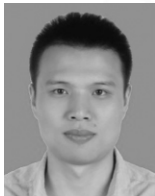


· 信息技术 ·



基于 FlexTerm 软件的集装箱码头仿真试验

陈天沛, 刘庆辉, 彭骏骏

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 为提升集装箱码头装卸效率、降低码头运营成本, 以国内某已建集装箱码头为研究对象, 利用 FlexTerm 软件, 建立码头的仿真模型, 实现了码头船舶调度、堆场分配、集卡进出闸口控制的仿真逻辑, 并完成码头泊位计划、堆场计划、闸口计划的合理衔接。通过仿真数据统计与分析, 对码头的通过能力、设备配置、道路交通状况进行评价, 验证了码头设计的合理性。

关键词: 集装箱码头; FlexTerm 软件; 仿真模型

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)09-0176-05

Simulation experiment of container terminal based on FlexTerm software

CHEN Tian-pei, LIU Qing-hui, PENG Jun-jun

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: In order to improve the handling efficiency of container terminal and reduce the operation cost, taking a domestic container terminal as the research object, we establish the simulation model by the simulation software FlexTerm, achieve the simulation logic of ship dispatching, yard allocation and truck entry and exit control, and complete the combination of berth planning, yard planning and gate planning. By analyzing the statistics provided by FlexTerm, we evaluate the berth productivity, equipment configuration and utilization, road traffic condition, and verify the rationality of the original design.

Keywords: container terminal; FlexTerm software; simulation model

集装箱码头装卸系统是一个复杂的物流系统, 具有非线性、不确定性、多输入与多输出、多种人为规则等特点。当前对于复杂系统的分析和研究, 缺少完善、有效的数学理论, 最有效的方法就是利用计算机仿真技术, 建立系统模型, 通过仿真试验来研究和分析复杂系统的问题。近年来, 伴随着信息技术水平不断提高, 仿真技术在港口工程上的应用也越来越广泛。李锋等^[1]基于仿真技术, 建立集装箱码头泊位系统模型并结合工程案例, 对体现码头服务水平的主要指标参数进行仿真试验, 得出了合理的泊位通过能力和装卸机械设备配置; 宋向群等^[2]重点从集卡到港的角度, 利用仿真软件建立集装箱码头闸口作业系统的模

型, 分析集卡在不同到港规律下闸口的排队情况, 并进行了算例研究; 刘炳城等^[3]利用 FlexTerm 软件建立仿真模型, 在不同集装箱通过量的条件下, 对装卸同步工艺和先装后卸两种不同装卸工艺进行分析研究; 张程等^[4]利用 Flexsim 仿真平台, 以某集装箱码头装卸作业流程为研究对象, 对码头现状进行仿真试验和分析; 何建腾等^[5]利用 WITNESS 软件并结合工程实例, 研究了集装箱码头道路规划问题; 孙洪运等^[6]利用 FlexsimCT 软件进行仿真试验, 对码头集卡两种作业模式进行分析和比较。

本文以国内某已建集装箱码头为研究对象, 基于 FlexTerm 仿真软件, 建立包含船舶计划、堆

收稿日期: 2019-04-16

作者简介: 陈天沛 (1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事装卸工艺设计。

场计划、闸口计划的仿真模型,进行仿真试验和数据统计,对码头道路交通情况、设备利用率、堆场利用率、码头通过能力等指标进行分析,验证码头设计的合理性。

1 仿真软件

FlexTerm 是由 Flexsim 软件公司研发的商用集装箱码头仿真工具,本质上它是一款含有特别定制模块的 Flexsim 软件,除具有 Flexsim 仿真软件的特点外,用户还可通过其特制的模型环境,创造出集装箱码头的任何动态过程的仿真模型。主要如下:

1) 三维模块库。软件提供包括岸桥、轮胎式龙门起重机、轨道式龙门起重机、空箱堆高机、正面吊、集装箱卡车、船舶、跨运车、闸口、火车等一系列的三维模块库,如图 1 所示,方便用户进行集装箱码头的建模。

