

基于三维仿真的自动化集装箱码头堆场布置形态

吴邵强, 袁金虎, 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: 为探究垂直岸线布置的多泊位自动化集装箱码头工程中集装箱水-水中转集疏运比例对自动化集装箱堆场布置形态的影响, 在目前国内典型自动化集装箱码头工艺模式及平面布置的基础上, 运用 Flexterm 对堆场垂直于码头岸线和平行于码头岸线 2 种布置模式进行三维仿真。通过分析 2 种布置形态下水平运输设备的运距以及对码头装卸效率的影响, 总结 2 种堆场布置形态对垂直岸线布置的自动化集装箱码头工程的适应性, 为类似自动化集装箱码头工程的设计提供理论依据。

关键词: 自动化集装箱码头; 垂直岸线; 堆场布置形态; 三维仿真; Flexterm

中图分类号: U 652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)04-0067-07

Layout pattern of stacking yards in automated container terminal based on 3D simulation

WU Shao-qiang, YUAN Jin-hu, PENG Jun-jun

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

Abstract: To explore the influence of the collecting and dispatching ratio of container water-water transshipment on the layout pattern of automated container stacking yard in the automated container terminal project with berths arranging perpendicularly to the shoreline, on the basis of the typical handling process model and layout applied generally in the domestic automated container terminals, we carry out a 3D simulation on two kinds of layout patterns by the software Flexterm, i.e., the container stacking yard being perpendicular or parallel to the wharf shoreline. By analyzing the horizontal distance of the transport equipment and the influence on the operation efficiency under the two kinds of layout patterns of the container stacking yard, we summarize the adaptability of the two layout patterns for the automated container terminal project which is arranged perpendicularly to the wharf shoreline, to provide a theoretical basis for the design of similar automated container terminal engineering.

Keywords: automated container terminal; vertical shoreline; layout pattern of stacking yard; 3D simulation; Flexterm

随着世界集装箱物流贸易的快速发展, 自动化集装箱码头因其具有装卸效率高、作业人员劳动强度低、作业安全性高等优点, 越来越受到关注并得到了长足的发展。自 1993 年第一代自动化集装箱码头诞生以来, 随着自动化装卸设备和装卸工艺模式的不断更新和发展, 国内以上海洋山

四期、青岛新前湾等为代表的自动化集装箱码头技术已居世界前列^[1-2]。

在自动化集装箱码头工程设计中, 自动化集装箱堆场布置形态的选择是其中一个重要环节。在既定的自动化装卸工艺模式下, 堆场的布置形态将对整个港区自动化装卸系统的运作效率和设备能耗产

收稿日期: 2018-07-18

作者简介: 吴邵强 (1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口装卸工艺设计工作。

生重要的影响。对于每一个拟建的自动化集装箱码头工程来说,其岸线布置形态、集装箱集疏运流向必然具有其特殊性,这些因素将会影响到集装箱堆场布置形态的选择。本文在深入分析目前国内已投产的典型全自动化码头工程相关因素的基础上,以垂直岸线布置的多泊位自动化集装箱码头为研究对象,利用 Flexterm 三维仿真,分析集装箱水-水中转集疏运比例对堆场布置形态选择的影响,以期为类似自动化码头工程的设计提供借鉴。

1 国内自动化集装箱码头工程典型装卸工艺系统

1.1 自动化装卸工艺模式

采用“双小车自动化岸桥+自动导引小车(AGV)+自动化轨道吊(ARMG)”自动化装卸工艺模式,即码头前沿装卸船作业采用双小车自动化岸桥,自动化堆场堆码垛作业采用自动化轨道吊,码头与堆场间的水平运输作业采用自动导引小车,堆场中的水平运输作业由自动化轨道吊完成,堆场与陆路集疏运闸口间的水平运输作业由港外普通集卡完成(图1)。

