

分类号_____

密 级_____

U D C_____

单位代码_____10151_____

大 连 海 事 大 学

工程硕士学位论文

大连港集装箱码头堆场系统
通过能力提升研究

(学位论文形式：应用研究)

公 然

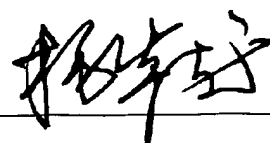
指 导 教 师 刘翠莲 职 称 教授

学位授予单位 大连海事大学

申请学位级别 工程硕士 学科(专业) 物流工程

论文完成日期 2014.9 答辩日期 2014.11.15

答辩委员会主席





Y2696577

**Study on the Throughput Capacity Improvement
of Dalian Container Terminal Storage Yard**

A thesis Submitted to

Dalian Maritime University

In partial fulfillment of the requirements for the degree of

Master of Engineering

by

Gong Ran

(Logistic Engineering)

Dissertation/Thesis Supervisor: Professor Liu Cuilian

November 2014

大连海事大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：本论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，撰写成博/硕士学位论文“大连港集装箱码头堆场系统通过能力提升研究”。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表或未公开发表的成果。本声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：公然

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解大连海事大学有关保留、使用研究生学位论文的规定，即：大连海事大学有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连海事大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。同意将本学位论文收录到《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》（中国学术期刊（光盘版）电子杂志社）、《中国学位论文全文数据库》（中国科学技术信息研究所）等数据库中，并以电子出版物形式出版发行和提供信息服务。保密的论文在解密后遵守此规定。

本学位论文属于： 保 密 ☐ 在_____年解密后适用本授权书。

不保密 ☒ （请在以上方框内打“√”）

论文作者签名：公然

导师签名：

刘军建

日期：2014年11月21日

摘 要

集装箱运输因其高效率、高效益和高安全性的特点在海运领域得到迅速发展,大大促进了国际多式联运的广泛开展,并很好地适应了现代物流对“门到门”服务的运输需求。我国港口的集装箱吞吐量随着集装箱运输的日益蓬勃而逐年增长,2013 年全球 10 大集装箱港中我国港口占 7 个,全国集装箱吞吐量达 2.05 亿 TEU,近 10 年增速为 15.62%。面对良好的市场机遇,集装箱码头通过能力的大小成为港口竞争的关键所在。堆场系统作为港口系统的重要组成,其作业流程的优化程度与服务水平的高低,直接影响船舶在港停时和操作费用,进而影响船货的周转速度。因此,从多个角度研究集装箱码头的堆场系统,探索提高堆场通过能力的途径十分必要。

本文选择大连港集装箱码头堆场系统的通过能力为研究对象,基于对集装箱码头堆场系统的应用情况和存在问题的分析,运用排队论的原理和方法,构建了大连港集装箱堆场系统排队模型,找出制约堆场系统通过能力充分发挥的关键因素,并对此提出大连港集装箱码头堆场系统通过能力提升的对策和建议。

关键词: 大连港集装箱码头; 堆场系统; 通过能力; 排队论

ABTRACT

Container transportation developments rapidly in the field of maritime transportation because of its features like high efficiency, high benefit and high security. It is badly contributing to the international multi-modal transportation, and at the same time, it can greatly meet the requirement of “door to door” in the modern logistics. Container throughput in China increases year by year with the growth of container transportation. In 2013, there were seven ports of China within the ten largest container ports all around the world, and the national container throughput reached 0.205 billion TEU with 15.62% growth rate in the past decade. Faced with the good market opportunity, the capacity of container terminals is the key port for ports competition. The storage yard system is a part of the port system, whose operations and service have a direct impact on berth time and handling costs, thereby affecting the turnover of ships and cargo. So studying on the container storage yard from different points of view in order to improve its capacity is very necessary.

In the paper, the transmitted capacity of Dalian container storage yard system is selected to study, on the basis of the analysis about its situation and problems, and a model is set up by using the principles and methods of queuing theory, then come up with countermeasures and suggestions to improve the container storage yard system of Dalian Port.

Key words: Dalian Container Terminal; Storage Yard System; Throughput Capacity; Queuing Theory

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 本文的主要内容与技术思路.....	6
第 2 章 集装箱码头堆场系统及其通过能力概述.....	8
2.1 集装箱码头堆场系统的组成及功能.....	8
2.1.1 集装箱码头堆场空间布局.....	8
2.1.2 集装箱码头堆场机械系统.....	9
2.1.3 集装箱码头堆场信息系统.....	10
2.1.4 集装箱码头堆场系统功能.....	11
2.2 集装箱码头堆场系统生产概述.....	12
2.2.1 集装箱码头堆场系统生产特点.....	12
2.2.2 集装箱码头堆场系统作业流程.....	13
2.3 集装箱码头堆场系统通过能力概述.....	14
2.3.1 集装箱码头堆场系统通过能力定义.....	14
2.3.2 集装箱码头堆场系统通过能力影响因素.....	15
2.3.3 集装箱码头堆场系统通过能力计算方法.....	16
2.3.4 集装箱码头堆场系统通过能力主要评价指标.....	18
2.4 本章小结.....	20
第 3 章 大连港集装箱码头堆场系统现状分析.....	21
3.1 大连港集装箱码头概述.....	21
3.2 大连港集装箱码头堆场现状.....	22
3.3 大连港集装箱码头堆场系统存在的问题.....	22
3.4 本章小结.....	24
第 4 章 基于排队论的大连港集装箱堆场系统通过能力分析.....	25
4.1 排队论原理简介.....	25
4.1.1 排队系统组成.....	25
4.1.2 排队模型的符号表示.....	26

4.2 M/G/S/ ∞ / ∞ 排队系统.....	27
4.3 大连港集装箱码头堆场排队系统分析.....	29
4.3.1 集装箱码头堆场排队系统模型.....	29
4.3.2 大连港集装箱码头堆场排队系统随机事件分布规律分析.....	30
4.3.3 大连港集装箱码头堆场系统排队模型的构建.....	34
4.4 本章小结.....	36
第 5 章 大连港集装箱码头堆场系统通过能力提升建议.....	37
5.1 加快闸口通车速度.....	37
5.1.1 优化交提箱作业流程.....	37
5.1.2 提高信息录入的准确性.....	39
5.2 完善堆场作业计划.....	39
5.2.1 加强集装箱堆场出口箱堆存计划.....	39
5.2.2 加强集装箱堆场卸船前的搬移计划.....	40
5.3 设立缓冲区停车场.....	40
5.4 强化堆场管理.....	41
5.4.1 合理规划堆场布局.....	41
5.4.2 提高堆场作业机械效率.....	41
5.4.3 提高堆场系统管理的信息化.....	42
5.5 本章小结.....	42
结论与展望.....	43
参考文献.....	44
附录.....	48
致谢.....	51

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

我国集装箱运输成长迅速，具有跨越式发展的特点。改革开放时期，我国 4 个主要港口的集装箱吞吐量仅为 3.3 万 TEU，随着越来越多外资的投入，到 1998 年，我国港口集装箱吞吐量达到 1000 万 TEU。2001 年我国加入世贸组织，极大地推动了外贸量的增长，发展到 2003 年，全国集装箱吞吐量达到 4800 万 TEU，跃居世界第一。截止到 2013 年底，集装箱吞吐量为 2.05 亿 TEU，近十年的平均增长速度为 15.62%。2014 年上半年，我国集装箱运输市场保持平稳健康发展水平，吞吐量的增长速度将继续领跑全球同行港口。

我国集装箱运输的发展得益于我国经济贸易的快速发展和全球化的不断推进，同时，随着现代物流业发展的不断完善，集装箱运输不仅满足了“门到门”服务的运输需求，还使得国际多式联运中各个环节的无缝衔接成为现实。港口作为集装箱流通中的重要节点，集装箱化率的提高要求港口经营者要合理配置港口各项资源，寻求优化港内作业流程的途径，并积极利用现代信息技术提高集装箱在港内的流通速度，从而实现船货的快速周转，提高港口的服务水平。

大连港开展专业化的集装箱运输较早，是环渤海地区集装箱吞吐量增长速度最快的港口，为实现建设东北亚重要国际航运中心的宏伟目标，大连港需要把握东北地区建设制造基地和技术装备基地所带来的发展契机，通过提高自身能力来适应迅速增长的集装箱货源。堆场系统通过能力作为港口整体通过能力的组成之一，如何通过资源配置与优化作业流程来缩短船舶在港停时，提高船货周转速度对大连港集装箱码头的发展具有深远意义。

1.1.2 研究意义

集装箱码头属于资源密集型的经济体，为了适应集装箱吞吐量的逐渐增加，如果港口一味采用扩建码头规模、购置装卸机械等增加硬件基础设施投入的办法是不切实际的。因为码头硬件基础设施的建设需要以雄厚的资金实力为基础，同时，码头规模的扩建还要受制于码头的周边环境与资源，要考虑码头格局的扩大是否会影响临港工业的正常生产，是否会降低周边居民的生活质量，码头周边的

土地是否容易获取以及码头规模的改变是否会影响其自身的生产运行。而如果码头从提高软实力方面入手,通过掌握当前码头的各项资源、作业流程,通过分析生产面临的困难,找出制约码头生产能力发挥的因素,通过针对性的调整或优化措施不仅可以实现码头资源的充分利用,还可以提高码头的作业能力。

在集装箱码头的生产中,堆场系统作为其中的重要环节,是存储和调度从各地集运到堆场或是从集装箱船舶卸载下来的集装箱的重要场所,堆场系统的作业效率会影响到集装箱在港内的周转速度,进而影响到整个码头的作业效率。所以,分析堆场系统的组成和作业流程,掌握现有堆场各项资源配置情况和运营现状,通过合理的规划与科学的管理来提高堆场的利用率,促进堆场工作人员优化堆场作业流程,积极利用先进的信息技术提高堆场作业的自动化程度,解决堆场面积不足和车、船、货排队等待作业的问题,提高堆场的作业效率,提升集装箱码头的整体作业水平,最终到达实现增强码头竞争实力的目的。

1.2 国内外研究现状

集装箱码头堆场系统主要完成集装箱的堆存、搬运工作,堆存方式和搬运效率会影响集装箱在港内的流通速度,进而影响港口的作业效率和港口服务水平,所以国内外很多学者对集装箱堆场系统展开研究,研究内容主要包括堆场空间的分配与利用、堆场设备的配置与调度和闸口作业效率。

(1) 堆场空间的分配与利用研究

徐建华^[1]针对多层堆码导致取箱效率低下的问题,选择择箱指数来判断集装箱最佳堆存高度,以及集装箱在堆场的最优布置形式,以便在提高堆场面积利用率的同时也使取箱作业的效率得到提高。张维英和林焰等人^[2]为优化集装箱堆场出口箱的装取箱作业,建立了以场桥取箱作业时倒箱数最少为目标的取箱优化模型,运用最小生成数法和启发式算法进行求解,得出满足条件的装船顺序,提高港口装卸效率。计三有、高悦文^[3]对集装箱堆场系统的优化进行研究,分析了常见的倒箱原因,在构建出口箱区堆存模型时考虑了集装箱的重量等级分布因素,结合搜索技术提出合理安排箱区和箱位的办法,减少倒箱率,提高堆场利用率。周鹏飞、方波^[4]在对集装箱堆场出口箱位分配和优选的基础上,提出了动态环境下随机交箱序列的相位分配方法,选择启发式算法进行求解,并通过仿真模拟验证箱位分配的改善效果。杨军^[5]论述了经济全球化和货物集装箱化下集装箱码头

的发展趋势,指出集装箱码头堆场面积不足是制约港口通过效率和集装箱周转速度的重要原因,并在分析集装箱码头功能与容量的基础上提出减小堆场面积的方法策略。张艳和韩晖^[6]结合宁波某集装箱码头的箱量结构数据为基础,分析了翻箱的类型及各自成因,并重点阐述了装船翻箱和提箱翻箱的控制方法,为解决堆场面积利用率提高而导致翻箱率上升的问题提供了思路。张建新^[7]为研究集装箱码头堆场的平面布置和结构设计,以庄河港工程为例,运用强夯法和振冲法对其地基和平面布局进行计算和设计。王小变^[8]认为堆场布局的合理与否关系到码头机械的作业效率,进而影响到堆场的通过能力,在不同长度的箱区条件下,以所需龙门吊数量最小为目标构建数学模型,运用 Flexsim CT 仿真软件对龙门吊与岸桥不同配置方案进行模拟,分析箱区长度的变化对作业效率的影响。陈建刚^[9]认为合理的堆场策划有助于堆场作业效率与通过能力的提高,通过以进口卸船堆场运作为研究对象,重点解决了作业线冲突的问题,并为提高堆场策划效果提出四点建议。王志明和符云清^[10]以重庆港为例对集装箱后方堆场的箱位分配进行研究,通过构建优化模型,运用遗传算法求解最优的解决方案,提高堆场的利用率。卫家骏^[11]从提高集装箱码头的装船效率和装船质量的角度,利用启发式算法对出口箱的堆放位置展开优化研究,并“育锋”轮为实验船舶模拟验证该算法的可行性。

Taleb-Ibranhimi, De Castilh 和 Daganzo^[12,13]分别研究了进出口箱不同堆放策略对堆场面积、堆场利用率及倒箱量的影响关系。Kim 和 Park^[14]尝试用不同的数学算法和费用模型求解堆存方案,使得在不同目标、不同条件下的堆放方案达到最优。Peter 和 Erhan^[15]以船舶在港挂靠时间最短为目标,应用混合整数线性规划建立堆场堆存模型,再用遗传算法求解得出集装箱堆场的最优堆存方案。Zhang Chuqian 和 Jiyin Liu^[16]等人用变动放箱的方法确定某一时段内某个街应堆放的箱子数量,平衡街与街之间的工作量,从而实现集装箱从前方堆场到装卸船舶之间搬运距离的最小化。Jean 等人^[17]研究集装箱堆场箱区的分配布局,以集装箱从堆场箱区到装卸船舶的移动距离最小为目标,建立相应的整数规划模型,并运用遗传算法和禁忌搜索方法求解出最佳的箱区配置方案。Ping Chen 等人^[18]还用模拟退火算法和 SWO 优化算法对同样的问题进行了研究,并提出集合禁忌搜索和 SWO 优化算法特点的混合方法来求解。Ebru 和 Bish^[19]综合研究堆场空间配

