



## 复杂地形条件下自动化集装箱码头总体布局\*

周娜, 施晓迪, 唐照评

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 针对盐田港东作业区超大型泊位单艘船装卸量大、装卸效率要求高、陆域形态不规则、水陆转运比例高以及多边界、复杂地形条件导致港区总体布局难度大的问题, 研究自动化集装箱码头总体布局的关键因素并评估其重要性。结合工程特点, 提出“自动化双小车岸桥+无人驾驶集卡+自动化双悬臂轨道吊、堆场平行码头前沿线布置、侧面装卸”的自动化布局和多级智能闸口布置模式, 场地适应性强, 自动化程度高, 同时采用“箱区端部掉头”的内外集卡空间交通隔离方式, 滚动发展, 满足近期开港即满负荷运转的需求。该布置方式较好地解决了盐田港东作业区复杂地形条件下的总体布局难题, 可为类似工程提供借鉴。

**关键词:** 多边界复杂地形; 自动化集装箱码头; 总体布局

中图分类号: U651+.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0022-07

### Overall layout of automated container terminal under complex terrain conditions

ZHOU Na, SHI Xiaodi, TANG Zhaoping

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** In the east operation area of Yantian Port, the overall layout of the automated container terminal is difficult due to the large amount of single vessel operation, high operation efficiency requirements, irregular land morphology, high proportion of water and land transfer, multiple boundaries and complex terrain conditions. Aiming at this problem, the key factors of the overall layout of the automated container terminal are analyzed and their importance is evaluated. Combined with the characteristics of the project, the automatic layout and multi-level intelligent gate layout mode of “automatic double car quay crane + unmanned container truck + automatic double cantilever ARMG, yard parallel to the front line of the terminal, side operation” are proposed, which has good site adaptability and high degree of automation. At the same time, the spacial traffic separation mode of inner and outer container trucks of “turn around at the end of the container area” is adopted, and the rolling development will meet the demand of full capacity operation when port opens in the near future. The arrangement method solves the overall layout problem under complex terrain conditions in the east operation area of Yantian port area, and can provide reference for similar projects.

**Keywords:** complex terrain with multi-boundary; automated container terminal; overall layout

自青岛前湾、洋山四期全自动化集装箱码头开港以来, 深圳港、宁波港、天津港等沿海大港纷纷筹建各自的自化集装箱码头。在自动化集装箱码头的建设过程中, 初期因技术手段限制了部分港口的设计定制, 近期随着自动化集装箱码头

的快速、全面发展, 开始呈现自动化集装箱码头个性化总体布局<sup>[1]</sup>。

本文依托盐田港东作业区一期工程<sup>[2]</sup>, 开展复杂地形条件下的自动化集装箱码头总体布局研究, 提出影响总体布局的关键因素及高适应度的

收稿日期: 2024-09-27

\*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFB2604200)

作者简介: 周娜 (1977—), 女, 正高级工程师, 从事港口工程总体咨询、总平面设计。

布局模式和闸口形式, 以期为类似复杂地形下的自动化集装箱码头的总体布局提供参考。

### 1 工程概况

盐田港东作业区是一个大型的集装箱专业化港区, 是盐田港区的重要组成部分, 一次规划、

分期建设, 位于现盐田港区中作业区东侧, 港区陆域整体为不规则形, 见图 1。

一期工程陆域分为 A、B、C 3 个地块; 其中 A 地块总面积约 120.0 hm<sup>2</sup>, 平均纵深约 840 m; B 地块约 30.0 hm<sup>2</sup>, 平均纵深约 320 m; 后方 C 地块约 19.8 hm<sup>2</sup>, 平均纵深约 260 m, 见图 2。

