

分类号 .....

密级 .....

U D C .....

编号 .....

中南大學

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

# 硕士学位论文

论文题目 港口集装箱堆场码垛优化模型及算法

学科、专业 物流工程

研究生姓名 谢颖

导师姓名及

专业技术职务 江南 教授

2011年5月





**CENTRAL SOUTH UNIVERSITY**

**The Optimization Model and Algorithm of  
Container Stacking Assigned**

**A Thesis Submitted for the Degree of Master of  
Science**

**By  
Xie ying**

**Supervisor: Prof. Jiang Nan**

**May 2011**



## 原创性声明

本人声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在论文中作了明确的说明。

作者签名： 谢颖 日期： 2011 年 5 月 31 日

## 学位论文版权使用授权书

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文并根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

作者签名： 谢颖 导师签名： 江平 日期： 2011 年 5 月 31 日



## 摘 要

随着港口集装箱吞吐量迅速增加,堆场迫切要求提高港口作业效率。影响港口堆场作业效率的主要因素之一是过多的翻箱作业。

本文针对后方堆场,根据集装箱初始位置将影响提箱翻箱量,以普通箱的堆码问题为研究对象,对堆场进行合理规划,在不同航线集装箱混合堆放的情况下,通过箱位优化分配模型以达到降低翻箱量,同时控制贝在合理使用水平。

首先,介绍了堆场的相关知识,包括前方堆场和后方堆场的划分及功能,并对后方堆场内普通箱与特殊箱箱位分配需考虑因素及分配原则进行分析总结。

其次,对翻箱问题进行深入分析,(1)总结翻箱的原因。(2)阐述了翻箱对作业成本、效率的影响。(3)对降低翻箱量采用的策略进行归纳。(4)介绍启发式翻箱量算法。

然后,将集装箱堆场划分为箱大区 and 箱小区,并针对箱小区箱位分配问题建立优化模型。

按集装箱的分类将堆场划分为若干个箱大区,每个箱大区中存放同一种类集装箱,如普通箱区、保温箱区等。箱大区进一步划分箱小区,箱小区内存放同尺寸、同重量级别的箱。

在箱小区基础上建立箱位优化模型。模型以码取箱总代价最小为目标,构成总代价的因素有:箱小区整体叠压度、码箱时龙门吊移动的作业成本和码放紧凑程度。以贝内码箱时,同航线挂靠港远的箱压在近的箱上;跨贝码放时,以不同航线混压取箱难度最小等为约束条件。

最后,采用 MATLAB 对模型有效性仿真验证。在各航线船出发次序随机情况下,将箱位分配优化模型所确定的码放方式与垂直式堆码,阶梯式堆码及平铺式堆码进行比较,计算结果表明该模型确定的码箱顺序能够有效减少翻箱量。结尾对论文进一步研究内容进行展望。

**关键词** 集装箱堆场,堆码,叠压度,翻箱





## ABSTRACT

With the great development container throughput at ports , it's efficiency to improving their competitiveness. Overmuch relocation is one of the main factors that affecting the efficiency of container operation efficiency .

Aiming at container yard and considering stacking dry container as the research object, this paper focuses on slot assignment problem through optimization model of slot, made the container came different routes mixed piled up to reduce relocation and bay usage.

Firstly, this paper introduces the relevant knowledge of yard, including marshalling yard and container yard's division and function, and analysis and summary the consider factors and assignment rules of container yard's dry container and special container.

Secondly, in depth analysis of relocation problem: (1) Summary of reasons of relocation. (2)Relocation has the influence on cost and efficiency. (3) Summarize the strategies of reducing relocation. (4) The heuristic algorithm calculation is introduced .

Thirdly, the yard is divided into big-regions and small-regions and the optimization model and algorithm of container stacking assigned research on small-regions.

The container yard are divided into several big-regions by category. In big-region, the same category container are stored, for example: dry container region and insulated container region. The big-region are divided into several small-regions where the containers that have the same size and weight class .

The optimization model and algorithm of container stacking assigned research on small-region. Optimization objective is the minimum of that including the overlying degrees of the bay, the cost of crane moving and the compactness of stacking. The constraint based container which destination more far should stacking higher in the same bay and the overlying degrees minimum when moving the crane.

Finally, Computer simulations through MATLAB software, supposing the probability of different ship's first leaving, compared

those stacking method, including vertical, horizontal, tiers and optimization models, calculating the number of expectation relocation, the optimization models can bring less relocation is proved. In the end of this paper, intensive study of the subject which should be further studied are mentioned.

Key words: container yard, block stacking, overlying degrees, relocation

# 目 录

第一章 绪 论 .....	1
1.1 论文研究背景 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.3 研究目的与意义 .....	4
1.4 主要研究工作 .....	5
1.5 论文结构 .....	6
第二章 集装箱堆场存取箱问题分析 .....	8
2.1 集装箱堆场 .....	8
2.1.1 集装箱的分类 .....	8
2.1.2 堆场的概念 .....	9
2.1.3 箱位分配原则 .....	11
2.1.4 特殊集装箱箱位分配 .....	12
2.2 堆场装卸机械 .....	12
2.3 集装箱堆场作业流程 .....	14
2.3.1 出口集装箱操作流程 .....	14
2.3.2 进口集装箱操作流程 .....	15
2.4 本章小结 .....	16
第三章 翻箱问题研究 .....	17
3.1 翻箱 .....	17
3.1.1 翻箱原因 .....	17
3.1.2 翻箱对效率影响 .....	17
3.1.3 降低翻箱率方法 .....	18
3.2 集装箱堆场存箱规则 .....	19
3.3 翻箱原则 .....	20
3.4 翻箱量统计方法 .....	21
3.4.1 假设条件 .....	21
3.4.2 翻箱量统计 .....	21
3.5 本章小结 .....	25
第四章 码箱模型及算法 .....	26
4.1 存取箱优化模型 .....	26
4.1.1 基本思路 .....	26
4.1.2 模型假设条件 .....	29
4.1.3 目标函数与约束条件 .....	29
4.2 算法 .....	35
4.2.1 算法思想 .....	35
4.2.2 算例 .....	36
4.2.3 结果分析 .....	42
4.3 本章小结 .....	47
第五章 结论与展望 .....	48
5.1 研究工作总结 .....	48
5.2 需进一步研究的问题 .....	48
参考文献 .....	49

致 谢 ..... 49

攻读硕士学位期间主要研究成果 ..... 54

## 第一章 绪 论

### 1.1 论文研究背景

集装箱运输具有运量大、破损少、运价低等优点成为主要的运输方式之一并广泛应用于沿海国家。目前发达国家杂货件运输集装箱化程度已超过 80%。据法国海运咨询报告统计:到 2009 年 1 月,全球各类型集装箱船舶 6000 多艘,总运力达 1300 万个标准箱。随着集装箱运输技术日趋完善和多式联运的推广和应用<sup>[1]</sup>,集装箱运输货物吞吐量逐年递增,到 2009 年 9 月份,全球总运力达 1400 万个标准箱,自 2003 年以来,世界集装箱贸易量每年都以超过 10% 的幅度增长,因此集装箱运输增量超过 20%,显示了海运集装箱化具有不可阻挡的发展前景。

据统计,2004 年中国进出口箱吞吐量达 4860 万标准箱,2007 年中国港口集装箱年吞吐量突破 1 亿标准箱,从 5000 万标箱到 1 亿标箱仅用了 3 年时间,随着世界经济进一步良好发展,集装箱航运市场将继续繁荣。

随着集装箱港口吞吐量日益增加,已经超过一些港口的设计能力,拥堵现象十分严重,例如西欧和亚洲的部分集装箱港口。吞吐量的增加与港口能力有限成为制约港口发展的主要矛盾。解决这一矛盾的出路不外乎两个方面。一是增加集装箱港口作业面积,建立新港口或在既有港口附近增建新集装箱堆场,如釜山港和深圳港。二是提高既有集装箱堆场作业效率。

提高堆场作业效率又可以从两个方面着手。一是提高各种机械能力,包括门吊、集卡等。二是提高管理效率。其中,通过集装箱堆场的优化码放,降低翻箱率,减少作业次数,是向管理要效益的一个重要手段。

码头堆场翻箱率是影响港口作业效率的重要指标。翻箱包括二种情形,一是因为所提箱压在其它箱底部,不得不进行翻箱,二是在装船作业间隙,为了装船时不翻箱或少翻箱,减少船舶在港作业时间,所进行的整理性翻箱。以上二种翻箱分别有各自翻箱率,前者翻箱对船舶停留作业时间有直接影响,后者翻箱对船舶停留作业时间无直接影响。

目前,我国大多数港口普遍存在翻箱率过高<sup>[2]</sup>。其中,中小码头平均翻箱率高达 20%,比国际大型港口高出 15%。以一个月装船 10 万自然箱的集装箱码头为例,如果翻箱率降低 1%,全年可减少成本为:10 万自然箱/月 $\times$ 1% $\times$ 12 月 $\times$ 50 元/自然箱=60 万元。更为重要的是翻箱导致装船速度减慢,增加了船舶停留时间,影响港口及船舶运输效率。

港口作业效率关系到港口的竞争力。随着船舶大型化发展,对港口码头要

求越来越高。港口的拥挤程度、装卸能力、船舶进港时间的延滞程度,船舶实际装卸作业时间等是船公司考虑停靠港的重要因素。因此各港口码头在考虑经营成本的前提下,要不断提高服务水平才能在竞争中求生存和发展。

翻箱问题是影响作业效率重要因素,已经引起了很多学者的注意。目前大多研究都集中在装船前已知装载图时的翻箱,即整理性翻箱。将堆场箱位置按提箱顺序调整好,使得先提的箱位于上部,尽量减少装船时的翻箱作业。但对新进重箱的位置选择,摆放规则、设置标准研究较少,堆码随意性大,影响后期取箱。显而易见,通过新进重箱的合理码放,对于整理性翻箱过程(若无整理性翻箱过程,则直接对于装船时的翻箱过程),能有效减少翻箱量。这正是本论文的主要研究内容。

## 1.2 国内外研究现状

### (1) 国外研究现状

目前,国外对堆场规划和翻箱的研究主要集中在已知出口箱码放位置和配载图后对集装箱翻箱落箱位置选择优化问题,或者已知全部出口箱的进场顺序,对进口箱堆码的安排,但实际上出口箱进场顺序是随机的,预测存在很多不定因素。

E.mcdowillet.al<sup>[3]</sup>在文中考虑了各作业流程所发生成本的因素,建立了一个以成本最小化为目标函数的问题,此模型虽然可以降低总的作业成本,但没有考虑作业效率的因素。

B.De CeCastilho 和 C.F.Dagan<sup>[4]</sup>(1993)指出,为能较好地提高堆场效益,对集装箱情况进行估计,并以此作为堆场层高布局的策略函数,使得层高、堆场的利用率以及操作效率间达成妥协。

Kim 和 Hong<sup>[5]</sup>讨论了翻箱时采用分支定界法和启发式方法,两种计算方法的翻箱量和计算时间的对比。K.H.Kim 等(2000)<sup>[6]</sup>考虑出口港集装箱的重量等级因素,以翻箱量最小为目标,运用动态规划方法求解,并运用最小树方法生成决策模型。

堆放配位问题,以及最小化翻箱作业量问题。K.H.Kim<sup>[7]</sup>和 J.w.Bae 假设当前集装箱堆场图和贝布局都已知的情况下,将问题分解为:贝匹配、移动计划和任务安排,提出了以集装箱移动数量最少和移动距离最短为优化目标使当前布局转化为期望贝布局的方法。

Taleb-Ibrahimi<sup>[8]</sup>讨论了出口箱区堆高、堆场利用率和翻箱率之间相互制约的关系。

Peter Preston, Erhan Kozan<sup>[9]</sup>在文中讨论了以快速装船为目标,并以 Brisbane

港口为实例应用遗传算法求解。

## (2) 国内研究现状

近年来,国内也有学者对堆场翻箱问题进行了研究。主要集中于装船前已知配载图后的翻箱,对初始码放顺序研究较少。

江南<sup>[10]</sup>寻求能够自动生成集装箱堆场作业计划的方法,首先对箱区进行划分为箱大区,再分为箱小区,引用动态全序关系,构造动态码垛模型和暂扣标记和解除暂扣标记,并设计求解该模型的箱小区内新进箱的位置摆放和取走箱的选择,模型目的是使集装箱循环使用,保证先进先出,平衡箱的使用频率,减少箱内货物因等待时间而造成的损失。

郝聚民,纪卓尚等<sup>[11]</sup>等针对前方堆场的同航线集装箱堆码初始位置选择问题,以图搜索和模式识别技术为基础建立了混合顺序作业堆场贝优化模型,在堆垛的横向和纵向上增大了新进箱初始位置选择的范围,考虑重量和移动集装箱难度两个因素,确定新进箱的位置摆放,提高了堆场的利用效率。

沈剑峰等<sup>[12]</sup>针对集装箱堆场箱位分配考虑因素和遵循规则,提出箱位分配模型包括分配区域划分、作业模式及规则匹配、最优箱位选择三个部分,取得良好的箱位分配效果。

杨淑芹<sup>[13]</sup>等提出了一种在集装箱到来顺序已知前提下,考虑重量因素将集装箱划分不同优先级别,建立了按级别高低判断集装箱贝选择的启发式算法,但实际作业中,集装箱到来顺序是随机的。

陈庆伟<sup>[14]</sup>以前方堆场出口集装箱贝堆存为模型,考虑集装箱重量、目的港因素,以装船最小翻箱数为优化目标,通过遗传算法求解箱位分配。

高鹏,金淳<sup>[15]</sup>针对进口提箱业务,研究集装箱堆场一段内含多个贝范围内的提箱作业,考虑翻箱和各种设备作业综合成本,求得使总成本最小的提箱作业方案。

徐亚,陈秋双<sup>[16]</sup>为降低集装箱堆场的翻箱率,对翻翻箱落箱位置的确定问题进行了研究,提出了,一种启发式算法 H 及其改进算法 IH。利用仿真实验将这两种算法和结果与已有启发式算法 OH 进行了比较,结果表明,两此方法解的效果和稳定性上均明显优于算法 OH。

张维英,林焰<sup>[17]</sup>建立了龙门式起重机取箱作业优化模型,以起重机取箱翻箱数量最少为目标,以各个取箱阶段为节点、取箱代价为边的权数,应用最小生成树和启发式算法对优化模型进行求解。

计三有,高悦文<sup>[18]</sup>从集装箱堆场码箱考虑重量因素对翻箱进行分析,并以实例采用搜索技术理论证明所设计的方法能有效降低翻箱率。

### 1.3 研究目的与意义

本文研究目的是探索寻找集装箱堆场码垛优化模型及相应算法。通过上述算法,能够为新进重箱寻找合适的贝进行堆放,使其提取时更加顺畅,减少翻箱率,从而提高港口作业效率,压缩船舶在港等待和作业时间,增加港口竞争力。

全球经济的良好发展带动了港口快速成长。船舶的不断大型化及数量的不断增多,对深水泊位、码头提出了更高要求,同时迫使码头加快运作效率。在不断提高货物中转量基础上,降低单位成本。

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。机械设备的性能参数、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。堆场贝选择作为堆场的基本活动之一,其选择结果影响后期翻箱数量、船舶在港时间,港口交通状况等。

翻箱作业是影响作业效率的重要因素,降低翻箱率能减少翻箱时间、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(just in time)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。

