

9-1-2020

## Research of Marshalling Yard Dispersion Based on Simulation in Container Terminal

Yu Hang

*1. School of Economics & Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;;*

Le Meilong

*2. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Research of Marshalling Yard Dispersion Based on Simulation in Container Terminal

### Abstract

**Abstract:** As development of the precision management in the container terminal, close attention was paid to the research on the optimization of the marshalling yard template. *The new concept called the yard dispersion* in the container yard template was proposed and the professional simulation software Flexsim-CT was used to build a container handling simulation model which includes berth, quay crane, yard scheduling, yard crane, and trucks. *The impact of the different yard dispersion on the total handling time and the efficiency of the quay crane under varying service burden was analyzed.* The case study combines the simulation model with the real production data from the Yangshan port, the result shows that the yard dispersion having a great influence on the yard scheduling and the following operations. Some advices are also proposed to the port enterprise to improve their works.

### Keywords

optimization of yard template, yard dispersion, dual-loading, simulation modeling

### Recommended Citation

Yu Hang, Le Meilong. Research of Marshalling Yard Dispersion Based on Simulation in Container Terminal[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(5): 1127-1132.

## 装卸同步工艺下前方堆场布局分散度仿真研究

于航<sup>1</sup>, 乐美龙<sup>2</sup>

(1.上海海事大学经济管理学院, 上海 201306; 2.上海海事大学物流研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 集装箱码头作业优化的精细管理, 使我们聚焦到了前方堆场布局优化的研究领域。研究提出了集装箱堆场布局分散度的概念, 利用集装箱码头作业专业仿真软件 Flexsim-CT, 建立了装卸同步工艺下, 包括泊位, 桥吊, 堆场, 龙门吊, 集卡等主要作业设备的码头装卸作业仿真模型。分析了在泊位服务强度高低的场景下, 堆场布局分散度策略改变对集装箱码头装卸作业时间和桥吊作业效率的影响。结合洋山深水港的实际生产数据进行了案例仿真, 根据仿真结果揭示了集装箱堆场布局分散度对集装箱堆场合理规划的重要意义, 同时为相关码头企业提出了堆场规划改进的建议。

**关键词:** 堆场布局优化; 布局分散度; 装卸同步; 仿真建模

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 05-1127-07

## Research of Marshalling Yard Dispersion Based on Simulation in Container Terminal

Yu Hang<sup>1</sup>, Le Meilong<sup>2</sup>

(1. School of Economics &amp; Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** As development of the precision management in the container terminal, close attention was paid to the research on the optimization of the marshalling yard template. *The new concept called the yard dispersion in the container yard template was proposed and the professional simulation software Flexsim-CT was used to build a container handling simulation model which includes berth, quay crane, yard scheduling, yard crane, and trucks. The impact of the different yard dispersion on the total handling time and the efficiency of the quay crane under varying service burden was analyzed.* The case study combines the simulation model with the real production data from the Yangshan port, the result shows that the yard dispersion having a great influence on the yard scheduling and the following operations. Some advices are also proposed to the port enterprise to improve their works.

**Keywords:** optimization of yard template; yard dispersion; dual-loading; simulation modeling

## 引言

国际贸易的快速发展要求码头企业更精细的管理集装箱的运营方式, 集装箱码头堆场是集装箱运输的枢纽, 是优化集装箱作业成本与装卸效

率的核心。

当前的集装箱堆场优化较多关注集装箱堆场资源的配置和集装箱在场内堆存方法的优化。比如 Taleb-Ibrahimi, de Castilho<sup>[1]</sup>针对出口集装箱堆场的堆存配置进行建模研究, 讨论了堆存策略可导致的翻箱情况, 较早的揭示了堆场资源配置在港口物流系统中的关键优化地位。Roux<sup>[2]</sup>和 Kim and Kim<sup>[3]</sup>在文中讨论了以集装箱码头设备整体作业效率优化为目标的堆场资源配置策略, 分析了堆场资源配



收稿日期: 2014-04-29 修回日期: 2015-01-08;  
基金项目: 上海市自然科学基金创新行动计划项目 (10190502500); 上海市科委工程中心项目 (09DZ2250400); 上海市教委重点学科项目 (J50604); 上海海事大学博士生创新基金项目 (2014ycx041);  
作者简介: 于航(1989-), 男, 江苏徐州, 博士生, 研究方向为交通运输决策与优化。

