

大连海事大学

硕士学位论文

集装箱堆场桥动态调度驾驶舱设计研究

姓名：徐婧铭

申请学位级别：硕士

专业：物流工程

指导教师：郑红星；苏德勤

201111

## 摘 要

随着经济全球化和世界一体化的发展，集装箱港口的节点作用越来越重要，集装箱码头的装卸效率、日常运作效率和效益引起了越来越多的社会关注。而在集装箱码头的日常运营中，集装箱堆场又是集装箱码头的重中之重。因此，集装箱码头堆场的有效管理和控制成为目前研究集装箱港口的热点之一。本文主要从集装箱堆场场桥作业的不确定性出发，对集装箱港口堆场场桥动态调度驾驶舱的设计进行了研究，主要内容如下：

首先，在详细阅读相关国内外文献的基础上，确定了论文的主要研究思路。其次，在详细分析了集装箱堆场管理和控制相关影响因素的基础上，确定了集装箱堆场场桥动态调度为堆场控制的关键问题。接着，在系统分析堆场场桥作业影响因素的基础上，建立了集装箱港口堆场动态调度指标体系，提出了集装箱港口堆场动态调度驾驶舱的功能结构和系统架构。最后，给出了驾驶舱核心—集装箱港口堆场动态调度模型及解法。

本文的目的在于构建集装箱码头堆场场桥动态调度驾驶舱，并给出了驾驶舱的功能结构和系统结构。通过该驾驶舱可以提高码头堆场的利用率、场桥的利用率以及适当的降低倒箱率，而且也提高了码头的运作效益降低了码头堆场的作业成本，并为集装箱码头堆场的日常作业提供了一定的理论价值和实践的指导。

**关键词：**集装箱堆场； 驾驶舱； 场桥动态调度； 遗传算法

## ABSTRACT

With the globalization of economy and the development of world integration, container ports play a more and more important role in container transportation. Handling efficiency, daily operation efficiency and benefits of container terminals attract more and more social attention. In the daily operation of the container terminal, container yard is the most important in container terminal. Therefore, the effective management and control for container terminals is the hotspot for the present study of the container port.

This article mainly from the container yard crane operation based on uncertainty, port of container yard crane scheduling cockpit design is studied. Main contents are as follows.

Firstly, based on a lot of the correlative references at home and abroad, the train of thought of the article is explicated. Secondly, according to analyzing deeply factors impacting management and control of the container yard, this paper puts forward the key problem to control yard's efficiency and profit is dynamic scheduling the RTGs. Then, in the system of yard crane operation based on the factors that influence the establishment of container yard, dynamic scheduling index system, puts forward the dynamic scheduling of container yard cockpit function structure and system architecture. Finally, the cockpit core container storage yard dynamic scheduling model and its solution are given out.

The purpose of this paper is to construct the container terminal yard crane scheduling cockpit, and gives the cockpit of the function structure and system structure. Through the cockpit can improve yard utilization rate, field bridge utilization ratio and appropriate to reduce the box rate, but also improve the terminal operation efficiency reduces the yard operation cost, and for the container terminal yard operations provides certain theory value and practice guidance.

**Key Words:** The container terminals yard;Cockpit;Crane dynamic scheduling; Genetic algorithm

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景

随着经济一体化、全球化趋势的发展和市场经济的不断完善,集装箱运输日益成为一种主要的运输方式。从20世纪80年代末以来,世界集装箱码头将船舶的运力大量增加,而且船舶规模越来越大,由扩展期形成的第二代集装箱船逐渐经过了第三、第四和第五代,发展到现今的第六代及第六代以上的超大型集装箱船,由此带动了世界集装箱港口吞吐量的日新月异。随着集装箱码头在全球供应链物流网络中节点作用日益突出,集装箱码头各种硬件环境日益完善,在集装箱码头的日常运营管理中,各种现代化技术已被广泛采用,如EDI来实现动态跟踪,集装箱周转;同时港口集装箱码头的技术和设施设备也日趋完善,深水化、信息化进程、规模化、枢纽化以及多功能不断加快,这使得如何提升港口的软实力来充分发挥港口的物流节点作用成为目前港口界研究的热点话题。

我国自从加入WTO后,国际货物的进出口大都以集装箱运输的方式来完成。21世纪,我国的主要港口码头及其集装箱码头已具备了接纳大型集装箱船的能力,少数港口的集装箱码头已经具备了接纳超大型集装箱船的能力,码头装卸效率、倒班能力、综合集疏运能力、辐射功能、聚集功能大大提高,主要集装箱码头已普遍采用先进信息技术,其生产、管理、控制实现自动化、可控化、数字化,部分港口功能正逐步向全球或区域性资源配置中心方向发展。目前,我国现有沿海主要港口40多个(含长江南京及以下港口),且港口及集装箱码以趋于去完善,主题多元化的局面形成,呈现初规模化、集约化、现代化发展趋势,集装箱港口的硬件环境逐渐成形,对提升港口软实力方面的需求更为强烈。

综上,随着国际集装箱运输的发展进入一个崭新的阶段,集装箱港口的作用越来越重要。如何充分利用集装箱港口构建合理完善的全球集装箱物流网络,调控集装箱港口的作业效率和效益是其中的重中之重,而集装箱港口堆场的生产调度是其中最重要的关键因素之一。

集装箱码头堆场的作业在码头日常作业中占有极其重要的地位,通过有效地进行生产调度来合理安排堆场作业,不仅能减少翻箱率,提高码头装卸速度,而且还能最大限度的提高码头堆场利用率和码头通过能力。为此对集装箱码头堆场

的生产调度进行研究是有一定的理论价值和实践意义的。

## 1.2 国内外研究现状

针对集装箱码头堆场的研究,国内外学术界研究成果众多。目前研究主要集中在运输作业和堆场作业中,运输作业为集卡的作业;堆场作业又分为堆场堆放策略、装卸设备资源的合理配置及调度两个方面。

### (1) 集装箱堆场运输作业

Wong, Leung 在考虑时间窗和集卡的随机运输时间的情况下,提出了集卡路径优化的优化模型<sup>[1]</sup>。李磊研究了集卡的路径优化问题,并提出了模型的求解算法<sup>[2]</sup>。W.C.Ng 研究了集装箱码头堆场作业中的内集卡调度问题,并对模型采用遗传算法进行了求解<sup>[3]</sup>。钱永兴研究了集装箱码头集卡调度的问题<sup>[4]</sup>。Ko 研究了集装箱码头作业中的集卡运输问题,并运用启发式的优化算法对问题进行了求解<sup>[5]</sup>。吕显强和张宏伟研究了堆场集卡的分配问题,并建立整数规划模型<sup>[6]</sup>。严政和陶德馨研究了堆场集卡的调度问题,并采用动态优化组合方法对模型进行求解<sup>[7]</sup>。靳志宏,朴慧淑和杨华龙研究了集装箱多联运拼箱集运的优化模型<sup>[8]</sup>。

### (2) 集装箱堆场作业

郝聚民在图搜索技术和模式识别理论的基础上,建立了随机条件下的混合顺序作业堆场BAY优化模型<sup>[9]</sup>。杨扬对集装箱码头堆场使用率的问题进行了研究<sup>[10]</sup>。葛明研究了集装箱堆场的运作管理<sup>[11]</sup>。刘鸣华提出了集装箱堆场管理中存在的问题,并提出了所需的管理策略<sup>[12]</sup>。张艳,韩晖定义了3种类型的翻箱,分别为装船翻箱、提箱翻箱和移箱的翻箱,并对不同的翻箱提出了各自的控制方法<sup>[13]</sup>。K.Y.Kim研究了场桥行走路径的优化问题<sup>[14][15]</sup>。谢尘,何军良和茆道方研究了基于混堆模式的集装箱码头出口箱进场选位策略<sup>[16]</sup>。张维英,林焰和纪卓尚等针对出口箱提箱作业进行了优化研究<sup>[17]</sup>。王梦昌提出了堆场中箱位的动态分配策略<sup>[18]</sup>。K.H.Kim等针对出口集装箱的堆放以及将倒箱率最小化的问题进行了研究<sup>[19]</sup>。杨淑芹,张运杰和王志强研究了集装箱堆场中存在的常见的问题,并采用启发式算法进行求解<sup>[20]</sup>。张涛对集装箱堆场物流系统进行了研究<sup>[21]</sup>。严伟,宓为建和何军良等研究了场桥调度的优化算法<sup>[22]</sup>。李建忠,丁以中和王斌对堆场的空间动态配置建模并进行了求解<sup>[23]</sup>。王维圳采用启发式方法对堆场分

配问题进行了研究<sup>[24]</sup>。杨孜针对青岛前湾的堆场管理进行了具体堆场策略的研究<sup>[25]</sup>。江南，钱迈和史峰等对堆场作业计划进行了建模并求解<sup>[26]</sup>。陈庆伟研究了集装箱堆场贝位分配的问题，并用遗传算法对模型进行了求解<sup>[27]</sup>。侯彤璋对堆场的通过能力进行了研究<sup>[28]</sup>。高鹏对集装箱堆场作业调度的问题进行了优化研究<sup>[29]</sup>。施梅超，张婕姝和许健对集装箱堆场闸口的通过能力进行了研究，并通过Extend软件进行了仿真优化<sup>[30]</sup>。马振新采用Witness仿真软件对秦皇岛港口煤炭堆场作业进行了优化研究<sup>[31]</sup>。舒帆提出了利用虚拟现实技术实现集装箱堆场可视化的问题，并开发了软件<sup>[32]</sup>。郑鑫在考虑物流因素、非物流因素以及地基的情况下，构建了码头堆场布局的模型，并用Flexsim软件进行了仿真研究<sup>[33]</sup>。于越，金淳和霍琳对集装箱堆场大门系统规划问题进行了仿真优化研究<sup>[34]</sup>。吕征对码头堆场能力进行了研究<sup>[35]</sup>。

综上所述，(1)目前国内外研究的大都重在研究集卡的行走路径优化，或对堆场优化中的倒箱控制、箱区作业量平衡问题等某一方面的具体问题进行研究。(2)上述研究中涉及的模型事先都做了适当的假设，如作业箱量已知，没有过多考虑客户的需求，假设场桥只在一个贝位工作，与堆场实际操作不相符，无法真正对堆场作业起到指导作用。(3)集装箱码头堆场是一个复杂作业系统，受各种因素条件的影响和制约，如闸口和船舶到港时间和频率等，不能仅仅通过一个方面的内容来进行优化，目前很少有研究涉及堆场作业的敏捷性、鲁棒性和动态性，也没有专门针对堆场建立场桥动态调度系统。

### 1.3 研究目的和意义

集装箱港口作为国际物流的中枢，集装箱贸易量的迅速增长对集装箱港口作业的效率 and 效益提出了巨大的挑战，加上不同港口间激烈的竞争压力下，通过调度优化集装箱港口的内部资源，提高集装箱港口作业的效率 and 效益已迫在眉睫。

目前，提高港口运作效率和效益主要有两个基本途径：一是可以通过港口的扩建和硬件设施的增加，如增加各种设备数量、扩大堆场面积等。但是这种途径受到各方面的限制较多，不仅会大大增加港口的固定成本，增加投资的风险，因此港口规模在一定时期内一般不会有大的改变；另一个途径是以现有港口设备为基础，对港口资源进行合理的调度优化，从作业规则上提高港口作业效率，降

低港口的作业成本。这种途径限制较少、风险小并在很多港口被证明是行之有效的，因此港口大都采用此类方法。

在港口中，堆场起到核心作用，堆场的高效运作，是提高港口吞吐能力的关键因素。随着集装箱运量的急剧增长，集装箱港口堆场的运作负荷越来越高，甚至一些港口的负荷量已经超过了传统的承载能力，因此这些港口不得不逐渐从传统粗线条的管理方式向精细化管理的方式转变。

目前，许多港口由于对堆场装卸资源调度不合理，出现堆场装卸设备利用率不高、集装箱周转效率低等问题，这成为港口作业效率提升的瓶颈，致使堆场运作效率低下，作业成本高。因此，在这些方面具有很大的优化潜力。

