

· 港口 ·



罗泾港区自动化集装箱堆场布置模式特点

郑科¹, 汪锋², 龙友², 刘成鑫²

(1. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 自动化集装箱堆场是自动化码头的重要组成部分, 合理布置自动化集装箱堆场对码头综合通过能力、装卸效率和营运成本等将产生积极影响。根据罗泾港区自动化集装箱码头改造工程水域岸线利用方案、陆域资源条件及运营特点, 对其自动化集装箱堆场布置模式开展系统研究, 提出堆场作业线平行于码头布置模式、自动化智能运输车(automated intelligent vehicle, AIV)进入堆场作业, 堆场作业采用单悬臂+双悬臂自动化轨道式集装箱龙门起重机(automated rail-mounted gantry crane, ARMG)组合方案, 前方单悬臂 ARMG 作业区内外集卡采取物理围网隔离, 后方双悬臂 ARMG 作业区采取内外集卡分道行驶+作业线末端 P 形路径掉头的模式实现隔离。该布置模式堆场设备利用率高、建设及运营成本低、陆域面积利用充分、车流组织高效, 对类似集装箱码头建设和传统集装箱码头自动化升级改造具有借鉴意义。

关键词: 自动化集装箱堆场; 横向布置; 垂直布置; 组合模式; 内外集卡隔离模式

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0034-07

Characteristics of automated container yards layout in Luoqing port area

ZHENG Ke¹, WANG Feng², LONG You², LIU Chengxin²

(1. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The automated container yard is a crucial component of automated terminals. Rational layout of automated container yard will have a positive impact on the comprehensive throughput capacity, operation efficiency and operating costs of the terminal. Based on the utilization plan for water area shoreline, land resources, and operational characteristics of automated container terminal renovation project in Luoqing port area, a systematic study is conducted on the layout model of its automated container yard. The proposed layout mode includes arranging the yard operation lines parallel to the quay, allowing automated intelligent vehicles to enter the yard for operations. The yard operation adopts a combination of single-arm and double-arm automated rail-mounted gantry cranes (ARMGs). In the front single-arm ARMG operation area, trucks are physically isolated by a fence, while in the rear double-arm ARMG operation area, isolation is achieved through separate lanes for internal and external trucks plus a P-shaped path at the end of the operation line for turning around. This layout mode features high equipment utilization, low construction and operational costs, efficient use of land area, and effective traffic organization. It offers reference value for the construction of similar container terminals and the automation upgrade of traditional container terminals.

Keywords: automated container yard; lateral layout; vertical layout; combined mode; isolation of internal and external truck

国内自动化集装箱码头建设始于 2014 年厦门远海码头的全自动化改造, 多年来, 通过自主研发创新和技术突破, 国内自动化集装箱码头建设得到迅速发展, 形成了多种集装箱码头自动化解决方案。当前已建和在建的自动化集装箱码头装

卸作业模式基本可归为两大类, 即场桥轨道端装卸的自动化集装箱码头(堆场作业线垂直于码头岸线布置, 简称垂直布置)和场桥轨(跑)道边装卸的自动化集装箱码头(堆场作业线平行于码头岸线布置, 简称横向布置)^[1-2]。

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 郑科(1980—), 男, 高级工程师, 研究方向为工程管理。

布置模式和垂直布置模式总平面布置见图 2。横向布置方案车流交叉少、车流组织高效,堆场设备配置成本、运行能耗、运营成本低,AIV 进入堆场作业,堆场设备利用率高、运营灵活,能够较好适应工程水水中转比例高的运营特点。综合考虑,自动化堆场采取堆场横向布置模式。比选情况见表 1。

自动化集装箱堆场是自动化码头的重要组成部分,合理地布置自动化集装箱堆场对码头综合通过能力、装卸效率和运营成本等将产生积极影响^[7]。根据罗泾港区水、陆域资源特点、运营要求、水域岸线利用方案,对堆场作业线横向布置和堆场作业线垂直布置方案进行系统研究。横向

