

仿真技术在集装箱码头 交通规划中的应用

何建腾, 丁 栋, 唐 斌

(中交四航局港湾湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 为保证集装箱码头交通组织畅顺, 针对梧州港赤水圩集装箱码头的 3 个典型事件, 基于离散事件系统仿真实论, 运用仿真软件 WITNESS 分别从系统结构和环境输入等 2 方面进行建模仿真试验。通过分析试验结果, 对集装箱码头道路规划和资源配置进行优化。

关键词: 港口; 集装箱码头; 仿真技术; 交通规划

Application of Simulation Technology in Container Terminal Traffic Planning

HE Jianteng, DING Dong, TANG Bin

(Engineering Design Institute Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd.,
Guangzhou 510290, Guangdong, China)

Abstract: In order to ensure the smooth traffic organization of container terminal, based on the discrete event system simulation theory, a modeling simulation test is presented by the simulation software WITNESS on three typical cases of Chishuiwei container terminal in Wuzhou Port from the system structure and environment input. The optimization on road planning and resource allocation of container terminal is achieved by analyzing the test results.

Key words: port; container terminal; simulation technology; traffic planning

0 引 言

当前, 计算机仿真技术已在物流行业的规划设计和生产运营中得到广泛应用, 为复杂物流系统的规划设计提供技术性和经济性的最佳结合点和直观有效的分析方法, 具有很强的实用性和优越性。本文以梧州港赤水圩集装箱码头为例, 利用仿真技术研究集装箱码头物流系统交通组织优化

的问题。

1 理论基础

集装箱码头物流系统作为一个复杂的离散事件动态系统^[1], 在计算机仿真研究中一般采用离散事件仿真法。离散事件仿真法本质上是对连续模型进行离散化处理, 模拟物流系统活动, 获得试验数据, 分析系统环境的输入输出、系

统结构组成、系统技术性能指标等三者之间的关系,从而剖析物流系统非线性、不确定性的深层次复杂问题,揭示内在的作用机理。该研究的系统环境输入输出需要依据不同的研究目标来确定,其系统结构可以解释为当前码头装卸工艺布置及相关设施设备配置等固有结构,包括堆场布置、道路交通组织、泊位数量、闸口数量、装卸搬运机械数量等要素。因此,需要搭建集装箱码头仿真模型进行仿真试验。

(1)改变集装箱码头物流系统的组成结构,在不变的系统环境输入下,评价集装箱码头物流系统组成结构的合理性。在相同的系统环境下,分析码头规划设计的多个平面布置与工艺方案,选择最合理方案;分析重点路段、节点^[2]的交通组织对码头内部交通流的影响,为优化路段规划提出改进建议;研究码头装卸设备数量变化对码头吞吐能力的影响,优化设备配置。

(2)改变集装箱码头系统的环境输入,研究码头物流系统所表现出的性能特点,寻求资源

的优化配置。减少船舶在港时间,分析码头在一定设施设备配置下的技术性能参数或极限吞吐量;改变机械设备的装卸效率,分析其对码头内部交通流的影响;分析大门服务水平与码头吞吐能力及码头内部交通流之间的关系;分析不同的生产调度策略对码头生产的影响,寻求最优调度策略。

2 工程概况

梧州临港经济区多式联运物流基地赤水圩作业区码头二期工程拟建 11 个 3 000 吨级泊位(6 个集装箱泊位、3 个件杂货泊位、2 个散粮泊位)及相应的配套设施,采用挖入式港池方案,码头总长度为 1 258 m,占用自然岸线长度为 583 m。码头共布置 3 个闸口,其中 # 1 闸口为码头集装箱卡车进出港卡口,采用综合式大门,设 3 条进港车道、2 条出港车道;# 2 闸口为外贸集装箱港内卡口;# 3 闸口为件杂货卡车进出港卡口。码头陆域总平面布局见图 1。