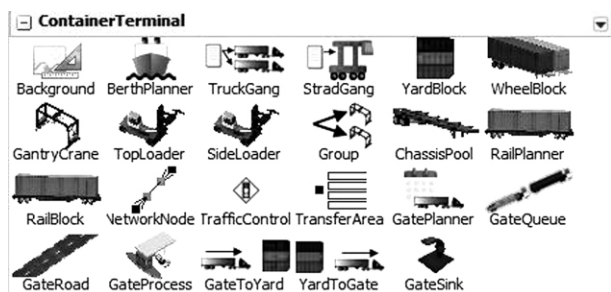


图 1 FlexTerm 仿真软件三维模块库

2) 三维可视化环境。在 FlexTerm 软件环境下,用户可通过拖放建模方式,集成良好的三维建模环境,能出色地将模型和结果展示给技术和非技术人员。

3) 统计输出。软件对集装箱码头很多重要的指标提供实时的数据统计,具体包括泊位吞吐量、船舶排队和等待时间、装卸设备利用率、闸口排队及等待时间、堆场实时堆存量等。

2 仿真模型

2.1 工程概况

某集装箱码头已建成 2 个 5 万吨级集装箱专用泊位,码头岸线长度为 678 m,年计划吞吐量为 80 万 TEU。堆场布置地面箱位为:重箱 7 446 个,

空箱 4 696 个,冷藏箱 864 个。堆场最大堆存容量为:重箱 37 320 TEU,空箱 32 872 TEU,冷藏箱 3 456 TEU。

码头前沿配置 6 台岸边集装箱装卸桥。集装箱堆场共配置 21 台轮胎龙门吊,8 台空箱堆高机。闸口共布置 13 车道,其中 7 个进闸车道、6 个出闸车道。

2.2 仿真模型组成

集装箱码头装卸系统仿真模型建立是围绕码头的船舶计划、堆场计划、闸口计划来进行,进而产生“集箱”→“卸船”→“装船”→“疏箱”4 个物流活动,其运行实质为集装箱实体在各个模块(泊位、堆场、闸口)之间的流转过程。可简单描述为:船舶到港前,闸口计划根据船舶到港时间提前进行“集箱”活动,将装船所需的集装箱运送至堆场进行堆存;船舶到港,并进行“装卸船”活动,卸船产生的集装箱在堆场堆存一定时间后,闸口计划产生集卡进行“疏箱”活动,完成集装箱从港内至港外的运输。可以看出,整个码头装卸系统仿真模型中以泊位计划为主,闸口计划为辅,堆场为中间环节,具体生产计划组织如图 2 所示。

