

# 物流配送

## 车辆优化调度理论与方法

●李军 郭耀煌 / 著



中国物资出版社

国家自然科学基金资助研究项目  
(79700019)

# 物流配送车辆优化调度 理论与方法

李 军 郭耀煌 著

中国物资出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

物流配送车辆优化调度理论与方法/李军著. —北京: 中国物资出版社, 2001.6

ISBN 7-5047-1706-1

I. 物… II. 李 III. 物资流通-运输调度 IV. F253.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 18585 号

**中国物资出版社出版发行**

网址: <http://www.ciph.com.cn>

社址: 北京市西城区月坛北街 25 号

电话: (010) 68392746 邮编: 100834

**全国新华书店经销**

**北京梨园彩印厂印刷**

开本: 787×1092 mm 1/16 印张: 14 字数: 262 千字

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

书号: ISBN7-5047-1706-1/U·0041

**定价: 22.00 元**

(图书出现印装质量问题, 本社负责调换)

## 前 言

现代物流业是把握竞争优势的有效方式，将为国民经济在高起点上持续发展，提供基础动力。在经济全球化和信息化的推动下，现代物流业已从为社会提供传统运输服务，扩宽到以现代科技、管理和信息技术为支柱的综合物流系统。目前，许多发达国家和地区已形成了比较成熟的物流管理理念、先进的物流技术和高效的物流运营系统。进入 21 世纪的中国，必将加快现代物流的发展，以此增强企业竞争能力，优化资源配置，提高经济运行质量，实现中国经济体制与经济增长方式的两个根本性转变，从而推动中国经济的持续健康的发展。

物流配送是物流中一个重要的直接与消费者相连的环节，是货物从物流结点送达收货人的过程。配送是在集货、配货基础上，按货物种类、品种搭配、数量、时间等要求所进行的运送，是“配”和“送”的有机结合。物流配送过程主要包括：从生产工厂进货并集结的集货作业；根据各个用户的不同需求，在配送中心将所需要的货物挑选出来的配货作业；考虑配送货物的质量和体积，充分利用车辆的载重和容积的车载货物的配装及配送路线的确定。

随着物流系统的集约化、一体化的发展，常将配送的各环节综合起来，核心部分为配送车辆的集货、货物配装及送货过程。进行配送系统优化，主要就是配送车辆优化调度，包括集货线路优化、货物配装及送货线路优化，以及集货、货物配装和送货一体化优化。

物流配送车辆优化调度，是物流系统优化中关键的一环，也是电子商务活动不可缺少的内容。对配送车辆进行优化调度，可以提高物流经济效益、实现物流科学化。可以说对物流配送车辆优化调度理论与方法进行系统研究是物流集约化发展、构建综合物流系统、建立现代调度指挥系统、发展智能交通运输系统和开展电子商务的基础。

车辆优化调度问题最早是由 Dantzig 和 Ramser 于 1959 年提出的，由于这一问题的理论涉及多学科，很多实际问题的理论抽象都可归结为这一类问题，应用前景广阔，所以，很快便引起运筹学、应用数学、图论与网络分析、物流科学、交通运输工程、管理科学与工程、计算机应用等学科的专家、工程技术人员和管理者的极大重视，自此，一直成为运筹学与组合优化领域的前沿与研究热点问题。

国外车辆优化调度研究已广泛用于生产、生活的各个方面，如报纸投递及线路的优化、牛奶配送及送达线路的优化、电话预订货物的车辆载货和线路设计、垃圾车的线路优化及垃圾站选址优化、连锁商店的送货及线路优化等等。目前，研究水平已有很大发展，其理论成果除在汽车运输领域外，在水运、航空、通讯、电力、工业管理、计算机应用等领域也有一定的应用，还用于航空乘务员轮班安排、轮船公司运送货物经过港口与货物安排的优化设计、交通车线路安排、生产系统中的计划与控制等多种组合优化问题。

