

南京港龙潭港区集装箱码头装卸设备配置优化与仿真

王 旋, 于佳乾

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 为了满足现代集装箱物流高效率装卸的要求, 减少装卸设备对环境的不良影响, 采用 Arena 仿真和数学模型方法对集装箱码头装卸设备进行配置优化。以南京港龙潭港区集装箱码头为对象构建其装卸工艺仿真系统, 并结合节能减排理念, 基于环境效益构建综合成本指标, 在满足装卸设备利用率要求的前提下, 求解综合成本最小时的装卸设备数量。结果表明, 在岸桥、空箱集卡、重箱集卡、空箱场桥和重箱场桥的数量比为 3:1:2:1:1 时, 整个仿真系统在节能和减排方面均达到最优。

关键词: 港口; 南京港龙潭港区; 集装箱码头; 装卸设备; Arena 仿真; 节能减排; 综合成本

0 引言

龙潭港区是南京港最主要的集装箱作业港区, 是南京地区及长江沿线地区近洋运输的支线港和华东地区内贸集装箱运输的主枢纽港之一, 也是上海国际航运中心的重要组成部分。2005—2018 年, 龙潭港区集装箱吞吐量持续快速攀升, 由 20 万 TEU 增长至 350 万 TEU。龙潭港区集装箱码头结合自身实际情况对装卸设备进行配置, 虽然港口装卸效率在一定程度上有所提高, 但并未考虑装卸设备对环境的不良影响。因此, 为了保证港口在高效率装卸的同时, 能最大限度地减少能源消耗和温室气体排放, 就需要结合节能减排理念对龙潭港区集装箱码头的装卸设备进行优化配置。

1 装卸工艺仿真系统设计

1.1 仿真参数和假设条件

1.1.1 装卸设备数量和时间参数

船舶到港时间服从负指数分布, 单位为小时; 集装箱在堆场堆存时间为 500 min; 岸桥服务时间服从均匀分布, 单位为小时; 集卡和场桥服

务时间服从三角分布, 单位为小时; 仿真系统中共有 2 个泊位, 每个泊位配置岸桥 2 台、集卡 6 台、场桥 3 台、堆场 2 个; 到港船舶的平均载箱量为 200 TEU。

1.1.2 假设条件

船舶到港时的天气条件、航道条件良好; 后方堆场的最大容量为 500 TEU; 装卸设备之间的工作是相互独立的; 空箱和重箱用集卡分开进行运送, 放在各自的堆场; 场桥和集卡分别在卸载和运输集装箱时, 对重箱和空箱的服务时间相同; 假设到港船舶装载的集装箱空箱和重箱平均占比分别为 60% 和 40%; 场桥在服务时不考虑集装箱的翻箱、倒箱等操作。

1.2 仿真模型作业系统组成

1.2.1 船舶到港系统

在 Create 模块中定义船舶到港时间服从负指数分布, 其中 $\lambda=15.4$, 单位为小时; 在 Assign 模块中定义船舶属性, 属性值为 200, 即船舶的平均载箱量为 200 TEU; 将 Station 模块定义为船舶停靠的泊位。船舶到港系统仿真模型截图见图 1。

