

分类号: \_\_\_\_\_ 密 级: \_\_\_\_\_ 公开  
U D C: \_\_\_\_\_ 单位代码: \_\_\_\_\_ 11035

# 沈阳大学

## 硕士学位论文

论文题目: 大窑湾集装箱码头物流系统优化与仿真



学 号: \_\_\_\_\_ 130852360141  
作 者: \_\_\_\_\_ 马龙飞  
学 科 名 称: \_\_\_\_\_ 工业工程

2015 年 6 月 17 日







## 摘要

近些年来，随着中国集装箱码头吞吐量的迅速膨胀，各个集装箱码头尽可能的提高码头堆场的作业效率。集装箱码头物流系统，是指在一定的集装箱码头空间里，由集装箱、船舶、装卸搬运机械、泊位、堆场以及通信联系等若干相互制约的动态要素构成的有机整体。作为集装箱运输系统的枢纽，对加强国内、国际间的贸易往来与提高集装箱运输系统的运输效率具有极其重要的作用。在集装箱码头中与作业效率相关的泊位是稀缺资源。泊位与岸桥资源的合理利用，能够有效的缩短船舶在港时间，提高码头的服务质量，实现港口效益的最大化。

影响港口堆场作业效率的主要因素有很多。例如：对集装箱的吞吐量预测不准，过多的翻箱作业和集装箱码头配置问题等。

首先，本文对集装箱码头的整个作业系统进行了详细的介绍。包括集装箱码头的组成与布局，集装箱码头特点，装卸工艺，作业流程与调度原则，以及本文研究对象大窑湾集装箱码头；

其次，对集装箱码头吞吐量预测模型进行分析与比较，提出一种改进的基于 IOWA 算子的组合预测模型，并利用大窑湾集装箱码头历年的吞吐量来验证模型有效地提高了预测精度；

再次，针对过度翻箱问题，通过箱位优化分配模型以达到降低翻箱量，将箱位分配优化模型所确定的码放方式与垂直式堆码等堆码方式进行比较，并采用 MATLAB 对模型有效性仿真验证，实践证明，利用本文提出的算法可以对集装箱码头的翻箱作业有所改善，从而提高作业效率；

最后，本文利用串联排队网络实现了对集装箱码头生产作业系统的建模，并通过 WITNESS 对集装箱码头物流系统进行仿真。针对不同的实际情况，选择合理的岸桥、集卡等机械作业配比方式，提高码头装卸效率。并对仿真结果的分析，对集装箱码头的实际应用提供参考。论文结尾对未来进行了展望。

**关键词：集装箱码头，IOWA 算子，翻箱，串联排队论，Witness 仿真**



# Optimization and Simulation of the Container Pier Logistics System in Dayao Bay

## Abstract

With the rapid increase of throughput of port container, container yard need to improve the efficiency of port operations. Container terminal logistics is an organic system made of interactive and dynamic components, such as containers, ships, berths, yards, tracks, quay, cranes and yard cranes and communications ,in a limited terminal space。 Since container terminals play a fundamental role in the container transportation to ensure a smooth transfer between different modes of transport, it is very important in internal and international trade. The berth concerned with working efficiency in container terminals has always been the scarce resource, and quay crane is the main equipments of loading and unloading. To use the berth and quay cranes reasonably can efficiently decrease the total time spent at port and improve the service quality, achieving the maximization of port efficiency.

There are many factors affecting the efficiency of the port container yard operations. For example, the inaccurate forecast of container throughput, many boxes assignments and the configuration of container terminal.

Firstly, introducing the container terminal operation system, including the composition and layout of container terminal, the characteristics of container terminal, handing technology, operation process and scheduling principle, as well as the object of this paper's study-- Dayaowan Container Terminal.

Secondly, analyzing and compare the throughput forecasting models of container terminal, improve combination forecasting model which based on IOWA, and then validate whether the model improve the accuracy through throughputs of Dayaowan Container Terminal over the years.

Thirdly, aiming at the excessive operations of turning box, reduce the amount of box turnover by the space optimization allocation model. Compare the stacking style with vertical stacking, stepwise stacking and flat stacking and use MATLAB to validate

the effectiveness of the model and the results show that the order of code box determined by this model can effectively reduce the amount of box turnover.

Finally, Complete the modeling of the container port production operation system by using tandem queueing network theory, which help the port operators choose reasonable crane and truck scheduling according to different situations and improve the efficiency of throughput. At the same time, this paper gets the conclusion for practical operations of container terminal. The end makes a forecast for the further research.

**Key Words: Container terminal, IOWA operator, container, tandem queueing theory, Witness simulation**



# 目录

摘要 .....	I
<b>Abstract</b> .....	III
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 选题背景和研究意义 .....	1
1.1.1 选题背景 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	2
1.2 国内外研究现状 .....	3
1.2.1 国内外集装箱码头吞吐量预测方法 .....	3
1.2.2 港口集装箱堆场码垛国内外研究现状 .....	4
1.2.3 港口排队论应用现状研究 .....	6
1.2.4 港口物流系统主要采用建模方法 .....	6
1.2.5 集装箱码头系统仿真软件 .....	9
1.3 论文主要内容及技术路线 .....	10
1.3.1 主要内容 .....	10
1.3.2 技术路线 .....	12
第 2 章 集装箱码头作业系统介绍 .....	13
2.1 集装箱码头的组成与布局 .....	13
2.1.1 码头设施 .....	13
2.1.2 码头设备 .....	14
2.2 集装箱码头的特点 .....	14
2.3 集装箱码头作业流程 .....	16
2.3.1 集装箱码头进口流程 .....	17
2.3.2 集装箱码头出口流程 .....	18
2.3.3 码头船舶作业顺序安排原则 .....	19
2.3.4 港口机械设备的安排原则 .....	19
2.3.5 港口堆场管理系统 .....	20
2.4 大窑湾集装箱码头 .....	22
2.4.1 大窑湾集装箱简介 .....	22
2.4.2 码头和堆场布置 .....	23

2.4.3 机械设备 .....	24
2.5 本章小结 .....	26
第 3 章 集装箱码头吞吐量预测模型分析与比较 .....	27
3.1 传统预测模型 .....	27
3.2.基于 IOWA 算子组合预测模型 .....	27
3.3 基于改进的 IOWA 算子的组合预测模型 .....	30
3.4 大窑湾集装箱码头吞吐量预测及评价 .....	31
3.5 本章小结 .....	34
第 4 章 翻箱问题研究 .....	35
4.1 翻箱 .....	35
4.1.1 翻箱原因 .....	35
4.1.2 翻箱对效率影响 .....	36
4.1.3 降低翻箱率方法 .....	37
4.3 翻箱原则 .....	39
4.4 集装箱堆场堆存模型 .....	39
4.4.1 堆垛时所要考虑的问题 .....	39
4.4.2 模型假设 .....	40
4.5 大窑湾堆存数学模型建立与分析 .....	40
4.6 本章小结 .....	45
第 5 章 基于串联排队网络思想的码头系统建模与仿真 .....	47
5.1 排队论概述 .....	47
5.1.1 排队过程 .....	47
5.1.2 排队系统的组成和特征 .....	47
5.1.3 排队模型的分类 .....	48
5.1.4 描述排队系统的数量指标 .....	48
5.2 串联排队网络 .....	48
5.3 集装箱码头排队网络系统分析 .....	50
5.3.1 集装箱码头串联排队网络的研究内容 .....	50
5.3.2 集装箱码头串联排队网络模型的特点 .....	51
5.3.3 集装箱码头串联排队网络模型的确定 .....	51
5.3.4 关于集装箱码头串联排队网络多节点配置分析 .....	52
5.4 基于 witness 集装箱码头建模与仿真 .....	53
5.4.1 模型的建立 .....	53
5.4.2 基本参数设置 .....	53

---

5.4.3 witness 模拟过程 .....	54
5.4.4 试验结果汇总分析 .....	55
5.5 本章小结 .....	56
第 6 章 结论与展望 .....	57
6.1 全文总结 .....	57
6.2 研究展望 .....	57
参考文献 .....	59
在学期间研究成果 .....	61
致谢 .....	63



# 第 1 章 绪论

## 1.1 选题背景和研究意义

### 1.1.1 选题背景

上世纪八十年代，随着经济全球化，各国取消了贸易壁垒，信息化席卷全球、各国取消了对某些行业的限制，以及先进的管理理念的应用，导致很多公司变为国际化大公司，并为了降低成本，提高利润，这些公司实行了全球采购模式等。在全球的运输过程中，因为运输距离都相对长，操作方法也发生了很大的变化，这就导致了国际运输时间较长。而为了解决国际运输时间长的问题，提出了零库存的概念，将运输可靠性提高，开始运输过程中的重中之重。集装箱开始起了重大作用。可以说依托集装箱联运的长足发展基础以及在运输实现集装箱化的革命性变革之后出现了现代物流。相反，为了使运输过程变的更加的高效顺畅，要对集装箱运输进行不断的改进，同时也可以满足物流的发展要求。

当今社会发展迅速，特别在改革开放 30 多年来，中国加入的世贸组织，中国在国际贸易中站在一个很重要的角色，而这些发展恰恰体现在集装箱码头吞吐量逐年增长上，进入 21 世纪以来，集装箱吞吐量在中国各个沿海码头都有大幅度的进展，从 1988 年港口集装箱吞吐量仅 94.7 万标准箱（TEU），达到 2001 年超过 2700 万标准箱，平均每年增长近 30%。中国国家交通部给出数据显示“十一五”期间，中国进贸易增长 27%，出口贸易增长 26%<sup>[1]</sup>。其中将近 80%是经过海路运输的，而且中国的外贸结构发生了根本性改变，在可以预测的未来中国的集装箱吞吐量将会继续高速增长。

集装箱运输都要依托集装箱码头，集装箱码头是重要纽带，衔接着陆地运输和海上运输，在现在运输业中集装箱运输占有非常重要的位置。现代的集装箱港口不但可以储存国际商品，成为集存储加工，运输为一体化的分拨中心，同时也可以提高集装箱的运输效率。现在许多港口都致力于建设现代化的港务模式。大连港组建物流公司已进入运行阶段；未来，在大连港区内，逐渐形成一个大型国

际物流中心。包括转运、加工、包装、装载、存储、配送以及信息服务于一体。

现代国际运输量逐渐增多，而运用集装箱进行运输已成为国际大公司必选的物流方式，运输集装箱的船舶也逐渐的大型化，万吨，十几万吨，甚至几十万吨的集装箱运输船已经在浩瀚的大洋里为国际运输航行。现在国际上比较常见的是以容量为 6000- 7500TEU 的运输船为主，未来一定还会出现 8000-10000TEU 这种大型集装箱船。

所以随着集装箱码运输船的大型化，给集装箱码头带来了各种压力，所以世界各国为了满足当前社会的发展，急需解决集装箱码头泊位的建设与规划问题，集装箱码头吞吐量预测问题，机械配置问题，装卸调度研究等。

世界各国都存在这样的问题，由于集装箱码头必须都是在各个国家的海岸线上，而沿海地带的土地变的异常的昂贵。在现有的港口规模下，怎么样提高港口吞吐能力，学习国外先进的管理理念，是中国集装箱码头未来出路。与发达国家的现代化港口相比我国的港口管理水平有一定的距离，即使同等规模的港口，吞吐量和其他发达国家的港口还会差一截，这就促使中国要快速转变。

### 1.1.2 研究意义

近些年来，国家大力发展集装箱码头的建设，取得了一定的成绩，但是中国与其他国家先进的管理模式与集装箱码头的规划方法还有一定的差距。现在有很多集装箱港口为了能快速的实现效益，只是经过简易改造后便投入运营，很多装卸工艺与资源配置并不合理，吞吐量预测偏差明显，导致生产效率偏低。形成以集装箱枢纽港为中心，各种规模的港口相互协调运输系统是有必要的。许多集装箱码头为了早日实现利润，毫无章法的进行扩建，新建，为了争夺货源，竞相压价，降低服务水平，这样就使泊位利用率降的很低，浪费了大量资源配置，出现很多恶性竞争的现象。

本课题主要研究对象是大窑湾集装箱码头物流系统，针对吞吐量预测不准的情况提出合适的预测模型，集装箱堆场码垛作业，减少翻箱作业，机械资源配置问题，对大窑湾码头作业系统进行优化。首先，对集装箱码头作业系统相关理论知识进行详细的介绍；其次，对集装箱码头吞吐量预测模型进行对比分析选择；再次，研究集装箱堆场翻箱作业的数学模型；然后，对集装箱码头系统进行串联

排队网络思想建模，并利用Witness仿真软件对其进行仿真，验证优化效果。本课程提出的研究思路和方法可为相关物流系统优化问题提供参考和借鉴。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 国内外集装箱码头吞吐量预测方法

关于集装箱码头吞吐量的预测一般都隶属经济预测范畴，他是利用科学的方法论和一定的技术手段机型预测的一种方法，一般是利用过去有的数据进行客观的分析来确定未来的预测值，主要是预测未来一段时间内经济的发展方向和基本状况，然后用语言进行描述，并分析其中的诸多因素，推理出未来的经济发展趋势。预测的准确性在于对客观经济的了解程度，以及在预测过程中采用的方法是否具有一定的科学依据。

对于集装箱码头吞吐量预测方法主要利用的是定量的方法，在研究生学习过程中，主要介绍的分为两大类：

#### （1）时间序列分析法

时间序列分析法其中包含移动平均法、指数平滑法、季节性（周期）变化法、灰色系统法、线性回归分析法等。这种方法是根据集装箱吞吐量过去一段时间的变化趋势，找到其是如何根据时间变化而变化的，利用数学模型，将其表示出来，然后根据模型推算出未来的预测值。

#### （2）因果分析法

因果分析法现在主要应用的是回归分析法，系统动力学法和投入产出法等。在集装箱码头吞吐量预测问题上，主要是根据所研究的集装箱码头相关的各种政策，或者说，各种社会经济指标因素的影响。在预测过程中，首先应该找出吞吐量和现在所了解的哪些指标因素的关系，然后根据这些因素的变化，预测未来一段时间里的集装箱吞吐量。

但是，船舶运输具有自己的特殊性，相对第一种方法，第二种方法要考虑的因素主要以社会因素为主，比如说国家相关政策的出台等；在某些方面，对比之下，因果分析法具有一定的合理性，但是因果分析法会存在其他一些因素的影响，例如，心理因素，技术因素等，对于某些因素的量化也有一定的难度或者难以判断。

还有就是集装箱码头吞吐量所依赖的不仅是和他直接有关系的社会经济指标，还有其他相关联的间接因素在里面，所以利用这种方法往往得不到好的预测效果。

时间序列分析法的预测过程主要是根据集装箱码头前一时间段的变化趋势，由于这种方式一般是跟随着时间轴的变化而发生变化，但是这种方式在短期内预测效果较好，因为吞吐量会根据外围的其他因素的影响而发生改变，这样的改变在时间轴上可以体现出来，但是对于对未来的预测可能得不到好的结果，所以说，这种方法会根据时间的延长准确度也会逐渐降低。

根据集装箱码头的特性，如何有效的对集装箱码头的吞吐量进行预测是管理集装箱码头重要的一部分，码头吞吐量的预测需要考虑的因素有很多，但是现在每种简单的方法只能进行简单的预测，无法考虑过多的影响因素，所以在具体应用中还是要具体问题具体分析，比如说不同方法相结合等。

### 1.2.2港口集装箱堆场码垛国内外研究现状

关于集装箱码头码垛国内外早有研究，也取得了一定的研究成果。

#### (1) 国外研究现状

当前，国内外有许多研究是关于集装箱码头堆场规划和翻箱问题，主要研究方向是在进口集装箱没有进入码头之前，就已经知道全部集装箱的进入堆场的顺序，然后据此提前对集装箱码垛位置做好安排。但是码头实际操作过程中，集装箱的时间是不固定的，这种预测过程忽略了很多可能发生的动态因素。

E.mcdowillet.al<sup>[14]</sup>将集装箱码头所有操作过程所产生成本的原因都考虑周到，然后建立以最小成本为目标函数的模型，这个函数从理论上是可以降低成本的，但是这个模型没有将各个部分的在操作过程中的效率问题给忽略掉了，这样就影响了提前准备的方案的实用性<sup>[15]</sup>。

Kim 和 Hong<sup>[16]</sup>利用启发式方法与分支定界法同时使用来研究翻箱问题，并且对这两种方法进行统计，对比两种方法在实际应用中的翻箱数量和实际操作时间。K.H.Kim 等<sup>[17]</sup>考虑的是出口集装箱的一些本身性质，例如重量等级等，设最小的翻箱率为目标函数，主要是利用一种动态为主的规划方法求出结果，之后选用最小树法生成一个决策模型，从而结果集装箱码头堆场的位置配备问题。

K.H.Kim<sup>[18]</sup>和 J.w.Bae 假设已知目前集装箱码头堆场图和贝的布局，将以上问



题划分为：搬运计划、贝匹配和任务安排。

## （2）国内研究现状

针对集装箱码头堆场翻箱量过大，影响码头的效率这个现状，中国专家在近些年也进行了深入的研究，取得了一定的科研成果，不过中国研究方向与国外的有所不同，国内研究方向主要集中在将集装箱码头装到运输船上之前，码头收到了装配运载图后，这个时候如何进行装箱所产生的翻箱作业；所以说国内专家对集装箱如何进行摆放，并在摆放的时候考虑翻箱问题，这个问题涉及较少。

