



罗泾集装箱码头内、外水平运输设备 隔离模式的选择

秦涛¹, 龙友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: 在自动化集装箱码头设计中, 水平运输是实现自动化难度最大的环节之一, 而交通组织的顺畅程度对码头运营效率有着直接的影响。目前自动化集装箱码头采用的交通组织方式可分为有人和无人水平运输设备的完全隔离、空间隔离、时间隔离。通过分析现有自动化码头有人和无人水平运输设备不同隔离模式的特点, 针对上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程的特点, 提出 3 种隔离方式, 并在车流组织、车辆行走距离、减少地面箱位数量以及对远期车流调整的影响等方面进行对比分析, 明确了有人和无人水平运输设备采用端部掉头(P 形)隔离模式。

关键词: 全自动化; 集装箱码头; 水平运输; 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)S1-0055-07

Selection of isolation modes of inside and outside horizontal transportation equipment of container terminal in Luojing

QIN Tao¹, LONG You²

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

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

Abstract: In the design of automated container terminals, the horizontal transportation is one of the most challenging aspects to achieve automation, and the smoothness of traffic organization has a direct impact on the operational efficiency of the terminal. Currently, the traffic organization methods adopted in automated container terminals can be classified into complete isolation, spatial isolation, and temporal isolation of manned and unmanned horizontal transportation equipment. By analyzing the characteristics of different isolation modes of manned and unmanned horizontal transportation equipment in existing automated terminals, and in light of the features of phase I container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port, three isolation methods are proposed. Comparative analyses are conducted in terms of traffic organization, vehicle travel distance, reduction in the number of ground container positions, and the impact on future traffic adjustments. It is clarified that the end turn (P-shaped) isolation mode is adopted for manned and unmanned horizontal transportation equipment in this project.

Keywords: fully automated; container terminal; horizontal transportation; isolation mode

自动化集装箱码头装卸工艺系统主要由码头装卸、堆场装卸和水平运输 3 个作业环节组成。当前, 自动化码头水平运输主要依赖自动导引车(automated guided vehicle, AGV)、智能转运车(automated intelligent vehicle, AIV)等无人设备, 而外部集卡(人工驾驶)因运输弹性需求无法完全替

代。由于水平运输涉及许多随机的环境感知、路径决策规划、车流控制和高精定位等智能化问题, 需要高度可靠的自动定位、大容量的信息处理和无线通信技术的支撑, 是最难实现自动化的环节。

随着国内自动化集装箱码头装备技术和无人驾驶技术的快速发展, 中国自动化集装箱码头数

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 秦涛(1983—), 男, 高级工程师, 研究方向为港口智能化。

量已远超欧美国家^[1-3]。港内半封闭区域内的无人驾驶内集卡应用逐渐成熟,而与之相对应的外集卡,由于其在港外运输处于完全开放区域,交通状况复杂,仍为有人驾驶模式。在当前自动驾驶政策及技术水平下,自动化集装箱码头对于港内自动驾驶内集卡和有人驾驶外集卡混行仍处于小规模测试阶段,尚未有成规模运营的案例,都是采用设置单独交互区或者物理隔离的方式,实现港内自动驾驶内集卡和有人驾驶外集卡在空间和时间上的隔离^[4]。

本文通过对水平运输设备不同隔离方式的分析,针对上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程(简称罗泾改造一期工程)的特点,提出了不同隔离方式的优缺点和本文项目最终采用的隔离方式,可为同类型自动化集装箱码头的水平运输隔离方式提供参考。

1 内、外水平运输设备隔离方式

经过近 30 a 的发展,国内外已建和在建的自动化集装箱码头主要形成了两种基本模式,即堆场作业线垂直码头岸线布置的端装卸模式和堆场作业平行码头岸线布置的边装卸模式^[5-6]。

对于端装卸模式的自动化码头,由于在每个箱条两端分别设置海侧交接区和陆侧交接区,通过设置围网进行空间物理隔离,内、外集卡不进入堆场,集中在海侧交接区和陆侧交接区通过自动化轨道式集装箱龙门起重机(automated rail mounted gantry crane, ARMG)进行交互作业,交通组织简单,见图 1。

