

天津大学工程硕士学位论文

基于系统仿真技术的集装箱码头
堆场调度研究

**Research on Yard Scheduling of Container Terminal
Based on System Simulation Technology**

领 域：物流工程

作者姓名：高贵全

指导教师：李波教授

企业导师：白景美

天津大学经济与管理学部

二零一三年十一月

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得天津大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名: 签字日期: 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名: 导师签名:

签字日期: 年 月 日 签字日期: 年 月 日

中文摘要

随着世界经济的复苏，中国内外贸生意将继续扩大，集装箱运输量也会有新的增长。但随着集装箱运输量的增长，港口的经营竞争也必将迎来新的挑战与机遇。为了保住货源，保证客户的利益，码头必须提高顾客的满意度，减少拖车在港停留时间，保证船舶班轮可以按照班期离港。同时，码头也要考虑自身的能力，包括设备的使用情况、成本因素等，传统的简单依靠增加设备去完成作业任务并不可取，不但增加了成本，也并不一定能够提高作业效率。因此，需要通过合理有效的配置资源才能真正达到目标。

本文通过综述国内外港口堆场应用现状，分析了目前先进港口码头堆场的使用情况，利用在码头实地实践并参与改进的经验和知识，研究了天津港 T 码头目前实际运作的情况，包括 T 码头堆场使用情况、堆场作业类型及作业组织形式，并提出要解决的问题。结合离散型仿真建模方法，通过计算机仿真实验对 T 码头的作业生产组织、机械调配资源等方面进行了分析优化，包括分别对码头的岸桥、场桥、拖车等资源按优化目标建立仿真模型，并通过 Plant Simulation 仿真软件进行仿真验证，得出优化的机械配置比例结论。最后，对 T 码头制定生产计划过程中难以控制的情形进行分析，提出改善建议，实施效果证明本文改善方案是可行的。

关键词：集装箱码头；离散仿真建模；堆场管理；资源配置

ABSTRACT

Along with the world's economic resurgence, the trade in china is expanding, not only domestic trade, but also foreign trade, and the container freight volume will have a new growth. Along with the growth of the container freight volume, the competitions of the ports' operation will have a new challenge and opportunity. To keep the supply of goods and protect the benefits of customers, the port must improve customers' satisfaction, reduce the time of the truck waiting delay in the port, and ensure that the liner ships can leave from the port on time. And in the meanwhile, the port must consider the capacity, including using the conditions of machine, cost factors, and so on. It isn't a good way to complete the task by increasing the equipment traditionally, because it not only increases the cost, but also it maybe does not improve the working performance. So, we must make sure that the suitable allocation of resource is made to achieve the goals.

This thesis analyzes the conditions of the advanced terminals by surveying the development of the domestic and foreign terminals' yards, and using the experience and the knowledge in my working on the terminal, the T Container Terminal's yard in Tianjin Port has been researched, including the conditions, the type of yard, the form of work organization, and solving methods of the questions. We apply the discrete simulation modeling system to optimize T Terminal's working organization and the rational distribution of resource by experiments, including setting up the optimizing goal models for QC, YC, trucks and so on, and verify them by Plant Simulation software to get the conclusion of the proportion of the distribution of resource. Finally, the uncontrollability points in T Terminal planning are analyzed, the improvement suggestion and the feasibility of the suggestion have been proved.

Keywords: Container Terminal; Discrete Simulation; Yard Management, distribution of resource

目 录

目 录.....	V
第一章 绪论.....	1
1.1 问题背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.3 本文思路和方法.....	2
1.4 本文主要工作.....	3
第二章 集装箱港口码头堆场管理的发展.....	4
2.1 港口码头发展过程.....	4
2.1.1 集装箱运输概述.....	4
2.1.2 国际及国内集装箱运输的发展.....	5
2.1.3 天津港定位和集装箱运输的趋势.....	6
2.2 港口及港口堆场概述.....	8
2.2.1 港口相关概念.....	8
2.2.2 集装箱堆场简介.....	9
2.2.3 集装箱码头堆场作业计划.....	9
2.3 港口码头堆场管理的发展.....	10
2.3.1 国际港口码头堆场的管理.....	10
2.3.2 国内港口码头堆场的管理.....	12
2.4 本章小结.....	13
第三章 T 码头的集装箱堆场管理现状分析.....	14
3.1 T 码头的运营发展.....	14
3.2 T 码头堆场的资源配置.....	14
3.2.1 T 码头的堆场布局.....	14
3.2.2 T 码头的机械配置资源.....	15
3.2.3 T 码头的堆场作业流程分析.....	15
3.3 存在问题分析.....	17
3.4 本章小结.....	18
第四章 基于系统仿真理论的码头运作优化方法.....	19
4.1 过程控制及系统建模优化理论.....	19

4.1.1 过程控制与集装箱码头物流系统.....	19
4.1.2 系统仿真分析.....	19
4.1.3 计算机仿真步骤及相关软件.....	20
4.2 离散系统仿真实论概述.....	22
4.2.1 离散系统及离散事件仿真.....	22
4.2.2 离散仿真系统的设计与实现.....	23
4.2.3 常见的离散型仿真软件.....	24
4.3 智能优化算法.....	25
4.4 本章小结.....	26
第五章 T 码头的集装箱堆场管理改善研究.....	27
5.1 问题的提出.....	27
5.2 码头集疏运模式的优化.....	27
5.2.1 集装箱在堆场堆存及作业工艺分析.....	27
5.2.2 国内外码头集疏运模式比较.....	28
5.3 T 码头集疏运模式的优化.....	29
5.3.1 T 码头的集疏运流程分析.....	29
5.3.2 问题目标及数据的采集.....	30
5.3.3 基于离散事件仿真模块的建立.....	32
5.4 仿真系统的建立与实验分析.....	34
5.4.1 仿真实例及模块设计.....	34
5.4.2 卸船运作的仿真实验.....	34
5.4.3 提箱运作的仿真实验.....	39
5.4.4 集港运作的仿真实验.....	41
5.4.5 装船运作的仿真实验.....	44
5.5 堆场计划的改善优化.....	46
5.5.1 现阶段计划制定的模式.....	46
5.5.2 场地计划优化.....	47
5.6 本章小结.....	51
第六章 结论和展望.....	52
参考文献.....	53
致 谢.....	55

第一章 绪论

1.1 问题背景

自第二次世界大战后，世界各国之间的关系开始正常化。随着市场国际化和经济全球化，世界各国之间的贸易额大幅增长，同时跨国企业的快速成长也推动了物流业的发展，尤其是水路运输。跨国水路运输与空运及陆运相比，较空运便宜，较陆运快速便捷。海上集装箱运输伴随着世界贸易的发展也在大步前进，现在已有 60% 以上的海上运输采用集装箱运输。

从我国的发展情况来看，自加入 WTO 后，进出口贸易量迅猛增长，集装箱进出口量也是逐年递增，各沿海城市都在不断加大港口投入，争取枢纽港、干线港或者中转港的地位，仅天津港周围就有锦州港、大连港、青岛港、威海港、烟台港、黄骅港等多家港口。自从 2008 年以来，世界贸易经历了两次金融危机，随着美国欧洲的购买力下降，全球，尤其中国，进出口贸易受到严重打击，致使船公司货源减少，投入船舶数量减少，使我国各集装箱码头作业量急剧减少，不少码头的产能虽然高但却只能闲置，突出了近几年码头行业重复建设、投资过剩的问题。

近些年，随着天津港港口规模的日益扩大，天津港 T 码头身处东疆保税港区，担负着国家先行先试政策，正在申请自由贸易港政策，有着得天独厚的政策优势。自 2007 年开港以来，T 码头逆市发展，作业量急剧增加，公司必须努力提高自身作业效率才能满足作业量增长的需求、股东方及客户对于公司作业能力的要求。从 T 码头现有运作情况看，堆场集疏运已成为制约公司作业能力的一项重要因素。堆场作业不仅影响着拖车在场等待时间等陆运作业和装卸船作业效率等航运作业，同时翻倒、预倒等工作也在消耗着成本。本论文对于集装箱码头堆场使用的研究与优化主要针对如何提高码头的资源使用率、减少班轮在港时间，使码头作业更加合理。

1.2 国内外研究现状

2002 年，在《集装箱堆场机械选型配置研究》^[1]一文中，陶其钧通过技术、工艺、运营等角度提出并比较了轨道桥及轮胎桥两种实施方案的优略，并从中得出最优方案。同年，高鹏在《集装箱堆场作业调度优化问题研究》^[2]一文中通过

优化算法对集港提箱进行分析,得到了最佳的优化方案。2005 年 3 月,李建忠在《码头堆场龙门起重机动态配置优化模型》^[3]一文中建立了多目标非线性数学规划模型,通过启发式的拉格朗日松弛算法得到最优解。2005 年 6 月,在《集装箱港口堆场资源配置问题研究》^[4]一文中李建忠运用系统的观点,对码头堆场资源配置进行研究探讨。2007 年 5 月,在《基于知识与仿真的集装箱堆场作业计划研究》^[5]一文中沈剑锋通过对集装箱在码头运转细分为提箱、集港、装卸船三流程,对集装箱堆场的空间及设备配置进行研究。2009 年,通过《集装箱码头堆场系统通过能力研究》^[6]一文,侯彤璋以堆场系统为研究对象,寻找影响堆场系统运行能力、通过能力的原因,并通过对相关理论的解释、建立模型且设定求解算法的方式进行了系统的研究。2010 年杨扬在《TCT 集装箱码头堆场资源优化研究》^[7]中通过系统仿真对码头堆场进行仿真研究,优化了堆场资源配置。

De Castilho 和 Talebibrhimi^[8]对在不同堆放规则下,通过进出口箱所需的堆场面积,同时对作业所需的作业量进行计算,得出作业策略。KIM 以研究数学算法和费用模型的方式,以成本与作业效率的平衡为目标来探索不同的堆放规则将会产生的结果^[9]。KH.KIM 和 J.W.Bae 提出了将当前贝布局图变为期望布局图的方法,即认为在可以获得当前场地的箱位分布情况、船图及预集港图的前提下,研究集装箱场位的重新配置,将问题分解为贝位相匹配,制定移箱计划、作业任务排序,达到最少集装箱及最短距离移动的目标^[10]。Abacoumkin 和 Ballis 设定了一个因各作业机械速度不匹配而引起交通延迟堵塞的仿真模型,对码头的堆场设计、设备数量、拖车到港时间、运行原则进行模拟优化^[11]。

1.3 本文思路和方法

本文通过对 T 码头所处的国际环境、国内的社会环境以及港口自然条件等进行收集并分析,阐述 T 码头在社会中所处的地位,以此推论 T 码头发展前途。通过了解其他码头的堆场使用情况,在调查和搜集 T 码头基本社会信息、经济信息 and 公司资料等公开资料的基础上,对 T 码头的集装箱吞吐量发展趋势及堆场作业箱量进行定量及定性的分析,并对现有作业模式及计划制定方面进行分析,说明优化现有作业模式的方法,并做好计划制定。

在本文中,将采用以下几种方式进行分析论证:

1. 通过在网上查找资料,了解目前其他码头的作业布局及堆场使用情况,借鉴现有的、优秀的堆场作业模式。
2. 通过实地观察的方法,分析天津港 T 码头近几年的吞吐量发展趋势,并深入各项生产相关工作,以实际工作经验对堆场使用及堆场计划进行分析论证。

3. 根据本专业知识，学习使用仿真软件，通过仿真软件对堆场机械调度情况进行建模分析，提出合理的码头机械调度原则。

1.4 本文主要工作

本文主要分为五章，各章主要工作简介如下：

第一章为绪论，主要介绍本论文的问题背景、国内及国外的研究现状，以及本文的主要思路以及采用方法。

第二章主要对集装箱港口码头堆场的管理发展进行介绍。对港口及集装箱堆场相关概念进行简介，解释集装箱码头堆场作业的相关名词。通过对国内外集装箱运输发展的过程、堆场管理的现状进行简介，并对天津港及 T 码头所处的地理位置及社会位置进行介绍。

第三章主要介绍了天津港 T 码头的发展历程，并详细说明了 T 码头的堆场使用情况、作业流程、机械配置情况，并对现在 T 码头堆场作业中存在的问题进行了分析。

第四章是第五章系统仿真实施的理论基础，围绕着离散仿真的概念，从过程控制与集装箱码头物流的关系、系统建模优化理论入手，通过对系统仿真分析，尤其是离散仿真的理论、设计实现方式、智能算法的介绍确定了第五章该如何进行建立仿真模型，并对常用仿真软件进行介绍。

第五章首先对集装箱码头在堆场堆存及作业工艺进行了分析，并对国内外码头集疏运模式进行了比较，在分析 T 码头集疏运作业流程的基础上，提出了论文的主要问题及目标。根据上一章的仿真建模理论，分别对集港作业、提箱作业、装船作业、卸船作业进行了系统仿真、测试，并提出改善计划。最后，针对作业计划中出现的问题进行分析改进。

第六章主要对本论文进行总结，并对今后的工作进行展望。

第二章 集装箱港口码头堆场管理的发展

2.1 港口码头发展过程

2.1.1 集装箱运输概述

集装箱是一种常用的标准化的装载货物的运输设备，适用于多种运输方式。集装箱有着足够的强度，可以反复使用，并且易于修复。在运输过程中，集装箱具有快速装卸及搬动的特性，进行中转时不需要重新换装。

集装箱号码一般由 4 位英文字母及 7 位数字组成。4 位英文字母为箱主代号，前三位代表箱主公司，第四位用 U 来表示。前 6 位数字为顺序号，最后 1 位为核对数字，主要的作用是对箱主代号和顺序号记录的准确性进行核对。集装箱尺寸均为国际标准尺寸，由国际标准化组织（International Standardization Organization, ISO）制定。国内一般使用标准为 20 英尺、40 英尺、45 英尺的集装箱，国外同时使用 52 英尺集装箱；从箱型上划分，集装箱一般可分为干货集装箱、散货集装箱、冷藏箱、液体货集装箱、牲畜集装箱等，见表 2-1。

表 2-1 集装箱箱型尺寸对照表

尺寸	箱型	对应类型	95码	尺寸	箱型	对应类型	95码	尺寸	箱型	对应类型	95码
20英尺	干货箱	GP	22G1	40英尺	干货箱	GP	42G1	45英尺	干货箱	GP	L2G1
	干货高箱	GH (HC, HQ)	25G1		干货高箱	GH (, HQ)	45G1		干货高箱	GH (HC, HQ)	L5G1
	挂衣箱	HT	22V1		挂衣箱	HT	42V1		挂衣箱	HT	L2V1
	开顶箱	OT	22U1		开顶箱	OT	42U1		开顶箱	OT	L2U1
	冷冻箱	RF	22R1		冷冻箱	RF	42R1		冷冻箱	RF	L2R1
	冷高箱	RH	25R1		冷高箱	RH	45R1		冷高箱	RH	L5R1
	油罐箱	TK	22T1		油罐箱	TK	42T1		油罐箱	TK	L2T1
	框架箱	FR	22P1		框架箱	FR	42P1		框架箱	FR	L2P1

备注：“95 码”为集装箱的尺寸形式代号，例如 22G1 代表 20 英尺普通干货箱。

集装箱交付形式一般可分为整箱交/整箱接（FCL/FCL）、拼箱交/拆箱接（LCL/LCL）、整箱交/拆箱接（FCL/LCL）、拼箱交/整箱接（LCL/FCL）等交付形式。按集装箱交接地点可分为门到门（door to door）、门到场（door to CY）、门到站（door to CFS）、场到门（CY to door）、场到场（CY to CY）、场到站（CY to CFS）、站到门（CFS to door）、站到场（CFS to CY）、站到站（CFS to CFS），现码头常用的为 CY to CY。

集装箱运输（Container transport）是把集装箱作为一个基本存储单元装载货

物并运输。集装箱的出现，改变了散杂货船舶运输作业效率低下的情况，极大的提升了货物周转效率，显示了强大的生命力，影响了整个运输体系的改变，甚至影响了经济系统的发展。

2.1.2 国际及国内集装箱运输的发展

1. 国际集装箱运输发展历程

国际集装箱运输发展历程基本可分为四个阶段：萌芽期、开创期、成长期、成熟期。

1801 年至 1955 年是集装箱运输发展的萌芽期，欧美等发达国家在国内开始尝试集装箱短途运输，后又开始试验长距离陆上集装箱运输^[12]。但由于当时并无统一的集装箱标准，集装箱作业效率对比散杂货作业并未有大幅提升，没有显示出集装箱作业的优异性，导致集装箱运输并未得到大力发展。直至二战中美国为了提高运输效率，提出货物运输成组化，实现门到门的运输方式，集装箱运输和托盘成组化的运输方式才广泛使用起来。

1955 年至 1966 年是集装箱运输的开创期，其代表是美国将杂货船油船等改装成集装箱船舶，以此从事海上集装箱运输。1956 年，美国泛洋船舶公司将一艘油船改为半集装箱船舶，由美国纽约港驶往休斯顿港试航成功，开创了海上集装箱运输的先河。1957 年泛洋船舶公司又将一艘杂货船改为全集装箱船“盖脱威城”号，标志着海上集装箱运输方式正式启动^[13]。

1966 年至 20 世纪 80 年代末是集装箱运输的成长期。集装箱运输由美国国内运输发展为国际远洋运输并出现了专业化的集装箱船舶。1965 年，ISO 颁布了一系列国际标准箱的规格，为集装箱多式联运打下了基础。与此同时，伴随集装箱运输的发展，集装箱装卸设施、设备也得到了发展，出现了第一代（700-1100 箱）及第二代（2000 标准箱）集装箱船舶，港口装卸设施也开始向专业化、现代化发展。