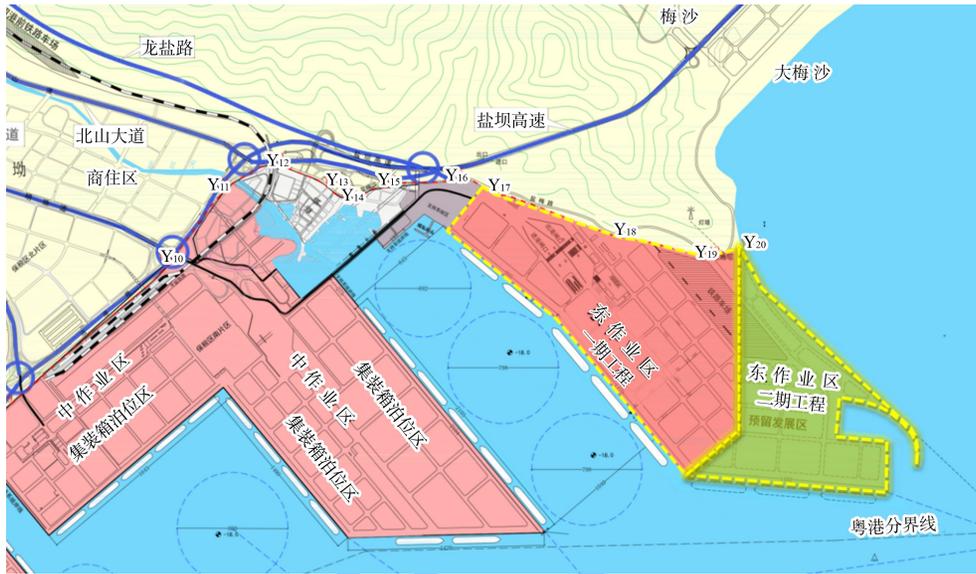


图 1 盐田港东作业区规划时序

Fig. 1 Planning time sequence of east operation area of Yantian Port



图 2 盐田港东作业区一期平面

Fig. 2 First phase plan of east operation area of Yantian Port

先行建设的 A 地块具有以下特点: 1) 布置 20 万吨级及以下集装箱泊位, 靠泊等级高, 单艘次装卸箱量大, 对码头装卸效率、可靠性和作业

组织提出了更高要求。2) 陆域形态呈不规则形, 西侧陆域呈狭长形状, 东侧、北侧呈多边形, 纵深最大处 841.8 m, 最窄处仅 173.2 m, 对堆场布

置较不利，自动化装卸工艺方案和堆场平面布置需充分考虑对陆域条件的适应性。3) 作业区以公路集疏运为主，但陆域对外接口单一，工艺方案和港区交通组织需充分考虑该特点。

## 2 关键技术因素分析

自动化集装箱码头总体布局模式确定的首要因素是所采用的装卸工艺类型<sup>[3-5]</sup>，其次应结合陆域条件、集疏运条件、投资规模、人工成本等因素进行综合考虑，这些因素共同决定了码头的作业效率、成本和安全性。

1) 装卸工艺由码头岸桥装卸、水平运输和堆场装卸系统组成，其中岸桥装卸和堆场装卸系统自动化已成为码头建设的标准配置，水平运输自动化因初期建设投资高，阻碍了部分港口自动化发展的进程，是影响自动化集装箱码头总体布局的关键因素之一，大部分已建自动化集装箱码头因水平运输方式的不同而各有特色。

2) 不同的港口陆域和集疏运特点使得自动化集装箱码头的平面布局模式呈现多样性，不断实现技术突破，打破单一布局模式。

3) 每个港口具有其特殊的建设时序、运营业务，根据港口个性需求最终选择合适的闸口布置，以保证平面的适用性。

通过分析相关案例布局<sup>[3-5]</sup>，概括自动化集装箱码头总体布局关键技术因素，并确定其重要性，见表1。

表1 自动化集装箱码头总体布局关键技术因素

Tab.1 Key technical factors for overall layout of automated container terminal

重要性	关键技术因素	备注
★	码头装卸工艺	-
★★★★	水平运输方式	影响自动化集装箱码头总体布局的关键技术因素
★★★	堆场装卸工艺	-
★★★★	陆域和集疏运条件	陆域和集疏运不同带来平面布局模式的多样性
★★★	进出闸口布置	-
★★	运营管理	-

## 3 码头总体布置

### 3.1 装卸工艺

自动化集装箱码头装卸系统主要由码头装卸、水平运输和堆场装卸3个作业环节组成。

水平运输设备是影响码头和堆场装卸设备选型、自动化堆场布置、形成不同自动化装卸工艺系统的关键<sup>[6-10]</sup>，目前集装箱码头的自动化水平运输设备主要有自动导引运输车(automated guided vehicle, AGV)、跨运车和无人驾驶集卡3类。