在国内，该问题的系统研究还不多见。近年来本书作者及课题组成员承担了国家自然科学基金《城市货运汽车的科学调度》、《货运车辆调度优化理论及应用研究》和四川省重点软科学课题《城市货运卡车集中优化调度研究》等项目的研究工作，对车辆优化调度的基础理论及各类问题进行了较为系统的研究，开发了基于地理信息系统的可视化物流配送车辆优化调度系统软件包，2000年11月在深圳第二届中国高新技术成果交易会上发布，受到好评和重视；发表了三十多篇相关论文；获得过一项省部级科技进步二等奖。2001年又获得了国家自然科学基金项目《不确定信息条件下动态车辆路径》。

本书展示的主要是国家自然科学基金项目《货运车辆调度优化理论及应用研究》(编号79700019)的研究成果，在多项课题的研究中，取得一批成果，这本书反映的仅仅是一个侧面。在课题的研究和书稿的写作过程中，参阅了大量的国内外文献，书稿也反映了相关方面目前国际的前沿动态。该领域的研究内容非常广泛，本书还有许多方面未涉及，期望在新的课题研究中取得突破。

本书的第一章至第五章、第七章和第八章由李军、郭耀煌撰写，第六章由李军、谢秉磊撰写，第九章、第十章由李军、张红历撰写。本书提纲由李军、郭耀煌拟定，李军担任统稿工作。

由于作者才疏学浅，书中难免有不当或错误之处，切望专家、学者和同仁不吝指正。

该书获得西南交通大学出版基金和中国物资出版社科技专著出版基金资助出版，在此深表谢意。

作者

2001年3月

## 目 录

## 前 言

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
1. 1 物流配送车辆优化调度的概述.....	( 1 )
1. 2 物流配送车辆优化调度的研究动态和水平.....	( 2 )
1. 3 货运车辆优化调度问题的分类 .....	( 7 )
<b>第二章 基本理论</b> .....	( 10 )
2. 1 组合优化与计算复杂性 .....	( 10 )
2. 2 启发式算法理论 .....	( 14 )
2. 3 遗传算法理论 .....	( 17 )
<b>第三章 基本问题</b> .....	( 27 )
3. 1 图的基本概念.....	( 27 )
3. 2 最小生成树.....	( 34 )
3. 3 最短路问题.....	( 37 )
3. 4 最大流问题.....	( 47 )
3. 5 最小费用流问题 .....	( 53 )
3. 6 中国邮递员问题.....	( 57 )
3. 7 旅行商问题.....	( 63 )
<b>第四章 集货或送货非满载车辆优化调度启发式算法</b> .....	( 74 )
4. 1 引言.....	( 74 )
4. 2 模型分析.....	( 76 )
4. 3 C-W 节约启发式算法 .....	( 78 )
4. 4 分派启发式算法.....	( 86 )
4. 5 多车场多车型问题.....	( 93 )
<b>第五章 集货和送货一体化非满载车辆优化调度启发式算法</b> .....	( 99 )
5. 1 引言.....	( 99 )
5. 2 网络启发式算法 .....	( 99 )
5. 3 组合启发式算法 .....	( 107 )