20 世纪 80 年代以来，集装箱运输进入了成熟期。集装箱运输的泊位、机械、船舶、道路桥梁等硬件日臻完善，相关的软件系统也急速发展，专业的轨道桥及轮胎式装卸设备，深水化的航道，电子化的管理，都使集装箱运输更有竞争力。集装箱运输进入到成熟期，在全世界得到了普及，而集装箱在多种运输方式中变换时不需要换容器，也促使多式联运得到更大的发展。集装箱船舶载箱量已经从几百箱发展到过万箱，2013 年马士基的 18000T 级别大型集装箱船舶也已经下水正式投入商用。

2.国内集装箱运输发展历程

从 1956 年起，国内开始试运营集装箱运输。沈阳火车站将铁路集装箱运输

到大连然后经水路运输到上海，标志着我国集装箱运输开始，但之后集装箱运输遭到停运。20 世纪 60 年代初，国际集装箱运输的先进理念进入中国，受到政府部门的高度重视，集装箱运输再次开始运营。

(1) 试运阶段。1973 年，中国与日本开始海上集装箱试运，为期两年，采用小型集装箱，挂靠上海、天津、大阪、神户及横滨；1973 年 9 月，日本川崎汽船公司的“渤海 1 号”装载集装箱抵达天津，标志着我国第一条海上国际集装箱班轮航线的开通^[14]。国内各项集装箱规章制度相继建立，为集装箱运输的发展奠定了基础。

(2) 创业阶段。1979 年初，中远总公司将远洋运输作为工作重点，要求普遍开展集装箱运输和班轮运输。1980 年，交通部水运司正式成立了集装箱运输处管理集装箱运输，上海、天津、大连等也相继成立集装箱公司。1978 年“萍乡”轮首航悉尼港，成为国内第一条集装箱远洋直达航线。

(3) 大力发展阶段。进入 20 世纪 90 年代，随着世界贸易的快速发展，货物及原料在国际间的运输越来越多，各大公司不断提升其集装箱船舶等级，同时带动我国集装箱业务大力发展。1997 年左右，集装箱船舶公司开始独立运营，形成了中远、中外、中海三大集装箱公司及其它公司。伴随者集装箱运输的发展，公路、铁路集装箱运输业也迅速崛起，形成了比较完善的水陆运输及海铁联运网。

目前我国是世界上集装箱的第一制造大国，并在这一生产领域创造了三项世界第一：生产能力世界第一，生产的规格品种世界第一，集装箱产销量世界第一。

2.1.3 天津港定位和集装箱运输的趋势

1. 天津港在国内的定位

天津港在国内港口中占据重要地位，拥有我国第一座建成并投产的国际集装箱专用码头，在国内吞吐量排名第三，是国际重要的挂靠港之一。

天津港是中国最大的人工海港，近几年吞吐量变化见图 2-1。天津港分为东疆、南疆、北疆、海河四个港区，水深-19.5 米，最大可进出 30 万吨级船。天津港与国外 12 个港口建立友好港关系，每月可发 400 余班班轮。

天津港位于海河入海口，是亚欧大陆桥在东面的起点，也是北京天津的海上门户，与华北西北等内陆地区的距离短，承担着对外运输的职责。天津港属于环渤海经济圈，主要的经济腹地为天津、北京、内蒙古、山西、河北、等华北西北地区，主要集疏运产业为能源、化工、电子、机械（汽车）、纺织、冶金等^[15]。

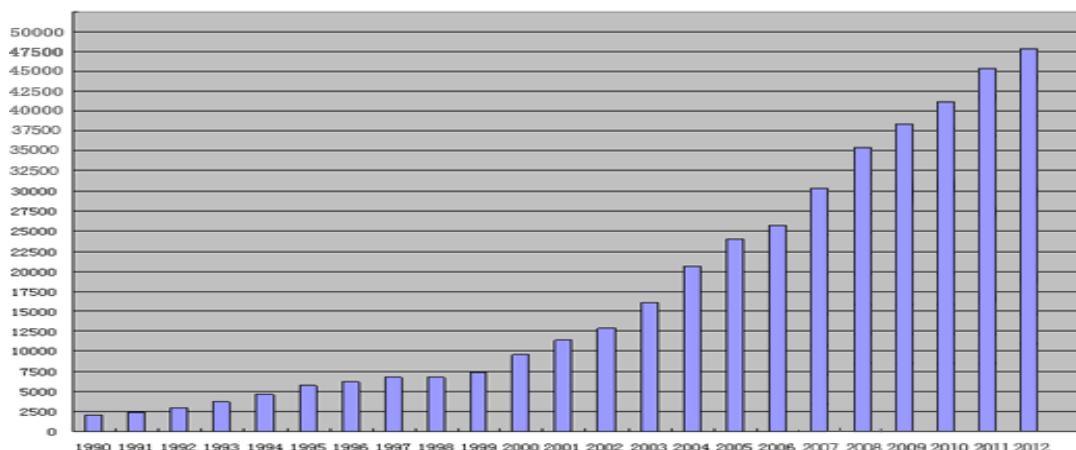


图 2-1 天津港吞吐量发展变化情况（万吨）

2. 集装箱运输的趋势

从集装箱运输开始至今，由于恶劣的经济大环境以及不断激烈竞争，为了提高效益减少成本，不断提升运营及作业能力，船舶公司的运作呈现出以下趋势：

（1）班轮运营呈现全球化、联盟化。由于全球经济的不景气，造成各船公司如果各自建立航线单独运营，将会出现投入船舶多而可运输货源少的情况，严重影响单航次的运输量，且同一航线上各公司投入船舶相互竞争将极大地压低运费，使成本升高利润下降，公司将担负巨大经济压力。为了应对经济形势及货运量的变化，班轮公司在保持其独立性的前提下相互联合，组成战略联盟，共同讨论航线分配、船期、路线安排、运力增减、港口挂靠顺序，通过相互融舱实现船舶资源共享。现在全球有三大班轮公司联盟，分别为伟大联盟、新世界联盟及中远/川崎/阳明/韩进海运联盟。航运班轮公司运力情况见表 2-2 所示。

（2）以国际枢纽港为中心的支线运输呈现网络化。班轮公司为了缩短大型集装箱船舶的周转周期，提高其运营效率，就要合理控制挂靠港数量，压短在港停靠时间，这就要求港口必须不断完善以枢纽港为中心的支线运输网络布局。

（3）国际干线航线呈现船舶大型化。由于国际干线航线的箱量较大且有保证，各班轮倾向于投入使用大型集装箱船舶，节省燃油、提高单航次装卸量，通过规模效应降低单箱运营成本。

（4）干线港口、枢纽港口码头呈现深水化、规模化、多功能化。随着集装箱船舶的大型化，港口为保证顺利接卸大型船舶，满足班轮公司要求，以保持港口吞吐量，就要疏浚港口水域，配置更先进的装卸设备，不断提升自身能力。同时，港口所在城市也随之提高，成为航运中心。

表 2-2 航运班轮公司排名表

公司	排名	市场份额 (%)	TEU总计	艘数总计	自有船舶 TEU	自有船舶艘数	租赁船舶 TEU	租赁船舶艘数
马士基航运	1	18.3	1,683,366	392	723,038	169	960,308	423
地中海航运	2	8.7	803,203	279	334,788	189	270,417	90
达飞轮船	3	5.3	309,373	241	197,946	77	311,429	164
长荣海运	4	5.3	483,984	136	336,464	103	149,320	31
赫伯罗特	5	4.3	416,394	132	242,701	66	173,893	66
中海集团	6	3.8	352,483	125	161,359	74	171,124	31
韩进海运	7	3.6	328,794	84	69,951	18	238,843	66
美国海军	8	3.6	327,999	103	127,270	36	200,129	67
中远集团	9	3.3	322,326	126	226,441	100	93,883	26
日本邮船	10	3.3	301,322	116	167,324	40	133,998	76
商船三井	11	2.7	246,466	80	120,438	32	126,028	48
东方海外	12	2.3	234,589	66	143,560	27	89,029	39
智利航运	13	2.3	233,732	86	1,585	1	232,147	85
川崎汽船	14	2.3	233,496	76	116,222	28	117,274	48
以星航运	15	2.2	201,432	85	110,824	37	90,608	48
阳明海运	16	2	188,269	69	123,990	39	64,279	30
汉拿海运	17	2	184,438	87	70,922	23	113,516	64
现代商船	18	1.6	149,189	40	30,603	13	98,386	23
太平船务	19	1.3	136,073	103	77,740	66	38,333	37
万海航运	20	1.3	116,992	69	83,930	47	33,062	22

2.2 港口及港口堆场概述

2.2.1 港口相关概念

集装箱码头(Container Terminal) 是专供停靠、装卸集装箱船舶的码头, 一般包含泊位、码头前沿、集装箱堆场、调度指挥中心、检查桥、机械设备。集装箱码头可以分为顺岸式码头、突堤式码头、栈桥式码头等。

泊位(Berth) 是集装箱码头为了正常进行装卸船作业而供给船舶停靠的地方, 有着一定的岸壁线长度。码头前沿(Wharf surface)是指沿码头岸壁线, 从码头岸壁到堆场前这一部分的码头面积。

堆场(Yard)是指集装箱码头内, 堆存集装箱、管理保存交接集装箱的地方。一般可以分为重箱堆场、空箱堆场、冷箱堆场、超限箱堆场、特种箱堆场等, 堆场面积根据码头进出口实际箱量需求对各类型堆场进行设置。

调度指挥中心是码头公司生产的核心, 负责控制码头内全部生产作业的指挥工作, 并且包含了作业计划制定的工作。随着科技的发展, 现各码头都采用先进的码头管理系统, 通过 GPS 定位、3G/4G 网络无线通讯等技术实现码头操作的可视化控制, 使调度指挥中心位置的选择更加灵活方便。

检查桥(gate house)可分为进闸口和出闸口, 是集装箱码头的出入口, 是码头与货主之间交接集装箱的地点, 也是区分箱损货损责任的分界点。集装箱检查桥具有检查、通行、称重等功能。由于装卸的集装箱都要通过进闸口或出闸口, 导致闸口车流量很大, 在设计闸口时必须考虑到进出闸口的通道数符合车辆进出数量。

集装箱码头主要使用的作业机械为岸边起重机(简称岸桥)、场地起重机(简

称场桥)、正面吊、空箱堆高机、拖车等设备。岸桥按可作业箱类型分为单箱岸桥、双箱岸桥及双 40 尺岸桥,又可分为俯仰式、伸缩式等;场桥可分为轨道式场桥及轮胎式场桥;拖车可分为底盘车、普通拖车、跨运车等。从智能程度上分类,可分为人工作业机械、半自动机械及自动机械。

2.2.2 集装箱堆场简介

集装箱堆场是集装箱码头的重要组成部分,是集装箱保管、转运、交接的场所。

在集装箱码头堆存集装箱的场地,根据堆放箱的类别、尺寸、空重等箱属性可将其分为进口重箱堆存区、进口空箱堆存区、出口重箱堆存区、存储空箱堆存区、冷藏箱堆存区、危险品箱堆存区等,场与场间都留有车道供作业机械用。

为了确定一个集装箱在堆场内具体的箱位,一般使用场贝排层来表示,即场地号+贝位号+排号+层号。贝或位(Section)为一组并排的堆,垛或排(Stack)为场内垂直方向的一组箱位,层(Tier)为堆场内水平方向的一组箱位,示意图见图 2-2。

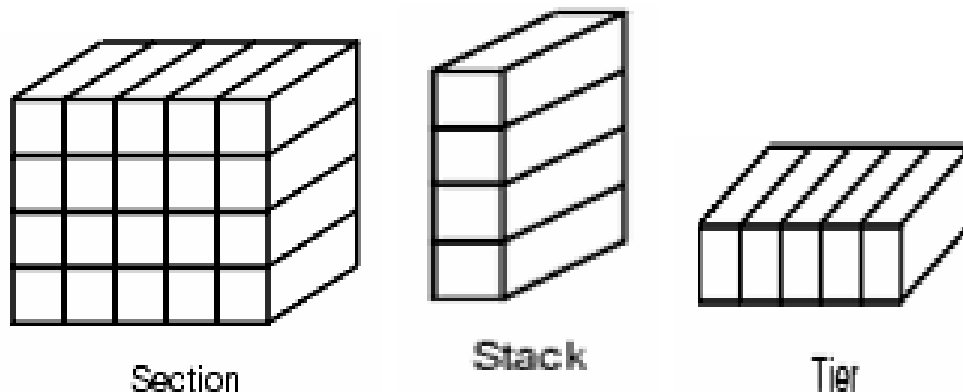


图 2-2 堆场贝排层示意图

集装箱码头堆场的堆存量与堆场面积及所使用的装卸作业方式有关,堆场通过能力计算公式:

$$Q_d = \frac{M \times H \times D}{A}$$

其中: Q_d 为年堆存能力 (TEU/年); M 为最大堆存量 (TEU); H 为堆存高度系数 (取 $C=0.7$); A 为平均堆存天数 (取 $D=6\sim 8$ 天); D 为堆场营运日历天数 (取 $T=365$ 天)。

2.2.3 集装箱码头堆场作业计划

集装箱码头堆场作业计划也称集装箱堆放场地配载计划,是对集装箱应采取的排列顺序、堆放地点、堆码高度等合理保管堆放集装箱的计划。堆场作业计划

是根据进出口集装箱单据及船舶积载预配图进行编制,将集港或卸船的集装箱根据堆场作业计划放至预先已经计划的位置,以便顺利装船或交付提箱人。

1.T 码头堆场简介

T 码头堆场面积为 180 万 m^2 , 年设计吞吐量为 400 万标准箱, 堆存能力达到 14 万标箱。堆场现有普通集装箱作业场地 56 块(主要作业区域), 另有专用的大件场地、冷箱场地及拆装箱堆场。

从堆场功能上说, T 码头堆场同时包含了集装箱前方堆场和后方堆场的功能, 既能够提供进出口集装箱堆存保管、交接的功能, 又能提供拆装箱的功能。从堆存箱型上说, T 码头堆场类型齐全, 包含重箱场地、空箱场地、大件场地、冷箱场地、拆装箱场地。

2. T 码头场位确定规则

堆场内有上千箱的集装箱, 为了能够快速准确的找到集装箱, 实现精细化管理, 对每块场地都进行了详细的划分, 具体箱位按照场贝排层的顺序进行确定。

T 码头堆场是形状规则的堆场, 每块场地都是同样长度、同样的贝位数, 一个场地有 X 个贝, 一贝有 Y 个排, 一排有 Z 个层。

T 码头的箱位号按照以下原则设定:

场: 场地从南到北依次为 ABCDEFGH, 从海侧(岸边)到陆侧, 分别为 01、02、03、04、05、06、07、08……, 故每块场地表示形式为 A01、B03、C02。

贝: 每块场地内, 每一个 20 尺标准箱为 1 个贝, 以单数表示, 例如 01 贝; 每一个 40(45)尺集装箱占用两个贝, 以双数表示, 例如 02 贝。20 尺及 40(45)尺集装箱不能够混码。

排: 拖车道旁为第一排, 共 6 排。

层: 即堆码高度, 堆码高度为几层即为几层高。重箱一般堆码 3-4 层高。

T 码头的贝位表示形式即为 A0101011, 即箱位为 A01 场 01 贝 01 排 1 层高。通过固定表示形式, 实现天津港集团及 T 码头内的统一, 任何人都可以快速了解集装箱存放位置。

2.3 港口码头堆场管理的发展

2.3.1 国际港口码头堆场的管理

鹿特丹 ECT 码头是全球自动化码头的代表之一, 其前沿采用岸壁式集装箱起重机, 可实现半自动化作业, 场地示意图见图 2-3。码头前沿与堆场作业通过中央控制室的生产系统进行操控, 由无人搬运车实施水平运输, 实现了自动化。鹿特丹 ECT 码头堆场采用自动堆码起重机, 同样由中央控制室的生产系统操控,

并与码头岸线垂直布置。堆场共 25 块场地，每台自动堆码起重机负责 1 块场地，每块场地包含 6 列 15 贝的堆存位置，机械场地配比大于 1。Delta Sealand 自动化堆场由于自动堆码起重机的装载能力为堆 1 过 2，即最高只能提至 2 层高，一般只码 1 层高，导致堆码垛型只能采用中间列堆 1 层高，两边堆 2 层高。之后的 DDE 自动化堆场及 DDW 自动化堆场提升了自动堆码起重机的作业能力，提升了堆码能力及速度。

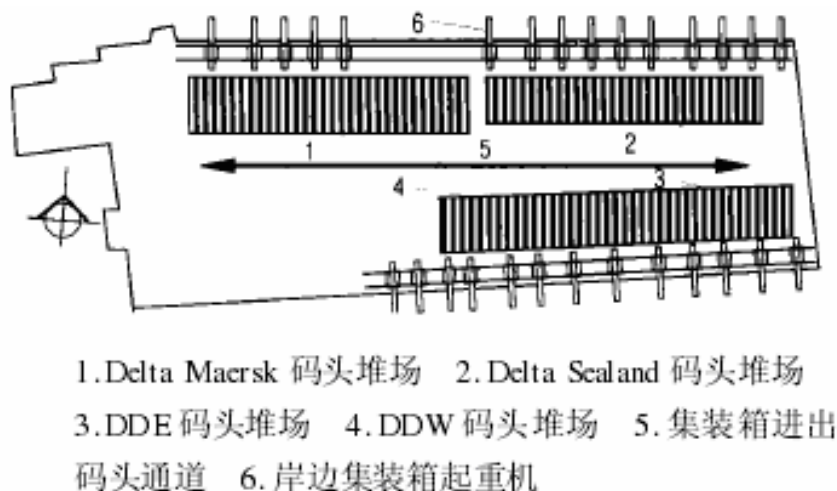


图 2-3 ECT 自动化集装箱码头平面布置示意图

新加坡港口码头的堆场与岸线平行，且每块场地至少保证有一台陆地装卸设备。机械场地配比大于 1（机械数量：场地数量），能够保证码头随时作业的需要。

比利时安特卫普是欧洲第三大港，其中诺特纳塞码头的泊位长度 1070 米，堆场面积 37.5 万平方米，有各种可以利用的零散场地，俯视图见图 2-4。场地设备主要依靠 21 台跨运车、1 台正面吊、48 部叉车。