张维英<sup>[21]</sup>建立了利用龙门吊进行取箱作业的一种新型优化模型，研究目标为龙门吊翻箱率最小。

江南<sup>[22]</sup>研究的主要方向是如何利用最简单的方法自动生成集装箱码头堆场的作业计划：

第一，对集装箱堆场的箱区进行划分，主要分为几大块面积，再将大块面积分为若干个小块，利用动态全序关系，创建一个动态的码垛模型。

第二，对集装箱码头各个小区内的集装箱拜访顺序进行求解，这个模型主要有以下几点目标：首先，使集装箱高循环使用；其次，保证 FCFS 原则；然后，平衡箱的使用频率；最后，减少集装箱里的物品因为等待时间过长而发生质量的变化。

高悦文，计三有<sup>[23]</sup>重点考虑的因素是集装箱重量因素，对重量因素进行分析然后结合实际利用搜索技术理论证明这种方法对集装箱码头降低翻箱数有一定的参考价值。

郝聚民在研究过程中，主要考虑的是最开始集装箱进行码垛的时候考虑的相同航线的集装箱摆放问题，利用先进的技术，建立一个关于集装箱码头堆场贝内的一个优化模型，从纵向和横向上提高了最新进入港口的集装箱的位置选择大体范围，之后考虑集装箱的重量以及移动困难程度，有效的提高了码头堆场的利用率<sup>[24]</sup>。

沈剑峰<sup>[25]</sup>针对集装箱码头的规划与设计，提出的码垛模型包括规则的匹配，最优先选择，以及区域的划分几个重要因素，在实际应用中得到了较好的应用效果。

杨淑芹<sup>[26]</sup>提出了在确定集装箱到达的顺序的前提下，利用启发式算法来判断集装箱贝的选择，这种方法在现实中应用具有一定的局限性，因为集装箱进场时间

是不固定的。

陈庆伟<sup>[27]</sup>利用堆场出口集装箱贝堆存为基本模型，以装船时候翻箱率最小为目标函数，通过遗传算法求出最优解，找出如何分配箱位的方法。

高鹏，金淳等<sup>[28]</sup>研究的主要部分是根据集装箱码头出口部分，在时间轴上多个贝德区范围的提箱作业流程，以搬运集装箱所产生的成本最小为原则来解决集装箱码头出口集装箱码垛问题。

徐亚，陈秋双等<sup>[29]</sup>为了解决翻箱率过高问题，提出了利用启发式算法和仿真实验的结合来进行研究，并对启发式算法进行一定程度的改进和比较，对启发式算法的效果进行评估，得出算法的优越性，但是缺乏实际应用，仅仅停留在理论上的研究。

### 1.2.3 港口排队论应用现状研究

荷兰的 Veke H.P.M 和 Ottjes.J.A，在 20 实际初提出利用虚拟仿真软件对集装箱码头进行仿真模型设计，这一模型在鹿特丹港的部分码头的扩建得到很好的应用。同时利用仿真软件对集装箱码头的仿真可以了解未来码头的运营情况，同时对未来控制系统的升级提供数据支持。

国内的著名学者张铭强，创建了汽车码头排队论模型，利用的是面向对象的系统仿真技术，在汽车码头的应用中提供了很好的模型。

沙梅针对上海外高桥四期集装箱码头装卸工艺系统<sup>[30]</sup>，利用离散事件系统仿真软件，建立多级排队论仿真的模型，主要研究码头装卸系统工艺方面。在应用过程中得到了很好的效果。

### 1.2.4 港口物流系统主要采用建模方法

离散事件动态系统，可以简称为 DEDS (discrete event dynamic systems)。在集装箱码头的研究过程中，集装箱运输船的到达和离开就是一种非常典型的符合离散事件。在离散事件动态系统，如果改变一个离散事件的发生驱动系统状态，这个时候发生的改变还遵循系统的运行原则，从而引发新的离散事件，这样就形成了系统状态的升级过程。就是每一步的改变都会改变离散事件中其它部分的改变。例如，集装箱运输船（顾客）到达事件就会改变集装箱码头泊位的状态，当集装箱运输船到达码头的时候同时也触发了集装箱码头各种机械（桥吊、集卡、

龙门吊等)的工作作业,而当这些机械作业时又会触及集装箱码头进口堆场的变化,事件就在这样的过程中发生连锁反应,这就是一个动态的过程,所以说,离散动态系统在集装箱码头得到了很好的解释。

现在,为了解决离散事件的方法包括解析法和仿真两大类:

### (1) 解析法

解析法,顾名思义就是现有的码头系统的一些操作和机械数据进行统计,利用数学表达式进行表述,然后求解数学表达式的最优解,利用抽象的数学方法可以进行优化已经得到了广泛的应用,这个过程也是许多软件的应用程序开发而需要进行的操作,同时解析法应用比较广泛,是一种较为常用的解决离散问题的方法。比如, Radmilovic<sup>[31]</sup>等和 Kozan<sup>[32]</sup>就是将集装箱码头抽象为数学模型(排队论)进行分析, Noritake 和 Kimura<sup>[33]</sup>在判断集装箱码头的规模的时候也用到了类似的方法, Etsuko Nishimurajs<sup>[34]</sup>采用了遗传算法解决集装箱码头泊位的动态分布问题, Akio Imai<sup>[35]</sup> 利用拉格朗日松弛法解决了同样的问题。R. LPeterkofsky<sup>[36]</sup>等利用分支定界法,为了解决集装箱码头装卸设备的配置问题。

不过,解析法对事物的数学抽象过程过于依赖,面对是对数学问题的研究,比较脱离现实,这样就很难对所研究的对象进行了解和切身的感觉。不利于对系统进行实际的分析,而且在解决有现实事件抽象后的数学模型设置了很多约束条件,在这些约束条件下得出的结论有一定的局限性,特别是像集装箱码头这样非常复杂繁琐的离散事件,很有多因素不是固定的,这样就给数学求解带来了很大的变数。

### (2) 仿真

在当今的社会发展过程中,利用仿真软件进行仿真研究已经成为各大院校和各种实体单位的主要工具,这其中也包含对集装箱码头的研究。系统仿真具有很多优点:

第一,仿真对很多复杂的系统有较高的适应能力,面对很多不固定的问题,仿真系统都可以实现,所以说系统仿真所创建的模型是随机的,所以仿真软件可以接受很多参数变量的随机改变,这对研究现实问题指导性较强,灵活性较高。

第二,仿真相对与数学模型来说,更加直观,比较符合人们的思维模式,这样对系统的分析有所帮助。仿真过程主要是按照现实操作所获取的数据进行建模,

而且建立的是符合现实的动态模型，这既保持了系统的物理性质，也对现实的逻辑关系进行反映，更加符合现实，分析结果相对准确。

第三，结果评价。很多模型是有很多个目标，很多因素组成的系统，但是在优化之后，并不是说所得到的结果就是最好的结果。仿真可以对象有的运行状态进行分析，并可以通过对参数的修改，然后在仿真，如此反复，直到寻找到最合理的解决办法。另外，仿真系统还有另外一个好处，就是当有很多方案同时进行评价的时候，可以利用仿真代替实际操作，将设计方案转换为仿真模型，通过计算机啊仿真可以找到最合适的仿真方案。这样就可以避免方案不合理，降低方案的实施成本。所以说在本文中也选用了仿真软件对集装箱码头物流系统进行了一系列的仿真，这对现实中应用具有很强的指导价值。

在解决集装箱码头的研究中，重点建立系统模型的案例并不多见，这就给系统的分析带来了很多的困难，随着管理科学的不断发展，并在计算机集成制造在过程中的不断深入，很多新的建模方法逐渐形成，应用最广泛的为网络图法和流程图法。

### （1）网络图法

#### 1) 排队网络法

多个服务中心按照固定的网络模式组建成的系统称为排队网络方法。服务中心的构成因素有服务台和顾客，一般情况下，一个或者多个服务台对应一个服务中心。第一个利用排队网络理论进行离散事件的系统建模是在 1977 年由 Solberg 提出的，排队网络法的优点是利用排队网络进行建模，考虑到了各种不固定因素，可以在建模过程中尽量详细的阐述系统内部各种关系，利用排队网络建模，从概率和统计方面，更加容易研究离散事件系统过程的性能。

如果对港口的平均作业时间进行分析，泊位利用率等，都可以采用排队网络模型进行研究，不过假设条件比数学模型多了很多，这就使排队网络方法对所研究的排队系统设置了过多的限制，而且排队网络系统只能显示出系统模型的平均性能，并不能描述系统的随机性能，只有在稳态的条件下才能进行合理的分析和研究。

#### 2) Petri 网方法

Petri 网方法是在上世纪七十年代由德国学者 C.A.Petri 提出的。实质上，Petri

网方法研究系统组织结构和动态特性是以图形形式的，Petri 网的性质主要包括：并行，不确定性，分析能力，分布描述能力和异步。相对于排队网络法，Petri 网模型对系统有更加详细的描述，不仅仅局限于抽象的表达和具体的分析。并且 Petri 网的表现形式为图形，更加形象的描述，易于理解。Petri 网模型相对灵活，其特征在工程建设中得到了很好的应用，如活性，死锁，可达性等。Petri 网本身也具有一定的局限性那个，就是其表达和分析计算太过复杂，以致在某些工程上很难进行实质性的应用。

## （2）流程图法

### 1) 实体流程图

可以将离散事件系统分为两种主要的实体：临时实体以及永久实体。从流程途中可以看出事件，状态变化以及实体之间的逻辑关系，计算机是人们应用最广泛的工具，所以其程序框图的思想以及编制的方法相对简单，人们更加容易接受。实体流程图对离散系统进行全方位的描述，让其在科研过程中应用相对比较广泛。

### 2) 活动周期图法

系统中的各个实体按照自己的方式进行重复的变化被称为活动周期图法。一般是按照生命周期的形式表现出来；活动周期图法分为静寂(Dead)和激活(Active)两种实体，利用相对直观的显示实体在系统中的变化过程和各实体之间的模式，并利用每个个体状态的变化集合来表示整个系统的状态变化，所以能够更好的所有实体之间的关系，但是对于太复杂的系统，利用活动周期图就太不现实了。

## 1.2.5 集装箱码头系统仿真软件

目前具有代表的仿真语言主要有 WITNESS, EMPLANT, GPSS, SIMSCRIPT, SIMAN, SLAM, AUDITION 等。软件系统包含这很多方面的：比如说建模、仿真运行、模型分析、系统设计和统计分析等。用户界面更直观和灵活。系统模型可能是 2D 也可以是 3D 动画显示，就可以把跟踪和分析过程系统仿真进行实时共享。不需要有很多的电脑知识以及编程技能，也不需要学习大量的仿真实理论和算法。仿真的主要两点为：系统建模和系统分析，建立合适的数学模型才能够提高仿真的效率与质量。

现在国外对于集装箱码头的研究，关于仿真技术的研究在集装箱港口中的应

用通常分以下几类：

（1）利用排队理论以及遗传算法在集装箱港口进行了仿真分析，为港口投资提供决策依据，并讨论港口的泊位动态分配效率<sup>[37-39]</sup>。

（2）对集装箱运输船到港后的装卸箱过程进行仿真，研究岸桥的调度问题，通过仿真，也制定堆场计划，并利用堆场计划来减少堆场的翻箱率<sup>[40-41]</sup>。

（3）模拟堆在堆场里的集装箱运输问题，并主要研究在堆场内如何摆放即将要出港或者刚刚进港的各种类型的集装箱，从而使在对其进行搬运过程中减少浪费，提高堆场利用率问题。

（4）模拟集装箱卸箱方法以及出口货物流程，研究了港口车辆合理配备的问题，自动化小车的应用问题<sup>[42-44]</sup>。

（5）对整个集装箱港口来进行仿真分析，针对集装箱港口的操作或管理模式的新方法下的通过能力问题进行了合理化的研究；可以对集装箱码头的规划提出自己合理的意见，合理的规划集装箱码头在堆场内的物流运输；优化港口的作业流程和港口设备合理计划；通过仿真分析方法的管理新港口等<sup>[45-48]</sup>。

国内在这一领域做的相对来比较成功。研究的主要内容是：在固定的吞吐量下，岸边集装箱起重机配置的研究；堆场里操作设备和拖车装备研究等。基本的思路是基于排队理论，使用面向对象的仿真软件 AUDITION 来模拟集装箱港口，排队模型相对简单<sup>[49-51]</sup>。

国内有些学者提出了循环网络排队理论的模拟方法，结合计算机仿真技术，模拟集装箱码头操作的过程中码头泊位的使用情况，这样具体的仿真装卸过程，可以得出合理的调度方案<sup>[52-56]</sup>。

## 1.3 论文主要内容及技术路线

### 1.3.1 主要内容

本课题以大窑湾集装箱码头物流系统为研究对象，提出合理的集装箱码头吞吐量预测模型，集装箱堆场翻箱作业数学模型，利用串联排队网络思想解决集装箱码头资源配置问题。首先，介绍了集装箱码头作业系统相关理论知识；其次，对现有集装箱码头吞吐量预测模型进行分析比较选择；再次，对集装箱堆场码垛作业数学模型进行研究；然后，在对集装箱码头系统进行串联排队网络思想的

析，并建立模型，并通过Witness仿真软件对其进行仿真。

具体研究内容如下：

本文主要以大窑湾集装箱码头为研究对象，较为全面地探讨了影响港口堆场作业效率的几个主要因素。各章的主要内容如下：

第一章 绪论。首先，阐述课题的研究背景和意义；其次，综述国内外关于集装箱码头物流系统的基本研究现状。

第二章 集装箱码头作业系统介绍。主要介绍了集装箱码头作业系统，同时也对本文的研究对象大窑湾集装箱码头进行了简单的介绍。主要内容包括集装箱码头的组成与布局、特点、集装箱装卸工艺和作业流程等。阐述了大窑湾码头的基本简介，堆场及码头布置以及码头的机械设备等。

第三章 集装箱码头吞吐量预测模型分析与比较。对集装箱码头吞吐量预测模型进行分析与比较，提出一种改进的基于IOWA算子的组合预测模型，并利用大窑湾集装箱码头历年的吞吐量来验证模型有效地提高了预测精度。

第四章 翻箱问题研究。阐述集装箱码头堆场码垛理论，分析过多翻箱问题的原因，提出解决办法，目前码垛使用三种方法特点和计算翻箱量的方法。本文考虑码垛的位置选择是从取箱难度的方面来研究的，建立衡量取箱难度的叠压度函数，建立了码箱优化模型考虑了码放紧凑程度等。利用MATLAB随机选取一组数据，采用码垛优化后的模型和传统的阶梯式等码垛方式对集装箱码放，针对四种码垛方式进行对比，得出最优的码垛数学模型。

第五章 基于串联排队网络思想的集装箱码头系统建模与仿真。研究了串联网络系统模型的基本理论以及各类排队模型。创建了基于串联排队网络的集装箱码头仿真模型。以大窑湾集装箱码头的历史营运数据为基础，在对集装箱码头作业系统进行合理的简化以后，根据本文提出合理的方案进行建模，并利用 WITNESS 进行仿真试验，进而验证本文提出的方法的有效性。

第六章 总结与展望。总结全文，提出本文研究过程中的不足和对今后研究内容和方向的展望。

### 1.3.2 技术路线

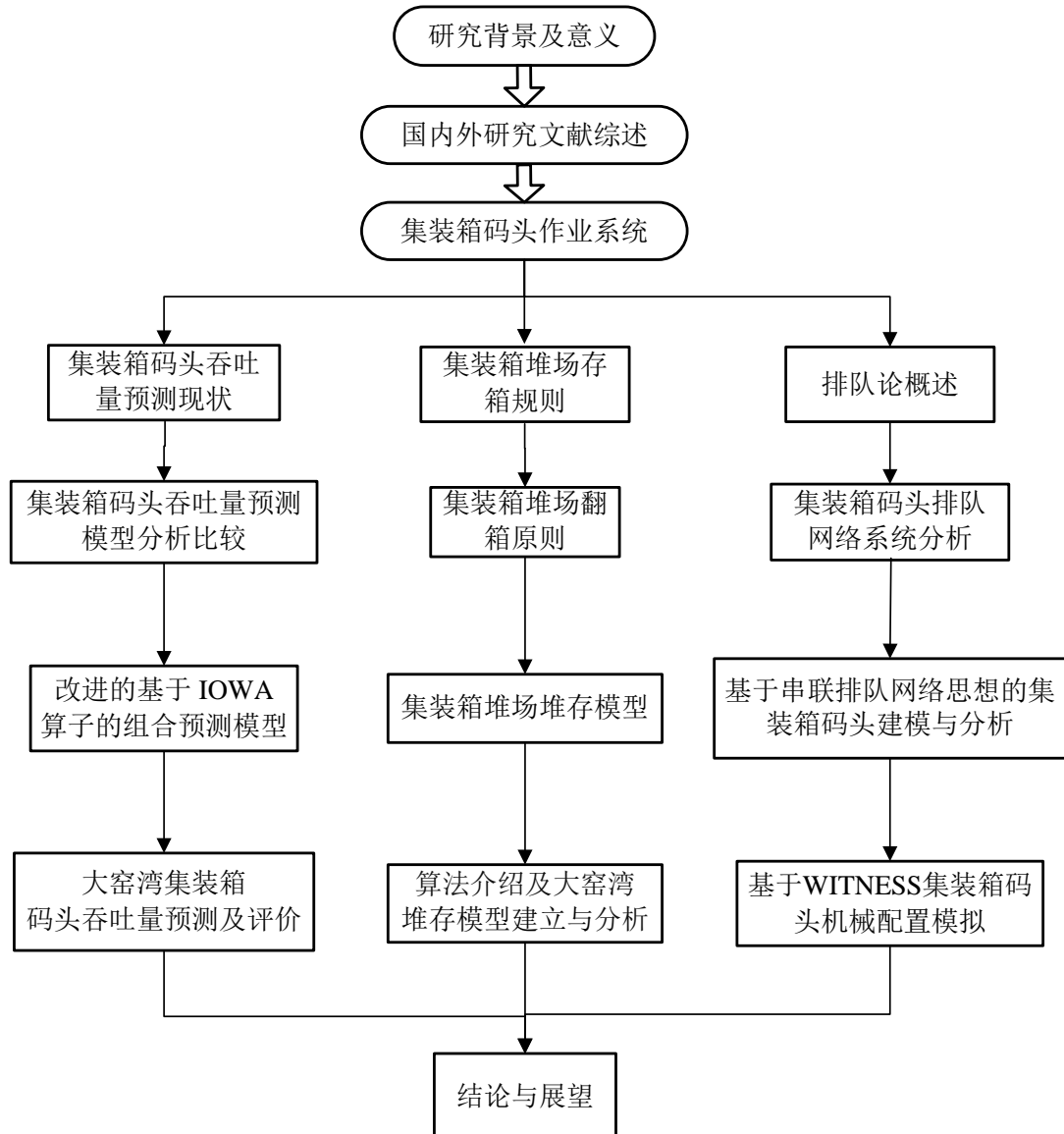


图 1.1 论文技术路线  
Fig.1.1 Technology route



## 第2章 集装箱码头作业系统介绍

### 2.1 集装箱码头的组成与布局

集装箱码头可分为：码头硬件系统和集装箱码头的机械配置两大部分。主要包括：泊位，码头，集装箱堆场，货运站，控制室，检查口，维修处等。搬运设备有：岸桥、场桥（场桥到轮胎门式起重机和轨道门式起重机）、跨运车、叉车、托盘、集装箱拖车等。单泊位集装箱码头布局如图 2.1 所示。