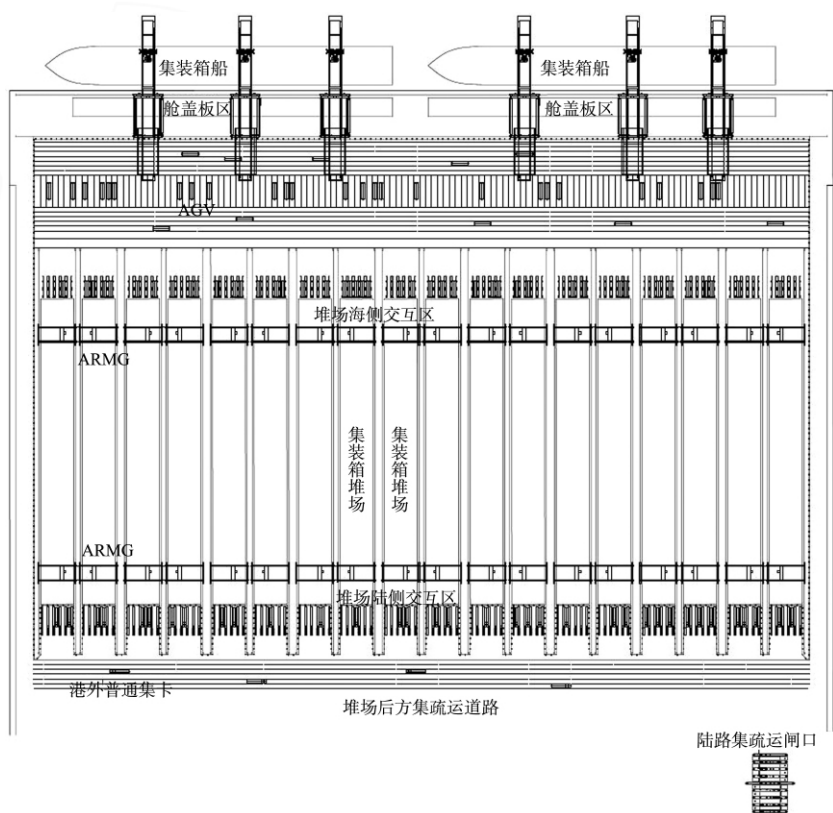


图1 国内自动化集装箱码头典型自动化装卸系统

1.2 装卸工艺布置

集装箱码头泊位岸线呈直线型,堆场采用垂直于码头岸线布置的形态。集装箱堆场每条箱区采用 ARMG 接力式对称布置,堆场两端分别设置海侧交互区和陆侧交互区。岸桥陆侧轨后方码头前沿作业地带及除陆侧交互区以外的整个集装箱堆场均采用围网隔离,形成封闭的自动化作业区。自动化

作业区与非自动化作业区相互隔离、交通分流。

1.3 集装箱在港区内转运流向

在泊位岸线呈直线型布置,且采用典型自动化集装箱装卸系统的自动化集装箱码头工程中,集装箱在港区内的主要流向包括“水路—堆场—陆路”直航和“水路—堆场—水路”中转两类。集装箱在港内的主要转运流向如图2所示。