目前,堆场集装箱码放(翻箱)研究大多建立在已知船舶装载计划前提下,对于新进重箱码放一般采用随到随码规则和 PSCW 规则。

(1) 随到随码规则。不同航次出口集装箱混合提前进入堆场,此时由于船舶装载计划还未制定,不能确定装船顺序,故采用随到随码方式。这种方式的缺点是装船时翻箱量较大。

(2) PSCW 规则<sup>[19]</sup>(port 目的港, size 尺寸、category 种类 weight 重量级别)。该规则要求按照集装箱目的港、尺寸、种类或重量分门别类存放于不同区域。这样,避免了不同航线、船次集装箱互相叠压,降低取箱时的翻箱量。上述 4 个因素中,种类、尺寸和目的港为主要因素。

采用 PSCW 规则虽能某种程度降低翻箱量,但由于集装箱运输的季节不平衡性,造成固定划分区域堆场使用效率降低,此方式要求堆场空间足够大。



PSCW 规则某区内存放具有同航线、同种类、同尺寸、同重量级别的集装箱, 但同航线不同停靠港的集装箱随机进场, 造成重箱码放随意, 航程近的集装箱压在航程远的集装箱上, 增加取箱时翻箱量。

本文对集装箱进场初始贝选择进行优化, 采用放宽 PSCW 划分标准, 不同航线的集装箱可以混合堆放的前提下, 根据已码箱信息和新进重箱信息来确定箱的位置堆码, 在不增加取箱和码箱代价的前提下, 减少贝数使用, 提高堆场单位面积使用率, 对堆场面积紧张的港口来说, 此方法具有一定的应用价值。

本文考虑了影响贝的初始位置选择的主要因素, 将实际堆码问题简化, 建立了数学模型, 以取箱难度最小为目标函数, 并采用 MATLAB 进行模拟运算, 结果表明此模型具有实际意义。本文忽略了堆场作业移动距离、成本等因素, 还须不断的完善。

## 1.4 主要研究工作

主要研究工作如下:

(1) 以堆场实际问题为背景, 阐述了影响堆场运作效率下降的原因, 对其主要因素翻箱问题进行分析, 找到导致翻箱的原因, 得出翻箱量很大程度是由集装箱初始位置的选择、提箱顺序和翻箱方法决定的。同时分析了堆码过程应该考虑的航线、停靠港、箱重量级别等因素, 通过分析为下文数学建模打下了基础。

(2) 堆场内已码箱在已知提取顺序后的翻箱量计算, 本文介绍了 2 种方法, 分枝定界法和启发式算法, 分枝定界法虽然可以得到最小的翻箱数, 但随着贝规模的增大, 分枝定界法计算时间成指数增长, 而启发式算法求翻箱量大于或等于最小翻箱量, 但求解时间随问题规模增加变化不大, 适合大规模贝翻箱计算。

(3) 研究新进重箱的贝选择问题, 对初始贝进行划分, 是基于目前大多堆场采用的 PSCW 规则的基础上构建了堆场贝选择模型, 放宽航线的要求, 不同航线集装箱可以混合堆放, 即把具有相同重量、种类、规格、不同目的地的集装箱存放在同一区域内, 这样可以增加堆场使用效率。文中定义了叠压度函数, 即取箱的难易度, 以新进箱放到任何列中产生叠压度及龙门吊移动之和最小的列为目标堆放列, 为后进重箱找到合适的位置存放。

(4) 对堆存效果模型和算法进行了验证。应用 MATLAB 产生随机数列, 模拟集装箱进场信息, 采用叠压度算法确定集装箱堆存位置。根据码放好的箱位信息, 以概率假设某航线先走, 提取此航线的集装箱装船, 采用启发式算法统计该航线的翻箱量。统计所有航线的平均翻箱量与不采用叠压度的阶梯式码箱

方式产生的平均翻箱量对比,结果表明箱位优化模型为重箱初始贝的选择有效降低了翻箱量,同时减少了贝的使用量。

(5)为使模型更接近实用,降低求解计算复杂度,对实际模型做了简化,以便能在可行的时间内求解。

## 1.5 论文结构

本文主要针对集装箱后方堆场,对出口集装箱进入堆场的初始贝位选择问题进行分析,建立了箱位分配优化模型,目标为降低翻箱量,加快装船速度,同时也减少了贝的使用量。具体章节分配如下:

第一章介绍了本文的研究背景,综述了国内外港口堆码问题研究现状、难点,并阐述了论文的研究目的与意义,最后明确了本论文的思路、组织结构图。

第二章主要是介绍集装箱堆场作业相关理论、作业流程、设备设施等内容,结合现行堆场规划,阐述堆场划分前后堆场和不分前后堆场的优缺点,作业习惯等特点,同时介绍了普通箱和特殊集装箱—冷藏箱和危险品集装箱的箱位分配原则。

第三章分析翻箱理论,包括翻箱产生的原因、应对策略等,并介绍了两种翻箱量的计算方法——分枝定界法和启发式算法,以及对两种算法结果优良性、算法所需时间进行比较。

第四章根据集装箱堆场码放时,需考虑提箱装船时的稳定性,要求堆码考虑重量因素,以及卸船翻箱追求零翻箱,要求堆码考虑航程远近因素等。本文首先对堆场进行规划,把同种类、同尺寸、同重量级别的箱存放在箱小区内,再将不同航线的集装箱的航线、航程用数字进行编号,将码箱问题转换成数学问题,考虑评价码放优良的主要标准:码放箱龙门吊移动代价和取箱时翻箱量,建立箱位分配建立模型,并以此为优化目标,为新进重箱寻找合适的位置进行堆码。

最后,采用 MATLAB 模拟数据,对箱位分配优化模型与垂直式堆码、水平式堆码、阶梯式堆码四种堆码方法产生的码取箱代价进行对比,结果表明箱位分配优化模型对降低翻箱量是具有实际意义的。

第五章对论文所做的主要研究工作进行了总结,并提出了需进一步研究的问题。

本文的组织结构如图 1-2 所示。

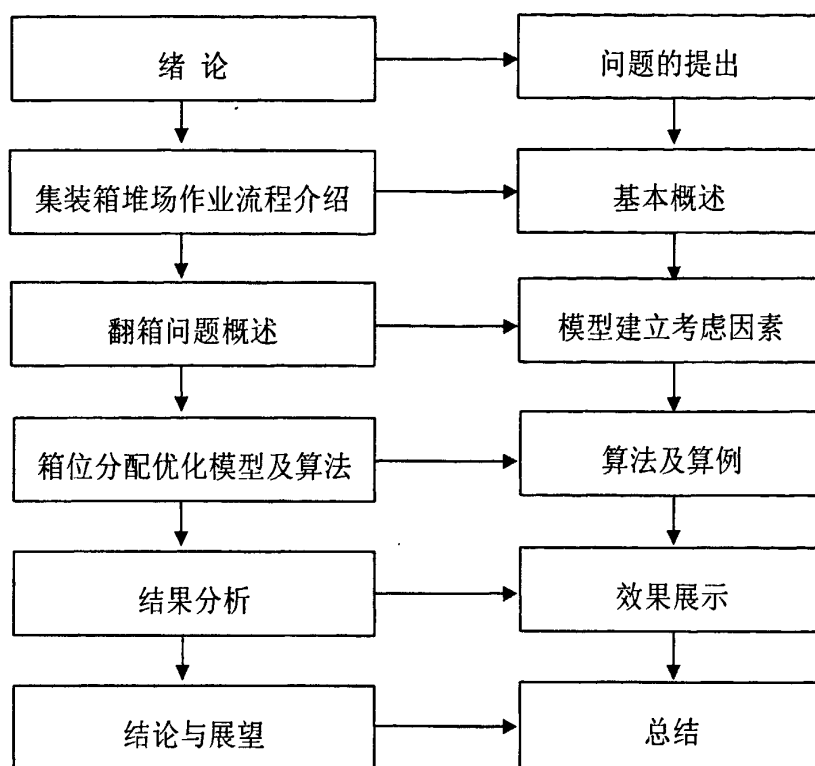


图 1-2 论文的结构

## 第二章 集装箱堆场存取箱问题分析

### 2.1. 集装箱堆场

#### 2.1.1 集装箱的分类

集装箱分类方法多种多样，主要有以下分类方式<sup>[20]</sup>：

(1) 按箱所装货物的种类分为：干货集装箱、液体货集装箱、散货集装箱、冷藏集装箱，以及一些特种专用集装箱，如汽车集装箱、牧畜集装箱等。

杂货集装箱主要用于运输一般杂货，适合各种不需要调节温度的货物使用的集装箱，最为普通的集装箱。

液体货集装箱是用以装载液体货物的集装箱。

散货集装箱是用以装载粉末、颗粒状货物等各种散装的货物的集装箱。

冷藏集装箱是箱内附有冷冻机设备，可以调节箱内温度，用于冷冻、保温、保鲜货物的集装箱。

汽车集装箱是一种专门设计用来装运汽车，且可分为两层用于装货。

牲畜集装箱是用来装运活牲畜的集装箱，不是完全密闭，设有通风设施，带有喂养和清洁装置。

(2) 按规格尺寸分：国际上通常使用的干货柜主要为 20 尺和 40 尺的集装箱，此外还有 45 尺，50 尺，另有高柜 HQ，重柜 GP 之分。

20 尺柜：外尺寸为 20 英尺\*8 英尺\*8 英尺 6 吋，配货毛重一般为 17.5 吨，体积为 24-26 立方米。因制作材料不同，体积略有不同。

40 尺柜：40 英尺\*8 英尺\*8 英尺 6 吋，配货毛重一般为 22 吨，体积为 54 立方米。

高柜 HQ (High Container)，例如：外尺寸为 40 英尺\*8 英尺\*9 英尺 6 吋，简称 40 尺高柜，配货毛重一般为 30 吨，体积为 74 立方米。

(3) 按制造材料分：制造材料是指集装箱主体部件(侧壁、端壁、箱顶等)。材料主要有三种：有钢制装箱、铝合金集装箱、玻璃钢集装箱，此外还有木集装箱、不锈钢集装箱等。

(4) 其它分类方法

按结构分：折叠式集装箱、固定式集装箱；按箱及箱内货物总重量重分：有 10 吨、20 吨、30 吨以及 2.5 吨、5 吨较轻集装箱等。按箱主分类：船舶公司的集装箱、铁路集装箱、租赁公司的集装箱和货主的集装箱。

## 2.1.2 堆场的概念

集装箱堆场（container yard）指办理集装箱重箱或空箱转运，交接，保管，装卸的场所<sup>[21]</sup>。集装箱堆场按经营地点分为铁路集装箱堆场和港口集装箱堆场。铁路集装箱堆场的集装箱的特点是属于大批量，小批次，而海运集装箱的特点则属于多批次，小批量。本文主要研究后者，海运集装箱堆场在海陆运输中起到承接、缓冲的作用，即把所有出口的集装箱在堆场先集合起来（不论通关与否），到了截港时间之后，再统一上船（此时必定已经通关）这样便于船公司和海关等进行管理。

港口集装箱堆场按是否分前后堆场分为两种：分前后方堆场和混堆<sup>[22-24]</sup>。

集装箱前方堆场（marshalling yard）是在码头前沿存放集装箱的场地。主要存放两种类型集装箱，一是在船舶即将到港时，把出口集装箱按配载图的要求有次序暂时集中堆放，等待装船的集装箱，二是刚卸船等待运走的进口箱，存放目的都是为加快船舶的装卸速度。

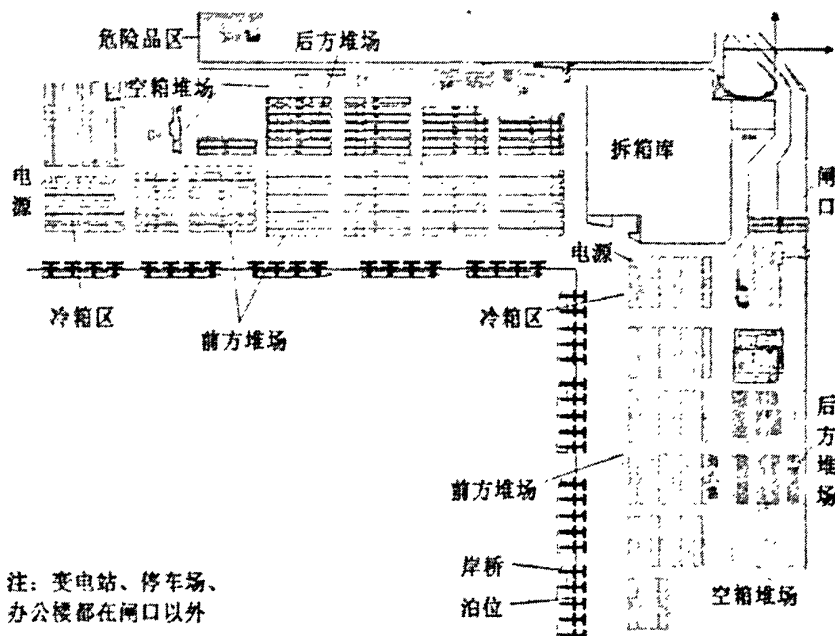


图 2-1 集装箱码头堆场

集装箱后方堆场（container yard）主要存放新进重箱和未提离港区的进口重箱。后方堆场按功能划分为空箱堆存区、冷箱区、残箱区、维修箱区、重箱堆存区、危险品箱区、拆箱区、缓存区等，如图 2-1 所示。集装箱后方堆场是集装箱装卸区的组成部分，当集装箱整箱货进入装卸区“门口”就为箱办理货物

交接。

集装箱空箱堆场是专门办理空箱的场地，包括对箱的收集、保管、租赁、堆存和交接，不办理重箱或货物交接。它既可单独经营，也可在装卸区外另设，以减少堆场的使用面积。

有些国家对集装箱堆场并不分前方堆场或后方堆场，统称为堆场即混堆。虽然可以节省空间，但增加作业难度。一般地，集装箱堆场大多采用区分前后堆场方式，这样易于降低存放和提高集装箱时容易造成交通拥挤程度，减少翻箱量。

每个箱区一般由连续的 20 至 30 个贝(Bay)组成<sup>[25]</sup>，每个贝通常含有 6 至 8 个堆栈列(Stack)。贝（Bay）坐标系定义如下图三所示， 图中每个方格代表一个箱位(Slot)， 沿垂直方向(y)每列所有箱位（Slot）组成一个堆垛列(Stack)， 由所有堆栈列沿水平方向（x）组成一个 Bay 位。

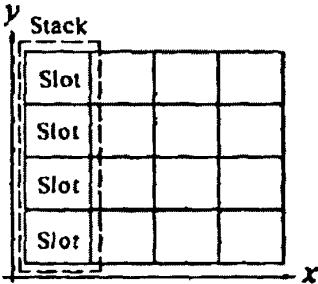


图 2-2 贝模型

在堆场中，20 尺和 40 尺的箱较多，通常 20 尺的集装箱占用 1 个贝，贝号为奇数，40 尺的箱等于 2 个 20 尺箱所占的贝数，所在贝号为偶数，如图 2-3。大多数堆场为取箱方便，通常规定不同规格的集装箱分开堆放，即要把 20 尺、30 尺、40 尺的箱分别存放于不同贝上。

