

本论文经论文评阅人及答辩委员会审查评议，确认达到东华大学工程硕士生论文水平，特此向院学位分委员会推荐。

论文评阅人	姓名	专业技术职称	所在单位	答辩委员或主席
	曹文君	教授	复旦大学	答辩主席
	宋福根	教授	东华大学	答辩委员
答辩委员会成员	曹文君	教授	复旦大学	答辩主席
	宋福根	教授	东华大学	答辩委员
	周力	副教授	东华大学	答辩委员
	刘峰涛	副教授	东华大学	答辩委员
	隋明刚	高级工程师	杭州远传通信技术有限公司	答辩委员

学校代码：10255
学 号：G11125
中图法分类号：C93

工程硕士专业学位论文

X 集装箱码头堆场布局优化的探究

Research on Layout Optimization of container
terminal yard in X

学科专业： 物流工程

姓 名： 何基伟

指导教师： 周建亨

答辩日期： 2015 年 12 月 28 日

东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☐。

学位论文作者签名：

指导教师签名：

日期： 年 月 日

日期： 年 月 日

摘要

集装箱码头堆场的布局与管理是优化集装箱运输和储存的重要环节，也是提升码头运营能力以及提供船舶作业效率的重要支撑。我国近年来集装箱码头快速发展，港口集装箱吞吐量稳居世界第一，但随着集装箱规模的不断扩大，码头堆场的压力也逐渐加大几近饱和，影响港口的正常运营与效率。当前的研究主要集中在优化集装箱装船的优化，对于集装箱堆场的布局优化研究十分紧迫，码头堆场的设计合理性要求也变得日趋重要。

本文以 X 集装箱码头堆场为例，针对该集装箱码头堆场布局进行优化研究。其中提到的 X 集装箱码头堆场是位于上海宝山区的 X 集装箱码头堆场，它在堆场的布局上存在着一些不合理的现象，例如堆场面积利用率不高，装卸的作业距离过长等一系列的问题，致使该堆场的运作效率不高，这严重制约了该码头堆场的发展，不能为更好的船舶流通服务。因此，本文在详细的分析了堆场布局相关影响因素的基础上，建立该堆场布局的优化模型，给出基于遗传算法的模型求解算法。进行优化验证结果，最后通过该集装箱码头堆场优化前后的对比论证。从而达到提高码头堆场利用率，设备利用率，集装箱码头集疏港及集装箱中转运输效率，有效降低码头作业成本的目的。使得该集装箱码头堆场在市场中提升自己的行业竞争力。

关键词 集装箱码头 布局优化 遗传算法 堆场优化

Research on Layout Optimization of container terminal yard in X

Abstract

The layout and management of container terminal yard is an important link to optimize the container transportation and storage, and it is also an important support to improve the operation ability and provide the efficiency of the ship. In recent years, China's rapid development of container terminal, port container throughput ranked first in the world, but with the continuous expansion of the size of the container, the yard pressure also gradually increase nearly saturated, influence the port normal operation and efficiency. The current research mainly focuses on the optimization of container loading, which is very urgent for the layout optimization of container yard, and the design of the terminal yard is becoming more and more important.

In this paper, the X container terminal yard is an example, in order to optimize the layout of the container terminal yard. Which refers to the X container terminal yard is located in Baoshan District, Shanghai X container terminal yard, it is the layout of the yard there are some unreasonable phenomenon, such as yard area utilization rate is not high, the operation of the operating distance is too long, the operation of the yard is not high, which seriously restricts the development of the terminal yard, can not be better for the shipping service. Therefore, this paper analyzes the factors affecting the layout of the yard, and establishes the optimization model of the layout of the yard. The optimization results are carried out, and the comparison of the container terminal yard before and after optimization is demonstrated. So as to improve yard utilization rate, utilization rate of equipment, container terminal port and container transit transport efficiency, effectively reduce the terminal operation cost. Makes the container terminal yard in the market to enhance their own industry competitiveness.

He Jiwei (Logistics Engineering)

Directed by Zhou Jianheng

Keywords Container terminal; Layout optimization; Genetic Algorithm; Yard optimization

目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 文献综述.....	2
1.2.1 国外研究.....	2
1.2.2 国内研究.....	4
1.3 论文组织结构.....	5
第 2 章 集装箱码头堆场布局及遗传算法研究综述.....	7
2.1 集装箱码头堆场的相关概念.....	7
2.1.1 集装箱码头的概念.....	7
2.1.2 集装箱码头堆场的概念.....	8
2.2 集装箱码头堆场布局优化的特点和影响因素.....	10
2.2.1 布局优化理论.....	10
2.2.2 集装箱码头堆场布局优化的特点.....	11
2.2.3 集装箱码头堆场布局优化的影响因素.....	12
2.3 遗传算法的概念及应用.....	13
2.3.1 遗传算法的概念.....	13
2.3.2 遗传算法的流程.....	14
2.3.3 遗传算法的特点.....	18
第 3 章 X 集装箱码头堆场的现状及存在的问题.....	19
3.1 X 集装箱码头堆场现状.....	19
3.1.1 X 集装箱码头堆场布局介绍.....	19
3.1.2 X 集装箱码头堆场作业流程.....	22

3.1.3 X 集装箱码头堆场生产运作要求.....	24
3.2 X 集装箱码头堆场布局存在的问题.....	24
第 4 章 基于遗传算法下 X 集装箱码头堆场布局优化建模及验证.....	27
4.1 基于遗传算法下 X 集装箱码头堆场布局优化模型建立.....	27
4.1.1 堆场布局优化模型的设计要求和原则.....	27
4.1.2 相关假设与参数定义.....	28
4.2 优化模型的建立.....	28
4.2.1 参数设定.....	28
4.2.2 决策变量设定.....	29
4.2.3 目标函数及约束条件.....	29
4.3 矩阵式遗传算法的实现.....	30
4.3.1 矩阵式的染色体编码设计.....	30
4.3.2 生成初代群体.....	30
4.3.3 矩阵式遗传算法设计.....	31
4.3.4 选择策略.....	32
4.4 演算与分析.....	32
4.4.1 参数录入.....	32
4.4.2 结果分析.....	34
第 5 章 X 集装箱码头堆场布局优化的具体措施.....	37
5.1 周密制定集装箱堆存计划.....	37
5.2 及时了解进港箱量动态.....	39
5.3 科学堆存工艺提高装卸效率.....	40
5.4 优化进送箱提箱流程.....	43
第 6 章 结论与展望.....	46
参考文献.....	47
攻读学位期间发表的学术论文.....	51
致谢.....	52

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

集装箱是一种具有一定强度和标准规格的大型货物容器，成为件杂货运输的标准运输单元。在全球经贸一体化的背景下，集装箱运输凭借其安全、高效等特点成为当前国际贸易产品运输的主流方式，并且在全球范围内持续高速增长。在 2008 年金融危机之前的十年里，全球集装箱运输市场以平均 8.6% 以上的速度稳定增长，而在经济逐步复苏下，2013 年全球集运市场需求增长率恢复到 5%~6%，未来数年市场仍将进一步扩展。2013 年全球新交付船舶预计超过 170 万 TEU，其中 7500+TEU 新交付船舶仍然占 65% 以上，市场总运力继续处于 8% 左右速度增长，集装箱运输市场呈现大型化、规模化、高效化的发展态势。

改革开放以来我国加大了对国际航运经济的投入与重视，在主要沿海城市投资兴建和扩展港口的集装箱吞吐能力，并依托中国加工业发展而早已成为了全球集装箱运输市场的中心。我国近 90% 的国际贸易货物是通过海运完成，而其中又以集装箱船舶运输产生的附加值更高，是我国长期以来国际海运业发展的核心。在 2013 年的全球 10 大集装箱港口中中国占据 7 席，上海港以 3361.7 万标箱的吞吐量，连续 4 年坐稳全球第一的宝座。排名第二的新加坡港与上海港的差距从 2012 年的 80 余万标箱扩大到 100 余万标箱，其 2.9% 的增幅稍低于上海港的 3.4%，我国已初步形成以上海港为核心枢纽、以天津青岛为北翼、深圳广州为南翼的三大港口群。2014 年上半年，上海港集装箱吞吐量继续保持稳步增长态势，共完成 1726.34 万标准箱，同比增长 5.74%，增幅较去年同期增加了 2.8 个百分点，成为全港货物吞吐量增长幅度最高的指标。这些数据一方面体现了我国港口设施效率提高以及货运市场的回暖以及集装箱船舶大型化的趋势日益明显，但同样考验着码头堆场的承载能力，并对集疏运能力提出了更高的

要求。集装箱堆场最为港口的重要组成部分，承担配合船舶装卸作业以及集装箱临时集中存放转运枢纽的作用，直接影响港口物流的运行效率。但因为受场地陆域面积的制约，码头堆场的空间利用率就变得更为珍贵，并且直接影响到集装箱港口的竞争力。

对于码头堆场布局的研究是提升港口物流系统的重要部分，目前国内外的研究主要集中在优化集装箱装船的流程和准备的优化，也有部分学者对后方堆场和独立堆场布局对港口协同关系进行研究，对于集装箱码头内部堆场的布局优化研究相对较少，尤其是在当前集装箱大型化的趋势下，亟需开展相关研究优化港口功能布局，以科学方法设计码头堆场的优化模型来提升港口的工作效率，为规划人员提供参考。同时，为了更好的实现港口堆场以及港口机械资源的利用效率，提升港口生产的潜能，本文的研究符合港航物流业的经济效益，具有重要的意义。

1.2 文献综述

1.2.1 国外研究

国外关于集装箱码头堆场的研究主要集中在集装箱码头装卸调度优化、堆存布局优化策略和集装箱入场堆存问题展开。

从码头装卸调度问题上，McDowell（1985）通过集装箱终端系统的统计从而对集装箱在装卸时的倒箱问题进行分析，并建立自动车辆导航系统对码头场内短驳运输进行模型构建，认为码头的规模扩大了装卸倒箱问题的出现概率；Yoichi Hirashima（2008）研究集装箱进场和上船的调度动态，并基于此总结出集装箱进场有序和上船无序的矛盾，认为这组矛盾是影响集装箱码头内堆场效率的主要问题，并提出排列计划的据测和布局优化的建议；Marco Caserta 从船舶的安全性和效率性角度研究了港区内集装箱装载的要求，认为码头集装箱装卸调度的核心在于船舶的稳性并将倒箱次数降到最低；Preston 和 Lozan（2001）

基于船舶滞留最低下建立堆存集装箱箱位的最优分配模型，提出港口计划模型。Lai & Lam（1994）基于不同堆场调度策略情况下对港口吞吐量、设备利用率、装卸效率等数据进行比对分析，从而探索调度策略的优化。

从堆存布局优化策略问题上，K.H.Kim（1994）利用混合整数规划和启发式算法探索装箱操作的效率优化，提出提升集装箱存储布局优化的动态优化模型；Taleb Ibrahim（1993）通过运用出口集装箱堆场系统仿真进行试验，分析堆放高度与倒箱率之间在不同堆场模式下的关系，提出了集装箱出口量一定时的堆场面积与机械配备的比例优化；Marco Caserta（1993）提出设立堆场缓冲区来减少堆场堆存压力并运用动态规划制定远距离待运集装箱的堆存模式。H.K. Kap（1998）以改善倒箱率和最小移动距离为视角建立模型对堆场空间重构并进行合理分配。J.F. Cordeau 运用遗传算法和禁忌搜索两种算法，以码头堆场与待装卸船舶间的距离作为目标函数构建模型。

从集装箱堆存问题上，Andreas Bortfeldt（2001）通过对集装箱进场顺序的树形检索排列，改进待装船集装箱进入港区的时间和空间顺序，来优化港区堆场的空间利用能力。Atkins（1983）从集装箱码头堆场作业模式选择上提出面积、装卸量、建造成本、机械成本和外部因素等可变因素来实现对场站的优化管理；Mat 在 John Kevin 设计集装箱码头堆场布局所建立的整数线性规划的基础上，运用离散事件仿真模型来评估集装箱码头堆场内箱区宽度的变化对集装箱码头堆场工作效率的影响；Saanen（2006）对集装箱码头堆场进行仿真研究，假设完全通过轮胎式吊机完成所有港内堆场作业所需移动次数来分析堆场布局的效率，从而提出优化的建议；Kim（1998）等关注对场内车辆短驳运输效率问题，并用整数规划优化运输时间最小来解决场内运输效率低下的问题；Kozan（2000）认为影响集装箱码头作业效率的影响因素主要是营运策略和实体布局，应当依据货运量实行战略选择，决定集装箱堆场规模、场地强度、轨道布置和设备选购。

1.2.2 国内研究

目前，国内关于集装箱码头堆场布局优化的研究主要集中在对码头堆场箱位堆存、机械运用等微观角度，缺乏对码头堆场整体布局的优化研究，主要研究成果包括：

刘鸣华（2009）确定了集装箱码头堆场布局类型、堆场轮廓以及堆场中垂直与平行通道的数量运用整数规划方法建立了吊车动态分配模型。

徐伟、王少梅（2006）应用 em-Plant 仿真软件对集装箱码头布局的多种规划方案进行仿真。扬扬通过分析集装箱码头堆场容量与采用不同装卸系统的关系，提出了减少集装箱码头堆场面积的策略。

张艳（2008）分析了港口的堆场面积和决定堆场面积的因素。郑鑫用可视化仿真弥补数学建模中的抽象理论，用直观的仿真评价结果代替传统数学评价。

赵艳艳等（2013）从铁路堆场的角度出发，运用遗传算法求解集装箱堆场内零散箱的分配位问题，并提出计划期内减少倒箱次数的优化模型。钱永兴通过运用虚拟现实技术对码头布局规划的应用情况进行了综述。

张建新（2005）结合我国交通运输行业标准的设计规范，分别从港口堆场、道路设计规范以及道路桥梁的设计规范入手，结合港口的实际情况，对港口堆场的陆域形成、地基处理以及铺面的设计进行了深入地研究。

郭子坚等（2013）基于码头堆场存量变化规律设定随机规划模型，得出一定吞吐量下日堆存量服从正态分布时的堆存容量最大的结论。

林清发（1987）针对港口集装箱码头的规划及机械的配置进行综合探讨，对于各式起重机械的成本以及人力资源配置的估算进行深入分析，提出了在集装箱港口堆场建设中应当考虑的 9 项因素。

张永伟（2004）在对集装箱货运站作业效能进行比较的基础上，结合官、产、学的意见，以码头长度、堆场面积、地面平整度、机械设备等因素作为评估标准，拟定集装箱货运站的效能评比，认为集装箱堆场的布置在营销集装箱

