



铁路集装箱中心站

关键资源调度 优化理论与方法

◎王力 著



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>



铁路集装箱中心站关键资源 调度优化理论与方法

王力 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以铁路集装箱中心站关键资源为研究对象,以关键资源的调度优化为研究点,对铁路集装箱中心站关键资源调度优化理论及方法进行了研究,主要包括:中心站关键资源调度优化体系架构研究、混堆模式下的中心站堆存空间资源调度优化研究、不同装卸模式下的中心站装卸设备资源调度优化研究、中心站堆存与装卸关键资源集成调度优化研究等。

本书可供交通运输及相关专业的本科生、研究生使用,也可供从事集装箱运输的相关人员参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

铁路集装箱中心站关键资源调度优化理论与方法 / 王力著. —北京:北京交通大学出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-5121-2480-6

I. ① 铁… II. ① 王… III. ① 铁路运输-集装箱运输-调度集中-最佳化理论 IV. ① U294.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 287886 号

铁路集装箱中心站关键资源调度优化理论与方法

TIELU JIZHUANGXIANG ZHONGXINZHAN GUANJIAN ZIYUAN DIAODU YOUHUA LILUN YU FANGFA

责任编辑:赵彩云

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414 <http://www.bjtu.com.cn>

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编:100044

印 刷 者:北京艺堂印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170 mm×235 mm 印张:9.75 字数:137 千字

版 次:2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-2480-6/U·217

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。为了能够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，希望该著作系列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

2015.10.16

前言

集装箱运输是一种先进的现代化运输方式,在国际和国内贸易货物运输中发挥着重要作用。集装箱铁路运输是集装箱运输组织中的一种重要形式,结合了集装箱运输和铁路运输的双重优点,具有安全、便捷、节能、环保和“门到门”等优势,是铁路货运发展的重要方向。作为集装箱铁路运输发展的重要平台,铁路集装箱中心站在功能布局、作业调度、运输组织、运营管理等方面与传统的铁路集装箱办理站不同,其生产运营效率对整个铁路集装箱运输网络与多式联运系统的运输质量、综合效率、服务水平有着重要的影响。

本书以铁路集装箱中心站关键资源为研究对象,以关键资源的调度优化为研究点,对铁路集装箱中心站关键资源调度优化理论及方法进行了深入的研究。本书的主要内容如下。

(1) 中心站关键资源的界定。通过对铁路集装箱中心站的功能布局、资源分类、作业流程等进行分析,结合集装箱港口关键资源的构成,在中心站空间资源和设备资源中界定本书中心站关键资源。

(2) 中心站关键资源调度优化体系架构研究。通过对中心站关键资源调度优化的对象、目标进行分析,构建中心站关键资源调度优化框架;并对优化框架下关键资源调度优化问题的目标集、决策变量集和约束条件集进行分析,建立中心站关键资源调度优化体系,为本书后续的关键资源调度研究提供理论支撑。

(3) 中心站堆存空间资源调度优化研究。在中心站关键资源调度优化体系架构下,以堆存空间资源为研究对象,建立中心站堆存空间资源调度的两阶段优化

模型。第一阶段为中心站堆场箱量均衡分配模型，将到发箱均衡地分配到堆场各箱区；第二阶段建立中心站堆场箱位指派模型，为分配到箱区的集装箱指派较优箱位，使堆存产生的压箱数最小。针对两阶段模型的特点，分别设计了算法对模型进行求解。

(4) 中心站装卸设备资源调度优化研究。在中心站关键资源调度优化体系架构下，以装卸设备资源为研究对象，以优化轨道门吊的装卸作业顺序为目标，针对不同装卸调度模式，分别建立单作业线固定范围装/卸调度优化模型、多作业线固定范围装卸混合调度优化模型、多作业线柔性范围装卸混合调度优化模型，设计算法对上述模型进行求解，并在三种装卸调度模式下，对轨道门吊的作业时间和空驶距离进行比较分析。

