

集装箱堆场箱区长度对码头作业效率的影响*

张涌昊, 唐国磊, 于旭会, 宋向群, 于菁菁

(大连理工大学, 辽宁大连 116024)

摘要: 通过分析集装箱码头作业流程, 提出通过合理布置堆场箱区长度来提高码头作业效率的思路。基于计算机仿真技术, 构建集装箱码头生产作业系统仿真模型, 并通过案例研究堆场箱区长度及装卸设备数量对码头作业效率的影响。仿真结果表明: 装卸设备数量不同时, 最高的码头作业效率对应的箱区长度不同; 且利用构建的仿真模型可以定量分析箱区长度及装卸设备数量对码头作业效率的影响, 为集装箱码头规划和运营管理提供技术支持。

关键词: 集装箱码头; 箱区; 作业效率; 仿真

中图分类号: U 651.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)11-0094-05

Effect of block length on operation efficiency of container terminal

ZHANG Yong-hao, TANG Guo-lei, YU Xu-hui, SONG Xiang-qun, YU Jing-jing

(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Based on the analysis of the operation of container terminal, we put forward the idea on improving the operation efficiency by planning the block length reasonably. Moreover, we build the container terminal operation simulation model based on the computer simulation technology and research the effect of block length and equipment number on the operation efficiency of container terminal through simulation experiments. The results show that under different combinations of equipment number, the highest efficiency corresponding to the block length is different; by this model, we can analyze the effect quantitatively and provide an effective tool in port planning and operation.

Keywords: container terminal; container block; operation efficiency; simulation

随着集装箱贸易全球化与集装箱船舶大型化发展, 集装箱码头作业量急剧增加, 其作为海运物流链枢纽和增值服务中心的地位日益凸显。因此, 对集装箱码头的重要功能区堆场进行合理的规划布置, 是减少船舶在港装卸时间、提高港口生产作业效率的必要手段^[1]。

目前, 对于集装箱码头堆场问题, 国内外学者已经开展一系列研究。Wiese 等^[2-4]应用数学模型对堆场形状、箱区尺寸等进行研究。但集装箱码头是一个随机动态复杂系统, 仅采用定性分析、排队论等方法很难真实反映集装箱码头运营系统中各要素的随机动态变化, 而仿真技术不仅具有

更加直观的显示界面, 还可考虑多种随机因素的影响, 因此被广泛应用于集装箱码头问题的研究中。Petering 等^[5-7]以纯中转集装箱码头为研究对象, 通过构建港口生产作业系统仿真模型, 分析在既定堆场面积下, 不同的箱区长度对码头装卸效率的影响, 得出桥吊最大效率下的箱区长度。

然而, 我国多数集装箱码头以集装箱进出口业务为主, 以上仿真研究主要集中在纯中转集装箱码头, 未考虑集装箱进出口对港口生产作业效率的影响。本文以我国集装箱码头为研究对象, 运用仿真技术研究集装箱码头堆场箱区长度对码头作业效率的影响。分析集装箱码头装卸工艺流

收稿日期: 2016-04-16

*基金项目: 国家自然科学基金 (51579035; 51109030)

作者简介: 张涌昊 (1991—), 男, 硕士研究生, 从事港口规划及港口结构设计优化研究。

程, 构建集装箱码头生产作业系统的仿真模型, 通过对北方某集装箱码头进行案例分析, 对模型进行验证, 并确定堆场箱区的最优长度。

1 问题描述

图 1 是我国集装箱码头典型陆域布置。集装

箱码头一般由码头前沿作业地带、堆场及进出港大门等组成。堆场是集装箱码头的重要组成部分, 由箱区和箱区间的集卡运输通道组成。箱区中用于堆放集装箱的位置称为 bay 位, 箱区长度一般由 bay 位数表示, 宽度由并排布置集装箱的总宽度表示。