基于此类问题，本研究在现有堆场堆存计划的基础上，充分考虑集装箱堆场装卸资源调度的动态变化性和复杂性，对集装箱的装卸资源中轮胎式场桥（以下简称场桥）进行动态调度优化，从管理机制上提高堆场的作业效率。这一研究成果能够为港口在未来集装箱吞吐量的增长过程中，在不增加堆场装卸资源的情况下，提供优化的堆场动态调度方案，使之适应吞吐量增长的要求。

## 1.4 研究思路

在分析现有集装箱堆场作业的实际情况下，拟从以下几个方面对堆场的场桥动态调度系统进行分析，首先是如何确定场桥的能力储备，其次是确定场桥热备的数量，最后确定场桥作业的动态调度模型及解法。

基于上述核心问题，将论文分为以下几个章节：第一章是绪论，给出论文研究的背景，然后在综述国内外学术界对堆场的研究后，基于集装箱港口堆场实际情况，提出了本文的研究方向。第二章问题概述，分析集装箱堆场作业的实际情况，以及场桥静态调度的规则和思路，并给出动态调度的相关理论概述，然后分析集装箱堆场场桥动态调度的必要性和难点，最后引出下文的思路。第三章影响因素分析，给出集装箱堆场中场桥动态调度的各种影响因素，并逐一分析。第四章提出构建的驾驶舱系统架构；第五章，基于第三章的分析，构建集装箱堆场的场桥动态调度模型，并给出相应的解法和实例分析，通过一个港口堆场实例进行验证，第六章结论与展望。

## 第 2 章 问题概述

### 2.1 集装箱港口堆场作业概况

堆场是集装箱码头内部办理集装箱装卸、转运、保管、交接的场所，在集装箱运输中起着重要作用。集装箱港口的作业可分为进口和出口两种。进口作业的流程可简单描述为：泊位卸船——堆场作业——闸口提箱，出口作业的流程为：闸口收箱——堆场作业——泊位装船。相应地，涉及到堆场的作业有四种，分别是卸船、装船、提箱和收箱，前两种作业发生在堆场和泊位之间，后两种作业发生在堆场和闸口之间。集装箱码头的四种作业流程如下：（1）卸船，根据码头的计划管理，将集装箱从船上卸至堆场指定位置处存放。参与设备依次是岸桥、内拖车和场桥。（2）装船，是卸船的逆过程。根据码头的计划管理，将集装箱从堆场取出运送至船上指定舱位处。参与设备依次是场桥、内拖车和岸桥。（3）提箱，根据码头计划管理，将集装箱从堆场取出经闸口送往内陆。参与设备依次是场桥、内拖车和外拖车。（4）收箱，是提箱的逆过程。根据码头计划管理，将集装箱由码头外经闸口运送至堆场指定位置处存放。参与设备依次是外拖车、内拖车和场桥。

码头的一切活动都是由船舶到访所引起的。当某一船舶准备到访一码头时，码头必须事先根据该船的集装箱箱量和预期到达时间，为其安排好停泊位置、停泊时间和使用的岸桥，确定泊位和岸桥分配计划。该计划下发给场地计划员后，场地计划员需要确定该船的集港方案，并预留场地空间和场桥数量用于改船的装卸。现实生产中，由于场地资源冲突，使得某些到访船舶无法被服务，此时需要通知泊位计划员修改泊位与岸桥分配计划。泊位与岸桥分配计划和场地与场桥分配计划需要不断的协商，从而获得一个妥协方案。场地与场桥分配计划确定之后，实时策划员分两步执行该计划：第一步是为同一类型的集装箱分配场地贝位；第二步是为到达某一贝位的集装箱分配场地位置。当出口集装箱都收集且堆放在场地上之后，在某些情况下，由于集装箱的堆垛质量不好，场地计划员需要分配资源对场地上的集装箱进行预倒。船舶到达码头前，配载计划员需要确定场地上的出口集装箱在船上的位置该配载活动对应于船舶配载计划。当船停泊于码头后，实时调度员应根据配载计划和进口集装箱在船上的分布情况，制定岸桥对每一个船



贝的执行顺序,同时也要协调好场地上场桥对场地贝的执行顺序,避免资源干涉情况发生,该活动对应于岸桥调度计划和场桥调度计划。最后,实时调度员需生成一个操作清单,用于指导堆场上的拖车司机、场桥司机和岸边的岸桥司机按顺序装卸集装箱,该活动对应于装船顺序制定。

场地与场桥分配计划是为了服务泊位与岸桥分配计划而对堆场资源所作出的计划,主要处理以下决策:为准备收箱的船舶分配场地和场桥;为准备装船的船舶分配场桥;为准备卸船的船舶分配场地和场桥;以及为提箱的外部车辆分配场桥。由于这四种活动都发生在堆场上,彼此为争夺资源互相竞争,再加上这四种活动在资源分配方面存在优先次序。因此,场地与场桥分配计划是最复杂的。

## 2.2 堆场中场桥静态调度概况

目前,在港口堆场中,针对场桥的调度大都采用静态调度的方法。静态调度的研究起源于车间调度,通常是建立在理想的调度环境的假设之上的。最常见的假设是:需要场桥处理的集装箱事先确定且同时到达;在调度执行过程中堆场管理层没有任何干扰等。可见,静态调度的研究忽略了生产需求的动态性和生产过程的不稳定性,其研究成果距离实际应用还有相当一段距离。目前,大多数堆场都采用静态调度的方法来管理堆场中的场桥,主要有如下调度,如一个场桥只在一个贝位工作;预测 24 个小时内的堆场作业量然后开动必需的场桥,而不计较场桥热备的时间;在堆场场桥作业中不考虑倒箱时间,不考虑场地中箱子摆放规则的影响等。但是在堆场实际生产中,由于船舶到港密度和类型、货物及数量、品种、目的地具有随机性,且活动本身易受多种因素影响,所以按照静态调度分配的待作业场桥只能干等,而其他场桥很忙;由于提箱的外卡随机到达,或扎堆到达,致使外卡大都等在闸口,而同时堆场场桥也很忙;由于外卡到达的数量难以准确确定,致使堆场中的场桥热备数量难以确定,浪费了大量的场桥资源,有的热备了却只能等待,有的又忙得不亦乐乎;由于同一段时间内进口箱量和出口箱量的不平衡性,导致有的场桥作业负荷很重,作业成本高昂,同时有的场桥负荷很轻,作业效率低下。

综上,在堆场的实际作业过程中,无论是提箱作业还是收箱作业,不管是装船作业还是卸船作业,都存在着由于船舶和外卡不能按计划到达等外部原因,以

及设备故障等内部原因所产生的干扰,这使得静态调度的性能遭到了破坏甚至变得不再可行。因此,在堆场场桥调度的研究中需要适当的考虑影响实际生产的动态因素。

### 2.3 动态调度相关理论概述

Jackson<sup>[36]</sup> 1957 年最早提出了动态调度问题。动态调度问题是一种更普遍、更符合实际生产需要的调度问题,它的研究受到很多学者重视,目前已成为调度研究领域的热点之一。

绝大部分静态调度是 NP - hard 问题。由于还需要处理随机事件,动态调度问题增加了问题的复杂性,通常是工件差异的多目标调度优化问题。实际生产环境中存在大量动态扰动事件,如新工件到达、机器发生故障、订单的追加或取消等。因此,动态调度更符合实际生产情况。动态调度是指在充分考虑调度任务和系统当前状态的前提下,对动态事件及时给予响应,并提供合理的调度策略或方案,以达到全局上优化的目标。

从 20 世纪 80 年代开始,许多学者就开始尝试并致力于动态调度问题的研究,并努力寻找有效的解决方法。越来越多的研究者对动态调度问题给予关注<sup>[37-40]</sup>,现在动态调度的研究在整个车间调度研究领域占很大一部分。然而由于其自身的复杂性,至今尚未形成系统的理论与方法。

根据性能指标要求,可以分为基于调度性能和调度成本的两类指标。一般来说,多数调度问题都是以优化调度性能为目标,调度性能指标主要和工件的完成时间相关。调度成本主要指使用车间资源的费用,包括原料损耗、机器折旧和人力等。

车间调度的性能指标又可以分为四类<sup>[37]</sup>:

(1) 基于完工时间的性能指标。如最大完工时间、平均完工时间、最大流程时间和平均流程时间等;

(2) 基于工件交货期的性能指标。如最大延迟完工时间、平均延迟完工时间、最大拖期、平均拖期和拖期工件个数等;

(3) 基于库存的性能指标、空闲时间等;

(4) 多目标综合性能指标。如平均待加工工件数、平均已完工工件数、平均

机器,如最大完工时间与总拖期的综合,提前拖期惩罚等。

根据目标函数与完工时间的关系,车间调度的性能指标也可以分为<sup>[40]</sup>:

(1) 正则性能指标 (RegularMeasure, RM)。如果目标函数是完工时间的非减函数,则称为正规性能指标,如最大完工时间、平均流程时间、平均拖期等都是正规性能指标;

(2) 非正则性能指标。如果目标函数不是完工时间的非减函数,则称为非正规性能指标,如最小提前拖期惩罚等。

对于动态调度问题,由于其特殊性,除了上述的衡量调度性能的指标外,还引入了三种新的指标<sup>[42-45]</sup>:

(1) 敏捷性(Agileness)。敏捷性是评价在调度过程中对动态事件的响应速度的指标。

(2) 鲁棒性(Robustness)。鲁棒性是评价在执行调度过程中调度环境的参数波动对调度性能恶化的程度的指标。

(3) 稳定性(Steadiness)。稳定性是评价调度在执行过程中修改或者变动的程度。

最初动态调度问题的研究主要采用整数规划、启发式分配规则和离散系统仿真方法等方法。对于动态调度,很难用传统的整数规划法来解决实际问题。优先分配规则具有容易实现和较低时间复杂性的特点,在实际生产中获得了广泛应用,不过它只考虑机器的当前状态和紧邻的环境,具有短视性,解的质量通常留有较大的改善空间。

离散系统仿真方法通过建立仿真模型来模拟实际的生产环境,但是仿真本身具有实验的特点,很难从特定的试验中提炼出一般规律。多目标优化算法的发展和滚动窗口技术的提出等为动态调度的研究开辟了新思路。滚动窗口再调度是 Nelson 等<sup>[41]</sup> 在 1977 年最早提出的,它的基本思想是将动态调度过程分成多个连续的区间,然后对各个调度区间进行在线优化以达到每个区间内最优,从而使调度方案能适应复杂多变的动态环境。实际动态生产调度通常涉及多个目标的同时优化。

实际动态生产中,急件或周期性任务不断加入,部分任务具有较高的优先权并要求在交货期前完工,部分工件需要尽早完工。这与传统调度问题相同,需考

虑交货期和最大完工时间等性能指标。动态调度将车间生产看成是一个动态过程,工件依次进入待加工状态,接受系统加工,同时完成加工的工件又不断离开。与静态调度比较,动态调度不仅需要考虑初始状态,还需要考虑突发事件、急件或计划工件不断加入等动态因素。因此,动态调度问题的性能指标比静态调度的性能指标更为复杂,通常包括多个性能指标,并且不同组别工件的调度目标一般不相同,各个优化目标之间可能不一致甚至互相冲突。

#### (1) 鲁棒调度

鲁棒调度<sup>[42]</sup>是根据当前信息或未来一部分可预测信息,先生成一个调度方案,该方案尽可能地将可预测的干扰事件考虑在内。鲁棒调度研究的热点是试图产生具有鲁棒性的调度方案,即按照生成的调度方案实施车间调度,可以保证生产系统的性能在实际发生的动态事件的干涉下不会出现大幅度的恶化。但是,鲁棒调度常常含有过高的设备空闲时间,这是对资源的极大浪费。另外,鲁棒调度几乎不考虑当实际发生的动态事件与预测的可能发生的动态事件有偏差时该如何处理,所以其对预测之外的突发事件反应能力差,很可能导致性能大幅下降。

#### (2) 预反应调度/重调度

预反应调度<sup>[43]</sup>一般分两个阶段进行:首先根据已获得信息而不考虑未来可能发生的干扰事件,生成一个优化某一目标的调度方案,这个方案称为预调度。然后在执行这个调度的过程中检测其执行情况,当执行过程中发生的一些动态事件使得实际调度偏离了预调度,并且偏离累积到一定程度时,触发重调度(反应调度)过程,对预调度的部分或全部进行修改,从而保证调度可行或者改善调度性能<sup>[45]</sup>。预一反应调度也被很多学者称为重调度。