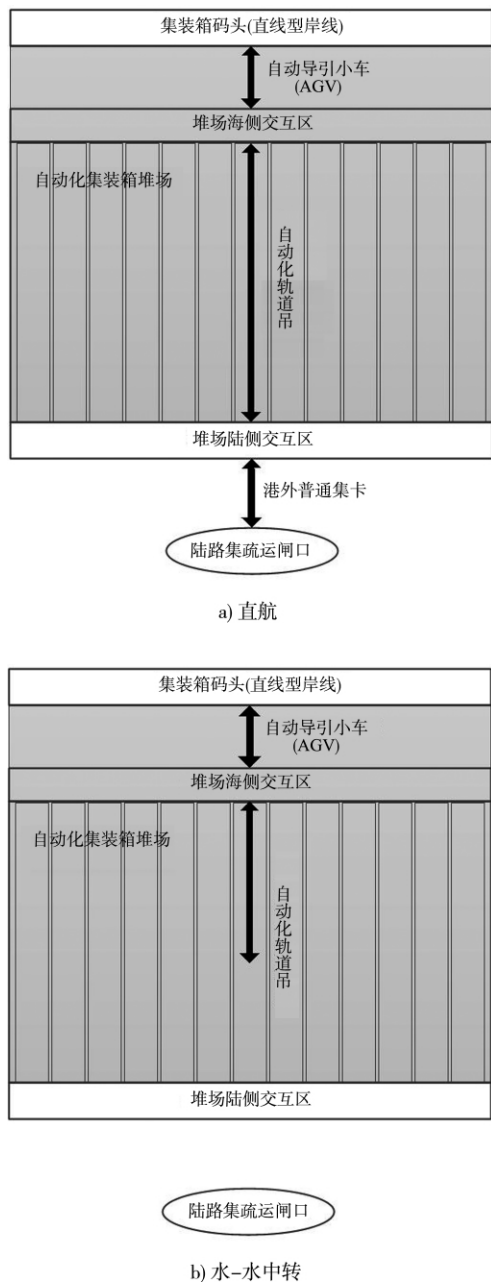


图2 直线型岸线自动化集装箱码头中集装箱港内转运流向

2 垂直岸线布置自动化集装箱码头模型

根据图2可知,对于泊位岸线呈直线型布置的自动化集装箱码头工程,堆场采用垂直于码头岸线的布置形态,可使水-水中转集装箱在港区内的转运作业始终限制在堆场海侧端和码头岸线之间的自动化作业区,作业效率高、耗能低且整个装卸工艺系统运作流畅。尽管在上海洋山四期工程

中水-水中转集装箱量占码头总吞吐量的比例高达50%,但是集装箱堆场采用垂直于码头岸线的布置形态仍具有良好的适应性。

如果水-水中转泊位岸线与主泊位岸线相互独立,呈一定的夹角(为方便模型化研究,考虑将此夹角定义为直角)布置,那么水-水中转集装箱在港内的转运流向与直线型岸线自动化集装箱码头将会有所不同,整个装卸系统运作的模式也将发生变化。此时,堆场布置形态对港内装卸系统中各环节水平运输设备的水平转运指标(包括运距和转运效率)将会产生一定的影响,特别是海侧端的AGV和陆侧端的港内普通集卡。

2.1 基本模型

为探究垂直岸线布置自动化集装箱码头中,水-水中转集装箱量占码头年吞吐量的比例(简称“水-水中转比例”)对集装箱堆场布置形态选择的影响,提出如下基本模型:

1) 水-水中转泊位岸线布置在主泊位岸线一侧,且岸线相互垂直。水-水中转集装箱全部经过水-水中转泊位岸线。

2) 港区自动化装卸作业区采用“双小车自动化岸桥+自动导引小车(AGV)+自动化轨道吊(ARMG)”的装卸工艺模式。

3) 集装箱堆场采用ARMG接力式对称布置形式。其中,海侧交互区与海轮泊位岸线间集装箱流转作业采用AGV;陆侧交互区与陆路集疏运闸口和驳船泊位岸线间集装箱的水平转运均采用内燃型普通集卡。堆场与驳船泊位岸线间普通集卡属港内集卡,其运距和转运效率指标均包括在仿真分析范围内;而陆路集疏运水平运输设备均属于港外设备,故其各项指标不包括在仿真分析的范围内。

