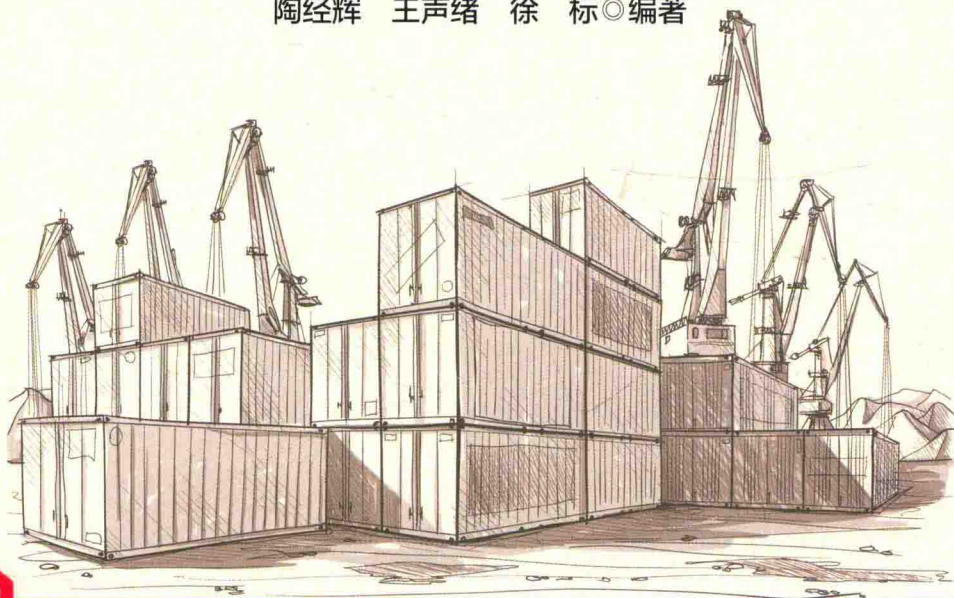


集装箱港口

智能化管理优化策略

陶经辉 王声绪 徐 标◎编著



中国财富出版社
CHINA FORTUNE PRESS

集装箱港口智能化管理优化策略

陶经辉 王声绪 徐 标 编著

中国财富出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

集装箱港口智能化管理优化策略 / 陶经辉, 王声绪, 徐标编著. —北京: 中国财富出版社, 2016. 9

ISBN 978 - 7 - 5047 - 5286 - 4

I. ①集… II. ①陶… ②王… ③徐… III. ①集装箱码头—港口管理—运营管理 IV. ①U656. 106

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 303033 号

策划编辑 寇俊玲

责任编辑 李彩琴

责任印制 何崇杭

责任校对 杨小静 张营营

责任发行 敬 东

出版发行 中国财富出版社

社 址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼 邮政编码 100070

电 话 010 - 52227568 (发行部) 010 - 52227588 转 307 (总编室)

010 - 68589540 (读者服务部) 010 - 52227588 转 305 (质检部)

网 址 <http://www.cfpress.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京九州迅驰传媒文化有限公司

书 号 ISBN 978 - 7 - 5047 - 5286 - 4/U · 0102

开 本 710mm × 1000mm 1/16 版 次 2016 年 9 月第 1 版

印 张 10.75 印 次 2016 年 9 月第 1 次印刷

字 数 187 千字 定 价 46.00 元

版权所有 · 侵权必究 · 印装差错 · 负责调换

前 言

我国早在“十一五”发展规划中就已经明确提出了要大力发展现代服务业，并首次将现代物流业单列一节在规划中明确提出。我国许多省市已经把现代服务业确定为国民经济发展中的重中之重，并把现代物流业放在了突出的位置。而发展集装箱港口是发展我国现代物流的关键。目前，我国集装箱港口吞吐量已经居世界首位，我国集装箱港口的发展对现代服务业的发展乃至整个国民经济建设和社会发展都具有十分重要的作用。