#### (3) 完全反应调度/动态(在线实时)调度

完全反应调度与前两种调度方法不同,它并不生成一个完整的预调度方案,而是在必要时刻(决策时刻),根据生产系统当前状态和可获得的局部信息,采用某种策略,快速、经济的做出局部调度决策。完全反应调度也被某些研究者称为动态调度、在线调度或实时调度<sup>[44]</sup>。

## 2.4 堆场中场桥动态调度必要性和难点分析

从整个堆场的作业来看,场桥是其中最为关键的设备。因此,堆场中场桥作

业的效率和效益至关重要。在堆场中，主要有以下几个方面的约束：第一，安全问题；在堆场中，外卡和内卡同时作业，意外风险众多，所以外卡在堆场的停留时间不能太长，外卡在堆场等待的队列也不能太长，外卡在闸口外边等待的时间更不能太长，否则客户就可能投诉，或导致港口外边的交通堵塞；第二，由于港口的业务都以装船和卸船为起点和终点，而船是有船期的，因此，内卡在堆场的业务也是整个港口作业的关键；第三，客户的利益和船东的船期固然重要，但港口的利益也非常重要，需要通过合理的调度给出场桥的动态调度规则。

综上，对堆场的场桥进行合理的动态调度是非常有必要的。

通过上述的分析可以看出，堆场中场桥的动态调度主要有以下难点：

一是基于何种调度规则确定热备场桥的数量和时间；二是通过确定场桥的效率和效益的评价指标体系，来确定堆场中场桥调度的好坏；三是基于何种调度规则进行场桥的作业调度，最后整个堆场场桥调度的绩效好坏由谁来评定，没有一个公正的评价。

### 第3章 影响因素分析

通过前文的分析,发现堆场中场桥的动态调度至关重要,因此非常有必要对该调度的影响因素进行系统分析,从而找出正确的调度方法。下面从几个方面对堆场中的场桥动态调度影响因素进行分析。

#### 3.1 环境方面的影响因素

堆场中待作业的集装箱可分为进口箱和出口箱两类,目前集装箱港口堆场集装箱堆存方式主要有两类:进、出口集装箱分开堆存方式和进、出口集装箱混合堆存方式。有些集装箱,如危险品箱、冷藏箱一般都堆存在特定的位置,而空箱也是指定特定的箱区进行堆存,对这些指定堆存位置类型的集装箱本研究不作考虑,主要对普通集装箱型进行研究。

在集装箱港口的日常运作中,堆场场地的几何特征是场桥调度的基础。首先,堆场场地的尺寸影响堆场采用的摆放方式。在进口箱和出口箱分区摆放的方式中,进口箱放在堆场靠海侧的后方,出口箱放在靠海侧的前方;进口箱是按照货种、源港口和货主来分区摆放,出口箱按照船、船上对应的贝进行分区分贝摆放。如果堆场的面积很小或堆场所处的地质条件很差,需要采用混堆模式,即将出口箱和进口箱混合摆放,但增加了日常运营管理的难度。

其次,限于堆场的几何形状以及交通通道的实际情况,场桥的行走路径固定,影响各个分区的大小和位置;作业量大和业务频繁的分区尽量靠近主要通道,作业量大和周转慢的集装箱分区尽量放在次要通道上,平均作业量负荷较大的分区之间尽量不要相连。

第三,堆场对应的闸口数量,也影响堆场中场桥的动态调度。如果闸口的通道很多,可能在高峰期同时很多外卡进行提箱或集箱,造成堆场的拥挤。同时通道的开闭规则,以及通道服务人员的工作计划,都是影响堆场内外卡数量的关键。最要紧的是港口对堆场中外卡停留时间的规定,这就要求外卡在堆场中停留时间越长,则外卡的优先级越高。

第四,闸口周边的交通环境也是影响堆场调度的一个重要因素。如果周边交通发达,回转余地很大,则堆场中场桥作业效率的高低不成问题,否则,闸口处稍一堵塞或堆场中作业效率一旦低于某个水平,就会造成港口闸口周边交通的拥

塞，外卡司机不满，客户不满，被堵在周边交通要道上的旅客也不满。

### 3.2 客户方面的影响因素

在堆场场桥的动态调度中，客户的业务种类和生产运营也是一个重要的影响因素。

首先，客户的业务种类不同，影响该客户的集装箱在堆场的摆放位置；同时由于业务量和源港口的不同，集装箱在堆场中的堆存位置也不同；种类越多，业务量越小，业务量波动越大，致使由于集装箱堆存位置的复杂致使堆场场桥的动态调度更为复杂。

其次，客户的生产运营也影响堆场中场桥的热备数量和场桥作业能力的储备。在客户的日常生产运营中，客户对经港口转运来的集装箱货物的需求越迫切，则客户就会及时明确提箱计划，而相关的集装箱承运方也会尽快到堆场提箱；但有的客户生产经营中，对抵达港口的集装箱货物的需求不是很迫切，或没有明确的生产经营计划，也就没有特别明确的提箱计划，诸如此类的客户占很大比例，这就给堆场中场桥的动态调度过程中带来很多变数。

第三，客户同港口的关系也是影响堆场中场桥调度的一个影响因素。在堆场中，大客户或VIP客户的箱子优先作业，一般客户的箱子随机处理。因此，基于堆场中各个集装箱货主的优先级，动态调度集装箱堆场中的场桥也是堆场要考虑的一个重要问题。

### 3.3 船舶方面的影响因素

靠泊港口的船舶也是影响堆场中场桥调度的重要因素之一，主要包括以下几个方面：

首先，靠泊港口船舶的货种和航线不同，堆场中场桥的调度复杂度也不同。由于来自不同的航线的集装箱要按货种和航线分区分贝摆放，同时还要考虑客户的特殊要求和提箱、集箱作业的时间，最终着眼于如何采用最少的场桥，最小的作业成本来完成作业，这是一个NP难问题。

其次，靠泊港口船舶的船期不同，造成堆场中场桥的作业优先顺序不同。由于船舶的船型不同，载重量也各不相同，每个船舶的抵达时间也各不相同，如何采用最少的场桥和最小的作业成本，合理安排每艘船舶集装箱在堆场中的装卸作

业的优先次序，这也增加了堆场中场桥调度的复杂度。

第三，靠泊船舶对港口水文地质条件如潮汐等的依赖，造成堆场中场桥的动态调度难度增大。有的港口大船只有在涨潮时才能靠泊，而落潮时只能靠泊中小型船舶，这种情况下同时装卸的大船集装箱在堆场中的装卸作业优先；若港口的泊位足够，则当大船卸完后可停泊在港口，这是该类船舶的装船作业同其它类型船舶的装卸作业一个级别；否则，大船要赶在港口落潮之前完成装船并驶离泊位，可停到外锚地，这也造成了堆场中场桥作业调度的复杂。

### 3.4 港口管理方面的影响因素

在集装箱堆场场桥的调度中，港口管理方面的制度和规则也是一个重要的影响因素。

首先，港口对工作人员的排班计划。一个班组工作多长时间，在工作时间内的工作强度应保持在多大范围内。一般来说，在港口堆场场桥的操作人员，执行 24 小时内的三班倒，如果业务繁忙造成工作强度加大，则变成四班倒。鉴于工作人员的数量和熟练程度，合理地安排每个班组的工作量，是堆场中场桥动态调度的重要影响因素之一。

其次，港方制定的场桥使用制度也是影响堆场中场桥调度的主要因素之一。场桥在使用过程中能够容忍的连续作业时间，以及场桥正常的保养和维修时间都是场桥动态调度中要考虑的因素；只有合理地安排场桥的维修和保养，并限定它的作业强度，才能保证场桥能够安全正常作业。

第三，港方规定中外卡在堆场中的等待时间也是影响堆场中场桥调度的重要时限之一。在我国大多数集装箱港口中，港口明确规定堆场中调度如果一辆外卡在堆场中的等待时间不能超过一个小时，有的港口规定如果外卡等待时间超过了半个小时，就要惩罚负责调度场桥的员工，按超过的时间数和车辆数处以适当的罚金。

第四，港方规定中内卡的处理规则，以及堆场中场地中集装箱的摆放规则。一般来说，在我国大多数集装箱港口中，港口明确规定内卡优先处理，因港口内船舶有明确的船期，这个一般是不能通融的。而集装箱堆场中的摆放规则：集装箱堆场一般按照重箱压轻箱的原则摆放，在同一贝位上各排摆放集装箱层数高者



优先放置，同时孤排上不能摆放三层以上的集装箱；如集装箱的重量和箱区中空位的特征一致，则从符合要求的空位中随机选择一个。同时在提箱时还有可能造成倒箱，在装船时需要预倒箱——使得装船时能够节省时间。

第五，港方制定的泊位和岸桥使用计划的影响。一般来说，港口堆场中的场桥调度是 24 小时内的作业，滚动前进，所以堆场中场桥的调度应在上述计划的基础之上进行，而不是独立，是各个部分之间相互关联的。

### 3.5 相关各方之间的互动

从以上的各种影响因素可以看出，集装箱堆场中场桥的动态调度是个多目标的优化问题，而不是独立的作业调度问题，因此需要相关各方互动协调来解决，单独一方很难达到最优。

首先，需要船方及时提供详细的数据信息，即时修正泊位和岸桥使用计划中的错误信息，并反馈到堆场调度系统中；

其次，需要客户方及时提供提箱计划，制定合理的运输计划；

第三，需要港方及时更新堆场实时作业数据库，并实时反馈给堆场调度人员；

最后，需要港口管理层之间通力合作，统一口径，及时沟通，才能真正实现动态调度，而这就需要有一个紧密连接各方的平台来协助完成，也就是本文的中心——构建集装箱港口堆场场桥动态调度驾驶舱。

## 第4章 堆场场桥动态调度驾驶舱功能模块和系统架构

“管理驾驶舱”将把决策支持这个概念产品真正具体化，使企业管理系统进入一个新的领域。充分融合了人脑科学、管理科学和信息科学的精华，以人为产品的核心，从管理者的决策环境、企业管理综合指标的定义以及信息的表述，都围绕着激发人的智能、有利于思维连贯和有效思维判断为目的。将企业管理决策提升到一个新的高度。

而本文所提出的堆场场桥动态调度驾驶舱(Management Cockpit, MC)是指堆场中对场桥进行调度决策时，所需要的相关数据以及对应的预警措施，就像汽车/飞机的驾驶仪表盘，随时显示关键业务的数据指标以及执行情况；该驾驶舱是一组动态的指标，这些指标通常直接指向堆场中场桥调度的目标和当前的瓶颈问题；该驾驶舱是以图表的方式直观的显示各项指标，并支持“钻取式查询”，实现对指标的逐层细化、深化分析。实际上，堆场动态调度驾驶舱是一个为高层管理层提供的“一站式”(One-Stop)决策。

支持的堆场管理信息中心系统。它以驾驶舱的形式，通过各种常见的图表(速度表、音量柱、预警雷达、雷达球)形象标示堆场中场桥运行的关键指标(KPI)，直观的监测堆场中场桥的调度情况，并可以对异常关键指标预警和挖掘分析。

鉴于堆场场桥动态调度驾驶舱的应用价值和现实意义，本文提出了集装箱堆场场桥动态调度驾驶舱的各个主要功能模块，如下所述。

### 4.1 指标体系

集装箱码头堆场场桥动态调度驾驶舱系统提供一个详细的指标体系，如图4-1所示，该指标体系几乎囊括了第三章涉及影响因素的所有对应指标。具体的指标体系包括：质量管理方面、成本控制方面、系统柔性方面。

