncbs.cn>

印刷装订：长沙理工大印刷厂

开 本：850 × 1168（毫米） 1/32

印 张：10

字 数：250 千字

版 次：2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978 - 7 - 5443 - 3035 - 0

定 价：20.00 元



前 言

库存控制与运输决策是运筹学研究的经典问题。库存、运输是物流系统中实现物品“时间转移”和“空间转移”的两大主要功能要素，是现代物流系统中最重要的两个环节，它们所耗费的成本约占物流费用支出的 $2/3$ 。因此，如何科学系统地研究库存控制与运输策略，既有很强的理论价值，更有广泛的应用背景。这是本书写作的目的与动机。

库存问题主要是研究库存控制，即多长时间补充一次、以及每次的补充量是多少。而物流系统中的运输问题主要是研究其运输路径，特别是配送运输路径问题，运筹学界将此类问题统称为车辆路径问题（VRP）。VRP 属于典型的复杂组合优化问题，考虑其特征，该问题可以看做是两类经典的组合优化问题的结合——旅行商问题（TSP）和装箱问题（BPP）。该问题的一些具体实例及其变化形式广泛出现于各种商业中的商品配送系统中，如物流快件公司的邮件收发、大型连锁超市的商品配送，以及运输公司的旅客输送等。因此，研究库存—运输整合优化问题（ITIO）首先必须研究 VRP 问题。为此，本书分析了 VRP 问题的应用背景，概括了 VRP 问题的各种数学模型与求解算法，提出了基于 Hopfield 神经网络的单周期运输调度方法。

从供应链管理的角度看，由于库存和运输存在“效益背反（Trade-off）”关系，单独的库存或运输路径优化有时不利于从整体上减少物流成本。为了提高供应链的效能，人们提出了供应商管理库存（VMI）的模式，探索改进传统的各自为政的库存管理模式，以系统集成的思想进行库存管理。以便有效解决“牛鞭效应”（bull-whip effect）。但对于供应商而言，如何充分利用自己的



资源,同时对物流领域中最为重要的环节配送路线和库存管理作出更有效率、更加灵活的决策是实施 VMI 必须要解决的问题。从这一考虑出发,本书研究了供应链管理中基于 VMI 的库存控制与运输策略问题,探讨了 VMI 策略下各种情形的库存控制模型与应用,分析了 VMI 策略对“牛鞭效应”的抑制作用,提出了 VMI 策略下基于数量的集中运输和订货集成策略,为进一步研究库存—运输整合优化问题 (ITIO) 奠定必要的基础。

库存和运输路径的整合优化是实现 VMI 模式的核心问题。VMI 模式允许供应商在确保下游顾客的库存能满足其需要的前提下,自主确定向下游客户送货的时间及数量,而不是由客户提出订单,这已成为一个新的运筹学和物流系统优化研究方向,这类问题被称为“库存—运输整合优化问题 (ITIO)”或称为“库存—一路径问题 (IRP)”。其研究目标是在同时考虑库存与运输路径相互影响的前提下,如何联合优化配送和库存这两个往往被独立考虑的物流环节,确定补货策略和配送运输策略,使得从长远来看,其库存、配送总成本最小。归纳起来,ITIO 考虑的是计划期内如何控制确定配送中心、客户的库存量,并从配送中心向客户配送物品的库存、运输策略问题。即在已知各客户点的初始物品存储量、物品的每天消耗量、最大库存能力,以及配送中心库存量、配送车辆装载能力,确定配送中心、客户的库存策略,以及给各客户配送物品的时间、数量和按何路径配送,才能在保证各客户尽量不缺货的情况下,使得该计划期内的单位总成本最小。

本书围绕 ITIO 的研究主题,剖析了 ITIO 问题的定义、特征与分类,指出了 ITIO 问题的研究对象与研究特征,分析了 VRP 与 ITIO (IRP) 的区别与联系,建立了一般 ITIO 问题的数学模型与算法,并将其方法成功应用于易逝物品的库存—运输整合优化问题之中,取得了较好的效果。

自从 VRP 被提出来以后,因已被证明属于 NP-Hardness 问题,所以对其求解算法的研究一直是研究的重点和难点。而 IRP 或 ITIO 问题是在 VRP 的基础上,考虑各客户点的库存情况后进