置问题和桥吊调度问题,运用 TLS (Transshipment Problem Based List Scheduling Heuristic) 启发式规则集装箱的堆放位置分布和桥吊的作业时间优化对大型作业问题进行求解,并对最坏的情况作了分析。Murty 等人^[20]研究了集装箱拖车对堆场空间分配与利用的影响,提出因集装箱拖车集中到港而引起堆场作业繁忙的解决对策,保证堆场作业现场车流的畅通,提高作业效率。Kim 等人^[21]在研究堆场空间分配时,为降低集装箱堆取作业中的翻箱率,选择期望翻箱次数为指标,选择最优的到港集装箱位置分配方案,使得总翻箱次数达到最小。Byung Kwon Lee 和 Kap Hwan Kim^[22]在集装箱堆场布局优化研究中,将堆场的空间需求与龙门吊和运输机械的通过能力考虑在内,提出了两种堆场布局方案并对二者进行对比研究,同时从码头堆场通过能力的实际状况来考察两种方案的合理性。Jaehn, F^[23]对集装箱码头堆场中转箱区的堆放单元进行定位研究,以两种线性模型和启发式算法确定堆放单元的位置与移动方案,并用实际数据对该算法模型进行模拟验证。

(2) 堆场设备的配置与调度研究

刘义仓和孙小明^[24]提出用动态规划算法对等待装卸作业的集装箱堆场吊车进行排序,采用路线搜索法即就近服务排队规则,并通过仿真实验证明了该规则较先到先服务原则更能缩短等待时间。魏众和申金升^[25]对给定作业量的场桥调度优化进行研究,并建立了相应的混合整数规划模型,对集装箱码头的作业与管理具有现实指导意义。张楚廉^[26]为减少集装箱码头堆场作业的延迟时间,建立整数规划模型对轮胎式起重机的配置问题进行研究,并运用拉格朗日松弛启发式理论使得最终的配置方案满意程度最高。郭媚^[27]同时对堆场空间分配和作业设备的配置进行研究,建立综合成本模型平衡运输成本与堆场空间成本和场桥成本,并以此作为堆场每一行最优存放箱量和场桥配置数量的决策依据。魏众等人^[28]建立混合整数规划模型研究集装箱码头轮胎式龙门吊的优化问题,通过实际案例分析了既定作业任务情况下龙门吊的最短作业时间,为集装箱码头管理人员在龙门吊的调度优化工作方面提供决策依据。何军良等人^[29]结合集装箱码头堆场的空间分配情况对场桥的调度问题进行研究,构建了场桥动态调度的整数规划模型,再运用爬山算法求解出最优的场桥调度策略,并用仿真技术对上海某集装箱港堆场进行模拟,验证了该模型和算法的正确性和实用性。李斌^[30]结合哈佛体系结构和 Agent

技术构建了集装箱港口的物流系统,通过对混合流水线的集装箱港口装卸作业调度模型的研究,建立堆场设备的动态调度优化模型,并运用磁盘臂调度算法得出有效的调度计划。陶其钧^[31]从技术参数、技术性能和运营状况等角度对集装箱堆场机械的配置进行研究,对比分析了轨道式龙门起重机方案和轮胎式起重机方案在以上几方面的利弊,并以上海港为例,根据港口的地质条件以及堆场设备的投资风险和技术成熟程度,选择轮胎式龙门起重机方案。周秀菁^[32]研究堆场设备选择时综合考虑了码头吞吐量变化趋势、堆场堆存能力和条件、码头自然状态和工作环境以及腹地社会经济发展,详细分析了轮胎式起重机和轨道式起重机在作业灵活性、自动化程度和节能环保等方面的优点,认为集装箱码头堆场设备的选择决定于码头的经济效益和作业要求。苏君利^[33]除了考虑以上因素外,还考虑了码头的供电基础设施作为选择堆场设备的依据。魏航^[34]为降低因大量倒箱作业带来的码头营运成本增加,对集装箱码头的取箱作业时间进行研究,以科学调度堆场作业机械,通过构建取箱时间窗优化模型,求解最优的取箱时间分配方案,促进堆场作业效率的提高。侯玉梅^[35]分析了影响堆场通过能力的影响因素,以煤炭码头物流系统的 Petri 网为基础构建仿真模型,对煤炭码头的堆场布局及机械配置进行优化研究,使得堆场的机械设备配置与堆场通过能力相匹配。徐长生^[36]认为集装箱码头的机械配置与调度策略影响码头竞争力的大小,通过构建多目标的混合整数规划模型,对堆场上不同箱区之间龙门吊的配置问题进行优化研究,使得龙门吊的作业路径与作业移动时间实现全局最优。

Chung 和 Randhawa^[37]在提高场桥工作效率方面进行了研究,以尽可能减少场桥在作业时不必要的运行距离为目标,对场桥的路径优化与路径选择问题进行了探索。Lai 和 Lam^[38]对场桥配置策略做了仿真模拟研究,对比了不同配置策略下吞吐量、场桥利用率和作业等待时间等问题。Kim K H 和 Kim K Y^[39]对场桥只在一个箱区进行装卸作业的条件下对其移动路径做了优化研究,以场桥在箱区总移动时间最小为目标建立混合整数规划模型,但由于实际作业比此研究前提复杂,所以求解结果现实意义不大。Ballis 和 Abacoumkin^[40]研究了因堆场作业设备配置不当对码头内交通拥堵和延迟的影响,并运用仿真技术构建模型来评价堆场的空间布局以及堆场作业设备数量的合理性。Gambardell 和 Rizzoli^[41]在研究堆场设备资源配置问题时应用了网络流的相关理论和思想,根据堆场的作业情况和

设备情况建立整数规划模型,求解在能够正常完成生产任务的条件下,堆场各种作业设备,如场桥、叉车等的最优配置方案。W.C.Ng^[42]等人在已知不同作业准备时间的条件下,研究了多台龙门吊双向行驶时的调度问题,该调度问题在考虑设备干扰与车道共享因素后转变为整数规划问题,同时也是一个 NP-complete 问题,并验证了应用算法的有效性。Kozan 和 Presston^[43]对堆场场桥的合理分配进行研究,以作业于单船的所有场桥的最大工作时间最小为目标,建立相应的整数规划模型求解场桥的分配方案,使得已优化的堆放策略与科学的场桥分配方案相对应。Wang Bin 和 Yang Tao^[44]通过构建多目标的随机优化模型来对集装箱堆场的堆放效率进行研究,利用 Lingo9.0 软件求解堆场上应配置的龙门吊数量,保证堆场的作业能力与堆场的作业负荷相匹配。

(3) 闸口作业效率研究

顾俊^[45]将概率统计的方法引入到集装箱码头大门通过能力等方面的研究,结合工程实例,分别计算了重箱进、出港车道数量和空箱进、出港车道数量,并根据计算结果进行大门车道的选取。于越和金淳等人^[46]运用仿真优化方法对集装箱堆场大门系统的规划问题进行研究,首先以大门系统建设费用最小为目标建立规划模型,然后采用离散事件仿真模型进行描述,并通过案例分析验证仿真优化方法求解结果的有效性。谢金泉^[47]分析了传统闸口因布置简陋、信息化程度不高导致作业效率低的问题,并借鉴新一代闸口通过建立缓冲区以及设立和完善无线终端等信息设备的手段,对中小集装箱码头解决闸口滞留堵塞问题提出改善措施。麦宇雄和卢永昌等人^[48]将排队论引入到集装箱码头闸口的设计研究中,基于对闸口车道数的计算方法分析,结合闸口缓冲停车区的设计现状和存在的问题,建立闸口的 M/M/S 的随机服务系统求解最优的车道数量和缓冲停车区的长度,用于指导闸口的实际设计工作。高鹏^[49]研究了集装箱堆场闸口一侧的集装箱作业的优化顺序,并运用规则的自动分配箱位方法构建优化模型。

1.3 本文的主要内容与技术思路

本文分五个章节进行论证,主要是在集装箱码头堆场系统及其通过能力概述的基础上,结合大连港集装箱码头堆场系统的现状,运用排队论的方法对其进行分析,并根据分析结果提出针对性的建议与对策。具体内容如下:

绪论部分分析了文章的研究背景及意义,阐述了当前国内外有关集装箱堆场

的相关研究成果，指明文章的主要内容和研究思路。

第二章分别对集装箱码头堆场系统和通过能力的概念进行论述，介绍了集装箱堆场系统的功能及构成，分析了堆场系统生产的特点和作业流程，还从定义、影响因素和评价指标三个方面对集装箱堆场系统通过能力进行概述，为后文的研究奠定理论基础。

第三章选择具有代表性的大连港集装箱码头堆场系统作为研究对象，分析了该堆场系统当前的使用现状，指出存在的问题，为下文对策建议的提出提供依据。

第四章基于排队论理论对大连港集装箱码头堆场的排队系统进行分析，并构建了相应的排队模型，通过计算得出集装箱堆场系统的主要影响因素。

第五章综合上文的定性与定量分析，根据大连港集装箱码头堆场系统存在的问题和主要影响因素，对大连港集装箱码头堆场系统通过能力的提升提出对策与建议。

第2章 集装箱码头堆场系统及其通过能力概述

正确把握和理解研究对象的基本理论是本文的研究基础,本章分别从集装箱堆场系统和堆场系统的通过能力两个方面进行阐述。

2.1 集装箱码头堆场系统的组成及功能

集装箱码头堆场系统是由多种互相影响、互相作用的要素组成,并具有一定功能的有机整体,这些要素包括集装箱、堆场空间布局、堆场机械系统和堆场信息系统。

2.1.1 集装箱码头堆场空间布局

集装箱码头堆场的空间布局通常划分为集装箱码头前方堆场、集装箱码头后方堆场和闸口三个部分^[50]。

(1) 集装箱码头前方堆场

集装箱码头前方堆场是位于码头前沿和后方堆场之间,供直接进行装卸作业的集装箱船舶暂时堆放集装箱的地点。前方堆场的主要作用是缩短船舶装卸作业时间,因此在进口作业中,要将进口箱卸在码头前沿暂时堆放,在出口作业中,要在船舶到港前将出口箱按积载要求和作业计划有序地整齐、集中的堆放,以方便船舶的直接装卸作业,缩短船舶停靠时间。

(2) 集装箱码头后方堆场

集装箱码头后方堆场是对于前方堆场而言的,而事实上,前方堆场和后方堆场只是地理位置上的前后之分,并没有明确严格的界限,所以有些国家不作区分,将前方堆场和后方堆场统称为堆场。后方堆场主要是用于集装箱的保管和堆存以及重箱或空箱的交接,是集装箱运输整箱货进行“场到场”交接的主要场所。

(3) 集装箱码头堆场闸口

闸口是出入集装箱码头的大门,是堆场系统管理中控制进出港集装箱和货物的关键环节。闸口要在集装箱货物进场时仔细核对集装箱的箱体状况、各类单据,并做好相关记录和交接。

2.1.2 集装箱码头堆场机械系统

集装箱码头堆场机械系统是完成各项堆场作业的基础所在,目前集装箱码头堆场机械可以分为场桥系统、底盘车系统、跨运车系统、叉车系统、正面吊运机系统和混合系统,其中场桥系统又可分为轮胎式场桥系统和轨道式场桥系统。场桥系统在国内集装箱港口的应用较为普遍,还有一些港口根据自身条件和作业性质采取混合系统^[51]。

(1) 轮胎式场桥系统

轮胎式场桥系统是指由轮胎式龙门起重机完成堆场堆码和装卸车作业、由集装箱牵引车完成水平搬运作业的机械系统。轮胎式龙门起重机可堆码 5~6 层,堆场利用率高;具有较好的运行稳定性,且管理技术和维修技术成熟;堆场作业可实现自动化。但轮胎式场桥系统提箱作业不够灵活,翻箱率和倒箱率较高,导致装卸效率较低。

(2) 轨道式场桥系统

轨道式场桥系统是指由轨道式龙门起重机完成堆场堆码和装卸车作业、由集装箱牵引车完成水平搬运作业的机械系统。轨道式龙门起重机可堆码 4~5 层,堆场利用率也较高;“油改电”技术改造的推广实现了轨道式龙门起重机的电力驱动,节能环保效果显著。但轨道式龙门起重机受轨道制约,只能在一定范围内作业,因此该系统较轮胎式场桥系统灵活性差。

(3) 底盘车系统

底盘车系统是指底盘车连其承载的集装箱由集装箱牵引车完成从码头前沿到堆场之间的水平运输作业的机械系统。由于该系统无须进行堆码作业,所以堆场利用率很低,只适合那些吞吐量不大且占地面积较大的港口采用。

(4) 跨运车系统

跨运车系统是指由跨运车完成堆场堆码、水平搬运和装卸车作业的机械系统。跨运车可堆码 2~3 层集装箱,堆场利用率较底盘车系统高。该系统作业时,由于岸桥卸载集装箱时无需对位,所以装卸效率较高。但由于底盘车的构造复杂,液压部件多,维修技术要求高,所以应用范围不是很广泛。