目前对于集装箱港口的调度操作主要是作业线的调度模式，这种调度模式所导致的作业效率低下以及高能耗等弊端已经十分明显，而面向港口全场调度所能产生的高效率 and 低能耗已达成共识，符合碳减排的发展趋势，因此国内外学者正在积极探索面向全场调度的理论研究。但由于面向全场调度的模型构建需要考虑港口全场范围的资源，因此，全场调度规模大，需要考虑的因素多，模型的复杂程度高，其算法的复杂程度也相应较高。基于上述原因，我国绝大多数集装箱港口的管理调度系统以作业线调度为主，作业效率低，能耗高。传统的作业线调度模式是静态配置运输车辆，即对于一条靠泊船的作业任务，通常首先确定若干台桥吊，若干集卡固定配置给一台桥吊，即确定了一条作业线。由于各桥吊装卸工作量不相同，造成集卡忙闲不均的现象出现。固定配置的集卡，也往往是重载送货，空载回程，造成运输资源的浪费。

本书主要从以下七个方面进行了研究。

一是对国内外关于集装箱港口拖车调度和堆场码放方面的研究文献做了梳理，综述了国内外目前关于集装箱港口拖车调度和堆场码放方面的研究成果。

二是针对国内外专家学者在这两个方面的研究，找出国内外在此领域研究的不同之处，以及相比之下国内在这两个方面研究的不足，为本书的研究



奠定理论基础。

三是在了解港口运作模式的基础上，作出合理假设，并以此建立本书的拖车全场调度的数学模型。在选择模型的目标函数时，根据实际运作中港口最重视的评价指标，以完成整个集装箱装卸时间和拖车空驶率作为模型的目标函数，符合港口的实际需要。

四是给出了一套有效的算法，该算法结合了遗传算法和 AutoMod 仿真模型，既保证了算法的有效性，又保证了算法的高速性。

五是建立了一个集装箱码头堆场箱位分配的优化模型，为集装箱码头节约堆场空间和提高装卸效率提供了一个有效的方法。

六是将启发式算法、禁忌搜索算法等用于集装箱堆场箱位分配优化这个问题，并结合 Flexsim 仿真软件，有一定的新意。

七是每次针对装卸或者进港的一批集装箱统一优化，区别于多数文献的每次对一个集装箱进行优化。

本书在写作过程中，参阅了大量的国内外文献，在此向有关文献的作者表示衷心感谢。该领域的研究内容非常广泛，本书还有许多方面未涉及，期望在今后的研究中取得突破。

由于作者才疏学浅，书中难免有不当和错误之处，切望专家、学者和同人不吝指正。

目 录

contents

1 绪 论	1
1.1 研究背景分析	1
1.2 研究意义	3
1.3 主要研究内容	3
2 国内外研究现状及存在的问题分析	5
2.1 集装箱港口拖车调度问题的研究状况	5
2.2 集装箱港口堆场箱位分配问题的研究状况	12
3 集装箱港口及运作	21
3.1 集装箱定义及类型	21
3.2 港口	27
3.3 集装箱港口	35
3.4 集装箱堆场	41
3.5 港口设备资源	51
3.6 堆场作业流程	55
4 优化算法及仿真工具	60
4.1 优化算法	60
4.2 仿真工具	71

5 集装箱港口拖车调度	82
5.1 问题提出与分析	82
5.2 模型假设	83
5.3 符号定义	83
5.4 模型建立	84
5.5 算法设计	87
5.6 算例分析	96
6 集装箱码头堆场箱位分配	103
6.1 集装箱堆场堆存空间分配问题的内容	103
6.2 基于作业量平衡的 block 间集装箱堆场空间资源配置模型	105
6.3 基于装卸总成本最低的堆场 bay 分配优化研究	122
7 集装箱港口管理优化对策	145
7.1 我国集装箱港口智能化管理现状	145
7.2 港口智能化管理中存在的一些问题	147
7.3 集装箱港口智能化管理策略	147
8 总结与展望	151
8.1 主要研究成果和结论	151
8.2 研究展望	152
参考文献	153
后 记	166