<http://www.china-simulation.com>

• 1127 •

置对码头作业效率的影响。Salido, Rodriguez-Molins<sup>[4]</sup>考虑了堆场资源和泊位资源的联合优化问题,系统的对堆场集装箱资源配置策略进行了改进。为了优化传统堆场资源的配置方式,Zhang, Liu<sup>[5]</sup>提出了进出口集装箱及转运集装箱同箱区的混堆资源配置问题,并用整数规划的方法分两阶段对集装箱的资源配置进行优化。在此基础上,王斌<sup>[6]</sup>建立了集装箱码头堆场的两阶段动态堆存策略,利用约束规划模型对前人箱量已知条件下的堆场资源配置策略进行改进。而 Rodriguez-Molins, Salido<sup>[7]</sup>也以最小化翻箱量为优化目标,精确的对到场的出口集装箱进行了堆场资源的配置优化。

以往的研究针对堆场布局规划策略的讨论很少,近年 Petering and Murty<sup>[8]</sup>通过仿真技术针对存储箱区的长度及龙门吊的分散配置两个指标进行研究,考察了这两个指标对桥吊长期作业效率的影响,揭示了堆场资源分散配置对后续集装箱作业效率的关键作用。Chen and Lu<sup>[9]</sup>针对出口集装箱箱位分配策略,分两阶段对到场船属集装箱进行了精确指派策略的探索。其中在第一阶段存储贝位分配过程中,研究考虑了集装箱堆场分散布局的需求,均衡了各出口贝位的集装箱堆存量。从而避免了后续集装箱操作时集卡及龙门吊资源过度阻塞情况的出现。我们在前人研究的基础上进一步进行探索,并取得了一定的成果乐美龙、于航<sup>[10-11]</sup>。在现阶段的成果中

我们发现,集装箱堆场船属集装箱的分散布局对整个堆场的运作效率有重大影响,当前研究缺乏相关的定量与仿真实例,本研究创新的定义了集装箱堆场的布局分散度概念,并以此为核心,通过仿真建模的方法,讨论不同布局分散度条件下集装箱前方堆场堆存策略对桥吊作业效率的影响。

## 1 问题描述

### 1.1 集装箱堆场布局分散度定义

对于码头企业来说,如何为船只安排对应的堆场箱区位置,是前方堆场规划的重点。布局分散度的概念也就随之产生,堆场布局分散度反应了船只靠泊后,其所对应的出口集装箱所在存储箱区的分散程度。具体定义为:船只靠泊后,其对应的堆场发箱点与作业点中心的直线距离测度。其中发箱点代表了船属出口集装箱的堆场存储位置,作业点中心为船只靠泊泊位的中心位置。

如图 1 所示。图中阴影部分的桥吊表示船只停靠的作业位置,分散度标尺表示了对应堆场与作业中心的直线距离测度。堆场的布局分散度指示了船属集装箱在堆场中的散布情况,与集装箱装卸过程中堆场设备的阻塞及桥吊作业的效率紧密相关。本研究在不同船只靠泊情境下,针对不同布局分散度的集装箱堆存策略进行仿真,并对集装箱装卸作业时间及桥吊作业效率进行分析。