垂直岸线布置自动化集装箱码头的基本模型如图3所示。

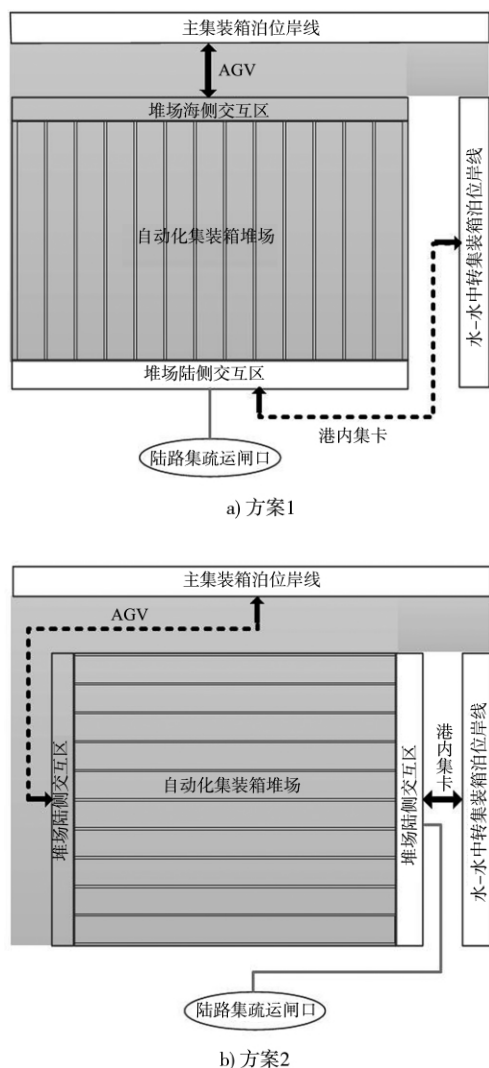


图3 垂直岸线布置自动化集装箱码头的基本模型

2.2 模型分析方案

1) 搭建基于2种自动化集装箱堆场布置形态的三维仿真模型。其中: 方案1为集装箱堆场垂直于主码头岸线布置方案, 方案2为集装箱堆场平行于主码头岸线布置方案。设定模型与集装箱运量流向相关的模型参数, 确保模型水-水中转比例符合设定。

2) 设定模型中装卸系统各项驱动参数, 制定码头前沿装卸船作业策略、堆场堆存策略、水平运输策略等, 确保模型运行逻辑符合集装箱自动化码头运行的实际情况。

3) 三维模型在约定周期内仿真运行。通过预设的各类运行结果指标输出形式, 提取模型仿真结果。本文模型仿真需关注的主要是港内水平运输作业设备(AGV和港内普通集卡)的相关技术指

标, 如在2种堆场布置形态方案中港内水平运输设备的总运距、码头前沿水平运输设备的周转效率等。

4) 调整约定的集装箱水-水中转比例, 重新调整模型中与集装箱运量流向相关的模型参数, 确保模型水-水中转比例符合新的设定值。维持2)中所设定的仿真模型相关驱动参数。三维模型重新在相同约定周期内仿真运行, 并提取相关仿真结果。

5) 通过多次调整水-水中转比例和调整模型驱动参数, 运行仿真模型, 提取获得多组结果数据。

2.3 模型分析边界条件

仿真分析的目标是得到不同水-水中转比例下2种堆场布置形态所引起的堆场海侧及陆侧交互作业端港内水平运输设备相关技术指标, 以评价不同水-水中转比例条件下2种堆场布置形态的适应性。为确保数据可对比性, 对仿真模型分析的边界条件^[3]做如下规定:

1) 三维模型的岸线布置形态一致, 各岸线泊位布置及数量相同。主岸线布置2个10万吨级泊位, 水-水中转岸线布置2个2万吨级泊位。各模型码头总的年通过能力均相同, 设为100万TEU/a。

2) 港区装卸系统运行区域面积相同。

3) 集装箱船舶到港频次和单船装卸箱量相同。

4) 堆场配置规模合适且相同。

5) 装卸系统设备配置相同(注: 本文中的仿真分析主要是将水平运输设备运距和其对转运效率的影响作为对堆场布置形态优劣评价的主要依据, 故认为港内设备配置只需满足各环节生产能力需求或略有富余。所有方案设备配置情况如下: 主岸线泊位配置6台双小车岸桥, AGV与双小车岸桥的配比为1:5; 水-水中转岸线配置4台轻型岸桥, 港内集卡与轻型岸桥配比为1:5; 堆场ARMG采用接力式对称布置, 根据堆场箱区布置, 每箱区配置2台ARMG), 装卸设备的作业效率及运行速度相同。