1 绪 论

1.1 研究背景分析

随着世界各国之间贸易壁垒的消除,以及经济全球化的兴起,全球范围内的远洋运输得到了突飞猛进的发展。而集装箱远洋运输正是因为其高效、标准化的巨大优势,从 20 世纪 50 年代出现以来,便逐步占据了国际海运的 60% 以上业务,部分航道的集装箱化比例甚至达到了 100%,集装箱运输将复杂而零星的小包件货物整批装入集装箱,经由水陆空进行不间断的联合运输,将货物从发货方直接运送到收货方手里,真正意义上实现了“门到门”的服务,极大提高了货物运输的效率,降低了运输成本,同时也减少了货物在运输过程中的损耗,也最大限度地满足了货主的需求。在这种大的经济环境下,世界各大主要的集装箱港口业务不断增大,吞吐量呈爆炸式增长。

中国拥有 1.8 万千米海岸线,11 万千米内河航道,承担着 9% 的国内贸易运输和 85% 以上的外贸货物运输,沿海沿江有 1460 多个商港。我国从改革开放以来,经济取得了突飞猛进的增长,全国各大港口的吞吐量也不断增长。到 2010 年,上海港已经取代了新加坡港成为世界最大的港口,年集装箱吞吐量达到 29068000TEU。另外,全球十大集装箱港口中国独占六席,包括上海港、香港港、深圳港、宁波港、广州港、青岛港。但是,目前我国港口还普遍存在着效率低下,服务不专业的问题。虽然一些大型集装箱港口已经具备了先进的设施设备以及通信系统。但总体来说,与国外大型的集装箱港口相比,无论是在调度有效性,信息化程度,还是服务规范性上都存在着比较大的差距。

由于集装箱具有运量大、运费较便宜和航道可以到达世界各个地区的特点,从而使集装箱运输成为国际贸易得以飞速发展主要交通方式。集装箱码头是往返于各个国家及地区之间的集装箱船停靠的场所,也是集装箱船进

行装卸作业的空间载体，更是连接海路联运的交通枢纽。因此，在集装箱运输服务中集装箱码头显得极其重要。到目前为止，伴随着经济的高速发展，我国已经成为世界上最重要的几大集装箱运输国之一，中国港口集装箱吞吐量已经超过美国，跃居世界第一。由于我国 85% 以上的进出口贸易依靠海运完成，且鉴于我国对外贸易结构的优化调整，我国港口的集装箱吞吐量将继续呈现高速增长的趋势。与此同时，我国也出现了一批集装箱吞吐量名列世界前茅的集装箱港口，如上海港、香港港。快速上升的集装箱运输市场使我国现有的不少集装箱码头出现了能力缺口，同时，由于近年来现代物流的发展，越来越多的客户要求货物运输能够实现门到门的服务，而门到门运输方式的实现需要无缝连接的运输链作为支撑。集装箱码头作为运输链上的一个重要环节，不仅要有足够的容量适应快速增加的货源需求，而且要有高水平的作业物流资源配置能力来快速响应现代物流发展的要求。

传统的运营管理机制、调度方法等已经满足不了自身业务发展的要求。为了提高港口的运营效率和客户服务水平，世界各地的港口和研究机构投入巨大的人力、财力等，研究如何提高港口的运作效率，以期获得更大的资本回报率。其中港内集装箱拖车的调度作为港内调度的重要组成部分，连接着岸边作业和堆场作业，正不断地引起港口管理人员和各位专家学者的重视。

再者，随着集装箱船舶向大型化、高速化方向的发展给港口的生产带来了巨大的压力。同时，随着集装箱港口的发展，港口间的竞争也变得越来越激烈，集装箱码头的发展速度已经逐渐跟不上集装箱码头集装箱的吞吐量增长速度，进而也就限制了集装箱运输的发展。经过相关了解，发现造成码头作业效率低下的主要原因之一就是集装箱堆场箱位分配的管理不当，而集装箱堆场管理的主要内容就是为集装箱堆场选择一个合适的箱位分配策略，即优化分配整个集装箱堆场的箱位分配。