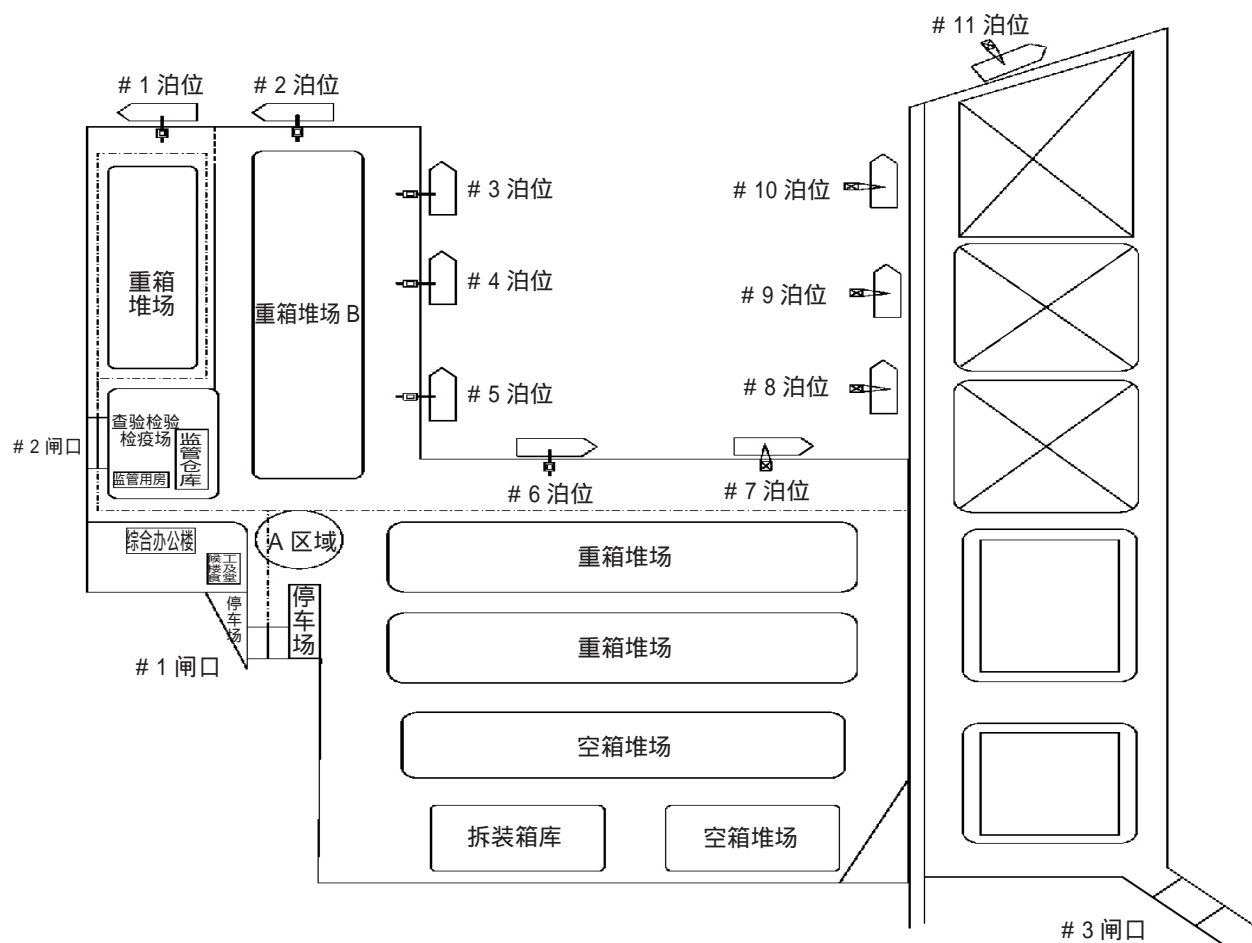


图 1 码头陆域总平面布局

集装箱装卸工艺采用“轻型岸桥—集装箱牵引半挂车—轨道式龙门起重机—堆场”，空箱堆场采用空箱堆高机进行堆码作业。集装箱泊位年计划吞吐量为 35 万 TEU。

由于相邻工程设施及山坡地形的影响，该工程陆域范围受到一定的限制。对港内集装箱物流的交通组织进行分析，发现系统中存在以下 3 个典型事件：一是集港集装箱车辆和疏港集装箱车辆进出闸口时会在图 1 中的 A 区域相汇和分流，该区域车流比较复杂；二是 #3~#5 泊位左侧重箱堆场 B 纵向长度(315 m)较长，而堆场左侧车道宽仅为 9 m，该车道车流状况会影响码头集装箱作业效率；三是集装箱进出闸口的车道设置是否能保证港内外道路的有效衔接也是业主比较关注的问题。因此，为了保证港内集装箱物流的交通组织

流畅，有必要针对该工程上述典型事件的重要路段、节点，分别从码头物流系统的结构和环境输入等 2 方面进行仿真试验分析。

3 仿真模型建立及假设

采用仿真软件 WITNESS 进行集装箱码头物流系统的仿真试验。WITNESS 作为新一代的仿真软件，具有交互式面向对象的建模环境、灵活的执行策略、工程友好性强、灵活的输入和输出方式等特点。

该集装箱码头物流系统模型主要包括船舶计划模块、集装箱集疏运模块、泊位计划管理模块、进出口箱位分配模块、堆场设备调度模块、堆场箱区模块、路段模块、路口模块及数据统计模块等。所建立的集装箱码头物流系统仿真模型见图 2。