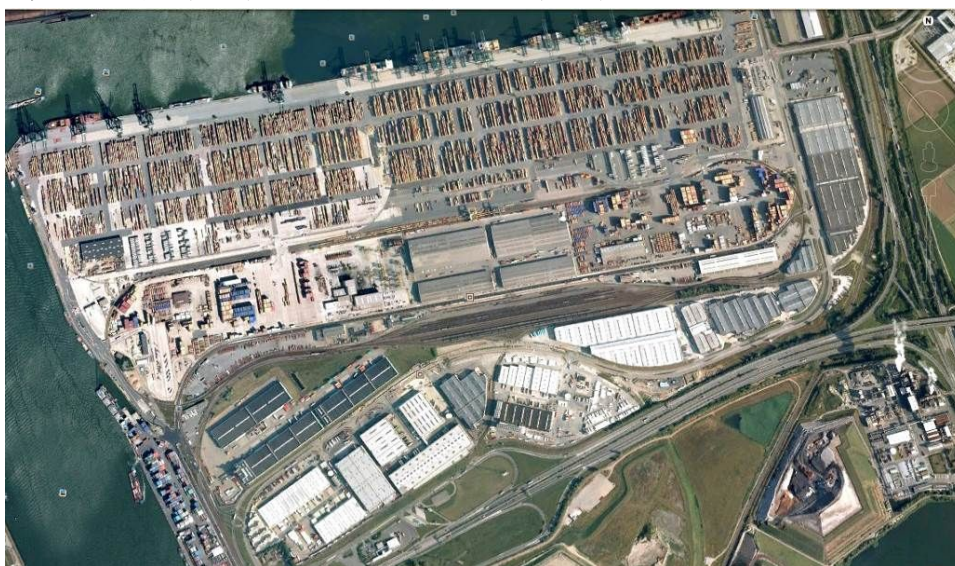


图 2-4 安特卫普码头图

2.3.2 国内港口码头堆场的管理

香港由于地方较小，一般采用前方堆场和后方堆场相互协作的作业方式，见图 2-5。码头前沿卸船时，集装箱全部都卸到前方堆场。当前方堆场堆存量达到阈值时，则全部集装箱倒至后方堆场，通过不断倒箱，提高堆场利用率。以香港国际货柜码头为例，其使用 92 台龙门吊，74 部跨运车，16 台正面吊，20 台侧面吊进行码头堆场作业。

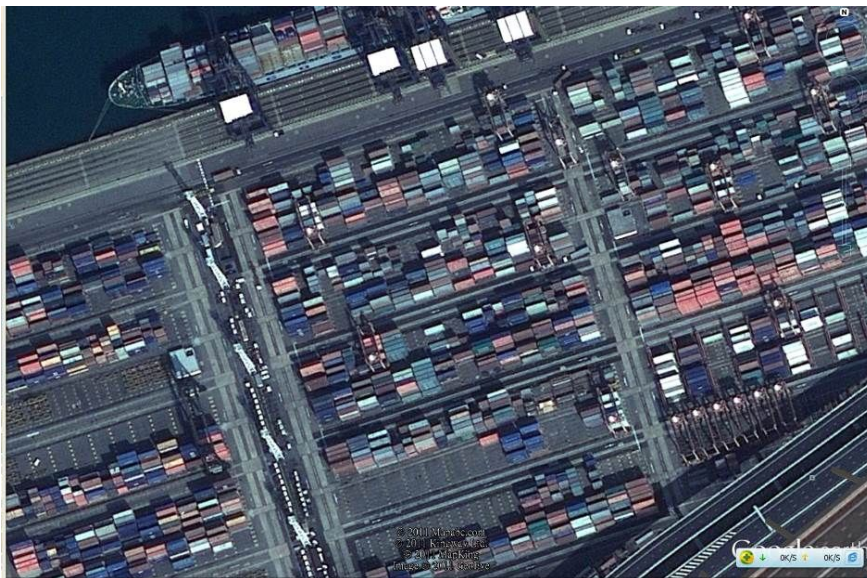


图 2-5 香港码头图

深圳蛇口集装箱码头是在国内名列前茅的集装箱码头，拥有岸边起重机 33 台，轮胎龙门式起重机 89 台及轨道龙门起重机 16 台（堆场共计 105 台起重机），共 80 块场地，机械场地比也达到了 1 以上。蛇口集装箱码头示意图见图 2-6。

SCT堆场平面示意图



图 2-6 蛇口码头图

上海港主要码头情况如下表 2-3 所示。从表 2-3 看，上海港盛东、冠东集装箱码头堆场面积为 140 万平方米左右，堆场机械设备分别为 108、82 台。

从以上国内外港口码头的情况看，各码头都是采用的岸桥、场桥（场地内起重机，或叫龙门吊）、拖车的作业工艺，但根据自身码头情况，又在传统作业工艺上采用了自动岸桥、AGV、轨道桥、跨运车等工艺。

由以上国内外各港口码头堆场的机械对比情况看，各码头基本上能够达到每块场地有一台作业机械，保证了客户到达港口后可以随时有机械作业，提高顾客满意度。

表 2-3 上海港集装箱泊位、设备、堆场情况

类别	浦集	振东	沪东	明东	盛东	冠东	张华浜	军工路	中海	合计
码头长度(米)	900	1566	1250	1110	3000	2600	784	857	231	12298
泊位个数(个)	3	5	4	4	9	7	3	4	1	40
前沿水深(米)	-10.5	-13.2	-12.5	-12.8	-16	-17.5	-10.5	-10.5		
桥吊(台)	11	26	16	16	34	26	7	6		142
龙门吊(台)	42	79	48	48	108	82	18	15	3	443
正面吊(台)	3	5	3	2	5	6	1	2	24	51
堆场面积(万平方米)	27.9	94.7	78.4	82.7	148.6	141.8	30.4	30.7	3.8	639
仓库面积(万平方米)	0.52	0.58	0.94	0.95				0.45	0.38	3.82
吞吐能力/年	135	250	180	70	430	500	95	85	21	1766

2.4 本章小结

本章对港口码头的发展过程以及集装箱相关的运输概念进行阐述，并对国内外集装箱运输发展状况进行探讨。同时对天津港在国内的港口地位进行了分析，对集装箱运输的发展趋势进行了讨论。本章同时对集装箱码头堆场相关的概念进行介绍，并对国内外集装箱码头堆场管理情况进行了比较。

通过本章的分析比较，可以在清楚天津港及其 T 码头运作现状的基础上，借鉴先进码头的经验，为下一步对天津港 T 码头进行堆场作业优化打下基础。

第三章 T 码头的集装箱堆场管理现状分析

本章的主要研究目标是提高天津港 T 码头的集装箱堆场作业效率,提高航陆运作业水平,提高顾客满意度。这其中最关键的问题是如何处理场地内作业机械的调配情况以及改进作业计划的制定过程。

3.1 T 码头的运营发展

T 码头由天津港和新加坡 PSA 国际港务集团于 2006 年合资成立,并于 2008 年正式运营。

T 码头地处天津东疆保税港区,三面环海,紧邻天津经济开发区、保税区,经济腹地可辐射北京、天津、河北、内蒙古、山西、青海等地,是欧亚海铁联运的中转枢纽。公司码头岸线全长 2300 米,年设计集装箱吞吐能力 400 万标准箱。码头前沿水深-16.5 米,有 6 个 15 万吨级的集装箱泊位,同时可以停靠 20 万吨级集装箱船舶;堆场面积达到 180 万平方米,堆存能力达到 14 万标准箱。公司配备有集装箱岸桥 23 台、场桥 58 台、正面吊 3 台、空箱堆高机 10 台、进港检查桥通道 18 个和出港检查桥通道 12 个。

2006 年 3 月份 T 码头正式开工建设; 2007 年 11 月 T 码头顺利接卸第一个集装箱, T 码头正式开港作业; 2009 年起 T 码头吞吐量在国际经济衰退的大背景下逆势而上,连续 3 年增幅 10%以上。2013 年 T 码头各项作业指标达到天津港集团前列。目前, T 码头已和地中海、韩进、长荣、赫伯罗特等 17 家船公司建立合作关系,外贸班轮每周 21 班,可达日韩、伊朗、欧美、台湾等国家及地区。

目前天津东疆港区作为滨海新区的重要组成部分,享受国家给予的各项先行先试政策,预计 2014 年能够取得“自由贸易港”政策,为企业提供更多的税收等方面的正常优惠。T 码头作为该区域内唯一一家集装箱码头公司,必将大大受益于各项优惠政策,为公司的大力发展提供了很好的政策支持。

3.2 T 码头堆场的资源配置

3.2.1 T 码头的堆场布局

T 码头堆场较为齐全,重箱场地、空箱场地、冷箱场地、特种箱场地及拆装箱场地都正常配备,具体见图 3-1。T 码头可使用场桥作业的场地共有 64 块,空

叉作业场地 14 块。重箱堆场可堆放 4 层集装箱重箱，空箱堆场可堆放 7 层集装箱空箱，冷场可堆放 3 层集装箱重箱。

A01	B01	C01	D01	E01	F01	G01
A02	B02	C02	D02	E02	F02	G02
A03	B03	C03	D03	E03	F03	G03
A04	B04	C04	D04	E04	F04	G04
A05	B05	C05	D05	E05	F05	G05
A06	B06	C06	D06	E06	F06	G06
A07	B07	C07	D07	E07	F07	G07
A08	B08	C08	D08	E08	F08	G08
A09	B09	C09	D09	E09	F09	G09
A10	B10	C10	D10	E10	F10	G10
图例：	重箱场地	空箱场地				

图 3-1 T 码头示意图

3.2.2 T 码头的机械配置资源

堆场设备资源是在进行装卸、搬运、堆存过程中所需要的专业机械，在 T 码头，主要使用的场地内机械包含场桥（采用轮胎式龙门吊）、正面吊、空箱堆高机、拖车等，下面简要介绍这几种设备规格：

岸桥：T 码头拥有 23 台岸桥，全部配备双箱吊具，单箱额定起重重量 40.5t，双箱为 65t。同时，岸桥配备各种作业所需的工具及吊具。岸桥前伸距 66 米，可以满足现 18000T 级别船舶的作业。

场桥：T 码头共有 58 台，分为 61t 及 40.5t 两种。61t 场桥为双箱吊具场桥，40.5t 场桥为单箱吊具场桥。现每日场桥实际出勤数量可达到 32 台左右。

空箱堆高机共有 10 台，最高堆码 8 个普箱，达到 19.2 米。正面吊共有 3 台，吊具最高可吊 45t。

3.2.3 T 码头的堆场作业流程分析

本论文主要针对 T 码头重箱堆场的集疏运作业，故只对重箱作业相关流程进行分析。船舶到港后，要及时做好船舶靠泊、卸船、装船、离泊等工作，在船期前后还要做好集港、提箱、疏运等工作，主要业务流程如下：

1. 进口卸船主要流程

(1) 船舶抵港前，船公司或船公司代理要将进口舱单、进口船图、危险品清单、特种箱清单、船舶动态发送至码头公司，码头公司根据以上单据制定卸船顺序、卸船场地、卸船机械。

(2) 泊位计划根据船期、进口作业量、可用设备数量、可用泊位情况等编

制泊位滚动计划，安排作业机械及作业顺序。

(3) 场地计划根据船期、泊位安排，分配进口卸箱场地。

(4) 单船计划根据船舶进出口作业箱量及作业设备数量、进口船图，编制各岸桥负责作业的贝位，并将作业顺序交至中控员及现场作业人员。

(5) 中控员根据作业顺序在操作系统中策划卸船场地，并组织现场作业人员做好船舶靠泊开工准备。场地策划时，除按照箱型、尺寸、空重及场地计划员的要求分开策划以外，不分港口轻重可以混码。

(6) 船舶由引水、拖轮引至码头靠泊后，先由边检、卫检等政府部门进行联检。中控员同时组织开工准备。联检结束后马上开工。

(7) 看钩手根据中控员指令，按照卸船顺序指挥岸桥作业，并负责对进口箱进行验残。岸桥将集装箱卸至拖车上，拖车按照指令将集装箱拖至对应场地，由场桥司机根据作业指令卸至场地。

2. 提箱主要流程

卸船作业完毕后，货主将到码头提走集装箱。根据单次提箱数量，提箱业务又可分为大票提箱及零散提箱，主要流程如下：

(1) 码头公司根据自身作业情况，提前发布可以提箱的时间段，各货主可在此时间段内进行提箱申报。

(2) 货主或货主委托人，持相关证件，到天津港航运中心 T 码头窗口办理相关手续并结清费用，根据码头公司提箱时间段，货主可自行安排时间到码头提箱。

(3) 在规定时间内，货主或其委托人持相关单据到 T 码头检查桥闸口，进场后根据提箱小票上指示的贝位，到指定地点等待提箱。

(4) 场桥司机根据作业指令将指定集装箱放至拖车上。提箱人在不妨碍作业的地方对箱体进行残损检查。

(5) 拖车将集装箱拖至后闸口，后闸口理货员核实拖车号、箱号、单据无误后，在设备交接单上盖章，系统中放行，拖车离开码头。

3. 出口集港主要流程

(1) 船舶公司或船舶代理在船舶出口箱集港前将集装箱订舱报文及舱单发送至码头公司，作为集港收箱依据。

(2) 泊位计划与场地计划根据船期、场地情况、设备情况制定集港时间段、集港场地及集港机械。

(3) 场地计划根据出口订舱报文以及之前航次的作业经验，编制集港场地计划，按港口箱型重量策划集港位置。进行集港场地策划时，应至少遵照以下原则：

不同尺寸集装箱单独堆码；空重箱单独堆码；不同种类集装箱单独堆码；有特殊要求的大票单独堆码；按照场地计划其它要求策划。

(4) 开始集港后，拖车根据集港时间到达检查桥进闸口，验残后，按照进闸口小票指令到指定位置等待收箱。

(5) 拖车到达指定位置后，中控员指挥场桥进行集港收箱作业。

(6) 拖车到达出闸口后，出闸口理货员核对箱号、单据无误后，盖章放行。

(7) 出口舱单到达后，场地计划员根据出口舱单及对场地内集港情况，安排预倒作业计划。

4. 出口装船主要流程

(1) 船舶公司或船舶代理公司在进船前将出口预配图发送至码头公司。

(2) 泊位计划在收到出口预配图后，根据出口箱箱量、贝位分布情况制定出口作业机械数量，并安排作业顺序。

(4) 船舶靠泊后，单船计划员根据场地集港情况，按照出口预配图进行配载，并调整泊位计划制定的作业顺序。单船计划员与船方核定船图后，将出口图交给中控员及现场作业人员。

(5) 中控员指挥现场操作人员按照指令进行装船作业，并同时打加固。

(6) 作业完毕后，由大副或船长在“作业签证单”及配载船图上签字留存。

3.3 存在问题分析

T 码头自 2007 年开港以来，集装箱吞吐量急剧增长，即使在金融危机中也是逆势增长，已经从开港时不足 100 万标准箱增长到 255 万标准箱，年平均增长率为 133%。T 码头年设计吞吐能力为 400 万标准箱，堆场吞吐量约为年吞吐量的 2 倍，即 800 万标准箱。随着作业箱量的急剧增长，预计 2 年内公司将达产。

在快速成长过程中，T 码头在堆场使用方面面临着以下几个问题：

(1) 目前，T 码头年作业量达到 200 万标准箱，使用 17 台岸桥，每日出勤场桥数量为 30-34 台，场桥司机总人数维持在 140 人。随着公司生产任务的增加，当作业量达到 400 万标准箱时，每日船舶平均进出量需达到 11000TEU，21 台岸桥基本满足公司要求，场桥日均作业量将增加至 55-60 台，场桥司机总人数将增加至 220-240 人。机械及人员的大幅增加，将带来成本的增长。

(2) 从 T 码头现在的作业情况看，当集港提箱作业较多时，由于航运作业占用一部分资源，导致集港提箱作业机械数量受到制约。到港集港提箱拖车由于机械无法满足作业的需求，必须等待进入作业场地。集港提箱作业大部分可以在 35 分钟内完成作业，12%的拖车需要用 35-60 分钟，5%的拖车需要用到 60-90

分钟，不到 1%的拖车需要用 90 分钟以上。从以上数据看，有 17%以上的拖车在港作业时间都将超出公司 35 分钟作业的对外承诺，同时由于拖车司机在港停时过长，容易造成司机不满，对公司服务进行投诉。

所以，公司必须改变现有作业方式，提高场地内堆存效率及作业效率、机械使用率，以提高自身生产性的方式提高公司场地吞吐效率，增加航运作业效率，降低成本增长程度，减少集装箱在场时间，减少拖车在港时间，提高顾客满意度。

3.4 本章小结

本章分析了 T 码头的运营发展现况。对 T 码头生产情况、堆场布局、场地机械配置进行介绍，对 T 码头堆场相关作业，如集港、提箱、装船、卸船的作业流程进行分析后，确定 T 码头堆场使用方面所面临的问题。

第四章 基于系统仿真实理论的码头运作优化方法

4.1 过程控制及系统建模优化理论

4.1.1 过程控制与集装箱码头物流系统

过程控制是指工业生产过程中连续的或按一定周期程序运行的生产过程自动化。过程控制系统的发展可分为电气控制系统、手工控制系统、气动控制和液压控制系统、集散式控制系统、分布式控制系统、计算机集中式控制系统、基于现场总线的分布式控制系统。

集装箱码头物流系统，是由连续不断或半连续批量的生产过程所构成，涉及过程操作和设备运行两方面，是一个典型的大规模、不确定、带复杂约束等综合复杂性的生产过程系统^[16]。集装箱码头的产品是集装箱的位移，是为了优质高效经济的满足顾客要求。显然，集装箱码头物流系统就是一个过程控制的系统。目前随着智能控制理论的发展，生产实践中更多采用智能控制系统。

