

动态车队调度问题的 模型及优化控制方法研究

李冰 著

动态车队调度问题的模型 及优化控制方法研究

李冰 著



机械工业出版社

本书系统地研究了动态车队调度的优化控制问题。全书共分6章,第1章对动态车队调度问题的基本情况进行系统介绍,第2章分析了动态车队调度作业过程,第3章研究了单车型动态车队调度的优化控制问题,第4章研究了多车型动态车队调度的优化控制问题,第5章研究了随机动态车队调度的优化控制问题,第6章对本书的研究成果进行总结并对进一步的研究工作进行展望。

本书可供管理科学与工程、交通运输工程、计算机科学和计算数学等专业的高校师生、研究人员、工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

动态车队调度问题的模型及优化控制方法研究/李冰著. —北京:机械工业出版社,2011.7

ISBN 978-7-111-35236-5

I. ①动… II. ①李… III. ①车辆调度—研究 IV. ①U492.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第130288号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:李万宇

版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011年9月第1版第1次印刷

148mm×210mm·5.25印张·151千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-35236-5

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务 策划编辑:(010)88379732

社服务中心:(010)88361066 网络服务

销售一部:(010)68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

开展货物运输作业的优化组织工作是降低运输成本、提高运输效率的重要手段和关键。货运车辆作为货物运输的直接载体，同时也是货物运输作业过程中最重要的可支配资源。运用所掌握的车辆资源合理安排组织运输任务，消除对流、迂回、重复等不合理现象，实现车辆的优化组合与配置，并达到以最少的资源投入获得最优经济效益的目的，是整个货物运输优化组织工作的核心内容。车队调度问题的研究就是在这种背景与需求下提出的，通过对货运车辆的科学有效调度，可以大大提高车辆利用率，实现货物运输科学化。同时，对车队调度问题展开系统化的研究工作也是构建高效的货物运输组织体系、建立现代调度指挥系统、实现物流集约化和科学化、发展智能交通运输系统的基础与关键。

本书剖析了存在于已有研究工作中的不足，并从车辆调配影响因素、车辆调配形式、车辆调配方案制订和问题的动态特性四个方面对动态车队调度问题的基本情况进行详尽的论述。为了能够进一步深入了解问题的运作机制，本书系统分析了动态车队调度的作业过程。在上述工作的基础上，将动态车队调度问题分为单车型确定性动态车队调度问题、多车型确定性动态车队调度问题和随机动态车队调度问题三大类，并从其模型建立与算法构造的角度出发展开系统化的研究工作。

对于单车型确定性动态车队调度的优化控制问题，利用函数逼近技术构造一个特殊的线性函数来近似目标函数中的未来时段部分，从而建立问题的时空分解模型，把问题从时间和空间上分解为多个单时段单节点的车辆调配问题，并根据单时段单节点车辆调配问题的特点设计简单的排序求解方法。

对于多车型确定性动态车队调度的优化控制问题，分析了车型和任务的匹配问题，并在单车型问题模型的基础上对其进行改进，

使其能够处理多车型问题，同时也设计了专门的方法解决多车型的单时段单节点车辆调配。

对于随机动态车队调度的优化控制问题，分析了问题的随机特性，并根据未来需求的概率分布函数，设计期望车辆数的估计方法、车辆选择概率的确定方法和车辆期望收益值的确定方法，从而确定线性替代函数斜率。构造线性替代函数来逼近目标函数中的期望函数部分，使问题分解为多个单时段单节点问题。