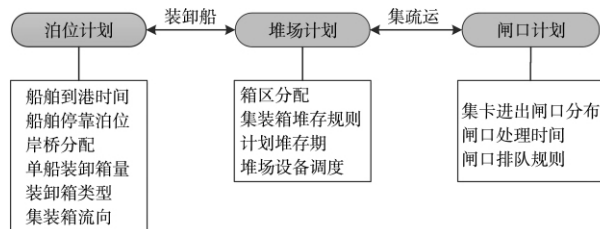


图 2 码头生产计划组织

根据平面布置图,调用软件中装卸设备模中的各种设备模型,在软件中建立该码头的三维模型,如图 3 所示。

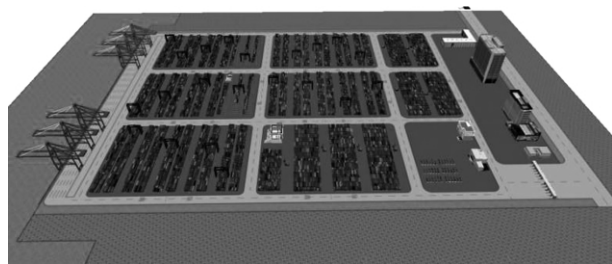


图 3 码头三维模型

2.3 仿真输入条件

码头整体三维模型建立后, 为使其能够运行和进行仿真试验, 需要对泊位计划、堆场计划、闸口计划进行定义。

2.3.1 泊位计划

泊位计划按照每周接卸 12 艘次集装箱船考虑, 船舶到港均考虑为服从指数分布, 如图 4 所示。不同类型集装箱的箱型比例及堆存期定义见表 1。

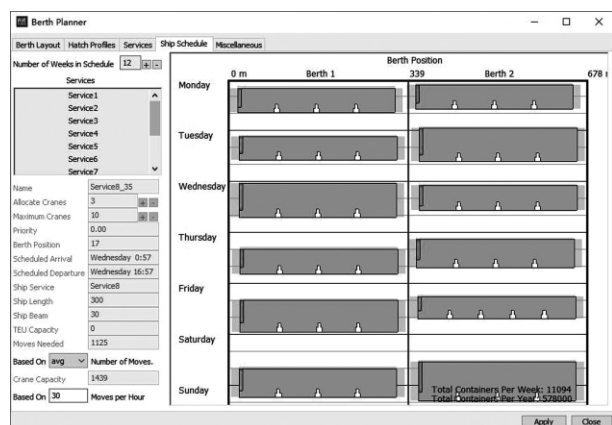


图 4 集装箱船到港规律

表 1 不同类型集装箱箱型比例及堆存期

集装箱类型	40 ft 集装箱占比/%	20 ft 集装箱占比/%	堆存时间/d
重箱	60	40	7
空箱	60	40	10
冷藏箱	60	40	4

注: 1 ft ≈ 0.305 m。

根据该码头配备的集装箱岸桥技术参数, 在软件中进行定义, 集装箱岸桥装船和卸船的工作循环考虑服从三角分布。

2.3.2 堆场计划

根据该码头已配备的堆场作业设备(轮胎龙门吊、空箱堆高机等) 技术参数, 在堆场计划中对作业设备进行设置, 软件中的轮胎龙门吊作业参数为: 轨距为 23.47 m, 大车空载、满载速度分别为 2、1 m/s, 小车速度为 1.5 m/s, 空载、满载起升速度分别为 1、0.5 m/s, 起升高度为 16 m。

根据总平面布置图, 集装箱堆场分为重箱堆场、空箱堆场和冷藏箱堆场, 在软件中按照各种堆场的位置进行定义, 并通过不同的堆场策略

(container placement strategy) 控制集装箱从船到不同堆场的流向, 图 5 的虚线框区域为冷藏箱堆场。

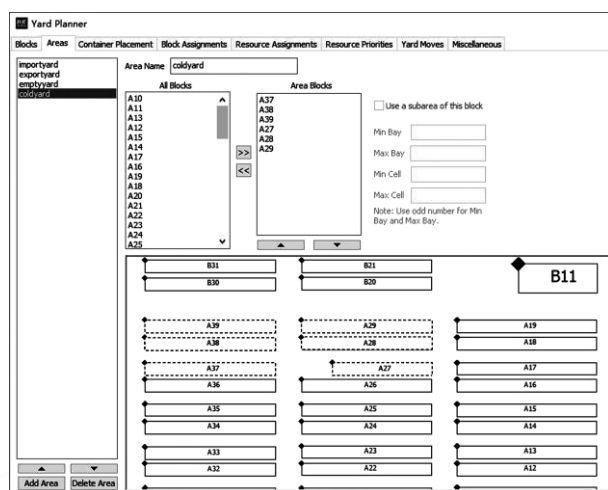


图 5 冷藏箱堆存区域

2.3.3 闸口计划

通过对码头实际运营现状进行调研, 对外集卡到港规律进行统计, 在软件中设置 1 周内每天每个时间段内到港的外集卡数量、闸口处理所需时间等参数。外集卡在堆场内的等待时间以进闸口开始, 出闸口结束。

3 仿真试验

完成码头三维模型以各项输入条件的定义后, 码头整体仿真模型搭建完毕, 开始测试并进行仿真试验。试验运行时间设定为 1 年, 即仿真模型按照泊位计划中一周接卸 12 艘次集装箱船的频率运行 52 周。

仿真试验中, 数据统计模块主要获取以下指标: 1) 码头前沿状态, 包括码头整体通过能力、集装箱岸桥利用率、泊位利用率等; 2) 堆场状态, 包括堆场作业设备利用率、堆场容量利用情况等; 3) 闸口状态, 包括进出闸口通过能力、外集卡等待时间等; 4) 港内道路交通状况, 包括港内道路监测点的通行车辆数和道路饱和度等。