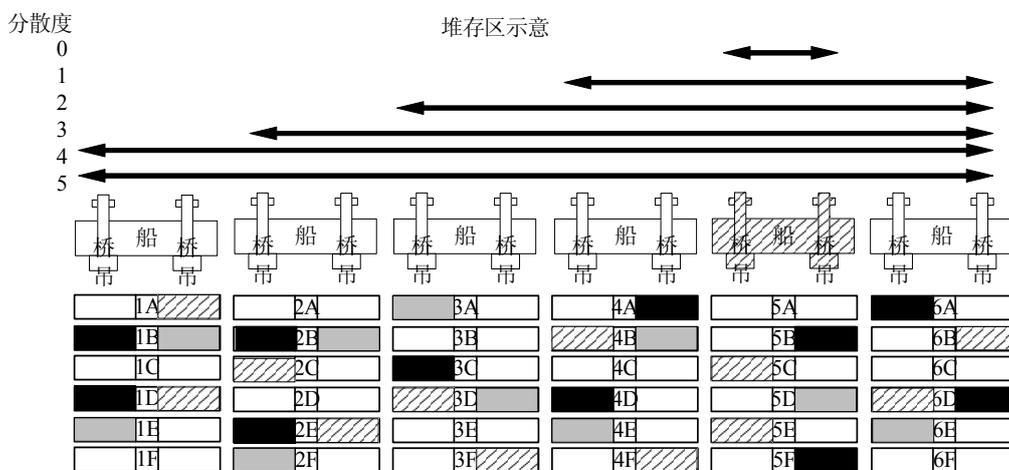


图 1 分散度示意图

## 1.2 集装箱码头装卸工艺选择

当前大多数码头采取的集装箱装卸工艺依然为先卸后装工艺(如图 2 所示), 即船舶靠泊后先根据船舶各贝位的装卸量信息制定进口箱的卸载计划, 当该船的所有卸载任务完成后再开始进行出口箱的装载任务安排。该种工艺适用于各种大小的船只, 保证了装载过程中船舶的稳定性。装卸同步工艺(如图 2 所示)近几年在大型码头中的应用比例逐渐上升, 该工艺要求桥吊在完成一个集卡的装载任务之后立刻为该集卡安排一个卸载箱的运输任务。装卸同步适用于对装卸稳定要求低的大型船只。与前一种工艺相比该工艺的桥吊作业效率较高, 同时该工艺对前方堆场的布局合理性要求很高, 如果堆场规划不利, 将导致设备阻塞情况严重, 进而增加桥吊等待时间。考虑到布局分散度对缓解堆场阻塞, 提高桥吊效率的关键作用。我们选择装卸同步为主要作业工艺背景, 进行前方堆场布局分散度的研究。

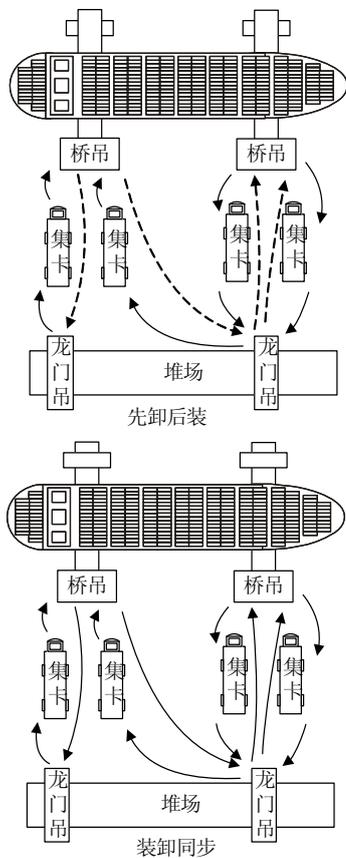


图 2 集装箱码头装卸工艺

## 2 仿真建模

### 2.1 仿真系统事件

针对集装箱装卸同步工艺的特点, 在对集装箱装卸工艺进行仿真时, 将集装箱装卸过程主要划分为 3 类事件: Loading 事件、Unloading 事件和 Waiting 事件。

(1) Loading 事件: 用来描述桥吊从集卡上卸载出口箱的动作, 同时也包括了龙门吊向集卡上装载出口箱的动作。

(2) Unloading 事件: 用来描述桥吊向集卡上装载进口箱的动作, 同时也包括了龙门吊从集卡上提取进口箱的动作。

(3) Waiting 事件: 用来描述已到位集卡等待桥吊和龙门吊前一动作完毕的动作, 同时该事件还用来描述桥吊和龙门吊等待集卡指派到位的动作。

### 2.2 系统仿真模型设计

本研究利用 Flexsim-CT 平台对装卸同步工艺下的集装箱装卸作业进行仿真。利用 Flexsim-CT 平台的仿真系统模型设计如下图 3 所示。针对设计的仿真模型, 主要对以下 3 点进行说明:

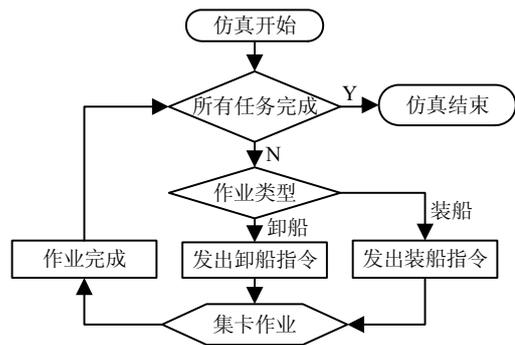


图 3 系统作业仿真设计模型

(1) Flexsim-CT 平台已经对码头作业的设备实体进行了定义。该设计模型中涉及的主要作业实体有: 泊位, 桥吊, 堆场, 龙门吊, 集卡等。

(2) 研究利用 Flexsim-CT 平台, 通过建立各子系统的逻辑关系, 明确作业指令流向来实现系统的仿真建模。本仿真模型中包含的子系统主要有集卡

作业子系统、桥吊作业子系统、龙门吊作业子系统等。各主要子系统的逻辑关系和指令流向如图 4~6 所示。

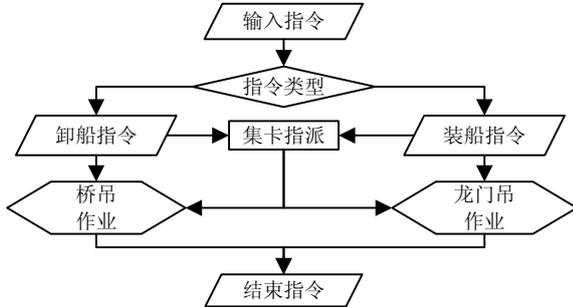


图 4 集卡作业子系统

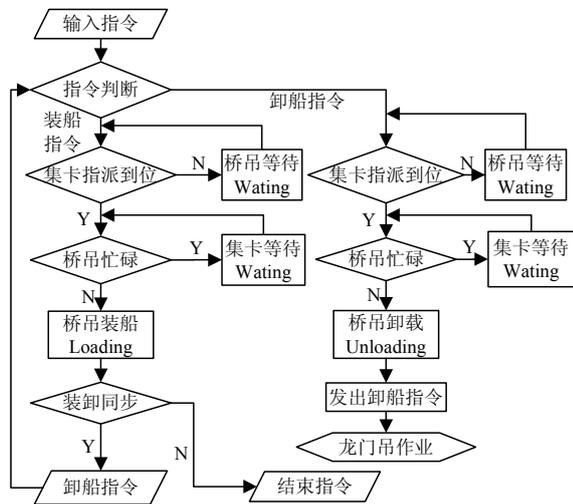


图 5 桥吊作业子系统

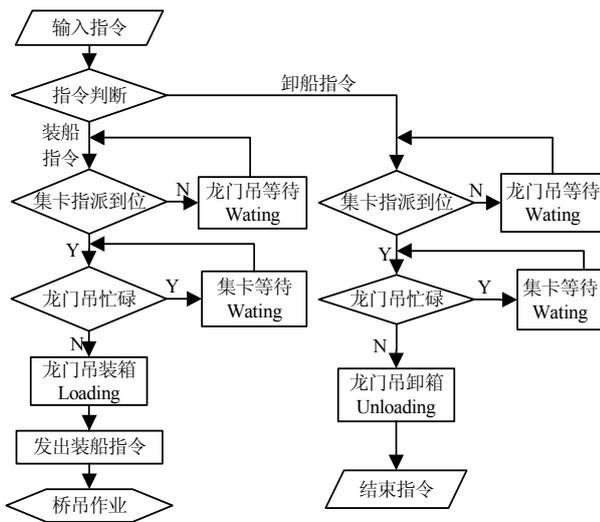


图 6 龙门吊作业子系统

(3) 我们根据堆场箱区情况、作业泊位的分配以及靠泊船只的装卸箱信息进行布局分散度的选择。各船只在不同布局分散度条件下的存储箱量以平均分配为主。

## 2.3 仿真评价指标

本研究主要分析不同堆场布局分散度条件下的装卸作业时间及桥吊作业效率，因此选取以下 2 个主要指标进行评价。

### (1) 重点路作业时间

重点路一般是指船舶装卸作业中，装卸作业量最大的作业线。重点路作业时间，可以反映在对应堆场分散度条件下，重点路的作业效率及船舶的主要作业时间水平。本仿真中的重点路作业时间表示从船舶靠泊后，重点路集装箱装卸完成的整体作业时间。

### (2) 重点路作业效率

桥吊作业效率的主要考核指标为桥吊小时内的作业量(move/h)，重点路的作业效率(move/h)反映了对应堆场分散度条件下桥吊的实际生产力，是集装箱码头作业系统是否合理配置的重要指标之一，同时也是码头公司进行装卸效率考核的最重要指标。本仿真中的重点路作业效率求解公式为：

$$(\sum \text{装载箱量} + \sum \text{卸载箱量}) / \sum (\text{装卸作业时间} + \text{桥吊等待时间})$$

## 3 仿真方案设计

### 3.1 仿真案例的选择

本研究选择洋山深水港一期的实际作业数据进行仿真模拟，一期岸线长度为 3 000 m，深水泊位 9 个，桥吊 34 台。我们选取其中 4 个深水泊位，2 000 m 的岸线及 6 个前方堆存大区进行建模，并为每个泊位分配 4 个桥吊进行作业。同时，我们从船期表中选取 4 艘船只进行装卸作业的模拟，各船的装卸箱信息如下表 1 所示。其中展明为较早靠泊的船只，另外 3 艘船只依次靠泊，我们以展明为核心，分别考虑不同在泊船只条件下，堆场布局分散度对展明重点线的桥吊作业效率及作业时间的影响。