由于作者水平有限，书中难免存在不当或错误之处，恳请同行、读者批评指正。

李冰

2011年3月

目 录

前言

| | |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 问题的提出 | 1 |
| 1.2 动态车队调度问题的基本情况 | 3 |
| 1.2.1 车辆调配的影响因素 | 3 |
| 1.2.2 车辆调配形式 | 4 |
| 1.2.3 车辆调配方案制订 | 5 |
| 1.2.4 问题的动态特性 | 6 |
| 1.3 车队调度问题的分类 | 6 |
| 1.3.1 静态车队调度问题 | 7 |
| 1.3.2 确定性动态车队调度问题 | 7 |
| 1.3.3 随机动态车队调度问题 | 8 |
| 1.3.4 由动态车队调度问题所产生的相关问题 | 8 |
| 1.4 国内研究现状 | 10 |
| 1.5 国外研究现状 | 11 |
| 1.5.1 静态车队调度问题的研究 | 11 |
| 1.5.2 确定性动态车队调度问题的研究 | 12 |
| 1.5.3 随机动态车队调度问题的研究 | 13 |
| 1.5.4 动态空集装箱调度问题的研究 | 14 |
| 1.6 问题研究的难点 | 14 |
| 1.7 存在的问题 | 15 |
| 1.8 主要研究内容 | 18 |
| 第 2 章 动态车队调度的作业过程分析 | 20 |
| 2.1 车队调度的节点内作业过程分析 | 21 |

| | | |
|------------|----------------------------|-----------|
| 2.1.1 | 节点内作业过程的特点 | 21 |
| 2.1.2 | 新产生任务的分组编排过程 | 23 |
| 2.1.3 | 出发队列的组成过程 | 24 |
| 2.1.4 | 任务发送过程 | 25 |
| 2.2 | 车队调度的节点间运行过程分析 | 26 |
| 2.3 | 车队调度作业过程的系统状态分析 | 27 |
| 2.4 | 问题研究所采用的相关技术 | 29 |
| 2.4.1 | 最优化问题 | 29 |
| 2.4.2 | 多阶段决策过程 | 31 |
| 2.4.3 | 离散、定期多阶段决策过程的动态规划方法 | 34 |
| 2.4.4 | 函数逼近问题 | 37 |
| 第3章 | 单车型确定性动态车队调度的优化控制问题 | 44 |
| 3.1 | 问题的基本情况 | 44 |
| 3.1.1 | 引言 | 44 |
| 3.1.2 | 问题的约定 | 45 |
| 3.1.3 | 问题的变量 | 46 |
| 3.1.4 | 问题的描述 | 48 |
| 3.1.5 | 问题的线性规划模型 | 49 |
| 3.1.6 | 确定性动态车队调度问题的求解思路 | 50 |
| 3.2 | 问题的时空分解模型 | 51 |
| 3.2.1 | 模型的动态规划形式 | 51 |
| 3.2.2 | 总收益函数分析 | 52 |
| 3.2.3 | 总收益函数的线性逼近函数设计 | 56 |
| 3.2.4 | 约束条件的调整 | 57 |
| 3.2.5 | 时空分解模型 | 58 |
| 3.3 | 单时段单节点车辆调配问题 | 59 |
| 3.3.1 | 单时段单节点车辆调配模型 | 59 |
| 3.3.2 | 单时段单节点车辆调配问题分析 | 59 |
| 3.3.3 | 车辆调配方案制定 | 60 |
| 3.4 | 时空分解模型的求解过程分析 | 61 |
| 3.4.1 | 解向量的求解过程 | 61 |
| 3.4.2 | 状态向量的更新过程 | 62 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 3.4.3 求解过程分析 | 62 |
| 3.5 车辆供给量变量的影响分析 | 63 |
| 3.5.1 车辆使用的收益分析 | 63 |
| 3.5.2 车辆供给量变量的影响分析 | 65 |
| 3.6 控制向量的确定与更新 | 72 |
| 3.6.1 任务导数的确定 | 72 |
| 3.6.2 车辆供给导数的确定 | 74 |
| 3.6.3 空移车数上限导数的确定 | 78 |
| 3.6.4 控制向量的确定与更新过程 | 79 |
| 3.7 算法设计 | 81 |
| 3.7.1 算法设计思路 | 81 |
| 3.7.2 算法流程 | 81 |
| 3.8 实例分析 | 82 |
| 3.8.1 实例设计 | 83 |
| 3.8.2 算法运行过程及结果演示 | 85 |
| 3.9 小结 | 90 |
| 第4章 多车型确定性动态车队调度的优化控制问题 | 91 |
| 4.1 多车型问题的基本情况 | 91 |
| 4.1.1 问题的约定 | 91 |
| 4.1.2 问题的变量 | 91 |
| 4.1.3 问题的描述 | 93 |
| 4.1.4 问题的线性规划模型 | 94 |
| 4.2 多车型问题的模型改进 | 95 |
| 4.2.1 模型的动态规划形式 | 95 |
| 4.2.2 线性逼近函数设计和约束条件调整 | 95 |
| 4.3 多车型问题的单时段单节点车辆调配 | 97 |
| 4.3.1 单时段单节点车辆调配模型 | 97 |
| 4.3.2 单时段单节点的车辆调配方案制订 | 97 |
| 4.3.3 状态向量的更新 | 100 |
| 4.4 多车型问题的控制向量确定与更新 | 100 |
| 4.4.1 车辆供给导数的确定 | 100 |
| 4.4.2 空移车数上限导数的确定 | 104 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 4.4.3 控制向量的更新过程 | 104 |
| 4.5 算法流程设计 | 105 |
| 4.6 实例分析 | 106 |
| 4.6.1 实例设计 | 106 |
| 4.6.2 算法运行过程及结果演示 | 109 |
| 4.7 小结 | 116 |
| 第5章 随机动态车队调度的优化控制问题 | 117 |
| 5.1 随机问题的基本情况 | 117 |
| 5.1.1 问题的约定 | 117 |
| 5.1.2 变量说明 | 118 |
| 5.1.3 问题的随机性分析 | 119 |
| 5.1.4 问题的描述 | 119 |
| 5.2 随机问题模型的建立与改进 | 120 |
| 5.2.1 模型的建立 | 120 |
| 5.2.2 总期望收益函数的处理 | 122 |
| 5.2.3 模型的改进 | 124 |
| 5.3 随机问题的线性逼近函数设计 | 124 |
| 5.3.1 线性替代函数斜率的确定 | 124 |
| 5.3.2 期望车辆数的估计 | 124 |
| 5.3.3 车辆期望收益值的确定 | 125 |
| 5.3.4 车辆选择概率的确定 | 126 |
| 5.4 随机问题的单时段单节点车辆调配 | 129 |
| 5.4.1 模型的建立与求解 | 129 |
| 5.4.2 状态变量的更新 | 130 |
| 5.5 算法流程设计 | 130 |
| 5.6 实例分析 | 131 |
| 5.6.1 实例设计 | 131 |
| 5.6.2 算法运行过程及结果演示 | 134 |
| 5.7 小结 | 137 |
| 第6章 结论与展望 | 139 |
| 6.1 主要研究成果 | 140 |

