

# 在建传统集装箱码头自动化升级改造 装卸工艺设计

沈园

(福建省交通规划设计院有限公司, 福建 福州 350004)

**摘要:** 传统集装箱码头自动化升级改造已成为未来发展趋势。文章结合工程实例, 探讨了在建传统集装箱码头自动化升级改造思路与关键性技术。通过集装箱自动化工艺设备选型和工艺平面方案比选, 得出便于实施的装卸工艺方案。堆场与码头平行布置, 便于传统装卸工艺和自动化装卸工艺衔接过渡, 可为在建传统集装箱码头自动化升级改造提供思路和借鉴。

**关键词:** 传统集装箱码头; 自动化; 装卸工艺; 智能化

**中图分类号:** U656.135

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-7874(2019)04-0054-05

**doi:** 10.7640/zggwjs201904011

## Design of automatic upgrading and transformation handling technology for traditional container terminal under construction

SHEN Yuan

(Fujian Communications Planning &amp; Design Institute, Fuzhou Fujian 350004, China)

**Abstract:** Traditional container terminal automation upgrading has become the trend of future development. Combining with engineering examples, its automation upgrading strategy and key technologies of traditional container terminals under construction was discussed. Through the container automatic process equipment selection and the handling plane scheme comparison, the handling plane that is convenient to implement was obtained. The storage yard is arranged parallel to the wharf, which facilitates the connection and transition between the traditional handling technology and the automatic handling technology. It can provide some ideas and references for automatic upgrading and transformation of traditional container terminals under construction.

**Key words:** traditional container terminal; automation; handling technology; intelligent

### 0 引言

随着集装箱运输船舶日趋大型化, 人工智能、新能源等新技术快速发展, 以及现代港口对人力成本、安全、环保、节能和作业效率等要求不断提高, 自动化集装箱码头进入快速发展阶段。

纵观我国新建的自动化集装箱码头, 主要是区位优势、干线密集, 具有重要地位的枢纽港和

干线港, 其航运中心地位、强大的腹地经济以及相当规模的集装箱吞吐量和水转水的优势, 支持着高投入自动化港口建设。

对于传统集装箱码头, 由于其规模、地位、集疏运方式以及各港的现状条件不同, 自动化转型升级的路径、方式和规模控制有其独特性和差别性。在智能、绿色、安全、高效、节能建港理念下, 传统集装箱码头自动化升级改造已成为未来发展趋势。

目前对新建自动化集装箱码头<sup>[1-3]</sup>和传统已建集装箱码头自动化升级改造<sup>[4]</sup>研究较多, 而正在建

收稿日期: 2018-12-25 修回日期: 2019-01-28

作者简介: 沈园 (1961—), 女, 福建福州人, 高级工程师, 主要从事港口工程装卸工艺设计与咨询工作。

E-mail: shen\_y2004@163.com

设中的传统集装箱码头自动化升级改造研究还较少。在建传统集装箱码头自动化升级改造既区别于已投产的传统集装箱码头自动化升级改造,也不同于新建全自动化集装箱码头,是根据施工状况,对在建传统集装箱码头及时赋予人工智能理念,结合港区现状条件,应用先进技术和智能系统进行自动化升级改造。

## 1 改造工程总体思路

### 1.1 工程概况

某港区主要服务于产业腹地,其水-陆转运比例高达70%以上,顺岸布置7个5万吨级集装箱泊位,其中1~5号泊位已建成投产,6~7号泊位正在建设施工。装卸工艺模式<sup>[5]</sup>:单小车岸桥+集卡+ERTG。港区因良好的深水岸线开通了欧、美远洋航线,具有喂给港和枢纽港双重功能。面对持续增长的吞吐量和日趋大型化的集装箱船(充分利用深水岸线兼靠20万吨级集装箱船),以及人工智能技术向港口领域发展,在6~7号泊位码头结构已施工,后方堆场尚未形成的情况下及时自动化升级改造。

### 1.2 总体思路

在集装箱船舶大型化对海侧装卸效率有更高要求,以及运营方对港区相邻泊位统筹管理需求下,针对本工程水-陆转运比例高,陆侧装卸环节外集卡作业量大的特点,采用自动化码头平面布局模式:堆场与码头平行布置或堆场与码头垂直布置<sup>[6]</sup>。

