



大连海事大学



Y2445311



WF2814668

# 硕士学位论文

集装箱码头装卸机械优化配置研究

李燕涛

指导教师

张赫 副教授

企业导师

臧玉江 高级工程师

申请学位级别

工程硕士

专业名称

交通运输工程

学位授予单位

大连海事大学

2013年11月

分 类 号 \_\_\_\_\_  
U D C \_\_\_\_\_

密 级 \_\_\_\_\_  
单位代码 10151

## 集装箱码头装卸机械优化配置研究

李燕涛

指导教师 张赫 职称 副教授

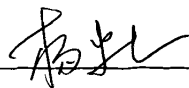
企业副导师 臧玉江 职称 高级工程师

学位授予单位 大 连 海 事 大 学

申请学位级别 工学硕士 学科与专业 交通运输工程

论文完成日期 2013 年 9 月 论文答辩日期 2013 年 11 月

答辩委员会主席





**Studies on Optimal Configuration of Handling Equipment  
in Container Terminal**

**A thesis Submitted to**

**Dalian Maritime University**

**In partial fulfillment of the requirements for the degree of**

**Master of Engineering**

**by**

**Li Yantao**

**(Transportation Engineering)**

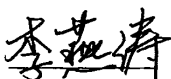
**Thesis Supervisor: Associate Professor Zhang He**

**November 2013**

# 大连海事大学学位论文原创性声明和使用授权说明

## 原创性声明

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

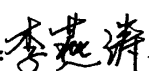
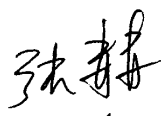
学位论文作者签名：

## 学位论文版权使用授权书

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

本学位论文属于： 保 密 ☐ 在 \_\_\_\_\_ 年解密后适用本授权书。

不保密 ☒ （请在以上方框内打“√”）

论文作者签名： 导师签名：

日期：2013 年 11 月 10 日

## 摘 要

近年来,伴随着集装箱船舶的大型化以及集装箱运输行业的蓬勃发展,各大港口的竞争越来越激烈,所面临的竞争压力也越来越大。各大港口所面临的首要问题便是降低码头进出口货物的装卸成本,提高装卸货物的效率。并且,各大码头管理者也逐渐地认识到了在装卸工艺基本上确定了之后,装卸机械配置的合理与否对于提高装卸效率、降低装卸成本有重大的影响。所以,增强对集装箱码头的装卸机械优化配置的研究就凸显出非常重要的意义,码头经过对装卸机械进行合理地配置,从而来达到港口用最小的投入产生最大的产出,以此来提高港口本身的综合竞争能力。

本文,首先作者对集装箱码头的装卸机械以及装卸工艺类型进行了相应的介绍。经过对集装箱码头装卸机械配置以及使用情况的分析,从而达到找出港机配置和管理上存在的不足之处。其次,作者从定性角度表述出了集装箱装卸机械的选型以及数量配置上值得注意的方法和问题。在定量分析的研究中,主要是对如何确定港机的合理拥有量进行了相应的研究。在这个阶段中,我们采用了完全不同的两种定量分析方法来进行讨论。其中,对于码头的投资规划时期,作者采用综合成本模型来确定港机应该投资的规模;而在营运的时期,作者通过对拟合模型中参数的研究,建立了设备的完好率、港机的拥有量以及设备的最佳出勤台数这三者之间的函数数量关系式,从而来对港机最佳拥有量进行计算。

本文通过定量和定性的研究,用已给定的算例来对模型进行验证,从而可以到达解决关于集装箱码头装卸机械优化配置的问题,从而来降低设备的闲置量,到达有效控制码头营运成本的目的,给码头相应的经营管理折提供决策的有力依据。

**关键字:**集装箱码头 装卸机械 优化配置 定性分析 定量分析

## ABSTRACT

Along with the rapid development of container freight and large container ships, container terminals have to face more and more pressure of competition and operation. Decreasing the operation cost and increasing the handling efficiency of cargo have become the major goal for ports to pursue. Meanwhile, in order to tackle such problems, administrators of ports are gradually aware of the importance of reasonable configuration of handling equipments after the confirmation of handling technology. So it is necessary to study on the optimal configuration of handling equipments in container terminals. Through the optimal configuration of handling equipments, ports could achieve the maximum output with the minimum cost, and improve the competitive ability of their own.

In this thesis, first of all, the writer introduced the knowledge of operating equipments and styles of handling technology in container docks. And then to find problems, which lay in the configuration and management of handling equipments, via analyzing the situation of configuration and usage. From the qualitative point of view, the writer issued the problems and methods that should be noticed in the choice of equipment and the configuration in quantity. In quantitative study, the main task was to obtain the reasonable quantity of devices. Two different quantitative methods, Comprehensive Cost Model in the stage of port planning and A Formula that could present the mathematical relation of possessed equipment amount, the efficiency of equipment in good condition and amount of equipment on duty, were employed in this research stage.

Through the qualitative and quantitative studies, and testing the models via given data, analytic methods could solve problems about the optimal configuration of handling equipment in container terminals and reduce the quantity of equipment at ease. The operation cost in docks would be controlled effectively. The conclusion also became the useful reference for making decision in ports' management.

**Key Words: Container terminal; Handling equipment; Optimal configuration; Qualitative analysis; Quantitative analysis**

## 目 录

第1章 绪论	1
1.1 选题的背景及意义	1
1.2 研究现状	2
1.3 本文的主要工作	4
第2章 集装箱码头装卸机械使用状况及存在的问题	6
2.1 集装箱码头装卸机械的使用状况	6
2.1.1 码头前沿装卸桥的使用状况	6
2.1.2 堆场装卸机械的使用状况	8
2.1.3 集装箱装卸机械的发展趋势	9
2.2 集装箱码头装卸机械管理	10
2.2.1 港机的前期管理	10
2.2.2 使用阶段管理	12
2.3 集装箱码头装卸机械管理中存在的问题	13
第3章 集装箱码头装卸机械和装卸工艺概述	17
3.1 集装箱码头概述	17
3.2 集装箱码头装卸机械概述	19
3.1.1 岸边的装卸机械	19
3.1.2 水平的运输机械	21
3.1.3 场地的作业机械	21
3.3 集装箱码头装卸工艺概述	23
3.3.1 岸桥+拖挂车工艺系统	24
3.3.2 岸桥+跨运车工艺系统	24
3.3.3 岸桥+集卡+场桥工艺系统	25
3.3.4 其他工艺系统	26
3.4 装卸工艺的效益评价	29
第4章 集装箱码头装卸机械配置优化研究	31
4.1 装卸机械配置优化的影响因素	31
4.1.1 装卸机械选型的影响因素	31
4.1.2 装卸机械配备量的影响因素	33
4.2 集装箱装卸机械的配置优化	34
4.2.1 投资规划期装卸机械配置优化的模型	34
4.2.2 不同装卸机械数量配比的确定	38
第5章 装卸机械配置优化模型在龙口港中的应用	39
5.1 龙口港集装箱公司介绍	39
5.1.1 公司简介	39
5.1.2 龙口港装卸机械及工艺介绍	40
5.1.3 吞吐量及相关的预测	41
5.2 优化模型在龙口港的应用	43
5.3 计算结果的进一步分析	45
第6章 结论	48
6.1 本文结论	48

6.2 建议和发展趋势.....	49
6.3 进一步的研究计划.....	50
参考文献.....	51
致 谢.....	54
附 录.....	55



## 第 1 章 绪论

### 1.1 选题的背景及意义

最近十几年,伴随着世界经济不断地全球化以及我国的社会主义市场经济体制的不断改进与完善,整个世界的集装箱航运业都处在了蓬勃发展阶段。尤其是在我国加入世界贸易组织(简称 WTO)之后,集装箱的船舶运输就已经变成了我国乃至整个世界的国际贸易中货物运输的一种主要形式。另外,由于集装箱船舶不断向着大型化以及高速化的方向前进,这就使得港口需要操作的集装箱的数量连年上升,这就对我国集装箱港口以及码头的装卸集装箱的能力以及集装箱的管理提出了更高、更多的要求,使得集装箱堆场的作业效率起为了集装箱运输的瓶颈。所以,我国集装箱码头面临着机遇的同时,也面临着巨大挑战。再者,码头与码头之间的竞争也不断加剧,为了在竞争中取得,码头公司不能简单的以扩大规模为手段,更重要的是合理地优化配置码头现有的资源,提高码头内部的运作效率和管理水平,因此,针对港口中现有的装卸机械来科学地管理以及合理地配置,以达到实现码头高效率的经营。仅仅就降低经营费用这个方面而言,对港口装卸机械进行合理而有效地使用,就显得十分重要。

集装箱港口装卸起重机械设备不仅是港口固定资产的基础构成部分,而且是港口进行生产作业最重要的物质技术保障<sup>[1]</sup>。在计划经济时代,集装箱港口企业很多都是使用传统的方式,即由国家下达港口的生产作业指标,然后由国家投资够买企业的生产设备<sup>[2]</sup>。因此,形成了企业注重拥有资产量,轻视资产的利用率,注重资产的使用,但轻视资产的效益。这样就导致港口不断的增加装卸机械而不太注重提高机械设备的利用率,从而导致了不必要的投资,这在无形之中就会影响到企业的效益。集装箱港口公司进行的绝大多数作业还是以集装箱的装卸为主,搬运为辅,同时装卸搬运作业所耗费的成本也是构成港口企业进行生产作业的主要组成成本<sup>[3]</sup>。随着港口之间竞争的加剧,港口想要于激烈的竞争中获得成功,那么就一定要降低自己企业的营运成本,而要实现这个目标最重要的一个环节就是科学合理地配置和使用港口集装箱装卸机械。而在装卸总成本中,装卸机械成本所占很大比例。所以,要使企业利润增加,就要设法减少港口机械成本。

因此,要保证港口企业在生产任务能够正常完成的前提下,合理确定港口的装卸作业机械设备的拥有量就具有重要的理论意义和实用价值<sup>[4]</sup>。

## 1.2 研究现状

由于港口现在的运输系统变得越来越重要,所以吸引了非常多的学者对集装箱码头的装卸过程进行深入广泛的研究,并且到目前已取得了一定的成果。相对于大多数港口来讲,大致有三种主要的装卸机械设备,主要包括了岸桥,场桥以及集卡。集装箱的卸船过程大致是这样的:当装载集装箱的船舶靠岸之后首先由岸桥将集装箱从船上卸下,直接放在集卡上,由集卡负责将集装箱运送到集装箱堆场,最后在经过堆场上的场桥将集装箱从集卡上卸下,放在指定好的位置。集装箱装船的过程和卸船的过程恰恰相反。因此这三类集装箱装卸机械设备就构成了研究对象。对于这个问题的研究大致分两类:

第一类主要针对某个单一环节来进行研究。这一类注重的是数学规划模型研究,不少的学者都曾经为集装箱码头装卸机械系统中的岸边装卸设备、水平运输以及堆场装卸等等一些子过程建立研究的数学模型,并且运用对应的算法求得最优解。这些算法主要包括分枝界定算法、启发式搜索算法等等,解决了静态的岸桥分配问题、船舶在港停滞的时间最小化、设备行走路线最佳、不同设备之间的配比等问题。*Daganzo* 是研究岸桥配置研究的开创者,曾在 1989 年,他就提出了用分枝定界法解决静态多泊位的岸桥分配问题,主要考虑的目标是减少船舶在港的停留时间;1990 年,他又对岸桥的配置情况对港口的长期经营情况下对港口吞吐量以及在港时间的影响进行了研究;1997 年, Kim 对单个岸桥在装卸过程中的最佳行走线路进行了研究,主要考虑的目标是降低装卸作业的时间;2007 年, Lee et al 等人在 Kim 研究的基础上使用遗传算法对岸桥的调度模型进行求解,并且得到了最优解。

然而,这种单一装卸资源问题的研究,不管是什么方法或者算法其大部分大多是通过优化先单一的资源,从而来达到优化整体的目的。但是,这在某一程度是存在很大的局限性,因为局部取得最优不一定就能确保整体取得最优。显而易见,对于集装箱码头从整体资源出发来考虑才是获得高效率的途径。

另外一类则是针对港口的整体状况进行研究。这类研究方法是通过数学解析模型或者仿真模型来进行。数学解析模型在最近十几年来被广泛地应用于各个领域, 这些数学解析模型主要包括了数学规划模型, 分派模型, 排队论模型, 网络模型以及分支界定模型。这些算法和模型在某一程度上提升了作业效率, 增强了装卸机械作业的协调性。但对于繁琐的约束条件以及它们之间的相互关系该怎么处理; 无缝连接如何判定; 如何确定到底哪个子过程是整体的瓶颈。特别是对于不确定的随机变量, 数学解析模型就显的无能为力了, 必须要对现实问题进行抽象简化后才能够求解, 所以求解的结果就和实际中所需要的值有一定的偏差。所以相比于数学解析模型仿真模型就显示出更大的优势。我们在用仿真模型进行港口装卸机械优化时一般会先对一个现实的港口进行抽象, 将其变成一个便于研究的概念模型。但是, 抽象归抽象, 对于实物模型的了解务必要尽可能的详细, 这样才能够到达在解决实际问题的同时还能够调查和评估实物模型。2002 年, *Shabayek* 以及 *Yeung* <sup>[5]</sup> 开发出了一个应用模型, 这个模型是使用 Witness 软件开发的, 使用该模型可以进行港口的仿真; 2005 年, *Maurizio Bielli* 建立了集装箱港口的仿真模型, 并且使用 Java 对其实施运行, 该仿真模型可以为港口的决策提供很多的帮助; 2008 年, 苗明等人考虑了集装箱在进行装卸过程中的随机变量和不确定因素进行了仿真模型建立, 该仿真模型将作业成本最小化作为目标, 并且通过仿真优化软件 *Tabu* 得以实现。

在目前, 现有的有关集装箱装卸设备配置研究仍然存在一些不足之处:

1、上述第一类研究谈到的为单一子过程, 该类研究方法仅针对装卸过程中的一部分来研究, 把对象之外的影响因素理想化, 研究的范围也狭窄了不少, 这类情况造成研究结果不具客观性, 所以, 当求得局部最优时整体不一定能够达到最优。

(2) 第二类研究, 数学解析模型因问题的复杂程度会受到多种情况的限制, 我们常常把问题先进行简化后才能求解, 虽然可以得出一定的结果, 但一般结果不会太精确, 有失偏颇。

(3) 对于现有的仿真研究, 虽有面向港口整体的研究, 但其中大部分是针对港口当前的吞吐能力等状况来进行评价的, 并不能为最终的决策提供更多的有价值帮助, 缺少对作业中整体资源的优化配置研究。

因此, 面向港口的装卸作业全过程的优化研究, 以及涉及到多种装卸资源同时工作以及整体配置最优的仿真研究, 这些研究都还有待于不断的深化<sup>[6]</sup>。

### 1.3 本文的主要工作

本文通过对前人的研究工作以及港口机械使用和配置的现状研究, 总结出了一种解决有关港机管理方面的科学方法。本文作者主要是将定性分析方法和定量分析方法相结合并对其进行了采用。作者主要使用定性分析方法来对国内外集装箱码头的装卸机械设备的使用状况和配备状况进行研究, 找到了现存集装箱码头在港机的管理以及港机的使用方面存在的不足还有造成这些不足的原因, 并且作者还提出了比较有效的改进办法。比如港机选型方面有那些注意事项, 装卸工艺应该如何科学合理的利用等。至于定量分析方法, 本文主要针对两个不同的阶段进行研究。第一阶段: 投资规划时期。在这一阶段应该采用的是综合成本模型, 以投资成本最小为原则进而确定港机量, 从而到达港航双方共赢的目的, 并且结合具体的算例对模型进行验证。第二阶段: 营运期。这个时期我们通过对港机量, 出勤数量以及完好率三者进行分析, 从而来合理确定这个时期港机应该拥有的数量。这一部分为简化计算我们使用了 MATLAB7.0 辅助计算。