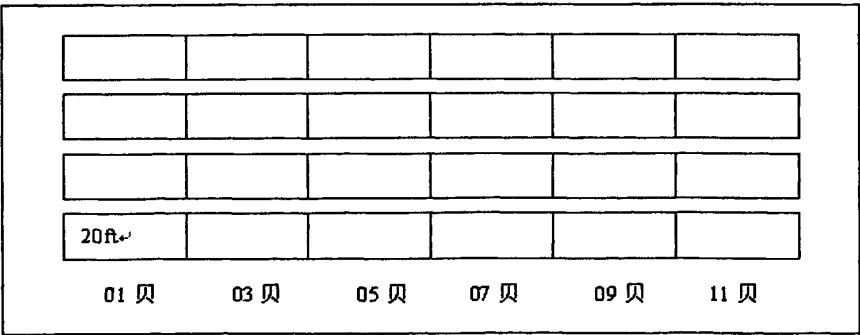


图 2-3 堆场存放示意图

在堆场上，每个箱位所在的箱区、贝、堆栈列、层高，通过一定的编码都可以唯一表示，箱区通常采用字母和自然数结合表示<sup>[26]</sup>，如：A01，A02，B01，

B02, 贝、堆栈列、层高通常由自然数(1, 2, 3...)来表示。如给定一个堆场编码(A050010302)表示该箱位置是 A05 箱区 001 贝 03 行 02 层, 并且可以判断此箱为 20 尺; 编码(D030060504)表示该箱位置是 D03 箱区 006 贝 05 行 04 层, 而且是 40 尺的箱。箱管系统记录了场内每个箱的场位, 当某个箱位置发生变化时, 其系统记录就及时更新, 通过系统可以找到场内存放的各箱位置。

集装箱堆场管理是码头作业流程的一个重要环节, 装卸速度很大程度上取决于码头堆场箱区箱位安排、翻箱量、机械设备等因素。合理安排箱区、箱位布局, 加快收箱速度, 提高收发箱作业效率, 并最大限度地提高堆场利用率, 降低场内翻箱操作且非增值操作所支出的额外成本。

### 2.1.3 箱位分配原则

新进重箱堆存位置对堆场作业活动具有很大的影响, 它关系到取箱作业的方便性、翻箱量, 进而影响着装卸时间、作业成本等。堆存目标是提高堆场的利用率、作业效率, 减少装卸时间、同时降低整个堆场的运营成本。

堆场基本堆存原则如下:

- (1) 进、出口箱原则上实行分堆(存放在不同区域或不同的贝);
- (2) 空、重箱原则上实行分堆, 防止空箱受重压变形。
- (3) 不同尺寸箱型实行分开堆放, 减少取箱翻箱量;
- (4) 温控重箱(包括保温箱和冷藏箱)、危险品重箱、超限箱等有特种集装箱应放入指定地点堆存, 并按相关标准堆放;
- (5) 空箱按箱主、尺寸、箱型实行分堆;
- (6) 国际中转箱、内支中转箱、废品箱、海关查验箱、残损箱、污箱等有特殊作业要求的集装箱应设置专门的堆存位置, 并放入相应的场地堆存。

考虑船舶的稳定性和沿途停靠港卸货等情况进行合理规划以便减少翻箱量, 堆存货物还需考虑如下因素<sup>[30-33]</sup>:

- (1) 考虑船舶航行安全, 要求降低船舶重心, 增加稳定性。船舶装载后, 重箱在下, 轻箱在上, 体现在集装箱堆场位置上就应为重箱在上, 轻箱在下。

重箱是按重量级别而定, 而不是完全按重量计算, 划分级别根据集装箱量多少而定, 划分过细, 设立级别越多, 不利于堆场的安排, 划分过粗, 重量级别设立过少, 易造成轻重倒置, 船舶稳定性不好。重量级别一般设立 4 级, 依航次装箱量和船舶情况而定。

- (2) 考虑航程停靠港因素。把同航线航程远的集装箱堆放在船的下层, 处于先装, 反应在堆场上处于上层, 航程近的处于下层。

基于以上因素考虑, 目前大多数堆场普遍采取 PSCW 规则进行堆放。可以

大大提高堆存质量和装船速率,但采取此规则会降低堆场面积的利用率。另外,存在季节性的集装箱,其位置的选择具有间断性,单独划分场区也会浪费堆场使用效率。因此,改进堆存规则,降低划分标准以便提高堆场利用率是有必要的。

#### 2.1.4 特殊集装箱箱位分配

##### (1) 危险品集装箱<sup>[34]</sup>

随着世界能源危机的加剧,各大港口化学、原料等危险品货物的吞吐量日益增加。据统计,世界 76.2% 的化学危险品是通过海上集装箱来运输的,并均被堆放在集装箱堆场危险品库等待进行下一步的中转。

由于堆场的危险品集装箱内货品物化生特性不同,考虑箱间是否会发生化学反应,所以通常将危险品库划分为几个区域,每个区域存放性质相似或不会发生化学反应的危险品,并确保危险货物在装卸、运输、储存过程中完好无损。进出口危险货物集装箱,堆存高度一般为二层,并按《国际海运危规》中的隔离要求隔离堆放。

##### (2) 温控集装箱<sup>[35]</sup>

冷藏集装箱是指用装有制冷设备的运输工具,可调节温度,包括低温、冷冻运输和保温运输,适合运输易腐食品(如水产品、畜产品、水果蔬菜、新鲜食品等),以便保持食品的鲜度、味觉及营养价值。

温控重箱在场堆存高度最多为四层,大多要求存放到冷藏区中,配有相应电力设备,使冷藏箱内存放食物新鲜。温控箱的插解电源由特种箱班专门负责,不许其他人员随意接触。

### 2.2 堆场装卸机械

码头堆场装卸机械主要用于装卸作业和堆高作业<sup>[36-38]</sup>,按作业对象可分为重箱堆场作业机械、空箱堆场作业机械两类。

(1) 重箱堆场作业机械:包括龙门吊、集装箱跨运车和集装箱叉车等,后两者配主要是配合龙门吊,进行翻箱、拆装箱或装卸车等辅助作业。

堆场内的龙门吊主要分为轨道式(铺设轨道)和轮胎式(无轨)两大类。轮胎式龙门吊由于机动灵活、堆场铺面费用较、设备操作较简单、故障率低、等优点适合于大中型专业化集装箱堆场及装卸车作业堆场。龙门吊的作业方式如图 2-4 所示。在集装箱进场时,集装箱通过集卡运到指定位置停下,龙门吊从集卡上将集装箱取走将箱堆放在合适的位置堆存;离场作业时,龙门吊把箱



提走放在停留在通道内的集卡上，由集卡载送到岸边装卸桥处等待装船。

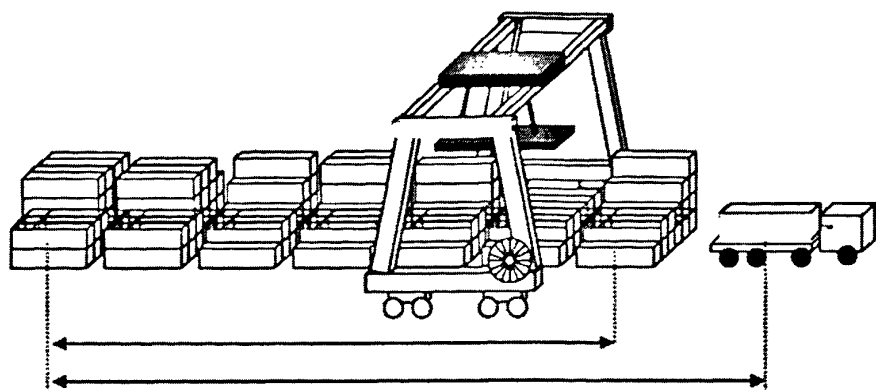


图 2-4 龙门吊作业模型

堆场一般由相邻的横向的箱区组成，便于减少龙门吊的数量及方便箱区间移动，如图 2-5。

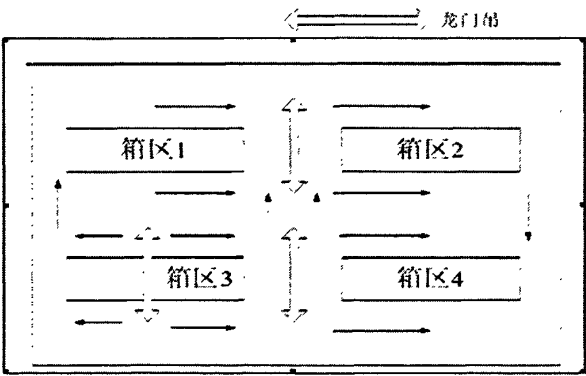


图 2-5 龙门吊移动示意图

(2) 空箱堆场作业机械：主要包括空箱集装箱叉车和空箱正面吊运机。目前国内港口普遍采用前者。通常空箱码垛高度为 3-5 层，最大可达 7-9 层。但是随着技术水平的改进，近几年来集装箱空箱堆高能力不断提高，通常空箱可堆 7-8 层，最高可达 10 层，且可跨箱作业，大大增加堆场单位面积的利用率。

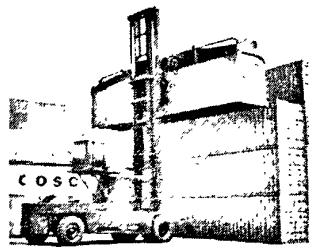


图 2-6 集装箱叉车

2.3  集装箱堆场作业流程

2.3.1  出口集装箱操作流程

集装箱出口业务实务操作基本流程为：接受货主询价-- 确定运价--订舱—接受托运—订舱确认--报关报检→缮制提单→收取运费→签发提单，如图 2-7。

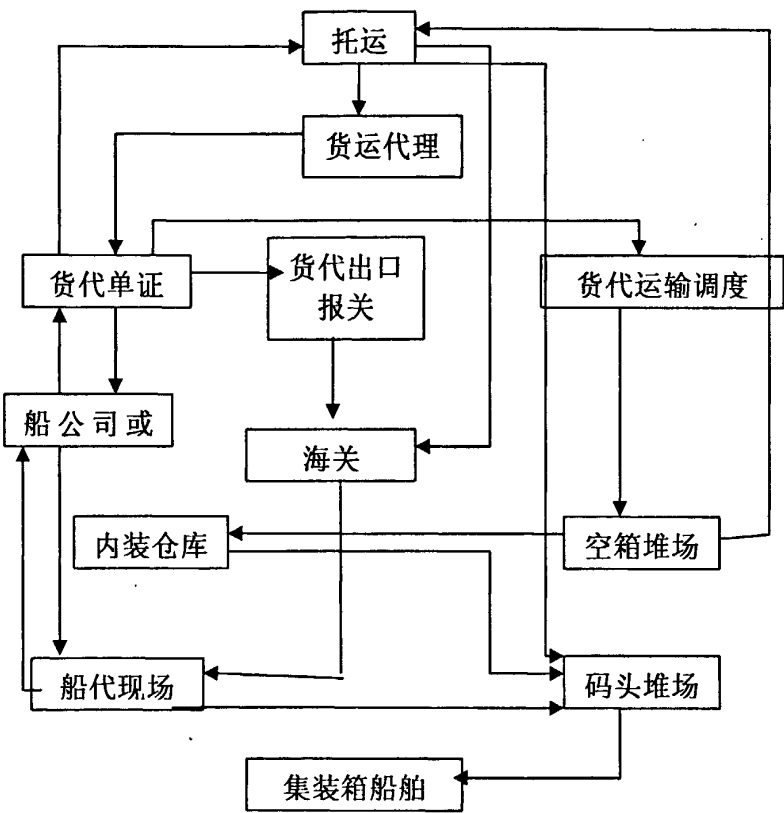


图 2-7 出口集装箱货运代理操作流程

堆场出口货运业务主要作业流程如下<sup>[39]</sup>：

(1) 重箱进入堆场：集装箱装船前 3-5 天，开始陆陆续续进场，不同航线集装箱混合随机到达堆场。检查口根据最新的堆场计划，当集卡进场时，录入集装箱编号、货物种类，地秤自动测定其重量，都纪录在电脑并存档，电脑根据程序设定对信息自动判断，产生该箱子一个具体位置，提交网络服务器，指派集卡到指定地点等候卸箱，集装箱被运至堆场中。

(2) 重箱从场区提到前方码头：在船舶到达港口之前，船公司将船上的箱位布置图、舱单、停靠泊位、即将出行航线、船舶航行日期等信息发送至港口办事处，管理员根据船期报告和出口预配船图，对某段时期内预计进港的船舶

登记并安排船舶停靠位, 编制装船计划。堆场按计划作业表有顺序提取集装箱时, 安排相应的场桥、岸桥和集卡参与作业。首先, 空卡车到达大门并交出提, 由计算机确定提货单上指定的集装箱具体位置和提箱最优方案。然后, 集卡车司机带有箱位号码的门票, 对指定的箱位进行提取。最后, 集装箱由集卡载运离开堆场运至前方堆场, 等待装船, 或者直接运至泊位由装卸桥立即装船。装船完毕后, 集装箱码头信息及时更新堆场, 集装箱信息。

### 2.3.2 进口集装箱操作流程

#### 1. 进口集装箱操作流程:

(1) 货代接到客户的全套单据后, 要核实该进口货物的承运船公司、船舶代理、以及供通关用的提货单换取地方。

(2) 凭带背书的正本提单去船公司或船舶代理部门换取提货单和设备交接单。

(3) 用换来的提货单并附上报关单据前去报关。

(4) 若是法检商品应办理验货手续。

(5) 海关通关放行后应去三检大厅办理三检。

(6) 三检手续办理后, 去大厅交港杂费。

(7) 所有提货手续办妥后, 可通知事先联系好的堆场提货。

(8) 重箱由堆场提到场地后, 为避免产生滞箱费, 应在免费期内及时掏箱。

(9) 货物提清后, 去船公司或船舶代理部门取回押箱费。

#### 2. 堆场进口货运业务主要作业流程如下:

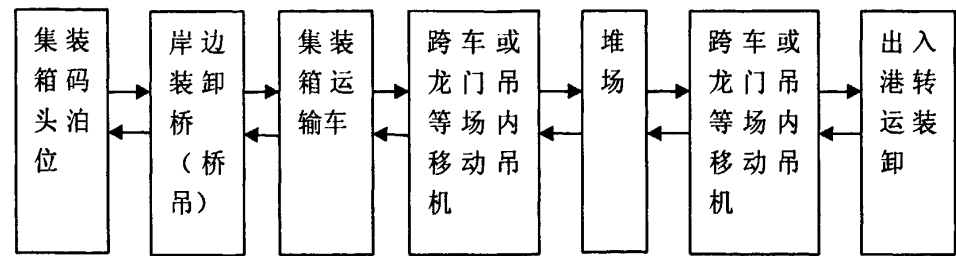
(1) 进口箱卸船: 当卸船结束后, 集卡将进口集装箱载运到堆场, 通过大门时, 计算机扫描和录入集装箱信息, 并判断该集装箱应该堆存的箱位, 然后由大门将箱位号码的门票交给集卡车司机, 司机按门票指示把集装箱放在相应位置上。

(2) 进口箱进入堆场: 中控室人员根据进场信息指挥场吊龙门吊司机将箱子挟在计划场位, 通过轮胎吊或其他堆场设施将集装箱从集卡卸下, 放到指定位置, 反馈中控室, 每艘船作业结束, 堆场计划员须及时将堆场信息更新。

在进出口箱流动过程中<sup>[40]</sup>, 港口是连接海运和陆运的中转站, 也是重箱与空箱转换场所, 由此形成了港口集装箱流。港口集装箱流是指集装箱从到达港口至离开港口过程中形成的流。