智能控制（IC）是指能够在不需要人参与的情况下，自主的驱动机器实现目标。自智能控制理论提出以来，已经从人工智能和控制论发展到了人工智能、模糊集理论、运筹学和控制论，从二元论发展到四元论。智能控制具有自主学习能力、组织综合能力、适应能力及优化能力，能够很好地解决不确定性的模型、高度非线性问题以及复杂的要求。

4.1.2 系统仿真分析

数学模型是真实系统的一种抽象，在考虑输入、输出、变量、对应方法、函数关系后，建立起一个集合就是系统模型的理论构造。一个系统模型一般包含系统过程的时间、系统输入、系统输出、内部状态、状态变化函数等。数学模型是掌握和研究系统模拟的有效工具，是在计算机仿真系统中主要应用的方法，其具有多种种类。

（1）按照模型系统各量之间的关系是否随时间的变化而变化，可分为静态和动态模型。

（2）按照使用偏微分方程描述系统还是使用线性非线性常微分方程来描述，可分为分布参数和集中参数模型。

（3）按照模型中的时间变化是否连续，可分为连续时间和离散时间模型。

- (4) 按照变量之间关系是否随机, 可分为随机性和确定性模型。
- (5) 按照是否使用方程作为响应量, 可分为参数与非参数模型。
- (6) 按照模型中各量的关系是否为线性, 可分为线性和非线性模型。

系统数学模型能够在付出最小代价的情况下, 尤其是破坏性不可逆的情况下, 辅助人们思考, 提高人们认识事物的水平, 增强决策能力, 帮助人们不断加深对客观现象的认识, 协助人们对相似系统的理解。

计算机模拟仿真就是一种建立系统数学模型的方法。为了仿真模拟有效性, 在明确模拟仿真目的基础上, 了解被模拟行为的流程及相互关系, 并对其进行简化, 设定假设, 才能建立起准确可信的系统模型。

系统仿真(system simulation)就是明确系统分析目的, 并分析系统各要素相关关系及性质的基础上, 建立能够描述系统行为过程及系统结构, 具有逻辑关系货数量关系的仿真模型, 并按此进行相关试验或定量分析, 以获得正确决策所需的各种信息。

系统仿真属于计算技术, 通过对系统问题求解, 尤其能够更加有效的处理无法建立数学模型的实体, 同时对于破坏性或黑盒子性质的过程有着不可替代的实验效果, 节省大量投入。仿真是一种人为手段, 是依据实际系统建造的系统模型下工作, 是通过人为的对其进行规定、限制其只考虑符合目的性的结果。通过仿真系统, 可以还原出原有问题, 启发新的思想。

模型是一种具有实验性质的系统, 是依靠观测或检测现实系统, 利用模型与现实的相似性, 以模型与现实的对应关系来进行预测。为了运行模拟, 必须要有合理的方便的实验步骤及实验工具(即软件)。在系统模型仿真中, 相似性是最基本的依据, 个性中存在着共性, 特殊中存在着普遍。相似关系有离散相似、微分方程解法、逻辑思维相似等, 其中离散相似是数字仿真的基础。

一般仿真分析的基本要素是计算机、系统和模型, 三项相互配合进行仿真, 称为数字仿真。通过系统建模创建现实作业模型, 通过仿真建模创建系统模拟结构, 通过运行仿真实验得到实验结果^[17]。数字仿真的主要工作流程内容为以仿真目的为指导方向, 确定仿真系统的边界及约束条件。

数字仿真一般的步骤为: 通过历史资料、系统实验知识和仿真目的确定系统数学模型, 按照数学模型编制仿真模型, 并对仿真模型正确性进行校核。利用仿真软件对仿真模型进行实验, 并记录实验结果, 并对实验结果进行分析、整理, 并修正模型最终达到目的。

4.1.3 计算机仿真步骤及相关软件

1. 计算机仿真步骤

计算机仿真技术因其快速、灵活的特点在工程技术领域发挥了重要且独特的作用。计算机仿真是一种集实验与理论双方优势的方法，具有求解速度快、模型可随意调整、仿真结果直观可靠的特点。

仿真技术作为一种管理工具在中国快速发展，尤其是离散系统仿真技术提供了一个可以预测在未来不断演绎的一系列因果关系，可以帮助我们预测当前的决定对以后的影响^[18]。现有的一些仿真软件支持图片导入、CAD 导入，可以很直观的看到模拟的内容，但我们仍应明确，仿真最核心的内容仍是对于实体系统的模拟。

计算机仿真具体步骤包含：

1. 将所需模拟的问题描述清楚，并设置目标，包含系统方案的说明、准则以及模拟相关约束。
2. 根据已设定的目标、方案及约束，将实际情况抽象为模型。
3. 收集与模型运行有关的数据，并根据需要进行仿真编程。
4. 对模型的参数和模型的逻辑结构进行验证，查验模型是否正确，并根据验证结果不断修改模型。
5. 对模型仿真进行运行方案设计，运行后对仿真结果进行性能评估、分析。
6. 依据评估结果，对模型再次调整修改，并进一步运行系统。
7. 将最终运行参数及结果进行保存，作为后续分析研究材料。

1997 年，德国埃斯林根应用科技大学对仿真各骤所需时间研究如下^[19]：

目标定义占 10%，获得所需数据占 25%，建立仿真模型占 50%，矫正确认模型占 10%，实验设计及模型分析占 5%，结果解读占 5%，撰写相关文档占 10%。

2. 计算机仿真软件

仿真软件是支持仿真活动的软件总称，包含了仿真模型的描述规范、执行、分析，以及数据的存储与检索。

自 Richard E.Nance 在 1995 年首次总结了仿真软件的发展历程和技术特征^[20]，1992 年以来的冬季仿真会议上每年都对仿真软件的发展做出总结，一致认为仿真软件可分为 6 个阶段：

(1) 1955 年—1960 年为探索阶段，使用 FORTRAN、VB、C、C++等通用语言实现仿真软件功能，但每次建模都要投入大量的人力和时间去重新编译代码。

(2) 1961 年—1965 年为出现阶段，开始使用通用语言来撰写专用的仿真程序，派生出了 SIMSCRIPT、GASP、GPSS 等。GPSS 是第一个进程交互仿真程序。

(3) 1966 年—1970 年为形成阶段，SIMSCRIPT 2 是此阶段的重要代表。

此阶段还是采用编程方式实现仿真，难度仍较大。

(4) 1971 年—1978 年为发展阶段，此阶段各仿真软件开始提供交互式的环境，努力简化建模难度，从用户角度开发系统。

(5) 1979 年—1986 年为巩固和改进阶段，仿真软件进一步使用交互式开发，但重点在变量的响应上，忽视了对结果的分析。

(6) 1987 年至今为集成环境阶段，仿真软件的建模、分析和动画演示已经很好的结合，使人们能够看到结果的同时，也能关注到过程的发展，如 ARENA、WITNESS 等为代表。

4.2 离散系统仿真理论概述

已经介绍过，按照性质可以将模拟系统分为连续型及离散型模拟系统，连续系统是指活动和状态随着时间连续改变而改变的系統，离散系统是指活动和状态仅在离散时间点上变化。对于集装箱装卸这一个事件是连续的还是离散的，需要依据研究目的不同来区别看待。当我们需要判断码头全年作业情况时，可以将装卸过程看为一个连续的过程，当需要研究每次装卸过程时，则装卸每个集装箱都是一个单独的离散过程，故采用离散系统仿真。

4.2.1 离散系统及离散事件仿真

离散系统涉及到的概念包含实体 (Entity)、属性(Attribute)、活动(Activity)、状态(State)及事件(Process)。实体是指构成系统的各种成分，是系统边界内的对象。实体按照是否永久存在系统内分为临时实体和永久实体，临时实体又称主动成分，永久实体又称被动成分。属性反映了实体的某部分特征，在仿真中只需关注与研究目的有关的一部分。活动是指导致系统变化的过程，是随时间变化，标志着系统状态的转移。状态是描述系统中实体相互影响而引起的属性变化，描述系统状态的变量称为状态变量。事件是引起系统状态变化的行为，描述了系统的动态行为，是由实体相关活动组成。

离散系统的结构模型着重于描述构成系统的实体及实体间的交互，而建立系统的仿真模型需要将结构模型映射到计算机上。由于计算机是串行计算，而系统结构中各实体是并行运动的，就需要用事件表、仿真时钟及统计计数器来进行转换^[21]。

离散事件仿真至少需要以下几部分：

- 1.系统状态变量：记录系统在不同时刻的状态。
- 2.仿真时钟：模拟记录系统的仿真时间。

- 3.事件表：按时间顺序记录仿真过程中要发生的事件。
- 4.统计计数器：记录与仿真过程中系统性能有关的统计信息。
- 5.初始化子程序、时钟推进子程序、调度子程序、事件子程序用于对仿真系统进行初始化，并随着模拟时间向前模拟运行主程序。
- 6.统计报告子程序用于对系统的评估值。

4.2.2 离散仿真系统的设计与实现

要将系统模型转换为计算机模型，必须要从总体上确定仿真模型的控制逻辑和仿真时钟推进机制，仿真策略是仿真模型的核心，反映了仿真模型的本质，从根本上决定了仿真模型的结构^[22]。

1.实现离散仿真系统有三种算法，分别是事件调度法、活动扫描法、进程交互法，见表 4-1。

事件调度法面向事件，通过定义事件，按照时间顺序处理所发生的一系列事件，适合于活动持续时间比较确定的关系。事件调度法是最主要最常见的建模方法之一，最关键在于针对系统特点确定事件类型。活动扫描法面向活动，以活动的开始和结束作为系统状态变化标志，建立在设立系统仿真钟、成分仿真钟和条件测试模块的基础上。进程交互法面向进程，基本模型单元是进程，是事件调度法与活动扫描法的结合。

表 4-1 离散仿真系统实现方法比较图

	事件调度法	活动扫描法	进程交互法
系统描述	主动成分可施加作用	主动成分、被动成分均可施加作用	主动成分、被动成分均可施加作用
建模要点	对事件建模，事件子程序	对活动建模，条件子程序	进程分步，条件测试于执行活动
仿真钟推进	系统仿真钟	系统仿真钟，成分仿真钟	依据CEL，最早发生的事件事件执行活动
执行控制	选择最早发生的时间记录	扫描全部活动，执行可激活成分	扫描CEL，执行Da (S) =true记录断点

- 2.事件调度法仿真模拟步骤：
- 仿真步骤：
- （1）对系统进行初始化
 - （2）对每个主动型实体按先后顺序设置未来时间及事件，并建立未来事件表 FEL。
 - （3）在系统中设立仿真钟，仿真钟每次推进时对 FEL 进行扫描，调出下一时刻发生事件的实体，执行事件。
 - （4）在 FEL 中清除易发生的事件，并增加因发生事件产生的新事件。

4.2.3 常见的离散型仿真软件

1. ARENA

ARENA 为 Rock Software 公司的产品，基于 SIMAN/CINEMA 仿真语言。Arena 可以提供交互式的仿真环境，可实现可视化，具有易用性和通用性。Arena 支持 VBA，可以使用完整的 VB 编程环境。

Arena 在制造业中应用极广，从生产工艺计划、设备布置、加工、库存管理、产品销售预测等生产流程构造，到制造系统改进、企业投资、供应链管理等高阶管理^[23]。另外，Arena 还可用于医疗、军事、高速公路铁路的交通控制、港口运输计划等规划。

2.eM-Plant

eM-Plant 的前身是 SIMPLE+，现最新版本为 eM-Plant 11。eM-Plant 很好的平衡了软件的易用性、灵活性及开放性。eM-Plant 利用图形化建模、系统自带模板及对象使用户可快速建模；利用 SimTalk 程序语言使用户能够对模型细节进行详细控制，通过继承提高了对象和程序的可重复使用性；利用与 Excel、AutoCAD 等软件进行端口对接，可以进行数据交换^[24]。

eM-Plant 将动画与建模仿真相结合又相互独立，可以实现所见即所得，更能够实现更改模型的同时运行仿真及动画。eM-Plant 有着面向对象的建模过程，提供了建模的对象库而不需从头编写，用户可以继承已有对象从而快速构建新对象，修改对象可选择是否影响其他该类对象。eM-Plant 采用多层次的模块化单元，按着层式结构进行建模。

eM-Plant 应用范围极广，汽车装配线布局、供应链管理、高速铁路维修中心调度、PC 组装生产线、化工领域、大型物流中心、造船厂是已经应用的领域。

同时，eM-Plant 属于 eM-Power 大家族，通过与其它 eM-Power 家族成员协作，可以胜任于各种领域。

3.AutoMod

AutoMod 适用于大规模复杂的系统计划、决策及控制实验，同样支持可视化、编程等，可以快速采用内置模板建模，主要应用于制造系统及物料处理系统^[25]。

4.ExtendSim

ExtendSim 从 1988 年进入市场，采用 C 语言，可对离散及连续时间进行仿真模拟。ExtendSim 采用交互式建模方式，所有模块可以重复使用、复制，提供动画显示，简化了建模过程。ExtendSim 也有良好的开放性，可与 C、C++、VB、Delphi、Excel 等语言及数据库连接。

ExtendSim 在各行各业中也广泛使用,可以客观的评价和改进影响系统性能的因素,实现系统最佳的配置,运行模式或经营策略^[26]。

5.Flexsim

Flexsim 使用面向对象及 Open GL 技术,可以直接实现三维虚拟建模。Flexsim 提供了大量的对象类型,用户可以高效的构建系统模型。Flexsim 主要用于评估生产能力、生产流程、优化资源配置、确定合理的库存水平、缩短产品上市时间等^[27]。目前 Flexsim 针对集装箱码头上市 Flexsim CT,专门用于集装箱码头模拟。

6.Promodel

Promodel 是离散时间系统仿真软件,是欧美地区使用最广泛的仿真软件之一。Promodel 基于规则的决策逻辑,能够准确的建立系统模型,分析系统的动态及随机特性^[28]。

7.GPSS 语言

GPSS 是影响最广泛的一种离散语言,是一种非过程语言。GPSS 通过标准方框表示仿真模型的逻辑结构,提供预定义的模块来构建仿真模型,但不支持子程序,扩展性不足。

4.3 智能优化算法

为了使系统达到最优的目标所提出的各种求解方法称为最优化方法^[29]。近年来,随着优化理论的发展,一些新的智能算法得到了迅速发展和广泛应用,成为解决传统优化问题的新方法,如遗传算法、蚁群算法、模拟退火算法等。

1.遗传算法

遗传算法是受生物进化理论启发而形成,通过自然淘汰、变异、遗传进化来适应环境,产生最适合的个体。遗传算法的过程可分为可行域解码编码、确定编码适应度、确定下一组的遗传算子在进行反复繁殖,最终进化到最优解^[30]。

2.蚁群算法

昆虫学家在研究蚂蚁外出捕食过程中如何获得最优路径的过程中发现,单独一只蚂蚁无法找到最优路径,但通过大量的蚂蚁相互传递信息素,可以使对食物位置一无所知的蚂蚁以最短距离到达食物所在地点^[31]。这是由于蚂蚁在一条路径上行走,随着信息素越来越多,使其它蚂蚁也都选择此条路线。

3.模拟退火算法

模拟退火算法最早由 N. Metropolis 等人提出的^[32],但却是由 S. Kirkpatrick^[33]等人以及 V. Cerny^[34]分别提出的。模拟退火算法基于固体物质退火过程与一般组合优化问题相似性^[35],模拟退火算法比爬山法多了随机因素,可以更接近最优解。

4.4 本章小结

本章主要内容为对计算机仿真模拟系统相关知识及仿真模拟软件的介绍,成为下章仿真模拟的理论基础。

集装箱物流运输是一个大的生产过程系统,从宏观看,集装箱码头堆场是24小时不间断作业的堆场,是连续作业的方式;从微观看,集港提箱拖车等并不是连续到港,是离散作业的方式。本章通过系统模型理论、建模方法论、仿真理论的介绍,回顾了离散型仿真模型概念以及如何通过设计以实现离散型仿真模拟,说明了在进行T公司集装箱码头堆场作业的仿真建模过程中,应遵守的一些理论要求以及步骤。对现在计算机仿真常用建模软件进行了介绍。同时对仿真系统中使用的优化算法进行介绍,例如遗传算法、蚁群算法等。

第五章 T 码头的集装箱堆场管理改善研究

5.1 问题的提出

通过对 T 码头堆场堆存能力及使用情况的分析,本章将主要在以下几方面进行论证,改善堆场使用效果,提高堆场利用率:

- 1.分析现有的计划制定原则,考虑计划制定人员与调度指挥人员的意图如何实现无缝交接并保持一致,完善现有计划的制定。

- 2.通过船图、舱单、集港等历史数据寻找规律,结合场地进出口堆存情况,确定进出口作业的机械该如何配置。

- 3.利用系统模拟理论及仿真软件,结合历史作业数据,合理确定配工及机械,确定场地作业规律。

5.2 码头集疏运模式的优化

5.2.1 集装箱在堆场堆存及作业工艺分析

1. 堆场堆存运作流程

除直装直提的危险品箱外,所有的集装箱进行水路运输转换的时候,都要经过堆场堆存^[36]。进出口箱一般在港都停留一段时间才会离开码头。

出口箱一般在船舶到港前 2-5 天由场地计划员根据船期确定集港开始及结关时间,并根据进口单据、场地机械配置情况、岸桥作业安排等策划场地后开始集港。结关后,码头根据集港情况及出口报文、船公司要求对已收出口箱进行预倒返场,并准备装船作业。为配合政府部门对集装箱货物的管控,已集港到港口的集装箱会进行港外查验,查验合格后再返回堆场。