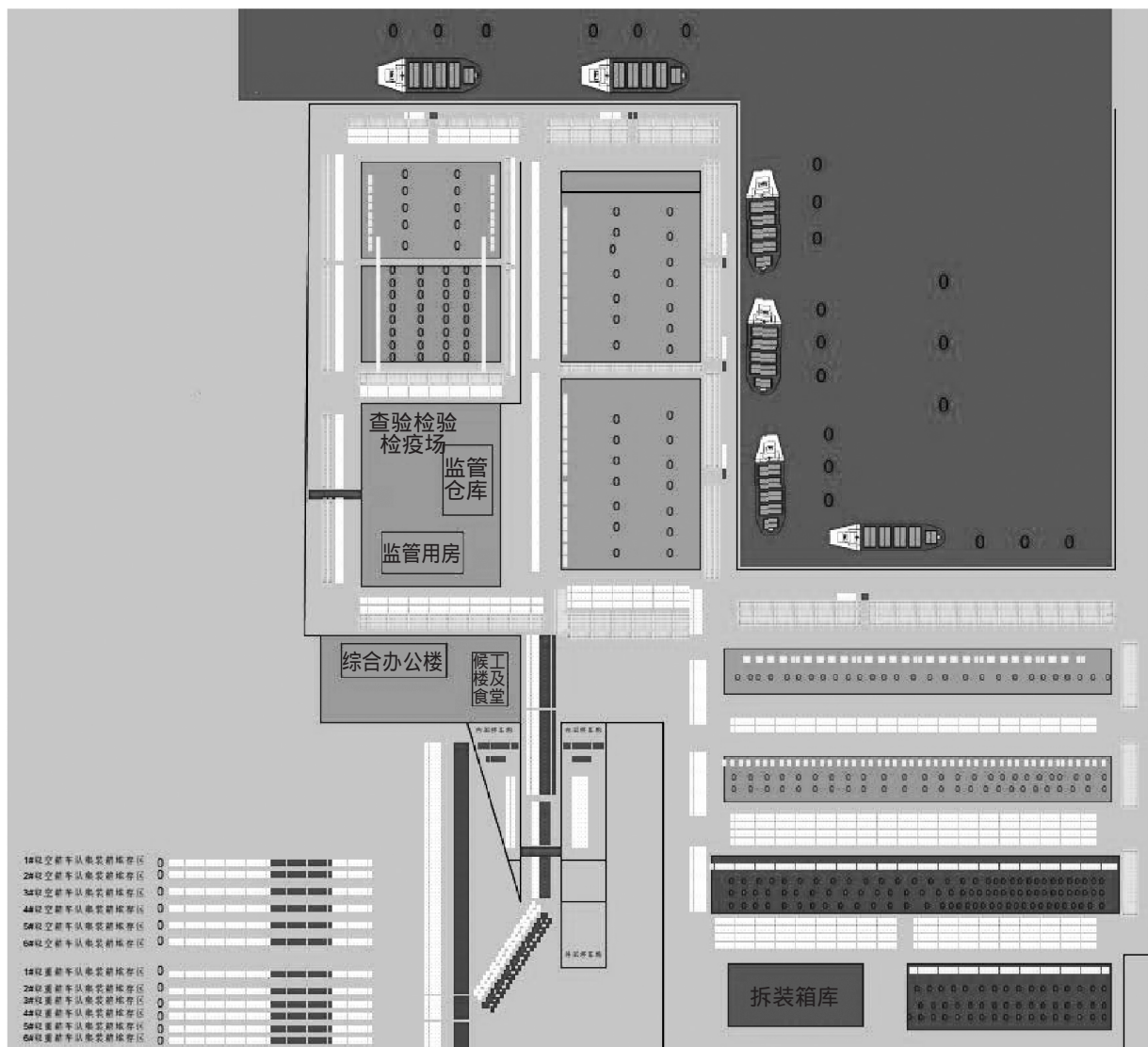


图 2 集装箱码头物流系统仿真模型图

该码头仿真分析模拟码头全年的物流活动过程,并对该物流活动过程做出以下假设:

(1)按照船舶计划到来的顺序,1个或全部泊位被设计船舶占用,不存在泊位因维修暂时停用的情况。船舶靠泊后,该泊位配备的岸边集装箱起重机(岸桥)投入工作,每台岸桥配置3辆集卡完成水平运输任务。