对于边装卸模式的自动化码头,港内水平运输设备采用自动驾驶技术,港外集卡仍为有人驾驶,在现有技术条件下,为了保证安全,也受限于作业规程,通常采用人工驾驶外集卡和自动驾驶内集卡隔离运行的形式。通过分析各港已建、在建边装卸自动驾驶隔离运行方式,大致可将其分为硬隔离模式和软隔离模式两大类。

所谓硬隔离模式,即堆场分为内集卡自动驾驶区和外集卡换装区或者是内、外集卡运行路径

完全分离。堆场分为内集卡自动驾驶区和外集卡换装区的形式将内集卡界定在一定的封闭区域内运行,有人驾驶外集卡不得进入,如广州南沙四期码头,利用其水水中转比例高的特点^[7],将相对数量较少的外集卡采用集中换装的方式,禁止其进入内集卡运行区域,见图 2。内、外集卡道路完全隔离模式有 U 形布置模式和端部掉头(P 形)模式,见图 3。两种模式都是通过合理的道路系统和交通流设计,在保证堆场箱区送取箱功能都能得到满足的前提下,将内集卡与外集卡运行道路完全隔离。钦州大榄坪码头采用了 U 形布置模式^[8],目前处在设计阶段的盐田东港区、深圳大铲湾二期和小洋山北码头则拟采用端部掉头(P 形)模式。

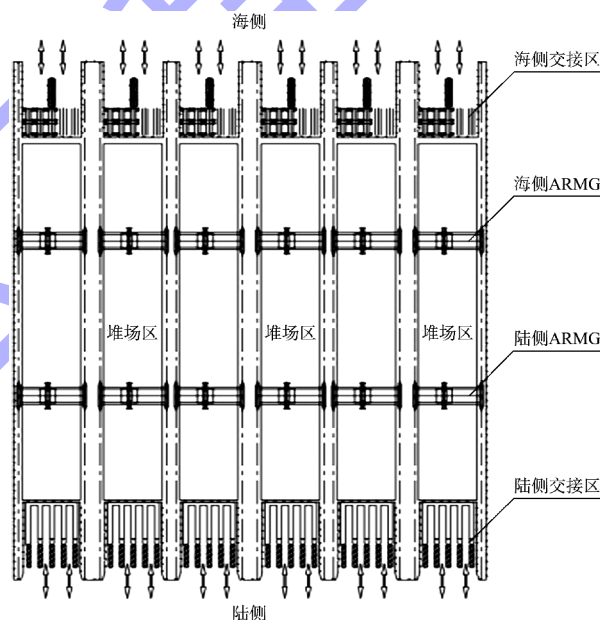


图 1 端装卸交接区布置

Fig. 1 End loading and unloading handover area layout

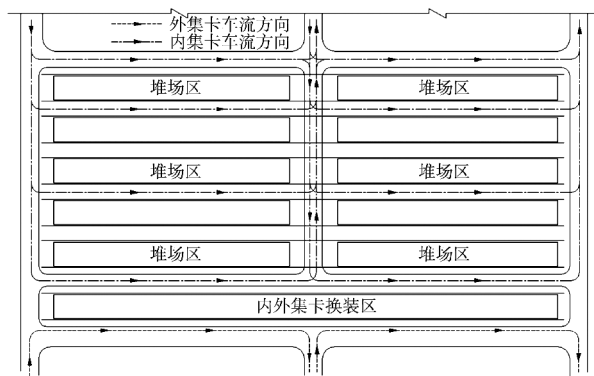
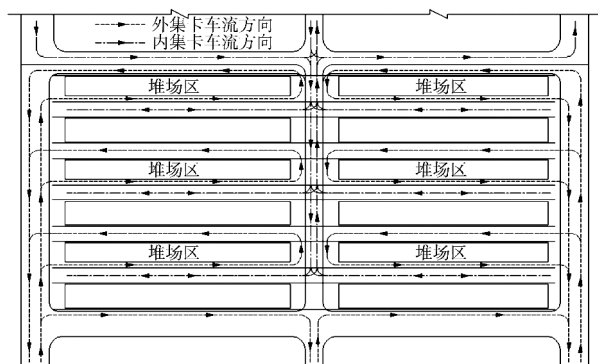
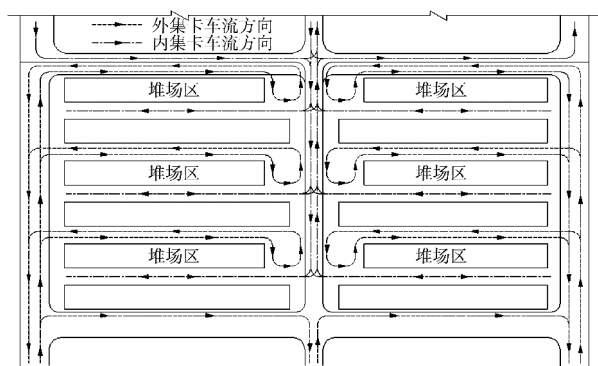