(5) 中心站堆存与装卸关键资源集成调度优化研究。在中心站关键资源调度优化体系架构下，以堆存空间资源和装卸设备资源为研究对象，通过分析轨道门吊装卸调度优化和集装箱堆存箱位指派优化目标之间的相互影响、相互制约、相互反馈的关系，建立中心站堆存与装卸关键资源集成调度优化的双层规划模型，设计了双层遗传算法对模型进行求解，并在堆存与装卸关键资源中的集成调度优化和单独调度优化两种模式下，对轨道门吊的作业时间和空驶距离进行比较分析。

通过开展铁路集装箱中心站关键资源调度优化的研究，不仅能够丰富铁路集装箱运输组织、集装箱多式联运运输组织等领域的基础理论，为铁路集装箱中心站的规划、建设、运营管理提供理论支持；还能够实现对中心站堆存和装卸作业调度的优化，使集装箱在站内有序、通畅、高效流转，达到中心站运营管理的科学化和调度决策的最优化，对铁路集装箱中心站有着广泛的工程应用价值。

作者

2015.10

目 录

第1章 引言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究的目的和意义	5
1.3 国内外研究综述	7
1.3.1 集装箱港口资源调度优化	7
1.3.2 铁路集装箱场站资源调度优化	12
1.3.3 研究现状评述	16
1.4 主要内容和结构框架	17
1.4.1 主要内容	17
1.4.2 结构框架	19
1.5 小结	21
第2章 中心站关键资源调度优化体系架构研究	22
2.1 中心站功能布局和作业组织	24
2.1.1 中心站功能和布局	24
2.1.2 中心站的资源分类	26
2.1.3 中心站的作业流程	28
2.2 中心站关键资源的界定	29
2.3 中心站关键资源的调度优化框架	31
2.3.1 堆存空间资源调度优化	32

2.3.2	装卸设备资源调度优化	32
2.3.3	堆存与装卸关键资源集成调度优化	33
2.4	中心站关键资源调度优化体系	34
2.4.1	目标集	34
2.4.2	决策变量集	36
2.4.3	约束条件集	37
2.5	小结	38
第 3 章	混堆模式下的中心站堆存空间资源调度优化研究	39
3.1	堆存空间资源调度优化的思路	40
3.1.1	优化前提	40
3.1.2	问题描述	42
3.1.3	优化思路	42
3.2	堆存空间资源调度优化模型	44
3.2.1	中心站堆场箱量均衡分配模型 M1	45
3.2.2	中心站堆场箱位指派模型 M2	48
3.3	模型求解	50
3.3.1	M1 求解算法	52
3.3.2	M2 求解算法	53
3.4	算例分析	54
3.5	小结	57
第 4 章	不同装卸模式下的中心站装卸设备资源调度优化研究	59
4.1	装卸设备资源调度优化的思路	60
4.1.1	优化前提	60
4.1.2	问题描述	63
4.1.3	优化思路	64

4.2	不同装卸调度模式下的装卸设备调度优化模型	66
4.2.1	单作业线固定范围装/卸调度优化模型 M3	67
4.2.2	多作业线固定范围装卸混合调度优化模型 M4	70
4.2.3	多作业线柔性范围装卸混合调度优化模型 M5	75
4.3	模型求解	79
4.3.1	M3 求解算法	80
4.3.2	M4 求解算法	81
4.3.3	M5 求解算法	85
4.4	算例分析	91
4.4.1	单作业线固定范围装/卸调度优化算例	91
4.4.2	多作业线固定范围装卸混合调度优化算例	94
4.4.3	多作业线柔性范围装卸混合调度优化算例	96
4.5	小结	99
第 5 章	中心站堆存与装卸关键资源集成调度优化研究	100
5.1	堆存与装卸关键资源集成调度优化的思路	101
5.1.1	集成的基本原理	101
5.1.2	优化前提	102
5.1.3	问题描述	103
5.1.4	优化思路	104
5.2	堆存与装卸资源关键集成调度优化的双层规划模型 M6	106
5.2.1	上层模型	106
5.2.2	下层模型	107
5.3	模型求解	108
5.4	算例分析	115
5.5	小结	118