| | |
|-------------------|-----|
| 6.2 主要创新点 | 141 |
| 6.3 研究工作的展望 | 142 |
| 参考文献 | 144 |

第 1 章 绪 论

1.1 问题的提出

货物运输是整个物流运作体系的重要组成部分，在整个物流系统中起着不可或缺的重要作用。无论在生产物流还是销售物流中，原材料的采购、入库储存、流通加工、出库配送等环节都离不开运输，废弃物流和回收物流也同样离不开运输。货物运输过程本身并不改变产品的实物形态，也不增加其数量，而是解决物资在生产地点和消费地点之间的空间距离问题，创造商品的空间效用，实现其使用价值，满足社会需要。货物运输在物流系统中的作用可以归纳为如下三点。

1. 货物运输是物流业务的中心活动

运输在物流中的任务是解决物品在空间上的位移问题，而一切货物的移动都离不开运输这一环节。又因为流通过程本身是依靠以信息系统为支撑的运输系统来完成，因此人们常把运输视为物流的代名词。运输代表了物流的主要业务活动，是物流的核心环节，没有运输就谈不上物流。但仅依靠运输也不可能满足当今社会经济发展所产生的日趋复杂和多样化的流通服务要求，从这个意义上来说，运输是物流业务的中心活动，是物流的有机组成部分。

