

中南大学

---

硕士学位论文

---

铁路集装箱堆场码垛模型与算法

---

姓名：王金红

---

申请学位级别：硕士

---

专业：物流工程

---

指导教师：江南

---

20100501

## 摘 要

随着国际国内集装箱运输业和现代物流业的发展,尤其是全国 18 个铁路集装箱运输中心的建立,规范铁路车站集装箱堆场作业,提高作业效率成为急需解决的问题。本论文在对集装箱堆场作业相关内容进行充分剖析的基础上,为提高集装箱堆场作业效率,减少堆场零乱和倒箱作业,针对集装箱堆场码垛问题提出了优化模型。首先,对大宗货物区堆场进行划分,根据集装箱货物运输性质分为:发送箱区、到达箱区、国际箱区、冷藏箱区、专用箱区、空箱区、备用箱区、检修箱区、清洗及消毒箱区等,这些属性称为箱大区属性。根据以往的物流情况以及堆场经常货物往来的单位,按照货主的不同分为 5 个区,这 5 个区的属性称为箱小区属性。规定了箱小区的码垛顺序和零散货物区码垛顺序,以减少堆场的碎片;其次,根据集装箱位置的差别给每个集装箱位置在大宗货物区定义自由度  $f$ ,零散货物区定义叠压度  $Q$ ,集装箱箱位的状态会因堆场码箱和提箱作业而变化;然后,本文以箱小区的码垛顺序和自由度为基础建立了大宗货物集装箱码垛模型,以零散货物区码(取)箱顺序表和叠压度为基础建立零散货物集装箱码垛模型;设计了堆场码垛算法;最后通过算例分析,验证算法的可行性,表明了该算法能够适应集装箱堆场上频繁的动态码箱取箱作业,在一定程度上提高了集装箱堆场作业的效率。

**关键词** 集装箱,箱位分配,堆场,作业计划,管理系统

## ABSTRACT

With the development of international and domestic container transportation and modern logistics industry , especially the establishment of the 18 railway center stations for container transportation in our country, the standardization of the operation in the railway station container yard and the improvement of the operating efficiency have become urgent problems to be solve. In order to make good organizations of contationer yard,reduce the numbers of exchanging the contationers yard and improe the operating efficiency , this paper based on the full analysing of relevant operating contents of the container yard and formulated a optimization model for solving container stacking problems. First, the container yard was divided into several areas according to the attribute of container transportation , like as the container area for sending, the container area for reaching, the international container area, Refrigerated container area, exclusive container area, empty container area, spare container area, container area for maintenance, container area for cleaning and sterilization and so on . These attributes were the attribute of container global district . Based on past status and regular customers, the container global district was divided into five areas according to different owners , the attributes of these five areas were defined the attribute of local district. It defined container stacking order for local district and Scattered cargo area to reduce yard fragment; Secondly, freedom of  $f$  was defined for bulk cargo area and layer degree of  $Q$  was defined for Scattered cargo area .The status of container's location will be changed with single container laying and fetching ;Thirdly, In this paper,the stacking models were formulated in bulk cargo area based on the order of stacking container and the maximum sum of  $f$  and scattered cargo area based on the order of stacking containeres and the minimum sum of the  $F$ , and designed container stacking algorithm;Finally the analysis of the example showed that the algorithm is feasible and can adapt to the operations of dynamic container laying and fetching frequently.To a

certain extent, this algorithm improved the efficiency of container yard operations.

**Key words** container, storage allocation, container yard, operation plan, management system

## 第一章 绪 论

随着物流行业的不断发展,集装箱运输作为一种新颖的运输方式,其发展越来越受到世界各国的重视。在科技进步的推动下,集装箱运输管理正向自动化方向发展。近年来,国内外学者对集装箱堆场管理的研究都非常少,特别是铁路集装箱堆场的研究就更少了,这一领域的研究对于提高集装箱运输的效率和效益、提高堆场管理者的利润、改善服务水平、加速堆场管理现代化进程,将具有重要意义。在国内外有很多学者对港口集装箱堆场管理做了很多研究,但是对于铁路集装箱堆场管理的研究还比较少,随着物流业的发展,对提高铁路集装箱堆场管理的效率迫在眉睫。因此,本文主要是对铁路集装箱堆场管理进行研究,对堆场中集装箱的码垛提出了新的模型。

本章首先介绍课题的研究背景及意义,当今物流业快速发展,由于集装箱运输的优势非常的明显,特别是铁路集装箱运输优势,因此铁路集装箱运输在各种交通工具运输上占了相当大的比重,而铁路集装箱堆场的管理成了铁路集装箱运输的瓶颈。当前国内外学者对于铁路集装箱堆场箱位管理的研究比较少的现状,使得对铁路堆场管理的研究迫在眉睫,本章在分析该领域研究现状的基础上,提出了本文的主要工作及组织结构。

### 1.1 课题的研究背景

随着集装箱运输业的迅速发展,集装箱运输已经成为国际货物运输的主要运输形式,集装箱运输既有显著的经济效益,也有显著的社会效益。集装箱运输的优越性对社会上将会有越来越深刻的影响。随着集装化技术的不断发展,对于集装箱后方堆场的管理效率要求越来越高。集装箱运输和集装箱堆场管理作业成为现代物流的一个重要组成部分,在交通综合运输体系中发挥着十分重要的作用。随着中国加入 WTO、西部大开发、“走出去”三大战略进入实质性启动阶段,现有的交通运输、口岸报关查验服务等物流基础措施水平与规模必将受到国际大环境的重大影响。集装箱码头、堆场的作业管理和如何建设物流多媒体信息高速公路走廊,率先推广信息化技术,建立数字信息平台,提高物流信息的搜集、处理和服务能力,缩短物流信息交换与作业时间,成为当下的重要决策。

铁路集装箱运输是现代物流的一个重要组成部分。集装箱运输在世界范围内得到了飞速发展,已成为世界各国保证国际贸易的最优运输方式。发达国家件杂货物运输的集装箱化率已超过 80%,铁路集装箱运输占铁路货物运输的比

重也上升到 20%~40%。如美国部分铁路公司已经达到 49%、法国为 40%、英国为 30%、德国为 20%。日本也基本上把全部适箱货物都纳入集装箱运输。近年来,虽然日本铁路货运不断萎缩,但集装箱运输却快速发展,已占货运量的 33%。随着铁路集装箱运输的快速发展,有限的堆场资源将会对整个造成巨大的影响,造成铁路集装箱运输中的瓶颈。然而国内外对于铁路集装箱堆场管理的研究很少,对堆场中集装箱箱位的分配也没有专门的研究,造成了铁路集装箱堆场管理自动化的不完全,堆场利用率不高。因此,提高堆场的管理水平,研究更合理的集装箱分配、提取等流程成为当务之急。

## 1.2 集装箱堆场作业管理研究现状

现代物流是企业在降低物资消耗、提高劳动生产率以外的重要利润源泉。集装箱运输是现代物流运输的一个重要组成部分,提高集装箱运输的效率是促进物流发展的关键。对于提高集装箱运输效率的研究,国内外很多学者从多个方面进行了研究。比如在对提高集装箱利用率方面的研究、对集装箱空箱调运的研究等等。相对来说对于集装箱堆场在我国的发展起步比较晚,但是发展速度相当快,而且随着以通讯技术、网络技术、感测技术、控制技术为代表的现代信息技术的快速发展以及全球信息网络的兴起,现在已经初具规模,虽然日前我国一些集装箱堆场已具备了先进的生产设施和现场实时控制系统,但总体来说与国外先进的集装箱堆场相比还存在一定差距,主要表现在对堆场内部物流系统的资源配置、任务安排和路径优化等方面还采用经验管理,堆场物流信息系统也有待于进一步完善和发展。自 1961 年出现集装箱运输服务以来,集装箱运输便成为日益重要的运输方式。目前已有 60%以上的普通货物运输采用集装箱运输。随着集装箱运输的迅速发展,集装箱堆场的建设也有了极大的发展。集装箱堆场是集装箱的堆放场地,是集装箱流的一个重要环节。近年来,国内外对集装箱堆场管理的研究都还比较少,但已经在运输界引起了广泛的关注与兴趣,并开始应用于相关的企业。这一领域的研究对于提高集装箱运输的效率和效益、提高堆场管理者的利润、改善服务水平、加速堆场管理现代化进程,将具有重要意义。研究者们多利用计算机模拟技术和优化算法对集装箱物流系统进行研究,这些研究主要集中在运营环节及装卸工艺系统方面的研究。而且对于这些研究基本上都是基于港口堆场的研究。

铁路堆场陈旧、现代化水平低、能力不足,与高效率的运输组织方式不相适应。铁路堆场主要担当大宗货物和零担货物的装卸任务,种类繁多,组织工作复杂,并且直接影响铁路的声誉。但由于铁路集装箱堆场的分散,一般来说一个站点货物流动比较少,对堆场的利用率都很低。因此也就忽视铁路集装箱

堆场的管理研究。许多堆场仍是 50 年代修建的,缺少堆场自动化管理。在集装箱堆场作业过程中,搬箱倒箱次数多,效率低下。即使条件较好的堆场组织一列集装箱直达列车,最少也要 4-5 个小时,造成整个铁路物流链的脱节。

### 1.3 论文的研究目的与意义

在集装箱运输的过程中,集装箱堆场是一个非常重要的环节,它为发送箱到达箱提供暂存的场所,发送箱、到达箱通过集装箱堆场直接运送至客户,或通过集装箱堆场被提取安排至火车,以便运送至目的地。集装箱堆场既是集装箱运输的中转站,也可以是集装箱运输的起点和终点。其作业效率的高低直接影响集装箱运输过程中的其他后续环节的运输质量和效率,最终影响整个集装箱运输的能力。因此,研究集装箱堆场码垛作业具有重要意义。从理论上讲,对集装箱堆场码放作业的相关研究,可为集装箱堆场调度管理人员进行科学决策与管理提供理论基础和参考依据,同时也可以提升集装箱堆场物流理论研究的水平,为集装箱堆场的其他作业研究提供示范。从现实上讲,随着未来铁路集装箱运输的蓬勃发展,能否全面切实的提升集装箱堆场的作业效率,尽可能的降低和减少堆场工作人员的劳动强度,提高集装箱堆场的自动化程度,使得集装箱堆场作业高效能化和低成本化,将直接影响铁路集装箱运输在各种运输形式中的地位,也决定着铁路集装箱运输对客户的吸引力。

本文的主要目的就是在对铁路集装箱作业研究的基础上,在保证社会经济效率的前提下,找到优化的码垛方式以减少堆场的倒箱作业,并在此基础上设计了集装箱堆场作业算法,对集装箱堆场作业系统也进行了初步的设计,以提高堆场的作业效率,以加强集装箱堆场作业的自动化。

### 1.4 论文的主要工作及组织结构

本论文主要是从集装箱堆场管理的现状出发,对铁路集装箱堆场进行了研究,提出了堆场码垛算法,在此基础上设计了集装箱堆场作业管理系统。本论文的主要工作如下:

(1) 结合集装箱堆场管理的现状,阐述了铁路集装箱堆场管理的特点、倒箱产生的原因,介绍了铁路堆场作业的相关业务和堆场的相关组成布局。从堆场管理流程和集装箱装卸工艺方面详细讲述了铁路堆场管理的主要工作。

(2) 通过对堆场作业流程的详细分析,意识到了堆场码垛的重要性,要提高铁路集装箱堆场管理效率,必须要对集装箱的堆场码垛作业进行优化。

(3) 结合铁路集装箱堆场使用规则和集装箱码垛规则,以及使集装箱倒箱

次数最少和铁路堆场场地使用率最高等几个方面因素，将堆场的属性分为箱大区属性和箱小区属性，并建立了箱小区的码垛顺序表，在此基础上建立了堆场码垛数学模型。鉴于铁路集装箱运输中主要主要分为大宗货物和零散货物，大宗货物和零散货物分开放在堆场中不同的区域，因此分别建立了大宗货物集装箱堆场码垛模型和零散货物集装箱堆场码垛模型。

(4) 在建立数学模型的基础上，通过计算机语言编译了算法，并设计了堆场作业系统数据库。

(5) 通过算例，运行堆场集装箱作业管理系统，为每一个进场箱分配最佳箱位，对每一个提货单给出了最佳提箱顺序。

## 1.5 本章小结

结合我国铁路集装箱堆场管理的现状，对铁路集装箱堆场作业管理进行了系统的分析，找出了集装箱堆场作业管理效率低和产生倒箱的原因以及集装箱堆场码垛的目标，建立了数学模型并设计算法进行求解，通过算例对模型和算法进行了有效性检验，最后对铁路集装箱堆场作业管理系统中的数据结构进行了初步设计。

本论文的组织结构如图 1-1 所示。



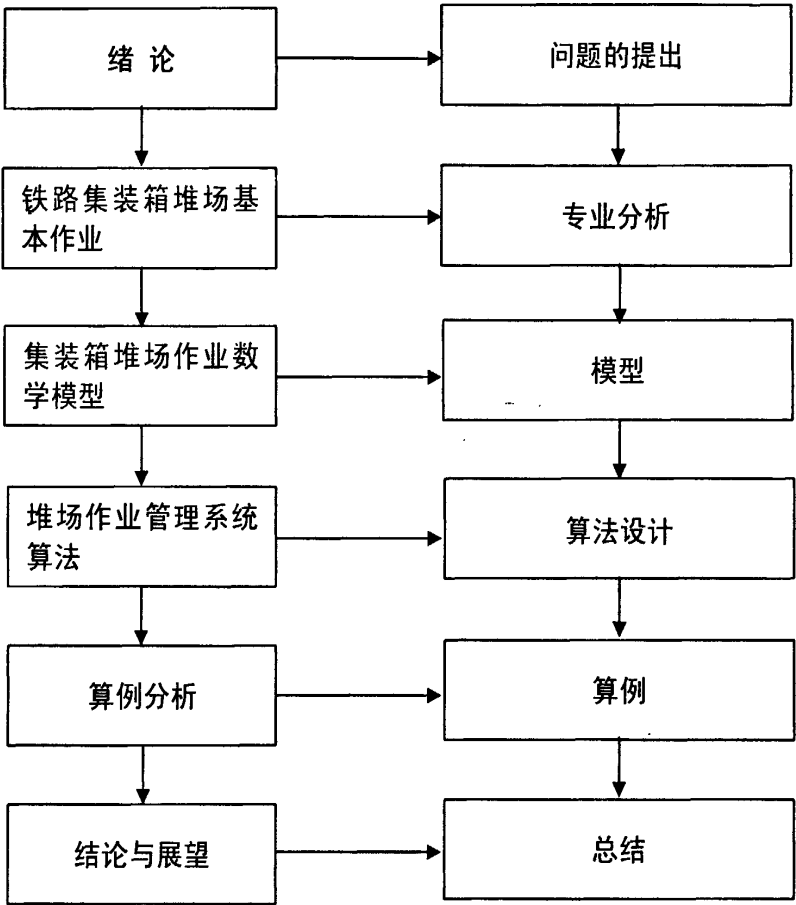


图 1-1 论文的结构

第一章介绍了本论文的研究背景，集装箱堆场作业管理研究现状，阐述了论文的研究目的与意义，最后明确了论文的组织结构。

第二章主要是铁路集装箱堆场基本作业的介绍，介绍了堆场相关业务、集装箱堆场的装卸工艺、集装箱堆场管理的流程。通过对集装箱堆场作业的详细分析，提出了通过减少倒箱和提高堆场场地利用率的堆场码垛算法。

第三章结合铁路集装箱堆场使用规则和集装箱码垛规则，以及使集装箱倒箱次数最少和铁路堆场场地使用率最高等几个方面因素，对铁路堆场中的大宗货物放置区的箱位定义了自由度，用自由度的约束建立了大宗货物集装箱堆场码垛数学模型。对铁路堆场中的零散货物放置区的箱位定义了叠压度，用叠压度约束建立零散货物集装箱堆场码垛数学模型。

第四章在第三章建立的算法基础上用计算机语言设计了算法。首先进行系统分析，对系统中的各个功能子系统进行了详细介绍,然后设计了系统数据库的部分数据表，初步设计了集装箱堆场作业管理系统。

第五章分别列举了大宗货物集装箱堆场和零散货物集装箱堆场算例，应用算法得出结果，通过对结果的分析验证了算法的可行性。

第六章对论文的研究工作进行了总结，提出了有待于进一步研究的问题。

## 第二章 铁路集装箱堆场基本作业

在进行集装箱堆场作业研究前,首先了解铁路集装箱堆场基本作业,为后面的研究奠定基础。

### 2.1 堆场相关业务

#### 2.1.1 堆场的相关概念

集装箱堆场就是堆放集装箱的场所,同时也是临时保管和向货主交接集装箱的地方。是否对其进行科学有效的管理会直接影响到堆场管理者的经济利益。业务模式的差异使得前后方堆场的服务功能有显著的差异。为提高本文的可读性,本文首先简要地介绍集装箱堆场相关的名词及后方集装箱堆场的业务过程。

##### (1) 集装箱(container)

集装箱的英文术语为 container,具有“容器”的含义,是指具有一定强度、刚度和规格专供周转使用的大型装货容器,具有  $1m^3$  及以上的内部容积,适用于一种或多种运输方式运送。使用集装箱装运货物,可直接在发货人的仓库装货,运到收货人的仓库卸货,中途更换车、船时,无须将货物从箱内取出换装。

##### (2) 集装箱的换算统计单位(TEU 和 CTU)

TEU 又称 20 英尺换算单位,是国际标准集装箱的换算单位。目前各国大部分集装箱运输都采用 20 英尺和 40 英尺长的两种集装箱。为使集装箱换算统计单位统一化,把 20 英尺集装箱作为一个计算单位,折合为 1TEU,40 英尺集装箱作为两个计算单位,折合为 2TEU,以利统一计算集装箱的运营量。