图 2 换装区隔离模式

Fig. 2 Isolation mode of changeover operation area



a) U形布置隔离模式



b) 端部掉头(P形)隔离模式

图 3 内、外集卡道路完全隔离模式

Fig. 3 Complete isolation mode for internal and external container truck roads

所谓软隔离模式,即“空间+时间”隔离模式,是将内集卡自动驾驶与外集卡通过设置围栏道闸或者设置红绿灯,通过智能调度控制,实现内外集卡交叉路段分时隔离运行,见图4,典型项目包括天津北疆C段码头、日照三期改造码头、济宁龙拱港以及日本名古屋港 TCB Nagoya 码头等。

总体而言,上述各种隔离运行方案中,换装区隔离模式的内、外集卡采用空间隔离模式,内、外车流无干扰,但陆运集装箱集中在换装区进行交互作业,增加了装卸环节和装卸成本,此模式适用于水水中转箱量比例高、外集卡陆运需求量较小的项目;U形布置隔离模式,采用道路系统隔离,需要为内集卡和外集卡分别设置独立的运行

通道,会占用更多的场地面积,同时也会导致内集卡或外集卡产生高于普通码头的运输距离,但该模式从技术角度上实现难度小,近期隔离、远期取消隔离实现混行改造工程量可控,是一种可以借鉴的近期隔离实施方案;相较于U形布置隔离模式,端部掉头(P形)隔离模式在行驶路径上有所区别,其充分利用轨道吊悬臂下空间作为外集卡行驶路径,不占用跨内堆箱区域,只占用箱区端部少量箱位即可实现外集卡的掉头运行,尤其是堆场作业线较长的码头,节省的地面箱位更多;“空间+时间”隔离模式,通过时空隔离技术控制,内、外集卡存在交叉干扰,通行效率受到影响,且纵向道路宽度较大,占用较大的堆场空间,纵向道路越多,损失的地面箱位越多。

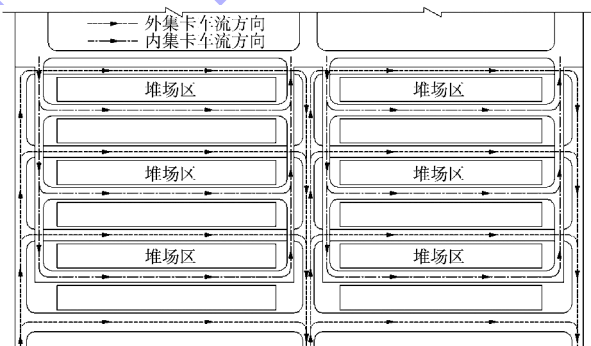


图 4 “空间+时间”隔离模式

Fig. 4 “Spatial+temporal” isolation mode

2 罗泾改造一期工程特点

罗泾改造一期工程是将原罗泾作业区煤炭功能区和矿石功能区改造为集装箱功能区,改造后码头平面呈反F形布置,分前、后、内三档布置,其中前档建设1个10万吨级集装箱泊位;10万吨级集装箱码头背侧(后档)建设2个1万吨级集装箱泊位;原煤炭装船码头位置(内档)建设2个1万吨级集装箱泊位,岸线总长度1432.1m,设计年吞吐量260万TEU,陆域面积82.77万m²,见图5。