2. 货物运输是物流业务中最大型、最复杂的作业环节

在物流系统的众多复杂操作环节中，最大型和最困难的往往出

现在对物流系统的管理过程中，特别是对货物运输作业的设计和 control 问题。因为在货物运输作业的设计和 control 过程中，不但要记录操作过程的变化情况，同时也要记录组成其变化过程的复杂规律。

3. 货物运输费用影响着物流效益

在我国有一半的物流成本消耗在货物运输环节上，所以运输合理化在很大程度上影响着物流效益。在物流业务活动过程中，直接耗费的活劳动和物化劳动所支付的费用主要包括运输费、保管费、包装费、装卸搬运费、运输损耗等，其中运输费用所占比重最大，是影响物流效益的一项主要因素。现代物流以运输技术和信息技术为基础，在满足流通需求的同时，追求将服务全过程的系统总成本降至最低水平。在物流各环节中，如何搞好运输工作，积极开展合理运输，不仅关系到物流时间，也影响到物流费用。因此在经济发达的国家，物流业和运输业常常结合在一起，较大的物流企业都拥有自己的运输手段——汽车、船队等，或者是物流企业和运输企业都属于同一集团，其目的是使物流业务能够得到运输的保障。

由于货物运输在整个物流系统中的重要作用，使得对货物运输作业进行优化组织成为降低物流成本、提高物流效率的重要手段和关键。货物运输优化组织的目的就是运用所掌握的各种资源合理安排运输任务，消除对流、迂回、重复等不合理现象，从而以最少的资源消耗来完成最多的运输任务。

货运车辆是货物运输的直接载体，同时也是货物运输作业过程中最重要的可支配资源。在庞大的运输网络中，为了最大限度地满足在不同时段不同地域上所产生的运输任务需求，并达到以最少的资源投入获得最优经济效益的目的，需要对所掌握的数量有限的货运车辆资源进行有效管理，制定出合理的车队调度方案，这也正是铁路、公路、水运、航空等运输部门和各大物流企业，在实际工作当中所直接面对且亟待解决的难题。

在对由一定数量的车辆所组成的车队进行管理的过程中，必然会引起一定规模的车辆资源变动，这种变动既包括时间上的也包括空间上的。车辆的变动过程不仅会产生费用，同时也带来了利润。如何合理地根据任务需求进行车队调度，以最少的劳动消耗，实现

最优的经济效益，是车队调度的最终目标。通过对货运车队的有效管理，可以提高车辆利用率，优化货物运输组织，从而提高货物运输经济效益、实现货物运输科学化。由此可见，对车队调度问题进行系统研究，是建立高效的货物运输组织体系的关键，同时也是实现物流集约化和科学化、建立现代调度指挥系统、发展智能交通运输系统的基础。

车队调度 (Fleet Scheduling) 工作不仅要能够完成空间上的车辆分配，同时还要制定出非空间上的任务发送计划，即为各项运输任务指派车辆。这里将空间上的车辆分配和非空间上的任务发送计划统称为车队调度，而车队调度工作的实质就是完成服务周期内各时段的车辆调配。由于在进行某时段的车辆调配工作时不能仅考虑本时段的经济效益，同时还要考虑到对未来时段车辆调配工作的影响，所以问题的研究是动态的，因此本书选择动态车队调度问题 (Dynamic Fleet Scheduling Problem) 作为研究对象，对其展开系统的研究与探讨。

1.2 动态车队调度问题的基本情况

动态车队调度问题是指在一定长度的服务周期内，管理由一定数量的运输车辆所组成的车队，对其进行合理调配，在满足一定约束的条件下（如车辆的型号要求、运输任务的类型要求、运输任务的时间窗要求、运输任务的产生是确定的还是随机的等），完成运输网络中各时段各节点处的运输任务，从而达到收益最大或成本最小的目标^[1,2]。下面对动态车队调度问题的基本情况进行介绍。