目前，国内的集装箱堆场管理和国外先进的集装箱堆场管理存在较大的差距，甚至有些港口在内部物流系统的资源分配、任务指派和路径优化等方面还采用经验管理，服务的水平、效率和稳定性都有待进一步提高。因此，要在新一轮的港口竞争中取得优势，必须使港口的物流作业系统化、合理化，为船舶的装卸提供一个良好的物流作业平台，而实现这一目标的一个有效途径就是优化港内集装箱拖车的调度和实现集装箱后方堆场箱位的优化分配。本书将结合集装箱码头的实际情况和相关理论知识，利用相关优化算法和仿

真的方法对港内集装箱拖车的调度和集装箱堆场箱位分配策略进行研究,为码头管理人员就如何选择集装箱堆场箱位分配策略问题提出了一个新的思路。

1.2 研究意义

我国早在“十一五”发展规划中就已经明确提出了要大力发展现代服务业,并首次将现代物流业单列一节在规划中明确提出。我国许多省市已经把现代服务业确定为国民经济发展中的重中之重,并把现代物流业放在了突出的位置。港口是物流系统中的重要节点,是远洋、内河船舶以及内陆运输(公路和铁路)的枢纽,港口地区汇集有货主、货运代理、船东、船舶代理、商品批发零售商、包装公司、陆上运输公司、海关、商检等各种机构,港口不仅是不同运输方式汇集的关键节点,而且是各种信息、经济和技术的汇集点。现代物流的不断发展以及港口本身在现代物流中的重要地位,给作为物流平台的港口带来的压力日益增大。为了实现海路、陆路运输方式之间的无缝衔接,集装箱码头需按照现代物流的要求,合理配置港口内部作业物流资源,优化物流资源的运作,以不断提高港口内部物流网络运作效率,缩短船舶在港时间,提高港口竞争力。因此,发展集装箱港口是发展我国现代物流的关键。目前,我国港口集装箱吞吐量已经居世界首位,我国集装箱港口的发展对现代服务业的发展乃至整个国民经济建设和社会发展都具有十分重要的作用。

基于全场调度的集装箱港口智能化管理问题是一类复杂管理系统中的一个典型管理问题,由于目前蓬勃兴起的大型物流园区、大型物流中心、大型配送中心以及与各类交通运输方式相配套的大型货运站场内的装卸设备的管理流程与本书研究的集装箱港口的管理流程相类似,因此,本书研究的基于全场调度的数学模型和算法能够相应地解决一类复杂管理系统的全场调度问题,所研究的模型和算法具有一定的通用性。

1.3 主要研究内容

第1章主要介绍论文的研究背景、研究目的和意义,介绍了文章的结构框架。



第2章为文献综述，首先综述了国外目前关于集装箱港口拖车以及拖车调度方面的研究，得出国内对于这方面的研究，发现国内外在此领域研究的不同之处，以及相比之下国内的研究不足；然后，详细分析了国内外关于集装箱码头各类调度问题和箱位分配问题的研究现状，得出当前研究中存在的不足之处。

第3章详细介绍了集装箱码头系统和集装箱堆场的基本知识，其中详细介绍了集装箱码头系统；集装箱码头堆场结构和作业流程；堆场效率的评价指标；集装箱码头堆场中的决策。

第4章基于本书模型的特点，介绍了本书所采用的模型算法和仿真工具。

第5章是集装箱港口拖车调度优化策略研究，首先根据集装箱港口拖车全场调度的特点以及本书的调度模型，设计用遗传算法作为本书的解题算法，并设计了算法的总体流程；其次进行了算例分析，选取我国东部沿海某集装箱港口一段时间内的装卸船操作指令作为模型的输入，从而验证模型和算法的优化性。