CTU 是铁道部规定的我国铁路运输集装箱的统计单位,它以一个铁路 10 吨箱为标准。一个 10 吨集装箱折合为 1CTU,10 个 1 吨集装箱折合为 1CTU,2 个 5 吨集装箱折合为 1CTU,1 个 20 英尺集装箱折合为 2CTU,1 个 40 英尺的集装箱折合为 4CTU。

##### (3) 集装箱前方堆场

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。其作用是当集装箱船到港前,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。

##### (4) 集装箱后方堆场

集装箱重箱或空箱进行交接、保管和堆存的场所。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。集装箱后方堆场是集装箱装卸区的组成部分,是集装箱运输“场到场”交接方式的整箱货办理交接的场所(实际上

是在集装箱装卸区“大门口”进行交接的)。

#### (5) 堆场中的堆和倍 (bay)

习惯上堆场中纵向的列(堆场门吊轨道方向)称为堆(stack),有时其中一个单元也称为堆,以堆名标识;横向的行称为位或倍,以位名标识。

#### (6) 堆场堆存区

堆场被划分为一定数量的堆存区,每个堆存区又被划分为一定数量的倍,作为集装箱存储的物理位置。标准箱(20英尺)所占倍号为奇数倍,即1, 3, 5..., 大箱(40英尺、43英尺、45英尺)所占倍号为2, 6, 10...(不能为四的倍数)。每个倍有一定的列数,每列又有一定的层数。一般在铁路集装箱中最多堆放3层。

#### (7) 移箱

为对某一集装箱进行作业,而将影响其作业的其它集装箱搬移到其它倍的作业,移位的一种。

#### (8) 倒箱

为对某一集装箱进行作业,而将影响其作业的另一集装箱暂时搬移,待该作业完成后,将另一集装箱再回归原倍的作业,移位的一种。

#### (9) 铺空

移位的一种,专指空箱从堆存区到装箱区的移位。

#### (10) 铺重

移位的一种,专指重箱从堆存区到拆箱区的移位。

#### (11) 码垛

移位的一种,专指从其它功能区到堆存区的移位,主要包括空箱码垛、重箱码垛。空箱码垛是指拆空箱码垛进进箱倍,其它码垛的箱进出箱倍(进出箱倍的指定可以设置是否自动化)若不能满足该条件,则根据规划原则找箱位。重箱码垛是指备箱员确定哪些箱子需要码垛,并指定倍位。

#### (12) 并垛

移位的一种,专指将某一功能区内的多倍集装箱合并成一倍(从并垛中选择一个倍,而不是新的倍)的移位。

#### (13) 铺残

移位的一种,专指从残箱堆存区移至修箱区的移位。

### 2.1.2 集装箱的相关知识

#### 1 集装箱的类型

集装箱分类方法的方法有很多种可以分别按用途、结构、材料和总重等进行分类。不同类型的集装箱在堆场的码放要求就不相同,因此在进行集装箱堆

场管理前要充分了解集装箱的不同分类,了解不同货物适合用哪种集装箱装载。

### (1) 按用途分类

(a) 杂货集装箱 杂货集装箱亦称干货集装箱或通用集装箱,适用于除冷冻货、活动物、植物以外,不需要调节温度,且在尺寸、质量等方面均适于装于箱内,如日用百货、食品、机械、仪器、家用电器、医药及各种贵重物品等。在集装箱中这种集装箱所占的比重最大,国际标准化建议的标准集装箱系列,指的都是这种集装箱。这种集装箱对于码放要求不大,基本上是保持较重的箱在下面,较轻的箱在上面。

(b) 保温集装箱 保温集装箱是一种箱壁采用导热率低的材料隔热,用于需要冷藏和保温的货物运输的集装箱。保温集装箱又可以分为3种:冷藏集装箱、隔热集装箱、通风集装箱。该类集装箱在堆场上一般有专门区进行堆放,比如冷藏箱区。

### (2) 按结构分类

(a) 整体式集装箱 整体式集装箱为整体的刚性结构,一般具有完整的箱壁、箱顶和箱底,如通用式集装箱、封闭式集装箱、保温集装箱、干散货集装箱等。

(b) 框架式集装箱 框架式集装箱一般呈框架结构,没有壁板和顶板,如某些台架式集装箱,有时甚至没有底板。

(c) 罐体式集装箱 罐体式集装箱外部为刚性框架,内有罐体,适于装运液体、气体和粉状固体货物。

(d) 软式集装箱 软式集装箱是指用橡胶或其他复合材料制成的有弹性的集装箱,其优点是结构简单,空状态时体积不大,自重系数小。

### (3) 按使用材料分类

集装箱大都不是用一种材料制成的,而是用钢(包括不锈钢)、木材(包括胶合板)、铝合金和玻璃钢这4种基本材料中的两种以上组合而成。箱体的主要部件(指侧壁、端壁、箱底和箱顶)采用什么材料,就称什么材料制成的集装箱。

(a) 钢质集装箱 钢质集装箱的框架和壁板均采用钢材制成,全焊结构,壁板采用波纹板,以增加箱体的刚性。其优点是:强度大、结构牢、坚固耐用,刚性高、不易变形、水密性好,箱体易于修理,造价较低。缺点是:自重大,防腐蚀性能差。

(b) 铝质集装箱 铝质集装箱有两种:一种为钢架铝板,另一种仅框架两端采用钢材,其余皆用铝材,壁板用侧柱补强。铝质集装箱的钢质框架系焊接而成,而铝合金壁板则用铆钉连接。其优点是:自重轻,外型美观,防腐蚀性能好,弹性好,受力时易变形,外力消失后易于复原。缺点是造价高。

(c) 玻璃钢集装箱 玻璃钢集装箱采用钢质框架, 壁板采用玻璃钢材料, 框架为焊接结构, 壁板与框架用特殊铆钉或螺栓连接。其优点: 箱壁较薄, 内容积较大, 隔热性能好, 抗腐蚀性能强。缺点是自重较大, 造价高。

#### (4) 其他分类方法

(a) 按总重分类 集装箱按总重分为大型集装箱、中型集装箱、小型集装箱。大型集装箱是指总重在 20 吨及以上的集装箱; 中型集装箱指总重在 5 吨以上但小于 20 吨的集装箱; 小型集装箱是指总重小于 5 吨的集装箱。

(b) 按箱主分类 海运中分为船舶公司的集装箱、租箱公司的集装箱和企业自备集装箱。铁路运输中分铁路集装箱和自备集装箱。

(c) 按规格尺寸分 目前, 国际上通用集装箱有: 20 英尺集装箱和 40 英尺集装箱; 近年来较多使用的是 40 英尺集装箱。

(d) 按箱型分类 包括 1AAA、1BBB、1C、1DX 等集装箱。

按所装货物种类分, 有杂货集装箱、散货集装箱、液体货集装箱、冷藏箱集装箱等; 按制造材料分, 有木集装箱、钢集装箱、铝合金集装箱、玻璃钢集装箱、不锈钢集装箱等, 现在干柜主流的材料为 碳钢; 按结构分, 有折叠式集装箱、固定式集装箱等, 在固定式集装箱中还可分密闭集装箱、开顶集装箱、板架集装箱等; 按总重分, 有 30 吨集装箱、20 吨集装箱、10 吨集装箱、5 吨集装箱、2.5 吨集装箱等。

## 2 集装箱的标记

在堆场作业管理中通常都是通过集装箱的标记进行操作的, 要完善集装箱堆场作业的自动化, 首先必须要保证集装箱可识别, 因此就必须规定集装箱的标记。

(1) 箱主代号 集装箱箱主代号是用 4 个大写的拉丁字母组成。为了使集装箱与其他设备区别, 第一个字母用 U 表示。为了避免箱主代号出现重名, 所有箱主在使用代号之前应向国际集装箱局 (BIC) 登记注册。当前在铁路集装箱运输上箱主代号都不是十分规范, 在海运上比较规范。

(2) 集装箱顺序号 (箱号) 集装箱顺序号由 6 位阿拉伯数字组成, 有效数字不足 6 位时, 则用 “0” 在有效数字前补足 6 位。

(3) 核对数字 核对数字是用于确定集装箱箱主代号和顺序号在传输和记录的准确性手段, 它是根据箱主代号和集装箱顺序号, 通过一定方法计算出来的。

(4) 国家 (地区) 代号 用两个大写的拉丁字母表示, 国际标准化组织公布的国家 (地区) 代码有 220 多个。

(5) 尺寸和类型代号 国际标准化组织规定尺寸和类型代号由 4 个阿拉伯数字组成, 前两位数字表示尺寸的特性, 其中第一位数字表示集装箱的长度, 第

二位数字表示集装箱的高度和有无鹅颈槽。后两位数字表示集装箱的类型。

(6) 额定质量和空箱质量 集装箱的额定质量和空箱质量应标于箱门上。

我国铁路集装箱不使用国家地区代号与类型代号, 额定质量和空箱质量也不按国际标准标注。

在我国铁路上运输的集装箱有不少是企业自备集装箱, 为了加强自备箱的管理, 铁路对自备箱的编号和标记涂刷做了以下规定。

(a) 自备箱的编号由货主所在铁路局负责, 并按规定涂刷。

(b) 箱主代号的 4 位拉丁字母, 前两位由箱主自选, 后两位按如下规定选取: 通用箱为 TU, 冷藏箱为 LU, 危险品箱为 WU, 保温箱为 BU, 其他专用箱另定。

(c) 6 位箱号数字, 前两位为箱主所在省, 直辖市、自治区行政区划代号, 第三至第六位由所在铁路局确定。

(d) 1 吨自备箱腰部应刷 150mm 宽的白色环带, 5 吨及其以上自备箱腰部应涂刷 200mm 宽的白色环带, 危险品自备箱应涂刷黄色环带。

当前, 我国铁路集装箱标记还比较模糊, 不利于铁路集装箱堆场的自动化, 因此实现集装箱标准化, 实现集装箱堆场作业的自动化, 促进国际集装箱多式联运的发展。

## 2.2 集装箱堆场的装卸作业

### 2.2.1 集装箱堆场设备资源

集装箱堆场设备资源主要包括底盘车、跨运车、叉车、集装箱卡车、轮胎式门式起重机、轨道式门式起重机, 其中一些设备类型可同时用于车辆的装卸作业。

#### (1) 底盘车(Chassis)

集装箱堆场的底盘车是一种装有轮胎的车架, 前面有单脚支架或双脚支架, 后面有单轴一组轮胎或双轴两组轮胎, 其堆存方式是指将集装箱和用作运输集装箱的底盘车一起存放在堆场中, 是集装箱卡车的拖挂部分。这种堆存方式机动性最大, 但是堆存高度只有一层, 并且需要留比较宽的车辆通道, 因此需占用堆场面积较大, 使堆场面积利用率较低。

#### (2) 跨运车(Straddle carrier)

集装箱跨运车, 是一种专用于集装箱短途搬运和堆码的机械可作水平搬运, 也可作堆场堆码、搬运、和装卸工作, 但是其造价高, 驾驶视野有待改善, 在我国使用不是很多。

#### (3) 集装箱牵引车(Truck)

集装箱牵引车又简称集卡,专门用于牵引集装箱底盘车的运输车辆,其本身没有装货平台,通过连接器与底盘车连接,达到运输目的。主要分为内卡和外卡两种形式。

#### (4) 门式起重机(Transtainer)

门式起重机简称门式吊或场桥,是一种在集装箱场地上进行集装箱堆垛和车辆装卸的设备。门式起重机有轮胎式和轨道式两种型式。

(a) 轮胎式门式起重机 轮胎式门式起重机主要特点是机动灵活、通用性强,在堆场上做直线行走,还可以做直角转向。提高堆场面积使用,易于实现自动化,适用于吞吐量较大的集装箱码头。

(b) 轨道式门式起重机 轨道式门式起重机是集装箱码头堆场上进行装卸、搬运和堆码的一种专用机械。可跨多列集装箱及跨一个车道,堆存能力大,堆场使用面积高,由于在固定的轨道上行驶,适用于吞吐量大、前沿港域不足而后方堆场较大的码头。

#### (5) 集装箱叉车(Container forklift)

在堆场中按用途通常用于重箱作业的称为重载叉车,用于空箱堆高作业的称为堆高叉车。集装箱叉车是集装箱码头的一种装卸机械,机动灵活,可一机多用,既可水平运输,又可作堆场堆码、搬运及装卸作业;造价低,使用、维修较方便,特别适用于空箱作业,一般在吞吐量不大的多用途码头使用。

#### (6) 正面吊(Front-handling mobile crane)

正面吊是一种在集装箱码头堆场上使用比较频繁的专用机械。机动性较好,可以吊装作业也可以短距离运输,一般可以吊装 4 层集装箱,稳定性好,也可以适用于空箱作业。

### 2.2.2 堆场装卸作业

#### (1) 集装箱堆场装卸作业

堆场作业的主要方式主要有底盘车方式、跨运车方式、轮胎式门式起重机方式、轨道式门式起重机方式等。轮胎式门式起重机方式是目前世界范围内应用最多的一种模式,使用经验成熟,大小港口使用都比较满意。近几年国内新建及在建的几个大型集装箱码头,如青岛前湾三期工程、宁波北仑三、四期工程以及深圳的几个码头采用这种方式。轨道场桥方式是随着箱量的增加和计算机管理水平的提高而出现的一种堆存方式,在国外有所应用。国内沿海集装箱码头只有烟台港三期集装箱码头采用。

#### (2) 水平运输

堆场作业采用跨运车的码头基本上还是利用跨运车进行水平运输。其余大



多数港口的水平运输是用集装箱牵引车半拖挂车，为了减少流量，有些港口采用了成列拖挂车组或拖挂车上装两层箱的方式，近几年在鹿特丹港还采用自动导向车系统，可以达到全自动运行。