进口箱为提高作业效率,一般只按箱型尺寸进行区分卸场。船舶离港后,货主在清关后办理提箱手续并到港提箱。如在 4 天内货主未提走集装箱,则由码头安排转栈计划进行疏运,以此增加码头堆场的堆存能力及作业效率。由此可见,堆场可看成集装箱码头的缓冲区,随着船舶的大型化及高速化,堆场的作用尤为明显,对提高装卸效率起着至关重要的作用^[37]。

2. 集装箱作业相关工艺分析

对于岸壁式集装箱码头可分为底盘车工艺、跨运车工艺、轮胎桥工艺、轨道

桥工艺、混合型工艺、自动化工艺等作业工艺。

底盘车工艺又称“海陆工艺”，其来源于海陆公司。码头的前沿使用岸桥进行装卸船作业，使用底盘车进行进出码头、码头前沿及堆场之间的水平运输。集装箱进入堆场后一直在底盘上堆存，在港操作次数少，但对底盘车需求量大，投入大。

跨运车工艺又叫麦逊公司方式，通过跨运车进行堆场堆码、进出场车辆装卸及码头前沿与堆场间的运输。跨运车系统一机多能，机动灵活，但初始投资高，翻倒困难、故障率高。

轮胎桥工艺采用轮胎吊进行场地内集装箱的装卸与堆码，通过拖车完成与码头前沿的运输。轮胎桥工艺堆场利用率高，堆场铺设费用少，但初期投资高，需配备拖车较多。T 码头集装箱码头采用的轮胎桥，作业能力达到 6 列集装箱箱宽，堆 4 层过 5 层的能力。

轨道桥工艺作业与轮胎桥作业工艺基本相同，但只能在专用轨道上运行，受到轨道限制。同时轨道桥提箱、倒箱困难。

混合型工艺为多种作业工具同时使用，例如跨运车与龙门吊的混合使用。

5.2.2 国内外码头集疏运模式比较

在国内，上海浦东国际集装箱码头有限公司堆场配有轮胎桥 42 台，可进行“堆五过六”堆箱作业。浦东国际集装箱码头采用轮胎桥工艺。通过轮胎式场桥，辅以叉车、正面吊收发集装箱，通过拖车进行前沿码头与堆场之间、堆场内外的链接。目前上海港采用振华港机最新研制的高大跨的和低小跨的 2 台轨道吊(Rail Mounted Gantry Crane, RMGC)配合使用，交叉作业^[38]。天津港的兄弟公司中，部分公司采用轮胎吊工艺，部分采用轨道桥工艺。

在国际上，很多码头将更多的先进技术应用到集装箱码头。德国新推出了一种自动化集装箱堆栈系统 ACS，该系统能够最大程度利用堆场空间，提高集装箱存取时间^[39]。由 Kalmar 开发的 RTG 自动操作和集装箱定位系统 SMARTRAIL 以及 Sanderson Logistic 公司开发的集装箱定位系统，Dock Watch 利用 GPS 定位进行自动装卸，现已在爱尔兰、比利时、哥伦比亚、澳大利亚等地使用^[40]。

鹿特丹的 ECT 码头、汉堡港 HHLA 公司的 CTA 码头等采用完全由系统控制的轨道桥工艺，实现自动化作业。以德国汉堡 HHLA-CTA 码头为代表，目前正在试运行世界最先进的自动化集装箱码头，码头自动化的范围从岸桥到堆场，再由堆场到拖车，岸桥为半自动化操作，水平搬运设备 AGV 和堆场设备 RMG 均为无人操作^[41]。

英国的泰晤士港、新加坡的巴西班让码头采用工作人员在控制室内遥控多台

轨道式起重机的工艺^[42]。日本名古屋港 Tobishima 是目前世界上唯一采用全自动轮胎式龙门起重机作为堆场设备的自动化集装箱码头，水平运输采用自动导引车，堆场采用全自动轮胎式龙门起重机^[43]。

5.3 T 码头集疏运模式的优化

在以上章节中已经提出，T 码头在堆场使用方面的主要问题是堆场作业机械无法满足公司达产后的生产要求。如增加使用机械，必将增加人员等，造成成本大幅上升。而当作业机械不能满足生产要求时，车辆在进入现场后将排队等待，造成集港提箱拖车等待时间过长，无法完成公司对外部的承诺。

为了改善以上问题，需要现有作业模式进行分析，来寻找改善的方案，以便提高自身作业能力，增加场地内作业速度，提高堆场集装箱周转率，提高场地使用率，减少顾客在港停留时间。

5.3.1 T 码头的集疏运流程分析

T 码头的堆场作业主要分为计划制定与生产组织两部分。首先，场地计划员根据堆场的进出口属性、空重属性以及船舶泊位安排来确定使用哪块场地；其次，泊位计划员、场地计划员等根据船舶到港时间，集港、提箱、转栈等作业项目完成情况，以及场桥、拖车、叉车等机械可使用数量，确定下昼夜将作业项目，并最终确定场地昼夜作业计划；最后，中控员根据昼夜计划的安排，及时组织人员及机械进行指定项目的作业，并根据作业项目完成情况及时调整机械配置。

针对以上作业流程，分析如下：

1. T 码头作业工艺及机械情况。

(1) T 码头选择的作业工艺为岸桥→拖车→轮胎桥的作业工艺。由于成本及投入资金的限制，轮胎桥工艺难以调整为轨道桥工艺或其他工艺模式，故只可在现有作业工艺上实验是否可以改良。

(2) T 码头场桥为油电混合动力，在堆场作业时用电作为动力源，在转至另一场地时，需要先在场边将电切换到油，到达另一块场地后再切换回油，过场（横向移动，不做纵向移动）一次约需要 5 分钟，转场（既做横向移动，又做纵向移动）一次约需要 10 分钟。

由于场桥司机人数的限制，每日可出勤场桥，一般为 30-34 台，其余部分场桥进行封存及保养，以备后续使用。每日场桥根据繁忙程度对出勤数进行调整，航运岸桥与航运场桥数量比在 1:1.5，陆运场桥数量与陆运场地数量比例在 1:1.5。从以上作业条件看，T 码头采取了轮胎桥模式，并未配置过多场桥，不能保证每

块场地一台场桥，机械场地配比也低于国外码头及国内码头。但出于成本考虑，在吞吐量未大幅上升的情况下，近期不会大量增加场桥司机及出勤机械，但会保证现有机机械配置比例。

(3) T 码头堆场正面吊为辅助作业设备，既能够协助场桥进行重箱作业，又能进行一些杂作业。正面吊一般用于配合场桥作业，并不直接用于集港、提箱、装船、卸船作业。正面吊只进行公司内部作业，不会对外部服务造成不良影响，也不会过多影响到公司生产成本，故不对正面吊作业进行分析。

2.T 码头箱型比例情况。

(1) T 码头重箱比例大约在吞吐量的 80% 左右，堆场重箱作业时以场桥作为主力机械。公司共有场桥 58 台，分为 61t 场桥及 40.5t 场桥两种，61t 场桥使用双钩吊具，一次可装卸两箱；40.5t 场桥使用单钩吊具，一次只可装卸一箱。场桥作业一钩一般需要 1.5 分钟。一钩即为一个动作。

(2) T 码头堆场空箱比例大约在吞吐量的 20% 左右，作业时以空箱堆高机为主力机械，集装箱堆存在专门的空箱场地。根据作业需要，空箱堆高机每班次可最高出至 4 人。进口空箱来源主要为卸船进港辅以拆箱业务，出口空箱来源为在港中转箱、外部拖车集港。由于空箱作业由空箱堆高机在专门场地上作业，且作业箱量较重箱来说比例较低，故本论文不对空箱作业进行研究。

3.T 码头堆场作业情况。

(1) 堆场作业可以分为集港、提箱、卸船、装船，四部分，其中卸船、提箱相互关联，集港、装船相互关联。卸船时，为了保证作业效率，一般除大票箱、中转箱等有特殊要求的单独堆码外，其它的进口箱只需分开箱型尺寸进行堆码，不需要再细分。

(2) T 码头堆场内，陆运作业可分为集港、提箱、转栈、查验等主要作业类型。转栈为货主委托堆场从码头提箱，对方堆场在 T 码头申报转栈计划后，由场地计划安排作业时间，并安排机械。查验为政府根据要求对指定的集装箱进行开箱验货，由查验堆场向 T 码头提出查验要求，并将查验箱提至查验堆场进行查验。查验箱回港时，按照正常集港模式进港。

(3) T 码头有专用冷箱场地及特种箱作业场地。货主集港或提箱为冷箱及特种箱时，需要先到码头指定部门进行登记后再行作业。冷箱及特种箱场地都随时备有机械，可以做到随到随提、随到随集，故不考虑冷箱场地及特种箱场地作业。

5.3.2 问题目标及数据的采集

由于未大幅增加作业设备，且场桥主要以用电为主，故在不考虑成本的前提

下，按照以上需解决的问题以及 T 码头的现实情况，设定解决目标为：

1.保证装卸船岸桥的作业顺畅，减少等待作业时间。

2.减少集港提箱拖车在港作业时间，控制在 35 分钟以内。系统输入数据如下表 5-1 所示。

表 5-1 T 码头 2013 年 7 月份码头数据

日期	卸船	装船	集港	提箱
2013/7/1	4343	2747	656	169
2013/7/2	1165	1528	1120	342
2013/7/3	1775	2287	1244	704
2013/7/4	813	1325	2119	557
2013/7/5	852	1256	2080	603
2013/7/6	2625	3252	1011	386
2013/7/7	234	1856	469	187
2013/7/8	6052	3396	782	197
2013/7/9	779	1457	1006	449
2013/7/10	850	752	1577	448
2013/7/11	446	321	2298	588
2013/7/12	2755	1598	1649	486
2013/7/13	1337	3516	834	284
2013/7/14	1373	1593	620	104
2013/7/15	1982	1629	736	201
2013/7/16	1635	1190	1289	311
2013/7/17	1756	1408	1362	413
2013/7/18	2067	1765	2375	541
2013/7/19	773	956	2206	600
2013/7/20	2004	4386	1258	235
2013/7/21	2620	2662	442	108
2013/7/22	2734	2790	1055	131
2013/7/23	3877	1239	1123	265
2013/7/24	2821	2405	1785	423
2013/7/25	442	317	2642	694
2013/7/26	501	1578	2143	660
2013/7/27	2688	4665	1003	307
2013/7/28	1890	3354	286	254
2013/7/29	2273	2692	935	182
2013/7/30	582	299	1512	288
2013/7/31	229	320	1467	325

表 5-1 为天津港 T 集装箱码头 2013 年 7 月份作业数据，分别统计了岸桥装船箱量、岸桥卸船箱量、每日集港箱量及每日提箱数量。以上四项是集装箱堆场

作业的主要项目，直接影响码头效益及顾客满意程度。

从 2013 年 7 月份的集装箱通过岸桥装船卸船、通过闸口集港提箱的每日作业量可以看出此四项所遵从的分布，具体见表 5-2、表 5-3 所示。

表 5-2 描述性统计量（SPSS）

	N	均值	标准差	极小值	极大值
卸船	31	1815.2581	1312.38165	229.00	6052.00
装船	31	1952.8710	1162.84217	299.00	4665.00
集港	31	1325.2903	630.06990	286.00	2642.00
提箱	31	369.0968	180.88253	104.00	704.00

表 5-3 单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验（SPSS）

	卸船	装船	集港	提箱
N	31	31	31	31
Poisson 参 均值	1815.2581	1952.8710	1325.2903	369.0968
数 ^{a, b}				
最极端差别 绝对值	.484	.599	.516	.506
正	.484	.599	.516	.506
负	-.419	-.387	-.387	-.406
Kolmogorov-Smirnov Z	2.694	3.334	2.873	2.815
渐近显著性(双侧)	.000	.000	.000	.000

a. 检验分布为 Poisson 分布。

b. 根据数据计算得到。

由上可看出，装卸船、集港提箱皆可认为属于泊松分布。

5.3.3 基于离散事件仿真模块的建立

如上述章节所叙述，离散型事件仿真系统是由 5 部分组成，现对五部分进行模型化：

实体：可以分为永久实体和临时实体，永久实体是系统不断运行的基础，指在系统中永久存在的实体。临时实体是在系统中只存在一定时间的实体，最终从系统中消失。从集装箱码头角度看，集装箱从到达堆场、堆场堆存、离开堆场是一个行为，并不永久存在与集装箱码头中，可以认为是临时实体；而场桥、岸桥、拖车、正面吊等一直存在于集装箱码头运行的系统中，可以认为是永久实体，实体分类见表 5-4。

表 5-4 集装箱码头实体分类

实体类型	实体名称
永久实体	岸桥
	场桥
	拖车
	空箱正面吊
	底盘车
	跨运车
	场位
临时实体	集装箱

属性：是用来描述实体的特性的。对于有特定目的的仿真实验，必须要对实体的属性进行确切的描述，实体与属性对应关系见表 5-5。由于并未调整可使用机械数量，且可以不考虑由于作业工艺改变本身带来的能耗、费用变化，顾不考虑实体的财务方面属性。

表 5-5 实体对应属性情况

实体类型	实体名称	实体属性
永久实体	岸桥	数量、可用数量、设备利用率、故障率、作业能力
	场桥	数量、可用数量、设备利用率、故障率、作业能力
	拖车	数量、可用数量、设备利用率、故障率、作业能力
	空箱正面吊	数量、可用数量、设备利用率、故障率、作业能力
	底盘车	数量、可用数量、设备利用率、故障率、作业能力
	跨运车	数量、可用数量、设备利用率、故障率、作业能力
	场位	场位数量、可用数量
临时实体	集装箱	作业状态、所在位置

状态、活动：在集装箱码头内，随着时间的变化，实体也在发生着运动变化，导致实体的属性在不断的变化调整，实体所处的状态也在变化。

事件：集装箱码头最重要的工作就是按时保质的将集装箱送到船上或送出堆场，作业中发生的事情即为事件。

系统设定时，T 集装箱码头在装卸过程中，装卸船使用岸桥，场地内重箱使用场桥作业，空箱使用空箱堆高机作业，特种箱按需求作业，相互之间连接使用拖车。本文只对重箱堆场情况进行分析，故只对岸桥、场桥、拖车系统进行仿真模拟，见图 5-1。



图 5-1 T 码头作业流程示意图

5.4 仿真系统的建立与实验分析

5.4.1 仿真实例及模块设计

此次仿真以 T 码头达通韩国线为例进行模拟测试。此航线船舶船长约 150m，可同时由 2 台岸桥作业不冲突。进口箱量共 320 箱，船舶低贝（VesselLow）共 150 箱，船舶高贝（VesselHigh）共 170 箱。

根据实际作业中历史数据总结，此航线港口可分为 KRBUS 和 KRUUS，箱型的进口作业比例见表 5-6。







表 5-6 达通韩国线港口箱型比例分布情况

港口	尺寸	名称	比例
KRBUS	20 尺单钩	KRBUS20S	10%
	20 尺双钩	KRBUS20D	25%
	40 尺	KRBUS40	20%
KRUUS	20 尺单钩	KRUUS20S	7%
	20 尺双钩	KRUUS20D	20%
	40 尺	KRUUS40	18%

每个仿真模型选取不同的随机变量数运行 100 次，结果取平均值。每块场地 72 贝，2 台场桥作业时，按照从高贝到低贝顺序作业，两台场桥从场地中间划界分开。假设集港报文、装卸船船图、订舱单等单据已知。并假设任何机械安排都可以保证船舶动态。实际上，根据实际作业情况，仿真模型中设置的机械配比皆可保证船舶动态，且不考虑设备故障。

此论文使用 Plant Simulation 来构建仿真模型，对将使用的模块进行简要介绍：

Plant Simulation 软件按钮功能

-  时间控制器：负责仿真时间的向前运动，管理所有在仿真系统中发生的时间。
-  源对象：负责产生实体的物流对象。
-  单一处理：单工位工作站，一次可以处理一个实体。
-  并行处理：多工位并行工作站，一次可以处理多个实体。
-  缓冲区：具有缓冲、暂存功能。
-  物料终结：负责回收实体的物流对象。

5.4.2 卸船运作的仿真实验

1.仿真测试方案

(1) 此航线进口最多可使用 2 台岸桥，按照岸桥场桥配比 1:1.5，场桥最多使用 3 台。拖车对应岸桥的方式可分为 2 种，一种是拖车绑定岸桥，专门负责 1 台岸桥作业，一种是拖车不绑定岸桥，拖车与岸桥混用，配比情况见表 5-7。

表 5-7 进口卸船的岸桥场桥拖车配比情况

序号	岸桥数量	场桥数量	拖车数量总量	拖车使用方式
1	1	2	3	绑定岸桥
2	1	2	4	绑定岸桥
3	2	3	6	绑定岸桥
4	2	3	6	拖车混跑
5	2	3	8	绑定岸桥
6	2	3	8	拖车混跑

(2) 仿真模型中各项含义

Vessel Low/High: Vessel 代表靠码头进行卸船作业的船舶。由于选定航线最多可以开两条作业线，故参照实际情况将仿真分为低贝和高贝部分，分别称为 Low 和 High 两部分，两部分作业互不影响。如在仿真系统中只有 Low 或者 High，则代表整船。