根据运量、投资、相关技术发展等因素,近远期分期实施,降低初期投资,先期轨道吊和岸桥实现远程智能操控,实现半自动化,随着无人驾驶驾驶技术的成熟,再实现水平运输系统自动化。并相应配置生产自动化(智能)作业控制系统及硬件设备,实现传统码头为主的集装箱港区,传统装卸作业和自动化装卸作业衔接过渡,最终过渡全自动化码头。

## 2 自动化改造关键性技术

### 2.1 单小车岸桥改造

传统码头前沿装卸设备以单小车岸桥为主,自动化升级改造通过增设光纤传输,进行远程智能操控系统改造,实现一人多机远程操作,降低人工成本,改善人工工作环境。单小车岸桥前沿作业区在岸桥跨下,适应的水平运输设备为集卡和跨运车。本工程受已施工的码头结构限制,岸桥仍维持原设计选型,选择载重量65 t、前伸距

70 m单小车岸桥,搭载远程智能操控系统,实现远程操作。

### 2.2 堆场多种形式轨道吊应用选型

由于本工程堆场尚未施工,易于实现自动化的堆场先期自动化升级,成为此类工程升级改造的首选。而易于实现自动化、堆场利用率高,搭载远程智能操控系统的自动化轨道吊(ARMG),成为堆场自动化升级的首选设备。

ARMG有无悬臂、单悬臂、双悬臂3种形式。无悬臂ARMG适用于堆场端部设置交换区,水平运输设备不进入堆场,水-水中转比例高的自动化码头;单悬臂ARMG悬臂下需满足内外水平运输设备装卸作业,远期存在人工集卡和无人集卡同时作业现象,交通组织复杂;双悬臂ARMG符合本工程外集卡装卸作业量大,作业停靠位多的需求,两悬臂下一侧为外集卡作业车道,一侧为内集卡作业车道,内外集卡运行互不干扰。综合年通过能力、堆场作业能力、码头管理及能耗成本,双悬臂ARMG工艺也优于单悬臂ARMG工艺<sup>[7]</sup>。

### 2.3 水平运输设备的适用性

自动化水平运输系统主要受制于大量的随机路由决策和交通规划等智能问题<sup>[8]</sup>,以及高性能电池的高成本,因此水平运输系统成为目前传统码头自动化升级的瓶颈。目前自动化水平运输设备主要有AGV、堆一过一智能跨运车和无人驾驶智能集卡,AGV已成熟应用于自动化码头,但其地面磁钉定位系统和高成本并不适用于传统码头升级改造。

新一代智能跨运车实现了可自由切换的人工驾驶和无人驾驶双重操作,采用柴油机和电池混合动力,全分离系统,其自动驾驶、抓箱、放箱、运行等各种作业能力,与岸桥、轨道吊之间无需耦合的优势,在堆场中可实现机动、灵活、精准、高效作业。针对有陆侧外集卡交换区的垂直布置堆场,利用智能跨运车与ARMG、岸桥无需衔接的特点,可大大提高陆侧ARMG对外集卡的装卸效率,同时也提高装卸系统整体效率。但相比无人驾驶智能集卡,投资和维护成本较高。

对于传统码头自动化升级改造,集卡仍是较理想的水平运输设备,相对于未来无人驾驶智能集卡的广泛应用,起到承上启下的作用。针对平行布置堆场,外集卡可停靠箱区任何作业点,满足大量水-陆转运箱作业需求,并且无人驾驶智能集卡相对AGV和智能跨运车,具有投资和维护成

本低、作业范围广等优势。

### 3 装卸工艺平面布置方案

#### 3.1 码头前沿作业区

码头装卸设备维持原设计选型,采用单小车岸桥,因此前沿作业区在岸桥跨下,设置6条单向车道,水平运输设备选择集卡或跨运车。

#### 3.2 堆场与码头平行布置方案

根据运营方对相邻泊位路网、岸桥轨道衔接和资源共享的需求,以及外集卡装卸量大,需要更高外集卡装卸能力和更多外集卡停靠位,堆场采用与码头平行布置形式,海侧和陆侧主干道与相邻泊位衔接,不设置堆场端部交换区,内、外集卡均进入堆场作业,增加集卡装卸作业停靠位。集卡根据系统指令停靠任何指定箱位区域,由就近 ARMG 进行作业,ARMG 不需要承担集装箱水平运输,并根据系统指令灵活对内、外集卡作业,保持作业量的均衡分配。