港口集装箱流是动态的, 见图 2-8 根据→表示进口箱流, 从船舶进入泊位卸船后, 到集装箱存放或离开堆场的过程。反方向表示出口箱流, 从集装箱进入堆场到装船离开的过程。箱流同时伴随着信息流, 使得各个环节信息实时共

享，信息流的畅通方便了计划开展、实施。



2-8 进出口集装箱流

2.4 本章小结

本章首先介绍了堆场的相关知识：包括堆场的划分，前方堆场、后方堆场的主要功能。其次分析了普通箱和特殊箱箱位分配时考虑的因素及规则，最后简要介绍了集装箱堆场作业流程。

## 第三章 翻箱问题研究

本文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、降低翻箱量的策略以及两种翻箱量的计算方法。

### 3.1 翻箱

#### 3.1.1 翻箱原因

翻箱是由于提取的目标箱处于其它箱下面,为提取目标箱而须把其上方箱移到其它堆栈列暂时堆放的过程。翻箱主要可分为提箱翻箱(进口箱提离堆场)、装船翻箱(出口箱提到前方堆场)。产生翻箱原因主要有以下几点<sup>[41-42]</sup>

(1) 不同船名、航次的重箱混合、随机进场。一般重箱早于船舶装载计划3-5天左右开始进场。先收箱,将箱堆存后,再根据情况确定载箱的船名、航次,装船时间,由此可能产生不走船压走船的现象。

(2) 由于船公司计划(航次、目的港)临时改变,码头须修改装载计划,导致部分集装箱进行翻箱作业。

(3) 不同重量级的集装箱混合堆放。由于堆场接收的重箱进场顺序具有随机性,从而导致轻重箱混合堆存的现象。考虑船舶航行的稳定性,降低船舶装载重心,需要在装船前翻箱。

(4) 装船时应考虑集装箱靠港远近,航程远的集装箱在下,航程近的集装箱在上,避免中途挂港船上翻箱。

(5) 进口重箱提离堆场时,由于取货顺序是随机的,不可避免地要产生翻箱。

在堆场作业活动中,翻箱不可避免且耗时耗财,不产生经济效益。

#### 3.1.2 翻箱对效率影响

翻箱工作是堆场作业活动影响着装船和提箱作业中的一个环节。翻箱率越高、装卸效率和提箱效率越低。降低翻箱率有助于装船作业效率,减少船舶在港停留时间,提高港口船舶的通过,提升港口竞争力。

翻箱量不但浪费时间,而且增加装卸成本,以宁波港某集装箱码头为例:

表 3-1 2005 年宁波港某集装箱码头各作业类型数据

作业类型	自然箱/月	翻箱/月	占自然箱作业量/%	占翻箱量/%
装卸箱	520 352	845 818	53.56	100.00
进提箱	300 670	488 731	30.95	57.78
翻箱	73 389	119 292	7.55	14.10
内移箱	46 455	75 511	4.78	8.93
外移箱	30 704	49 909	3.16	5.90
合计	971 570	1 579 261	100.00	186.71

对于月均装船 10 万自然箱的集装箱码头，如果翻箱率降低 1.5%，全年可减少的成本为： $10 \text{ 万自然箱/月} \times 1.5 \% \times 12 \text{ 月} \times 50 \text{ 元/自然箱} = 120 \text{ 万元}$ （一次翻箱成本按吊机费用的 50%测算）。可见，降低翻箱率对成本具有很大影响。

另外，翻箱工作还增加大量的非有效工作时间。假设每个集装箱翻箱 1 次需要花费 2.5 min，以表一的翻箱量为例进行估算，73389 个自然箱翻箱量，意味着翻箱需花费  $2.5 \text{ min} \times 73389 = 3058 \text{ 小时} = 127 \text{ 天}$  的无效作业时间。可见，翻箱所占用的时间是非常多的。

3.1.3 降低翻箱率方法

1. 装船翻箱的控制<sup>[43]</sup>

（1）合理安排堆场布局、存取箱路线安排，出口箱的装船前移箱和退关箱的摆放。

（2）装船前依据船舶配载图将待装船箱移进行调整，摆放到堆垛的最上面一层，避免装船作业过程中翻箱，延长装卸作业时间。

（3）在配载方面，根据船舶和堆场情况，采用事先设定好的规则来确定作业方案，包括船舶配载图确定箱的提取装船顺序，系统模拟装船过程，优化装船质量，并将装船效率作为考核配载人员的评价指标之一，提高工作人员的积极性。

（4）中转比例高的集装箱要求中转卸船时优先考虑二次装船的方便性，对其卸货地点和存储位置要优先考虑，降低翻箱率。

2. 提箱翻箱的控制<sup>[44-46]</sup>

进口箱在到达港口后，堆存在码头等待提取时，理想作业模型是先卸下船的集装箱先运出堆场。但在实际作业中，由于堆场利用率较高、追求卸船速度，

在卸船作业来不及对卸船箱区进行合理的归、并、转，使得进口箱没有空箱位进行堆存，场吊司机为加快卸船速度或图方便而忽略提箱的难易度，将新卸下的箱子压在已有的进口箱上，造成进口箱提离堆场箱时翻箱量增加。

提箱翻箱的主要控制方法如下：

- (1) 对于进口重箱，应用卸船前获取舱单信息，对提单上集装箱进行分类，如按货主名、货物种类等，卸船时把同类型的集装箱分开堆放，通过提箱预约方式进行提箱，从而达到降低翻箱率的目的，但此方法需要外在因素的配合，包括预约环境的建立、口岸环节等。
- (2) 由于货主取箱的时间、顺序都是随机的，避免增加提取进口箱时压在底部的箱先取走而进行大量翻箱作业，应和客户（提取进口箱出场箱）加强沟通，采取事先预约的方式，提箱过程按堆存顺序服务客户，实现零翻箱率。
- (3) 进口重箱停留在堆场时间不一，一般进口重箱的堆存期约为 6-7 天，但部分进口货箱需要查验，堆存期一般在 13 d 以上。避免存箱时对堆存期长的集装箱反复翻箱，根据堆存期的时间对进口箱分开堆放。

3.2 集装箱堆场存箱规则

出口箱在收箱堆存时，常采用的存箱原则如下<sup>[47]</sup>：图中数字代表到达顺序。

- (1) 垂直式原则也称列优先堆存，即优先堆满远离车道的堆栈列，如图 3-1 所示：

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

图 3-1 垂直式原则示意图

- (2) 平铺式原则，即优先安排层堆放，从底层向上层，如图 3-2 所示：

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

图 3-2 层优先堆存示意图

(3) 阶梯式原则，整体码放较紧凑，如图 3-3 所示：

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

图 3-3 阶梯式堆存示意图

(4) 随机堆放原则，码放没有规则，由司机作业决定，收箱作业速度较快，但计划性差，应用较少，如图 3-4 所示：

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

图 3-4 随机堆存示意图

3.3 翻箱原则

出口箱在提离场区，往往要进行翻箱作业，常见的翻箱原则有<sup>[48]</sup>：

(1) 贝内翻箱原则。即在翻箱时，只在同贝内进行，不翻往其它贝，因为龙门吊带集装箱跨贝行走危险，若跨贝翻箱，一般是龙门贝内行走，把提取的集装箱放在集卡车上，由集卡车运往所制定的集装箱贝中，龙门吊在移动到该贝，把集卡上的箱取到贝上，浪费时间和资源，因此采用贝内翻箱较多，以便提高发箱速度。

(2) 就近翻箱原则。即在翻箱时，落箱位置选择离龙门吊停留的堆栈列较近最矮的堆栈列，以减少移动距离，提高发箱速度，降低集卡等待时间，如图 3-5 所示，若提取 4 号箱，采用就近翻箱原则时，其上方 5 号箱将翻往 7 号箱上。

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

图 3-5 翻箱原则示意图



- (3) 最矮原则。即在翻箱时，为使堆存高度一致。图 3-5 中，若集卡提 4 号箱，按照最矮原则，5 号箱将翻往 8 号箱上方。
- (4) 远离车道原则和随机原则。

3.4 翻箱量统计方法

3.4.1 假设条件

- (1) 翻箱只限同贝内发生。
- (2) 待码箱均为普通箱，不考虑特殊集装箱。
- (3) 优先级别高的箱先提走。
- (4) 取箱和翻箱操作均视为一次动作，与所在贝、堆栈列、层数无关。
- (5) 每贝的箱留有相应空位，便于提箱翻箱。
- (6) 所有集装箱的信息（重量、目的地、尺寸）在进入堆场前都已经确定。
- (7) 同一时间、同一贝，只进行一个动作，码箱或者取箱。
- (8) 正面吊的抓起、平移和放下箱过程，视为一次翻箱。
- (9) 提取集装箱顺序依据装船计划确定。

3.4.2 翻箱量统计

当装船计划编制好以后，根据提取顺序对已码箱设立优先级，数字越小，优先级别越高。阻碍箱：当提取某箱时，压在其上方且优先级别低于此箱称为阻碍箱。按优先级提箱的各阶段阻碍箱之和为总翻箱量。例如图 3-6，第一阶段提取优先级别为 1 的箱，阻碍箱为 0，第二阶段提取优先级别为 2 的箱，阻碍箱为 0，因为此时其上方编号为 1 的箱已提走，依次下去，提空该贝，总翻箱量为 0+0+1+1+0=2。

1	4	
2	3	5

图 3-6 优先级别示意图

1. 二次或多次翻箱

提取目标箱时，须将对其上方阻碍箱翻倒于其它堆栈列中，若将此阶段的阻碍箱移动到含有优先级别高于此箱的堆栈列时，此阻碍箱对落箱列中的箱提

取依然具有阻碍作用，必将此阻碍箱再次移动，产生二次或多次翻箱。

如图 3-7，若提取优先级别为 1 的箱，把编号为 3 的箱放到第三列中，编号 3 的优先级别低于编号 2 的箱，提取箱编号为 2 时必然会把编号为 3 的箱移走；若把编号为 3 的箱放在第二列中，就不会产生二次翻箱。因此，合适的落箱位置选择是重要的，可以减少或避免翻箱量。

3	4	
1	5	2

图 3-7 多次翻箱示意图（数字代表优先级别）

2. 翻箱量的分枝定界算法

翻箱量的分枝定界法思想是：

- （1）判断所有箱是否都已经提走，如是，转（6），否则转（2）。
- （2）找到提取箱的位置，纪录其最上方阻碍箱。
- （3）确定候选堆栈列，即目标箱所在列以外的未到达额定高度的堆栈列。
- （4）将阻碍箱存放到任一候选列中，纪录翻箱次数。
- （5）提取目标箱，更新贝内信息，返回（1）。
- （6）算法结束。

比较从提箱开始到结束，各分枝产生的翻箱量之和最小的为最终翻箱量。

举例说明如图 3-8：1-6 个数字代表集装箱优先级，编号 1 的箱子级别最高，优先提走，用向量形式来表示<sup>[49]</sup>，每个堆栈列为一个行向量，每列从底层开始表示，空箱位用 0 表示，该贝的结构(状态)可表示为{(1, 3, 0), (6, 2, 0), (5, 4, 0)}。

根据优先级别：编号为 1 的集装箱先提走，需把其上方阻碍箱移走，即编号 3 的集装箱移到其他堆栈列(称候选堆栈列)，可以选择的有第二列和第三列。

（1）若将编号为 3 的箱存放在第二列堆栈列，此时贝的状态变为：图(B)，{(0, 0, 0), (6, 2, 3), (5, 4, 0)}，接着考虑提取优先级为 2 的箱，需把编号为 3 的箱移动到第一列或者第三列，待箱提走后，贝状态图为 D 或 E。此时堆栈列中不存在翻箱，因为每列中都不存在阻碍箱。按优先级别把贝内所有箱提走，直到贝空，状态图为{(0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0)}。

（2）若将编号为 3 的箱存放在第三列堆栈列，将箱 1 提后，贝状态图为：图(C)：{(0, 0, 0), (6, 2, 0), (5, 4, 3)}，此时，贝内就不存在阻碍箱，不增加翻箱量，直到提取结束后，状态图为{(0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0,

0)}。

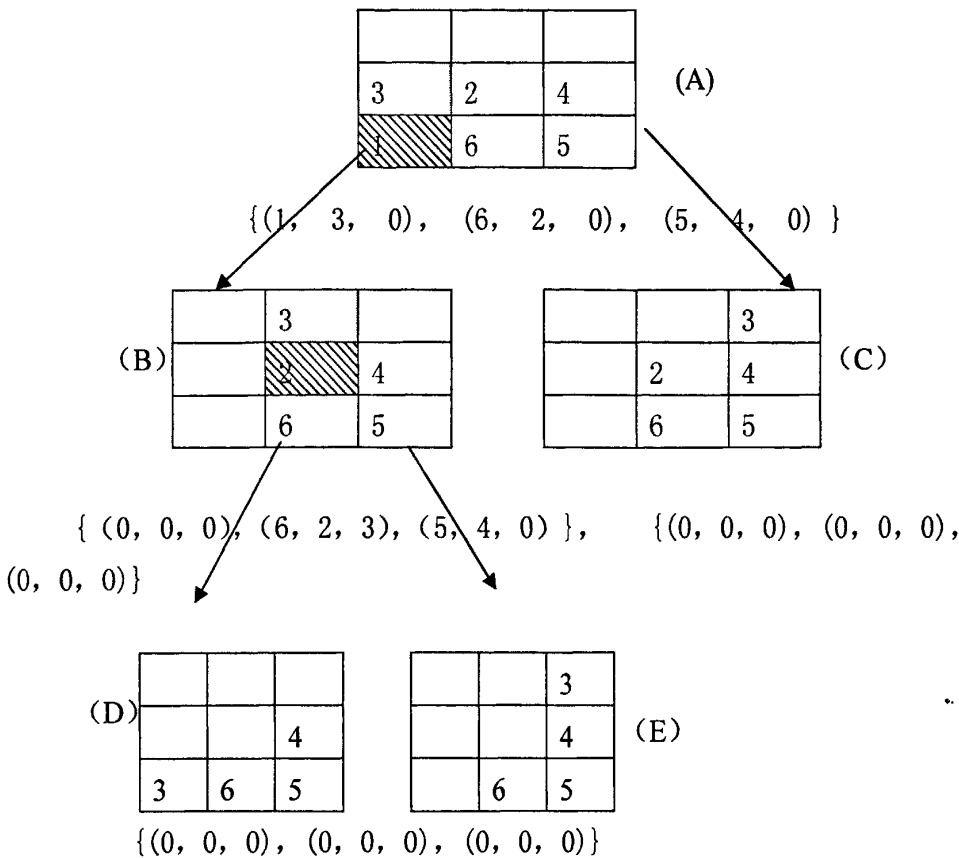


图 3-8 集装箱优先级别算例  $\blacksquare$ 表示目标提取箱,  $\square$ 表示阻碍箱

通过不断的迭代,比较后得出准确的最小翻箱数,A-B-D 需到 2 个箱,A-B-E 需到 2 个箱,A-C 只需到 1 个箱为最优,但是对于多箱位计算起来,分枝定界发运算时间成指数增长,不适合大规模的贝翻箱量的计算。

3. 翻箱量的启发式算法

为了避免二次翻箱额外产生的翻箱量,在同一个贝内,对已码放的堆栈列进行检查,把不需要进行翻箱的堆栈列划为集合 A,即堆栈列从上到下依次增大,剩下要进行翻箱的堆栈列划分到 B 集合,翻箱时优先选择 B 集合中不增加二次翻箱量的堆栈列,可以减少翻箱量。

同贝翻箱候选堆栈列选取原则<sup>[50, 51]</sup>:

- (1) 在进行翻倒时,可选择的落箱位置只能是那些尚未达到额定堆存高度的栈(除原先所在栈外)。
- (2) 选择与翻移箱,从优先级最高的开始移箱,优先级别不唯一,选择含最多优先级最高集装箱堆栈列,再考虑最高优先级的集装箱上压的箱数最小的列开始。

(3) 如果只提取贝中部分集装箱, 候选堆栈列优先选择不含提取箱的列。

(4) 候选翻箱列中含有与翻箱级别相同的, 或者含级别接近的集装箱次要考虑。

模型的参数设定:

$Q$ : 初始贝中已有的集装箱的数量

$S$ : 一个贝中规定堆栈列数。

$S_i^k$ : 当集装箱  $k$  被提走后, 栈  $i$  的状态,  $i=1\dots S, k=0\dots Q$

$B^k$ : 当集装箱  $k$  被提走后, 整个贝的状态,  $B^k = \{S_1^k, S_2^k, \dots, S_r^k\}, k=0\dots Q$

$a^k$  标记第  $k$  集装箱取走时进行翻箱过程,  $k=1\dots Q$  ;

$h(a^k | B^{k-1})$ : 在贝状态为  $B^{k-1}$  的情况下, 采取行动  $a^k$  时所发生的翻箱数,  $k=1\dots Q$

$F(B^k)$ : 在贝状态为  $B^k$  的情况下, 取走剩余的  $N-k$  个集装箱所产生的最小翻箱数,  $k=0\dots Q$

$F(B^0) = \min \{h(a^1 | B^0) + F(B^1)\}$ , 其中贝状态  $B^0$  经行动  $a^1$  变为  $B^1$ , 即  $B^0 \xrightarrow{a^1} B^1$ , 进而可得:  $F(B^0) = \min_{a^1, a^2, \dots, a^k} \left\{ \sum_{i=1}^k h(a^i | B^0) + F(B^k) \right\}$ , 其中  $B^{i-1} \xrightarrow{a^i} B^i, i=1, 2, \dots, k$ .