Crane: 作业岸桥

Truck: 作业拖车

RTG: 作业场桥

Yard: 卸箱场地

2.仿真模型设置

根据以上各机械的不同配置情况，使用 Plant Simulation 进行仿真建模并进行模拟实验，具体模拟图见图 5-2 至图 5-7。

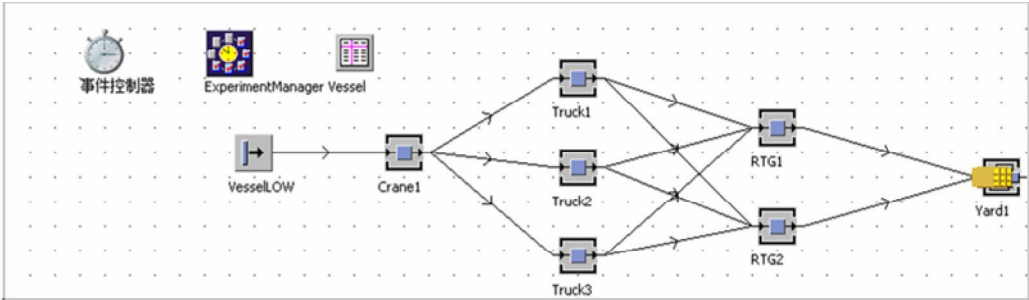


图 5-2 序号 1 仿真模型图

模型简要解释：以上模型为船舶靠泊后，由 1 台岸桥进行卸船作业。1 台岸桥配置 2 台场桥及 3 台拖车，将集装箱卸至场地。

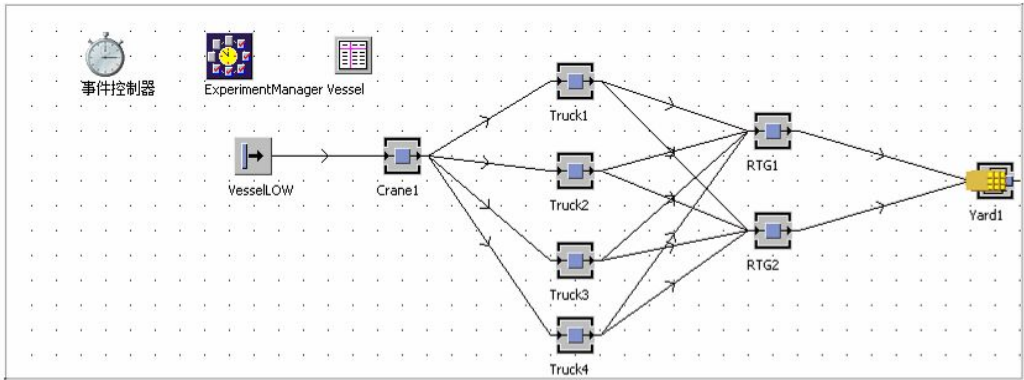


图 5-3 序号 2 仿真模型图

模型简要解释：以上模型为船舶靠泊后，由 1 台岸桥进行卸船作业。1 台岸桥配置 2 台场桥及 4 台拖车，将集装箱卸至场地。

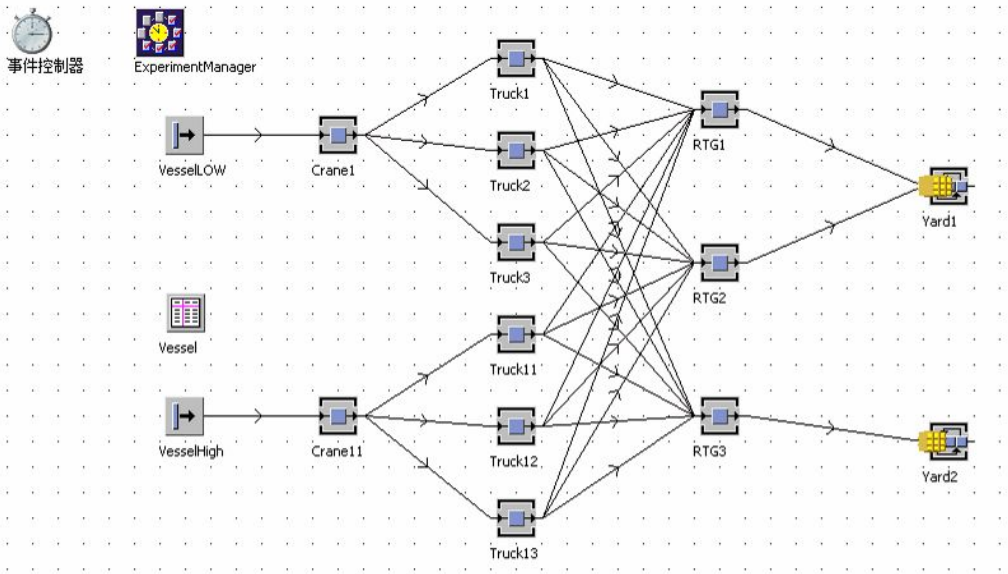


图 5-4 序号 3 仿真模型图

模型简要解释：以上模型为船舶靠泊后，由 2 台岸桥进行卸船作业。2 台岸桥共用 2 台场桥，各自配置 3 台拖车，将集装箱卸至 2 块场地。

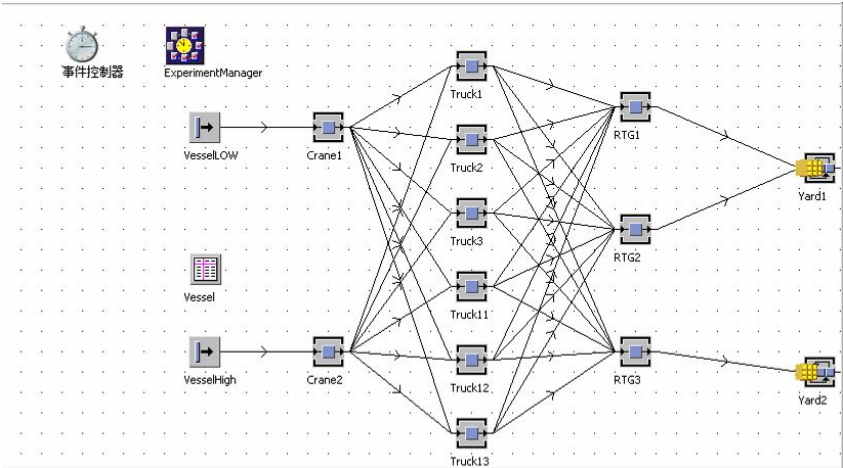


图 5-5 序号 4 仿真模型图

模型简要解释：以上模型为船舶靠泊后，由 2 台岸桥进行卸船作业。2 台岸桥共用 2 台场桥，共同使用 6 台拖车（按照作业先后顺序及闲忙程度分配作业指令），将集装箱卸至 2 块场地。

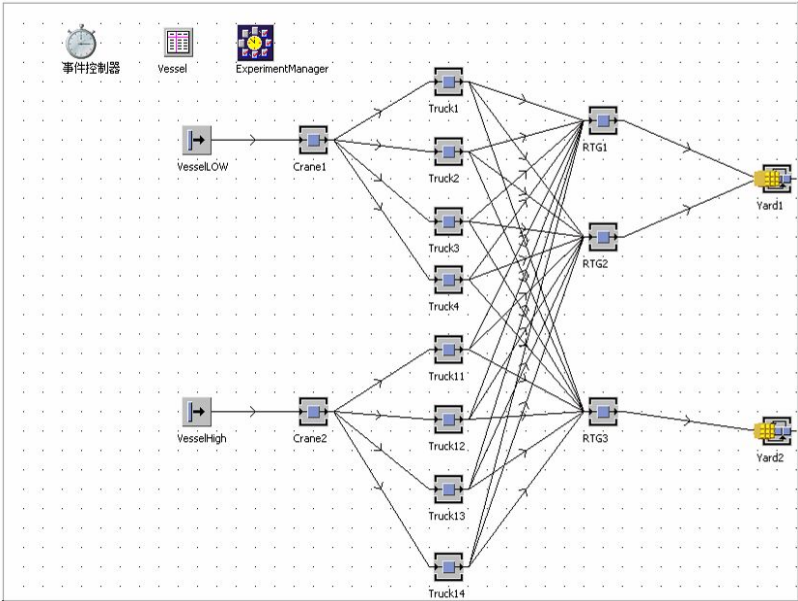


图 5-6 序号 5 仿真模型图

模型简要解释：以上模型为船舶靠泊后，由 2 台岸桥进行卸船作业。2 台岸桥共用 2 台场桥，各自配置 4 台拖车，将集装箱卸至 2 块场地。

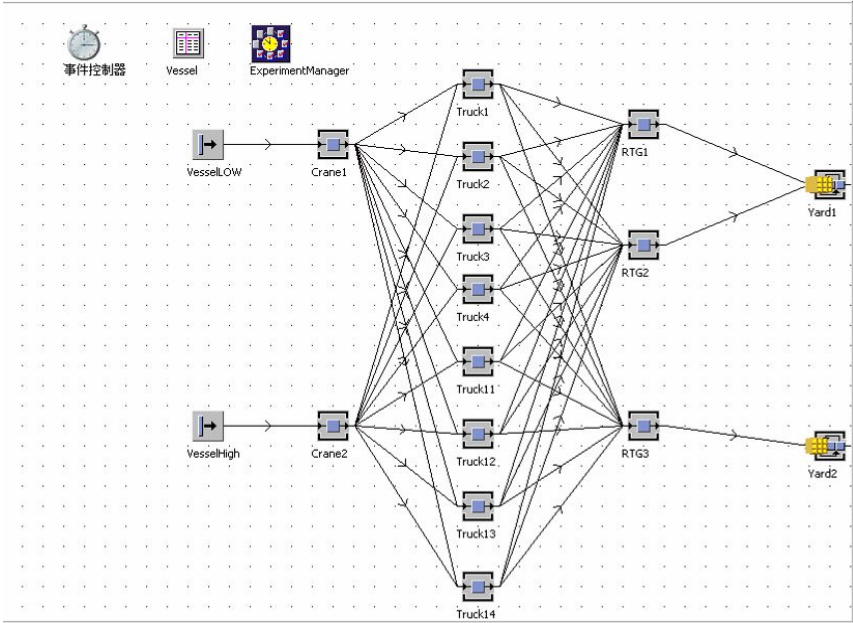


图 5-7 序号 6 仿真模型图

模型简要解释：以上模型为船舶靠泊后，由 2 台岸桥进行卸船作业。2 台岸桥共用 2 台场桥，共同使用 8 台拖车（按照先后作业顺序及闲忙程度分配作业指令），将集装箱卸至 2 块场地。

3.仿真结果

通过以上的仿真模拟实验，得到了各项相关数据（见表 5-8）。卸船作业中，船舶作业效率和岸桥作业效率是码头最为关心的内容，因为岸桥作业效率直接反映了码头公司有无能力保证船公司船舶的正常班期。在满足班期的条件下，减少岸桥开头量，不仅可以减少一台岸桥的作业耗电，同时也减少了其它机械人力的投入，是减少成本的重要方面。

船舶作业效率=总作业箱量/船舶作业时间（第一钩作业至最后一钩作业时间）

表 5-8 各种机械配置下仿真模拟作业时间占比

序号	1	2	3	4	5	6
岸桥数量	1	1	2	2	2	2
场桥数量	2	2	3	3	3	3
拖车总量	3	4	6	6	8	8
拖车使用方式	绑定岸桥	绑定岸桥	绑定岸桥	拖车混跑	绑定岸桥	拖车混跑
Crane1	98%	99%	86%	86%	87%	87%
Crane2			97%	98%	98%	98%
RTG1	46%	46%	57%	57%	57%	57%
RTG2	45%	46%	56%	57%	57%	57%
RTG3			57%	57%	57%	57%
Truck1	72%	54%	63%	67%	48%	49%
Truck2	72%	54%	62%	66%	48%	50%
Truck3	71%	54%	62%	67%	47%	50%
Truck4		54%			47%	49%
Truck11			71%	68%	54%	54%
Truck12			71%	67%	54%	52%
Truck13			70%	67%	53%	51%
Truck14					53%	48%

从上述结果看，当船舶靠泊后，使用 1 台岸桥 2 台场桥时，随着增加 1 部拖车，岸桥的作业时间占总时间的比例分别为 98%及 99%，并无太大区别。但在 3 部拖车时，将会出现岸桥因无拖车等待作业的情况，而 4 部拖车时并不会出现此种情况。同时，对于码头运营来说，拖车增减 1 部对成本影响较小，故在作业繁忙或船公司未对船舶动态提出特殊要求下，可以以 1 岸桥 4 拖车 2 场桥的配置进行作业。

当使用 2 台岸桥 3 台场桥作业时，为尽量使岸桥同时完工，Crane1 岸桥作业时间占比下降至 87%左右（150 箱），Crane2 岸桥作业效率仍保持 98%左右；场桥作业效率都保持在 57%左右，见表 5-9 和表 5-10。3 拖车与 4 拖车的配置对岸桥场桥的作业时间占比并未有太大影响，但为了保证生产顺畅，仍建议采用 4 拖车配置。同时从拖车运行效率看，拖车混跑因可根据岸桥的忙闲选择岸桥，比

绑定岸桥机械要更加灵活，且使用率也有所上升，故建议使用拖车混跑的工艺。

表 5-9 1 岸桥 3 拖车 2 场桥配置下岸桥作业效率

对象	正在工作	正在等待	已阻塞
Crane1	98.06%	1.03%	0.91%

表 5-10 1 岸桥 4 拖车 2 场桥配置下岸桥作业效率

对象	正在工作	正在等待	已阻塞
Crane1	98.97%	1.03%	0.00%

“已阻塞”为岸桥已将集装箱抓起等待拖车。

5.4.3 提箱运作的仿真实验

提箱是由拖车在码头公司规定的提箱时间内，持有效的票据到达码头闸口，办单后进入场地等待场桥提箱并离开场地的过程。此模型设置 6 个进闸口，各闸口间为串行作业（智能闸口）。为了保证提箱场地车道顺畅，在闸口与场地之间设置缓冲区，进入场地车辆超出 8 辆时，进入缓冲区。根据以上历史规律，提箱拖车到港时间遵守 λ 为 3 的泊松分布。在同一块场地内，为保证场桥之间作业不冲突，最多可设置 2 台场桥，具体模型见图 5-8 和图 5-9。

- 仿真模型中各项含义：
- Trucksource: 外部提箱拖车产生器。根据提箱拖车到港时间规律，产生拖车。
 - SixGates: 6 个进闸口。
 - Buffer: 缓冲器。当场地内场桥可作业车辆超出 8 辆时，进入 Buffer 等待。
 - TruckEight: 等待提箱作业的拖车，最多为 8 辆。
 - RTG: 作业场桥。
 - TruckLeave: 作业完毕的拖车，离开作业场地。

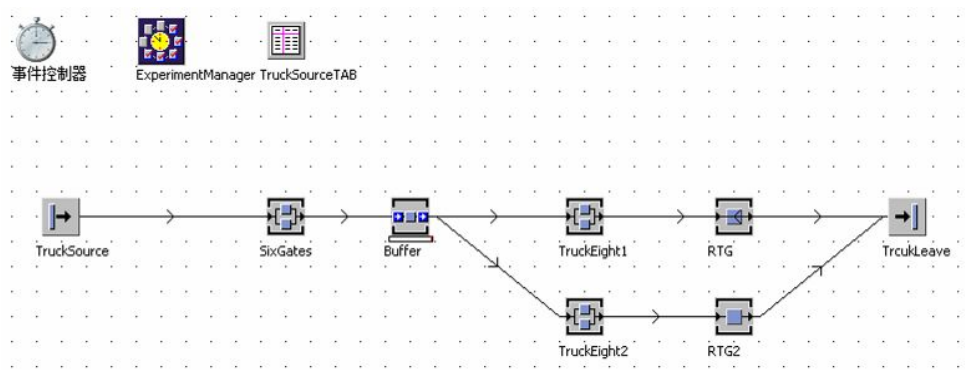


图 5-8 1 台场桥提箱模型图

模型简要解释：以上模型为卸船后拖车到港提箱。拖车 Truck 通过进闸口 SixGates 进入作业队列，如果场桥 RTG 有 8 辆以下拖车 Truck 在场地内等待作业，则拖车 Truck 到场地内进入 TruckEight 队列等待作业，否则进入缓冲器 Buffer 等待进入场桥的作业队列。

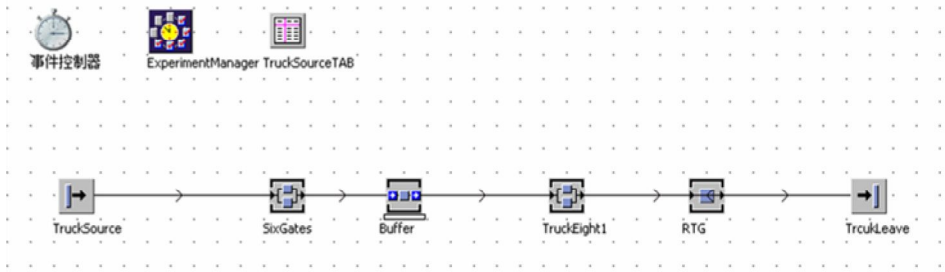


图 5-9 2 台场桥提箱模型图

模型简要解释：以上模型为卸船后拖车到港提箱。拖车 Truck 通过进闸口 SixGates 进入作业队列，如果场桥 RTG 有 8 辆以下拖车 Truck 在场地内等待作业，则拖车 Truck 到场地内进入 TruckEight 队列等待作业，否则进入缓冲器 Buffer 等待进入场桥的作业队列。

表 5-11 2 台场桥提箱作业情况

名称	平均使用寿命	吞吐量	生产	存储
KRBUS20S	28:26.6792	112	76.55%	23.45%
KRBUS40	28:30.6340	64	76.54%	23.46%
KRUUS20S	28:17.8742	86	76.59%	23.41%
KRUUS40	28:17.0536	58	76.48%	23.52%

表 5-12 1 台场桥提箱作业情况

名称	平均使用寿命	吞吐量	生产	存储
KRBUS20S	41:56.0635	112	66.89%	33.11%
KRBUS40	42:04.8961	64	67.07%	32.93%
KRUUS20S	41:50.4229	86	66.65%	33.35%
KRUUS40	41:44.7669	58	67.00%	33.00%