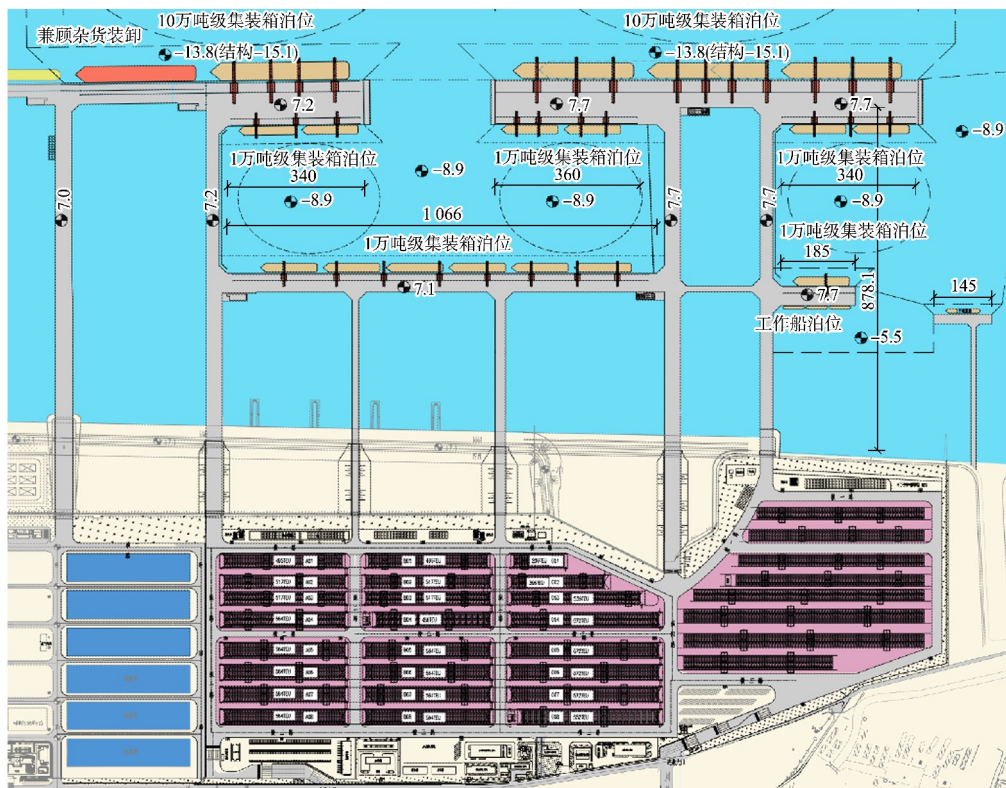


图5 罗泾改造一期工程总体布局 (单位: m)

Fig. 5 General layout of phase I renovation project in Luoqing (unit: m)

罗泾改造一期工程主要特点如下。

模式,堆场装卸作业采用自动化轨道吊^[9]。

1) 项目以内贸集装箱中转运输为主,并兼顾部分外贸远洋航线。主要承担江海联运,水水中转比例较高(近期为64%,远期存在进一步提升的可能),且内支线小船承运数量多。

2) 项目为栈桥式码头、总体呈F形和π形布置形态、栈桥长度在600~1 150 m。一期工程码头呈反F形布置,外侧大码头双侧靠船,具有“长引桥、少引桥、长悬臂”的特点,码头和堆场车流组织较为复杂。