表 1 实验船只装卸箱数据 /TEU

船名	总量	Ex	Ex	Ex	Ex	Im	Im	Im	Im
		20F	40F	20E	40E	20F	40F	20E	40E
展明	820	130	391	0	0	7	283	9	0
聪河	1363	160	460	0	0	46	554	0	143
以星	1622	190	430	20	0	100	428	201	253
三井	736	300	330	0	0	19	87	0	0

### 3.2 仿真平台的选择与参数的设置

研究采用专业仿真平台 Flexsim-CT 进行仿真, 该平台适用于大规模的码头作业仿真, 并拥有强大的数据处理能力及码头实体对象库。仿真模型中靠泊的时间参数如下表 2 所示, 其他主要设备组的参数如表 3 所示。本案例构建的 4 艘船同时在泊作业的仿真模型如下图 7 示意。

表 2 泊位作业参数

作业类型	靠泊	离泊	开甲板盖	关甲板盖	桥吊移贝
时间/min	25	20	10	10	15

表 3 设备作业参数

设备	参数
桥吊	
装载速度	服从 Triangular(1.0,3.0,1.5)分布
卸载速度	服从 Triangular(1.0,3.0,1.5)分布
移动速度	7.2 km/h
龙门吊	
装载时间	服从 Triangular(0.5,2.0,1.0)分布
卸载时间	服从 Triangular(0.5,2.0,1.0)分布
移动速度	18 km/h
集卡	
装载搬运时间	服从 Triangular(2,5,3)分布
卸载搬运时间	服从 Triangular(2,5,3)分布
最大速度	36 km/h



图 7 4 艘船同时在泊仿真模型运行示意

## 4 仿真结果

### 4.1 仿真结果分析

统计结果来自船舶展明在泊位服务强度不同, 即同时靠泊作业船舶数量变化的情景下, 不同堆场分散度策略所对应的重点路作业完成时间及重点路作业效率。其中我们将泊位作业强度由小到大情况下的重点路作业时间及桥吊作业效率统计如图 8~9 所示。

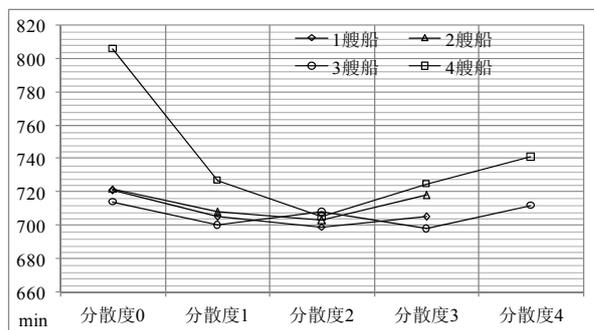


图 8 泊位服务强度变化下的重点路作业时间

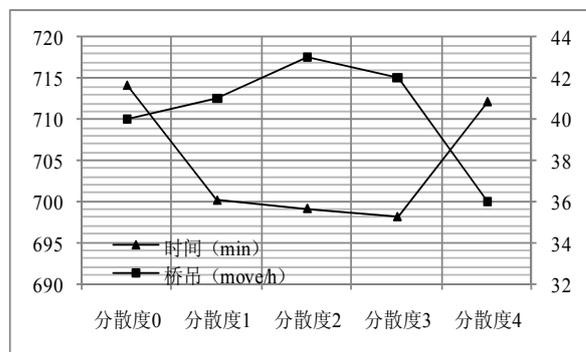


图 9 泊位服务强度变化下的重点路作业效率

通过图 8 的重点路作业时间结果统计, 我们发现, 前方堆场布局分散度对重点路的作业时间有明显的影 响, 在不同泊位服务强度下, 布局分散度策略的优化对作业影响的强弱有所不同。在服务强度较小, 即一艘或两艘船靠泊时, 由于堆场资源及设备服务相对集中, 因此布局分散度策略对后续作业影响程度较小。当多艘船靠泊, 泊位服务强度增大时, 布局分散度的影响明显增强。其中, 3 艘船靠泊时, 布局分散度的影响在较小范围内波动, 分散