行整合优化,问题的难度和复杂性都将加大。同样地,对其求解算法的研究将是研究的重点和难点。相关问题的研究者们提出了许多求解问题的方法,设法求解该类问题的最优解、近似解或满意解,这些方法大体上归结为三类,即精确算法、经典启发式算法和现代启发式算法。只有解决了该类问题的优化算法,才能从众多的方案中选出优化方案,为科学决策提供定量分析依据。因此,本书介绍了与 VRP 或 ITIO 问题有关的组合优化问题与现代启发式算法,为深入研究更复杂的库存控制与运输策略提供更加有力的分析与计算工具。

本书在研究和写作过程中得到了社会各界朋友们的大力支持和帮助。参考和借鉴了不少国内外期刊、书籍和资料,在此向有关作者表示深深的感谢!本书得到了湖南商学院优秀专著出版基金、湖南省教育厅科学研究项目(08C470)、湖南省科技厅基础应用研究项目(2008FJ3142)、湖南省哲学社会科学基金项目(08YBB198)以及湖南省哲学社会科学成果评审委员会立项课题(0808040B)等项目的资助,在此表示感谢!

谢小良

2009年5月于长沙



目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究背景及意义	(1)
1.2 国内外研究现状	(6)
1.3 问题概述	(16)
1.4 研究思路	(19)
1.5 本书结构	(25)
第 2 章 组合最优化问题与现代智能算法	(27)
2.1 组合最优化问题	(27)
2.2 启发式算法	(33)
2.3 禁忌搜索算法	(41)
2.4 遗传算法	(48)
2.5 Hopfield 人工神经网络	(67)
第 3 章 VMI 策略下的库存控制与运输决策	(87)
3.1 供应商管理库存概述	(87)
3.2 VMI 策略下库存控制模型	(104)
3.3 VMI 策略对牛鞭效应的抑制作用	(125)
3.4 VMI 策略下的运输问题	(138)
3.5 VMI 策略下运输和库存订货集成策略	(144)
第 4 章 车辆路径问题	(168)
4.1 车辆路径问题概述	(168)
4.2 车辆路径问题的模型与算法	(175)
4.3 有时间窗车辆路径问题	(197)



4.4	模糊需求车辆路径问题	(206)
第5章	库存-路径问题	(214)
5.1	库存-路径问题概述	(216)
5.2	VMI 策略下非周期 IRP 问题	(226)
5.3	多周期确定需求 IRP 问题	(229)
5.4	多周期随机需求 IRP 问题	(233)
5.5	带时间窗的多周期随机需求的 IPR 问题	(238)
5.6	需求为 Poisson 随机过程的 IRP 问题	(245)
5.7	VMI 策略下随机需求 IRP 问题	(249)
第6章	易逝品库存-运输整合优化问题	(258)
6.1	易逝品的库存控制问题	(260)
6.2	易腐物品车辆路径问题的并行遗传算法	(277)
6.3	存货影响销售率的无形变质物品库存-运输整合优化	(285)
第7章	总结与展望	(294)
7.1	总结	(294)
7.2	已有研究中存在的不足	(294)
7.3	展望	(296)
参考文献		(299)



第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

物流已被认为是继降低原材料消耗和提高劳动生产率之后的“第三利润源”。通过优化物流系统,可以降低物流成本,从而增强企业的市场竞争能力。因此,研究物流系统中的优化问题具有十分重要的意义,是国内外研究的热点。

有效的供应链管理是降低成本获得市场竞争优势的重要手段之一。在供应链的配送环节,运输和库存是两个物流成本消耗最大的活动。库存、运输是物流系统中实现物品“时间转移”和“空间转移”的两大主要功能要素,是现代物流系统中最重要两个环节,库存成本与配送成本是物流系统的核心成本,在物流总成本中占据了很大的比例,它们所耗费的成本约占物流费用支出的 $2/3$ 。如果能降低库存成本与配送成本,就能有效地降低物流成本。但传统上,库存和运输往往是分属于不同企业来分别运作的,所以出自服从各自企业利益最大化的目的,库存决策和运输决策往往都是分别进行研究的,他们分别追求各自功能成本的最低化。作为仓库管理者来说,影响其整体效益的是货物持有费用、缺货损失费及进货费等,同时应考虑其应达到的客户服务水平。运输费用虽然在物流成本中占的比重很大,但对于仓库管理来说,运输往往是被作为系统外部因素来看待的,并且认为其运输费用正比于货物的数量。而对于运输企业来说,因为不占有各需求点的库存信息,经常只能实现点对点的运输,运能的浪费也意味着运费的提高。随着经济的发展和竞争的加剧,现在很多企业,尤其是制造型企业,为提高自身核心竞争