根据算法思想, 首先定义以下参数:

$N$ : 贝内计划提取箱的数量

$D_k$ : 提取第  $k$  集装箱产生的翻箱量

$S_k$ : 提取第  $k$  箱时所在的栈

$h_y^k$ : 在为提取第  $k$  的箱时所进行的第  $j-1$  次翻箱完成时, 栈  $i$  的层高。

$n_y^k$ : 在为提取第  $k$  的箱时所进行的第  $j-1$  次翻箱完成时, 栈  $i$  的最高优先级。

$m_j^k$ : 在为提取第  $k$  的箱时, 需翻的第  $j$  个集装箱的优先级

$C_{jk}$ : 在为提取第  $k$  的箱时所进行的第  $j$  次翻箱时, 候选列的集合。

$A_{jk}$ : 在为提取第  $k$  的箱时所进行的第  $j$  次翻箱时, 不存二次或多次翻箱候选列的集合。

$B_{jk}$ : 在为提取第  $k$  的箱时所进行的第  $j$  次翻箱时, 存在二次或多次翻箱候选列的集合。

根据算法描述:

for  $k=1$  to  $D_k$

{

根据箱  $k$  所在列的层高和其优先级别, 计算  $D_k$ ;

若  $D_k \neq 0$ , 则  $j=1$  to  $D_k$

{  
 若  $A_{jk} \neq \emptyset$ , 则将集装箱  $m_j^k$  翻倒到栈  $l$ , 其中  $l \in A_{jk}$  且  $h_{ij}^k = \min_{i \in A_{jk}} h_{ij}^k$ ;  
 若  $A_{jk} = \emptyset$ , 则将集装箱  $m_j^k$  翻倒到栈  $l$ , 其中  $l \in B_{jk}$  且  $n_{ij}^k = \max_{i \in B_{jk}} n_{ij}^k$   
 }

提取集装箱  $k$ ;

}

由上述算法, 取走贝中所有集装箱所需的总翻箱数为  $\sum_{k=1}^N D_k$ 。

启发式算法的优点是运算速度较快, 适合大规模贝内箱提取, 但是计算结果劣于分枝定界法。

### 3.5 本章小结

本章首先对影响集装箱作业效率的主要因素——翻箱问题进行分析, 总结出影响翻箱作业的原因很大程度上是由于堆码和提取顺序的不一致, 导致装船翻箱过多。其次总结了降低翻箱的策略及常用的翻箱策略。最后, 介绍了两种翻箱量的统计方法: 分枝定界法和启发式算法, 并分析了二者的优缺点。

## 第四章 码箱模型及算法

### 4.1 存取箱优化模型

#### 4.1.1 基本思路

在进行集装箱码放作业时,首先根据新进箱的信息来判断其应摆放的箱区,其次根据箱区内已码箱及新进箱信息为重箱寻找合适的位置,具体到箱区的贝及堆栈列,使得码箱和取箱的整体代价最小。

重箱位置选取较合理性表现为码箱和取箱时的作业难度较小。码箱时,尽量减少移动龙门吊次数。当龙门吊停留的贝与新进箱要存放的贝不一致时,需移动龙门吊到目标贝,移动过程中不仅浪费时间而且增加作业成本。码箱代价可近似采用门吊移动次数来衡量,根据实际作业中,龙门吊移动一次所耗成本相当于翻箱一次费用的一半以上。取箱时,忽略龙门吊升降高度,移动距离远近等产生的作业成本,认为龙门吊移动一次的成本与翻箱一次费用相同。取箱代价主要取决于翻箱量,提箱翻箱量越少,作业成本越少。

堆码优化目标是为重箱选择合适的位置堆存,兼顾到码箱和取箱时代价,使得代价之和最小。码箱代价:存放箱时需移动龙门吊,认为代价为 1,否则为 0。取箱代价采用翻箱量衡量,可采用取箱难度来估计期望翻箱量。

##### 1. 箱区的划分

目前集装箱堆场通常采取 PSCW 规则码放,对堆场划分为多个的区域,每个区内存放同同类别、航线、同尺寸、同重量级别的集装箱,此规则的好处是可降低翻箱难度和翻箱量。但对于季节性产品的集装箱来说,所划分的区域在淡季时一直空置,而其它区域集装箱区域可能存在贝利用率高,而 PSCW 规则是不允许将此类箱堆放到其它区域中,这样降低了堆场的作业效率。

本文针对码垛问题,在 PSCW 规则的基础上,放宽目的港要求,在同一箱区内,不同航线集装箱可以混合堆放,其好处是可大大降低堆垛对面积的要求,适合于面积资源紧张的堆场。

首先对堆场内存放集装箱货物种类划分区域,每个区域为各一个箱大区。其次在箱大区内划分为多个箱小区,箱小区内存放同尺寸、同重量级别的箱。最后根据各箱区集装箱货物周转量的多少对堆场的面积进行合理的分配。

箱大区的划分:对集装箱后方堆场,采取集装箱货物不同,进行分区存放,例如普通箱、冷藏箱、危险品箱等,都有各自的存放区域。如下图 4-1,本文

主要针对的是普通箱的堆码问题，因冷藏箱和危险品箱分别考虑制冷用电和物化生反应，有固定的堆存原则，故不予考虑特殊集装箱的堆码问题。

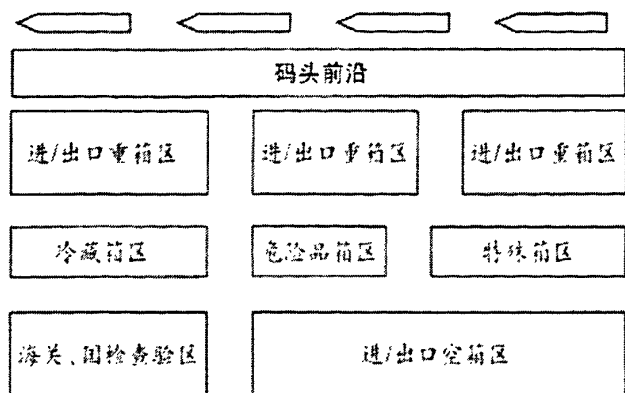


图 4-1 箱区划分

箱小区的划分：在箱大区内考虑箱型和重量级别因素来判断箱是哪些否属于同个箱小区。

箱型：常用的箱型为 20ft，40ft，此外还有 45ft 和高柜等。由于 40ft 和 45ft 集装箱相差不多，可一起混合码放。

重量级别的划分：统计、预测或凭经验对某段时间内各个集装箱重量和数量统计和分析，纪录下  $[W_{\min}, W_{\max}]$ ，划分成  $i$  个区间，各个区间为  $[W_{\min}, W_{mid1}]$ ， $[W_{mid1}, W_{mid2}]$ ， $[W_{mid1-1}, W_{\max}]$ ，各区间划分的区间按经验数值确定或者划分重量区间，如山东日照港将 1-9 t 重量级别定为 1；10-19 t 重量级别为 2。

箱小区的表示方法：按箱大区、箱型、重量级别的顺序，采用字母和数字混合表示，以表 4-1 为例，F1-02-03，表示该箱小区属于箱大区 1，存放纺织品，箱型为 40ft 或 45ft，重量级别为 21-30t。因此，新进箱就可以根据集装箱信息来确定其堆存的箱小区。

表 4-1 箱区划分标准示意图

箱大区	尺寸	重量级别	箱小区
箱大区 F01（干货箱区 1—纺织品）	20ft	(1) 0-10t	F01-01
		(2) 11-19t	F01-02
		... (i) $[W_{midi-1}, W_{max}]$	F01-03
	40ft、45ft	(1) 0-10t	F01-04
		(2) 11-19t	F01-05
		... (i) $[W_{midi-1}, W_{max}]$	F01-06
	其它尺寸		F01-07
箱大区 F02（干货箱区 2—电子产品）	20ft	...	...
	40ft、45ft	...	...
	其它	...	...
...	...	...	...
箱大区 Fm ( 危险品 )	危险品箱根据货物的物化生反应确定，按危险品堆存管理条例按规则摆放		Fm-01
			Fm-02
箱大区 Fn (冷藏箱)	冷藏箱按冷藏堆存规则摆放		Fn-01
			Fn-02

根据集装箱的信息可以判断其堆存的箱小区内，具体堆放到哪个贝，堆栈列还取决于集装箱的目的港。

2. 集装箱属性定义

集装箱的属性：能反映出集装箱的信息，本文采用集装箱的目的港体现箱信息。为方便描述模型，对箱小区内集装箱属性采用编号来表示，按港口服务航线及沿途停靠港不同，对各个港口给予不同的编号。编号相同的箱表示它们货物类型、尺寸、重量级别、目的港都相同。

例如以厦门港口为例，其航线有 N 条：

航线 1（日韩航线）从厦门沿途经过大阪(1)、神户(2)、门司(3)，经韩国釜山(4)、再返回厦门港。

航线 2（非洲）的停靠港口分别为：安哥拉（5）、刚果（6）、加蓬（7）、喀麦隆（8）...

按照属性的规则定义，根据新进重箱信息能确定其属性编号，例如按以厦门港口为出发点，在箱小区内运往安哥拉的集装箱属性为 5。



### 4.1.2 模型假设条件

集装箱后方堆场箱位分配模型基于以下假设条件建立：

(1) 考虑箱小区为单位，每箱小区内都是存放同种类、同尺寸、同重量等级的集装箱。

(2) 码放集装箱时，贝内若取箱不存在航程远近压航程远的箱时，允许不留空箱位。

(3) 码放新进重箱时，对已码箱不进行翻倒作业。

(4) 不考虑龙门吊来回移动占用的时间因素：

(5) 认为新箱码放在同贝任意堆栈列的代价都是相同的，不考虑门吊的升降高度和贝内行走距离。

### 4.1.3 目标函数与约束条件

#### 1. 叠压度的定义：

叠压度：在已码放集装箱的堆场上，提取某箱的难度。叠压度取决于压在其上方箱的属性和数量，影响着翻箱量。码放时，某箱上的阻碍箱越少，航程远于此箱，提取此箱的叠压度越小，取箱灵活度越高，翻箱量越少。

#### 2. 设计变量及参数：

$K$ ：航线数。

$M$ ：目的港的数量。

$C_n$ ：第  $n$  个集装箱的属性。

$D_n$ ：第  $n$  个集装箱的属于的航线。

$A$ ：堆场的贝数。

$N(f,t)$ ： $t$ 时刻放入箱后，产生最小叠压度的堆栈列数。

$H$ ：额定码放层数。

$h(i,z)$ ： $z$ 贝第  $i$ 堆栈列已码箱的最高层数。

$n(i,r)$ ： $i$ 堆栈列目的港为  $r$ 的个数。 $r \in (1--M)$

$R_s(M)$ ：表示第  $s$ 条航线的  $M$  停靠港代码。

$O(i,j,z)$ ：第  $z$ 贝  $i$ 列  $j$ 层箱。

$g(O(i,j,z))$ ：位置为  $O(i,j,z)$  所属的航线

$p(k)$ ：第  $k$ 条航线先发船的概率。

$c(i,j,z)$ ： $z$ 贝第  $i$ 列第  $j$ 行箱的属性，取决于目的港。规定同航线，航程越远，属性越大。 $1 \leq i \leq S, 1 \leq j \leq H$ 。

$t$ ：某一阶段，每码一个箱为一阶段， $t=1..n$ ，

$f'(i, j, z)$ : 为  $z$  贝第  $i$  列  $j$  行的集装箱  $t$  阶段提走时的阻碍度.  $1 \leq i \leq S$ ,  $1 \leq j \leq H$ .

