



# 基于无人集卡的自动化集装箱港区 总体布局模式

项青灵<sup>1</sup>, 郭兆珈<sup>2</sup>, 宋凡<sup>2</sup>

(1. 南通港(港口)集团有限公司, 江苏南通 226006; 2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 针对基于无人集卡的自动化集装箱港区总体布局模式问题, 进行不同布局模式下的通过能力、作业效率及建设成本等因素研究。通过对国内4个具有代表性的自动化集装箱港区及类似工程进行对比分析, 结合无人集卡的技术特点, 得出4种自动化集装箱港区典型总体布局模式的特点和适用对象, 可根据箱量集疏运组成、自动化实施进度及投资成本选择适合的布局模式。布局模式3采用“双吊具单小车岸桥+双悬臂 ARMG(平行码头布置)+无人集卡+端部掉头空间隔离”模式, 安全性高、适应性强、近远期衔接性好, 可广泛推广。

**关键词:** 无人集卡; 自动化; 集装箱港区; 总体布局模式

中图分类号: U651+.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0029-07

## Overall layout mode of automated container port based on unmanned container trucks

XIANG Qingling<sup>1</sup>, GUO Zhaojia<sup>2</sup>, SONG Fan<sup>2</sup>

(1. Nantong Port Group Co., Ltd., Nantong 226006, China;

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

**Abstract:** This article focuses on the overall layout mode of automated container ports based on unmanned container trucks, and conducts research on factors such as throughput capacity, operational efficiency, and construction costs under different layout modes. By comparing and analyzing four representative automated container ports and similar projects in China, combined with the technical characteristics of unmanned container trucks, the characteristics and applicable objects of four typical overall layout modes of automated container ports are obtained. Suitable layout mode can be selected based on the composition of container volume collection and distribution, automation implementation progress, and investment costs. Layout mode 3 adopts the mode of “double spanner, single car quay crane + double cantilever ARMG(parallel to terminals) + unmanned container truck + end U-turn and space isolation”, which has high safety, strong adaptability, good short-term and long-term connection, and can be widely promoted.

**Keywords:** unmanned container truck; automated; container port area; overall layout mode

随着港口自动化、智能化的推动, 提出推进新一代自动化码头、堆场建设改造的建设目标, 建设基于5G、北斗、物联网等技术的信息基础设施, 推动港区内部集卡和特殊场景集疏运通道集卡自动驾驶, 达到港区联动, 形成全面感知、泛

在互联、港车协同的智能化系统。因此, 自动驾驶集卡将是港口水平运输自动化技术的发展方向。

常规集装箱港区通常采用堆场平行于码头前沿线的布置方式, 该方式在堆场容量、设备效率、交通组织、营运管理等方面均具有较大优势。但

收稿日期: 2024-09-27

作者简介: 项青灵(1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口建设、运营管理。

由于技术条件的限制，2017 年前建设的自动化集装箱港区堆场多采用垂直于码头前沿线的布置方式，导致堆场设备的单机作业效率降低，整体设备投资增加。

随着自动驾驶集卡的全面应用，自动化集装箱港区的布置方式更加灵活，老港区改造为自动化港区更加可行。目前真正建成并投入运营的无人集卡模式的自动化集装箱港区均处于局部测试阶段，关于基于无人集卡的自动化集装箱码头总体布局模式的研究仍相对欠缺。而总体布局模式与港区的通过能力、作业效率及投资及运行成本等直接相关，是自动化码头建设应首要解决的问题。本文针对无人集卡模式下的自动化集装箱港区总体布局模式进行研究。

### 1 总体布局要点

1) 简洁灵活，更具兼容性。通过整体布置模式的调整，提高堆场单机利用效率和堆场使用的灵活程度，整体提高港区的堆存和通过能力，降低工程投资和后期运营成本。

2) 自动化岸桥的应用。随着岸桥自动化技术的发展和信号传递技术的飞跃，采用双吊具+单小车+自动化+人工远控干预的岸桥，高效、稳定、兼容性强、经济性好，同时可以进一步降低操作人员的劳动强度、改善工作环境。

3) 智能驾驶技术的应用。智能驾驶技术在水平运输环节实现更高效率、更低成本的运行，相关设备投资也将大幅下降<sup>[1]</sup>。

4) 带悬臂的自动化轨道吊的应用。轨道吊具有运行稳定、定位准确的优势，配合港区陆域形态、堆场容量需求、作业模式的需求等，可采用单/双悬臂+不同轨距的组合方式，实现港区效率与容量的目标<sup>[2-3]</sup>。