---

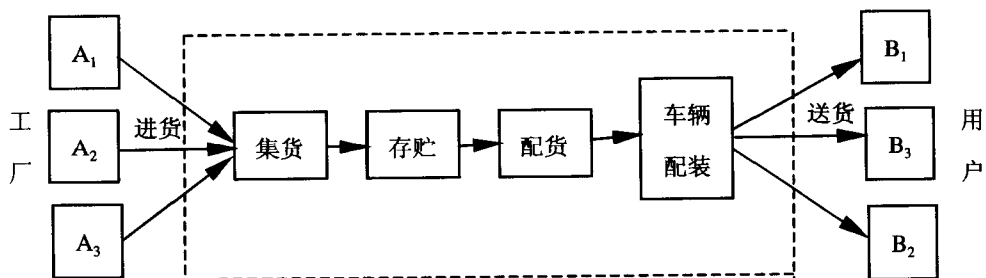
<b>第六章 非满载车辆优化调度遗传算法</b> .....	(113)
6.1 自然数编码遗传算法理论研究 .....	(113)
6.2 旅行商问题的遗传算法 .....	(117)
6.3 一般车辆优化调度问题的遗传算法 .....	(129)
6.4 时间窗车辆优化调度问题的遗传算法 .....	(132)
<b>第七章 单车型满载车辆的优化调度</b> .....	(135)
7.1 引言 .....	(135)
7.2 调度解的获得 .....	(136)
7.3 解的调整 .....	(157)
7.4 解的连通化 .....	(158)
7.5 线路的组织与调整 .....	(169)
<b>第八章 多车型满载车辆的优化调度启发式算法</b> .....	(172)
8.1 概述 .....	(172)
8.2 算法分析 .....	(172)
8.3 实例分析 .....	(175)
<b>第九章 车辆优化调度算法的计算机实现</b> .....	(183)
9.1 系统基础数据 .....	(183)
9.2 系统算法实例 .....	(187)
<b>第十章 基于地理信息系统的物流配送可视化车辆优化调度系统</b> .....	(189)
10.1 系统基础设计 .....	(189)
10.2 系统集成结构设计 .....	(193)
10.3 系统总体设计 .....	(194)
<b>参考文献</b> .....	(205)

# 第一章 绪 论

## 1.1 物流配送车辆优化调度的概述

随着社会主义市场经济的发展，作为“第三利润源泉”的物流对经济活动的影响日益明显，越来越引起了人们的重视，成为当前“最重要的竞争领域”，未来的市场竞争，物流将起着举足轻重的作用。

配送是物流中一个重要的直接与消费者相连的环节。配送一般定义为，将货物从物流结点送达收货人的过程。配送是在集货、配货基础上，完全按用户要求，包括种类、品种搭配、数量、时间等方面的要求所进行的运送，是“配”和“送”的有机结合形式。配送的流程一般如下图所示。



配送流程图

电子商务的发展，新的物流配送模式的出现，存贮已不是必然的环节。因此配送主要包括以下几部分：

- (1) 集货作业。从生产工厂进货、并集结的过程。
- (2) 配货作业。配货即货物的分拣过程，根据各个用户的不同需求，在配送中心将所需要的货物挑选出来的过程。



(3) 车载货物的配装。由于配装作业本身的特点, 配装工作所需车辆一般为汽车, 由于配送货物的质量和体积的差异, 在配装货物时要考虑车辆的载重和容积, 为使车辆的载重和容积充分利用, 还要考虑一趟多送几户的问题。

(4) 配送线路的确定。配送线路合理与否对配送速度、成本、效益影响很大, 特别是多用户配送线路的确定更为复杂。采用科学的、合理的方法来确定配送线路, 是配送活动中非常重要的一项工作。

随着物流配送集约化、一体化的发展, 常将配送的各环节综合起来, 核心部分为配送车辆的集货、货物配装及送货过程。进行配送系统优化, 主要就是配送车辆优化调度, 包括集货线路优化、货物配装及送货线路优化, 以及集货、货物配装和送货一体化优化。在国外, 类似的工作已广泛地运用于生产、生活的各个方面, 如报纸投递及线路的优化、牛奶配送及送达线路的优化、电话预订货物的车辆载货和线路设计、垃圾车的线路优化及垃圾站选址优化、连锁商店的送货及线路优化等等。

物流配送车辆优化调度, 是物流配送优化中关键的一环, 也是电子商务活动不可缺少的内容。对货运车辆进行优化调度, 可以提高物流经济效益、实现物流科学化。对货运车辆优化调度理论与方法进行系统研究是物流集约化发展、建立现代调度指挥系统、发展智能交通运输系统和开展电子商务的基础。