(5) 叉车系统

与跨运车系统相似,叉车系统是指由叉车完成堆场堆码、水平搬运和装卸

车作业的机械系统。该系统通用性高，设备成本相对较低，机动灵活性程度高，但作业效率低，堆场利用率不高，液压部件维修复杂，适用于空箱堆场和吞吐量小的港口。

（6）正面吊运机系统

正面吊运机系统是指由正面吊完成堆场堆存、水平搬运和装卸车作业的机械系统。正面吊可堆码 3~4 层集装箱，还可进行隔箱作业，堆场利用率较高，但正面吊单机作业效率低，设备成本较高，且作业时机械之间易产生干扰影响，发生故障的可能性高。

（7）混合系统

混合系统是一些集装箱码头根据自身条件，综合以上机械系统的优点和缺点选择组合而成的机械系统，以便提高装卸效率和经济效益。该系统可以实现各类机械系统的优势互补，从而使整个系统发挥更大的能效，但同时该系统对港口自身的管理系统和信息系统有较高的要求，一般适用于发展水平较高的外国港口。

2.1.3 集装箱码头堆场信息系统

现代化集装箱码头的管理离不开信息系统的支持，信息系统的先进程度与覆盖广度已成为影响港口竞争力高低的重要因素。集装箱码头堆场的信息系统是堆场大门处用于采集相关信息和堆场上用于监控作业现场的各项技术，具体介绍如下^[52]。

（1）射频识别技术^[53]

射频识别技术 RFID（Radio Frequency Identification），是一种通过无线电讯号识别并获取相关数据的非接触式自动识别技术，因此也称无线射频识别技术。RFID 技术可以快速扫描高速移动物体，并且能够一次辨别多个 RFID 标签，同时抗污染能力和穿透性能良好，不但可以抵抗水、油和化学品等物质带来的污染，还可穿透非金属或非透明物质的阻挡。射频距离长的产品识别距离可达几十米，广泛应用于交通运输行业的多个领域。该技术在集装箱码头的应用主要体现在堆场闸口的集装箱标识系统和堆场的集装箱自动识别系统。

（2）光学识别技术

光学识别技术 OCR（Optical Character Recognition）是通过扫描等光学输入方式将单据等各种印刷品的文字信息转化为图片信息，再将图片信息转化为可使

用的计算机输入技术, 该技术软件由图片处理模块、版面划分模块、文字识别模块和文字编辑模块四部分组成。同 RFID 技术相似, 该技术在集装箱码头堆场主要用来集装箱箱号的光学识别。

(3) 电子数据交换技术^[54]

电子数据交换技术 EDI (Electronic Data Interchange), 是指行业内按照公认的标准, 将相关文档、数据进行标准化和格式化, 并利用计算机网络进行数据交换和自动处理。EDI 技术用电子传输的方式共享信息, 实现了无纸化办公。集装箱运输伴随着大量的集装箱货物、及其随附单据的信息, EDI 技术在集装箱管理中的应用, 使得集装箱在进港时便可将集装箱的基本数据及其运营信息通过系统传输给堆场工作人员, 便于集装箱码头各项资源的调配, 提高工作效率。

(4) 无线终端技术

集装箱码头的无线终端是现代网络技术在港口管理中的重要应用, 与有线网络相比, 无线局域网具有稳定性好、保密性强、易于安装和维护等优点, 方便了集装箱码头复杂作业的监控和各项资源的管理。

无线终端技术在集装箱码头的应用主要体现在两点, 一是作业现场的操作人员和管理人员与码头控制中心的信息沟通, 实现远距离的信息交换; 二是作业现场将相关数据传输回堆场管理控制系统, 便于作业现场的实时监控和跟踪, 实现数据的远距离处理。

(5) 全球定位系统^[55]

全球定位系统 GPS (Global Positioning System) 是覆盖海、陆、空全方位立体的实时定位与导航系统, 由空间卫星星座、地面控制系统和用户设备三个部分组成。该技术在集装箱码头堆场的应用主要在于自动纠编轮胎吊、自动定位集卡和集装箱, 还可以实现箱位的自动检测和位置数据的传输, 方便堆场作业计划的制定和集装箱的跟踪管理。

2.1.4 集装箱码头堆场系统功能

在集装箱运输中, 堆场主要是为进出口箱提供存放、保管的场所, 保证装船和提箱工作的顺利进行, 同时还要根据堆场作业计划对在港口的所有集装箱进行调度管理, 保证各项作业的稳定开展。

集装箱码头堆场系统的功能主要有以下四点:

（1）集装箱堆存功能

这是堆场系统最基本的功能。在进出口作业中，进口箱在卸船后要放在堆场堆存，出口箱要在装船前根据积载要求在指定位置集中堆放，同时，堆场也是陆港交接的主要场所。当货运高峰期过后，许多船公司都会选择将空箱存放在各个港口，以备货运高峰时期的不时之需。

（2）集装箱检验和修理功能

投入使用的集装箱要完好适用才能起到避免货物受损和保证船舶安全航行的作用。特殊情况下，船舶行驶中可对集装箱进行简单的检验和修理，但这项工作一般都是在码头堆场上进行。集装箱修理前，需要按照集装箱经营人规定的标准进行检验，堆场需要配备合格的验箱人员和修理人员，并设有相应的硬件修理设施，遵照集装箱经营人的要求进行修理。

（3）集装箱交接功能

码头堆场是船港交接和陆港交接的主要场所，同时也是划分集装箱经营人和用箱人风险与责任的重要基础，同时在交接时，堆场管理人员要与货主或其代理等相关各方做好各项检查与记录，保证信息的准确性与单据的完整性。

（4）集装箱货运功能

在集装箱运输中，拼箱货需要在集装箱货运站进行拆装箱，方便零担货物的疏运或交付，并且伴随现代物流产业的发展，集装箱运输不断向内陆延伸，货主对货物的保管和运输要求也越来越多样化，堆场也要为此提供越来越多的增值服务，保证港口作业的专业性与完善性。

2.2 集装箱码头堆场系统生产概述

2.2.1 集装箱码头堆场系统生产特点

集装箱码头堆场系统是整个集装码头系统的一部分，所以其生产特点与港口的生产特点相似，具体特点如下：

（1）生产任务的不平衡性

受货运市场周期性变化及贸易发展情况的影响，集装箱码头的生产任务具有时间不平衡的特点。在货运旺季，码头作业繁忙，堆场面积和堆场设施利用率高；在货运淡季，可供作业的集装箱数量较少，堆场生产能力富余，堆场各类资源闲

置。即使是一昼夜的不同工班间,也会存在作业线条数和待搬运集装箱数量上的差异。

此外,集装箱种类多样,所以集装箱码头堆场系统生产的不平衡性也体现在集装箱种类的不平衡性上。作业对象种类的不同,决定了装卸工艺和装卸机械设备的不同,对堆场的作业要求和操作人员的技术要求也会有所不同。因此,集装箱码头有必要根据自身的条件 and 生产任务的变化规律,合理规划堆场通过能力和各类资源的配置状况。

(2) 生产过程的连续性

集装箱码头通常在一昼夜内安排不同的工班,以保证 24 小时的可以连续作业,这样对于任何时段来港的船舶都可以进行装卸船、堆场堆存和集疏运作业,加快船货周转速度,尽量减少车、船、货的排队等待时间,提高码头的服务水平。

(3) 生产组织的协作性

集装箱码头堆场系统的生产需要多个部门的通力协作,堆场不仅要满足船公司及其代理、外贸公司及其代理以及集装箱经营人的要求,还要保证每票货物符合海关、检验检疫部门的各项规定。同时,集装箱在堆场内装卸、搬运和维修等作业的完成依赖于堆场机械设备、堆场管理人员、技术操作人员的调度与配合,任意部门或环节的缺失都无法使生产顺利进行。

(4) 生产信息的复杂性

现代集装箱码头的生产管理需要各种信息的引导,单就一票货物而言,船舶信息、集装箱信息、承运人、收货人等等要贯穿其中各个作业环节,堆场作为集装箱的集散地,处理着不同批次不同数量的货物,相关的货物信息不仅种类多,而且数量庞大,所以堆场系统要保证信息管理的准确性和有效性以确保各项生产的顺利开展。

2.2.2 集装箱码头堆场系统作业流程

集装箱码头堆场系统的主要作业有堆场作业计划的制定、堆场集装箱装卸作业、集装箱交付和集装箱安全保障,作业流程分为出口作业流程和进口作业流程。集装箱的流转形态有整箱货和拼箱货之分,交接方式依货运站(CFS)、堆场(CY)和门(Door)的组合有 9 中形式,本文选择整箱货场到场(CY to CY)交接方式为例阐述堆场系统的进出口作业流程^[56]。

1.出口作业流程

出口作业流程的具体步骤如下：

- (1) 托运人或其代理人向船公司或其代理人发出订舱申请，确定船舶号、航次号和舱位。
- (2) 托运人提取空箱。若货主拥有空箱，可直接进行装箱作业，若货主没有空箱，可以选择向堆场或船公司仓库提取。
- (3) 货物装箱。按照相关要求和规定将货物装入指定的集装箱，并完成单据的制定与记录。
- (4) 集运到堆场，进入闸口时需办理交接手续，然后将集装箱运至堆场进行卸车作业，完成后空车经闸口离开堆场。
- (5) 堆场遵照一定的规则和程序，将准确的船货信息统一报送给海关和检验检疫部门，协助海关和检验检疫部门及其人员的检查工作。
- (6) 集装箱船舶到港前，将待装船集装箱按积载要求集中堆放在堆场指定位置。
- (7) 船舶到港后，将需要在本港卸货的集装箱堆放到指定位置后，装船。
- (8) 船舶离开码头，驶向卸货港。

2.进口作业流程

进口作业流程的具体步骤如下：

- (1) 集装箱船到港，挂靠到指定泊位。
- (2) 根据堆场作业计划进行卸船作业，将卸载的集装箱堆放到堆场指定位置。
- (3) 堆场遵照以一定的规则和程序，将准确的船货信息统一报送给海关和检验检疫部门，协助海关和检验检疫部门及其人员的检查工作。
- (4) 集卡凭集装箱收发单空载驶入堆场，到重箱区存取重箱。
- (5) 货交收货人，拆箱后将空箱送回堆场。

2.3 集装箱码头堆场系统通过能力概述

2.3.1 集装箱码头堆场系统通过能力定义

港口系统由四部分组成，分别是泊位子系统、堆场子系统、装卸子系统和集

疏运子系统,国内学者陈家源将港口通过能力定义为^[57],在一定的营运期内(通常为一年),在既定的技术装备条件下,依照合理、先进的工艺流程组织生产活动所能过通过的最大货运量,计量单位为货物自然吨(或标准箱)。简而言之,港口通过能力大小取决于允许通过货运量的多少。

由此可以将集装箱码头堆场系统通过能力定义为,集装箱堆场系统在一定的营运期内(通常为一年),在既定的技术装备条件下,依照合理、先进的工艺流程组织生产活动所允许通过的最大货运量,计量单位为标准箱(TEU)。

2.3.2 集装箱码头堆场系统通过能力影响因素

由2.1节集装箱码头堆场系统的组成分析可知,堆场系统由集装箱、堆场空间布局、堆场机械设备等要素组成,而影响堆场系统通过能力的因素可能来自于系统自身,同时堆场系统作为港口系统的组成部分,始终处于一个动态变化的环境之中,所以堆场系统通过能力也受外部环境的影响^[58]。本文针对以下几个主要影响因素进行分析。

(1) 货物种类方面

对集装箱码头堆场而言,货物种类就是指集装箱的种类,由于不同种类的集装箱对装卸要求会有所差异,所以会对装卸机械的选择和操作人员的技术要求产生影响,最终会影响到堆场的作业效率。此外,由堆场系统生产特点的分析可知,集装箱在流向和时间上分布的不平衡会影响堆场面积、堆场设备的利用率,进而影响到堆场的营运通过能力。

(2) 设施设备的技术性能和作业条件

主要装卸、堆存设备是否处于良好的技术状态对堆场作业效率有着直接的影响,堆场的空间布局、堆存方式以及辅助设施设备会影响到设备的运行状况,间接影响作业效率。来港运输车辆的专业化程度和载重能力会对集疏运的作业效率产生影响,进而影响到集装箱在堆场堆存时间和周转次数;待作业车辆的排队时间与车辆到达和服务时间分布规律有关,这决定了堆场合理储备能力的大小;来港运输车辆由码头直接管理的方式比由车站统一管理的方式通过能力大些。

(3) 工作人员的数量和能力

人员也是堆场系统的组成要素,堆场空间的布局、机械设备的使用和作业计划的制定都是由堆场工作人员来完成的。堆场管理人员的专业素质越高,越能根

据生产实际制定出科学的制度与工作计划；堆场操作人员的操作技能越熟练，机械设备的技术性能越能得到充分的发挥，因此堆场要确保人力资源的合理配置和专业素养，充分利用起堆场的各项资源。

(4) 自然环境的影响

港口的生产作业处于开放的自然环境中，所以受天气等自然条件的影响较大。堆场系统的通过能力与营运时间直接相关，因此在恶劣天气下，港口无法进行正常的生产作业，营运天数的减少就会导致营运通过能力的降低。