## 2 总体布局模式

### 2.1 模式 1

模式 1 采用“空间隔离+双吊具单小车岸桥+双悬臂自动化轨道吊(automated rail-mounted gantry crane, ARMG, 垂直码头 U 形布置)+智慧型引导运输车(intelligent guided vehicle, IGV)”模式。如图 1 所示，钦州港大榄坪南作业区采用满堂式布置，陆域纵深约 1 km，陆域形态规整，后方紧邻疏港道路，港区后端有疏港铁路，建设条件良好。码头前方作业带后方为一整片全自动化集装箱码头作业区，港区的进、出港闸口集中布置于港区后方<sup>[4]</sup>。港区采用自动化单小车岸桥+双悬臂 ARMG(垂直码头布置)+IGV 的装卸工艺方案。码头前沿作业地带宽 120 m。码头前沿装卸船采用 5 台自动化单小车岸桥(吊双 20 ft)，轨距 35 m。岸桥均采用远程操控的作业方式(图 2)。

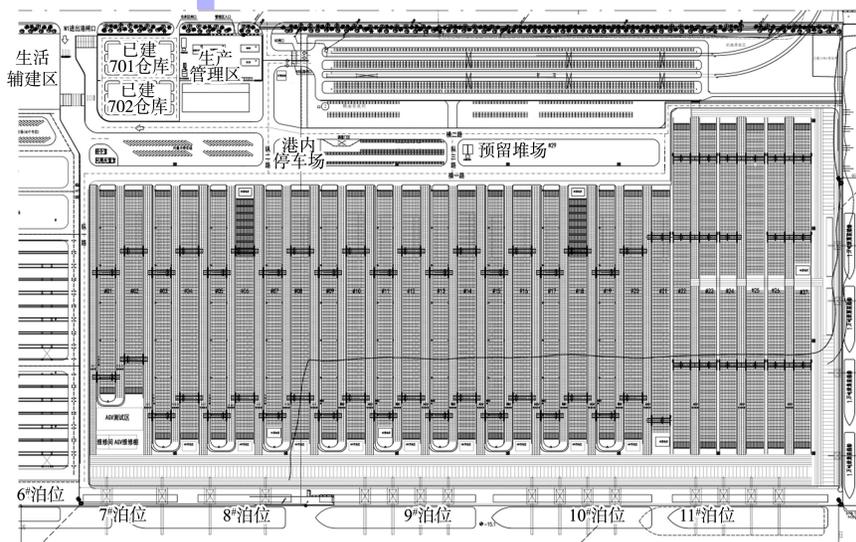


图 1 钦州港大榄坪南 7#~11#泊位平面

Fig. 1 Plan of berths 7 to 11 in Dalanping South, Qinzhou Port



作业。堆场共布置8跨，采取“背靠背”模式布置，装卸采用自动化单悬臂集装箱轨道式龙门吊，轨距31 m，“背靠背”区宽6.5 m，装卸作业区及行车道区宽20 m。集装箱水平运输作业采用无人驾驶集装箱牵引半挂车<sup>[5]</sup>。港区内设置港内外集装箱牵引半挂车交互区，将内外集装箱牵引半挂车隔离分流<sup>[6]</sup>。如图5所示，交互区布置在空箱堆场后方，通过围网将港内集装箱牵引半挂车与港外车辆隔离。交互区分为2种模式：直装直卸作业区和临时堆存作业区。直装直卸作业区由4台固定式龙门吊作业；临时堆存作业区采用自动化双悬臂集装箱轨道式龙门吊作业。

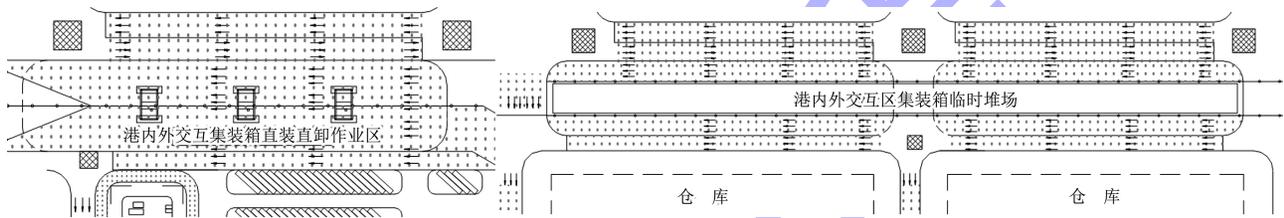


图5 广州港南沙四期交互区布置  
Fig. 5 Layout of interaction area of Nansha Phase IV in Guangzhou Port