## 1.2 物流配送车辆优化调度的研究动态和水平

### 1.2.1 问题的提出

国外将物流配送车辆优化调度问题归结为或称之为 Vehicle Routing Problem 和 Vehicle Scheduling Problem。

物流配送车辆优化调度问题最早是由 Dantzig 和 Ramser 于 1959 年首次提出的, 自此, 很快引起运筹学、应用数学、组合数学、图论与网络分析、物流科学、计算机应用等学科的专家与运输计划制定者和管理者的极大重视, 成为运筹学与组合优化领域的前沿与研究热点问题。各学科专家对该问题进行了大量的理论研究及实验分析, 取得了很大进展。

该问题一般定义为: 对一系列装货点和(或)卸货点, 组织适当的行车线路, 使车辆有序地通过它们, 在满足一定的约束条件(如货物需求量、发送量、交发货时间、车辆容量限制、行驶里程限制、时间限制等)下, 达到一定的目标(如路程最短、费用最少、时间尽量少、使用车辆数尽量少等)。

国外对物流配送车辆优化调度问题作了大量而深入的研究,例如早在1983年 Bodin、Golden 等人在他们的综述文章中就列举了700余篇文献。在 Christofides (1985), Golden 和 Assad (1988) 编辑的论文集,以及 Altinkemer 和 Gavish (1991), Laporte (1992), Salhi (1993) 等的综述文章中都进行了详尽的阐述。该领域的代表人物有 Bodin, Christofides, Golden, Assad, Ball, Laporte, Rinnooy Kan, Lenstra, Desrosiers 和 Desrochers 等人。

目前,问题的形式已有很大发展,该问题已不仅仅局限于汽车运输领域,在水运、航空、通讯、电力、工业管理、计算机应用等领域也有一定的应用,其算法已用于航空乘务员轮班安排、轮船公司运送货物经过港口与货物安排的优化设计、交通车线路安排、生产系统中的计划与控制等多种组合优化问题。

对物流配送车辆优化调度问题,有的学者是根据问题的空间特性和时间特性的相对重要性来划分的 (Bodin 1983)。一般认为,当不考虑时间要求,仅根据空间位置安排线路时称为车辆线路安排问题 (Vehicle Routing Problem, 简记 VRP); 考虑时间要求安排线路时称为车辆调度问题 (Vehicle Scheduling Problem, 简记 VSP); 同时考虑空间位置和时间要求时称为 Routing 和 Scheduling 混合问题 (Vehicle Routing and Scheduling Problem, 简记 VRP&VSP)。对 VRP 与 VSP, 也有不区分两者的, 如有具体约束则加上定语, 如将有时间要求的车辆调度问题称为 Vehicle Routing Problem with Time Windows。

本书认为, Scheduling 比 Routing 范围宽, 因此本书统称为 Scheduling, 简称货运车辆优化调度 (Vehicle Scheduling Problem, 简称 VSP)。

### 1.2.2 分类

自 VSP 被提出后, Linus (1981), Bodin 和 Golden (1981), Bodin (1983), Assad (1988), Desrochers, Lenstra 和 Savelsbergh (1990) 等许多学者对 VSP 从不同角度, 按不同的标准进行了多种分类。

如按任务特征分, 有纯装问题或纯卸问题 (pure pick up or pure delivery, 车辆在所有任务点装货或卸货, 即集货或送货问题) 及装卸混合问题 (combined pick up and delivery, 每项任务有不同的装货点和卸货点, 即集货、送货一体化问题)。