3) 大小泊位作业存在直卸、直装流程,装卸工艺流程复杂。

4) 总体工程码头岸线为“前、中、后”三档布置,陆域形态不规则,陆域纵深和面积相较于码头岸线不足。

5) 自动化堆场作业线采用平行码头岸线布置

3 不同水平运输隔离方式对比分析

结合罗泾港区引桥式布置、中转比较高、陆域不规则等特点,通过对堆场作业线垂直布置和水平布置在车流组织、工程投资、堆场能力、远近结合等方面的综合对比,形成了“单小车岸桥+自动化单双悬臂组合轨道吊+AIV”的自动化方案,堆场采用“3单+5双”、作业线平行码头岸线的布局模式,其中靠近海侧的3条单悬臂作业线仅堆存中转箱,外集卡不进入单悬臂箱区,罗泾改造一期工程陆域路网形成“三横四纵”的布局模式,见图6。

为实现近期无人驾驶内集卡和有人驾驶外集卡的隔离运行,本文进行“空间+时间”隔离、U形布置隔离和端部掉头(P形)隔离3种模式的对比分析。

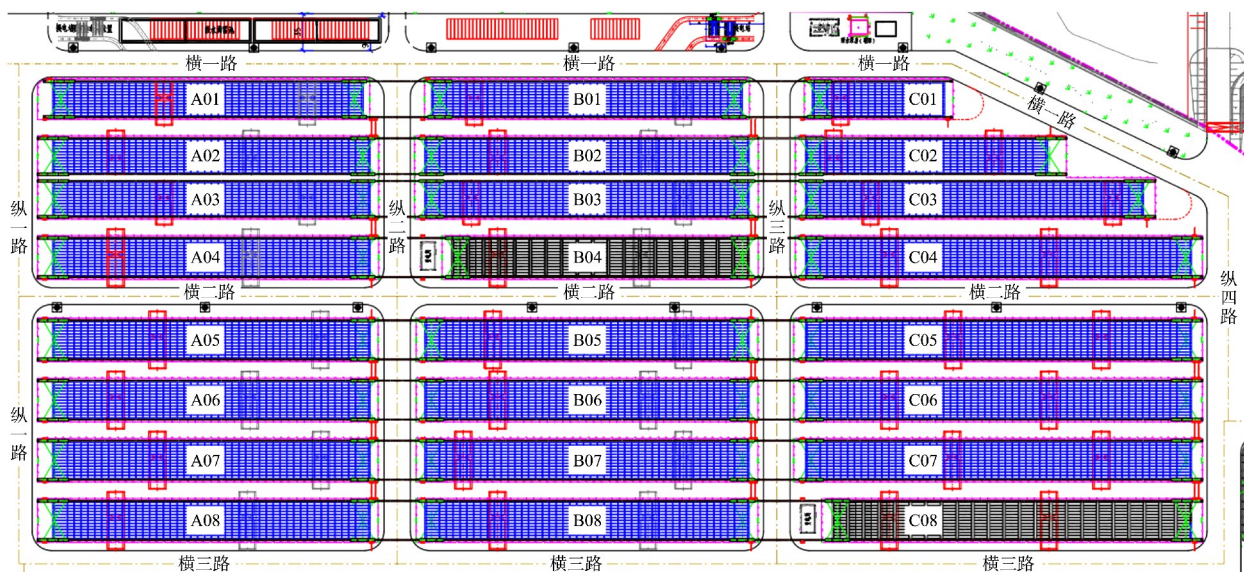


图 6 罗泾改造一期工程陆域路网布局

Fig. 6 Land road network layout of phase I renovation project in Luoqing

3.1 “空间+时间”隔离模式

结合堆场总体布局原则, 靠近海侧(北侧)的 3 条单悬臂作业线仅堆存中转箱, 外集卡不进入其范围, 外集卡仅在横二路(含)以南双悬臂区域内的通道运行, 通过无人集卡和外集卡分别在双悬臂轨道吊两侧悬臂下作业的方式进行隔离, 纵向道路上通过加宽并设置隔离设施使港内、外集卡分道行驶, 由于在堆场作业通道和纵向道路的交叉口无法避免港内、外集卡的平面交叉, 需要通过设置交通信号灯或道闸等时间隔离的方式保障运行安全, 并以“无人集卡优先”为原则进行交通组织和系统控制, 保障码头的装卸效率^[10]。采用“空间+时间”隔离模式的典型布置见图 7。

