

集美大学

硕士学位论文

基于SA的集装箱堆场箱位寻址模型的研究

姓名：任振振

申请学位级别：硕士

专业：交通信息工程及控制

指导教师：黄建设

2011-06-14_

基于 SA 的集装箱堆场箱位寻址模型的研究

摘 要

2009 年以来，全球经济逐渐回暖，经济的全面复苏带动集装箱吞吐量再次高速增长，集装箱的快速发展带动集装箱码头的发展，码头吞吐量不断增长，港口面积和设备数量也不断增加。我国集装箱码头吞吐量的不断增长，对集装箱码头的运作提出了更高的要求。集装箱码头资源的有效管理和调度是集装箱码头畅通的必要保证。

集装箱堆场作为完整的物流系统的一个中转地，地位十分突出。随着我国现代港口的迅速发展，集装箱运输量的迅猛增加给码头带来了巨大的作业压力，倒箱作业 (Restowing Operation) 对堆场运作效率的影响日益突出。研究集装箱寻址模型，并在堆场信息系统中实现与应用，对于减少堆场集装箱倒箱率，提高堆场作业效率具有重要意义。本文对此进行了研究。

首先，简介集装箱港口、码头和堆场，堆场空间区域的划分、作业流程，分析倒箱操作的产生原因。其次，以倒箱量最小为目标，建立集装箱箱位寻址模型。第三，简介 SA 算法并予以改进，利用改进后的算法对模型进行优化，求得较优箱位寻址决策。第四，设计并初步实现基于 RFID 的堆场信息系统，将较优箱位寻址决策嵌入该系统中，实现箱位寻址功能。最后，设计并按照既定流程进行寻址模拟实验，对系统按照较优箱位寻址决策生成的箱位进行评价。

关键词：集装箱堆场，寻址模型，SA，RFID，堆场信息系统

Research on SA-based addressing model of slot in Container Terminal

Abstract

Since 2009, along with the global economy has got warm again after a cold spell; container throughput is now taking on a high-speed growth momentum again. The rapid development of container driven the development of container terminal, along with the terminal throughput growth, port area and equipment quantity is also increasing. The container terminal throughput is constantly increasing, it requires container terminal can be operated more efficiently. The effective management and scheduling of container terminal resources is necessary to ensure the smooth flow of container terminal.

The position of Container Yard as a transit of a complete logistics system is very prominent. With the rapid development of modern port, the rapid increase in container traffic takes tremendous pressure to terminals. The impact of the restowing problem to the operational efficiency is increasingly prominent. The research on addressing model of the container and the application in the yard Information system is important to cut down the restowing rate and improve the operational efficiency. A study is conducted on this in this paper.

Firstly, the container port, wharf and Container Terminal is described, the differentiation of space area and the operating process is given, the cause of restowing operation is analyzed. Secondly, the addressing model of the container is established aim for the minimum of restowing amount. Thirdly, the SA algorithm is given and improved, and the improved algorithm is used to optimize the model, and obtain the optimum slot addressing decision. Fifthly, the yard information system based on RFID is designed and implemented. The optimum slot addressing decision is embedded in the system to achieve slot addressing. Finally, addressing simulation experiment is designed and carried out in accordance with established procedure, and the slot generated by the optimum decision is evaluated.

Key words: Container Terminal, addressing model, SA, RFID, yard information system

学术诚信声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立进行的研究工作及取得的研究成果。除文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

时 间：

保护知识产权声明

本人完全了解集美大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意集美大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

作 者（签名）：

导 师（签名）：

时 间：

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及研究意义

港口是位于江、河、湖、海沿岸，具有一定设施和条件，供船舶进行作业，在恶劣条件下靠泊，旅客上下，货物装卸，生活物料供应等作业的地方。港口是物流系统的重要节点，具有运输、工业和商业等多种功能。传统港口集装箱的人工操作和管理极大地制约了港口生产能力和效率地提高，如何实现港口管理流程的自动化、信息化成为建设现代港口的关键^[1]。

集装箱运输作为海、陆、空不同运输方式联运时用以装运货物的一种重要的现代运输工具，是社会化的产物，是港口运输物流的重要内容之一，有着其他运输方式不可比拟的优势，具有安全、便捷、高效的优势。使用集装箱运输货物可以减少货物的破损，免除包装费用，提高装卸效率。集装箱按照不同的分类方法可以分为很多种，其中国际上把 20 英尺集装箱（TEU）作为一个计算单位，如 60 英尺集装箱为 3TEU，以便统一计算。

随着我国国民经济持续快速的发展与集装箱运输量的不断快速增加，我国集装箱港口也呈现出高速发展的态势。现今具有装卸集装箱能力的港口数量已经到达 57 个，其中沿海港口 38 个，内河港口 19 个。共有集装箱泊位 258 个，其中万吨级以上的泊位 83 个，千吨级以及上万吨级已下的泊位 175 个。2010 年我国港口国际标准集装箱吞吐量前十名排序如表 1.1。

表 1.1 2010 年我国港口国际标箱吞吐量前十名排序

名次	港名	2010 年/(万 TEU)	同比增幅/%
1	上海港	2906.9	16.26
2	深圳港	2250.97	23.34
3	宁波-舟山港	1314.4	25.14
4	广州港	1255	12.3
5	青岛港	1201.2	17.04
6	天津港	1008	15.84
7	厦门港	582	24.34
8	大连港	524.2	14.54
9	连云港港	387	25.41
10	营口港	333.8	31.55

结合我国当今集装箱港口现状，从集装箱吞吐量变化趋势来看，未来我国集装箱港口将呈现以下发展趋势^[2]：

（1）港口建设科学化。现代港口的建设是一项复杂的系统工程，不仅要符合港口及其所在城市与腹地的经济贸易与物流关系，同时还要兼顾港口所在区域本身的自然基础条件，按照其本身水深大小全面建设，实现港口成本的节约以及效益的增长。

（2）港口经营集约化。近几年来，我国港口资源整合悄然而生，上海港国际航运中

心建设和上海组合港概念的提出,标志着港口资源整合的开始。合资建立集装箱码头公司,物流公司以及集装箱运输公司,形成集装箱装卸、运输、代理一条龙服务的运营网络和港群。

(3) 港口管理信息化。现代港口广泛研发识别、检测、监控系统,应用计算机网络技术,建设一体化处理平台。目前,港口所采用的信息化技术已经扩展到港口企业管理、生产调度和作业控制、口岸通关等方面,能够在很大程度上提高港口生产效率和经济效益。

(4) 港口物流化。现代港口的功能主要体现在以港口运输和中转功能为依托,建立强大的现代物流系统,继而发展仓储、配送、加工改装、包装等其他产业,带动整个临港产业带的发展。现代物流业将是港口产业发展的重要支柱产业之一。物流化的港口不仅能够装货卸货,还能够以现代化的运输为主线,将仓储、包装、配送、加工、信息服务等多种物流功能集成化,使得港口从简单的交通枢纽的地位上升到内涵更广、层次更高的物流网络节点,达到提升港口功能的目的^[3]。

然而即使我国港口数量大幅增长,随着国际标箱吞吐量不断上升,集装箱运输量的迅速发展,作为中转地的码头集装箱堆场作业压力不断加大,倒箱问题对堆场运作效率的影响日益突出,而传统的集装箱堆场堆码模式在面对大规模集装箱作业时不能真正有效避免或大幅度减少倒箱,作业效率低导致了集装箱在码头周转周期长,进而会造成船舶滞留港口时间的延长。这就要求港口一方面通过加强其集装箱堆场基础设施建设,加大场区有效作业面积和容量来适应快速增加的集装箱作业量;另一方面,在有限的码头集装箱堆场容量内,如何优化利用自身的空间资源,提高作业效率成为解决该问题的重要途径。研究集装箱堆场箱位寻址模型,优化集装箱堆场位置对于提高集装箱堆场作业规律、缩短船舶在港时间、提高集装箱船的航行性能和提高港口的市场竞争力具有重要意义^[4]。

1.2 国内外研究现状

码头集装箱堆场是集装箱卡车将要装船的集装箱运送到码头后的暂时储存地,堆场作业的一个大致过程为:集装箱船舶在到港之前先要传送船图到码头管理部门;码头管理部门根据船图对堆场中要装船的集装箱进行配载;最后是堆场管理部门使用龙门吊等机械设备将集装箱放入船舶配载好的位置上。为提高船舶稳性,降低船舶重心,集装箱船舶最为合理的配载是重箱在下,轻箱在上,因此集装箱堆场最合理的堆码方法应该是轻箱在下,重箱在上。但是由于集装箱到达堆场的随机性,即下一个到达堆场的集装箱信息未知,实际堆存作业中,真正做到全部进场集装箱“轻箱在下,重箱在上”是不可能的,倒箱不可避免。如何给每一个到达箱安排合理的堆场箱位地址,即集装箱堆场箱位寻址问题来降低倒箱率,成为国内外学者研究工作的重要内容。

针对集装箱堆场箱位寻址问题,是国内外学者的研究重点,但国内外对于该问题的研究相对其他领域进展仍比较少,Rommert Dekker 和 Patrick Voogd^[5]等认为集装箱寻址问题受到很多客观条件的限制,难于求出最优解。Kim K. H. 等^[6]对不同码头堆场的布局和其

对倒箱率的影响进行了考察，将集装箱重量分成几个等级，取最少翻箱次数为目标函数，运用动态规划方法求解并建立最小树生成实时决策模型。Zhang C^[7]取最小化翻箱率为目标函数，建立两阶段优化模型，研究集中到达和分散到达两种进场模式下的优化效果，并进行仿真模拟。Preston 和 Kozan^[8]在随机顺序、先到先服务及后到先服务三种不同作业顺序前提下，以船舶装卸时间最短为目标函数，将确定最优堆存位置抽象成一个 NP-难的混合整数规划（MIP）模型，并通过遗传算法进行求解，结果表明，如果堆场布局合理，三种不同作业顺序的船舶装卸时间是大致相同的；当堆场利用率在 10-15% 范围内时，装卸时间会随着堆场利用率线性变动。荷兰的 Mark B. Duinkerken 等^[9]提出了堆场堆码最大剩余堆存空间（Remain Stack Capacity）策略，算例结果表明，该种堆存策略倒箱率较小，明显优于常规堆码策略。Taleb-Ibrahimi、Castilho、Daganzo 等^[10]分析了集装箱港口堆场面积分配问题，提出可以为比分配位早到的集装箱提供一个临时的缓冲区，比较了进口箱和出口箱在不同堆码作业下所需的最小堆场面积，并得出最小工作量。

对于国内研究方面，杨淑芹等^[11]以翻箱量最小为目标函数，运用启发式算法讨论了集装箱堆场堆码作业优化问题。计三有等^[12]考虑集装箱重量在内，建立出口箱区堆码模型，并利用搜索技术求解该模型。郝聚民等^[13]以图搜索和模式识别技术为基础，在出口箱混合顺序作业前提下，建立了出口箱堆场贝位优化模型。

1.3 论文主要研究内容及组织结构

1.3.1 研究的主要内容

本论文的研究目的是探求为随机到达堆场的集装箱安排合理的堆场箱位地址，优化堆垛作业模型，降低倒箱率，并将该集装箱堆场箱位寻址模型在堆场信息系统中应用，为堆场实际管理堆码作业提供决策。为此将从研究集装箱堆场堆码作业和取箱作业过程入手，使用合理的取箱算法计算倒箱量，建立集装箱堆场箱位寻址模型，利用合适的算法来对堆场箱位寻址模型求解与优化，并利用计算机仿真技术对模型进行检验分析。

研究的主要内容有：

- （1）对集装箱状态和位置等基本信息，货物、堆场、闸口等信息进行分析。
- （2）对集装箱堆场箱位寻址模型进行研究，包括对集装箱堆场箱位分配的相关理论进行分析和研究，为解决箱位寻址问题提供理论基础；研究解决问题的相关算法，并利用计算机仿真技术进行分析和检验。
- （3）箱位寻址模型在集装箱堆场信息系统中的应用，包括系统功能分析、设计和初步实现。首先进行 RFID 数据接口和信息采集模块的设计工作；其次是数据库的定义、设计与连接；第三是实现各个功能子模块的功能；最后进行寻址模拟实验，以检验箱位寻址决策的实际应用效果。

1.3.2 论文组织结构

本论文分析国内外研究现状，建立箱位寻址模型，对箱位寻址模型进行求解和优化，利用计算机模拟分析了验证，论文分析 RFID 的集装箱堆场信息，设计与初步实现基于 RFID 的集装箱堆场信息系统，并通过该系统对箱位寻址模型进行验证和评估。本文共分为五章，具体包括：

第一章绪论，主要介绍了论文写作的背景、目的和意义，国内外对于堆场集装箱箱位寻址方面的研究状况以及本论文的研究内容和主要工作。

第二章主要简单介绍了集装箱港口码头、码头和堆场，描述了集装箱堆场的作业流程，并分析了倒箱作业产生的原因。

第三章建立了集装箱堆场箱位寻址模型的建立，包括前提假设，约束条件以及设计变量等，给出了合理的启发式取箱优化算法。

第三章介绍了 SA 算法，并做了一些改进，使得算法搜索准确率更高。针对同一贝内箱位寻址问题，利用 SA 改进算法求得最优解，最后给出同一贝内箱位寻址最优解的实际算例和结果评价。

第五章对基于 RFID 的集装箱堆场信息系统进行了设计、实现和调试，将箱位寻址模型最优解应用到该系统中，并通过模拟实验进行验证。

论文的结构见图 1-1。

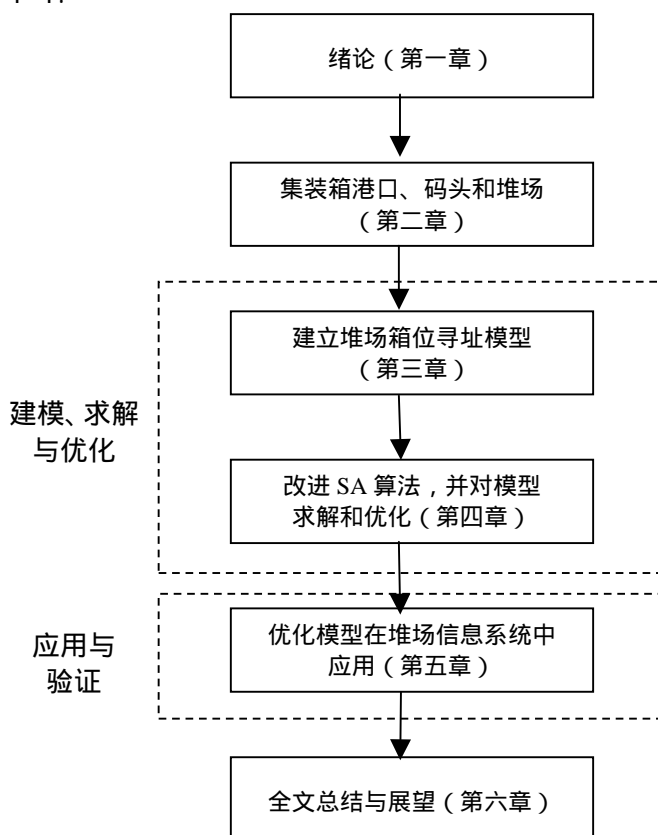


图 1.1 论文结构

第 2 章 集装箱港口、码头和堆场

2.1 集装箱港口

集装箱港口是具有专门设施和条件，专供集装箱停靠，装卸集装箱作业的作业场所，在集装箱物流系统中连接着水路运输和陆路运输，是集装箱物流系统的重要节点，具有运输、工业和商业等多种功能。集装箱港口的组成部分包括泊位、集装箱堆场、闸口、控制室、集装箱装卸接卸和其他设施等。

集装箱港口能够加速车船周转速度，提高集装箱运输速度，降低集装箱物流系统整体运输成本。总的说来，集装箱港口具有以下三大职能：

- (1) 集装箱物流系统的集散站。
- (2) 暂时堆存集装箱，缓冲集装箱运输。
- (3) 集装箱多式联运的枢纽。

另外，集装箱港口还可提供货物仓储、装卸、包装、配送、运输、加工等一系列服务，功能日趋完善。

2.2 集装箱码头

集装箱码头是集装箱港口的最重要的组成部分，负责集装箱的装卸、搬运、保管和拆装箱等业务的服务性机构。在轮船到港之前，码头接收需要装船的集装箱，这些集装箱先到码头的道口录入详细的数据信息，码头的箱管部会根据集装箱的航次、到达港口、重量、箱型等信息给出集装箱在堆场的堆放箱位，之后集装箱被放到堆场的制定箱位等候装船，在装船之前的一段时间内码头可能会调整这些集装箱的堆放次序，以便轮船到港之后更容易装船。

集装箱码头的组成部分和必要设施一般包括：泊位、码头前沿、集装箱堆场、控制室、闸口等。见图 2.1。

(1) 泊位

泊位是港区内供船舶安全停泊并进行装卸作业所需要的水域和相应设施。泊位需要一定长度的岸壁线，以供船舶停泊靠岸，目前世界上集装箱码头泊位的长度一般为 300 米左右。

(2) 码头前沿

码头前沿是码头岸壁线到堆场前沿的长条区域，具有集装箱装卸桥负责集装箱的装卸。卸船时，装卸桥从船上卸下集装箱放在码头前沿或前沿内的集装箱拖车上，然后运送至堆场；装船时，装卸桥把集装箱拖车从集装箱堆场运送来的集装箱装上船。码头前沿是集装箱船舶装卸作业最为集中的地方，因此要求具有一定的宽度，以免影响装卸效率。