(2)每块重箱堆场配置2台场桥。场桥大部分时间为装卸船服务,其余为集疏运车辆服务。

(3)为方便模型的搭建,模型中的集装箱全部按20英尺处理。

(4)仿真时间长度为1a,按330d计算,即475200min。

4 基于系统结构变化的仿真试验

4.1 A区域的交通导向设计

为了研究交通流状况,首先需要确定码头集卡主要流向。码头内部集卡流向及路段说明见图3。

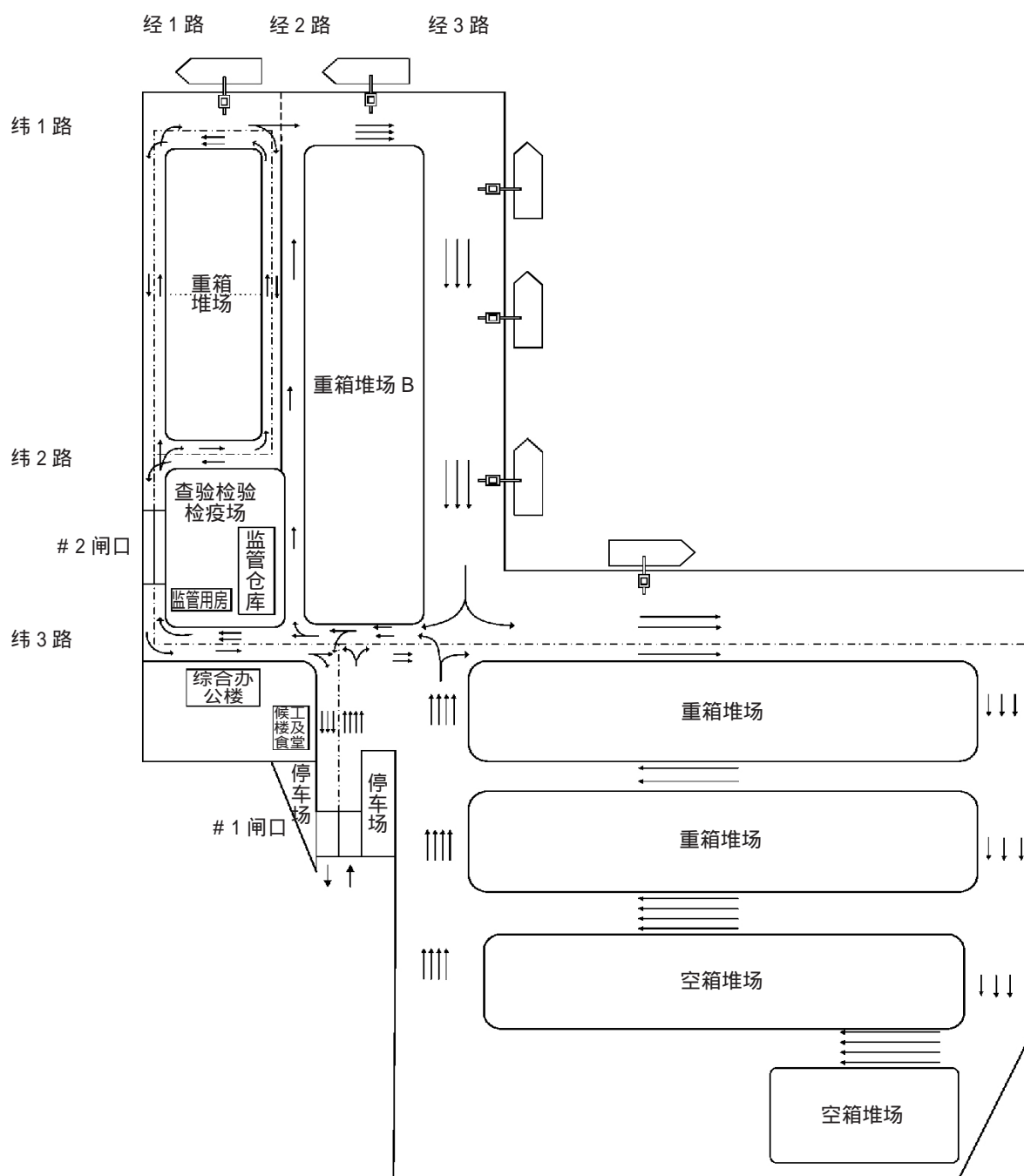


图3 码头内部集卡流向及路段说明

从图3中可以看出A区域的交通流向较复杂,各路段之间互相交叉,多个交通路口交汇,因此建议在该处采用环形岛设计,能够使车辆按同一方向行驶,将冲突点转变为通行点。A区域环岛交通流向见图4。

