



集装箱码头

“岸桥-集卡-堆场” 作业计划的优化



◎ 钱继锋 著



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.cn>

集装箱码头“岸桥-集卡-堆场” 作业计划的优化

Operation Plan Optimization of Quay Cranes,
Trailors and Yard in a Container Terminal

钱继锋 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统地分析了集装箱码头“岸桥-集卡-堆场”作业计划的现状,研究了泊位-岸桥的联合作业计划、岸桥-集卡的协同作业计划、岸桥-集卡-堆场单向作业协同计划、岸桥-集卡-堆场双向作业协同计划等内容,建立各种岸桥-集卡-堆场协同作业模型,提出用于解决模型的算法。

本书可供从事集装箱码头作业计划管理工作的人员参考,也可供集装箱运输与管理专业的本科生、研究生学习、参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

集装箱码头“岸桥-集卡-堆场”作业计划的优化 / 钱继锋著. —北京: 北京交通大学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5121-2301-4

I. ① 集… II. ① 钱… III. ① 集装箱码头-业务管理 IV. ① U656.106

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 148545 号

集装箱码头“岸桥-集卡-堆场”作业计划的优化

JIZHUANGXIANG MATOU “ANQIAO-JIKA-DUICHANG” ZUOYE JIHUA DE YOUHUA

责任编辑: 丁塞峨

出版发行: 北京交通大学出版社 电话: 010-51686414 <http://www.bjtup.com.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编: 100044

印 刷 者: 北京泽宇印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 170 mm×235 mm 印张: 9.25 字数: 116 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2301-4/U·198

定 价: 42.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

序 言

集装箱的出现改变了传统的货物运输形式，在国际和国内贸易货物运输中发挥着重要作用。集装箱多式联运是集装箱运输组织发展的高级形式，它以集装箱码头和集装箱货场为节点，将水路、铁路、公路等运输方式有机结合，实现从发货人指定的承运地点到收货人指定的交付地点的“门到门”全程运输服务。

各种运输方式及港站在满足货主一定的“质”和“量”要求下的全程集装箱运输服务的过程中，通过协同计划和调度，形成了一个连续的、一体化的集装箱运输网络，达到提高集装箱货物的送达速度、缩短运输时间、加速集装箱的周转、提高集装箱利用率的目的，增加了多式联运的综合效益。

本人带领的研究团队，长期从事集装箱运输与多式联运的研究，在该领域取得了一定的研究成果。为了更好地促进集装箱运输与多式联运理论和实践的发展，经与北京交通大学出版社协商，将本人指导的博士研究生的学位论文编成系列，正式出版，希望该系列著作能对各位读者有所帮助，为集装箱运输与多式联运理论和实践有所贡献。

朱晓宁

2015年7月16日

前 言

集装箱码头是海陆联运的枢纽,在全球化经济中起着非常重要的作用。提高集装箱码头装卸设备的作业计划水平,合理配置集装箱码头装卸资源,可以提高集装箱码头的整体效率,降低码头、船公司及货主的作业成本。本书分别从不同的层面及应用角度研究了集装箱码头的作业计划,主要研究内容包括以下几个方面。

第一,集装箱码头作业过程中,需要泊位、岸桥、集卡及堆场等装卸资源协同配合,才能达到效率最优。本书针对装卸设备的作业计划,研究了集装箱码头在作业计划方面的协同。考虑调度过程中可能出现的各种突发情况,本书应用滚动计划法实施作业计划的调整,并结合信息技术实现对装卸设备的协同调度,达到装卸设备作业效率的最优,从而提高集装箱码头的服务水平和竞争能力。

第二,泊位和岸桥是集装箱码头的紧缺资源,如何对其进行合理分配是优化集装箱码头生产领域的热点问题。针对现有集装箱码头泊位和岸桥的实际指派情况,本书建立了泊位与岸桥作业计划的协同模型,该模型不仅适用于日常的泊位调度和岸桥分配,还适用于应急情况下泊位与岸桥作业计划的协同。另外,本书还基于应用遗传算法对该模型进行了求解。