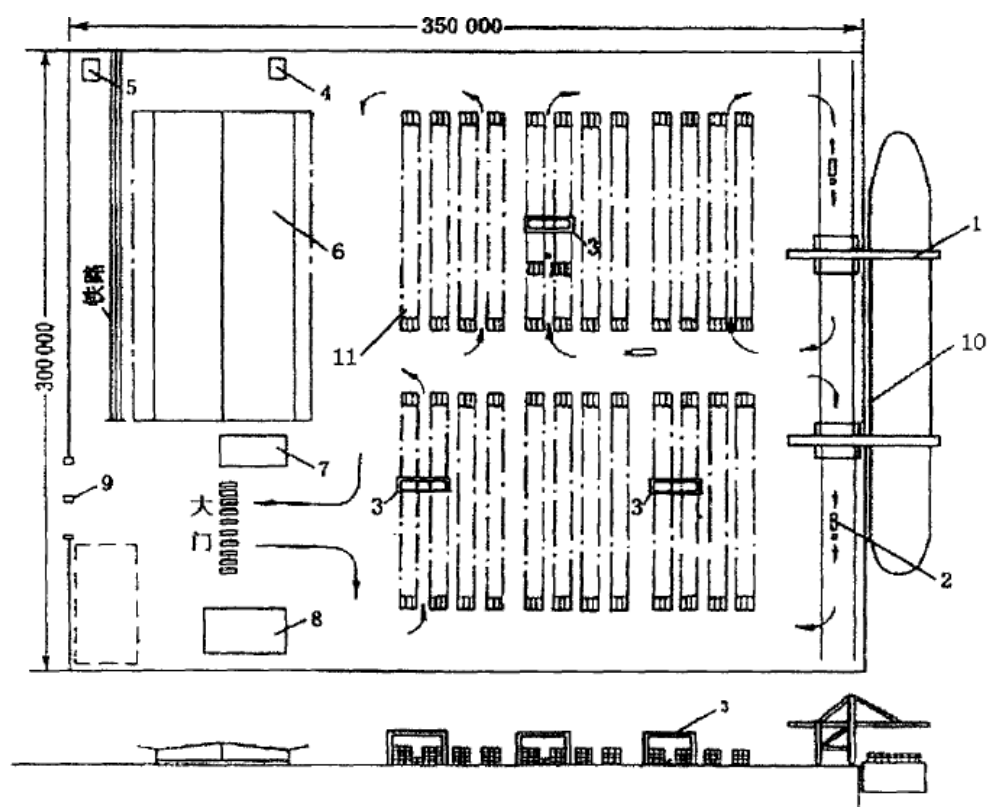


图 2.1 集装箱码头平面图

Fig.2.1 Container terminal layout

图 2-1 中：1-岸桥；2-集装箱拖挂车；3-轮胎式龙门起重机；4-加油站；5-电力站；6-货运站；7-控制室；8-维修车间；9-门房；10-泊位；11-集装箱堆场。

#### 2.1.1 码头设施

泊位。是指在集装箱码头为了进行装卸，给集装箱运输船进港靠岸提供的基础设施，。船舶靠/离泊时，所需的岸壁线的有效长度一般为船舶长度的一倍多一点。

码头前沿，是指沿着岸壁线，这一部分从码头岸壁到集装箱堆场的区域。考虑岸桥轨距不同、集装箱码头前沿宽度通常为三十到六十米。

堆场，它是指在集装箱码头内部，所有的存储集装箱的空间。在现代集装箱码头的堆场中分为堆场前方和堆场后方。堆场前方储存的主要是出口集装箱，堆场面积大小是根据装卸过程系统，堆放层和不同贮藏期而发生改变；堆场后方主要进口重型集装箱，空箱和特种箱。

集装箱货运站，主要用于装载和卸载，一般建在码头的后面，一般是靠近码头的公路或铁路领域。

控制室，通常设置在建筑物的顶部，为了看到整个码头的整体每个活动。

集装箱修理车间，一般设置在集装箱码头操作不受影响或在维护区旁边。

### **2.1.2 码头设备**

岸桥。或桥式起重机，桥吊，是最大的集装箱码头、价值最昂贵的集装箱码头装载机械。它是最主要的码头装卸设备，负责装卸集装箱船等。

轨道式龙门起重机，轨道式龙门起重机比轮胎式龙门起重机更加灵活，但是跨度，码垛高度高，堆场的面积可以更有效地使用。

轮胎式龙门起重机，俗称龙门起重机、装卸、堆垛的对唱作业。龙门起重机在堆场里自由转向，因此可以大范围的活动，灵活性强。

跨运车，是承担集装箱码头堆场与前沿的堆场之间的水平运输部分，包括在堆场进行码垛作业，和对集卡进行装卸作业。但是跨运车码垛高度有限，速度相对来说较低。

叉车，叉车是主要负责集装箱装载作业和空集装箱叠加操作。

正面起重机和叉车有所不同，它使用集装箱专用吊代替门架式吊具集卡，通常被称为集装箱拖车。主要负责集装箱在码头的水平运输，从码头到堆场，堆场之间运输等等。集卡分为拖头和牵引支架两部分，拖头用来提供动力，牵引支架用来装载集装箱。为了区分运载集装箱的集卡是运送出口集装箱还是进口集装箱，而将集卡分为内卡和外卡。

## **2.2 集装箱码头的特点**

### **(1) 港口设施设备的特点**

对于大型集装箱码头，为了适应由于海运的蓬勃发展，大型集装箱运输船越来越多，应当建立一个高效、大规模的现代集装箱码头港口。码头应具有以下特点：

1) 港口水深一个重中之重的约束条件，未来的发展趋势是运输船的大型化，为了充分发挥集装箱的特点，也就是运输方便快捷，港口需要有足够的深度的航道。以及可以停靠大型集装箱运输船的深水泊位，确保船舶进出港口不受水的深度的影响；

2) 在码头有广泛的堆场和陆地面积；

3) 后方应该具有一个交通便利的条件。为了适应快速聚集和疏散的集装箱，港口，铁路、公路、河流和航空运输能力是非常重要的；

4) 高效的机械设备。为了适应需求，越来越多的集装箱码头配备高效的起重能力机械设备，装卸效率高的现代设备，可能就会尽快完成货物装卸、搬运和堆积，提高船舶的入港出港数量。

5) 现代通讯设施和指挥。

### (2) 港口码头生产作业的特点

因为在物流系统中集装箱码头占有特殊地位，决定了码头处理企业生产的一些特点。

1) 生产的连续性；

2) 协作组织；

3) 生产任务的不平衡性。

### (3) 集装箱码头装卸工艺

集装箱码头的处理技术主要有以下几种常用的系统：

1) 底盘车系统；

2) 跨车系统；

3) 轮胎式龙门吊；

4) 轨道式龙门吊；

5) 跨车—龙门吊混合系统；

6) 叉车系统。

比较每个系统的主要性能指标如表 2.2 所示。

表2.2 集装箱装卸工艺系统比较  
Table 2.2 Comparison of container handling system

	底盘车系统	跨运车系统	轮胎式龙门起重机系统	轨道式龙门起重机系统	混合系统	叉车系统	正面吊运机系统
储存能力	差	好	优	优	中	好	优
投资费用	差	好	好	好	优	好	优
工艺简单性	优	好	差	差	优	优	中
装卸效率	优	好	好	好	差	中	优
机动性	优	好	差	差	好	优	中
减轻箱损坏	优	差	好	好	好	好	好
降低维修费	好	差	好	优	好	好	中
可扩张性	优	好	差	差	好	好	好
自动化适应性	差	差	好	优	差	差	好
与铁路接运	差	差	好	优	中	好	好

## 2.3 集装箱码头作业流程

相对于一般码头，集装箱码头主要优势是转运快，货运速度快等。实现了集装箱码头各种机械的合理调度，就可以将集装箱在码头上快速的进行装载或者运输作业。

集装箱码头运输船到港后的基本程序如下：

第一，码头月度计划。一般的船公司或代理会把运输月计划提前发送到码头，方便码头制定月计划，为进口装卸做准备工作。预计每月的计划将会包括船舶到港时间，离港时间，装载的货物量等。

第二，码头的近期计划。对定期的半轮运输，需要在船到港前 4 天左右提供集装箱运输船近期计划，其内容包括预计离港时间，进口清单、船舶图、集装箱清单，预订名单，准备停靠的泊位，港口根据自己的实际情况制定近期生产计划。近期计划已经将对各个作业泊位针对的停靠船舶的卸船计划下发到各个泊位，但是由于某些突发事件，对该计划也会造成一定程度的影响。

第三，码头的昼夜计划。根据码头近期计划制定码头的昼夜计划，结合实际

情况，码头 24 小时连续生产的具体安排。对准备停靠码头位置，时间，准备卸载的集装箱量，卸船堆场计划等做出了具体规定；针对操作方法，以及每艘船、每辆车操作方法、机械设备的使用、劳动力的安排也做出了规定。

### 2.3.1 集装箱码头进口流程

当近期计划送到集装箱码头后，如果船只有进口的情况下，码头需要进口堆场提前留出空间。通常情况下在码头的昼夜计划中，就已经知道具体的堆场位置该放什么集装箱，并对机械设备进行预先安排。一般情况下，计划员会在卸船操作四个小时之前编排卸船计划，也就是码头机械设备需要按照什么样的顺序机型卸船作业。

卸船的一般程序是岸桥操作者将运输船上的集装箱按照卸船计划的顺序卸下集装箱，龙门吊司机根据堆场的存货计划单将集装箱堆放在堆场中；有直接需要运出码头的集装箱由外卡经门检后运离码头，空的集装箱要放在空箱存放区域。

其他需要提箱的货主需要在集装箱码头进行堆场操作之前一天办理，这样可以让集装箱码头的搬运和装载机械的提前准备安排。

外卡司机持有有关单证的入场提箱时，首先在入口处门票收入“提箱小票”，到指定的堆场进行提箱作业的，将提箱小票留在出口处，然后驶离码头。图 2.2 表示码头进口箱调度过程。

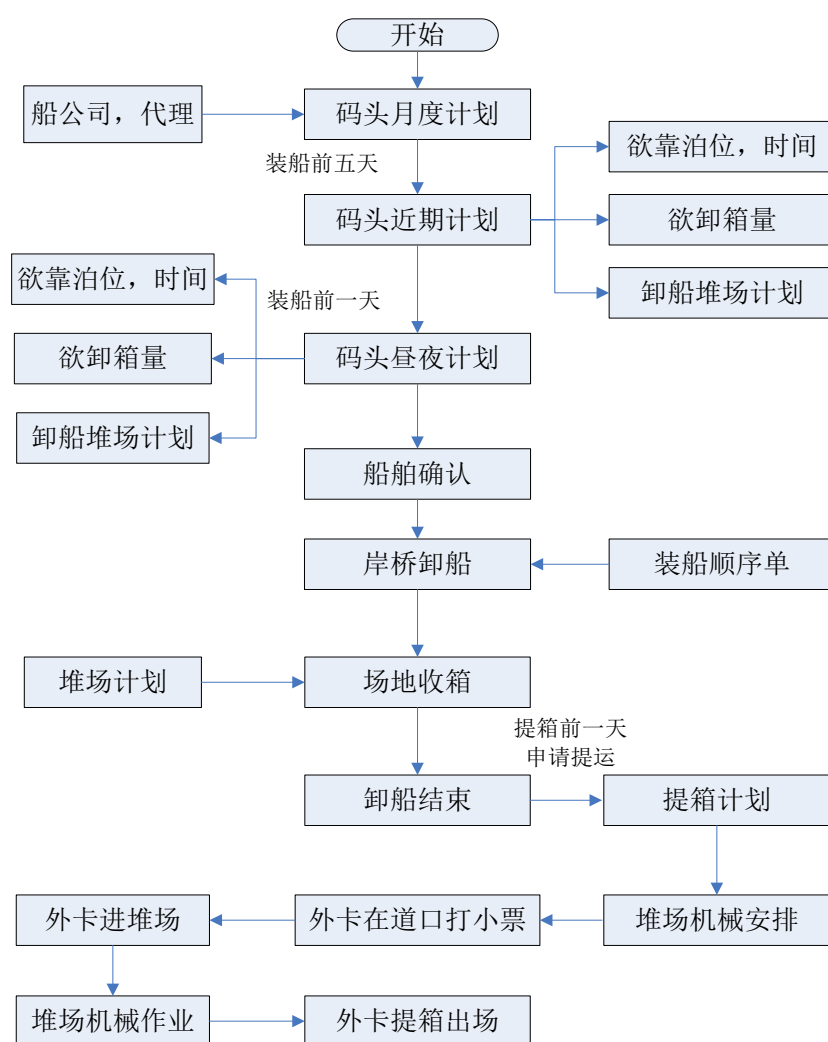


图 2.2 码头进口调度流程  
Fig2.2 Terminal imports scheduling process

### 2.3.2 集装箱码头出口流程

码头出口箱调度过程如图 2.3 所示。如进口业相同，如果集装箱码头要想装船作业相对顺利，就必须准备好各项准备工作，这样就必须在进行操作之前将出口集装箱详细信息交给码头。如果码头收到了停泊的集装箱运输船近期计划之后，其中有出口的集装箱类型，就需要在集装箱码头的出口的堆场里留出固定的场地，用于出口箱的储存。

一般重箱出口需要提前四天进场，截至装船前一天，外卡司机要在入口处拿小票，然后将集装箱运到预先安排好的区域，将小票留在出口道口。

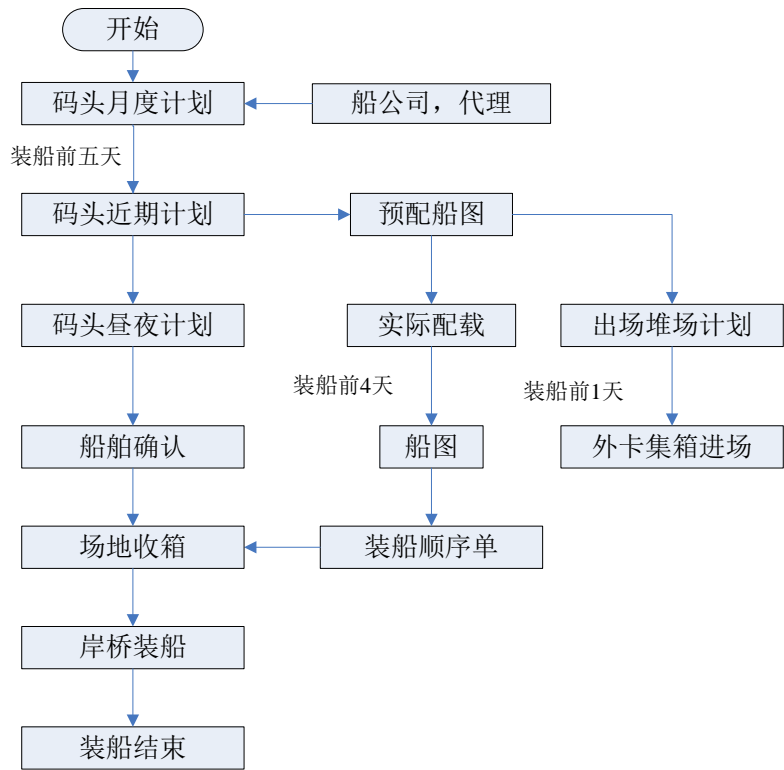


图 2.3 码头出口调度流程  
Fig2.3 Terminal exports scheduling process

2.3.3 码头船舶作业顺序安排原则

一般情况下，许多随机因素会影响船到港口的时间，所以会出现多艘集装箱运输船在一起到港的这种情况，有些船只必须首先在锚地等待。这个时候就要有顺序的安排船舶进港作业。通常有以下几种优先方法。

- （1）特殊材料运输优先。如军事武器、赈灾物资等；
- （2）泊位适应优先。根据类型的大小，小船停靠在相对较小的位置，大船就停靠在较大的位置；
- （3）及时性货物优先。如，冷冻食品，农副产品，需要优先装卸；
- （4）对外贸易商品，远洋船舶优先；
- （5）先到先服务；
- （6）船舶和班轮者优先；
- （7）预先支付先遣费用者优先。