堆场共布置 14 个箱区,箱区长约 600 m。每个箱区配置 3 台双悬臂 ARMG,提高堆场作业能力。箱区两端和中间设置 ARMG 检修区,在 2 个泊位分期实施阶段,中间检修区可作为近期水平运输道路。相邻 2 台 ARMG 轨道中心间距 17 m,悬臂下布置 2 条作业车道,中间 1 条行驶车道,内、外集卡分道集中布置,使悬臂下 3 条车道行驶方向一致,交通组织安全、顺畅。

岸桥与直接为海侧装卸系统服务的 ARMG 配置数量比大于 1:3,满足装卸大型船舶对装卸效率的要求<sup>[9]</sup>,同时仍有 ARMG 可对陆侧外集卡进行作业。堆场容量满足码头 100 万 TEU/a 吞吐量的堆存需求。

近期装卸工艺模式:单小车岸桥+人工集卡+双悬臂 ARMG。远期装卸工艺模式:单小车岸桥+无人驾驶智能集卡+双悬臂 ARMG。堆场与码头平行布置见图 1。

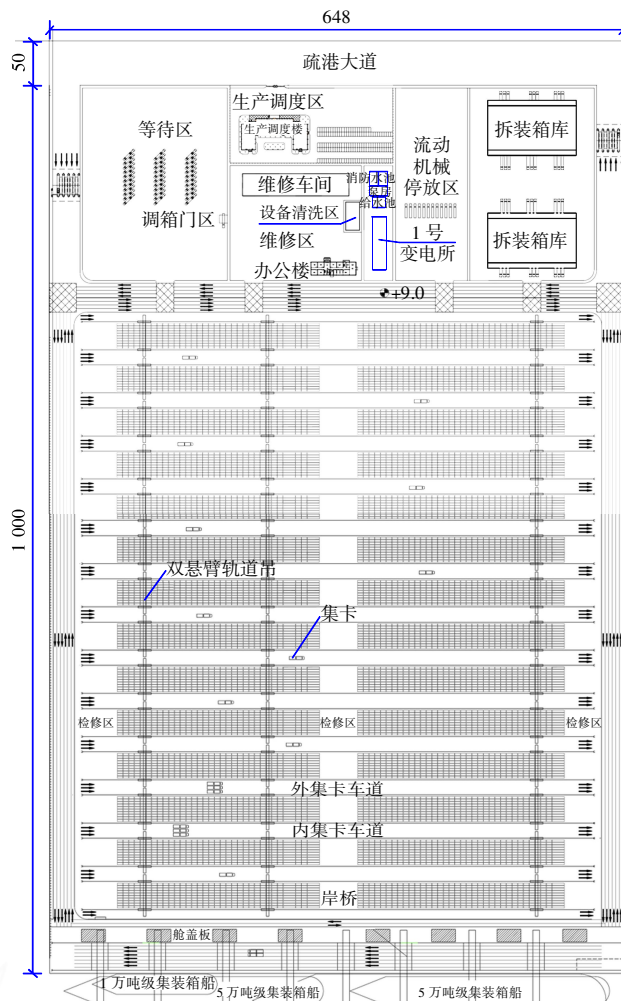


图 1 堆场与码头平行布置(m)

Fig. 1 Parallel arrangement of storage yard and terminal (m)

### 3.3 堆场与码头垂直布置方案

根据自动化集装箱堆场高效、封闭管理的理念,采用堆场与码头垂直布置形式,陆侧和海侧主干道、岸桥轨道与相邻泊位衔接。近期人工集卡进入堆场作业,远期堆场陆侧设置外集卡交换区,外集卡不进入堆场,为满足外集卡装卸量大的需求,水平运输选择可双向行驶的智能跨运车,外集卡集装箱由陆侧 ARMG 放置悬臂下地面,智能跨运车取箱运输至指定箱位区域,再由另一台 ARMG 堆存,没有设备之间耦合时间,减少了系统间相互制约,充分发挥智能跨运车和 ARMG 衔接上的优势。由于智能跨运车在堆场内走垂直路线,通过智能导向和定位系统,实现最佳运行路由和精准箱位定位,合理降低水平运输距离,减