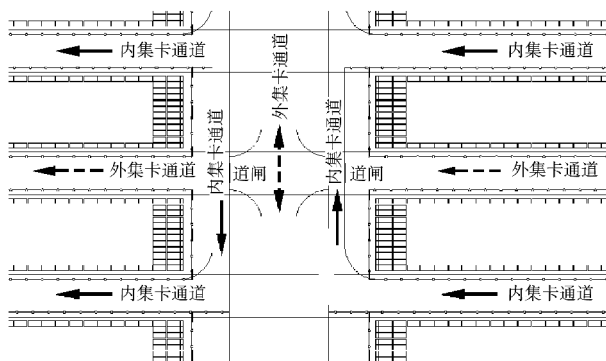


图 7 “空间+时间”隔离模式典型布置

Fig. 7 Typical layout of “spatial + temporal” isolation mode

3.2 U 形布置隔离模式

由于堆场作业线采用平行布局模式, 为实现内、外集卡的完全隔离, 必须使内、外集卡在行驶路径上不产生空间上的交叉。为此, 结合码头引桥位置以及路网布置, 在横二路以南区域将内集卡在纵向道路上限制在纵二路和纵四路运行, 在轨道吊悬臂下采用折返运行的模式实现装卸和走行。外集卡在纵一路和纵三路运行, 在堆场内通过取消轨道吊跨内箱位布置外集卡车道的形式, 形成 U 形掉头路径, 在箱区端部实现车辆的掉头, 实现外集卡的装卸和走行, 其典型布置见图 8。

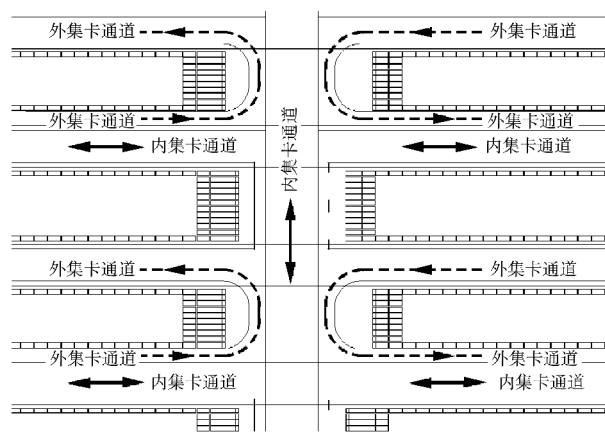


图 8 U 形隔离模式的典型布置

Fig. 8 Typical layout of U-shaped isolation mode

3.3 端部掉头(P形)隔离模式

该模式主要原则与 U 形布置隔离模式内集卡的运行方式相同,只是取消 U 形布置模式的跨内通道,将外集卡的作业和通行均布置在轨道吊悬臂下,在箱区端头设置外集卡的掉头区,实现外集卡的掉头,其典型布置见图 9。

3.4 不同隔离模式的对比

结合 3 种隔离模式布置的特点,进行车流顺畅程度、车辆走行距离、减少地面箱位等方面的对比,结果见表 1。

罗泾港区陆域面积相对于码头岸线长度有所不足,综合表 1 对内、外集卡 3 种隔离运行模式的对比可知,端部掉头(P形)隔离模式在内、外集卡隔离运行顺畅程度、减少地面箱位、近远期转换的影响等方面有一定的优势。同时,罗泾改造一期工程码头采用引桥布置模式,内集卡通过