2.3.3 集装箱码头堆场系统通过能力计算方法

集装箱堆场通过能力的计算有两种方法，一种是根据泊位通过能力（ $P_{泊}$ ）计算，另一种是根据堆场实际面积（ A ）计算^[59]。

(1) 根据泊位通过能力（ $P_{泊}$ ）计算

货物到港后的换装作业可分为直接换装和间接换装，所以在根据泊位通过能力计算堆场通过能力时要考虑入库系数（ K_{λ} ）的大小，或是泊位直接换装的通过能力（ $P_{直}$ ）的大小，即要满足 $P_{堆} \geq P_{泊} \cdot K_{\lambda}$ 或 $P_{堆} \geq P_{泊} - P_{直}$ ，其中 $K_{\lambda} \leq 1$ ，计算公式为：

$$P_{堆} = A \cdot K_A \cdot K_E \cdot a \cdot n_{堆} \quad (3.1)$$

式中

K_A ——堆场面积利用率，即可实际用来堆存货物的库场面积与库场总面积之比，不能堆存货物的面积是指堆场上必要的过道、堆垛间距、设备作业占地及装卸月台等等；

a ——单位面积堆存定额，即库场每平方米可堆存的货物量大小，单位为 t/m^2 ；

$n_{堆}$ ——计算期内堆场的周转次数。

此种方法能够较为合理的确定堆场面积，避免堆场能力与泊位通过能力不匹配所带来的堆场通过能力不足或是堆场面积过大的现象，但此种方法的缺点是由于已投入运营的港口，随着吞吐量和 $P_{泊}$ 的增加，堆场面积相对不足，堆场通过能力紧张，影响集装箱码头作业效率。

（2）根据堆场实际面积（ A ）计算

此种方法的计算公式同公式（3.1），方法（1）和（2）的区别在于适用情况不同。前者适用于指导码头的规划建设，或者适用于指导营运码头堆场通过能力的扩大建设。使用堆场面积计算堆场通过能力时要考虑影响堆场面积的因素，这些因素有：

（1）集装箱码头的装卸工艺

不同的装卸工艺选用的机械系统不同，对堆场的作业条件、作业能力要求不同，装卸工艺的选择要适应港口的生产任务与堆场能力。

（2）集装箱码头的货运量

这是影响堆场面积大小较为直接的因素，堆场面积要满足码头在营运期内通过集装箱的数量及入库量，还要考虑集装箱种类对各类堆存区的需求大小。

（3）集装箱码头的地质条件

堆场的作业量要在堆场地面的承载范围之内，对于地质条件较好的堆场，可以选择多层堆箱的方式，需要通过增加投资来巩固地基；对于地质条件较差的堆场，尽量选择单层堆箱方式，并根据需求适当扩大堆场面积。

（4）土地资源的可得性

当堆场面积不足时，如果港区附近的土地资源可以获取且价格低廉，则可以选择增加运输设备以适应远距离输送；如果土地资源紧张且价格较高，则可以选择在地面的承载范围内尽量堆高。

由于码头的通过能力取决于通过能力最小的子系统，随着国际贸易的发展和货物适箱率的提高，堆场面积不足是各个集装箱码头面临的普遍困难，出现这种现象的原因在于码头在规划时期对生产过程的以下几个问题估计有误：

（1）低估了集装箱运输的发展潜力，堆场能力的适应速度低于货运量和船舶大型化的增长速度；

（2）高估了堆场的堆码层数，总是理想的认为在实际生产中总可以实现最大层数的堆码方式，集装箱货物的种类及其在时间和流向上的分布影响着堆场的功能分区，堆场作业要考虑设备的作业条件和箱位移动，所以实际堆码高度要小于允许堆码高度。

（3）错误地判断了集装箱的堆存时间，堆场管理者常认为集装箱的堆存时

间短于杂货的堆存时间,而一些集装箱码头的生产实际表明,两者的堆存时间差不多,这会导致港口繁忙时堆场作业紧张,影响作业效率。

为此,堆场管理人员可以通过增加堆场面积的方式来提高堆场的通过能力,还可以尽可能地进行直接换装作业,减少入库的货物数量,对于间接换装的货物,要做好堆场作业计划,降低翻箱率和倒箱率,并在地面承受能力之内尽量堆高,还可以缩短货物堆存时间,鼓励货主尽早将货物提走。

2.3.4 集装箱码头堆场系统通过能力主要评价指标

评价指标是对堆场通过能力的考核与衡量,提高集装箱堆场系统的通过能力可以从改善评价指标的角度入手,本文对堆场平均利用率、堆场倒箱率、设备作业时间系数、设备有效行程系数和集装箱平均停留时间五项指标进行分析。

(1) 堆场平均利用率

该指标是用来衡量堆场空间的利用程度,是指堆存在堆场上的集装箱在某一时间状态下的堆存数量和堆码状态,计算公式为:

$$P_{\text{堆场}} = \frac{\sum_{i=1}^N B_{\text{层}i}}{B_{\text{总}} \sum_{i=1}^N C_{\text{层}i}} \quad (3.2)$$

其中

$P_{\text{堆场}}$ ——表示堆场平均利用率;

$B_{\text{总}}$ ——表示堆场总箱位数的设计容量;

$B_{\text{层}i}$ ——表示某一时间内堆场各层实际堆放的集装箱总数;

$C_{\text{层}i}$ ——表示堆场设计的各层集装箱堆码利用系数。

(2) 倒箱率

倒箱是指集装箱码头作业时,将所要提取的集装箱上的障碍箱移走,再移回原位的操作,是衡量堆场作业管理水平的重要指标。堆场可以通过提高堆场作业计划的精度来降低倒箱率,提高装卸效率,降低装卸成本。计算公式为:

$$K_{\text{倒箱}} = \frac{Q_{\text{倒箱}}}{Q_{\text{总}}} \quad (3.3)$$

式中

$K_{\text{倒箱}}$ ——表示计算期内平均倒箱率;

$Q_{\text{倒箱}}$ ——表示经过倒箱操作的集装箱数量(包括2次倒箱),单位为TEU;

$Q_{\text{总}}$ ——表示计算期内集装箱总数,单位为TEU。

(3) 设备作业时间系数

有计划地对设备进行检验、维修和保养,可以使设备处于良好的技术状态,延长设备使用寿命,在保持良好技术经济性的条件下,科学、均衡地使用设备不仅可以提高设备的利用率,还可以提高堆场的作业效率。计算公式为:

$$t_{\text{有效}} = \frac{t_{\text{作业}}}{t_{\text{统计}} - t_{\text{保养}}} \quad (3.4)$$

式中

$t_{\text{有效}}$ ——表示设备作业时间系数;

$t_{\text{作业}}$ ——表示设备统计期内设备实际作业时间(小时);

$t_{\text{统计}}$ ——表示统计时间时长(小时),规定一个月为720小时;

$t_{\text{保养}}$ ——表示计划的设备检验、维修和保养的时间(小时)。

(4) 设备有效行程系数

该指标可以用来衡量堆场装卸设备在作业时的装卸效率,是指在进行作业时设备有载行程占总行程的比重。计算公式为:

$$m_{\text{有效}} = \frac{q_{\text{总}} - q_{\text{空走}}}{q_{\text{总}}} \quad (3.5)$$

式中

$m_{\text{有效}}$ ——表示设备有效行程系数;

$q_{\text{总}}$ ——表示设备作业总行程;

$q_{\text{空走}}$ ——表示设备作业空走行程。

(5) 集装箱平均停留时间

是指在一定时期内,集装箱在堆场进行存储作业、拼拆箱作业和维修保养作

业的平均时间，是衡量堆场作业效率的主要指标，计算公式为：

$$t_{\text{平均}} = \frac{\sum N_{\text{存储}} t_{\text{存储}} + \sum N_{\text{拆拼}} t_{\text{拆拼}} + \sum N_{\text{维修}} t_{\text{维修}}}{\sum N_{\text{存储}} + \sum N_{\text{拆拼}} + \sum N_{\text{维修}}} \quad (3.6)$$

式中

$t_{\text{平均}}$ ——表示集装箱在堆场的平均停留时间（小时）；

$N_{\text{存储}}$ 、 $N_{\text{拆拼}}$ 、 $N_{\text{维修}}$ ——表示在堆场进行存储作业、拆拼箱作业和维修保养作业的集装箱数量（TEU）；

$t_{\text{存储}}$ 、 $t_{\text{拆拼}}$ 、 $t_{\text{维修}}$ ——表示集装箱进行存储作业、拆拼箱作业和维修保养作业的时间（小时）。

2.4 本章小结

本章首先从空间布局、机械系统和信息系统介绍了堆场系统的组成，并分析了堆场系统的功能，其次从生产运作的角度分析了堆场系统的生产特点和作业流程，最后基于以上堆场系统基本理论的论述，明确了堆场系统通过能力的定义，分析影响通过能力的主要因素和主要评价指标，为下文集装箱码头堆场系统通过能力研究模型的构建提供了理论基础。

第3章 大连港集装箱码头堆场系统现状分析

本文选择大连港集装箱码头堆场系统作为研究对象,对其通过能力的提升进行研究,为此,有必要了解大连港集装箱码头堆场系统的现状,分析可能限制堆场系统通过能力发挥或提高所存在的问题。

3.1 大连港集装箱码头概述

大连港集装箱码头位于大窑湾港区,集装箱码头群工程分为一期、二期和三期,自东向西分布在辽东半岛南端的大窑湾南岸。一期工程共有 7 个集装箱泊位,二期工程共有 6 个集装箱泊位,三期工程共有 5 个集装箱泊位,其中一期工程的 7 个泊位归大连集装箱码头有限公司 DCT (Dalian Container Terminal Co.,LTD) 所有,是大连港集装箱港区最早投入运营的专业化集装箱码头,DCT 具有代表性,本章将重点分析 DCT 集装箱码头的堆场系统。

DCT 集装箱码头拥有优越的自然条件,港区面积广阔,天然水深良好,港区气候适宜,全年不淤不冻。同时,DCT 集装箱码头区域优势明显,是环渤海湾的枢纽港,与日本、韩国相近,通航条件良好;也是东北经济区对外贸易的主要窗口,陆向腹地覆盖东北三省和内蒙地区,货源供给充足,经济和外贸物资流通发展潜力极大。

DCT 集装箱码头拥有一期工程的 3#~7# 和 9#、10# 码头,岸线总长达 1,846 米,泊位水深-9.4 米至-14 米,集装箱码头生产用集装箱泊位分两个部分,3#-7#泊位岸线的长度为 1 号系缆桩至 79 号系缆桩之间的距离 1428.7 米,其中 3#-7#号泊位水深分两段,3#、4#、5#泊位水深-12.1 米,6#、7#泊位水深约-14 米,泊位宽度统一为 64 米;9#、10#泊位总长 363 米,泊位水深-9.4 米,可同时靠泊 2 艘万吨级船舶或 3 艘 5000 吨级船舶。堆场面积 58.5 万平方米,纵深 475 米,码头吞吐能力达 230 万 TEU/年。截止 2013 年底,DCT 共有岸桥 14 台、场桥 41 台、拖车 45 辆、空叉 6 台、检查桥通道 18 个。目前,DCT 主要挂靠日本、韩国、朝鲜、东南亚等近洋航线以及国内支线、内贸航线,年操作船舶达 3200-3300 艘次,2013 年公司共操作箱量 348 万 TEU,占整个大连口岸的 35%。

3.2 大连港集装箱码头堆场现状分析

大连港集装箱码头堆场面积达58.5万平方米，一次性堆存能力为6.6万TEU。堆场现拥有场桥、叉车和集装箱牵引车等多种装卸机械和运输工具，堆场装卸作业以轮胎式龙门起重机系统为主，也可用叉车进行堆场的装卸、堆码和搬运作业，水平运输主要是由集装箱牵引车完成。

目前大连港堆场有着较高水平的信息化程度，在堆场大门营运环节，EDI技术和光学识别技术使得闸口可以自动扫描进入箱区的集装箱信息和集卡信息，并将相关信息传输给码头生产管理信息系统，最后堆场工作人员根据箱区业务协调系统指导集卡在堆场指定位置作业。在堆场物流系统管理环节，集装箱箱位自动分配系统可以对集装箱的堆存方式和堆存位置进行规划，堆场作业交通流的设计和堆场图形化的操作管理实现了堆场机械设备和作业过程的自动管理与控制，堆场机械的自动调度系统更是平衡了堆场作业，提高堆场和机械设备的利用率，从而提高堆场作业效率。

堆场年平均营运天数为360天，生产不平衡系数为1.2，各种箱所占比例和平均堆存期如表3.1所示，堆场的集疏运以公路为主，公路比例占87.57%，铁路占12.5%。

表 3.1 各种箱所占比例及平均堆存期

Tab.3.1 The proportion of the various containers and average stockpiling day

箱类	所占比例	平均堆存期
重箱	72%	10d
空箱	28%	7d
冷藏箱	7%	4d
拆装箱	7.5%	3d

数据来源：天津港交易市场网整理

3.3 大连港集装箱码头堆场系统存在的问题

集装箱码头投入运营多年后，面对集装箱吞吐量快速增长的局面，堆场系统

会存在堆场面积不足、机械设备效率下降、翻箱作业增加等问题，并且由于港口作业的不平衡性，使得在码头繁忙或班期延误的情况下，堆场作业计划与船舶作业计划的不协调使得堆场通过能力不足的瓶颈更加突出。

目前大连港集装箱码头堆场系统存在的问题主要有：

（1）堆场堆存面积紧张

堆存面积不足是限制堆场通过能力的直接因素。在出口业务中，如若堆场面积不足，堆场无法提供足够的位置容纳出口箱，这不但延误了出口装箱作业的正常进行，还要求来港口船舶推迟进港时间。在进口作业中，堆场面积不足无法给进口箱提供足够的箱位，需要堆场管理人员在进行卸船作业的同时要进行集装箱的疏运工作，导致码头装卸作业效率低下。

（2）堆场机械效率下降

在码头规划设计阶段，基础设施的建设和选择要考虑堆场的作业条件，当码头投入运营后，虽然会及时购买先进的机械设备，但由于设施条件的限制，码头作业仍要以旧设备为主，而旧设备机械性能的降低必然会影响其作业效率，进而影响堆场的通过能力。在堆场作业繁忙时，泊位、堆场、集疏运之间配合不当，会出现设备排队等待作业的现象，如岸桥等待后方机械送箱，集装箱牵引车等待场桥提供服务等。