表 5-13 6 个闸口作业情况

对象	正在工作	正在等待	已阻塞
1 台场桥	78.27%	6.50%	15.23%
2 台场桥	87.87%	8.79%	3.35%

从实验结果表 5-11、表 5-12 和表 5-13 中可以看到，使用 1 台场桥进行提箱

作业时平均需要 42 分钟，无法达到拖车在港作业 35 分钟以内的公司要求；而当使用 2 部场桥时，可以完成拖车在港作业 35 分钟以内的要求。同时，使用 2 台场桥时，闸口拖车等待进闸的比例由 1 台场桥的 15.23% 下降至 3.35%，有明显的提升，故在提箱时建议使用 2 台场桥进行作业。当提箱拖车数量较少是，场桥可同时兼顾其它场地作业。

5.4.4 集港运作的仿真实验

码头在进行集港作业时，通常根据船公司或者船舶代理公司发送给码头公司的集港报文、分港数量，并结合以往历史航次的集港箱量、重量等级、船舶箱量分布等情况，提前策划场地集港模板，并在场地内按照模板要求收箱。

1. 仿真测试方案

根据场地集港模板进行场地模拟，并测试 1 台场桥及 2 台场桥作业时的拖车平均作业时间、场桥作业率及集港箱量分布是否符合模板要求。

设定：此航线船舶箱量较少，固定在一块场地内。集港车辆到港时间符合 $\lambda=1$ 的泊松分布。一台场桥可同时有 8 部拖车到场或在途，场地内集港按照从高贝倒低贝（从左向右）的顺序作业收箱。

2. 仿真测试设置

对集港作业按照集港策划模板（见图 5-10）进行仿真模拟，仿真示意图见图 5-11 及图 5-12。1 台场桥作业时，场桥按从高贝倒低贝（从左向右）的顺序作业，2 台场桥作业时，RTG21 负责中间至右边作业，RTG211 负责左边至中间作业。

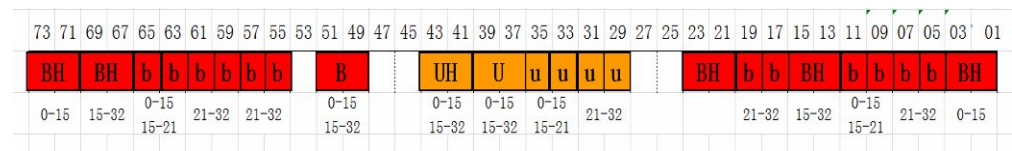


图 5-10 集港场地策划模板图

集港场地策划模板图：01-73 代表一块场地内的贝位号。0-15/15-21/15-32/21-32 代表集装箱的重量等级，不同的重量等级原则上不混码。红色及黄色方块分别代表两个港口，不同港口不混码。

仿真模型中各项含义：

Trucksource: 外部集港拖车产生器。根据集港拖车到港时间规律，产生拖车。

FourGates: 4 个进闸口。T 码头进闸口为智能闸口，拖车司机通过射频卡信息自动完成箱信息的核对；箱体的物流验残（查看箱体是否完整无损坏）由 1 人按循环顺序进行。

Buffer: 缓冲器。当场地内场桥可作业车辆超出要求时，进入 Buffer 等待。

通过以上分析，当设备较紧缺或到港拖车较少时，可以由 1 台场桥负责集港作业，场地调度员根据集港进度随时调整场桥集港位置，保证场地内集港均匀。当设备可出勤或到港拖车较多时，可安排 2 台场桥负责集港作业，同时场地调度员根据集港进度，对集装箱进场贝位进行调整，尽量使之在场地内均匀。

表 5-14 2 次仿真模型作业结果统计表

类别	RTG211 作业时间 占比	RTG21 作业时间 占比	FourGates 阻塞时间 占比	FourGates 等待时间 占比	FourGates 作业时间 占比
1		99%	16%	6%	78%
2	98%	96%	2%	10%	87%

表 5-15 1 台场桥集港作业情况

名称	平均使用寿命	吞吐量	生产	存储
KRBUS200015	38:22.8	40	63.94%	36.06%
KRBUS201521	38:40.9	30	63.77%	36.23%
KRBUS202132	38:47.5	51	64.10%	35.90%
KRBUS400015	38:42.7	34	63.66%	36.34%
KRBUS401532	38:37.0	34	63.65%	36.35%
KRUUS200015	38:34.9	37	64.05%	35.95%
KRUUS201521	38:43.8	30	64.06%	35.94%
KRUUS202132	39:00.3	24	64.77%	35.23%
KRUUS400015	38:43.3	30	64.40%	35.60%
KRUUS401532	39:02.8	30	64.49%	35.51%

表 5-16 2 台场桥集港作业情况

名称	平均使用寿命	吞吐量	生产	存储
KRBUS200015	33:32.7	40	60.80%	39.20%
KRBUS201521	33:31.2	30	61.64%	38.36%
KRBUS202132	33:23.2	51	60.73%	39.27%
KRBUS400015	33:17.1	34	61.33%	38.67%
KRBUS401532	33:06.4	34	60.16%	39.84%
KRUUS200015	33:13.7	37	60.99%	39.01%
KRUUS201521	33:09.7	30	60.52%	39.48%
KRUUS202132	33:13.9	24	61.17%	38.83%
KRUUS400015	33:13.4	30	61.39%	38.61%
KRUUS401532	33:31.3	30	60.97%	39.03%

5.4.5 装船运作的仿真实验

1. 仿真测试方案

(1) 此航线出口最多可使用 2 台岸桥，每台岸桥使用 4-5 部拖车。拖车对应岸桥的方式可分为 2 种，一种是拖车绑定岸桥，专门负责 1 台岸桥作业，一种是拖车不绑定岸桥，拖车与岸桥混用。由于集港场地在一块场地内，为保证场地内拖车正常运行（只有一条拖车道），最多配 2 台场桥。为了保证生产效率，同时兼顾场地内作业秩序，减少拖车过多造成的问题，出口作业场桥配置 2 台，具体配比情况见表 5-17。按以上规则进行装船仿真实验，示意图见图 5-13。

表 5-17 出口装船岸桥场桥拖车配比情况

序号	岸桥数量	拖车数量总量	拖车使用方式
1	1	4	绑定岸桥
2	1	5	绑定岸桥
3	2	8	绑定岸桥
4	2	10	绑定岸桥
5	2	8	拖车混跑
6	2	10	拖车混跑

(2) 仿真模型中各项含义

TruckSource: 集装箱产生器。根据船舶装载量及装船数据历史规律，设定产生集装箱的个数及不同类型。

FourGates/Buffer/TruckEight: 根据场地内只能有 1 个拖车道的情况，设定同时产生须装船集装箱的个数。

Truck: 作业拖车

RTG: 作业场桥

KRBUS400015 等: 从右到左分别代表了场地内从低贝到高贝，分别按照港口、箱型及重量等级等设定的。**KRBUS** 代表集装箱港口，**40** 代表箱型，**0015** 代表重量等级。

QC: 岸桥。

Bay: 代表船舶的各个贝位。高低贝分别由不同岸桥作业，互不影响。

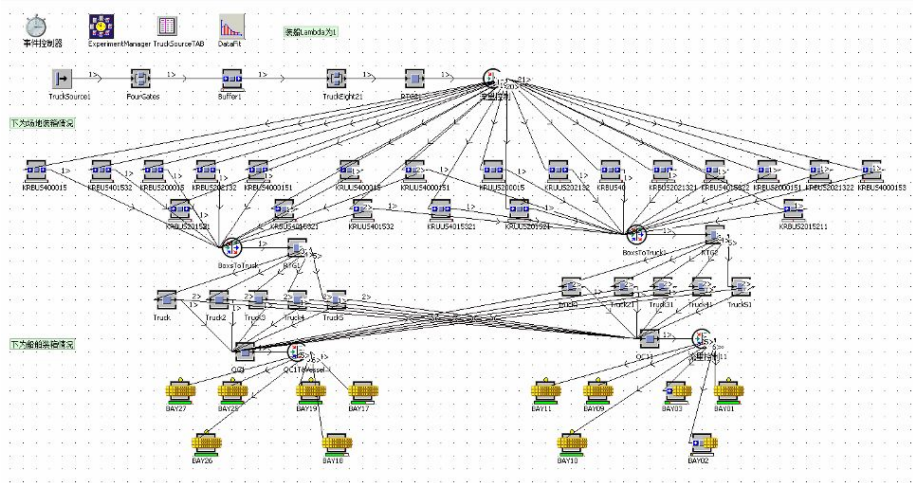


图 5-13 2 岸桥 5 拖车混跑模型图

模型简要解释：以上模型为船舶靠泊后，由 2 台岸桥进行装船作业。2 台岸桥共用 2 台场桥及 10 台拖车（按照先后顺序及闲忙分配拖车作业），将集装箱按照作业顺序装至船舶上。

通过对以上 6 种不同作业情况设定模型进行仿真模拟,得出各设备作业及等待情况如表 5-18:

表 5-18 各模型机械作业比例情况

ITEM	1RTG 4Truck	1RTG 5Truck	2RTG 4Truck	2RTG 5Truck	2RTG 4Truck Fix	2RTG 5Truck Fix
QC1 等待作业比例	18%	18%	42%	42%	31%	30%
QC1 作业比例	82%	82%	58%	58%	69%	69%
QC11 等待作业比例			19%	19%	31%	30%
QC11 作业比例			81%	81%	69%	70%
RTG1 作业比例			70%	70%	70%	70%
RTG2 作业比例			98%	98%	98%	98%
Truck 作业比例	60%	48%	43%	35%	43%	35%
Truck1 作业比例			60%	48%	60%	48%
Truck2 作业比例	60%	48%	42%	33%	42%	33%
Truck21 作业比例			60%	48%	60%	48%
Truck3 作业比例	60%	48%	42%	33%	42%	33%
Truck31 作业比例			60%	48%	60%	48%
Truck4 作业比例	60%	48%	42%	33%	42%	33%
Truck41 作业比例			58%	48%	59%	48%
Truck5 作业比例		48%		33%		33%
Truck51 作业比例				46%		46%

装船作业时,保证岸桥作业不间断，提升岸桥作业效率，是第一目标。从对比来看，1 台岸桥由于比 2 台岸桥平均占用场桥多，使岸桥作业率超出 2 台岸桥的平均作业率，更好的体现了作业的连续性。当船舶动态不紧张，或者作业资源

紧张时，可以使用 1 台岸桥作业，提高作业效率。

当 2 台岸桥同时作业时，采用拖车混跑方式，2 台岸桥的使用率相似，而采用拖车捆绑的方式，2 台岸桥之间的作业比例差距较大。故当使用 2 台岸桥作业时，应采取拖车混跑的策略，提高岸桥使用率，利用拖车平衡岸桥作业利用率。

使用 4 部拖车与 5 部拖车运转时，拖车作业利用率都还有提高的可能性，并且都能够保证生产的正常运行，同时为了保证场地内作业秩序，建议使用 4 部拖车。

当船舶动态紧急，或者为了保证后一时间段的泊位进船、机械配置等情况，需要抢动态时，可以在场地内再增加一台场桥，通过人工组织拖车进场，保证场地内作业顺序，提高岸桥、场桥的配比。但此作业方式由于需要投入人力在现场组织，且场桥作业更加容易产生冲突，一般不会采用。

5.5 堆场计划的改善优化

5.5.1 现阶段计划制定的模式

码头公司一切以计划为主，只有制定了科学准确详细的计划，才能在作业中做到游刃有余，有特殊情况时才能不惊乱。现在 T 码头公司每日 15:00 出计划表，涵盖作业时间为当日 20:00 至次日 20:00，计划制定程序如下：

- 1.泊位计划员及场地计划员查看上昼夜船舶、场地作业项目是否全部完成，有哪些未完成。
- 2.看今天白天已经有的作业计划及机械配置，是否能够继续作业上昼夜未完成的作业项目。
- 3.泊位计划员根据船期为预进船舶安排泊位，并根据已有预配船图制定船舶作业指导书。
- 4.场地计划员查看卸船场地是否充足，并根据集装箱在场时间是否达到转栈要求安排转栈，并安排机械。
- 5.场地计划员根据场地情况、车队能力、机械能力确定提空、大票提等作业。
- 6.场地计划员根据作业量安排零散提箱数量，保证场地内场桥可以完成作业任务。
- 7.场地计划员根据船舶到港日期、与船公司确定的集港日期、出口报文数量、场地使用情况等安排出口场地并制定策划模板、安排收箱场桥。

现阶段计划制定流程已经比较完善，但在实际作业中，仍存在着一些问题。一是装卸船方面主要问题在于因各种原因造成的船舶作业未完成，作业机械无法及时释放，导致已安排的作业项目无法开展。二是集港由于拖车到港时间间隔不

同造成场桥作业闲忙分明。三是集港作业由于报文不准造成场地集港模板策划与实际到港箱数不同，影响集港装船质量。

5.5.2 场地计划优化

为了提高场地作业质量，T 码头公司针对以上问题进行优化，尽量减缓因以上问题带来的影响：

1.针对由于船舶作业或陆运作业未能及时完工，导致其他项目的作业机械无法到位的情况，进行如下优化：

1) 通过调整计划的编排，增加预备作业方案，保证主计划在无法开始作业的情况下，可以实施其他方案，例如在同一时间段设置两项作业计划，见表 5-19。

表 5-19 码头集港计划表

集港时间	船舶代码	计划 作业线	总箱数			所需场位		计划集港场地
			20	40	45	20	40	
2100/02-0800/05	MSCTLS/FD336R	5	710	315	0	40	36	D01, E01, E02, F01, F02
0900/04-1600/05	SONGYUNHE/0421E	2	500	260	0	28	30	B01, C01
2300/04-1600/06	EMCYY/046S	3	420	220	0	24	26	C04, D04
2300/04-0000/06	SKRXM/0037E	2	450	300	0	25	34	A01, A02
2300/04-2000/05	IRITS/0194S	3	500	319	0	28	36	C03, D03
0900/05-1300/06	HJGX/0212E	2	200	100	0	12	12	C05
0900/05-0800/06	EASXD/1336E	1	90	50	0	5	6	B04
0900/05-0800/07	HLCBLKH/55E36	5	500	600	0	28	68	D05, E03, E05
0900/05-0800/06	EASFSH/1336E	2	350	120	0	20	14	G02
0900/05-2000/06	HJJN/0022W	3	550	300	0	31	34	B02, C02
1600/05-1600/06	CKLTS/319E	2	200	100	0	12	12	G04

2) 对现在的计划表生成系统进行改进，调整计划表样式，从乱到整，从繁琐到简便，通过更加明晰的录入方式及表格样式，使调度指挥人员能够更加明确的理解计划人员的工作，保证计划思想向下的无缝传达。

2.针对不同时间段内，到港集港拖车数量变化较大，容易造成配置场桥后拖车不来场桥空等，或者同一时间内拖车来的数量过多超出了配置场桥的作业能力造成拖车在港等待时间过长的情况。为了更明确的了解拖车到港时间与时间的关系，T 码头对已有的集港数据进行梳理，结果见图 5-14 及图 5-15：

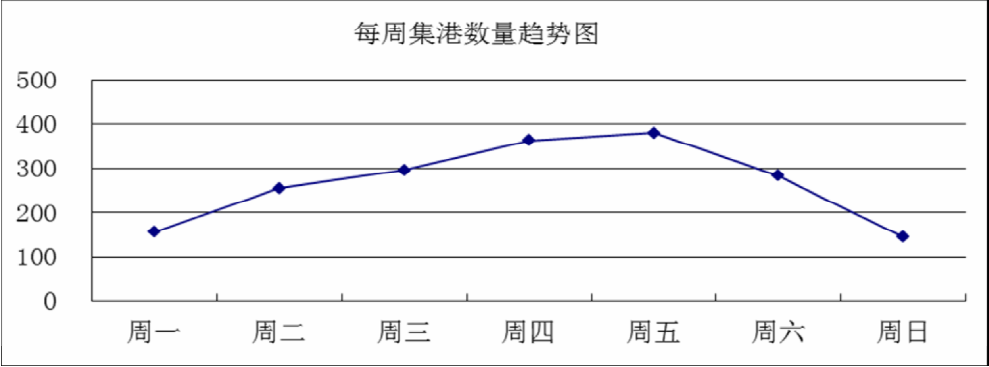


图 5-14 每周集港数量趋势图

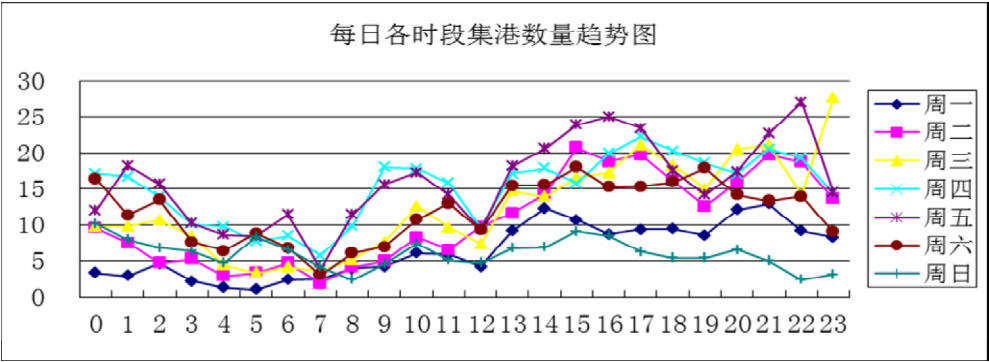


图 5-15 每日各时段集港数量趋势图

备注：以上两图数据已按实际数据进行处理，但趋势不变。

从以上趋势图可以看出，每周四五为集港高峰，到港车辆较多，需要多安排场桥进行陆运集港作业，周六日为航运作业高峰，周一至周三可以多安排提箱、转栈等不着急的作业项目。

由每日各时段因集港数量来看，每日 10:00、16:00、22:00、01:00 为高峰期，且 7:00、12:00、20:00 为集港数量下降的时间段。每日 7:00/20:00 左右为公司停工交接班时间点，12:00 为吃饭时间。从以上时间段集港情况看，可在高峰期时多安排集港作业数量，少安排其它作业。当错过 4 个时段的集港高峰期后，多安排其它作业类型。