按任务性质分, 有对弧服务问题 (如中国邮递员问题) 和对点服务问题 (如旅行商问题) 以及混合服务问题 (如交通车线路安排问题)。

按车辆载货状况分, 有满载问题 (货运量不小于车辆容量, 完成一项任务需要不只一辆车) 和非满载问题 (货运量小于车辆容量, 多项任务用一辆车)。

接车场 (或货场、配送中心等) 数目分, 有单车场问题和多车场问题。

按车辆类型数分,有单车型问题(所有车辆容量相同)和多车型问题(执行任务的车辆的容量不全相同)。

按车辆对车场的所属关系分,有车辆开放问题(车辆可以不返回其发出车场)和车辆封闭问题(车辆必须返回其发出车场)。

按优化目标数来分,有单目标问题和多目标问题。

由于情况的不同,车辆调度问题的模型构造及算法有很大差别。

### 1.2.3 模型

一般来说,货运车辆调度问题可以构造成整数规划模型,也可以构造成图论及其他模型,这些模型之间存在着某种联系,但从建立模型时的出发点考虑,大多数模型都可看成是下面三种模型的变形与组合:

- (1) 以车流为基础的模型;
- (2) 以物流为基础的模型;
- (3) 集覆盖模型。

### 1.2.4 基本问题与基本方法

为简化货运车辆优化调度问题的求解,常常应用一些技术将问题分解或转化为一个或几个已经研究过的基本问题,再用相应比较成熟的基本理论和方法,以得到原货运车辆调度问题的最优解或满意解。

常用的基本问题有:旅行商问题、分派问题、运输问题、背包问题、最短路问题、最小费用流问题、中国邮路问题等。

常用的基本理论和方法有:分枝定界法、割平面法、线性规划法、动态规划法、匹配理论、对偶理论、组合理论、线搜索技术、列生成技术、概率分析、统计分析、最差情况分析、经验分析等。

### 1.2.5 算法

货运车辆优化调度问题的求解方法非常丰富, Magnanti (1981), Bodin 和 Golden (1983), Golden (1984), Laporte (1992), Laporte 和 Osman (1995) 等许多学者对 VSP 求解方法的分类进行了研究,认为究其实质,基本上可以分为精确算法和启发式算法两大类。

#### 一、精确算法

精确算法指可求出其最优解的算法,精确算法主要有:

- 分枝定界法 (Branch and Bound Approach)
- 割平面法 (Cutting Planes Approach)
- 网络流算法 (Network Flow Approach)

### · 动态规划方法 (Dynamic Programming Approach)

精确算法的计算量一般随问题规模的增大呈指数增长, 因此在实际中其应用范围很有限。

## 二、启发式算法 (Heuristics)

由于 VSP 是强 NP 难题, 高效的精确算法存在的可能性不大 (除非  $P = NP$ ), 所以寻找近似算法是必要和现实的, 为此专家们主要把精力花在构造高质量的启发式算法上 (James 和 Jiefeng, 1999)。目前已提出的启发式算法很多, 分类也相当多, 按 Cesar Rego 的分类法有以下几类。

### 1. 构造算法 (Constructive Algorithm)

根据一些准则, 每一次将一个不在线路上的点增加进线路, 直到所有的点都被安排进线路为止。该类算法的每一步, 把当前的线路构形 (很可能是不可行的) 跟另外的构形 (也可能是不可行的) 进行比较并加以改进, 后者或是根据某个判别函数 (例如总费用) 会产生最大限度的节约的构形, 或是以最小代价把一个不在当前构形上的需求对象插入进来的构形, 最后得到一个较好的可行构形 (Clarke 和 Wright, 1964; Mole 和 Jamesson, 1976; Paessens, 1988; Altinkemer 和 Gavish, 1991; Desrochers 和 Verhoog, 1989)。

构造算法是最早提出用来解决旅行商问题 (Traveling Salesman Problem, 简称 TSP) 及 VSP 的, 这些方法一般速度快, 也很灵活 (James 和 Jiefeng, 1999), 但这类方法有时找到的解离最优解差的很远。