（3）堆场翻箱作业增加

采用多层堆码的方式是缓解堆存面积不足，提高堆场面积利用率的常用手段。但当码头营运通过能力超过设计通过能力时，堆场系统堆码层数的增高会使翻箱作业增加，而场桥在进行翻箱作业时是不产生经济效益的，所以翻箱作业的增加不仅会降低装船效率，还会降低堆场设备的机械效率。

（4）各个作业环节衔接不当

码头的生产运作离不开各种作业计划的制定与执行，由于港口作业环节多，作业计划制定不统一或某一作业环节的延误会使整个作业流程受到影响，不仅作业计划无法如期进行，码头作业效率还会因某一作业环节的延误而降低，例如船舶到港前，堆场未完成出口收箱作业，船期延误后，大量集卡等待提箱进行疏运工作。这些情况不但使堆场的作业管理变得复杂，还会增加作业的危险性。

3.4 本章小结

本章首先介绍了大连港集装箱码头的发展现状,然后着重从装卸工艺、信息系统和堆场功能划分等方面对 DCT 集装箱码头堆场系统进行阐述,并分析了码头在投入运营后,堆场系统在堆场面积不足、机械设备效率下降、翻箱作业增加以及各个作业环节衔接不当四个方面存在的问题,这些问题都会影响堆场系统的通过能力,为堆场系统通过能力提升对策的提出提供了参考依据。

第4章 基于排队论的大连港集装箱堆场系统通过能力分析

排队等待作业是集装箱码头堆场生产作业的常有现象,也是导致集装箱码头堆场系统作业效率下降的重要原因。如果将外集卡看做是服务对象,则整个堆场系统便可看做为外集卡提供检验、收费、分配箱位等服务的排队系统。所以,研究堆场系统的通过能力可以用排队论的相关原理和方法对堆场排队系统进行分析。

4.1 排队论原理简介

排队论起源于1909年丹麦电话工程师A.K.爱尔朗对电话拥挤问题的研究,当服务数量超过服务台的容量时便会产生排队现象,因此,排队论用来研究服务系统因服务需求拥挤而产生的列队等待现象,是对服务供给与服务需求关系进行合理协调的数学理论。又因该理论以概率论为基础,所以也称为随机服务系统理论。

排队论主要研究排队系统的性态、统计推断和最优化三个问题。

性态问题是指对排队系统概率规律的研究,这是排队论研究的核心,也是研究其它两个问题的基础。性态问题主要研究排队系统的重要指标,包括顾客等待时间、忙期的概率分布和队长。

统计推断是指用数理统计的方法将观察测量和资料搜集来的数据进行加工处理,总结排队系统的规律属于哪种模型,并选择相应的方法和原理来分析和处理该系统的相关问题,促进理论研究成果在实际生产生活中的推广运用。

最优化问题是指基于以上两项研究,对运营中的服务系统进行控制和管理,以便达到最优的运营效果,既能满足服务需求,又能使排队等待时间最短。对于不同的服务系统,最优化处理的方式不同。对于未设置的服务系统,最优化是要根据对未来运行情况的估计对系统进行设计达到静态最优;对于已存在的排队系统,最优化是要建立时间函数,通过运行过程的控制达到动态最优。

4.1.1 排队系统组成

一般的排队过程都是由输入过程、排队规则和服务过程三部分组成^[60]。

(1) 输入过程

输入过程是指顾客到达服务系统的规律性,由顾客的到达规则和到达时间间

隔来描述。到达规则是指顾客的组成是否是有限的、到达方式是单个的还是成批的、到达客户是相互关联的还是相互独立的。当到达时间间隔服从某一数学分布时则认为输入过程是平稳的,当到达时间间隔不服从某一数学分布时则认为输入过程是非平稳的。

(1) 排队规则

排队规则是指顾客到达排队系统时以怎样的规则排队等待,按规则的不同可分为以下三种:

①损失制,是指顾客到达排队系统时,若所有的服务台都被占用,顾客选择离开;

②等待制,是指所有的服务台都被占用,顾客排队等待,在接受完服务后离开;

③混合制,是指在一定的队列长度和排队等待时间内,顾客选择排队等待,超过一定限度就会选择离开,混合制既有损失又有等待,介于以上两种规则之间。

(2) 服务过程

服务过程由服务机构和服务规则两种因素决定。

服务机构按照服务台的个数,可以分为单服务台、有限个服务台和无限个服务台;按照有限个服务台的结构不同,又可分为多服务台串联、多服务台并联和混合型。

服务规则是指为顾客提供服务的方式,按方式可分为先到先服务(FCFS)、后到先服务(LCFS)、随机服务和优先服务。其中先到先服务是较为常用的方式。

4.1.2 排队模型的符号表示

排队模型的表示是由六个符号和斜线组成的,通常记为 $X/Y/Z/A/B/C$ 。其中 X 表示顾客到达时间间隔或到达流的分布, Y 表示服务时间的分布, Z 表示服务台数目, A 表示系统容量限制, B 表示顾客源的数目, C 表示服务规则,并规定,省略后三项的排队模型是指 $X/Y/Z/\infty/\infty/FCFS$ 。未特别说明时,服务规则一般为先到先服务,因此可省去第六项。

4.2 M/G/S/ ∞/∞ 排队系统

对于经典的 M/G/1 排队系统而言, 顾客到达时间间隔服从参数为 λ ($\lambda > 1$) 的 Poisson 过程, 服务时间服从期望为 $1/\mu$ 、方差为 σ^2 的任意分布, 假设顾客到达时间间隔和服务时间是相互独立的, 并且该排队系统的服务规则为先到先服务 (FCFS)。

图 4.1 显示了在第 n 个顾客离去的瞬间系统内顾客数量。

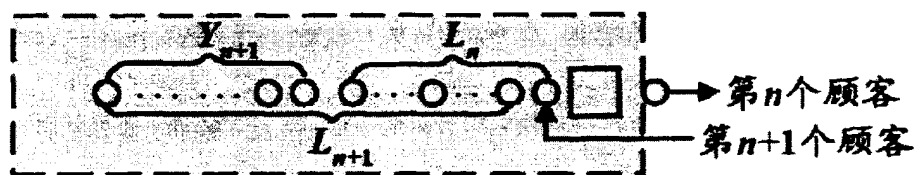


图 4.1 排队系统状态图

Fig.4.1 The statue of queue system

记第 n 个顾客离开瞬间排队系统的队长 L_n , 在第 $n+1$ 个顾客接受服务时到达系统的顾客数为 Y_{n+1} , 则

$$L_{n+1} = \begin{cases} L_n + Y_{n+1} - 1 \\ Y_{n+1} \end{cases} \quad (4.1)$$

根据波莱克泽克·辛钦 (Pollaczek-Khinchin) 平均值公式可计算得出以下几项指标:

(1) 系统平均队长 L_q

$$L_q = E[L_n] = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1-\rho)} + \rho \quad (4.2)$$

(2) 系统平均等待队长 L_w

$$L_w = L_q - \rho = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1-\rho)} \quad (4.3)$$

(3) 系统平均等待时间 T_w

$$T_w = \frac{L_w}{\lambda} \quad (4.4)$$

(4) 系统平均停留时间 T_q

$$T_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (4.5)$$

以上各式中, ρ 为服务强度, 满足 $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, 当 $\rho < 1$, 认为系统处于平稳状态。

在 M/G/S 排队系统中, 服务台个数从 1 增至 s, 服务强度 $\rho' = \frac{\lambda}{s\mu}$, 设该排

队系统在平稳状态下, 当 ρ' 接近 1 意味着所有的服务台都处于工作状态 (或都处于空闲状态), 此时排队系统 M/G/S 与排队系统 M/G/1 相似, 且服务时间是服从期望为 $1/s\mu$, 方差为 $\sigma'^2 = \frac{\sigma^2}{s^2}$ 的任意分布, 服务效率变为 $s\mu$, 参照公式 (4.1)

~ (4.5), 排队系统 M/G/S/ ∞/∞ 各项指标计算公式为:

(1) 系统平均队长 L_q'

$$L_q' = E[L_n] = \frac{\lambda^2 \sigma'^2 + \rho'^2}{2(1 - \rho')} + \rho' \quad (4.6)$$

(2) 系统平均等待队长 L_w'

$$L_w' = L_q' - \rho' = \frac{\lambda^2 \sigma'^2 + \rho'^2}{2(1 - \rho')} \quad (4.7)$$

(3) 系统平均等待时间 T_w'

$$T_w' = \frac{L_w'}{\lambda} \quad (4.8)$$

(4) 系统平均停留时间 T_q

$$T_q' = \frac{L_q'}{\lambda} \quad (4.9)$$

4.3 大连港集装箱码头堆场排队系统分析

4.3.1 集装箱码头堆场排队系统模型

集装箱码头堆场排队系统模型的分析要基于堆场系统生产作业流程,集卡从进场到出场要先后接受在闸口的进出场检查和堆场的装卸搬运等多项服务,集装箱码头堆场多级排队系统如图 4.2 所示。

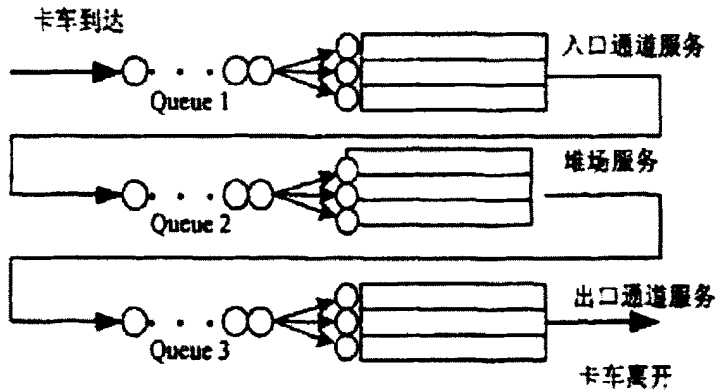


图 4.2 集装箱码头堆场多级排队系统

Fig.4.2 The multistage queue model of container terminal yard system

在图 4.2 中,卡车是堆场系统的服务对象,入口通道为一级服务台,集装箱堆场为二级服务台,出口通道为三级服务台。整个堆场系统的服务过程为:集卡到达入口通道,若有空闲通道,集卡则可以接受服务,否则按指定排队规则进入 Queue1 排队等待;入口通道服务完成后,集卡进入集装箱堆场,如有空闲堆场装卸机械,集卡则可以接受服务,否则按指定排队规则进入 Queue2 排队等待;堆场装卸作业完成后,集卡到达出口通道,若有空闲通道,集卡则可以接受服务,否则按指定排队规则进入 Queue3 排队等待。接受完所有服务后,集卡驶离闸口,退出集装箱堆场服务系统。

在堆场排队系统中考虑闸口,是因为堆场系统的作业与闸口密切相关。在码头整体作业系统中起到缓冲的作用,但由于堆场能力有限,如果闸口不对集卡的进入数量加以限制,堆场作业空间会更加拥挤,堆场的缓冲作用减弱,作业效率也会降低。由此可以看出,闸口可以对堆场系统的作业起到调节作用。同时,在

讨论堆场排队系统时,要对车辆到达的时间间隔分布规律进行研究,其基础为到港的车辆的统计数据,相对于堆场本身,闸口对于车辆数据的统计更为方便。

4.3.2 大连港集装箱码头堆场排队系统随机事件分布规律分析

对排队系统的分析离不开对顾客到达时间间隔和堆场系统服务时间的分析,根据 4.1 节排队论的原理可知,顾客到达时间间隔和服务时间都属于随机事件,并服从一定的分布。因此,本文收集了大连港集装箱码头 2013 年 1~6 月的运营数据,整理统计出集卡到达情况和堆场服务时间情况的数据,并以此作为构建堆场排队系统中各个随机变量的原始模型,对研究系统的随机时间的分布规律进行分析。

(1) 集卡到港时间分布规律分析

研究外集卡的到达规律是分析集装箱堆场闸口作业系统的基础,由于各个运输公司之间是相互独立的,所以,可以认为到达码头大门的外集卡也是相互独立的,即外集卡的到达时间是随机的,因此只能用统计学的方法处理大量的统计样本数据,分析外集卡到达的时间规律。

收集大连港集装箱码头大门入口通道 2013 年 1~6 月的统计数据,选择期间最为繁忙的一个月进行统计分析,统计得出外集卡每小时到达数量如表 4.1 所示。

表 4.1 每小时进闸外集卡频数统计

Tab.5.1 The frequency statistics of truck entering the gate per hour

外集卡到达频数(辆/小时)	≤100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250	250 ~ 300	300 ~ 350	350 ~ 400	400 ~ 450	450 ~ 500	500 ~ 550
频数	1	3	7	10	15	30	49	78	99	123
外集卡到达频数(辆/小时)	550 ~ 600	600 ~ 650	650 ~ 700	700 ~ 750	750 ~ 800	800 ~ 850	850 ~ 900	900 ~ 950	950 ~ 1000	合计
频数	101	86	63	36	23	12	5	2	1	744

数据来源: 中国港口集装箱网整理

观察表 4.1 中的数据,不难发现外集卡到达时间与 Poisson 分布的特征基本符合,外集卡到达频数在 450~500、500~550、550~600 和 600~650 范围内较高,说明外集卡到达的数量主要集中在 400~650 之间。为了验证外集卡到达是否服从

Poisson 分布,利用 SPSS 软件对上述数据进行单样本 K-S 检验,检验结果如表 4.2 所示。

表 4.2 单样本 K-S 检验结果

Tab.4.2 The result of One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		外集卡
N		744
Poisson 参数 (a,b)	平均	557.66
最极端的差异	绝对值	.403
	正指数	.385
	负指数	.403
Kolmogorov-Smirnov Z		10.986
双尾概率 (2-tailed)		.364