港区总体布局特点：1) 采用水平布置形式，通过设置交互区实现外集卡不进港作业，通过物理隔离解决内外水平运输设备近期交互问题，有利于实现全自动化，但该模式仅适用于水水中转比例高的港区；2) 设置交互区对港区装卸效率影响较大。

总体而言，针对南沙港区水水中转比例高的特点，该布置模式可以兼顾全自动化和营运的需要。该方式可作为一种中间过渡模式，随着无人驾驶技术的成熟，取消交互区，实现内外集卡均进港作业。

### 2.3 模式3

模式3采用“双吊具单小车岸桥+双悬臂ARMG(平行码头布置)+无人集卡+端部掉头空间隔离”模式。如图6所示，盐田港东作业区采用满堂式布置，陆域呈不规则多边形，最大纵深1300 m，最小纵深300 m。码头后方为自动化堆场，北侧为

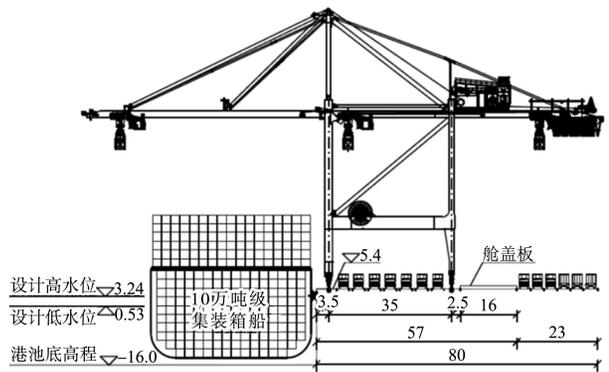


图4 广州港南沙四期码头前方作业区布置 (单位: m)  
Fig. 4 Layout of front operation area of terminal of Nansha Phase IV in Guangzhou Port (unit: m)

山体，西侧为进出港闸口。前方码头作业地带总宽86 m。码头前沿配置15台自动化单小车岸桥进行装卸船作业，岸桥轨距为30 m，见图7。堆场作业采用轨距37 m的双悬臂自动化轨道吊，悬臂侧相邻箱区轨道中心间距为21 m，布置2条集卡作业车道和2条行驶车道<sup>[7-8]</sup>。水平运输采用无人集卡。