为了验证环岛的设计对码头内部交通流的影响,分别进行仿真试验。由图3可以看出,集卡进闸后在A区域分流,可见A区域的交通状况会影响集卡进出闸口的服务时间。进出闸口车辆排队长度及等待时间见表1。

从表1中可以看出,设置环岛后进出闸口的

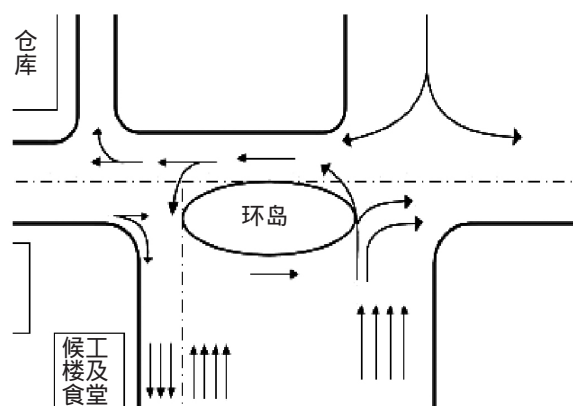


图4 A区域环岛交通流向

表1 进出闸口车辆排队长度及等待时间

方案	进闸排队车辆 / 辆		进闸等待时间 / min		出闸排队车辆 / 辆		出闸等待时间 / min	
	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均
未设环岛	18	3.52	13.25	3.23	10	2.11	3.23	1.49
设置环岛	11	1.22	6.92	1.00	8	1.08	1.68	0.58