2.3.4 港口机械设备的安排原则

船舶进港后，机械设备的安排是根据集装箱运输的实际情况来定的。主要是为了提高效率，提前将岸桥分派给即将靠岸的集装箱运输船，为该船安排的贝（Bay）位数。还有就是时间安排是否遵循集装箱码头制定的优先原则。

### 2.3.5 港口堆场管理系统

对于堆场的管理也是码头生产的一个重要组成部分，堆场区域，空间安排很大程度制约着集装箱码头的装卸速度。加快港口通过能力，减少集装箱码头的生产成本。

首先应该了解集装箱堆场的某些术语如图2.4所示。

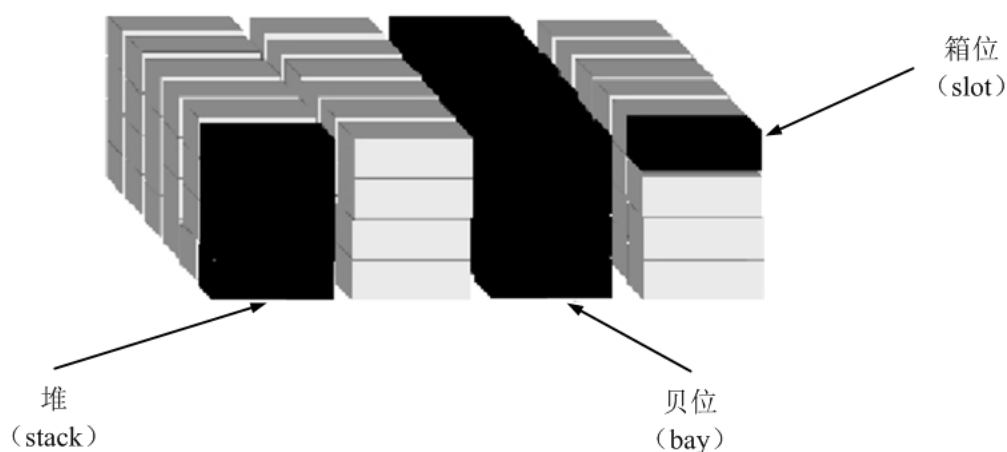


图 2.4 堆场术语示意  
Fig2.4 Yard terms

堆场堆放的基本规则是确保安全的集装箱堆放，减少翻箱率的基础。

#### (1) 堆场基本堆存原则

- 1) 不同大小的集装箱不同类型的集装箱分别堆放；
- 2) 进口和出口箱单独的堆放；
- 3) 危险货物箱冷却器，特殊箱体要与其他集装箱分开使用；
- 4) 根据船名航次的等级，目的港，重量分别堆放；
- 5) 两列单独贝位之间层高不能超过三层；

6) 如果是在堆四过五的龙门吊箱区内，集装箱一般会有两种码垛形式：第一种是将集装箱集中堆放，集卡车道安排旁边，如图2.5（a）所示；第二种是将集装箱堆在两边，中间集卡车道，如图2.5（b）所示。前一种对于集卡来说比较方便。第二种方法对于龙门吊司机操作较为方便，行走路线短，一般情况下，对于这种



方法靠近车道的一侧一般不会超过两层，第二排不得超过三层，这样计算一个贝位最多只能有21个箱。

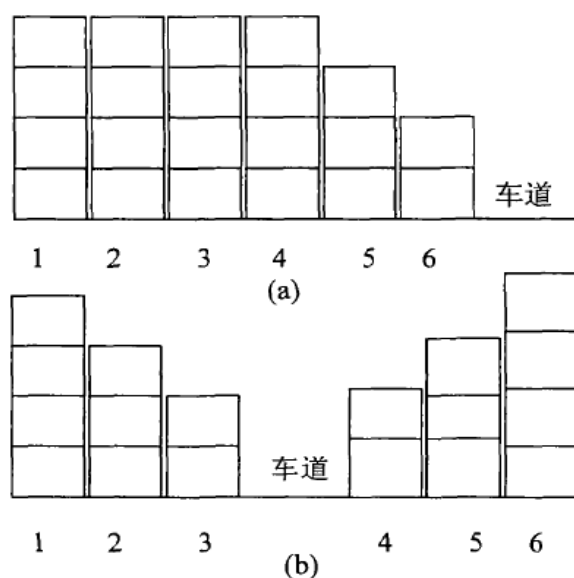


图 2.5 单贝位可以堆放的最大集装箱量  
Fig2.5 The largest quantity of containers piled up in a bay

## (2) 进口集装箱堆场安排原则

进口箱进入码头后，按照一定的顺序进行码垛，所遵循的顺序一定要减少操作过程中的翻箱率，提高卸船速度。通常有以下原则：

- 1) 对于中转箱这一类型要集中堆放；
- 2) 同一位中，提单号相同的集装箱，堆放在同一排中；
- 3) 为了避免箱量过大，造成交通拥挤，应当考虑箱量安排区位的多少；
- 4) 应尽量靠近泊位安排堆放区位置，并尽量避免集卡交叉路线的产生。

## (3) 出口港口堆场安排原则

如图 2.6 所示（设置为大窑湾和大阪集装箱根据重量级，由轻到重 A1、A2、A3 和 B1、B2、B3，三个级别），考虑到堆场的利用率最大化，装载效率，通常出口箱码原则有以下几点：

- 1) 按位堆放。如图2.6（a）。
- 2) 按位排堆放。如图2.6（b）。
- 3) 按重压轻原则。如图2.6（c）。

4) 按排堆放。如图2.6 (d) 所示。

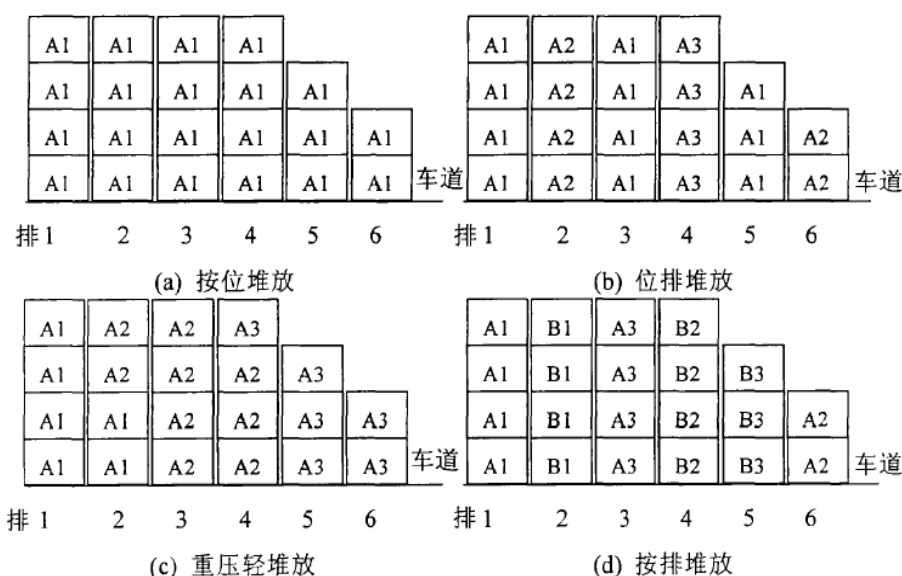


图2.6 堆场堆垛原则  
Fig2.6 Yard stacking principle

(4) 空箱进场安排

集装箱不能超过 35 排。在空箱区第一排最多只有两层高，第二排一般最高为 3 层。如图 2.7 所示。

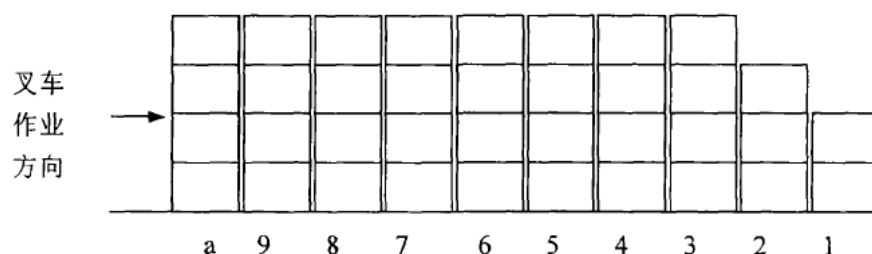


图2.7 空箱区堆场贝位图  
Fig2.7 Bishop bay graph of empty container yard

## 2.4 大窑湾集装箱码头

### 2.4.1大窑湾集装箱简介

大连港集装箱码头有限公司，已经投入生产 5 个泊位，其中 14 个泊位水深-16 米，而 15 泊位深度将达到 17.8 米，是中国现有集装箱码头中最深的一个。集装箱码头一共配套 12 套 65 吨双箱吊具，和 32 个 41 吨场桥。一般双吊具的最大起重为 75 吨，臂展为 65 米，一般可以操作 22 排集装箱，一般都是大型集装箱。

大连港集装箱码头有限公司，集装箱码头有许多优秀的设施，不仅仅局限十

六米泊位。先进的智能管理系统和高性能网络系统，该公司引入了“一站式服务”的保证。这样一套先进的码头操作系统，对码头提供了一种更科学、合理的技术支持；无人值守智能门系统，加快集装箱车辆进门效率；PORTNET 系统实现航运公司以及港口代理和相关部门网络和动态的电子数据交换，提高了工作效率；EIS 系统使工作更加方便快捷。大窑湾集装箱码头作为世界一流的集装箱码头公司，显然只有一流的软件和硬件设施是不够的，必须有一个匹配的管理团队和人员，这样才会在集装箱码头行业中占据有利的发展地位。

### 2.4.2 码头和堆场布置

(1) 前沿的作业为 66.5 米宽，这样就可以满足对运输船实现多点操作，提高了码头的工作效率，为客户节省许多宝贵时间。

(2) 现在大窑湾集装箱码头一共有 38 个堆场，都有先进的机械设备与其进行配套，这样就可以努力的为集装箱的雇主提供相对很高的效率以及安全性，提供了优质的服务。

(3) 大窑湾集装箱码头配套四条铁路路线，进出口集装箱可以迅速的运出集装箱，并运到东北各地，因为集装箱码头主要服务东北腹地，这样的方式就大大的减少了多余环节产生的费用。

后面有四个铁路，进出口箱通过密切出院后直接发送到东北，以避免额外的费用产生的链接。如图 2.8 所示。

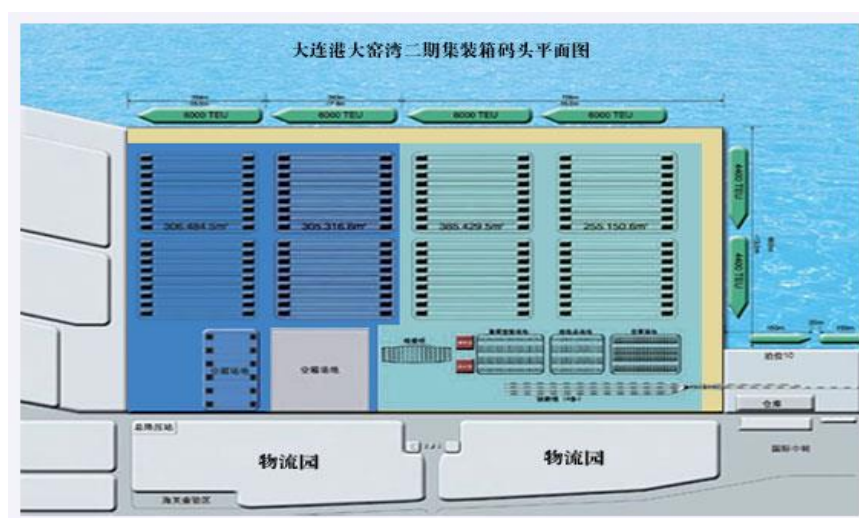


图 2.8 码头和堆场布置  
Fig.2.8 Layout of terminal and yard

### 2.4.3 机械设备

#### (1) 61 吨双吊具

61 吨双吊具的岸桥可以满足需求的最大 22 行集装箱运输业务，宽 35 米的跨度可以满足多个拖车操作同时，提高船舶装卸的效率，节省顾客的时间。应用最稳定的岸桥电子控制系统对岸桥进行控制，可以高效的的操作，提供优质的服务给客户。如图 2.9 所示。

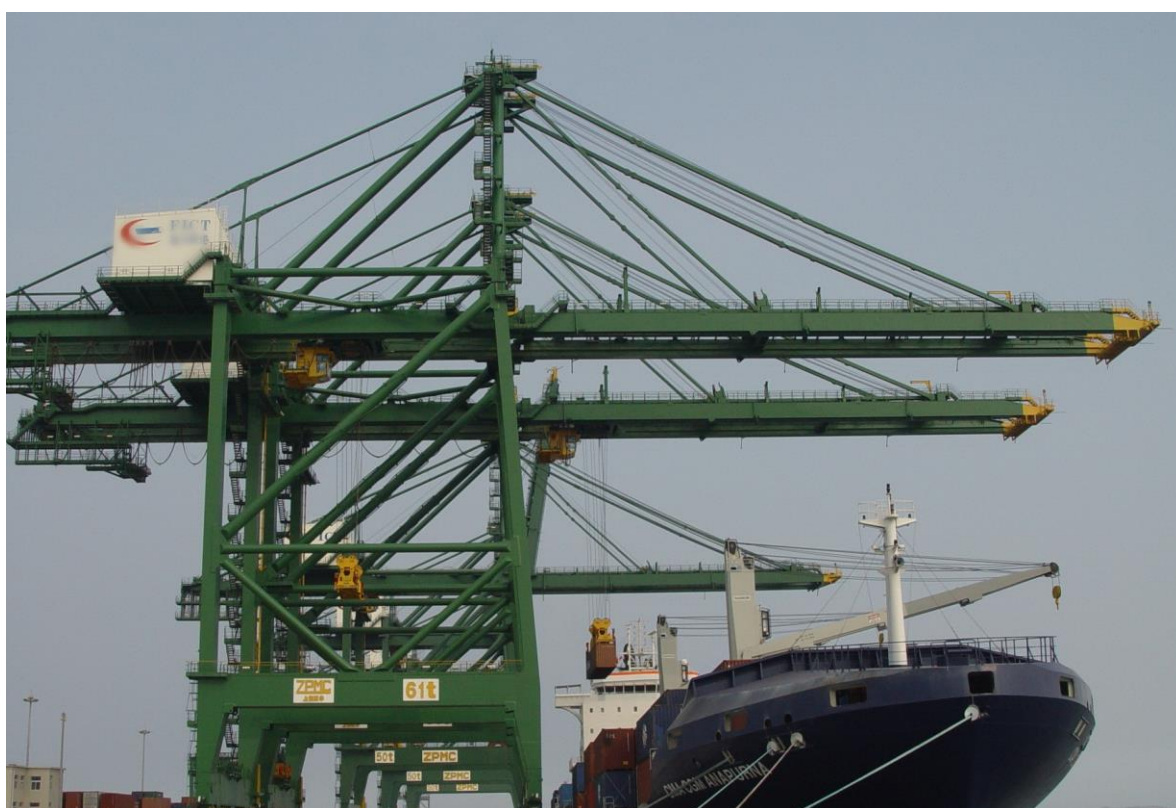


图 2.9 61 吨双吊具  
Fig.2.9 61 tons double spreader

#### (2) 轮胎式集装箱龙门吊

24 台轮胎式集装箱门式起重机（RTG），额定起重负荷为 41 吨，优越的性能和技术水平在世界上名列前茅，提供了可靠的装载和卸载作业。如图 2.10。



图 2.10 轮胎式集装箱龙门吊  
Fig.2.10 Tire type container Longmen crane

### （3）轨道吊（RMG）

轨道吊的额定起重负荷为 35 吨，使用电力进行驱动，这样就可以减少设备运行维护成本，性能优越，平均每小时搬运 25 个集装箱，提高铁路集装箱操作水平，将更高效、优质的服务提供给顾客。如图 2.11 所示。



图 2.11 轨道吊（RMG）  
Fig2.11 Track crane (RMG)

#### （4）其他设备

大窑湾集装箱码头其他设备如表2.3。

表 2.3 大窑湾集装箱码头其他设备 Table 2.3 The other equipments Dayaowan container terminal		
设备	数量	品牌
轨道吊车	2台	ZPMC
拖车	42台	OTTAWA
正面吊车	2台	Kalmar
空箱叉车	4台	Kalmar/Fantuceci
叉车	2台	Daewoo/Linde

## 2.5 本章小结

本章主要介绍了集装箱码头作业系统，同时也对本文的研究对象大窑湾集装箱码头进行了简单的介绍。主要内容包括集装箱码头的组成与布局、特点、集装箱装卸工艺和作业流程等。阐述了大窑湾码头的基本简介，堆场及码头布置以及码头的机械设备等。通过本章的介绍，可以清楚的知道集装箱码头作业系统的概况，了解现在制约集装箱码头发展的几个重要因素，其中包括集装箱码头布局，机械设备的分配，以及集装箱码头堆场布置等，本文通过大连大窑湾集装箱码头为案例，对现在集装箱码头存在的问题进行研究，提出合理的改善建议。



## 第3章 集装箱码头吞吐量预测模型分析与比较

### 3.1 传统预测模型

码头吞吐量属于经济预测。通过使用科学的方法和技术，根据历史演进与发展的客观经济规律的过程，对未来一段时间发展的趋势做出推断。

关于码头吞吐量的定量预测这方面，主要是随着时间的推移，找出变化的规律，利用数学模型进行表示，然后根据模型预测。移动平均法、灰色系统方法、指数平滑法、季节性变化方法等都是这类方法。定性预测法主要是根据内陆地区的发展现状来进行预测，回归分析法、投入产出法和系统动力学的方法等是这类方法的一部分。