(3) 集装箱堆场

请见本文“2.2 集装箱码头堆场简介及分析”。

(4) 集装箱货运站

集装箱货运站是拼箱货装箱和拆箱的船、或双方办理交接的场所。它是集装箱运输关系方的一个组成，在集装箱运输中起到重要作用。它办理拼箱货的交接，配载积载后，将箱子送往集装箱堆场，并接受集装箱堆场交来的进口货箱，进行拆箱、理货、保管、最后拨给各收货人，同时也可按承运人的委托进行铅封和签发场站收据等业务。

(5) 码头控制室

集装箱码头控制室是执行生产作业计划的关键部门，它的主要作用就是依据生产作业计划，对码头的各项生产作业进行组织、指挥、监督、协调、平衡，充分发挥码头各生产要素的作用，在安全优质的基础上，使码头各项生产作业协调、连续、高效地进行。

(6) 闸口

闸口是集装箱码头的出入口，集装箱码头交接箱的通道，相当于集装箱码头的“大门”，也是码头作业系统的重要组成部分。

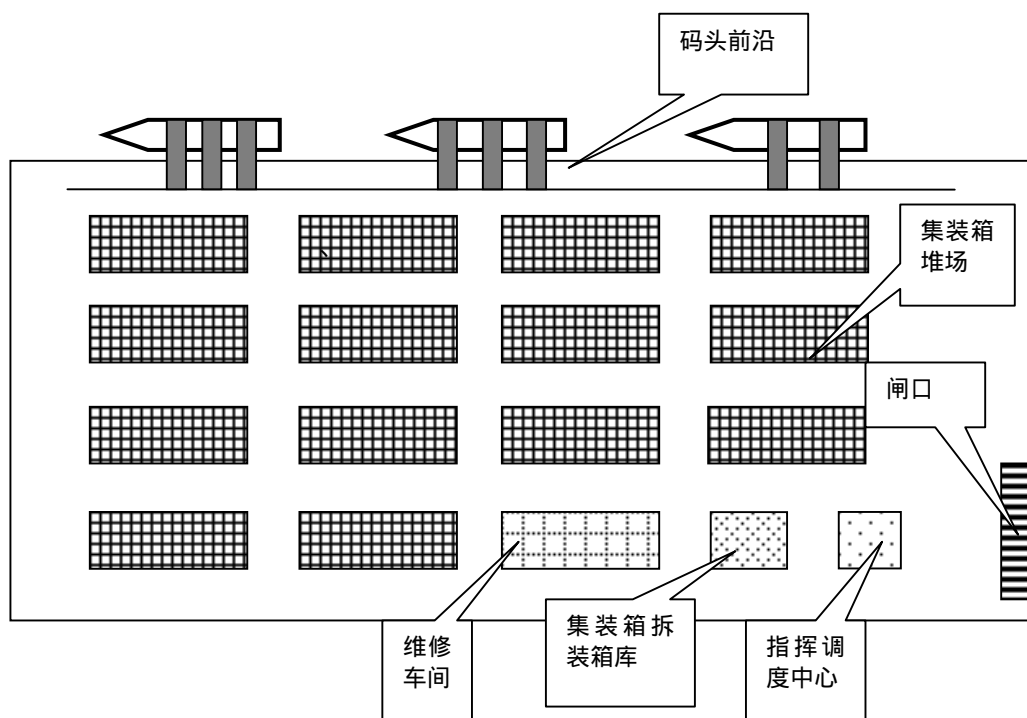


图 2.1 集装箱码头的组成

2.3 集装箱码头堆场

集装箱码头堆场是临近码头前沿的集装箱暂时存放的区域，该区域的集装箱会通过陆路闸口或泊位进出，常见的运输载体有集装箱拖车以及集装箱船舶。见图 2.2。



图 2.2 集装箱堆场

2.3.1 堆场空间区域的划分

码头集装箱堆场通常被划分为一些更小一些的长方形的场地，这些长方形的场地通常被称为箱区^[7]，见图 2.3。每一块里延长边一个 TEU 长度称为贝位 (bay)，沿短边一个 TEU 宽度被称为排或行，贝位中的一排称为垛或栈，每一垛在竖直方向上可以堆码多层，垛中的每一层空间称为一个箱位。国内堆场每个箱区一般由 40-60 个贝位组成，贝位采用的容量大小不一，每个贝位通常包括 6-8 列。例如采用 6 列 4 层大小，一个贝位最多能够堆码 24 个集装箱，使用的装卸机械有龙门吊、叉车等。图 2.4 为使用轮胎龙门吊的贝位，图中每一个方格代表一个集装箱。

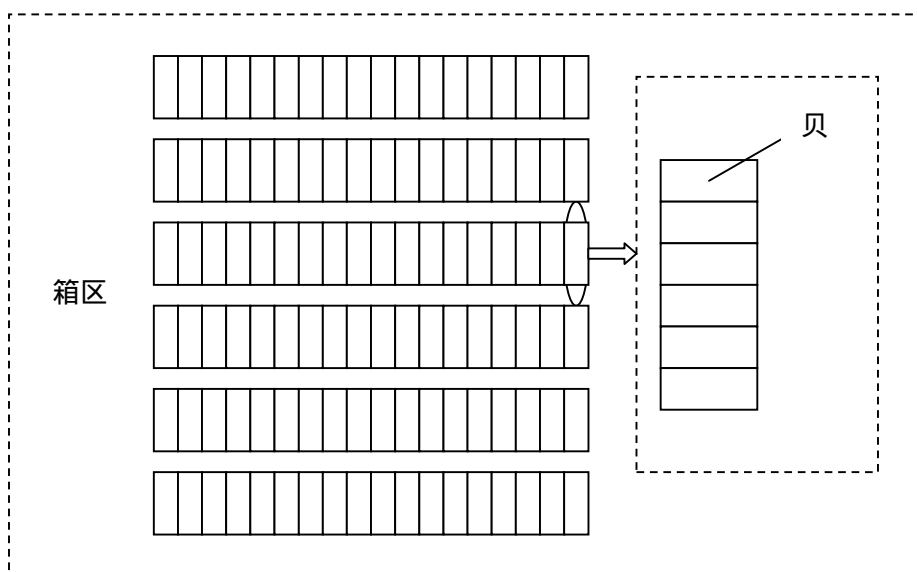


图 2.3 堆场箱区

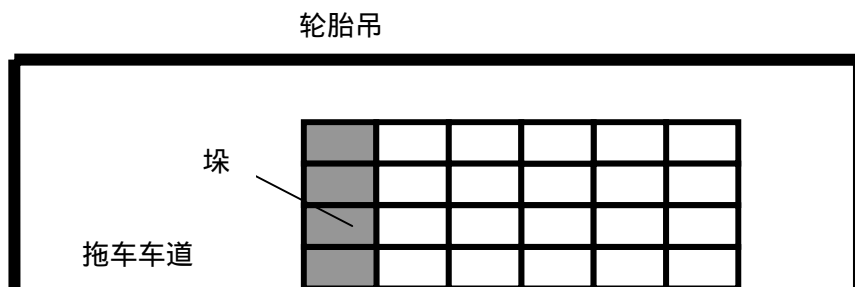


图 2.4 堆场贝位

堆场上的箱区、贝位、列和层都可以通过一定的编码来表示，其中箱区通常由字母和自然数（如：A01，A02）共同表示，贝位、列、层由自然数（1, 2, 3.....）表示。堆场中的每个箱位地址都可以通过其所在的箱区、贝位、列、层唯一确定。如给定一个堆场编码（A010302）表示该箱位所在的位置是 A 箱区 01 贝位 03 列 02 层；堆场编码（B030604）表示该箱位所在的位置是 B 箱区 03 贝位 06 列 04 层。

按照堆场装卸机械分类，集装箱堆场可分为空箱叉车作业区、龙门吊作业区和正面吊作业区^[14]。

空箱叉车采用柴油发动机作为动力，承载能力 8.0 ~ 45.0 吨。在功率的设计上只能满足空箱的装卸要求，因此只能对空箱进行堆码，堆码方式有水平顺序作业、垂直顺序作业两种，堆码高度一般可到 7 或 8 层。空箱叉车门架只能上下移动来完成集装箱堆码作业，作业时需将集装箱“横向”搬移。见图 2.5。



图 2.5 空箱叉车作业

目前，龙门吊主要分为轨道式和轮胎式两种。首港口地质条件、设备投资、作业环境的影响，轮胎式龙门吊是大多数集装箱堆场的首选^[15]。轮胎式龙门吊在作业时主要通过轮胎移动的方式实现对集装箱的搬运和堆码。在集装箱进入堆场进行堆存时，轮胎式龙门吊从集装箱拖车上将集装箱卸到堆场上堆存；当集装箱要装船时，轮胎式龙门吊把堆垛的集装箱吊到在拖车车道内等候的拖车上，由拖车运送到码头前沿由装卸桥负责装船出港。轮

胎式龙门吊一般可堆码集装箱 4 到 6 层，有点是方便灵活，受限制较少，可实现跨箱区作业。见图 2.6。



图 2.6 龙门吊作业

集装箱正面吊是专门为 20 英尺和 40 英尺国际集装箱而设计的，主要用于集装箱的堆叠和码头、堆场内的水平运输，与叉车相比，它具有机动灵活，操作方便，稳定性好，堆码层数高，堆场利用率高等优点。可进行跨箱作业。特别使用于中小港口的集装箱装卸，也可在大型集装箱码头作为辅助设备来使用。集装箱正面吊有可伸缩和左右旋转的集装箱吊具，能用于 20 英尺、40 英尺集装箱装卸作业，吊装集装箱时正面吊不一定要与集装箱垂直，可以与集装箱成夹角作业。在起吊后，可旋转吊具，以便通过比较狭窄的通道。同时，吊具可以左右侧移各 800mm，以便于在吊装时对箱。对于场地条件较差的货运站，正面吊也能正常作业。伸缩式的臂架，可带载变幅，集装箱的起降由臂架伸缩和变幅来完成，在臂架伸出和俯仰油缸伸出时，其起升速度较快，在下降时同时锁入，可获得较快的下降速度。在作业时，可同时实现整车行走、变幅、臂架伸缩动作，工作效率较高。见图 2.7。

按照集装箱种类可将龙门吊作业区分为普通干箱区、冷藏箱区以及罐式液货箱区等，其中普通干箱区占的比例最大，约 90%左右。

按照作业功能可将堆场划分为前方堆场、后方堆场。集装箱前方堆场是指在集装箱码头前方，为加速船舶装卸作业，暂时堆放集装箱的场地。当集装箱船到港前，前方堆场能够有计划有次序地按积载要求将出口集装箱整齐地集中堆放，卸船时将进口集装箱暂时堆放在码头前方，以加速船舶装卸作业。

集装箱后方堆场是集装箱重箱或空箱进行交接、保管和堆存的场所，是集装箱装卸区的组成部分。后方堆场对于集装箱码头集港疏港作业、集装箱中转运输以及集装箱拆装箱作业都起到十分重要的补充作用。



图 2.7 正面吊作业

2.3.2 集装箱堆场作业流程

按照作业流程的方向可将集装箱码头的作业流程分为进口作业流程和出口作业流程。

(1) 集装箱码头进口作业流程

在进口作业流程中，船舶将集装箱货运资料从最后装运港寄送至船公司，由船公司在规定的时间内，按照集装箱码头堆场的具体要求，将集装箱货运资料转送到集装箱码头堆场部门。码头计划员收到该资料后，首先要认真地分析和核对，然后按照船图的说明制定集装箱卸船计划，也就是所谓的集装箱卸船顺序单。最后制定集装箱堆场堆存计划，按照事先编排好的卸船堆存计划安排堆场装卸机械，做好卸船准备。

桥吊将到港的集装箱船舶内的集装箱卸至码头前沿等待的内部集装箱卡车上，集装箱卡车按照既定堆存计划将集装箱托运至堆场。堆场管理人员负责接箱，并按照卸船顺序单核对箱号等集装箱信息，并对集装箱外观是否有所破损进行检查，经检查无误后，指挥堆场龙门吊等装卸设备按照既定的堆存计划将箱子堆码到预定的箱位。集装箱堆场通常会进行归位、并位、转位等集装箱作业，此举是为了提高堆场作业效率，减少码头作业的出错率以及箱子倒箱率，最终提高堆场的利用率。

在集装箱进行提运时，外部集装箱卡车凭相关提箱文件在检查口处进行验收，无误后发放提箱小票并放行进入堆场，卡车司机将提箱小票交给堆场管理员，管理员指挥集装箱装卸设备将指定的箱子卸装到外部集装箱卡车上。

在集装箱码头进口作业流程中，岸边装卸设备（如桥吊）将集装箱船舶上待卸的集装箱卸下装载到集装箱堆场内部集装箱卡车，并由该集装箱卡车运送至堆场，通过堆场的装卸设备堆存的过程叫做卸船作业；堆场外集装箱卡车穿过闸口至堆场，将指定的集装箱通过堆场机械设备装车并通过闸口驶出堆场的过程叫做疏港作业。卸船作业与疏港作业分别

见图 2.9 和图 2.8。

(2) 集装箱码头出口作业流程

在集装箱码头出口作业流程中，船公司或其代理在出口箱进场的前一天，将预配船图交给码头配载计划。码头配载员根据装箱单、场站收据以及预配船图进行配载。配载工作完成后，确定集装箱装船顺序单，并在电脑中生成，利用局域网将出口集装箱装船顺序单发送至控制室，控制室利用这些信息指挥装船作业。堆场员听从控制室指令指挥堆场装卸设备进行作业，将出口集装箱堆存在集装箱堆场特定位置。

内部集装箱卡车将集装箱运送至码头前沿，验箱员核对集装箱信息并检查集装箱外表有破损和铅封完整性后，船舶指挥员指挥桥吊司机将集装箱吊至船上预定的船舶箱位上。

在集装箱码头出口作业流程中，堆场外集装箱卡车运输集装箱穿过闸口至堆场，按照一定的堆码决策堆存后等待装船，这个过程叫做集港作业；堆场的装卸设备将堆存好的集装箱按照既定顺序从堆场中取出，放至堆场内部集装箱卡车上，并运送到码头前沿，通过岸边装卸设备装载到船舶指定位置，这个过程叫做装船作业。集港作业和装船作业分别见图 2.8 和图 2.9。

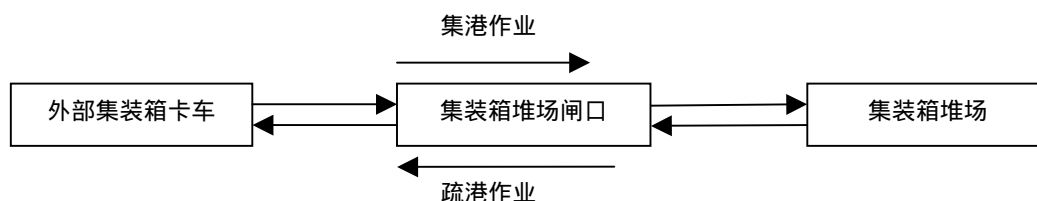


图 2.8 集港作业和疏港作业

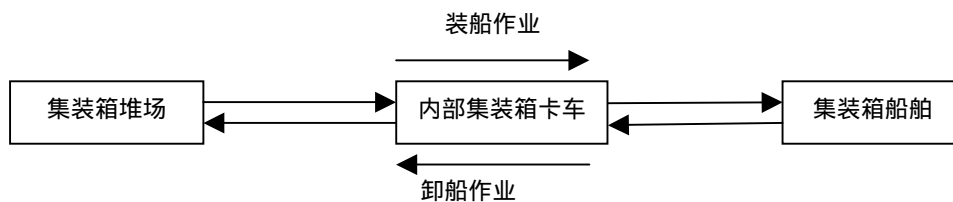


图 2.9 装船作业和卸船作业

2.3.3 倒箱操作产生的原因

根据码头统计资料，进场集装箱不同重量的分布符合表 2.1 的统计规律^[21]。

表 2.1 不同重量集装箱分布统计规律

重量/t	5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
百分比/%	15	15	15	25	20	10
百分比和/%	15	30	45	70	90	100

码头集装箱按重量可划分成若干个重量级别，不同的堆场有不同的划分方法，常见的划分方法是集装箱划分成三个重量级别：H、M、L。其中，重量在 0t ~ 10t 范围内的集装箱为轻箱，即 L 型箱；重量在 10t ~ 20t 范围内的集装箱为中等重量箱，即 M 型箱；重量范围在 20t ~ 30t 范围内的集装箱为重箱，即 H 型箱。

由于码头管理部门在配载之前，集装箱已经随机到达堆场，会出现要先装船的集装箱被压在后装船的集装箱下面的情况。这将导致实际装船时要进行大量的倒箱作业

(Restowing Operation)，从而影响装船的效率和准确率。产生倒箱的原因有如下几个^[16]：

(1) 不同船公司、船名、航次的集装箱混合进场。有的情况下，船公司没有及时确定集装箱的具体航线，而是等到集装箱进入堆场以后才根据具体情况分配船名、航次，就会出现不同航次的集装箱混合。为了顺利进行装船作业，需要把航次靠前的集装箱取出，放在特定位置，以区分不同航次，为装船作业节省时间和效率。