## 2.3 集装箱堆场管理流程

### 2.3.1 集装箱运输办理流程

铁路集装箱运输办理流程主要分为两部分：发送作业流程和到达作业流程。

铁路集装箱运输发送作业流程如图 2-1 所示。

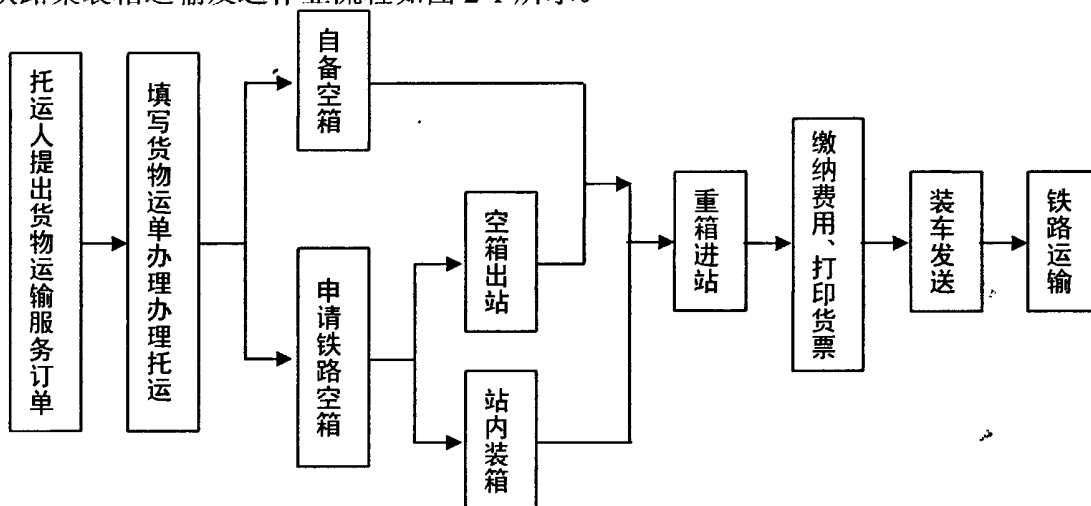


图 2-1 发送作业流程

铁路集装箱运输到达作业流程如图 2-2 所示。

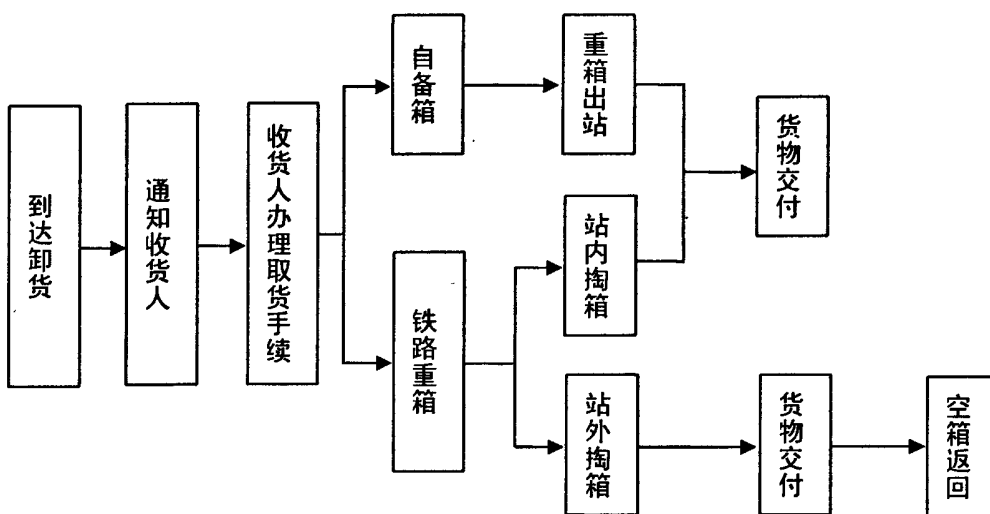


图 2-2 到达作业流程

### 2.3.2 集装箱堆场作业过程

#### 1 集装箱堆场管理作业流程

集装箱堆场的管理包括了铁路装卸线、作业通道和堆场在纵横两个方向平面区的设计布置，在集装箱堆场中其作业流程如图 2-3 所示。

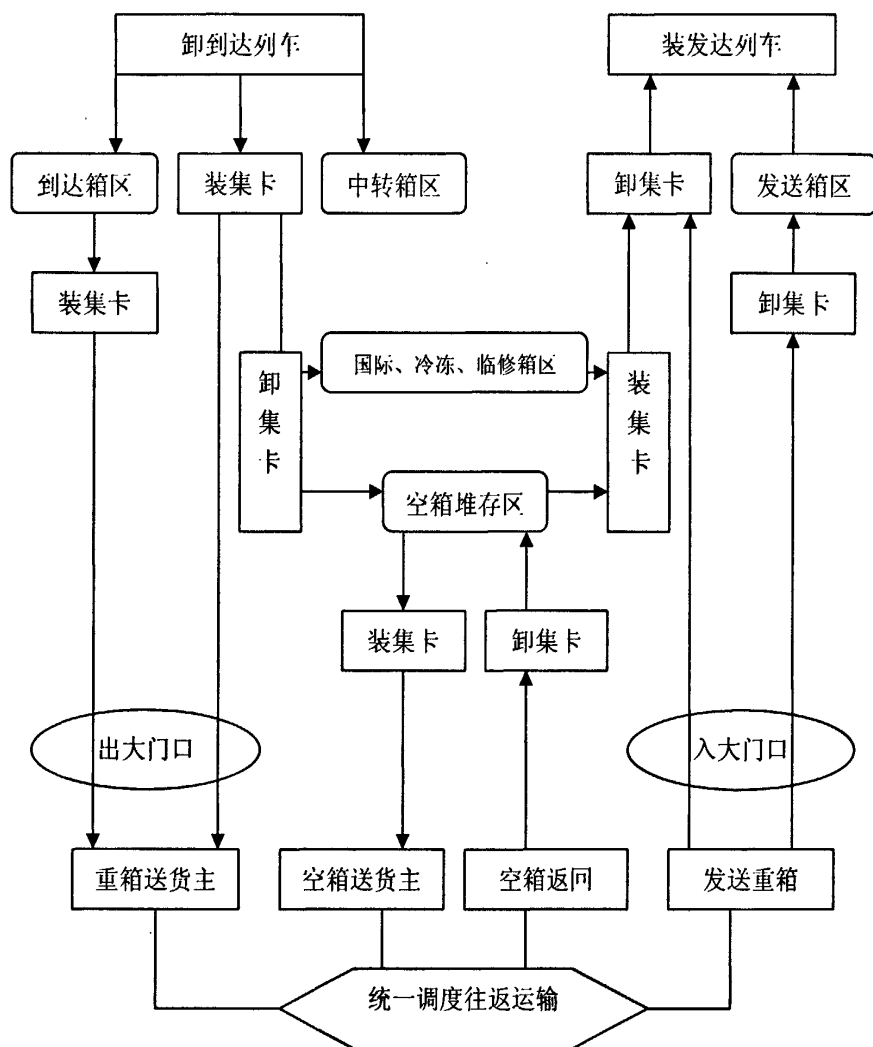


图 2-3 集装箱堆场管理作业流程

#### 2 堆场大门管理

在集装箱堆场物流系统作业流程图中，可以看出大门管理在作为一个单独的部分在整个系统管理中有很重要的作用。大门是集装箱堆场的出入口，通过大门交接集装箱、集装箱货物和集装箱货物的各种单据。大门是堆场系统管理中最关键的环节之一，是很多堆场操作得以顺利进行的前提之一。其管理的核心是对集装箱和货物进出场站进行高效，准确的控制。大门的工作主要是：控制车辆进出场，对于进场的集装箱检查箱体是否完好，若有破损则需要录入破

损记录，录入进场车辆和货物信息；对出场的货物和集装箱进行核对；打印入站操作条；打印出场货物交接单等。其作业流程如下：

### （1）进场箱作业

对进场的集装箱通过大门时，由地秤自动测定其重量，根据该重量和箱属性，靠计算机确定堆场内该集装箱应该放置的箱位，然后由大门交给卡车司机一张带有箱位号码的门票，卡车司机必须按指示的计划把集装箱放在指定的箱位上。

### （2）出场箱作业

承运人从堆场提取集装箱时，由空卡车到达大门，提交提货单给大门，计算机确定提货单内指定的集装箱的箱位位置，计算最优提箱计划，然后由大门交给卡车司机一张带有箱位号码的门票，卡车司机必须按指示的计划到指定的箱位位置提取集装箱，提取集装箱后，卡车到大门处经审查放行离开堆场。提空箱一般根据单证上的要求与大门已存信息进行发箱。

## 3 集装箱进场业务描述

集装箱进场的过程需要堆场多个管理部门的管理人员流水线一样的作业。进场流程图如图 2-4 所示。

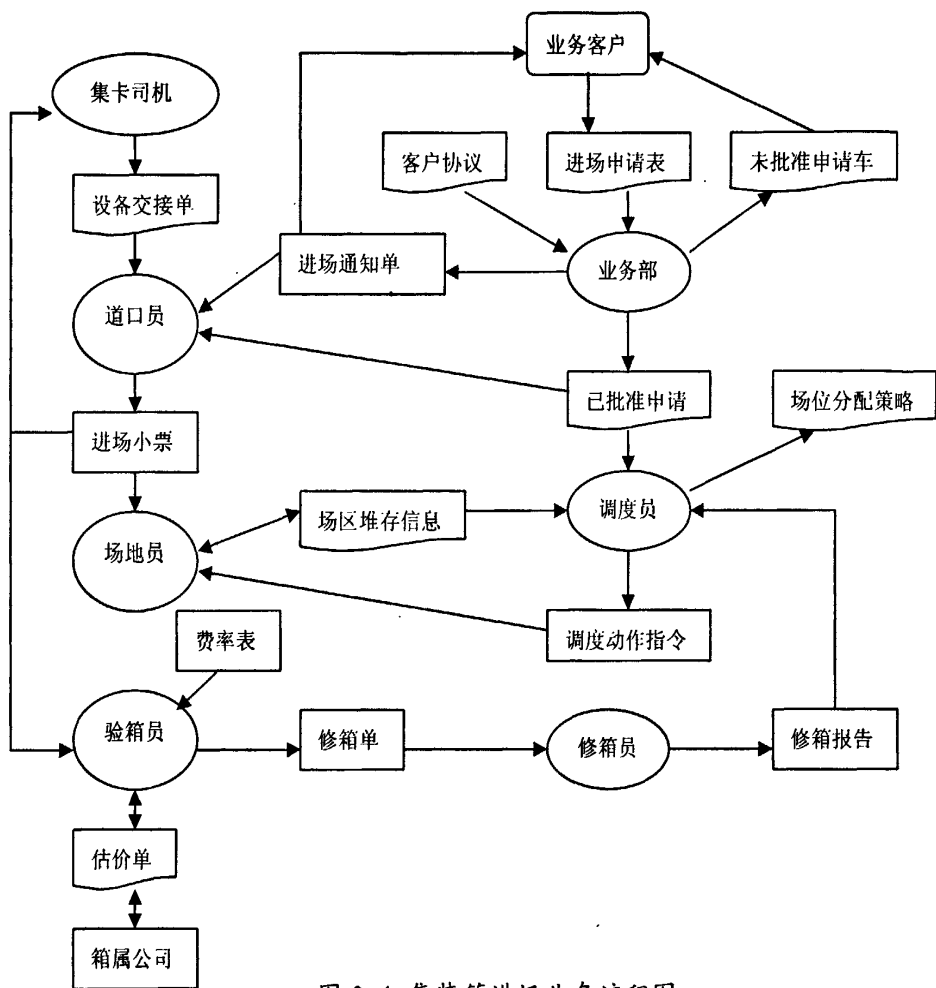


图 2-4 集装箱进场业务流程图

从图中可以看出，集装箱进场管理主要有以下几个管理功能：

(a) 业务部登记进场申请单，并由相关人员根据堆存区使用情况、出场计划情况以及客户协议信息，对进场申请业务进行审核，反馈给客户，同时交给道口员和场地员(告知需要做好准备工作)或由计算机录入员录入信息。

(b) 调度员根据已经审批通过同意进场的业务信息、场位使用情况、出场计划情况等信息制作调度动作指令单，并发送到场地员处。

(c) 进场道口员根据集装箱进场业务信息和设备交接单，将实际集装箱进场信息输入计算机，核对是否有入场申请，更新填写相关的实时信息，打印进场小票。否则，应进行临时申请。同时，根据箱体检查的结果，判断是否要进行修箱的操作，如果需要及时修箱，应通知修箱部门。

(d) 场地员核对进场小票和指令信息，并根据计算机信息安排集装箱装卸车驾驶员将集装箱放入指定的箱位，并在装卸操作完成后将箱位的实际信息(比如某个箱位发生了变化)反馈给场站计划调度员。

(e) 验箱员检查进场集装箱,如是坏箱、污箱,做好检查状态标记后,送修箱场地,并及时通知场地员修改计算机中集装箱状况信息。

#### 4 集装箱出场业务描述

集装箱出场业务的操作基本与进场一致,如图 2-5 所示。

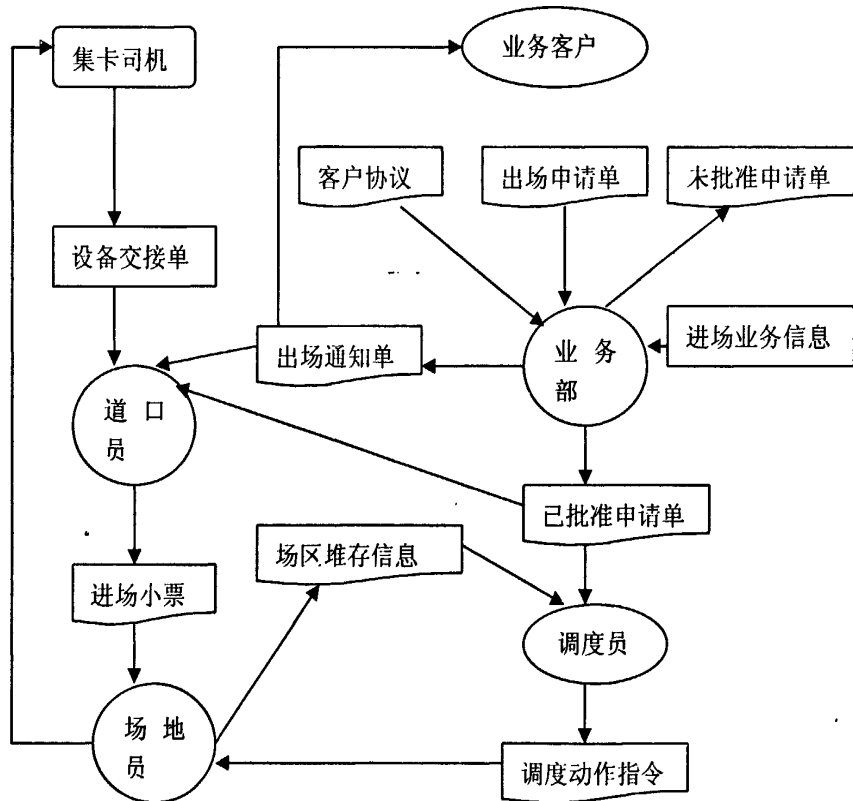


图 2-5 集装箱出场业务流程图

以下主要阐述集装箱出场的业务流程说明:

(a) 业务部根据集装箱出场申请单(由三个来源:道口员、无须通过道口的自有车队和客户),并由相关人员根据进场业务和场地堆存信息进行审核,反馈给客户,同时交给计算机输入员、场位收发箱员和道口员。

(b) 调度员根据已经审批通过同意进场的业务信息、场位使用情况、出场计划情况等信息制作调度动作指令单,并发送到场地员处。

(c) 场位员根据计算机信息和出场凭证内容收发集装箱,并将场位实际信息反馈给场站调度员。

(d) 出场道口员根据场位员签章后的出场凭证,将出场计划单内容,实际出场箱号与计算机信息核对无误后放行。

2.3.3 集装箱堆场箱的作业与状态转换

集装箱堆场箱的作业包括卸车/船、拆箱、移箱、装箱、装车/船，箱的状态有待卸箱、待拆箱、空箱、待发箱、已发箱。状态的转换与作业如图 2-6 所示。

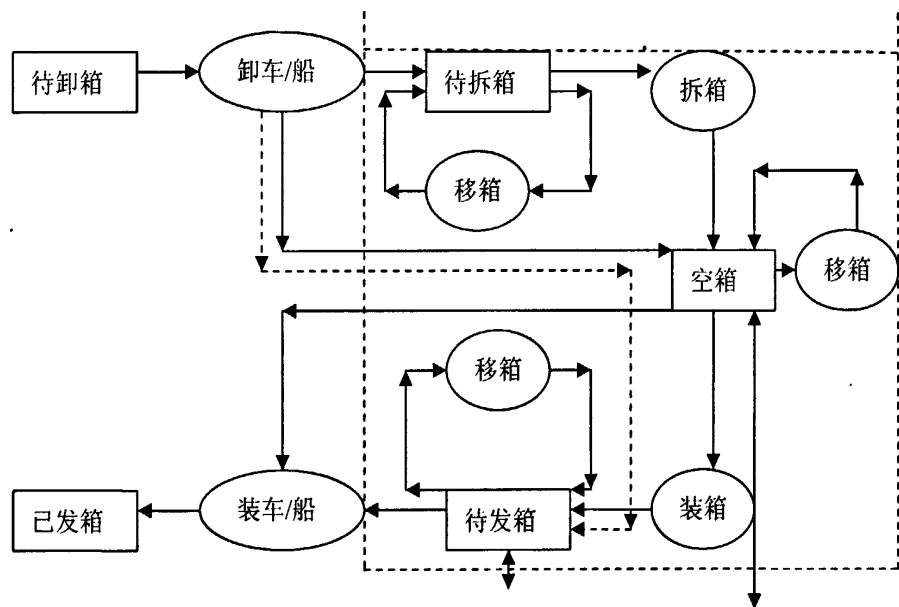


图 2-6 集装箱状态转换图

图中虚线框内的箱状态是在堆场内的状态。另外检修箱（坏箱）是空箱中的一部分，集中放置于检修区内。中转重箱无待拆箱状态，卸下的重箱直接转换为待发箱（虚线箭头）。

2.4 倒箱作业原因

倒箱作业是指因受一定因素的影响而发生的对集装箱箱体的重新堆码或放置。倒箱作业往往伴随有箱体的搬移过程，箱体可以复原位，也可以不复原位。这是一种浪费人力、物力、财力的作业方式，因此必须对其进行必要的控制。以港口为例，主要是由于堆场计划做得不好和码头不可控制的随机因素影响等原因而导致堆场常发生倒箱。其原因主要有以下五点：

- （1）不同船名、航次的重箱混合进场。
- （2）船公司临时改变某集装箱的航次或目的港。
- （3）不同重量级的集装箱混合堆放。
- （4）为方便中途挂港而在船上倒箱。
- （5）特殊箱型的重箱由于在船上有比较固定的位置，装卸作业前必须在堆

场内单独堆放，以便于装箱，从而导致倒箱，如冷藏箱、危险箱、框架箱等。

以上原因是针对港口码头独有的特点而产生的。在铁路集装箱堆场中，由于铁路上办理的运输货物大多为大宗货物以及铁路独特的运输方式（长链型的、一个车厢位放置一个集装箱），因此在进行集装箱码放作业时，应尽量避免倒箱，或使得倒箱的次数降至最少。但产生倒箱的原因也类似于港口码头产生倒箱的原因，归纳如下：

- （1）由于工作人员的疏忽，将不同属性的集装箱混合放在一起。
- （2）货主单位临时改变其原来的运输计划，包括提箱码箱数量和种类等。
- （3）装有货物的重箱因其集装箱发生意外破损需进行检修而产生换装倒箱。
- （4）由于特殊箱型的重箱的位置要求而产生的倒箱。

为此，在实际生产作业过程中，首先要求工作人员工作严谨，认真做好每一步工作，把好每一关；其次，对需要改变原运输计划的货主单位应要求其提前一段时间告知堆场负责人，以便更好的安排堆场工作；再次，在集装箱送入堆场的过程中，应严格提前检查集装箱的状态，避免待其码放后因箱体的损坏等事由而产生倒箱作业；最后，对于特殊箱型的重箱应预先安排好箱位，且与普通箱分开堆放。然而，在注意上述各方面的要求后，避免倒箱的最重要的举措就是做好堆场码放计划使得整个作业中不管是码箱作业还是提箱作业都顺畅，从而提高堆场作业效率，避免人力、物力、财力的浪费。