由于一些政策，例如国家经济技术开发区的建立，各级政府出台的一些对经济的刺激政策，地区发展转型等；还有一些关于心理和其他技术因素，这些因素往往是很难确定，无法进行量化，没有一定的数据支持，但是这些因素一直影响着集装箱码头吞吐量的预测。显然，集装箱码头吞吐量预测也不仅取决于直接相关的社会和经济指标。所以，仅仅考虑影响吞吐量预测的社会因素，很难得到高精度的预测结果。

集装箱吞吐量预测一般可以分为定性预测和定量预测，定性预测是利用以前的一些经验来判断指这些析预测，它依赖于专家的判断和经验分析。国内外主要的定性预测方法为“头脑风暴”和“德尔菲法”，“德尔菲法”是其中最主要的，它是世界上应用率最高的一种方法。该方法由该机构邀请的主要有各种专家提出不同意见，然后进行筛选的过程，定性预测方法在数据缺失的情况下会有较多的应用。

### 3.2 基于IOWA算子组合预测模型

基于诱导有序加权平均算子（简称 IOWA 算子）的组合预测模型。这种方法

是对单一的预测方法在每个点的取样，然后利用 IOWA 算子，按照一定程序进行拟合，主要是预测精度，并进行赋权。利用误差平方和为基准，创建一种组合模型。在实际操作过程中，有很多预测数据在是不可能提前知道的，所以说这种方法不能再不了解预测数量就进行预测。除此之外，诱导有序加权平均算子法的建立是基于误差平方和为基准，也就是说所有观测点所造成的误差，在不同的历史时期都是一样的，无法正确判断了观察点在不同历史时期对预测值到底会有多大的影响。

本文所选用的在弹性系数法，指数平滑法，基于灰色预测模型等五种预测方法分别对需要预测的数据进行预测，将这几种方法的预测值与实际值进行对比，选择其中与实际值误差最小的方法作为标准，求出其他几种方法与标准方法的偏差。这样就避免了基于诱导有序加权平均算子的组合预测模型应用时产生的问题。然后按照每个时段内，各种单项方法偏差绝对值和的平均值的大小，赋予权系数，建立了一个新的预测模型，并使用遗传算法来解决最优权重系数。

#### (1) IOWA 算子

定义 1

设  $(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_n, a_n \rangle)$  为  $n$  个二维数组，令：

$$IOWA_w(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_n, a_n \rangle) = \sum_{i=1}^n w_i a_{v-index(i)} \quad (3.1)$$

其中： $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  是与 IOWA 有关的加权向量，满足

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, v-index(i) \text{ 是 } v_1, v_2, \dots, v_n \text{ 中按照由大到小的}$$

顺序进行排列的，则称函数  $IOWA_w$  是由  $v_1, v_2, \dots, v_n$  所产生的  $n$  维诱导有序加权算术平均算子， $v_i$  称为  $a_i$  的诱导值。

#### (2) 基于诱导有序加权算术平均算子 (IOWA 算子) 组合预测模型

设  $\{x_t, t=1, 2, \dots, N\}$  是观测序列，可以有  $m$  中预测方法对其进行预测， $x_{it}$  表示第  $i$  种预测方法在第  $t$  时刻的预测值， $i=1, 2, \dots, m, t=1, 2, \dots, N$ 。设



$L = (l_1, l_2, \dots, l_m)^T$  表示一共  $m$  种单项预测，它们在组合预测中的加权系数，它满足  $\sum_{i=1}^m l_i = 1, l_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$ 。

定义 2

$$\text{令: } \hat{x}_t = \sum_{i=1}^m l_i x_{it}, \quad t = 1, 2, \dots, N \quad (3.2)$$

则称  $\hat{x}_t$  表示第  $t$  时刻传统的加权算术平均的组合预测值。

令:

$$a_{it} = \begin{cases} 1 - \left| \frac{(x_t - x_{it})}{x_t} \right|, & \text{当 } \left| \frac{(x_t - x_{it})}{x_t} \right| < 1 \\ 0, & \text{当 } \left| \frac{(x_t - x_{it})}{x_t} \right| \geq 1 \end{cases}$$

其中:  $i=1, 2, \dots, m; \quad t=1, 2, \dots, N$ 。

则其中的  $a_{it}$  表示第  $i$  种预测方法，在第  $t$  时刻的预测精度，由此可知  $a_{it} \in [0, 1]$ 。

定义 3

令:

$$IOWA_L(\langle a_{1t}, x_{1t} \rangle, \langle a_{2t}, x_{2t} \rangle, \dots, \langle a_{mt}, x_{mt} \rangle) = \sum_{i=1}^m l_i x_{a\text{-index}(it)} \quad (3.3)$$

则式 (3.3) 表示在  $t$  时刻，由预测精度较高的序列  $a_{1t}, a_{2t}, \dots, a_{mt}$  所确定的 IOWA 算子组合预测模型所预测的数值。其中式中 **a-index (it)** 表示精度的排序中第  $i$  个准确的所对应的精度值得下角标。

令  $e_{a\text{-index}(it)} = x_t - x_{a\text{-index}(it)}$  于是  $N$  期总的组合预测误差平方和  $S$  为:

$$S = \sum_{t=1}^N \left( x_t - \sum_{i=1}^m l_i x_{a\text{-index}(it)} \right)^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m l_i l_j \left( \sum_{y=1}^N e_{a\text{-index}(iy)} e_{a\text{-index}(jy)} \right) \quad (3.4)$$

下面的式子表示的是以误差平方和为准则的，基于 IOWA 算子的组合预测模型最优化模型。

$$\min L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m l_i \left( \sum_{n=y}^N -a e_{i(n)} e_{j(n)} \right)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m l_i = 1 \\ l_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (3.5)$$

### 3.3 基于改进的IOWA算子的组合预测模型

在进行研究过程中，预测数据以及实际数据是知道的，并且根据这些数据进行预测是相对比较准确的，不过实际预测过程中，不可能知道所预测期的实际值，也不能确定单项预测中哪一个是精度最高的，所以不能直接使用 3.2 节中的方法进行预测。此外，在类型 (3.4)，所有观测点所造成的误差在不同的历史时期都是一样的，没有反映出不同的观察点对预测值的影响程度。本文对此方法做以下改进。

本章第二节中的  $x_{it}$  的选择是利用弹性系数法，指数平滑法，基于灰色预测模型等五种预测方法分别对需要预测的时段进行简单预测，选择精度较高模型的预测值  $x_{jt}$  来代替  $x_{it}$ ，求出其他几种方法与精度最高的模型的偏差，赋予合适的权系数，即  $\alpha_t$ 。最后按照加权误差平方和准则，创建一个新的预测模型，求出最优权系数  $l_i$ ，所采用的方法为遗传算法。

其中，权系数  $\alpha_t$  取值过程是：依据每个时段，本文所选择的几个单项预测模型的偏差绝对值和的平均值大小进行取值的。

这样就产生了本文的改进方法：

$$IOWA_L(\langle a_{1t}, x_{1t} \rangle, \langle a_{2t}, x_{2t} \rangle, \dots, \langle a_{mt}, x_{mt} \rangle) = \sum_{i=1}^{m-1} l_i x_{a-index(it)} \quad (3.6)$$

$$\min S(L) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \left( x_{jt} - \sum_{i \neq j, i=1}^{m-1} l_i x_{a-index(it)} \right)^2$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^{m-1} l_i = 1 \\ l_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m-1 \end{cases} \quad (3.7)$$

$$\alpha_t = a \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m-1} |x_{jt} - x_{it}|, 0 < \alpha \leq 1, t = 1, 2 \dots N。$$

### 3.4 大窑湾集装箱码头吞吐量预测及评价

大连集装箱码头有限公司有限公司（以下简称 DCT），DCT 码头良好的自然条件、港口深度，常年不冻，地理位置相对优越，其腹地为丰富的经济资源东北和内蒙古，有一个巨大的经济和贸易发展潜力。由大连港集团和新加坡国际港务集团共同投资 40 亿元，中国股东股份的 51%，新加坡 49% 的股东的股份。DCT 在 1996 年 7 月 1 日建成营运。大连第一个专业化集装箱码头公司。

DCT 岸线总长度 1846 米，大连大窑湾第一阶段堆场面积为 585000 平方米，纵深 475 米，港口吞吐量的每年 230 万 TEU。到 2013 年底，DCT 共有 14 集的岸桥，场桥 41 个，拖车 45 辆。目前，DCT 主要停靠日本、韩国、朝鲜和其他东亚，东南亚航线和国内支线。2013 年，该公司操作箱量 2013 TEU，在整个大连港口吞吐量中占的 35%。

大窑湾集装箱码头作为渤海湾和东北经济区对外贸易的主要窗口，DCT 于 1998 年开业开通通往威海，烟台、龙口、丹东、锦州、营口、秦皇岛七个主要海运航线，包括利用火车从沈阳、长春、哈尔滨、通辽、延吉和满洲里等运到大窑湾的集装箱都需要在此进行装箱出海，可以吸纳东北腹地百分之九十以上的海运货物。据统计，2013 年大窑湾港货物吞吐量超过 135.95 万，2013 年大窑湾港历年吞吐量变化情况如图 3.1。

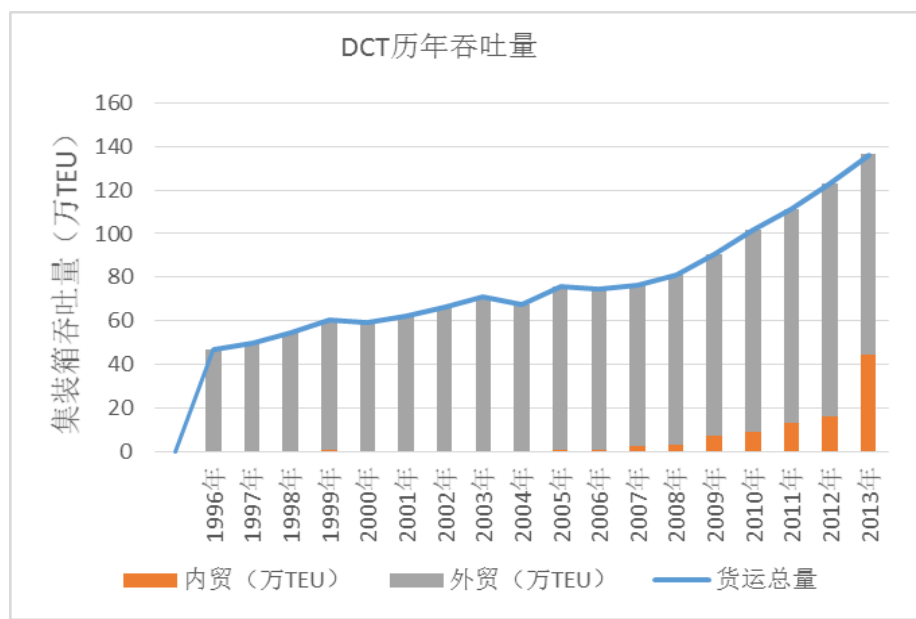


图 3.1 1996 年-2013 年大窑湾集装箱码头变化曲线  
Fig.3.1 DCT port container throughput curves in 1996-2013

表 3.1 为大窑湾集装箱码头 1996 年—2013 年货运内贸及外贸相关数据，本文根据 1996 年-2013 年的相关数据，预测 2010 年—2013 年该地区的货运总量，以验证本文所提方法的有效性。

表 3.1 1996-2013 年大窑湾物流货运量  
Table 3.1 The logistics freight volume of Dayaowan in 1996-2013

年份	货运总量 (万 TEU)	内贸 (万 TEU)	外贸 (万 TEU)
1996 年	49.7	0	49.7
1997 年	54.71	0.2	54.51
1998 年	60.51	1.2	59.31
1999 年	59.43	0.1	59.33
2000 年	62.28	0	62.28
2001 年	66.13	0	66.13
2002 年	71.16	0	71.16
2003 年	67.46	0.3	67.16
2004 年	75.61	1.1	74.51
2005 年	74.89	1.2	73.69
2006 年	76.48	2.8	73.68
2007 年	80.95	3.2	77.75
2008 年	90.79	7.4	83.39
2009 年	101.98	9.2	92.78
2010 年	111.05	13.3	97.75
2011 年	122.82	16.4	106.42
2012 年	135.95	44.7	91.95
2013 年	141.21	45	96.21

首先，分别采用弹性系数法，修正指数增长曲线法，指数平滑法，基于 IOWA 算子的组合预测等方法进行吞吐量预测，每一种方法都有自己的特殊性，预测结果如表 3.2 所示。

表 3.2 2013 年大窑湾集装箱码头物流货运量预测值  
Table 3.2 Dayaowan container terminal logistics freight volume forecast in 2013

	2010	2011	2012	2013
弹性系数	116.69	125.44	134.85	144.96
修正指数增长曲线法	106.71	111.66	116.85	122.30
指数平滑法	111.20	119.26	127.88	137.08
基于灰色预测模型预测	115.65	125.91	137.64	151.04
基于 IOWA 算子的组合预测	115.39	124.99	135.77	147.89
本文方法	114.64	122.99	131.96	141.60

利用 SPSS 软件对预测值进行估计和检验,利用选择预测误差平方和、均方误差、平均绝对误差、平均绝对百分比误差等评价指标对各种方法进行评价,预测效果如表 3.3 所示。

表 3.3 预测效果评价  
Table 3.3 Evaluation of prediction effect

	SSE	MSE	MAE	MAPE (%)
弹性系数	5396.9346	18.3658	32.785	1.54%
修正指数增长曲线法	86554.1104	73.5500	133.7753	5.45%
指数平滑法	9483.6322	24.3345	39.7578	1.81%
基于灰色预测模型预测	13033.322	28.5409	48.0219	2.14%
基于 IOWA 算子组合预测	4648.3536	17.0445	28.9247	1.31%
本文方法	2900.4532	13.464	20.2759	1.09%

表 3.3 中的:

$$SSE = \sum_{t=1}^N (x_t - \hat{x}_t)^2, MSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{t=1}^N (x_t - \hat{x}_t)^2},$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |x_t - \hat{x}_t|, MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{(x_t - \hat{x}_t)}{x_t} \right|$$

考虑各单一预测方法的预测精度，指数平滑法作为预测选择的标准，利用基于改进预测模型进行预测。权重系数  $\alpha = 0.8$ ，利用 Matlab 遗传算法工具箱计算最优权重  $I_i$ ，遗传算法是数据参数的部分如下：

```
Population type = 'Double Vector' ,
Population size = 20,
Creation function = 'Uniform';
Selection function = 'Stochastic uniform';
Crossover function = 'Scattered';
Crossover probability = 0.8;
Mutation function = 'Gaussian',
Scale = Shrink = 1.0;
```

经过 63 次迭代后，得  $I_1 = 0.673$ ， $I_2 = 0.271$ ， $I_3 = 0.056$ 。结果如表 3.2 和表 3.3 所示。从表 3.3 可以了解，本文提出的模型，不仅是各种的误差指标远低于单一预测模型，也低于改进之前的预测模型，表明这个组合预测方法在现代的应用中可以有效地提高预测精度。

根据规则和误差平方而建立的，未能反映出观察点在不同的历史时期，预测误差值的影响程度。

### 3.5 本章小结

本章利用简单模型中预测值相对较高的为标准，计算模型其余预测与他的偏差，取的权重系数，使用遗传算法来解决最优权重系数。预测大窑湾集装箱码头某一时段的吞吐量，各项误差指标低于任何单一预测模型，而且也低于改进前预测模型，所以就可以证明本文所提出的基于改进的 IOWA 算子组合预测模型，可以有效地提高对集装箱码头吞吐量的预测精度。但是本文没有过多的考虑季节性，周期性等因素对集装箱码头吞吐量预测的影响，而是在一个相对稳定的状态下进行研究的。

## 第4章 翻箱问题研究

在港口集装箱作业过程中，堆场是较为复杂的部分，堆场的资源调配效率很大程度上决定了码头的效率。因此，对港口堆场集装箱存取过程进行优化，加快装卸效率是非常必要的。集装箱装卸及堆存系统是决定集装箱泊位运作效率的关键因素。机械设备性能参数、堆场容量、堆码高度、堆存方式、堆场面积、港内货运站等直接影响堆场作业效率及泊位生产效率。翻箱作业是影响作业效率的重要因素，降低翻箱能减少翻箱时间、加快装船速度，有益于现在提倡多式联运的发展和加快货物中转、满足货主尽快收到货物的要求。同时，翻箱率降低可以减少翻箱作业成本。由于装载货物时考虑船舶的重心，沿途停靠港等因素，对出口箱有装载顺序要求。而出口箱早于船舶配载计划一星期左右进场，因此不可避免发生翻箱。翻箱可能发生在装船时，也可能发生在两艘船的装船间隙，对出口集装箱进行重新堆码，即整理性翻箱，以便加快装船速度。

本章以集装箱后方堆场为研究对象，分析了装船翻箱问题的产生原因，减少翻箱策略，提出一种减少集装箱码头的翻箱数学模型。

### 4.1 翻箱

#### 4.1.1 翻箱原因

由于提取的集装箱放在其它集装箱下面，为了将这个集装箱提取出来，就一定要把它上方的集装箱搬走，放到其它暂时堆放区域的一个过程称为翻箱。

正常情况下翻箱作业原因有：

（1）随机抽取进入堆场。一般重型箱要在装船前 3-5 天开始进场，先收取集装箱，然后再根据实际情况来确定需要装载哪条运输船上，以及船舶的装柜时间，这样在装船过程中就会出现集装箱提取顺序需要调整的情况，也就是翻箱。