6) 同一种堆场布置形态下, 各设备的运行路径设定相同。

7) 水-水中转比例设定为25%、50%、75%, 分别作为3组模型的主变量条件。主岸线泊位与

水-水中转泊位岸线对应的运量如表1所示。

表1 不同水-水中转比例下各岸线泊位年运量

水-水中转 比例/%	泊位年运量/(万 TEU · a ⁻¹)	
	主岸线泊位	水-水中转岸线泊位
25	87.5	12.5
50	75.0	25.0
75	62.5	37.5

3 Flexterm 三维仿真分析

3.1 仿真分析流程

1) 确定待仿真的装卸系统平面布置图。根据既定的码头年吞吐量和水-水中转比例条件,利用公式法^[4]计算可满足使用要求的堆场规模,提出2种具有不同堆场布置形态的港区装卸工艺系统方案,包括配置合适数量的装卸作业设备、确定主要装卸工艺流程、确定装卸工艺平面布置。

2) 搭建三维仿真模型。利用 Flexterm 仿真平台按照拟定的2种布置方案,搭建对应的三维模型^[5]。

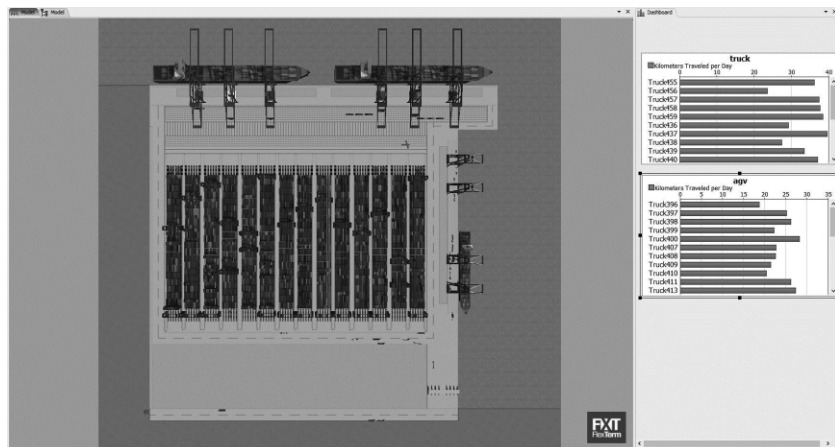
3) 设定模型运行驱动数据。根据自动化装卸作业的主要流程,设定能满足年运量需求的船舶到港频率和装卸箱量、堆场堆存策略、各类设备的运行路径及装卸设备作业效率等。