运输效能的权重最大。

卫家骏（2010）从缩短集装箱在港时间的角度提出优化堆场位置的方案，使用启发式优化算法模拟装船过程，以模拟试验牵引车的移动距离和通常堆装方法牵引车移动距离的对比数据得出结论，实现没有倒箱下出口集装箱位置的更合理地安排，最终实现码头装船效率的提升。

周健（2012）以均衡各个箱区贝位间装卸作业总量为目的，通过分析堆场分配的影响因素和动态性特征，建立堆场贝位资源的分配优化模型并通过 lingo 将分配优化模型进行算例分析，算得优化结果。

郝聚民，纪卓尚（2000）运用图搜索技术和模式识别的理论基础上，在混合顺序作业模式下建立堆场作业模型，对堆场贝位进行优化求解。

沈剑峰等（2007）研究码头堆场存在遵守规律性的操作特点，基于这种特点提出箱位分配计划方案并以分配区域划分、作业模式及规则匹配、最优箱位选择三部分，提出基于知识的箱位分配模型。

杨淑芹，张运杰等（2002）主要关注解决集装箱倒箱率问题，在先到箱先服务和上轻下重两大原则之下，启发式算法求解模型得到箱位分配优化方案。

刘艳等（2009）分配码头堆场时减少集卡运输距离为考量，运用模糊优化理论，提出减少箱区间的作业量的不平衡性的方案。

1.3 论文组织结构

本文通过对该集装箱堆场的现状以及布局的合理性来分析堆场面积利用率、箱位利用率、堆场作业距离、作业效率等数据，在此基础上利用遗传算法把堆场功能区按作业距离划分，详细分析堆场布局相关影响因素的基础上，建立该堆场布局的优化模型，给出基于遗传算法的模型求解算法。通过优化验证结果，最后得到该集装箱码头堆场优化前后的对比论证。本文在大量文献阅读的基础上，运用遗传算法对建立布局优化模型求解，进行优化验证结果，最后

通过该集装箱码头堆场优化前后的对比论证。提高码头堆场利用率，设备利用率，集装箱码头集疏港及集装箱中转运输效率，有效降低码头作业成本的目的。使得该集装箱码头堆场在市场中提升自己的行业竞争力。具体研究思路结构图如下：

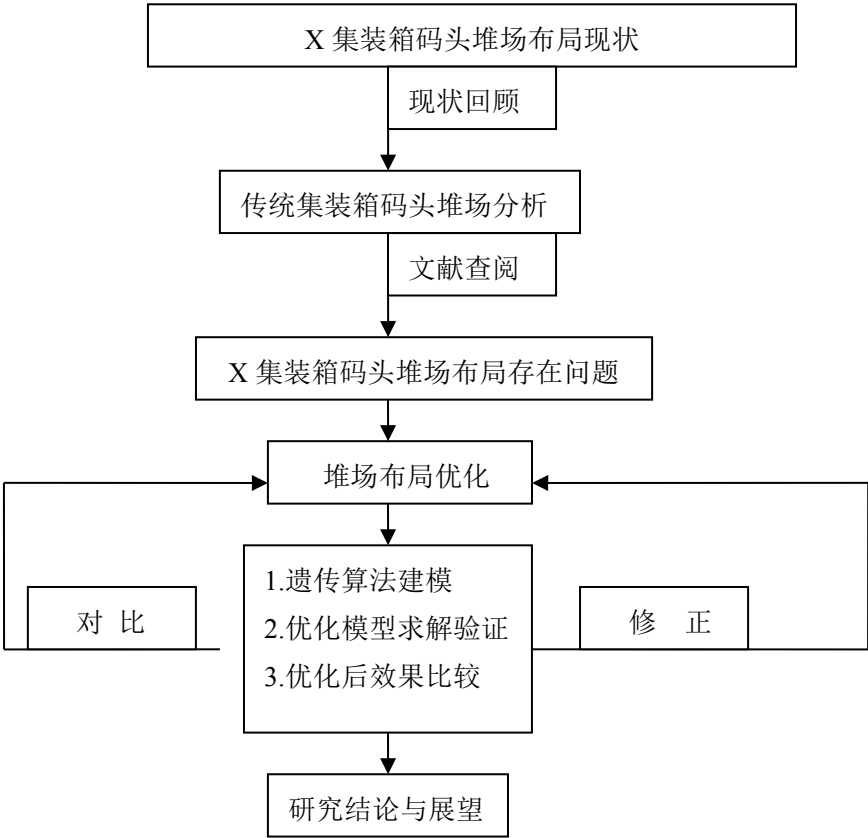


图 1-1 研究思路图

第 2 章 集装箱码头堆场布局及遗传算法研究综述

2.1 集装箱码头堆场的相关概念

2.1.1 集装箱码头的概念

集装箱运输是海上运输的主要方式之一，发展集装箱运输的首要条件就是具备优良的集装箱货运码头，用以提供集装箱装卸、储存、集散以及流通等功能。集装箱码头是指为集装箱船舶停靠和航行所配备的港池、航道和泊位等水域以及为集装箱在陆域范围内流通的堆场、闸口、货运站，以及为港区运作而设置的中控室、办公室和生活区域等陆域范围，实现对集装箱装卸全过程保障和服务的场所。集装箱码头是水陆联运的缓冲地带，是两种交通运输转换的枢纽，因此在整个集箱运输中扮演着重要的作用。通常的集装箱码头基本布局的构成如下：

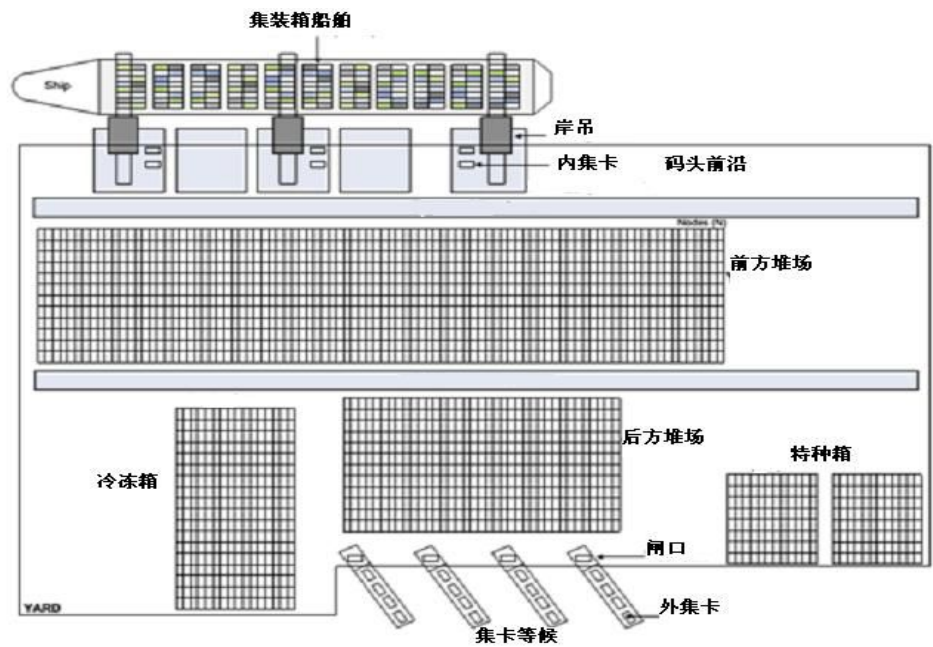


图 2-1 集装箱码头基本布局结构图

如上图所示，在一个完整的集装箱码头装卸流程中，集装箱首先通过在堆场中的场桥进行提箱，并载至场内作业车辆或运输机械后运至码头前沿，并有码头前沿的岸桥实现装船。卸箱时，场内作业车辆或运输机械到达船边，岸桥将穿上卸下集装箱放置于场内作业车辆或运输机械上后运输至堆场进行堆存。集装箱码头的运营系统包含许多环节，由船边到陆侧大致可分为桥吊装卸作业、码头与堆场间的运送作业、堆场内集装箱对方计划、堆场提箱作业等（详如下图 2-2）。在整个集装箱码头堆场运作的模拟图上，横轴依照集装箱移动的物理路径，即从内陆腹地、堆场搬运车、堆场、堆场起重机、岸边桥吊、直到集装箱船上的运动轨迹；纵轴是依照规划时间长短分为码头设计、作业规划和即时控制三个阶段。本研究的重点就是集中讨论码头规划下对集装箱堆场布局和堆存的优化，即图中虚线的区域。

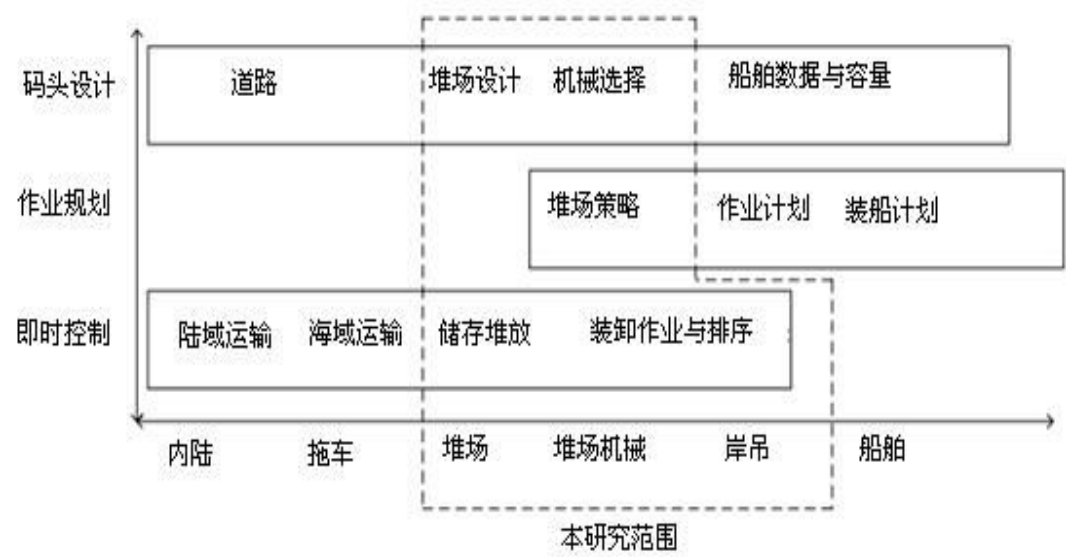


图 2-2 集装箱码头设施资源规划与控制

2.1.2 集装箱码头堆场的概念

集装箱码头堆场是指为提供船舶装卸所堆存的集装箱而设置的专门性场所，且在货主完成提货前的一定时间内代为保管的区域。码头堆场可分广义和

狭义两种。广义上是指为提供集装箱堆存所配备的所有专门场地或库区，包括前方堆场（marshalling yard）、后方堆场(container yard)、空箱堆场(van pool)等；狭义上的堆场是指储放货主不能及时提箱而进行空箱和重箱交接的场所，即后方堆场。前方堆场靠近码头前沿，一般为了提高卸船效率而暂时提供的进口箱暂存区域，其实际要求是能够满足港口最大容量的集装箱船舶在最高密度时卸箱的短暂堆存要求，明显与后方堆场的功能有所差异，这种对码头堆场的空间划分是基于不同服务目的和功能而设计的。但也有一些国家的码头并不特地设置前方堆场，而是统称为码头堆场，这样虽然损害了装卸船的效率，但是在陆域范围受限的情况下提高了堆存总容量。

在集装箱码头堆场中，按照不同箱型划定箱位线进行堆放，利用四维的箱位号对具体集装箱进行分类和编码，以街区（block）、贝位（Bay）、排号（Row）、层号（Tier）四组数据确定任意集装箱的位置，实现精确追踪。堆场同时也会分类在不同区域堆放，设置空箱区、重箱区、制冷箱区、修箱区等。堆场的主要功能是存放集装箱，但围绕主要功能而延伸出收发、拆箱、搬运、捆绑、冲洗、掏箱、熏蒸、维修、揽货等服务，是开展集装箱运输运营的后勤保障。

就集装箱码头而言，它的组成可分为三个主要的设施单元（facility unit），即码头前沿作业区、码头堆场和进出闸口。码头前沿作业区也称船边作业区、船港界面，主要服务对象是船舶，提供集装箱装卸服务；闸口的主要服务对象是货主，提供集装箱车辆的进出；而码头堆场是两者的缓冲区，提供集装箱暂存和整理的服务。三个设施单元各自作业既具有独立性，同时也彼此相互影响。由于闸口、堆场的效率直接影响到码头前沿作业区的工作效率，所以常被用以作为衡量码头生产效率的外部指标。然而因该两项作业又以堆场为中心来衔接，因此堆场的作业在整个码头运营中扮演着承上启下的核心角色。

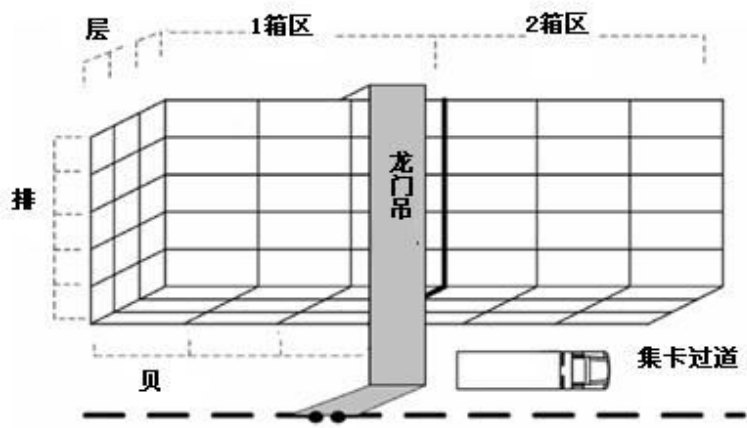


图 2-3 集装箱堆存示意图

2.2 集装箱码头堆场布局优化的特点和影响因素

2.2.1 布局优化理论

布局优化就是依照现有空间格局的实际情况，通过贯彻企业的经营思路和发展方向来对目前的空间格局进行重新分配以达到效益最大化，实现现有资源与空间的契合，发挥更大的功效。布局优化应当以科学合理为原则，通过布局优化可以提升空间利用率，提升运输效率，减少企业营运支出，有效提升企业效益且影响深远长久。在空间布局优化决策中需要多方面考虑各种影响因素，可以分为静态布局优化和动态布局优化两种。前者在限定部分变量的前提下，对所假设的已知量进行空间布局，所以分配结果不受时间的影响，可用于物流配送中心选址等问题上；后者在布局过程中引入时间因素，空间供应需求会随时间变化而产生波动，布局方案在特定时间段都需有所变动，以适应当时的实际情形。