$f'(i, z)$ : 为  $z$  贝第  $i$  列  $t$  阶段的总叠压度。

$G(i, z)$ : 新进箱  $i$  存放后,  $z$  贝内所有  $i$  列集装箱数量总和。

$E(i)$ : 箱  $i$  存放的贝

如图 4-2 为贝参数示意图:

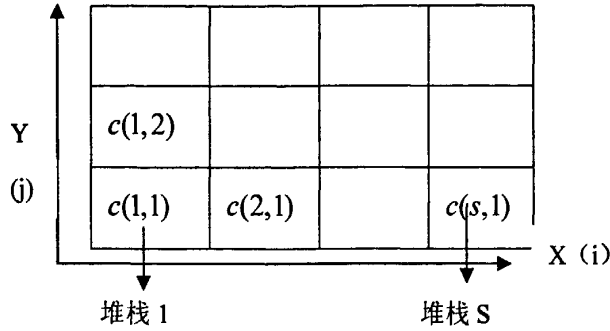


图 4-2 堆场贝堆栈列示意图

### 3. 叠压度函数

叠压度公式:

$$f'(i, j, z) = \begin{cases} 0, & t \text{时刻 } z \text{贝 } i \text{列 } j \text{层以上没有阻碍箱} \\ n, & t \text{时刻 } z \text{贝 } i \text{列 } j \text{层以上阻碍箱的个数} \end{cases} \quad (4-1)$$

若某箱存在于堆栈列的最上层, 提取此箱时没有阻碍箱, 故

$$f'(i, h(i), z) = 0 \quad (4-2)$$

将某箱存放在空堆栈列时, 此箱处于第一层也是最高层, 有

$$\text{当 } h(i)=1 \text{ 时, } f'(i, 1, z) = 0, \quad (4-3)$$

同一航线相邻两箱, 上层箱航程远于下层箱, 下层箱取走不受阻碍。即

$$f(i, j, z) = 0 \quad (4-4)$$

当  $c(i, j+1, z) > c(i, j, z), \forall j \in 1 \dots h(i)$  且  $c(i), c(i, j+1) \in R_d(k)$

阻碍箱计算: 同堆栈列中若存在属性相同的集装箱, 两者箱认为可以替代。取箱时, 优先考虑上层可替代箱, 若提取下层不可替代箱时, 说明可以替代的上层属性相同的箱已被提走, 阻碍箱为其上方与离其最近航程远于此箱之间的集装箱数量, 因为其航程远的集装箱及其上方集装箱都已移走。若没有替代箱, 其上方的箱数为它的叠压度。每个堆栈列的总叠压度等于此列箱各叠压度之和。

结合以上公式得到各列的叠压度公式:

$$f'(i, z) = \sum_{j=1 \dots h(i)} f'(i, j, z) \quad (4-5)$$

$$f'(i, j, z) = \begin{cases} \min m, c(i, j+m, z) \geq c(i, j, z), c(i, j, z) - c(i, j+1, z) \in R(s) \\ h(i, z) - j, & \text{否则} \end{cases}, \quad (4-6)$$

举例说明, 见表 4-2, 假设航线 1 沿途停靠港编号为 1-5, 航线 2 沿途停靠港为 6-10. 且假设两航线先发船的概率相同, 可以忽略发船概率因素。下表为第一贝第一堆栈列, 则提取  $O(1, 4, 1)$  无阻碍箱, 因此  $f(1, 4, 1) = 0$ 。若提取  $O(1, 3, 1)$ , 其上方有一阻碍箱  $O(1, 4, 1)$ , 即  $f(1, 3, 1) = 1$ , 同理  $f(1, 2, 1) = 2$ 。若取箱  $O(1, 1, 1)$ , 说明航线 1 先装船, 其上方的  $O(1, 2, 1)$  与  $O(1, 1, 1)$  同航线, 且航程较远, 所以  $O(1, 2, 1)$  先装船, 对  $O(1, 1, 1)$  不产生阻碍作用, 得到  $f(1, 1, 1) = 0$ 。整个堆栈列的叠压度为:  $f(1, 1) = 0 + 1 + 2 + 0 = 3$ 。

1	$O(1, 4, 1), \quad f(1, 4, 1) = 0$
7	$O(1, 3, 1), \quad f(1, 3, 1) = 1$
3	$O(1, 2, 1), \quad f(1, 2, 1) = 2$
2	$O(1, 1, 1), \quad f(1, 1, 1) = 0$

图 4-3 堆码叠压度计算示意图

#### 4. 新进箱的码放位置选择

新进箱码放到堆场对其下面箱的移动产生阻碍越小, 摆放效果越好。新进箱应该放在第  $i'$  列, 由以下公式确定。

(1) 把箱存放在第  $i'$  列, 平衡每列的取箱难度, 应选把箱堆放在叠压度最小的列。

$$f'^{+1}(i', z') = \min f'(i, h(i) + 1, z), i = 1 \dots S, z = 1 \dots A \quad (4-7)$$

把新进箱放入第  $i'$  列后, 放到指定位置, 且第  $i'$  列层数增加 1, 即

$$O(i', j, z') = C_n \quad (4-8)$$

$$h'^{+1}(i', z) = h'(i', z) + 1, \quad (4-9)$$

在堆码过程中, 可根据信息或者经验预测某船的概率, 这时确定堆场存放列为:

$$f(i', z) = \min f(i, z) = \min \sum_{j=1 \dots h(i)} p(g(O(i, j, z))) f(i, j, z) \quad (4-10)$$

以某列存放五个集装箱为例: 假设属性为 1, 7 的集装箱非同一航线, 两集装箱先走船的概率分别为 0.4, 0.6。属性为 1, 7 的箱分别为航线 1, 2 的箱。

1	1	7
1	7	1
7	1	7
7	7	1

图 4-4 第一贝 1-3 堆栈列

以新进箱属性为 1 的集装箱来说，在图 4-4 选择合适的位置存放。即摆放到上图某列中产生的叠压度最小。根据公式 (4-7)，箱的属性为 1，表中 3 列都有与新进箱同航线的集装箱。

$$f(1,1)=\sum_k p(O(f(1,k,1)))\cdot f(1,k,1)=p(2)\cdot f(1,1,1)+p(2)\cdot f(1,2,1)+p(1)\cdot f(1,3,1)+p(1)\cdot f(1,4,1)=0.6\cdot 0+0.6\cdot 2+0.4\cdot 0+0.4\cdot 0=1.2$$

$$f(2,1)=\sum_k p(O(f(2,k,1)))\cdot f(2,k,1)=p(2)\cdot f(2,1,1)+p(1)\cdot f(2,2,1)+p(2)\cdot f(2,3,1)+p(1)\cdot f(2,4,1)=0.6\cdot 1+0.4\cdot 1+0.6\cdot 1+0.4\cdot 0=1.6$$

$$f(3,1)=\sum_k p(O(f(3,k,1)))\cdot f(3,k,1)=p(2)\cdot f(3,1,1)+p(1)\cdot f(3,2,1)+p(2)\cdot f(3,3,1)+p(1)\cdot f(3,4,1)=0.4\cdot 1+0.6\cdot 1+0.4\cdot 1+0.6\cdot 0=1.4$$

根据计算得到将此箱放较优的位置以此为列 1，列 3，列 2。以上计算结果用表格表示出来，如表 4-2 所示：

表 4-2 计算结果

<div>翻箱量</div>	第一列	第二列	第三列
航线 1 先走的概率 0.4	0	1	2
航线 2 先走的概率 0.6	2	2	1

根据预测航线先离开港口的概率，通过整体期望叠压度最小来寻求摆放位置，能以某概率降低翻箱量。航船出行先后不同，重箱的位置选择也不同，例如上表中，若能确定是航线 1 先离开，即航线 1 先走的概率为 1，重箱优选位置依次为列 1，列 2，列 3。若是航线 2 先离开，优选位置首选列 3。若是对航线预测存在困难，就认为各航线发船先走的概率相同。

(2) 如果将重箱放入各堆栈列后，产生的最小叠压度的列若不唯一，对箱位的选择分 2 种类：

a) 产生的最小叠压度为 0，则优先选择距离此箱最近的箱上，其次选择层数较高的列。

$$\begin{aligned} h(i', z) &= \max h(i, z) \\ \begin{cases} \Delta c(i') = \min \Delta c(i) \\ \Delta c(i) = (c(i, h(i) + 1) - c(i, h(i))) \\ f(i', z) = 0, \quad i, i' \in S, i \neq i' \end{cases} \end{aligned} \quad (4-11)$$

如图 4-5 a)所示：如果新进的箱属性为 5，按本规则应存放属性为 4 的箱上，假如之后属性为 3 的箱要堆存，就不会产生翻箱，因此，按此规则可以降低翻箱数量。

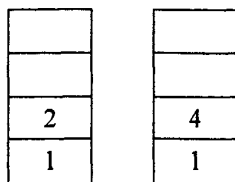


图 4-5 最优列选择示意图

b) 重箱放入各列中，产生的最小叠压度不为 0，此箱存放优选和此箱非同航线的堆栈列上。

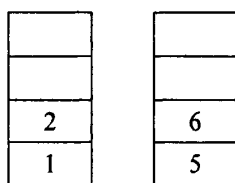


图 4-6 最优列选择示意图

如表 4-6 b)所示，若新进重箱属性为 1 放到 1 列和 2 列的叠压度都是 1，但存放在列 1 中肯定存在翻箱，存放在列 2 可能产生翻箱，因此存在列 1 较优。

$$i' = i, g(o(i, j, z)) \neq D_{n+1}, N(f, t) \geq 2 \text{ 且 } f^{t+1}(i, z) = \min f^{t+1}(k, z), k = 1 \dots S \quad (4-12)$$

c) 重箱放入各列中，产生的最小叠压度不为 0，且候选列中都含有与此箱同航程的箱，优先选择层数较高的堆栈列存放。

$$f(i', z) = \min f(i, z), \quad \text{且} \quad h(i') = \max h(i) \quad (4-13)$$

(3) 若贝中可能发生翻箱情况时，应为倒箱预留箱位，通常最小为 H-1。

如下图 4-7，假如属性为 1-5，6-10 的箱分别属于航线 1，2，该贝可能会发生翻箱（属性 4 压属性为 5 的箱）。若进箱属性为 1，此时若航线 1 先走，此贝位没有足够贝位翻箱，就得跨贝位翻箱，耗时耗财。故在空箱位  $3-1=2$  时，此贝不收箱。

3		
2	4	7
1	5	6

图 4-7 贝位码放图

(4) 考虑龙门吊移动产生的代价，当下一个箱与刚码放的箱不在同个贝中，门吊需移动一次。

$$\min \sum_{i=1 \dots N-1} L(i)$$
$$L(i) = \begin{cases} 1, E(i) \neq E(i+1) \\ 0, E(i) = E(i+1) \end{cases}$$

(4-14)

(5) 考虑堆场码放的整齐、规范度，要求堆码相邻堆栈列的整体高度相差不能悬殊。下图 4-8 为某码头堆场的俯视图，不同颜色代表码放的高度。

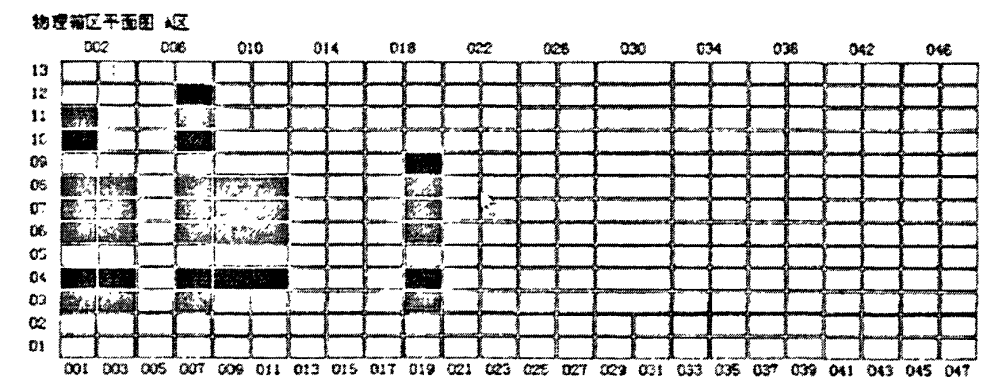


图 4-8 堆场的俯视图

在算法中把堆位置把箱小区用二维坐标表现出来，具体下图 4-9 为例；数字代表堆存的高度，括号的数字代表不同贝转化到堆栈列的编号。

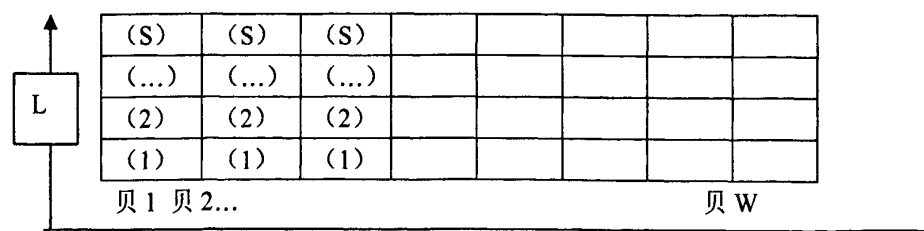


图 4-9 堆场的俯视图简易图

设某箱小区堆场的集装箱含有  $w$  个贝，每个贝含有  $S$  个堆栈，每个贝应均衡使用。反应各贝上表现为：所有堆栈列平均高度一致较好。

$$\min Q(i') \quad (4-15)$$

$$Q(i') = \sum_{z=1 \dots W-1} \left| \sum_{i=1 \dots S} G(i, z+1) - \sum_{i=1 \dots S} G(i, z) \right|$$

结合以上综合分析, 得到最终判断堆码模型的最优化目标为公式 (4-16), 再根据考虑因素的重要程度, 分配不同的系数, 一般翻箱量的作业成本高些, 其次尽量减少门吊移动次数, 故取  $p_1 \geq p_2 \geq p_3$ 。

$$\min \left( p_1 \sum_{i=1 \dots S} p(O(i, k, z)) \cdot f(i, k, z) + p_2 \sum_{i=1 \dots N-1} L(i) - p_3 g(i) \right) \quad (4-16)$$

其约束条件为公式 (4-1) - (4-15)。

## 4.2 算法

### 4.2.1 算法思想

堆码原则的实际价值是通过函数计算, 对集装箱选择合理的箱区存放, 并提高堆场的利用率, 并对总翻箱量进行合理预期, 优化资源配置。

本文考虑到翻箱操作通常发生在同贝内, 选取多个贝为研究对象, 在箱区利用率为 56.0%—83.3% 的情况下, 对模拟重箱进场顺序和提离顺序, 对采取本文堆放规则和阶梯式摆放结果的翻箱量进行对比分析。

算法思想如下:

- (1) 模拟进场箱数量和顺序的随机性, 产生随机数列
- (2) 模拟发船航线, 提箱顺序
- (3) 按最小叠压度理论对出口箱进行堆码, 并根据一定的翻箱原则进行翻箱
- (4) 计算翻箱操作次数
- (5) 提空某航线的集装箱, 完成一次实验
- (6) 根据实验结果进行分析

出口箱装船翻箱作业的模拟在不同的箱区(贝)利用率下, 翻箱作业量存在差异。因此, 可根据重箱码放原则和翻箱原则预测的结果, 合理优化堆场作业机械配置和人员安排, 合理安排集卡行走路线, 避免交通堵塞。本文以减少堆场翻箱作业量, 降低总能耗, 提高生产效率为目标。

4.2.2 算例

假设某时期有 4 个航线，总共 100 个集装箱混合进入堆场为例，每条航线均有 5 个停靠港口的集装箱同时进场，将箱码放到5层×6列型的 4 个贝中，利用率为  $100/(5*6*4)=83.3\%$ 。初始码放时，贝全空。各个航线先后发船概率未知，堆码紧凑度系数为 0。如果某贝码放不会产生翻箱，可以不用留翻箱位置。

首先随机生成 100 个整数，代表 100 个箱的目的港。航线 1 的集装箱按停靠港口的近远分别为编号 1, 2, 3, 4, 5，同理运往航线 2 的编号分别为 6, 7, 8, 9, 10 。运往航线 3 的编号分别为 11, 12, 13, 14, 15. 运往航线 4 的集装箱按沿途标号分别为 16, 17, 18, 19, 20. 以模拟一组数据演示如何寻找重箱的初始位置采用。MATLAB 工具，随机生成的据 1-100 个数据如下图 4-3 所示：

表 4-3 随机产生的 100 个箱的目的港代码

第 N 个箱	目的港代码														
1-15	12	9	11	7	9	5	12	16	11	13	5	8	16	14	10
16-30	12	16	2	13	2	9	7	18	1	16	20	20	16	9	10
31-45	5	13	7	20	15	9	15	6	9	19	14	5	17	13	3
46-60	5	13	13	8	12	10	1	1	7	1	8	14	2	1	13
61-75	13	1	1	4	12	2	8	13	15	14	2	10	9	8	4
76-90	14	14	15	10	12	3	10	15	18	6	6	18	5	17	19
91-100	5	5	1	2	13	4	17	4	4	20					