力,降低运作成本,正逐渐将原本自己管理的部分或全部物流业务转包给专业的物流公司。另外一种模式就是制造企业自己拥有在全国各地的区域配送中心和车队,完全由自己负责全国范围内的配送服务。所有这些运作模式的一个共同特点,都是整个配送系统的实施者同时负责配送供应链上的各级库存决策及运输车队的效率和效益问题,即运输问题与库存问题需联合进行统筹,于是库存与运输总成本的最低化成为新的追求目标。从系统论的观点看,库存控制和运输决策都是配送供应链系统的一部分,整体研究应优于分别研究。而供应链管理的最终目标是使整个系统效益的最优化。实践证明,应用良好的算法整合优化后的系统总费用可较大幅度的降低库存费用与运输费用之和。如何运用优化理论来解决运输与库存的整合优化问题已引起系统理论、管理科学与工程、运筹学和计算机科学等领域研究者的极大兴趣,对该问题的研究现已成为国内外研究的热点之一^[1-2]。

库存问题主要是研究库存控制,即多长时间补充一次、以及每次的补充量是多少。而物流系统中的运输问题主要是研究其运输路径,特别是配送运输路径问题,运筹学界将此类问题统称为车辆路径问题(Vehicle Routing Problem, VRP),其一般描述是:根据客户的订单要求,确定适当的配送车辆行驶路线,使其从配送中心出发,有序地对它们进行服务,并在满足一定的约束条件下(如车辆载重量、客户需求量、时间窗限制等),使总运输成本达到最小(如使用车辆数最少、车辆行驶总距离最短等)。库存问题和车辆路径问题都是生产管理理论与实践中的经典问题,关于它们各自的研究文献相当丰富。

库存控制和运输策略都是运筹学研究的经典内容,关于它们的文献较多,但是将两个问题集成到一个系统中,用一个目标函数来描述这两个相互矛盾而在物流系统优化中又十分重要的领域,则是一个新的研究方向。在实际的物流管理中,现代企业的大型化、国际化趋势越来越明显,如沃尔玛要统一管理分布于 10 个国家的 5300 多个超市,华联公司仅在上海已有几百家分店。此时该如何调

配车辆和分配库存,在平衡这两个“效益背反(Trade-off)”的功能要素基础上谋求理想的运营业绩,必然要依靠先进的管理思想以及优良可靠的优化模型对于库存控制与运输策略联合优化问题进行量化分析。1958年, Magee^[3]首次提出供应商管理库存(Vendor Managed Inventory, VMI)概念,它是以用户和供应商双方获得最低成本为目的,在一个共同的协议下由供应商管理库存,并不断监督协议的执行情况和修改协议内容,使库存管理得到持续改进的合作性策略。20世纪80年代末, Wal-Mart和 Proctor & Gamble率先实施 VMI 取得成功后, VMI 逐渐被各行各业广泛运用,尤其是百货业、钢铁业、出版业、石化业、家用电器业较为普遍。Basta 等认为目前 VMI 服务的市场以 20% 的年增长速度激增, VMI 模式成为企业界和学术界关注的焦点。这种新的物流管理思想被广泛采用,库存控制和运输策略联合优化问题的研究显得更为重要,更能顺应现代物流的发展趋势。VMI 库存管理模式打破了传统的各自为政的库存管理模式,以系统的、集成的管理思想进行库存管理,体现了供应链的集成化管理思想。能有效地解决“牛鞭效应”(bull-whip effect)。相对于传统的库存管理模式,精心设计与开发的 VMI 系统,不仅可以降低供应链的库存水平,而且用户还可获得高水平的服务,并使得供应商获得更高的用户信任度^[4]。VMI 管理模式的作用具体表现为:

(1) 降低库存,减少库存成本

实施 VMI 最显而易见的好处是降低了供应商和供应链下游企业的库存水平,从而减少了供应链的库存成本。在 VMI 模式下,供应商能够对异常的需求情况早做准备,避免了传统情况下供应商存储过量货物以应付异常需求的情况,降低了供应商的安全库存水平。同样由于实施 VMI,供应商承担了将货物及时送达买方的责任,这样供应链下游企业对安全库存的需求也就大大降低了。