第 6 章 结论与展望 120

6.1 研究总结 120

6.2 主要创新点 122

6.3 研究展望 123

附录 A 样本规模为 65 的装卸作业任务 124

附录 B 全作业线装卸作业任务 126

参考文献 131

第1章

引 言

1.1 研究背景

集装箱运输是一种先进的现代化运输方式，是交通运输现代化的产物，是物流现代化的重要组成部分，与传统的件杂散运方式相比，具有运达速度快、运输安全性好、装卸效率高、物流成本低、便于实现多式联运和自动化管理等突出优点。集装箱运输是国际物流活动主导的运输组织形式，是世界各国保证国际贸易发展的最优运输方式，是国际国内贸易运输实现合理化、科学化的必然途径，其功效和效益将在更深的程度上得到发挥和体现。

集装箱铁路运输是集装箱运输组织中的一种重要形式，结合了集装箱运输和铁路运输的双重优点，具有安全、便捷、节能、环保和“门到门”等优势，是铁路货运发展的重要方向。集装箱铁路运输最早起源于 20 世纪初的英国，发展至今已成为国外铁路货物运输的主要形式。美国、日本早在 80 年代初就取消了零担运输，适箱货物全部使用集装箱运输。其中，日本铁路集装箱运量占总运量比例高达 48.5%，美国铁路的集装箱运量仅次于煤炭列第二位，美国北柏林顿圣塔菲公司达到 49%，诺福克南方公司为 41%；印度国家铁路集装箱公司占有其国内集装箱市场份额的 93%，占国际集装箱运输市场份额的 50%；法国、英国、德国等欧洲国家的集装箱运量均占有较大的比重，一般可占到总货运量的 20%~40%，并

以每年 6%~9%的速度增长^[1]。多数发达国家铁路的零担、整车适箱货物基本实现了集装箱化，且适箱货物范围已扩展到危险品和鲜活易腐等特种货物。

我国的集装箱铁路运输始于 1955 年，20 世纪 90 年代开始进入快速发展时期。“十一五”末的 2010 年全路集装箱发送量 8 612 万吨，比“十五”末的 2005 年增加了 2 705 万吨、增幅为 45.8%，比“九五”末的 2000 年增加了 4 773 万吨、增幅为 124.3%。2011 年，全路集装箱运量继续保持增长趋势，全年发送集装箱 9 351 万吨，比上年增长 8.6%。2012 年，全路集装箱运量略有下降，全年发送量 9 266 万吨，比上年减少了 0.9%。总体上，我国铁路集装箱发送量呈现波动上涨的趋势。

目前，我国已初步形成铁路集装箱运输系统，管理水平逐步提高，服务质量有所改善，运量快速增长。尽管近年来铁路集装箱运输取得了较快发展，但与铁路货运总量相比，铁路集装箱运量所占的比例还很低。2005—2012 年铁路货物发送总量与集装箱发送量的统计如表 1-1 所示，铁路集装箱发送量的变化趋势如图 1-1 所示，铁路集装箱发送量占总发送量的比率变化趋势如图 1-2 所示。

表 1-1 2005—2012 年铁路货物发送总量与集装箱发送量
Table 1-1 Throughput of railway freight and container from 2005 to 2012

年份	铁路货物发送总量/ 万吨	铁路集装箱发送量/ 万吨	集装箱发送量占总发送量 的比率/%
2005	268 349	5 907	2.2
2006	287 095	6 891	2.4
2007	313 018	7 608	2.43
2008	329 035	6 863	2.09
2009	332 041	7 172	2.16
2010	362 929	8 612	2.37
2011	391 852	9 351	2.39
2012	389 215	9 266	2.39