A. Test distribution is Poisson
B. Calculated from data.

一般认为,在显著水平 $\alpha=0.05$ 的情况下,双尾概率 >0.05 ,则认为检验样本与理论分布是不存在差异的,在表 4.2 中,双尾概率为 $0.364>0.05$,所以可以认为经过拟合分析的大连港集装箱码头堆场外集卡到达闸口的时间服从 Poisson 分布,又由平均数为 557.66,可得平均到达率 $\lambda=558$,入口通道服务时间即外集卡进入闸口的时间间隔服从负指数分布。

由于进入闸口的外集卡有重车和轻车之分,且两者的到达时间相互独立,因此可以认为重车和轻车的到达时间都服从 Poisson 分布。据统计,重车与轻车到达数的比列约为 3:2,由于每小时进入闸口的车辆数为 558,所以,重车的到达频数为每小时 335 辆,轻车每小时为 223 辆。

(2) 外集卡接受服务时间分布规律分析

集卡从到达入口通道开始接受服务到服务完成所用的时间,反映了堆场服务效率的高低,同时也反映了集装箱码头堆场系统作业效率的高低。服务时间既是直接影响堆场排队系统的各项性能的重要因素,也是用系统仿真及相关理论研究集装箱码头作业系统的重要输入参数。

参照集卡到港时间分布规律的分析思路,外集卡从到达闸口到完成服务的时间分布规律也要以 2013 年 1~6 月的统计数据为基础,统计结果参照附录。图 4.3 和图 4.4 分别是交箱作业与提箱作业时间的频数直方图。

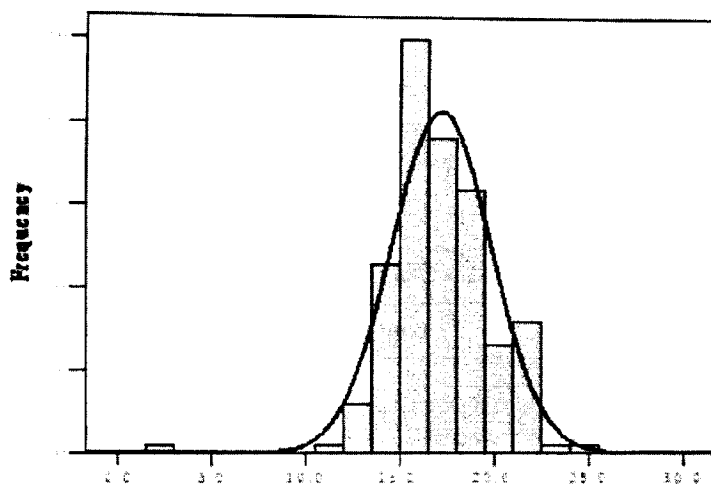


图 4.3 交箱作业时间频数直方图

Fig.4.3 The frequency histogram of grounding time

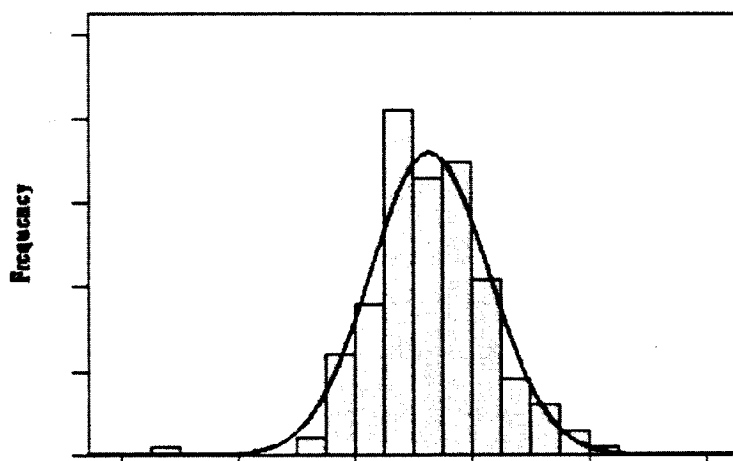


图 4.4 提箱作业时间频数直方图

Fig.4.4 The frequency histogram of pickup time

观察图 4.3，交箱作业时间主要集中在 12.5-25min 区间上，并可从图中曲线的拟合效果来看，交箱作业时间分布服从正态分布。利用 SPSS 软件进行单样本 K-S 检验，在显著水平 $\alpha=0.05$ 的情况下，双尾概率为 0.522，大于显著性水平，因此可以认为交箱作业时间服从期望为 1.172，方差为 0.26338²的正态分布，具体检验结果如表 4.3 所示。

表 4.3 单样本 K-S 检验结果

Tab.4.3 The result of One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		交箱作业
N		182
Poisson 参数 (a,b)	平均	1.7218
	标准偏差	.26338
最极端的差异	绝对值	.060
	正指数	.060
	负指数	-.057
Kolmogorov-Smirnov Z		.814
双尾概率 (2-tailed)		.522

A. Test distribution is Normal.

B. Calculated from data.

观察图 4.4，提箱作业时间主要集中在 25.0-50.0min 区间上，并可从图中曲线的拟合效果来看，提箱作业时间分布服从正态分布。利用 SPSS 软件进行单样本 K-S 检验，在显著水平 $\alpha=0.05$ 的情况下，双尾概率为 0.885，大于显著性水平，因此可以认为提箱作业时间服从期望为 3.6439，方差为 0.50366²的正态分布，具体检验结果如表 4.4 所示。

表 4.4 单样本 K-S 检验结果

Tab.4.4 The result of One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		提箱作业
N		182
Poisson 参数 (a,b)	平均	3.6439
	标准偏差	.50366
最极端的差异	绝对值	.043
	正指数	.043
	负指数	-.042
Kolmogorov-Smirnov Z		.584
双尾概率 (2-tailed)		.885

A. Test distribution is Normal.
B. Calculated from data.

以上分析表明交箱作业时间和提箱作业时间服从正态分布，并且检验结果与大连港集装箱码头堆场交箱和提箱的平均作业时间的统计结果相符。在实际生产中，提箱时的作业环节多于交箱作业，因此提箱作业所用的平均时间要大于交箱作业所用的平均时间，在表 4.3 和表 4.4 中，交箱平均作业时间为 1.7218min，提箱平均作业时间为 3.6439min，证明本文的分析结果与实际相符。

4.3.3 大连港集装箱码头堆场系统排队模型的构建

基于排队论理论和大连港集装箱码头堆场排队系统随机事件分布规律的分析，本文构建了大连港集装箱码头堆场排队系统的模型，并根据排队系统各个指标的求解结果分析大连港集装箱码头堆场通过能力的瓶颈所在。

现根据排队系统的组成对大连港集装箱码头堆场排队系统的输入过程、排队规则和服务过程做出如下假设：

(1) 外集卡到达时间是相互独立的，并且服从相同分布，并认为系统的输入过程是平稳的。在堆场系统中，货物一般是同时达到的，而外集卡很少有同时到达的现象，因此可以认为外集卡的到来是单个的，各个运输公司的相互独立也决定了外集卡的到来是随机的。同时，码头堆场生产具有连续性的特点决定了到达堆场的外集卡是无限的，即堆场排队系统的顾客是无限的，所以可以认为系统

在长时间运行后能够达到平稳状态。

(2) 堆场排队系统采用等待制的排队规则。当外集卡到达各级服务台后，若有空闲通道或堆场作业机械，则可以直接接受服务，否则选择较短的队伍排队等待。

(3) 服务机构中所有服务台的服务能力相同且相互独立，每个入口通道和出口通道每次只能通过一辆车，并且假设通道的服务时间与外集卡到达时间间隔是相互独立的。服务规则是先到先服务。

综合以上分析，大连港集装箱堆场系统是一个 $M/G/41/\infty/\infty/FCFS$ 的排队系统，按照公式 (4.6) ~ (4.9) 计算各个指标的结果如表 4.5 所示。

表 4.5 排队系统指标求解结果

Tab.4.5 The solving result of the queue system

作业	排队系统指标	排队系统指标值
交箱作业	系统平均队长 L_{Iq} (辆)	75
	系统平均等待队长 L_{Pw} (辆)	74
	系统平均停留时间 T_{Pq} (min)	23.18
	系统平均等待时间 T_{Pw} (min)	18.90
提箱作业	系统平均队长 L_{Gq} (辆)	166
	系统平均等待队长 L_{Gw} (辆)	165
	系统平均停留时间 T_{Gq} (min)	35.73
	系统平均等待时间 T_{Gw} (min)	28.55

观察表 4.5 可知，无论是重车的交箱作业，还是轻车的提箱作业，都存在排队等待的情况，且排队系统交箱作业的各项指标都小于提箱作业的各项指标，说明提箱作业时的排队现象较为严重。结合以上对排队系统的分析易得，在交箱作业中，系统平均停留时间 T_{Pq} 为 23.18min，系统平均等待时间 T_{Pw} 为 18.90min，说明交箱作业在一级服务台的排队时间较长，即重车在入口通道处的排队现象较为严重；在提箱作业中，系统平均停留时间 T_{Gq} 为 35.73min，系统平均等待时间 T_{Gw} 为 28.55min，说明提箱作业在二级服务台的排队时间较长，即轻车在堆场作

业时的排队现象较为严重。从而表明，闸口的服务水平是影响重车交箱效率的主要原因，堆场的作业效率是影响轻车提箱效率的主要原因。为此，大连港集装箱码头要缩短外集卡到港后排队等待作业的时间，加快闸口和堆场的作业效率，尽量减少车辆在港停留时间，加速车辆周转速度，进而提高集装箱堆场的通过能力，增强码头的竞争力。

4.4 本章小结

本章以排队论为基础，分析了大连港集装箱码头堆场系统的排队网络模型，找出了外集卡的到达时间间隔和堆场服务时间的分布规律，并以此构建了大连港集装箱码头堆场系统排队模型。从计算结果的分析表明，闸口和堆场是影响堆场系统作业效率的主要原因，也是影响堆场系统通过能力的主要原因，所以，大连港集装箱码头堆场系统通过能力的提升要从这方面入手。

第 5 章 大连港集装箱码头堆场系统通过能力提升建议

提出提升大连港集装箱码头堆场系统通过能力的建议是本研究的最终目的所在，也是本研究的意义所在。本章要基于第 3 章分析得出的大连港集装箱码头堆场系统存在的问题，以及第 4 章分析得出的影响大连港集装箱码头堆场系统作业效率的因素，结合生产实际提出切实可行的建议与对策。

5.1 加快闸口通车速度

车辆到达闸口后，闸口要对集装箱箱体进行检验，并将相关信息录入系统传递给海关，作为划分风险责任的重要基础，闸口要承担着箱体损坏或相关信息有误的一切责任，这在一定程度上加重了闸口的作业任务和作业难度。此外，闸口还有义务将车辆和集装箱的基本信息报告给船公司，但码头无法与所有的班轮公司进行 EDI 信息交换，所以加快闸口的通车速度要从如何提高货运信息的传送入手。

5.1.1 优化交提箱作业流程

拖车预约系统（Pre-advice System）是闸口工作人员用以核对物流公司或集卡司机事先提供相关信息的工作系统。该系统要求物流公司或是集卡司机要在车辆到港前，用电话沟通或内部工作系统将车辆信息告知闸口工作人员，这样使得车辆在进入闸口时，在箱体检查和单证及铅封核对两项工作的基础上可同时完成刷 PCC 卡收取闸口费用和获取 CMS，和现有的闸口工作流程相比，该系统缩短了闸口工作人员核对信息的时间，加快了车辆到达停车场的速度。