(2) 提高顾客服务水平和销售额

在 VMI 库存管理系统中,通过有效的信息传递,供应商能够及时了解下游企业的库存状况,决定补货的时机,从而使缺货情况得



到改善,及时满足顾客的需求。同时由于通过信息共享能够得到下游企业库存消耗的数据、不同地理分布的市场情况和更多的业内信息,供应商可以适当地在不同的产品间分配投资,从而提高销售额和投资回报率。

(3)提高需求预测的精确度

在 VMI 模式下,供应商可以及时获取下游企业的库存信息和产品的销售信息,从而对市场需求预测和库存补货做出正确决策,更有效、更快速地对市场变化和消费者需求做出快速反应。因此供应商并不依赖零售商发出的订单进行预测,而是通过获得的顾客需求信息进行预测,从而大大提高了预测的准确度。

(4)降低双方的管理费用

由于 VMI 模式下供应商与下游企业频繁的信息沟通,使得双方用在处理错误订单、协调定单与发货分歧等方面的费用将大大减少。下游企业同时节省了采购的时间、人力和财力。此外,通过实施 VMI 而节省的库存成本和管理费用以及增加的收入,供需双方可以各自进行再投资,进一步增加企业的竞争能力。

VMI 作为一种新的库存管理模式,在理论与实践上逐渐得到完善。它的实施已经在众多企业获得成功。大型零售商如 Wal-Mart 以及 Kmart 都是实施 VMI 的先驱者。早在 2001 年,雀巢和家乐福就尝试了 VMI 系统,雀巢对家乐福物流中心产品到货率由 80% 提升至 95%,家乐福物流中心对零售店面产品到货率也由 70% 提升至 90%。联想在 2004 年中旬开始对上游原材料供应商实施 VMI 管理,实施一年多以来已经取得了不错的效益,大大降低了企业的原材料库存,降低了供应链管理的成本,提升了企业的核心竞争力。目前无论是制造型企业还是零售企业都有很成功的 VMI 实施案例,VMI 已经是一种十分成熟的管理模式。

但是实施 VMI 虽然减少了下游企业的库存、降低了运营成本,但对供应商来说则加大了风险,提出了更高的要求。根据供应链上下游企业的基本协议,库存成本、运输成本和意外损失不是由供应链下游企业承担,而是由供应商承担。从基于 VMI 的供应商库存

控制方面分析,如果零售商缺货,供应商需要支付其一定的缺货成本。从基于 VMI 的供应商运输策略方面分析,由于供应商的配送次数明显增加,供应商可以选择不同的配送策略,在提高服务水平(如准时送货)的同时寻求成本的最小化。因此供应商如何充分利用自己的资源,同时对物流领域中最为重要的环节配送路线和库存管理作出更有效率、更加灵活的决策是实施 VMI 必须要解决的问题。相应地使得把库存和运输路径联合起来研究近年来倍受重视,因为库存和运输路径的整合优化是实现 VMI 模式的核心问题。在该模式下,允许供应商在确保下游顾客的库存能满足其需要的前提下,自主确定向下游客户送货的时间及数量,而不是由客户提出订单,成为一个新的运筹学和物流系统优化研究方向,这类问题被称为“库存-运输整合优化(Inventory-Transportation Integrated Optimization, ITIO, 有时译为库存-运输联合优化)”或称之为“库存路径问题(Inventory Routing Problem, IRP)”。其研究目标是在同时考虑库存与运输路径相互影响的前提下,如何联合优化配送和库存这两个往往被独立考虑的物流环节,确定补货策略和配送运输策略,使得从长远来看,其库存、配送总成本最小。归纳起来,ITIO 考虑的是计划期内如何控制确定配送中心、客户的库存量,并从配送中心向客户配送物品的库存、运输策略问题。其一般描述是:已知各客户点的初始物品存储量、物品的每天消耗量、最大库存能力,以及配送中心库存量、配送车辆装载能力,确定配送中心、客户的库存策略,以及给各客户配送物品的时间、数量和按何路径配送,才能在保证各客户尽量不缺货的情况下,使该计划期内的单位总成本最小。

但自 VRP 被提出后,因已被证明属于 NP-难问题,所以对其求解算法的研究一直是研究的重点和难点。而 ITIO 是在 VRP 的基础上,考虑各客户点的库存情况进行整合优化,问题的难度和复杂性都将加大。同样地,对其求解算法的研究将是研究的重点和难点。只有解决了该问题的优化算法,我们才能从众多的方案中选出优化方案,为科学决策提供定量分析依据。在该种背景下,本书