论文结构:

第2章针对装卸机械设备的使用现状以及将来的发展趋势进行了重点介绍, 并且找出了影响装卸机械高效使用的问题所在。

第3章在对龙口港集装箱状况概述的基础上主要针对预测方法进行了介绍, 并且对龙口港的集装箱吞吐量进行了预测。

第4章详细地对集装箱码头的装卸机械设备进行了介绍, 在此基础上分析了龙口港在实际中使用的装卸工艺。

第5章对实际的情况进行了分析, 根据本文所给的模型来进行港机合理拥有量的确定, 以期达到优化机械配置、降低经营成本的效果。

在论文的结尾，我们对于本文的分析和研究得出了相应的结论，并且对于今后进一步的研究也进行了预测。

针对以上的分析以及相应的论证，得出了结论，同时提出了今后的研究方向。

## 第 2 章 集装箱码头装卸机械使用状况及存在的问题

### 2.1 集装箱码头装卸机械的使用状况

#### 2.1.1 码头前沿装卸桥的使用状况

进行集装箱装卸的主要机械设备是集装箱装卸桥，其是集装箱码头的核心组成部分，决定着集装箱码头装卸能力。

集装箱装卸桥在近近年来得到了广泛地应用。图 3-1 中显示了近 10 年来世界各地集装箱码头与装卸桥数量的变化情况。由表中可得，2000 年的全球集装箱码头数量大致是 1990 年的 1.6 倍，而集装箱装卸桥的数量大约是 1990 年的两倍多，这大大降低了集装箱装卸码头的成本，加快了集装箱码头的现代化进程。由于泊位长度以及岸桥数量的增加，1990 年单个码头一般配置的集装箱装卸桥平均数量为 3 台，但是到了 2000 年的时候就增加到 4 台左右。

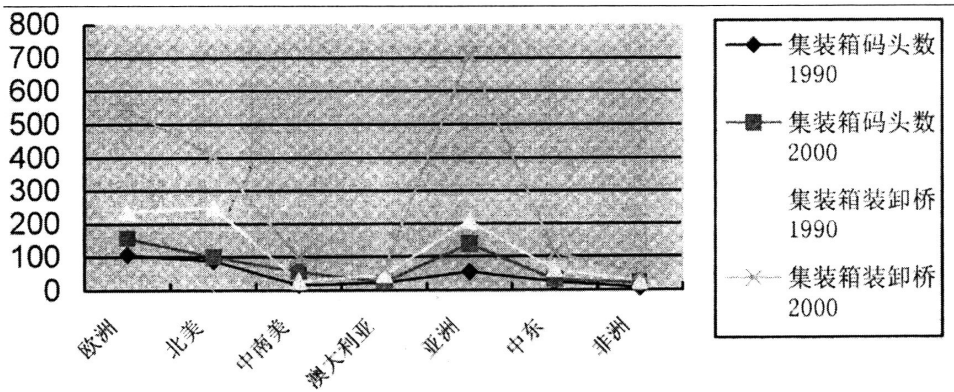


图 2-1 集装箱码头数和集装箱装卸桥数的变化情况

Fig. 2-1 Changes of container terminals and container loading bridges

从这些变化中我们可以看出，集装箱装卸桥的数量在亚欧澳洲都有明显上升，尤其是在亚洲，增加的幅度高达五倍之上。由此可以看出：集装箱船舶运输的最主要的市场还是集中在了亚洲，尤其是在中国以及印度，两个国家的海岸线长，集装箱船舶运输现在正好处于快速发展的阶段。另外世界大多数的集装箱中转站也都集中在了亚洲的香港，釜山还有新加坡等几处地方。随着集装箱船舶不断地向大型化发展，需要港口经营人在码头规模和港机配置与数量上有所改进和

增加。近年来,由于集装箱船大型化及集装箱专用码头的出现,使得集装箱装卸桥的生产与需求发生了下面几个变化:

### (1)、集装箱装卸桥的购买不断创历史新高

尽管集装箱船舶运输的市场近几年来比较低迷,但集装箱装卸桥的交付使用量却是有所增加,2001 年所装备的岸边起重机,在数量上远超过了之前三年平均值。依照 2001 年的第 3 季度的数据来看,2002 年所交付使用集装箱装卸桥数量大约是 169 台,另外还存在 30 台预计在 2003 年进行相关的交付使用。若考虑到后面不断签约的一些订单,其实,2002 年实际的订购量仍然还会增加。由 2000 年的同期资料发现,2001 年购置的数量为 150 台,其后连续又增加到了 211 台。按这种速度类推,那么 2002 年实际购置的数量非常可能到达 230 台。

### (2)、起重能力过剩以及竞争加剧

正如集装箱运输的能力过剩一样,大多数码头的吞吐能力也是过剩的。各港口间的竞争在不断地加剧,争着想吸引更多干线船舶的挂靠自己港口。2001 年,2000 年和 1999 年所增加装机的数量各是前年度的 8%, 5%, 6.5%, 除了 2000 年比较例外之外,增加的幅度平均都要大于国际贸易量所增加的幅度,这导致起重机起重能力过剩现象的出现。在 2002 年,由于国际贸易还处在低迷时期,即便装机量仅仅增加 170 台,这是 2001 年的第 3 季度所确定下来的数值,但仍有 6% 的增加幅度,这加剧了起重能力过剩的情况。

### (3)、起重机大型化趋势

看近些年所统计出来的数据,集装箱的装卸桥不断沿着大型化的趋势发展,尤其针对外伸距离 56 米以上装卸桥的交付使用量在快速地增长,60m 以上外伸距离的机械在订单之中也占了很大的比重。56m 以上外伸距的装卸桥由 2000 年的 25 台增加到了 2001 年的 60 台,到 2002 年又增加了 30 台达到了 90 台。同时,在 2002 年底投入使用的 190 多台新机械中至少有三分之二外伸距高达 60m。而超巴拿马型的装卸桥还出现了生产快速增加,该机型的外伸距能达在 44 到 50m,而且一次可以同时装吊 16 到 18 列的集装箱,比这个外伸距离再大的就是 50~56m,而且一次能够起吊 18 到 20 列的集装箱,这种机型一般适合用在超巴拿马

型的集装箱船(4000~5000TEU)。最大超巴拿马型的装卸桥一次可以同时可以吊起 22 列的集装箱, 这种比较适用于 7000TEU 以上最新一代的集装箱船。

2.1.2 堆场装卸机械的使用状况

码头堆场起重机械在经过了持续几年不断的增加之后, 曾在 1998 年达到了历史最高记录, 但是随后就逐渐开始下降, 这种趋势一直延续到了 2003 年。2000 年的国际集装箱化年鉴表明, 世界各地的集装箱港口在前些年份增加够买集装箱起重机械设备的同时, 够买集装箱搬运设备的力度也大大提高。仅仅是 1998 年这一年当中, 够买集装箱搬运设备所花费的资金就高达 6 亿美元。但是随着集装箱起重机械设备增势的逐渐减弱, 这也影响到了集装箱搬运设备的增长, 当然这些增势的放缓是和全球经济的不景气是密不可分的。表 3 中给出了三种不同的装卸机械在各个年份的需求使用情况

表 2-1 码头场地起重机械使用情况

Tab. 2-1 The use of Pier Site Crane

项目	跨运车	轮胎式龙门吊	轨道式龙门吊
1994 年以前使用的	1976	1818	665
1994-1995 年投入的	359	411	89
1996-1997 年投入的	401	512	140
1998-1999 年投入到	469	512	112
2000 年计划投入的	112	160	34
2000 年年初签约的	5	77	33
合计	3322	3490	1073

单位: 台

资料来源: 《集装箱化》

由表中可以看到 2000 年起重机械的使用的并不是很多, 所有机型总共才有 100 多台, 而跨运车仅有 5 辆。从 1998 年开始轨道式门机的使用也开始逐渐下降, 但是, 由于几个大型的码头还是比较愿意使用这种机型, 因此在总量上并没有太多的削减。

近年来, 伴随着经济全球化的加剧以及我国对外国际贸易的不停发展, 我们国家集装箱的运输数量一直保持着稳定、快速的攀升。2003 年我国集装箱的吞吐量比上一年上升了将近 30%, 总数量超过了 4800 万 TUE, 我国因此成了集装箱



吞吐量第一的大国。然而码头设备的落后导致其通货能力地下，这远远满足不了需求水平。因此各个集装箱港口都开始不断地扩建或者干脆建设新的集装箱装卸码头。同时他们也认识到了通过改进集装箱的装卸工艺来提供码头的通货能力，也认识到了高新技术的重要性，在集装箱装卸码头引进了许多高新技术，从而大大提高了码头装卸机械的机动灵活性。

2.1.3 集装箱装卸机械的发展趋势

伴随着集装箱专用码头不断地向着现代化发展，码头中的装卸数量也在不断地增加，因此，必须要提高码头整体面积的利用率还有集装箱装卸作业的效率，此外集装箱码头不断朝着网络化信息化的方向发展，这为实现集装箱码头的自动化管理奠定了基础。另外，随着集装箱码头不断向高水平高技术化发展，这对与港口实现低碳节能环保也非常有帮助。鉴于 RTG 在我国绝大多数的港口使用比较普遍，所以，在本文中主要论述的是 RTG 的发展趋势。

(1)、大型化

大型化主要体现在了起升的高度以及起重的重量这两方面(详见下表)，当前 RTG 不断向大型化发展主要目的是为了提高集装箱堆场面积的利用率以及为了提高 RTG 的作业效率。下表主要比较了常规的 RTG 和大型 RTG 在起升高度以及齐升速度等方面的差异。

表 2-2 常规 RTG 与大型 RTG 技术参数差异表

Tab. 2-2 Parameter differences of different RTG

规格	起重量/吨	起升（堆垛） 高度/箱高	起升速度（m/min）		轮压/t
			满载	空载	
常规	40-41	堆 4 过 5（15.24m） 堆 5 过 6（18.14m）	20-23	40-52	《32
大型	50-60	堆 5 过 6（18.14m） 堆 6 过 7（21.04m）	23-25	52-55	《52

(2) 自动化

现在，在我国集装箱码头堆场使用的最主要的装卸工艺是 RTG，其普遍存在的问题是智能化程度比较低，大多数得依靠手工操作，不仅不方便管理，劳动强度也比较大，这在很大程度上制约着集装箱码头的工作效率。随着科学技术的发

展尤其是无线数据传输技术以及远程监控技术的兴起,这大大推动了 RTG 的全自动化无人作业的进程。例如:ZMPC 基于 GPS 技术对 RTG 进行了改进,通过 GPS 提供地面差分系统,通过不断对差分系统操作从而实现 RTG 的自动纠错,大大减轻了死机驾驶 RTG 的劳动强度,还能够实现 RTG 的精确定位,并且定位的精度可以到达 15mm,而且还能够实现 RTG 的全自动作业。

### (3) 节能与环保

随着自然界中能源的不断消耗,导致现在能源供应紧张,价格也不断地上涨,另外加上越来越多的国家意识到了保护环境的重要性,所以对港口节能环保这方面就比较关注。RTG 的动力依靠的是柴油发电机组,因此科学地使用化学能源,减少浪费,就需要对柴油机的油耗量以及排放的废气量进行必要的限制。PZMC 所使用的是超级电容作为蓄能工具,这种电容所具有的优点就是能够瞬间充放电。这样就可以把 RTG 驱动柴油机所多于的冲击转化成电能重新储存到超级电容中,实现绿色 RTG。这种办法带来的好处就是明显降低了 RTG 的废气排放量以及废气的污染程度,使得废气的黑度西江到林格曼黑度零级,能耗能够下降至少 13%,从而大大提高了 RTG 的节能环保性能。PZMC 的绿色 RTG 自从 2005 年的第二季度就已经开始投产。

## 2.2 集装箱码头装卸机械管理

由于进行集装箱的装卸作业是集装箱码头主要经营的活动,所以港口为了获得最大的经营利润,必须在能够保证完成集装箱货物任务的前提下对集装箱码头的装卸设备进行科学合理的经营管理,使其能够以最低的投入带来最高的收益,从而提高企业的经营效益,使得企业在激烈的市场竞争中获胜。而对港口机械设备的运营管理作为港口生产活动中一个的非常重要的环节,其可以分为两个阶段:第一、港机前期;第二、港机使用阶段。

### 2.2.1 港机的前期管理

集装箱码头港机前期的管理主要指的是从项目开始规划的时间开始直到项目准备投产之前的这整个过程的所有管理工作,尤其是在对于集装箱码头装卸机械型号的选择还有就是这些机械设备的采购。进一步详细的工作就是根据自己港

口集装箱的实际吞吐量以及集装箱进行装卸的工艺流程来构思机械设备的方案，并且还需要进行相关的调研论证以及后期需要对该方案进行相应的评估。根据前期的工作制定出的最佳设备方案，执行港机选型、采购、安装以及调试的工作。

在这个管理过程中应该注意以下问题：

(1)、在港口的规划时期，设计人员对于港口周边的自然条件及周边腹地环境状况，前期预测的港口吞吐量大小等多种因素要综合考虑，以此来科学合理的确定集装箱码头的通过能力大小，然后再依据港口通过能力这个综合指标来确定集装箱码头装卸机械设备的数量多少，合理选型以及所需机械设备的配置规模大小，主要包括码头前沿的集装箱岸桥以及堆场中所使用的装卸机械设备，另外等这些工作完成之后还需要对其进行经济性和可行性的分析论证。当这个论证通过了，港机的规划任务才算真正完成。

(2)、对于港口机械的选型问题，我们主要是根据港口未来的需求是否能够得到满足来确定港机的选型。随着船舶的不断大型化将来对集装箱码头的装卸能力一定会越来越高。所以规划人员在投资规划期在充分考虑项目的经济可行性的前提下，对于集装箱的选型要留出适当的弹性空间，这样不仅可以满足集装箱码头当前的工作需求，在未来港口需求变化时也能比较好的满足，避免了因规模不适造成将来的二次投资造成的巨大的损失。

(3)、在规划最终的决策时，还需要多次征集各方的意见和建议，充分了解市场当前的状况，尽可能使用公开招标或者邀请招标的方法来进行港机及其他物料的采购，以便为企业节约费用成本。在指定竞标的标书是，在对价格，质量，交货期以及付款的条件这些常规的项目给出明确的标价之外，还要对相应的技术条款进行详细的说明。对于一些比较关键的机械部件还要指定好品牌和质量指标，以便进行多家的横向对比，从而避免一些商家因为选材不同质量不同而带来报价上的差异。

(4)、在厂家进行港机的生产中，需要制造厂家给出具体的港机生产进度计划表以及产品组织管理的框架结构，与此同时，港口方面也要随时派人到生产现场对产品负责检查，一旦发现问题，要及时与厂家进行沟通，并且要求制造厂家改正或者更换制造厂家。

(5)、港机生产完毕送到港口后,需要及时对港机进行检查并且进行安装调试,观察港机能够正常运行,一旦发现问题,应该在索赔期间及时与制造厂家进行联系,要求换货甚至退货索要赔款。