(2) 航次或目的港临时改变。船公司在实际运营过程中，有时会遇到计划改变的情况，即有些集装箱要临时改变航次或目的港，而堆场管理人员就要根据船公司具体的情况改变原有的堆码好的集装箱，出现倒箱。因为船舶配载计划的临时改变也会产生频繁的倒箱。

(3) 不同重量级的集装箱混合堆码。由于集装箱进入堆场具有时间上的随机性，故容易出现轻箱压着重箱的情况，而船舶配载要求先放入重箱，后放入轻箱，故此时需要倒箱，以便顺利装船。

(4) 如果集装箱航线中途挂靠港较多，则堆场有必要对集装箱按到港顺序进行调整。

(5) 冷藏箱、危险箱、框架箱、高箱等特殊箱型的重箱在堆场中有特定的箱区，而进场时由于跟随统一船公司、航次的其他普通集装箱进入普通箱区，没有直接进入特定箱区，即产生倒箱。

(6) 船公司及船舶代理不能及时地按照规定向港口堆场部门提供必要的船舶货运资料，如出口的订舱清单、进口时的舱单卸船清单等，造成堆场管理部门无资料可循，只能顺序堆码。

倒箱作业往往要搬移箱体，浪费人力、物力和财力，因此必须对其进行一定的控制，这种控制也是堆场管理部门的重要工作。为减少倒箱率，码头集装箱堆场一般采取三种方法避免装箱过程中倒箱的发生：

遵循 PSCW 原则对集装箱进行堆码，即同一目的港 (port)、同一尺寸 (size)、同一集装箱种类 (category) 和同一重量级别 (weight) 的集装箱尽量堆码的堆场的同一贝位内^[13]。

该种寻址决策的优点在于避免了不同目的港的集装箱混合堆存，在一定程度上使得堆场的倒箱率降低，但也存在着两个明显的问题：

一是划分原则过细，导致堆场空间的浪费。当同一质量级别的箱子比贝位容量要小的情况下，该贝位就会出现空闲的箱位；利用该寻址模型对大型堆场的进场集装箱进行堆码

时，会造成大量贝位出现大量空闲箱位，造成整个堆场空间的浪费。

二是降低了龙门吊工作效率。当两个相邻到达的集装箱不是同一目的港、同一尺寸、同一种类或者同一重量级别时，龙门吊负责将其堆码在不同贝位上，可能会移动较大距离，造成工作效率降低，堆场运营成本增加。

在装船作业前，对集装箱堆场位置依据船舶配载情况，按照理想的装船顺序进行重新选择箱位地址^{[17][18]}。该方法将消耗更多的人力和物力，同时需要较大的堆场面积以供其重新堆码，受到集装箱堆场面积的限制^[19]。

集装箱码头堆场管理是码头生产的重要组成部分，其装卸效率很大程度上取决于集装箱进入堆场以后为其安排的箱位地址的合理性。箱位地址的不合理会使得倒箱率增加，增加堆场作业的时间，降低了码头装卸的速度和工作效率，增加了码头生产成本，导致码头堆存能力和通过能力的降低。因此，有效的堆存管理是提高港口效益的重要因素^[20]。

综上所述，倒箱不可避免，会浪费大量的人力、物力和财力，建立码头集装箱堆场寻址模型，将集装箱堆码位置最优化，减少倒箱率，成为码头管理的重要课题。因此，本论文对码头集装箱堆场寻址模型进行研究，建立箱位寻址模型以及对其求解和优化，并在集装箱堆场信息系统验证与运用。

第 3 章 集装箱堆场箱位寻址模型的建立

3.1 前提假设

为了对实际问题进行简化，提出了以下前提假设：

(1) 只针对集港作业的出口集装箱，其重量范围已知，且三个不同重量级别的集装箱分布符合表 3.1 的规律：

表 3.1 三种不同重量级别集装箱分布统计规律

重量级别	L 型 (0t~10t)	M 型 (10t~20t)	H 型 (20t~30t)
百分比/%	30	40	30
百分比和/%	30	70	100

(2) 按集装箱种类、目的港和重量对到达堆场的集装箱进行分类，不同种类集装箱分别在不同箱区堆存，同一目的港，不同重量级别的集装箱混合堆码在同一贝位或几贝位内。

(3) 只考虑不同重量级集装箱混合堆码的原因而导致倒箱的情况，不考虑目的港改变、不能按时提交船舶货运资料等其他原因造成倒箱的情况。

(4) 箱区每一贝位由 6 列 4 层组成，每一个贝位中最多能堆码 24 个集装箱，码头堆场装卸机械为龙门式轮胎吊。

3.2 约束条件

(1) 集装箱到达顺序随机，下一个到达堆场的集装箱重量未知。

(2) 处于作业便利和安全性等方面的考虑，在堆码过程中不允许倒箱作业，且后续的取箱和倒箱操作只能在同一贝位内，取箱和倒箱作业模型一致。

3.3 设计参数

引入几个参数：

$Stack(s)=\{1, 2, \dots, s\}$ 为贝位所有堆垛的集合，贝位列数为 s ；

$Stage(t)=\{1, 2, \dots, T\}$ 为龙门吊每一个抓起、平移和放下动作过程的集合，即贝位上每搬移一个箱子，为一个 stage。 T 为总的阶段数量；

$WeightClass=\{1, 2, 3, \dots, c\}$ 为箱子的重量级别。重量级别同时也是取箱的优先级别，取箱时，应尽可能优先取出重量级别较大的箱子。在本模型中，集装箱重量级别取 3 中，具体要求见 3.1 前提假设第 (1) 条。

$Max(s)$ 记录贝位堆垛的最大重量级别；

$Height(t, i)=\{h_1, h_2, \dots, h_i\}$ 表示某堆垛在 $Stage(t)$ 所在的高度；

$$BayStation(i, j)=\begin{cases} WeightClass \\ 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

式 (3.1) 表示贝位堆码状态。若箱位 (i, j) 有箱, 则该变量值为该箱重量级别; 若箱位 (i, j) 没有箱子, 则该变量值为 0。

$Shelve(s) = \{n_1, n_2, \dots, n_s\}$ 表示某堆垛的压箱数量。

在堆码好的堆垛中有若干个集装箱, 集装箱上的字母表示该集装箱的重量级别, 见图 3.1。上下相邻的两个箱子, 若上方集装箱的重量级别低于下方集装箱的, 则表示上方重量级别小的箱子阻塞了重量级别大的箱子, 称为阻塞箱, 需要倒箱。

在当前状态下, 记录当前堆垛高度 h , 从上至下取出重量级别最高的箱子, 并记录状态为 j , 计算 $h-j$, 并更新堆垛高度 $h=h-1$ 及堆垛状态。当 $h=1$ 时结束判断, 计算 $h-j$ 的和即为压箱数量。压箱数量的计算见图 3.1。

压箱数	0	2	2	0	0	0
	H	M	M	H		
	H	M	M	H	H	
	M	H	H	M	H	M
	M	H	L	L	M	L
Stack	1	2	3	4	5	6

图 3.1 压箱数量的计算

3.4 设计变量

$$x(t, y, z) = \begin{cases} 1 & \text{箱子由 } y \text{ 列移动到 } z \text{ 列} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (3.2)$$

式 (3.2) 表示阶段 T 取箱时的倒箱次数。当箱子由 y 列移动到 z 列时, 倒箱次数等于 1, 否则倒箱次数为 0。

$$Takeout(t, i, j) = \begin{cases} 1 & \text{阶段 } t \text{ 第 } i \text{ 列, 第 } j \text{ 层的箱子被取走} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (3.3)$$

式 (3.3) 表示龙门吊的取箱动作。

$$PutIn(t, i, j) = \begin{cases} 1 & \text{阶段 } t \text{ 有箱子放入第 } i \text{ 列, 第 } j \text{ 层} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (3.4)$$

式 (3.4) 表示龙门吊倒箱时将箱子放入其他堆垛的动作。

$$\min \sum_{t \in stage} \sum_{y \in stack} \sum_{z \in stack} x(t, y, z) \quad (3.5)$$

式 (3.5) 为目标函数, 表示整个堆码过程倒箱量最少。

3.5 取箱作业优化模型

建立码头集装箱堆场寻址模型的目的是为每个到达堆场的出口集装箱确定最佳的堆码位置, 从而使得该贝位上倒箱量最少。研究证明倒箱次数并不仅仅决定于寻址模型的优

劣，也取决于贝位上集装箱堆码完毕后的取箱顺序^[21]。目前我国在取箱作业时主要采取水平顺序作业、垂直顺序作业和混合顺序作业三种方式。水平顺序是指按照贝位中层的顺序自进车道一侧向远车道一侧依次取箱；垂直顺序作业是按照贝位中列的顺序自上向下取箱；而混合顺序作业是同时按照列和层的顺序取箱^[13]。如图 3.2 所示，图上每一个方格代表一个集装箱，格中的数字代表集装箱的取箱顺序。

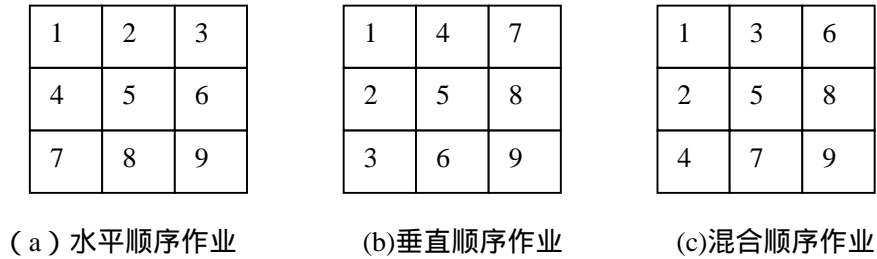


图 3.2 常用的三种取箱作业方式

研究证明这三种取箱作业方式能在一定程度上减少倒箱量，但都不能将其降到最低。本文给出基于最小生成树的集装箱堆场取箱作业启发式算法。

最小生成树问题，即要在一个联通赋权网络中，寻找最小权数的支撑树。给定一个网络 $G=(V, E, W)$ ，设 $T=(V, E')$ 为 G 的一个支撑树， $\omega(T)=\sum_{e \in E'} \omega(e)$ 表示 T 的权。 G 中最小的支撑树称为 G 的最小生成树： $\omega(T^*)=\min_T \{\omega(T)\}$ 。使用 Kruskal 算法求解最小生成树的基本思想是，每次都选择权值最小的边 e ，假如 T 中，如果此时构成了回路，则删去，直至达到 $n-1$ 条边，此时 T 中不含任何回路，而且是最小生成树^[22]。

具体到堆场某一贝位已堆存好的集装箱取箱问题，可以将取箱的每个阶段 $\text{Stage}(t)$ 当做图的节点，将 $\text{Stage}(t)$ 到 $\text{Stage}(t+1)$ 当做节点与节点相连的边。当前质量级别最大箱子的取箱代价当做边的权值，目标是取箱代价最小的最小生成树。可按照以下步骤求得：

Step1 根据三种不同重量级别的集装箱出现的概率特征，随机安排集装箱进场顺序，生成堆场贝位初始堆放状态。

Step2 检验压箱状态，返回贝位各个堆垛的压箱数 $\text{Shelve}(s)=\{n_1, n_2, \dots, n_s\}$ 。

Step3 计算当前重量级别最大的箱子的取箱代价 $\text{CostofCatch}(t, i, j)$ 。

Step4 如果有且多个符合重量级别最大的箱子取箱代价 $\text{CostofCatch}(t, i, j)=0$ ，优先取出堆垛高度值最大的箱子，当前堆垛高度减 1，当前箱位状态置 0，转 Step3；如果贝位中各堆垛最上层均没有重量级别最大的箱子，转 Step5。

Step5 判断重量级别最大箱子所在的位置，转 Step6，如果所有堆垛的箱位状态均为 0，转 Step8。

Step6 如果多个堆垛有重量级别大的箱子但取箱代价不为零，取箱代价最小的箱子所在的堆垛，优先进行倒箱操作，当前列高度减 1，当前箱位状态置 0，更新当前垛余下箱子的取箱代价，转到 $\text{Stage}(t+1)$ 阶段，转 Step7。

Step7 产生倒箱操作，确定倒箱后的箱子放在哪一个堆垛。

(1)如果相邻堆垛该箱放入后压箱数为零,则优先放入该堆垛,如果不存在满足条件的相邻堆垛列,转(2)。

(2)判断是否有空列,如果有,优先将倒箱放入空列;如果没有,转(3)。

(3)依次判断将倒箱放入其余堆垛的压箱情况,压箱数最少的列为优先放入列,箱子放入该列后,该列的高度增 1,该箱位的状态置该箱的重量等级;重新计算各个箱子的取箱代价,转 Step4。

Step8 当前 Bay 位的箱子全部取完,退出。

完整的启发式取箱算法见图 3.3。

为了验证上述堆场取箱模型的有效性,采用计算机模拟技术进行验证。为简便起见,本例集装箱堆场采用了 4 列 4 层的贝位容积。根据三种不同重量级别集装箱出现的概率特征,采用离散随机数发生器生成贝位初始状态(图 3.4)。考虑到倒箱要求,本例预留了两个箱位。