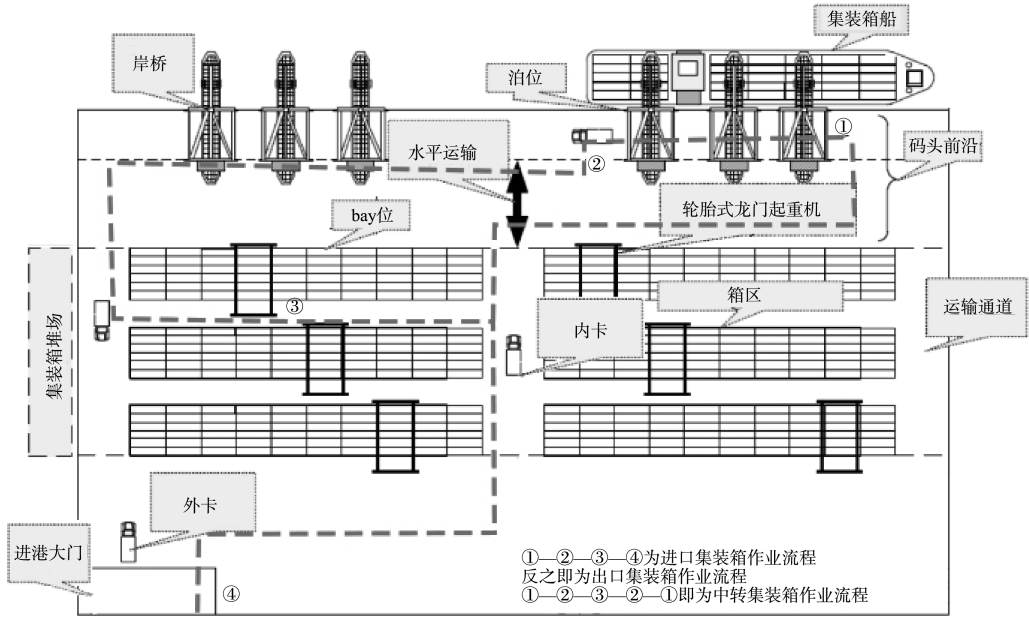


图 1 集装箱码头陆域布置

堆场的布置形式将会直接影响场桥和集卡的作业效率, 进而影响码头的作业效率。堆场配置场桥和集卡的数量是影响码头各作业环节的有效衔接的重要因素。本研究将箱区长度作为研究目标, 并对配置场桥和集卡数量的影响进行分析。

集装箱码头运营效率与船方、港方和货方等利益密切相关。为此, 本文将船舶平均在泊作业时间(AST)、岸桥作业效率(GCR)、场桥单箱作业时间(AST_{YC})、内卡单箱作业时间(AST_{IT})和外卡在港时间(AST_{ET})作为评价集装箱码头作业效率的重要指标。

2 仿真模型

2.1 装卸工艺流程

我国集装箱码头主要采用场桥(多为轮胎式龙门起重机, RTG)作为堆场装卸设备, 主要装卸工艺流程如图 1 所示, 进口集装箱作业流程为: ①岸

桥将集装箱从船上吊下, 放置在集卡上; ②由集卡运至堆场; ③再由场桥将集装箱从集卡卸下, 堆存至箱区; ④堆存一段时间后通过外卡运出港区。反之即为出口集装箱作业流程。中转集装箱作业流程为①②③②①。

2.2 模型实现

集装箱码头是多级排队的复杂系统, 具有明显的随机性和动态性。因此, 本文利用仿真软件 AnyLogic^[8] 构建集装箱码头生产作业系统仿真模型。该模型由船舶排队、装卸船作业、水平运输、堆场作业和集疏港作业等子模型及模型参数组成, 具体如下:

1) 船舶排队子模型。船舶由 Source 模块 (ShipArrival) 按照给定的到港规律到达港口, 通过 Queue 模块 (queue4/5) 在锚地内等待靠泊, 当码头内有空闲泊位时, 船舶通过 MoveTo 模块 (moveTo-Berth1/2) 驶入泊位靠泊。装卸完成后, 船舶通过

MoveTo 模块(berth1/2Shipleave)离开泊位。

2) 装卸船作业子模型。船舶靠泊后,进行卸船作业,通过 Split 模块(berth1/2splitContainer)产生集装箱,再通过 Service 模块(unloading)将集装箱由船上装载到内卡上,Service 的服务时间即为岸桥装卸一个集装箱的作业时间,Service 模块(unloading)服务时占用的资源为岸桥,反之即为装船作业。

3) 水平运输子模型。岸桥将集装箱装载到集卡后,由 SelectOutput 模块(selectOutput35/Empty9/Heavy8/Danger3)为集装箱选择堆存的箱区,集卡通过 MoveTo 模块(moveTo)移动到指定箱区内的作业节点上进行装卸作业。出口箱运输同样用 MoveTo 模块(moveTo)实现。