### 2.2.2 使用阶段管理

港机的使用阶段管理可以大致分为使用中管理和维护这两个部分。

#### 1、使用中管理

港机的使用中管理是所有工作的核心,因为港机使用中管理的好坏直接影响着码头的装卸效率以及港口的经营成本,所以港口管理者必须引起重视,科学合理进行港机的使用。

##### ①操作者的技术水平

集装箱装卸码头需要根据现有设备的具体情况,为这些装卸设备配备经过专业的陪选的合格的司机,这样才能确保码头生产的正常并且安全的运行。

##### ②司机的积极性

因为司机是港机的直接参与港机的操作和使用,所以司机工作积极性的高低是港口机械设备管理的根本影响因素,是保管好港口机械设备的根本保证。所以港口企业应该加强对现有员工爱护装卸机械设备的日常宣传教育活动,使他们真正能够认识到爱护设备的重要性,并且愿意主动自觉的参与到设备的管理工作中,不断提高他们爱护机械设备的主动性和自觉性,增强员工的责任感<sup>[7]</sup>。

##### ③合理调度设备

为了使港口的装卸机械设备能够充分地发挥各自的工作效能,码头应该根据自身的额实际情况来合理地配置和调度集装箱装卸桥,起重机等多种不同类型的机械设备。并且还应根据到港船型以及所载箱量对集装箱装卸机械设备进行合理地调度,使其能够更好的适应码头的生产要求。

##### ④健全的规章制度

要想保证港口生产的正常进行设备的实用程序,操作和维护规则是必不可少的,一套行之有效并且健全的规章制度能够使得企业的工作更加合理高效,并且也使得工作流程更加规范化、程序化。

#### 2、维护管理

港口机械设备的维护通常包括四个方面的要求：整齐，清洁，润滑和安全。在港机正常的工作情况下，实时地对港机进行维护不仅能够保证其正常的生产活动，而且能够延长港机的使用寿命。

#### ①日常维护

港机的日常维护主要指的是工作人员根据点检划片对机械设备进行的维护，在这一维护中需要做到对相应不见进行检查之后要认真记录设备的状况，以方便工作的交接以及以后设备出现故障后划分责任。

#### ②定期维护

港机的定期维护主要是依靠使用港机的司机以及专业的维修人员来进行的。这个维修周期的长短通常是由主管部门根据港机的具体工作状况来合理安排的，这样便于延长机械的使用寿命，并且能够消除安全隐患，避免意外事故的发生。

#### ③润滑管理

润滑管理是港机维护管理中非常重要的一个部分。对港机进行润滑主要是为了减少机械中零部件之间的磨损，从而达到延长港机使用寿命的目的。

#### ④维护的评价

周期性地组织码头设备的维护评价对于港口是非常重要的，这是文明生产与群众性维护的保证，对于保障港口的机械设备的正常工作，提高港机完好率至关重要。

## 2.3 集装箱码头装卸机械管理中存在的问题

伴随着港口之间竞争的不断加剧，存在于港口装卸机械管理中的问题也逐渐出现，这些问题在很大程度上制约着港口的发展。在我国，港机管理问题是港口经营管理问题的核心，其主要表现在以下几个方面：

### 1、港口当局盲目投资港机

多年之前虽然港口之间的竞争就已市场化，但是，我国许多港口的经营管理理念并没有跟上时代的潮流，发生响应的更新变化。港口经营人依然把企业管理的重点放在设备的投资上，以求得港口的机械设备即全又多，使得港口的运营成本居高不下，而不是采纳现代的管理理念：在有限的资源条件下，合理地配置资

源，提高资源利用率，以降低企业的成本，提高企业的利润。不仅如此，港口企业的盲目投资也浪费了国家的财政资金。这是因为港口机械设备的投资巨大，个人甚至绝大部分企业都无法满足其资金的需要，所以港口所需资金的大部分来自于国家的财政拨款。结果，港口企业的浪费不仅影响港口企业本身的经营状况，也影响到了国家的财政状况。下面以 2001 年大连港港机的利用情况为例来说明我国港口企业的港机投资的盲目化。见表 2-2。

表 2-3 2001 年大连港的港机利用情况表

Tab. 2-3 Dalian Port Machinery utilization in the year of 2001

机械类型	实有台数	使用台数	工作台时	作业时	完好率%	利用率%
起重机类	156	147	2725894	262767	94.10	21.76
轮胎式起重机	41	32	36947	34612	92.31	13.21
门座式起重机	104	102	221184	220762	94.45	25.46
桥架式起重机	11	11	13552	6175	95.37	14.06
浮式起重机	1	1	1210	1210	100.0	13.81
搬运机械类	499	425	779767	749537	91.73	20.68
叉式装卸车	292	250	464749	438192	92.04	21.27
集装箱叉车	6	5	7016	7016	95.03	16.02
单斗车	74	62	50292	47743	91.73	9.54
牵引车	117	98	249606	248482	91.73	26.93
搬运车	10	10	8104	8104	80.74	9.25
专用机械类	128	109	118390	105676	90.26	13.09
装船机	8	8	8302	8302	81.43	11.85
卸船机	3	2	1838	1838	96.56	7.87
舱内作业机械	47	36	21529	10840	94.35	7.88
卸车机	4	4	1582	1582	99.1	4.51
库场机械	8	8	5462	5462	97.3	7.79
输油臂	13	12	16419	14449	93.32	15.62
集装箱起重机	34	29	57759	57740	91.66	21.86

资料来源：《2001 年 大连港统计年鉴》

由上表可得到：这个港口港机的数量相对需求来说严重过多，港机利用率都小于 30%，从而造成了港口机械甚至严重的浪费资金。

## 2、选型不当

大多数港口的管理者往往存在以下片面的观点：欲与其他同类港口的竞争中取胜，港口首要的任务是有购入比其他港口更多更好的装卸设备。管理者这样的观点就使得港口企业往往会忽视自身企业的实际情况，盲目从众，随着其他一些比较成功的企业选择比较大的装卸机械设备，这样便会导致装卸机械选型不当，从而给港口的经营管理带来不少的问题。

例如，我国港口企业在选择岸桥时，相比于轨道式龙门起重机，都倾向于采用作业更为灵活的轮胎式龙门起重机，但事实上，轨道式龙门起重机因其比轮胎式起重机的操作箱量大，并且堆场空间的率用率也比较高，同时还有利于码头装卸自动化的实现，因此，更加适合用在大型的码头国外的大型集装箱码头的岸桥就往往选择轨道式起重机。因此，集装箱码头岸桥应根据具体港口特有的地理条件、停靠船舶的吨位大小以及船舶所载货物的种类等许多实际情况，来进行合理机型的选择。

## 3、机械调度缺乏合理性

要想降低集装箱港口的经营运作成本，合理化地整合、充分地利用港口中现有的资源是最根本的途径，这也是提高自己港口作业效率以及通过能力的重要途径之一<sup>[8]</sup>。现在很多例如鹿特丹、香港、新加坡的基本港都把心思放在了港机合理调度的研究上，通过研究来是自己港口装卸机械的调度更加科学合理，现已取得一定的研究成果。但是，在我国很多港口企业还是认为随机安排生产作业调度，以至于港机的调配有很大地随机性，港口的装卸成本居高不下。

## 4、设备老化，管理理念落后

目前，船东广泛使用第4代和第5代的集装箱船从事集装箱的运输。而第4和第5代的集装箱船都规定装卸机械设备必须要具有大型化和高效化的特点。下面仅针对我国集装箱码头现存港机设备而言，其装卸作业的能力有限，设备落后，已经不能满足集装箱船大型化，高效化的要求。于是便给港口的经营和管理带来了一系列负面的影响。

相对需求数量，港机设备数量的无论是过剩还是不足，这都会给港口的运营带来不利的影响。而我国大部分港口的港机管理的理念相对落后，都没能合理地

解决该问题。但其他国家和地区的大型集装箱码头都已经纷纷采取了新的港机管理理念，例如：机械的租赁。香港某集装箱专用码头，就采用港机租赁的方式，仅自己拥有岸桥1台，租赁4台。在2000年采用这种方式完成了125万TEU的吞吐量。不仅给该集装箱码头降低了全年的运营成本，而且也降低了其经营风险。因此，我国港口必须改变其港机的经营管理理念。在能完成港口的日常生产任务的前提下，合理地决定港口应该具备的港机数量和港机组成结构的决策，来解决现有港机设备落后、老化的问题，并降低其港口的营运成本。

从上述讨论中可以看出，与发达国家相比，我国大部分港口在港机的投资，选型以及管理中都存在着较多的问题。因此，我国的港口经营人首先必须清楚地认识到这些不足，然后学习西方先进的港机管理理念以及对其进行创新应用，来使得港机的使用和配置合理化，降低港口的营运成本，最终使得港口在激烈的竞争当中立于不败之地。



## 第3章 集装箱码头装卸机械和装卸工艺概述

### 3.1 集装箱码头概述

集装箱水运与陆运之间的衔接点就是集装箱码头，此外，集装箱码头还是集装箱多式联运中的一个重要枢纽，可以为集装箱船舶靠岸提供腹地，为集装箱进行装卸提供作业场地。集装箱码头在生产运作中的主要作用大致上可以分为三个主要的方面：第一，海运和陆运的连接点就是集装箱码头，同时集装箱码头也是海陆多式联运的枢纽；第二，集装箱码头还是集装箱换装转运的中心；第三，集装箱码头是物流链上的不可或缺的重要环节，其作用举足轻重<sup>[9]</sup>。

通常集装箱码头具备的必要的设施有：

#### （1）泊位

泊位是针对标准船型设计其在码头停靠的时候，所占用的码头岸线长度或者占用的囤船数目<sup>[10]</sup>。衡量一个港口或者码头规模的重要标志通常是泊位的数量与大小。一个码头可能会由一个或者多个泊位组成，这要视泊位的布置形式以及位置而定。停船舶尺寸大小决定泊位的长度和大小。

#### （2）码头前沿

码头前沿指的是从码头的岸壁开始，直到集装箱编排场（也叫做编组场）两者之间的码头的面积的大小，在码头上通常设置了岸边集装箱的起重机以及其运行的轨道<sup>[11]</sup>。至于码头前沿宽度，这个需要根据岸边的集装箱起重机的跨距，还有所使用的其他装卸机械种类等一些方面来决定的，一般情况下其宽度大约为40m左右。在码头前沿配备着不同数量、不同种类的装卸机械设备，并且利用这些装卸设备来读集装箱进行换装作业。换装作业从外向内能够分成三个不同的距离：第一是岸壁线到岸桥轨道的距离；第二是轨道间的距离；第三是堆场和轨道间距离。

#### （3）集装箱的堆场

集装箱堆场其实和后方堆场所讲的是一个场地，主要指的就是进行交接集装箱作业、重箱保管作业还有安全检查作业的场地。还有一些堆场还具有底盘车存放的场地。港口集装箱的吞吐量决定这堆场面积的规模大小，当然，还应该按照

具体船型的实际装载能力,以及集装箱堆场距离港口的船舶密度,还有装卸工艺系统,还跟集装箱在堆场上的排列形式有关等计算、分析确定。集装箱在堆场上的排列形式多种多样,但排列的形式一般有“纵横排列法”(即将集装箱按横向或者纵向排列,这种法应用较多),集装箱堆场又可以分为前方堆场以及后方堆场<sup>[12]</sup>。

#### (4) 货运站

货运站又被称为仓库,有的设立在码头之内,但也有的设立在码头之外。货运站主要是对集装箱进行一些作业的场所,主要包括拆装箱作业、贮存作业、防护作业以及接收交接作业,货运站最主要的任务是对将要出口的集装箱进行拼箱作业,以及拼箱集装箱货物的接收和装箱,对进口集装箱进行拼箱货的拆箱和交货等。货运站除上述功能之外,还应该配备有拆装箱作业的场地以及场地堆码所用的小型装卸机械以及其他一些相关的机械设备,货运站的规模,需要根据拆装箱数量以及集装箱的不平衡性来进行综合的考虑<sup>[13]</sup>。

#### (5) 控制室

控制室是集装箱码头进行作业的调度指挥中心。其执行的基本的职责是监视以及指挥船舶集装箱的装卸作业以及集装箱在堆场进行的一系列的作业。控制室一般会设立在码头的只高处,为的就是方便能够清楚的看到码头所有集装箱的箱位以及全部的作业情况。控制室内一般都配备了非常先进的电子计算机设备。

#### (6) 检查口

检查口主要指的就是集装箱码头出入的地方,并且,检查口也是划分集装箱码头与其他的一些部门责任的地方。所有进入或者驶出集装箱码头的集装箱都需要在检查口的门房处进行一系列的检查,并且还需要办理集装箱交接手续以及制作集装箱的有关单据<sup>[14]</sup>。检查口通常建于码头后方,并且还配备很多机器设备。

#### (7) 维修车间

维修车间是负责集装箱装卸机械设备进行检查、维修以及保养的部门。维修车间对于保证集装箱码头的正常运行起着至关重要的作用。维修车间需要根据集装箱的损坏比例,修理的时间期限,所用的码头中使用的运输工具的种类、数目

以及集装箱装卸机械设备的种类,装卸机械的数量还有检修内容等来确定维修车间的规模<sup>[15]</sup>。维修车间应该配备维修设备。

## 3.2 集装箱码头装卸机械概述

集装箱码头装卸机械主要是由三部分组成,分别是岸边的装卸设备,集装箱水平的运输设备,还有集装箱场地作业设备。下文就一一对这三种机械设备加以介绍。

### 3.2.1 岸边的装卸机械

集装箱码头岸边的装卸机械主要有装卸桥和起重机两大类,其中起重机又有门座式、轮胎式和轨道式之分,比较普遍的是装卸桥与门座式起重机。

#### (1) 装卸桥

岸桥就是集装箱装卸桥的简称,是进行集装箱装卸作业的专用机械设备。装卸桥的行走轨道是与集装箱码头的岸线相互平行的,主要由门架、拉杆以及臂架几部分构成。臂架又有海侧、陆侧还有门中这三块,不同的臂架在集装箱装卸中所起的作用也是不同的。伴随着运输集装箱的船舶不断地朝着大型化的不断发展,这种趋势对岸边集装箱的装卸起重机也产生了更新,更高的要求。岸边的集装箱起重机小型车与大梁结构型式选择从一开始就使用有差异的做法。在美国一般情况下使用的是半牵引式小车还有双箱形梁型式;而欧洲偏向于载重小车以及单箱形梁型式;但是亚洲则较多采用的是牵引式小车还有板式单梁型式<sup>[16]</sup>。

起重量、尺寸参数、工作的速度是集装箱装卸桥的三个主要的技术参数。在我国使用集装箱码头中使用的集装箱装卸桥主要技术参数见表 3-1。

表 3-1 我国集装箱码头使用的岸边集装箱装卸桥主要参数

Tab. 3-1 The main parameters of quayside container crane

厂家 主要参数		上海港口机械 制造厂	上海港口机械 制造厂	日本住友重工	德国克鲁伯	上海港口机械 制造厂	日本日立制作所	原西德 Vulman	英国 Morris
起重量 (t)		40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
额定起重量 (t)		30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	35.5
外伸距 (m)		35	35	35	32	32	32	35	35
内伸距 (m)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
轨距 (m)		16	16	16	26	26	26	16	16
起升高度 (m)	轨面上	25	25	25	24	22	22	25	25
	轨面下	12	12	12	15.3	12	12	12	12
	总计	37	37	37	39.3	34	34	37	37
起升速度 (m/min)	满载	35.5	50	50	40	50	40	50	50
	空载	71	120	120	100	120	90	120	120
小车行走速 (m/min)		120	145	150	120	145	120	50	50
大车行走速 (m/min)		25	45	45	30	45	45	45	45
前梁俯仰时间 (min/ 循环)		10	10	10	10	10	10	100	100
行走轮速 (个)		32	32	32	48	40	8	32	32
最大轮压 (t/每轮)		40	40	40	27	28	27	28	27