1) 跨运车在国内没有相关产业链布局，设备单价昂贵，且在自动化技术方面不如AGV成熟，故国内目前尚无跨运车应用案例，大规模推广使用条件不成熟。

其次，AGV和跨运车的典型工艺系统为堆场垂直码头前沿线布置，堆场装卸设备采用无悬臂轨道吊，AGV或跨运车不进箱区，在箱区两端部设交接区，使码头前方的自动化车流与外集卡提送箱车流自然分离，便于自动化区域的封闭管理。但端部装卸方式轨道吊需长距离高速行驶，一般堆箱长度不宜超过350m，本工程陆域纵深约840m，垂直布局、端部交接的模式不适用。目前AGV在我国自动化集装箱码头建设中也有采用悬臂轨道吊、侧面装卸的应用案例，如广州南沙四期、钦州大榄坪自动化码头。本工程以10万吨级以上集装箱船舶为主，以公路为主要集疏运方式，对堆场装卸效率要求高，侧面装卸具有无海、陆侧作业分工、灵活性好的优点，与端部装卸方式相比更适合本项目。

2) 目前无人驾驶集卡技术发展迅猛，相较于AGV而言，无人驾驶集卡方案亦可实现侧面装卸，对工程陆域地形条件的适应性、工程投资、营运成本和自动化技术迭代适应性等方面具有明显优势，也更贴近于社会技术的发展趋势。

3) 本工程总体基于无人驾驶集卡进行装卸工艺。为避免地面扭锁站带来的交通拥堵以及人机混合作业影响岸桥和水平运输设备效率发挥，码头装卸采用双小车岸桥，通过岸桥中转平台进行拆装锁钮。堆场采用双悬臂自动化轨道吊作业，一侧悬臂

下为港内无人驾驶集卡作业车道, 另一侧悬臂下为港外集卡作业车道, 相邻箱区两两相对布置。

### 3.2 堆场布置和交通隔离

基于上述“自动化双小车岸桥+无人驾驶集卡+自动化双悬臂轨道吊”的总体工艺模式, 考虑港区分阶段建设的需要, 本工程堆场平行前沿布置, 可扩展性好。受自动驾驶技术水平和相关法律法规的限制, 目前无人驾驶集卡尚不能与人工驾驶的外集卡实现混编交通, 因此应考虑近期采用隔离的独立分区运行, 远期待自动驾驶技术成熟后混编运行, 以适应自动驾驶技术的发展趋势。

#### 3.2.1 近期隔离方式

本工程装卸效率要求高, 需实现开港即满负

荷运营, 且远期需实现与自动驾驶混编模式的无缝衔接。目前采用的“空间+时间隔离”、“设置交接区”等交通隔离方式均不适应发展要求, 故结合工程特点采用了“箱区端部掉头”的港内、外集卡空间隔离方式, 见图 3。

以纵二路和纵三路间堆场为例, 这两条道路宽 33 m, 设置 4 条自动驾驶集卡通道和 4 条外集卡通道, 中间采用围网隔离。堆场内间隔布置外集卡和内集卡专用作业通道, 两者的运行区域采用围网隔离, 箱区端部设置集卡掉头区。外集卡和内集卡分别从箱区的左、右侧进入作业通道, 经箱区端部掉头后回到其纵向专用道路, 从而实现空间上的分离, 见图 3。