4) 堆场作业子模型。集卡到达箱区指定位置,通过 Service 模块(service)将集装箱由箱区装载到集卡上,或由集卡卸载到箱区上,Service 模块(service)服务时占有的资源为场桥,Service 所拥有的资源数量即为该箱区内场桥的数量,箱区倒箱作业将影响 Service 模块的作业效率。

5) 集疏港作业子模型。集疏港作业由船舶进、出港驱动。外卡通过 RestrictedAreaStart 模块(restrictedAreaStart2)、SelectOutPut 模块(selectoutput24)、MoveTo 模块(moveTo)和 Service 模块(service)进入港区堆场进行集装箱装卸作业,再通过 RestrictedAreaEnd 模块(restrictedAreaEnd11)及 MoveTo 模块(moveTo)离开港区。

6) 模型参数:

①船舶:船舶到港时间间隔一般服从负指数分布,装卸箱量由到港船型确定;

②岸桥:岸桥型号应满足到港集装箱船舶装卸作业、工艺布置等要求。配置数量由码头通过能力、作业效率等因素确定;

③场桥:场桥型号应满足装卸工艺、集疏运方式等要求。配置数量由码头通过能力、作业效率等因素确定;

④集卡:内卡数量及内、外卡行驶速度,行驶速度分为空载行驶速度和重载行驶速度;

⑤倒箱作业:倒箱对堆场场桥作业效率的影响由公式(1) $S = \frac{N}{N_1}$ 确定^[9],S 为倒箱情况下场桥的有效利用率,N 为一个 bay 位内场桥有效装卸集装箱的总数量,N₁为一个 bay 位内场桥装卸集装箱的总数量;

⑥外卡到港参数:外卡进港送箱的提前天数及取箱时间一般由集装箱堆存期确定。

3 应用实例

以我国北方某沿海集装箱码头为例,该码头岸线长度为 1 300 m,顺岸布置 4 个 7 万 t 泊位,提供集装箱进、出口和中转服务。堆场分为进口区、中转区和出口区,集装箱箱区采用平行码头摆放,出口集装箱堆放在堆场前方,进口、中转集装箱堆放在堆场后方^[10]。前方、后方的堆场各布置 5 排箱区。

3.1 仿真试验方案

根据箱区长度不同设置 5 种堆场布置形式,见表 1。

表 1 堆场布置形式

箱区形式(箱区数量×箱区长度)/(个×bay)	箱区宽度(标准箱宽度的倍数)	每排箱区数量/个	箱区长度(标准箱长度的倍数)
2×87	6	2	87
3×55	6	3	55
4×40	6	4	40
5×30	6	5	30
6×24	6	6	24

沿码头岸线共配置 16 台岸桥,每 4 台岸桥为一组在港船舶进行服务;每组岸桥配置场桥数量(n_{yc})分别选取 10、15、20 和 25,共 4 种场桥配置方案;每组岸桥配置内卡数量(n_{tr})分别取 20、25、30、35 和 40,共 5 种集卡配置方案。因此,根据箱区长度、场桥和集卡组合,共设计 100 组仿真试验方案。

3.2 仿真参数

1) 船舶到港时间间隔服从负指数分布,λ=3。根据集装箱船型取装卸总量为 1 000~2 000 箱^[11]。

2) 岸桥每箱装卸时间设置为服从三角分布

(1.0, 1.5, 2.0) min。

3) 各试验方案堆场总容量不变。因此, 箱区长度变化使集装箱平均堆高不完全一样, 利用公式(1)计算各方案场桥平均装卸时间(表 2)。

表 2 不同箱区形式的场桥作业时间

箱区形式/(个×bay)	场桥装卸时间分布(min/箱)
2×87	三角形(1.05, 1.74, 2.97)
3×55	三角形(1.14, 1.91, 3.24)
4×40	三角形(1.20, 2.00, 3.40)
5×30	三角形(1.33, 2.21, 3.76)
6×24	三角形(1.40, 2.34, 3.97)