### 2. 两阶段法 (Two-phase Algorithm)

学者们通过对构造算法的研究, 认为由构造算法求得的解可以被进一步改进, 为此提出了两阶段法。第一阶段得到一可行解, 第二阶段通过对点的调整, 在始终保持解可行的情况下, 力图向最优目标靠近, 每一步都产生另一个可行解以代替原来的解, 使目标函数值得以改进, 一直继续到不能再改进目标函数值为止 (Gillett 和 Miller, 1974; Christofides、Mingozi 和 Toth, 1979; Fisher 和 Jaikumar, 1981; Renaud、Boctor 和 Laporte, 1996; Bramel 和 Simchi-Levi, 1995)。一般第一阶段常用构造算法, 在第二阶段常用的改进技术有 2-opt (Lin, 1965)、3-opt (Lin Kernighan, 1973) 和 Or-opt (Or, 1976) 交换法, 这是一种在解的邻域中搜索, 对初始解进行某种程度优化的算法, 以改进初始解。

一些基于数学规划的算法也属于两阶段法, 把问题直接描述成一个数学规划问题, 根据其模型的特殊构形, 应用一定的技术 (如分解) 进行分划, 进而求解已被广泛研究过的子问题 (Fisher 和 Jaikumar, 1981)。

在两阶段法求解过程中,常常采用交互式优化技术,把人的主观能动作用结合到问题的求解过程中,其主要思想是:有经验的决策者具有对结果和参数的某种判断能力,并且根据知识直感,把主观的估计加到优化模型中去。这样做通常会增加模型最终实现并被采用的可能性。

两阶段法是目前成果最丰富、应用最多的一类方法。每一种方法讨论的情况不尽一致,适用范围也不完全相同。

### 3. 不完全优化算法 ( Incomplete Optimization Algorithm )

以启发式准则来代替精确算法中的决策准则,以缩小解搜索的空间 ( Christofides 、 Mingozzi 和 Toth, 1979 等)。

### 4. 改进算法 ( Improvement Methods )

从一初始解开始,通过对当前的解进行反复地局部扰乱 ( Perturbations ) 以达到较好的解。基于启发式的并行算法和一些称为亚启发式算法 ( Metaheuristics, Laporte & Osman, 1996 ) 的方法都属于此类 ( Cesar Rego, 1998; Gendrea 、 Lapore 和 Potvin, 1994 )。

用并行算法求解 VSP 还处于起步阶段, Altinkemer 和 Gavish (1991), Potvin 和 Rousseau (1993), Taillard (1993), Fiechter (1994) 等用并行算法求解了 VSP, 他们的并行算法都是基于一种启发式规则如节约算法、插入算法等等。由于并行算法要求条件较高,一般需要并行计算机效果才好,这在现实应用中很受限制。

亚启发式算法包括表搜索算法 ( Tabu Search )、模拟退火算法 ( Simulated Annealing )、遗传算法 ( Genetic Algorithm ) 和神经网络 ( Neural Networks ) 方法。

表搜索算法 ( Gendreau 、 Hertz 和 Laporte, 1994; Jiefeng 和 James, 1996; Duhamel、 Christophe 和 Potvin, 1997; Barbarosoglu, 1999) 和模拟退火算法 ( Osman, 1993; Alex Van, 1995 ) 在求解 VSP 中已取得了较好的效果 ( Osman, 1993; Laporte 和 Osman, 1996 )。但这些方法过于复杂,运算量大,涉及复杂的邻域转换和求解策略,在实际中不容易实现 ( Cesar Rego, 1998; James 和 Jiefeng, 1999; Rochat 和 Taillard, 1995 )。

遗传算法在旅行商问题中的应用已有一定成果 ( Oliver 和 Smith, 1989; Fogel, 1993 ), 已有文献利用遗传算法对 VSP 进行求解 ( Berthold, 1995; Malmberg, 1996; Ochi 和 Luiz 1998 ), 但仅仅是开始尝试阶段,还有待于进一步的研究。

神经网络的发展,也促进了 TSP 的较好解决 ( Wilson, 1988 ), 但在 VSP 中的应用还刚刚开始 ( Nygard K. 、 Juell P. 和 Kadaba N, 1990; Toriki 和 Abdolhamid, 1997 )。