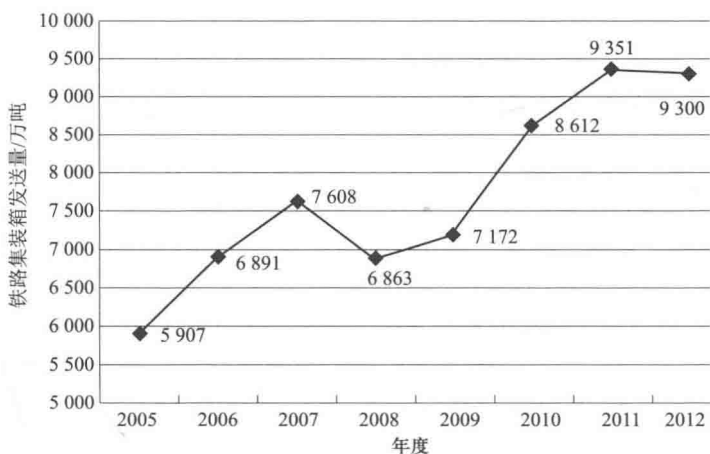


图 1-1 2005—2012 年铁路集装箱发送量的变化趋势

Figure 1-1 Variation trend of railway container volume from 2005 to 2012

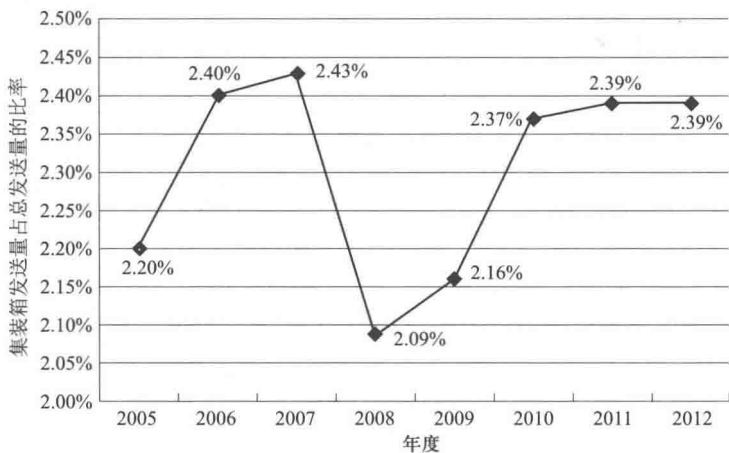


图 1-2 2005—2012 年铁路集装箱发送量占总发送量的比率变化趋势

Figure 1-2 Variation trend of ratio between railway freight and container volume from 2005 to 2012

由图 1-1、图 1-2 的变化趋势可知,铁路集装箱发送量总体上呈现波动中逐年增长的趋势,但铁路集装箱发送量占全路货物发送总量的比例平均不到 2.5%,呈现总体偏低的态势,远低于国外铁路集装箱运量 20%~40%的比例水平。这种状况主要是由于我国铁路运能供需矛盾紧张所致。近年来,我国铁路 90%的货运能力都用于保证煤炭、石油、粮食、化肥、农药等重点物资运输。随着铁路客运专线和

大能力货运通道的相继开通，我国铁路集装箱运输的巨大潜力和空间即将打开。

铁道部在“十一五”规划中提出统一规划建设 18 个大型铁路集装箱中心站。这 18 个大型铁路集装箱中心站均地处全国主要经济中心和交通枢纽，分别位于哈尔滨、沈阳、大连、北京、天津、郑州、青岛、西安、兰州、乌鲁木齐、上海、宁波、武汉、成都、重庆、昆明、广州和深圳，集装箱中心站的分布如图 1-3 所示。