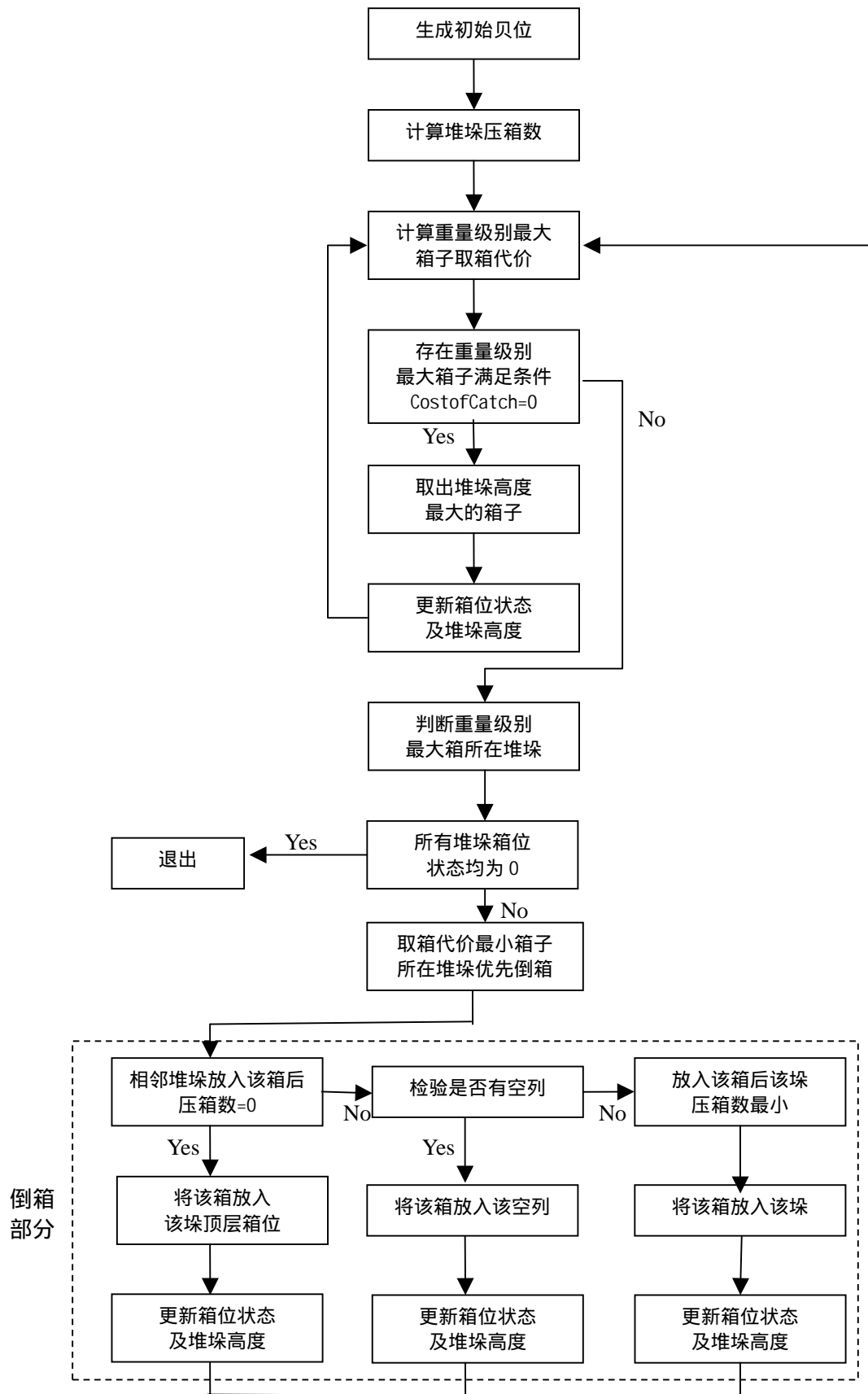


图 3.3 启发式取箱算法流程

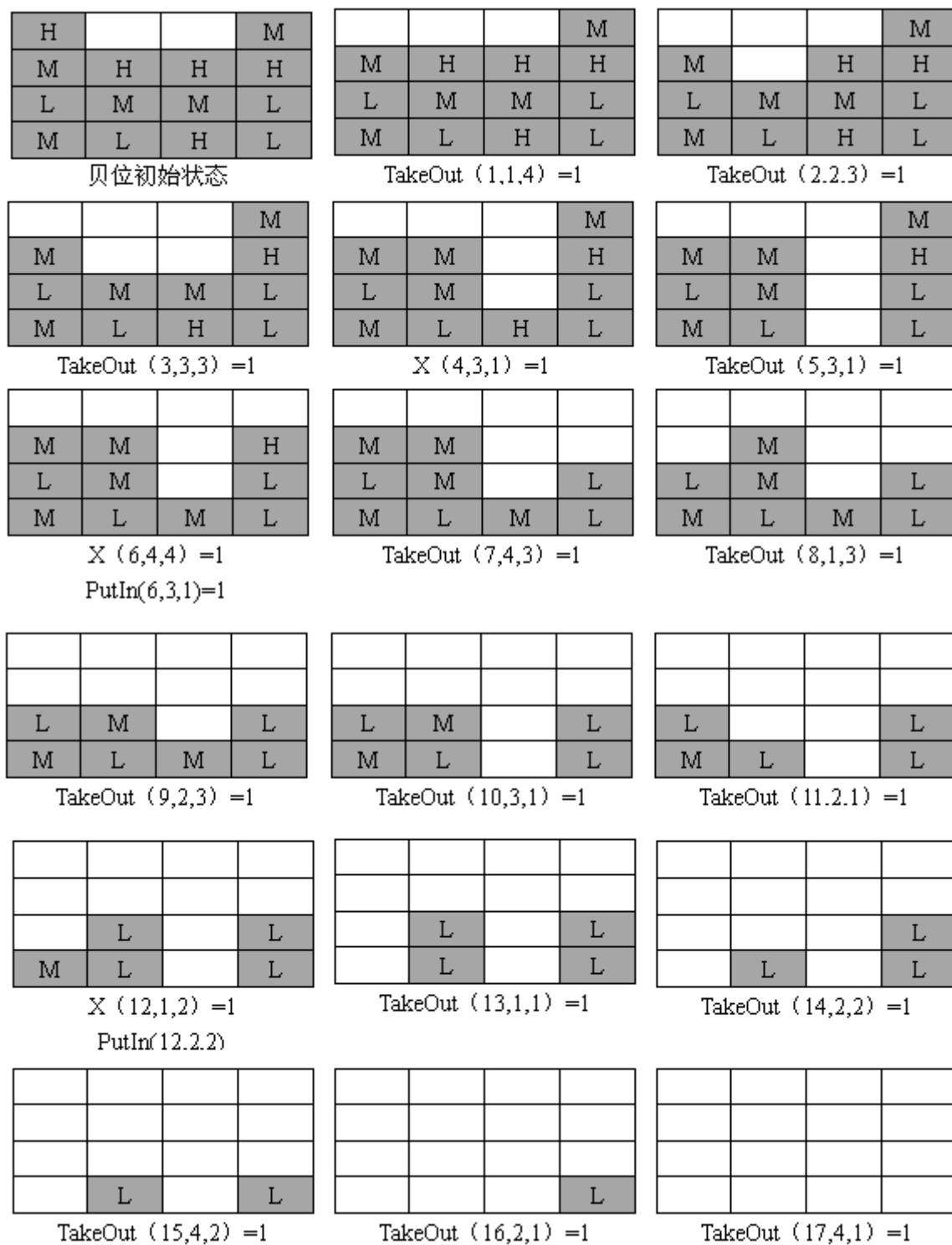


图 3.4 启发式取箱过程算例

由计算机模拟可知，倒箱总数 $\sum \sum \sum x(t, y, z) = 2$ ，可以验证该取箱作业启发式算法是优于水平顺序作业、垂直顺序作业以及混合顺序作业的，在一定程度上能够优化集装箱堆场取箱作业。

3.6 堆垛作业寻址模型

假设堆场限高 4 层，则当某一集装箱到达该贝位时，备选垛的堆码状况可能有 40 种。如图 3.5 所示。

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

M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
H	H	L	L	L	M	M	M	H	H	H	L	L	L	M	M	M	H	H	H
L	L	M	M	M	M	M	M	M	M	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

图 3.5 备选垛堆码状态

类似地，贝位的状态可以用一个向量来表示，该向量的每一维即为备选垛的 40 种堆码状况的某一种，以及满垛状态，用“×”表示。贝位容量为六列四层的某一码头集装箱堆场某一贝位的堆码状态可以用向量表示为：

$$B=(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)=(14, 15, 16, \times, 1, 14), \text{如图 3.6 所示,}$$

			L		
L	M	H	L		L
L	L	L	M		L
L	L	L	L		L
1	2	3	4	5	6

图 3.6 某贝位堆码状态

所以，为到达堆场的任意集装箱所做的寻址模型，可以用对该 40 种状况进行排序，然后从贝位中选择出最优先的垛。对于重量级别不同的集装箱，其最优垛是不同的，因而对于 L、M、H 三个不同重量级别的集装箱，对应有三个不同的决策 f_L 、 f_M 、 f_H 。某一贝位的寻址决策可以用这三者的集合 $\{f | f_L, f_M, f_H\}$ 来表示，其中 f_L 、 f_M 、 f_H 是三个 1 到 40 的全排列。

对于随机到达堆场的集装箱，若该箱重量级别 $\text{WeightClass}=\{L, M, H\}$ ，该箱到达前贝位已堆存状态为 B_i ($1 \leq i \leq 6$)，对应该箱重量级别的寻址决策为 $\{f | f_L, f_M, f_H \text{ 且 } f \text{ 为 } 1 \text{ 到 } 40 \text{ 的全排列}\}$ 其中之一，寻址决策中贝位堆码状态分量 B_j ($1 \leq j \leq 40$) 在该寻址决策分量中的序号为 N_j ($1 \leq j \leq 40$)，则该到达箱按照该箱位寻址决策进行堆码作业的最优垛 k 满足 $\min N_k$ ，即该垛状态在该重量级别寻址决策中序号最小。

例如，假设某中等重量集装箱寻址决策为 $f_M = (28, 24, 3, 34, 5, 38, 7, 8, 31, 10, 20, 12, 13, 40, 9, 17, 18, 14, 19, 11, 21, 22, 23, 2, 25, 26, 27, 1, 29, 30, 15, 32, 33, 4, 35, 36, 37, 6, 39, 16)$ ，则对于上文所举某一码头集装箱堆场某

一贝位已堆存的状态 $B(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6) = (14, 15, 16, \times, 1, 14)$ ，如图 3.5 所示。随机到达集装箱堆场一个中等重量的集装箱，因第 4 列堆码高度已经达到限高，因此，该集装箱堆码地址共有 5 个堆垛可以选择，分别是第 1 垛，第 2 垛，第 3 垛，第 5 垛，第 6 垛。要选择该集装箱堆码地址，则要比各备选垛状态在该中等重量集装箱寻址决策为 f_M 中哪个更为优先。

第 1 垛状态 $b_1=14$ ，在对应寻址决策 f_M 中的排序为第 18；第 2 垛状态 $b_1=15$ ，在对应寻址决策 f_M 中的排序为第 31；第 3 垛状态 $b_1=16$ ，在对应寻址决策 f_M 中的排序为第 40；第 5 垛状态 $b_1=1$ ，在对应寻址决策 f_M 中的排序为第 28；第 6 垛状态 $b_1=14$ ，在对应寻址决策 f_M 中的排序为第 18。第 1 垛状态和第 6 垛状态在寻址决策中的顺序最为靠前，因此，第 1 垛状态和第 6 垛即为在该堆存状态与对应重量级别寻址决策下的最优垛，因此，该集装箱应堆码的较优地址即为第 1 垛状态或者第 6 垛。在此说明一下，大量实验证明，如果已堆存的多个垛状态相同，且都为最优垛，则把该集装箱放入任何一个垛产生的效果是一样的，垛的序号不会对倒箱量产生影响。

第 4 章 改进 SA 算法的箱位寻址模型求解与优化

4.1 SA 算法简介

SA 算法是模拟退火算法 (simulated annealing algorithm) 的简称, 它来源于固体退火原理, 和液体流动和结晶以及金属冷却和退火方式类似。在固体加热时, 固体粒子的热运动不断增强, 随着温度的升高, 粒子与其平衡位置的偏离越来越大当温度升至熔解温度后, 固体的规则性被彻底破坏, 固体熔解为液体, 粒子排列从较有序的结晶态转变为无序的液态, 这个过程称为熔解。熔解过程的目的是消除系统中原先可能存在的非均匀状态, 使随后进行的冷却过程以某一平衡态为始点。熔解过程与系统的熵增过程相联系, 系统能量也随温度升高而增大。

冷却时, 液体粒子的热运动渐渐减弱, 随着温度的徐徐降低, 粒子运动渐趋有序。当温度降至结晶温度后, 粒子运动变为围绕晶体格点的微小振动, 液体凝固成固体的晶态, 这个过程称为退火。退火过程之所以必须“徐徐”进行, 是为了使系统在每一温度下都达到平衡态, 最终达到固体的基态。退火过程中系统的熵值不断减小, 系统能量也随温度降低趋于最小值。冷却时若急剧降低温度, 则将引起淬火效应, 即固体只能冷凝为非均匀的亚稳态, 系统能量也不会达到最小值。

1953 年, Metropolis 提出了重要采样法, 他们用下述方法产生状态序列:

先给定以粒子相对位, 作为固体的当前置表征的初始状态 i , 作为固体的当前状态, 该状态的能量是 E_i , 然后用摄动装置使随机选取的某个粒子的位移随机地产生一微小变化, 得到一个新状态 j , 新状态的能量是 E_j , 如果 $E_j < E_i$, 则该新状态就作为“重要”状态; $E_j > E_i$, 则考虑到热运动的影响, 该新状态 是否“重要”状态, 要依据固体处于该状态的几率来判断。固体处于状态 i 和 j 的几率的比值等于相应 Boltzmann 因子的比值, 即:

$$r = \exp\left(\frac{E_i - E_j}{kT}\right) \quad (4.1)$$

式 (4.1) 中, T 是绝对温度, k 是 Boltzmann 常数, r 是一个小于 1 的数。用随机数发生器产生一个 $[0, 1]$ 区间内的随机数 ξ , 若 $r > \xi$, 则 j 作为重要状态, 否则舍去。若新状态 j 是重要状态, 就以状态 j 取代状态 i 成为当前状态, 否则仍以 i 为当前状态。再重复以上新状态的产生过程。

对固体退火过程的研究给人们以新的启示。1982 年, Kirkpatrick 等首先意识到固体退过程与组合优化问题之间存在类似性, Metropolis 等对固体在恒定温度下达到热平衡过程的模拟也给他们以启迪: 应该把准则引入到优化过程中来。最终他们得到一种对算法进行迭代的组合优化算法, 这种算法模拟固体退火过程, 称之为“模拟退火算法”。

1983 年, Kirkpatrick 提出了 SA 算法。该算法的原理及步骤如下:

Step1 给定初始温度 T 下的系统, 初始状态为 i_0 , 系统对应的初始能量为 E_{i_0} , 然后使状态 i_0 随机地产生一个微小变量 Δ_i , 得到一个新的状态 j , 对应的新能量为 E_j 。为便于后

续的计算和接受，减少算法耗时，通常选择由当前新解经过简单地变换即可产生新解的方法，如对构成新解的全部或部分元素进行置换、互换等，注意到产生新解的变换方法决定了当前新解的邻域结构，因而对冷却进度表的选取有一定的影响。

Step2 计算与新解所对应的目标函数差。因为目标函数差仅由变换部分产生，所以目标函数差的计算最好按增量计算。

Step3 判断新解是否被接受，判断的依据是一个接受准则，最常用的接受准则是 Metropolis 准则：如果 $E_j < E_{i_0}$ ，则接受 j 为当前条件下的新解；如果 $E_j \geq E_{i_0}$ ，则以概率 $\exp(\frac{E_i - E_j}{kT})$ 接受 j 为新的当前解。该准则能以一定的概率接受能量上升（即恶化解）的新状态，而能量优化则是总目的。Metropolis 准则可表示如下：

设 $L(S, f)$ 为优化中的一个实例， S 表示解空间， $f: S \rightarrow R$ 表示解空间到实数的映射， t 为 SA 算法过程汇总温度的控制参数，假设 $L(S, f)$ 存在邻域及相应解的产生机制， $f(i)$ ， $f(j)$ 分别为对应于解 i ， j 的目标函数值。由解 i 过渡到 j 的接受概率为：

$$P(t_k) = P(i \rightarrow j) = \begin{cases} 1, & f(i) \leq f(j) \\ \exp(\frac{f(i) - f(j)}{t_k}), & f(i) > f(j) \end{cases} \quad (4.2)$$

Step4 当新解被确定接受时，用新解代替当前解，这只需将当前解中对应于产生新解时的变换部分予以实现，同时修正目标函数值即可。此时，当前解实现了一次迭代。可在此基础上开始下一轮试验。而当新解被判定为舍弃时，则在原当前解的基础上继续下一轮试验^[23]。

简要流程图如图 4.1 所示。

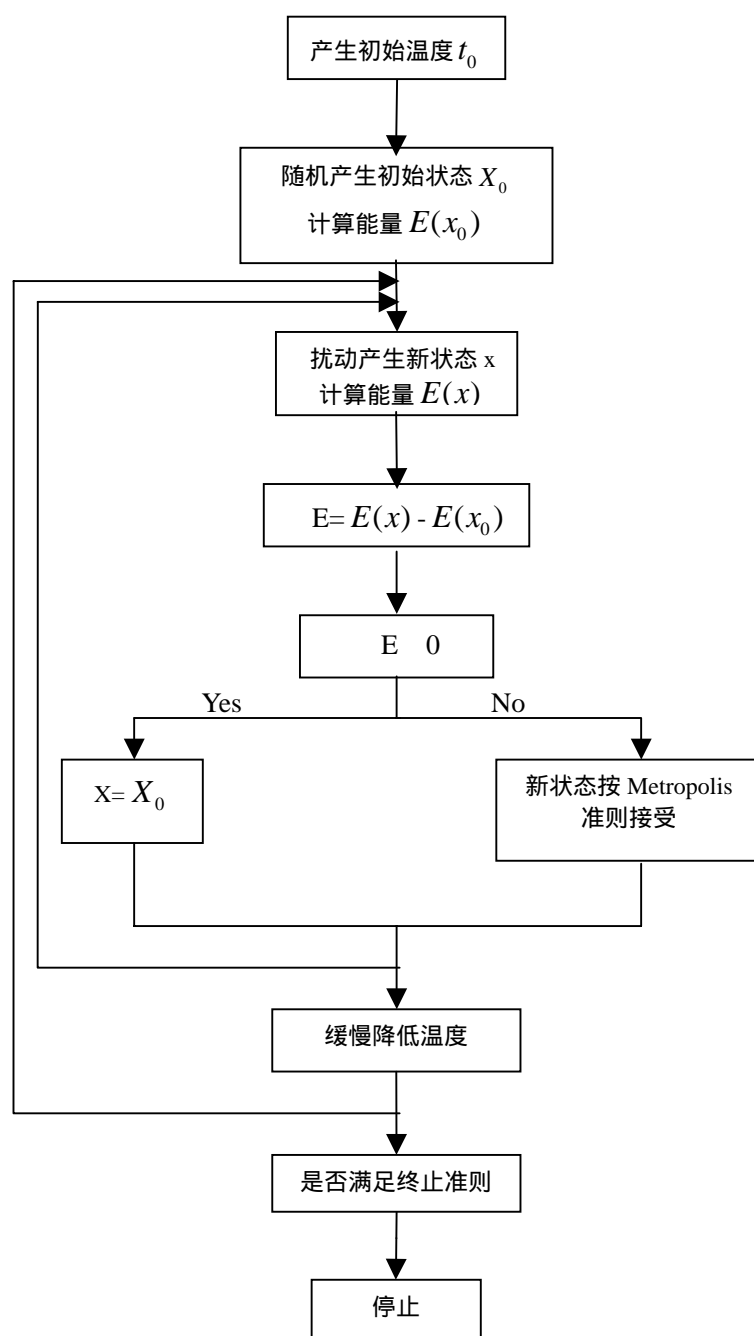


图 4.1 SA 算法简要流程

SA 算法具有很大的优点：与初始值无关，算法求得的解与初始解状态(算法迭代的起点)无关；具有渐近收敛性，已在理论上被证明是一种以概率 1 收敛于全局最优解的全局优化算法；具有并行性。SA 算法在局部极小解处有机会跳出并最终趋于全局最优的根本原因是算法通过概率判断来接受新状态，这在理论上了已得到严格证明，即当初温充分高，降温足够慢，每一温度下抽样足够长，最终温度趋于零时，算法最终以概率 1 收敛到时全局最优解。但同时由于控制参数，搜索机制的不尽相同，SA 算法也存在着以下缺点^[24]：

- a. 初始温度值的选取和温度的下降幅度较难控制。如果初始温度值选得太大，温度的

下降幅度太小，虽然最终能够得到较好的解，但搜索时间过长；反之，则很可能得不到全局最优解。

b. 当变量很多，目标函数较复杂时，为了得到一个较好的近似解，参数的控制将变得更加困难。如本文中码头集装箱寻址模型的问题，当贝位状态的个数增加时，解的效果将随变量的增加而减少。

c. SA 算法是一种求解组合优化问题的随机性方法，在搜索的过程中有一个判断概率接受与否的环节，SA 算法在该环节有可能把当前遇到的最优解忽略掉，这样既浪费了搜索时间，又影响了解的效果。