（2）货主突然改变装卸计划。不能按照之前摆放顺序进行装载，导致翻箱作业。

（3）在接箱过程中，将不同重量级的集装箱混合的堆放在一起。因为重型集

集装箱的进场顺序是随机进行的，导致重箱轻箱混合摆放的情况。在船舶航行过程中，考虑到安全因素，需要降低船舶整体的重心，一般的操作是将重型的集装箱放在底层，这样就在装船的过程中需要进行翻箱作业。

(4) 重上轻下，远上近下原则。避免中途靠港后卸船产生的提箱作业。

(5) 进口重型集装箱从堆场提走的过程中，取货时间是根据顾客要求随机的，不可避免地产生翻箱。

#### 4.1.2 翻箱对效率影响

翻箱工作在堆场中对装船作业和提箱作业有很大的影响。减少集装箱码头船舶的停靠时间，促进港口的竞争力。翻箱量浪费时间，浪费金钱。如表 4.1 所示。

表 4.1 2013 年大窑湾集装箱码头各作业类型数据  
Table 4.1 The type data of Dayaowan container terminal operation in 2013

作业类型	自然箱/个	标准箱/TEU	占自然箱作业总量/%	占吞吐量/%
装卸船	520352	845818	53.56	100.00
进提箱	300670	488731	30.95	57.78
翻箱	73389	119292	7.55	14.10
内移箱	46455	75511	4.78	8.93
外移箱	30704	49909	3.16	5.90
合计	971570	1579261	100.00	186.71

以大窑湾集装箱码头 2013 年的数据计算，每月出货 100000 的自然箱集装箱码头，如果翻箱率 1.5%，每次翻箱成本为 50 元，一年可以降低的成本为：100000 自然箱/月 $\times$ 1.5% $\times$ 12 月 $\times$ 50 元/自然箱=120 万元。由此可见，减少翻箱率可以降低很大一部分管理费用。

除此之外，从时间上考虑，翻箱作业增加了许多无用时间，假设每次翻箱花费 2.5 分钟，按照表 4.1 的翻箱量进行计算，73389 年翻箱量，表示总共需要花费 2.5min $\times$ 73389=3058 小时=127 天无效作业时间。

因此，由以上计算可以看出无论从时间上还是经济上，翻箱作业都会增加集



装箱码头的成本。

### 4.1.3 降低翻箱率方法

#### (1) 装船翻箱的控制

1) 对堆场的布局和存取路线进行合理的安排，出口箱的摆放和进口箱的摆放等。

2) 在船舶配载图的基础上对货物装船的顺序进行调整，避免出现装船过程中的翻箱作业，从而影响装卸作业的时间。

3) 如果装箱过程中没有对中转箱的卸货地点和储存位置进行合理的安排，就会增加翻箱量

#### (2) 翻箱的控制

进口箱到达港口后，当正常操作应该是先卸下运输船装载的集装箱，然后再进行装船作业。但在实际操作中，堆场的利用率较高，追求卸船的速度，未对没有卸船的集装箱进行提前安排，就是对进口集装箱的摆放造成影响，场吊司机同样为了追求卸船速度而忽略了后来的提箱作业，就会大大增加堆场翻箱量。

## 4.2 码头堆场存箱的基本规则

进口箱存货规则有以下几种，如图 4.1-图 4.4 所示，图中数字代表码垛顺序。

(1) 垂直式原则也称列优先堆存。如图 4.1 所示：

4	8	12	16	20	
3	7	11	15	19	
2	6	10	14	18	
1	5	9	13	17	

图 4.1 垂直式原则示意图

Fig.4.1 Vertical principle diagram

(2) 平铺式原则。如图 4.2 所示：

13	14	15	16	17	18
7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6

图 4.2 平铺式原则示意图  
Fig.4.2 Flat principle diagram

(3) 阶梯式原则。如图 4.3 所示：

10	14	18			
6	9	13	17		
3	5	8	12	16	
1	2	4	7	11	15

图 4.3 阶梯式堆存示意图  
Fig.4.3 Stepped up schematic diagram

(4) 随机堆放原则，根据集卡司机习惯没有规则的进行摆放，出口集装箱由外面进场作业速度较快，但是没有一定的计划性，这种方法一般很少应用，如图 4.4 所示：

14	15	17			
8	7	13	18		
4	6	9	10	12	
1	2	5	3	11	16

图 4.4 随机堆放示意图  
Fig.4.4 Random stacking diagram

### 4.3 翻箱原则

出口集装箱在从堆场提走操作中，经常有翻箱操作，常见的翻箱原则是：

第一，贝内翻箱原则。在翻箱过程中，只有在同一贝，不转向其他贝，因为集装箱龙门吊装在集卡上，然后再由龙门吊将集卡上集装箱运到贝内，这样的操作浪费时间和资源，为了提高发箱的速度，所以尽量采用贝内翻箱的方法。

第二，就近翻箱的原则。在翻箱时，龙门起重机选择接近最短的堆栈进行放箱，以减少运动距离，如图4.5所示，假设现在要提4号箱，使用就近翻箱原则，就要将5号集装箱搬到7号箱的上面。

第三，最矮的原则。在翻箱过程中，为了使堆垛高度一致，要将影响翻箱的集装箱搬运到贝内最矮的那一列，如图4.5所示，如果要提4号箱，就要将5号箱搬运到8号箱的上面。

12	9	5		
11	6	4	10	
1	2	3	7	8

图 4.5 翻箱原则示意图

Fig.4.5 Box turnover principle diagram

### 4.4 集装箱堆场堆存模型

通常情况下，按照集装箱堆场管理的规则和操作的特点，出口类型集装箱的空间分布一般可以分为两个层次，一个是堆场特定的空间分配和分布，另一个是堆场内贝位的分配以及贝内集装箱的分配。本文主要研究贝内特定的空间分配问题，建立以最小化贝内翻箱数为目标的数学模型。

#### 4.4.1 堆垛时所要考虑的问题

(1) 轻下重上；

(2) 长途箱在上；

(3) 考虑到堆场里操作的难度，需要将最先装载的集装箱放在卡车的一侧。一般情况下，增加码垛高度，龙门吊需要将集装箱吊起垛的高度才能将同贝内集装箱跨过最高垛集装箱后落箱，如图 4.6 所示。

本文研究主要针对的是取箱操作过程，所以在实际操作过程中应该尽量使取箱操作过程简单化，在难度等级低的情况下进行，从而加快作业效率。

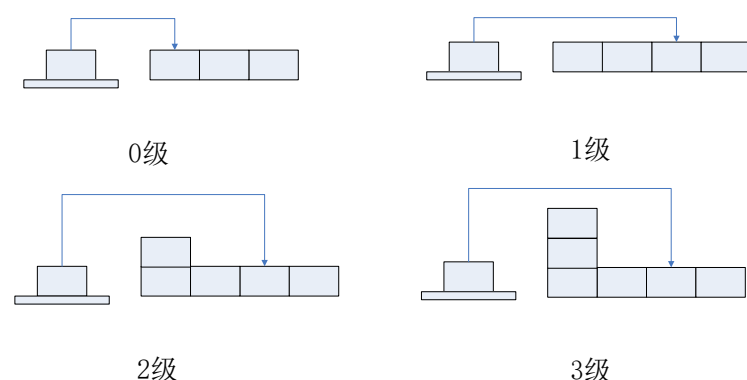


图 4.6 堆放作业难度级别分类

Fig4.6 Stack operation's difficulty level classification

#### 4.4.2 模型假设

一般情况下，模型假设主要有几个方面：

(1) 假设在集装箱码头堆场中，已经将箱的区段和区段内贝位分配好了，本文研究的是堆场具体贝内的集装箱位置分配方面的；

(2) 根据交箱的信息，所有集装箱的基本信息已经确定，包括箱重，目的港口等；

(3) 只在贝内进行翻箱作业操作，对于大窑湾集装箱码头现有  $5 \times 6$  贝位，正常情况下需留 4 个翻箱位；

(4) 假设所有准备分配的集装箱式同一类型的，本文忽略了在实际操作中类型相对较少的冷冻箱等。

### 4.5 大窑湾堆存数学模型建立与分析

(1) 数学模型建立

1) 关键的符号与变量表示：

J 表示为每个贝位里堆垛数；

K 表示为每个区段中贝位数；

I 表示为每个贝位中堆层数；

M 表示为大的正数值；

N 表示为计划码头堆场的总集装箱数；

$d_n$  表示为第  $n$  个集装箱的目的港；

$w_n$  表示为第  $n$  个集装箱承载等级；

$c_n$  表示为第  $n$  个集装箱属性值；

$v_k$  表示为第  $k$  个贝位承载量。

## 2) 决策变量

$S_{nkji}$  说明的是关于第  $k$  贝位中的  $j$  中  $i$  层箱位，能否被第  $n$  个集装箱所占据，用 1 表示已经分配，用 0 表示其他：

$$S_{nkji} = \begin{cases} 1 & \text{如果第 } n \text{ 个集装箱被分配到 } slot(k, j, i) \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中  $k=1, 2, \dots, K$ ;  $j=1, 2, \dots, J$ ;  $i=1, 2, \dots, n=1, 2, \dots, N$ 。

$R_{kj(i-z)}$  表示对方在  $slot(k, j, i)$  与  $slot(k, j, i-z)$  上的集装箱是否有翻箱：

$$R_{kj(i-z)} = \begin{cases} 1 & \text{如果集装箱 } a \text{ 堆放在 } slot(k, j, i) \text{ 上,} \\ & \text{且对 } slot(k, j, i-z) \text{ 的集装箱 } b \text{ 有: } c_a < c_b \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中  $k=1, 2, \dots, K$ ,  $j=1, 2, \dots, J$ ,  $i=2, 3, \dots, I$ ,  $z=1, 2, \dots, i-1$ 。

## (3) 模型建立

最小化贝内的翻箱数，是箱位分配问题的目标。

目标函数：

$$P = \min \sum_{j=1}^J \sum_{i=2}^I \sum_{z=1}^{i-1} R_{kj(i-z)} \quad (4.1)$$

约束条件：

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N S_{nkji} \leq V_k \quad (4.2)$$

其中  $k=1, 2, \dots, K$ 。

$$\sum_{n=1}^N S_{nkji} \leq \sum_{n=1}^N S_{nkj(i-1)} \quad (4.3)$$

其中  $i=2, 3, \dots, I$ ;  $j=1, 2, \dots, J$ ;  $k=1, 2, \dots, K$ 。

$$\sum_{n=1}^N n \cdot S_{nkji} + \left(1 - \sum_{n=1}^N S_{nkji}\right) \cdot M > \sum_{n=1}^N n \cdot S_{nkj(i-1)} \quad (4.4)$$

其中  $i=2, 3, \dots, I$ ;  $j=1, 2, \dots, J$ ;  $k=1, 2, \dots, K$ 。

约束条件 (4.2) 表示以确保容器的数量不能比其所承载的能量大;

约束条件 (4.3) 表示如果是关于第 2 层集装箱其下面也要摆放相应的集装箱;

约束条件 (4.4) 表示以确保第二层以上的集装箱进场的顺序号要大于它所对应下方的进场序列号。

本文主要运用启发式来计算表示。主要操作方法可以看作成一个二维坐标系, 其纵向说明给集装箱 2 个整数, 其横向说明达到堆场的顺序, 也就是所谓的集装箱属性  $c_n$ 。各个组的集装箱在坐标系上都有唯一的点与之对应。

将目的港  $d_n$  与重量等级  $w_n$  此主要参数都可以确定现场采纳的集装箱。全文明确了六个重量等级级别, 用 1-6 六个数字表述,  $w_n=1, 2, \dots, 6$ 。这里, 由此得知, 对于级别划分越清晰, 则说明优化能力越强, 倘若划分太细会导致没有足够的面积摆放集装箱。在一条航线中, 按照停靠顺序将港口进行编号, 主要采取计算航线分为七个挂靠港,  $d_n=1, 2, \dots, 7$ 。如果各集装箱都会获得代表港口的和代表重量级的两个整数。

假如设重量等级为  $w_n$  ( $w_n=1, 2, \dots, 6$ ), 集装箱  $n$  目的港为  $d_n$  ( $d_n=1, 2, \dots, 7$ ), 那么说明  $c_n=(d_n, w_n, x_n, y_n)$ 。这里面,  $y_n$  表示集装箱  $n$  在直角坐标系中的纵坐标,  $x_n$  说明集装箱  $n$  在直角坐标系中的横向值的大小。最后生成的堆垛图一定要同时满足式 (4.5) 和 (4.6)。

$$\begin{cases} x_n < x_{n+l} \\ y_n = y_{n+l} \end{cases} \text{ 时, } d_n \geq d_{(n+l)} \quad (4.5)$$

$$\begin{cases} x_n = x_{n+l} \\ y_n < y_{n+l} \end{cases} \text{ 时, } w_n \leq w_{n+l} \quad (4.6)$$

其中,  $l=1, 2, \dots, N-1$ 。

大窑湾码头堆场, 每贝由六排五层共三十个位置组成, 堆垛数量  $J=6$ , 堆层数量  $I=5$ , 可知  $V_K=30$ 。堆垛 5 层时, 要留出 4 个位置用来作为必要时的倒箱, 每贝最多能装 26 个集装箱, 即  $N=26$ 。

算法的具体步骤为:

首先, 在顺序数列中选择第一个数据, 这个数据在坐标系的最左下角, 第二个点的选择放在第一个点的右上方。再将这条线的新端点作为起始点重复以上动作, 一直到不满足条件为止, 这样就会得到折线一;

其次, 从剩下的点中, 选取最左面之间的点, 反复操作此步骤, 则可计算出折线二;

然后, 再重复操作以上办法, 计算出 1 组折线, 可以让全部点都安排在这组折线中。

以大窑湾港的东亚航线为例, 依次停靠的港口为: 大窑湾—清水—釜山—连云港—名古屋—香港—横滨。入场集装箱重为 6 个等级。

假设随机到达的集装箱序列为{13, 25, 16, 42, 34, 32, 54, 64, 23, 42, 51, 26, 35, 51, 14, 63, 45, 22, 64, 52, 34, 26, 34, 54, 63, 65};

遵循本文提出的算法, 可以得到的折线如下图 4.7。

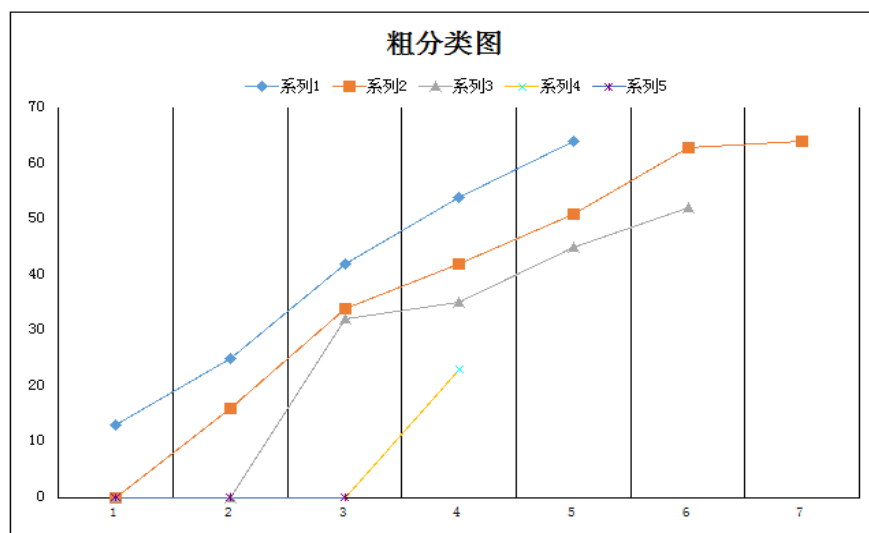


图 4.7 粗分类图  
Fig 4.7 Rough classification

根据折线知道集装箱最初始状态见图 4.8。

	65 (26)				
	64 (19)				
	63 (16)	63 (25)			
64 (8)	51 (14)	54 (24)			
54 (7)	51 (11)	52 (20)	34 (23)		
42 (4)	42 (10)	45 (17)	34 (21)	26 (22)	
25 (2)	34 (5)	35 (13)	26 (12)	22 (18)	
13 (1)	16 (3)	32 (6)	23 (9)	14 (15)	No

图 4.8 粗分类图（初始状态）

Fig 4.8 Rough classification

关于整个括号数字表示集装箱到场的顺序，由此图可以看出，第二列和第三列属于超长列；第一列、第四列和第五列适中；第六列属于超短列。

将超高列下面超过 4 个的箱子按顺序分别与短列堆成一列，进行第一步修正后得到图 4.9 形式。

		63 (25)			
64 (8)	65 (26)	54 (24)	34 (23)	26 (22)	
54 (7)	64 (19)	52 (20)	34 (21)	22 (18)	
42 (4)	63 (16)	45 (17)	26 (12)	14 (15)	
25 (2)	51 (14)	35 (13)	23 (9)	42 (10)	
13 (1)	51 (11)	32 (6)	16 (3)	34 (5)	No

图 4.9 第一步修正图

Fig 4.9 The first correction

依据以上方法，对排列图在进行一次修正，第三列为较高列，将第三列最下面的集装箱移到第六列得到最终修正后结果如图 4.10 所示。



64 (8)	65 (26)	63 (25)	34 (23)	26 (22)	
54 (7)	64 (19)	54 (24)	34 (21)	22 (18)	
42 (4)	63 (16)	52 (20)	26 (12)	14 (15)	
25 (2)	51 (14)	45 (17)	23 (9)	42 (10)	
13 (1)	51 (11)	35 (13)	16 (3)	34 (5)	32 (6)