基于 VMI 合作模式下,对 ITIO 问题的相关问题进行研究探讨。

中南大学符卓教授主持的国家自然科学基金项目:“带软时间窗的车辆路径问题及其应用研究(NO. 70071003)”及“开放式车辆路径问题及其优化算法研究(NO. 70671108)”是本书研究依托的基础。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 库存控制的相关研究

国外供应链库存控制的研究,始于对多阶段库存的研究,Sclark 和 Scarf 在 1960 年对多阶段的库存控制问题进行了研究^[5],揭开了国外学者研究多阶段库存的序幕,供应链的概念出现之后,供应链库存控制一直是国外学者研究的重点,产生了许多重要的理论成果。

Ravi Anvindi 和 Yehuda Bassok 研究了一个制造商、两个零售商的模型,并对零售商单独持有存货和有一个中心存货进行了对比,得出了多个零售商的库存物理中心化可以降低总成本、增加收益的结论^[6]。Lee,Cho 与 Kim 强调需要使用建模和仿真的方法来分析和设计供应链,提出建模和仿真的方法是供应链环境下管理随机变量强有力的工具^[7]。Ingalls 详细分析了利用仿真的方法进行供应链建模的优势与劣势^[8]。Viswanadham 提出供应链的性能可通过两类方法来测量:定量(成本、库存水平、资源利用率等)和定性(客户服务水平、产品质量等)^[9]。Chan and Chan 详细的描述了定量与定性的方法,指出定量的指标可以在利用仿真工具分析不同的库存控制策略、提前期、客户需求的变化程度等不同组合的影响时使用^[10]。P. Kochel 和 U. Nieander 提出了利用结合一定优化工具的仿真方法来解决多级库存问题,建立了一个供应链环境下的多级库存模型,给出了利用仿真优化来求解模型的方法,并通过具体的实例说明该方法是行之有效的^[11]。Francesco Longo Giovanni

Mirabelli 介绍了一个先进的离散事件仿真建模工具 eM-Plant, 并利用该仿真工具建立了一个供应链管理仿真模型, 可以通过参数的不同设置来仿真多种实际的供应链系统, 利用仿真的方法来支持供应链中库存管理决策^[12]。

目前, 国内对供应链库存控制问题的研究很广泛, 对影响库存控制策略的供应链结构、市场需求、订货提前期、服务水平等因素有较多的研究, 并取得了一定的成果。但绝大多数库存模型都是解析模型, 将客户的需求, 提前期等变量设为定值或其中一个变量服从一种特定的概率分布, 建立数学模型求其解。近几年对随机型库存系统研究越来越多, 使用仿真建模的方法来研究供应链库存控制逐步增多。 (Q, r) 模型是库存管理中的重要控制模型, 控制变量 Q 和 r 都取决于需求过程和提前期, 但是绝大多数文献在库存模型研究中都把提前期作为一个常量, 主要考虑不同的随机需求过程。而在连续的多级供应链库存问题中, 随机提前期的变化是供应链上下级库存协调的主要影响因素。2002 年马士华和林勇研究了基于随机提前期的 (Q, r) 库存控制模型, 分别考虑了需求是常量和需求是随机变量两种情况下的库存模型^[13]。2007 年林勇、蒋莲等建立了基于随机提前期的 (Q, s) 库存控制模型, 并建立了相应的算法进行优化求解^[14]。2007 年金海和与郭仁拥给出一个供应链多级库存随机模型, 该模型以供三应链总利润最大为目标, 其中顾客需求、低层节点缺货量都是随机的, 并引入有效供应量的概念, 说明了低层节点的随机缺货量对高层节点的影响, 给出一种特殊情况下模型的优化和分析^[15]。2005 年张延林、程锡礼提出运筹法能够处理服从正态分布的需求量、前置时间等条件的库存系统的存货策略, 利用 Excel、VBA 和 Crystal Ball 对随机型库存系统进行了仿真, 得出了利用仿真间接地获得优化策略、能够更好地解决随机库存系统的存货策略问题的结论^[16]。2006 年刘昌贵、但斌应用蒙特卡罗技术对随机型库存系统进行了数值仿真, 并在对有关敏感性参数研究的基础上实现了系统决策, 取得了最优解^[17], 研究结果表明, 这一决策方法切实可行。2007 年李娜和李芬芳利用 Excel 软件和 VBA 模拟仿真