(2) 门座式起重机

门座起重机当中最受欢迎的就是多用门座起重机，他是在通用门座起重机基础上衍生出来的一种新型机械。它与通用门座起重机在机构和构造方面基本上相同。这种起重机需要按其配装有不完全相同的装卸属具，而且还需要配备相应的附加装置，这样以便于可以更好的进行集装箱货与散货的装卸作业，有的还可以配备电磁吸盘，这主要是用来装卸废钢铁。当进行集装箱作业的时候，我们可以使集装箱重心在整个变幅的过程中保持水平位移，以方便集装箱进出集装箱船的格栅导轨与堆码作业，在起重机回转时，吊具会有反向同步回转的能力，从而保证了集装箱纵向水平轴线始终与起重机轨道平行。以便于集装箱的对位，这样可以有效提高集装箱的装卸效率。这种门座式起重机能够根据作业需求配备不同的装卸工具和附加装置，是一种比较理想的作业机型<sup>[17]</sup>。

多用门座起重机相比于其他起重机具有较高的装卸作业效率，通常装卸速度可达 18-25TEU/h。另外，多用门座起重机还具有变化作业方式方便的特点，因此，其在多用途的码头也倍受青睐。

### 3.2.2 水平的运输机械

这类运输机械主要是由牵引车、挂车以及集装箱跨运车组成。

#### (1) 牵引车和挂车

在集装箱码头比较常见的水平搬运机械就是集装箱卡车,也是比较经济的运输设备。由于卡车种类的不同,我们将集装箱卡车分为半卡车与全卡车<sup>[18]</sup>。但是,这种机械设备也有自己的不足之处,它只有在接受场桥或者岸桥的装卸作业之后才可以完成集装箱的水平运输,并不能够直接把放在地上的集装箱运走也不能把集卡上的集装箱自动卸下。

#### (2) 集装箱跨运车

跨运车是集装箱装卸机械中的主力机型,其通常承担着从码头的前沿到达堆场水平的运输,另外还包括堆场集装箱的堆码作业。因为集装箱跨运车拥有机动灵活的特点,并且进行装卸作业的效率比较高,还有工作稳定性好以及轮压低等等一些优点,所以,集装箱跨运车在现实当中的应用得到了非常普遍的认可。集装箱跨运车作为一种高效的装卸机械,其使用对于提升码头前沿机械的装卸作业效率是极其有利的。从 20 世纪 60 年代集装箱跨运车诞生的开始,到目前集装箱跨运车已经经过了几十年发展,已经可以与轮胎式集装箱门式起重机媲美,成为了集装箱码头与堆场的关键设备。集装箱跨运车的种类大致上可以分为三种不同的种类,但是,就目前的情况而言,在现实中还是无平台及跨运以及装卸公用结构的集装箱跨运车采用的比较普遍一些<sup>[19]</sup>。

集装箱跨运车在码头中的任务有以下几个方面,一、进行装卸桥和堆场间的装卸作业和搬运作业;二、前、后方堆场间的装卸作业和搬运作业;三、针对底盘车进行换装作业;四、货运站和后方堆场间间的装卸作业和搬运作业。

### 3.2.3 场地的作业机械

场地的作业机械主要负责集装箱在堆场进行装卸作业,主要有集装箱叉车,轮胎式龙门起重机还有轨道式龙门起重机这三种,下面分别对每种机械进行介绍。

#### (1) 集装箱叉车

叉车是集装箱码头比较常见的一种装卸机械,其大多数用于吞吐量不是很大的码头,主要的功能是进行集装箱的短距离搬运堆码和装卸作业。集装箱叉车是普通叉车的一种变型机械,而且是一种多功能的装卸机械<sup>[20]</sup>。

集装箱叉车具有不少优点,比如造价低廉,这使得集装箱叉车的前期投资比较小;而且还具有性能可靠、机动灵活以及通过性好的特点。但是,集装箱叉车也有自身的不足,比如叉车作业时的转弯半径比较大,这就导致了堆场面积的利用率降低,而且容易造成集装箱在装卸过程中损坏。

## (2) 轮胎式龙门起重机

集装箱码头所用的龙门起重机大致能够分为轮胎式以及轨道式这两种。在集装箱堆场当中轮胎式起重机是主要进行集装箱的装卸作业,搬运作业,堆码作业的机械设备,它的构成主要有大车机构、小车机构以及起升机构等机构<sup>[21]</sup>。轮胎式龙门起重机也有不少优点,比如机动灵活,它不仅可以前进后退,而且还可以进行转向,直接从一个作业的箱区能够转移到另一个箱区,另外轮胎式龙门起重机还具有通过性能比较强的优点。就目前的情况而言,轮胎式龙门起重机起重的最大量高达 40.5t,起升高度一般可以堆 5 过 6。从和轮胎式的起重机相比较中可以看出,轨道式龙门起重机具有跨距比较大、自身定力较强、更节能和环保等一些优点,这样使得比较易于实现集装箱的全自动化的装卸作业<sup>[22]</sup>。但是,设备一次性的资金投入比轮胎式龙门起重机要高的多。

有关我国集装箱码头所使用的集装箱龙门起重机的主要装卸机械的参数见表 3-2。

表 3-2 我国集装箱码头所使用的轮胎式龙门起重机的主要技术

Tab. 3-2 Typed gantry cranes of the main technical

主要参数 \ 厂家		上海港口机械制 造厂	上海港口机械制 造厂	日本三井造船公 司	日本日立制作 所
起重量 (t)		40	40.5	40.5	40.5
额定起重量 (t)		30.5	30.5	30.5	30.5
跨距 (m)		23.47	23.47	23.47	23.5
起升高度 (m)		12.22	12.22	12.22	12.22
基距 (m)		6.4	6.4	6.4	6.4
起升速度 (m/min)	满载	12	13.5	15	13.5
	空载	24	27	35	27
小车行走速度		50	65	70	70
大车行走速度 (m/min)	满载	25	25	65	25
	空载	120	130	90	130
驱动方式		柴油电动机	柴油电动机	柴油电动机	柴油电动机
行走轮数 (个)		8	8	8	8
最大轮压 (t/每轮)		25	25	24	24

(3) 集装箱正面吊

十九世纪七十年代中期，集装箱正面吊开始被使用在集装箱的装卸，堆码以及水平运输作业中。集装箱正面吊有其自身的有点，它能够跨过堆垛或者集装箱列车进行装卸作业，并且在某种程度上集装箱正面吊可以代替岸桥使用。集装箱正面吊最大的优点就是适应能力特别强，基本上可以胜任集装箱作业的任何一个环节。特别是对于中小型码头，集装箱正面吊的作用体现的更为明显。和集装箱叉车相比，其具有效率高，起重量大，堆垛高度高的优势<sup>[23]</sup>。

3.3 集装箱码头装卸工艺概述

集装箱码头的装卸工艺其实指的就是对集装箱进行装卸作业的方法，它主要是对集装箱的装卸过程进行研究的，判断集装箱的装卸过程是否科学合理，能够确保集装箱高效率，高质量的在不同的集装箱运输工具之间进行换装作业。大量的实例表明，一套行之有效的集装箱装卸工艺对于提高集装箱码头的装卸效率是至关重要的，并且还能够扩大港口的在生产能力。现在各大集装箱码头越来越重视集装箱装卸工艺，已经把其看作衡量一个港口现在化水平高低的重要标志。装卸工艺根据集装箱的装卸过程又大体可分为四种：岸桥组合拖挂车工艺系统，岸

桥组合跨运车工艺系统，岸桥、集卡、龙门吊相组合的系统以及混合系统。在很多码头中，大多还采用如正面吊系统、叉车系统等工艺系统进行辅助。下面分别对其进行介绍。

### 3.3.1 岸桥+拖挂车工艺系统

岸桥+拖挂车工艺系统又被称为底盘车系统，这种工艺系统是在陆上拖车运输的基础上演变的。这种工艺的流程大致如下：集装箱船舶靠岸，首先由码头前沿的岸桥对集装箱作业，将其从集装箱船舶吊起然后直接放到集装箱拖挂车上，由挂车将集装箱运到堆场进行存放<sup>[24]</sup>。对于出场集装箱而言，主要是由集装箱牵引车把载有集装箱的拖挂车从堆场将集装箱运送到码头前沿进行装船。下图给出岸桥+拖挂车工艺系统的工艺流程图。

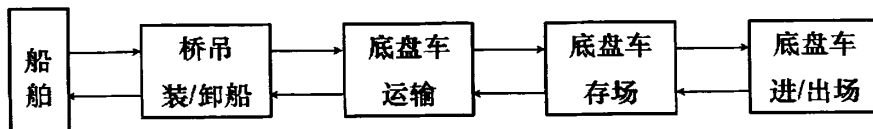


图 3-1 底盘车系统工艺方案

Fig. 3-1 The technology program of Chassis systems

这个装卸工艺有不少优点，比如：该工艺系统并不是特别复杂，这样当出现故障时就方便检查维修；还有这个系统运行的速度比较快，基本上不用作业人员协助，这大大节约了人力劳动，降低了企业成本。但是这种装卸工艺并不是非常完美的，它自身也存在部分的局限性。因为这种工艺需要大量的拖挂车进行配合作业，这势必导致初始投资大的问题，另外，这种系统下的集装箱在堆场无法进行堆叠，这就造成了堆场面积的浪费等一些问题，所以，这种工艺系统多用在规模较小或者港口刚开始发展的阶段尤其是整箱货比例较大的港口。

### 3.3.2 岸桥+跨运车工艺系统

岸桥+跨运车工艺系统又被叫做麦逊公司方式，在这个工艺系统中仅仅有岸桥与跨运车这两种机械参与集装箱的装卸作业。这种装卸工艺的特点是岸桥将集装箱从码头前沿卸下，然后由具备搬运功能的集装箱跨运车对集装箱进行搬运，



使其在码头前沿和前后放堆场之间运输，等到达集装箱堆场后的堆垛作业同样还是由集装箱跨运车执行。岸桥+跨运车工艺图如下所示：

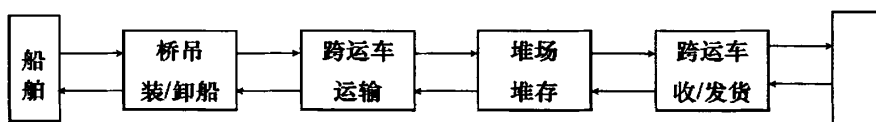


图 3-2 跨运车系统工艺方案

Fig. 3-1 The technology program of straddle carrier

岸桥+跨运车工艺的优点：

(1) 岸桥卸下集装箱时无需对位，这大大提高了岸桥的作业效率，降低了作业时间；

(2) 跨运车具有的功能非常强大，而且运作还机动灵活，能够完成多种作业，主要有自取作业，搬运作业，堆垛作业以及装卸车辆等作业，除码头前沿之外再不需要其他的机械配合，能够减少码头的机械种类和数量，以方便企业的组织和管理<sup>[25]</sup>。

(3) 跨运车的堆垛能力强，可堆码二到三层的集装箱，节省了集装箱所占面积，大大提高了集装箱堆场的面积利用率。

(4) 跨运车应变能力较强，便于解决作业过程中可能出现的各种意外问题。

当然，这种工艺系统也不是没有任何不足，下面简单就其三方面的不足进行说明：①跨运车价格昂贵，初始投资成本高；②跨运车结构复杂，当出现故障时不便于维修；③跨运车自身重量比较大，对堆场地面压力大，所以对于地面的质量要求比较高。

### 3.3.3 岸桥+集卡+场桥工艺系统

岸桥+集卡+场桥工艺系统是目前为止集装箱码头普遍认可的一种装卸工艺系统，这个系统在进行装卸作业时所涉及的机械设备就是集卡，岸桥还有龙门吊<sup>[26]</sup>。就集装箱出口而言，首先由堆场的龙门吊将集装箱装到集卡上，然后由集装箱卡车将集装箱运送到码头前沿，然后由码头前沿的岸桥负责将集装箱从集卡上卸下并且装到岸边的集装箱船舶上，这就是一个集装箱出口的工艺流程。在整个工艺系统中，岸桥负责码头前沿集装箱的装卸作业，集卡负责集装箱的水平运输，

而集装箱在堆场的作业则是由堆场中的场桥负责完成的。岸桥+集卡+龙门吊工艺流程如图所示。

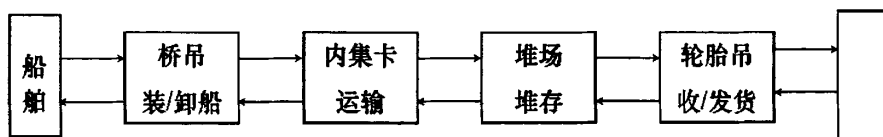


图 3-3 轮胎式龙门吊系统工艺方案

Fig. 3-3 The technology program of Type Gantry Crane

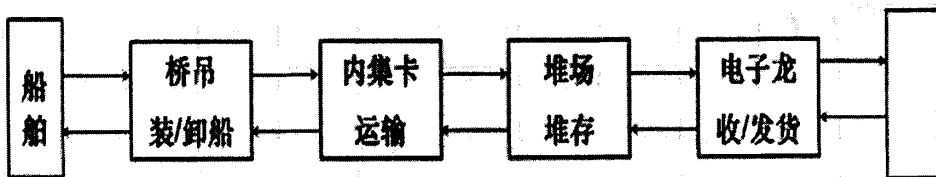


图 3-4 轨道式龙门吊系统工艺方案

Fig. 3-4 The technology program of Rail-mounted Gantry Crane

该系统的优点：①相比于跨运车而言，集卡的水平运输速度快，不像跨运车会受到码头纵向的影响以至于调整运输机械设备；②场桥的堆垛能力更高，可以堆码五到六层的集装箱，极大的提高了堆场面积的利用率；③堆场整体利用率提高。

### 3.3.4 其他工艺系统

当然，除了上面介绍的三种装卸工艺外还有叉车系统装卸工艺，正面吊装卸工艺以及混合系统装卸工艺，鉴于篇幅有限就不作一一详细介绍。下面分别给出这三种装卸工艺的流程图，以及各种装卸工艺优缺点的汇总表。

#### ① 叉车系统

在这个装卸工艺系统中主要采用的就是叉车来进行装卸作业，叉车可以用来进行集装箱在码头前沿和集装箱堆场间的水平运输，还能够在堆场中对集装箱进行堆码作业，以及集装箱的装卸作业都可以由叉车来完成。该工艺系统的工艺流程如下图所示。