第三,考虑集装箱码头采用新装卸设备,本书对采用双小车岸桥的集装箱码头作业系统的计划协同问题进行了研究,构建了集装箱码头岸桥与集卡装卸计划协同模型,目标是使船舶完成作业的时间最短,同时使集卡的空驶里程最短。另外,本书还对该问题设计了两阶段禁忌搜索算法,对

集卡采用“作业面”的调度方式，将集卡调度结果反馈到岸桥调度，实现岸桥与集卡的协同优化。

第四，本书研究了针对应急船舶作业的岸桥-集卡-堆场单向作业计划的协同。为了提高集装箱码头装卸作业设备的效率，减少集装箱船舶在港的等待时间，对集装箱码头不同类型的装卸设备（如岸桥、集卡和龙门吊）的作业计划进行并行考虑、联合调度。考虑应急船舶对作业时限要求严的特点，以及不同装卸设备相互之间的制约影响，本书构建了岸桥-集卡-堆场单向作业协同优化模型，运用启发式算法得到综合调度问题的近似解。

第五，本书研究了集装箱码头岸桥-集卡-堆场双向作业的协同优化。在规划周期范围内，综合考虑岸桥、堆场龙门吊的装卸序列，以及内陆客户提取箱、集港的业务需求，建立了以集装箱流为主线的岸桥-集卡-堆场双向作业计划协同优化模型，设定场内集卡在所有的船舶间共享，以减少内部集卡在码头区域的空驶率，从而实现系统整体优化。鉴于模型的复杂性，本书设计了神经网络-遗传算法对其求解。

综上所述，本书通过对集装箱码头作业计划进行系统分析，对装卸作业计划的协同性进行了研究，并在此基础上分别建立了集装箱码头装卸作业的泊位-岸桥、岸桥-集卡、岸桥-集卡-堆场等的作业计划协同模型，以获得不同装卸设备的作业调度计划。在算法方面，应用遗传算法、禁忌搜索算法、改进规则的启发式算法、神经网络-遗传算法等对调度模型进行求解，对集装箱码头作业效率的量化研究具有较强的借鉴意义。最后，本书通过实例分析对模型和算法进行了验证，为提高集装箱码头总体作业效率，以及优化装卸作业设备作业计划等，提供了非常有益的参考。

钱继锋

军事交通学院

2015年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工作背景	1
1.2 主要内容	2
1.3 应用前景	3
第 2 章 相关研究现状及评述	5
2.1 作业计划的协同	5
2.1.1 作业计划	6
2.1.2 作业计划与调度	7
2.2 “泊位-岸桥”作业计划协同	10
2.2.1 泊位计划	10
2.2.2 “泊位-岸桥”作业计划协同	12
2.3 “岸桥-集卡”作业计划协同	15
2.3.1 岸桥作业计划	16
2.3.2 运输车辆的调度	17
2.3.3 “岸桥-集卡”作业计划协同	20
2.4 “岸桥-集卡-堆场”作业计划协同	21
2.4.1 龙门吊作业计划	21
2.4.2 堆场作业优化	22
2.4.3 “岸桥-集卡-堆场”作业计划协同	23
2.5 既有研究总结评述	29