## 2.5 本章小结

本章第一节对堆场的相关业务进行了介绍，对堆场作业中经常出现的相关名词进行了解释，着重介绍了集装箱的分类，通过对各种不同类型的集装箱的介绍，对于不同类型的集装箱的堆放要求不同。因此在实际操作中要考虑到集装箱的类型和集装箱中装载货物的要求，进行操作。在第二节中，首先主要介绍了集装箱运输办理流程，经过了托运人申请，铁路局审批后获得空箱，将自备空箱和铁路空箱装上托运货物交付铁路装车运送的过程；接着介绍了集装箱堆场作业的过程，从整个集装箱堆场管理系统作业流程分别分析到堆场大门管理、进场作业流程、出场作业流程，对整个堆场作业流程进行了详细的分析；最后介绍了堆场中集装箱状态的转换，分析了集装箱在经过堆场作业后在堆场中的状态变化。本章第三节在第二节的分析集装箱堆场管理流程的基础上，总结出了港口码头作业和铁路堆场作业产生倒箱的原因，提出了铁路堆场作业过程中出现的问题，为第三章集装箱堆场码垛模型的建立提供了理论上的根据。

### 第三章 集装箱堆场码垛作业数学模型

集装箱堆场作业管理的核心就是集装箱堆场码垛作业，直接影响和决定着堆场的效率，从而影响整个集装箱运输能力。在堆场上，现场技术人员本着尽量使得大多情况下取箱码箱作业顺畅，尽量避免倒箱的原则制定堆场码垛计划，堆场工作人员再根据堆场码垛计划对现有箱进行合理码放和提取，这样就共同完成了集装箱堆场码垛作业。

#### 3.1 堆场划分

##### 3.1.1 集装箱堆场的总体分布

铁路车站、港口、物流中心一般设有多个集装箱堆场，每个堆场的大小形状不一，功能不同，堆放数量不等，典型的集装箱堆场如图 3-1。

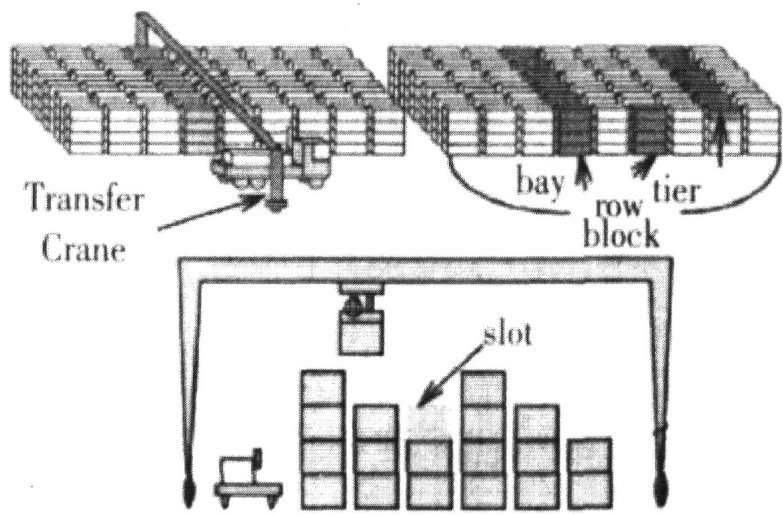


图 3-1 堆场整体立体分布图

箱码垛层数取决于机械能力和操作限制，如门吊允许 4 层或 5 层，正面吊超过 3 层时操作人员无法对准上面的箱等，一般为 3 层，拆箱和装箱作业区只有 1 层。于是，堆场名、堆名、位名、层数共同标识箱在堆场中的准确位置。

为更好的了解集装箱堆场的分布，截取了部分集装箱区的平面图，集装箱堆场整体平面示意图如图 3-2 所示。



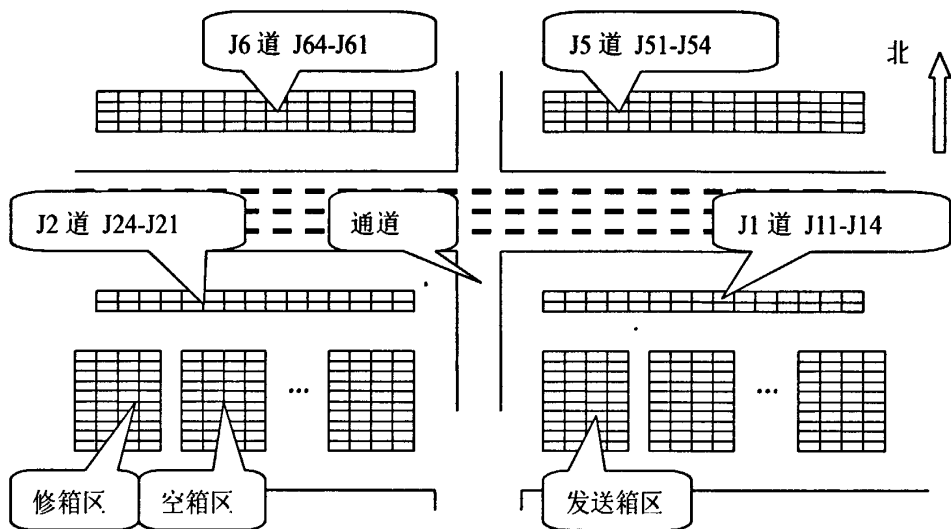


图 3-2 物流中心集装箱堆场平面

集装箱堆场被铁路和通道整体上分为 4 个区域。铁路以北通道以西有 4 个堆，从通道处开始排列，分别是 J61、J62、J63、J64。铁路以北通道以东有 4 个堆，从通道处开始排列，分别是 J51、J52、J53、J54。铁路以南通道以西有 4 个堆，从通道处开始排列，分别是 J21、J22、J23、J24。铁路以南通道以东有 4 个堆，从通道处开始排列，分别是 J11、J12、J13、J14。以上 J11-J64 均为到达箱区，共 16 个堆。堆场示意图下部分布一些较大堆，分别为修箱区、空箱区、发送箱区。

3.1.2 堆场的分区

为了充分发挥堆场物流系统的整体效能，选择经济实用的装卸机械，在铁路集装箱堆场中我们将堆场分为大宗货物放置区和零散货物放置区，然后按作业流程合理划分箱区、箱位及场内道路，尽量减少作业的交叉干扰。箱区分类按集装箱货物运输性质分为：发送箱区、到达箱区、国际箱区（海关监管区）、冷藏箱区、专用箱区、空箱区、备用箱区、检修箱区、清洗及消毒箱区。

1 空箱堆存区

主要用于堆放没有装载货物的集装箱，掏箱完成后将空集装箱按铁路集装箱或者货主自备箱分开码放，装箱前从空箱堆存区调出符合装载条件的空箱。

(1) 规划方式

手工方式 堆场管理由堆场管理员手工选择数据来源，手工管理；

半自动方式 可以由计算机系统辅助工具搜索分配进场箱的箱位；如果堆场中的预设的箱位已满，则系统可以根据箱条码自动寻找合适的箱位。

(2) 堆场规划的数据来源为提前委托(已确认)和预测(不包含委托的数据)。

提前委托可以按件选择,例如:某时间段内的委托、某船公司的委托等。预测数据是相对箱公司每天进出场的箱数量。

(3) 堆场规划的结果根据选择的委托、预测以及集装箱箱条码,系统可以自动计算出进场箱应该码放的进箱倍,用列表形式按照船公司、箱型、尺寸等属性分组。若计算结果没有符合条件的箱位,则提示哪几个倍需要并垛。成为进箱倍的条件是与箱条码相符合,且箱位未满;若有多个满足条件则选择箱数量较少的倍;如果没有箱位,则选择其它空倍,优先选择上次出空时与进场箱的属性一致的空倍,尽量离当前进箱倍最近的倍。

#### (4) 进场箱箱位指派原则

- (a) 首先根据客户的箱位要求,规划员可以人工指定进场箱的箱位;
- (b) 如果没有指定,则进场箱只能进进箱倍;
- (c) 若进箱倍已满,可以报警,并重设条件找到位置。

### 2 拆装箱区

根据集装箱运输要求的不同,将需要在堆场进行掏箱的集装箱运送到该区进行拆箱作业。然后将货物码放在指定位置,等待货主提取。一般进行拆箱作业的集装箱有两种,一种是拼箱运输的货物,一种是整箱运输货物。

### 3 制冷区

根据重箱集装箱中装载的货物要求,需要将重箱存储在温度低的区域,备箱时,将有低温储存要求的重箱直接放在该区,在制冷区既有到达箱也有待发箱,堆场调度员手工指定位置,机械作业完成后记录位置。

### 4 残箱区

在对集装箱进行检验,验出的残箱,不同尺寸分别存放入残箱区,机械作业完成后进行记录。

### 5 修箱区

当对进场箱检验出坏箱后,箱管理人员、修箱人员安排进场箱进入修箱区,调度员手工指定位置,码放作业完成后记录其箱位,在该区域里进行修箱。

### 6 重箱堆存区

重箱进场时,在作业完成后记录其码放的箱位;对不同尺寸的要分开存放;可以按照是否指定相同船公司、同一船名航次单独堆码;进场重箱分配箱位时,尽量按照同一提箱单上的集装箱堆放在一起,在论文中是设计不同属性的集装箱分开码放。

### 7 暂存区

暂存的集装箱进入该区域,不进行掏箱作业,机械完成后记录位置,不同尺寸要分别存放。

在上述 7 个分区中描述到的作业都是传统的手工半自动的作业方式，在传统作业方式分析的基础上，发现了传统作业方式的一些弊端，比如各项作业流程的不连贯，人工操作出现的误差多、冗余的作业操作、不合理作业等等。为了解决这些传统作业的问题，必须采用自动化的管理方式，下面对实现自动化堆场管理中的一个重要环节—箱位管理进行设计，建立集装箱堆场码垛模型。

## 3.2 基本规则

### 3.2.1 概念

在本文中会用到的相关概念如下：

(1) 属性箱 各堆场负责人根据集装箱堆场内集装箱的属性特征，如货主单位、到站名、装箱货物品种、尺寸等，所确定的以某一属性 A 作为该集装箱的主要属性特征，该类的集装箱就称为属性箱 A。

(2) 堆垛 本文中指在集装箱堆场中，底层只有一个集装箱，且有其他集装箱垂直堆叠在其上面达到某一高度后形成的立体实位。

(3) 压箱作业 模型中指分属不同的集装箱堆叠在一起的作业。

(4) 自由箱 指不被其他分类属性箱压住的箱。

(5) 半自由箱 指虽被其他分类属性箱压住，但是存在相同分类属性的箱。

(6) 非自由箱 指既被其他分类属性箱压住，且不存在相同分类属性的自由箱的箱。

(7) 自由度 模型中指堆场中某箱位的自由程度，用  $f(x,y,z)$  表示，但是因箱位特征的不同，其自由度也将不同。

(8) 优先置顶原则 指在集装箱码垛作业过程中，将分属于同一属性的集装箱优先码放到同一堆垛上，并尽可能的接近堆场允许的最大码放层数 C，当达到最大码放层数 C 时，若还有同属性的集装箱剩余，则再按照同样的原则码放到另一堆垛上，直到将该属性的集装箱全部码放完为止，最后得到的效果是同一属性的集装箱是集中码放在一起的，且占堆场底层面积最少。

(9) 一重压箱 指在堆垛的同一列中两个不同属性的箱叠压，二重压箱指同一列中三个不同属性的集装箱叠压，依此类推可以得到三重压箱的概念。

### 3.2.2 基本假设

集装箱码垛作业是一项复杂的作业问题，涉及很多的制约因素，因此为了简化问题，突出问题的核心部分，本文在进行码垛作业优化时进行如下基本假设：

(1) 本文中考虑的集装箱均为通用型集装箱,即是用来运送普通成件有包装的货物,而不考虑运送特定货物的专用集装箱,如罐装集装箱、冷藏集装箱、牲畜集装箱等。

(2) 集装箱的规格尺寸一样,如都为 20 英尺集装箱,暂不考虑 40 英尺集装箱。

(3) 集装箱的属性划分已确定,但其划分是由各堆场负责人根据堆场上集装箱的属性特征确定的,可不同也可相同。码放时,尽量按照同一货主同一到站同一品种货物同一尺寸的集装箱集中堆放在一起的原则进行。

(4) 堆场上用于集装箱装卸作业的机械设备类别、作业方式和能力已知。

(5) 不考虑集装箱所在的堆垛列的位置与高度的不同,均视为一个起吊作业。

(6) 对于某个特定的集装箱堆场,由地面硬化程度和机械作业的能力能够确定堆场码放的最高层数  $C$ ,同样由于场地面积的限制,也能获知该堆码放的最大倍数  $B$  和码放的最大列数  $L$ 。总的来说可以得到该堆场可用的堆场空间示意图。

### 3.2.3 堆场使用规则

在实际码箱和提箱作业中,所考虑的制约因素通过规则来描述,从而确定模型的可行解位置应满足的约束条件。本模型算法中主要规则如下:

(1) 堆场地层未布满前,不产生压箱作业,即所有集装箱均为自由箱,理论上是可以任意码放和提取的。但为充分利用堆场空间,提高堆场的使用效率,在不产生压箱作业的前提下,就要求在有限的空间上码放尽可能多的集装箱,此时采用优先置顶原则进行码放作业。

(2) 堆场底层已布满,但仍有不同属性的剩余集装箱,则此时必然产生压箱作业。

(3) 当必然产生压箱作业时,作业过程中,是按照堆场中各堆垛压箱数依次增加的顺序码放的。即只有在堆场中各堆垛都已经产生一重压箱时,无法有空闲箱位来满足一重压箱时,才产生新的压箱数,使压箱数增加。

(4) 设备(叉车、龙门吊、正门吊)类型不同,其作业方式不同,在堆场上能够作业的位置也不同,对码箱和提箱的目标位置及设备移动路径必须是设备能够作业的。

(5) 20 英尺箱和 40 英尺箱不能码放在同一倍上。

(6) 对不可压的箱型(如牲畜箱等),上面不可再放集装箱。

(7) 堆场的空间必须能够满足该堆场所负责的集装箱码放空间需要。因此,

得到的需码放或提取的集装箱的目标位置不能超出该堆场的空间范围。

3.2.4 堆场集装箱码垛形式

尽管在实际中，出入堆场内的大宗集装箱都是一批一批的，但在实际码放和提取时都是一个一个箱进行。所以当需要作业的某批次集装箱的数量大于 1 时，将看成单箱的多次操作。例如需码放 5 个集装箱，则将其看成五次集装箱码放作业。类似，当为集装箱提取作业时做同样操作处理。常见的三个码垛作业方式如图 3-3 所示。

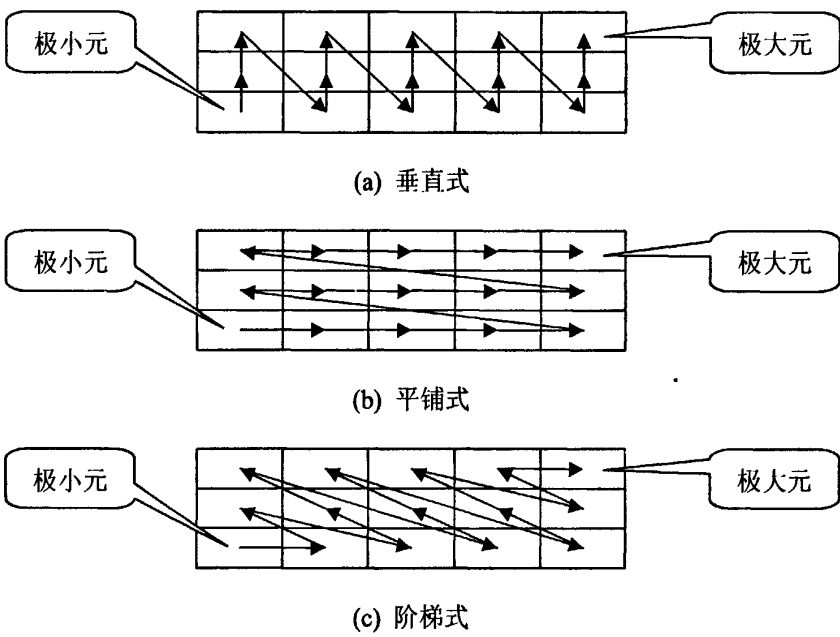


图 3-3 箱小区码箱顺序示意图（侧视）

在图中极小元表示箱小区码（取）箱顺序表中第一个箱位，极大元表示最后一个箱位。在本文集装箱码垛采取垂直式码垛方式。

3.3 大宗货物集装箱堆场码垛模型

3.3.1 约束条件

首先，对于某个给定的堆场，其可用于堆放集装箱的底层面积划分是确定的，且由地面硬化程度和装卸机械的作业能力等因素能够确定该堆场的最高码放层数  $C$ ，当堆场中某集装箱码放至某高度层数时，我们在此处用正整数  $Z$  表示其码放的层数， $Z \in [1, C]$ 。例如在图 3-4 中，该图表示某堆场底层的箱位划分图。

从图中可得知现实中堆场的可以是规则的也可以是不规则的，图中每个格子中的数字坐标表征该箱位在底层平面的投影。如（1，1）表示该堆垛层上的集装箱在底层的坐标。通过堆场底层箱位的划分和各箱位平面坐标的表示，对于某个堆场来说，用  $X$  表示箱位在底层投影坐标中的正整数横坐标可取的集合范围， $Y$  表示箱位在底层投影坐标中的正整数纵坐标可取的集合范围。 $X \times Y$  表示由两个集合  $X$  和  $Y$  中的元素构成的笛卡尔乘积。在本模型中用  $(x,y)$  表征某堆垛层在底层的投影坐标，其中  $x \in X, y \in Y, (x,y) \in S, S \in X \times Y$ 。那么通过堆场底层坐标的表示和堆场最大码垛高度的确定，对于堆场中码放的某个集装箱，可用  $(x,y,z)$  表征其在堆场中的空间位置。

(5, 1)	(5, 2)	(5, 3)	(5, 4)	(5, 5)
(4, 1)	(4, 2)	(4, 3)		
(3, 1)	(3, 2)	(3, 3)		
(2, 1)	(2, 2)	(2, 3)	(2, 4)	
(1, 1)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(1, 5)