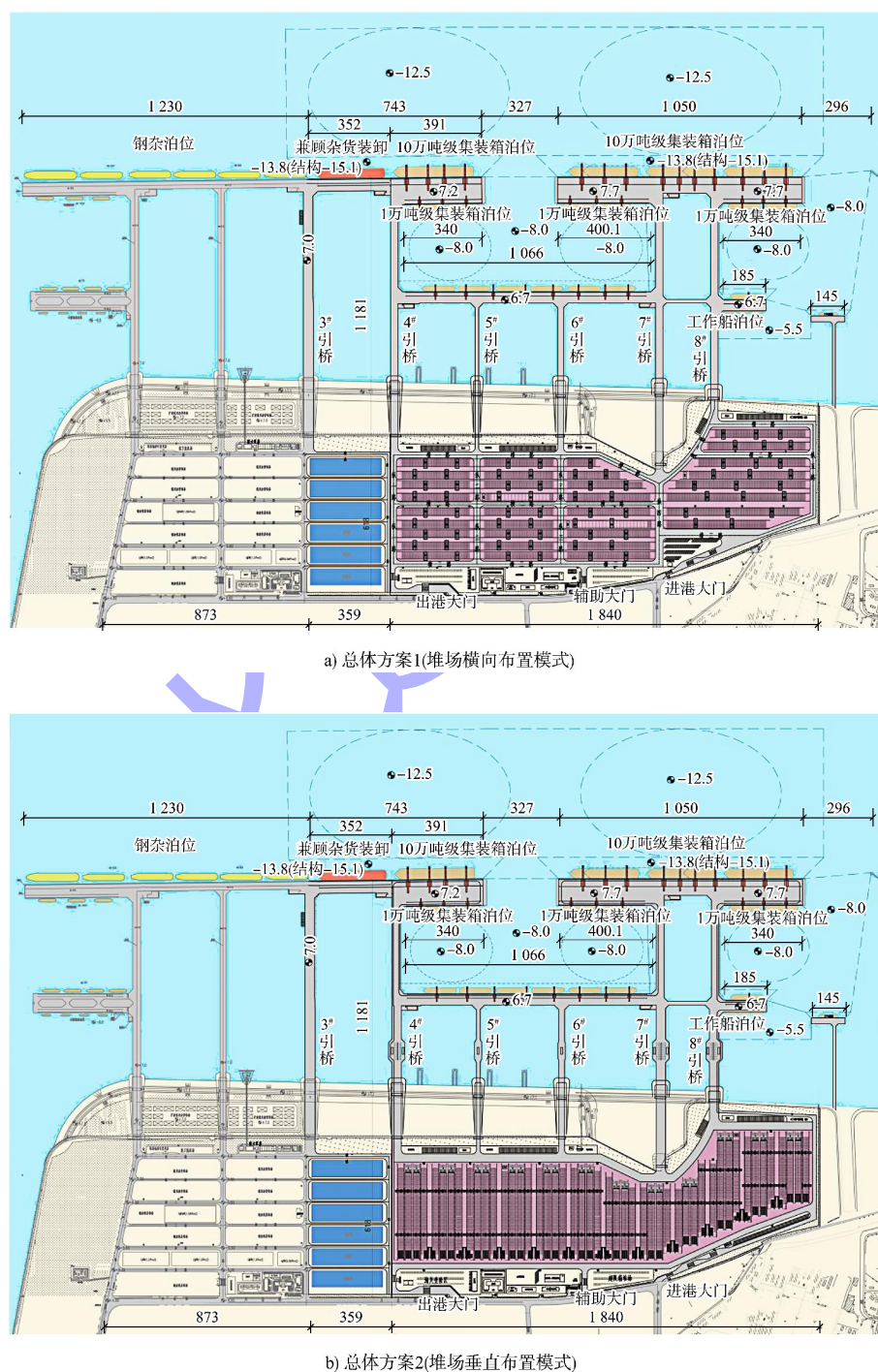


图 2 两种方案总平面布置 (高程: m; 尺寸: m)

Fig. 2 Overall layout of the two schemes (elevation: m; dimension: m)

表 1 堆场布置模式总体规划方案对比
Tab. 1 Comparison of overall planning schemes for yard layout arrangement

总体方案	方案简述	岸线利用	堆场箱位数/TEU	AIV 数量/台	单箱投资 (元·TEU ⁻¹)
方案 1 (横向布置)	口门分开、堆场横向布置,大码头岸线分离式布置。堆场布置 9 条/8 条(西侧/东侧)自动化轨道吊作业线,水平运输采用 AIV,进入箱区作业	岸线“一线三用”,码头分前、后、内档 3 档布置,码头与堆场通过栈桥连接	20 608	277	1 875
方案 2 (垂直布置)	口门分开、堆场垂直布置,大码头岸线分离式布置。堆场共布置 48 条自动化轨道吊作业线,为适应工程水水中转比例高的作业要求,布置 24 条单悬臂轨道吊作业线,水平运输设备采用 AIV,在交接区和单悬臂通道下作业		20 683	242	1 920