第3章 码头作业计划的系统分析32

3.1 码头进出口作业流程34

3.1.1 进口流程34

3.1.2 出口流程36

3.2 码头作业计划38

3.2.1 泊位计划38

3.2.2 岸桥计划39

3.2.3 船舶计划39

3.2.4 集卡计划40

3.2.5 堆场计划40

3.2.6 昼夜生产计划41

3.2.7 滚动计划法43

3.3 装卸设备作业协同过程45

3.3.1 装卸系统存在的问题45

3.3.2 作业协调的实现46

3.4 小结48

第4章 “泊位-岸桥”作业计划的协同50

4.1 问题描述与模型建立51

4.1.1 模型假设52

4.1.2 模型建立53

4.2 模型求解57

4.2.1 染色体编码57

4.2.2 适应度函数设计58

4.2.3 岸桥分配58

4.2.4	遗传操作	59
4.2.5	算法流程	60
4.3	数值试验	61
4.4	小结	63
第 5 章	“岸桥-集卡”作业计划的协同	64
5.1	岸桥-集卡作业计划协同模型	66
5.1.1	符号定义	67
5.1.2	模型结构	68
5.2	求解算法	72
5.3	数值试验	74
5.4	小结	77
第 6 章	“岸桥-集卡-堆场”单向作业计划协同	79
6.1	问题描述	80
6.2	单向作业计划协同模型	83
6.2.1	符号定义	83
6.2.2	协同模型及决策变量	84
6.3	求解算法	87
6.3.1	算法第一阶段	88
6.3.2	算法第二阶段	89
6.4	数值试验	89
6.5	小结	93
第 7 章	“岸桥-集卡-堆场”双向作业计划协同	94
7.1	问题描述	95

7.2	双向作业计划协同模型	98
7.2.1	符号定义	98
7.2.2	装卸作业计划协同模型	101
7.3	模型求解算法	103
7.3.1	个体的编码	103
7.3.2	种群初始化	104
7.3.3	交叉和变异运算	104
7.3.4	神经网络-遗传算法的实现	106
7.4	数值试验	107
7.5	小结	110
第 8 章	结论与展望	111
8.1	主要研究结论	111
8.2	主要创新点	113
8.3	今后努力的方向	114
附录 A	2012 年天津港各集装箱码头吞吐量	115
附录 B	天津港某集装箱码头 2012 年 7 月船舶动态	116
附录 C	天津港某集装箱码头 2012 年 7 月船期表	118
参考文献		121
索引		134
后记		135

第 1 章

绪 论



1.1 工 作 背 景

随着经济全球化、区域经济一体化进程的加快，世界贸易高速增长。近年来，集装箱运输在世界范围内快速发展，集装箱运输网络不断完善，集装箱化比例不断增加，集装箱运输已经成为各国交通运输现代化的重要标志和保证国际贸易运输的重要手段，集装箱码头已成为连接国际物流网络的重要节点。

由于在航线上集装箱船舶多能保证适合的航行速度，于是靠泊码头的长短成为决定集装箱运输效率的一个关键因素。据统计，集装箱船舶大约有 60% 的时间停泊在码头。同时，船舶大型化与航运联盟的发展使集装箱码头间的竞争日益激烈。集装箱码头的竞争力，除了取决于地理条件、腹地经济外，还取决于码头的作业效率和服务水平。因此，如何提高集装箱码头作业效率、减少船舶在港时间，已成为近年来世界集装箱码头面临的普遍问题。

提高集装箱码头作业效率的措施主要有两方面：一是增加码头作业设备数量，二是合理进行装卸作业调度。在集装箱吞吐量迅速增加的前提下，

增加装卸作业设备是一种有效的途径,一些集装箱码头通过增加岸桥等装卸设备,满足了迅速增加的吞吐量需求。作业设备尤其是岸桥的增加,提高了单位泊位、单位岸线的吞吐量,这就对集装箱码头陆域纵深长度、陆域集疏运能力提出了更高的要求。此外,受装卸设备技术参数的限制及投资规模的制约,单位岸线的岸桥数量也不能无限制增加。目前,我国集装箱码头的单位泊位、单位岸线的岸桥配置数量均高于欧美的集装箱码头。因此,在作业设备一定的条件下,合理的装卸作业调度是提高集装箱码头作业效率的重要途径,而且集装箱码头吞吐量的增加也对作业调度提出了更高的要求,合理的作业计划可以保证集装箱码头生产作业的有序性,提高集装箱码头作业系统的可靠性。本书就是在这样的背景下产生的,拟对集装箱码头装卸作业计划的协同进行优化研究。

本书是在国家自然科学基金《铁路集装箱无缝运输的理论与方法研究(No.60870014)》的资助下完成的。针对集装箱码头作业计划编制存在的一些问题,以及对合理制订作业计划优化策略的迫切需要,本课题采用“理论研究与数值试验相结合”的方法,对集装箱码头装卸作业计划优化问题进行综合分析和验证。