4.2 SA 算法的改进

为了提高搜索准确度及搜索效率，需仔细处理控制参数的协调和搜索机制的改进。

(1) 适当的初始温度。初始温度过高会使算法的运行花费大量的时间，而过低则会拒绝接受劣解，最终有可能导致最优解的遗失。控制参数初始值 t_0 的选取应满足“让初始接受率近似等于 1”的条件，本文提出了一个初始温度的方法：随机产生一组状态，确定两两状态间的最大目标值差 $|\Delta \max|$ ，然后依据差值，利用一定的函数确定初温。比如， $t_0 = -\Delta \max / P(t_0)$ 。式中 $P(t_0)$ 为初始的接受概率。

(2) 温度降低策略。温度降低越快，算法越容易陷入局部解，造成全局最优解的遗失，而温度降低过慢则会加大算法的运行时间，效率偏低。本文采取了一种非线性降低法：

$$t_k = \frac{t_0}{1+k} \quad (k=1,2,3,\dots) \quad (4.3)$$

(3) 适当的终止标准。内循环的终止标准为循环 Markov 链长次数结束，外循环的终止标准为 s 个相继的 Markov 链中解无任何变化就终止算法。

(4) 增加记忆功能。给算法增加一个记忆装置，可以设置为变量 i^* 和 f^* ，其中 i^* 用于记忆当前遇到的最优解， f^* 为其目标函数值。至于记忆的实现，开始令 i^* 和 f^* 分别等于初始解 i_0 及其目标函数值 f_0 。以后每接受一个新解 i 时，就将当前解的目标函数值 f 与 f^* 比较，若 f 优于 f^* ，则将 i 和 f 分别存入 i^* 和 f^* ；最后算法结束时，再从最后的当前解 i 和 i^* 中选取较优者为最优解。增加记忆功能可以解决当前最优解被忽略的情况。

改进后的 SA 算法优化了参数的选取，附带记忆功能，解决最优解被忽略的情况，一定程度上加大了搜索到最优解的概率。

改进后 SA 算法流程见图 4.2。

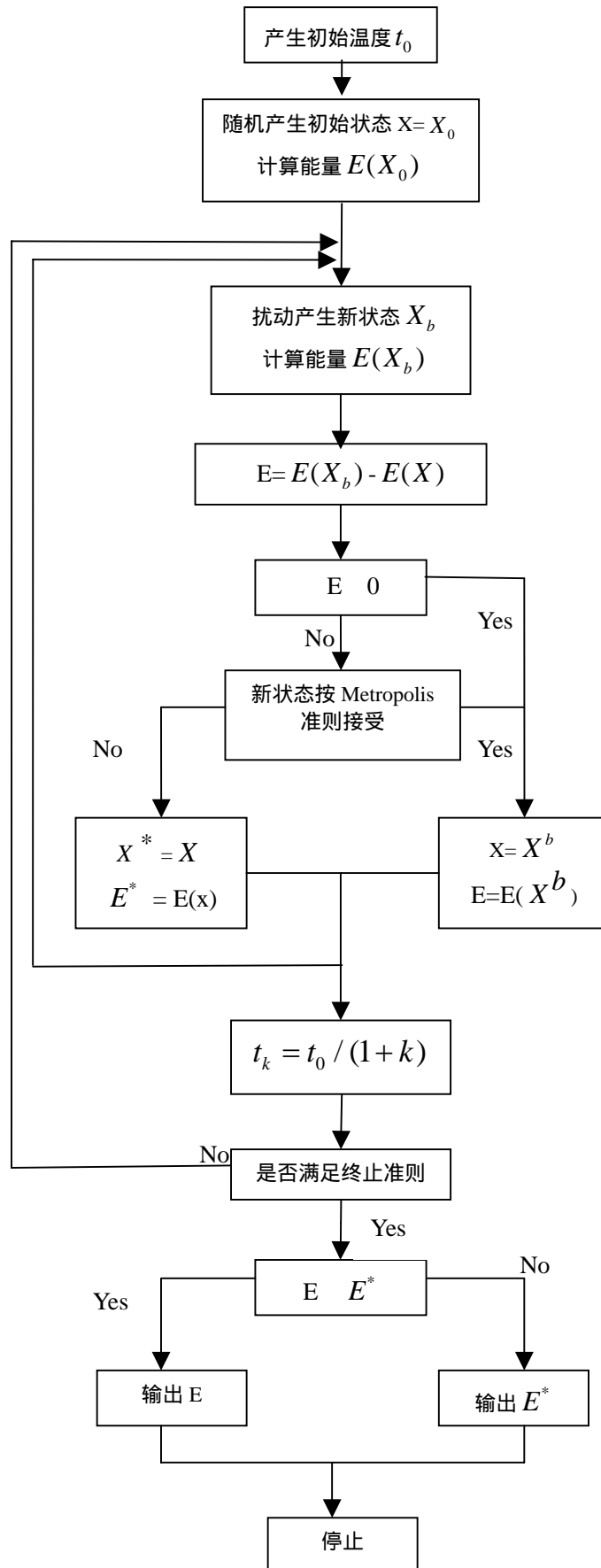


图 4.2 改进后 SA 算法流程

4.3 寻址模型求解与优化

限高 k 层的码头集装箱堆场，若集装箱重量分成三个级别，则备选垛的状态数量为： $\sum_{k=1}^{k-1} 3^k$ 。对于限高四层的码头集装箱堆场，备选垛的状态数量为 40 种，在此情况下，码头集装箱堆场贝位寻址模型 $\{f \mid f_L, f_M, f_N\}$ 为三个 1 到 40 的全排列。采用改进后的 SA 算法来进行寻址模型的求解，即堆码决策的最优解。

(1) 解空间、目标函数、初始解

对于限高四层的码头集装箱堆场，寻址模型的求解空间可以表示为 $\{f \mid f_L, f_M, f_N\}$ ，其中， f_L, f_M, f_N 为三个 1 到 40 的全排列。目标函数为某寻址模型下集装箱平均倒箱量最少，即 $\min \sum_{t \in stage} \sum_{y \in stack} \sum_{z \in stack} x(t, y, z)$ ，初始解为解空间中随机生成的一组排列。

(2) 新解的产生和接受

对于已有的一个解 $\{f \mid f_L, f_M, f_H\}_k$ ，该解为一个 1 到 40 的排列，随机交换排列当中的第 i 个数和第 j 个数，产生一个新解 $\{f \mid f_L, f_M, f_H\}_{k+1}$ ，每产生一个新解，都通过仿真实验计算原有解和新解条件下的平均倒率，然后得出二者平均倒箱率差值 Δx ，并按照 Metropolis 准则判断新解是否接受。若新解接受，则替代原有解参加下一次迭代；若新解舍弃，则原有解继续参加下一次迭代。

每次仿真实验按照三个重量级别的集装箱出现的概率，利用离散随机数发生器模拟 100 个不同级别集装箱到达堆场的先后顺序，采取计算机模拟技术对每个新解条件下对应的集装箱平均倒箱量进行 100 次仿真实验计算。

(3) 参数及搜索机制

初始温度 t_0 按照“让初始接受概率近似等于 1”的条件进行设置，温度降低函数取 $t_k = \frac{t_0}{1+k}$ ， $k=1, 2, 3, \dots$ 。内循环的终止标准为循环 Markov 链长次数结束，外循环的终止标准为迭代若干连续的 Markov 链后解的变化小于某个小数值。搜索过程当中记住当前最优解。搜索结束后，比较当前最优解与记忆最优解，择优输出。

基于 SA 改进算法的集装箱堆场箱位寻址模型的求解流程见图 4.3。

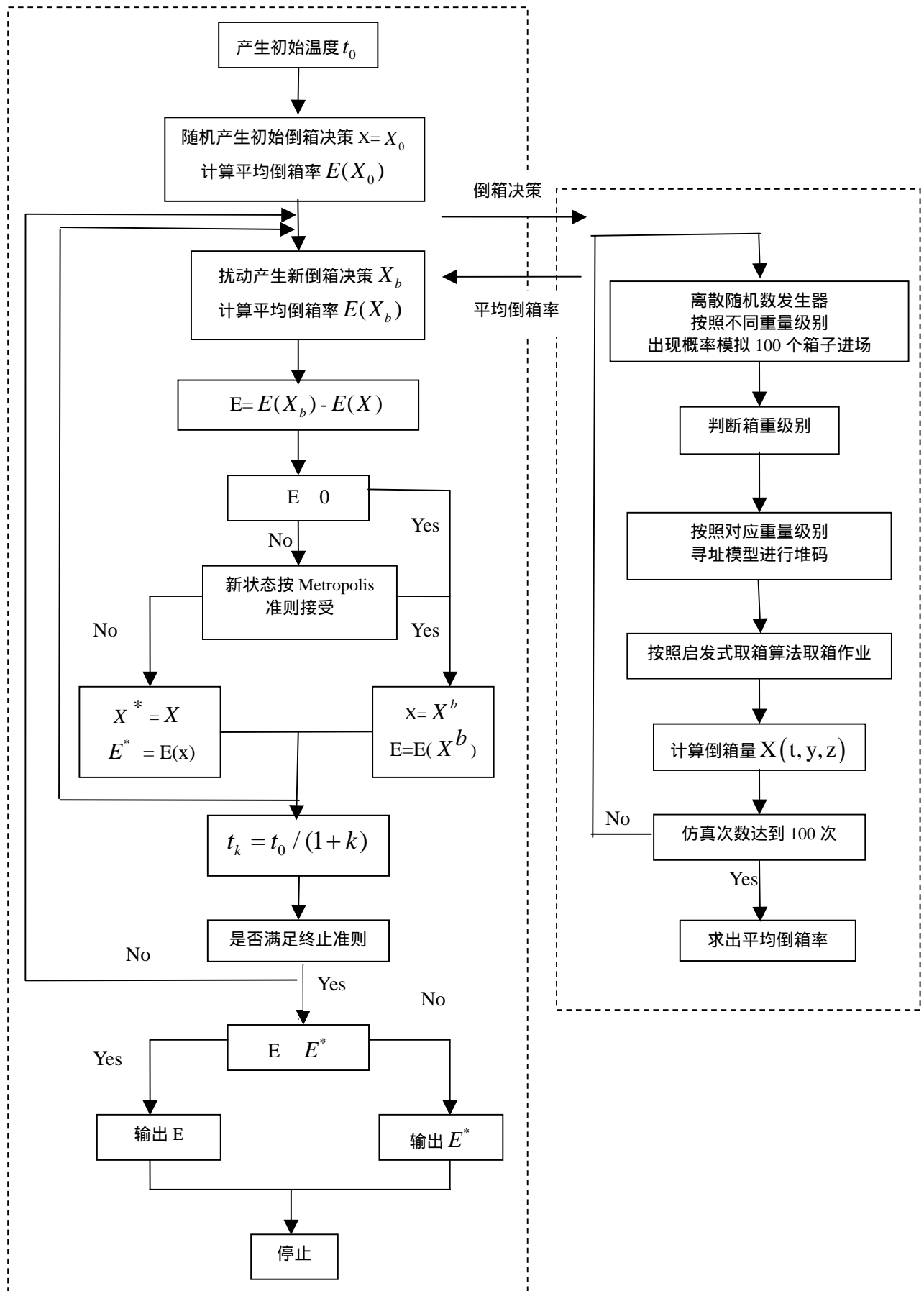


图 4.3 基于 SA 改进算法的模型求解流程

通过改进后的 SA 算法，搜索到码头集装箱堆场较优寻址决策为：

(1) 轻箱倒箱决策

$f_L = (20, 1, 25, 2, 5, 8, 14, 6, 3, 9, 40, 7, 19, 16, 15, 4, 38, 33, 29, 23, 32, 28, 12, 31, 34, 11, 37, 39, 17, 21, 10, 27, 22, 16, 30, 35, 18, 36, 24, 13)$

(2) 中等质量箱倒箱决策

$f_L = (37, 3, 17, 23, 12, 25, 32, 39, 1, 36, 30, 26, 9, 6, 2, 8, 5, 14, 15, 33, 18, 16, 19, 24, 34, 21, 27, 40, 35, 22, 4, 7, 28, 13, 31, 11, 38, 20, 10, 19)$

(3) 重箱倒箱决策

$f_H = (29, 28, 13, 33, 32, 22, 37, 40, 4, 20, 7, 34, 35, 38, 10, 31, 25, 27, 19, 24, 39, 12, 26, 16, 9, 18, 8, 36, 30, 15, 17, 3, 6, 5, 23, 14, 1, 2, 21, 11)$

码头集装箱堆场最优寻址决策确定以后，即可优化堆场出口箱堆码作业。每一个到达堆场的集装箱都可按照下述步骤得到较优箱位地址。

Step 1 根据集装箱信息，判断该集装箱货物属性：冷藏箱放入冷藏箱区；干货箱放入干货箱区；液体罐式集装箱放入危险液货箱区。不同堆场箱区的划分随可堆场管理部门的需要更改。

Step 2 按照船舶到港计划获取目的港信息，自动分配堆场区域，默认分配 1 个贝位的存储区域，存储额满后自动申请 1 个新贝位。

Step 3 根据到达集装箱的重量 W_i ，判定其所隶属的集装箱重量级别 L，M 或 H。

Step 4 获取当前码头集装箱堆场堆码状态的向量表示 B，该向量对于限高四层的堆场，含有 6 个分量。

Step 5 根据该集装箱重量级别，选择与该重量级别对应的码头集装箱寻址决策。

Step 6 堆场堆码状态 B 的 6 个分量 i_k ($1 \leq k \leq 6$) 在与对应的码头集装箱寻址模型中，最为靠前的一个分量对应的垛 k，即为该集装箱应放置的较优垛。

Step 7 如果该箱是该贝位中堆码的最后一个箱子，则算法结束，否则返回 Step 1。

集装箱箱位寻址算法流程如图 4.4 所示。

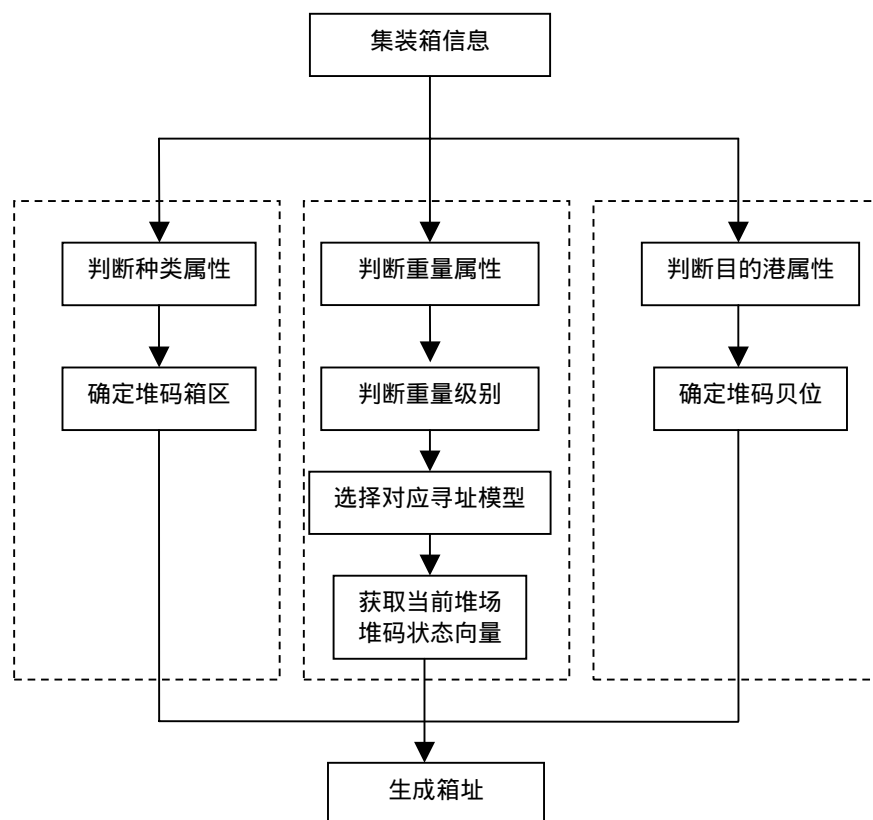


图 4.4 箱位寻址算法流程

4.4 同一贝内箱位寻址算例及结果评价

合理的堆码集装箱顺序能够满足倒箱率相对较低, 为验证码头集装箱堆场较优寻址决策的有效性, 设计模拟实验^[25]:

未简化问题, 该模拟实验中集装箱堆存在同一贝内, 考察应用较优箱位寻址决策后倒箱量的大小, 并与堆场传统堆码决策后倒箱量大小做出比较。

模拟试验中利用离散随机数发生器模拟随机到达堆场的集装箱的重量。首先由计算机产生在 0 到 1 之间的随机数, 然后和表 2.2 箱重统计的百分比之和进行对比, 该随机数落到的百分比区间即为该集装箱的重量级别, 然后再随机产生一个 0 到 1 之间的随机数, 确定该集装箱质量。

例如, 某一个集装箱到达堆场, 计算机随机产生的数字是 0.456, 落入 M 型百分比和区间, 则该集装箱重量级别为 M 型, 重量范围在 10t ~ 20t, 然后再随机产生一个随机数 0.65, 则该集装箱重量为 $10 + (20 - 10) \times 0.6 = 16\text{t}$ 。

假设进入堆场的集装箱数量为 20, 目的港相同, 贝位容量为 6 列 4 层。20 个集装箱先后到达堆场, 全部堆存在同一贝位内。20 个进场集装箱重量信息见表 4.1。

表 4.1 20 个进场集装箱重量信息

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
重量/t	12	15	25	30	15	15	22	5	18	5
重量级别	M	M	H	H	M	M	H	L	H	L
序号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
重量/t	15	8	11	21	25	7	9	6	16	15
重量级别	M	L	M	H	H	H	L	L	L	M