4) 仿真模型运行。设定模型仿真运行周期,利用仿真平台自身功能实现模型仿真运行。

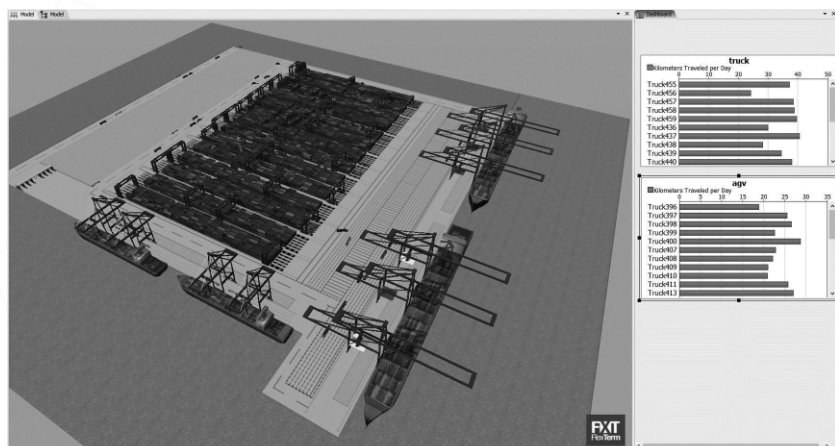
5) 提取仿真结果,作为港内主要水平运输设备的技术指标数据。

3.2 仿真模型搭建

根据已确定的能满足码头年运量需求的装卸工艺平面布置图及设备配置,利用 Flexterm 仿真平台中相关建模模块搭建2种堆场布置形态下的三维仿真模型(图4、5)。

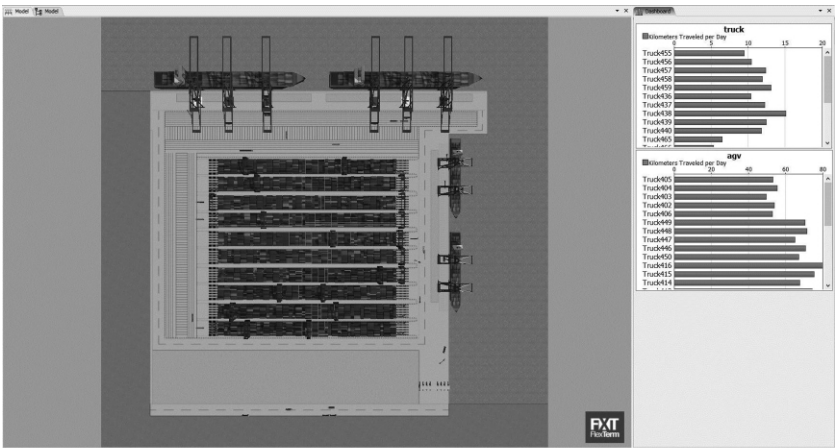


a) 平面

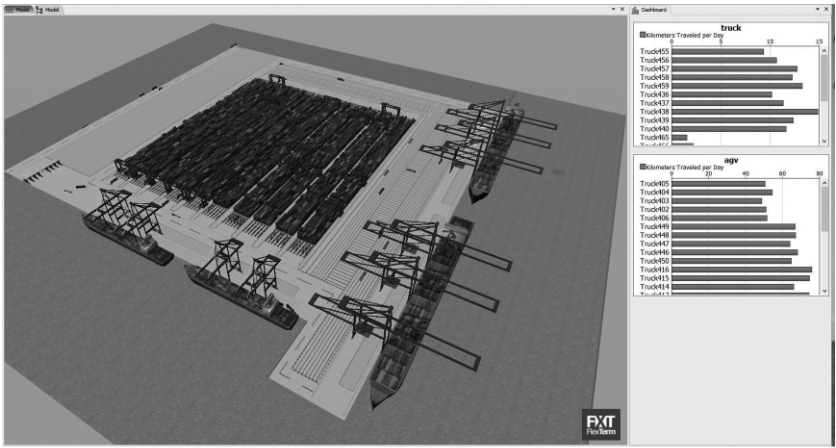


b) 三维

图4 方案1堆场垂直主岸线布置方案仿真模型



a) 平面



b) 三维

图 5 方案 2 堆场平行于主岸线布置方案仿真模型

4 仿真结果及分析

4.1 仿真结果提取

设定各模型的仿真运行周期为 1 a。仿真周期

结束后，提取不同水-水中转比例下各模型的仿真结果（表 2~4）。

表 2 码头泊位利用率

水-水中转比例/%	堆场垂直于主岸线布置利用率/%		堆场平行于主岸线布置利用率/%	
	主岸线泊位	水-水中转岸线泊位	主岸线泊位	水-水中转岸线泊位
25	57.88	9.73	69.46	11.28
50	42.17	18.73	50.79	19.01
75	34.26	27.53	41.28	28.13

表 3 各岸线泊位前沿作业设备平均等待水平运输设备时间占系统运行时间比例

水-水中转比例/%	堆场垂直于主岸线布置运行时间比例/%		堆场平行于主岸线布置运行时间比例/%	
	主岸线泊位	水-水中转岸线泊位	主岸线泊位	水-水中转岸线泊位
25	8.84	1.18	14.98	2.06
50	3.49	2.04	8.08	2.26
75	2.34	3.01	6.25	3.31