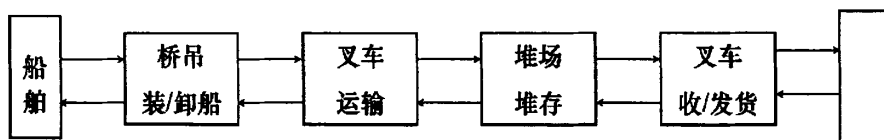


图 3-5 叉车系统工艺方案

Fig. 3-5 The technology program of forklift systems

叉车系统具有很多别的装卸工艺所不具备的优点：1、由于叉车体积比较小非常的灵活，适合于各种不同的场合进行装卸作业，并且叉车的通过性能相比于其他装卸设备也要强，这些特点使得叉车在其寿命期间比其他设备的利用率要高出很多；2、叉车系统结构比较简单，便于操作，对于司机和维修人员的要求比较低，在技术层面存在的问题也相对较少；3、和港口中其他的大型设备相比，叉车的价格比较低，这大大降低了港口的初始资本投入，对于港口的投资者具有很大的吸引力。

但是，叉车系统也有自身的缺点：1、叉车系统简单导致单机装卸作业效率比较低；2、现在流通的绝大多数的 40ft 的集装箱箱底并没有流出叉车的叉槽，这样就不能用叉车对其进行装卸作业，导致叉车的应用范围受限；3、即便是集装箱箱底有叉槽，在用叉车进行装卸作业时也不一定能准确的对准槽孔，甚至会造成集装箱的损坏，另外叉车对于集装箱堆场的地面以及运输路面的要求比较高。所以一般叉车系统用在一些吞吐量比较小的码头。

### ② 正面吊系统

正面吊系统中在码头前沿采用的是装卸桥来进行集装箱从码头上的装卸，而正面吊负责将集装箱从码头前沿水平搬运到集装箱堆场中，另外还负责集装箱在堆场中的堆码以及集装箱的装卸车。下图给出正面吊系统的工艺流程图。

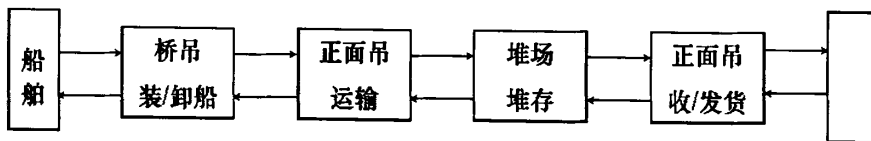


图 3-6 正面吊工艺方案

Fig. 3-6 The technology program of stacker

正面吊系统同样具有不少其他系统不具备的优点：1、相比于集装箱叉车而言，正面吊系统的堆场利用率比较高，并且大大减少了箱损和货损；2、正面吊系统作业方便灵活，还能够实现一机多用的途径。不足之处在于正面吊系统作业效率比较低，作业范围也很小，一般情况下一个正面吊同时仅可跨 1-2 个箱位进行作业。另外正面吊作业时需要比较宽敞的行走通道。

③混合系统

结合各系统的优缺点，有一些的集装箱码头就开始综合考虑经济性和作业效率，并且结合自身的实际情况，将不同系统加以混合，从而提出了混合系统装卸工艺。

荷兰的鹿特丹港是全世界首个应用这种混合系统装卸工艺的港口，该港口采用的混合系统是组合了集装箱跨运车以及轨道式的龙门起重机构成的混合系统<sup>[27]</sup>。该系统的主要特点是：1、集装箱的装卸船采用的是装卸桥进行；2、跨运车负责进口箱的相关作业，包括水平搬运，堆码还有集装箱的装卸及卡车；3、出口集装箱的水平搬运是拖挂车承担，轨道式龙门起重机负责集装箱的堆码和装卸车作业。具体工艺流程如下图所示。

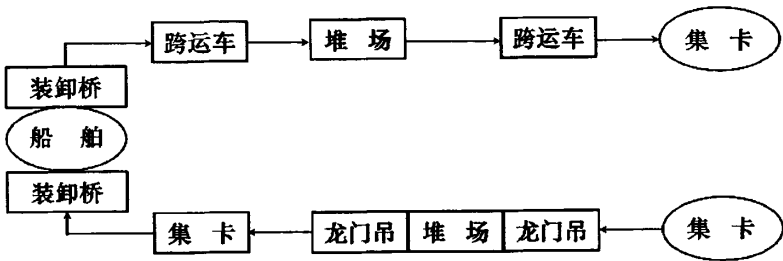


图 3-7 混合系统工艺方案

Fig. 3-7 The technology program of mixed systems

混合系统综合各系统的优缺点，取其精华去其糟粕，使整个的混合系统更加的完善与科学合理，充分发挥了不同装卸工艺的优点。但是采用这种工艺对于集装箱码头的管理和信息系统的要求比较高，这势必会增加码头的投资成本。

鉴于不同装卸工艺各具特点色，下表直观地比较了不同装卸工艺系统之间的优缺点。

表 3-3 不同装卸工艺系统优劣比较

Tab.3-3 Comparison of different handling technology

	底盘车系统	跨运车系统	轮胎式龙门吊系统	轨道式龙门吊系统	叉车系统	正面吊系统	混合系统
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
降低维修成本	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

从上表中我们更能看出混合系统所具有的得天独厚的优势。并且通过比较也能为我们在后续章节进行装卸机械的选型问题提供必要的参考依据。而目前龙口港采用的还是以轮胎式龙门吊系统为主，以叉车系统和正面吊系统为辅的混合工艺系统。

3.4 装卸工艺的效益评价

对集装箱码头来讲，装卸工艺的效益评价奇石就是对装卸工艺分阶段的进行绩效评价。绩效评价的主要目的就是在保证装卸任务能顺利 完成的情况下，从降低集装箱码头的成本角度出发来进行不同种类的装卸工艺之间的比较评价。希望能选择出更优的方案，从而提高码头的服务质量和效率。

进行集装箱效益评估之前，第一件事情就是要建立合理的效益评估的体系。根据评估的内容以及评估的范围这两个主要的因素来确定效益评估的体系结构，还要建立评估的原则，确定项目的指标等一些体系。这些指标又主要分为了两种：量化指标以及非量化指标，其中，量化指标主要包括：货运量，吞吐量；贷款的偿还时间；内部收益率；净现值；在港停留时间；投资的净收益率等很多种相关的指标。而非量化指标主要有：项目的管理水平；方案的可行性适用性、先进行

和经济性；资金的使用情况；吸引外资的能力；对港口周边腹地经济发展的直接和间接的影响以及对当地交通状况的影响等一系列的指标。

在进行效益评估的时候，对于不同的工艺方案，评估人员或者小组最为看重的就是所选工艺方案是否能够到达预期的目标。另外对与备选方案进行实施的过程中会出现那些意外不到的问题，这方面也是值得认真思考，慎重对待的。工艺方案要付诸实施还需要对港机进行科学合理的选型以及最佳装卸工艺的确定。方案运行中，需要不断的收集各项数据进行相应的比较分析，进行项目的粗略评估，根据评估效果不断调整机械设备，以期待项目能更好的运行。至于后评估工作实在系统运行 2 到 3 年之后才会进行的项目考核，在这一评估中就需要对过去系统在各个阶段的运行状况进行全面的考核，以便为后续系统的改进提供一些科学依据。

## 第 4 章 集装箱码头装卸机械配置优化研究

在论文的前两章中我们分别对集装箱码头的装卸机械,装卸工艺以及在集装箱码头装卸机械的管理中现存的一些不足之处进行了详细的介绍与分析。本章中我们在介绍影响集装箱配置优化影响因素的基础上,建立了集装箱装卸机械在投资规划期以及营运期内的数学配置优化模型。

### 4.1 装卸机械配置优化的影响因素

#### 4.1.1 装卸机械选型的影响因素

影响集装箱装卸机械配置的因素很多,但是经过对其进行分类大致上可以分成以下五个方面:

##### ①码头自然条件和船舶的因素

集装箱装卸桥的外伸距离以及其本身高度以及提升的高度都和码头自然条件以及集装箱船舶型号大小有关。对于自然条件我们通常需要考虑的是集装箱码头岸边的潮汐等自然环境的影响,而对于集装箱船舶我们主要需要考虑的是集装箱船舶的吃水深度、船舶的尺寸以及船舶的吨位。通常而言,巴拿马性船舶对应的装卸桥,其起升高度需要 20 多米甚至 30 米,而超级巴拿马型则需要约为 33 米的起升高度,至于最新一代的船舶则需要 36 至 38 米的起升高度,有些甚至需要 40 多米的起升高度。

靠港船舶的型号以及船上所装载集装箱堆垛的高度是集装箱靠港船舶主要考虑的因素。如果集装箱船舶上的集装箱堆垛很高,而码头边上的桥吊起升高度不够的话,这显然不能很好的完成集装箱的装卸作业。因此到港的船舶一定要与集装箱码头装卸机械的选型相匹配。

##### ②提升速度与能力的因素

集装箱码头在进行装卸机械选型时需要慎重考虑的一个非常重要的因素就是装卸机械提升的能力和速度问题。要增加集装箱装卸机械的提升能力,一种办法是可以采用双起升方法,而另一种办法是可以增加装卸机械提升的速度,同时需保持装卸生产率不能发生变化。但这两种方法无论哪一种都势必会增加集装箱

码头的资源消耗,造成经营成本的上升。所以,在考虑提升速度和提升能力的前提下我们还要尽可能的减少资源的不必要浪费,这也是集装箱装卸机械选型时一个必须考虑的因素。

正常情况下,超级巴拿马型的装卸桥的处理能力在 50 到 55TEU/h,而老式的装卸桥和新的相差 10 个箱子,正常的处理能力是 30 到 35TEU/h。码头的综合通过能力绝对集装箱码头的生产效率,单个的机械效率虽然对其有一定的影响,但是并不是决定因素。就拿提升速度而言,一台装卸桥的速度是 50-125m/min,而另外一台是 80-180m/min,看上去差距比较大,但是在实际生产中因为装卸桥的高度一般比较低,其只要耗费在了起升时以及加速过程中,所以导致差距并不是很明显。所以,对于规模比较小的码头,提升速度快的装卸机械一般不能够充分发挥其潜能,但对于吞吐量比较大的港口而言,因为其大多挂靠的是大型船舶,在这种情况下,提升速度快的装卸机械就有其用武之地了。

### ③装卸设备技术条件的因素

集装箱装卸设备的其他技术条件主要指的是除上文提到的一些技术因素之外的装卸机械的转向能力以及防摇技术等。

相对与集装箱装卸机械的装卸速度而言,快速的变向能力对于集装箱装卸机械而言其实更为的重要。装卸机械反映快速以及减速迅速是极其重要的,倘若在装卸机械的工作过程中司机有错误操作,若过机械反映迅速的话,那么装卸机械很有可能做出快速的纠错反应,避免不必要事故的发生。一般情况而言,直流马达适宜在低速运转,并且反应速度也比较快,而交流驱动的装卸机械其工艺比较复杂,而且效率也不是很高,所以,大多数情况下直流驱动装卸机械因其能很好的避免事故在现实中应用较多。

装卸机械的防摇摆能力也是另外一个需要考虑的因素。防摇技术的实现主要依靠的是在装卸机械上采用电子防摇设备,保证在装卸机械进行装卸作业时拥有较好的平稳性。

### ④基础设施和场地的因素

随着时间的推移,很多老码头已经不能适应当前的需求,这就需要对这些老码头进行相应的改造,在改造之前需要对码头的基础设施进行认真的考虑,然后



在进行装卸桥的采购工作。就码头的的一个方面而言,俯仰式的起重机以前对码头的负荷是 15t/m,但是现在已经集装箱起重机的负荷已经变为了 80-90t/m,很多以前的老式码头已经不能适应这种变化。这种情况下要想解决这个问题,一方面可以对集装箱码头进行改造,或者订购新的新进的装卸桥。

不少的中小型企业已经逐渐意识到:其实决定集装箱码头装卸作业效率的并不是装卸桥这个因素,主要还是集装箱场地的通过能力以及处理能力决定。比如在某些特定的情况下,高架式起重机反而比装卸桥要更加的机动灵活,还有就是装卸桥的采购成本,维修成本以及运营成本相对于高架桥都要高出许多。如果需要装卸的集装箱非常少而选择使用桥吊来进行作业时,这显然是不太合理的。其实很多时候,小型码头不一定就没有大型码头的装卸效率高,只要组织得当,大码头能做到的小码头照样可以做到。

#### ⑤船舶大型化的因素

正如我们在前一部分所讲的那样,运输集装箱的船舶不断朝着大型化方向发展这势必也要求装卸集装箱的机械也发生相应的改变。船舶越来越大,原来外伸距小的装卸桥肯定不能够胜任,这就要求码头配备外伸距更大的装卸桥来对这些设备进行装卸作业。比如有的港口采用的是船舶两侧一起进行装卸作业,这对于装卸桥的外伸距就要求就更高,通常情况下,这些装卸桥的外伸距能够达到 60 米以上,能够装卸的集装箱船可达 22 列宽。这么大型的船舶其实需要更长的泊位长度,更多装卸桥同时作业来满足其需求,当然这对于泊位后方的处理能力和处理速度也提出了新的更高的要求,至于其能够跟上这种变化值得我们研究。所以,这也提醒集装箱码头在选择具体的机型时,要实事求是,一切从实际出发,根据自己码头未来近几年的吞吐量需求来确定机型的选择,不能为了追赶对手而盲目选择大型的装卸机械,造成不必要的资源浪费和资金投资。

#### 4.1.2 装卸机械配备量的影响因素

影响集装箱装卸机械数量配置的因素很多,大致可以分为三类:基础设备,市场因素以及管理水平。

基础设备主要指的是集装箱装卸码头、泊位、集装箱堆场和运输道路等一些基础设施的状况以及所拥有的各种机械设备的性能状况。

市场因素主要指的是到港船舶的船型大小,船舶的载货量多少、到港船舶的密度以及集装箱的运量结构和船舶积载分布状况。

管理因素主要指的是船舶以及集装箱码头装卸机械设备的调度、装卸设备的管理、集装箱对口的管理等一些因素。

## 4.2 集装箱装卸机械的配置优化

### 4.2.1 投资规划期装卸机械配置优化的模型

集装箱装卸机械设备数量的确定是码头设计和规划时期一个非常重要的工艺问题。若装卸机械的数量配备过多,装卸能力剩余,这无形之中就会增加港口装卸设备的初始成本投资。这样一来就会导致利用率过低,闲置时间太长等等,这些因素都有降低港口的经济效益的可能。相反,如果装卸机械配备的数量不足,则可能会导致装卸的速度太慢,船舶需要在港等待的时间就会过长,同时也造成后续到港船舶的排队,大大降低了码头的服务水平,所以就会降低港口的综合竞争能力。对于投资规划时期,我们通过对各种费用的分析和比较,以总成本最小为目标函数来求得港口装卸机械的最佳保有量。

#### 综合成本模型

在码头生产过程当中巨额的营运成本会伴随着装卸作业的进行而源源不断的产生,主要包括了装卸成本,堆存成本,港务管理成本以及其他一些相关业务的支出成本<sup>[28]</sup>。为了本文研究的便利,我们只对四项和港口建设设计有直接关系的部分进行了研究,即:泊位成本( $C_b$ )、装卸成本( $C_r$ )、人工成本( $C_l$ )以及船舶停时成本( $C_s$ )。其中  $C$  是这四项的计算和,即:综合成本(单位:万元/天)。那么则有:

$$C = C_b + C_r + C_l + C_s \quad (1)$$

这个模型就是总成本模型,其目标是求的综合成本的最小值,根据目标函数最小从而确定装卸设备的最合理拥有量,下面我们分别对这四项费用的具体算法进行详细的介绍。

#### ① 泊位成本

泊位成本主要是由泊位的初始建设成本以及码头营运期码头设施进行维护所需要的费用这两部分组成, 因此在进行泊位费用计算的时候, 需要对泊位的初始投资进行折旧年限这个因素的考虑。那么,  $C_b$  的计算公式就能够表示成:

$$C_b = b \cdot [cbu \cdot \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} + cbm] / 365 \quad (2)$$