1.2.1 车辆调配的影响因素

服务周期被分为若干个任务产生时段，在每个任务产生时段内，运输网络中各节点处都会产生运输任务，从而形成一个个不同的任务分布网络。任务一旦出现，就需要已经分配到任务所在地的车辆来完成该任务，所以在每个时段内都要即时制订出相应的车辆调配方案。由于服务周期内各任务产生时段都会有新的运输任务产生，

所以在进行某时段的车辆调配时不能仅考虑本时段的任务完成程度，而且还要考虑未来时段的任务产生情况。因此在进行车辆调配时要综合考虑以下三个方面的因素：

- 1) 本时段的任务分布情况。
- 2) 本时段的车辆分布情况。
- 3) 未来各时段的任务分布情况。

服务周期内某时段的运输任务和车辆分布情况如图 1-1 所示。

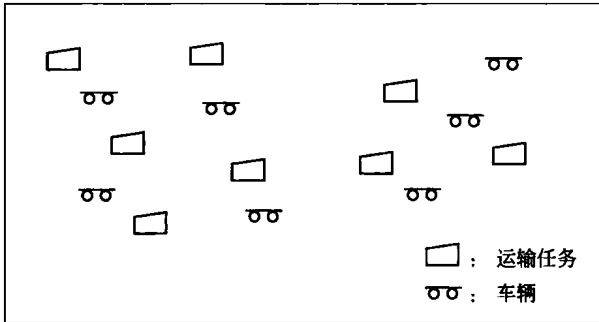


图 1-1 运输任务和车辆的分布示意图

1.2.2 车辆调配形式

车辆的任務就是裝載貨物並把其從產生地運送到目的地。但由於車輛數和任務數並不一定平衡，所以可能會出現車輛數不足或剩餘的情況，對於沒有分配到任務的車輛要根據未來時段的任務需要或被調往別處或原地停留。由此可知，車輛的調配形式有三種，即載貨移動、空車移動和原地駐留。載貨移動是指車輛在車輛所在地裝載運輸任務，把任務運往目的地，並在目的地卸載任務；空車移動是指車輛為滿足某地的運輸需求，從車輛所在地不裝載任何運輸任務，空車發往需求所在地；原地駐留是指車輛既不進行載貨移動，也不進行空車移動，而是停留在車輛所在地直到下一時間段。

1.2.3 车辆调配方案制订

制订车辆调配方案是针对服务周期内各时段各节点而言，首先根据上一时段各节点处的车队调度方案推算出本时段各节点处的车辆分布情况，然后根据所得出的本时段本节点的车辆分配数，并考虑本时段本节点的任务产生情况和未来各时段各节点的任务产生情况，为本时段本节点处的各运输任务指派车辆。由于本节点处的车辆数和任务数不一定平衡，所以车辆的调配形式可能会出现上述的三种情况。如果车辆调配形式是载货移动，要确定车辆装载的具体是哪项运输任务；如果调配形式是空车移动，要确定车辆空移的目的地。服务周期内某时段某节点处的车辆调配方案如图 1-2 所示。

由图 1-2 可以看出，各地区内的运输任务数和车辆数并不完全一致，例如地区 A 分配有一车辆却无运输任务，而在地区 B 有两项运输任务但只分配了一辆车，而正是由于这种不平衡性的存在，造成了车辆调配形式的多样化。

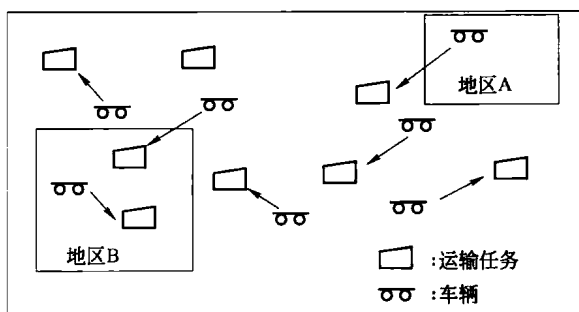


图 1-2 车辆调配示意图

在制定各时段的车辆调配方案时，不能只从本时段的收益最大化出发，仅把本时段的运输任务和车辆分布情况作为方案制订的依据，而应该把整个服务周期内总的收益最大化作为目标，并在对未发生的运输任务分布进行预测的基础上，制订本时段的车辆调配方案，从而使所求出的问题解跳出局部最优的陷阱，达到整体最