4) 设置内卡和外卡空载时的平均行驶速度为 40 km/h, 重载时的平均行驶速度为 25 km/h。外卡在集装箱船完成卸箱作业后 1~10 d 内进港提箱, 外卡在集装箱船到港前 3~5 d 内进港送箱。

4 结果分析

设置仿真时间为 1 a, 各组试验的仿真重复次数为 10 次, 试验结果取 10 次仿真试验结果的平均值, 得到不同 n_{YC} 、 n_{IT} 组合下, AST 、 GCR 、 AST_{YC} 、 AST_{IT} 、 AST_{ET} 与堆场箱区长度的相关关系, 见图 2~5。分析仿真结果, 得到如下结论:

1) 从岸桥作业效率和船舶平均在泊作业时间来看, 当 $n_{YC} < 20$ 时, 箱区长度在 55~87 bay 范围时, 相比 24~30 bay 岸桥作业效率平均提高 4%, 船舶平均在泊作业时间平均缩短 4%。增加 n_{YC} 会有效增加 GCR , n_{YC} 从 10 增加到 20 的过程中, 每增加 1 个场桥, GCR 平均增加 4.5%, AST 平均缩短 3.7%; 当 $n_{YC} = 20$, 箱区长度为 40 bay 时, 岸桥作业效率最高, 船舶平均在泊作业时间最短; 当 $n_{YC} = 25$ 时, GCR 不再增加, 码头生产作业的瓶颈不再是堆场, 箱区长度不再对 GCR 产生影响。

2) 从内卡单箱作业时间来看, $n_{YC} < 20$ 时, 随着箱区长度减小, AST_{IT} 逐渐降低。当 $n_{YC} \geq 20$ 时, AST_{IT} 不随箱区长度的变化而变化。增加 n_{IT} , 会增加内卡在码头内的排队作业时间, AST_{IT} 增大。增加 n_{YC} 会减少内卡在堆场内的排队作业, AST_{IT} 减小。

3) 从外卡在港时间来看, 在装卸设备配置数量不变的情况下, 随着箱区长度的减小, AST_{ET} 变化趋势是先减小后趋于不变。增加 n_{IT} , 会增加外卡在堆场内的排队等待时间, AST_{ET} 有所增加。增加 n_{YC} 会减少外卡在堆场内的排队等待时间, AST_{ET} 有所减小。