采用本文的叠压度公式，结合数据进行处理，根据题中所给集装箱先后到达顺序来计算新进箱的位置。下表格中的数字代表箱属性，小括号里的数字代表第 N 个箱，方括号代表此箱的堆码是需移动门吊的配合。

根据假设，初始贝都是空箱位，即  $h(i,z)=0,i=1...6,z=1...4$

第一阶段摆放第一个箱，属性为 12，堆放在任何列后，各列产生的叠压度均为 0，高度均为 1，根据码垛优化模型，首选叠压度最小的同贝列，其次选同航线，港口相近、层数最高的列，最后选择下标最小的列。因此该箱位置为 1 贝第 1 堆栈列，此时  $c(1,1,1)=12$ ， $h(1,1)=1$ ，码放后为图 4-10（1）所示。

第二阶段摆放第二个箱，属性为 9，若将该箱放到 1 贝各列中产生的叠压度为： $f(1,1)=1$ ， $f(2,1)=f(3,1)=...f(6,1)=0$ ，该箱码放到其它贝代价为 1，高度均为 1。因此该箱摆放放到 1 贝 2 列中，此时  $c(2,1,1)=5$ ， $h(2,1)=1$ 。

第三至第四阶段摆放过程如同第二个箱，码放后为图 4-10（2）所示。



第五阶段：进箱属性为 9，从第四阶段门吊停留的 1 贝开始寻找最小叠压度的堆栈列，得出  $f(1,1)=f(3,1)=1$ ， $f(2,1)=f(4,1)=f(5,1)=f(6,1)=0$ ，若摆放其它贝产生的代价均为 1，根据公式 (4-11)，优选层数最高的列进行堆放，将此箱堆存在 1 贝 4 列中。 $c(2,2,1)=9$ ， $h(2,1)=2$ 。摆放如图 4-10 (3) 所示。

第六至第十七阶段，码放过程如上，摆放结果如图 4-10 (4) 所示。

12 (1)					

(1) 第 1 个箱码放后贝 1 状态图

12 (1)	9 (2)	11 (3)	7 (4)		

(2) 前 4 个箱码放后贝 1 状态

	9 (5)				
12 (1)	9 (2)	11 (3)	7 (4)		

(3) 第 5 个箱码放后贝 1 状态

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

(4) 第 17 个箱码放后贝 1 状态

图 4-10 前 17 个箱在贝 1 中码放过程图

第十八阶段摆放箱的属性为 2，此时放到龙门吊停留的贝 1 中，产生的叠压度均为 1，此时还存在其它空贝，就选择与其较近的贝进行存放，因此选择第二贝的第一堆栈列。如图 4-11 (1) 所示。

同理，第十八个箱至第二十四个箱的码放过程同第五阶段，如图 4-11 所示

2 (18)					

(1) 第 18 个箱码放后贝 2 状态

2 (20)					
2 (18)	13(19)	9 (21)	7 (22)	18(23)	1 (24)

(2) 第 24 个箱码放后贝 2 状态

图 4-11: 码放 18-24 箱时贝 2 的状态

按照上述规则继续码放，当第 44 个箱码放结束时，贝 1-4 的存箱信息如下  
图 4-12 所示:

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

(1) 码放完第 44 个箱时贝 1 的状态

2 (20)					
2 (18)	13(19)	9 (21)	7 (22)	18(23)	1 (24)

(2) 码放完第 44 个箱时贝 2 的状态

20(34)					
20(27)				15(37)	
20(26)		10(30)		15(35)	9 (36)
16(25)	16(28)	9 (29)	5(31)	13(32)	7 (33)

(3) 码放完第 44 个箱时贝 3 的状态

9 (39)					
6 (38)	19(40)	14(41)	5 (42)	17(43)	13(44)

(4) 码放完第 44 个箱时贝 4 的状态

图 4-12: 码放完第 44 个箱时 4 个贝的状态

码放第 45 个箱时，属性为 3，此时龙门吊停留的第四贝位上，若存放该贝中， $f(1,4)=f(2,4)=f(3,4)=f(4,4)=f(5,4)=f(6,4)=1$ ，码取代价为 1，若摆放到其它贝中，产生叠压度 $f(1,2)=f(6,2)=0$ ，码取代价为 1，其它堆栈列叠压度均为 1，码取代价为 2，为加快码放效率，选择不移动门吊，将属性为 3 的箱存放于第四贝内，选择叠压度小的列中，可选 1-6 列，再根据规则选择层数较高的列为第一列。按此规则进行码放到第 53 个箱，状态如表 4-13。

					8 (49)
3 (45)			12(50)		13(48)
9 (39)	10(51)	1 (52)	5 (46)	1 (53)	13(47)
6 (38)	19(40)	14(41)	5 (42)	17(43)	13(44)

图 4-13 在贝 4 码放第 45-53 后箱存放的状态

码放第 54 个箱，属性为 7，此时龙门吊停留在第四贝中，将箱存放到改贝的 1-6 列中的码取代价等同于叠压度，分别为 3，3，3，3，3，3。若将此箱放到其它贝中，码取代价比叠压度多 1 单位，贝 1 中 1-6 列代价分别为：2，2，2，2，2，2。贝 2 的代价分别为：2，2，2，1，2，2。贝 3 的代价分别为：2，2，2，2，2，2。首选码取箱代价最小，其次选层数最高的列。按规则应将箱存放在贝 2 的第 4 列。码放此箱时，需将龙门吊从贝 4 移动到贝 2，用中括号标记码箱时需移动龙门吊的箱。

2 (20)			7 [54]		
2 (18)	13(19)	9 (21)	7 (22)	18(23)	1 (24)

图 4-14 在贝 3 码放第 54 个箱后箱存放的状态

按此规则继续码放箱 55-100，码放结果为图 4-15。

15(69)		14(70)	4 (75)		
14(14)	2(71)	13(68)	10(72)		8(73)
13(10)	10(15)	12(16)	8 [67]	9(74)	16 (17)
12 (7)	9 (5)	11 (9)	8 (12)	5 (11)	16(13)
12 (1)	9 (2)	11 (3)	7 (4)	5 (6)	16 (8)

(1) 码放完 100 箱时，贝 1 状态图

4[98]					1(63)
13(60)	4(99)		13(61)		1(62)
2 (58)	4(64)		8(56)	20(100)	1(59)
2 (20)	14(57)	12(65)	7[54]	2(66)	1(55)
2 (18)	13(19)	9 (21)	7 (22)	18(23)	1(24)

(2) 码放完 100 箱时，贝 2 状态图

14[76]				3 (81)	6(85)
20(34)	8(87)	6 (86)		15(78)	12(80)
20(27)	18(84)	14(77)	5(88)	15(37)	10(79)
20(26)	10(82)	10(30)	15(83)	15(35)	9 (36)
16(25)	16(28)	9 (29)	5 (31)	13(32)	7 (33)

(3) 码放完 100 箱时，贝 3 状态图

			13(95)		2 (94)
5(91)		4 (96)	5(92)	17(97)	8 (49)
3 (45)	19(90)	1 (93)	12(50)	17[89]	13(48)
9 (39)	10(51)	1 (52)	5 (46)	1 (53)	13(47)
6 (38)	19(40)	14(41)	5 (42)	17(43)	13(44)

(4) 码放完 100 箱时，贝 4 状态图

图 4-15 码放完第 100 个箱贝 1-4 的状态

码放结果分析：根据假设，每条航线先走的概率是相同的，按采取本文的码垛模型计算 4 个贝堆箱翻箱量如下表 4-4。

表 4-4 实例结果分析图

	航线 1 先走	航线 2 先走	航线 3 先走	航线 4 先走
翻箱量	7	13	13	7
概率	1/4	1/4	1/4	1/4

码放这四条航线箱时，龙门吊为摆放四航线的箱总共移动了 5 次，平均每

航线码箱代价分别为  $5/4=1.25$ ，每航线的平均翻箱量为： $1/4 (7+13+13+7)=10$ ，因此，各航线码取箱代价为  $1.25+10=11.25$ 。

若将此航线采用 PSCW 规则按垂直式堆码将上述数据码放效果为图 4-16。

1 (24)	1 (52)	1 (62)	4 (75)	1 (93)	
2 (20)	5 (46)	1 (59)	2 (71)	5 (92)	
2 (18)	3 (45)	2 (58)	2 (66)	5 (91)	
5 (11)	5 (42)	1 (55)	4 (64)	5 (88)	
5 (6)	5 (31)	1 (53)	1 (63)	3 (81)	2 (94)

(1) 100 箱码放结束后，贝 1 状态图

4 (99)					
4 (98)					
4 (96)					

(2) 100 箱码放结束后，贝 2 状态图

10 (15)	7 (33)	10 (51)	9 (73)	6 (86)	
8 (11)	10 (30)	8 (49)	10 (72)	6 (85)	
9 (5)	9 (29)	9 (39)	8 (67)	10 (82)	
7 (4)	7 (22)	6 (38)	8 (56)	10 (79)	
9 (2)	9 (21)	9 (36)	7 (54)	8 (74)	

(3) 100 箱码放结束后，贝 3 状态图

13 (10)	15 (35)	13 (48)	12 (65)	14 (77)	
11 (9)	13 (32)	13 (47)	13 (61)	14 (76)	
12 (7)	13 (19)	13 (44)	13 (60)	14 (70)	
11 (3)	12 (16)	14 (41)	14 (57)	15 (69)	
12 (1)	14 (14)	15 (37)	12 (50)	13 (68)	15 (78)

(4) 100 箱码放结束后，贝 4 状态图

13 (95)					
15 (83)					
12 (80)					

(5) 100 箱码放结束后，贝 5 状态图

16 (25)	19 (40)	19 (90)			
18 (23)	20 (34)	17 (89)			
16 (17)	16 (28)	18 (86)			
16 (13)	20 (27)	18 (84)	20 (100)		
16 (8)	20 (26)	17 (43)	17 (97)		

(6) 100 箱码放结束后，贝 6 状态图

图 4-16 采用垂直式堆码，1-6 贝状态

采用翻箱启发式来统计各贝的翻箱量。经计算，各贝的翻箱量分别为 10，10，17，4，期望翻箱量为  $1/4 * (10+10+17+4) = 10.25$ 。

从两种方法对比来看，垂直式堆码所占贝为 6 个，平均翻箱量为 10.25 个。箱位分配优化模型所占贝为 4 个，码取箱代价为 11.25 个。

4.2.3 结果分析

本文采用 MATLAB 软件对数据模拟并实现算法。随机生成 100 个实例，每实例中取 100 个箱，属于 4 个航线，停靠港代码按由近及远分别为 1-5，6-10，11-15，16-20。将箱分别堆放贝类型为 5 层\*6 列，4 层\*5 列，3 层\*4 列中，假设航线先出发的概率均相等，采用垂直式堆码、平铺式堆码以及阶梯式堆码以及最小叠压度式码放，四种码垛方式来计算期望翻箱量，所需贝位数。表 4-5 所示为计算结果的前 10 组数据。

表 4-5 模拟结果的前 10 组数据，各航线取箱代价

(1) 5\*6 型贝，采用垂直式和平铺式堆码，各航线所需翻箱量及贝位数

码放所需贝数		垂直式堆码，航线 <i>i</i> 的 翻箱量				平铺式堆码，航线 <i>i</i> 的 翻箱量			
垂直式	平铺式	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4
6	6	14	19	12	16	7	19	13	14
6	6	12	10	16	4	17	13	6	4
6	6	7	13	14	9	6	15	11	12
6	6	17	11	7	13	13	14	9	12
5	5	15	8	12	9	9	6	9	9
6	6	6	10	11	11	3	8	14	11
6	6	16	11	7	14	12	17	9	12
6	6	16	5	15	11	15	3	14	14
5	5	10	10	18	7	16	13	17	13
6	6	9	8	14	18	5	6	15	15

(2) 5\*6 型贝，采用阶梯式和 SCW 方式堆码，各航线所需翻箱量及贝位数

码放所需 贝数		阶梯式规则航线 <i>i</i> 的 翻箱量				码垛优化模型航线 <i>i</i> 的 翻箱量				门吊 移动 次数
阶梯式	优化模型	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	
5	4	9	23	16	17	8	8	12	12	3
5	4	15	8	4	5	2	6	3	5	3
6	4	9	14	14	13	7	9	8	6	11
6	4	16	18	11	17	6	9	10	7	8
6	4	12	6	8	11	9	12	7	9	4
6	4	4	8	17	11	3	7	10	7	5
6	4	14	18	11	15	9	5	8	9	6
6	4	13	2	9	12	11	5	9	11	4
6	4	13	14	17	10	10	8	7	7	4
7	4	7	5	18	16	8	13	14	7	7

(3) 4\*5 型贝，采用垂直式和平铺式堆码，各航线所需翻箱量及贝位数

码放所需贝数		垂直式堆码，航线 <i>i</i> 的 翻箱量				平铺式堆码，航线 <i>i</i> 的 翻箱量			
垂直式	平铺式	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4
8	8	10	10	13	10	9	9	6	9
7	7	12	18	12	6	8	4	7	3
8	8	5	13	8	8	5	11	9	8
8	8	10	11	6	8	10	11	10	8
8	8	15	13	8	7	6	5	4	8
8	8	11	18	13	14	3	8	13	4
8	8	10	11	6	8	10	11	10	8
7	7	11	8	14	8	10	4	7	8
8	8	10	13	7	9	10	10	11	4
8	8	7	6	11	14	5	4	9	9

(4) 4\*5 型贝，采用阶梯式和 SCW 方式堆码，各航线所需翻箱量及贝位数

码放所需贝数		阶梯式规则航线 <i>i</i> 的 翻箱量				码垛优化模型航线 <i>i</i> 的 翻箱量				门吊 移动 次数
阶梯式	优化模型	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	
8	6	9	11	12	8	13	13	8	11	10
7	6	12	6	6	5	6	11	7	8	8
8	6	6	8	13	12	3	8	8	3	3
8	6	11	11	8	11	10	14	4	12	5
8	6	12	7	7	10	7	9	9	9	7
8	6	4	4	12	9	7	7	11	7	8
8	6	10	10	9	11	7	8	10	9	5
7	6	11	4	10	7	10	6	7	7	6
8	6	9	9	11	12	12	6	4	8	3
8	6	6	3	13	15	6	5	5	10	5

(5) 3\*4 采用垂直式和平铺式堆码，各航线所需翻箱量及贝位数

码放所需贝数		垂直式堆码，航线 <i>i</i> 的 翻箱量				平铺式堆码，航线 <i>i</i> 的 翻箱量			
垂直式	平铺式	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4
11	11	10	5	6	12	10	14	8	14
11	11	8	6	8	4	7	10	9	4
11	11	7	8	8	12	8	10	15	8
11	11	13	10	8	4	10	12	11	12
12	12	11	5	9	7	7	10	10	11
11	11	3	9	11	8	10	8	9	8
11	11	13	10	8	4	9	4	14	9
11	11	9	4	10	7	9	6	6	9
12	12	7	6	14	7	10	10	7	12
11	11	10	5	10	9	10	14	8	14