图 4.10 最后修正图  
Fig .4.10 The last correction

最终结果，也就是集装箱入场的堆存计划。事实表明，遵循此码垛计划进行操作，从而更好地保证装船作业的顺利进行。

#### 4.6 本章小结

本章是以在集装箱码头出口箱码垛过程中减少翻箱数提高装船效率为目标，对在堆场中的出口箱制定码垛方案，为了研究方便，本文忽略进口箱与出口箱的类型。不用考虑进口箱进出场对场区箱位的影响。最终经过多次修正后得到最后最优的码垛方案。



## 第 5 章 基于串联排队网络思想的码头系统建模与仿真

### 5.1 关于排队论概述

排队论是通过对服务对象的到来及服务时间的统计研究服务规律的，在现代科技技术中有着广泛的应用，例如交通系统（交通信号灯等），生产管理系统，生物工程以及航天科技等领域都有所应用。

排队论主要有两部分研究内容：一是系统优化问题，设计最优的排队系统；统计分析预测，建立有关模型；二是系统的状态，就是与排队相关的概率规律性。

#### 5.1.1 排队过程

排队论的一般模型：顾客到达、排队等待、接受服务和离去，其过程如图 5.1 所示。

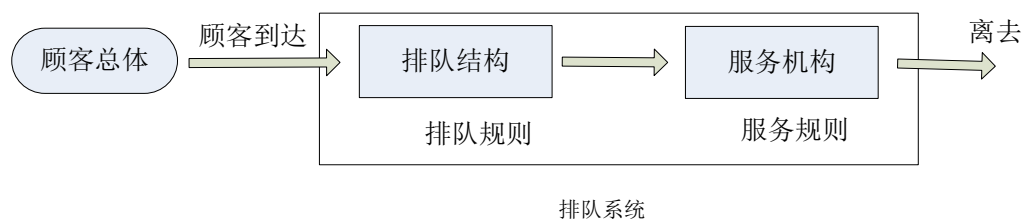


图 5.1 一般排队过程的模型  
Fig.5.1 General model of queuing process

#### 5.1.2 排队系统的组成和特征

排队系统包括：输入过程、排队规则服务，排队系统三个基本部分。

（1）输入过程

输入过程是指客户以及客户的来源是通过什么样的模式到达队列系统。

（2）排队规则

排队规则通过何种方式让顾客接受服务。通常可分为损失制等三种类型。

（3）服务机构

服务包括以下几部分：服务台是一个服务台或多个服务台；服务时间是固定还是随机的。

### 5.1.3 排队模型的分类

输入过程、服务规则等 6 个主要特性所决定了排队模型：。可以表示为如下：

$$X/Y/Z/A/B/C$$

X 表示为客户到达间隔的时间；

Y 表示为服务时间分布；

Z 表示为服务台数；

A 表示为系统数量限制；

B 表示为客户源数；

C 表示为服务操作办法。

### 5.1.4 描述排队系统的数量指标

解决排队问题时，要判断系统的优势首先要确定排队系统数量指标。定量指标主要包括：

(1) 平均队长（记为  $L_s$ ）：是指客户的平均数量；

(2) 等待队长（记为  $L_q$ ）：是指系统中客户的平均排队人数；

(3) 平均等待时间（记为  $W_q$ ）：是指客户从系统外部输入系统，在系统内部准备接收系统的服务的时刻开始，到接受完服务输出系统停止的平均时间；

(4) 平均停留时间（记为  $W_s$ ）：是指客户在输入系统后，系统没有及时为客户服务，造成客户等待，客户等待的时间和服务时间之和；

(5) 忙期：排队系统始终保持繁忙的时间长度；

(6) 服务强度（记为  $\rho$ ）：服务设施服务客户时间和总服务时间比例。

## 5.2 串联排队网络

对于很多单级队列的系统可以组合成多种网络，而各个子系统都有内部的输入操作办法、适宜的机构服务部门以及排队规则。Sanjay K.Boes 曾经解释排队网络：客户从一个队列移动到另一个队列，队列网络是连接不同的队列。相对于单级排队系统相比较，而多级排队似乎呈现地更加实际，更好地阐明了当目前集装

箱码头的内部物流网络。

相对于多级串联排队网络，串联形式更加便捷、单一，其中存在  $N$  个节点一起串联起来，各节点可以看成为  $M/M/c$  的子系统，而对于其服务台的数量为  $S_i$ 。

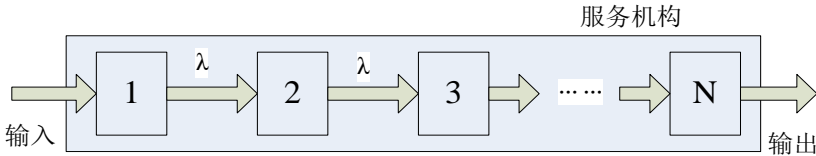


图 5.2  $N$  级串联排队网络系统  
Figure 5.2  $N$  Ranks of Tandem Queuing Network

每个节点输入都服从  $\lambda$  泊松流，它们之间是相对独立的，互不影响。其关系如图 5.1 所示。

表 5.1 分布关系  
Table 5.1 Distribution relationship

序号	名称	状态
1	顾客从外面到达串联排队网络的到达分布	等于 2
2	顾客离开第 1 级的离开分布	等于 3
3	顾客到达第 2 级的到达分布	等于 4
4	顾客离开第 2 级的离开分布	等于 5
5	顾客离开节点 $N-1$ 的离开分布	等于 6
6	顾客到达节点 $N$ 的到达分布	等于 7
7	参数为 $\lambda$ 的泊松分布	

根据客户的到达网络与顾客的各节点的关系图可以看出，对于  $M/M/C$  单级的多级服务系统可以按照指标进行操作。 $M/M/C$  就是假设系统内有  $n$  个服务窗口，而  $\lambda$  泊松流表示为客户已经到达系统的强度，可表示为：

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}$$

客户到达系统间隔时间一定要遵循  $\mu$  的负指数排列。  
其主要性能指标如下：

系统符合水平和强度  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ ；

$P$  表示为客户数是  $n$  的概率：

$$P_{i(n_i)} = \begin{cases} \frac{1}{n_i!} \left(\frac{\lambda}{\mu_i}\right)^{n_i} P_{i(0)}(n_i \leq c_i) \\ \frac{1}{c_i! c^{n_i - c_i}} \left(\frac{\lambda}{\mu_i}\right)^{n_i} P_{i(0)}(n_i \geq c_i) \end{cases}$$

而等待平均排队长度的系统:

$$C(n, \rho) = \frac{np_n}{n - \rho}$$

系统均值  $L_s$ :

$$L_s = L_q + c \cdot \rho$$

客户在执行操作的逗留等待时间均值为:

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda}$$

在串联网中:

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i$$

当  $\rho < 1$  时, 整个系统是稳定的状态, 在这样的状态下, 本系统的联合分布概

率是:  $p(n_1, \dots, n_k) = \prod_{i=1}^k p_i(n_i)$

$$P_{i(n_i)} = \begin{cases} \frac{1}{n_i!} \left(\frac{\lambda}{\mu_i}\right)^{n_i} P_{i(0)}(n_i \leq c_i) \\ \frac{1}{c_i! c^{n_i - c_i}} \left(\frac{\lambda}{\mu_i}\right)^{n_i} P_{i(0)}(n_i \geq c_i) \end{cases}$$

### 5.3 集装箱码头排队网络系统分析

#### 5.3.1 集装箱码头串联排队网络的研究内容

在现代集装箱码头排队系统里, 排队系统的优化问题作为主要的研究方向。在码头装卸服务和船的到港出港的系统:

- (1) 确定什么数学模型满足该系统;
- (2) 参考模型考虑的概率稳定的运行规律和系统的指标。码头“忙期”分布;

(3) 确定合理的调度和码头配备机械设备。

### 5.3.2 集装箱码头串联排队网络模型的特点

集装箱码头串联排队网络模型主要有以下几个特点：

第一，在本文中的串联排队网络所包含的节点一般有集卡、桥吊以及龙门吊节点这几种；

第二，对于桥吊节点的服务数量为 1；

第三，顾客是进口集装箱和出口集装箱两种类型；

第四，出口集装箱进场和进口集装箱出场操作在串联排队网络被忽略。

本章在堆场确定龙门起重机服务台的个数，总等于码头龙门起重机的总数。因为，在堆场里确定了特定位置摆放特定的集装箱，同时在一个集装箱区域内最多安排 2-3 套龙门起重机，集装箱到达指定的仓区域，应根据具体情况确定为其服务的龙门吊数量。龙门起重机服务台服务速率是龙门起重机装卸效率。

### 5.3.3 集装箱码头串联排队网络模型的确定

现在例如大窑湾集装箱码头，对于其机械性能，如今高科技管理都比较成熟，引进的投资资本并不能带来高回报率，因而，如今使得集装箱码头进行作业效率的关键缘由是来自于当代技术分配操作不当，或者调度方式不够合理。在整个过程中，通常状态下，对于码头作业效率的重点集中于水平运输方面，只有不断提高作业的工作效率，才能确保运输问题的顺利进行。

由泊位、桥吊、集卡和龙门吊组成了网络节点构成集装箱码头 3 个子系统主要要素。所以如果准备提高集装箱码头的作业效率，不仅仅要提高每个节点的作业效率，而是要提高整个系统的协调性。集装箱码头几个物流节点配置之间的相互关系如图 5.3 所示：

- (1) 泊位物流节点的配置是由集装箱船舶的积载和类型等各种因素影响的；
- (2) 桥吊节点的任务分配与配置是由泊位节点配置影响的；
- (3) 对于龙门吊节点与集卡节的配置通常情况下是受桥吊制约；
- (4) 对于堆场节点配置通常情况下是受龙门吊节点与集卡节制约；
- (5) 对于堆场节点配置一般情况下与桥吊节点、泊位节点等相互作用，相互影响。

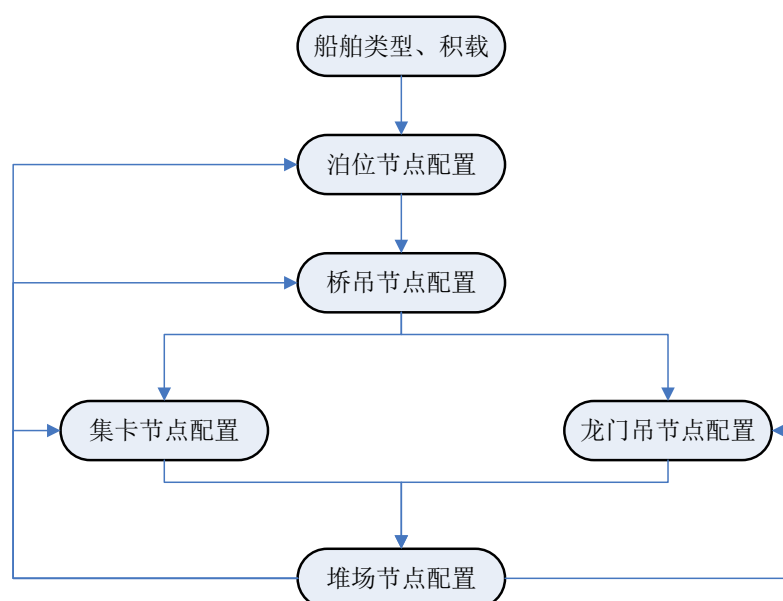


图 5.3 集装箱码头物流节点配置关系图  
Fig5.3 Node Configure of Container Terminals System

### 5.3.4 集装箱码头串联排队网络多节点配置分析

多个单极排队子系统组成了集装箱码头物流网络的作业层面，集装箱在各个节点之间的流动就各个节点之间形成了排队网络。

根据作业线生产方式，建立了串联排队网络解析模型。所谓的作业线生产方式是指装箱码头为到达港口的船舶在准备装卸设备的时候作业的生产方式，主要是依据船舶箱数量多少来为船舶调拨桥吊，通常情况下一个桥吊就是一条生产线，一条生产线配备一个集卡，当固定了集卡和生产线后，集卡就可以安装到生长线的集装箱里，这种配置是固定的，一对一的匹配，不可以用于其他的集装箱，所以，作业线生产方式的集装箱串联排队网络结构如图 5.4 和图 5.5 所示。



图 5.4 “作业线”方式进口作业串联排队网络示意图  
Fig.5.4 Import Container Terminals System of Tandem Open Queuing Network



图 5.5 “作业线”方式出口作业串联排队网络示意图  
Fig.5.5 Export Container Terminals System of Tandem Open Queuing Network



## 5.4 基于witness集装箱码头建模与仿真

### 5.4.1 模型的建立

码头的桥式起重机通常是预定好的准备为在船上集装箱服务，船随机变化，桥式起重机节点服务台数量将会改变，服务速率就是门式起重机的装卸效率。

桥式起重机只有在存储了集卡的时候才能作业，倘若系统并无设置集卡，吊桥就会处于待机状态下，等待集卡，只有集装箱到达了桥起重机节点，集装箱离开节点开始工作，通常因为其他因素的变化会影响流程的变化。当集装箱到达起重机节点时分布不能够独立，这个时候集卡的匹配就不是一对一的，这个时候一个集卡就会为多台起重机服务，集卡从岸边到达目的地的用时就是该集卡节点的服务用时。每个集卡的服务时间都是彼此孤立的。

服务台系统开始工作，龙门起重机启动服务时间是龙门起重机吊箱时间。许多因素可以改变龙门起重机箱时间，服务时间是独立于每个龙门起重机。本文对集装箱码头现有的作业流程进行仿真过程中主要应用的就是开环串联多级排队网络，在进口集装箱装卸过程中，首先集装箱通过桥吊装载到集卡上，通过集卡的运输将集装箱运到龙门吊下，再由龙门吊将集装箱摆放到堆场上事先安排好的位置。

这篇文章依据集装箱码头网络排队的结构系统，建立系统模型仿真，运用witness系统进行实践操作，汇总统计性指标。

机械化装卸过程是高效的集装箱码头操作的基础。为了提高港口集装箱运输效率，在对集装箱码头调动、集卡和起重机的数量上进行有效协调和配置，这种协调的效果直接影响运输的速度和工作效率，所以说合理的配置对工作流程的顺畅和工作效率的提高是非常关键的步骤。

### 5.4.2 基本参数设置

本章设计进口集装箱与出口集装箱在网络节点和节点之间的连接方式是一样的，不同的是进口集装箱开始服务节点是桥吊节点，结束服务节点是龙门吊节点，而出口集装箱正好相反，桥吊节点是结束服务的节点，龙门吊节点为开始接受服务的节点，除此之外，龙门吊节点服务时间也不相同。所以可认为网络只有一种类型的顾客（集装箱）。

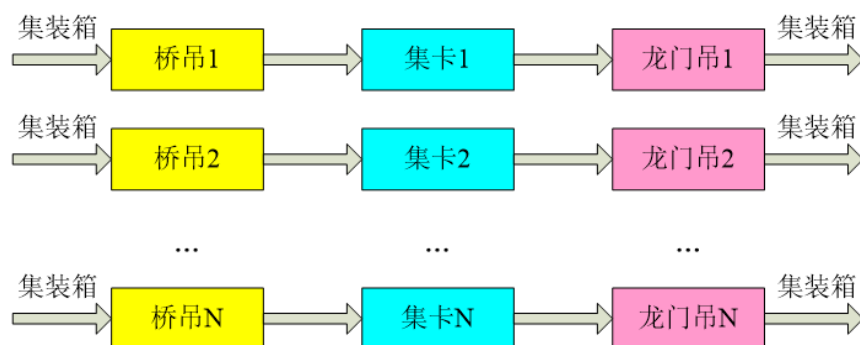


图 5.6 作业线方式集装箱码头串联开排队网络示意图  
Fig.5.6 Container Terminals System of Tandem Open Queuing Network

集卡达到岸桥服务中心，岸桥空闲不一定能直接接受服务，是根据集装箱码头提前收到的船舶的相关资料进行配备，如果其中一辆集卡匹配后，这辆集卡就只负责这一条作业线的作业，如果作业线空闲，则可以直接将集装箱装载到集卡上，如果作业线中有其他集卡正在进行装载作业，则本集卡进入系统等待，也就是进入等待队列。

### 5.4.3 witness模拟过程

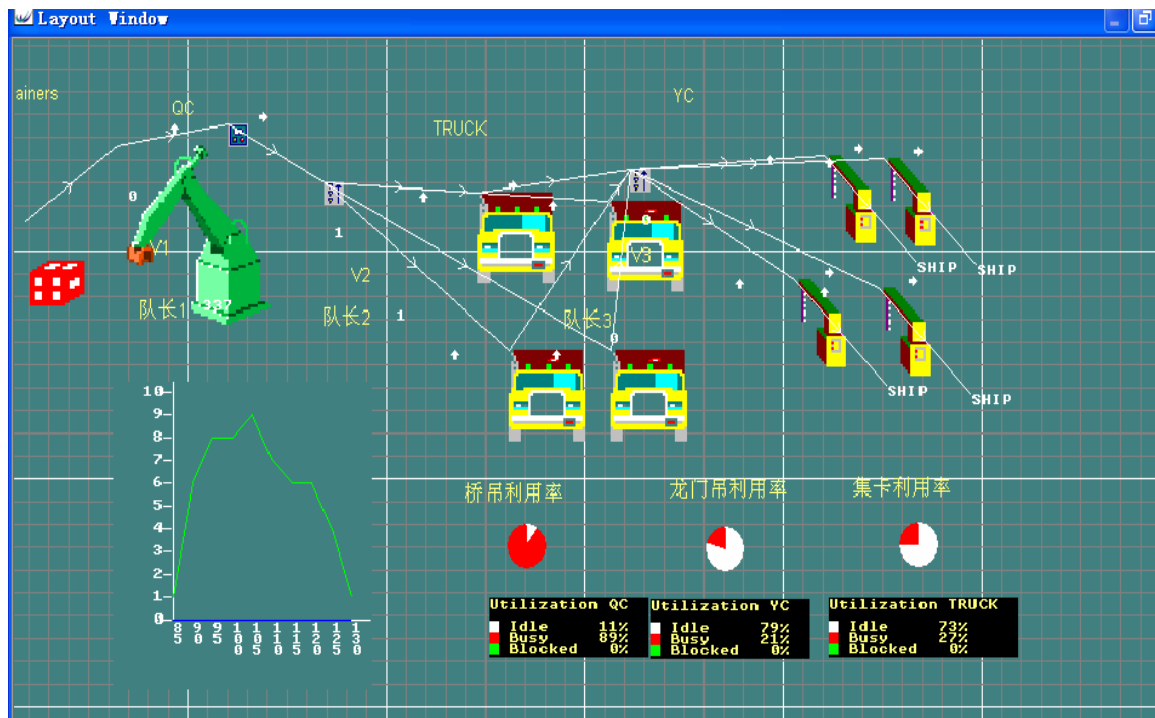


图 5.7 集装箱码头机械配置仿真模型  
Fig.5.7 Simulation model of mechanism configuration of container terminal