1.2 主要内容

本书由以下 8 章构成。

第 1 章,统领全文,阐述本书的工作背景、研究意义、研究范围。

第 2 章,对相关的文献进行综述,文献综述覆盖了集装箱码头作业计划、“泊位-岸桥”协同作业、“岸桥-集卡”协同作业、“岸桥-集卡-堆场”协同作业的各个方面,最后对现有的研究作出评述。

第3章,对集装箱码头装卸作业计划进行分析,对进出口作业流程、码头的装卸作业计划进行论述,阐述了装卸作业协同的必要性,并提出基于滚动式计划法对作业计划与调度进行协同的机制和方法,为后续内容做铺垫。

第4章,建立针对泊位资源和岸桥作业计划的协同模型,利用应用遗传算法进行求解,并对应急情况下的协同作业进行验证。

第5章,建立针对双小车岸桥和集卡作业计划的协同模型,利用两阶段禁忌搜索算法对模型进行求解,并给出集卡的最优行驶路径。

第6章,建立针对应急船舶作业特点的岸桥、集卡及堆场单向作业的协同模型,考虑计算的复杂性,利用改进的启发式算法进行求解。

第7章,考虑客户集港及提箱的业务需求,建立集装箱码头“岸桥-集卡-堆场”双向作业的协同调度模型,并利用智能遗传算法和神经网络对问题进行优化求解。

第8章,对全文进行总结,阐述本研究的主要结论及创新点,并对今后的努力方向进行展望。

1.3 应用前景

集装箱码头装卸作业是一系列相互影响、相互制约的操作过程,以目前国内普遍采用的龙门吊装卸工艺系统为例:当船舶到达码头后,岸桥开始为船进行装卸集装箱的服务,内部集卡负责在岸边与堆场之间运送集装箱。堆场箱位暂时存放进出港的集装箱,场内龙门吊负责为集卡装卸集装箱,外部集卡负责集装箱在堆场与客户所在地之间的运送。为使集装箱码头整体作业效率达到最优,在作业计划中既要考虑各个环节的优化,又要

考虑各个环节之间的相互关联。

就装卸作业每个环节的调度模型而言,在理论上属于 NP-hard 问题(如泊位优化问题、龙门吊调度问题、集卡调度优化问题等),求解具有相当的时间复杂性和空间复杂性。因此,如果考虑不同环节之间的相互关系,集装箱码头作业调度问题的复杂性会进一步提高。虽然目前大量的现代优化算法(如神经网络、遗传算法、模拟退火、禁忌搜索等)及仿真技术应用于集装箱码头调度优化问题中,但是如何实现作业系统各个环节之间的计划协同,如何有效处理各种约束条件和约束条件之间的相互关系,从而提高模型求解效率,一直是集装箱码头作业计划协同的难题。

集装箱码头作业调度优化问题是带有复杂约束条件的多阶段、多目标组合优化问题,其优化过程包括作业系统各个环节,涉及多种约束条件,具有复杂的反馈关系;其计算工作量大,是跨学科、交叉性、综合性的研究课题,对于集装箱码头生产管理和集装箱运输系统整体效率的提高有深远的工程背景和广泛的应用价值。

本书运用现代物流管理的理念,研究集装箱码头作业计划与调度的理论与方法问题,符合货物运输发展的趋势,反映了当代研究的热点和难点,研究成果可为集装箱码头的规划、建设、运作管理提供支持。因此,本书具有理论意义和现实价值,以及广泛的应用前景。

第2章

相关研究现状及评述



2.1 作业计划的协同

生产计划是确定何时、何地及如何完成产品需求的决策活动。生产计划结果一般包括计划生产部门、计划时间段（周期）、计划生产量等信息。生产调度是为完成给定生产任务，对任务进行分解及资源分配，并确定任务的开始时间和结束时间的决策活动。最常见的生产调度问题就是任务分配与排序。

集装箱码头生产计划与调度的协同就是要合理制订作业计划，组织好人员、装卸机械进行生产作业，及时、准确地掌握集装箱码头生产过程中，每一时刻集装箱的流向、流量、船舶动态、火车动态、各项作业进度、机械设备状态，以及库场使用状态等港口生产中所需的各种信息，并以此作出多样化的调度方案。