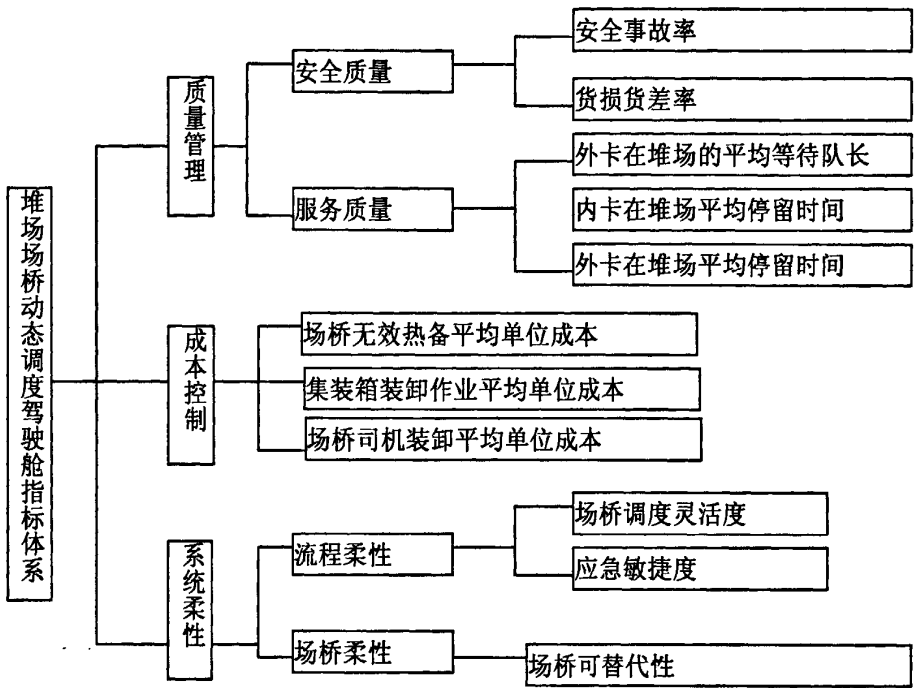


Fig 4.1 index system

在质量管理方面，主要包括安全质量和服务质量两个方面的指标；其中安全质量指标主要包括安全事故率和货损货差率，安全事故率是指在堆场中由于场桥作业失误或出现故障等造成的人员伤亡事故的比率，用它来衡量堆场中场桥作业的安全程度，而货损货差率用来衡量堆场中场桥作业的精细程度；服务质量主要包括三个指标，即外卡在堆场等待的平均队长，内卡在堆场平均停留时间，外卡在堆场平均停留时间。其中外卡在堆场等待的平均队长用来衡量堆场中场桥对外卡的作业及时程度；内卡在堆场平均停留时间用来衡量堆场中场桥对内卡作业的及时程度，由于堆场中内卡的作业优先级最高，因此该指标也是港口重点监控的指标；外卡在堆场平均停留时间用来衡量堆场中场桥对外卡的服务水平，该指标用来考核堆场中场桥调度员的绩效，一般来说外卡在堆场的等待时间不能超过 1 个小时，如果超过该上限，必需为该外卡提供服务；甚至有的港口明令规定若一辆外卡的等待时间超过了 30 分钟，就开始处罚场桥调度员，时间越长，超过时限的外卡数量越多，则罚金越高。

在成本控制方面，主要包括以下三个主要指标，即场桥无效热备平均成本，集装箱装卸作业平均成本，场桥司机平均装卸作业成本。其中，场桥无效热备平

均成本用来衡量堆场中场桥调度前期准备的好坏;如果前期对历史数据进行过系统分析,对客户提箱的习惯和时间把握准确,同时精确掌握到港船舶的数据信息,则依据以前场桥的作业能力,港方管理层能够相对准确地将每天 24 小时的工作及时分割为不同的时段,并同时确定每个时段内需要热备场桥的数目;如果场桥无效热备的平均成本上升,则从两个方面查找原因:如果是客户或者船方的原因,则加强同相关各方的沟通,及时取得相对准确的数据;如果是由于划分的时段不准确,或者调度不正确,则应严肃追究调度员的责任。集装箱装卸作业平均成本用来衡量场桥装卸作业效率和场地中集装箱摆放的合理性,以及场桥装卸一个集装箱单位时间内的成本;由于堆场中集装箱摆放的不合理,以及调度员调度规则相对简单,造成装卸集装箱时需要多次倒箱,增加了场桥装卸作业的成本,如果此项指标超过一个上限,则应从以上几个方面入手,或改进调度规则,或改进堆场中集装箱摆放规则,或按照一定的智能算法进行装卸。场桥司机成本用来衡量单位时间内一个集装箱耗费场桥司机的时间和成本,是一个多元量纲的值。

在系统柔性方面,主要包括流程柔性和设备柔性两个方面。其中流程柔性主要以下两个方面,即场桥调度灵活度和应急敏捷度。其中场桥调度灵活度用来衡量堆场中场桥的调度规则,一般来说堆场中每个场桥的工作区间局限在单独某个贝区,但如果某个贝区的业务时间间隔很长,而相临贝区的业务繁忙,则可能这两个场桥同时负责这两个贝区,诸如此类的情况下,就只能通过调度员灵活地制定调度规则来进行适当的调节场桥的工作强度。应急敏捷度是用来衡量堆场场桥调度中是否有明确的应急预案,或对急单和紧急事件的处理反应效率。

## 4.2 系统架构

堆场场桥动态调度驾驶舱系统整体构架由实时显示系统、驾驶舱模型处理核心、数据库、企业信息系统四个部分组成。其中实时显示系统用于当企业高层管理人员步入堆场动态调度驾驶舱,所有与堆场中场桥调度绩效相关的绩效指标都可以以图形方式显示在系统中,一个房间的四面墙壁上。管理驾驶舱把各项指标按重要性程度显示在不同颜色的墙上或系统中:

- 黑色部分或黑墙显示主要的成功因素;
- 红色部分或红墙显示外卡的信息;

- 蓝色部分或蓝墙显示内卡信息和员工的表现;
- 白墙显示场桥的相关指标。

通过实时显示系统可以实现关键指标预警:跟踪堆场中场桥动态调度过程,及时发现问题发出警示信息,引起高层管理者的关注,及时采取正确措施,化解由于调度失误引起级联反应造成的港口经营风险。通过对关键进度进行实时监控,显示了堆场中不同管理者最关心的各个关键指标的进度执行情况,堆场管理者可以从计划控制的角度来分析堆场调度的状况。通过关键业绩的展示,既可以对管理者关注的关键业绩指标进行多维度、多层面的分析,又可以将港口企业管理者关注的诸如重要客户的情况、场桥的利用率等信息以生动、直观的方式展现。此外,可以设定根据权限浏览指标,提供对调度员、维修部门和场桥司机,以及现场工作人员等的具体指标显示,可通过指标名称模糊查询定位指标;还能通过指标数据之间的逻辑关联分析的功能,显示对指标数据的驾驶舱功能显示;通过对指标历史趋势进行查询分析功能,有雷达图、柱状图、饼图和折线图功能;按相应指标体系、时间段等对不同的班组绩效指标进行对比分析,可以给出员工公正评价。

驾驶舱模型处理核心是堆场场桥调度的核心所在,它主要包括两部分,一是决策模拟台,一是调度模型和求解模块,此外还包括模型库和解法库等。通常在采用堆场场桥调度驾驶舱决策时,主要有两种情况:一是通过历史数据的分析,研究某关键绩效指标的改变,引起与其相关指标包括其他关键绩效指标和基础指标的动态变化情况,总结它的变化规律,建立分析模型来进行决策。如根据历史数据分析,可以总结出服务质量的降低与成本控制和流程柔性之间相应指标的动态变化模型,一次可预测出未来某一阶段某个确定的业务量下装卸作业的效率 and 效益,以及这些指标达到那个值时,可能导致服务质量的降低,基于此类模型可合理科学地制定堆场中场桥的动态调度方向。二是场桥的具体调度,以上所讲的只是动态调度思路,具体在某天的某个阶段如何调度在上述模型的分析,只是给出了动态调度的一个约束,如何保证堆场中场桥动态调度的效率和成本达到最佳,需要建立堆场中场桥动态调度模型,进行求解并给出调度结果。其中决策模拟台,如同飞机的驾驶台,它主要用于第一种决策的模拟,或用于第二种调度中验证模型给出的调度决策,或通过对公司的业务信息进行收集处理,并可进行实

时决策模拟。而调度模型和求解模型通过模型库和解法库的支持，动态组合调度模型，并实时给出相应的解法。

数据库部分主要包括两部分的内容：堆场中场桥作业的实时数据，主要包括内卡、外卡的相关信息，堆场中集装箱堆垛的实时信息，以及场桥作业的实时信息，场桥司机作业的实时信息等；二是泊位和岸桥作业计划的信息，以及堆场中客户的信息，航线信息，堆场中集装箱堆垛的规则等。

港口企业信息系统主要用于港口日常运营信息的记录、查询和存储，可用于查阅相关历史数据，并数据库一起为堆场中场桥动态调度提供足够的信息支持。

4.3 系统实现架构

鉴于港口各个管理部门充斥着不同种类的应用软件、系统软件和应用基础结构，一些现存的应用程序被用来处理当前的业务流程，因此从新构建一个新的基础环境是不可能的，只有在现有的 IT 环境下嵌入一个驾驶舱系统，才能够多快、好省地实现堆场中场桥的动态调度。

由于驾驶舱应能对堆场中业务的变化作出快速的反应，利用对现有应用程序和应用基础结构的投资来解决新的业务需求，为不同管理层提供新的互动渠道。为此，本文提出的驾驶舱系统采用 SOA 服务架构来实现，系统实现架构如下。

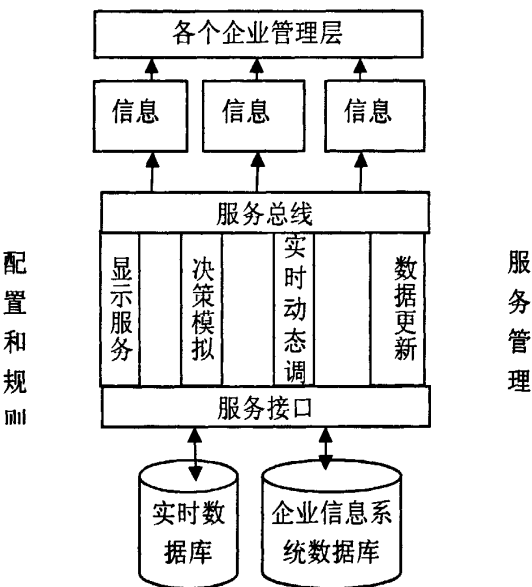


图 4.2 系统实现架构图  
Fig4.2 sytem application architecture

如图 4.2 所示, 其中各个企业管理层这个模块是需要同驾驶舱交互的管理层客户端的总称, 通过接收驾驶舱的各种消息直接发出正确的指令; 消息是采用 SOA 服务封装的场桥动态调度信息; 服务总线能够将管理层的各种服务需求接收过来, 然后调用驾驶舱中对应的服务引擎, 而该服务引擎基于驾驶舱规定的各种业务规则, 动态地提供各种服务, 并制定正确的调度决策。

由于目前 .NET 架构和 J2EE 架构都能非常容易地实现 SOA, 它们不仅为开发者自然而然地参与到 SOA 开发中提供了一个平台, 而且还通过这些技术架构的特性, 将可扩展性、可靠性和可用性和性能引入了 SOA 系统中, 因此在实际系统构建时采用哪种技术架构都可以; 但考虑到 J2EE 架构的开源性, 驾驶舱的实际应用环境, 本文提出了采用开源的 JBOSS 作为 SOA 服务器平台, 服务接口采用 hibernate 来实现, 服务协议采用 SOAP 和 WSDL。

#### 4.4 动态调度驾驶舱价值

堆场场桥动态调度驾驶舱是完善的战略工具, 它将港口、客户和船方通过堆场场桥有效的调度紧密地联系为一体, 真正将港口变成了物流服务链上的一个重要节点, 而不是唯一。驾驶舱拥有完整的系统网络连接整个企业各个部门, 在企业高层作出战略决策之后, 企业战略就可以以最快的速度落实在堆场的场桥调度中, 并且驾驶舱的安全性保证了战略实施的准确性和保密性。再有, 堆场场桥动态调度驾驶舱能够对行动计划进行有效的监控, 通过监控整个计划的实施情况来事先察觉泊位和岸桥计划运行过程中的偏差, 对偏差及时作出修正, 实现了真正意义上的同步监控。最后, 该驾驶舱能够建立科学的、全面的评价体系, 在设计堆场动态调度驾驶舱时, 一个基本的步骤就是建立测量指标价值的统一公式, 决策者能很清楚地看到相关的完整信息, 从而保证收集的数据尽可能地接近事件的真实, 而且驾驶舱能迅速、全面地分析计划的实施结果, 并对计划的实施效益分别从横向和纵向来比较, 从而使分析建立在量化的基础上, 以确保其公开性、公正性和可接受性。