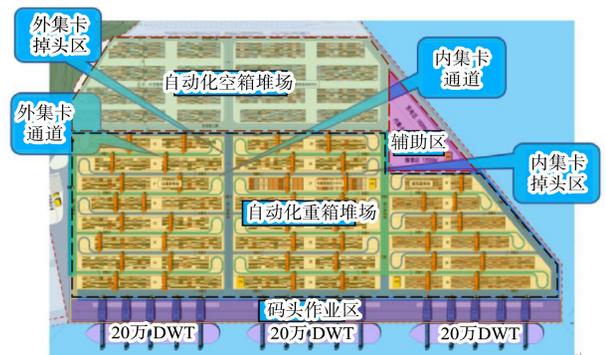


图6 盐田港东作业区平面布置  
Fig. 6 Plan Layout of east operation area, Yantian Port

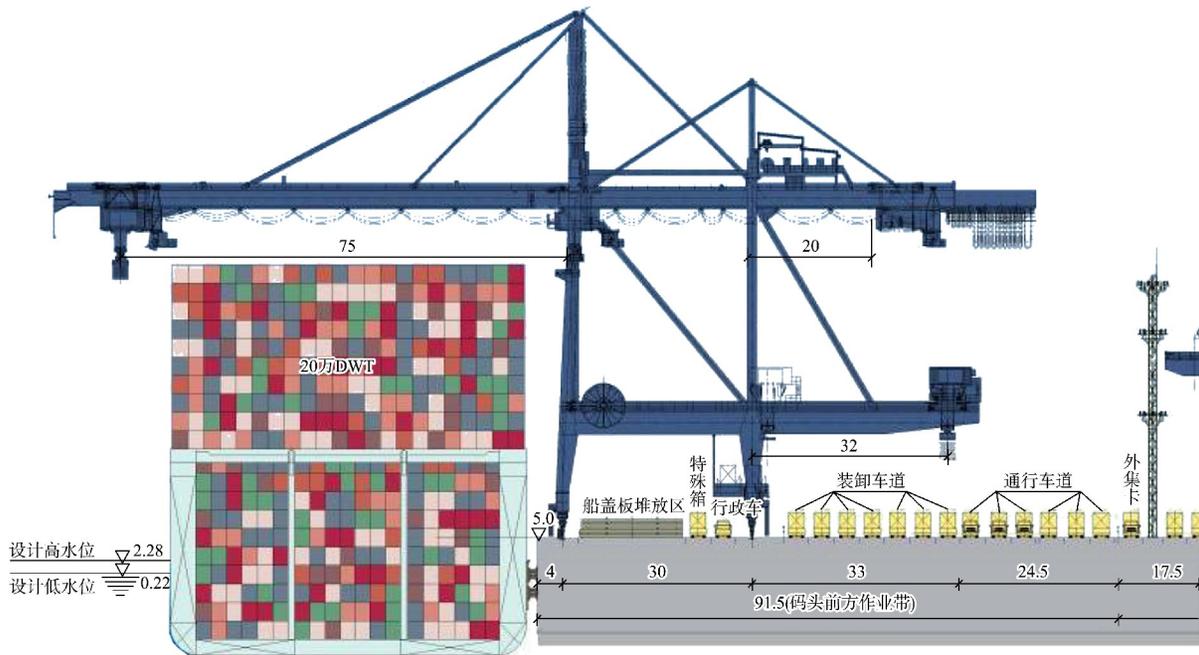


图7 盐田港东作业区码头前方作业区布置 (单位: m)

Fig. 7 Layout of front operation area of terminal in east operation area, Yantian Port (unit: m)

堆场内交通组织采用一种新型的港内、外车辆空间分离方式: 堆场内4条纵向道路间隔布置外集卡、内集卡专用道路, 堆场内也间隔布置外集卡、内集卡专用作业通道, 采用围网对二者运行区域进行隔离<sup>[9]</sup>。堆场内专用通道端部设置集卡掉头区, 外集卡和内集卡分别掉头后回到其纵向专用道路, 从而实现空间上的分离(图8)。远期自动驾驶技术达到L4状态后, 纵向道路的港内无人集卡与港外集卡将混编通行, 堆场内端部掉头区改为堆箱区<sup>[10]</sup>。

港区总体布局特点: 1) 采用水平布置方式, 采用端部掉头+内外集卡物理隔离, 解决内外水平运输设备近期交互问题, 有利于实现全自动化; 2) 近期由于端部掉头降低场地利用率, 同时车辆掉头引起港内运行效率降低。3) 远期内外混编后, 将一定程度上提高堆场容量。

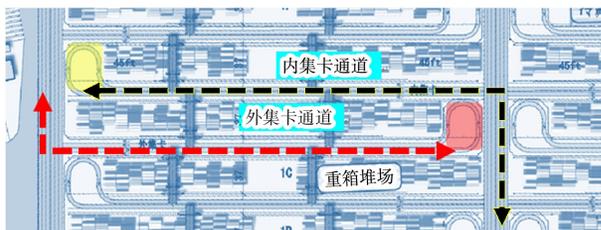


图8 交通组织

Fig. 8 Traffic organization

总体而言, 针对盐田港区水陆转运比例高的特点, 采用该布置模式近期可实现自动化且保证港区运营需求; 远期港区能力仍有较大发展空间。

#### 2.4 模式4

模式4采用“双吊具单小车岸桥+单悬臂 ARMG (平行码头布置)+无人集卡+时间空间隔离”模式。如图9所示, 妈湾海星码头上配置8台远程操控的岸桥, 岸桥轨距为30 m, 采用双20 ft吊具, 见图10。

重箱堆场平行于码头前沿线布置, 堆场作业采用单悬臂自动化轨道吊<sup>[8]</sup>, 轨距为31 m, 轨内布置10列箱。单悬臂轨道吊两两相对布置, 轨内布置集装箱, 悬臂下为集卡装卸车道和行驶车道, 悬臂侧相邻两轨道间距为21 m, 见图11。水平运输采用自动驾驶的集卡。本工程公路集疏运的集装箱比例为45%, 采用外集卡进自动化堆场提送箱。为确保港区生产安全和作业效率, 需对内、外集卡的行驶道路进行规划, 使内、外集卡能够分离。