4 数据分析

仿真试验按照设定时长运行完成后, 从软件的数据统计模块(container terminal statistics) 提取相应数据并进行分析。

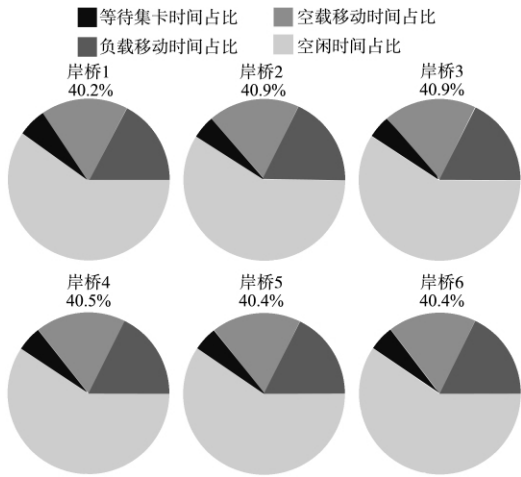
4.1 码头前沿状态

4.1.1 集装箱岸桥

仿真试验运行完成后, 提取集装箱岸桥的作业数据, 装卸作业情况见表 2 及图 6。

表 2 岸桥装卸作业情况

岸桥 编号	利用率/ %	通过能力/ 自然箱	装卸效率/ (自然箱·h ⁻¹)
岸桥 1	40.2	97 350	32.2
岸桥 2	40.9	97 290	30.8
岸桥 3	40.9	97 119	30.8
岸桥 4	40.5	95 737	30.8
岸桥 5	40.4	95 604	30.8
岸桥 6	40.4	95 466	30.8



注: 岸桥利用率 = (等待集卡时间 + 空载移动时间 + 负载移动时间) × 100% / 总时间。

图 6 岸桥利用率

从以上数据可知, 岸桥利用率约为 40.5%, 平均装卸效率约为 31 自然箱/h, 能够及时进行装卸船作业, 码头前沿作业设备配备较为合理。

4.1.2 码头通过能力

码头的通过能力为 6 台岸桥总的装卸箱量, 共计 57.8 万自然箱, 考虑到 40 与 20 ft 集装箱的比例为 3:2, 因此, 将其折算成标箱, 共计 92.5 万 TEU, 满足计划吞吐量的要求。

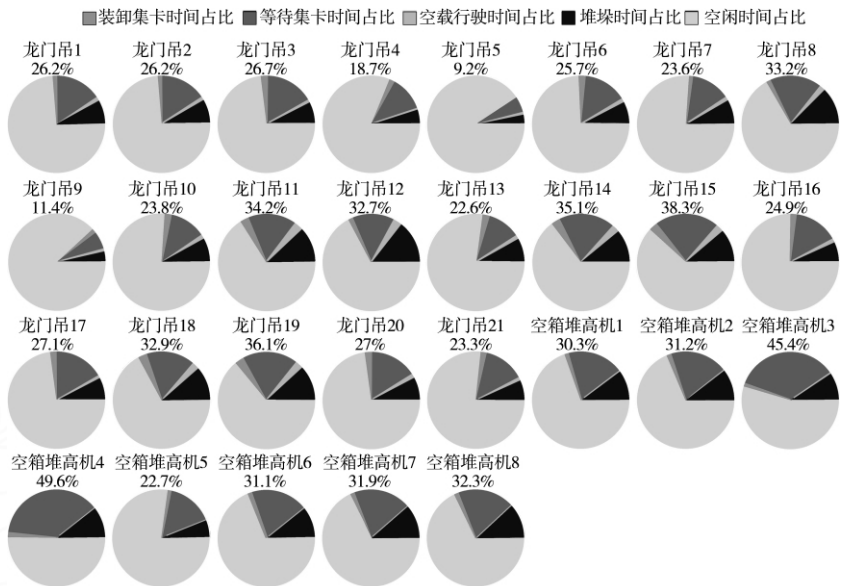
4.2 堆场状态

4.2.1 堆场设备利用情况

从软件中提取的轮胎龙门吊及空箱堆高机的利用情况, 部分轮胎龙门吊的作业情况见表 3, 所有堆场设备的利用情况见图 7。

表 3 部分轮胎龙门吊作业情况

场桥 编号	平均等待 时间/s	利用率/ %	装卸效率/ (自然箱·h ⁻¹)
龙门吊 1	54.2	26.2	14.5
龙门吊 2	51.2	26.2	14.5
龙门吊 3	59.6	26.7	15.2
龙门吊 4	15.3	18.7	14.9
龙门吊 5	10.3	9.2	15.2
龙门吊 6	78.5	25.7	15.9
龙门吊 7	69.1	23.6	16.2
龙门吊 8	148.9	33.2	17.0
龙门吊 9	17.2	11.4	16.9