车辆排队长度和等待时间都有所减少,说明该措施能够有效地缓解A区域的交通压力,进而改善进出闸口的服务效率,提高码头转运能力。

4.2 重箱堆场B区域的路段规划

实际上,由图3可以看出,重箱堆场B纵向长度较长,而堆场左侧车道宽仅为9m,该车道的车流量状况会影响码头集装箱作业效率,是否有必

要在堆场中间开1条行车通道来缓解高峰期车流呢?码头内部集卡流向2见图5,同样须按照上述假设分别进行仿真试验。由于部分集卡经过环岛后驶入经2路(重箱堆场B左侧车道),堆场是否开车道会影响经2路的交通状况,进而影响环岛处的交通状况,因此需要统计环岛处的车辆数和车流量,分别见表2和表3。

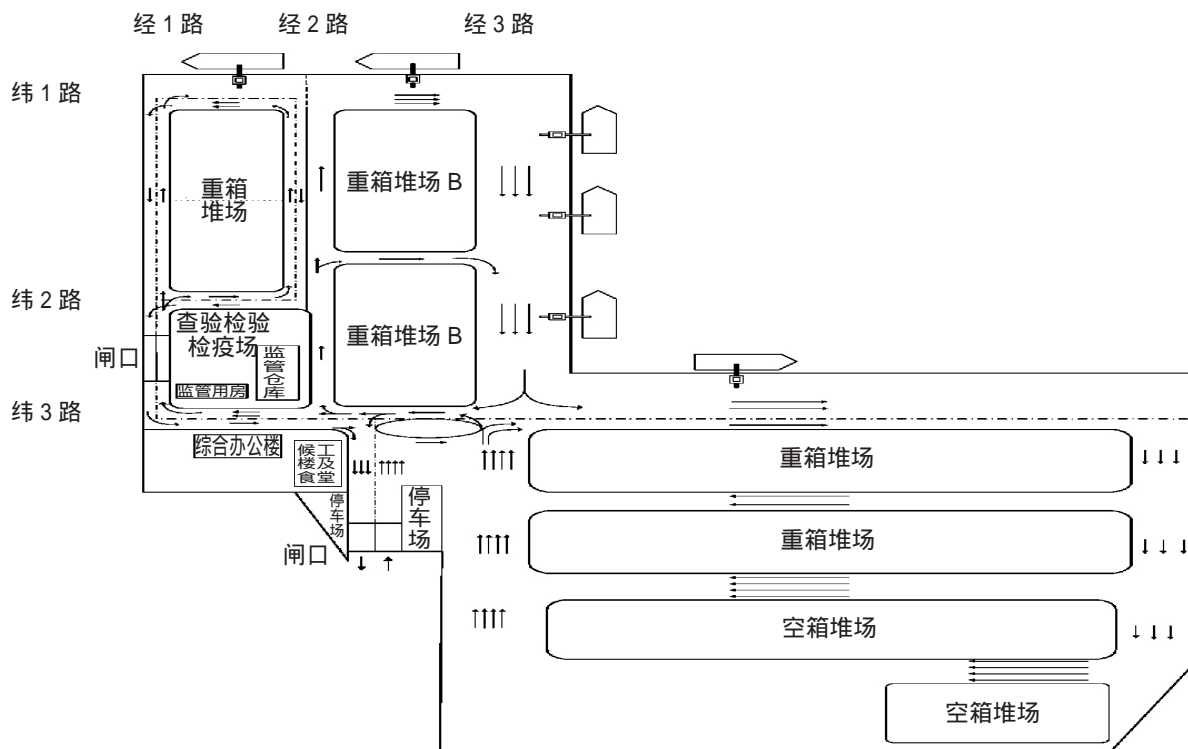


图5 码头内部集卡流向2

表 2 环岛处车辆数 辆

方案	环岛上侧		环岛下侧	
	最大	平均	最大	平均
未开车道	64	1.43	42	1.42
开车道	58	1.29	37	1.39

表 3 环岛处车流量 辆/h

方案	环岛上侧		环岛下侧	
	最大	平均	最大	平均
未开车道	167	63.58	112	31.23
开车道	134	57.83	96	24.24

从表 2 和表 3 中可以看出,重箱堆场 B 中间开 1 条车道后,环岛上侧和下侧的车流量以及实时车辆数都有所减少,说明该措施能够改善环岛处的交通流状况,减少堆场左侧道路集卡的堵塞对环岛处交通流的影响,提高集卡的转运能力。因此,在重箱堆场 B 中间开 1 条车道是有必要的。