在集装箱码头堆场问题上，由于优化堆场布局的首要目的是为了提提高装卸船舶效率出发，而到港船舶和收发货集卡的抵达时间相对无规律，货量容易出现时段波动，堆场的空间利用率和布局合理性直接影响装卸船的工作效率。优

化布局集装箱堆场实际就是对堆场内的集装箱堆放位置进行合理科学分配，其主要优化的内容包括：合理分配前方堆场与后方堆场的比例、合理设置堆场的长度、减少堆场内和堆场与码头前沿间各运输机械的运行距离、降低堆场倒箱率、平均分配各贝位的作业量等。

2.2.2 集装箱码头堆场布局优化的特点

（1）动态性

集装箱码头服务于全球不同船型规模的集装箱船舶进行全天候的装卸作业，同时集装箱码头堆场又扮演着疏港功能，所以堆场在船、货双方间成为一个衔接部门，但船、货双方在时间上并无明显规律，受天气、船期变动等影响，船舶可能会出现集中到港、集中装卸的作业高峰时段，同时货方一边也容易出现集中堆存或取货的波动，所以时间因素对堆场空间分布问题的影响十分大，是比较典型的动态布局优化的问题。

（2）依赖性

依赖性主要指集装箱在船舶、码头堆场与闸口之间的物理转移必须依赖于专门机械完成，而布局的优化不仅仅是在时间上提高效率，同时也要通过优化实现对运输工具运输距离的降低。同时，由于港口机械造价高昂，为了充分发挥港口机械的效率，需要平均分配各个贝位间的作业量，避免造成某贝位过分集中而其他贝位机械闲置的情况发生。

（3）逻辑性

对于集装箱堆存而言，牵涉重箱与轻箱关系、先取与后取关系、标准箱与特种箱关系等，在科学布局优化时必须充分考虑多组关系，从而制定最为高效的布局方法。这种强逻辑性问题必须通过制定布局优化计划，根据相对固定的船期进行提前规划，实现船货双方高效完成集疏运的作业。

2.2.3 集装箱码头堆场布局优化的影响因素

(1) 外部环境因素

外部因素包括集装箱的规模、船舶到港时间、港口设施条件、货方信息报送等。首先，集装箱码头堆场布局最直接的影响因素就是待装卸集装箱的总数，如果布局不合理容易造成倒箱和场内机械等待，降低作业效率；船舶到港时间决定了单位时间内集中作业的数量，是对堆场承载力的考量，影响着堆场布局的大小以及前方和后方堆场的比例关系；港口设施设备与布局优化有着密切的关联，并非一个科学的布局优化就能适应任何港口，还需与特定港口的机械水平及员工操作相匹配与融合；同时，货方送箱、提箱环节的的时间的不确定性远比集装箱船舶抵港更高，虽然通过信息技术可以做到提前通知和及时催告，但未及时取箱造成堆场内集装箱堆积的情况仍较为普遍，也是影响集装箱码头堆场布局的重要因素之一。

(2) 内部环境因素

堆场内部环境的主要数据包括箱区的位置，堆层的高度，箱区贝位的数量和贝位的堆存能力等，这些数据影响着堆存布局，其中直接反应出的就是倒箱率和作业机械的行驶距离两组数据。倒箱作业是一个常见也是不可避免的作业环节，主要因为卸船顺序及提箱顺序不确定所产生的矛盾，以及重下轻上的堆放原则、待装船前整理箱位等情形需要而必然产生倒箱。为了提高港口作业效率，就必须着眼于减少堆场倒箱来实现优化；

作业机械行驶距离包括车辆和装卸机械，我国目前的港内以集卡运输系统最为普遍，运输距离的上升直接影响到船舶等候时间，对港口营运效率产生影响。因此，降低集卡行驶距离是优化的重点。而国内堆场内的装卸设备以轨道式龙门吊和轮胎式龙门吊为主，部分港口使用正面吊进行装卸。龙门吊移动速度缓慢，不易频繁长距离移动，应合理规划布局。

总结外部环境和内部环境，可以得到堆存空间布局优化的主要影响因素如下图所示：

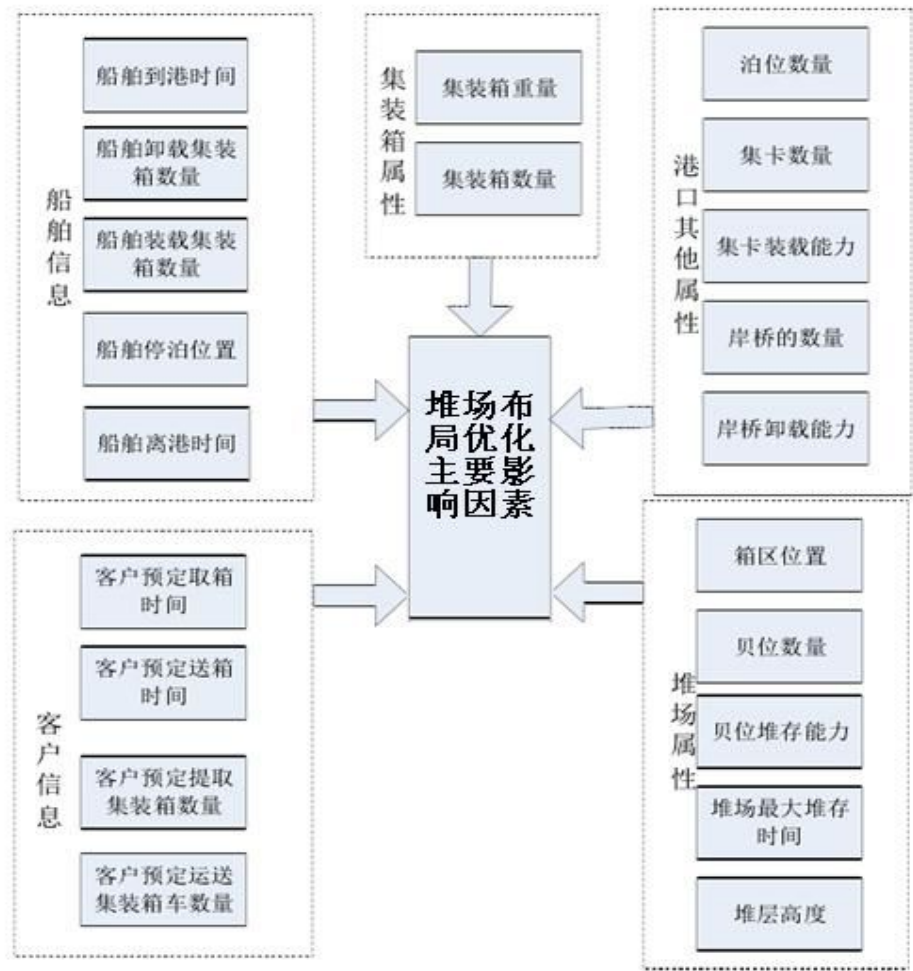


图 2-4 堆存空间布局优化的主要影响因素

2.3 遗传算法的概念及应用

2.3.1 遗传算法的概念

遗传算法（Genetic Algorithm, GA），也称基因遗传演算法，是模仿生物机制发展起来的随机全域搜索和优化方法，霍兰德(John Holland)在 1975 年提出遗传算法后，就经常被广泛应用于工程及数学上优化问题的求解。遗传算法是演

化式演算法 (Evolutionary algorithms) 中最为著名也是应用最多的演算方法, 它借鉴了生物进化学鼻祖达尔文(Charles Darwin)的进化理论和现代遗传之父孟德尔(Gregor Mendel)的遗传学说, 通过将欲求解问题予以编码形成染色体, 再经过自然演化过程如择优、交叉、变异等过程, 使适应能力较佳的子代得以保留父代优良的基因获得存活, 并不断演化形成物竞天择、适者生存的进化模式, 直到求出近似最优解^[36]。遗传算法用来处理复杂问题的优化, 所以具有很强的鲁棒性, 并且通过许多学者的改进, 延伸出分层遗传算法、CHC 算法、混合遗传算法、矩阵式遗传算法等。

遗传算法的优点在于: 首先遗传算法将求解问题予以编码, 如采取二进制编码, 透过对串列单元运作, 达到跳出搜索空间的限制; 其次, 使用遗传算法能较为全面的进行分析, 通过多点方式搜寻空间可以有效避免因单点搜索陷入的局部最优解; 同时, 遗传算法利用适合度函数作为判断依据, 可以简化许多复制的计算和推导。但遗传算法也有一些缺点, 主要在于其根据不同复杂情况需要采用不同公示运算, 否则影响搜索速度, 而在搜寻中也会出现重复搜索的情形, 导致运算时间增加。遗传演算法的演算效率主要受到族群大小(population size)、交叉机率(crossover rate)及变异机率(mutation rate)的影响, 其影响情形为族群大小影响演化最后效能及遗传演算法效能, 而交叉机率及变异机率分别影响各该机制发生的频率, 在进行各参数设定时, 只要针对问题本身的特性作适度调整, 基本上能达到令人满意的演算效率, 就目前的研究显示, GA 是一种具有效率且稳健的最佳化技术, 其理论基础源至于 Holland 的型式理论(Schema theorem)。

2.3.2 遗传算法的流程

(1) 定义求解参数编码

将求解问题依据实体变数范围与精度, 以传统演算法染色体最常使用的二

进位方式编码或者依据特殊需求利用实数及符号方式编码来解决从问题空间到表达空间的映射问题。

（2）产生初始染色体父代

遗传演算法一般而言并不需要有良好的起始解，因此可利用随机方式产生初始染色体群集，但若考量后续演化的效率，则可采用根据资料分布的染色体群集。在产生方式上可以选择随机产生或者用先验知识过滤后的随机选择。

（3）个体适应度计算

为了描述达尔文进化论中的“天择”，遗传演算法可以利用染色体适应值或适应函数来衡量与目标之间的差异，以便于演化过程判断染色体的优劣。适应函数的设计通常依据问题的要求而有不同考量，因此对于多目标问题主要方式如 Pareto-based 方式及 non-Pareto 的方式，都有若干尚待解决问题，所以基本上仍应视问题本身弹性运用具有适当搜寻效果与速度的适应函数。在设计适应度函数时需要满足连续非负单值且最大化的约束，同时要求一致性、通用性强。在实际遗传算法的操作中牵涉复制、交叉、变异和收敛条件四个环节。

（4）染色体复制

为效仿生物界的无性繁殖，由父代中挑选个体，以保留较佳的染色体并避免过度集中挑选，确保适当的收敛效率及多样性参与演化，因此依照前述适应值，将染色体族群以特定方式进行选取后复制。主要的复制方式有轮盘法 (roulette Wheel Method)、排序法(rank selection)、比较选取法(Tournament selection)和菁英政策法(elitism strategy)。

轮盘法依照染色体适应值占族群适应值总数的比重作为选取的范围，并以随机值判断选取染色体，就如同射飞镖至轮盘上，轮盘所占面积较大者，有较高机率被选取，如 Holland，以染色体适应值与被选取的期望值成正比所发展而来，因为较为简单而常被使用^[37]。排序选取法对于染色体适应值差异过大而导致过早收敛的情形，排序选取法不同于轮盘法参考的比重方式，而以染色体适

应值优先序位占族群数目的比重作为选取的范围，最后再配合轮盘法的方式选取，但因为增加排序过程而有降低演算效率的情形。比较选取法对于最小值、涵盖负值值域以及染色体适应值差异过大之问题有较佳的适用性，其方式有如自然界竞争模式，系由父代中随机挑选预定数目的染色体，再选取其中适应性最佳的染色体，又称为竞争选取法。菁英政策法由 Goldberg 提出，保留数个适应性最佳的染色体，直接进入下一代，以便提高最佳解的收敛速度^[38]。

（5）染色体交叉

在演化的过程中，为了能进一步产生适应性更高的染色体，由类似生物界的有性生殖，将两条染色体进行重组，重组后的结果可由后续的演化，逐渐产生更佳的结果，以达成进化的目的。常用的交叉机制有：单点交叉(single point)、双点或多点交叉(two point or multi-point)、均匀交叉(uniform)。

(1)单点交叉利用一随机值与交叉率决定是两染色体是否交叉或直接复制，再由另一随机值决定两染色体基因位置交换切断点，为最简单交叉方式；双点或多点交叉利用一随机值与交叉率决定是两染色体是否交叉或直接复制，再由两随机值决定两染色体基因位置交换切段起点与切段终点，为最常用交叉方式；均匀交叉由随机值与交叉率决定交叉后，再利用随机值决定与染色体等作为遮罩(mask)，最后以遮罩决定交换点。综合 Beasley, Bull, and Martin^[39]与 Spears and De Jong^[40]研究显示，双点交叉优于单点交叉，而当族群染色体适合度接近收敛时单点交叉表现才会优于双点交叉，另外因为均匀交叉有破坏 GA 搜寻结构的情形，有的研究指出只有在特定情形下才有较佳的效果。

（6）染色体变异

经过复制交叉后染色体仍保留父代中较佳的基因，但为了更佳的进化并避免陷入区域的最佳解，必须运用自然界的变异机制，以达成演化成果接近全域最佳解，虽然变异的增加可以加入有用的基因，但也会造成遗传演算法如同随机搜寻，而失去演化的效率，经由设定一低变异机率 rm ，可有效改善此一情形。

常用的变异方式有单点及双点，其变异与否由一随机值 rm 决定是否变异，再由另一随机值决定染色体 m 个位元之变异位元，若染色体族群数有 n 个，则每代有 $rm \times m \times n$ 个位元变异。

(7) 收敛条件

由于遗传演算法属于搜寻法的一种，在尚未停止演化前永远有机会寻求全域最佳解，为了避免无意义的搜寻而陷入无穷迴圈，常见的收敛条件包括以下四点：

- 1) 达到预设代数；
- 2) 最佳解经过一定代数未有改变；
- 3) 满足预设目标值；
- 4) 混合 1)及 2)，即达到预设代数，且最佳解经过一定代数未有改变。