其中,  $b$  代表的是泊位的数量;  $cbu$  和  $cbm$  分别代表的是每一个平均的建设费用和维护费用;  $i$  代表的是每年的年利率;  $N$  表示的是每个码头的折旧年限。

### ② 设备成本

在给出设备成本模型之前, 我们有点说明, 以便模型的计算方便。根据作业特点, 我们规定一条作业线是由一台起重机械配合一些水平运输机械还有堆场中的其中机械构成。并且根据起重机的作业效率, 水陆运输疏港比例以及堆场的布置情况来决定水平运输和堆场设备的情况。因为设备的种类不同在各个方面的消耗就有很大的差异, 这个因素在计算设备的日均成本时需要给予慎重考虑。假设  $fm_1$  表示的是每台岸边起重机的日均费用, 那么有:

$$fm_1 = \left[ cf_1 \cdot \frac{i(i+1)^{N_1}}{(i+1)^{N_1} - 1} + \frac{Q}{b \cdot nld} \cdot cml \right] / 365 \quad (3)$$

其中:  $cf_1$  代表一台岸边起重机的成本;  $N_1$  代表的是起重机的折旧年限;  $Q$  代表的是码头的年吞吐量 (TEU);  $nld$  代表的是一个泊位配置的起重机的数量;  $cml$  代表的是起重机装卸一个集装箱所发生的费用。

相同的道理, 每台堆场起重机每天的成本为  $fm_2$ 、水平运输设备每天的费用为  $fm_3$ , 类似于公式 (3), 那么, 设备每天的费用  $C_r$  就可以用下式表示:

$$C_r = b \cdot nld \cdot (fm_1 + nsp \cdot fm_2 + nm x \cdot fm_3) \quad (4)$$

其中,  $nsp$  和  $nm x$  分别表示的是一条作业线中堆场起重机和水平运输机械的台数。

### ③ 人工成本

至于人工成本我们主要考虑员工的工资,奖金以及福利等一些和装卸作业人员有关的费用,并且以班组的为单位,将每个班组每天的费用做为计算该模型的基本单位。当然出勤率对于每个班组的影响也应该考虑,那么每天的人工成本就可以用下式表示:

$$C_l = 3 \cdot b \cdot nld \cdot cll \quad (5)$$

其中, 3 表示每天工作 3 班倒;  $cll$  表示每个班组每天的工资。

#### ④ 船舶停时成本

要想求得船舶的停时成本就需要知道船舶在港的等待时间  $T_s$ , 这一时间主要包括两部分: 在泊时间  $T$  以及等待时间  $W$ 。计算在泊时间  $T$  的公式如下:

$$T = \frac{G \cdot fd \cdot el}{nld^f \cdot dt} \cdot f_1 + \frac{at}{24} \quad (6)$$

其中,  $G$  表示船型的平均额定载箱量(计算中可按照船型比例加权求平均);  $fd$  表示的是实际装箱率;  $el$  表示的是一台岸边起重机装卸一个集装箱的时间;  $f_1$  表示的是工作天影响系数(本文取  $f_1=365/\text{泊位年工作天}$ );  $dt$  表示的是码头每天工作时间;  $at$  表示的是船舶平均辅助作业时间;  $f$  表示的是干扰系数, 当一条船舶使用多台装卸机械作业时就会产生不同程度的干扰, 其为指数形式, 并且干扰系数  $0 < f \leq 1$ 。

对于涉及到的排队平均时间  $W$ , 我们大多数情况下采用排队论 [16] 中的  $M/M/b$  模型计算, 或者用  $M/EK/b$  模型也能进行计算, 在该模型当中, 第一项  $M$  是集装箱船舶的到港时间服从泊松分布, 第二项  $M$  或者  $EK$  是船舶在泊时间服从负指数分布或  $K$  阶爱尔朗分布, 第三项其实和第一项代表的含义一样<sup>[29]</sup>。假设泊位平均服务率  $\mu = 1/T$ , 那么, 平均到达率  $\lambda$  如下所示:

$$\lambda = \frac{Q}{G \cdot fd \cdot 365} \quad (7)$$

对于  $M/M/b$  这个模型来说, 集装箱船舶在锚地平均等待时间  $W$  为:

$$W = \begin{cases} \frac{\lambda}{\mu^2 - \mu \cdot \lambda} & b = 1 \\ \frac{\mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^b \cdot p_0}{(b-1)(b\mu - \lambda)^2} & b > 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$P_0 = \left[ \sum_{j=0}^{b-1} \frac{\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j}{j!} + \frac{\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^b}{b!} \cdot \frac{b\mu}{b\mu - \lambda} \right]^{-1}$$

其中,

同时,  $\lambda/\mu < b$ , 由于仅有这样才能避免出现排成无限队列的情况。船舶在港口的平均停靠时间  $T_s$  为两项之和, 即:

$$T_s = T + W \quad (9)$$

由于目前在数学理论上对 M/EK/b 模型还没有彻底解决, 因此这个模型的船舶平均等待时间  $W_E$  大多数采用的是经验公式[16]来估算。那么  $W_E$  就可以表示为:

$$W_E = \frac{K+1}{2K} \cdot W \quad (10)$$

其中, K 为船舶在港停留时间服从爱尔朗分布的阶数, 通常情况下会取 2 或者 3。

因此, 船舶的平均在港时间  $T_s$  在 M/EK/b 模型中  $T_s$  为:  $T_s = T + \frac{K+1}{2K} \cdot W$ 。为了便于计算, 对于后面我们使用的算例中, 仅对 M/EK/b 这种情况计算平均在港停时。根据同样的道理也能够计算 M/EK/b 情况下的在港停时。

计算出船舶平均在港停时  $T_s$  后, 我们利用 (7) 式就能够算出船舶在港停时的日均船舶  $C_s$ 。

$$C_s = \lambda \cdot T_s \cdot C_{ss} \quad (11)$$

其中,  $C_{ss}$  为所用的计算船型的停时费用(万元/艘天)。

综合模型的全部内容就是上述公式所示,由于设计参数过多,计算非常复杂,仅仅依靠人工计算是很难实现的,所以借助于必要的计算机软件来辅助计算就非常必要,本文主要利用的是 MATLAB7.0 对某一具体算例来进行相关的求解计算。

#### 4.2.2 不同装卸机械数量配比的确定

该问题指的是集装箱装卸桥,龙门起重机以及集装箱的牵引车间比例关系。集装箱码头的生产效益以及船舶船时效率与不同机械间的配比有着直接的关系。所以,本文参考了上海港、新加坡港以及香港等码头的配备比例基础上来进行该问题的确定,经过我们的研究发现,在大多数的港口中装卸桥、起重机还有牵引车的配比于  $1:2.78—3.30:6.0—6.18$  间上下不等。根据我们第2章中的装卸机械参数,我们把每条作业线中装卸设备的配备数量关系大致确定成了为集装箱装卸桥、轮胎式龙门起重机以及集装箱牵引车的比例关系为  $1:3.0:6.0$ ,也就是说,每条作业线是由1台集装箱装卸桥配合3台轮胎式龙门起重机外加6台集装箱牵引车的配置比例。

第 5 章 装卸机械配置优化模型在龙口港中的应用

5.1 龙口港集装箱公司介绍

5.1.1 公司简介

龙口港集装箱有限公司是于 1998 年成立的，是隶属于龙口港集团有限公司的独立法人公司。龙口港集装箱公司现有 2 个 1.6 万吨级集装箱专用泊位，2 个 2 万吨级集装箱专用泊位，码头泊位总长度 800 多米，可接纳当今国际第三、四代集装箱进行满载装卸。配备 80T 高架吊、40.5T 岸桥、40T 场桥、正面吊、集叉、集卡车等装卸搬运机械 50 余台套。码头作业场地面积 20 万平方米，集装箱年吞吐能力为 60 万 TEU。表 2-4 为龙口港集装箱公司码头技术参数；表 2-5 为集装箱码头设备配置情况。

表 5-1 龙口港集装箱公司码头技术参数

表 5-2 集装箱码头设备配置情况

Tab. 5-1 The Technical parameters

Tab. 5-2 Container Terminal equipment configuration

14#泊位长度	226M	<table><tr><td>集装箱岸边装卸桥（岸桥）</td><td>4 台</td></tr><tr><td>80T 轮胎式高架吊</td><td>1 台</td></tr><tr><td>轮胎式龙门起重机</td><td>10 台</td></tr><tr><td>集装箱叉车、正面吊</td><td>5 台</td></tr><tr><td>集卡车</td><td>20 台</td></tr><tr><td>装载机</td><td>9 台</td></tr><tr><td>装箱小叉车</td><td>6 台</td></tr></table>	集装箱岸边装卸桥（岸桥）	4 台	80T 轮胎式高架吊	1 台	轮胎式龙门起重机	10 台	集装箱叉车、正面吊	5 台	集卡车	20 台	装载机	9 台	装箱小叉车	6 台
集装箱岸边装卸桥（岸桥）	4 台															
80T 轮胎式高架吊	1 台															
轮胎式龙门起重机	10 台															
集装箱叉车、正面吊	5 台															
集卡车	20 台															
装载机	9 台															
装箱小叉车	6 台															
14#泊位水深	-14.1M															
15#泊位长度	184M															
15#泊位水深	-13.2M															
16、17#泊位长度	420M															
16、17#泊位水深	-10.3M															
堆场面积	20 万平方米															
冷箱插座	128 个															

目前，公司与厦门环海远洋物流有限公司、营口华鸿物流有限公司、信宏物流有限公司、上海新海丰集装箱运输有限公司、江苏凯通服务有限公司、大连集发环渤海集装箱运输有限公司、中外运集装箱运输有限公司、中海集装箱股份有限公司、大新华轮船有限公司、上海中谷新良实业有限公司、中国烟台外轮代理有限公司等国内外航运公司精诚合作开通海丰关东、京汉韩国外贸航线 2 条；大连外支外贸中转航线 1 条；新良上海线、大新华黄埔线，中海烟台线，长海泉营

线，信风宁波线，华鸿营口线，信宏营口线，信宏黄埔湛江线，中海营口线，长海营口锦州线，凯通泉营线等内贸航线 16 条，共计 19 条航线，每周多达 20 多个航班，形成了干、支线相结合、内外贸同船运输的集装箱航运体系。

5.1.2 龙口港装卸机械及工艺介绍

龙口港集装箱公司集装箱装卸工艺是典型的以岸桥—轮胎式龙门吊—拖车系统为主，以叉车、正面吊系统为辅的生产工艺系统。图 3-8 为龙口港集装箱公司生产流程图，表 3-9 为龙口港的装卸机械种类及其数量，图 3-10 为装卸机械的利用率和完好率统计。

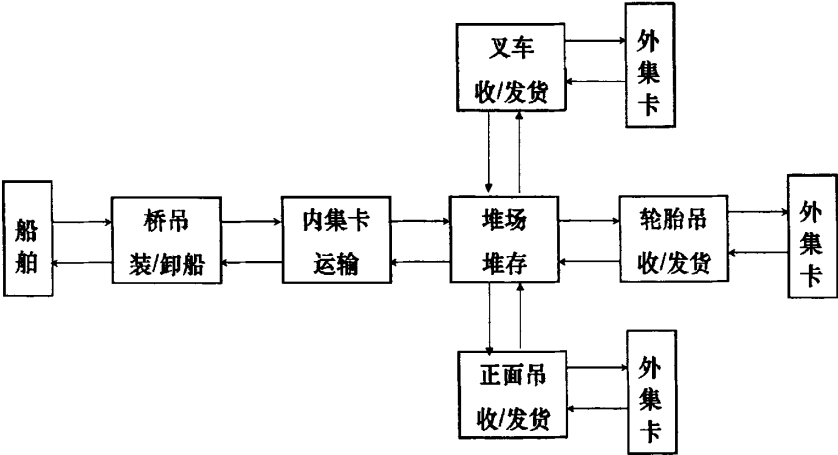


图 5-1 龙口港集装箱装卸工艺流程图

Fig. 5-1 Handling Flow Chart of Long Kou Port

装卸机械的种类及数量如下表所示：

表 5-3 龙口港装卸机械种类及数量表

Tab. 5-3 The handling machinery type and quantity of Longkou Port

种类	数量	种类	数量
岸边起重机	6	集卡车	21
轮胎式龙门起重机	12	装载机	11
叉车、正面吊	5	皮带机	5
80T 高架桥	1	翻转平台	2
小叉车	5		

主要装卸机械生产设备的完好率是 98.73%，设备故障停机率是 0，一些主要设备的利用效率如表所示：



表 5-4 龙口港装卸机械利用率

Tab. 5-4 The utilization of machinery in Longkou Port

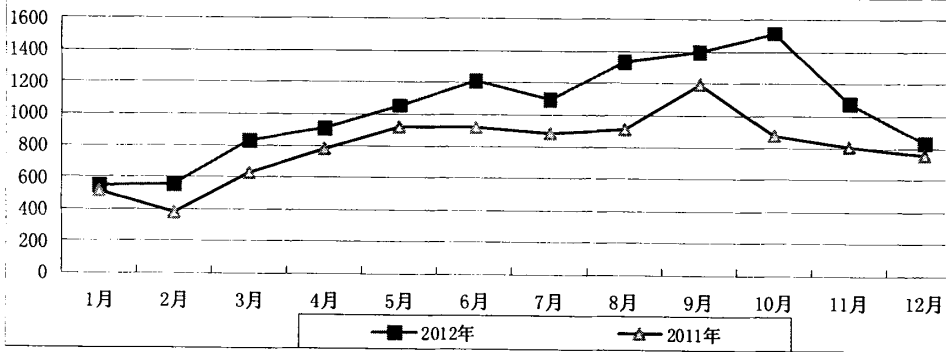
	岸边设备	场桥	正面吊	集叉	集卡车
2012年12月	39.19%	60.00%	60.03%	61.67%	53.00%
2011年12月	31.33%	46.99%	60.00%	56.67%	47.93%

船舶码头停靠时间如下表所示：

表 5-5 龙口港船舶码头停靠时间

Tab. 5-5 The ship's docking time of Longkou Port

时间(H)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2012年	548	553.5	829	910	1056.5	1215.5	1097	1337	1401.5	1519.5	1081.5	833
2011年	507.5	378.5	629.5	774	916.5	916	881	908.5	1191.5	874.5	802.5	750.5



本月份船舶在港平均停时15.72小时

5.1.3 吞吐量及相关的预测

本文在主要收集了龙口港 2006 到 2012 年的年吞吐量，并且利用 SPSS 对未来三年的集装箱吞吐量进行了相应的预测，以便更好地优化港口装卸机械在未来的配置情况，下表给出的是 2006 年到 2012 年龙口港的吞吐量。

表 5-6 2006 年到 2012 年龙口港的吞吐量

Tab. 5-6 The throughput of Longkou Port from the year of 2006 to 2012

年度	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
吞吐量 (万TEU)	12	15	15.5	16.4	20	31	40.7