图 5.1 和 5.2 显示了使用拖车预约系统后交提箱作业的作业流程。

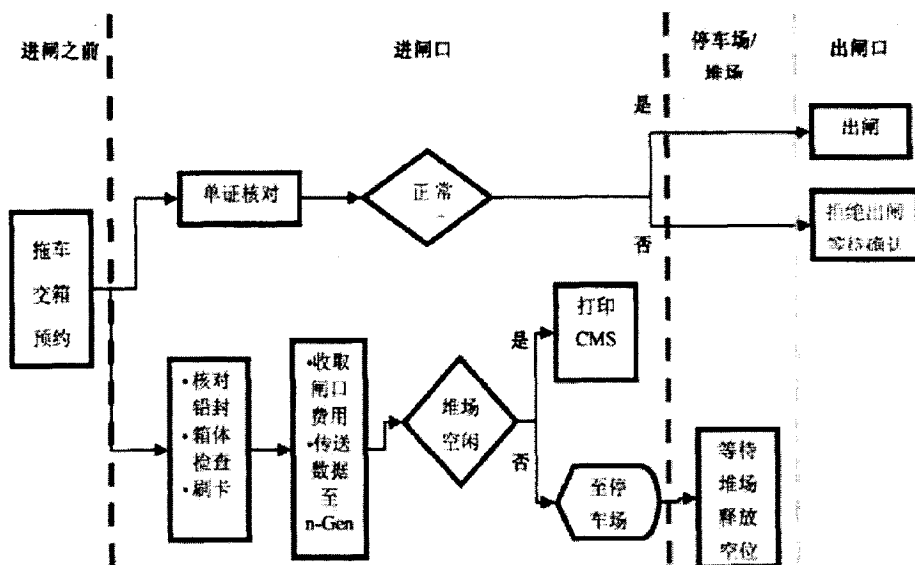


图 5.1 优化后的交箱作业流程

Fig.5.1 The grouding work-flow after optimization

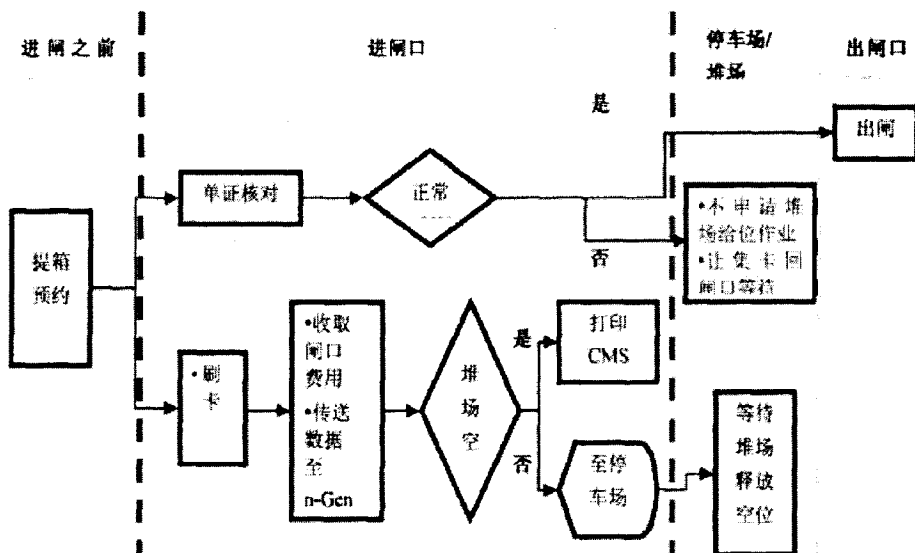


图 5.2 优化后的提箱作业流程

Fig.5.2 The pickup work-flow after optimization

5.1.2 提高信息录入的准确性

拖车预约系统的试运行表明,信息一旦错误录入,就需要工作人员特殊处理问题车辆,从而导致闸口作业效率的降低了,因此提高闸口的通车速度还要从提高货运信息录入的准确性入手。首先,集卡司机的专业水平和工作态度是影响信息准确性的重要因素,所以码头为方便自身工作着想,应加强与物流公司的合作交流,在自身条件允许的情况下,邀请码头专业人员对集卡司机展开专门的培训,帮助集卡司机掌握闸口的工作要求与工作流程。其次,建立明确的赏罚制度,可以采用积分的形式,将积分划分为不同的等级,并与一定的奖惩措施相对应,为正确录入信息的司机积分,为错误录入信息的司机扣分,累计到一定程度时给予奖励或惩罚。同时,码头自身也要提高自身的服务水平,积极向信息录入困难的司机提供帮助,完善全方位实时的信息咨询服务。

5.2 完善堆场作业计划

由 3.3 分析可知,码头各项生产作业的衔接不当会使原本紧张的堆场用地因空间不足而更加拥挤,使得出口装船作业和进口箱的堆存作业都无法顺利开展,因此有必要对堆场系统的堆存计划进行管理,减少堆场作业和装卸船作业的冲突。

5.2.1 加强集装箱堆场出口箱堆存计划

为了方便出口箱的装船作业,一般情况下出口集装箱到港前,堆场工作人员会让各个船公司提供出口箱的全部基本信息,包括船名、航次、卸货港、种类、尺寸和重量等级等,堆放原则是将相同船舶和航次的出口箱堆放在一起,并依照卸货港、种类、尺寸等标准分别堆放。这种堆放原则可以节省堆场空间,如果在堆存中与装船的积载图相匹配的话,会大大减少后续的倒箱作业,加快装船速度。

考虑到堆场生产过程中作业人员和机械配置的合理性问题,上述原则在应用时要进行灵活的调整。因为过分集中或是过分分散的堆放都不利于堆场人员与机械的充分利用。如果将相同船名和航次的出口箱堆放过于集中,导致垛与垛之间的间隔过小,不利于人员的指挥和作业机械的移动,增加作业现场的管理难度和危险系数;如果堆放过于分散,不仅不利于堆场面积的充分利用,还会使堆场有限的作人员和作业机械过于分散,增加移动距离,导致人员和机械的不足。因此,

在按船名和航次进行分类时,可以根据堆场资源的情况进行调整,即在堆场用地紧张时可将不同船名和航次的出口箱堆放在一起。但要注意的是,如果不同船名和航次的出口箱有着较为相近的船期,会导致装船时互相干扰,影响装船效率,因此要避免这类情况发生。

加强出口箱堆存计划时要特别注意出口中转箱的堆存,堆场计划人员要尽可能事先获取二程船的船名、航次和到港时间,协调好中转箱的卸船收箱和装船发箱工作,减少中转箱的倒箱作业。

5.2.2 加强集装箱堆场卸船前的搬移计划

出口箱装船完毕前,如果堆场工作人员检查出出口收箱区有剩余的集装箱,并经船方确定是该船撤载的集装箱时,堆场计划人员要马上制定搬移计划,将撤载的集装箱转移到新计划的指定区域,否则,这些集装箱会造成堆场面积不必要的浪费,还会影响后续将在该区域进行出口收箱和装船发箱作业的进行。

搬移计划的制定可以将确定撤载的集装箱集中堆放,避免新到船舶将集装箱卸到这些集装箱上,这在一定程度上不但提高了堆场的利用率,还可以减少提箱作业中的倒箱操作,加快堆场系统内集装箱的流通速度,带动集装箱码头车、船、货的快速周转。

5.3 设立缓冲区停车场

4.3 节的分析结果显示,交箱作业的排队现象在一级服务台,即闸口的入口通道处较为明显,提箱作业的排队现象则是在二级服务台,即堆场作业区内较为明显。当车辆抵港后无法顺利进入堆场接受服务,而是集中在某一区域时便会造成现场压车,使堆场系统变得拥挤。

为此,本文建议在闸口的入口通道与集装箱的作业堆场之间建立缓冲区停车场,保证堆场作业区域内的每台机械都能够在已确定的工作负荷下工作,实现作业机械的均衡利用,维持堆场有序的作业环境,避免装卸船作业与交箱、提箱作业相互冲突,提高堆场系统的作业效率。

缓冲区停车场的作业原理是:首先设定各个箱区允许等待作业的集卡数量,如果集卡数量达到该箱区的设定值时,集卡需要进入缓冲区排队等待,当箱区内有车辆完成作业且离开后,缓冲区内的集卡可被提示进入堆场开始作业。在交箱

作业和提箱作业中,如果正在进行装卸作业的箱区排队等待的集卡数量超过设定值时,闸口工作人员可以向集卡司机打印进入缓冲区停车场的凭据,随后集卡司机可以凭此在停车场办理交箱作业和提箱作业的相关手续,与此同时,堆场系统将该集卡的基本信息传输给堆场计划人员用以调整堆场的作业计划,当集卡司机收到缓冲区停车场工作人员打印的交箱和提箱的凭据时,司机可凭此到指定的作业点接受堆场服务。

5.4 强化堆场管理

堆场系统由堆场的空间布局、机械系统和信息系统等要素组成,堆场作业效率的高低也与这些要素的配置息息相关,所以堆场系统通过能力的提高也要从这些要素的管理着手。

5.4.1 合理规划堆场布局

由 3.3 分析可知,堆场面积不足是影响堆场通过能力的根本原因之一,由于堆场功能分区的原因,堆场实际的堆码层数要低于计划的堆码层数,所以为解决堆场面积不足的困难,堆场要进行合理的规划布局,并在各个功能分区选择科学的堆存方式。

重箱区的布局要考虑箱子的流向,对于出口箱来说,出口箱箱区应选择距离码头前沿较近的区域,这样会缩短出口箱的堆存地点与装船地点,方便快速完成出口装船作业;对于进口箱来说,进口箱的堆存地点要选择在码头堆场的后方,方便外集卡的提箱作业,避免与装卸船作业的冲突;对于中转箱来说,其堆存箱区域同出口箱箱区的选择相似,也要设定在码头前沿,方便二程船舶抵港后的装船,但中转箱箱区的位置要尽量布置在码头前沿的中间位置,方便二程船的停靠与作业。

5.4.2 提高堆场作业机械效率

3.3 节中提到堆场作业机械效率下降一方面是由于翻箱作业且该操作不带来经济效益,另一方面是堆场仍以大量旧机械为主,作业效率不高。为此,堆场要在上述合理规划布局的基础上,完善堆场的各类作业计划,避免装卸船作业、交箱和提箱作业的冲突,杜绝人为的疏忽和失误导致的翻箱作业。同时,码头管理者要按照机械的维修保养计划,定期对机械进行检查,有计划有步骤地对作业机

械进行更新，根据码头生产需要，利用先进的科学手段进行技术改造，使得作业机械保持良好的技术经济性能，这样既可以保证堆场系统作业的稳定进行，提高装卸作业效率，还可以延长机械的使用寿命，减少集装箱码头的运营成本。

5.4.3 提高堆场系统管理的信息化

码头的生产伴随着大量的车、船、货信息，集装箱码头的信息化与数字化管理是推动码头发展的重要动力。虽然目前集装箱码头的信息化发展已取得显著成效，但生产运营中不断有新的问题出现，现代技术的快速更新对码头的信息管理提出越来越高的要求。提高堆场系统管理的信息化可以从集装箱箱位的优化选择、提高场桥的利用率、避免货运高峰时期的现场压车等方面入手，更新与完善堆场的信息管理系统和操作系统，以便制定出更完善合理的堆场作业计划，提高堆场的作业效率。

同时，堆场可以引进集卡终端、卫星定位系统 GPS 等技术，加强对集卡和作业现场的跟踪和实时监控，保证堆场作业的安全性和高效性。

5.5 本章小结

本章根据大连港集装箱码头堆场系统存在的问题，结合大连港集装箱堆场排队模型的分析结果，从加快闸口通车速度、完善堆场作业计划、建设缓冲区停车场和强化堆场管理四个角度提出大连港集装箱码头堆场系统通过能力的建议，具有现实的参考意义。

结论与展望

随着国际贸易的日益繁荣,集装箱运输发展迅速,面对集装箱吞吐量的增长,堆场通过能力不足成为影响集装箱码头作业效率的重要原因。本文首先阐述了国内外集装箱码头堆场系统的研究现状,分析了集装箱码头堆场系统及其通过能力的基本理论,然后以大连港集装箱码头堆场系统的通过能力为研究对象,分析该堆场系统的现状及存在的问题,应用排队论的原理和方法构建大连港集装箱堆场系统的排队模型,找出影响堆场作业效率低下的原因,并从加快闸口通车速度、完善堆场作业计划、设立缓冲区停车场及强化堆场管理四个方面对大连港集装箱码头堆场系统通过能力的提升提出建议。

本文的不足之处主要体现在,集装箱码头堆场排队系统复杂,而本文为简化排队模型,分别就输入过程、排队规则和服务过程做了三条假设,没有完全考虑到真实系统中的各种影响因素。同时,本文将 $M/G/1/\infty/\infty/FCFS$ 排队模型推广到 $M/G/S/\infty/\infty/FCFS$,可能会导致模型计算结果的偏差。因此,本文可以对 $M/G/S/\infty/\infty/FCFS$ 做进一步的研究,充实该排队模型的相关理论和方法。另外,拖车预约系统虽然可以在一定程度上提高入口通道处的作业效率,但在实际生产中受各种人为可控和不可控因素的影响,录入信息的准确性仍有很大的提升空间。最后,本文研究发现,堆场面积不足是影响堆场通过能力的根本,堆场面积利用的提高又会导致翻箱作业的增加、装卸船作业和提交箱作业的冲突,在第五章,本文只是针对定性与定量分析结果给出四条的建议,而现实的操作细节还有待研究。

参考文献

- [1]徐建华. 用择箱指数法优化集装箱货场的利用效率和取箱效率. 港口装卸, 1991,72:46-51.
- [2] 张维英, 林焰等. 出口集装箱堆场去向作业优化模型研究. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2006(2): 317-317.
- [3] 计三有, 高悦文. 集装箱堆场减少倒箱率方法研究. 水运工程, 2006(8): 53-56, 61.
- [4] 周鹏飞, 方波. 动态环境下集装箱码头堆场出口箱箱位分配建模与算法研究. 控制与决策, 2011, 10(26): 1571-1576.
- [5] 杨军. 减少集装箱码头堆场面积的策略探讨. 物流科技, 2007(6): 96-97.
- [6] 张艳, 韩晖. 降低集装箱码头堆场翻箱率. 集装箱化, 2008(4): 8-9.
- [7] 张建新. 港口堆场的设计与研究: (硕士学位论文). 大连: 大连理工大学, 2003.
- [8] 王小变. 中转港口集装箱堆场合理布局的模拟研究. 水运管理. 2011(11): 23-28
- [9] 陈建刚. 集装箱码头堆场策划效果提升研究: (硕士学位论文). 大连: 大连海事大学. 2011.
- [10] 王志明, 符云清. 基于遗传算法的集装箱后方堆场箱位分配策略. 计算机应用研究. 2010(08): 2939-2941.
- [12] Taleb-Ibranhimi M., De Castilho B., Daganzo C. F. Storage space vs handling work in container terminals. Transportation Research: Part B, 1993, 27(4): 13-32.
- [13] De Castilho B., Daganzo C. F. Handling strategies for import container at marine terminals. Transportation Research: Part B, 1993, 27(3):151-166.
- [14] Kim K. E., Park K. T. A dynamic space allocation method for outbound containers in carrier-direct system. Proceedings of the 3rd Annual Internaitonal Conference on Industrial Enginerig Theories, Applications and Practice, 1998: 859-867.
- [15] Peter P, Erhan K. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. Computers and Operations Research, 2001, 28(3): 983-995 .
- [16] Zhang Chuqian, Liu Jiyyin. Wan Yat-wah. et al. Storage space allocation in container terminals. Transportation Research Part B: Methodological, 2003. 37(10): 883-903 .
- [17]Jean-Francois Cordeau et al. Solving Berth Scheduling and Yard Management Problems at the Gioia Tauro Maritime Terminal, 2001.
- [18] Ping Chen, Zhaohui Fu, Andrew Lim. The Yard Allocation Problem Eighteenth National