遗传算法流程图如下（图 2-5）：

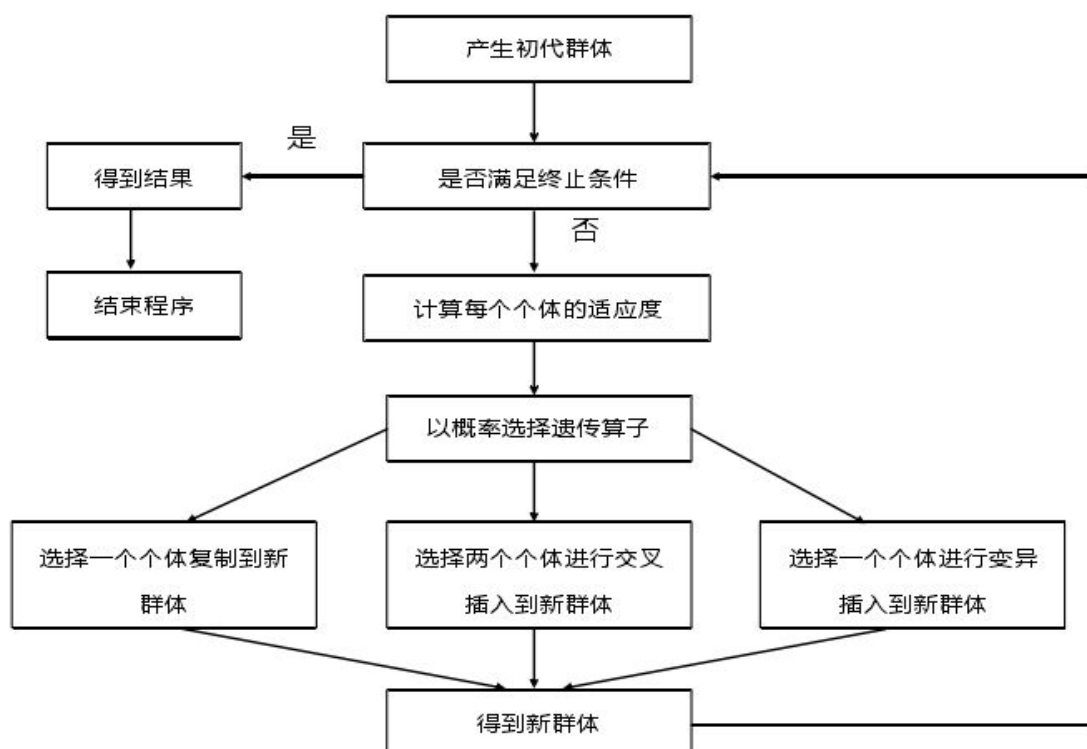


图 2-5 遗传算法流程图

2.3.3 遗传算法的特点

根据 Pernkopf 及 Haupt 等的理论，遗传算法具有的特点可概括为：

- (1) 可同时优选连续问题与不连续问题；
- (2) 可扩张处理多参数问题，算法不是对参数本身起作用，而是对问题参数的代码集起作用；
- (3) 具有并行搜寻能力，优选结果提供一组并非单一的最佳解；
- (4) 演化作用于编码后的染色体，因此不受参数连续性的影响；
- (5) 演化过程无需求目标函数的导数及其他辅助信息；
- (6) 具有极强的容错能力，能迅速排除与最优解相差极大的染色体；
- (7) 遗传算法中的选择、交叉、和变异都是随机操作。
- (8) 具有智能性即自学习性、自适应性和自组织性的特点

第3章 X 集装箱码头堆场的现状及存在的问题

3.1 X 集装箱码头堆场现状

3.1.1 X 集装箱码头堆场布局介绍

X 集装箱码头地理位置北临蕴藻浜，西依逸仙路。岸线长约 820 米，南靠 X 件杂货码头。港区有两条铁路支线同上海的铁路网相衔接。1978 年开辟了我国第一条国际集装箱运输航线。现 1~4 号泊位为集装箱专用码头，属上海集装箱码头有限公司（简称 SCT）经营，总公司投资总额为人民币 56 亿元，注册资本为人民币 20 亿元，由上海港集装箱股份有限公司与香港和记黄埔上海港口投资有限公司共同投资组建的，沪港双方各占 50% 股权，合资经营期为 50 年。公司提供装卸、储运、集装箱转运、洗箱、船舶代理、提供电子数据变换服务、内地货物在上海的储存和货运中转站的经营，每天 24 小时不间断地为客户提供全方位的集装箱码头服务。X 集装箱码头 2013 年前 3 季度 108.9 万，同比增长 10.7%。

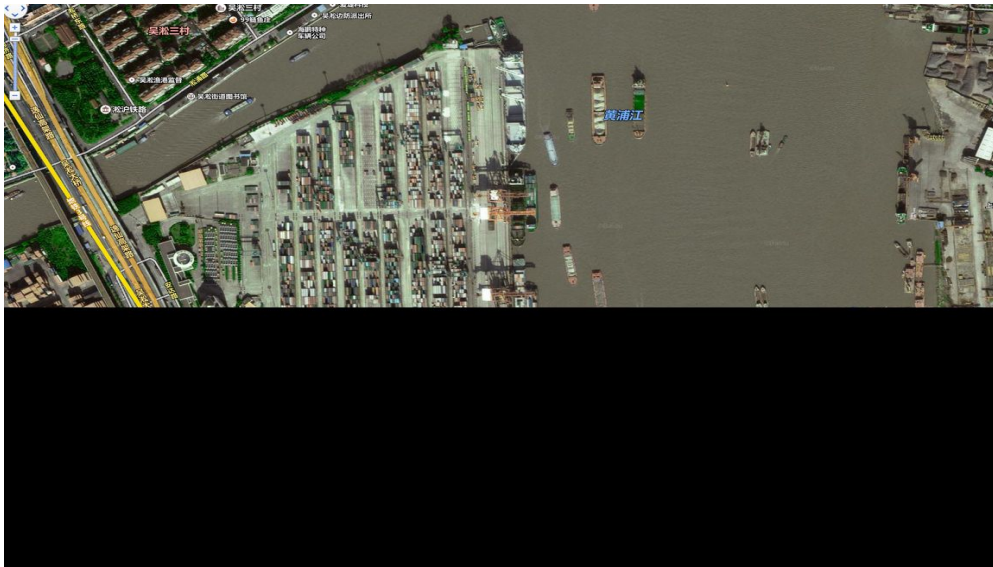


图 3-1 X 集装箱码头平面图

码头结构为高桩梁板式。共有四个集装箱船舶专用泊位，其中新建一泊位长 244 米，改建原二泊位 180 米，共 424 米。端部另设滚装船靠泊作业过渡段。集装箱作业拥有各类装卸机械共计 30 多台，码头配置额定起重量为 30.5 吨装卸桥 4 台，岸边桥式起重机最大负荷 55 吨，共 5 台，轮胎式龙门起重机 9 台，轮胎式龙门起重机最大负荷 35 吨，以及相应的集装箱拖挂车、铲车等配套装卸机械 170 台。码头陆域建有堆场面积 11.2 万平方米，总箱容量（包括冷藏箱位）为 1.08 万标准箱；道路面积为 5.6 万平方米；后方设置有总面积为 9940 平方米的公路拆装箱库，及总面积为 8733 平方米的生产辅助设施，装卸工艺采用 80 年代初期水平的“轮胎式龙门起重机工艺系统”总平面布置首次应用了交通工程的理论和方法对集装箱码头进行交通组织设计。码头主要以内贸沿海集装箱为主业务，也从事中日近洋运输，提供装卸、储存、中转、保管业务以及港口信息、技术咨询等综合服务，设计年集装箱吞吐量达到 120 万箱以上。

X 集装箱码头地理上属于 X 港区，该港区前身是上海港务局第九装卸作业区，于 1959 年 11 月 27 日建港投产，是上海港主要的内外贸货物（含集装箱）装卸企业。X 港区位于黄浦江下游，东临黄浦江，西傍逸仙路；码头腹地开阔，铁路线贯通港区，水陆铁交通便利；X 港区呈长带型、南北走向，岸线长 1605 米，拥有 9 个万吨级深水泊位，码头前沿水深达—10.5 米。公司占地面积 555128 平方米，其中仓库建筑面积达 49761 平方米，堆场面积 355585 平方米，年货物吞吐量达到 500 万吨以上，2011 年全年完成收入近 4 亿元，全年利润总额超过 6000 万元。公司是上海港机械装备全、装卸效率高、通过能力强的综合港口企业之一。X 港区拥有负荷量 50 吨的岸边桥吊 2 台、负荷量 35 吨 4 台；负荷量 50 吨的岸边起重机 2 台、负荷量 40 吨的岸边起重机 4 台、负荷量 16 吨 2 台、负荷量 10 吨 2 台；东风型自备铁路机车 2 台，最大牵引力达 6000 吨；其它各类起重和水平装卸机械百余台，能满足港口各类货物的装卸及集装箱的运输。X 港区主要经营业务有：重大件设备、钢材、纸浆、轨道交通车辆、工程机械、

内贸集装箱、散杂货等的装卸；“苏州”号和“新鉴真”号中日国际班轮的集装箱装卸储运业务；期货仓库、保税仓库业务。公司与世界上 70 个国家和地区的 100 多个港口有业务往来，拥有日韩、印度等多条国际班轮航线，与中冶集团公司、中国五矿集团公司、“中远物流”、“中外运”、上海电气集团等客户建立了长期战略合作伙伴关系。

X 集装箱码头管理科学化水平高，采用先进港口管理方法运作码头管理和安全，在近年来工作效率逐年上升，而安全事故有效控制。码头坚持规范化、系统化和标准化管理的经营理念，积极推进信息化建设，开发并运用了先进的电脑智能化管控系统，实现了对货物和生产全过程的实时追踪，确保装卸作业安全高效；我们的条形码货物交接系统不仅达到了货物交接准确，信息远程掌握的目标，而且已与多家大型物流企业合作，把条形码货物交接系统推广和运用到从产地到最终货物接收的全程物流中；我们积极优化管理流程，建立了"人员适应于岗位，岗位适应于流程，流程服务于企业目标"的管理模式，企业的经济运行质量和生产效率得到了有效提升。

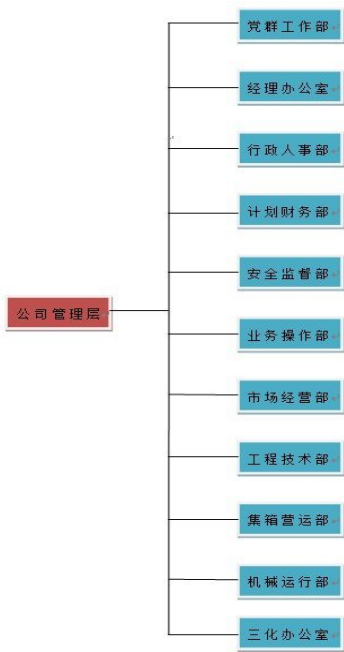


图 3-2 X 集装箱码头组织结构图

3.1.2 X 集装箱码头堆场作业流程

集装箱码头服务的对象主要是船舶和货物，因此港口服务的流程随货物和船舶在港口的流向而定。船舶走向系指从船舶抵港，靠上码头，进行卸船、装船作业，一直到离开港口。货物的流向是指从港口经营人与委托人签订港口业务合同起，货物进入港区、储存、装船、船舶离码头或反向的整个过程。同一般工业企业的生产相比，港口生产业务更为复杂，变化因素更多。集装箱码头作业的具体步骤如下：

首先，在货船进入黄埔江口的同时，X 港口的总操作室会接收到有货船进入的消息，在货船行驶进入 X 港口的码头并且停靠在指定的停靠点时，通过高架吊具将船上的集装箱搬运至码头的集装箱堆放区；船舶进入港口，港口工作人员对货物进行装船的操作也是一样；货船的停靠点以及高架吊具的运作都是由总操作室来进行运作；然后，通过 X 港口集装箱堆放区的进出口，以便大小型货车到该码头进行装货或者是卸货，由总控制室来操作利用轮胎式龙门吊控制装卸或者是卸货时的集装箱。从船舶抵港，靠上码头，然后港口的工作人员就会开始进行卸船、装船作业，一直到离开港口。X 港口里储存的集装箱货物时在进入港区之后，在按照港口经营人与委托人签订港口业务合同的规定的装货日期或者是装船日期来对货物装船，直至船舶离码头或者是集装箱货运车离开港口。

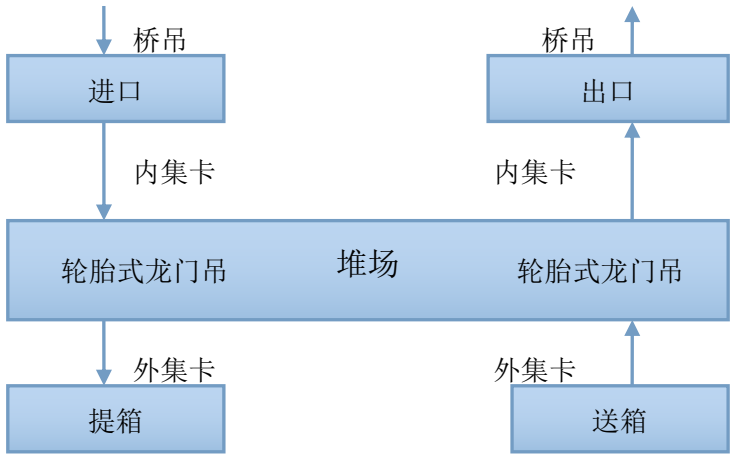


图 3-3 X 集装箱码头堆场作业流程图

而仅针对集装箱堆场的作业，堆场是一个双面和双向的功能区，承担船货两方、进出两向的叠加压力，所以通过进一步细化可分为出口、进口、送箱、提箱四个部分。出口集装箱在后方堆场内通过装卸机械轮胎式龙门吊将其装上内集卡直接输送往岸桥处装船；进口集装箱通过岸桥卸下后直接放置于内集卡上，并将集装箱送至具体贝位，再由堆场内的装卸机械轮胎式龙门吊放置到指定的箱位位置上；货主提箱时首先需递送提箱规划表以确定预估的提箱时间，并安排集卡到达指定贝区处，通过堆场内轮胎式龙门吊将所提集装箱装上集卡后出闸口完成提箱；货主送箱时同样先预报送箱时间，在检查口完成入场手续后将集装箱送到制定贝位区，通过堆场内的轮胎式龙门吊将其放于制定的箱位位置。