总体方案	直接生产人员数量/人	水水中转比例高适应性	车流组织	堆场设备利用
方案 1 (横向布置)	573	水平运输设备进入堆场作业,水水中转作业模式时,AIV 可根据需要与堆场配备的所有 ARMG 交互作业,堆场 ARMG 作业均衡,运营灵活,能较好适应水水中转比例高的运营特点	上下引桥车流可分流到陆域横向通道中,陆域通道选择多、车流分散、车辆组织高效	水平运输设备进入堆场作业,堆场设备利用率高,配备数量少,ARMG 行走距离短、能耗低。 总体方案配备 76 台 ARMG
方案 2 (垂直布置)	541	水水中转作业模式时,AIV 只能与堆场海侧端的 ARMG 交互或与单悬臂 ARMG 在通道内交互,陆侧端配置的堆场 ARMG 作业不均衡,不适应水水中转比例高的运营特点	上下引桥车流在横一路集中、拐弯多、存在交叉;为适应水水中转比例高的运营要求,部分内集卡需进入单悬臂通道或至陆侧交接区作业,车辆存在绕行、交叉	水平运输设备主要在海陆侧端交接区作业,堆场设备设备不均衡、利用率稍低,ARMG 大机设备需带箱高速运行、能耗高。 总体方案配备 88 台 ARMG

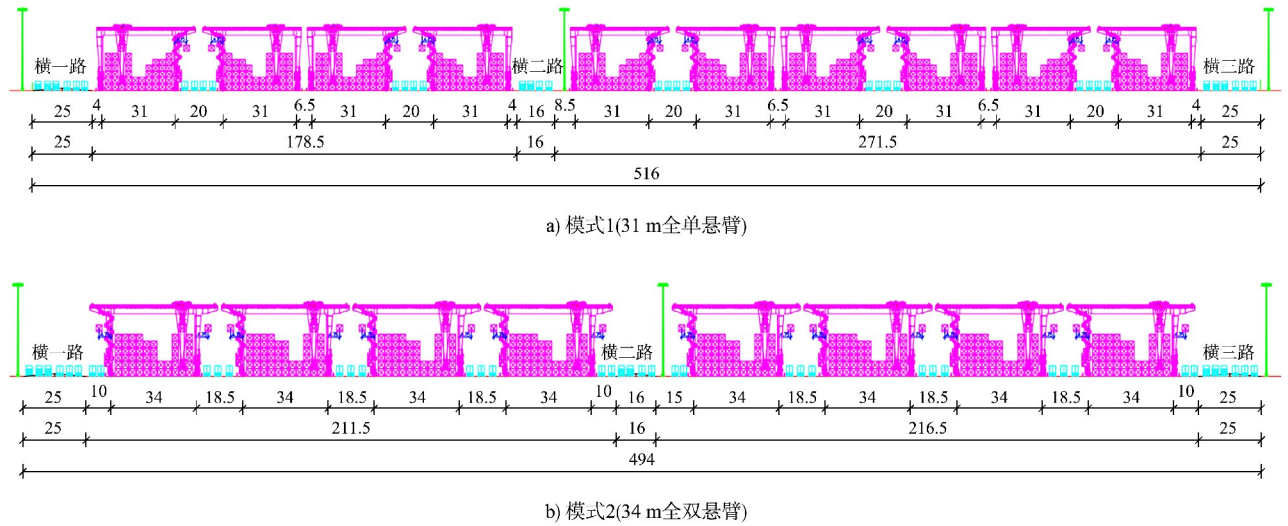
2.2 堆场布置模式特点

在堆场横向布置模式下,罗泾港区自动化集装箱堆场采用“前方单悬臂 ARMG+后方双悬臂 ARMG”组合布置方案,该布局模式特点如下。

2.2.1 堆场通过能力高,水平运输顺畅

针对陆域资源条件,为充分利用堆场纵深,最大化布置堆场容量,并考虑堆场通道数要求,对堆场采取不同跨距的全单悬臂、全双悬臂及“单悬臂+双悬臂”组合方案,进行全覆盖研究,提出