注: 堆场设备利用率 = (装卸集卡时间 + 等待集卡时间 + 空载行驶时间 + 堆垛时间) × 100% / 总时间。

图 7 堆场设备利用率

从数据统计得,堆场中重箱堆场和冷藏箱堆场的轮胎龙门吊平均利用率约为 26.6%,平均等待时间为 84.9 s,平均装卸效率约为 16.3 自然箱/h;空箱堆高机平均利用率约为 34.3%,平均等待时间为 4.8 s,平均装卸效率约为 15.3 自然箱/h。从以上数据可知,堆场装卸设备利用率偏低,堆场作业设备(尤其轮胎龙门吊)配备数量偏多。

4.2.2 堆场容量利用情况

软件可实时统计每一时刻堆场内的总堆箱数,不同堆场利用情况见表 4。

表 4 堆场利用情况

项目	平均容量/ 自然箱	最小容量/ 自然箱	最大容量/ 自然箱	平均堆 存期/d
堆场	20 508.6	18 276	23 413	8.0
空箱	7 788.4	6 542	8 941	10.0
重箱	12 227.7	10 658	14 005	7.3
冷藏箱	492.5	310	806	5.1

从以上数据可得,重箱堆场平均利用率为 52.6%,空箱堆场平均利用率为 37.9%,冷藏箱堆场平均利用率为 22.8%,所有堆场最大的堆存容量未超过实际布置。因此可得出结论,集装箱堆场箱位设计较为合理,冷藏箱箱位数布置稍多。

4.3 闸口状态

仿真试验运行完成后,提取闸口处外集卡的等待时间,图 8 为进出各个闸口的作业情况。

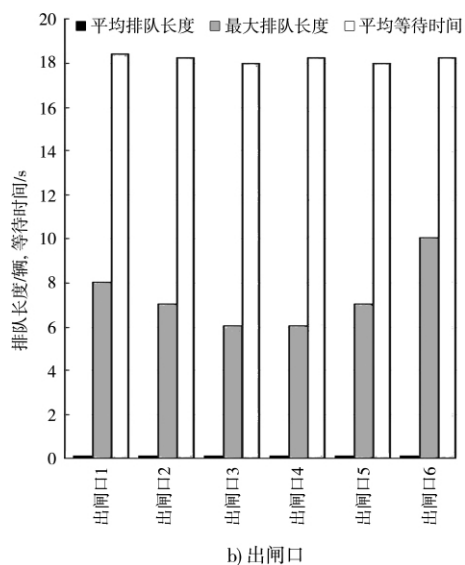
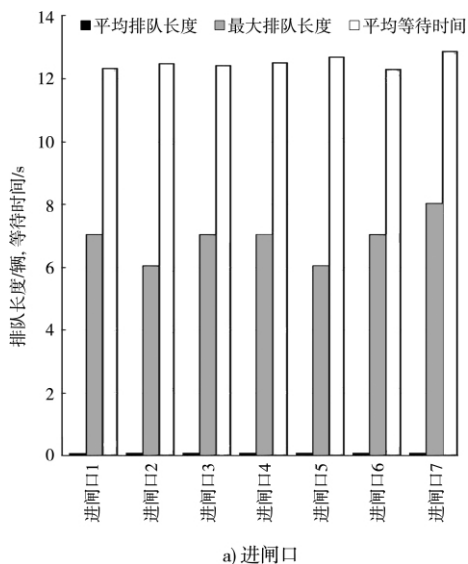


图 8 各进闸口和出闸口作业情况

从软件中的数据统计得,外集卡进出闸口时平均排队长度为 0.1 辆,最大排队长度平均值为 7.3 辆(出闸时),平均等待时间为 18.2 s(出闸时),最大等待时间平均值 554.6 s(出闸时),闸口车道数布置合理,闸口服务水平满足要求。

4.4 港内道路交通

在仿真模型中,在码头前沿及港内各主干道设置有 25 个监测点,主要用于分析港内道路的交通情况,部分监测点的最大通行车数及饱和度见表 5。

表 5 部分监测点道路饱和度

监测点序号	允许最大通行车数/(辆·h ⁻¹)	饱和度
1	1 560	0.13
5	1 122	0.17
9	1 560	0.08
10	1 122	0.03
12	1 560	0.04
15	1 122	0.20
17	1 560	0.04
24	1 122	0.02