港区总体布局的主要特点: 1) 采用水平布置方式, 采用时间+空间隔离, 解决近期内外水平运

输；2) 设备近期交互有利于近期实现全自动化，但该模式仅适应于堆场小、作业线少的港区。若堆场作业线较多，则会有较多交叉点，虽然可通

过时空隔离方式解决交互问题，但会对港区交通造成较大影响，降低港区效率；3) 港区堆场容量未受影响。

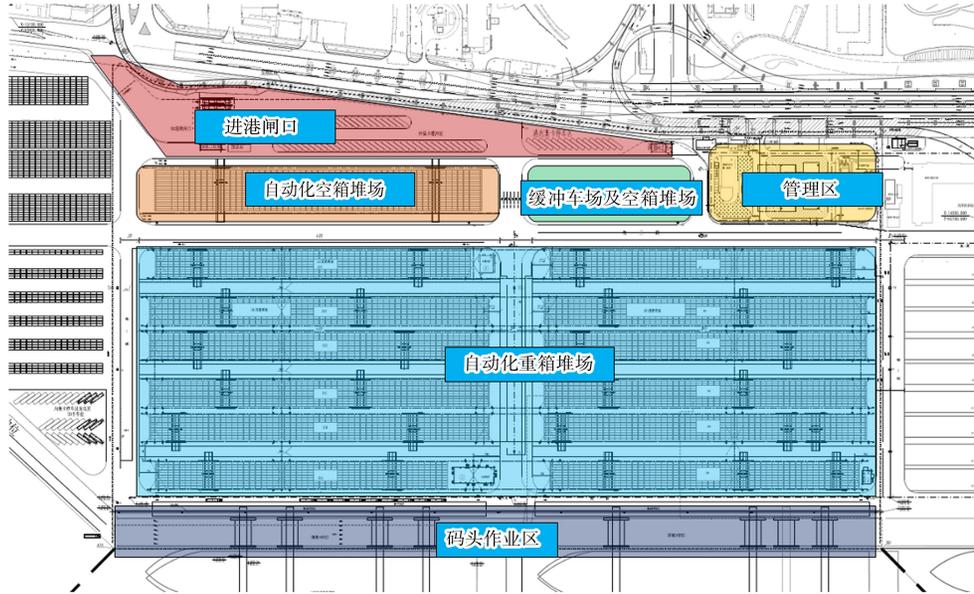


图 9 海星码头平面布置  
Fig. 9 Plan layout of Haixing Wharf

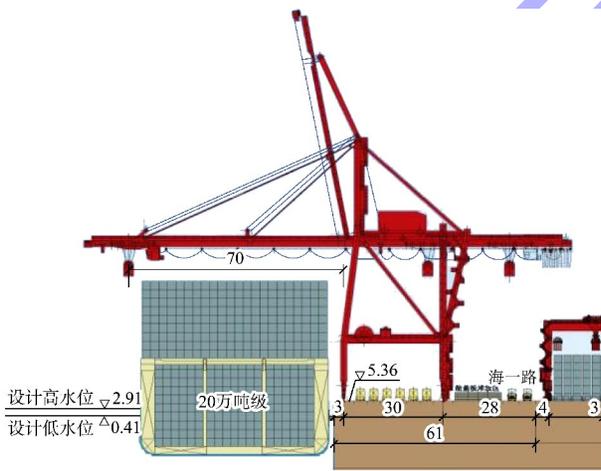


图 10 海星码头前方作业带布置 (单位: m)  
Fig. 10 Layout of front operation area of Haixing Wharf (unit: m)

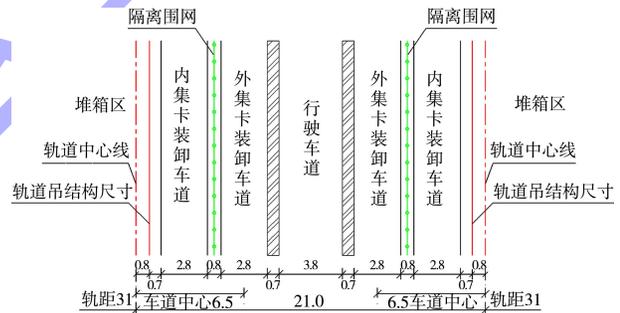


图 11 堆场悬臂下车道平面布置 (单位: m)

Fig. 11 Layout of off-loading lanes at cantilever of storage yard (unit: m)