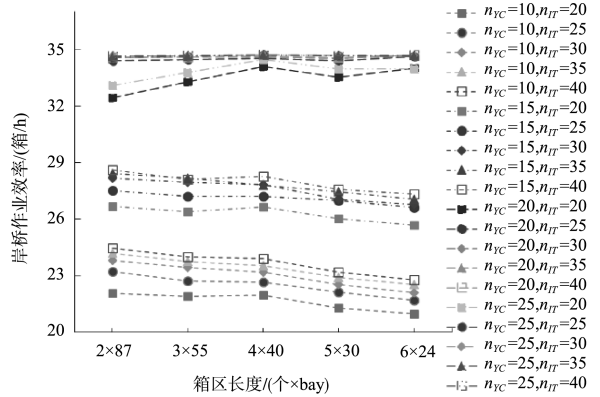


图 2 岸桥作业效率与箱区长度关系曲线

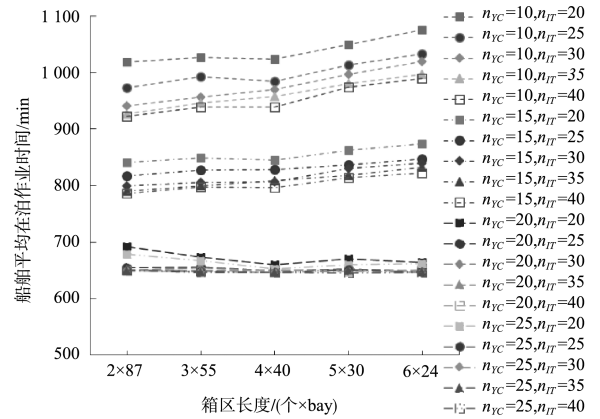


图 3 船舶平均在泊作业时间与箱区长度关系曲线

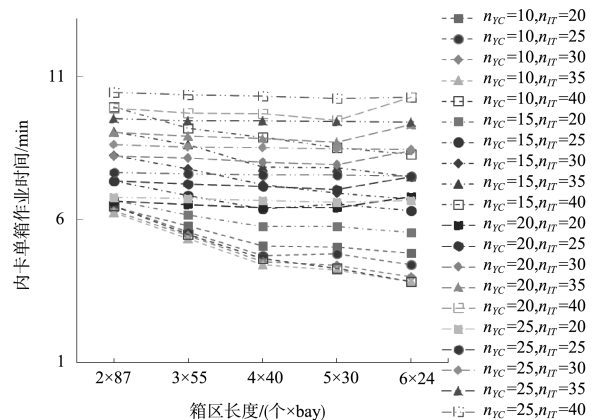


图 4 内卡单箱作业时间与箱区长度关系曲线

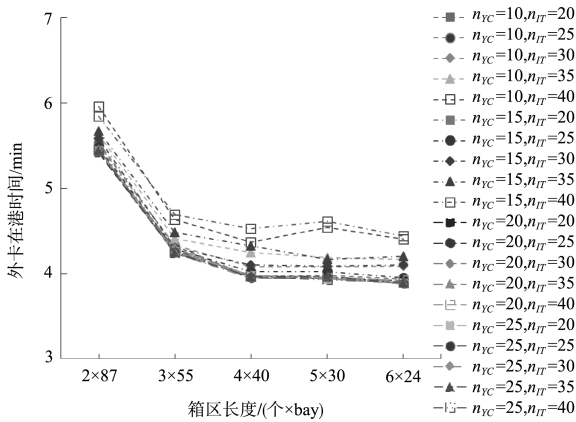


图5 外卡在港时间与箱区长度关系曲线

综上所述，针对本仿真实例， $n_{YC} < 20$ 时，堆场长度在 55 ~ 87 bay 范围选取，码头整体保持较高的作业效率； $n_{YC} = 20$ 时，箱区长度取 40 bay，码头作业效率最高，且不再随岸桥数量的增加而提高。

5 结论

- 1) 应用该仿真模型可以确定集装箱码头最高作业效率对应的堆场箱区长度及装卸设备数量；
- 2) 该模型可以在集装箱码头规划时为堆场箱区布置及装卸设备数量的优化提供技术手段，以保证码头各作业流程的高效衔接；
- 3) 集装箱码头作业具有很大的随机性和不确定性，应用该仿真模型可以为港方科学地规划、运营码头提供有效工具。未来运量大、低碳环保的铁路集疏运将成为我国集装箱码头的重要集疏港方式，接下来将在已有工作的基础上针对港区铁路的布置及装卸工艺进行深入研究。

参考文献:

- [1] 沙梅, 周鑫, 秦天保, 等. 集装箱码头堆场布局优化与仿真研究[J]. 工业工程与管理, 2013(2): 24-30.
- [2] Wiese J. Planning block widths for storage yards of container terminals with parallel blocks [C] // Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. IEEM 2009. IEEE International Conference on. IEEE, 2009: 1 969-1 973.
- [3] Lee B K, Kim K H. Optimizing the yard layout in container terminals[J]. OR Spectrum, 2013, 35(2): 363-398.
- [4] Wiese J, Suhl L, Kliewer N. Mathematical models and solution methods for optimal container terminal yard layouts[J]. OR Spectrum, 2010, 32(3): 427-452.
- [5] Petering M E H. Effect of block width and storage yard layout on marine container terminal performance [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009, 45(4): 591-610.
- [6] 王小变. 中转港口集装箱堆场合理布局的模拟研究[J]. 水运管理, 2012, 33(11): 23-28.
- [7] Petering M E H, Murty K G. Effect of block length and yard crane deployment systems on overall performance at a seaport container transshipment terminal[J]. Computers & Operations Research, 2009, 36(5): 1 711-1 725.
- [8] 陈欢, 李文锋, 张煜, 等. 基于 AnyLogic 离散事件的集装箱堆场场桥调度建模与仿真[J]. 物流技术, 2010(17): 49-51.
- [9] Kim K H. Evaluation of the number of rehandles in container yards [J]. Computers & Industrial Engineering, 1997, 32(4): 701-711.
- [10] 郭媚. 集装箱码头堆场优化管理研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2006.
- [11] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)

编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动，他们建立伪网站，利用代理投稿和承诺上刊等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明，从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿和审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址：www.sygc.com.cn，敬请广大读者和作者周知并相互转告。