在对本文创建的模型进行系统仿真的操作过程中，集装箱主动进入系统，到

达吊桥节点服从泊松分布；如图，其中1.7表示集装箱在岸边每隔1.7分钟的卸下一个船，再利用集卡将集装箱拖运到堆场进行码垛；在仿真中集卡服从ERLANG(2.0, 2, 2)的二阶爱尔兰分布。实验仿真时间设定为2个月（60天）。

通常情形下，一台岸桥配备4到5辆集卡。配置集卡要满足系统内部运输的要求，保证发挥其岸桥能力。在码头前场运输船泊位前，一般根据集装箱数量的不同配备不同数量的龙门吊，平均每个区配备1.5台，集装箱运输船的大小各不相同，装载量也就不相同，通常情况下一条船会占用1-3个区左右，这样计算，每一条线应当配备1.5到4.5台龙门吊。

这篇文章选择从桥吊：集卡：龙门吊配置为如表5.2的四种比例来对各个指标进行分析，再从设备平均需要等待时间和利用率来进行评价，选定出最为合适的配置，从而提高集装箱码头的工作效率。

表 5.2 码头机械数量配比  
Table 5.2 Number of Container Terminals Mechanism Configuration

桥吊：集卡：龙 门吊	桥吊利用 率	集卡利用 率	龙门吊利 率	Buffers01	Buffers02	Buffers03
(1: 4: 4)	85%	25%	19%	211455	77	28
(1: 5: 5)	85%	20%	15%	202103	4	2
(1: 5: 4)	83%	20%	19%	215442	4	42
(1: 4: 5)	84%	25%	15%	206365	87	0

5.4.4 试验结果分析

本章利用串联排队论网络理论知识对集装箱码头进行分析，主要研究针对集装箱码头机械设备的利用率和不同种类设备前排队长度等方面，对码头的机械设  
备配置分析，通过仿真可以观察到不同比例时，各种设备的利用率及排队长度，  
通过客观的分析选择1: 5: 5的为最佳配置，设备利用率较高，排队长度相对较短，  
不过从装卸设备维修和保养的方面来讲，不但要保证桥吊、集卡、龙门吊的利用  
率在一个合理的高水平，但是不可以过高。所以合理的配备设备的数量，是在码  
头吞吐量确定的情况下解决的最好办法。

## 5.5 本章小结

本章重点论述了集装箱码头系统的排队网络理论，介绍了相关的各种排队论的概念，并利用串联开排队网络理论对集装箱码头系统进行分析。在固定的调度原则下，解决原有集装箱码头的设备数量配置合理性。并在简化操作系统后对本文提出的模型进行仿真，仿真结果在实际的港口规划设计和调度可以进行参考。

## 第 6 章 结论与展望

### 6.1 全文总结

本文较为全面地探讨了影响港口堆场作业效率的几个主要因素。首先是对集装箱的吞吐量预测的问题；其次是集装箱码头堆场码垛过程中产生过多的翻箱作业问题；最后，利用串联排队网络思想，对大窑湾集装箱码头系统资源配置问题进行优化。在此期间，做了一下几方面工作：

（1）对集装箱码头吞吐量预测模型进行分析与比较，提出一种改进的基于 IOWA 算子的组合预测模型，并利用大窑湾集装箱码头历年的吞吐量来验证模型有效地提高了预测精度。

（2）讲解集装箱码头堆场码垛理论，分析过多翻箱的情况，提出解决办法，目前码垛使用三种方法特点和计算翻箱量的方法。本文考虑码垛的位置选择是从取箱难度的方面来研究的，建立衡量取箱难度的叠压度函数，建立了码箱优化模型考虑了码放紧凑程度等。利用 MATLAB 随机选取一组数据，采用码垛优化后的模型和传统的阶梯式等码垛方式对集装箱码放，然后，模拟装船提箱的过程，针对四种码垛方式进行对比，得出最优的码垛数学模型。

（3）了解串联网络系统模型的基本理论，具体的学习了集装箱码头排队网络模型有关的各类排队模型。创建了基于串联排队网络的集装箱码头仿真模型。以大窑湾集装箱码头的历史营运数据为基础，在对集装箱码头作业系统进行合理的简化以后，根据本文提出合理的方案进行建模，并利用 WITNESS 进行仿真试验。该试验有效证明了本文提出的方法的有效性，对集装箱码头装卸设备的调度有很大的借鉴。

### 6.2 研究展望

本文在集装箱码头的各种优化及改善条件下取得了一定的成绩，但是任何研究都是有局限性的，下面对存在的一些局限问题作出解析。具体问题如下：

（1）在集装箱吞吐量预测问题上，本文没有过多的考虑季节性，周期性等因素对集装箱码头吞吐量预测的影响，而是在一个相对稳定的状态下进行研究。有待于进一步的优化。

（2）该论文采集的数据是通过随机抽取的，存在着一定的随意性，这样每个数据出现的概率只能做到大致相同。其实数字出现的机率应该选取现场的实际数值而不是利用软件随机抽取的，有待进一步研究。与此同时，这篇论文在实践时主要考虑了码箱和取箱时操作遇到的困难，对实操进行了模拟实践和流程化精简，在时间计算上忽略了龙门吊移动时间和升降机起落时间，这也是存在的不足之处。

（3）在论文研究中对桥吊、集卡和龙门吊在数量上采取优化的模式，使多条生产线共同使用全部集卡，做到集卡和桥吊、龙门可以公用集卡，一次来降低等待时间提高工作效率，这种共用集卡的研究突破了我国传统的作业模式，极大地提高了生产效率。

## 参考文献

- [1] <http://www.moc.gov.cn/zhinengbm/ghs/5.htm>.
- [2] 王玉荣. 商务预测方法[J]. 对外经济贸易大学出版社, 2003.9(3):380-385.
- [3] 黄顺泉. 关于港口吞吐量预测方法选择的探讨[J]. 集装箱化, 2013,9(1):38-45.
- [4] 张明香, 张婕妹. 基于三次指数平滑的青岛港集装箱吞吐量预测[J]. 集装箱化, 2009.7(4): 37-39.
- [5] 邓聚龙. 灰预测基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2012.2:218-238.
- [6] 郭原, 潘惠英. 一类非等间隔序列灰色建模方法的改进[J]. 环境监测管理与技术, 2010,4:31-33.
- [7] Shen Hangshi & Chang Weiche. Optimization of GM (1,1) modeling[J]. The Journal of Gery System, 2010, 12: 31-41.
- [8] Jiang Chuanwen, Hou Zhijian & Zhang Yongchuan. Chaos analysis of the gery forecasting model[J]. The Journal of Gery System, 2010, 12:4-6.
- [9] 李贵云, 李清福, 赵国藩. 灰色 GM (1,1) 模型的改进[J]. 系统工程, 2012,5:27-31.
- [10] 刘洪. 经济系统预测的混沌理论原理与方法[J]. 科学技术出版社, 2011,12 (8):19-23.
- [11] 徐寅峰, 汪应洛. 混沌与经济预测[J]. 预测, 2013,12(3):40-41.
- [12] Tong H. Chaos and Forecasting Singapore[J]. World Scientific, 2010, 8(3):41-45.
- [13] Gordou TJ, GreenSpan O. Chaos and Fractals. New Tool for Technological and Social Forecasting[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2013,12 (6):19-23.
- [14] Mohsen Attaran. An enabler of supply chain operations[M]. Supply Chain Management: An International Journal, 2007:249-257.
- [15] 张艳, 韩晖. 降低集装箱码头堆场翻箱率[J]. 集装箱化, 2008, 19(4):8-9.
- [16] Zhao Dan. Review and Analysis on Institutional Management for Global Ports[J]. JOURNAL OF NINGBO UNIVERSITY, 2006.3(2):36-46.
- [17] E.mcdowill, gmartind.cho, west. As tudy of maritime container handling Oregon state university. [J] Sea grant college program ads Coregon. 2011.2(2):3-6.
- [18] Bernardo de Castillo, Carlos F. Daganzo. Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals [J]. Transportation Research B, 1993,27(2):151-166.
- [19] Kap Hwan Kim, Gyu-Pyo Hong. A heuristic rule for relocating blocks[J]. Computers and Operations Research (50305-0548) 2006,33(4):940-954.
- [20] Kim KH, Park YM, Ryu K R. Deriving decision rules to locate export containers in container yards [J]. European Journal of Operational Research. 2000 (124): 89-101.
- [21] Kap Hwan Kim, Jong Wook Bae. Re-Marshaling Export Containers in Port Container Terminals[J]. Computers and Industrial Engineering. 2008,35 (3-4):655-658.
- [22] 江南, 王金红, 梁建平. 集装箱箱号模糊查询方法[J]. 铁道学报, 2008 30(2): 78-82.
- [23] Peter Preston, Erhan Kozan. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals[J]. Computers & Operations Research. 2013,27(1):13-32.
- [24] 谢颖. 港口集装箱堆场码垛优化模型及算法[J]. 中南大学学报, 2011 30(2): 78-119.
- [25] 郝聚民, 纪卓尚, 林焰. 混合顺序作业堆场 BAY 优化模型[J]. 大连理工大学学报, 2000, 40(1): 102-105.
- [26] 沈剑峰, 金淳, 高鹏. 基于知识的集装箱堆场箱位分配计划研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(9): 153-154.
- [27] 杨淑芹, 张运杰, 王志强. 集装箱堆场问题的一个数学模型及其算法(英文)[J]. 大连海事大学学报, 2002, 4(6): 120-122.
- [28] 陈庆伟, 王继荣. 集装箱堆场出口箱堆存模型及其算法[J]. 物流科技, 2007,31(7): 112-114
- [29] 高鹏, 金淳, 韩庆平. 提箱作业优化问题的嵌套启发式算法[J]. 系统管理学

- 报,2008,4(17):203-209
- [30]彭传圣.集装箱码头前沿设备配置数量研究[J]. 集装箱化,2005,12(7):23-27.
- [31] Z. Radmilovic, V Colic, Zlatkohlre. Some aspects of storage and bulk queuing systems in transport operations[J]. Transportation Planning and Technology,2010,2(1):67-81.
- [32] E. Kozan. Comparison of analytical and simulation planning models of seaport container terminals[J]. Transportation Planning and Technology, 2007,20(3):235-248.
- [33] M.Nori take, S. Kimura. Optimum allocation and size of seaports[J].Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering,2010,17(2): 287-299.
- [34] Etsuko Nishimura, Akio Imai. Berth Allocation Planning in the Public Berth System by Genetic Algorithm[J]. European Journal of Operational Research,2001,23(7) :282-292.
- [35] Akio Imai. The Dynamic Berth Allocation Problem for a Container Port[J].Transportation Research Part B, 2001,16(3): 401-417.
- [36] Peterkofsky, R.I.. Daganzo. C.F., A Branch-and-bound Solution Method for the Crane Scheduling Problem[J].Transportation Research,2010,20(3):159-172.
- [37] Edmond, E. D.,Maggs, R. P. .How useful are queue models in port investment decisions for container berths[J].Journal of the Operational Research Society, 2008,29(8):741-750.
- [38] Imai, A.,Nishimura, E.Papadimitriou.The dynamic berth allocation problem for a container port[J]. Transportation Research, 2001,14(35) :401-417.
- [39] Nishimura, E.,Imai,A.,Papadimitriou Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms[J]. European Journal of Operational Research,2001,12(2):282-292.
- [40] Avriel, M.,Penn, M.,Shpirer, N.,Witteboon,.Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts[J]. Annals of Operations Research,2010,12(3):22-29.
- [41] Shields, J. J Container stowage.A computer-aided preplanning system[J].Marine Technology, 2004, 21(4):370-383.
- [42] Bish, E. K.,Leone, T. Y.,Li, C. L.,Ng, J. W. C.,Simchi- Levi. Analysis of a new vehicle scheduling and location problem[J]. Naval Research Logistics,2011,21(4): 363-385.
- [43] Vis, I. F. A.,De Koster, R.,Savelsbergh, M.W.P. .Estimation of the number of transport vehicles at a container terminal[J]. Progress in Material Handling Research,2001,21(4):404- 420.
- [44] Evers, J. J. M.,Koppers, S. A. .Automated guided vehicle traffic control at a container terminal[J]. Transportation Research A,2006. 30 (1):21-34.
- [45] Kim, K. Y.,Kim, K. H A routing algorithm for a single transfer crane to load export containers onto a containership[J]. Computers and Industrial Engineering, 2007,33 (3):673-676.
- [46] Kim, K. H.,Park, Y. M.,Ryu, K. R Deriving decision rules to locate export containers in container yards[J]. European Journal of Operational Research, 2000,23(3):89-101.
- [47] Gambardella, L. M.,Rizzoli, A. E.Zaffalon M. Simulation and planning of an intermodal container terminal Simulation[J], European Journal of Operational Research ,2009,71(2):107-116.
- [48] Ramani, K. V. An interactive simulation model for the logistics planning of container operations in seaports[J]. Simulation,2011, 66(5):291-300.
- [49] Van Hee, K. M Huitink, B.,Leegwater, D. K.. Port plan, decision support system for port terminals[J]. European Journal of Operational Research,2010,23(34):249-261.
- [50] Van Hee, K. M.,Wijbrands, R.Decision support system for container terminal planning[J]. European Journal of Operational Research,2008,13(32):262-272.
- [51]彭传圣.一个集装箱码头计算机模拟研究实例[J]. 水运科学研究所学报,2002,23(2):26-33.
- [52]真虹.码头建设规模计算机动态图形仿真优化方法的研究[J]. 工程设计 CAD 与智能建筑,1999,23(8):16-20.
- [53]真虹.集装箱码头生产过程动态图形仿真优化的研究[J]. 中国图象图形学报,1999. 4 (6):502-506.
- [54]别社安,.港口工程施工和港口营运过程的计算机模拟方法[J]. 水运程,2007(12):49-53.
- [55]别社安,孙锡衡.变参数随机循环网络方法及其在防波堤施工中的应用[J]. 港口工程,1995,12 (5):14-18.
- [56]别社安,孙锡衡.动态随机循环网络模拟方法及堆石坝体的施工模拟[J]. 水利技术,2008,23(12):14-16.



## 在学期间研究成果

- [1] Di Liang, Longfei Ma, Yafeng Hu. Combination Forecasting Method based on IOWA operator and Application [J] .Advances in Manufacturing Science and Engineering V, 2014, 945-949:2515-2518. ( EI 检索: 20142717896793 )



## 致 谢

随着本文尘埃落定，也就意味着我两年的研究生学习生涯也将告一段落。回首往事，点点滴滴浮上心头，泪如涌泉。谨以本文，向曾经帮助过扶持过我的人表示衷心地感谢。

首先，感谢我的恩师梁迪老师，在梁老师的悉心指导下，我才可以按时完成硕士论文。梁导师知识渊博、治学严谨以及对学术问题敏锐的洞察力，对问题的深入分析，耐心指导。梁老师是沈阳大学工业工程系的优秀老师，对沈阳大学工业工程系的建设和发展立下汗马功劳，梁老师工作兢兢业业，平时工作异常繁忙，但在百忙之中心系学生。梁老师严谨的治学态度，不断探索的科学精神和一丝不苟工作作风是我永远学习的榜样。在此我向导师梁迪老师表示深深的谢意。

其次，感谢工业工程系的其他几位老师，董海老师，蒋菲菲老师，王丽莉老师，张凤荣老师，苏莹莹老师，感谢他们在学业上给予我的指导、支持和照顾。

再次，感谢马向飞、潘欲成、王化东等师兄师姐，同时感谢同班的张婷，信恒保，谢彤彤，王艺凯，佟清泉，刘金花等同学；特别感谢胡亚锋，孔芬，殷蕊，徐丹丹四位小组成员，感谢他们在学习和生活中的热情帮助。

然后，感谢沈阳大学所有帮助过我的同学。感谢他们热心地帮我解答许多课题进行过程中遇到的难题，尽力为我的课题研究提供方便，让我由衷地感觉到友情的可贵。

最后，感谢我的父母，感谢他们在学习上给予我无限的动力，父母常常告诫我踏实地做人、实实在在做事，他们殷切的期待，伟大的父爱与母爱，给了我无穷的动力。

梦想在远方，我怀着感恩的心，感谢所有给我过我帮助的人；两年的研究生生活我学到了很多，磕磕绊绊中我一路在成长，痛苦过，快乐过，迷茫过，我一路前行。感谢沈阳大学，感谢我七年的沈大生活的一切喜与悲，促使我不断成长，迎接新的人生挑战。