集装箱码头计划部门，根据商务合同生成长期船舶预报（班轮）计划，依据船公司发来的船舶到港预报信息登记近期船期计划，负责在船舶到港前，预先调配场位、设备、人员等相关资源，对整个码头即将发生的集装箱进出口业务进行资源分配，使装卸船、收发箱、堆场内部操作等业务能

够按计划进行。集装箱码头作业计划主要分泊位计划、堆场计划和船舶计划等。

由于泊位计划、船舱计划、堆场计划、控制室、闸口等部门的计算机操作,都是在每艘船舶的特定航次下进行的,因此,在计算机系统中为每艘船舶预先建立准确的航次是码头操作的前提条件。泊位计划的首要职责是制订合理而有效的泊位分配计划,绘制每日泊位图,负责船舶的靠泊、离泊等事项。制作泊位计划的人员不仅要准确建立船舶航次,还要熟练掌握挂靠码头的船公司及每条航线的船期与船舶动态,为码头及有关单位提供准确的船舶、航线资料和有关信息。

2.1.1 作业计划

金健^[1]在现代化集装箱码头配载中引入了时间和空间概念。引入时间概念就是根据不同时间段对各条作业路的船舶进行配载,将时间和空间概念相结合可以形成二维船舶作业计划。如果把空间概念再向船舱贝位中的出口箱目的地延伸,就可形成三维船舶作业计划。如果再引入出口箱重量、各时间点装卸箱所在堆场箱区和船舶稳心值等因素,就能形成多维船舶作业计划。利用计算机编制空间和时间相互交织的船舶作业计划,可以实现自动配载和船舶装卸作业的自动控制。

王煜、宓为建^[2]从集装箱码头业务流程出发,利用 Agent 技术进行建模研究,通过对基本计划 Agent、决策计划 Agent 及详细计划 Agent 三个核心的分析,建立了一个初步的基于 Agent 的集装箱码头计划决策模型,提出了基于多 Agent 的集装箱码头智能计划系统的思路及结构框架,以实现码头作业计划的安排。

集装箱码头作业系统是一个复杂的离散事件动态系统,包括船舶靠泊、

装卸船作业、集箱作业、提箱作业等诸多流程。关秀光^[3]基于BPR思想对集装箱码头集卡作业系统进行了优化研究,将“B”定义为装卸作业,将“P”定义为作业流程,将“R”的本质定义为优化与分析。BPR的对象是集装箱码头装卸生产作业环节,对整个过程进行系统分析与优化,从而达到船公司、货主、码头装卸公司等多方共赢。

根据集装箱码头现场的生产管理经验,罗勋杰、杨杰敏、樊铁成等^[4]以传统系统控制理论为基础,研究了集装箱码头生产过程的控制模型,并结合集装箱码头生产管理的业务活动,分析了集装箱码头作业计划安排的原则和作业控制的核心内容,给出了作业计划调整和修订的途径与方法。

码头生产过程管理控制的核心是以码头昼夜生产计划为基础,根据船舶班轮计划、装卸作业量、堆场作业量、运输工具、装卸搬运机械、作业人员出勤率等情况,来确定每一项具体生产作业线路的方法、装卸机械的类型及数量、作业人员配备、每项作业任务的作业量和起止时间等,在保证安全的前提下,优质高效、按时按量地完成生产计划任务。吴岷^[5]对出口集装箱和进口集装箱的堆存策略和场地作业分别进行了规划,对集装箱码头的堆场作业进行了优化。

2.1.2 作业计划与调度

韩要稳等^[6]运用物流的理念,提出以能力协调、组织协调及信息协调为核心的作业环节协调体系,以提高集装箱码头运作的经济性和效益性为目标,从整体上研究了集装箱码头作业环节协调性的问题。

集装箱堆场装车作业和箱位分配作业均为集装箱堆场的主要业务。其中,堆场作业计划的制订影响着堆场装卸作业的效率。刘晓艳^[7]运用启发式搜索算法求出满意的集装箱双层车辆配载方案,在综合考虑集装箱位置