1.2.2 岸桥—水平运输系统

在船舶停靠泊位后, 用 Seize 模块定义船舶实

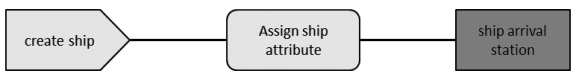


图 1 船舶到港系统仿真模型截图

体占用泊位资源,然后用 Separate 模块将船舶实体(主本)与载运的集装箱(副本)分离。

主本进入 Hold 模块,表示船舶靠泊等待,当船舶装载的集装箱卸载完毕后,主本离开 Hold 模块,然后用 Release 模块释放岸桥资源,最后船舶经

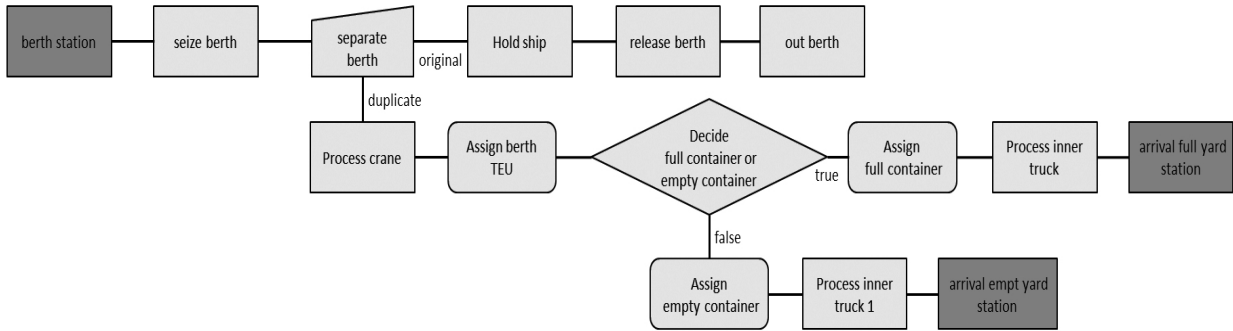


图 2 岸桥-水平运输系统仿真模型截图

1.2.3 重箱堆场作业系统

在 Assign 模块中定义重箱堆场的容量,集卡经 Decide 模块判断:若重箱数量未达到重箱堆场容量极限,则重箱进入 Process 模块并由场桥对重箱进行卸载,同时输入场桥的数量及服务时间作为参数,最后在 Delay 模块中经过一个堆存期后通过

Dispose 模块离开系统;若重箱数量超过堆场容量,则剩下的重箱由集卡运送至另外一个重箱堆场,由另外一个场桥进行卸载。场桥服务完毕后,用 Release 模块释放场桥和集卡资源,接下来通过 Dispose 模块离开系统。空箱进入空箱堆场的过程与重箱类似。重箱堆场作业系统仿真模型截图见图 3。

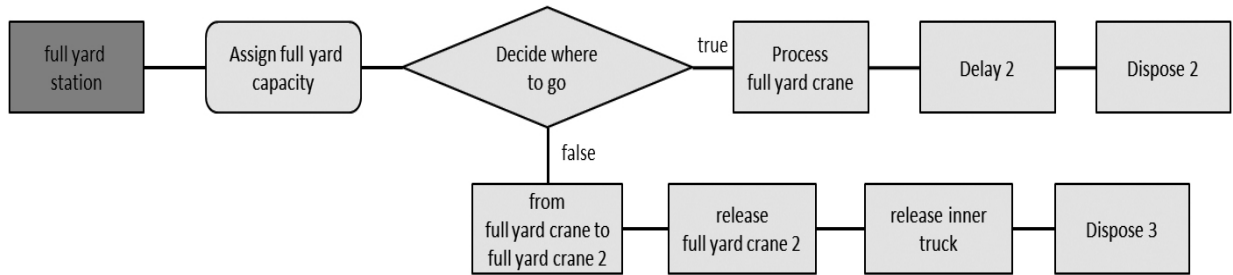


图 3 重箱堆场作业系统仿真模型截图

1.2.4 统计输出系统

使用 Record 模块对数据进行统计。将模块命名为 record ship, 用来统计船舶的停泊等待时间、装卸设备的排队等待时间等。统计输出系统仿真模型截图见图 4。



图 4 统计输出系统仿真模型截图

2 装卸设备的优化配置

2.1 装卸设备数量组合

在确定装卸设备数量前需要确定一个初始值,在初始值的范围内寻找最优解。本次研究利用 Arena 仿真软件自带的 OptQuest 软件包,以船舶停泊等待时间为目标函数,用船舶停泊等待时间最短时的装卸设备数量作为初始值。