上面这几类启发式算法,其划分常不是绝对的,有的方法同属于好几类。由于 VSP 问题的复杂性,使各种算法的比较很困难。

### 1.2.6 计算复杂性

计算复杂性的研究是离散优化的重要内容之一,通过对复杂性的研究,可以确定求解算法的研究方向。

VSP被提出后,有不少专家和学者对它的计算复杂性进行了研究。Lenstra 和 Rinnooy Kan 在 1981 年的文章中,对 VSP 的计算复杂性进行了综述和分析:Karp (1972) 证明了旅行商问题 (Traveling Salesman Problem, 简称 TSP) 和有向旅行商问题 (Directed Traveling Salesman Problem, 简称 DTSP) 为 NP 难题, Papadimitriou (1976) 证明了多重旅行商问题 (Multiple Traveling Salesmen Problem, 简称 MTSP) 为 NP 难题, Edmonds 和 Johnson (1973) 证明了中国邮递员问题 (Chinese Postman Problem, 简称 CPP) 的复杂性为  $o(v^3)$ , Edmonds 和 Karp (1972) 证明了有向中国邮递员问题 (Directed Chinese Postman Problem, 简称 DCPP) 的复杂性为  $o(v^3 \log a)$ , Frederickson 等人证明了多重中国邮递员问题 (Multiple Chinese Postmen Problem, 简称 MCPP) 和多重有向中国邮递员问题 (Multiple Directed Chinese Postmen Problem, 简称 MDCPP) 为 NP 难题, Lenstra 和 Rinnooy Kan (1976) 证明了乡村邮递员问题 (Rural Postman Problem, 简称 RPP) 和有向乡村邮递员问题 (Directed Rural Postman Problem, 简称 DRPP) 为 NP 难题, Dantzig 和 Fuikerson (1954) 证明了有确定开始时间的 VSP 的复杂性为  $o(n^3)$ 。Savelsbergh (1985) 和 Solomon (1986) 提出有时间窗约束的 VSP 比一般的 VSP 更复杂。Savelsbergh (1985) 提出有时间窗约束的 VSP 不仅问题本身是 NP 难题,甚至在车队大小固定时,找一个可行解也是 NP 难题。Lenstra 和 Rinnooy Kan 还证明了几乎所有类型的 VSP 均为 NP 难题。

国内对 VSP 的研究相当少,主要研究对象是 TSP、CPP、DCPP 等,系统性研究还尚未见到。李大卫等 (1998) 以 TSP 的最近距离启发式为基础,通过设置评价函数来处理时间窗约束,求解了简单的 VSP。张震 (1995) 针对单车场满载问题,提出了考虑运输行程约束的优化方法。遗传算法和神经网络方法对简单 TSP 的求解取得了一定成果 (靳番等, 1996; 赵赫等, 1998;)。蔡延光等 (1998) 应用并行表搜索算法和模拟退火算法对满载问题进行了求解,但只针对简单情形。本书作者及其合作者对该问题进行了近十年的长期跟踪,发表了相关论文 30 多篇,较为系统地研究了各类问题。

## 1.3 货运车辆优化调度问题的分类

前已述及,货运车辆优化调度问题的分类法很多,由于配送管理工作情况复杂,为加强货运组织的科学管理,建立配送车辆优化调度系统,必须对涉及到的有关情况进行

分析,为研究方便,本书以配送货运车辆为研究对象,根据任务的性质将货物运输分成以下几类,并分别进行研究。

### 1.3.1 非满载车辆优化调度问题

当货物量小于车辆容量时,用一辆车执行任务,存在不满载运行情况,调度时可安排一辆车执行多项任务,即在一辆车上同时装载有不同货主的货物。该类问题根据任务特征又分为下面两类。