第 5 章 驾驶舱中的动态调度模型及解法

通过上文可知，在集装箱码头的堆场场桥动态调度驾驶舱中，在驾驶舱模型处理中心模块中，有对应的模型库和方法库，但核心是基于为驾驶舱量体裁衣建立具体的动态调度数学模型，以及对应的解法。

5.1 调度影响因素分析

集装箱堆场场桥的作业具有连续性，各时段、各箱区的作业量是实时变化的，即当场桥在完成对一些集装箱作业任务的同时，又有另一些集装箱等待处理。在实际作业中，由于集卡的到达时间是随机的，不能在较长一段时间内对场桥进行总体调度优化，而只能在较短的时间内，根据集卡到达的动态变化情况，对轮胎式场桥进行实时调度优化，并且要保证这一段时间内，至少有轮胎式场桥完成或将要完成一个任务。为了更好的理解调度问题，寻找出有效的调度优化条件，本文提出了基于滑动窗口的场桥调度方法，具体分析如下。

- (1) 场桥工作分析
- (a) 场桥任务时段分析

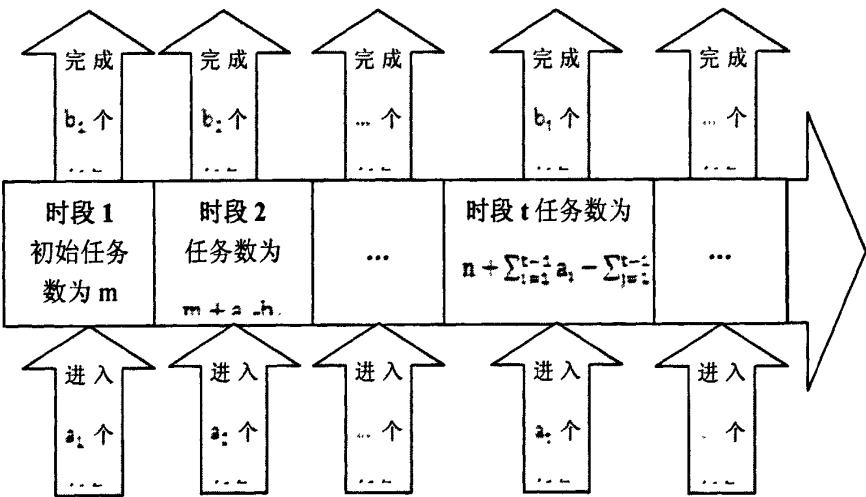


图 5.1 堆场循环任务时段划分示意图

Fig 5.1 the cycle task time division in the yard

如图 5.1 所示，根据场桥调度特点，对堆场作业进行循环任务时段划分(以



下简称时段)：以一个堆场作业周期(24 小时)作为循环周期，将一个循环周期划分成相等较小的作业时段(以一台场桥能够连续作业的时间和一个场桥司机正常连续作业的时间，两者之间取最小为作业时段)，在每个时段内，场桥将会完成一些任务，同时又会有一些任务进入堆场等待处理，本文以任意某个时段为研究对象对场桥进行调度优化，在实际应用中，可将各任务时段信息实时更新，实现连续调度。

#### (b) 场桥任务阶段划分

集装箱堆场的作业任务状态是实时变化的，对场桥动态调度的业务量也是实时变化的，为了方便调度优化定量计算，本文对轮胎式场桥进行任务阶段划分。如图 5.2 所示，初始阶段同时分配给各个轮胎式场桥作业任务，当完成第一个任务时分配第二个任务，第二个任务完成时再分配第三个任务，以此类推。由于轮胎式场桥作业任务不同，其作业任务状态也不是同步的，这样分别对每个轮胎式场桥分任务阶段进行研究，可以在对轮胎式场桥进行总体优化调度时，不受其作业状态的影响；在实际作业中，可以根据各个轮胎式场桥的作业状态，对各个轮胎式场桥进行实时调度。但如果在一个时段内没有完成的任务，在下一个时段内优先排程，如果两个任务同时都是内卡装卸，则以船期越早越优先；如果一个内卡一个外卡，一般内卡优先，但如果外卡等待时间超过了 1 小时，则外卡是下一个时段的某个场桥的第一个任务；如果外卡等待时间已经超过了 30 分，但没有超过 1 小时，则外卡优于内卡；如果都是外卡，则等待时间长的优先；如果等待时间一致，则 VIP 客户优先，如其他条件都一样，则预约的优先，否则哪一个离场桥近的优先。

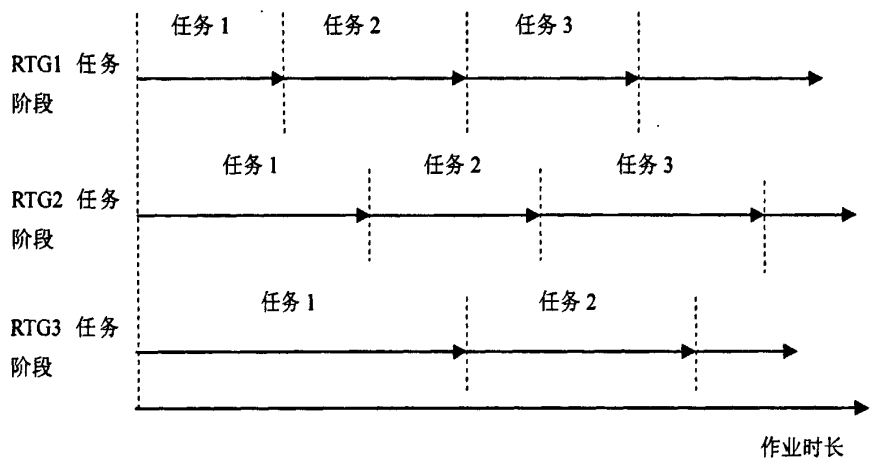


图 5.2 轮胎式场桥任务阶段划分示意图

Fig5.2 the task cycle division of RTG

(c) 轮胎式场桥行走过程分析

如图 5.3 所示,如果因作业任务需要,轮胎式场桥(Tyred container gantry crane, RTG)从箱区 1 移动到箱区 2,只需要沿着箱区轮胎式场桥通道直行进入箱区 2;如果因作业任务需要,轮胎式场桥从箱区 1 移动到箱区 3,需要在箱区通道上使轮胎进行 90 度旋转,沿箱区通道到达箱区 3 后,再使轮胎反转 90 度进入箱区 3 中;如因作业任务需要,轮胎式场桥从箱区 1 移动到箱区 4,需要在箱区通道上使轮胎进行 90 度旋转,沿箱区通道到达箱区 4 后,再使轮胎进行 90 度旋转进入箱区 4 中。

轮胎式场桥的行走是一个无效的作业过程,轮胎式场桥行走时间越长,其花费成本越高。如果箱区 1 中轮胎式场桥要移动到箱区 4,可分别沿三条箱区通道移动,其中沿通道 1 移动时移动距离最短;如果箱区 1 中轮胎式场桥要移动到箱区 3,可分别沿三条箱区通道移动,其中沿通道 2 移动时移动距离最短;如果箱区 2 中轮胎式场桥要移动到箱区 4,可分别沿三条箱区通道移动,其中沿通道 3 移动时移动距离最短。

从以上描述中可以看出,轮胎式场桥在不同箱区间,尤其是在不同行的箱区间移动时,轮胎旋转会占用大量时间,增加无效作业,因此在调度中要尽量减少轮胎式场桥在不同箱区间的移动。

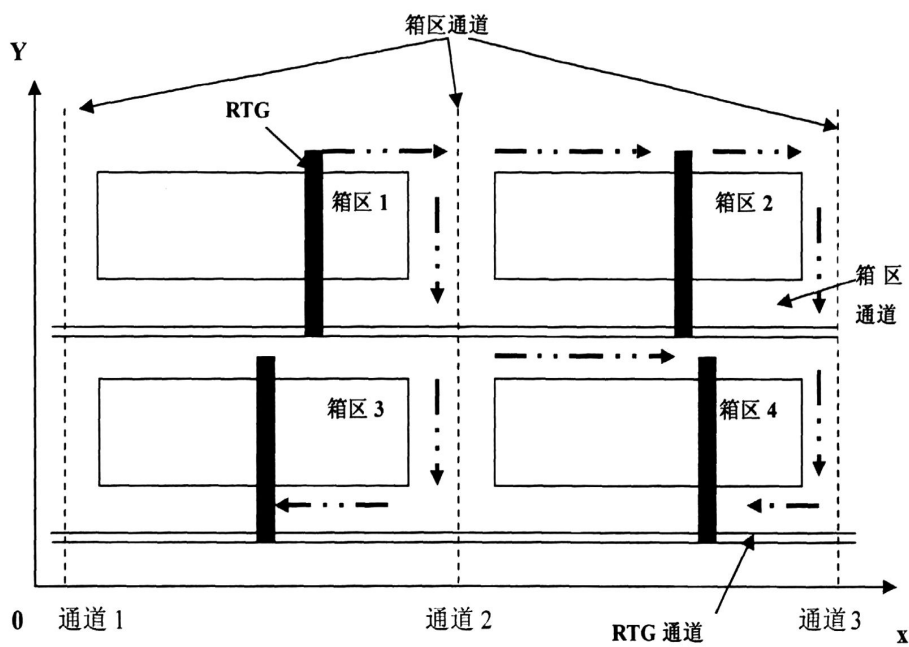


图 5.3 集装箱堆场轮胎式场桥移动过程示意图

Fig 5.3 dispatching process of RTG in container yard

(d) 轮胎式场桥装卸过程分析

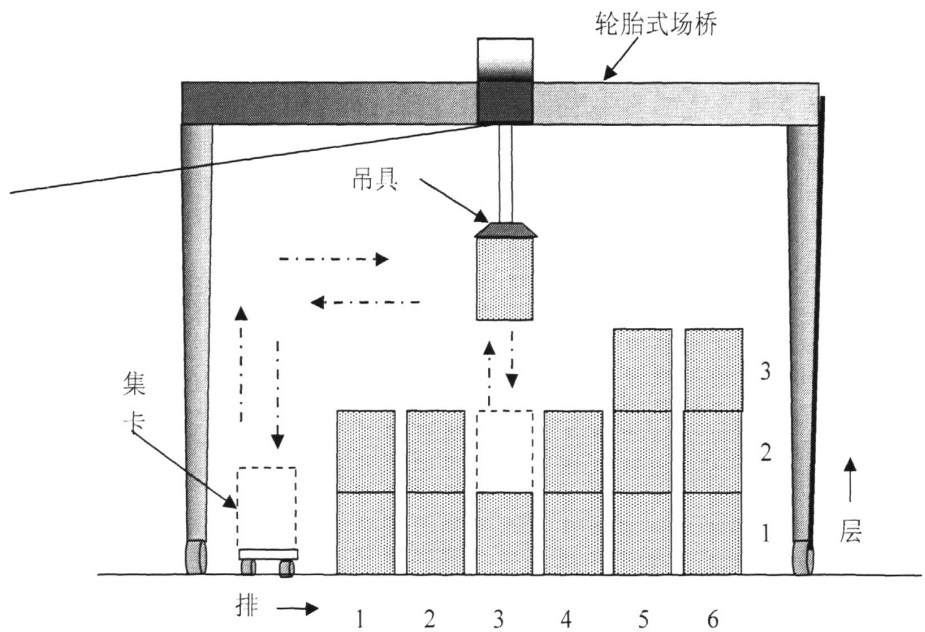


图 5.4 轮胎式场桥装卸作业过程示意图

Fig5.4 the shift stowage process of RTG

如图 5.4 所示,轮胎式场桥在装车时,首先在贝位中用吊具吊取相应集装箱,起升一段高度后,然后水平移动到集卡正上方,最后将集装箱放入集卡;在卸车时,首先将集卡上的集装箱吊起,水平移动到相应排中,放下集装箱。

但场桥在作业时,由于堆存在堆场中的集装箱摆放规则同作业次序可能不完全一致,可能造成倒箱。提箱时,由于先行作业的集装箱被压在下边,所以要通过场桥把堆在上边的集装箱倒开,一般放到同一贝的其他排上,然后才能正常提箱,之前的倒箱大多属于无效工作;其次,装船时一般要先进行倒箱,将集装箱摆放到对应船上对应贝的位置,以方便装船,也需要预倒箱。