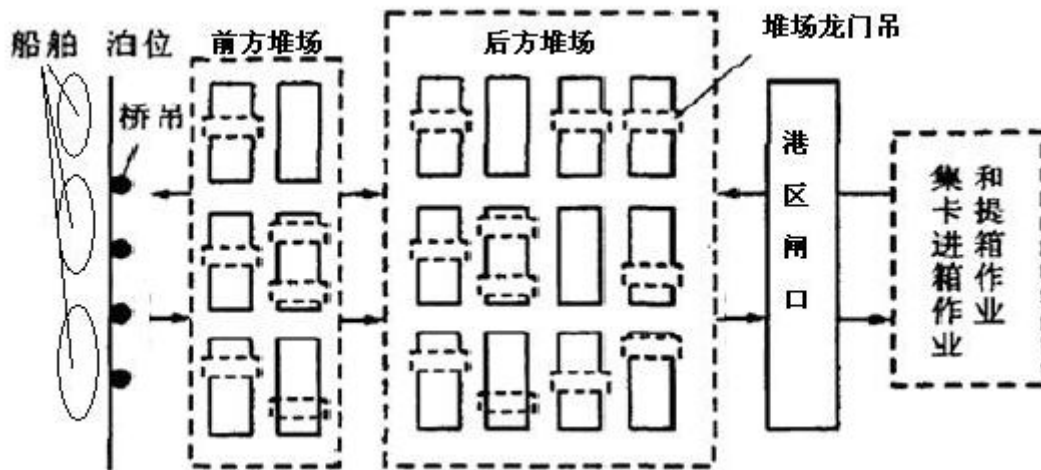


图 3-4 集装箱货物进出口码头作业流程图

无论是装、卸船还是进、提箱本质上都是集装箱在码头内的物理位移，集装箱装卸业务按性质可分为六大类：装、卸、进、提、翻、移，即：装船、卸船、进箱、提箱、倒箱和移箱这六类作业。这些作业过程都可以理解为一次集装箱位移，而位移过程的两端就是集装箱的两个作业点，通过不同的作业机械或桥吊或龙门吊或堆高机实现集装箱的装或卸，而通过集卡实现集装箱在两个作业点间的物理位移。

3.1.3 X 集装箱码头堆场生产运作要求

船公司不但要码头做得快，更要码头把靠离泊计划做得准，比计划提前两三个小时完工对船公司不见得是好事情。船公司希望码头效率稳定、计划准确，而不是大起大落。由于国内集装箱码头大多采用先进场、后报关、再放行的操作模式，因而给堆场计划和配载带来很大难题，特别是在堆场紧张的集装箱码头由于受堆场原因影响装船效率的现象非常普遍。目前 X 集装箱码头堆场利用率很高。所以现在如何优化货物配载，既满足船公司的要求，满足船方，船长大副的开航要求，又降低码头的倒箱率，确保船舶准时开航，兑现计划就成为一个值得研究的课题。

XSCT 码头是上海港目前唯一提供 HDS 服务的码头。目前，与上海锦江航运、山东烟台海运、中远集运等公司联手打造这一服务品牌。HDS，即快速交货服务 Hot Delivery Service 的英文缩写，其作业流程是：进口，HDS 船抵港后码头提供靠泊后的直接服务，货主在中、日港口向海关预报关后可在第一时间提取货物；出口，HDS 进箱按提单号区分，HDS 快箱在配船时集装箱要配在目的港的最上层，客户在船舶到港后即可提到箱子。如 HDS 箱子未放关，则预留舱位，确保 HDS 箱子正常运作，船舶则由按潮水开船改为定时开船。由于 X 码头主要承接国内和中日等短途沿海运输，其船舶批次较多，周转频率高，所以对码头堆场效率也提出了更高的要求。HDS 运作 2 年多来，以“安全、可靠、定时、快捷”为服务宗旨，利用船舶、中日码头、中日代理的整体组合优势，向客户提供适应现代物流的服务标准、服务项目，深受广大客户欢迎。以锦江航运公司为例，通过与该公司的合作，其上海至日本航线集装箱的运量占有率已居上海港第一位，成为中日贸易主要的海上承运人之一。

3.2 X 集装箱码头堆场布局存在的问题

近几年，随着 X 集装箱码头吞吐量的快速增长的同时也带来了码头作业的

难度。当码头的设备设施条件基本确定后，堆场作业成为码头公司面临的主要难题。码头公司不仅要解决堆场瓶颈，同时还要兼顾效率，而堆场布局的不合理是制约其发展的重要因素。堆场的布局主要有运输作业和堆场作业两大块，其中主要存在的问题有以下几个方面：

（1）堆场面积利用率的问题。堆场利用率是衡量堆场是否合理作业的有效指标，堆场利用率(%)=(平均堆场堆存货物量/平均堆存能力)*100%。从上述公式可以看出在平均堆存能力不变的情况下，平均堆存货物量决定着堆场的利用率。因此，要想提高堆场利用率就需要提高堆场的平均堆存能力。X 集装箱码头由于当前航运经济并未完全回暖的情况下，部分时段由于货源不足和管理不善等原因，堆场的利用率较低。

（2）堆场装卸作业距离过长。堆场是一个复杂的系统，机械设备在堆场中进行运输作业，由于堆场的场地结构等诸多因素使运输作业的效率降低。现在很多的集装箱码头堆场运输作业不考虑实际的堆场条件，往往要经过一段很长的距离才能进行运输装卸的作业，这样不仅影响了堆场的作业效率，而且提高了码头作业成本。而码头的作业成本和作业效率是码头立足的根本问题之一，高的作业成本和低的作业效率将会使码头失去竞争力，被其它码头所淘汰。X 集装箱码头在设计时的科学理论水平受限，所以堆场未进行科学划分和规划，在客观上影响作业距离，必须通过优化集装箱堆存布局降低作业距离，提高装卸船效率。

（3）避免大量倒箱问题。集装箱码头堆场上存放的集装箱都应有其摆放的位置，“倒箱率”。倒箱率的高低直接影响码头的装卸效率，进而影响计划的准确度。而倒箱率分析的最重要价值就是提高倒箱率的分析价值还表现在能够定量分析由此降低的码头装卸成本。对于月均装船 10 万自然箱的集装箱码头，倒箱率降低二个百分点，全年即可减少成本如下：10 万自然箱/月×2%×12 月×50 元/自然箱=120 万元（注：一次倒箱成本按小箱一次吊机费的 50%计算。）

由此可见，降低倒箱率对降低成本作用非常明显，据不完全统计直接进场的集装箱码头装船倒箱率在 8% 左右，如能有效加以控制，使倒箱率降到 5% 的水平，对于大型集装箱码头每年可降低成本 200 万以上。随着集装箱运输的普及，集装箱吞吐量也在大幅的增加，当堆场容量固定不变时，会在一定程度上增大堆场的利用率。此时，如果没有及时有效的进行集装箱堆场的整理，就会使堆场倒箱率随之上升。一些集装箱码头堆场箱子的存放位置会与实际的舱单要求的箱子的位置存在偏差，这样就会导致一些不必要的作业，影响堆场作业效率。由于 X 集装箱码头建造于上世纪 80 年代，当时码头服务对象为当时小型集装箱船舶，且班次密度不高，所以堆场场地预留有限，倒箱问题较其他上海港码头相比，更为突出。

（4）作业分布不均问题。

集装箱码头堆场内作业机械作业量的均衡性直接影响整个堆场的工作效率，作业均衡包括作业人员分配和作业机械分配两部分，由于 X 港区并非完全从事集装箱的专用港口，所配备的机械和人员对作业分布问题的重视程度还需加强。作业分布不均会导致场内机械行走距离和作业时间都增加，加剧操作人员的工作强度，不但降低了作业效率还容易因疲劳引发安全事故。

基于 X 集装箱码头沿海集装箱运输为主的特点，本研究集中于 3000TEU 集装箱船进口时集装箱堆场布局优化开展研究，主要基于在当前堆场格局定型的情况，在不另行变更和改造的前提下对场内集装箱堆放布局进行优化，以堆场面积利用率、场内运输距离过长、倒箱频繁和作业分布不均等问题进行优化建模，并试图探索解决方法。本研究以 X 集装箱码头最为核心的中日班轮航线为研究数据来源，选取“阪神穿梭快航”航线在 2013 年 10-12 月的部分数据进行模型构建。

第4章 基于遗传算法下X集装箱码头堆场布局优化建模及验证

4.1 基于遗传算法下X集装箱码头堆场布局优化模型建立

4.1.1 堆场布局优化模型的设计要求和原则

在优化设计码头堆场面积利用率的问题上，基于X码头作业模式，采用矩阵编码的遗传算法(Matrix Genetic Algorithm, M-GA)对其堆场空间利用分配进行建模^[42]，在建模过程中更多的考虑堆场内龙门吊的影响因素，利用应用矩阵编码的方式迅速求得可行解。根据图4-1显示的港口平面布局图，码头采用多线路并行作业的模式，通过9台岸吊对应后方的堆场的16各箱区，并配备了8座轮胎式龙门吊，以下优化布局根据这9条线路展开。

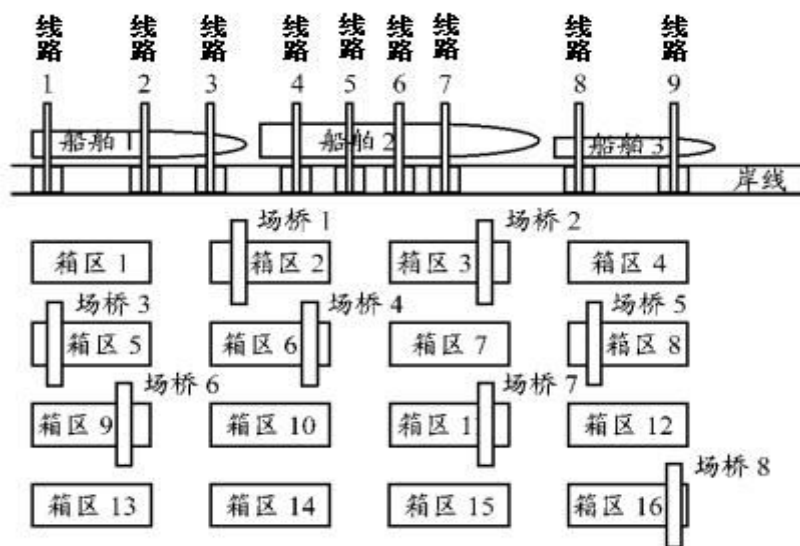


图 4-1 优化前集装箱码头作业线路图及堆场布局现状

模型针对某一作业时间区段内进口集装箱在堆场内的分配进行优化，确定每条线路的承载量并合理分配每条线路及没片箱区的作业量。由于船舶到港的

时间具有周期性，研究选取某个时段进行优化，得到这一期间的最优堆存计划，通过模型实现对堆场面积利用率、场内运输距离过长、倒箱频繁和作业分布不均四个问题的优化^[42]。

4.1.2 相关假设与参数定义

假设 1

为探寻在测试期间内堆场利用率和堆场承重量数据，假设研究堆场承担四艘满载船舶卸船场景，且每艘船舶作业线路全开，堆场内有足够的内集卡，内集卡和堆场龙门吊每次只能运送一个集装箱到指定区域。

假设 2

为将集装箱堆场内装卸作业的运动距离缩短为最小，首先排除轮胎式龙门吊跨行作业的情况，因为即使轮胎式龙门吊可以实现跨行作业，但由于所造成的效率损失过大，无法达到提高码头堆场布局水平的效果。

假设 3

假设船舶所载集装箱均为 20 英寸标准普通集装箱以便研究，本研究不考虑其他箱型、特种箱以及进口集装箱货物重量，如在优化中考虑集装箱尺寸和重量，就要按堆场要求重箱堆下层等要求，大幅度增加模拟难度。

4.2 优化模型的建立

4.2.1 参数设定

码头堆场的集装箱总数为 A ，在测试期间内一天的卸货集装箱船舶 S 艘，码头吊机同时作业的线路 r 条， V 为堆场内所有箱区的最大容量空间，其中进口箱堆存所需的集装箱箱区数用 N 表示，实际进入堆场的集装箱数量为 M ，堆场指定箱位至船舶的距离为 P 。在变量设定上，船舶顺序号代表 i ，箱区号代表 j ，作业线路序号代表 k ，则 M_{ik} 表示在条船 i 上卸下的集装箱通过 k 线路进入堆

场, P_{ijk} 表示船舶 i 船舷通过 k 线路至箱区 j 的运输距离。另设一大数 X 。

4.2.2 决策变量设定

Y_{ijk} 表示船舶 i 通过 k 线路实际堆存在箱区 j 中的集装箱数量, 当 $T_{ijp}=1$ 表示 i 船舶卸下并通过 p 线路运输进入集装箱 j 箱区实现饱和堆存, 当 $T_{ijp}=0$ 时, 则表示未发生 i 船舶卸下并通过 p 线路运输进入集装箱 j 箱区。

4.2.3 目标函数及约束条件

$$\min Z = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^A (Y_{ij} \bullet P_{ij}) \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^A Y_{ijp} = M_{ik}, \forall i, k \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^A T_{ijk} \leq N_{ik}, \forall i, k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^r T_{ijk} \leq 1, \forall i, j \quad (4)$$

$$X_{ijk} \leq X \bullet T_{ijk}, \forall i, j, k \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^T Y_{ij} \leq V_i, \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^r Y_{ijk} = Y_{ij}, \forall i, j \quad (7)$$

目标函数 (1) 是指船舶 i 卸载集装箱进入堆场的最短运输距离, 其中约束条件 (2) 是指在第 k 条线路运输下的箱量等于船舶 i 分散堆放于各个箱区的箱量, (3) 要求 i 船舶在 k 线路下堆放的箱区数小于堆场总共的箱区数, 约束条件 (4) 是判断能否堆放 i 船舶集装箱, 约束条件 (5) 是分析 i 船舶 k 线路下运输集装箱是否到达指定 j 箱区, 约束条件 (6) 是指所有进入堆场的集装箱总量需小于堆场最大承载量。约束条件 (7) 是指船舶 i 卸载集装箱进入堆场箱区 j 的箱量等于各线路 k 运输至箱区的箱量总和。

4.3 矩阵式遗传算法的实现

本研究运用的是矩阵式遗传算法求解集装箱码头布局优化问题，借鉴 GENM 等人关于优化模型和方法进行延展^[43]。遗传算法的核心在于对染色体的设计和求解，通过急症编码能够以矩阵的整体视作子代的个体，无需展开元素来确保子代的基因完整，快速找到近似最优解，具体方法以上文中图 3-2 遗传算法基本操作流程进行优化。

4.3.1 矩阵式的染色体编码设计

根据上文遗传算法基本流程，首先确定遗传染色体的编码，使用矩阵构建在约束条件下集装箱堆场的染色体举证，则第 k 个染色特矩阵表示为公式 (8)：

$$Y_k = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1j} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{i1} & y_{i2} & \cdots & y_{i1} \end{pmatrix} \quad (8)$$

4.3.2 生成初代群体

具体步骤如下：首先在所有作业线路中判断是否全部包含，如果是则得到初代结果，否则选择 k 线路；第二步在箱区 1 和箱区 2 中间判断是否存在剩余堆存空间大于作业线路运输集装箱量，如果是则进入第三步，否则重新计算第二步；第三步，在作业线路 i 的供应量以及箱区 1 的最大承载量进行比较，若前者较大则将集装箱供应全部运输给箱区 1，否则，作业线路 i 运输至箱区 2 的箱量等于作业线路 i 的供应量减去箱区 1 的最大承载量；第四步，对箱区 1 和箱区 2 的现有箱量进行重新计算，任选 2 个箱区进行重组，若果作业路 $i+1$ 后仍然满足所有约束条件，则进入目标函数 (1) 进行再运算，否则重新构造^[44]。