图 3-4 某堆场底层箱位划分图

在上面的定义中，箱位的空间位置  $(x,y,z)$  仅表示该集装箱在某个箱区的具体位置。对于整个堆场的集装箱箱位用函数  $p(a)$  表示箱  $a$  的位置。

对于堆场集装箱位置的自由度  $f$ ，现在详细介绍自由度的相关内容。对于堆场中的集装箱箱位：

- （1）当该箱位有箱放置，且没被其他箱压住，但该堆垛未码放至最高层时，则定义该箱位的自由度  $f$  为 1；
- （2）当该箱位有箱放置，但被其他箱压住，但不在都为同一属性箱堆叠的堆垛中，且该堆垛未码放至最高时，则该箱位的自由度为压住它的集装箱箱位的自由度的  $k$  倍；
- （3）当该位置无箱放置，且其下部有箱堆放或者是该位置上有暂扣标记时，该箱位的自由度  $f$  为 0；
- （4）当该位置有箱放置，且位于全为同一属性箱堆叠的堆垛中，并且该堆垛已码放至最高层时，则该箱位的自由度  $f$  为 2；
- （5）当该箱位及其上下部均无箱码放时，该箱位的自由度  $f$  为 3。

其中对  $k$  的定义如下：

- （1）当码放在该箱上的相邻集装箱为同属性集装箱时， $k$  为  $\alpha$ ；
- （2）当码放在该箱上的相邻集装箱为异属性集装箱时， $k$  为  $\beta$ 。
- （3） $\alpha$ 、 $\beta$  的范围定义为  $1 > \alpha > \beta > 0$ 。

综上，得到自由度的定义如下：

$$f(x,y,z)=\begin{cases} 1 \\ kf(x,y,z+1) \\ 0 \\ 2 \\ 3 \end{cases}$$

该位置有箱放置，但没被其他箱压住，且不在已由同一属性箱堆叠至最高层的堆垛中

该位置有箱放置且被其他箱压住，但不在已由同一属性箱堆叠至最高层的堆垛中

该位置无箱，但其下部有箱放置或者有暂扣标记

该位置有箱，且在已由同一属性箱堆叠至最高层的堆垛中

该位置及下部均无箱放置

其中 k 的定义如下：

$$k=\begin{cases} \alpha \\ \beta \end{cases}$$

码放在该箱上的相邻箱为同属性

码放在该箱上的相邻箱为异属性

$$1>\alpha>\beta>0$$

为了更好的阐述自由度，在定义的自由度中是基于每个箱区定义的，也就是说定义中涉及到的 (x,y,z) 是在某个箱区的箱位。下面举例说明部分箱位的自由度。在下图中的六个子图中，A、B 代表两种不同的属性，将其标注在箱位的上部，表明该处已码放了集装箱，且赋有各自的属性类别；未标注的箱位表明其为空箱位。根据上述的集装箱箱位自由度定义，我们可以得到各个箱位的自由度，现已将图中各箱位的自由度标注在箱位的下部，如图 3-5 所示。

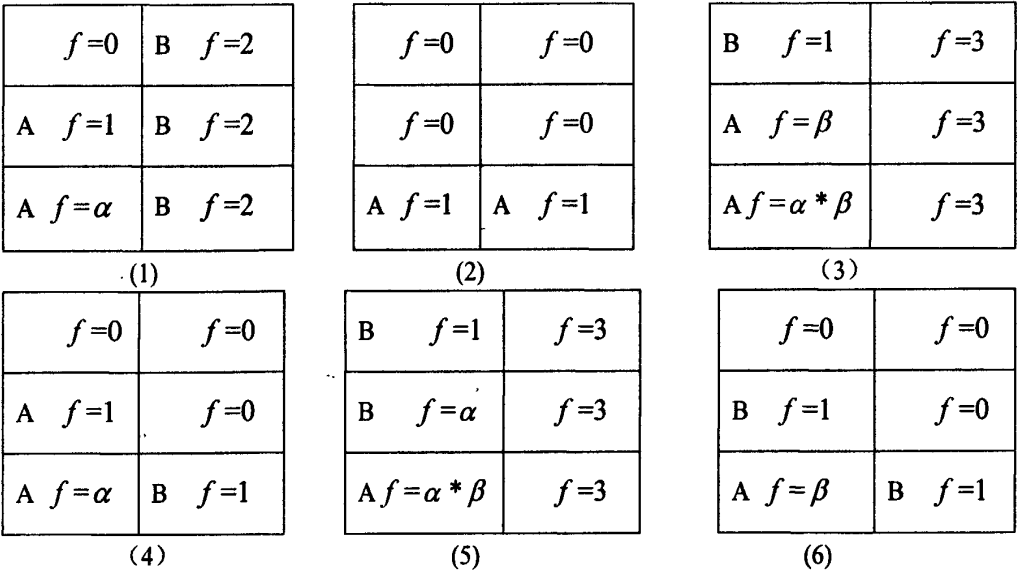


图 3-5 箱位自由度说明图

在大宗集装箱中给每个集装箱箱位定义自由度后，堆场上对集装箱的码放

或提取作业，将直接影响堆场上原有集装箱的自由度。当码放作业时，将使堆场上原有集装箱箱位的自由度降低，而使新加入的集装箱附上自由度；当为提取作业时，将使堆场上原有集装箱箱位自由度升高，且可能使得堆垛列上无箱放置的情况越来越多。

### 3.3.2 数学模型

上述基本假设、模型算法的描述和码垛规则及约束条件的描述为模型的建立做了很好的铺垫，模型的目标是，尽可能的避免倒箱作业，即使存在倒箱，其次数也将是最少的。通过堆场中各箱位在堆场可用空间范围内为约束条件建立模型。为了避免堆场箱码放零乱，以及出现多个最优解的情况，我们将堆场逻辑上合并，划分为若干区域，例如文中对堆场的划分为：发送箱区、到达箱区、国际箱区、冷藏箱区、专用箱区、空箱区、备用箱区、检修箱区、清洗及消毒箱区等，称为箱大区。然后对于每个箱大区根据分类属性结合以往货流，划分为 5 个箱小区。在定义自由度中是对于每个箱位来定义的，对于箱位  $(x,y,z)$  的空间定义是箱小区中某个箱位的空间位置，此时将箱大区和箱小区两个方面的分类属性集合称为广义分类属性，用  $h(a)$  表示箱  $a$  的的广义属性， $p(a)$  表示箱  $a$  所在箱位(前面定义过)。 $h(p(a))$  表示该箱位的广义分类属性。

在考虑到箱分区的同时，为了避免同时出现多个最优解，在箱小区码垛时采用图 3-3(a)的垂直码垛式。定义  $D$  为所有箱小区集合； $R(d)$  为箱小区  $d$  的码放顺序； $q(d)$  为箱小区  $d$  的箱位集合； $g(R(d),y)$  为箱小区  $d$  中，箱位  $y$  关于  $R(d)$  的序号，从极小元开始，依次取值为  $g(R(d),y)=1,2,3,\dots$ 。

在堆场作业操作中，为保证“先进先出”的原则，对每个箱位设置“暂扣”标记，码箱时优先那些无“暂扣”标记的空箱位，如果找不到再考虑有“暂扣”标记的空箱位。在不违反“先进先出”等原则下，使整个堆场码箱提箱作业合理。

于是，归结堆场集装箱码垛模型如下：

$$\max F = e \sum_{p(y) \in q(d)} f(p(y)) + \sum_{d \in D} \sum_{y \in q(d)} h(y) g(R(d), y) L(y) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } h(b) - h(p(y)) = 0 \quad b \text{ 为待码箱} \quad (2)$$

$$L(y) = \begin{cases} m_1 & \text{箱位 } y \text{ 有暂扣标志} \\ m_2 & \text{箱位 } y \text{ 无暂扣标志} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{其中 } m_1 > 0, m_2 > 0, \text{ 且 } m_1 < m_2 \quad (4)$$

$$e = \begin{cases} 1 & \text{码箱作业} \\ 0 & \text{提箱作业} \end{cases} \quad (5)$$



式中变量定义如下：

$f(p(y)) = \begin{cases} 1 & \text{该位置有箱放置，但没被其他箱压住，且不在} \\ & \text{已由同一属性箱堆叠至最高层的堆垛中} \\ \alpha f(x,y,z+1) & \text{该位置有箱放置且被其他箱压住，但不在已由} \\ & \text{同一属性箱堆叠至最高层的堆垛中} \\ 0 & \text{该位置无箱，单其下部有箱放置或者有暂扣标志} \\ 2 & \text{该位置有箱，且在已由同一属性箱堆叠至最高} \\ & \text{层的堆垛中} \\ 3 & \text{该位置及下部均无箱放置} \end{cases}$

在大宗货物码垛操作中由于不存在不同属性的集装箱，因此在目标函数(1)中的自由度的就不存在异属性的箱叠压情况。

3.4 零散货物集装箱堆场码垛模型

3.4.1 概念及参数定义

在零散货物集装箱堆场的管理过程中，同一属性的集装箱数量都是非常小的，根据我们以往的经验，我们总是希望同属性的的箱能够放在一起，不同属性的箱不要相互叠压，这样就避免产生倒箱作业。但是在零散货物的管理中，不同属性的箱叠压是不可避免的，我们希望一个栈内被压的箱少，多个属性相互叠压的情况少，同时压住的其它属性箱多的箱应先被取走。

为了更好的描述这个问题，在基于与大宗货物集装箱堆场码垛模型的码垛规则和约束条件相同的情况下，我们对于零散货物中的集装箱定义了叠压度的 $Q(x,y,z)$ ，其中 $(x,y,z)$ 表示箱的空间位置，定义和前面相同，不同是前面定义的自由度是针对堆场中的每个箱位，而此处定义的叠压度是针对堆场中的实箱位。首先介绍叠压度 $Q$ ，叠压度 $Q(x,y,z)$ 表示在同一堆栈中 $z$ 层以下不同属性的箱相互叠压的次数，对于堆场中的集装箱：

- (1) 在堆场中最底层的集装箱或该位置上无箱放置，定义其叠压度 $Q$ 为0；
- (2) 该箱位上有集装箱放置，该箱位上的集装箱属性与它下一层压住的集装箱属性相同时，该箱位的集装箱叠压度为它下一层压住的集装箱的叠压度；
- (3) 该箱位上有集装箱放置，该箱位上的集装箱属性与它下一层压住的集装箱属性不不同时，该箱位的集装箱叠压度为它下一层压住的集装箱的叠压度加上1。

综上所述，叠压度的定义如下：

$$Q(x,y,z)=\begin{cases} 0 & z=1\text{或该位置上无箱放置} \\ Q(x,y,z-1) & z>1\text{且该箱位的属性与它所压住的箱属性相同} \\ Q(x,y,z)+1 & z>1\text{且该箱位的属性与它所压住的箱属性不同} \end{cases}$$

下面举例说明叠压度。设实际中有一个集装箱堆场的某个栈内的箱的码放状态如图 3-6,, 其中 A、B、C 表示箱的不同属性, 且图中的上下关系反映了实际的箱的叠压关系。

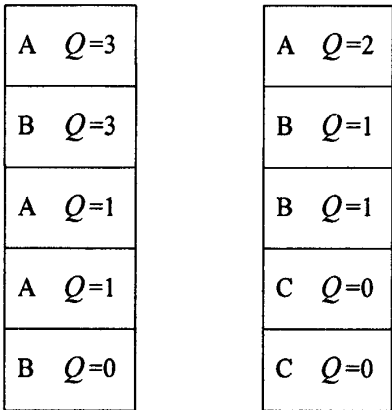


图 3-6 箱叠压度说明图

根据叠压度的定义及零散货物中码垛的模型, 在每次码箱后对原来的每个箱位的叠压度没有影响, 因此在码箱操作过程中只需要求出每个堆栈的叠压度得最大值  $F(x,y)$ (即该堆栈中最高层实箱位的叠压度)。  $F(x,y)$  定义如下:

$$F(x,y)=\max_{i=1,2,3,\dots,z} Q(x,y,z)$$

3.4.2 模型数学

仿照大宗货物的模型, 对整个零散货物区设置码箱顺序表, 根据上述的基本假设、约束条件以及堆场码垛规则等, 建立了如下模型, 建立本模型的目的是在不违反“先进先出”的原则下使得零散货物中集装箱的相互叠压尽量减少, 以减少倒箱作业。该模型为

$$\min S=e\sum_{x=1}^X\sum_{y=1}^Y F(x,y)-\sum_{d\in D}\sum_{y\in q(d)} h(y)g(R(e),y)L(y)$$

(6)

s.t.  $h(b)-h(p(y))=0$        $b$  为待码箱

(7)

$$L(y)=\begin{cases} m_1 & \text{箱位}y\text{有暂扣标志} \\ m_2 & \text{箱位}y\text{无暂扣标志} \end{cases}$$

(8)

其中  $m_1>0,m_2>0$ , 且  $m_1<m_2$

(9)

$$e = \begin{cases} 1 & \text{码箱作业} \\ 0 & \text{提箱作业} \end{cases} \quad (10)$$

式中的变量定义:

对于零散货物区的集装箱箱位就用 $(x,y,z)$ 表示, 其中  $x \in Y, y \in Y, g(r(e),y)$  表示的是零散货物区的码箱顺序。

### 3.5 本章小结

在大宗集装箱中给每个集装箱箱位定义自由度后, 堆场上对集装箱的码放或提取作业, 将直接影响堆场上原有集装箱的自由度。当码放作业时, 将使堆场上原有集装箱箱位的自由度降低, 而使新加入的集装箱附上自由度; 当为提取作业时, 将使堆场上原有集装箱箱位自由度升高, 且可能使得堆垛列上无箱放置的情况越来越多。在零散集装箱中给每个集装箱箱位定义叠压度后, 堆场上对集装箱的码放作业, 对堆场上原有集装箱的叠压度没有影响, 而使新加入的集装箱附上叠压度。堆场上对集装箱的提取作业, 对原有箱的叠压度没有影响, 只是使堆垛列上无箱放置的情况越来越多。

在系统全面的分析了集装箱的特性和堆场的相关设备和相关作业后, 为使得在大多数情况下对集装箱码放提取作业顺畅, 尽量避免倒箱或使得倒箱次数降低。首先, 将堆场码放的过程分为若干阶段。以大宗集装箱为例, 第一阶段, 堆场上有剩余位置空间, 即堆场底层未布满。此时的目标是 尽量不产生压箱作业, 即根据优先置顶原则, 将同属性的集装箱集中码放, 使得堆场上码放尽可能多的集装箱, 提高堆场的利用率; 第二阶段, 由于不同属性的集装箱在堆场的码放, 占据了堆场的底层空间。当新进入的集装箱的属性 and 堆场上集装箱属性不同时, 则将新入箱放置在该属性箱可放的空间位置上; 当无同属性箱的位置或新入箱属性和 堆场上所有属性都不同时产生压箱作业。通过对堆场大宗货物集装箱自由度的定义, 考虑码箱和提箱作业对各自由度的影响, 以追求堆场上集装箱的位置总自由度之和最大, 来得到该新进入的集装箱可放的位置或位置集合, 然后按照得到的结果码放或提取该集装箱, 得到集装箱堆垛情况的一重压箱; 第三阶段, 随着码箱和提箱作业的进行, 当堆场上已不能满足一重压箱时, 需产生二重压箱, 类似第二阶段, 由堆场上集装箱位置自由度最大来限制约束得到集装箱可码放或提取的位置; 第四阶段, 该阶段将产生第三重压箱。依次类推, 当压箱数需增加是, 也意味着码放作业将越来越复杂。当在某一阶段, 由于提箱作业的影响, 如某批次的提箱数较大, 可能使得堆场上的码放状态返回至此阶段前的某个阶段, 则在作业进行时, 按照已转换成的状态阶段进

行作业操作。由于提箱作业的影响，使得处于第二阶段有一重压箱的堆场集装箱码垛状态转换成第一阶段的无压箱码放状态，则在接下来的码放或提取作业操作时，按照第一阶段的情况进行。在零散货物集装箱中，对零散货物定义了叠压度，其操作与大宗货物集装箱类似。不论堆场上码放和提取作业处在哪个阶段，都是追求堆场上集装箱的码放和提取作业尽可能的顺畅，倒箱次数尽可能的少进行的。

## 第四章 堆场码垛作业算法

在上一章中，在充分了解和熟悉堆场相关作业的基础上已建立了堆场码垛模型，通过模型及约束条件的限制，对于某个待码箱或待取目标箱，我们可以得到该箱的最佳码放或提取的位置或位置集合。但在实际操作过程中，要求作业的目标箱位是确定的，且要求作业时是有顺序的。若按照由模型中得到的目标位置来进行码箱和提箱作业，则可能造成堆场凌乱现象，因而不方便现场工作人员工作的开展。为此，在已建立的模型基础上，设计了码垛作业的优化算法，以寻求作业的确切位置，使得作业有条理，方便堆场工作人员的作业实施，也避免堆场凌乱的现象。

为使算法顺利展开，需提前对堆场上箱位做一些预处理。在前面我们已经将堆场中的每个箱小区或者是零散货物区看成一个三维空间，且用  $(x,y,z)$  来表示某箱小区（零散货物区）箱位的空间位置坐标。现对堆场上某些箱位做标记。首先对堆场上空箱位做标记，用  $R(x,y,z)=1$  表示，表明该箱位为空箱位；用  $R(x,y,z)=0$  表示该箱位已有箱，为实箱位。定义极小元为箱小区码垛顺序表中的第一个位，极大元为箱小区码垛顺序表中的最后一个箱位。定义箱小区码垛顺序表中的第一个实箱位为实箱极小元，随着集装箱堆场的码箱取箱作业，极小元是不发生变化的，但是实箱极小元是在不断变化的。