3.提箱集港的时间较为固定且集中，提箱时间一般为 1-4 天（4 天以后转栈至其他堆场），集港时间一般为 1 天至 5 天，而拖车到港时间与数量都不均匀，容易造成与其它作业项目的作业冲突，同时造成机械使用效率低下。为了解决此问题，将每日按照每 2 小时作为一个时间段，要求货主或者车队在进行提箱或集港办单时，提前预约时间段，控制每个时间段拖车到港的数量。预约集港可以使码头提前知道有多少车多少箱将来码头集港，提前根据集港预约数量安排机械。

4.针对场地内作业种类繁多，中控员需要不停的关注调整作业机械的作业位置，容易出现顾此失彼的情况，故对生产系统进行改进，能够简化中控员的操作，逐步实现智能化。

对于卸船作业来说，在作业前都需要做好场地规划。但在一块场地存在多条船舶的集装箱或一块场地需要开 2 条及以上作业线时，有时人脑就已经不能够计算出在作业中可能会出现的情况。在实际作业时由于中控员事情较多，无法及时调整场地策划以适应实际生产需求。为此，通过对场地策划功能进行升级，使系统能够按照一定的规则，根据实际情况自动生成场地策划，减少场地策划的人为因素。智能场地策划系统，改变了中控员的场地策划模式，将原方式的按照模板在场地内依次策划的方式改为只需圈定需策划的场地，设定要作业的项目及船

船，其它由系统自动完成。智能场地策划系统原理图见图 5-16，使用示意图见图 5-17。

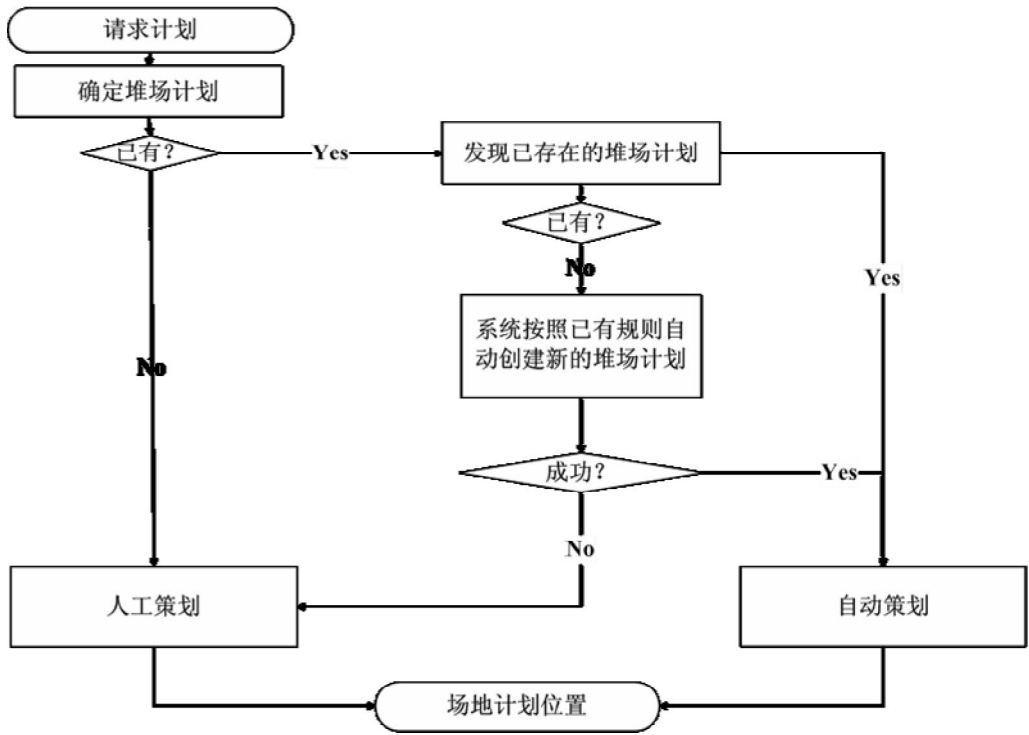


图 5-16 场地智能策划原理示意图

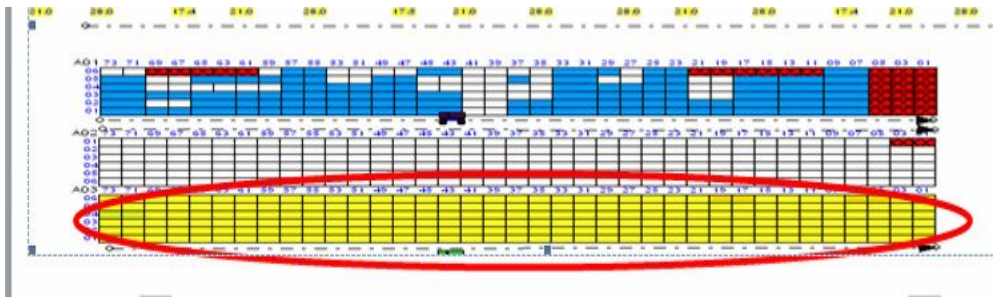


图 5-17 场地智能策划系统策划图

5. 为了保证场桥作业项目能够贯彻计划员的意图，并且帮助场控员能够在作业项目开始前将机械配置调整到位，新增加了场桥四小时配机（见图 5-18），按照场地号通过系统生成每四小时的作业项目，并由值班调度按照实际情况填写下一时间段的场桥预配置位置及场桥号码，到达时间点后，场控员按照配机表调整机械。此种方式既使值班调度能够按照计划员制定的计划进行作业，又能在作业前发现机械配置问题，能够提前协调。

港区	堆场	船名	第一班												船名	第二班																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			进港时间 出港时间	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港		进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港	进港 出港																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
一、二	A5	高港	21:01	1	21:01	1	高港	15:44	1	15:44	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12	1	15:12	1	高港	16:41	1	16:41	1	高港	15:12

图 5-18 T 码头四小时配机表

6.由于船公司或船舶代理公司发送的报文不及时不准确，导致场地集港时并没有准确的报文信息。而报文的不准确，直接影响着场地集港模板策划的合理性以及船舶作业的效率。为此，T 码头公司通过对单证历史规律进行分析，发现单证的准确率，尤其是大型船舶，并不是很高，例如地中海重箱集港订舱报文数量与实际集港数出入可达到 1000 箱以上，可以达到一整块场地的容量，单航次数据可见图 5-19。为此通过与地中海船公司进行沟通，并对历史数据进行整理，确定了以地中海公司发送的订舱报文数据为辅助，以每日地中海所属堆场的实际放箱数量及历史策划模板作为集港策划依据（因提箱需要费用，已提箱的货主必然是确定要跟此航次出口），并通过两日的放箱数据箱量对比情况细致调整策划模板。此项实施后，地中海船舶集港数据准确率提高了 10%，因码头无数据导致拖车无法进闸集港的情况减少了 30%。

时间	星期	MTMAR												合计	总计	差额
		40	40BC	20	40	40BC	20	40	40BC	20	40	40BC	20			
进船前一	周五	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周六	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
进船当周	周一	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周二	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周三	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
进船前一	周五	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周六	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
进船当周	周一	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周二	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周三	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
进船前一	周五	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周六	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
进船当周	周一	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周二	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	周三	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 5-19 地中海放箱数据及订舱报文对比情况

5.6 本章小结

通过对仿真建模的学习，了解仿真建模的意义及基本原理，并通过实际试用仿真软件，选择 **plant simulation** 作为此次离散型仿真的建模软件。

对 T 码头公司的集疏运模式进行探讨，借鉴其他码头的作业模式，确定各种作业模式下该如何配置使用机械，并利用仿真模型进行验证。对作业计划的制定中出现的主要问题进行分析，以保证计划的准确性及计划意图与作业无缝交接为目的，结合历史作业中出现的各项规律，分别制定解决方案。

第六章 结论和展望

世界经济正在逐步回暖,各国之间的货物运输必然将随着经济的步伐而逐步增多,海上集装箱运输将是最主要的受益者。世界上最大的船舶航运巨头马士基在 2011 年预定 10 艘 18000T 级别的集装箱船舶,投放于亚洲至欧洲的 AE10 航线“马士基·迈克-凯尼·穆勒”号已经首航。马士基在现今航运运力过剩的情况下敢于再次投入大型船舶,不仅是为了实现节能节省成本的 3E 级别(规模经济、能源效率及环境绩效),也证实了马士基对于航运前景的看好。

作为天津港 T 集装箱码头公司,地处东疆保税港区,有着得天独厚的区域优势及政策优势,但也同样面临着其他兄弟码头及其它港口的竞争。T 码头只有提高自身管理能力,提高船公司的满意度、班轮作业效率,提高货主的满意度、减少货主办单难度及在港停留时间,才能保住货源,保证港口、码头的自身地位。为此,通过此次将 T 集装箱码头实际作业情况及仿真建模相结合的方式对 T 码头的作业计划及作业集疏运模式进行分析,进一步的提高了其它设备利用率,改善了场地内的各项作业的合理性。

本文通过对天津港 T 码头的堆场情况、作业流程、机械配置等堆场相关情况进行介绍,对比国内外码头的集疏运模式及堆场使用情况,对 T 码头的堆场使用情况进行分析,提出问题。通过对仿真建模相关理论的学习,确定了以离散仿真为理论基础,以 Plant Simulation 软件为工具,针对 T 码头的集港、提箱、卸船、装船作业进行系统仿真、测试,提出改善方案。同时,针对如何更好的制定作业计划提出了改进建议。

仿真建模结合实际作业可以产生巨大的效应,可以实现现实中难以实验的想法,更能够节省下大量的时间及经费。在本文的基础上,未来我会继续收集生产中的作业数据,通过建立仿真建模去进一步的对大船作业、多条船舶同时作业该如何进行机械调度,场地内作业机械该如何分配才能达到最优,随着作业量的增长何时该增加作业机械进行研究,以仿真系统辅助实际生产。

参考文献

- [1] 陶其钧, 集装箱堆场机械选型配置研究, 港口装卸, 2002 年第一期
- [2] 高鹏, 集装箱堆场作业调度优化问题研究, 大连理工大学, 2006 年 12 月
- [3] 李建忠, 码头堆场龙门起重机动态配置优化模型, 交通运输工程学报 2005 年 3 月第 5 卷第 1 期。
- [4] 李建忠, 集装箱港口堆场资源配置问题研究, 上海海事大学, 2005 年 6 月。
- [5] 沈剑锋, 基于知识与仿真的集装箱堆场作业计划研究, 大连理工大学, 2006 年 12 月
- [6] 侯彤璋, 集装箱码头堆场系统通过能力研究, 大连海事大学, 2009 年 7 月
- [7] 杨扬, TCT 集装箱码头堆场资源优化研究, 大连海事大学, 2010 年 9 月
- [8] Taleb-Ibrahimi.M., De Castilho,B. and Daganzo,C.F.storage space vs handling work in container terminals,Transportation Research, 1993, 27B(1):13-32
- [9] Kim,K.H. and Kim,H.B. The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers .Computers and Industrial Engineering.1998. 35(3):427-430
- [10] Kim K H. Bae J W. Re-marshaling export containers in port container terminals.Computer and Industrial Engineering.Volume 35.Issue 3-4. December. 1998. 655-658
- [11] Ballis A, Abacocumkin C. A container Terminal simulation model with animation capabilities. Journal of Advanced Transportation. 1996. 30(1):37-57.
- [12] 于汝民, 现代集装箱码头经营管理, 北京:人民交通出版社, 2007 年, 6
- [13] 于汝民, 现代集装箱码头经营管理, 北京:人民交通出版社, 2007 年, 7
- [14] 于汝民, 现代集装箱码头经营管理, 北京:人民交通出版社, 2007 年, 21-22
- [15] 天津港网站
- [16] 罗勋杰, 集装箱码头控制优化管理, 2010 年, 36
- [17] 康凤举, 现代仿真技术与应用, 国防工业出版社, 2001 年 9 月
- [18] 秦天保 王岩峰, 面向应用的方针建模与分析——使用 ExtendSim, 2011 年
- [19] 施於人 邓易元, Emplant 仿真技术教程, 2009 年 8 月, 9
- [20] Richard E.Nance, The Visual Simulation Environment Technology Transfer, 1995

- [21] JerryBanks, DISCRETE-EVENT SYSTEM SIMULATION, 2005 年
- [22] 雷涛, 广东工业大学, 课件
- [23] W.David Kelton, Randall P.Sadowski, David T.Sturrock, Simulation with Arena, (Third Edition), 2007 年
- [24]UGS Corporation., Plant Simulation Product Description (English), 2006
- [25]Brooks Automation, AutoMod Description (English), 2011
- [26] 秦天保 王岩峰, 面向应用的方针建模与分析——使用 ExtendSim, 2011 年
- [27] Flexsim, Flexsim Description , 2012
- [28] Promodel, Promodel Description, 2011
- [29] 海丽切木·阿布来提, 浅谈几种智能优化算法, Computer Knowledge and Technology 电脑知识与技术, Vol. 7, No. 19, July 2011
- [30] 陈庆伟, 基于遗传算法的堆场贝位分配优化问题研究, 青岛大学, 2007 年
- [31] 冯春时, 群智能优化算法及其应用, 中国科学技术大学, 2009 年 4 月
- [32] N Metropolis, A.W.Rosenbluth, Equations of state calculations by fast computer machines, J Chem Phys, Vol 21, PP 1087—1091, 1953,
- [33] S Kirkpatrick, C.D.Gelatt, M.P.vecch, Optimization by simulated annealing, Sience Vol 220 pp 611-680, 1983
- [34] V.Cerny, Thermodynamical approach to the traveling Salesman problem—an efficient simulation algorithm of Optimization Theory and Applications. Vol 45, No1 pp 41-51, 1985
- [35] 姚新 陈国良, 模拟退火算法及其应用, 计算机研究与发展 1990 年 7 期
- [36] 张艳伟 石来德 庇为建, 集装箱码头出口箱集港堆场模型研究, 中国工程机械报 2007 年 1 月 第五卷第一期
- [37] PRESTON P , KOZAN E. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals[J] . Computers & Operations Research , 2001 , 28 : 983 - 995.
- [38] 宗蓓华, 真虹. 港口装卸工艺学[M]. 北京. 人民交通出版社, 2007
- [39] 许旭波 陈岩晞, 加强箱场管理, 服务船东货主, 1998 (06)
- [40] 郭媚, 集装箱码头堆场优化管理研究, 大连海事大学, 2006
- [41] 中国港口经济大丛书编委汇编. 中国港口经济[M]. 天津人民出版社, 2005.
- [42] 苏君利, 大型集装箱码头堆场装卸工艺研究, 水运工程 第十期 2006 年 10 月
- [43] 杨瑞 谢文宁, 自动化集装箱码头的装卸工艺及设备, 集装箱化, 2010 年 4 月

致 谢

在此次硕士毕业论文的写作过程中，首先要感谢我的导师李波教授，李波教授以严谨的态度、开阔的视野、深厚的专业功底给予我很多的指导和启示，让我吸收到更多的知识，从中得到更多的营养。在论文的写作过程中，我感到了自身的进步，而这种进步，如果没有李波教授对此篇论文的结构调整，一次次的修改，帮助我选题、开题、设计，是很难的。当我做完毕业设计，对相关的知识有更深入的了解，对以后的工作有更多的想法，这些，都离不开李波教授的指导。再次诚挚的对李波教授说声谢谢。

此外，衷心感谢在我的工程硕士学习过程中给我授课并给予帮助的各位老师，你们严谨的治学态度以及深厚的学术素养让我受益匪浅。我在本科毕业后再次回到母校学习，深感荣幸。

另外，感谢各位评审本文以及参加的答辩的各位专家教授，感谢你们的付出、指导，让我能够更加完善此篇论文，让我能够更加多的学习到有关知识。最后，我要特别感谢我的家人，是你们在我学习的过程中承担了家中事务，在我求学的过程中一直予以鼓励、支持。我也希望我的努力能够取得优异的成绩，不负你们所望。

作者: [高贵全](#)
学位授予单位: [天津大学](#)

参考文献(14条)

1. [陶其钧](#) 集装箱堆场机械选型配置研究[期刊论文]-[港口装卸](#) 2002(01)
2. [高鹏](#) 集装箱堆场作业调度优化问题研究[学位论文]硕士 2005
3. [李建忠](#) 码头堆场龙门起重机动态配置优化模型[期刊论文]-[交通运输工程学报](#) 2005(01)
4. [李建忠](#) 集装箱港口堆场资源配置问题研究[学位论文]硕士 2005
5. [沈剑峰](#) 基于知识与仿真的集装箱堆场作业计划研究[学位论文]硕士 2006
6. [侯彤璋](#) 集装箱码头堆场系统通过能力研究[学位论文]硕士 2009
7. [杨扬](#) TCT集装箱码头堆场资源优化研究[学位论文]硕士 2010
8. [海丽切木·阿布来提](#) 浅谈几种智能优化算法[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(19)
9. [陈庆伟](#) 基于遗传算法的堆场贝位分配优化问题研究[学位论文]硕士 2007
10. [冯春时](#) 群智能优化算法及其应用[学位论文]博士 2009
11. [姚新, 陈国良](#) 模拟退火算法及其应用[期刊论文]-[计算机研究与发展](#) 1990(07)
12. [郭媚](#) 集装箱码头堆场优化管理研究[学位论文]硕士 2006
13. [苏君利](#) 大型集装箱码头堆场装卸工艺研究[期刊论文]-[水运工程](#) 2006(10)
14. [杨瑞, 谢文宁](#) 自动化集装箱码头的装卸工艺及设备[期刊论文]-[集装箱化](#) 2010(03)

引用本文格式: [高贵全](#) 基于系统仿真技术的集装箱码头堆场调度研究[学位论文]硕士 2013