从以上数据可得,港内道路交通最大饱和度为 0.2,小于 0.4(一级服务水平),港内车流畅通,基本无延误。仿真结果表明港内总平面布置合理,港内交通情况较为良好。

(下转第 226 页)

表 2 3 种结构方案优、缺点比较

结构 方案	抗台风 能力	抗震 能力	造价/ 万元	使用空间、 面积和便利 性综合评价
钢筋混凝土框架	最好	好	594.742	差
网架	较好	好	539.973	好
门式刚架	弱	好	536.574	好

值得强调的是:网架杆件采用 Q235B 钢管,才能使全部球节点都能在配件材料库中找到相应的高强度螺栓和套筒进行连接,这样全部球节点均能设计成螺栓球节点,方便施工。如能放弃一点施工的便利,改用部分焊接球、部分螺栓球节点,网架钢管改用 Q345B 钢材,则网架的用钢量更少,造价比门式刚架方案更低,因此成为工程造价最低的方案。

3 结论

1) 强台风地区大跨度仓储结构设计时,首先要确保结构有足够的抗强台风能力。整体现浇混凝土框架结构方案抗台风能力最强,但适用跨度小(约 12 m)、仓库内柱子较多、占用仓储面积、柱距较小,不利于货物堆放及流动机械作业且造价最高。

2) 以压型金属板做围护系统的门式刚架轻型房屋钢结构方案采用 Q345B 钢材时造价最低,但对设计、施工和选用的压型金属板系统产品质量的要求较高,施工质量较难保证,因此容易被强台风破

坏,且压型金属板耐久性差,使用期维护费用高。

3) 本文提出的下部支承结构采用现浇钢筋混凝土框架,屋盖采用网架,屋面板采用网架板的设计方案能较好地解决抗强台风问题,施工质量易得到保证,适用跨度大(60 m 以上),便于仓库内流动机械的作业,工程造价比整体现浇混凝土框架结构方案低,网架板的耐久性好(安全使用年限 ≥ 50 a)。改用 Q345B 钢材后,该方案成为造价最低的方案,综合优势明显,是强台风地区最具竞争力的大跨度仓储结构设计方案。

参考文献:

- [1] 杨勇,曾香华,刘观发,等.四连跨干煤棚压型金属板屋面系统抗风揭设计[J].钢结构,2017,32(11):68-73+36.
- [2] 杨勇,刘观发,方国华,等.四连跨干煤棚三心圆柱面网壳结构设计与研究[J].建筑结构,2017,47(15):6-10+15.
- [3] 中国建筑科学研究院.空间网格结构技术规程:JGJ 7—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [4] 《钢结构设计手册》编辑委员会.钢结构设计手册[M].3 版.北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [5] 中国建筑标准设计研究院有限公司.门式刚架轻型房屋钢结构设计技术规范:GB 51022—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [6] 中国建筑科学研究院.建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

(本文编辑 王璁)

(上接第 180 页)

5 结论

1) 该集装箱码头平面布置、闸口布置较为合理,港内交通情况良好,闸口服务水平满足要求,堆场地面箱位数略有富余(预留远期运量发展的需要)。

2) 码头前沿装卸设备配置十分合理,满足计划吞吐量需求,堆场设备配备数量略多(为远期运量发展预留)。

参考文献:

- [1] 李锋,张雨婷,张清波.集装箱码头泊位仿真分析[J].起重运输机械,2017(5):25-28.

- [2] 宋向群,程伟,周勇,等.集卡到港规律对集装箱码头闸口服务水平影响研究[J].港口技术,2017,54(2):51-53.
- [3] 刘炳城,陈宁,叶子奇.基于 FlexTerm 的港口集装箱装卸工艺比较[J].水运管理,2018,40(4):14-17.
- [4] 张程,乐婉.基于 Flexsim 的集装箱码头装卸仿真[J].水运管理,2018,40(8):15-18+25.
- [5] 何建腾,丁栋,唐斌.仿真技术在集装箱码头交通规划中的应用[J].港口科技,2018(5):5-10+28.
- [6] 孙洪运,郭姝娟,郑彭军.基于 Flexsim CT 的集装箱码头集卡作业模式比较仿真研究[J].宁波大学学报(理工版),2019,32(1):104-108.

(本文编辑 王璁)