在对资源数量、约束条件、目标函数设置完毕

后,即可运行软件,进行 OptQuest 搜索。

从运行结果可知,船舶停泊等待最短时间为 1 138.75 min。此时岸桥、空箱场桥、重箱场桥、重箱集卡、空箱集卡的数量分别为 3、3、3、3、2,以此作为装卸设备数量的初始值。仿真软件输出结果截图见图 5。

本次研究以场桥利用率不小于 40%为约束条件。此时,岸桥的利用率已经达到 1,而空箱场桥和重箱场桥的利用率均小于 40%。为满足约束条件,空箱场桥、重箱场桥、重箱集卡和空箱集卡的数量应分别在小于 3、3、3、2 的范围内进行排列组合,筛选出场桥利用率不小于 40%时对应的装卸设备数量组合,并记录船舶停泊等待时间和集卡、场桥的排队等待时间。船舶、场桥和集卡在不同数量组合情况下的等待时间见表 1。

Control Summary				
Control Na /	Type	Low Bound	Solution	High Bound
crane	Discrete	1	3	4
empt yard crane	Discrete	1	3	3
full yard crane	Discrete	1	3	3
inner truck	Discrete	1	3	10
inner truck 1	Discrete	1	2	2

Response Summary	
Response Name /	Value
ship.TotalTime	1138.747176
crane.ScheduledUtilization	1
emptyard.ScheduledUtilization	0
emptyardcrane.ScheduledUtilization	0.305389
fullyard.ScheduledUtilization	0
fullyardcrane.ScheduledUtilization	0.201847
inner truck 1.ScheduledUtilization	0.296585
innertruck.ScheduledUtilization	0.132423

图 5 仿真软件输出结果截图

表 1 船舶、场桥和集卡在不同数量组合情况下的等待时间

序号	设备数量/台				船舶停泊等待 时间/min	队列排队等待时间 /min			
	空箱场桥	重箱场桥	重箱集卡	空箱集卡		空箱场桥	重箱场桥	空箱集卡	重箱集卡
1	2	1	3	2	1 164.04	5.77	49.26	1.55	0.00
2	2	1	3	1	1 160.49	1.08	50.59	34.46	0.00
3	2	1	2	2	1 164.04	5.77	52.04	1.55	0.45
4	2	1	2	1	1 160.69	1.08	53.11	34.36	0.34
5	2	1	1	2	1 167.89	4.59	44.22	2.10	17.35
6	2	1	1	1	1 171.35	1.15	36.38	36.12	17.31
7	1	1	3	2	1 167.82	108.37	54.53	2.88	0.00
8	1	1	3	1	1 158.13	92.94	42.12	30.60	0.00
9	1	1	2	2	1 164.24	113.27	39.12	2.77	0.74
10	1	1	2	1	1 158.13	92.94	42.12	30.60	0.36
11	1	1	1	2	1 168.98	130.74	30.78	2.96	17.55
12	1	1	1	1	1 179.28	102.82	16.45	30.24	13.76

2.2 综合成本的定义

综合成本主要由节能成本和减排成本组成。由于龙潭港区集装箱码头在装卸过程中岸桥和场桥均使用电能,且图 5 的仿真结果显示重箱堆场和空箱堆场的利用率为 0,说明场桥不需要进行转场作业。因此,本次研究认为岸桥和场桥在仿真过程中不消耗柴油,故不计算其综合成本。

节能成本主要包括:岸桥、集卡和场桥的购置费用、维修费和人工费,这里统称为投资成本;集卡在运输服务时间和排队等待时间内的能耗成本;船舶停泊等待时的能耗成本。

本次研究将碳排放作为船舶和装卸设备的主要尾气排放指标,减排成本主要包括集卡在运输服务时间和排队等待时间内的 CO₂ 治理费用、船舶在停泊等待时间内的 CO₂ 治理费用等。

2.3 基于环境效益的装卸设备优化配置

通过查阅资料和现场调研得到:

(1)岸桥、集卡和场桥的投资成本分别为 250 万元、5 万元和 200 万元,使用期限分别为 10 a、6 a 和 10 a。

(2)CO₂ 的治理费用为 150 元/t,柴油价格为
(下转第 24 页)

锚地的费用较多时,保证率取高值;设置锚地的费用较少时,保证率取低值。不同保证率下的锚位数见表 5。

表 5 不同保证率下的锚位数

船舶	件杂货船		散货船	
保证率 $Q_n/\%$	90	95	90	95
在港船舶艘数 $n/\text{艘}$	10	16	9	19
锚地锚位数 $A_n/\text{个}$	5	11	3	13

5 结 语

(1)影响港区布置最佳锚位数的因素是复杂的,不可以仅用简化的公式定量计算予以解决,但定量确定最佳锚位数在港口规划中仍具有积极的决策作用。在贵港港平南港区武林作业区规划中,采用 M/M/S 排队模型对在港有 n 艘船的状态概率和累计概率进行统计、计算,并根据不同

的保证率求出相应的锚位数。

(2)武林作业区的锚地最佳锚位数宜在保证率 90%~95%的情况下取值。设置锚地的费用较多时,保证率取高值;设置锚地的费用较少时,保证率取低值。

(3)采用正确的状态概率公式能计算出不同保证率下的锚位数,再通过分析保证率和锚位数的分布规律,选择最佳的锚位数。

参考文献

[1] 张亮芳.基于船舶交通模拟的港口锚位数需求量研究[D].大连:大连海事大学,2012:1.
[2] 邱珍英,徐元,曾建峰.一种快捷计算锚地锚位数量的通用公式[J].水运工程,2014(4):21-23.
[3] 交通部第一航务工程勘察设计院.海港工程设计手册(上册)[M].北京:人民交通出版社,2001:320.

(上接第 20 页)

6.1 元/L。^[1]

(3)集卡服务时 CO₂ 排放量为 27.69 kg/h,油耗量为 0.24 kg/h;集卡等待时 CO₂ 排放量为 4.93 kg/h,油耗量为 0.08 kg/h。

(4)船舶在停泊等待时的 CO₂ 排放量为 126.62 kg/h,油耗量为 10.2 kg/h。

将综合成本分为 3 部分进行计算:

(1)满足仿真约束条件的装卸设备营运 1 d 的投资成本 M1。

(2)集卡在服务和等待时间内产生的节能减排成本 M2。

(3)由船舶在停泊等待时的 CO₂ 治理费用和船舶副机发电时的油耗成本构成的节能减排成本 M3。

将 M1、M2、M3 的值求和,得到最终的综合成本。不同装卸设备数量组合情况下的综合成本见表 2。

3 结 语

本文运用 Arena 仿真软件建立南京港龙潭港区集装箱码头的装卸工艺仿真系统,并结合节能减排理念,基于环境效益构建综合成本指标,在满足场桥利用率不小于 40%的约束条件下,求解综

表 2 不同装卸设备数量组合情况下的综合成本

序号	设备数量/台				综合成本/ (元/d)
	空箱场桥	重箱场桥	重箱集卡	空箱集卡	
1	2	1	3	2	5 397.19
2	2	1	3	1	5 370.23
3	2	1	2	2	5 374.37
4	2	1	2	1	5 347.68
5	2	1	1	2	5 357.11
6	2	1	1	1	5 339.66
7	1	1	3	2	4 854.34
8	1	1	3	1	4 791.96
9	1	1	2	2	4 799.68
10	1	1	2	1	4 769.14
11	1	1	1	2	4 783.61
12	1	1	1	1	4 775.20

合成本最小时的装卸设备数量。结果表明,在岸桥、空箱集卡、重箱集卡、空箱场桥和重箱场桥的数量比为 3:1:2:1:1 时,整个仿真系统在节能和减排方面均达到最优。

参考文献

[1] 赵雅倩,王伟.港口节能减排多目标优化研究[J].华东交通大学学报,2015(3):78-85.