5 基于环境输入变化的仿真试验

5.1 试验工况

根据以上方案比较、确定码头内部集卡交通流向(如图 5 所示),而整个码头的交通流状况主要受以下因素影响:闸口服务、装卸效率及码头运营管理等。因此,确定以下 3 种试验工况,分别进行仿真试验,分析各因素对该码头内部交通流的影响。

5.1.1 工况 1

在码头年吞吐量 35 万 TEU 和 50 万 TEU 的条件下进行试验。

(1)试验条件 1:码头年吞吐量 35 万 TEU。

(2)试验条件 2:码头年吞吐量 50 万 TEU(考虑码头年设计通过能力为 48.7 万 TEU)。

5.1.2 工况 2

在码头年吞吐量 35 万 TEU 的条件下,改变进出闸口负载车辆验证时间。

(1)试验条件 1:进闸口负载车辆验证时间为 0.6 min + NegExp (0.5) min,空载车辆验证时间为

0.4 min + NegExp (0.1) min;出闸口负载车辆验证时间为 0.5 min + NegExp (0.5) min,空载车辆验证时间为 0.3 min + NegExp (0.2) min。其中,NegExp 为负指数分布。

(2)试验条件 2:进闸口负载车辆验证时间为 0.5 min + NegExp (0.5) min,空载车辆验证时间为 0.4 min + NegExp (0.1) min;出闸口负载车辆验证时间为 0.4 min + NegExp (0.5) min,空载车辆验证时间为 0.3 min + NegExp (0.2) min。

(3)试验条件 3:进闸口负载车辆验证时间为 0.4 min + NegExp (0.5) min,空载车辆验证时间为 0.4 min + NegExp (0.1) min;出闸口负载车辆验证时间为 0.3 min + NegExp (0.5) min,空载车辆验证时间为 0.3 min + NegExp (0.2) min。

5.1.3 工况 3

在码头年吞吐量 35 万 TEU 的条件下,改变集卡在堆场平均装卸时间。

(1)试验条件 1:每个集卡在堆场平均装卸时间(从集卡到达堆场至装卸完成)为 2.4 min。

(2)试验条件 2:每个集卡在堆场平均装卸时间为 2.2 min。

(3)试验条件 3:每个集卡在堆场平均装卸时间为 2.0 min。

(4)试验条件 4:每个集卡在堆场平均装卸时间为 1.8 min。

5.2 试验数据

按以上工况分别统计主要路段车流量平均值和峰值,部分统计数据见表 4~表 7。

表 4 工况 1 进出闸口车流量 辆/h

试验条件	进闸		出闸	
	最大	平均	最大	平均
试验条件1	91	23.62	92	23.63
试验条件2	115	32.81	116	32.81

5.3 试验结论

根据各工况的试验结果,经综合分析后可以得出以下结论:

表 5 工况 1 进出闸口车辆排队长度及等待时间

试验条件	进闸排队车辆 / 辆		进闸等待时间 /min		出闸排队车辆 / 辆		出闸等待时间 /min	
	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均
试验条件1	11	1.22	6.92	1.00	8	1.08	1.68	0.58
试验条件2	12	1.31	7.44	1.01	10	1.19	2.42	0.58

(下转第 28 页)

表 3 在不同加筋形式下栈桥圆筒体的屈曲临界载荷
10⁸ N

加筋形式	$F_{\alpha-1}$	$F_{\alpha-N}$
不加筋	4.263 9	4.066 6
横向筋	5.453 7	4.652 4
纵向筋	4.869 4	4.481 6
横纵筋	6.104 7	5.049 0