4 种堆场模式进行综合比选,见图 3。①模式 1,堆场布置采用 31 m 全单悬臂布置模式;②模式 2,堆场布置采用 34 m 全双悬臂布置模式;③模式 3,堆场布置采用“单悬臂+双悬臂”组合模式,前方布置 3 条 34 m 单悬臂作业线、后方布置 5 条 37 m 双悬臂作业线;④模式 4,堆场布置采用“单悬臂+双悬臂”组合模式,前方布置 4 条 34 m 单悬臂作业线、后方布置 4 条 37 m 双悬臂作业线。



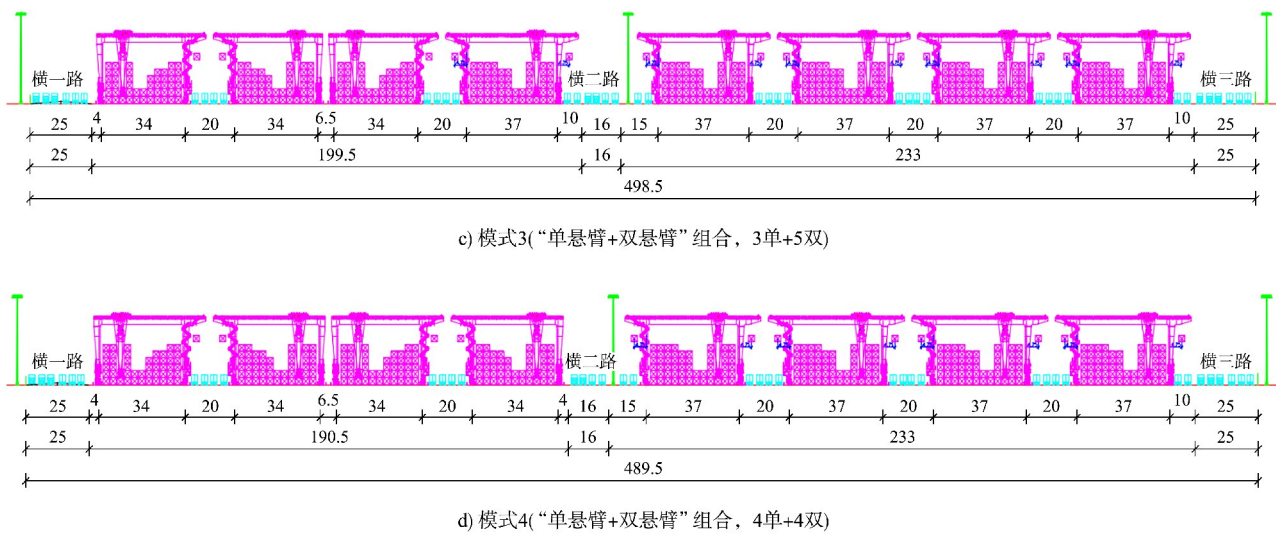


图 3 不同堆场模式布置 (单位: m)

Fig. 3 Layout of different storage yard modes (unit: m)

采取全单悬臂布置模式，堆场布置箱位数多，但堆场通道数少，港内 AIV 与外集卡交互便利性差，不利于水平运输设备及堆场设备效率的高效发挥；采取全双悬臂布置模式，堆场通道数多、内集卡和外集卡可在两侧悬臂下分道行驶，堆场运营灵活性好、适应性强，港内 AIV 与外集卡交互便利性好，但堆场箱位数稍低，堆场综合通过能力低；采取“单悬臂+双悬臂”组合布置模式，堆

场箱位数与水平运输通道数平衡较好，堆场纵深利用充分，前方堆场可封闭运营，承担水水中转运输的 AIV 进入前方堆场，车流组织效率高，后方堆场布置双悬臂作业线，兼顾了堆场运营灵活性、适应性要求。

综上考虑，工程堆场布置模式采用“单悬臂+双悬臂”组合模式，不同堆场布置模式对比结果见表 2。

表 2 不同堆场布置模式对比结果

Tab. 2 Comparison result of different storage yard layout

堆场模式	占用陆域纵深/m	纵深方向作业线数/条	作业通道数/条	通行通道数/条	布置地面箱位数/TEU	前方水水中转箱位数/TEU
模式 1	516.0	10	10	36	13 970	5 210
模式 2	494.0	8	16	42	12 353	5 885
模式 3	498.5	8	13	42	12 710	5 798
模式 4	489.5	8	12	40	12 566	5 654