按照本文提出的集装箱寻址决策分配贝内箱位，堆码后的贝位状态如图 4.5 所示。方格代表集装箱，方格内数字代表集装箱进场顺序，字母代表该集装箱重量级别。

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

图 4.5 堆码后贝位状态图

假设同等重量级别的箱子不需倒箱，则按照提出的启发式取箱算法，该堆码后的集装箱取箱完毕后，倒箱数量总和 $\sum_{t \in \text{stage}} \sum_{y \in \text{stack}} \sum_{z \in \text{stack}} x(t, y, z) = 1$ ，符合目标函数的要求。

按照上述模拟实验步骤，加大贝位容量和进场集装箱总量。实验贝位容量分别有 6 列 4 层，8 列 4 层，10 列 4 层，12 列 4 层四种，对应的进场集装箱数量分别为 20，30，36 和 44。分别按照通常堆码方法以及本文提出的堆码算法进行堆码作业，堆码完毕后按照启发式取箱算法进行取箱作业。每一种贝位实验 100 次后计算出两种堆码算法的平均倒箱率。不同堆码决策后的倒箱率比较见图 4.6。

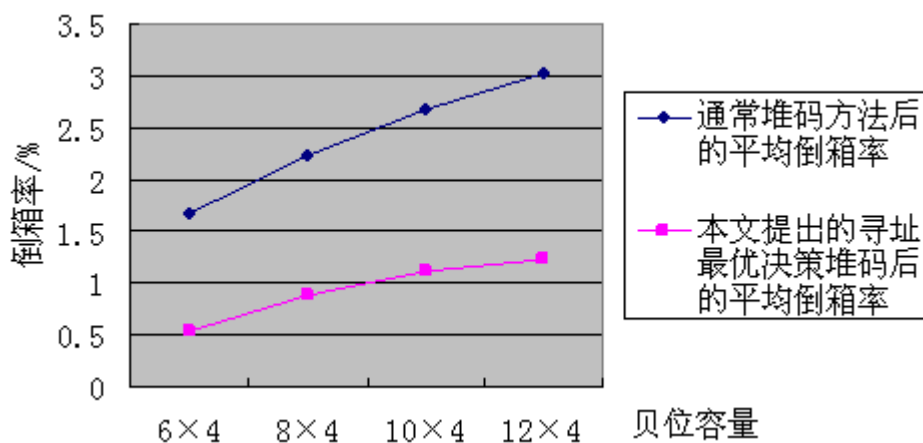


图 4.6 不同堆码决策后的倒箱率比较

从模拟结果可知，本文提出的堆码算法较传统堆码方法能够获得更小的倒箱率，且当堆场贝位容量增大时，优势更加明显。

第 5 章 箱位寻址模型在堆场信息系统中的应用

5.1 系统总体设计

根据对厦门港码头堆场的管理需要多次调研，结合 RFID 的阅读器开发技术，通过在集装箱上安装 RFID 电子标签，在堆场内的合适位置放置 RFID 阅读器来收集信息的实现方式，集装箱堆场的信息系统架构如图 5.1 所示：

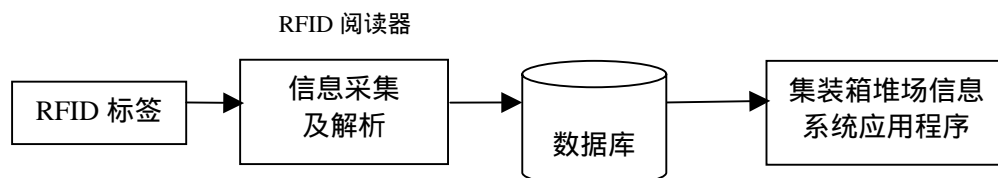


图 5.1 集装箱堆场信息系统架构图

逻辑上将集装箱堆场信息系统分为两部分：前端的系统进行数据读取和储存，后端的集装箱堆场信息系统应用程序负责调度管理集装箱^[26]。阅读器收集到的 RFID 数据并存储到数据库中。后端的系统应用程序则根据 RFID 数据，并结合堆场箱位的实际情况，实现对堆场中进、出集装箱以及场内堆码的集装箱调配的有效管理。在应用程序中，系统自动根据集装箱信息，并结合堆场内箱位的实际情况，利用集装箱堆场箱位寻址决策生成出较优的堆码箱区、贝位和层数。

通过对厦门港集装箱堆场的详细调研，确定堆场信息系统详细的功能需求如下：

（1）系统登录。为保证系统安全起见，在进入具体操作界面之前，根据用户是否输入合法的用户名和密码，判断是否允许该用户进入系统。

（2）闸口管理。通过安装在闸口处的 RFID 阅读器获取集装箱信息和车辆信息，实现对出入堆场大门的集装箱及卡车登记管理。RFID 阅读器获取的信息存入系统数据库，供系统其它模块调用。

（3）集装箱箱位寻址。检测数据库中 RFID 阅读器阅读到的集装箱种类、目的港及重量等信息，根据本文提出的集装箱寻址决策及当前堆场集装箱堆码状况，生成较优箱区、贝位和层数，实现对进场集装箱的自动堆码。

（4）集装箱查询。进入集装箱查询界面可以通过集装箱号查询某在场及在途的集装箱位置、货物等信息以及集装箱的出入场记录信息，也可以查询某一位置现在放置的集装箱情况。

集装箱堆场信息系统结构图如图 5.2 所示

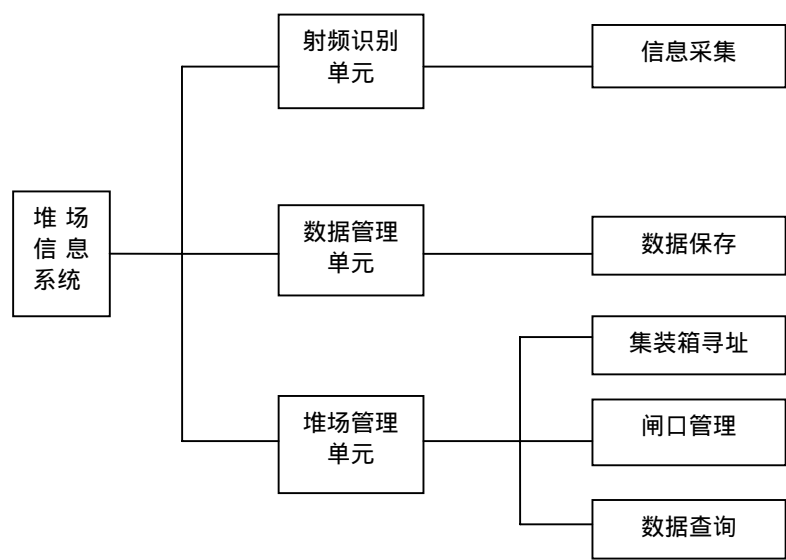


图 5.2 系统功能结构图

系统开发工具为 Visual Studio 2008，数据库管理工具为 SQL Server 2000。

5.2 集装箱信息采集模块的设计

5.2.1RFID 技术

(1) RFID 系统的概念

RFID 是无线射频识别技术 (Radio Frequency Identification) 的缩写，是在 20 世纪开始兴起的一种自动识别技术，它利用射频信号通过空间耦合 (交变磁场或电磁场) 实现无接触信息传递并通过所传递的信息达到识别的目的^[27]。

RFID 系统因为应用对象及范围各异而有所差别，但基本上由电子标签 (Tag)、阅读器 (Reader) 和数据交换与管理系统 (Processor) 三大部分构成。电子标签 (或称射频卡、应答器等)，由耦合元件及芯片组成，其中饱含带加密逻辑、串行 EEPROM (电可擦除及可编程只读存储器)、微处理器 CPU 以及射频收发及相关电路^[28]。

电子标签是射频识别系统真正的数据载体，通过无线电波与读写设备进行数据交换，具有智能读写和加密通信的功能。一般情况下，它由标签天线和标签专用芯片组成。每个标签具有唯一的电子编码，附着在物体目标对象上。依据电子标签供电方式的不同，电子标签可分为有源电子标签 (Active tag) 和无源电子标签 (Passive tag)。前者装有电池，后者没有内装电池。

阅读器，也被称为查询器、读写器或读出装置，主要由无线收发模块、天线、控制模块及接口电路等组成。阅读器可将主机的读写命令传送到电子标签，再把从主机发往电子标签的数据加密，将电子标签返回的数据解密后送回主机。阅读器可以是单独的整体，也可以作为部件的形式嵌入到其他系统中去。

数据交换与管理系统主要完成数据信息的存储及管理、对卡进行读写控制等。数据交换与管理系统可以是现有的各种大小不一的数据库或供应链系统，用户也可以购买面向特

定行业的高度专业化的库存数据库，也可把 RFID 系统当成控制企业 ERP 的一部分。写入数据一般来说是通过离线方式（off-line）完成，即预先在标签中写入数据，等到开始应用时直接把标签黏附在被标识的项目上。也有一些 RFID 应用系统，写数据是在线（on-line）完成的，尤其是在生产环境中作为交互式便携数据文件来处理时。

RFID 系统组成如图 5.3。

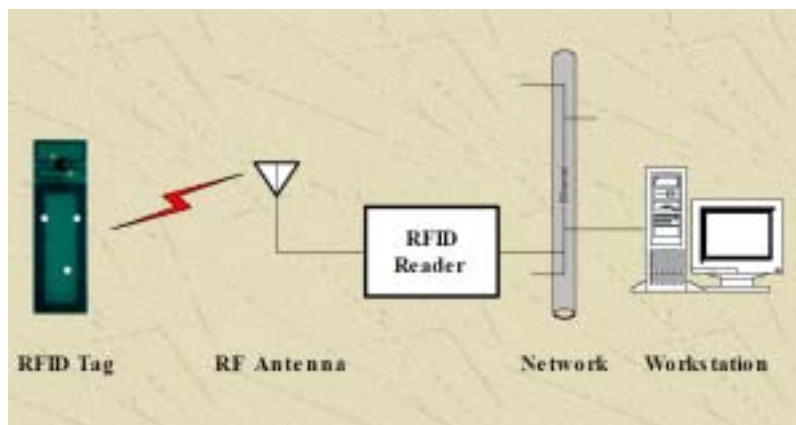


图 5.3 RFID 系统组成图

（2）RFID 系统的工作原理如下：

标签进入磁场后，如果接收到阅读器发射的特殊射频信号，就能凭借感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的产品信息，或者主动发送某一频率的信号，阅读器可无接触地读取并识别电子标签发送过来的电子数据，从而达到自动识别的目的。

具体看来，阅读器把需要发送的信息变厚后加载在某一频率的载波信号上，然后利用天线向外发送。如果进入到阅读器工作区域的电子标签接受到这个脉冲信号，卡片芯片中的有关电路对此信号进行调制、解码、解密，然后对命令请求、密码、权限等进行判断。若为读命令，控制逻辑电路则从存储器中读取有关信息，经加密、编码、调制后通过卡内天线再发送给阅读器，阅读器对接收到的信号进行解调、解码、解密后送至中央信息系统进行有关数据处理；若为修改信息的写命令，有关控制逻辑引起的内部电荷泵提升工作电压，提供擦写 EEPROM 中的内容进行改写，若经判断其对应的密码和权限不符，则返回出错信息。见图 5.4

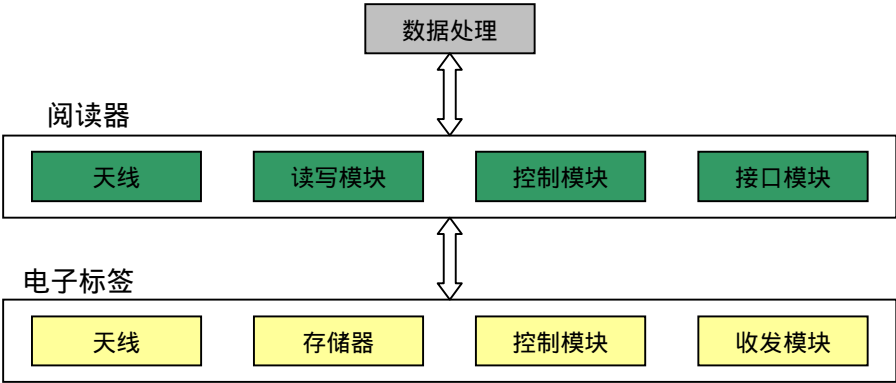


图 5.4 RFID 系统工作原理图

(3) 技术标准

当前 RFID 有三个主要的技术标准体系，它们分别是美国麻省理工学院（MIT）的 Auto-ID Center（自动识别中心）、日本的 Ubiquitous Center（泛在 ID 中心，UIC）和 ISO 标准体系^[29]。无线电管理工作具有特殊性，因此主要介绍其主要频段标准及特性，如表 5.1 所示。

表 5.1 RFID 系统主要频段标准及特性

	低频	高频	特高频	超高频
工作频率	125KHz~134 KHz	13.56M Hz	860 M Hz~960 M Hz	2.45GHz~5.8 GHz
读取距离	很小	10cm~1.2m	8m	15m
速度	低	较低	快	很快
特点	磁场区域能够很好地定义，但强度下降太快	可产生相对均匀的读写区域，同时读取多个标签	有好的读取距离，在很短的时间可读取大量的标签。	读取速度很快，读取距离远。
环境潮湿	无影响	无影响	影响较大	影响较大
方向性	无	无	部分	有
全球适用	是	是	欧盟、美国、日本等	是
现有 ISO 标准	ISO 11784、11785、14223	ISO/IEC18000-3、14443、15693、13.56MHz ISM Band Class 1	ISO/IEC 18000-6、EPC Global 1、Ubiquitous ID	ISO/IEC 18000-4

2007 年我国发布了《关于 800/900MHz 频段射频识别（RFID）技术应用试行规定的通知》，完成了对低频（LF）、高频（HF）、特高频（UHF）、超高频（SHF）频段的 RFID 技术的频率规划。建立和完善我国在相应频段的空中接口、通信协议和编码结构，建立中国的电子标签标准体系，掌握国家在电子标签领域发展的主动权也已在规划当中。

(4) RFID 在堆场管理中的应用优势

射频识别(RFID)技术是一种非接触式自动识别技术，能够实现对大量设备进行快速准确地识别、传输和处理，大大加快管理的效率。RFID 技术应用在码头集装箱堆场管理中，负责集装箱信息的采集，具有巨大的优势^[30]：

- a) 提高集装箱信息的采集、识别和录入的速度，缩短集装箱卡车在堆场门口的等待时间，提高集装箱的运输速率。
- b) 改变手工抄录箱号的工作方式，实现箱号的自动录入，通过 RFID 阅读器采集集装

箱信息，实时传递，降低人工劳动强度。

c) 利用电子标签作为载体，将物品编码技术、信息加密技术、数字签名技术相结合，为集装箱生成一个唯一的“数字指纹”码，通过读写器即可方便的识读相关的物流信息、安全状态信息、流转信息等，对集装箱的安全管理和物流状态实行有效监控，可便于货主时刻查询集装箱的运输状态。

d) 具有很强的环境适应性，抗干扰能力强，几乎不受污染与潮湿的影响；信息容量大、保密性高、耐久性强。

5.2.2 集装箱信息 RFID 采集模块设计

按照实际堆场管理需要，RFID 需采集的集装箱及货物信息主要包括以下几个：集装箱的固定信息，包括该集装箱的种类，主要包括冷藏箱，罐式液货箱和干货箱；集装箱号信息，由 11 位字母和数字组成，是集装箱唯一识别码；该集装箱所属公司以及生产日期等。动态信息主要包括该次运输过程中的特定信息，如该集装箱出发港、目的港以及集装箱重量等信息。在物流系统中，集装箱发箱之前，集装箱信息已通过手持式读写器写入高频、有源的电子 RFID 标签内。在集装箱信息 RFID 采集模块设计中，通过表面附着有 RFID 电子标签的箱子模拟进入堆场的真实集装箱，见图 5.5。



图 5.5 集装箱模型

针对集装箱信息固定和动态信息的采集，是通过 RFID 系统中的三个基本组成部分，及电子标签、天线和阅读器取得的，天线一般内置在 RFID 阅读器中。在该采集模块设计中，所采用的堆场门口 RFID 阅读器见图 5.6。

本文提出的堆场信息系统使用的阅读器符合 ISO 18000-6B 和 ISO 18000-6C 国际标准，工作在超高频频段，中心频段在 915 MHz，范围为 902 MHz ~ 928 MHz，阅读器软件主要通过 LPC2364 单片机完成将采集到的集装箱信息通过串口和以太网网络上传到系统数据库。

在码头集装箱堆场出入大门处安装有多个 RFID 阅读器，RFID 阅读器读取过往的集装

箱承载的 RFID 信息。当集装箱进入堆场闸口处时，电子标签通过天线触发固定在该位置的阅读器，读取该集装箱电子标签内的信息，并通过串口或无线传感器传输到服务器数据库中。



图 5.6 RFID 阅读器



图 5.7 数据中心服务器

数据中心服务器是整个堆场信息系统的核心部分，包含集装箱信息数据库等，主要负责数据存储和维护。本系统所采用的数据中心服务器见图 5.7 所示。

5.3 数据库分析与设计

5.3.1 创建数据库

在 SQL Server 服务器中创建数据库 CYIS (Container Yard Information System)，选择“Windows 集成安全性”访问方式。