过程,实现了对再订货点和订货量的预测,最后利用实例仿真结果验证了算法的合理有效性^[18]。2006年天津工业大学蒋宗文在其硕士学位论文中系统介绍了离散事件系统仿真的基本概念、仿真方法及一般步骤,概述了库存系统仿真技术的建模步骤和库存系统的仿真特点,介绍了专业的系统仿真软件 witness,提出了基于 witness 仿真技术库存决策理论,并按照库存仿真理论和方法对天津市天地龙管业有限公司进行建模仿真,提出最终库存控制的决策方案^[19]。通过对国内外研究现状的分析可以发现,仿真技术已经成为研究供应链库存问题的主要方法,并且被证明是非常有效且实用的。

1.2.2 VRP 问题的研究现状

(1) 经典 VRP 问题的国内外研究现状

1959年著名学者 Dantzig 和 Ramser^[20]首次提出 VRP 问题,同时给出了求该问题的一个算法,随后又对这一算法做了改进。但这两个算法所实现的仅仅是路线的组成,都没有太注意到路径的节省。1964年 Clarke 和 Wright^[21]提出了一种在 Dantzig-Ramser 方法上进行改进的较有效的启发式算法—Clarke-Wright 节约算法(简称 C-W 节约算法),和前两种算法相比,该算法较注重路径的节省。随着 20 世纪 70、80 年代数学规划和网络分析的发展,一些求解 VRP 问题精确的数学规划方法^[22-24]先后被提出。20 世纪 90 年代人工智能的发展大大促进了 VRP 算法研究的发展,遗传算法、模拟算法、蚁群算法、人工神经网络和禁忌搜索等智能化算法^[25-28]被广泛运用于 VRP 问题的研究中。目前,国内外对 VRP 的研究相对较少^[31]。由于 VRP 问题的理论涉及多学科,可用于解决很多实际问题,应用前景广阔,所以 VRP 问题被提出后,一直是运筹学、物流科学、交通运输工程、管理科学与工程等学科领域研究的热点。

(2) 随机需求 VRP 问题国内外研究现状

现有的关于随机需求 VRP 问题的研究主要针对以下背景的配送问题:要访问的客户或节点的数量和位置是固定的,但每个客户的需求是随机的(满足一定的可能性分布或随机分布),即在配送车



辆到达该节点之前不知道确定的需求信息。但是在实际配送中,限于时间或资源的关系,调度员无法等到获得所有信息后才做决策,因此在研究随机需求 VRP 问题时所采用的方法与确定性 VRP 有着一定的区别,但研究的过程是大致相同的,都是分别对以下两类子问题进行研究:模型的建立和模型的求解。

①模型的建立方法

综览现有文献,研究这类问题的方法各有不同,但是从理论上来分析,这些方法大多可以归纳为以先验序列为基础的方法。该方法分为两个阶段:在信息不完全(随机)的情况下确定先验序列;在获得确定性信息的情况下进行决策。因此,其随机模型的选择基于两点:第一阶段的成本和第二阶段的期望成本。先验序列的确定方法又有两类:一类是基于二元可能性理论,另一类则是基于机会约束规划。

第一类方法的思想最早由 Jaliliet 提出^[29],并由 Bertimas^[29-31]等为之建立了完整的体系。在该方法中,假定需求分布是二元的(即在第 i 点有单位需求的概率为 p_i ,没有单位需求的概率则为 $1-p_i$)、离散的。根据该假定,可推出先验序列的期望长度,相应的上下界和渐进特性。

另一类方法是 Stewart, Laporte^[32-33] 等人分别使用机会约束规划,在一定的假设条件下,将随机 VRP 转化为等价的、确定性的 VRP,并找到了解的界,该方法的核心是让出错返回的概率不超过一定的界限。机会约束规划模型均以确定性 VRP 的三下标流和二下标流模型为基础,添加可能性约束条件和惩罚函数后建立起来的。

②模型的求解算法

1969 年 Tillman 在 C-W 节约算法的基础上首次提出了一个解决随机需求 VRP 问题(Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand, VRPSD)的启发式节约算法^[34]。算法规定在车辆容量几乎为空或者是容量满足不了服务要求时必须按照一定的策略给予惩罚。1983 年,Stewart 和 Golden^[32]首先给出了关于 VRPSD 问题