4.3.3 矩阵式遗传算法设计

遗传算法在获得遗传初代群体和遗传算子后可通过复制、交叉和变异三种模式得到新群体。在对码头布局优化中使用交叉和变异两种演算代入矩阵式遗传算法中。具体操作步骤如下：

(1) 交叉演算

首先，由初代染色体 Y_1 和 Y_2 推演出两个矩阵表示为：

$$B_{ij} = [(y_{ij}^1 + y_{ij}^2)/2] \quad (9)$$

$$C_{ij} = (y_{ij}^1 + y_{ij}^2) \bmod 2 \quad (10)$$

再将 (10) 式拆为 $C_1 = (c_{1ij})$ 和 $C_2 = (c_{2ij})$ ，即满足 $C = C_1 + C_2$ ：

$$\sum_{i=1}^I c_{ij}^1 = \sum_{i=1}^I c_{ij}^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I c_{ij} \quad , j = 1, 2, \dots, J \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J c_{ij}^1 = \sum_{j=1}^J c_{ij}^2 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J c_{ij} \quad , i = 1, 2, \dots, I \quad (12)$$

第三步再将 B 与 C_1 和 C_2 两个子染色体分别合并得到 Y'_1 和 Y'_2 。

$$Y'_1 = B + C_1 \quad (13)$$

$$Y'_2 = B + C_2 \quad (14)$$

(2) 变异演算

根据初代群体产生的子代矩阵，随机在式 (15) 行内选取内 $\{i_1, i_2, i_3, \dots, i_k\}$ ，在式 (16) 列内选取 $\{j_1, j_2, j_3, \dots, j_k\}$ ，并以此生成一个 (p, q) 型的子代矩阵 Z 。再通过变异重组后得到的子代矩阵 Z 放回到初代染色体举证位置中，便得到了变异后的新染色体。

$$a_i^y = \sum_{j \in \{j_1, j_2, j_3, \dots, j_k\}} z_{ij}, i = i_1, i_2, i_3, \dots, i_k \quad (15)$$

$$b_i^y = \sum_{i = i_1, i_2, i_3, \dots, i_k} z_{ij}, i = j_1, j_2, j_3, \dots, j_k \quad (16)$$

4.3.4 选择策略

采用轮盘法不断演算下一代种群的染色体，在出现最大数之前迭代进入下一代，即 2.3.2 部分继续运算，直到最大一代出现停止运算。

4.4 演算与分析

4.4.1 参数录入

模型所选用的参数来自于X集装箱码头2013年某日进口集装箱的实例以及场内机械的相关数据。根据船舶到港前的船舶作业计划得到周期内计划船舶作业数据表（如表 4-1）。通过码头堆场管理系统实时获取当前堆场容量数据表（如表 4-2）。根据码头机械额定作业能力数据，堆场内龙门吊的起升频率是 50 次/h，进而推算某个时间段内该作业区的最大工作荷载量（如表 4-3）。根据码头工程图测量数据，得到堆场箱区与码头前沿泊位之间的距离（如表 4-4）。通过上述数据验证本研究中所建立的优化模型和盐酸方法的有效性，并分析使用矩阵式演算法比其他传统求解方法的效果。本次仿真计算得到的是在一个计划周期内船舶卸下集装箱到完成堆场堆存的方案优化，通过多次循环求解最优堆存布局。

表 4-1 计划周期内船舶作业数据 单位：TEU

船号	作业线路	进口箱量	出口箱量	总作业量
1	1	19	20	39
	2	30	65	95
	3	63	44	107
	4	27	87	114
2	5	28	24	42
	6	17	28	45
	7	47	58	105
	8	34	17	52

续表 4-1 计划周期内船舶作业数据 单位: TEU

船号	作业线路	进口箱量	出口箱量	总作业量
3	9	41	37	78
	10	22	17	39
	11	7	63	70
4	12	56	44	100
	13	69	41	110
	14	53	37	90

表 4-2 计划制定时堆场的即时容量 单位: TEU

箱区	1	2	3	4	5	6	7	8
容量	40	50	45	35	30	76	100	150
箱区	9	10	11	12	13	14	15	16
容量	110	85	117	139	171	139	124	131

表 4-3 计划周期内堆场龙门吊作业能力信息 单位: TEU/计划周期

龙门吊编号	初始箱区号	作业能力
1#、2#	2、3、	440
3#、4#	5、6	440
5#、6#、7#	8、9、11	440
8#	16	440

表 4-4 箱区与泊位运输距离 单位: 米

泊位	第 1 行			
	箱区 1	箱区 2	箱区 3	箱区 4
1	400	550	700	850
2	550	400	550	700
3	700	550	400	550
4	850	700	550	400

续表 4-4 箱区与泊位运输距离 单位：米

泊位	第 2 行			
	箱区 5	箱区 6	箱区 7	箱区 8
1	600	700	900	1050
2	750	600	750	900
3	900	750	600	750
4	1050	900	750	600
泊位	第 3 行			
	箱区 9	箱区 10	箱区 11	箱区 12
1	1200	800	950	1100
2	950	800	950	1100
3	1100	950	800	950
4	1250	1100	950	800
泊位	第 4 行			
	箱区 13	箱区 14	箱区 15	箱区 16
1	1000	1150	1300	1450
2	1150	1000	1150	1300
3	1300	1150	1000	1150
4	1450	1300	1150	1000

4.4.2 结果分析

根据计算研究发现，在初代群体中的结构受到矩阵遗传算法搜索产生的影响较为明显，在起初的 5000 代内使用纯左上角法求解的效果较差，要到 25 万代趋向于收敛，基本到达最优解区域（如图 4-2）。在此基础上尝试采用四角法选取初始解来生成子代，依然要到 15 万代左右能达到最优解。而尝试四角随机混合的方法，引入一般的随机解运算，在 5 万代左右就能得到最优解，显著提高了运算的效率。

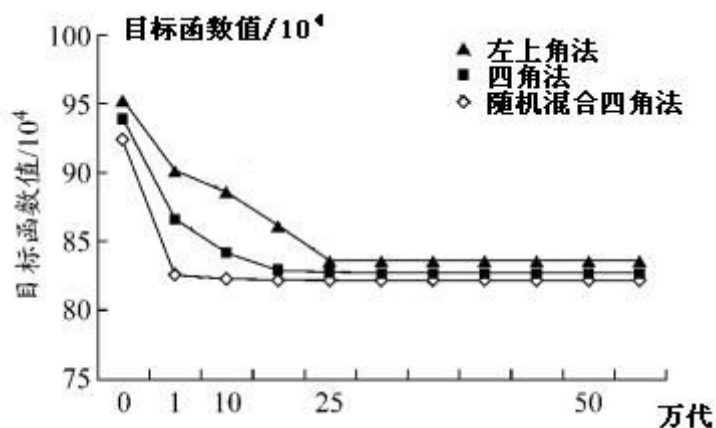


图 4-2 算法收敛图

在实际演算时发现，采用不同的交叉和变异两种策略对最后所求堆场布局优化结果的影响较大，在使用自然交叉和变异策略形成的结果与实际最优解存有超过 10% 的误差，计算方案并不理想，所以继续用上文所述的交叉变异算法，求解误差降低到 3% 左右。在优化前从图 4-3 中可以发现，后排箱区及船舶 4 对应列的箱区的集装箱堆存量较少，影响作业效率，同时对应的作业量分布也不均匀，会造成堆场内机械的闲置和过度使用。

经过优化后的堆场堆存图显示（如图 4-3）堆场利用率被较为充分的利用，集装箱堆存提前，运输距离大幅度缩短，同时作业分布也较为均匀，使用交叉变异优化后的各箱区的利用率明显高于优化前，符合模型的优化目标。

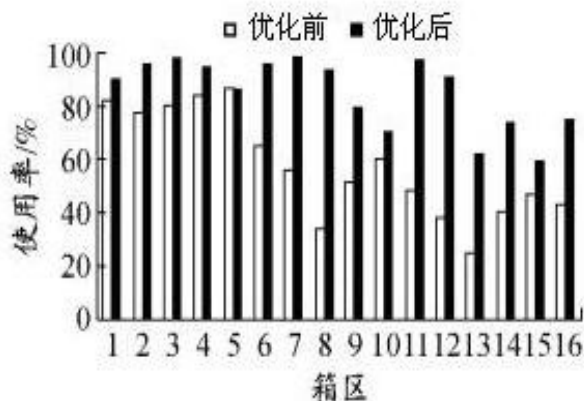


图 4-3 优化后堆场容量及优化前后容量比例

根据上述优化方案可以得到堆场集装箱堆存的具体方案，14条作业线路分别对应16个集装箱箱区。模型中考虑了作业分布、运输距离和堆存利用率三大要素得到的解，所以每个作业线路上所堆存在各箱区的集装箱数就是最后布局优化的结果（如表4-5）。

表4-5 矩阵遗传算法交叉变异下堆存分配结果

船号	作业线路	堆存优化方案
1	1	1 (33), 2 (9)
	2	5 (67), 2 (25)
	3	6 (79), 9 (24)
	4	9 (112)
2	5	3 (37), 6 (17)
	6	10 (46)
	7	14 (52), 10 (51)
	8	13 (37), 8 (13)
3	9	15 (79)
	10	11 (38)
	11	13 (70)
4	12	4 (58), 7 (38)
	13	12 (110)
	14	14 (88)
注：括号前数字代表箱区号，括号内数字代表该箱区堆存的集装箱数		

第 5 章 X 集装箱码头堆场布局优化的具体措施

基于上述模型优化结果，结合 X 集装箱码头运营的实际以及码头堆场自动化系统，进一步以实例探索布局优化方案，本研究采用“阪神穿梭快航”集装箱堆存的实例进行分析，对实例中发现的问题进行剖析，提出堆场内集装箱堆存的建议。

5.1 周密制定集装箱堆存计划

在安排集装箱作业前应当做好充足的进场计划与前期设备准备工作，进行“分港分吨”，对于船舶配载来说是十分重要的第一环。“分港分吨”与配载要求不一致就会造成集装箱堆存作业时的倒箱。在进行码头堆场提货及船舶配载装船作业时，要求重箱在下，轻箱在上，最理想的情况是在堆放集装箱时重箱在上，轻箱在下，但是由于集装箱进场的可控性较弱，码头为了提高堆场利用率，不可能按箱子的实际重量进行重压轻的堆放，码头一般采取的方法是首先对集装箱进行“分港分吨”（一般为 0~5，5~10，10~15，15~20，20~25，25 吨以上）。但是 X 集装箱码头的堆场面积和要求的堆场利用率不可能分吨位到如此之细，所以码头针对“阪神穿梭快航”集装箱吨位进行了统计，对配载图进行了分析，决定对“阪神穿梭快航”进行（0~8，8~18，18 吨以上）这样的“分港分吨”。这样做既提高了码头堆场的利用率，又能够基本满足船舶配载的要求。通过一阶段的实行，对降低倒箱率起到了比较好的效果。

具体操作为进入上海集装箱码头有限公司 X 码头生产系统，选择“分港分吨”界面获取集装箱预配信息（如图 5-1），该预配信息与船公司联网获得，依据提单号对应唯一集装箱信息及该集装箱所载货物的重量等信息。预配信息只提供集装箱的简单信息，在制定计划时还需进一步打开与船公司联网的配载图（如图 5-2），了解装卸船舶的集装箱具体位置，以明确港口堆存的先后顺序。

整套系统使得船公司与码头形成有效链接，两者通过 HDS 服务提高互相的效率从而创造利润。

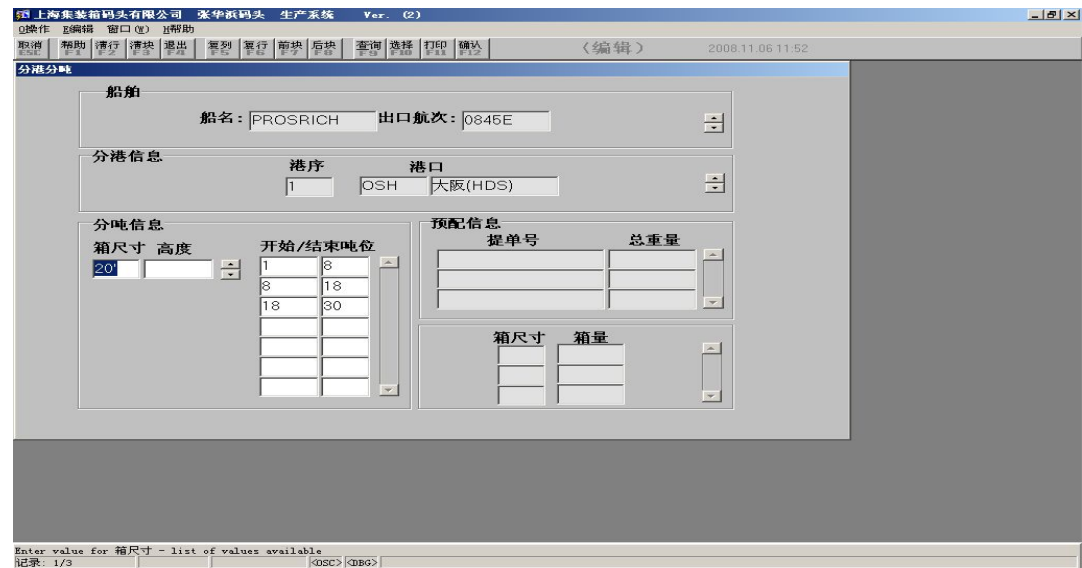


图 5-1 上海集装箱码头有限公司 X 码头生产系统 “分港分吨” 界面

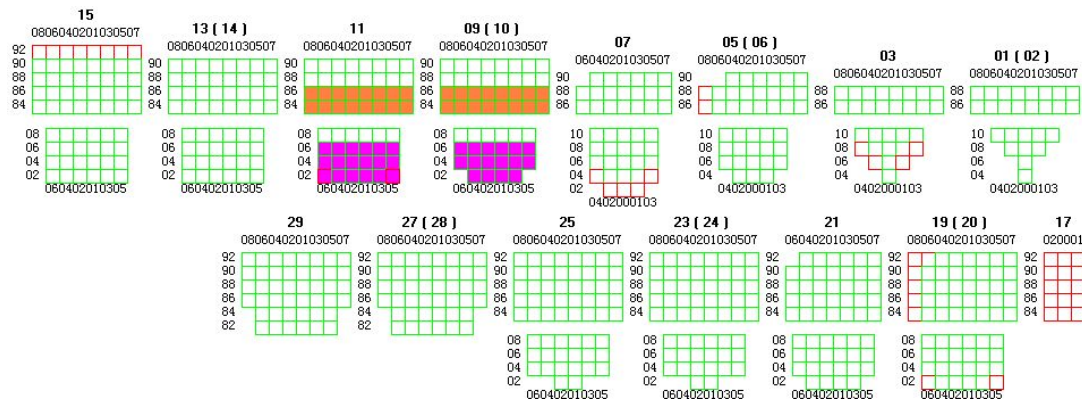


图 5-2 阪神穿梭快航某航次某批集装箱到港货物的船舶积载图

如上船舶积载图是某出口航次在上海 X 装载部分集装箱，上图深色的和浅色的箱子都是同批次出口集装箱，但浅色的箱安排现在大阪港卸载，针对这一变化，堆场计划将次类箱子也分港口堆放，避免了在装船时发生的倒箱，降低了倒箱率。具体操作是在集装箱进入堆场时进行分类堆放，深色的部分放于堆场前方以便先装船，并装于船的底舱。通过事先完整详尽的部署安排，做好装船和卸船前堆场计划的准备工作，确保码头作业的高效开展。