优^[1,2]。

1.2.4 问题的动态特性

问题的动态特性主要体现在以下两点：

1) 本时段的车辆调配方案直接决定下一时段的车辆分布情况，从而影响下一时段的车辆调配。

2) 制订本时段的车辆调配方案时，不仅要考虑本时段的任务分布情况，同时还要考虑未来各时段的任务分布情况。

1.3 车队调度问题的分类

车队调度问题的研究是运输行业和物流企业在进行货物运输组织工作过程中所产生的，所以问题的研究同生产实践保持着密切的联系。在不同的货物运输作业现场，面对不同的货物运输要求，所需要进行的车队调度组织工作也就有所不同。总的来说，影响车队调度问题的因素主要来自于以下五个方面：

1. 车辆型号要求

车队中所有车辆的型号是否一致，如果不一致，又包括哪几种型号。

2. 运输任务类型要求

车队所要完成的运输任务包括几种类型。

3. 运输任务时间窗要求

有些运输任务，由于自身的特殊性质，要求任务一旦出现就必须立即发送，如果不能得到即时发送的话该任务就会自动消失；而对于大多数运输任务来说，都具有一定长度的服务时间范围，只要在时间规定的范围之内完成都可以。

4. 运输任务性质

在对车队进行动态管理的过程中，未来时段未发生的运输任务会对本时段的车辆调配方案制订产生影响。在某些情况下，服务周期内各时段的运输任务可以完全准确预知（确定性）；而某些情况下服务周期内各时段的运输任务只可以部分预知或完全不可预知（随

机性)。

5. 车辆和运输任务匹配情况

不同类型的运输任务可能会对运载车辆提出不同的要求。

面对车队调度问题的众多影响因素, 根据不同的应用背景要求, 从不同的角度入手对问题展开研究, 从而产生了不同的研究分支。这里从运输任务性质的不同出发, 对车队调度问题进行分类分析。

1.3.1 静态车队调度问题

早期对车队调度的研究主要集中在静态问题的研究上, 它是对车队调度问题的最大简化, 只考虑在某时段内如何组织车辆调配才能够实现本时段的收益最大化, 而没有考虑本时段的车辆调配对未来的影响。静态问题的数学模型为一简单的分配模型, 只要了解运输网络中的车辆分布和任务分布情况, 利用常规的网络算法就可以很容易地进行求解。

使用静态车队调度模型解决车队调度问题, 容易导致决策错误, 其不足之处主要存在于以下三点:

1) 静态问题中的车辆调配形式只有两种, 即载货移动和原地驻留, 而不考虑空车移动方式, 这与事实不符。

2) 静态问题只考虑了如何进行车辆调配, 才能够更好地完成本时段的各项运输任务, 而没有考虑本时段的车辆调配对未来各时段车辆调配工作所带来的影响。

3) 静态问题是以服务周期内本时段的收益最大化为目标, 而不是以整个服务周期的总收益最大化为目标。

1.3.2 确定性动态车队调度问题

静态车队调度问题中所存在的诸多不足为静态模型的应用与发展带来了极大的限制。动态车队调度问题的研究弥补了静态问题的致命缺憾, 把车队调度问题引入了一个新的研究领域。同静态问题不同, 动态车队调度问题在制订某时段的车辆调配方案时考虑了其对未来各时段的影响, 但未来各时段的任务需求显然是无法预先完全确定的, 这为动态问题的研究带来了麻烦。为了问题研究的方便,