第6章是集装箱码头堆场箱位分配优化策略研究，第一阶段，平衡各箱区作业量，使各龙门吊完工时间差最小，以缩短船舶的在港时间；第二阶段，在前一阶段得到各箱区分配箱量的基础上，以装卸搬运总成本最低为目标优化每条船的进出口箱在各箱区的分配。由于在对每条船进口箱和出口箱分配时考虑的优化目标不同，本书分别对其建立模型进行优化。对于进口箱来说，为减少提箱时的翻箱率，使龙门吊有更多的时间为内集卡服务，又增加一个模型使同一箱组集装箱尽量分配到同一箱区。最后用 Flexsim 仿真软件验证了模型的有效性。

第7章从分析我国集装箱港口智能化管理现状和存在的问题着手，提出了集装箱港口智能化管理的一些相关策略。

第8章是结论和展望，总结了文章所做的研究工作，指出了研究成果和研究中存在的不足，并展望了集装箱港口拖车调度和集装箱码头堆场箱位分配未来的研究方向。

2 国内外研究现状及存在的问题分析

2.1 集装箱港口拖车调度问题的研究状况

随着我国各大集装箱港口吞吐量的急速增长,如何提高港口的服务水平以提高自身的市场竞争力、如何提高投资回报率已经成为各集装箱港口最为关心的问题。国内外许多学者对集装箱港口日常运作中的诸多问题进行了研究,例如,岸吊的调度、场吊的调度、堆场的码放、拖车调度及拖车的路径规划等。近年来,由于信息技术在集装箱港口的应用和普及,使得复杂的算法成为可能,集装箱港口的研究也成为热点,研究的深度和广度取得了重大的突破。

集卡路径和堆场码放是集装箱码头普遍关心的问题,尤其是集卡运输作为港口内唯一的交通运输方式,其运作的效率将直接影响堆场码放的效率,进而影响到港口整体作业的运作效率。为了缩短船舶的停留时间,调整港内的运输是一条很好的途径。因此,对于港内集卡(拖车)运输方面的研究成为了近期研究的热点之一。

国内外许多学者为解决此类问题做了很多研究,但这些研究大多以当地集装箱港口的实际情况为依托,而国内外港口的实际情况之间存在较大的差别,由各自实际情况建立的模型、设计的算法和得出的结论会相应地有所区别。

国内外港口在许多方面存在差别。国外的港口自动化程度较高,很多港口运用了自动场吊(ASC)、自动导引车(AGV)等设备,并且由于有许多相关高新技术的支持,信息系统能对港内信息进行实时采集,自动生成堆场计划、设备资源的调度方案,对整个港口的运作进行实时调度。

2.1.1 国外研究现状

1. 拖车调度问题(VDP)研究综述

国外较早研究港口拖车调度问题的是 Gboal 和 Kasiilngma (1991),他们



给出了一个基于 AGVs 空闲时间和集装箱码头其他装卸设备等待时间的 AGVs 数量估算仿真模型, 求解在满足操作水平条件下的最小 AGVs 需求数量。

Chen. Y, et al. 提出的利用贪婪算法调度策略仅仅解决了单船作业序列问题, 没有研究多船多岸吊同时作业的问题, 因此存在不足之处。

Bish. E. K (2003) 在 Chen. Y, et al. 研究的基础上做了进一步的拓展, 他对多船、多岸吊同时作业的情况进行了深入的研究, 提出了运用变种贪婪算法解决两条船同时作业时的集卡调度策略问题, 该文章的仿真结果显示出较好的效果。