#### 1. 集货或送货的车辆优化调度

所有任务全是集货点(装货点)或全是送货点(卸货点),车辆空车从车场(Depot)出发,去各货主处装满货后返回车场,或是车辆装满货物去各货主处卸货后返回车场。这种情况下,货运量总数不超过车辆容量的任务可用一辆车来完成,又称为有容量限制的TSP问题。这里车场泛指车辆发出地,可以是车库、货场、仓库、配送中心等,后面不再加以说明。

#### 2. 集货和送货一体化的车辆优化调度

每一项货运任务都有自己的集货点和送货点,车辆从车场出发,去某一任务的集货地点装货后运至其送货地点卸货(即装卸混合),完成所有任务后返回车场。根据货运量的大小,又可分为下面两种情况。

##### (1) 较大货物量的非满载车辆优化调度

货运任务量较大(一般大于车辆容量的二分之一),或是各任务的集货点和送货点均比较分散,这时,货物难于混装,车辆完成一项任务后,再空驶至下一任务的集货点去完成下一项任务……,车辆如此交替重驶和空驶,直至完成全部任务后返回车场。

##### (2) 小货物量的非满载车辆优化调度

货运任务量与车辆容量相比较小(一般指小于车辆容量的二分之一),而且一些任务的集货点和(或)送货点比较集中,此时可考虑由一辆车在几个集货点装货(在货物可混装或车辆有分割仓的情况下),然后到几个相应的送货点卸货。

### 1.3.2 满载车辆优化调度问题

当货主的货物量不小于车辆容量时,执行每项任务需要的车辆可能不只一辆,车辆为完成任务,需满载运行。根据任务特征,该类问题分为下面两类。

#### 1. 集货或送货的车辆优化调度

载货车辆由车场出发到几个集货点装货后返回车场(仅有装货),或是车辆出发到几个送货点卸货(仅有卸货)后返回车场。

##### (1) 单个车场

由于每项任务的货物量较大，每辆车只能去执行一项任务，这时，车辆直接从车场到任务点装货（或卸货）后返回车场。车辆可按点对间的最短路线（广义的）行驶即可，而无需安排行车线路。

## (2) 多个车场

从多个车场出发的车辆到多个任务点执行任务，这种情况即为运筹学中一般的运输问题。

## 2. 集货和送货一体化的车辆优化调度

每一项货运任务都有自己的集货点和送货点，各项任务需要的车辆数不一致，这时需要对车辆进行优化调度，确定每辆车的行车线路。本书所讨论的满载车辆优化调度指该种情况，后面不再专门说明。



## 第二章 基本理论

### 2.1 组合优化与计算复杂性

#### 2.1.1 组合优化问题

在有限个可行解集合中找出最优解，这类问题称为组合优化问题。组合优化问题是指在离散的、有限的数学结构上，求满足给定约束条件的目标函数最优值（最大值或最小值）的问题，也称离散优化问题，该类问题都与序有关。

一个组合优化问题  $\Pi$  由三部分组成：

- (1) 实例集  $D$ ;
- (2) 对于一个实例  $I \in D$ ，有一个有限的非空集合  $S(I)$ ， $S(I)$  的元素称为  $I$  的可行解；
- (3) 对于每一个可行解  $\sigma \in S(I)$ ，有一个正整数  $c(\sigma)$ ，称为  $\sigma$  的值。

当  $\Pi$  是最小化问题（最大化问题）时，如果  $\sigma^* \in S(I)$  使得对于所有的  $\sigma \in S(I)$ ，有

$$c(\sigma^*) \leq c(\sigma) \quad (\text{或 } c(\sigma^*) \geq c(\sigma))$$

则称  $\sigma^*$  是  $I$  的最优解。 $c(\sigma^*)$  称作  $I$  的最优值，记为  $OPT(I)$ 。

不失一般性，只要改变目标函数的符号，就可实现最小化问题和最大化问题的相互转换。

在管理科学、计算机科学、电子工程、工业工程和交通运输等科技领域内，存在着大量组合优化问题，其中不少问题随着规模的增加，计算量呈指数增长，它们属于 NP 完全问题或 NP 难题。