### 4.1 大宗货物集装箱堆场码垛算法

在根据第三章中大宗货物集装箱堆场码垛数学模型式(1)~式(5)结合铁路集装箱堆场的实际情况，设计了在实际操作中大宗码箱作业和提箱作业算法。

#### 4.1.1 单箱码箱算法

**算法 1** 大宗货物区单箱码箱作业算法

**输入** 待码箱的属性

**输出** 输出该箱的最优考虑码放的位置，该位置也是最优的。

**步骤一** 输入箱属性。

**步骤二** 确定该箱所属的箱小区（如果存在），或无解信息。

for（按判断顺序遍历特征判断顺序表）

{ if（箱属性与箱大区属性一致）

{ for（遍历箱小区特征表）

```

        { if (特征号一致)
            { if (箱属性与箱小区各特征值一致)
                { found = 1 ; sa = 箱小区 ; break ;
                }
            }
        }
    }
    if (found == 1)
    { break ;
    }
}

if (found == 1)
{ 输出 sa ;
}
else
{ 输出无解信息 ;
}

```

步骤三 在找到的所属箱小区中，按照箱小区码（取）箱顺序表从极小元开始向极大元搜索，对于搜索中遇到的带“暂扣”标记的空箱位，去掉其“暂扣”标记，直到找到第一个实箱位为止，在该实箱位上标记“实箱极小元”。

步骤四 按照箱小区的码箱顺序表，从极小元逐步向极大元搜索，在堆场中找到第一个可用于码箱的箱位，且该箱位无“暂扣”标记，并记下当待码箱码放于该位置后堆场上新码放状态下各箱位总自由度之和，将其记为  $sum1$ ，作为比较基础。如果所有的可用于码箱的箱位都带有暂扣标记，转到步骤六。

```

for(x=1;1<=x<=X;x++)
for(y=1;1<=y<=Y;y++)
for(z=1;1<=z<=C;z++)
{if(R(x,y,z)= 1 且 L(x,y,z)= $m_2$ )//*在堆场坐标空间内寻找到第一个
    可用于码箱的箱位*/
    {sum1= $\sum_{z=1}^C \sum_{y \in Y} \sum_{z \in Z} f(x,y,z)$ /*计算将待码箱码放至该位置时堆场上
        所有箱位的自由度总和*/
    f(x,y,z)=0; /*尽管此时该位置已放有箱，为了方便比较，该位
        置仍看成未放箱，仍是空箱位*/
    R(x,y,z)=0; /*保证在下次寻找可码箱位时跳过该位置*/
    }
}

```

$a1=x, b1=y, c1=z$  ; /\*用(a1,b1,c1)记下此时的用于码箱的空箱位坐标\*/

}  
}

步骤五 接着继续按照箱小区码（取）箱顺序表逐个寻找不带“暂扣”标记的可用于码箱的空箱位，并计算将待码箱放置于该位置后堆场上各箱位自由度的总和  $sum2$ ，若  $sum2 > sum1$ ，则可码箱的优先位置替换为当前箱位，否则仍保留原位置，作为优先码放位置，转到步骤七。

for( $x=1; 1 \leq x \leq X; x++$ )

for( $y=1; 1 \leq y \leq Y; y++$ )

for( $z=1; 1 \leq z \leq C; z++$ )

{if( $R(x,y,z)=1$  且  $L(x,y,z)=m_2$ )

{ $sum2 = \sum_{z=1}^C \sum_{y \in Y} \sum_{x \in X} f(x,y,z)$  ; /\*计算将待码箱码放至该位置时堆场上所有箱位的自由度总和\*/

if( $sum2 > sum1$ )

{ $R(a1,b1,c1)=1$  ; /\*首先将原位置上仍设置为空箱位，便于下次作业时不遗漏该位置\*/

$a1=x$ ;

$b1=y$ ;

$c1=z$  ; /\*若码放至新箱位下的总自由度大于码放于前一箱位下的箱位总自由度之和，则置换新的优先码放箱位\*/

$f(x,y,z)=0$ ;

$R(x,y,z)=0$  ; /\*将该箱位排除在接下来考虑的可码放箱位外\*/

}

else

{  $a1=a1$ ;

$b1=b1$ ;

$c1=c1$  ; /\*此时的  $a1, b1, c1$  表示前一步得到的箱位的空间坐标\*/

$f(x,y,z)=0$ ;

$R(x,y,z)=0$ ;

}

}

}

步骤六 若在步骤三中没找到无暂扣标记可用于码箱的箱位，则再按照箱

位顺序表，找到所有带有暂扣标记的箱位，并去掉箱位上的“暂扣”标记。转到步骤四。

步骤七 对堆场中被作业箱小区的箱位自由度进行更新。

步骤八 输出找到可码放的箱位坐标(a1,b1,c1)，如果没找到则输出无信息。

#### 4.1.2 单箱提箱算法

在实际应用的提箱作业中，如果某箱小区的箱长期不能全部取出，就可能导致极小元附近的箱滞留时间过长，从而引发“大点箱”或“老牌箱”问题。尽管相同广义分类属性箱是等价的，如果为保证堆场中整个自由度之和最大，在提箱作业中就会提取刚刚码的集装箱，取箱顺序是“后进先出”，而造成以前码放的集装箱长期滞留在堆场中，违反了“先进先出”的原则。为了解决这个问题，在提箱作业中，在大宗货物码垛模型式(1)~式(5)中 $e$ 的取值为零， $e \sum f(p(y))$ 为零，而是按照箱小区取箱顺序表，直接提取符合条件的集装箱。其算法设计如下：

**算法 2** 大宗货物区单箱提箱作业算法

输入 待取箱的属性

输出 待取箱最先考虑的目标箱位，且该目标箱位是最优的。

步骤一 输入待取箱的属性。

步骤二 找到待取箱所属的箱小区（如果存在），否则无解信息。

步骤三 在找到的所属箱小区中，按照箱小区码（取）箱顺序表从极小元开始向极大元搜索，找到第一个与待取箱同属性且完全自由无暂扣标记的集装箱。并给用于提箱的箱位上设置“暂扣”标记，若没找到符合条件的转到步骤五。

```
for(x=1;1<=x<=X;x++)
  for(y=1;1<=y<=Y;y++)
    for(z=1;1<=z<=C;z++)
      {if(该箱位上的集装箱属性与待取箱的属性一致且无其他箱压住)
        /*在堆场坐标空间内寻找到第一个可用提箱的箱位*/
        {a2=x,b2=y,c2=z; /*用(a2,b2,c2)记下此时的用于提箱的实箱位坐标*/
          L(a2,b2,c2)=m1; /*给该箱设上“暂扣”标记。表示下次寻找可码箱箱位时首先跳过该位置，优先寻找其他无“暂扣”标记的箱位*/
        }
      }
```



}

步骤四 对堆场中被作业箱小区的箱位自由度进行更新。

步骤五 输出找到的可取箱的箱位位置坐标(a2, b2, c2), 或操作失败。

当步骤三中的情况不能满足时, 即若在堆场中虽找到的可取箱的位置, 但位于该箱位上的集装箱和要求取的集装箱的属性不一致时, 说明堆场上与待取箱具有相同属性的集装箱全被其他属性的集装箱压住, 或堆场上没有该属性的集装箱码放。当该属性的集装箱被其他属性的集装箱压住时, 在堆场空间范围内以压住该箱上的其他属性箱的数量最少, 此种情况下, 也将产生倒箱作业, 但该种情况是尽量避免的, 在大宗货物中很少出现。当堆场上无该属性的集装箱堆放时, 则直接输出操作失败。

## 4.2 零散货物集装箱堆场码垛算法

在根据第三章中零散货物集装箱堆场码垛数学模型式(6)~式(10)结合铁路集装箱堆场的实际情况, 在零散货物由于同属性的集装箱的个数比较少, 因此发生不同属性集装箱叠压的情况比较多, 设计零散货物集装箱堆场码箱作业和提箱作业算法时和前面的大宗货物有一定的区别。

### 4.2.1 单箱码箱算法

算法3 零散货物区单箱码箱算法

输入 待码箱的属性

输出 输出该箱的最优考虑码放的位置, 该位置也是最优的。

步骤一 输入箱属性。

步骤二 按照零散区码(取)箱顺序表从极小元开始向极大元搜索, 对于搜索中遇到的带“暂扣”标记的, 且整列都为空箱的空箱位, 去掉该列所有箱位上的“暂扣”标记。

步骤三 在找到的零散箱区中按照零散箱区码(取)箱顺序表找到第一个没有暂扣标记的可用于码箱的箱位, 并记下当待码箱码放于该位置后堆场上新码放状态下各堆栈叠压度最大之和, 将其记为 sum5, 作为比较基础。记下可用于码箱的箱位。如果可用于码箱的箱位都带有暂扣标记, 转到步骤五。

```
for(x=1;1<=x<=X;x++)
```

```
for(y=1;1<=y<=Y;y++)
```

```
for(z=1;1<=z<=C;z++)
```

```
{if(R(x,y,z)= 1 且 L(x,y,z)= m2) /*在堆场坐标空间内寻找到第
```

一个可用于码箱的箱位\*/

{sum5=  $\sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} F(x, y)$  ;/\*计算将待码箱码放至该位置时堆场上所有堆栈的叠压度最大值的总和\*/

Z=F(x,y);

R(x,y,z)=0; /\*保证在下次寻找可码箱位时跳过该位置\*/

a3=x;

b3=y;

c3=z; /\*用(a3,b3,c3)记下此时的用于码箱的空箱位坐标\*/

}

}

步骤四 接着逐个寻找带标记的可用于码箱的空箱位，并计算将待码箱放置于该位置后堆场上各堆栈叠压度最大值的总和 sum6，直到找到 sum5>sum6，则可码箱的优先位置替换为当前箱位，否则仍保留原位置，作为优先码放位置，转到步骤六。

for(x=1;x ∈ X;X++)

for(y=1;y ∈ Y;y++)

for(z=1;z ∈ [1,C];z++)

{if(R(x,y,z)=1 且 L(x,y,z)=m<sub>2</sub>)

{sum6=  $\sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} F(x, y)$  ;/\*计算将待码箱码放至该位置时堆场上所有堆栈的叠压度最大值的总和\*/

if(sum5>sum6)

{R(a3,b3,c3)=1; /\*首先将原位置上仍设置为空箱位，便于下次作业时不遗漏该位置\*/

a3=x;

b3=y;

c3=z; /\*若码放至新箱位下的总最大叠压度小于码放于前一箱位下的箱位总最大叠压度之和，则置换新的优先码放箱位\*/

R(x,y,z)=0; /\*将该箱位排除在接下来考虑的可码放箱位外\*/

}

}

}

步骤五 若在步骤三中没找到无暂扣标记可用于码箱的箱位，则再按照箱

位顺序表,找到所有带有暂扣标记的箱位,并去掉箱位上的“暂扣”标记,转到步骤三。

步骤六 对零散货物区的箱位叠压度进行更新。

步骤七 输出找到可码放箱位坐标(a3,b3,c3)。如果没有则输出无解。

#### 4.2.2 单箱提箱算法

在讨论了码箱作业后,接着研究取箱作业的算法,取箱作业是针对堆场现状,从中取走一个集装箱,它与码箱作业不是可逆的,因为码箱作业是找到一个不悬空的空箱位,然后将目标箱码入该空箱位,作业过程中不需要移动已码入堆场的集装箱,而取箱作业首先要在堆场中找到确定分类属性的箱,然后比较多个这种属性箱的取箱作业的优劣,得到最后的取箱作业计划,而且取箱作业过程中可能需要先移动其他的箱,才能完成对目标箱的作业。寻找目标属性的箱算法如下:

**算法4 零散货物区单箱提箱算法**

**输入** 一个箱(属性)。

**输出** 目标属性箱的箱位(如果存在),或无解信息。

**步骤一** 输入箱属性

**步骤二** 在零散箱区按照零散箱区码(取)箱顺序表,从极小元开始向极大元搜索,找到第一个不被其他箱压住的同属性的集装箱。清除该箱位上的叠压度(因为叠压度是针对实箱位设计的),该箱位的叠压度为空,并给用于提箱的箱位上设好“暂扣”标记。

**步骤三** 当步骤二中的情况不能满足时,即若在堆场中虽找到的可取箱的位置,但位于该箱位上的集装箱和要求取的集装箱的属性不一致时,说明堆场上与待取箱具有相同属性的集装箱全被其他属性的集装箱压住,或堆场上没有该属性的集装箱码放。当该属性的集装箱被其他属性的集装箱压住时,首先按照零散箱区码(取)箱顺序表找到第一个只被一个其它箱压住的箱。转到步骤四。如果没有满足条件的只被一个其他属性箱压住的,则继续按照零散箱区码(取)箱顺序表找到第一个被两个集装箱压住的满足条件的集装箱。

**步骤四** 提取满足条件的集装箱后,将以前压在其上方的集装箱依次在此列中向下移动一个箱位,然后对该列中的所有的空箱位设好“暂扣”标记。在堆场空间范围内以压住该箱上的其他属性箱的数量最少,此种情况下,也将产生倒箱作业,但该种情况是尽量避免的,很少出现。当堆场上无该属性的集装箱堆放时,则直接输出操作失败。

**步骤五** 对零散货物区的箱位叠压度进行更新。

步骤六 输出找到的可取箱的箱位坐标(a4, b4, c4), 或操作失败。

### 4.3 堆场码垛作业管理系统数据结构

针对前两节的算法, 结合数据库设计的步骤和方法, 对堆场作业管理系统进行了初步的设计。

#### 4.3.1 数据库设计与实施的基本阶段

数据库系统设计中, 其系统设计有六个阶段, 前两个阶段是面向用户的应用要求, 面向具体的问题; 中间两个阶段是面向数据库管理系统; 最后两个阶段是面向具体的实现方法。前四个阶段可统称为“分析和设计阶段”, 后两个阶段称为“实现和运行阶段”。六个阶段的主要工作各有不同。

##### 1 系统需求分析阶段

需求分析是整个数据库设计过程的基础, 要收集数据库所有用户的信息内容和处理要求, 并加以规格化和分析。这是最费时、最复杂的一步, 但也是最重要的一步, 相当于待构建的数据库大厦的地基, 它决定了以后各步设计的速度与质量。需求分析做得不好, 可能会导致整个数据库设计返工重做。在分析用户需求时, 要确保用户目标的一致性。

##### 2 概念设计阶段

概念设计是把用户的信息要求统一到一个整体逻辑结构中, 此结构能够表达用户的要求, 是一个独立于任何 DBMS 软件和硬件的概念模型。

##### 3 逻辑设计阶段

逻辑设计是将上一步所得到的概念模型转换为某个 DBMS 所支持的数据模型, 并对其进行优化。

##### 4 物理设计阶段

物理设计是为逻辑数据模型建立一个完整的能实现的数据库结构, 包括存储结构和存取方法。

上述分析和设计阶段是很重要的, 如果做出不恰当的分析或设计, 则会导致一个不恰当或反应迟钝的应用系统。

##### 5 数据库实施阶段

根据物理设计的结果把原始数据装入数据库, 建立一个具体的数据库并编写和调试相应的应用程序。应用程序的开发目标是开发一个可依赖的有效数据库存取程序, 来满足用户的处理要求。

##### 6 数据库运行与维护阶段

这一阶段主要是收集和记录实际系统运行的数据，数据库运行的记录用来提高用户要求的有效信息，用来评价数据库系统的性能，进一步调整和修改数据库。在运行中，必须保持数据库的完整性，并能有效地处理数据库故障和进行数据库恢复。在运行和维护阶段，可能要对数据库结构进行修改或扩充。

可以看出，以上六个阶段是从数据库应用系统设计和开发的全过程来考察数据库设计的问题。因此，它既是数据库也是应用系统的设计过程。在设计过程中，努力使数据库设计和系统其他部分的设计紧密结合，把数据和处理的需求收集、分析、抽象、设计和实现在各个阶段同时进行、相互参照、相互补充，以完善两方面的设计。

### 4.3.2 系统的需求分析

集装箱堆场作业管理系统不仅仅是一个应用程序语言的编写，更重要的是在系统分析和设计阶段所做的工作，需求分析是系统开发的第一步。

#### 1 基本要求

(1) 在进入到集装箱堆场码垛作业管理系统之后首先是登录界面，根据用户输入用户名和密码来判断用户身份的合法性。合法用户分为用户和工作人员，其中工作人员拥有所有权限，普用户分为信息查询用户、堆场操作用户、出入门管理用户三类，分别赋予相应权限。

(2) 进入信息管理查询界面可以通过集装箱号查询某在场的集装箱属性、货物信息等信息以及不在场集装箱的出入场记录信息。也可以查询某一箱位在堆场中的属性。

(3) 进入堆场箱位管理界面可以对进场集装箱进行箱位分配，搜索出场集装箱提取箱位，并对进行操作后的集装箱集装箱位情况进行实时更新。

(4) 进入管理界面可以对用户权限进行登记变更等操作，同时可以对系统进维护。

(5) 进入系统帮助界面可以给出关于软件应用的提示。

#### 2 需求分析

需求分析的第一是描述集装箱堆场作业管理系统的功能，即定义用例，该系统的功能需求表如下：

表 4-1 功能需求表

业务操作	信息查询	集装箱箱位属性查询
	箱位管理	进场箱箱位分配
		出场箱提取
	数据更新	系统数据库的自动更新
系统功能	用户登录	
	用户退出	
	用户管理	
	系统帮助	