5.3.2 创建表与字段

根据集装箱堆场信息系统需求分析和系统建模，新建立的 CYIS 数据库管理系统需要创建维护以下数据表，分别是：用户表 (tb_user)、集装箱信息表 (tb_container)、货物信息表 (tb_shippers)、堆场箱区表 (tb_subarea)、闸口表 (tb_gate)，分别如表 5.2-表 5.6 所示。

表 5.2 用户表 (tb_User)

SQ	字段名	类型	长度	默认值	主键	Null	备注
1	u_id	uniqueidentifier	4	newid()			主键
2	u_nm	nvarchar	50				用户名
3	u_pwd	nvarchar	50				密码
4	u_grp	uniqueidentifier	4				所属分组
5	u_desc	nvarchar	400				用户备注
6	u_ctime	datetime		getdate()			创建时间

表 5.3 集装箱信息表 (tb_container)

SQ	字段名	类型	长度	默认值	主键	Null	备注
1	c_no	nvarchar	11				箱号(唯一)
2	c_rfid	nvarchar	100				RFID
3	c_size	nvarchar	100				尺寸
4	c_ord	Int		递增			排序
5	c_sa_id	uniqueidentifier					箱区
6	c_rows	Int		0			贝
7	c_columns	Int		0			列
8	c_layer	Int		0			层
9	c_stack_time	datetime		getdate()			堆码时间
10	c_AtcRfid	nvarchar	100				有源的 RFID

表 5.4 货物信息表 (tb_shippingers)

	字段名	类型	长度	默认值	主键	Null	备注
1	sp_id	uniqueidentifier		newid()			货物 ID(递增)
2	sp_user_nm	nvarchar	100				货主
3	sp_nm	nvarchar	100				货名
4	sp_gross_weight	nvarchar	100				毛重
5	sp_suttle	nvarchar	100				净重
6	sp_jinchu	nvarchar	100				进口/出口
7	sp_tidanhao	nvarchar	100				提单号
8	sp_weituohao	nvarchar	100				委托号

表 5.5 堆场箱区 (tb_subarea)

	字段名	类型	长度	默认值	主键	Null	备注
1	sa_id	uniqueidentifier		newid()			ID
2	sa_nm	nvarchar	100				区名
3	sa_rows	nvarchar	100				贝位
4	sa_columns	nvarchar	100				层数
5	sa_x	nvarchar	50				X 坐标
6	sa_y	nvarchar	50				Y 坐标
7	sa_ord	Int		递增			排序
8	sa_rfid	Nvarchar	50				区域 RFID

表 5.6 闸口 (tb_gate)

	字段名	类型	长度	默认值	主键	Null	备注
1	g_id	uniqueidentifier		newid()			ID
2	g_location	nvarchar	100				地点
3	g_type	nvarchar	100				类型
4	g_rfid	nvarchar	100				RFID
5	g_x	nvarchar	50				X 坐标
6	g_y	nvarchar	50				Y 坐标

5.3.3 数据库的连接

系统中数据库的连接方式采用代码方式，使用 Connection 对象和 Open 方法，代码结构如下：

```
SqlConnection Conn=new SqlConnection(“Data Source=localhost;Integrated Security=SSPI”);
Conn.Open();
.....
```

5.4 堆场信息系统主界面设计与实现

5.4.1 登陆模块功能设计

在登陆模块中，用户输入用户名和密码请求进入主界面，按下确定按钮之后，系统调用数据库中 User 表中的数据，与用户输入的数据对比，若该用户输入的数据属于 User 表中的记录，则允许该用户转到主界面，否则拒绝该用户的进入，以此来校验用户身份是否合法。

整个流程设计如图 5.8 所示。

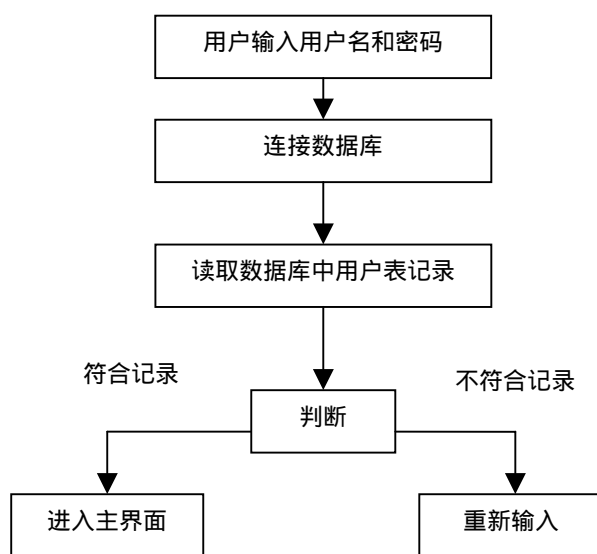


图 5.8 登陆模块流程设计

5.4.2 堆场信息系统主界面

登陆系统的主要作用是控制用户的访问权限，不同的用户有不同的访问权限。正确的用户名和密码登陆后会显示主界面。如图 5.9 和图 5.10。



图 5.9 系统登陆界面



图 5.10 集装箱堆场信息系统主界面

5.5 箱位寻址模块功能设计与实现

5.5.1 箱位寻址模块功能设计

该部分主要功能是对进场的集装箱，利用集装箱堆场寻址模型较优决策，实现生成较优的堆放箱区、贝位以及层数，也就是相对较佳的箱位地址，供堆场管理部门人员堆码使用。假设堆场贝位容量是 6 列 4 层，堆场信息系统应用程序调用的信息是通过 RFID 信息采集系统采集后保存到数据库的，下面是基于 RFID 的堆场集装箱箱位寻址的简要步骤：

Step 1 调用数据库中 RFID 采集的集装箱种类信息，判断该集装箱货物属性：冷藏箱

放入冷藏箱区；干货箱放入干货箱区；液体罐式集装箱放入危险液货箱区。不同堆场箱区的划分随可堆场管理部门的需要在“堆场管理”模块增加和删改。

Step 2 确定该集装箱堆放箱区以后，调用数据库中 RFID 采集的集装箱目的港信息，自动分配堆场贝位，默认分配 1 个贝位的存储区域，存储额满后自动申请 1 个新贝位。因此，同一目的港的集装箱可能会堆码到几个相邻或不相邻的贝位，不同目的港的集装箱分堆码到不同贝位上。

Step 3 调用数据库中 RFID 采集的集装箱重量信息 W_i ，判定其所隶属的集装箱重量级别 L，M 或 H。

Step 4 获取当前码头集装箱堆场堆码状态的向量表示 $B(i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6)$ ，该向量含有 6 个分量，每个分量 i_k ($1 \leq k \leq 6$) 维数为 4。

Step 5 根据该集装箱重量级别，选择与该重量级别对应的码头集装箱寻址决策。

Step 6 堆场堆码状态 B 的 6 个分量 i_k ($1 \leq k \leq 6$) 在与对应的码头集装箱寻址模型中，最为靠前的一个分量对应的垛 k，即为该集装箱应放置的较优垛。

Step 7 如果该箱是该贝位中堆码的最后一个箱子，则算法结束，否则返回 Step 1。

集装箱箱位寻址具体流程如图 5.11 所示。

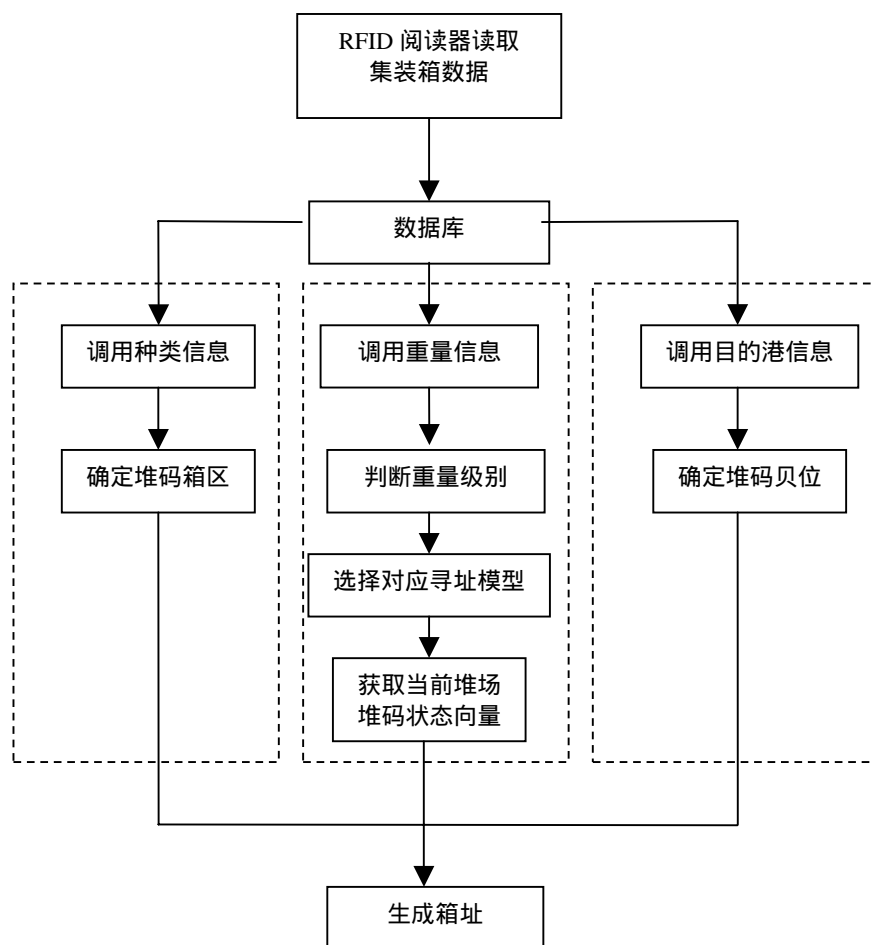


图 5.11 箱位寻址模块流程设计

5.4.2 箱位寻址模块功能实现

进入“进场集装箱箱位寻址”模块，可选择堆场各个闸口处的阅读器标号，点击“RFID 阅读器读取信息”后，会调用 RFID 读取并存储在数据库中的集装箱信息数据，包括该集装箱的箱号、箱重、目的港和种类信息，系统会根据本文提出的寻址决策生成一个较优的箱区、贝位和层数。选择进场集装箱序号后，点击“堆码”按钮，把改集装箱堆码到系统生成的箱位上，点击“更改”按钮会进行人工堆码，把集装箱堆码到集装箱堆场管理人员预定的箱位上。点击“堆场地图”，则会进入堆场二维地图界面，如图 5.12 所示。

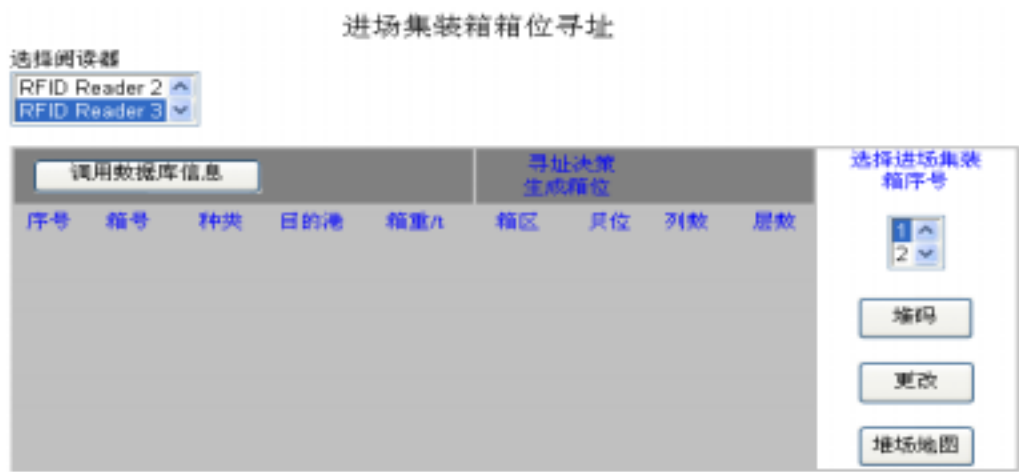


图 5.12 箱位寻址界面

用户登录后点击“堆场地图”，进入包含堆场入口、出口以及两个箱区的界面，如图 5.10 所示。每个箱区包含 100 个垛，每个垛可最多放置 4 层集装箱。集装箱堆场信息管理系统应用程序读取数据库中的集装箱信息，并根据堆场内的堆码情况安排合适的箱位给预安排集装箱，人工堆码后该垛会根据集装箱的层数显示相应的颜色。例如，没有集装箱该垛会在图中显示白色，4 个集装箱该垛会在图中显示红色。见图 5.13。



图 5.13 堆场地图界面

单击垛会显示该箱位所有集装箱箱号、层数和堆放时间等信息。

5.6 闸口管理模块功能设计与实现

5.6.1 闸口管理模块功能设计

在码头集装箱堆场出入大门处安装有多个 RFID 阅读器，RFID 阅读器读取过往的集装箱车辆所承载的 RFID 信息，堆场管理员能够通过调取 RFID 信息，查看出入闸口的拖车信息和车上所载集装箱信息，见图 5.14。

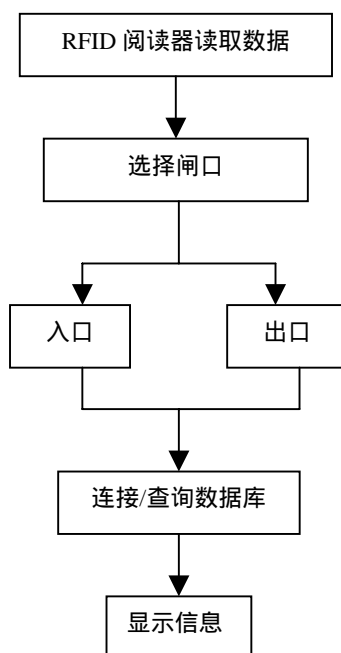


图 5.14 闸口管理模块流程设计

5.6.2 闸口管理模块功能实现

用户登录后点击“区域及闸口管理”下的“闸口拖车运载设置”，选择“大门入口”或者“大门出口”，系统从数据库中调取通过该闸口的所有拖车记录，包括通过该闸口的车号，通过时间以及该闸口的类型，并在页面中显示相关信息，见图 5.15。



图 5.15 闸口管理选择界面

堆场管理员通过权限进入系统后，点击“区域及闸口管理”下的“闸口信息列表”，系统从数据库中查询该堆场所有大门入口及出口的信息，包括类型，安装有源 RFID 阅读器的数量及无源 RFID 阅读器的数量；输入闸口名称可以进行模糊查询；添加、删除以及更改闸口，见图 5.16。



图 5.16 闸口管理操作界面

5.7 集装箱查询模块功能设计与实现

5.7.1 集装箱查询模块功能设计

在该模块中，用户可以通过输入集装箱号以及在场集装箱信息列表来查询对应的集装箱信息，具体流程如图 5.17 所示。

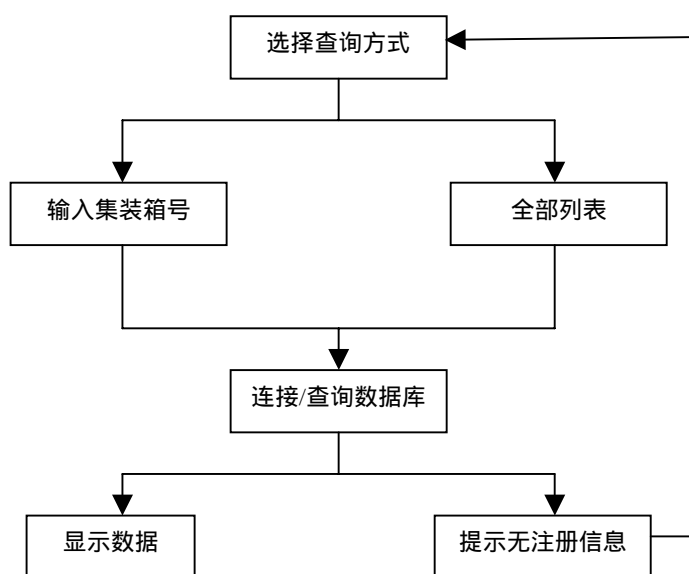


图 5.17 集装箱查询模块流程设计

5.7.2 集装箱查询模块功能实现

用户登录后，点击“在场集装箱信息”，可查看该用户所能查看的所有在场集装箱信息，包括在堆场内放置的箱区，行，列，层，以及堆放时间等，输入要查询的集装箱号，

点击“搜索”，即可查询该集装箱的信息。见图 5.18。



图 5.18 集装箱查询界面

5.8 寻址模拟实验

为检验寻址决策在集装箱信息系统中的实现与应用效果，需设计模拟实验。

5.8.1 前提假设

- 寻址模块模拟实验前提假设如下：
- （1）抵达集装箱重量由离散随机数发生器模拟确定，重量分布符合统计表 3.1。
首先由计算机产生在 0 到 1 之间的随机数，然后和箱重统计的百分比之和进行对比，该随机数落到的百分比区间即为该集装箱的重量级别，然后再随机产生一个 0 到 1 之间的随机数，确定该集装箱质量。
 - （2）集装箱信息包括内容较多，提供给堆场信息系统调用，本模拟实验只需要写入寻址模块需调用的集装箱信息即可，包括箱号、目的港、种类以及重量信息，其他集装箱信息可暂时不写入。
 - （2）集装箱进场顺序由计算机随机确定，下一个到达堆场的集装箱重量是未知的。
 - （3）堆场箱区设定为三个，即干箱区、冷藏区和罐式液货箱区，到达箱种类包括三种，即干货箱，冷藏箱和罐式液货箱。
 - （4）每个箱区容量为 10 个贝位，每个贝位容量为 6 列 4 层。为预备提箱时倒箱要求，每个贝位预留 2 个空箱位，即每个贝位最多堆码 22 个集装箱。
 - （5）进行系统生成箱位合理性评价时，对堆码好的集装箱按照取箱作业启发式优化算法进行取箱上船操作，同等质量级别、质量不同但属同等级别的集装箱不需倒箱。
 - （6）本实验的重点在于检验寻址决策能否在一定程度内降低集装箱倒箱量。同时，为验证寻址模块对集装箱种类的判断及分区，也安排了很小比例的罐式液货和冷藏集装箱进行堆码。