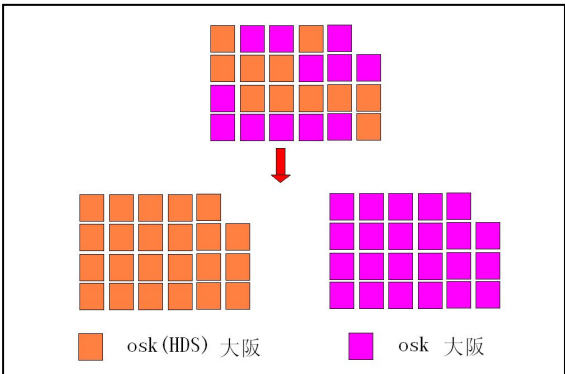


图 5-3 集装箱堆场堆存优化示意图

5.2 及时了解进港箱量动态

码头堆场计划一般根据以往历史箱量来预计本航次的进场大小箱，以及高柜和平柜的数量。这样做通常来说是很难预测准确的，对于 SCTX 码头的堆场的堆场利用率来说。这样做是很难起到比较好的进箱效果。只有精确的集装箱量，才能方便码头计划安排进箱。通过这次换岗培训，码头与锦江航运达成共识，为了优化码头进场箱量的堆存，双方将及时沟通。码头及时从船公司处了解本航次的出口预计箱量汇总，以便码头计划更好地安排进箱。

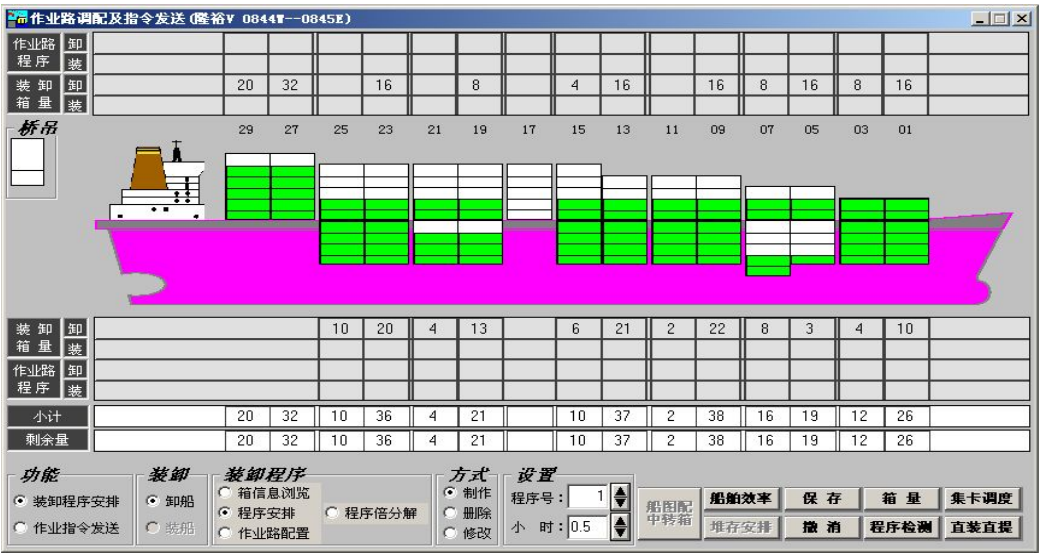


图 5-4 码头作业调度系统实时船舶积载画面

当前很多码头采取由船舶控制员进行作业路调配（安排作业桥吊以及每部桥吊的作业倍位、作业次序），船舶配载员负责船舶配载的做法。在进行出口船图配载时，当遇到堆场上某一排的箱子不能配在同一舱内的情况时，船舶配载员会根据自己理解的船舶装船作业次序将箱子配到不同舱内，但实际作业时，如果船舶控制员没有按这一思路进行装船作业，那势必会造成发箱时的倒箱。如下图 5-4 所示：堆场上某一排上有 4 个箱子，船上 17 贝可以配 2 个，21 贝也可以配 2 个，如船舶配载员认为会先做 17 贝，那他会将上面 2 个箱子配在 17 贝，而将下面 2 个配在 21 倍，但实际作业中如果先做 21 倍，那势必会造成装船时先要将上面 2 个箱子翻掉，严重时会造成装 17 贝箱子时还要再做一次倒箱。所以，配载在配载过程中要及时和船舶控制员沟通。了解双方的作业思路，以更加好地实施作业计划。

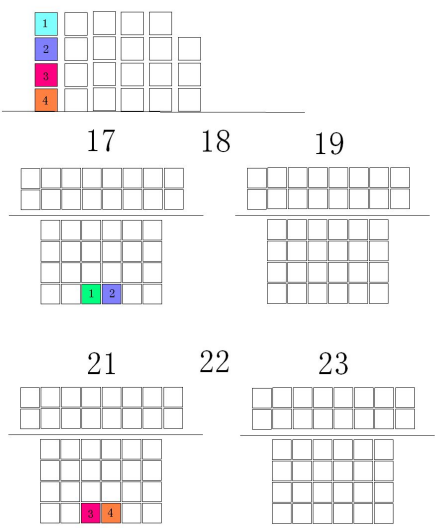


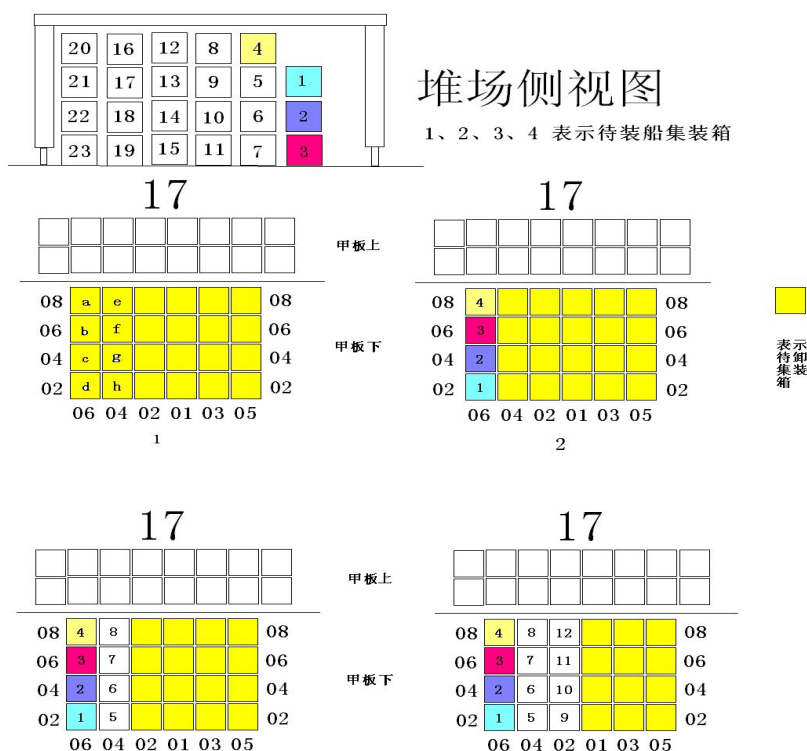
图 5-5 码头堆存与船舶积载关系图

5.3 科学堆存工艺提高装卸效率

集装箱船舶卸船，一般是从里（陆侧）向外（海侧），一层一层往下卸，装船时则是从外（海侧）向里（陆侧），一层一层往上装。配载员在配图时，也是

按照这样的规则进行配载。通过这次换岗培训和研究，课题组的成员发现，在装、卸舱内货物时，可以用垂直配载、边卸边装的方法来提高装卸效率。

例如，船舶控制员先将 17 贝区待卸的集装箱 a、b、c、d（黄色的列向箱子）分别卸在集卡 z333（搭载 a、b 两个箱子）、z334（搭载 c、d 两个箱子）上，同时将配载员所配的船图按垂直次序 1、2、3、4 发出装船指令（配载员按垂直次序配制船图），然后让集卡 z333（搭载 a、b 两个箱子）在卸船箱区卸空箱子后再行驶到装船箱区，z333（搭载 1、2 两个箱子）回到桥吊边，桥吊吊起 1 号集装箱装在 170602 位置上，同时再把 170408 位置上的 e 集装箱卸到集卡 z333 上，接着吊起 2 号集装箱装在 170604 位置上，同时再把 170406 位置上的 f 集装箱卸到 z333 上，以此类推，边卸边装，最终完成舱内的货物装和卸。



作业量次减少了 22 次，集卡托运次数减少了 12 次。大大节约了工作时间。例如，某船 17 贝装卸箱区分别为 27(卸箱)和 23 (装箱) 箱区，以一般方法，集卡卸货的行车路线为（如图 5-6）a-b-e-f，装货的行车路线为 a-b-c-d 。假设 ab、ac、ce 都为等长的 120 米，以一般方法计算，完成 17 贝 48 个小箱的装卸集卡的行车距离为 $12 * (120 * 4) + 12 * (240 * 2 + 120 * 2) = 14400$ 米；以垂直方法计算，完成 17 贝 48 个小箱的装卸集卡的行车距离（如图 5-7）为 $12 * (120 * 7) = 10080$ 米，可见完成 48 个箱子的装卸集卡行驶距离缩短了 4320 米能（港区内集卡行驶速度为 30 公里/小时）节省约 8 分钟。以“恒裕”轮为例，舱内总共有 247TEU，那么一部桥吊完成 247TEU 装卸可以节省的时间为 82 分钟，如果分摊到两条路作业的话，每台桥吊节省的时间为 $82 / 2 = 41$ 分钟，所以在船期紧张的时候，垂直装卸能大大提高装船效率。