集装箱堆场作业管理系统主要功能描述：

**集装箱位置查询** 通过集装箱号码，可以查询集装箱所在的箱大区 and 箱小区或者是零散货物区位置，如果在场则显示箱位，如果不在场则显示出场时间等信息;通过场区位置代码，可以查询相应位置的集装箱堆放情况。

**集装箱信息查询** 查询某集装箱在该堆场的全部一记录以及堆场内某个时间段内集装箱统计信息等。

**集装箱信息管理** 对集装箱种类，相关资料进行添加、删除、修改等管理操作。

**箱位分配** 系统自动分配最优箱位。并打印进场凭证。

**出场箱提取** 系统搜索出提箱箱位。并打印出场凭证。

**用户登录** 为了系统安全，只有拥有权限的用户才可以利用此系统。所以在进入到具体操作界面之前要通过登录系统来验证用户身份。

**用户管理** 只有工作人员才能有该权限，用于设置此系统的用户及其权限。

**系统帮助** 系统帮助的基本功能是给予用户必要的提示。

**系统退出** 退出系统，结束程序。

4.3.3 表结构

在系统开发中主要包括两个方面的开发：后台数据库的建立和用户界面的设计。在本章中主要介绍后台数据库中所用到部分的数据表。

1 数据库中表字段设计

根据前面的算法设计和系统功能的设计，在数据库中会用到箱大区属性表、箱小区属性表、箱小区码（取）箱顺序表、零散货物区码（取）箱顺序表、大宗货物区箱位属性表、零散货物区箱位属性表等。首先对各个表的字段属性安排如下面各表。

(a) 箱大区属性表

表 4-2 箱大区属性表

字段名	数据类型	长度	允许为空	说明
箱大区	char	10	否	
判断顺序	int	2	否	
特征号	char	4	否	
特征列表	char	50	否	

(b) 箱小区属性表

表 4-3 箱小区属性表

字段名	数据类型	长度	允许为空	说明
箱小区	char	10	否	
特征号	char	4	否	
特征列表	char	50	否	
备注	char	4	是	

(c) 箱小区码（取）箱顺序表

表 4-4 箱小区码（取）箱顺序表

字段名	数据类型	长度	允许为空	说明
箱小区	char	10	否	
箱位号	char	10	否	
码垛顺序	int	4	否	
提箱顺序	int	4	否	

零散货物区码（取）箱顺序表的字段属性设计和箱小区码（取）箱顺序表相似，因此不再单独列出。只是去掉“箱小区”字段，其余的设置都相同。

(d) 大宗货物区箱位属性表

表 4-5 大宗货物区箱位属性表

字段名	数据类型	长度	允许为空	说明
箱位号	char	10	否	
特征号	char	4	否	
箱小区	char	10	否	
自由度	int	1	是	
箱位码放状态	bit	1	否	
暂扣标记	int	1	是	

(e) 零散货物区箱位属性表

在零散货物区箱位属性表的字段设计个大宗货物区基本相似,只是去掉“特征号”和“箱大区”两个字段,然后就是将大宗货物区箱位属性表中的字段名“自由度”改为“叠压度”,其数据类型、长度,允许为空、说明的设置都相同。并且增加了字段“特征列表”,其字段设计如表 4-6 所示。

表 4-6 零散货物区箱位属性表

字段名	数据类型	长度	允许为空	说明
箱位号	char	10	否	
叠压度	int	1	是	
特征列表	char	50	是	
箱位码放状态	bit	1	否	
暂扣标记	int	1	是	

2 数据库的中的表设计举例

(a) 箱大区属性表

首先将堆场分为发送箱区、到达箱区、待拆箱区、国际箱区、冷箱区、专用箱区、空箱区、备用箱区、检修箱区、清洗及消毒箱区等。这些箱区的属性定义为箱大区属性。在系统数据库中,箱大区属性表的字段设置如表 4-7 所示。



表 4-7 箱大区属性表

箱大区	判断顺序	特征号	特征表列
待拆区	1	K001	20 英尺，铁路，外代，化肥
空箱区	4	K004	20 英尺，铁路
发送箱区	2	K002	40 英尺，C 公司，外代，饲料
到达箱区	3	K003	20 英尺，铁路，外代，水泥
...	...	...	....

(b) 箱小区属性表

在堆场分为箱大区的基础上，将每个箱大区按照不同的公司分为五个箱小区，建立箱小区属性表，在数据库中箱大区属性表和箱小区属性表以关键字段“特征号”连接起来。箱小区属性表如表 4-8 所示。

表 4-8 箱小区属性表

箱小区	特征号	特征列表	备注
A 公司	K001	20 英尺，铁路，外代，硫磺	
B 公司	K001	20 英尺，铁路，外代，化肥	
C 公司	K001	20 英尺，铁路，外代	
D 公司	K001	20 英尺，铁路，外代，饲料	
E 公司	K001	20 英尺，铁路，外代，水泥	
...	...	...	...

(c) 箱小区码（取）箱顺序表

为规范作业，根据算法要求建立了箱小区码（取）箱顺序表和零散货物区码（取）箱顺序表。该顺序表是按照图 3（a）垂直式码箱顺序建立的箱小区码（取）箱顺序表如表 4-9 所示。

表 4-9 箱小区码（取）箱顺序表

箱小区	箱位号	码箱顺序	提箱顺序
A 公司	20-1-1	1	300
A 公司	20-1-2	2	299
A 公司	20-1-3	3	298
B 公司	20-2-1	4	297
B 公司	20-2-2	5	296
...	...	...	...

(d) 大宗货物区箱位属性表

表 4-10 大宗货物区箱位属性表

箱位号	特征号	箱小区	自由度	箱位码放状态	暂扣标记
20-1-1	K001	A 公司	$\alpha$	0	m1
20-1-2	K001	A 公司	1	0	m2
20-1-3	K001	A 公司	0	1	m1
20-2-1	K001	A 公司	2	0	m2
20-2-2	K001	A 公司	2	0	m2
20-2-3	K001	A 公司	2	0	m2
20-3-1	K001	A 公司	1	0	m2
...	...	...	...	...	...

(e) 零散货物区箱位属性表

表 4-11 零散货物区箱位属性表

箱位号	叠压度	箱位码放状态	特征表列	暂扣标记
16-1-1	0	0	20 英尺，铁路，外代，化肥	m1
16-1-2	1	0	20 英尺，铁路	m1
16-1-3	0	1		m2
16-2-1	0	0	20 英尺，铁路，外代，水泥	m2
...	...	...	....	...

4.4 本章小结

在本章中运用了第三章的两个模型设计了大宗货物集装箱堆场码垛算法和零散货物集装箱堆场码垛算法，在大宗货物集装箱堆场码箱算法设计中，为了使堆场整齐，避免出现零乱碎片现象，设置了“实箱极小元”，每次开始码垛前，首先去掉符合条件的箱位上的“暂扣”标记。由于在堆场中的实箱不可能悬空码放，因此设置“实箱极小元”以便去掉符合条件的箱位上的“暂扣”标记的设计，不违反“先进先出”的规则，也不会出现某些箱在堆场中滞留时间过长的现象。在大宗货物集装箱堆场提箱算法设计中，为保证满足“先进先出”的原则，模型的(1)~(5)中的 $e \sum_{p(y) \in q(d)} f(p(y))$ 为零，而仅仅考虑了箱小区码（取）箱顺序表，直接顺序表提取满足条件的集装箱。在零散货物集装箱堆场码箱算法

和大宗货物算法类似,只是在零散货物区作业的过程中会出现压箱倒箱的作业,因此在零提取集装箱算法中,对于出现待取箱都被压住时,首先考虑提取只被一个其他属性箱压住的箱,在被压情况相同的多个满足条件的待取箱时,按照零散货物区码(取)箱顺序操作。提取满足条件的集装箱后,将以前压在其上方的集装箱依次在此列向下移动一个箱位,然后对该列中的所有空箱上设好“暂扣”标记。如果没有满足条件的只被一个其他属性箱压住的,则寻找被两个集装箱压住的满足条件的集装箱,操作方法和被一个其他属性压住的集装箱一样。因为根据铁路堆场的现状,基本考虑堆垛最多是 3 层,所以忽略更大的重箱码垛层数。在本章的第三节中对系统中用到的部分数据表进行了设计。

第五章 算例分析

5.1 算例

1 大宗货物的算例

假设某车站集装箱大宗货物堆场上其中一个箱小区的箱码放初始状态如图 5(a)。该箱小区最多可以码放 $6\times 3$ 个箱，箱码放顺序采用图 3-3(a)垂直式全序。为方便叙述，对箱位进行笛卡儿坐标描述，例如图 5-1(a)中右下角的实箱位为(4,1)。

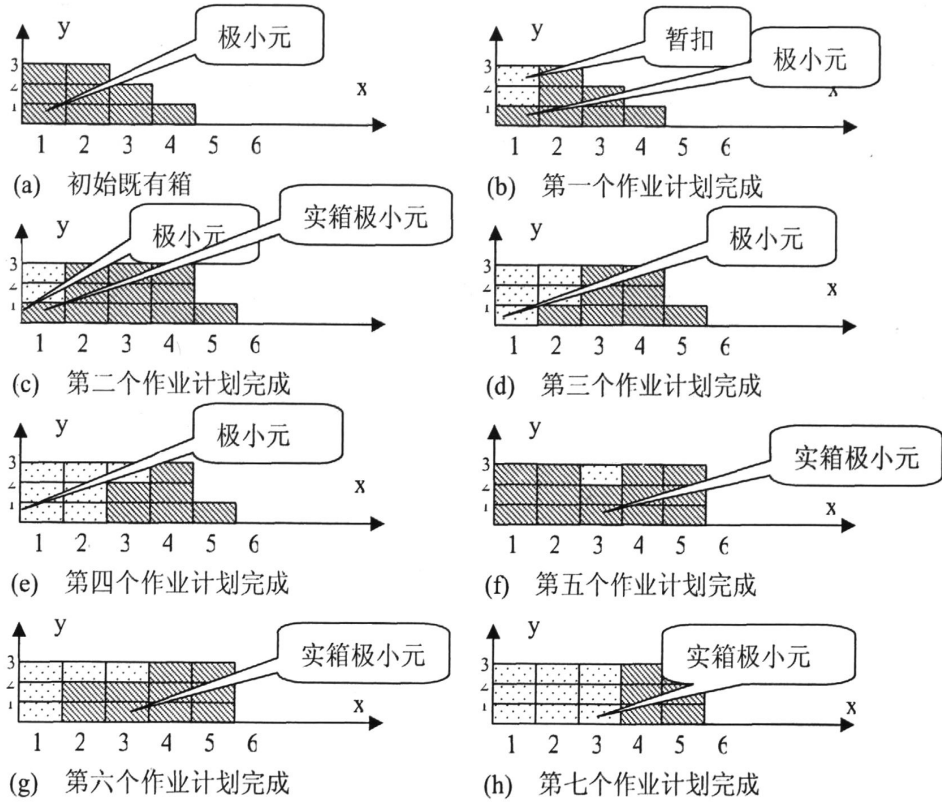


图 5-1 算例分析示意图（侧视）



图 5-2 箱位自由度变化图

第一个作业计划单取 2 个箱。依据取箱算法 2，首先取出箱 (1, 3)，同时作暂扣标记，然后取出箱 (1, 2)，也作暂扣标记。同时作业未真正完成前，这两个箱位都设置“取箱作业中”状态，完成后取消该状态。由于“取箱作业中”和“码箱作业中”状态的设置在实现时不在一个层面，为突出重点，不讨论这两个作业中状态的设置与解除。作业完了后该箱小区的箱码放状态如图 5-1(b)，自由度变化如图 5-2(b)。

第二个作业计划单码放 4 个箱。依据算法 1，首先对堆场箱位扫描，按箱小区码（取）箱顺序表找到第一个实箱位 (1, 1)，标记为实箱极小元，在扫描过程中未掠过 (1, 2)、(1, 3) 这两个箱位，所以其暂扣标记没有被消除。因此这 4 个箱依次码放在箱位 (3, 3)、(4, 2)、(4, 3) 和 (5, 1)。注意在算法 1 步骤 4 的计算过程中，首次扫描全序不考虑有暂扣标记的箱位即不考虑空箱位 (1, 2) 和 (1, 3)。作业完了后该箱小区的箱码放状态如图 5-1(c)，自由度变化如图 5-2(c)。

第三个作业计划单取 3 个箱。依据算法 2，依次取出箱 (1, 1)、(2, 3) 和 (2, 2)。同时根据算法 2 步骤三，取出箱 (1, 1) 后，并且在取出箱 (2, 3) 和 (2, 2) 后，在这两个箱位上设置暂扣标记。作业完了后该箱小区的箱码放

状态如图 5-1(d), 自由度变化如图 5-2(d)。

第四个作业计划单取 2 个箱。依据算法 2, 依次取箱 (2, 1) 和 (3, 3)。并且在取箱 (3, 3) 后, 在这个箱位上设置暂扣标记。作业完后该箱小区的箱码放状态如图 5-1(e), 自由度变化如图 5-2(e)。

第五个作业计划单码放 8 个箱。依据算法 1 步骤三, 首先首先对堆场箱位扫描, 按箱小区码(取)箱顺序表找到第一个实箱位 (3, 1), 标记为实箱极小元, 在扫描过程中未掠过 (1, 1)、(1, 2)、(1, 3) (2, 1)、(2, 2)、(2, 3) 这六个箱位, 所以其暂扣标记被消除。因此这 8 个箱依次码放在箱位 (1, 1)、(1, 2)、(1, 3) (2, 1)、(2, 2)、(2, 3)、(5, 2) 和 (5, 3)。作业完后该箱小区的箱码放状态如图 5-1(f), 自由度变化如图 5-2(f)。

第六个作业计划单取 4 个箱。依据算法 2, 依次取箱 (1, 3)、(1, 2)、(1, 1) 和 (2, 3)。同时根据算法 2 步骤三, 设置这 4 个箱位的暂扣标记。值得一提的是箱这单提取的箱都是上一个作业单新码放的箱, 按理取箱时应排在后, 但箱小区箱位占有率过高, 周转空间太少, 于是只能牺牲个别箱的先进先出原则。此时箱位占有率高达 78%, 随着箱小区箱位总数的增加, 这个数字还会进一步加大, 这种情况发生概率并不大, 在实际生产中, 如果达到如此高的箱位占有率, 堆场几近饱和, 应考虑重新规划或扩建堆场。作业完后该箱小区的箱码放状态如图 5-1(g), 自由度变化如图 5-2(g)。

第七个作业计划单取 4 个箱。依据算法 2, 依次取箱 (2, 2)、(2, 1)、(3, 2) 和 (3, 1)。取出这 4 个箱后, 给这 4 个箱位设置的暂扣标记。作业完后该箱小区的箱码放状态如图 5-1(h), 自由度变化如图 5-2(h)。

在第四个作业计划单执行完了后, 箱位 (5, 1) 即设置暂扣标记, 该箱位之上的两个空箱位 (5, 2) 和 (5, 3) 在后续码箱过程(第五个作业计划单)中, 因为悬空而未能得到利用, 这是合理的, 原因是此时首先应尽量避免在箱位 (5, 1) 上码箱, 否则新码放的箱会被很快取走, 从而延误其他正常取箱。当然如果整个箱小区箱位占用较满, 箱位 (5, 1) 也会最终被利用的(在第二次扫描中被选中, 如同在第五个作业计划单中, 有暂扣标记的箱位 (2, 2) 和 (1, 3) 被利用一样), 从而其上的箱位 (5, 2) 和 (5, 3) 也会紧跟着被利用。在整体箱位不十分紧张的情况下, 为周转顺利快捷而空闲少许箱位是值得的, 何况这种情况也只发生在堆场箱位空闲的情形下。

以上过程清晰显示, 在箱小区码箱取箱过程中, 极小元是逐渐移动最终遍历所有箱位的, 并且新近取箱而形成的空箱位不倾向于立刻码箱, 所有箱位使用频率基本均衡, 底层箱位使用频率略高于上层箱位, 整体上看箱位的使用呈现循环滚动状态。