## (2) 外集卡到港分析

### (a) 集卡到港的限制条件分析

在一般情况下,无法预知外集卡车何时到达,但是可以通过分析经验数据,得出外卡到港时间间隔和车辆数的拟合概率分布。在实际工作中,码头场地计划员通过预估本班次陆运作业量(自然箱数)和一个场桥陆运作业的平均效率经验值来决定本班次需要的场桥数。这种分配方法简单易行,但集卡到达堆场时间和密度具有不均衡性,这种不均衡性常常导致在外集卡中到达时,场桥数量不足,因而使司机等候时间超过 60min;而在陆运集卡车分散到达的作业低谷时段,场地里只有零星收提箱作业,可能每个场桥平均每小时只做几个自然箱,大量时间处于待机空耗状态。

### (b) 集卡等待满意度调查分析

客户对服务的偏好可以分为两类:可容忍服务时间区间和希望服务时间。

客户  $i$  的可容忍服务时间区间可以描述为  $[E_i, L_i]$ ,  $E_i$  是最早时间,  $L_i$  是最迟时间。希望服务时间由约定时间  $u_i$  描述,其中  $E_i \leq u_i \leq L_i$ 。如果服务时间落在时间窗范围内服务满意度为 1,即完全满意。否则,服务满意度为 0,即不满意。

如果严格按照客户设定的服务时间为其服务,可能造成堆场的装卸成本增加。如果允许在某些客户点适当地延误,可能使成本大为减少,即对该延误现象给予一定的惩罚。所以根据决策者在对客户满意度和成本二者权衡时偏好的不同,按照客户满意度来分,时间窗还可以分为硬时间窗(Hard Time Windows,简称 HTW)和软时间窗(Soft Time Windows,简称 STW)以及混合时间窗(Mixed Time Windows,简称 MTW)三种情况。

① 硬时间窗(Hard Time Windows), 指场桥必须在规定时间段内对集卡完成装卸作业。客户拒绝接受在此时间段之外提供的服务。当等待时间超过了规定的时间段( $e, l$ ), 其惩罚值  $P(t)$  等于一个非常大的正值, 以表示硬时间窗的限制。

硬时间窗的问题中, 集卡可以在最早服务时间之前得到场桥服务, 但必须等待直至到了最早服务时间才能得到服务; 另外集卡不能在最晚服务时间之后到达客户所在地。

一般来说, 所用场桥越少, 对应的成本也越小, 如何用最少的场桥在不违背车辆容量及客户时间窗的约束的前提下, 为所有集卡提供服务, 也是决策者关心的一个问题。

② 软时间窗, 指场桥如果无法在特定的时段时间段内对集卡提供服务, 则必须按照违反时间的长短施以一定的罚金或其它惩罚法则。带软时间窗的问题相对硬时间窗来说放松了对时间窗的约束, 这是因为在实际情况中, 由于堆场交通拥堵, 等待车辆过多, 场桥故障等不确定因素导致场桥无法在规定的时间内服务集卡, 如果采用硬时间窗的约束进行优化, 将导致成本高昂, 甚至可能无解。而软时间窗只要求场桥应尽可能在集卡指定的时间窗内以最小的总成本为所有集卡提供服务, 允许一定程度的延误现象。显然, 软时间窗较硬时间窗具有更好的通用性。

在实际调度问题中, 决策者往往需要在客户满意和成本二者之间权衡, 偏好不同决定了可以允许延误的程度不同。在硬时间窗中, 集卡如果在最早服务时间之前到达贝位所在地, 需等待直至到了最早服务时间后才能提供服务; 如果场桥在最晚服务时间之后到达所在贝位, 则可能导致客户满意度降低, 隐性成本的增加。因此应尽量避免延误现象的发生, 如果发生, 应加以惩罚, 惩罚的具体程度可由决策者设定。

③ 混合型时间窗, 在系统中有些客户属于硬时间窗, 有些属于软时间窗: 对同一客户, 又可能软、硬时间窗混合使用。在实际的调度工作中, 集卡如果能在最佳时间段得到服务, 则不处罚; 若在最佳时段之外得到服务, 则客户的满意度降低, 将处以一定的惩罚(转化为惩罚函数  $P(t)$ ), 并且集卡不接受在上述两个时间段以外的时间提供的服务。

本文提出的轮胎式场桥调度优化模型, 是在轮胎式场桥任意一个作业任务时

段内,对一定数量的轮胎式场桥分派作业任务,且尽量使每个集卡在对场内不超过最大停留时间,目标是使轮胎式场桥的总作业时间最短。由于软时间窗比硬时间窗更具通用性和灵活应对能力,所以本文使用软时间窗。

综上所述,场桥的调度问题不但涉及场桥工作流程,任务时段划分,行进规则,以及涉及集卡入港流程,集卡在港限制条件和集卡满意度的影响。应权衡效益和客户的满意程度,从码头堆场场桥服务能力出发,制定动态调度方案。

## 5.2 假设条件

根据港口的实际情况,假设下列条件成立:

(1) 每台场桥的工作效率是一样的。场桥的能力以工作时间来表示,每台场桥在各个时段都拥有相同的工作能力。场桥工作分为箱区间移动、固定箱区前后移动、服务(包括翻箱倒箱,提箱)、空闲。集卡得到服务时涉及场桥的动作有,不同箱区间移动,固定箱区内前后移动,翻箱倒箱操作,提箱操作。在此考虑箱子可能会发生翻箱操作的情况,并给出平均倒箱次数,集卡得到特定箱区的得到场桥服务的时间取平均服务时间。

(2) 由于箱区大小的限制和避免发生碰撞,规定在各个时段每个箱区的场桥数量不能超过 2 台。

(3) 如果某一箱区某一时段有 2 台场桥同时在工作,该箱区等待的集卡由哪台场桥提供服务是不是随机安排的,而是哪台来得近哪台为它服务。

(4) 每台场桥完成一个服务的整个过程都在同一时段内。

(5) 计划工作量通过工作时间表示。

(6) 时段划分以码头实际的工作量为主以小时为单位,应考虑工人倒班时间,集卡来港分布特点不同进行划分。划分原则:繁忙时小时段多场桥,空闲时大时段少场桥。

(7) 场桥空闲等待时的成本以固定成本形式表示。

## 5.3 模型建立

$$x_{ijn} = \begin{cases} 1 & \text{场桥 } n \text{ 从箱区 } i \text{ 移动到箱区 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad \text{若 } i=j \text{ 则场桥没有移动;}$$

$$r_{ijnk} = \begin{cases} 1 & \text{场桥 } n \text{ 从箱区 } i \text{ 移动到箱区 } j, \text{ 对箱区 } j \text{ 车辆 } k \text{ 提供服务} \\ 0 & \text{否则} \end{cases};$$

$h_{ijn\tau}$   $\tau$  阶段场桥  $n$  由箱区  $i$  移动到箱区  $j$  的移动时间;

$z_{ijn\tau}$   $\tau$  阶段场桥  $n$  由箱区  $i$  移动到箱区  $j$  后的服务时间;

$w_{ijn\tau}$   $\tau$  阶段场桥  $n$  由箱区  $i$  移动到箱区  $j$  的等待时间;

$C_1$  场桥单位时间的固定成本;

$C_2$  场桥单位时间的移动成本;

$C_3$  场桥单位时间的服务成本;

$t_{ik}$  箱区  $i$  第  $k$  辆车的开始服务时间;

$$t_{ik} = t_{ik-1} + h_{ijn\tau} + w_{ijn\tau} + z_{ijn\tau};$$

$[ET_{ik}, LT_{ik}]$  箱区  $i$  第  $k$  辆车的服务时间窗;

MIN  $C =$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^N \sum_{\tau=1}^T C_1 t + \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{\tau=1}^T (x_{ijn\tau} h_{ijn\tau} C_2 + x_{ijn\tau} z_{ijn\tau} C_3) \\ & + d \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \max(ET_{ik} - t_{ik}, 0) + e \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \max(t_{ik} - LT_{ik}, 0) \end{aligned} \quad (5-1)$$

式(5-1)中  $c$  表示场桥的作业总成本,  $d$  表示等待损失的单位机会成本, 表示场桥在延迟提供集卡服务时所处以的单位惩罚值(如果没有必要可取 0)。 $e$  表示软时间窗下的延迟惩罚成本。至于硬时间窗下的延迟惩罚, 只要将式中第 4 项的延迟惩罚成本去掉, 再令  $d=M$ ,  $M$  取一足够大正数即可。

约束:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ijn} \leq 2 \quad (5-2)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^M x_{ijn} \leq 2 \quad (5-3)$$

$$\sum_{j=1}^M x_{ijn} \sum_{j=1}^M x_{jnn} = 0 \quad (i \neq j) \quad (5-4)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M r_{ijnk} = 1 \quad (5-5)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M x_{ijn} \leq M \quad (5-6)$$

$$(5-7)$$

$$ET_{ik} \leq t_{ik} \leq LT_{ik} \quad (6)$$

约束(5-2)和约束(5-3)表示每个箱区每一时段的场桥数量不能超过 2 台。约束(5-4)表示对于同一个箱区同一时段有场桥调离出就不能有场桥调进来。约束(5-5)表示对于每辆集卡 k 只有一辆场桥 n 对其提供服务。约束(5-6)表示工作的场桥数量小于等于总场桥数量。约束(5-7)时间窗约束, 保证集卡得到服务的时间在所要求的时间窗内。

#### 5.4 模型求解

遗传算法是一种基于空间搜索的算法, 它通过自然选择、遗传、变异等操作来寻找所求问题的解答, 在与传统的优化算法比较中, 遗传算法具有如下的特点:

- (1) 遗传算法进化的仅仅是所给问题参数编码, 对其他方面并不起作用;
- (2) 遗传算法的容错能力很强;
- (3) 遗传算法是从单个解进行搜索的, 然后不断地进行寻优;
- (4) 遗传算法具有隐形的并行性;
- (5) 遗传算法求解时仅仅使用适应度函数信息, 容易形成通用算法程序;
- (6) 遗传算法并不采用确定性规则, 而是使用概率转换规则。



鉴于模型的特点和实际工作情况，采用遗传算法对上述模型进行求解。

(1) 编码

在遗传算法中，一般一个染色体就代表了该问题的一个解，本文采用直接表达的方式，将集卡/服务时间/场桥列表用于染色体的表达，它表达了与服务时间和集卡排列有关的指定场桥，能够表示不同数量的场桥，使用遗传算法可以对车辆数进行自动寻优。

集卡 $k_i$	集卡 $(k+1)_i$	.....	集卡 $(k+N)_i$
服务时间 $t_{ki}$	服务时间 $t_{(k+1)i}$	.....	服务时间 $t_{(k+N)i}$
场桥 $n_i$	场桥 $(n+1)_i$	.....	场桥 $(n+N)_i$

染色体表示为基因序列( $G_1, G_2, \dots, G_N$ )。其中基因  $G_i$  由三部分构成：

- (a) 集卡编号  $k_i$ ，表示箱区  $i$  的车辆  $k$ ；
- (b) 服务时间  $t_{ki}$ ，表示箱区  $i$  车辆  $k$  的服务时间；
- (c) 场桥  $n_i$ ，表示场桥  $n$ 。

(2) 初始化

对于场桥路径选择问题，由于存在允许的服务时间约束，不能简单的随机过程产初始种群，这里提出初始化的 3 个步骤：

- (a) 随机产生集卡排列；
- (b) 用从左向右扫描过程将集卡对应于场桥进行聚类；
- (b) 通过推-碰撞-掷过程确定每个集卡最好服务时间。

初始化过程：

```
Begin
  i←0;
  while i≤pop_size do
    产生集卡排列;
    对应于场桥将集卡聚类;
    确定集卡的最好服务时间;
    i←i+1;
  end
```

**end**

聚类过程:

聚类过程是一个持续不断地向场桥增加集卡的过程。当向当前场桥增加新的集卡时,必须检查当前场桥的状态和集卡服务时间的吻合程度。如果两者都可行,新的集卡就分配给当前场桥,否则,将这个集卡分给下一个场桥;然后,计算每个集卡最早可能的服务时间。循环往复,直到所有集卡都均分给每一台场桥为止。整个过程如下:

**begin** 对应的一个染色体

将优先级别最高的集卡分给一台场桥;