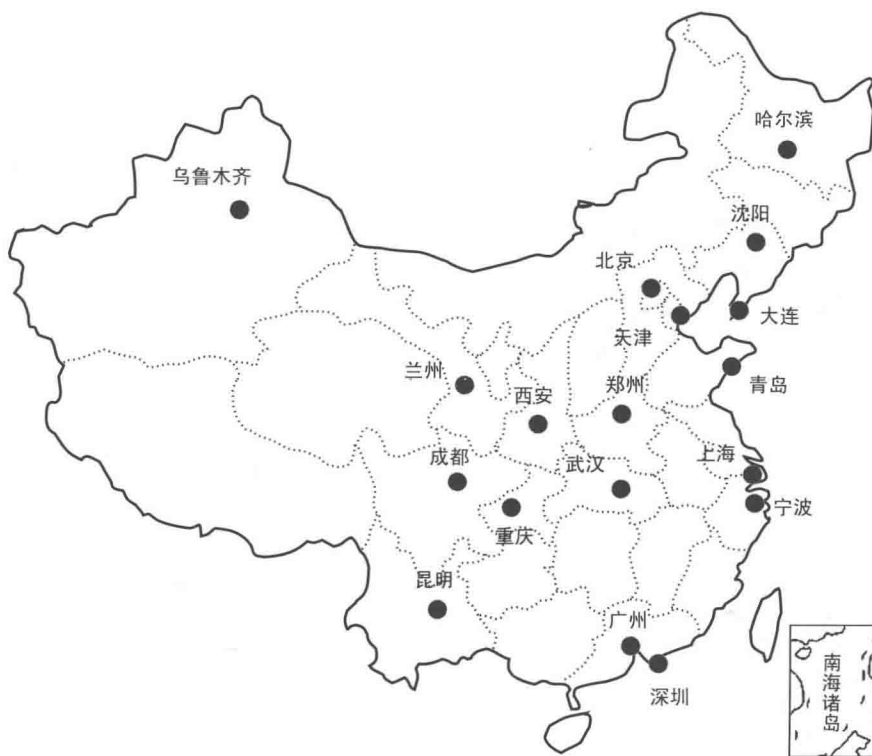


图 1-3 铁路集装箱中心站分布

Figure 1-3 Distribution of railway container terminals

作为集装箱铁路运输发展的重要平台，铁路集装箱中心站在功能布局、作业调度、运输组织、运营管理等方面与传统的铁路集装箱办理站不同。中心站拥有完善的铁路装卸和到发设施，可实现集装箱班列整列到发；配备现代化的集装箱装卸搬运设备、先进的堆场管理及调度监控系统，可实现高效自动化运作；设有

一关两检、仓库、堆存区、不同箱类专区、修箱区及其他服务设施,可满足客户各种物流需求;配备先进完备的信息管理系统,可方便客户办理各项业务,随时跟踪查询集装箱状态,并与港口、海关、银行等相关系统进行无缝衔接,提高了业务办理效率,提升了客户服务水平^[2]。

目前,上海、昆明、重庆、成都、郑州、青岛、武汉、大连、西安、天津、宁波 11 个铁路集装箱中心站已建成并投入运营,初步形成集装箱铁路运输现代化场站网络。已投入使用的铁路集装箱中心站在运营管理过程中,普遍存在以下问题^[2]:

- (1) 业务规模偏小,运量增长缓慢,未达到近期设计能力;
- (2) 中心站管理方式粗放,设施设备运用效率低,未形成对设施设备运用效率、效益的分析、优化、控制机制;
- (3) 没有充分发挥新设备、新技术在提高生产效率、降低运营成本中的积极作用。

根据上述问题可知,目前中心站在运营管理过程中并未形成有效的资源调度策略,设施设备的低效运用在一定程度上限制了中心站运量的增长,制约了中心站优势的发挥。如何制定有效的资源调度策略,提高中心站设施设备的运用效率,提升中心站整体的运营管理水平,是铁路集装箱运输实践亟待解决的问题。