度为 3 时重点路作业时间最短。当泊位满负荷运转时,堆场布局分散度对重点路作业完成时间影响明显。在本案例中,选择布局分散度为 2 时的堆场规划策略,较有利于重点路作业时间的缩短。该堆存方式预测重点路作业节约时间为 100 min 左右。此外,堆场布局分散度对重点路桥吊作业效率的影响情况,主要如图 9 所示。

通过图 9 我们发现,不同作业强度下的布局分散度策略对桥吊的作业效率也有明显的影响,不同服务强度条件下的重点路最高桥吊作业效率所对应的布局分散度策略不同。随着泊位服务强度的增大,布局分散度对重点线桥吊效率影响也在增强。当码头满负荷服务时,合理的分散度可使重点线桥吊作业效率提高 8 move/h 左右。

由于码头满负荷条件下的堆场布局分散度策略影响较明显,我们针对泊位服务强度较高条件下的堆存分散度策略影响进行分析,船舶展明重点线的作业时间和重点路作业效率汇总见图 10。

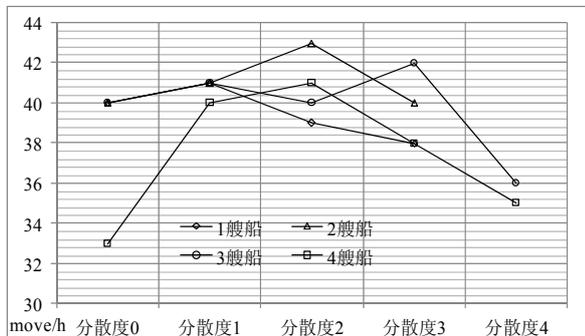


图 10 堆场布局分散度策略变化下的重点路作业情况

从图 10 可以看出,在高负荷服务背景下,堆场布局分散度对重点路的作业效率影响明显。对于考虑布局分散度的堆场规划策略来说,存在使重点路作业时间和桥吊作业效率最优的布局分散度选择策略。

## 4.2 生产改进建议

研究案例结合了洋山深水港的生产数据,实际展明重点路作业时间约 760 min,仿真最优结果为 698 min。重点路桥吊作业效率为 33 move/h,仿真

最优结果为 43 move/h,显示出很好的改进效果。根据仿真结果我们提出两点参考建议。

(1) 考虑到国内集装箱码头企业满负荷装卸集装箱的运营常态,考虑堆场布局分散度的堆场规划策略应是当前码头运营效率提高的重点。

(2) 装卸同步工艺下的集装箱码头作业效率较传统作业工艺有明显提升,但同时对堆场布局的优化及码头管理的要求也大幅提升。

## 5 结论

本研究基于仿真建模的系统优化方法,依托 Flexsim-CT 仿真平台,讨论了装卸同步工艺下的集装箱码头堆场布局规划策略。创新的提出了布局分散度的优化概念,并在高负荷泊位服务背景下,揭示了布局分散度的重要意义。为码头企业改进集装箱堆场规划方法,提供了一定的参考。同时,研究提出的布局分散度的研究概念,在更广泛的资源配置优化研究领域也有重要意义,值得我们进一步思考和探索。

## 参考文献:

- [1] Taleb-Ibrahimi M, B de Castilho, C F Daganzo. Storage space vs handling work in container terminals [J]. Transportation Research Part B: Methodological (S0191-2615), 1993, 27(1): 13-32.
- [2] Roux E D. Storage Capacity for Import Containers at Seaports [D]. Berkeley, USA: University of California, 1996.
- [3] Kim K H, H B Kim. The optimal determination of the space requirement and the number of transfercranes for import containers [J]. Computers & Industrial Engineering (S0360-8352), 1998, 35(3): 427-430.
- [4] Salido M A, M Rodriguez-Molins, F Barber. Integrated intelligent techniques for remarking and berthing in maritime terminals [J]. Advanced Engineering Informatics (S1474-0346), 2011, 25(3): 435-451.
- [5] Zhang C, J Liu, Y-w Wan, et al. Storage space allocation in container terminals [J]. Transportation Research Part B: Methodological (S0191-2615), 2003, 37(10): 883-903.
- [6] 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): 147-153.

(下转第 1137 页)