- Conference on Artificial Intelligence, 2002: 56-65.
- [19] Ebru, K., Bish. A multi-crane-constrained scheduling problem in a container terminal. *European Journal of Operational Research*, 144 (1) : 83-107.
- [20] Murty, K. G., Liu, J., Wan, Y-W., Zhang, C., et al (2002) . DSS for operation in container shipping terminal, Working paper, University of Michigan, Ann Arbor.
- [21] Kim, K.H., Park, Y.M., Ryu, K. R. (2000) .Deribing decision rules to location export containers in container yards, *European Journal of Operational Research* 124, 89-101
- [22] Byung Kwon Lee, Kap Hwan Kim. Optimizing the yard layout in container terminals. *Operations Research & Management Science*. 2013(03): 363-398.
- [23] Jaehn, F. Positioning of loading units in a transshipment yard storage area. *Operations Research & Management Science*. 2013(05):399-416.
- [24] 刘义仓, 孙小明. 集装箱堆场吊车装卸作业排序问题的研究. *工业工程与管理*, 2005 (5) : 72-75.
- [25] 魏众, 申金升. 港口集装箱码头轮胎式龙门吊优化调度研究. *中国工程科学*, 2007, 28(4): 203-209.
- [26] 张楚廉. 集装箱码头堆场管理模式探讨. *港工技术*, 2006 (7) : 21-26.
- [27] 郭媚. 集装箱码头堆场优化管理研究: (硕士学位论文). 大连: 大连海事大学, 2006.
- [28] 魏众, 申金升, 肖荣娜, 张智文, 石定寰. 港口集装箱码头轮胎式龙门吊优化调度研究. *中国工程科学*, 2007 (9) : 22-24.
- [29] 何军良, 宓为建, 严伟. 基于爬山算法的集装箱堆场场桥调度. *上海海事大学学报*, 2007 (4) : 11-15.
- [30] 李斌. 基于哈佛体系结构的集装箱码头物流系统建模仿真研究: (硕士学位论文). 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [31] 陶其钧. 集装箱堆场机械选型配置研究. *港口装卸*, 2002 (1) : 1-6
- [32] 周秀菁. 码头堆场设备选型. *集装箱化*, 2002 (6) : 33-34.
- [33] 苏君利. 大型集装箱码头堆场装卸工艺研究. *水运工程* 2006 (10) : 86-90.
- [34] 魏航. 集装箱码头堆场取箱时间窗优化研究. *管理科学学报*. 2011 (09) : 21-36.
- [35] 侯玉梅. 煤炭码头堆场通过能力的仿真研究: (硕士学位论文). 大连: 大连海事大学. 2012.
- [36] 徐长生. 集装箱码头机械配置与调度策略研究: (博士学位论文). 武汉: 武汉理工大

学. 2011.

- [37] Chung Y G, Randhawa S U, McDowell E D. A simulation analysis for a transtainer-base container handling facility. *Computers and Industrial Engineering*, 1988, 14 (2) : 113-125.
- [38] Lai K, Lam K. A study of container yard equipment allocation strategy in Hong Kong. *International Journal of Modeling and Simulation*, 1994, 14(3): 134-138.
- [39] Kim K H, Kim K Y. An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminals. *Transportation Science*, 1999, 33(1): 17-33.
- [40] Ballis A, Abacoumkin C. A container terminal simulation model with animation capabilities. *Journal of Advanced Transportation*. 1996. 30 (1) : 37-57.
- [41] Gambardella L M, Rizzoli A E, Zaffalon M. Simulation and planning of an intermodal container terminal. *Simulation*, 1998, 71 (2) : 107-116.
- [42] W.C.Ng, K.L, Mark. Yard crane scheduling in port container terminals. *Applied Mathematical Modeling*, 2005: 263-276.
- [43] Kozan E, Presston P. Genetic algorithm to schedule container transfer at multimodal terminals. *International Transactions in Operational Research* 6. 1999: 311-329.
- [44] Wang Bin, Yang Tao. Multi-objective and Stochastic Optimization Model of Transit Containers Storage in a Transshipment port yard. 2nd International Conference on Information Technology and Management Innovation , Zhuhai PEOPLES R CHINA, 2013: 2680-2683.
- [45] 顾俊. 概率论在集装箱码头大门区设计中的应用. *港口技术*, 1998(4): 12-14.
- [46] 于越, 金淳, 霍琳. 基于仿真优化的集装箱堆场大门系统规划, 2007(7): 3080-3084.
- [47] 谢金泉. 提高集装箱码头闸口的通过能力. *集装箱化*, 2006 (2) : 24-26.
- [48] 麦宇雄, 卢永昌, 覃杰. 随机服务系统(排队论)在集装箱码头大门设计中的应用. *水运工程*, 2007 (5) : 39-42.
- [49] 高鹏. 集装箱堆场作业调度优化问题: (硕士学位论文). 大连: 大连理工大学, 2005.
- [50] 洪承礼, 刘济舟. 港口规划与布置. 北京, 人民交通出版社, 1999.
- [51] 刘翠莲. 港口装卸工艺. 大连: 大连海事大学出版社, 2013.
- [52] 张彦斌. 天津港集装箱码头堆场系统通过能力研究: (硕士学位论文). 大连: 大连海事大学, 2010.
- [53] 卢鸿. RFID 技术在集装箱码头中的应用. *企业导报*, 2010 (11) : 294.
- [54] 郭伟. 谈物流信息技术的应用. *电子测试*, 2013 (12) : 124-126.

- [55] 孟令全, 王晓霞. 浅析物理信息技术应用. 合作经济与科技, 2010 (12): 75-76.
- [56] 陈洋. 集装箱码头操作. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [57] 陈家源, 吴国忠. 港口企业管理学. 大连: 大连海事大学出版社, 2013.
- [58] 武德春, 武骁. 集装箱运输实务 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [59] 陈家源. 港口通过能力理论与计算方法. 大连: 大连海事大学出版社, 2003.
- [60] 孟玉珂. 排队论基础及应用. 上海: 同济大学出版社, 1989.

附录

大连港集装箱码头堆场系统服务时间如下表所示。

表 1 大连港集装箱码头堆场系统服务时间（2013 年 1~6 月）

Tab.1.the statistics of Dalian Container Yard system service time(1~6.2013)

日期	P	G	日期	P	G	日期	P	G
1-Jan	26.7	16.2	23-Jan	38.5	16.6	14-Feb	32.2	17.6
2-Jan	28.5	15.6	24-Jan	38.3	17.0	15-Feb	37.9	17.4
3-Jan	32.9	14.7	25-Jan	39.3	16.8	16-Feb	34.5	15.3
4-Jan	33.4	16.4	26-Jan	44.1	21.0	17-Feb	33.7	13.9
5-Jan	34.3	16.3	27-Jan	45.6	21.8	18-Feb	35.1	17.6
6-Jan	32.7	13.1	28-Jan	40.7	17.0	19-Feb	35.2	16.5
7-Jan	30.8	16.1	29-Jan	40.5	15.8	20-Feb	35.4	19.9
8-Jan	30.8	14.8	30-Jan	46.9	17.3	21-Feb	34.9	19.3
9-Jan	33.1	16.1	31-Jan	46.9	21.1	22-Feb	39.5	21.6
10-Jan	33.6	15.3	1-Feb	46.2	20.5	23-Feb	35.3	17.2
11-Jan	38.7	18.0	2-Feb	43.9	21.5	24-Feb	32.3	12.9
12-Jan	35.6	16.4	3-Feb	44.5	22.3	25-Feb	33.8	13.8
13-Jan	39.0	18.7	4-Feb	40.4	18.0	26-Feb	36.0	15.4
14-Jan	35.7	16.2	5-Feb	36.5	22.6	27-Feb	40.7	17.3
15-Jan	36.8	18.3	6-Feb	30.5	18.1	28-Feb	42.1	18.6
16-Jan	40.1	19.0	7-Feb	14.9	13.0	1-Mar	45.7	22.5
17-Jan	40.1	17.6	8-Feb	25.6	18.8	2-Mar	42.6	19.8
18-Jan	39.3	21.4	9-Feb	28.7	14.5	3-Mar	35.8	14.9
19-Jan	42.0	21.2	10-Feb	28.7	13.3	4-Mar	32.8	14.1
20-Jan	39.3	19.1	11-Feb	30.4	17.3	5-Mar	31.0	14.1
21-Jan	33.8	15.7	12-Feb	37.5	17.3	6-Mar	34.4	15.4

续表

(Continued)

日期	P	G	日期	P	G	日期	P	G
22-Jan	37.2	16.0	13-Feb	29.8	16.8	7-Mar	34.7	16.8
8-Mar	37.3	17.3	3-Apr	37.8	19.0	29-Apr	30.0	15.9
9-Mar	36.5	19.2	4-Apr	41.0	19.5	30-Apr	32.9	16.0
10-Mar	38.2	17.4	5-Apr	39.8	19.4	1-May	34.3	17.1
11-Mar	34.0	15.7	6-Apr	38.2	18.9	2-May	34.0	19.6
12-Mar	32.8	16.3	7-Apr	35.0	15.8	3-May	27.9	15.6
13-Mar	31.5	12.3	8-Apr	32.5	15.7	4-May	29.3	17.5
14-Mar	35.4	16.5	9-Apr	30.9	17.9	5-May	27.7	12.6
15-Mar	37.0	17.1	10-Apr	32.7	18.5	6-May	28.3	13.2
16-Mar	33.5	16.8	11-Apr	37.6	18.2	7-May	29.8	15.3
17-Mar	32.7	14.3	12-Apr	36.6	20.4	8-May	29.6	11.3
18-Mar	31.7	14.7	13-Apr	37.5	19.5	9-May	32.0	16.0
19-Mar	31.6	15.6	14-Apr	37.3	15.1	10-May	34.9	16.6
20-Mar	35.4	19.0	15-Apr	35.2	16.0	11-May	34.4	19.8
21-Mar	37.9	19.4	16-Apr	36.5	15.4	12-May	32.2	15.9
22-Mar	42.4	20.4	17-Apr	36.2	17.1	13-May	32.3	17.2
23-Mar	38.7	22.0	18-Apr	40.2	16.2	14-May	33.3	15.9
24-Mar	36.1	21.0	19-Apr	37.0	19.0	15-May	32.8	14.4
25-Mar	30.8	16.5	20-Apr	38.9	16.0	16-May	35.2	16.6
26-Mar	33.9	15.6	21-Apr	42.8	20.1	17-May	42.3	19.0
27-Mar	34.3	18.8	22-Apr	33.5	18.2	18-May	37.6	18.5
28-Mar	41.4	21.7	23-Apr	31.6	14.9	19-May	32.9	14.0
29-Mar	40.7	20.8	24-Apr	33.7	14.7	20-May	29.9	14.5
30-Mar	39.6	22.2	25-Apr	36.7	15.6	21-May	34.8	16.5
31-Mar	38.6	17.5	26-Apr	34.6	17.9	22-May	34.1	14.2

续表

(Continued)

日期	P	G	日期	P	G	日期	P	G
1-Apr	38.4	18.0	27-Apr	39.6	21.9	23-May	35.0	15.7
2-Apr	39.1	18.2	28-Apr	35.8	17.3	24-May	36.9	19.9
25-May	37.8	22.1	7-Nov	41.5	18.9	19-Nov	37.6	14.0
26-May	32.9	17.4	8-Nov	41.2	17.0	20-Nov	41.7	16.7
27-May	29.5	14.9	9-Nov	36.8	19.0	21-Nov	42.7	19.6
28-May	33.0	14.4	10-Nov	33.1	15.7	22-Nov	42.2	18.9
29-May	36.2	14.6	11-Nov	31.6	14.0	23-Nov	38.1	15.5
30-May	42.3	17.7	12-Nov	35.9	15.7	24-Nov	33.4	16.5
31-May	43.1	19.1	13-Nov	38.2	15.5	25-Nov	49.1	18.9
1-Nov	43.6	15.3	14-Nov	43.7	16.2	26-Nov	37.8	16.9
2-Nov	42.1	16.0	15-Nov	40.7	18.9	27-Nov	48.1	20.2
3-Nov	34.0	16.1	16-Nov	34.2	14.6	28-Nov	51.4	21.3
4-Nov	38.8	16.0	17-Nov	35.5	19.2	29-Nov	49.8	25.4
5-Nov	37.6	16.5	18-Nov	39.1	14.0	30-Nov	46.3	20.0
6-Nov	39.7	17.8				合计	6591.8	294.2

致 谢

值此论文完成之际,我谨向在大连海事大学学习期间所给予我无私帮助和热情支持的老师和同学们表示感谢!

本论文的工作是在我的导师刘翠莲教授的悉心指导下完成的。刘教授严谨的治学态度和科学的工作方法给了我极大的帮助和影响。她在百忙之中,为本论文的多次修改提供了十分宝贵的意见,在论文的撰写过程中给了我启迪和巨大的鼓励,使我受益非浅。千言万语在此刻化为了一句“谢谢您!”

同时,我感谢学院给了我学习、深造的机会,感谢在攻读硕士学位期间专业学位教育学院所有老师的辛勤培育和指导,您们传授给我的专业知识是我不断成长的源泉,也是我完成本论文的基础。在此,向他们表示诚挚的感谢!

另外也感谢家人,是他们的理解和支持使我能够顺利完成学业,并使我全身心的投入到毕业设计中。在此,我向他们表示衷心的感谢!

最后,衷心地感谢各位专家、评委们参加我的论文的评审工作,不足之处恳请批评指正。