Kim K. H (2004) 和 Bae J. W 针对多船、多岸吊同时作业的情况建立了多目标规划模型, 模型的假设条件为: 同一船舶的岸吊之间的距离为 0, 忽略拖车的缓冲设置以及交通路线固定的设定, 港口中堆场与堆场之间以及堆场与泊位之间的距离固定且已知, 拖车的数量足够多, 确保岸吊的等待时间为 0; 模型将最短时间内完成任务作为主要的目标函数, 以拖车总行驶距离最短作为辅助函数。模型将船舶的装卸船任务序列作为输入, 运用整数规划的方法对模型进行优化。文章还进一步研究了装卸船同时作业的情况, 并建立了整数规划模型 (MVSL), 结果证明 MVSL 是 NP-hard 问题, 因此设计了一种启发式算法来对模型进行求解。

Kim K. H 和 Bae J. W 虽然运用了多目标规划和整数规划方法解决了多船、多岸吊同时作业的问题, 但该模型算法的实际计算量很大, 算法的收敛性也不理想, 需要的计算时间很长, 因此在港口中的实际应用效果并不理想。

Cheng 和 Sen (2005) 将 Vis 的最小网络流模型扩展, 用在拖车调度问题上, 他们设定了两个目标, 第一个目标是保证岸吊没有等待延迟, 第二个目标是最小化拖车在岸吊处的排队时间 (这个目标的设定是为了缓解岸边的车辆堵塞情况), 他们称此方法为 MCF (Minimum Cost Flow, 最小费用流)。由于 Vis 的最小网络流模型是确定型的, 即所有的作业任务时间是已知的 (Vis 假设所有岸吊没有延迟, 且执行操作的时间间隔是确定已知的), 为了能够解决任何不确定性 (延迟等), Cheng 和 Sen 提出了动态调度的方法, 即对于每个岸吊, 每隔 m 个任务就根据当前任务完成的时间重新预测未来任务的完成时间, 并在此基础上重新计算模型, 给出新的时间表和车辆调度方法。

最后他们通过仿真实验验证了在混合调度的情况时, MCF 算法的表现仍然令人满意, 优于 GD (贪婪算法)。与贪婪算法相比较, Cheng 的算法采用

了整数规划模型来进行拖车调度研究,提高了算法的优化能力,但模型是建立在对未来的预测基础之上的,因此对码头作业的稳定性要求较高。

Grunow, et al (2004) 与其他文章中假设一辆拖车每次只运送一个集装箱不同,研究了拖车每次可同时装载两个 20 尺集装箱或一个 40 尺集装箱的拖车调度问题,该研究发掘了拖车两箱运输模式的优化潜力。文章利用启发式算法对一定时间内的作业任务产生时间做出预测,根据这一预测,通过枚举的方法寻找总延迟最小的拖车和任务匹配策略,每当时间窗内有拖车闲置或新的集装箱任务出现时,这样的过程就反复进行。为了评价启发式算法,同时对问题进行了混合整数规划建模,在模型中,与以往文献中假设场桥总是足够且不需要拖车等待不同,文章同时预测了场桥和岸吊的目标装箱时间和卸箱时间,并将延迟时间作为目标函数。最后比较发现,启发式算法的结果令人满意,使用两箱同时运载比单箱运载的效率明显提高。值得注意的是,文章的数学模型并没有考虑同一工作点任务间的相互干扰,即一个任务的延迟必然会造成所有后续任务的延迟,而这种延迟并不是由拖车没有及时到达引起的,因此目标函数的设定存在重复惩罚的可能。

Grunow (2006) 在进一步的研究中将他的方法与一种典型的在线方法(NV/FCFS 方法)在规模较大的仿真实验下进行比较,得到的结果表明他的方法无论是在单箱还是两箱运输下都比一般的在线方法要优。同时他还提出了一种简单的确定全局最优下界的方法,同样显示出了他的方法很好地逼近了最优情形。

Shih - Wei Lin (2009) 应用模拟退火算法研究拖车的调度问题,从 21 个基准的 TTRP 解决方案中获得 17 个最佳的解决方案,文章结果表明模拟退火算法是解决拖车调度问题的有效算法。