特定的引桥上下码头,为提高水平运输通行效率,项目内、外集卡的隔离方式采用了端部掉头(P形)隔离模式。

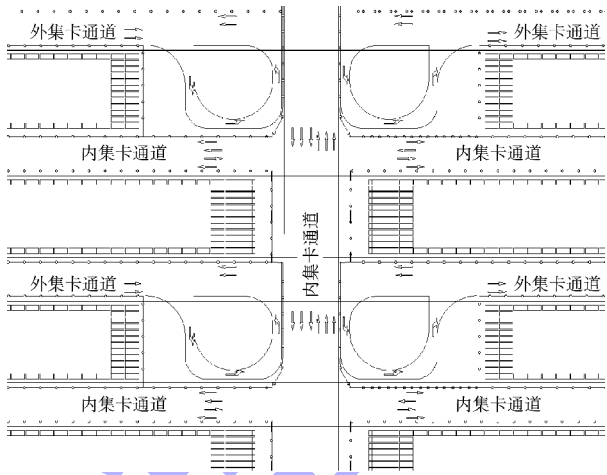


图 9 端部掉头 (P 形) 隔离模式典型布置

Fig. 9 Typical layout of end turn (P-shaped) isolation mode

表 1 3 种隔离模式对比结果
Tab. 1 Comparison results of three isolation modes

隔离方式	方案特点	车流顺畅程度	车辆走行距离	减少地面箱位/TEU	对近远期转换设计的影响
空间+时间	在纵向路设置内外集卡分隔围栏及交通放行闸口,外集卡通道设在道路中间,内集卡在两侧	内集卡有优先过闸权,外集卡到达闸口位置根据内集卡位置由调度系统决定是否放行,对外集卡运行有影响	短	876	近期纵向道路宽度大,远期撤销时,改造工程量较大
U 形布置	外集卡沿跨内设置的专用集卡通行车道行走,在端部掉头,实现内外集卡分道隔离	内外集卡完全隔离,相互独立运行	稍长	832	直接取消通道即可,转换方便,影响小
端部掉头 (P 形)	外集卡作业完成(或作业前)通过在箱区端部设置的掉头区掉头,实现内外集卡分道隔离	内外集卡完全隔离,相互独立运行	稍长	432	直接取消通道即可,转换方便,影响小

4 结语

1) 无人驾驶内集卡和有人驾驶外集卡的隔离模式的选择是自动化集装箱码头交通组织设计的重要考虑因素,对码头系统效率、工程投资和后期运营成本有直接影响。

2) 自动化码头的隔离模式的选择应结合项目特点、主要矛盾以及远景下内外集卡完全混行的趋势,可采用近期物理隔离、远期取消隔离实现混行改造工程量较小的方式。

参考文献:

[1] 贾远琨. 洋山深水港四期自动化码头[J]. 百科探秘(海底世界), 2019(S2): 12-15.
JIA Y K. Yangshan deep-water port phase IV automated terminal [J]. Scientific exploration (undersea world), 2019(S2): 12-15.
[2] 《中国航务周刊》编辑部. 山东港口青岛港自动化码头作业效率再刷世界纪录[J]. 中国航务周刊, 2022(27): 20.

- Editorial Department of *China Shipping Gazette*. Operation efficiency of the automated terminal at Qingdao Port of Shandong Port Group has once again set a world record[J]. *China shipping gazette*, 2022(27): 20.
- [3] 《中国航务周刊》编辑部. 广西北部湾港启用全国首个海铁联运集装箱自动化码头[J]. *中国航务周刊*, 2022(27): 20.
- Editorial Department of *China Shipping Gazette*. The Beibu Gulf Port in Guangxi launches the country's first automated container terminal for sea-rail intermodal transport[J]. *China shipping gazette*, 2022(27): 20.
- [4] 张肇伦, 周鸿茂, 石淦锟, 等. 集装箱码头水平运输设备混行技术方案研究[J]. *珠江水运*, 2022(8): 113-115.
- ZHANG Z L, ZHOU H M, SHI H K, et al. Study on technical solutions for mixing horizontal transportation equipment in container terminals [J]. *Pearl River water transportation*, 2022(8): 113-115.
- [5] 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.
- [6] 自动化集装箱码头建设指南: JTS/T 199—2021[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
- Guidelines for the construction of automated container terminal: JTS/T 199-2021[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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 of Luojing Port Area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [10] 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.

(本文编辑 王璁)

著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司等以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

《水运工程》编辑部