2.2.2 堆场运营灵活、适应性强

堆场采取“单悬臂+双悬臂”组合布置模式，前方堆场为水水中转箱位区。为确定合理的前方单悬臂堆场作业线数，对工程水水中转比例情况及发展趋势进行研究。

工程以服务内贸集装箱运输为主，兼顾近洋集装箱运输，参考上海港目前内贸港区及外贸港区的水水中转比例，对不同内外贸组合比例进行分析。在 70%内贸+30%外贸模式下，所需前方水水中转箱位数为 3 448 TEU；在 50%内贸+50%外贸模式下，所需前方水水中转箱位数为 3 532 TEU。

不同内外贸模式下堆场所需箱位测算结果见表 3。

表 3 不同内外贸模式下堆场所需箱位测算结果

Tab. 3 Required number of containers under different modes of domestic and foreign trade

模式		水水中转箱位/ TEU	本地箱位/ TEU	合计/ TEU
70%内贸+ 30%外贸	外贸	1 123	2 936	4 059
	内贸	2 325	1 993	4 318
	小计	3 448	4 929	8 377
50%内贸+ 50%外贸	外贸	1 871	4 893	6 764
	内贸	1 661	1 424	3 085
	小计	3 532	6 317	9 849

根据水水中转箱所需地面箱位计算结果, 布置 3 条单悬臂箱条可以满足要求。从运营角度预测, 未来外贸比例有提升要求, 届时港区总体水水中转比例会适当下降。综合考虑, 工程堆场布置模式推荐采取“34 m 轨距单悬臂 ARMG+37 m 轨距双悬臂 ARMG 组合方案”布置模式, 前方布置 3 条 34 m 单悬臂作业线、后方布置 5 条 37 m 双悬臂作业线。

2.2.3 解决了内外集卡作业交互隔离问题

在现有法律法规不允许内外集卡完全混行的情况下, 合理选择隔离模式是全自动化集装箱堆场设计中需要解决的关键问题之一。目前常见的全自动化集装箱堆场内、外集卡隔离模式包括“垂直布置+端部交接”的空间物理隔离模式、“水平布置+边装卸”的硬隔离模式(U 形布置和端部 P 形掉头模式)和软隔离模式(空间+时间隔离模式)两大类隔离模式^[8-10]。

工程堆场前方单悬臂作业线只考虑 AIV(内集卡)装卸作业, 内外集卡运行区采用物理围网进行

隔离, 其中单悬臂作业线及纵二路、纵四路为内集卡 AIV 的运行区; 后方双悬臂作业线内、外集卡近期采用隔离运行模式, 对纵向路隔离、外集卡 U 形路径隔离、外集卡 P 形路径隔离 3 种隔离方式进行研究, 从箱容量、行车效率及远期内外集卡混行后堆场布置的适应性等因素进行比选, 确定采用 P 形路径隔离方案。

在双悬臂作业线区域, 内、外集卡分别在两悬臂下运行, 实现内外集卡作业区域隔离, 外集卡主要在纵一路和纵三路区域运行, 在作业线末端进行 P 形路径掉头的模式。内外集卡分别从箱区两端进出。外集卡在堆场内部装卸行驶轨迹呈 P 字形, 在箱区端部共布置 6 处掉头区, AIV 在箱区间采用往返式行驶路径。罗泾自动化集装箱堆场内外集卡行驶路径见图 4。后方双悬臂作业线采用 P 形路径隔离方案, 基本不改变堆场布置方案和新增相关设施, 仅通过道路堆场划线结合端部 P 形掉头方式, 实现内、外集卡的隔离运行, 未来具备内、外集卡混行条件后, 堆场端部掉头区可继续堆存集装箱。