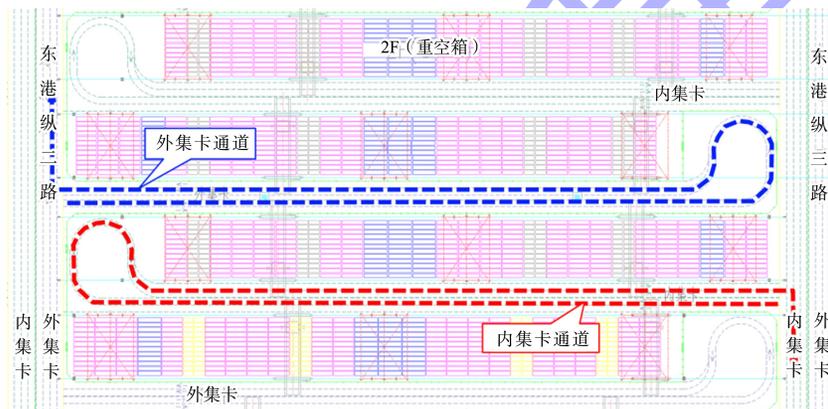


图 3 内集卡和外集卡隔离方式

Fig. 3 Isolation methods for internal and external container trucks

#### 3.2.2 堆场平行布置对 AGV 的适用性

自动化堆场平行布置平面布局以及端部掉头的隔离方式也能适应水平运输采用 AGV 的模式,

并可根据 AGV 的运行特点, 取消内集卡的箱区端部掉头区(图 4), 由此可增加自动化堆场地面箱位 960 TEU。



图 4 采用 AGV 的平行布置堆场

Fig. 4 Parallel layout container yard with AGVs

### 3.2.3 远期混编交通

随着自动驾驶技术的发展,纵向道路上港内

集卡与港外集卡将混编通行,实现图 5 所示堆场布置和交通组织。

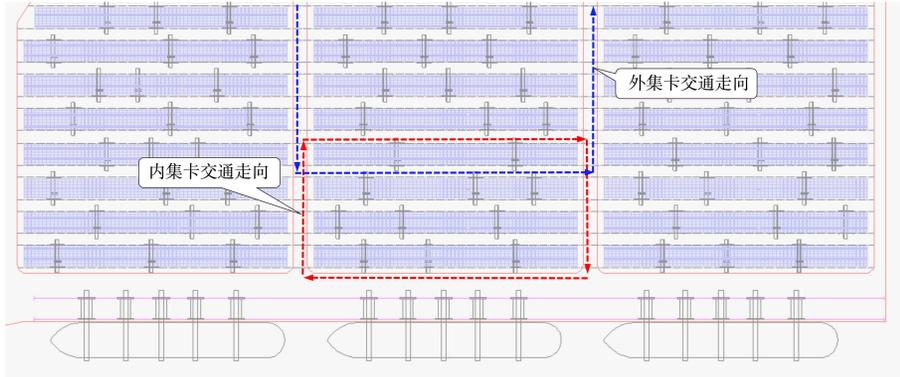


图 5 自动化堆场平行布置  
Fig. 5 Parallel layout of automated container yard

### 3.3 对外交通

#### 3.3.1 闸口位置

盐田港东作业区一期工程难以与外部交通多方衔接,且作业区以公路集疏运为主,造成对外交通体系集中且单一,同时 C 地块还需预留铁路进港空间,为利于港区运营管理,优化进港流程及提高地块利用效率,港区进出港闸口集中布置于盐东立交匝道附近。

#### 3.3.2 闸口设置

闸口是集装箱码头陆路交通的咽喉,集装

箱集疏运方式以陆运为主,闸口进出箱量较大的集装箱码头普遍采用多闸口方式,可分为进出分离式、一进多出式和多进多出式 3 种,通常根据堆场布局和码头外公路网情况确定闸口具体形式。

充分考虑盐田东港区一期工程特点,结合码头吞吐能力、闸口进出箱量占比、码头堆场布局及码头集疏运道路布局等,港区公路集疏运进港设置 2 级闸口、出港设置 3 级闸口,采用进出合一的方式对接盐港东立交,见图 6。