Panagiotis Angeloudis (2010) 对各种不确定性条件下的自动化集装箱码头的 AGV 分配进行研究。开发一个新的 AGV 调度方法,内有详细的集装箱码头模型能够在不确定的条件下运行。运用几个性能指标评估车辆操作的一般特征以及在终端内部的不确定性水平。从模拟实验的结果可以发现,该算法优于著名的启发式算法和其他算法。

2. 拖车调度以及堆场分配 (VSLP) 研究综述

Bish (2003) 研究了当船舶同时有装卸船操作时如何实现车辆共享的问



题,文章考虑一艘正在装货的船和一艘正在卸货的船同时作业的情况,以最小化总行驶路程为目标函数,用整数规划建立了匹配进口箱和出口箱的模型(MVSL)。文章证明了 MVSL 是 NP-hard 的,并设计了求解模型的启发式算法。最后将这种匹配的方法与贪婪算法结合,给出了这种特殊情况下的拖车调度方案。

3. 拖车规模确定问题(FSP)研究综述

Gobal 和 Kasilingam (1991) 提出了一个基于 AGV 空闲时间和港口内其他装卸设备的等待时间的 AGV 数量测算仿真模型,模型求解在满足操作水平条件下的最小 AGV 需求量。

Mantel and Landeweerd (1995) 提出了运用一种两层排队网络模型来确定自动化码头执行作业任务时所需要的 AGV 数量。在第一层,所有 AGV 被看成是平等的服务台,运输作业任务作为顾客;第二层 AGV 被视为顾客,而堆场则被看成服务时间一定的服务台。通过在不同 AGV 数量下计算模型的等待时间,最终确定模型合理的 AGV 数量。

Maxwell 和 Muckstadt (1996) 建立了另一种数学模型来解决拖车的规模确定问题,在模型中,他们把作业任务序列时间窗化,把岸吊、堆场等固定设施抽象理解为节点,节点的流量为任务的输入集装箱量与输出集装箱量的差值,根据这样的假设,节点间的流量就有正、有负。而这些节点间流量的平衡就是由拖车的空载运行来控制的。显然,拖车空载行驶的路程长短直接影响到作业的总时间,因此模型的目标是使拖车空载的行驶路程最短。Rajotia, et al (1998) 在 Maxwell 等人的研究基础上更深入了一步,他添加了一种情况,当拖车完成其他任务后恰好经过一些任务的起始点时,那么就直接执行这些任务。

Vis, et al (2001) 运用最小流算法对港内拖车的数量问题进行了求解,在模型中,文章假设所有岸吊的等待时间为 0,且岸吊装卸箱作业时间已知且固定,另外任意两个固定点之间的拖车行驶时间已知,在这些假设条件的前提下,可以判断任意两个任务能否由同一辆拖车执行。然后,把每个装卸箱作业任务抽象理解成一个节点,若两个作业任务能由一辆拖车完成,则将两个节点间的边的流量设为 1,否则设为 0。在网络中设置了一个初始点和一个终结点,然后根据所有任务直接与初始点和终结点相连的情况,使用最小流算法得到最小流情况,即使用集卡最少的情況,每一条流流过的节点,表示

一辆拖车在过程中完成的任务序列。

Koo, et al (2004) 根据启发式 tabu 搜索算法提出了一种新的车辆调度方法, 目标是最小化车辆数量并且为每辆拖车制定行驶路线。方法可以分为两个阶段, 第一阶段通过建立一个优化模型来规划能够得到最短行驶时间的车流, 并给出一个车辆数量的下限; 第二阶段通过 tabu 搜索得出具有最少车辆数量的拖车行驶路线。

IFA. Vis, et al (2005) 提出了在一个时间窗内的最小拖车数量。但是为了算法实现的可能性, 假设条件做了很多的简化, 致使模型的实际应用效果仍然不够理想。

Murty, et al. (2005) 提出了运用排队理论来选取最佳拖车配置数量的思想, 但是并没有针对具体的问题进行深入的研究。

4. 拖车路线规划问题 (VRP) 研究综述

Gaskins RJ (1987) 对 AGV 系统中的车辆路径流量进行了详细设计。Kaspi M (1990) 在前者的基础上, 进一步运用混合整数规划模型设计了 AGV 的调度路径。