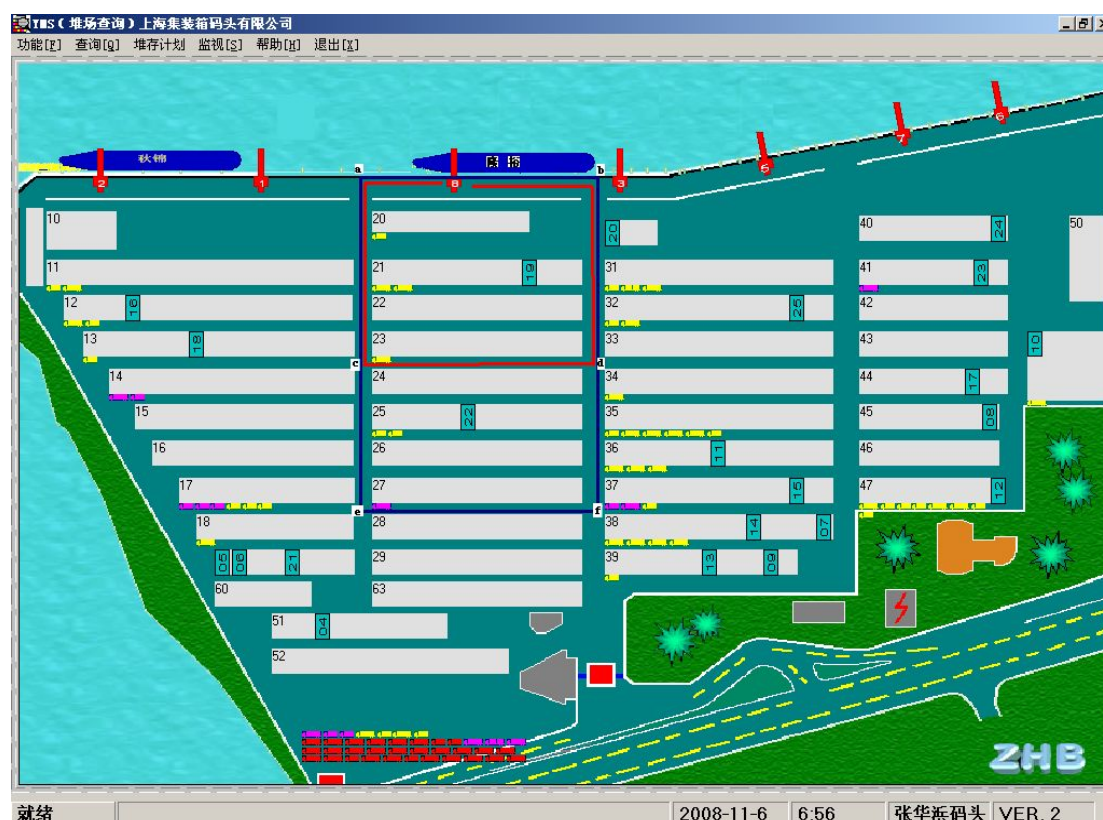


图 5-7 一般方法内集卡运输线路图

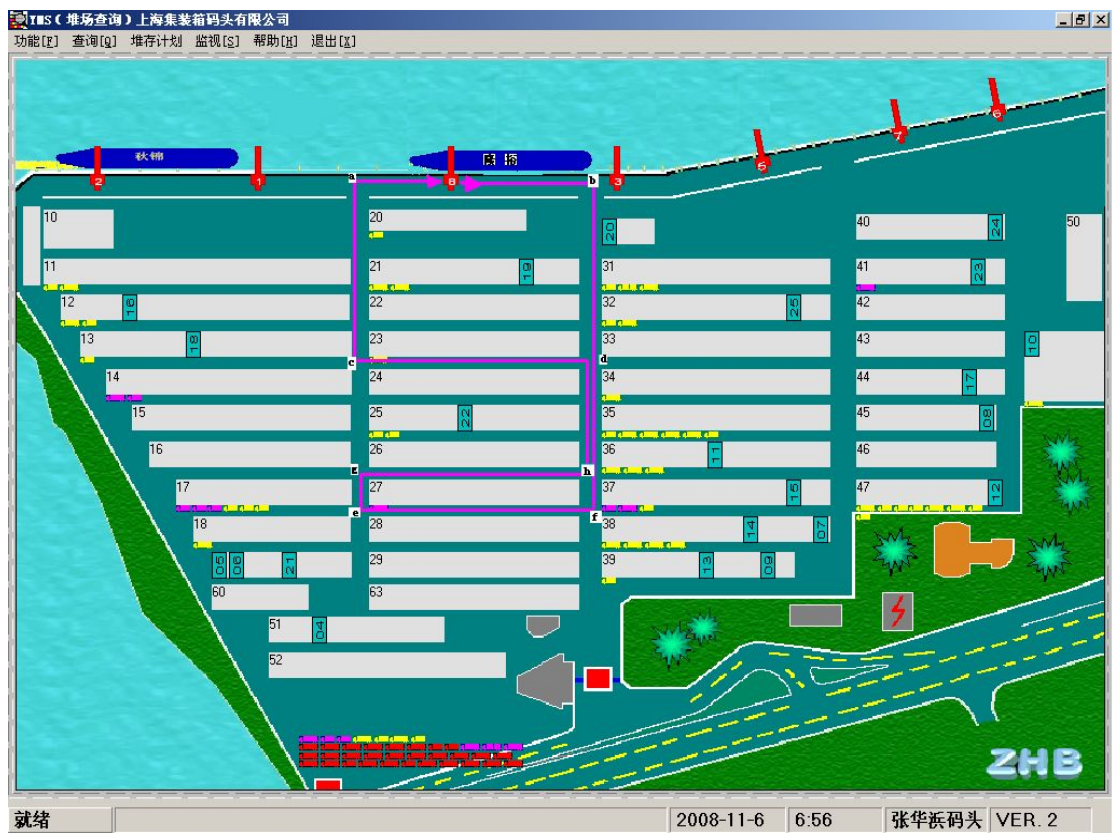


图 5-8 垂直作业法内集卡运输线路图

5.4 优化进送箱提箱流程

通过优化码头堆场的送箱和提箱流程，能够有效控制集装箱堆场压力，降低倒箱率，提高码头作业效率。对于 X 码头涉及内贸与外贸的情况，从送箱与提箱不同方向有四种情况，并建立相应的标准

（1）外贸送箱业务的标准流程：客户提供进栈货物的船名航次、舱单号、货名、数量、包装、操作过程、进栈时间及其他作业要求等相关资料，如无具体船名航次可按预进栈受理，业务受理人员接受进栈业务并把受理号反馈给客户。

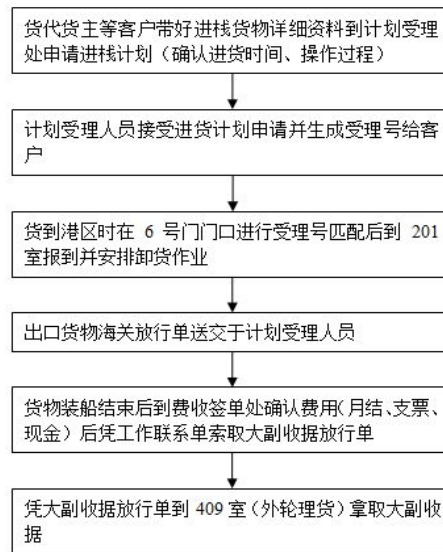


图 5-9 外贸送箱业务的标准流程

（2）外贸提箱业务的标准流程：客户提供海关放行的提箱单及货物的详细清单到费收签单处进行费用确认，费用确认完后与受理人员确认提箱时间、操作过程，业务受理人员接受提箱业务并把受理号反馈给客户。

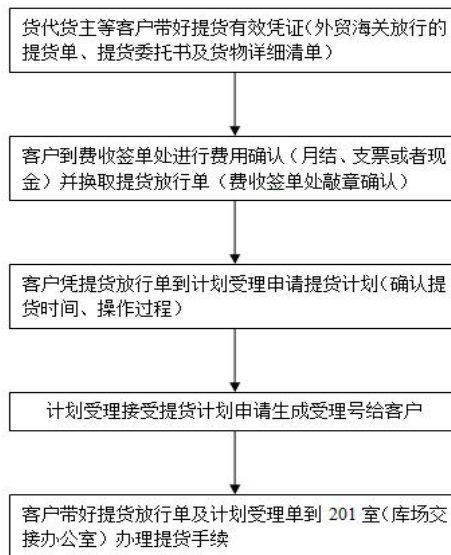


图 5-10 外贸提箱业务的标准流程

（3）内贸送箱业务的标准流程：客户提供进栈货物的船名航次、舱单号、货名、数量、包装、操作过程、进栈时间及其他作业要求等相关资料，如无具体

船名航次可按预进栈受理，业务受理人员接受进栈业务并把受理号反馈给客户。

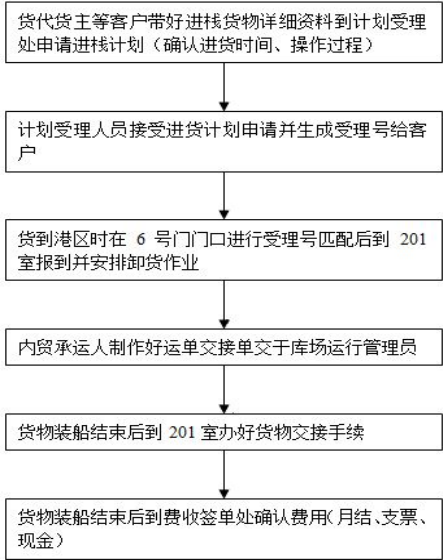


图 5-11 内贸送箱业务的标准流程

（4）内贸提箱业务的标准流程：客户提供货主委托书、本单位介绍信及货物的详细清单到费收签单处进行费用确认并换取港区提箱单，完后凭港区提箱单与受理人员确认提箱时间、操作过程，业务受理人员接受提箱业务并把受理号反馈给客户。

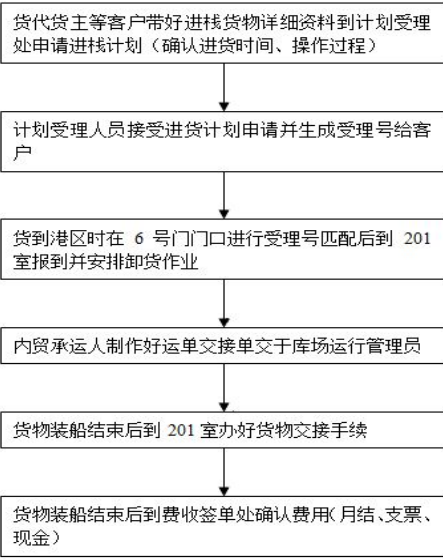


图 5-12 内贸提箱业务的标准流程

第 6 章 结论与展望

随着我国航运业规模的不断壮大，港口集装箱吞吐量的攀升给港口带来巨大压力，优化码头堆场布局的重要性不言而喻。本文通过运用遗传算法对 X 集装箱码头堆场的布局模型进行优化求解，并对结果进行验证。通过优化前后的对比使码头堆场利用率和倒箱率等数据，发现整体上堆场效率得到明显改善，有助于该码头提高运营效率和作业成本，更好的发挥港区内堆场的过度作用。

本研究主要针对现有码头提出的布局优化，属于动态分析，在宏观的码头堆场布局理论上还包括在码头设计和改造环节的静态布局分析。本文根据 X 码头现状，在码头现有硬件条件不变的前提下进行模型优化，得到集装箱码头堆场的布局优化方案，同时提出计划制定、堆存工艺和提送箱流程的改进建议。本文在动态布局的优化研究对码头堆场管理和决策具有参考意义，但是这种改进属于后天的微调，对于码头堆场全面的布局优化需要通过调整堆场空间布局，对于此部分有必要作进一步的研究，并将其纳入到本研究中形成综合性的优化调整方案。此外，本研究所采用的遗传算法模型复杂性较高，有待进一步改进算法。总之，通过科学分析决策降低码头堆场管理人员的主观性，提升码头堆场决策的科学性和正确性，对码头作业效率的提高产生积极的影响。

参考文献

- [1] 交通部. 中华人民共和国交通部统计分析报告,2001-2005.
- [2]Alphaliner. 《2013 年全球集装箱船队规模报告》,2013.
- [3] E. McDowell, D. Cho, G. Martin, T. West, A Study of Maritime Container Handling,Oregon State University, Sea Grant College Program Ads 403, Publication No.ORES-U-T-85—003, 1985.
- [4] Yoichi Hirashima, A Q-Learning System for Container Transfer Scheduling Based on Shipping Order at Container Terminals,International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC),547-558,Volume 4, Number 3, March 2008.
- [5] Preston P, Kozan E. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. Computers and Operations Research. 2001. 28(10):983-995.
- [6] Lai K, Lam K. A study of container yard equipment allocation strategy in HongKong. International Journal of Modeling and Simulation. 1994. 14(3):134-138.[7] Kim K H, Kim D Y.Group storage methods at container port terminals.. The Materials Handling.1993,MH-Volume 2,1994:16-25.
- [8] Taleb-Ibrahimi.M,De Castilho,B.and Daganzo,C.F. toragespace vs handling work in Container terminals,Transportation Research,1993,27B (1):13-32.
- [9] De Castitho, B. and Daganzo, C. F . Handling strategies for import containers at marine terminals,Transportation Research, 1993,27B (2): 151-166.
- [10] Kim, K. H. and Kim, H. B. The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers. Computers and industrial Engineering. 1998. 35(3):427-430.
- [11] J.F. Cordeau, G. Laporte, “Stochastic uncapacitated hub location” , European Journal of Operational Research 212, 518-528, 2011.

- [12] Andreas Bortfeldt, Hermann Gehring, A hybrid genetic algorithm for the container loading problem, European Journal of Operational Research, 2001, Vol.13, pp. 143-161.
- [13] Saanen YA, Dekker R. Intelligent stacking as way out of congested yards. Part 1. Port Technol Int31:87 - 92. 2006.
- [14] Saanen YA, Dekker R. Intelligent stacking as way out of congested yards. Part2. Port Technol Int32:80 - 86.
- [15] Kim K H, Bae J W. Re-marshaling port containers in port container terminals. Computers and Industrial Engineering. Volume35. Issue 3-4. December.1998.655-658.
- [16] Kozan E, Preston P. Genetic algorithm to schedule container transfers at multimodal terminals. International Transactions in Operational Research.
- [17] 刘鸣华. 加强集装箱码头堆场管理的策略[J]. 沿海企业与科技, 2009(12):76-79. 1999:311-329.
- [18] 徐伟, 王少梅. 基于 eM—Plant 的集装箱码头布局规划仿真研究[J]. 港口装卸, 2006(01):21-24.
- [19] 张艳, 韩晖. 降低集装箱码头堆场倒箱率[J]. 集装箱化, 2008(04):8-9.
- [20] 赵艳艳. 集装箱堆场作业优化模型与算法[J]. 交通科技志经济, 2013(05).
- [21] 张建新. 港口堆场的设计与研究[D]. 大连理工大学工程, 2003.
- [22] 郝聚民, 纪卓尚, 林焰. 混合顺序作业堆场 BAY 位优化模型[J]. 大连理工大学学报. 2000 (1):102-105.
- [23] 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):146-151.
- [24] 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[J]. 大连海事大学学报. 2002(28):115-117.
- [25] 刘艳, 周鹏飞, 康海贵. 集装箱堆场箱位分配模糊优化研究[J]. 水运工程. 2009(11), 1-5.

- [26]靳志宏,朴惠淑,杨华龙.集装箱多式联运系统装卸与运输一体化优化问题[J].系统工程,2005,23(11):1-7.
- [27]杨扬.提高集装箱码头堆场使用率的问题研究[J].中国新技术新产品,2009(20):51.
- [28]李丽丽.集装箱堆场布局与场桥调度优化研究[D].大连海事大学硕士论文,,2011.
- [29]王祁培.强化集装箱堆场管理研究[J].中国水运(下半月),2010(01).
- [30]陈戌源.集装箱码头业务管理[M].大连:大连海事大学出版社,2005.
- [31]吴永福,杨家其.集装箱运输与多式联运[M]北京人民交通出版社,1998.
- [32]杨扬.TCT 集装箱码头堆场资源优化研究[D].大连海事大学,2010.
- [33]张维英,林焰,纪卓尚.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,2006(02).314-317.
- [34]刘义苍,孙小明,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(05).72-78.
- [35]康海贵,刘艳,,周鹏飞.基于混堆的集装箱堆场动态箱位分配研究[J].水运工程,2009.
- [36]张文修,梁怡,遗传算法的数学基础[M],西安交通大学出版社,2003,12-16.
- [37] John Holland,Adaptation in Natural and Artificial Systems,,The University of Michigan Press,Ann Arbor,1975,64.
- [38] D.E.Goldberg,Genetic Algorithms in Search,Optimization and Machine Learning,Addison-Wesley Longman Publishing Company Inc,USA,1989.
- [39] D.Beasley , D.R.Bull ,and R.R.Martin , An overview of genetic algorithms :Part 1 ,Fundamentals, University Computing, Vol.15,no.2, 58-69,1993.
- [40] W.M.Spears , K.A.De Jong, T.Back, D.B.Fogel , and H.deGaris , An overview of evolutionary computation ,Proc.Conf.Machine Learning,1993.

- [41]王小平,曹立明. 遗传算法理论、应用与软件实现[M],西安交通大学出版社, 2002.
- [42]薛定宇, 陈阳泉. 高等应用数学问题的 MATLAB 求解[M],清华大学出版社, 2004.
- [43] GENM,CHENGR,LINL . Network models and optimization: multi-objective genetic algorithm approach M London: Springer,2008.
- [44]玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化,清华大学出版社[M], 2004.

攻读学位期间发表的学术论文

- [1] 邮轮船供物流的特点和问题研究（第一作者）《中国电子商务》2014 年第 3 期。

致谢

本论文研究过程得到导师的精心指导，感谢周副教授在繁忙工作中抽出时间给我做论文指导，帮助我梳理研究思路，搜集并提供一些关于库存管理研究方面的文献，多次审阅论文并提出改进意见，再次向周建亨教授表示衷心地感谢！

在论文的写作过程中，感谢各位同事给我提供了相关的数据资料，并共同探讨研究课题，再次向他们表示感谢！

同时我的家人在我学习期间给了我很大的帮助，特别是论文写作期间，是他们承担了更多的家庭事务，使我可以安心顺利完成学业，在此向他们也表示我深深的谢意！