**i** ← 1;

**while** **i** ≤ **N** **do**

检查服务时间的可行性;

**If** 可行 **then**

向当前场桥增加按优先级排序的下一个集卡;

**else**

使用一台新的场桥;

**end**

确定集卡最早服务时间;

**i** ← **i** + 1;

**end**

**end**

### (3) 推-碰撞-掷过程

完成上述步骤后,得到一组染色体,每个染色体代表服务时间可行的调配,将每辆集卡的服务时间给定为它的最早可能服务时间。并确定每辆集卡的最好服务时间以最小化惩罚函数,得到最大的服务满意度。这一过程旨在使集卡的服务时间尽可能地靠近它的希望时间。

通常一个可行染色体包括几个车辆路径计划,而一个车辆的路径计划则包括一些紧路径或松路径。

紧路径:任何相邻集卡间具有等待时间顺序的的集卡列表,  $w_{ijnt} = 0$ ;

松路径：任何相邻集卡间具有非零等待时间顺序的集卡列表， $w_{ijnt} \neq 0$ 。

推-碰撞-掷过程首先从左向右扫描可行调度，试图在紧路径上找到可能的向前推动。这一推动将在不影响时间约束的情况下，增加这条路上的总满意度。令  $P$  表示紧路径顺序的顾客列表， $w$  表示紧路径后的第一个非零等待时间。集卡  $i$  的可能前推可确定如下：

$$\Delta i = \begin{cases} u_i - t_i, & \text{若 } e_i < t_i < u_i \\ l_i - t_i, & \text{若 } u_i < t_i < l_i \end{cases} \quad (5-8)$$

其中  $e_i$  最早开始时间， $u_i$  允许服务时间， $l_i$  最晚结束时间。紧路径的可能前推可确定为：

$$\Delta \min = \min \{ \min(i_{ep}) \{ \Delta i \}, w \} \quad (5-9)$$

如果存在这种前推，则将相关的步骤前推。每次前推后应该进行两次检查：前后关系检查：检查  $w$  是否变为零，如果等待时间变为零，这意味着下一个紧路径与当前路径相连。换句话说，当前紧路径碰撞下一个紧路径。

不可推检查：在已经前推的步骤中检查不可推路径，然后，将它们分离出来。因为对不可推的任何前推将导致违反时间约束或是降低总满意度。换句话说，将有可能从当前紧路径中扔掉不可推的路径。

令  $u'(t_i)$  表示顾客  $i$  在时间  $t_i$  满意度函数的斜率，则将所有在紧路径上的集卡的该斜率求和：

$$u' = \sum_{i \in P} u'(t_i) \quad (5-10)$$

如果  $u'$  大于零，一个可能的前推将带来总满意度的增加；否则，这一前推将导致总满意度下降。根据  $u'$ ，可以决定是否进行前推，并检查不可前推的路径，将其分离出来。在推-碰撞-掷的过程中，由于前推，紧路径和松路径会经常发生变化。

推-碰撞-掷过程如下所示：

**Begin**

将优先级别最高的集卡分给一台场桥；

$P \leftarrow$  第一条紧路径；

**While** 所有集卡处理完毕

**do**

不可推检查:

**If**  $\sum_{i \in p} u'(ti) \leq 0$  **then**

$P \leftarrow P \setminus P_k$  (扔掉  $P_k$ )

**end**

进行是否为空检查:

**If**  $P$  为空 **then**

$P \leftarrow P'$ ;

**end**

为  $P$  找出  $\Delta \min$ ;

前推  $\Delta \min$ ;

前后关系检查:

**If**  $w = 0$  **then**

$P \leftarrow P \cap P'$  (扩展  $P$ );

**end**

**end**

**end**

#### (4) 适应度函数的设计

适应度函数的设计主要应满足以下条件:

- (a) 单值、连续、非负、最大化。这个条件很容易理解和实现;
- (b) 合理、一致性。要求适应度值反映对应解的优劣程度, 这个条件的达成往往比较难以衡量;
- (c) 计算量小。适应度函数设计应尽可能简单, 这样可以减少计算时间和空间上的复杂性, 降低计算成本;
- (d) 通用性强。适应度对某类具体问题, 应尽可能通用, 最好无需使用者改变适应度。

函数中的参数。

对于本文求成本最小值的问题，对适应度函数做如下设计：

$$\text{Fit}(f(t)) = \begin{cases} C_{\max} - f(t) & f(t) \leq C_{\max} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

式中  $C_{\max}$  为一个适当的相对比较大的数，是  $f(t)$  最大估计值入值。这里为一个合适的输入值。

##### (5) 遗传算子

###### (a) 选择

采用最佳保留的轮盘赌选择，进行染色体的复制，具体过程如下：

对各个染色体  $G_k$  计算适应值  $f_k$ ；计算种群中  $n$  个染色体适应值的和

$$F = \sum_{k=1}^n f(k) \quad (5-11)$$

对其中各染色体  $G_k$  计算选择概率  $P_k$

$$P_k = f_k / F \quad k=1, 2, \dots, n \quad (5-12)$$

对各个染色体  $G_k$  计算适应值  $q_k$

$$q_k = \sum_{j=1}^n p_j \quad k=1, 2, \dots, n \quad (5-13)$$

在  $[0,1]$  区间内产生一个随机数  $r$ ，若  $r \leq q_1$ ，则选择第一个染色体  $r \leq G_1$ ，否则选择第  $k$  个染色体  $G_k (k=1, 2, \dots, n)$ ，使得  $q_{k-1} \leq r \leq q_k$  成立。将当前群体中适应度最高的个体结构完整的复制到下一代群体中。

###### (b) 交叉

交叉算子是把两个父代个体的部分结构加以替换重组，而生成新个体，在遗传算法中起到核心作用。交叉算子的设计一般与所求得具体问题有关，而且要和编码方式相协调。本文中由以下两个步骤构成：

一方面是用连续产生的方法，产生一个能力和服务时间可行的调度；

另一方面是用推-碰撞-掷过程确定每一辆集卡的最好服务时间。运行步骤如下：

Step 1: 首先从双亲最右侧集卡中任选一个集卡作为后代初始集卡；

Step 2: 适当地交换相关的集卡，以使选择的集卡在两个双亲最后的位置；

Step 3: 将选中的集卡从双亲中移走, 将它分给场桥 1, 并确定其最早可能的服务时间;

Step 4: 与选中的集卡相邻的两辆集卡成为插入的集卡, 计算他们在后代部分路径中最好的插入位置, 并确定最好的插入集卡;

Step 5: 将最好的集卡插入当前场桥, 并确定他的最早可能服务时间;

Step 6: 如果两个候选集卡都不能插入当前场桥, 将它们中的任意一辆放在后代的最后位置, 开始一台新的场桥;

Step 7: 重复上述步骤, 直到产生一个完整的后代;

Step 8: 产生一个后代后, 再用推-碰撞-掷的过程确定每一辆集卡的最好服务时间。

#### (d) 变异

变异算子是对染色体的某些基因座上的基因值做变动, 以维持群体的多样性与二进制编码的变异操作不同, 这里的变异是对个体某个基因的值随机产生, 即随机生成该基因的  $G1$ ,  $G2$  和  $G3$  值。

#### (6) 参数控制

交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$ 。遗传算法的参数中交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$  的选择是影响遗传算法行为和性能的关键所在, 直接影响算法的收敛性。对交叉和变异概率通常的处理办法是: 交叉概率值  $P_c$ , 随机地选择一个较大的值, 通常取  $0.5 \sim 1.0$ ; 而变异概率  $P_m$ , 取一个较小的值, 一般为  $0.001 \sim 0.05$ 。

#### (7) 算法终止条件

判断迭代的代数是否为要求的代数  $Y$ , 若是则停止进化, 选性能最好的染色体所对应的集卡、场桥路径集合, 得到最小成本作为问题的优化解输出; 否则, 继续执行。

### 5.5 算例

为了验证本文模型的正确, 采用文献[45]中的案例进行分析, 该案例的初始数据如下:

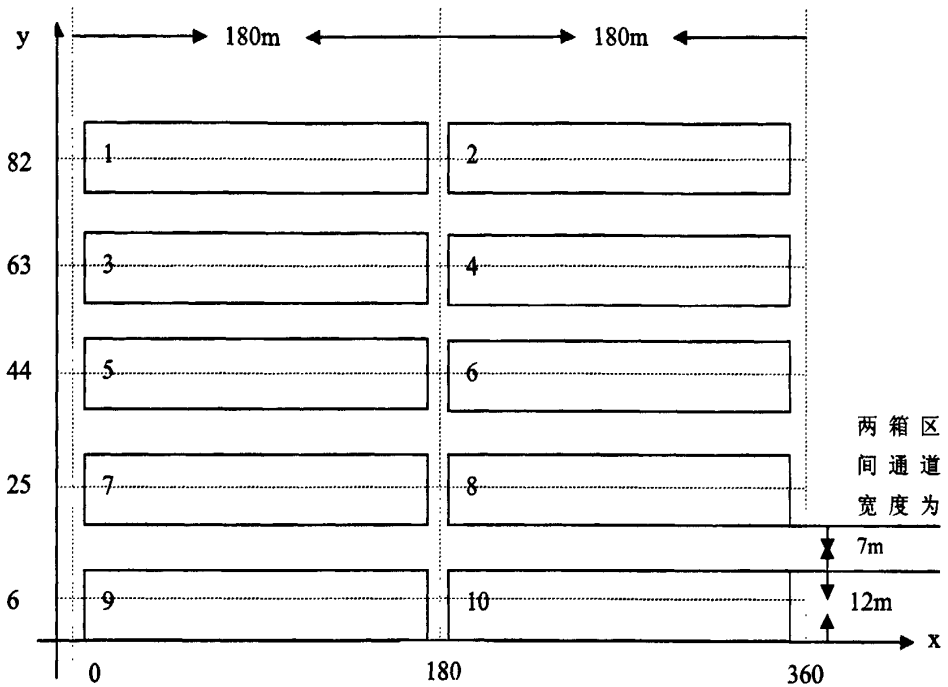


图 5.5 堆场直角坐标系

**Fig5.5 the rectangular coordinate of the yard**

选用40集装箱为研究对象,为了方便计算,取40尺箱尺寸为12m×2m×2.5m,每个箱区长180m,即15个40尺箱的长度,宽15m,即6个40尺箱的宽度。两箱区通道宽度为7m,主通道宽度忽略不计。

如图 5.5 所示, 以箱区长边方向为  $x$  轴, 以短边方向为  $y$  轴, 对整个堆场建立直角坐标系。启用轮胎式场桥的数量为 4 台, 某时段初始时刻轮胎式场桥的位置坐标如表 5.1 所示:

表 5.1 轮胎式场桥的初始位置坐标

**Tab5.1 the initial coordinate of the RTG**

轮胎式场桥编号	1	2	3	4
位置坐标	(162,63)	(186,82)	(30,44)	(210,25)

该时刻堆场等待处理任务数量为 7 个, 集装箱所在位置的横坐标为其中心的横坐标, 纵坐标为其所在箱区中心的纵坐标。各任务集装箱的坐标、需要倒箱的数量及初始等待时间如表 5.2 所示, 坐标中距离单位为米(m)。

表 5.2 各任务集装箱的信息

Tab5.2 the information of the various container assignment

任务编号	1	2	3	4	5	6	7
位置坐标	(66,82)	(198,82)	(186,25)	(114,63)	(54,44)	(306,63)	(174,44)
倒箱数量 $N_{jk}^k$	1	0	0	2	0	0	0
初始等待时间	200s	30s	300s	150s	300s	30s	700s
任务编号	8	9	10	11			
位置坐标	(234,44)	(174,6)	(234,82)	(138,25)			
倒箱数量 $N_{jk}^k$	1	0	0	0			
初始等待时间	550s	60s	70s	680s			