至于未来三年龙口港年吞吐量的预测,本文主要采用的是一次指数平滑方法来对未来几年龙口港的集装箱吞吐量进行预测。

#### ①预测方法的概述

指数平滑预测法(Exponential Smoothing)指以某种指标的本期实际数和本期预测数为基础,引入一个简化的加权因子,即平滑系数,以求得平均数的一种指数平滑预测法<sup>[30]</sup>。它是加权移动平均预测法的一种变化。平滑系数必须呈大于0并且小于1,如0.1、0.4、0.6等。平滑系数法其实是加权平均的一种特殊形式,是对过去的观察值加权平均进行预测的一种方法。并且观察值时间越远,其权数随之呈现指数的下降,因而称为指数平滑。平滑系数法有一次指数平滑、二次指数平滑、三次指数平滑等,本文主要采用的是一次指数平滑法对集装箱吞吐量进行预测。一次指数平滑法也可用于对时间序列进行修匀,以消除随机波动,找出序列的变化趋势。其计算公式为:

下期预测数=本期实际数×平滑系数+本期预测数×(1-平滑系数)

即:  $F_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)F_t$

式中,  $Y_t$  表示第  $t$  期的实际观察值;

$F_t$  表示第  $t$  期的预测值;

$\alpha$  为平滑系数 ( $0 < \alpha < 1$ )。

其中,对于  $\alpha$  的确定还要考虑以下因素: 1、不同的  $\alpha$  会对预测结果产生不同的影响,当时间序列有较大的随机波动时,宜选较大的  $\alpha$ , 以便能很快跟上近期的变化,当时间序列比较平稳时,宜选较小的  $\alpha$ ; 2、选择  $\alpha$  时,还应考虑预测误差,用误差均方来衡量预测误差的大小,确定  $\alpha$  时,可选择几个进行预测,然后找出预测误差最小的作为最后的值。

#### ②港口吞吐量的预测

本文主要使用 Excel 进行指数平滑预测,具体执行的步骤如下所示:

第1步: 选择【工具】下拉菜单;

第2步: 选择【数据分析】, 并选择【指数平滑】, 然后【确定】;

第 3 步：当对话框出现时，在【输入区域】中输入数据区域，在【阻尼系数】（注意：阻尼系数=1-  $\alpha$ ）输入的值，然后选择【确定】。

具体结果如下所示：

表 5-7 龙口港集装箱吞吐量的预测

Tab. 5-7 The forecast of the throughput in Longkou Port

年度	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
实际吞吐量	12	16.5	15	20	28	35	40.7	38		
预测吞吐量（ $\alpha=0.8$ ）		12	15.6	15.1	19.1	26.2	33.2	39.2	38.4	43.4

5.2 优化模型在龙口港的应用

用我国龙口港集装箱公司为例，利用成本模型来确定该港口集装箱码头生产设备的最佳数量。龙口港集装箱码头始建于 1996 年，初期生产泊位 2 个。近年来集装箱运输规模扩大，龙口港集装箱货源充足，取得了极大的发展。下面就以龙口港码头为实例来介绍如何利用综合成本模型确定最佳设备的投资规模。

龙口港集装箱码头按设计任务书的要求，龙口港总共由 4 个泊位，规划期间设计的港口的年吞吐量是 70 万 TEU，据工作人员对到港船舶类型的比例进行加权求出船舶的载重吨位平均为 5 万吨级，船舶的额定载箱量平均为 2023TEU/艘，装箱率平均每次是 0.6，龙口港采用的装卸工艺类型为以岸桥—轮胎式龙门吊—拖车系统为主，以叉车、正面吊系统为辅的生产工艺系统，装卸机械的平均作业效率是 30TEU/h。

实际应用中模型中的参数如下所示：

(1)、在求  $C_b$  的模型当中，泊位数(b)按照龙口港设计任务书要求，这个码头投产使用的泊位数是 2 个，并且港口计划在最近几年争取将泊位数量增加到 4 个投产泊位，与此同时泊位数随着港口发展不断增多，由此给出泊位数 b 的变化范围为 2~6 个，b 为整数。随后的计算中，仅给出 b=4 的时候，装卸机械配置的情况。当泊位数改变的情况下，机械配置计算结果将在附表中。

假设每个泊位平均建设成本( $cbu$ )=85000 万元，每个泊位平均年维护成本( $cbm$ )=370 万元，年利率( $i$ )=12.5%，折旧的年限( $N$ )=30 年。

(2)、在求解  $C_r$  的模型当中, 岸桥每台的平均成本  $cf_1$  为 4500 万元/台; 场桥平均每台的成本  $cf_2$  是 600 万元/台; 牵引车的单价  $cf_3$  是 20 万元/辆; 折旧年限  $N_1$  是 10 年, 规划的码头装卸集装箱的年吞吐量  $Q$  是 120 万 TEU。为让计算结果具有更强的说明性, 这里我们给定  $Q$  的取值范围  $60 \leq Q \leq 130$  万 TEU, 每个泊位配置的岸桥的数量 ( $nld$ ) 这个需要按照码头机械具体的使用情况, 在本文我们把  $nld$  取  $1.5 \leq nld \leq 2.5$ 。为方便计算, 将  $b \cdot nld$  当作一个变量, 也就是指开工作业线数量。假如  $b=4$ , 那么就得取  $6 \leq b \cdot nld \leq 10$ , 另外, 在这  $b \cdot nld$  要求必须是整数; 使用岸桥进行装卸一个集装箱平均所需电费及设备维护的费用  $cml_1$  为 0.02 万元; 高架吊平均装卸一个集装箱所需电费、燃油费还有设备维护费  $cml_2$  为 0.018 万元; 场桥平均装卸一个集装箱所需燃油费还有维护费  $cml_3$  为 0.0075 万元; 搬运一箱牵引车平均所耗动力费及设备维护费用  $cml_4$  为 0.005 万元。

(3)、在求解  $C_l$  的模型当中, 班组每日的工资  $cll$  是 0.254 万元/班。

(4)、在求解  $C_s$  的模型当中, 岸桥平均装卸一箱需要的时间  $el$  是 0.044 小时; 工作天之间的影响系数  $f_1$  是  $365/311=1.1736$ ; 每天营运时间  $t$  是 18 个小时; 一条船舶辅助作业的平均时间  $at$  是 1 小时; 干扰系数  $f$  设为 0.9; 船型停时的费用  $C_{ss}$  为 8 万元/天。

通过上边具体的参数规定, 我们确定了各个参数的具体取值, 之后我们就需要对综合成本模型进行相关的求解, 为了减少计算量并且很好的避免不可行解的出现, 我们通过咨询港口有关的设计人员, 假定出一个比较合理的范围, 在这个范围内进行计算。假设拥有 4 个泊位, 作业线的数量可以由 4 条逐渐增加到 11 条, 同时, 也要满足  $\lambda/\mu < b$  这个条件。然后就依次利用综合成本模型来进行计算这一范围内不同的配机方案。

具体计算结果如下:

若龙口港码头的集装箱年吞吐量为 70 万 TEU, 并且作业线在 4 到 11 条之间取值, 如果码头的日综合成本最小值出现在开工作业线为 7 条时, 则综合成本为 319.28 (万元)。根据这一结果, 我们就可以确定设备的合理最佳拥有数量, 即:

最佳的配置标准应按照一条作业线用 1 台岸桥配备 2 台场桥和 4 辆牵引车。由此可知龙口港在集装箱年吞吐量 70 万 TEU 时，需配置 7 台岸桥，14 台场桥，28 台牵引车。下图我 i 龙口港集装箱码头作业线从 4 条到 11 条逐渐变化时各成本的变化。

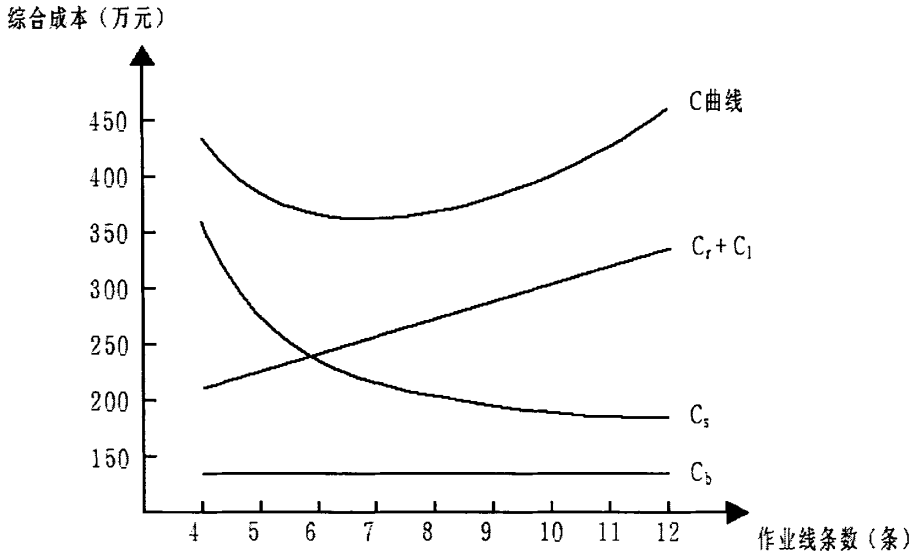


图 5-1 各成本变化的趋势

Fig. 5-1 The trends of every cost

由图 4-1 可知，在泊位数固定的情况下泊位成本是一条水平直线，但是由  $C_r + C_l$  组成的设备，其人工的成本与作业线的条数成正比，船舶的停时成本呈现递减趋势并且减小的速度越来越小。主要值得注意的是综合成本的变化，其与作业线的条数密切相关，伴随着作业线的条数增加，成本先减小后增大，其变化呈一个 U 型曲线。该曲线的最小值即为龙口港集装箱码头的最优配机方案，即为龙口港集装箱码头在最小综合成本意义下装卸机械数量的最佳选择，所以，龙口港集装箱公司投资时应优先考虑这个方案。

### 5.3 计算结果的进一步分析

上述情况是把龙口港集装箱码头集装箱的年吞吐量假设为一个固定值：70 万 TEU，从静态的角度来计算装卸机械最佳拥有量的过程。如果我们把码头的年

吞吐量当作一个动态的不断变化的变量,那么计算结果也会发生相应的变化,因为对于每一个不同的  $Q$  而言,我们都会得到一条与  $Q$  相对应的综合成本曲线。对于不同的  $Q$ ,我们通过计算得出以下结果:

表 5-8 不同吞吐量下的最小码头综合成本(单位: 万元)

Tab. 5-8 The minimum pier comprehensive cost

吞吐量\作业线	4 条	5 条	6 条	7 条	8 条	9 条	10 条	11 条
40 万 TEU	260.96	258.3	264.74	268.83	273.2	277.75	282.29	287.01
50 万 TEU	281.46	278.43	282.09	286.68	292.39	297.74	303.19	307.95
60 万 TEU	301.87	298.86	303.55	308.76	313.88	318.9	324.7	328.89
70 万 TEU	325.95	322.67	319.28	324.58	332.62	337.96	344.79	349.82
80 万 TEU	346.34	342.6	339.71	343.76	350.46	355.46	360.51	368.05
90 万 TEU	371.16	366.74	362.98	360.13	368.01	381.15	386.41	391.68
100 万 TEU	387.69	380.94	376.47	373.85	382.76	393.43	401.69	410.56
110 万 TEU	412.05	407.5	403.71	400.95	414.11	422.47	427.98	433.5

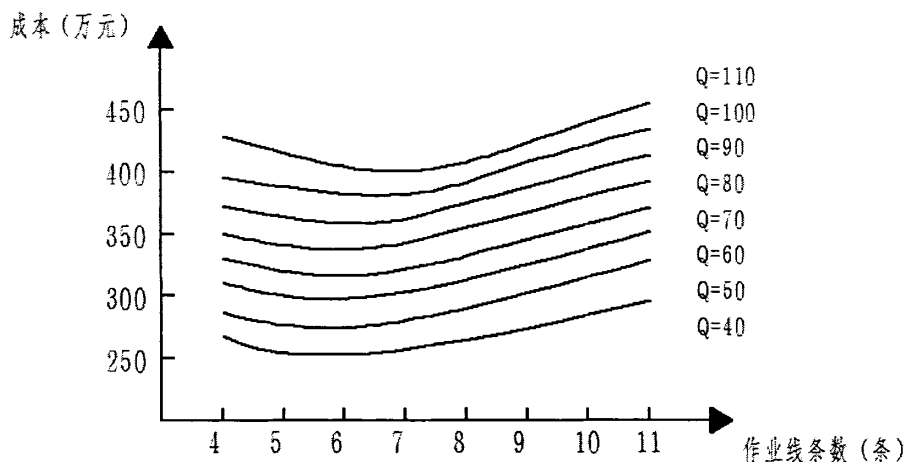


图 5-2 不同装卸量下的综合成本曲线

Fig. 5-2 Comprehensive handling capacity under different cost curve

图 4-2 是将龙口港集装箱码头年装卸集装箱量从 40 万增加至 110 万,每次增加 10 万时,计算得到的 4 到 11 条作业线的的综合成本变化图。表 4-2 是通过 MATLAB7.0 所求的码头开工作业线条数为 4~11 条,年装卸集装箱量从 40 万 TEU 增至 110 万 TEU 时,码头综合成本的情况。其最小成本为表中加下划线的部

分。我们可以从图 4-2 看出综合成本的变化趋势：当  $Q$  增加时，综合成本的最小极值点会右移，综合成本的大小也随之向上移动，码头在不同的运量条件下港口机械要如何配置由此可以方便地得知。从其他角度来说，在港口机械数量固定的条件下，集装箱码头的通过能力也可以从图 4-2 中方便的了解。

根据以上的讨论，可以对码头生产初期阶段，不同的吞吐量下，港机机械的配备数量是否合理进一步地验证。如：根据统计资料，龙口港集装箱码头 2011 年全年实际装卸集装箱量为 25 万 TEU，根据表 4-2 不同吞吐量下开工作业线的最佳数目，可以方便地知道该码头的最佳设备配置数量为：岸桥 6 台，场桥 10 台，牵引车 24 台。而实际的装卸机械配备情况是：岸桥 4 台，场桥 10 台，牵引车 20 台，通过这些我们可以看出，龙口港集装箱码头在现有的机械配置的条件下，基本上可以在保证生产顺利进行的同时控制成本，只是在牵引车和岸桥的数量上需要有所增加。当泊位数  $b$  为 2~6， $b$  取其他值时机械的最优配置情况，见附录中表 1 至表 4。

## 第6章 结论与展望

### 6.1 本文结论

本文通过对集装箱码头装卸机械的使用现状进行定量的分析讨论,着重研究集装箱码头设备的拥有量的确定,结论如下:

1、码头应该随着吞吐量的提高而逐渐增加装卸设备数量。

由于装卸设备规模要符合码头实际生产任务的要求,但同时早年箱量相对较少,过早的配备设备是对资源的浪费,码头泊位也需要一个时间跨度来完成建设,所以,投资建设码头的装卸机械设备也是一个比较漫长的过程,我们所有的投入都需要和码头的实际工作能力相匹配。因此对于码头的计划方案阶段,需要工作人员针对每个时期做出相符的阶段性的计划方案。

2、因为有机设备完好率这个概念在实际的营运中对生产造成影响,所以通过两个定量模型运算的计算结果有所区别。

在计算中我们得知,由于存在设备完好率,在码头的计划阶段做规划出了的装卸机械配置的规模与实际营运中的需求有所偏差。因为有机完好率,机械的磨损程度的不同,即便在初始阶段做了全方位的缜密的计划,初始配置的规模也是会有不同程度的变化的。