注：主岸线泊位前沿作业设备为岸桥，水平运输设备为 AGV；水-水中转岸线泊位前沿作业设备为轻型岸桥，水平运输设备为港内集卡。

表4 港内主要水平运输设备总运距

水-水中转比例/%	堆场垂直于主岸线布置总运距/万 km		堆场平行于主岸线布置总运距/万 km	
	AGV	港内集卡	AGV	港内集卡
25	16.248 75	9.311 88	48.912 50	3.258 75
50	13.995 00	18.382 50	42.067 50	6.642 50
75	11.543 75	26.767 50	34.500 00	9.993 75

4.2 仿真结果分析

1) 由表2和表3可知,在同一水-水中转比例下,堆场垂直于主岸线布置方案中主岸线泊位的利用率、岸桥等待AGV时间等指标均明显低于堆场平行于主岸线布置方案。造成该结果的主要原因是堆场垂直于主岸线布置的方案中AGV往返岸桥与堆场之间的运距较堆场平行于主岸线布置方案小,使得主岸线岸桥等待AGV的时间大大缩短,提高了主岸线泊位前沿装卸及车流周转效率。

堆场垂直于主岸线布置方案水-水中转岸线泊位利用率、轻型岸桥等待港内集卡时间均略低于堆场平行于主岸线布置方案,但相差不大。说明水-水中转岸线泊位作业设备和水平运输设备能力均有富余,港内集卡运距对水-水中转码头泊位吞吐能力的影响不大。

2) 由表4可知,在相同的水-水中转比例下,堆场垂直于主岸线布置方案中AGV的水平总运距均明显小于堆场平行于主岸线布置方案,堆场垂直于主岸线布置方案中港内集卡的水平总运距明显大于后者,基本符合堆场布置形态引起的2类水平运输设备运距变化的实际情况。倘若加入2类水平运输设备百公里平均能耗因素,则可以估算出2种堆场布置形态在不同水-水中转比例下水平运输作业的总能耗,即可作为堆场布置形态选择权衡的依据之一。

5 结语

1) 对于垂直岸线布置的自动化集装箱码头工程,在设备配置一定、水-水中转比例处于不同水平条件时,堆场垂直于主岸线布置方案在运距和

泊位前沿装卸及中转效率方面均优于堆场平行于主岸线布置方案。

2) 自动化堆场垂直于主岸线和自动化堆场平行于主岸线2种布置形态下,2类水平运输设备的能耗测算可在仿真分析结果的基础上进行预估,能耗对比可作为堆场布置形态选择权衡的依据之一。

3) 随着水-水中转比例逐渐增加,2种堆场布置形态方案下港内集卡的运距均呈不断增加的趋势。特别地,在堆场垂直于主岸线布置方案中,港内集卡运距在港内所有水平运输设备的总运距中占比增加尤为明显。由于港内集卡采用的是不太环保的内燃驱动形式,为达到节能减排的效果,装卸工艺系统设计时应尽量采取措施减少港内集卡的运距,例如可将靠近水-水中转岸线的部门堆场作为水-水中转集装箱的专用堆场。

参考文献:

- [1] 周春华.自动化码头发展趋势探究[J].科技创新与应用,2017(16):64-65.
- [2] 吴沙坪,何继红,罗勋杰.洋山四期自动化集装箱码头装卸工艺设计[J].水运工程,2016(9):159-162+166.
- [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] 中交水运规划设计院有限公司,中交第一航务工程勘察设计院有限公司.海港总体设计规范:JTS 165—2013[S].北京:人民交通出版社.
- [5] 郑鑫.基于Flexsim的集装箱堆场布局优化与仿真研究[D].北京:北京交通大学,2008.

(本文编辑 郭雪珍)