少跨运车配置数量。

堆场共布置 12 个箱区,箱区长约 600 m,每个箱区配置 3 台双悬臂 ARMG,岸桥与直接为海侧装卸系统服务的 ARMG 配置数量比大于 1:3,满足装卸大型船舶对装卸效率的要求<sup>[3]</sup>,同时满足 ARMG 对陆侧外集卡进行作业。堆场容量满足码头 100 万 TEU/a 吞吐量的堆存需求。箱区两端和中间设置 ARMG 检修区。相邻 2 台 ARMG 悬臂下布置 2 条作业车道,1 条行驶车道,内、外集装箱运输分道集中布置。

近期装卸工艺模式:单小车岸桥+人工集卡+双悬臂 ARMG。远期装卸工艺模式:单小车岸桥+智能跨运车+双悬臂 ARMG。堆场与码头垂直布置见图 2。

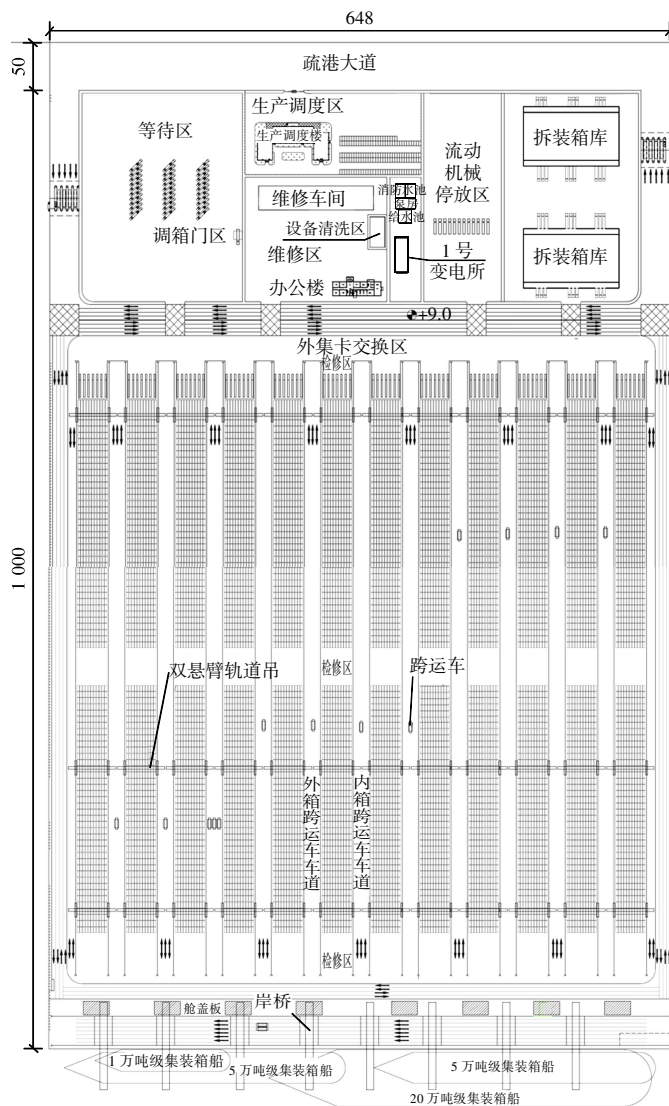


图 2 堆场与码头垂直布置(m)

Fig. 2 Vertical layout of storage yard and terminal (m)

### 3.4 方案特点分析成果

方案特点见表 1。

表 1 方案特点一览表

Table 1 List of scheme characteristics

堆场布置形式	平行	垂直
装卸工艺模式	岸桥+集卡+ARMG	岸桥+跨运车+ARMG
堆场通过能力/ (万 TEU·a <sup>-1</sup> )	111	115
ARMG 跨箱数	10	11
内部交换区	无	无
外集卡交换区	无	有
外集卡管理	复杂	简单
水平运输距离	长	短
港区统筹管理	容易统筹	相对独立
相邻码头拓展	难	易
装卸设备投资	低	高
自动化程度	易于实现半自动化	易于实现全自动化

#### 1) 平行布置方案特点

土建设施对人工集卡和无人驾驶智能集卡均可适用；外集卡装卸量大的适应性强；相邻泊位路网和堆场衔接，满足运营方对港区统筹规划的需求；合理利用资源，节省初期投资，可多阶段分期实施；先期实现 ARMG 和岸桥远程操控。