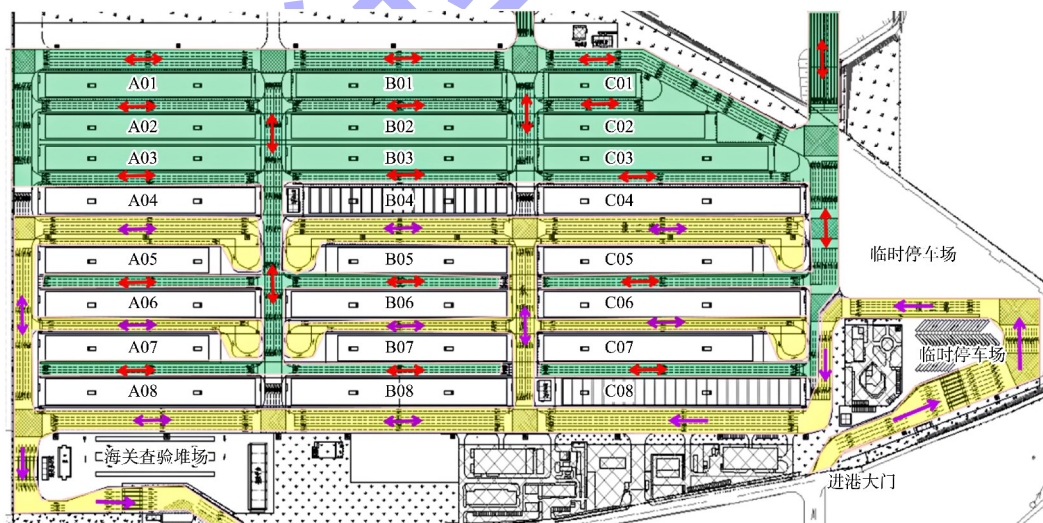


图 4 罗泾自动化堆场内外集卡行驶路径

Fig. 4 Driving routes of container trucks within and outside Luo Jing automated yard

3 结语

1) 集装箱港区自动化堆场模式的选择需根据港口功能定位、码头规模、水域岸线利用方案、场地条件、运营管理要求和经济性等综合分析研

究确定。

2) 罗泾改造一期工程为旧码头系统化改造项目, 根据水、陆域现状资源条件及工程水域岸线利用方案, 自动化堆场采取横向布置模式、水平

运输设备(AIV)进入堆场作业,堆场作业采用单悬臂+双悬臂 ARMG 组合方案,该布置模式堆场设备利用率高、建设及运营成本低、陆域面积利用充分、车流组织高效,项目投产后能够较好地适应工程运营特点及水平运输交通组织高效的要求。

3) 在如何充分利用陆域纵深、处理好堆场堆场通过能力和水平运输高效之间的平衡、有效降低建设运营成本以及智能集卡与人工集卡的交互解决方案等方面,进行了较好地探索,对类似集装箱码头建设和传统集装箱码头自动化升级改造具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 自动化集装箱码头设计规范: JTS/T 174—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.
- Design code of automated container terminal: JTS/T 174-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.
- [2] 张立斌, 王沈元, 林奎, 等. 集装箱码头自动化堆场布置及设备方案选择[J]. 水运工程, 2021(10): 148-154.
- ZHANG L B, WANG S Y, LIN K, et al. Layout and equipment scheme selection of automated yard in container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2021(10): 148-154.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Preliminary design for phase I container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [4] 罗勋杰. 全自动化集装箱码头水平运输方式对比[J]. 水运工程, 2016(9): 76-82.
- LUO X J. Comparison of horizon transportation system of full automatic container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 76-82.
- [5] 罗勋杰. 全自动化集装箱码头关键装备技术与发展[J]. 港口装卸, 2019(1): 1-5.
- LUO X J. Key technologies and development of fully automatic container terminals[J]. Port operation, 2019(1): 1-5.
- [6] 麦宇雄, 刘洋, 梁浩. 自动化集装箱码头平面与工艺总体布局现状与发展趋势[J]. 水运工程, 2022(10): 1-7.
- MAI Y X, LIU Y, LIANG H. Current status and development trend of plane and process overall layout for automated container terminals [J]. Port & waterway engineering, 2022(10): 1-7.
- [7] 王施恩, 何继红, 林浩, 等. 自动化集装箱码头堆场布置新模式[J]. 水运工程, 2016(9): 23-26, 45.
- WANG S E, HE J H, LIN H, et al. New mode for yard layout of automated container terminal[J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 23-26, 45.
- [8] 高延辉, 陈培, 张煜, 等. 天津港北港池 C 段自动化集装箱码头总体布置设计[J]. 水运工程, 2022(6): 78-83, 105.
- GAO Y H, CHEN P, ZHANG Y, et al. General layout design of automated container terminals in section C of North Basin of Tianjin Port [J]. Port & waterway engineering, 2022(6): 78-83, 105.
- [9] 黄炳林, 丘耀桦. 广州港南沙港区四期工程平面布置要点[J]. 水运工程, 2022(10): 53-58.
- HUANG B L, QIU Y H. Key points of general layout for Phase IV project of Nansha Port Area in Guangzhou Port[J]. Port & waterway engineering, 2022(10): 53-58.
- [10] 耿卫宁, 宋海涛. 自动化集装箱码头堆场布局[J]. 水运工程, 2025(2): 81-88.
- GENG W N, SONG H T. Layout of automated container terminal yard[J]. Port & waterway engineering, 2025(2): 81-88.

(本文编辑 王传瑜)