Goetz W G (1990) 考虑了随机因素并对 AGV 在各个装卸点之间的路径运用混合整数规划模型进行求解。

Steenken (1993) 等通过将装载作业和卸载作业结合在一起考虑来求车辆的最短空驶距离, 解决了拖车的运输路线问题, 与其他方法相比, 可以减少 13% ~ 35% 的拖车空驶路程。

Huang, et al. (1993) 与 Kim (1993) 等人对动态路径规划问题做了深入的研究, 所谓动态路径规划, 是指任意两个固定设施之间的路线并非是固定的, 并且要考虑到交通的堵塞情况。当拥堵时, 每条边根据先到先服务的原则, 也就是排队顺序接受服务, 这个算法也被称之为是最短路径贪婪算法。动态路径规划问题的求解算法比较简单, 当有拖车需要移动时, 根据其出发点和目的地, 再考虑一些路径被其他拖车占用的情况下, 用最短路径搜索算法搜索最短路径。这样, 动态路径规划问题就转变成了在一个具有时间窗概念的图, 用最短路径搜索算法进行求解, 每条路径的时窗是由拖车活动的情况所决定的。

Loannau, et al (1995) 对静态路径规划模型做了进一步探讨, 所谓静态路径规划, 是指两个固定设施之间拖车行驶的路线是固定的, 这种模型最常

用的解法就是最短路径搜索算法。

上述研究大多集中考虑了单个岸吊作业的情况，另外也有一些学者对更为复杂的情况，即多个岸吊同时作业进行了研究，并提出了多岸吊拖车路线规划问题。在这个问题中，假设拖车选择岸吊作业任务的顺序是循环的，即第一个到达的选择岸吊 1 作业，第二个选择岸吊 2 作业，以此类推。在交通网络中，集卡发生冲突时，则规定先到达的拖车先通过，然后利用基于最短路径搜索的启发式算法对模型进行求解。

此外，Krishnamurti, et al (2005) 对同时确定所有拖车路径的问题进行了研究。在这个问题的研究中，将一个大问题分解为若干个小的子问题进行研究。在得到子问题的解决方案后，再进行有机地组合从而形成一个总的解决方案。

Grunow M, Günther H - O (2004) 和 Martin Grunow (2006) 等讨论了在自动化程度较高的集装箱港口中多个装箱 AGV 的运行路径问题。

2.1.2 国内研究现状

近年来由于我国对外贸易出现爆炸式增长，已经有很多的大学和研究机构正在港口研究中开始了逐步探索，并且取得了一些进展。

在拖车数量研究方面，曹志伟 (2003)、关秀光 (2004) 等研究者先得出优化的调度作业任务，然后根据任务统计出船舶作业时所需要的拖车数目。韩晓龙 (2005) 以最小化拖车的数量为目标函数，建立了数学规划模型，计算在不耽搁岸吊工作条件下的拖车配置数量。

在拖车路径研究方面，张维英 (2005) 等人研究了基于拖车路径优化的集装箱配载问题。他以港内拖车的移动总距离最短为优化目标，忽略其他影响效率的因素。将模型建立在装船的情况下，并假设船舶需要装载集装箱的 bay 的位置已知，并把这些 bay 到所有堆场的距离作为已知条件，从而对整个问题建立一个整数规划模型，运用 Hopfield 神经网络算法对问题进行求解，最终得到一个优化的拖车配载计划。

严政 (2006) 等人对集装箱港口的动态组合优化调度问题做了许多努力，他提出的优化组合调度模式打破了传统的作业线模式，实现动态的调度拖车，将装船、卸船、倒箱等多条作业线共享所有拖车资源。最后通过建立仿真模型模拟分析，发现优化的组合调度模式大大地缩短了拖车的空载行驶路程，