堆场中各箱区间与 x 轴垂直的通道中心的横坐标（通道宽度忽略不计），如表 5.3 所示。

表 5.3 通道中心的横坐标

Table 5.3 The abscissa of the channel center

通道编号	1	2	3
横坐标	0	180	360

模型所用其他参数主要参数设置如表 5.4 所示。

表 5.4 模型其他参数

Tab5.4 The other parameters of the model

参数名称	$V_w$	$T_t$	$T_w$	$T_L$	$T_C$	$\varepsilon$
参数值	1m/s	70s	1800s	60s	50s	4

(1) 优化结果

利用本文建立优化模型的遗传算法，采用 MATLAB 语言进行编程，运用 Window7 操作系统的 Pentium(R) T4800 处理器的 PC 机进行运算，得到如表 5.5 所示结果，轮胎式场桥 1 作业任务为 4→7；轮胎式场桥 2 作业任务及顺序为 9→2→1；轮胎式场桥 3 作业任务及顺序为 5→6→8；轮胎式场桥 4 作业任务为 3→11→10，同原文作者的结果相比，结果有些改进，只是不太稳定。

轮胎式场桥总的作业时间为 1897s。



表 5.5 轮胎式场桥任务分配情况  
Tab5.5 the RTG assignment distribution

轮胎式场桥编号	作业任务及顺序
1	4→7
2	9→2→1
3	5→6→8
4	3→11→10

(2) 结果分析

从上述通过 MATLAB 求解的结果可以看出，运用本研究建立的轮胎式场桥调度优化模型及遗传求解算法对轮胎式场桥进行调度，有一定的优化效果，能够确定任意时段内执行任务的轮胎式场桥的数目，并为它们指派任务及确定其相关任务的作业顺序，且使得轮胎式场桥总作业时间最低，大大降低了轮胎式场桥的无效作业，缩短了集卡在堆场内的停留时间，提高轮胎式场桥的作业效率，能够实现集装箱堆场场桥的动态调度优化，从根本上解决了热备场桥的数量问题、场桥作业次序问题。

(3) 在驾驶舱系统中的实现

在驾驶舱系统中，将 matlab 编制的程序嵌入到动态调度模块。首先将 matlab runtime 环境集成到该模块中，然后建立模型输入界面和输出界面，接着将该程序隐藏在动态调度功能下，然后直接调用就可以了。

## 第6章 结论与展望

集装箱码头场桥动态调度问题是对堆场干扰因素和动态事件进行充分考虑,并对堆场生产活动进行高效调度的一类问题,其求解难度高。先进的动态调度方法可以有效缩短集装箱周转周期、降低堆场中等待作业集卡的队长、提高客户满足度等,从而提高港口的核心竞争力。因此,对堆场中场桥动态调度问题的研究具有重要的理论意义和现实价值。

本文结合动态调度的基本原理,研究如何构建集装箱码头堆场场桥动态调度驾驶舱,并围绕着该驾驶舱的动态调度功能,分别针对驾驶舱的系统功能架构设计、实现架构设计、驾驶舱的运作机制和动态调度模型的构建问题进行了深入研究,最后结合集装箱码头堆场场桥动态调度问题的特征,提出了相应的动态调度优化模型,并给出了对应的基于遗传算法的解法,采用已有文献中的算例来验证了提出的方法是高效的。

本文主要的结论和成果如下:

- (1) 文中系统分析了目前各种动态调度方法的优缺点,系统地阐述了动态调度的必要性和难点,提出了堆场中场桥动态调度的难点;
- (2) 堆场中场桥的动态调度势在必行,文中详细分析了堆场中场桥动态调度的各种影响因素,并进行了逐一分析;
- (3) 基于堆场中场桥动态调度驾驶舱系统,提出了堆场场桥动态调度指标体系,并对如何评价驾驶舱动态调度绩效进行了系统分析;
- (4) 提出了对应驾驶舱系统的系统架构,为以后真正构建此类系统是一个有益的尝试;
- (5) 提出了实时动态调度模型,不仅包括场桥动态调度过程中时段的滚动,时段长度的确定,以及任务的指派,还给出了对应的解法。

但本文的研究还仅处于利用驾驶舱解决堆场场桥动态调度问题的初步尝试阶段,还有很多方面需要完善和改进。

- (1) 针对本文堆场场桥动态调度的驾驶舱中指标体系的不足,进一步进行改进。该指标体系目前侧重成本,轻视效率,这需要具体情况具体分析,所以对堆场场桥作业非常熟悉,并且需要进行大量的前期调研。如果能够将做到效率和效

益并重，那么将很大程度上提高驾驶舱的实用价值。

(2) 该驾驶舱值适用于轮胎式场桥（用燃油的），具体到堆场中既使用正面吊，同时又适用轨道式场桥的情况，兼用轮胎式场桥的场景不适用，需要根据待解决问题的特点定义合适的调度环境。

(3) 考虑到堆场场桥调度问题是研究得最为广泛的一类经典调度问题，对堆场场桥动态调度方法进行了研究。针对集装箱堆场中场桥的调度问题中存在的服务时间约束和场桥约束，建立堆场场桥动态调度模型，并给出了算法，但给算法还很不完善，需要进一步改进。

(4) 虽然给出集装箱港口堆场场桥动态调度驾驶舱设计的一些关键技术，但还限于时间关系，文中没有给出相应的原型系统。

(5) 在集装箱港口堆场场桥实际工作中，由于客户、货主和船舶，以及外卡承运方和场桥司机的工作都有一定的规律，需要采用数据挖掘的方法逐步挖掘，才能更好进行动态调度，所以需要在该驾驶舱中集成数据挖掘模块。

## 参 考 文 献

- [1] Wong J C F, Leung J M Y. On a vehicle routing problem with time windows and stochastic travel times. Hong Kong: Chinese University of Hong Kong, 2002.
- [2] 李磊. 集装箱港口堆场资源调度的优化: (硕士学位论文). 天津: 天津理工大学, 2008.
- [3] W C. Ng. Crane scheduling in container with inter-crane interference. European Journal of Operational Research, 2005, 164: 64-78.
- [4] 钱永兴. 集装箱码头集卡调度系统. 水运工程, 2005, 5: 62-66.
- [5] Kozan E. Optimizing container transfers at multimodal terminals. Mathematical and Computer Modeling, 2000, 31: 235-243.
- [6] 吕显强, 张宏伟. 集装箱码头分派车辆的整数规划模型. 大连: 大连水产学院学报, 2004, 19: 105-109.
- [7] 严政, 陶德馨. 基于动态组合优化的集装箱码头集卡调度技术. 武汉: 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 2006, 28(4): 26-29.
- [8] 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. 系统工程. 2005, 23(11): 1-7.
- [9] 郝聚民, 纪卓尚, 林焰. 混合顺序作业堆 BAY 优化模型. 大连: 大连理工大学学报, 2000, 40(1): 102-105.
- [10] 杨扬. 提高集装箱码头堆场使用率的问题研究. 中国新技术新产品, 2009, 20: 81.
- [11] 刘鸣华. 加强集装箱码头堆场管理的策略. 沿海企业与科技, 2009, 12: 76-79.
- [12] 张艳, 韩晖. 降低集装箱码头堆场翻箱率. 集装箱化, 2008, 4: 8-9.
- [13] Kim K H. An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminals. Transportation Science, 1999, 33: 17-33.
- [14] Kim K Y, Kim K H. A routing algorithm for a single straddle carrier to load export container onto a containership. International Journal of Production Economics, 1999, 59: 425-433.
- [15] 谢尘, 何军良, 茆道方. 基于混堆模式的集装箱码头出口箱进场选位策略. 上海: 上海海事大学学报, 2008, 29(4): 70-75.
- [16] 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. 武汉: 武汉理工

大学学报, 2006, 30(2):314-317.

[17] 王梦昌. 集装箱码头堆场货位动态分配优化策略研究:(硕士学位论文). 武汉:武汉理工大学, 2007.

[18] 严伟, 谢尘, 茆道方. 基于并行遗传算法的集装箱码头堆场分配策略. 上海:上海海事大学学报, 2009, 30(2):23-28.

[19] Kap Hwan Kim, Kang Tae Park. A note on a dynamic space-allocation method for outbound container. European Journal of Operational Research, 2003, 148(1):92-101.

[20] 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. 大连:大连海事大学学报, 2002, 28(8):115-117.

[21] 张涛. 集装箱堆场物流系统规划研究:(硕士学位论文). 大连:大连理工大学, 2006.

[22] 严伟, 苻为建, 茆道方, 何军良. 一种基于最佳优先搜索算法的集装箱堆场桥调度策略. 中国工程机械学报, 2008, 6(1):95-100.

[23] 李建忠, 丁以中, 王斌. 集装箱堆场空间动态配置模型. 交通运输工程学报, 2007, 7(3):50-55.

[24] 王维圳. 集装箱堆场分配问题的启发式方法研究:(硕士学位论文). 天津:天津大学, 2008.

[25] 杨玫. 青岛前湾集装箱码头堆场管理策略研究:(硕士学位论文). 大连:大连海事大学, 2006.

[26] 江南, 钱迈, 渠洪涛, 史峰. 集装箱堆场作业计划模型及算法. 铁道学报, 2009, 31(5):8-16.

[27] 陈庆伟. 基于遗传算法的堆场贝位分配优化问题研究:(硕士学位论文). 青岛:青岛大学, 2007.

[28] 侯彤璋. 集装箱码头堆场系统通过能力研究:(硕士学位论文). 大连:大连海事大学, 2009.

[29] 高鹏. 集装箱堆场作业调度优化问题研究:(硕士学位论文). 大连:大连理工大学, 2005.

[31] 施梅超, 张婕姝, 许健. 仿真在集装箱堆场闸口的应用. 物流工程与管理, 2009, 31(177):39-40.

[32] 马振新. 基于 witness 秦皇岛港口煤炭堆场作业优化研究:(硕士学位论文). 秦皇岛:燕

山大学, 2009.

[33] 郑鑫. 基于 Flexsim 的集装箱堆场布局优化与仿真研究: (硕士学位论文). 北京: 北京交通大学, 2008.

[34] 于越, 金淳, 霍琳. 基于仿真优化的集装箱堆场大门系统规划研究. 系统仿真学报, 2007, 19(13): 134.

[35] 吕征. 码头堆场能力提升问题研究: (硕士学位论文). 大连: 大连海事大学, 2008.

[36] Johnson S. Optimal two-and-three stage production schedules with setup times included. Naval Research Logistics Quarterly, 1954, 1: 61-68.

[37] 王凌. 车间调度及其遗传算法. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[38] Church L K, Uzsoy R. Analysis of periodic and event-driven rescheduling Policies in dynamic shops. International Journal of Computer Integrated manufacturing, 1992, 5(3): 153-163

[39] Wu SD, Storer RH, Chang D C. One machine rescheduling heuristics with efficiency and stability as criteria. Computers and operations research, 1993, 20(1): 1-14.

[40] Giffler B, Thompson G L. Algorithms for solving production scheduling problems. Operations Research, 1960, 8: 487-503.

[41] 王冰, 席裕庚, 谷寒雨. 一类单机动态调度问题的改进滚动时域方法. 控制与决策, 2005, 20(3): 257-260, 265.

[42] 李素粉, 朱云龙, 尹朝万. 具有随机加工时间和机器故障的流水车间调度. 计算机集成制造系统, 2005, 11(10): 1245-1249.

[43] Vieira G E, Herrmann JW, Lin E. Rescheduling manufacturing systems: A framework or strategies, policies and methods. Journal of Scheduling, 2003, 6(1): 39-62.

[44] Lin G Y J, Solberg J J. Integrated shop-floor control using autonomous agents. IIE Transactions, 1992, 24: 57-71.

[45] 董键. 混堆模式下集装箱堆场关键资源调度优化研究: 硕士学位论文. 大连: 大连海事大学, 2011.

## 攻读学位期间发表的论文

[1]徐婧铭, 于海侠, 郑红星. 同城单源多点配送问题研究. 城市建设理论研究, 2011, 9.

## 致 谢

本文工作自始至终是在恩师郑红星的悉心指导下完成的，倾注了导师大量心血。导师并对论文的修改做了耐心细致的指导。值此论文完成之际，首先谨向尊敬的导师致以最深切诚挚的谢意。导师严谨求实的学术作风、渊博的学识、敏锐的科学眼光和崇高的敬业精神使我终身难忘，并将激励我在今后的工作和生活中克服重重困难，继续前进。正是导师循循善诱的教诲及无微不至的关怀和指导使我最终圆满地完成论文工作。

另外，交通运输管理学院多位老师在教学过程中给予了热情无私的帮助，本文作者在此一并表示衷心的感谢。

借此机会，感谢在百忙中评阅本论文的专家和学者们。