总体而言，海星码头模式近期可实现自动化又能保证港区运营需求<sup>[11-12]</sup>。

### 2.5 各模式特点对比

4 种模式特点对比见表 1。

表 1 4 种模式特点对比  
Tab. 1 Comparison of characteristics of four modes

模式	工艺方案	代表港口	自动化程度	适用陆域	港区交通条件	对堆场容量影响	箱量比例	运行特点及优缺点
1	双吊具单小车岸桥+双悬臂 ARMG(垂直码头 U 形布置)+IGV+空间隔离	钦州大榄坪南 7#~11#泊位	全自动化	较小纵深	堆场全封闭,交通组织简单,不受外集卡影响,外集卡行驶路径长	影响较大	水陆中转比例高	垂直绕行堆场, U 形路线,单箱运距长,效率低

续表1

模式	工艺方案	代表港口	自动化程度	适用陆域	港区交通条件	对堆场容量影响	箱量比例	运行特点及优缺点
2	双吊具单小车岸桥+单悬臂 ARMG(平行码头布置)+无人集卡+交互区空间隔离	广州南沙四期	全自动化	较大纵深	堆场全封闭,交通组织简单,不受外集卡影响,外集卡装卸效率低	无影响	水水中转比例高	封闭堆场内,无人集卡经过堆场内通道,运行路径短,效率高
3	双吊具单小车岸桥+双悬臂 ARMG(平行码头布置)+无人集卡+端部掉头空间隔离	盐田港	全自动化	较大纵深	堆场全封闭,交通组织简单,不受外集卡影响,内外集卡行驶路径曲折	有一定影响	水陆中转比例高	P形路线,转弯半径小,近期无人集卡运行效率略低,远期效率高
4	双吊具单小车岸桥+单悬臂 ARMG(平行码头布置)+无人集卡+时间空间隔离	深圳妈湾海星	全自动化	较小纵深	堆场全封闭,交通组织简单,受外集卡影响,港区交通效率低	无影响	水陆中转比例高	运行路径短,近期效率低,远期效率高

### 3 结论

1) 根据通过能力、作业效率及建设成本等因素,提出无人集卡总体布局的要点,在满足简洁、灵活布局的同时,兼顾自动化设备、智能驾驶及智能化管理等要求。

2) 根据隔离方式及堆场布局的不同,提出4种典型总体布局模式及其特点和适用对象,根据箱量集疏运组成、自动化实施进度及投资成本选择适合的布局模式。

3) 布局模式3“双吊具单小车岸桥+双悬臂 ARMG(平行码头布置)+无人集卡+端部掉头空间隔离”安全性高、适应性强、近远期衔接性好,可广泛推广。

### 参考文献:

- [1] 林晖. 智能化集装箱码头装卸工艺及其设备比选分析[J]. 港口装卸, 2024(3): 60-62, 67.  
LIN H. Comparative analysis of intelligent container terminal handling process and equipment [J]. Port operation, 2024(3): 60-62, 67.
- [2] 陈辉, 孟羽. 自动化集装箱港区无人集卡模式总体布置关键技术[J]. 中国港湾建设, 2024, 44(8): 69-73.  
CHEN H, MENG Y. Key technologies for general layout of driverless container truck mode in automated container port area[J]. China harbour engineering, 2024, 44(8): 69-73.
- [3] 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.
- [4] 倪敏敏, 夏剑. 多岸线下多式联运自动化集装箱码头总平面布置与装卸工艺设计[J]. 水运工程, 2023(7): 95-100.  
NI M M, XIA J. General layout and handling technology design of automated container terminal for multimodal transport under multi-shoreline [J]. Port & waterway engineering, 2023(7): 95-100.
- [5] 沈红宾, 彭骏. 水平运输交互系统的新型自动化集装箱码头探讨[J]. 港工技术, 2023, 60(3): 33-36.  
SHEN H B, PENG J J. New-type automatic container terminal based on horizontal transport interactive system[J]. Port engineering technology, 2023, 60(3): 33-36.
- [6] 余艳英, 夏剑. 一种水水中转比例高且可调的自动化集装箱码头交通分流工艺[J]. 水运工程, 2024(3): 58-63, 146.  
YU Y Y, XIA J. A new traffic diversion technology with high and adjustable ratio of water to water transshipment in automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2024(3): 58-63, 146.
- [7] 麦宇雄, 许鸿贯, 覃杰, 等. 自动化集装箱码头 U 形布局分析[J]. 水运工程, 2022(10): 23-28.  
MAI Y X, XU H G, QIN J, et al. Analysis of U-shaped layout of automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2022(10): 23-28.