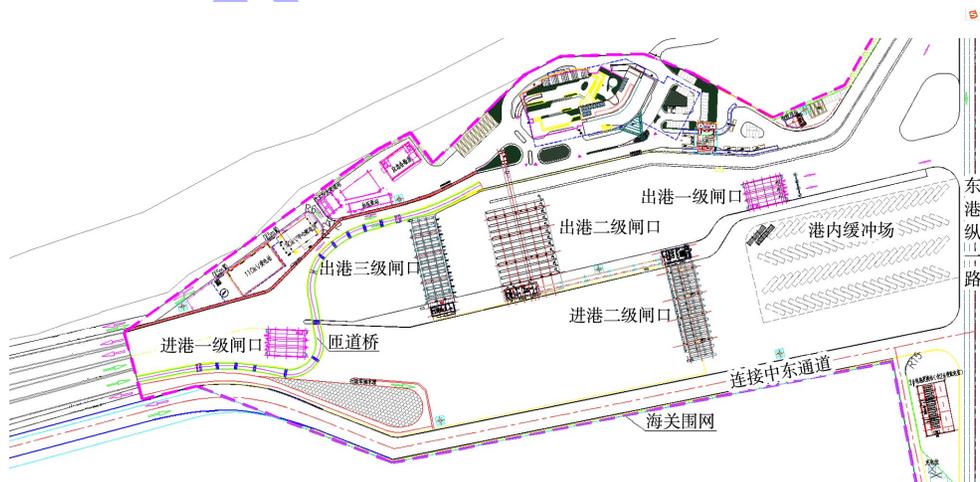


图 6 进、出港闸口布置  
Fig. 6 Layout of entrance and exit gates of port

1) 进港闸口设置 2 级闸口。一级进港闸口为提前网上录入信息的车辆进行数据核实,共布置 3 条车道,其北侧设置返回车道,存在问题的集卡

可由此返回盐东立交。二级闸口为进港控制的主闸口,共布置 14 条车道。集卡通过二级闸口后,根据指令进入箱区提送箱,或进入港内缓冲场等待。

2) 出港闸口设置3级闸口。一级闸口功能与进港相同,均为快速识别不停车闸口,共设3条车道,闸口位置为出港车辆预留排队空间,降低对港内作业车辆的影响。二级为验箱闸,当出港箱破损时可通过闸口设置的掉头车道返回处理,共设12条车道。三级为海关查验及出港放行闸口,共12条车道。

### 3.4 总体布置

结合盐田港区东作业区一期自动化集装箱码头工程特点,根据使用需求确定适合的装卸工艺,

合理布置箱区、闸口和配套区,最终形成总体布置形式,如图7所示,主要功能区包括码头前方作业地带、自动化重/空箱堆场区、闸口区、生产配套区等。考虑到工程陆域纵深小、堆场面积不足的问题,在港区陆域功能区布置时,以“大堆场、小配套”方式,按港区堆场利用率最大化布置,以提高堆场堆存能力和通过能力;在港区配套方面,精简功能、集中布置。该布置形式可满足不同建设期港区独立生产,又可实现远期扩容、统一运营。

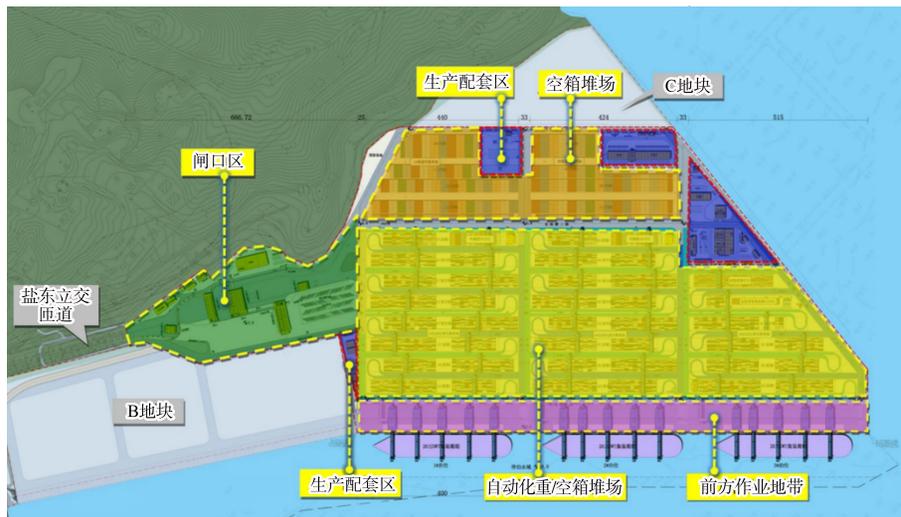


图7 盐田港东作业区自动化集装箱码头总体布置

Fig. 7 General layout of automated container terminal in east operation area of Yantian Port

## 4 结论

1) 自动化集装箱码头总体布局的决定因素是自动化装卸工艺系统类型尤其是水平运输方式,其次为陆域条件、集疏运条件,最后才是建设时序、运营方式等,这些因素共同决定着自动化集装箱码头的平面布置。

2) 结合盐田港东作业区多边界、多限制条件的码头现状和建设目标,从自动化作业模式、堆场布置和交通组织等方面进行分析,确定采用“自动化双小车岸桥+无人驾驶集卡+自动化双悬臂轨道吊、堆场平行码头前沿线布置、侧面装卸”的自动化工艺模式,合理确定闸口位置和形式,验证了布局关键因素的科学性。

3) 类似项目可根据其建设目标和条件,对标总体布局关键技术因素,选择与之相适应的布局模式。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 深圳港盐田港区东作业区集装箱码头工程一期工程初步设计文件[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2022.  
CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd. Preliminary design document of of container terminal phase I project in Yantian port area of Shenzhen Port [R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., 2022.

- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 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, 2020.  
CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd. Design code of automated container terminal: JTS T 174-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2020.
- [4] 王烽, 麦宇雄, 许鸿贯, 等. 自动化集装箱码头总体技术路线的选择[J]. 水运工程, 2022(10): 8-12.  
WANG F, MAI Y X, XU H G, et al. Selection of overall technical route for automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2022(10): 8-12.
- [5] 刘广红, 程泽坤, 林浩, 等. 自动化集装箱码头总体布局模式对比分析[J]. 水运工程, 2016(9): 14-18.  
LIU G H, CHENG Z K, LIN H, et al. Comparative analysis of overall layout pattern for automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 14-18.
- [6] 张连钢, 杨杰敏, 李波, 等. 自动化集装箱码头总平面布局设计[J]. 水运工程, 2019(10): 14-20.  
ZHANG L G, YANG J M, LI B, et al. General layout design of automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2019(10): 14-20.
- [7] 程泽坤, 刘广红, 张斌, 等. 国外自动化集装箱码头应用现状及建设借鉴[J]. 水运工程, 2016(9): 3-8.  
CHENG Z K, LIU G H, ZHANG B, et al. Application of automatic container terminal abroad and referential function on its construction in China [J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 3-8.
- [8] 程泽坤, 何继红, 刘广红. 自动化集装箱码头设计与实践[M]. 上海: 上海浦江教育出版社, 2019.  
CHENG Z K, HE J H, LIU G H. Automated container terminal design and practice [M]. Shanghai: Shanghai Pujiang Education Press, 2019.
- [9] 赵彦虎. 新型自动化集装箱码头装卸工艺系统研究[J]. 港口装卸, 2009(3): 22-24.  
ZHAO Y H. Research on handling processes of a new type of automation container terminal [J]. Port operation, 2009(3): 22-24.
- [10] 王夏宇, 刘璐, 李歆嫫, 等. 我国沿海主要自动化集装箱码头建设方案比较[J]. 集装箱化, 2021, 32(8): 9-12.  
WANG X Y, LIU L, LI X H, et al. Comparison of construction schemes of major automated container terminals in China [J]. Containerization, 2021, 32(8): 9-12.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 14 页)

- [7] 陆敏, 顾祥奎, 吴辉. 基于密排斜桩的低透空率桩基防波堤[J]. 水运工程, 2023(8): 38-42, 55.  
LU M, GU X K, WU H. Pile foundation breakwater with low permeability based on closely spaced battered piles [J]. Port & waterway engineering, 2023(8): 38-42, 55.
- [8] 李少斌, 丁建军, 沈雨生. 组合式密排桩基防波堤透浪特性研究[J]. 水运工程, 2024(8): 127-133, 151.  
LI S B, DING J J, SHEN Y S. Wave transmission characteristics of breakwater with combined closed-pile foundation [J]. Port & waterway engineering, 2024(8): 127-133, 151.
- [9] 冯浩, 张蕊, 程泽坤, 等. 复杂流态下的多功能混合高桩码头结构: CN202211181070. 2[P]. 2024-02-09.  
FENG H, ZHANG R, CHENG Z K, et al. Multifunctional mixed high pile wharf structure under complex flow conditions: CN202211181070. 2[P]. 2024-02-09.
- [10] 张博, 姚慧岚, 刘洪杰, 等. 复杂流态下系泊船的水动力特性研究[J]. 水道港口, 2021, 42(5): 628-635, 669.  
ZHANG B, YAO H L, LIU H J, et al. Study on hydrodynamic characteristics of moored ship in complex flow regime [J]. Journal of waterway and harbor, 2021, 42(5) 628-635, 669.

(本文编辑 赵娟)