无人驾驶内集卡相对于路况简单的港区道路容易实现，对于受外部复杂路况影响的外集卡，无人驾驶外集卡难于一蹴而就，相当时期内堆场存在集卡自动化和非自动化共存现象，因此适用于在建传统码头先期实现半自动化。随着 5G 时代的到来，人工智能、大数据技术实现跨越式发展，未来北斗导航定位系统的高精度定位服务于自动驾驶，智能化程度和定位精度更高，成本更低，水平运输更加安全可靠，再择机实现全自动化码头。

#### 2) 垂直布置方案特点

堆场布置相对独立，堆场陆侧可设置外集卡交换区；外集卡不进入堆场，更适应堆场自动化封闭管理；只需增加箱区，相邻泊位可连续发展，适应多泊位延续建设。

智能跨运车与岸桥、ARMG 无需衔接的优势，显著提高装卸系统整体效率，解决外集卡装卸量大的问题，但近期半自动化阶段，采用人工集卡作业，水平运输距离较长，影响整体装卸效率。垂直布置堆场封闭管理，装卸工艺系统易于实现自动化，更适用于此类传统码头直接改建全自动化码头，但也存在初期投资高的问题。

### 3) 分析比选成果

本港区 1~5 号泊位均为传统集装箱码头，根据运营方对港区统筹规划的需求，6~7 号泊位堆场布置需充分考虑相邻泊位的衔接，资源共享，分期实施，节省初期投资等因素，堆场平行布置方案满足了上述需求，并可相应带动已建泊位的自动化升级，从投资的角度，该方案也更易于分期实施，从半自动化码头过渡全自动化码头。

### 4 结语

1) 建设中的传统码头比已建成的传统码头，更有利于自动化升级，但与新建全自动化码头相比，又需要用智能化理念去解决传统码头存在的问题。对于以传统码头为主的集装箱港区，自动化升级改造无法绕开现存的平面布置尺寸、设备选型等许多工艺问题。堆场与码头平行布置工艺方案，便于传统装卸工艺和自动化装卸工艺衔接过渡，更适合需要与相邻码头资源共享、初期投资省、可分期实施的在建传统集装箱码头自动化升级改造。

2) 对于未来需连续建设多个自动化集装箱泊位的港区，堆场与码头垂直布置工艺方案充分体现了自动化泊位延续建设的合理性和低成本。水平运输智能跨运车具有的自主抓箱、放箱、运行等各种作业能力，以及与岸桥、轨道吊之间无需耦合的优势，相比无人驾驶智能集卡，作业更加灵活，系统效率更高。随着未来智能跨运车技术发展和成熟，堆场与码头垂直布置，水平运输采用智能跨运车，将是全自动化码头未来可发展的方向。

#### 参考文献：

- [1] 程泽坤,刘广红,何继红. 洋山港四期全自动化集装箱码头总体布置创新[J]. 中国港湾建设,2016,36(10):1-7.  
CHENG Ze-kun, LIU Guang-hong, HE Ji-hong. Innovation on general layout of fully-automated container terminal in Yangshan Port phase IV project[J]. China Harbour Engineering, 2016, 36(10): 1-7.
- [2] 何继红,林浩,姜桥. 自动化集装箱码头装卸工艺设计[J]. 中国港湾建设,2016,36(4):67-70.  
HE Ji-hong, LIN Hao, JIANG Qiao. Design of handling technology for automated container terminal[J]. China Harbour Engineering, 2016, 36(4): 67-70.
- [3] 刘广红,何继红,丁飞虎. 全自动化集装箱港区交通组织设计[J]. 中国港湾建设,2015,35(12):71-76.  
LIU Guang-hong, HE Ji-hong, DING Fei-hu. Traffic organization design of fully-automated container ports[J]. China Harbour Engineering, 2015, 35(12): 71-76.

(下转第 62 页)

表1 主测线与检查线水深比对统计表

Table 1 The comparison of water depth between main and detection lines

对比项目	水深互差/cm				
	≤10	10~20	20~30	30~40	>40
点数	81	67	33	19	5
百分比/%	39.5	32.7	19.7	8.0	2.7

在水深互差统计的过程中发现在坡度较大处的两者差值明显较大,说明地形变化越剧烈,两种方法的水深差异越大。分析原因为在地形变化剧烈区域定位精度、测船姿态及波束角影响对测深的影响较大。

### 3 结语

为检测落成洲整治建筑物水毁情况,采用 RESON SeaBat T20-P 多波束测深系统结合 GNSS-RTK 实时定位技术对水下整治建筑物进行了扫测,获取了水下整治建筑物真实地貌图,实现了隐蔽工程检测的可视化与量化。主要结论如下:

1) 通过单波束与多波束水深互差的统计分析,两种方法的水深差异满足规范要求,证明利用多波束测深系统进行水下整治建筑物检测的方法是可行的,能够保证检测精度。

2) 多波束较传统单波束断面检测方法,因其具有高数据密度的特性,可获取到更多的信息量,更容易发现局部冲刷与坍塌等安全隐患,从多波束地貌图还可以直观地看出排体边缘线及相邻排体之间的搭界情况,可更好地指导水下整治建筑

物维护工作。

### 参考文献:

- [1] 陈存扩. 航道整治铺排测量定位技术[J]. 水运工程, 2016(11): 13-17, 24.  
CHEN Cun-kuo. Mattress-laying measurement & positioning technology for waterway regulation[J]. Port & Waterway Engineering, 2016(11): 13-17, 24.
- [2] 舒晓明, 曹树青, 梁向棋, 等. 多波束水深测量与 GPS-RTK 高程测量比测研究[J]. 人民长江, 2016, 47(s1): 50-52.  
SHU Xiao-ming, CAO Shu-qing, LIANG Xiang-qi, et al. Study on comparison of multi-beam bathymetry and GPS-RTK elevation survey[J]. Yangtze River, 2016, 47(s1): 50-52.
- [3] 周良玉. 多波束检测技术在长江深水航道和畅洲整治工程中的应用[J]. 水运工程, 2017(2): 1-7.  
ZHOU Liang-yu. Multi-beam detection technology in the Yangtze River deepwater channel Hechangzhou regulation project[J]. Port & Waterway Engineering, 2017(2): 1-7.
- [4] 潘满, 何波. RTK 三维多波束水深测量在港珠澳大桥岛隧工程中的应用[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(7): 5-8.  
PAN Man, HE Bo. Application of RTK three-dimensional multi-beam bathymetry for island and tunnel project of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge[J]. China Harbour Engineering, 2016, 36(7): 5-8.
- [5] 王建忠, 王玉龙. 多波束与 RTK 三维水深测量技术的联合应用[J]. 测绘工程, 2014, 23(4): 65-68.  
WANG Jian-zhong, WANG Yu-long. Multi-beam sounding system and RTK three-dimensional bathymetric survey technology [J]. Engineering of Survey and Mapping, 2014, 23(4): 65-68.
- [6] JT/T 790—2010, 多波束测深系统测量技术要求[S].  
JT/T 790—2010, Technical requirements for multibeam echosounder system surveying[S].
- [4] 黄良丰, 顾卡杰. 传统集装箱码头自动化探索与实践[J]. 中国港口, 2018(6): 62-64.  
HUANG Liang-feng, GU Ka-jie. Automated exploration and practice of traditional container terminals[J]. China Ports, 2018(6): 62-64.
- [5] 福建省交通规划设计院. 福州港江阴港区 6#、7# 泊位扩能改造工程设计文件[R]. 2018.  
Fujian Communications Planning & Design Institute. Design document for capacity expansion of berths No.6 and No.7 in Jiangyin bay of Fuzhou Ports[R]. 2018.
- [6] 刘广红, 程泽坤, 林浩. 自动化集装箱码头总体布置[J]. 水运工程, 2015(2): 101-107.  
LIU Guang-hong, CHENG Ze-kun, LIN Hao. General layout of automated container terminal[J]. Port & Waterway Engineering, 2015(2): 101-107.
- [7] 张清波, 匡家喜, 张雨婷. 传统集装箱码头向自动化码头改造仿真分析[J]. 水运工程, 2017(5): 138-142, 156.  
ZHANG Qing-bo, KUANG Jia-xi, ZHANG Yu-ting. Simulation analysis of renovation project for turning traditional container terminal into automated one[J]. Port & Waterway Engineering, 2017(5): 138-142, 156.
- [8] 何继红. 自动化集装箱码头装卸工艺系统应用现状与展望[J]. 水运工程, 2018(6): 199-203.  
HE Ji-hong. Application and development trend of handling process system in automated container terminal[J]. Port & Waterway Engineering, 2018(6): 199-203.
- [9] 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.  
WU Sha-ping, HE Ji-hong, LUO Xun-jie. Handling technology design for automated container terminal of Yangshan deepwater port phase IV project[J]. Port & Waterway Engineering, 2016(9): 159-162, 166.

(上接第 58 页)