5.8.2 实验流程

模拟实验流程大体可分为数据准备、数据读取及保存、数据调用、生成箱位及评价几

个部分，具体说来遵循以下步骤：

(1) 计算机生成集装箱信息数据。

集装箱信息数据主要包括箱号、种类、目的港、重量及生产日期等。在模拟实验中，集装箱种类分为三种，即干货箱、冷藏箱和罐式液货箱。其中，干货箱占总数比例为 80%，冷藏箱和罐式液货箱数量各占 10%。集装箱目的港模拟数量有三个，分别为青岛港，上海港和宁波港。集装箱重量按照前提假设中离散随机数发生器模拟确定，且重量符合一定的统计分布概率。

(2) 录入数据。

模拟实验中，计算机生成的集装箱信息数据通过 RFID 读写器在集装箱进如堆场之前提前写入集装箱表面的 RFID 标签内。

(3) 集装箱按照计算机随机生成的顺序依次进场，RFID 读取集装箱录入信息并存储至数据库。

(4) 寻址模块调用数据库中箱号、种类、目的港、重量 4 个字段的信息，并用寻址决策生成较优箱区、贝位、列数和层数，即较优箱位。

(5) 通过倒箱量大小，评价系统生成箱位合理性。

模拟实验的流程如图 5.19 所示：

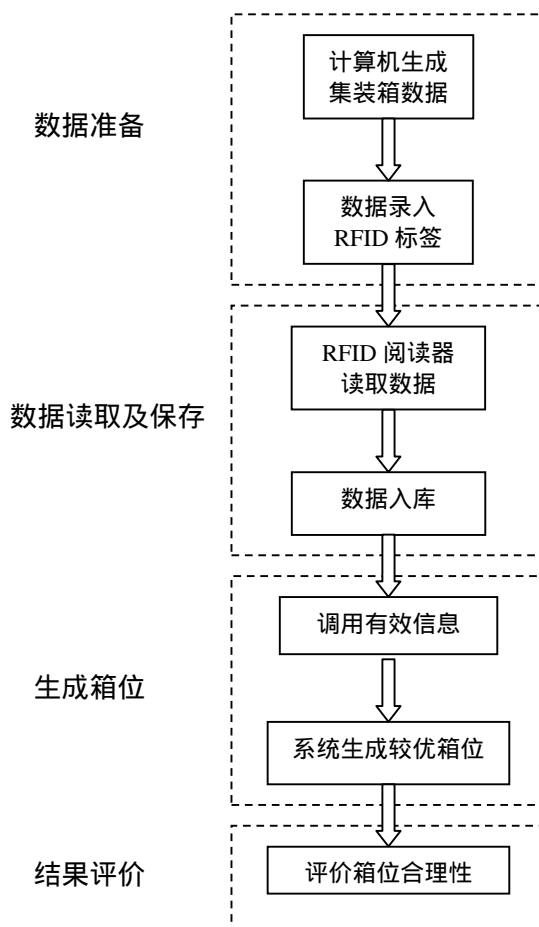


图 5.19 模拟实验流程

5.8.3 录入数据

为了更好体现本文提出的寻址决策的优势，在生成集装箱数量一定的前提下，目的港的数目控制在三个以内。按照上述方法，计算机随机生成 60 个集装箱信息列表及进场序号如附录 1 所示。集装箱号由十位字母和数字组成，是一个集装箱箱体持有的唯一标识。为简便起见，在模拟实验中，计算机生成的集装箱号由四位字母和两位数字表示。计算机生成的集装箱信息及进场序号如表 5.7 所示。

计算机生成数据以后，将数据通过 RFID 读写器写入附着在集装箱表面的 RFID 标签内。

表 5.7 集装箱信息及进场序号

进场序号	箱号	种类	目的港	箱重/t	进场序号	箱号	种类	目的港	箱重/t
01	CBHU09	干货箱	青岛	15	31	INBU10	干货箱	上海	14
02	APLU03	干货箱	宁波	8	32	INBU06	干货箱	上海	8
03	APLU08	干货箱	宁波	11	33	INBU18	干货箱	上海	26
04	CBHU07	干货箱	青岛	6	34	INBU04	干货箱	上海	9
05	INBU07	干货箱	上海	9	35	CBHU10	干货箱	青岛	18
06	APLU04	干货箱	宁波	9	36	APLU07	干货箱	宁波	8
07	APLU05	干货箱	宁波	6	37	APLU17	干货箱	宁波	26
08	CBHU05	干货箱	青岛	9	38	INBU12	罐式液货箱	上海	13
09	APLU12	罐式液货箱	宁波	14	39	INBU05	干货箱	上海	7
10	CBHU13	干货箱	青岛	19	40	APLU01	冷藏箱	宁波	8
11	CBHU20	干货箱	青岛	28	41	CBHU19	干货箱	青岛	29
12	CBHU02	罐式液货箱	青岛	15	42	CBHU11	冷藏箱	青岛	9
13	INBU14	干货箱	上海	16	43	INBU08	干货箱	上海	11
14	INBU16	干货箱	上海	22	44	APLU14	干货箱	宁波	17
15	INBU15	干货箱	上海	18	45	CBHU14	干货箱	青岛	17
16	CBHU06	干货箱	青岛	7	46	INBU11	冷藏箱	上海	7
17	APLU09	干货箱	宁波	15	47	INBU03	干货箱	上海	8
18	APLU11	冷藏箱	宁波	9	48	APLU15	干货箱	宁波	12
19	APLU19	干货箱	宁波	28	49	APLU18	干货箱	宁波	28
20	APLU16	干货箱	宁波	22	50	INBU19	干货箱	上海	28
21	INBU02	罐式液货箱	上海	21	51	APLU06	干货箱	宁波	7
22	INBU17	干货箱	上海	24	52	CBHU17	干货箱	青岛	23
23	CBHU04	干货箱	青岛	8	53	INBU09	干货箱	上海	13
24	CBHU16	干货箱	青岛	22	54	CBHU08	干货箱	青岛	15
25	CBHU15	干货箱	青岛	9	55	INBU01	冷藏箱	上海	16
26	CBHU12	罐式液货箱	青岛	11	56	CBHU18	干货箱	青岛	27
27	INBU13	干货箱	上海	15	57	APLU20	干货箱	宁波	27
28	APLU02	罐式液货箱	宁波	18	58	INBU20	干货箱	上海	27
29	APLU10	干货箱	宁波	18	59	CBHU01	冷藏箱	青岛	8
30	APLU13	干货箱	宁波	16	60	INBU08	干货箱	上海	11

5.8.4 结果评价

按照模拟实验流程进行实验，集装箱按照既定顺序进场，通过“进场集装箱箱位寻址”界面生成箱位，并依次进行堆码作业，如图 5.20 所示。系统生成箱位中，A 区代表干箱区，B 区代表冷藏区，C 区代表罐式液货区。按照系统生成的箱位进行堆码，完毕后贝位状态

如图 5.21-5.29 所示。



图 5.20 系统自动生成箱位

CBHU10(M)	CBHU18(H)		CBHU17(H)		
CBHU20(H)	CBHU14(M)		CBHU19(H)		
CBHU03(L)	CBHU04(L)	CBHU08(M)	CBHU16(H)		
CBHU09(M)	CBHU07(L)	CBHU05(L)	CBHU13(M)	CBHU06(L)	CBHU15(L)
1	2	3	4	5	6

图 5.21 A 区 01 贝位状态

APLU20(H)	APLU16(H)			APLU18(H)	
APLU15(M)	APLU19(H)			APLU17(H)	
APLU14(M)	APLU09(M)	APLU06(L)		APLU13(M)	
APLU03(L)	APLU08(M)	APLU04(L)	APLU05(L)	APLU10(M)	APLU07(L)

图 5.22 A 区 02 贝位状态

	INBU18(H)				
INBU03(L)	INBU17(H)		INBU09(M)		
INBU04(L)	INBU16(H)	INBU19(H)	INBU08(M)	INBU20(H)	INBU05(L)
INBU07(M)	INBU14(M)	INBU15(M)	INBU13(M)	INBU10(M)	INBU06(L)
1	2	3	4	5	6

图 5.23 A 区 03 贝位状态

CBHU01(L)					
CBHU11(L)					
1	2	3	4	5	6

图 5.24 B 区 01 贝位状态

APLU11(L)	APLU01(M)				
1	2	3	4	5	6

图 5.25 B 区 02 贝位状态

INBU11(L)	INBU01(M)				
1	2	3	4	5	6

图 5.26 B 区 03 贝位状态

CBHU12(M)					
CBHU02(M)					
1	2	3	4	5	6

图 5.27 C 区 01 贝位状态

APLU02(M)					
APLU12(M)					
1	2	3	4	5	6

图 5.28 C 区 02 贝位状态

INBU02(H)	INBU12(M)				
1	2	3	4	5	6

图 5.29 C 区 03 贝位

对每个贝位利用启发式取箱优化算法进行取箱作业，取箱完毕后计算每个贝位的倒箱量，如表 5.8 所示。图中方格代表集装箱，方格内的数字代表该集装箱箱号，括号内的数字代表该集装箱的重量级别。

表 5.8 模拟实验结果

箱区	A 区			B 区			C 区		
贝位	01	02	03	01	02	03	01	02	03
集装箱数量	16	16	16	2	2	2	2	2	2
倒箱量	2	0	2	0	0	0	0	0	0

从实验结果来看，寻址模块能够正确判断集装箱种类属性以分配不同箱区，对于同一贝位内的集装箱能够将倒箱量降低到可以接受的水平，可为堆场管理部门提供决策依据。

第 6 章 全文总结与展望

本文研究工作内容及成果如下：

(1) 在对堆场管理深入调研基础上，提出了比较适合堆场作业实际情况的集装箱堆场箱位寻址模型，包括前提假设、约束条件、参数和变量以及目标函数等。

(2) 对 SA 算法做了改进，使之搜索准确率更高，并利用改进后的 SA 算法搜索集装箱堆场箱位寻址模型的最优解，并利用计算机仿真技术对该最优解做模拟实验，实验结果表明最优解较传统堆码决策能够降低倒箱率，特别是在贝位容量较大时效果更加明显。

(3) 在对集装箱状态和位置等基本信息，货物、堆场等信息进行分析基础之上，设计并初步实现 B/S 结构的集装箱堆场信息系统。完成 RFID 数据接口和信息采集，数据库的定义、设计与实现以及相关功能模块的设计与实现，其中重点是寻址模型在集装箱信息系统的应用。在该模块中，利用集装箱箱位寻址模型的最优解进行集装箱堆码作业，模拟测试效果表明寻址决策能够正确分配箱区，将贝位倒箱量降低到一定的水平，可为堆场管理人员提供决策依据，降低生产成本，加强堆场实际管理。

同时，因时间仓促、能力有限，本文仍有很多不足之处有待改善。

(1) 本文提出的集装箱堆场寻址模型仅适用于划分集装箱重量为三个级别以及堆场贝位限高 4 层的情况，对于集装箱重量级别划分更多以及贝位限高增加的情况则要根据本文提出的步骤与方法另行研究。

(2) 集装箱堆场实际管理操作错综复杂，本文在兼顾寻址模型在系统中应用的重点外，选取较为典型的管理流程进行开发，补充集装箱查询功能和闸口管理功能，实现了集装箱在堆场中的二位电子地图显示，但这些功能模块在堆场实际管理应用中还是远远不够的，更完善的堆场信息系统还有待开发。

致 谢

首先，我要感谢我的指导老师黄建设教授，他从研究设计、实施开展到论文撰写过程中给予我悉心的关怀和耐心的指导，帮我认真分析，给了很多诚恳的意见。在随后的学习中，我不管遇到什么问题，他总是热心地给我帮助和解答，向我介绍了诸如缺失数据的处理、模型的建立等课堂上学不到的知识，在这次毕业论文的完成过程中，帮我指出很多学习上的错误，让我意识自己还差得很远。他渊博的学识、开阔的视野、敏锐的思维和科学的态度令我深深折服。

我要特别感谢我的父母，他们把我抚育成人，为我创造各种学习的机会和条件。我在外求学，并不是十分想家，平时似乎把他们遗忘了，但是他们时刻都在牵挂着我，支持着我的学业；感谢我的女友孙晓瑜及其家人孙康叔叔、李美玉阿姨，家在千里之外，但女友及其家人对我照顾有加，让我感觉到家的温暖。女友为我牺牲了很多，这使我放弃山东一个较好的单位而留在福建工作，我相信我的选择是正确的。

“韬光养晦三五载，定酬破壁论英雄”，这是我几天前写下的自勉的句子。我告诉自己，永远不要抱怨生活，低调地储备自己的知识才是胜者之道。

参考文献

- [1]孙世强, 蔡鹏生. 我国现代港口的发展趋势综论[J]. 商业文化(学术版), 2009(01): 91.
- [2]王孟昌. 集装箱码头堆场箱位动态分配优化策略研究[D]. 湖北: 武汉理工大学, 2007.
- [3]黄晓科. 传统港口到现代港口的转变——港口物流化[J]. 中国西部科技, 2006(04): 56-57.
- [4]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): 146-148, 151.
- [5]Rommert Dekker, Patrick Voogd, Elecovan Asperen. Advanced methods for container stacking[J]. OR Spectrum, 2006, 28(01): 563-586.
- [6]Kim K H, Park Y M, Ryu K R. Deriving decision rules to locate export containers in container yards[J]. European Journal of Operational Research, 2000(124): 89-101.
- [7]Zhang, C. Resources planning in container storage yard[M]. Department of Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong University of Science and Technology, 2000: 61-99.
- [8]Preston P, Kozan E. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals[J]. Computers & Operations Research, 2001(28): 983-995.
- [9]Mark B. Duinkerken, Joseph J. M. Evers, Jaap A. Ottjes. A Simulation Model for Integrating Quay Transport and Stacking Policies on Automated Container Terminals[J]. Proceedings of the 15th European Simulation Muticonference (ESM2001), 2001(06): 153-158.
- [10]Taleb-Ibrahimi M, Castiho B De. Daganzo C F. Stowage Space Vs Handling Work in Container Terminals[J]. Transportation Research B, 1993(27): 13-32.
- [11]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(s1): 115-117.
- [12]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(08): 53-56, 61.
- [13]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.
- [14]紧海龙. 紧凑型集装箱码头重箱堆场堆存策略应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [15]魏众, 申金生, 肖荣娜等. 港口集装箱码头轮胎式龙门吊优化调度研究[J]. 中国工程科学, 2007, 9(08): 47-51.
- [16]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(9): 20-21.
- [17]Imai A, Sakakima, Nishinura E, et al. Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 171(2): 373-389.
- [18]Kin K H. Evaluation of the number of rehandles in container yards [J]. Computers & Industrial Engineering 1997, 32(4): 701-711.
- [19]Lee Y S, Hsu N Y. An optimization model for the container premarshalling problem[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 183(3): 1433-1446.
- [20]袁福昌, 李国湛, 张君山. 集装箱装卸搬运机械[M]. 武汉, 港口装卸杂志社. 1988.
- [21]王孟昌. 集装箱码头堆场箱位动态分配优化策略研究[D]. 湖北: 武汉理工大学, 2007.
- [22]段东东. 最小生成树算法及其应用[J]. 2010, 28(1): 55-57.
- [23]康立山, 谢云, 罗祖华. 非数值并行算法(第一册)模拟退火算法(M). 北京, 科学出版社, 1994.

- [24] 周杰明, 邓迎春, 黄娅. 一种带记忆的模拟退火算法求解 TSP 问题[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2010, 22(2): 70-73.
- [25] 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(03): 470-473.
- [26] 伦智峰. 基于射频识别技术的铁路集装箱堆场管理信息系统的研究与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [27] 匿名. 解析无线射频识别(RFID)技术[J]. 电脑知识与技术(学术交流), 2006(24): 32-36.
- [28] 孙海霞, 薛茹. RFID 系统的组成及工作原理[J]. 西藏科技, 2008(9): 59-60.
- [29] 周详. RFID 技术在物联网中应用的关键技术探讨[D]. 江苏: 江苏大学, 2005.
- [30] 彭玉芳. RFID 技术及在国内外的应用[J]. 中国无线电, 2010(3): 48-50.

在学期间发表的学术论文[0]

- [1] Ren Zhenzhen, Huang Jianshe. The Application of RFID in Container Yard Management System[C]//Proceedings of the Third International Symposium on Test Automation & Instrumentation. Xiamen:World Publishing Corporation,2010:486-489.
- [2] Zhenzhen Ren, Jianshe Huang. The Information Reconstruction System of VDR & AIS Data Fusion[C]//Proceedings of the 2010 International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification. Chengdu:IEEE PRESS,2010:181-183.