(6) 3\*4 型贝，采用阶梯式和 SCW 方式堆码，各航线所需翻箱量及贝位数

码放所需贝数		阶梯式规则航线 <i>i</i> 的翻箱量				码垛优化模型航线 <i>i</i> 的翻箱量				门吊移动次数
阶梯式	优化模型	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	
11	10	8	10	5	11	7	11	5	10	9
11	10	6	2	8	3	4	5	7	2	7
11	10	5	8	11	10	6	8	6	4	9
11	10	9	7	8	7	6	9	6	6	9
12	10	8	6	7	5	4	4	6	7	9
11	10	2	5	11	8	7	3	5	4	10
11	10	10	9	8	6	6	8	5	7	8
11	10	9	4	8	5	4	0	7	7	10
12	10	10	8	12	5	5	3	2	5	9
12	10	5	4	10	10	5	6	6	8	8

根据 100 组数据的结果，统计平均翻箱量及平均贝数使用如下表 4-6 所示。

表 4-6 100 个实例在不同贝类型下，码取箱代价和所需贝位数

(1) 各贝类型的平均码取箱代价值

码垛方式	3*4			4*5			5*6		
	翻箱量	门吊移动次数	码取代价	翻箱量	门吊移动次数	码取代价	翻箱量	门吊移动次数	码取代价
垂直式	8.15	0	8.15	10.35	0	10.35	11.75	0	11.75
平铺式	7.65	0	7.65	8.41	0	8.41	11.25	0	11.25
阶梯式	7.45	0	7.45	9.35	0	9.35	11.45	0	11.45
码垛优化模型	5.35	2.2	7.55	8.03	1.4	9.43	8.08	1.4	9.48

(2) 各贝类型所需平均贝数

码垛方式	3*4	4*5	5*6
垂直式	11.35	7.83	5.87
平铺式	11.35	7.83	5.87
阶梯式	11.35	7.83	5.87
叠压度最小式	10	6	4

根据仿真的计算方法，对结果分析，得到如下结论：

### 1. 垂直式、平铺式以及阶梯式堆码三种堆码方式的分析:

(1) 对箱采用同种堆码方式码放到不同类型的贝中, 贝类型越小, 各贝平均翻箱量越小。图中采用垂直式码垛方法在贝类型分别为 3\*4, 4\*5, 5\*6 中产生的翻箱量分别为 8.15, 10.35, 11.75。

(2) 贝位利用率较低, 平铺式和阶梯式堆码优势越明显, 贝位利用率接近于最高利用率时, 三种堆码方式对翻箱量影响效果不明显。本文模拟产生 100 个箱属于 4 个航线, 因此每个航线的箱平均在 25 个左右。堆码时, 贝内存放箱数接近贝内最大容量时, 采用垂直式、平铺式、阶梯式堆码翻箱量差别不大, 例如放在贝 5\*6 型时, 各航线存放箱大约为 25 个接近最大容量 26 个箱, 故翻箱量平均都为 11 个箱左右。

而在贝 4\*5 的类型时, 每个贝能接受 17 个箱, 25 个箱摆放完 1 个贝, 剩下大约 8 个箱码放在 4\*5 贝中, 平铺式和阶梯式的翻箱量为 8.41、9.35, 效果好于垂直式堆码所产生的 10.35 个翻箱量。

同样在 3\*4 型贝中, 每个贝最多码放 10 个箱, 每个航线前 2 个贝堆满, 第 3 个贝存放 5 个左右, 平铺式效果和阶梯式翻箱量为 7.65 和 7.45 好于垂直式堆码产生的 8.15 个翻箱量。

### 2. 码垛优化模型同上述三种堆码方式相比具有以下优点:

(1) 码垛优化模型在贝类型为 3\*4, 4\*5, 5\*6 的翻箱量分别为 5.35, 8.13, 8.08 低于垂直式、平铺式及阶梯式堆码产生的翻箱量, 从码取箱代价角度看, 其总和在贝类型为 3\*4, 4\*5, 5\*6 下分别为 7.55, 9.43, 9.48, 小于或者接近其它三种堆码最小的代价说明此方法具有应用价值。随着贝类型的增大, 码垛优化模型优化效果越加明显, 翻箱量增加幅度不大, 此外贝容量增大, 相应地龙门吊移动次数也减少。

(2) 码垛优化模型在贝类型为 3\*4, 4\*5, 5\*6 下需贝数分别为 10, 6, 4 低于其它码垛方式所需的 11.35, 7.83, 5.87, 降低了贝的使用数量。节约了 10% 以上的贝位使用量。这是因为码垛优化模型接受不同航线的混堆, 不必再为各个航线单独留出贝位。若是本文规定使用的贝数增加, 每个贝的利用率少, 则翻箱量和门吊的移动次数减小, 降低作业成本效果明显。

(3) 采用 PSCW 规则不仅占用面积大还存在下述问题: 船公司的信息有时不准确, 计划进场箱跟实际入场箱信息不符, 例如为某航线预留的箱位没有箱进来; 某些不在计划内的箱进来又没有事先安排位置, 都造成浪费堆场使用, 但码垛优化模型不用事先对堆场按航线划分区域以及为各航线所需贝数进行计算和分配, 几乎不会出现上述问题, 对计划外的临时箱处理性较强。

(4) 同个贝存在不同航线的集装箱, 翻箱时可以把箱放到其它航线的堆栈

列，降低发生二次翻箱的可能性。

(5) 当码取箱代价一致时，在节约时间上，本算法产生较少的翻箱量，加快装船速度。而门吊移动产生的时间体现在码垛阶段，对船的装卸时间影响很小。

### 4.3 本章小结

本章对箱位分配问题进行深入分析，根据实际提箱装船考虑集装箱重量、尺寸、航程以及收箱码箱时门吊移动产生的代价等因素，建立模型，拟为重箱选取合适的位置进行堆放，实验结果表明，此算法可以降低翻箱量，同时可减少贝的使用。

## 第五章 结论与展望

### 5.1 研究工作总结

本文针对后方堆场普通重箱位置分配问题进行分析,首先对堆场规划,将同种类、同重量级别、同尺寸、不同航线的集装箱混堆在箱小区内为前提,设立叠压度函数来衡量取箱的难度,同时考虑龙门吊移动代价,建立堆码优化模型,为重箱选择合理的位置,在不增加作业成本的基础上,提高堆场使用效率。主要工作如下:

(1) 介绍了堆场相关知识,总结了造成翻箱的原因及降低翻箱率应采取的措施、堆码使用的垂直式、平铺式、阶梯式三种方法特点及翻箱量的计算方法。

(2) 本文从取箱难度的角度来考虑码箱的位置选择,设立衡量取箱难度的叠压度函数同时考虑码放紧凑程度等建立了码箱优化模型。

(3) 基于 MATLAB 对数据随机选取模拟不同航线集装箱进场顺序,分别采用码垛优化模型的码放思想方式与垂直式、平铺式、阶梯式码垛方式对集装箱码放,并模拟装船提箱过程,先提航程较远的箱,对四种方式的倒箱量采用启发式算法计算并对比,得出码垛优化模型可以产生较少的翻箱量和减少贝的使用等优点。

### 5.2 需进一步研究的问题

本文建立的码垛优化模型对翻箱量的降低取得了一定的进展,但是本文还存在需进一步研究的问题如下:

(1) 本文采用随机方法模拟产生的数字虽具有随机性,但各数字出现的概率大致相同。数字出现的概率应结合历史数据,有待进一步研究。

(2) 本文重点考虑了码箱和取箱箱时作业难度和成本,简化了实际作业模型,忽略了龙门吊的升降、移动所需要的时间等因素。

## 参考文献

- [1]王新颖. 集装箱场站翻箱率仿真研究[D]. 大连理工大学, 2008
- [2]Yuan Zhao, Peng Liu, Zan Yang. Evolution of Regional Port System in Modern Logistic[J].International Conference on Automation and Logistics, 2007: 2851-2856
- [3] Mohsen Attaran. RFID: an enabler of supply chain operations[M].Supply Chain Management: An International Journal,2007:249-257
- [4] 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
- [5] Zhao Dan, Review and Analysis on Institutional Management for Global Ports[J]. JOURNAL OFNINGBO UNIVERSITY, 2006.3:36—46
- [6] E.mcdowilll, gmartind.cho, west. As tudy of maritime container handing Oregon state university. Sea grant college program ads Coregon 97:1-10, 1985
- [7] Bernardo de Castillo, Carlos F. Daganzo. Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals [J]. Transportation Research B, 1993, 27(2): 151 -166
- [8] Kap Hwan Kim, Gyu-Pyo Hong.A heuristic rule for relocating blocks[J]. Computers and Operations Research (S0305-0548), 2006, 33(4):940-954
- [9] 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
- [10] Kap Hwan Kim, Jong Wook Bae.Re-Marshaling Export Containers in Port Container Terminals. Computers and Industrial Engineering.1998 a, 35 (3-4) : 655 - 658
- [11] Taleb-Ibrahimi M, Castilho BDe.Storage vs Handling Work in Container Terminals. Transportation Research B, 1993, 27:13-32
- [12] Peter Preston, Erhan Kozan. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals . Computers & Operations Research, Volume 28, Issue 10, September 2001, Pages 983-995
- [13]江南, 王金红, 史峰, 李宁新, 梁建平. 集装箱箱号模糊查询方法[J]. 铁道学报, 2008, 30(2): 78-82
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 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, 46(S1): 120~122
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 徐亚, 陈秋双, 龙磊, 杨立志, 刘丽芸. 集装箱翻箱问题的启发式算法研究[J]. 系统仿真学报, 2008, (14)
- [20] 张维英, 林焰, 纪卓尚, 吴毅刚. 出口集装箱堆场取箱作业优化模型研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2006, 28(2): 130-133
- [21] 计三有, 高悦文. 集装箱堆场减少倒箱率方法研究[J]. 水运工程, 2006, 8: 53-61
- [22] 于汝民. 集装箱码头经营管理[M]. 人民交通出版社, 1999
- [23] <http://www.e0575.cn/>
- [24] <http://fun.hudong.co>
- [25] <http://wikijxwmw.cn>
- [26] 李磊. 集装箱港口堆场资源调度的优化[D]. 天津理工大学. 2008
- [27] <http://www.56easy.com>
- [28] 王志明, 符云清. 基于遗传算法的集装箱后方堆场箱位分配策略. 计算机应用研究. 2010.8:2939-2941
- [29] 于兵. 关于集装箱堆场危险品管理的研究[D]. 北京化工, 2008
- [30] 刘义苍, 孙小明. 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): 152~154
- [31] 周鹏飞. 不确定条件下的集装箱码头出口箱箱位分配优选研究[D]. 大连理工大学. 2010
- [32] 武德春, 武晓. 集装箱运输实务[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007
- [33] 宋天威. 集装箱码头堆场堆码方式的研讨[J]. 集装箱化, 1994, (3): 11-13
- [34] 傅红霞. 集装箱码头堆场管理策略[J]. 集装箱化, 2007, (4): 21~22
- [35] 王强. 集装箱码头堆场作业效率提升方法探究[J]. 物流与采购研究. 2009. 36: 68-70
- [36] 郑志虹. 堆场计划管理在集装箱码头中的应用[J]. 水运管理. 2002. 3: 28-29
- [37] 曾凡华. 集装箱堆场倒箱的原因及预防. 水运科技信息, 1998, 169(4): 34-35

- [38]王曼君.集成化的集装箱码头管理信息系统[J]港口装卸,2001,(4):25-27
- [39]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,2002,46(S1):120-122
- [40]卫家骏.出口集装箱堆场位置的优化[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2010,29(3):470-473
- [41]秦明森.物流作业优化方法[M],北京:中国物资出版社,2003
- [42]顾丽亚.集装箱运输管理实务[M].电子工业出版社
- [43]丁以中,费红英,韩晓龙.港口集装箱流研究现状与分析[J].上海海运学院学报.2002,25(2):45-50
- [44]王孟昌.集装箱码头堆场箱位动态分配优化策略研究[D]武汉理工大学.2007
- [45]陈智.降低中小码头翻箱率的流程优化方案[J]物流工程与管理,2009,8(31):77-79
- [46]任现元,高学玲.集装箱堆场倒箱产生的原因及解决方法[J].集装箱化,1999,(09):21-22
- [47]刘振宝.集装箱码头堆场翻箱技术[J].集装箱化,2010,(02):21-22
- [48]白治江,王晓峰.集装箱翻箱优化方案设计[J].水运工程,2008(4):57-61
- [49]曾凡华.集装箱堆场倒箱的原因及预防[J].集装箱运输.1998,4:34-35
- [50]杨茅甄.国际集装箱港口管理实务[M].上海:上海人民出版社,2007
- [51]王晓、陈海燕、王超、刘单、吕长虹、关于合理确定集装箱码头装船顺序的算法[J].经济数学,2005,(9):284—289
- [52]朱明华,范秀敏,程免翀,何其昌.集装箱装船顺序问题的启发式算法[J].中国机械工程,2010,(09):1068-1070
- [53]C C Wang. Extrinsic calibration of a robot sensor mounted on a robot[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation (S1042-296X), 1992, 8(4): 161-175
- [54]Yusin Lee,Shih-liang Chao. A neighborhood search heuristic for pre-marshalling export containers[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(2): 468-475
- [55]Richard Linn,Chuqian Zhang.A Heuristic of Dynamic Yard Crane Deployment in a Container Terminal, IIE Transactions,2000,February 1
- [56]Ng WC,Mak K L.Yard crane scheduling in port container terminals[J].Applied Mathematical Modelling,2005,29:63-276
- [57]Kim KH. Evaluation of The Number of Rehandles in Container Yards[J]. Computers and Industrial Engineering.1997,32(4):701—711
- [58]ZhangChuqian, LiuJiyin, WanYat-wah,etal.Storage space allocation in container

- terminals Transportation Research Part B: method logical, 2003,37(10); 883-903
- [59] Lee Y,Hsu NY. An optimization model for the container pre-marshalling problem [J]. Computers and Operations Research (S0305-0548), 2007, 34(11): 3295-3313
- [60] Kim, KH, KimDY. Group Storage Methods at Container Port Terminals[A].In The Material Handling Engineering Division 75th Anniversary Commemorative Volume, ASME 1994,2:15—20
- [61] Kap Hwan Kim. A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers. European Journal of Operational Research148, 2003:92-101
- [62] Watanabe I. Characteristics and Analysis Method of Efficiencies of Container Terminal: An Approach to the Optimal Loading/Unloading Method[J]. Container Age,1991,(3):38-49



## 致 谢

借此论文完成之际，在此对在完成学业及论文过程中给予我关心、指导和帮助的老师、同学和亲朋好友表示由衷的感谢！

首先，要感谢我的导师——江南老师！本论文是在导师悉心指导下完成的，无论从论文选题、构思问题等，还是到问题的分析及模型的建立，都离不开老师的悉心教导。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、研究问题，具有师者风范。

再次，对江老师的辛苦栽培表示感谢，以及中南大学交通运输工程学院和研究生院的各位领导以及所有的教研人员！感谢他们在学业上对我的给予指导、答疑解惑、支持和照顾。

感谢一直给予关心的室友李晓燕，李燕群，喻文，李玉容，同门师兄宰停、师姐王金红、师妹余宏志，师弟谭周提以及所有同学，谢谢他们曾对我学习和生活上的帮助。

感谢我的家人及好友，他们的关心和鼓励，支持我完成学业。

在即将完成硕士研究生学业，再次向那些关心过我的老师、同学、家人和朋友致以最衷心的感谢！



## 攻读硕士学位期间主要研究成果

### 参加的科研项目

[1]参与中铁集装箱公司《广西沿海港口群集装箱管理系统》项目开发，2008.