3、为了拥有最大的服务台时,要充分做好装卸机械设备的管理工作,保证装卸设备的完好率,以及保证装卸设备的出勤能力。

根据对第四部分当中的第二个数学模型进行计算还有讨论,我们能够得出装卸机械设备的拥有数量以及设备的最佳出勤台数以及设备的完好率,这三个方面存在着互相影响和互相制约的关系,他们是不可以单独存在的。如果想机械的服务台时得到保障,他的唯一途径便是装卸设备保持比较高的完好率的情况。同时,一定的设备量和设备完好的情况下,设备完好率影响着设备的出勤情况,所以码头的经营人需要重视设备的完好率,以达到最高的服务台时。

4、设备的储备系数

港口中装卸设备的储备系数也是值得码头的经营者与管理者引起关注的参数。设备的储备系数所代表的是设备拥有量( $n$ )和最小出勤的台数( $m$ )的比值,



这里我们定义其为  $\alpha$ ， $\alpha = \frac{n}{m}$ ，显然  $\alpha \geq 1$ ，如果设备储备系数  $\alpha$  接近于 1 的程度越高，就表示在经济方面越合理。所以这一个指标反映的是设备拥有量的富裕程度，它的合理与否直接影响着企业的经济效益。

由此可知，码头管理者想实现港机的优化配置，同时降低经营成本，可以在不增加港口机械设备拥有量的条件下，仅仅依靠现有的装卸设备进行科学合理的管理，尽最大可能来增加设备的利用率进而来减少生产成本。对龙口港的具体操作有很强的参考价值和指导意义。

## 6.2 建议和发展趋势

在得出上面结论的基础上，再进行定性与定量的研究，得出如下几点建议和今后的发展趋势。

1、码头管理者应该从实际出发，根据码头、货源和船舶的自身特点来确定装卸的工艺类型，准确的选择合适的装卸设备，而不是在集装箱船舶和装卸机械趋于大型化的现状下盲目求大求新。

2、由于码头的经营是一个动态的过程，所以在规划阶段计划的港机数量也会随着实际需要发生变化，并不是完全按照计划没有偏差，所以不管是在码头的生产初期阶段还是在码头的实际运营阶段，要不断调整港口企业拥有的机械设备数量，进而来对该问题进行优化。只有这样才能够提高企业服务的质量，同样，也能够达到减少码头经营成本的目标。

3、通过我们在上文中的研究可知，设备储备系数是港机配备的一个重要参数，码头管理者可以通过确保现有机械设备的出勤率，从而来达到降低机械设备的储备系数，以此能够降低成本。而码头经营者和管理者多数会将重点集中在大型的机械设备上，例如：岸桥、场桥等等，但是根据上文的计算结果可知，中小机械设备在数量上相对于大型机械设备往往占有很大的优势，并且中小型机械设备还是港口固定资产的一个重要部分，因此，码头管理者要同时做到对中小型设备的数量进行优化。

### 6.3 进一步的研究计划

在本文之中，我们主要研究了装卸机械设备的使用现状以及配置现状，还有优化港机数量的数学模型，提供给港口管理者优化生产设备数量一种全新的办法。但是，本文只是研究了怎样确定设备的拥有量才是最合适的，下一步的工作应该以此为基础，重点要针对港口机械设备管理中存在的不足和缺点做进一步的研究，侧重点在于：企业应该怎样调整港口机械设备的拥有量问题，比如：假如在设备不足的时候，应该租赁设备或购入新设备来满足港口的生产需要；而当港口机械数量过剩时，我们应着眼于长远角度，在保持港机拥有数量优势的情况下，进而来适应发展，或者是应该做出对外出租的决定从而来提高港口的经济效益。

另外，本文中所提的第一个数学模型，其中包含有许多和码头建设规模有密切关系的指标，对于这些技术经济指标，我们还能够运用综合费用模型来敏感性的相关分析从而满足优化设计目的。然而因为本篇文章研究目的的限制，我们在这里不再赘述。

## 参考文献

- [1] 潘子龙. 港机设备管理工作改革的尝试[J]. 港口管理, 1996, 1(01): 6-9
- [2] 李静泉. 大连港装卸机械配置相关因素分析及对策研究[D]. 大连:大连海事大学, 2006. 25-28
- [3] 何秧儿. 浅谈港口企业装卸成本管理[J]. 宁波大学学报(人文科学版), 2005, (06): 35-38
- [4] 刘学淑. 港口装卸机械合理拥有量研究——考虑生产效率和能耗[J]. 现代商贸工业, 2012, (14): 53-55
- [5] 孟庆雨. 集装箱码头装卸设备优化配置研究[D]. 天津:河北工业大学, 2010. 38-45
- [6] 沈敏. 集装箱码头装卸设备优化配置研究[J]. 中国水运(下半月), 2008, (09): 25-28
- [7] 郭洪文. 浅析港口机械设备的使用管理 [J]. 港口科技, 2007, (09): 53-57
- [8] 真虹, . 港口企业内部物流及其合理化原则 [J]. 上海海运学院学报, 2004, (02): 88-90
- [9] 彭传圣. 集装箱码头的自动化运转 [J]. 港口装卸, 2003, (02): 42-45
- [10] 薛贵明. 集装箱运输与国际多式联运 [J]. 科技资讯, 2007, (35): 53-57
- [11] 王兴秋. 集装箱码头后方堆场系统设备配比仿真研究 [D]. 山东:山东大学, 2011. 25-27
- [12] 赵鹏. 基于系统动力学的集装箱码头资源配置问题研究 [D]. 大连:大连海事大学, 2012. 35-38
- [13] 林志树. 轮胎式集装箱龙门起重机节能项目的发展及应用 [J]. 起重运输机械, 2008, (10): 14-18
- [14] 曾庆成, 杨忠振.集装箱码头卸船作业调度方案的两阶段禁忌搜索算法.交通运输工程学报.2007(02):p109-p122.
- [15] 李强, 杨春霞, 工诺等集装箱码头泊位生产调度均衡优化.沈阳建筑大学学报(自然科学版).2008(06): p1132-p1136.
- [16] 郝聚民, 纪卓尚, 林焰.混合顺序作业堆场 BAY 位优化模型.大连理工大学学报.2000, 40 (1):102-105
- [17] 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阴.计算机应用研究. 2007, 24 (9):146-151

- [18] 杨淑芹, 张运杰, 土志强. 集装箱堆场问题的一个数学模型及其算法. 大连海事大学学报. 2002, 28: 115-117
- [19] 周鹏飞. 面向不确定环境的集装箱码头优化调度研究. 大连理工大学. 2005
- [20] Zhang C Q. Dynamic crane deployment in container storage yards[J]. Hong Kong University of Science and Technology. 2000
- [21] Richard Linn, Chuqian Zhang. A heuristic for dynamic yard crane deployment in a container terminal[J]. IIE Transactions. 2000, 2, 12
- [22] Gambardella L M, Rizzoli, Zaffalon M. Simulation and planning of an intermodal container terminals Simulation[D] 71(2):107-116.
- [23] Guan Y, Cheung R K. The berth allocation problem: models and solution methods [J]. OR Spectrum. 2004, 26(1): 75-92.
- [24] Kim K H. A crane scheduling method for port container terminal [J]. European Journal of Operational Research. 2004, 156: 752-768.
- [25] Ng W C, Ma K K. Yard crane scheduling in port container terminal [J]. Applied Mathematical Modeling. 2005, 29: 263-276.
- [26] Imai A, Nishimura I, Papadimitriou S. The dynamic berth allocation problem for a container port [J]. Transportation Research. 2001, B 35: 401-417.
- [27] 汇川洪承礼主编. 港口规则与布置. 北京: 人民交通出版社. 1999: 25-32
- [28] 荣朝和等编. 集装箱多式联运与综合物流. 北京: 中国铁道出版社. 2001: 85-92
- [29] 宋德星. 排队论在集装箱码头设计中的应用. 水运工程. 1995. 2: 17-21
- [30] 蒋昌军. Excel 环境下指数平滑预测法最优平滑系数的确定 [J]. 中国管理信息化, 2012, (02): 12-15
- [31] 中国港口经济大丛书编委会编, 中国港口经济. 天津人民出版社, 2005: 237-239
- [32] 鲁子爱, 林民标. 港口服务系统的计算机仿真研究. 河海大学学报, 1999. 27(3): 17-20
- [33] De Castilho, B. and Daganzo, C. F. Handling strategies for import containers at marine terminals. Transportation Research, 1993. 27B(2): 151 — 166

- [34] Kim, K. H. and Kim, D. Y. Group storage methods at container port terminals. MH- 2, The Materials Handling Engineering Division, 75th Anniversary Commemorative Volume, 1994: 15-20
- [35] Kim, K. H. and Park, K. T. A dynamic space allocation method for outbound containers in carrier-direct system. Proceedings of the 3th Annual International Conference on Industrial Engineering Theories, Applications and practice 2, 1998:859-867
- [36] 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
- [37] Lai, K. K. and Lam, K. A study of container yard equipment allocation strategy in Hong Kong. International Journal of Modeling and Simulation, 1994. 14(3):134-138
- [38] Kim, K. H. and Kim, K. Y. An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminals. Transportation Science, 1999. 33(1):17-33
- [39] Zhang, C. Dynamic crane deployment in container storage yards: [PhD thesis]. Hong Kong: Department of Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong University of Science and Technology, 2000:201-209
- [40] Kozan, E. and Preston, P. Genetic algorithm to schedule container transfers at multimodal terminals. International Transactions in Operational Research 6, 1999:311-329
- [41] Ballis, A and Abacoumkin, C. A container terminal simulation model with animation capabilities. Journal of Advanced Transportation, 1996. 30(1):37—57

## 致 谢

本论文的完成首先要感谢张赫教授的耐心辅导与严格要求。我尊敬的导师张赫教授以其精湛的学术和严格的要求对我悉心教导，在学术和科研方面给予我无私的帮助和适时的鼓励，使我在学术和科研方面有了很大的提高，同时也使我的研究生生活充满了温暖与关爱，张赫教授对待学术的严谨认真态度，为人处事的正直宽厚，对我的职业生涯会产生深远的影响。在我的论文完成之际，我在此对张老师表示我最衷心的感谢与最崇高的敬意。

同时，我还要特别感谢我的同事们对我的论文完成给予的无私的帮助与悉心的指导。各位同事在我的论文完成的过程中，都曾经对我的论文提出许多方面的建议，对我的论文顺利完成起到的很大的帮助，在此向给各位同事表示感谢并致以敬意。

最后，我要特别感激我的父母，他们在我的研究求学道路上给予的许许多多的帮助、理解和支持，总是在我身后默默无闻的为我提供爱与鼓励。我的人生道路上的每一段历程，都有他们无尽的泪水与汗水、微笑与鼓励与我相伴，没有他们就没有我的今天。

附 录

附表 1-表 4 分别是当泊位数  $b=2, 3, 5, 6$ , 年吞吐量  $Q$  的不同值时, 依照设计任务的要求, 码头港口机械的优化配置情况, 其中表中带下划线数字即为最优解, 在该种码头吞吐量和机械配置情况下求解无效解用 N/A 表示。

附表 1 当  $b=2$ ,  $10 \leq Q \leq 60$  万 TEU 时的最小码头综合成本, 单位: 万元

作业线 吞吐量	1 条	2 条	3 条	4 条	5 条	6 条
10 万 TEU	89.31	<u>87.44</u>	88.05	89.68	91.885	93.44
20 万 TEU	111.54	102.76	<u>101.15</u>	101.74	103.32	105.42
30 万 TEU	165.59	123.27	116.17	<u>114.75</u>	115.33	117.08
40 万 TEU	N/A	162.88	135.56	129.55	<u>128.28</u>	128.58
50 万 TEU	N/A	655.74	168.56	148.16	<u>142.9</u>	144.3
60 万 TEU	N/A	N/A	306.69	177.34	160.97	158.19

附表 2 当  $b=3$ ,  $20 \leq Q \leq 70$  万 TEU 时的最小码头综合成本, 单位: 万元

作业线 吞吐量	3 条	4 条	5 条	6 条	7 条	8 条	9 条	10 条
20 万 TEU	145.66	140.05	<u>138.93</u>	139.52	140.97	142.91	145.18	147.36
30 万 TEU	176.55	157.88	153.18	<u>152.37</u>	153.01	154.45	156.38	158.6
40 万 TEU	262.48	184.3	170.36	166.48	<u>165.74</u>	166.42	168.38	170.27
50 万 TEU	N/A	259.53	202.99	191.9	188.56	<u>187.96</u>	188.66	189.78
60 万 TEU	N/A	N/A	241.64	204.95	192.81	192.81	<u>192.32</u>	193.72
70 万 TEU	N/A	N/A	716.25	243.37	208.57	208.57	205.96	203.92

附表 3 当  $b=5$ ,  $60 \leq Q \leq 130$  万 TEU 时的最小码头综合成本, 单位: 万元

作业线 吞吐量	6条	7条	8条	9条	10条	11条	12条	13条	14条	15条
60万TEU	220.2	217.7	<u>217.3</u>	217.9	219.2	220.8	222.8	224.9	227.4	229.9
70万TEU	238.8	232.8	230.7	<u>230.5</u>	231.2	232.5	234.2	236.2	238.4	240.8
80万TEU	265.1	250.5	245.4	243.8	<u>243.7</u>	244.4	245.8	247.5	249.5	251.7
90万TEU	318.4	273.9	262.4	258.2	<u>256.7</u>	256.8	257.6	258.9	260.8	262.8
100万TEU	823.3	314.7	293.1	274.5	270.9	<u>269.7</u>	269.9	270.8	272.2	273.7
110万TEU	N/A	463.8	317.9	294.8	286.8	283.7	<u>282.7</u>	282.9	283.9	285.3
120万TEU	N/A	N/A	403.4	324.3	306.1	299.2	296.5	<u>295.7</u>	295.8	296.9
130万TEU	N/A	N/A	N/A	384.9	332.6	317.7	311.7	309.3	<u>308.6</u>	308.7

附表 4 当  $b=6$ ,  $80 \leq Q \leq 150$  万 TEU 时的最小码头综合成本, 单位: 万元

作业线 吞吐量	110万 TEU	120万 TEU	130万 TEU	140万 TEU	150万 TEU	160万 TEU	170万 TEU	180万 TEU
8条	261.7	278.8	300.5	334.4	423.5	N/A	N/A	N/A
9条	259.8	274.3	290.5	310.8	339.7	398.8	851.6	N/A
10条	<u>259.4</u>	272.8	287.5	302.9	321.8	347.5	392.4	550.7
11条	260.2	<u>272.6</u>	<u>285.72</u>	299.7	315.1	333.2	356.6	393.6
12条	261.2	273.3	285.74	<u>289.7</u>	312.4	327.5	344.8	366.6
13条	262.8	274.5	286.5	289.8	<u>311.6</u>	325.2	339.9	356.7
14条	264.6	276.1	287.8	299.7	311.9	<u>324.6</u>	337.9	352.4
15条	266.7	278.1	289.4	301.3	312.8	324.9	<u>337.5</u>	350.7
16条	268.9	280.1	291.3	302.7	314.2	325.9	337.9	<u>350.4</u>
17条	271.3	282.7	293.4	305.6	315.9	327.3	338.9	350.9
18条	273.8	284.7	295.7	306.7	317.8	329.4	340.4	352.1
19条	276.4	287.2	298.1	302.7	319.9	330.9	342.1	353.4