在此背景下,本书依托国家自然科学基金项目(60870014)《铁路集装箱的无缝运输组织与优化调度理论与应用》和高等学校博士学科点专项科研基金项目(20130009110001)《铁路集装箱场站作业组织与车流组织的协同优化方法》,开展铁路集装箱中心站关键资源调度优化理论与方法的研究。

1.2 研究的目的是和意义

铁路集装箱中心站在设计、功能、运输组织与运作管理等方面与传统的铁路集装箱办理站不同,它是铁路集装箱运输网络的重要环节,是集装箱多式联运系

统内陆集疏的重要节点，其运作效率高对整个铁路集装箱运输网络与多式联运系统的运输质量、综合效率、服务水平有着重要的影响。

本书针对铁路集装箱中心站关键资源调度优化问题，以运筹学和智能算法为手段，构建中心站关键资源调度优化体系架构，提出合理、可靠的中心站关键资源调度优化模型和算法，实现对中心站堆存与装卸关键资源调度的优化，使集装箱在站内有序、通畅、高效流转，最终实现中心站运营管理的科学化和调度决策的最优化。

本书研究工作的理论意义和现实意义如下。

1. 理论意义

铁路集装箱中心站关键资源调度优化问题是带有复杂约束的多阶段、多目标的组合优化问题，其优化过程包括中心站各作业环节，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、综合性的研究方向。通过对铁路集装箱中心站关键资源调度优化的研究，可以丰富铁路集装箱运输组织、集装箱多式联运等领域的基础理论，并为铁路集装箱中心站的规划、建设、运营管理提供理论支持。

2. 现实意义

开展铁路集装箱中心站关键资源调度优化的研究，对铁路集装箱中心站自身的生产运营管理水平、铁路集装箱运输网络的运行质量、集装箱多式联运系统的综合效率的提高有着广泛的工程应用价值，具有重要的现实意义。

1) 提高中心站的生产运营管理水平

中心站关键资源涉及中心站的装卸车、提交箱、堆存等关键作业环节，其作业调度是中心站生产运营的主要活动，也是中心站生产运营效率的决定因素。通过对中心站关键资源的调度优化，可以提高中心站堆存与装卸资源的利用率，减少集装箱列车和集卡的在站等待时间，降低铁路集装箱中心站生产运营的成本，提高中心站的生产运营管理水平 and 铁路集装箱运输的服务质量。

2) 提高铁路集装箱运输网络运行质量

铁路集装箱中心站作为铁路集装箱运输网络的重要节点,通过对中心站关键资源的调度优化,可以提高中心站作业系统的稳定性和有效性,减少作业延迟,保证铁路集装箱运输网络的可靠性,从而提高铁路集装箱运输网络整体的运行质量。

3) 提高集装箱多式联运系统的综合效率

铁路集装箱中心站作为集装箱多式联运内陆集疏运的重要环节,通过对中心站关键资源的调度优化,可以提高集装箱多式联运系统中铁路运输环节的作业效率,保证铁路运输部分的时效性和可靠性,从而提高集装箱多式联运系统的综合效率。

1.3 国内外研究综述

从集装箱运输形式出现以来,国内外学者针对它的研究始终没有停止,研究重点主要集中在集装箱运输发展策略^[3-8]、运量预测分析^[10-15]、运输网络及路径优化^[16-22]、运输通道规划^[23-29]、集装箱港站资源调度优化^[30-71, 96-118]、空箱调运优化^[72-77]等方面。其中,根据研究对象的不同可将集装箱港站资源调度优化的研究分为集装箱港口资源调度优化和铁路集装箱场站资源调度优化。

1.3.1 集装箱港口资源调度优化

目前,国内外针对集装箱港口资源调度优化的研究比较热门,研究方向主要集中在:泊位分配、装卸桥作业调度、水平运输设备调度、堆场作业调度及多环节集成调度优化等方面。

1. 泊位分配

船舶到港后首先要分配泊位才能进行后续作业,泊位分配作为港口集装箱作