3 结 论

经典理论中求解薄壁圆筒体屈曲临界载荷的边界条件不同于栈桥圆筒体实际受载荷的边界条件,所以计算结果与有限元屈曲分析的结果不同。圆筒体特征值屈曲分析的计算速率较快但非保守解,第 N 阶与第 $N+1$ 阶的计算结果近似相等,屈曲形态也相似,其计算结果可以作为非线性屈曲分析的基础。当栈桥圆筒体板厚较薄($t \leq 42$ mm)时,按照 CCS 规范计算的屈曲临界载荷与非线性计算结果之间的误差较小;当板厚继续增大时,误差也将变大,施加在圆筒体上的初始几何缺陷会

影响非线性分析的屈曲临界载荷。不同加筋形式对栈桥圆筒体抗屈曲能力有不同影响,在长细圆筒体结构中,抗屈曲能力由强到弱的加筋形式依次为横纵筋、横向筋和纵向筋。在登船栈桥工程项目中,为了增强圆筒体的抗屈曲能力,在其内部增加横纵双向筋板,能大幅提高圆筒体的稳定性和安全性。

参考文献

[1] 陈孝珍,赵维涛.有限元法基础[M].北京:科学出版社,2009:125 - 126.
[2] 孙训方,方孝淑,关来泰,等.材料力学[M].北京:高等教育出版社,2002:110 - 111.
[3] 中国船级社.船舶与海上设施起重设备规范[M].北京:人民交通出版社,2007:32 - 33.
[4] 王新敏.ANSYS 工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007:273 - 275.
[5] 王泽军.锅炉结构有限元分析[M].北京:化学工业出版社,2005:162 - 163.

(上接第 10 页)

表 6 工况 2 环岛处车流量 辆/h

试验条件	环岛上侧		环岛下侧	
	最大	平均	最大	平均
试验条件1	134	57.83	96	24.24
试验条件2	135	58.06	97	24.24
试验条件3	142	57.99	91	24.24

表 7 工况 3 环岛处车辆数 辆

试验条件	环岛上侧		环岛下侧	
	最大	平均	最大	平均
试验条件1	58	1.29	37	1.39
试验条件2	58	1.29	37	1.39
试验条件3	58	1.29	37	1.39
试验条件4	12	1.20	33	1.19

(1)比较年吞吐量 50 万 TEU 和 35 万 TEU 条件下的试验数据,进出大门的集卡平均排队车辆数基本相同,平均等待时间和大门验证服务时间比较接近,可以确定该码头集装箱大门闸口数配置(进 3 出 2)合理,能保证集卡进出大门交通顺畅和港内外道路的有效衔接。

(2)在试验工况 2 的条件下,码头年吞吐量为 35 万 TEU 时,改善闸口管理,减少过闸验证时间,

对码头内部交通流影响不大。

(3)在试验工况 3 的条件下,改变每个集卡在重箱堆场平均装卸时间,依次是 2.4 min、2.2 min、2.0 min 和 1.8 min。试验表明:当平均装卸时间缩短到 1.8 min 时,能够有效地缓解环岛处高峰作业期的交通状况,环岛处路段最大实时车辆数由 58 辆减少到 12 辆,平均车辆数也有所减少。

(4)在目前的设施设备配置下,环岛处的车流量较大,在码头作业高峰期间,实时车辆数已经达到路段所能容纳车辆数的最大值。

6 结 语

通过仿真技术把正在规划中的集装箱码头物流系统设计转换成仿真模型,并进行仿真试验,对该码头重要路段、节点的交通组织设计提出优化方案,从而进一步优化该集装箱码头的规划设计。

参考文献

[1] 党小红.面向平面布置的集装箱码头物流系统复杂性研究[D].武汉:武汉理工大学,2012:21.
[2] 张雨琴,周强,张艳伟.综合港区集疏运系统路网结构建模与分析[J].水运工程,2011(12):60 - 64.