2 零散货物的算例

假设某车站集装箱零散货物的箱码放初始状态如图 5-2(a)。该零散货物区最多可以码放 $6\times 3$ 个箱。

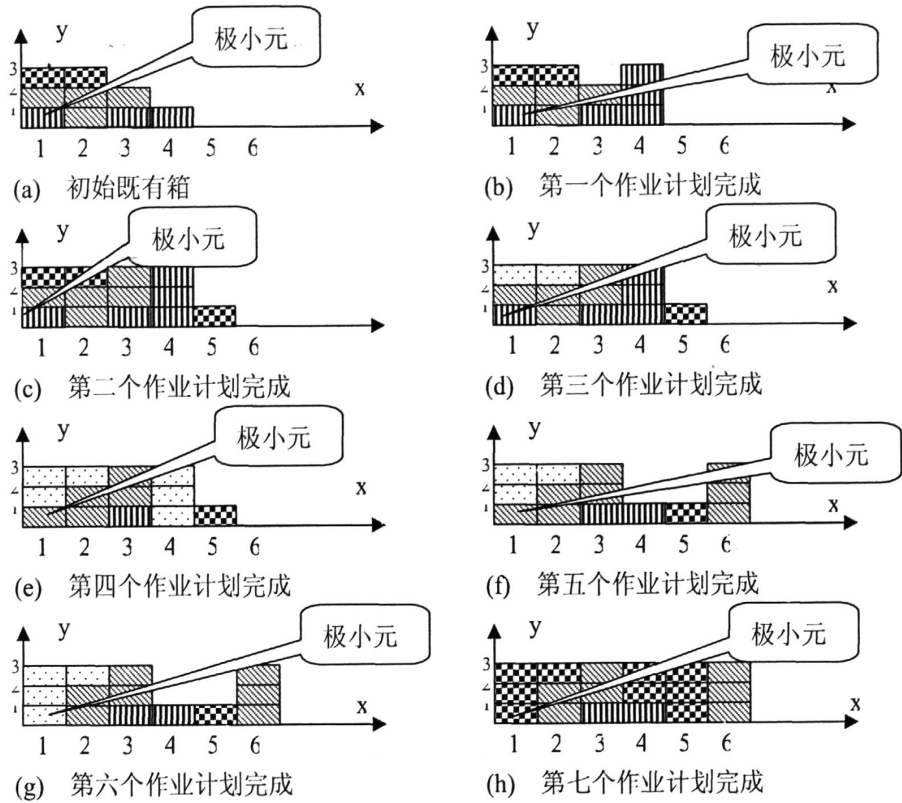


图 5-3 算例分析示意图（侧视）

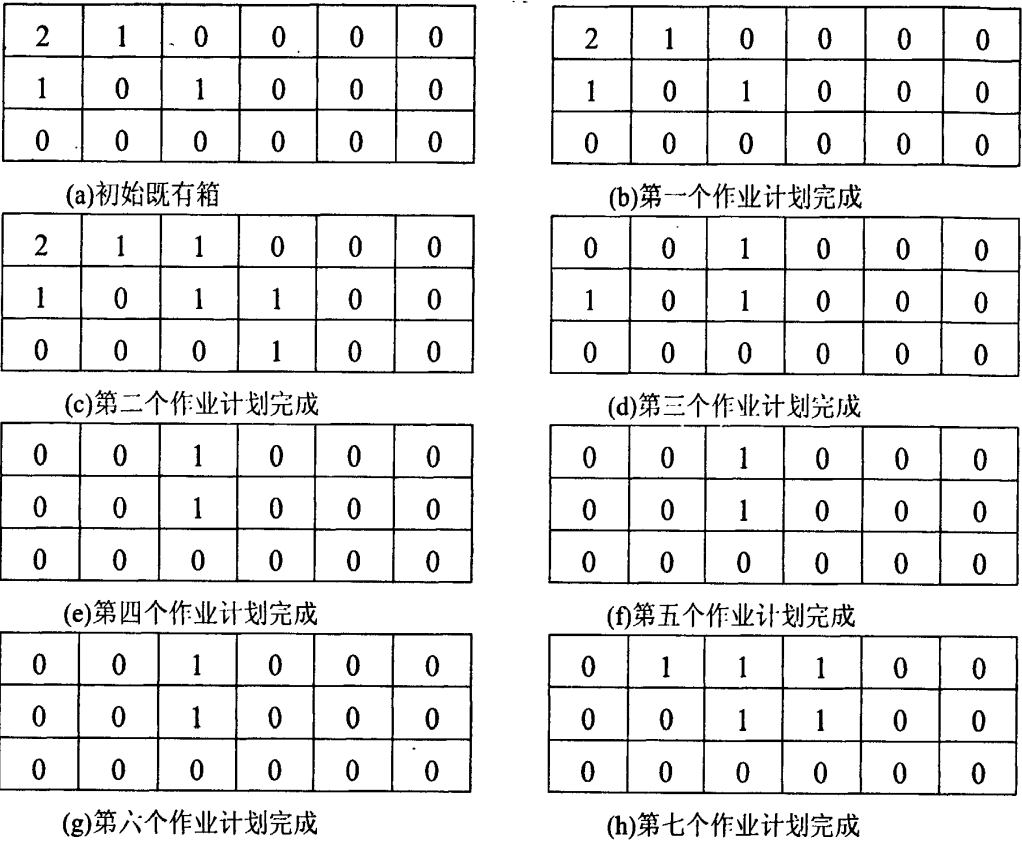


图 5-4 箱位叠压度变化图

图中  表示 A 属性集装箱， 表示 B 属性集装箱， 表示 C 属性集装箱。

第一个作业计划单码放 2 个 C 属性箱。依算法 3,首先按照零散箱区码垛顺序表找到第一个可用于码箱的箱位 (3, 3)，计算出 sum5=5,此时 a3=3,b3=3(在算例中都是在同一个倍中操作，所以 c3 都是相同的，不予考虑)。继续按零散箱区码垛顺序表向极大元搜索，找到第二个可用于码箱的箱位 (4, 1)，计算出 sum6=4，此时 a3 改为 4，b3 为 1。依次进行比较，找到第一个码箱位为 (4, 1)。同样的找到第二个用于码箱的位置为 (4, 2)。作业完成后零散箱区的码放状态如图 5-3 (b) 所示，箱位叠压度变化如图 5-4 (b) 所示。

第二个作业计划单码放 1 个 A 属性箱，1 个 B 属性箱。依算法 3，首先按照零散箱区码垛顺序表找到第一个可用于码箱的箱位 (3, 3)，计算出 sum5=4，此时 a3=3,b3=3。继续按零散箱区码垛顺序表向极大元搜索，找到第二个可用于码箱的箱位，依次比较，找到 B 属性箱的码箱位为 (3, 3)。同样找到码放 A 属性的箱位为 (5, 1)。作业完成后零散箱区的码放状态如图 5-3 (c) 所示，箱位叠压度变化如图 5-4 (c) 所示。



第三个作业计划单提取 2 个 A 属性箱。依算法 4, 首先按照零散箱区码垛顺序表找到符合条件的集装箱 (1, 3)、(2, 3), 在提取的箱位上设置暂扣标记。作业完成后零散箱区的码放状态如图 5-3 (d) 所示, 箱位叠压度变化如图 5-4 (d) 所示。

第四个作业计划单提取 4 个 C 属性箱。依算法 4, 首先按照零散箱区码垛顺序找到符合条件的集装箱 (4, 3)、(4, 2)、(4, 1), 取走这 3 个集装箱后对这 3 个箱位做暂扣标记。取走 3 个不被其他箱压住的 C 属性集装箱后, 发现没有不被其他箱压住的 C 属性, 转到算法 4 中的步骤 3, 首先按码垛顺序表搜索只被一个箱压住的箱位, 找到满足条件的箱位 (1, 1), 移開箱位 (1, 2) 上的箱, 然后提走 (1, 1) 上的集装箱, 将原来 (1, 2) 上的箱放置到 (1, 1) 上, 在箱位 (1, 2) 上做暂扣标记。作业完成后零散箱区的码放状态如图 5-3 (e) 所示, 箱位叠压度变化如图 5-4 (e) 所示。

第五个作业计划单码放 3 个 B 属性箱和 1 个 C 属性箱。依算法 3, 首先从极小元开始搜索, 去掉 (4, 1)、(4, 2)、(4, 3) 上的暂扣标记。接着找到满足条件的箱位 (4, 1) 码放 C 属性的集装箱。然后依次找到 (6, 1)、(6, 2) 和 (6, 3) 三个箱位码放 3 个 B 属性的集装箱, 作业完成后零散箱区的码放状态如图 5-3 (f) 所示, 箱位叠压度变化如图 5-4 (f) 所示。

第六个作业计划单提取 1 个 B 属性的集装箱。依算法 4, 找到符合条件的集装箱箱位 (1, 1), 取出集装箱后在该箱位上做暂扣标记。作业完成后零散箱区的码放状态如图 5-3 (g) 所示, 箱位叠压度变化如图 5-4 (g) 所示。

第七个作业计划单码放 8 个 A 属性的集装箱。依算法 3, 首先从极小元开始搜索, 去掉 (1, 1)、(1, 2)、(1, 3) 上的暂扣标记, 然后按算法 3 中的步骤三依次找到符合条件的箱位 (1, 1)、(1, 2)、(1, 3)、(5, 2)、(5, 3)、(4, 2) 和 (4, 3) 7 个箱位, 然后按算法中的步骤五, 搜索带暂扣标记的箱位 (2, 3), 码放集装箱, 去掉该箱位上的暂扣标记。作业完成后零散箱区的码放状态如图 5-3 (h) 所示, 箱位叠压度变化如图 5-4 (h) 所示。

本章结合集装箱货场实际情况仿真计算, 在算例中设计的堆场容量都较小, 对于大容量的堆场其操作方法和算例相同。算例表明循环箱码垛模型及相应算法能够适应集装箱堆场上频繁码箱取箱作业, 解决了堆场自动作业计划核心问题, 整体上看箱位使用频率基本均衡, 并且呈现循环滚动态势。表明算法能够基本适应堆场日常频繁的码箱取箱作业。

## 第六章 结论与展望

### 6.1 主要结论

本文主要研究分析了铁路集装箱堆场码垛作业的问题，主要结论如下：

(1) 通过对港口集装箱码头的相关作业的学习，结合铁路集装箱堆场的现状，认识到随着铁路物流的迅速发展必须要加强铁路集装箱的堆场作业管理，提高铁路堆场作业的效率，解决铁路集装箱堆场码垛问题是铁路物流过程中的一个重要问题。

(2) 在借鉴了当前港口码头作业的相关知识，结合铁路集装箱堆场作业情况，为了防止堆场零乱，减少堆放零散的情况，定义了箱小区的码箱作业顺序。同时为了避免倒箱，对大宗货物区定义了自由度，建立了堆场码垛模型；对零散货物区定义了叠压度，建立码垛模型。模型以寻求最佳码箱和提箱位置为目标，以提高堆场作业效率。

(3) 在建立模型的基础上，为避免实际堆场作业上的零乱现象和方便现场工作人员的作业，提出了堆场集装箱码垛作业的算法，算法能较好的找到最佳满足目标函数的箱位，从而进一步提高堆场的作业效率。在建立算法的基础上对堆场作业管理系统数据结构进行了初步的设计，设计了数据库中的部分表结构。

(4) 通过算例分析对文中提出的算法进行分析验证，模拟了日常码箱取箱作业。

### 6.2 需进一步研究的问题

尽管本文对铁路集装箱堆场作业进行了一些分析，但是还存在很多的问题需要研究和完善：

(1) 由于当前铁路集装箱的堆场产生压箱的机会很少，算法中定义的自由度在当前大宗货物区的应用得也相对比较少，都是基于理论上的研究。随着铁路物流的快速发展，货物的周转量的增加，为了提高堆场的利用率，算法中定义的自由度将会在实际应用中发挥它的作用。因此，将算法应用到实际中还需要进一步的完善。

(2) 在堆场作业中，本文中只考虑了堆场最高码垛 3 层的情况，但随着铁路运输的不但发展，铁路货物会不但增多，在有限的堆场资源下可能会产生越来越高的码垛层数，出现更多层的压箱，对于高于 3 层的零散货物提箱作业还有待进一步研究。

(3) 本文研究内容为集装箱堆场的现代化管理奠定理论基础, 适用堆场使用不十分紧张情况, 但堆场使用非常紧张的研究还很少, 还需进一步研究, 进一步完善零散货物集装箱堆场作业系统, 使系统更加适宜实际作业需求。

(4) 在本文只是设计了集装箱堆场作业算法, 将算法用于系统还有待进一步完善开发。

## 参考文献

- [1] Won Young Yun, Yong Seok Choi. A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach[J]. International Journal of Production Economics, 1999, 59(1-3):311-329.
- [2] Chuqian Zhang, Ji Yin Liu, Yat-wah Wan, Katta G. Murty, Richard J. Linn. Storage space allocation in container terminals[J]. Transportation Research Part B, 2003, 37(10):429-442.
- [3] Kap Hwan Kim, Seung Hwan Won, Jae Kook Lim, Teruo Takahashi. An architectural design of control software for automated container terminals[J]. Computer & Industrial Engineering, 2004, 46(4):741-754.
- [4] Yusin Lee, Nai-Yun Hsu. An optimization model for container pre-marshalling problem[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(11):3295-3313.
- [5] CAO Jin-xin, SHI QI-xin, Der-Horng Lee. A decision support method for truck scheduling and storage allocation problem at container[J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13(S1):211-216.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 吴岷. 集装箱码头作业的整体优化[J]. 集装箱化, 1999, 10(6): 16~17.
- [9] 包起帆. 集装箱自动化无人堆场研究[J]. 港口科技, 2007, 29(1): 15~21.
- [10] 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.
- [11] 包起帆. 集装箱堆场自动化管理研究[J]. 港口装卸, 2007, 29(1): 27~30.
- [12] 王斌. 集装箱码头堆场的一种动态随机堆存方法[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(4): 149~155.
- [13] 李建忠, 丁以中, 王斌. 集装箱堆场空间动态配置模型[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(3): 54~59.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 周天星, 刘澜. 集装箱堆场吊车装卸作业排序问题的研究[J]. 工业工程与管理, 2005, 5: 71~77.
- [18] 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.
- [19] 田洪. 中国首个集装箱全自动化堆场[J]. 港口装卸, 2005, 27(5): 72~74.
- [20] 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.
- [21] 于江涛, 浅谈港口铁路的发展[J]. 天津航海, 2008, (3): 29~30.
- [22] 陈璐. 集装箱码头装卸作业调度模型及优化算法研究[J]. 上海交通大学博士生论文, 2007, (7): 112~114.
- [23] 张艳, 韩晖. 降低集装箱码头堆场倒箱率[J]. 集装箱化, 2008, (4): 12~13.
- [24] 高鹏. 集装箱堆场作业调度优化问题研究[J]. 大连理工大学硕士学位论文, 2005, (12): 20~21.
- [25] Taleb-Ibrahimi M, Castilho B De. Storage Space Vs Handling work in Container Terminals[J]. Transportation Research B, 1993, 27:14 — 30
- [26] Watanabe. Characteristics and Analysis Method of Efficiencies of Container Terminal: An Approach to The Optimal Loading/Unloading Method[J]. Container Age, 1991, (3): 35 — 46
- [27] Castilho B De, Daganzo C F. Handling Strategies for Lost Containers at Marine Terminals[J]. Transportation Research B, 1993, 27(2): 150 — 165
- [28] Kim K H, Kim D Y. Group Storage Methods at Container Port Terminals[A]. In: The Material Handling Engineering Division 75<sup>th</sup> Anniversary Commemorative Volume, ASME, 1994, 2: 15 — 20
- [29] Kim K H. Evaluation of The Number of Rehandles in Container Yards[J]. Computers And Industrial Engineering, 1997, 32(4): 701 — 711
- [30] Cao B, Uebe G. An Algorithm for Solving Capacitated Multicommodity P-Median Transportation problems[J]. Journal of operational Research Society, 1993: 259 — 69
- [31] Holguin-velazquez J, Jara-Diaz S. Optimal Pricing for Priority Service and Space Allocation in Container Ports [J]. Transportation Research, Part B, 1999: 81 — 106
- [32] Chen C Y, Chao C L, Hsieh T W. A Time-space Network Model for the Space Resource Allocation Problem in Container Marine Transportation[R]. Paper Presented at the 17th International Symposium on Mathematical Programming 2000, Atlanta, USA
- [33] Kim K H, Kim H B. Segregating Space Allocation Models for Container Inventories In Port Container Terminals[J]. International Journal

- of Production Economics, 1999
- [34] K H Kim, Y M Park and K. R. Ryu. Deriving Decision Rules To Locate Export Containers In Container Yards. European Journal of operational Research, 2000, 124:89 — 101
- [35] 陈戌源. 集装箱码头业务管理. 大连海事大学出版社, 1998, 28~36
- [36] 荣朝等. 集装箱多式联运与综合物流. 中国铁道出版社, 2001, 38~40
- [37] 丁以中, 费红英, 韩晓龙. 港口集装箱流研究现状与分析. 上海海运学院学报, 2004, 25(2) : 45~53
- [38] 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
- [39] 郭文超. 中国铁路集装箱运输[M] . 中国铁道出版社, 1994
- [40] 杨志新. 集装箱码头业务管理信息系统的实践[J] . 交通与计算机, 2005, 23(2) : 122~126
- [41] 于汝民. 集装箱码头经营管理[M] . 人民交通出版社, 1999
- [42] 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
- [43] 刘波. 管理信息系统中数据库安全实现方法. 计算机应用. 第 20 卷第 10 期. 2000 年 10 月

## 致 谢

借此论文完成之际，谨向曾经给予我关心和帮助的老师、同学和亲友表示衷心的感谢！

首先，要衷心感谢导师江南老师！本论文是在导师悉心指导下完成的，从论文选题到确定思路，从收集资料到提纲撰写，从写作初稿到最后成文，无不凝聚着导师的大量心血。导师渊博的知识、严谨治学的学者风范、豁达而谦虚的师者风度，以及对学术问题的敏感洞察力和开阔的研究思路，让我所学良多、受益匪浅，并将深深地影响我今后的工作和生活。同时导师还在思想和在生活上，给予我无微不至的关怀。再次对江老师的辛勤培养和关怀表示衷心的感谢，并致以崇高的敬意！感谢交通运输工程学院和研究生院的各位领导以及所有的任课老师！感谢他们在学业上对我的谆谆教导、启发、鼓励和支持以及在生活上对我的关心和照顾。感谢朝夕相处的室友姜晶、孙静、田春春、谢海曼，同门师兄陈春晓、冯亦项、宰停，师妹谢颖、愈宏志，以及携手共进的学友！感谢他们对我生活上的照顾和学习上的帮助与启发。感谢我的父母以及所有家人和朋友，他们给了我许多的支持和鼓励，使我能够顺利的完成学业。

在即将完成硕士研究生学业，开始更加自信的职业发展征程之时，再次向那些默默关心过我的老师、同窗好友、亲友和朋友致以最衷心的感谢！

## 作者在学习期间发表的论文

- [1] 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.