



复杂环境下盐田港大型自动化集装箱港区 集疏运体系布置*

施晓迪, 周娜, 兰加智, 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陆域形态不规则, 西侧纵深狭小且后方为山体, 对外交通体系集中且单一, 港区水陆转运比例高的复杂环境特点, 导致港区集疏运体系布置困难的技术问题。首先, 通过分析比较和仿真模拟验证, 结合盐田港区运营特点, 提出二级进港闸口和三级出港闸口的多级智能闸口布置新模式, 以进出合一的方式对接盐港东立交, 并设置足够的缓冲空间, 避免高架拥堵; 其次, 设置了穿越闸口区的专用匝道桥等多种方式的行政车辆通道, 避免与集卡产生车流交叉; 最后, 选择合适区域设置中东专用通道, 实现中、东作业区互联互通。通过上述布置方式较好地解决了盐田港东作业区的集疏运布置难题, 提高港区交通服务水平。

关键词: 自动化集装箱港区; 集疏运; 进出合一; 多级智能闸口; 专用匝道桥

中图分类号: U656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0043-07

Layout of collection and distribution system for large-scale automated container terminals in Yantian Port under complex environments

SHI Xiaodi, ZHOU Na, LAN Jiazhi, TANG Zhaoping

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

Abstract: To the complex environmental characteristics of irregular landforms, narrow depth to the west with mountains at the rear, a centralized and single external transportation system, and a high proportion of water-to-land transfer of east operation area in Yantian Port, there are technical problems with the layout of the port area's collection and distribution system. Firstly, through analysis, comparison, and simulation validation, combined with the operational characteristics of Yantian Port. A new multi-level intelligent gate layout model is proposed, consisting of secondary entering gates and tertiary exiting gates. This model integrates entering and exiting traffic through the Yantian East Interchange and incorporates sufficient buffer spaces to prevent congestion on elevated roads. Secondly, various administrative vehicle passages, including dedicated ramp bridges crossing the gate area, are established to avoid traffic intersections with container trucks. Finally, a dedicated Middle-East corridor is established in a suitable area to facilitate interconnection between the middle and east operation areas. Through these arrangements, this paper effectively resolves the difficulties in arranging the collection and distribution system of east operation area in Yantian Port, and improves the level of traffic service in the port area.

Keywords: automated container terminal; collection and distribution transportation; integration of entry and exit; multi-level intelligent gate; special ramp bridge

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: 施晓迪 (1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程总平面设计。

2017 年以来，以青岛前湾、洋山四期全自动化集装箱码头先后开港为契机，我国掀起了一次集装箱码头技术升级换代的浪潮，深圳港、宁波舟山港、广州港、天津港等沿海大港纷纷筹建各自的自化集装箱码头^[1-2]。深圳盐田港东作业区是盐田港打造的又一个大型集装箱专业化港区，共规划建设 8 个超大型集装箱码头，最大可接卸 20 万吨级以上集装箱船舶，其中一期工程建设 3 个 20 万吨级泊位。

盐田港东作业区是一座突堤式码头，突堤呈东西走向，陆域形态为三角形，西北侧与山体相连，对外交通主要通过盐东立交连接城市公路网实现。因陆域西侧纵深狭小，形态不规则，受山体的约束较大，另有中东联络通道连通布置需求，如何适应复杂环境条件布置进出通道是东作业区集疏运体系布置的关键点和难点。

本文依托盐田港东作业区一期工程，开展复杂环境下大型自动化集装箱港区集疏运体系布置研究，达到功能布局合理、交通顺畅的目的，旨在为类似复杂环境下的自动化集装箱码头的集疏运设计提供借鉴。

1 工程概况

盐田港区位于粤港澳大湾区的核心地段，已建中、西作业区以中大型泊位为主，超大型泊位不足。东作业区是港区未来发展的核心港区，也是盐田港应对国际航运市场发展形势，保持国际干线港核心地位的重要举措。

东作业区一期工程设计年吞吐量 300 万 TEU，拟建设 3 个 20 万吨级集装箱泊位，水工结构按照可靠泊 3.2 万 TEU 集装箱船设计，岸线长 1 470 m，后方陆域总面积约 120.11 万 m²，主要布置集装箱堆场、道路、配套设施等。其中，高等级码头结构、充足的陆域堆场、高效的自动化装卸工艺模式、通畅的集疏运系统等都是东作业区超大型泊位的关键基础条件^[3]。

2 港区环境特点

2.1 陆域形态不规则,对外交通布置技术难度大

东作业区规划有 A、B、C、支持系统 4 个地块。本工程位于 A 地块，见图 1。

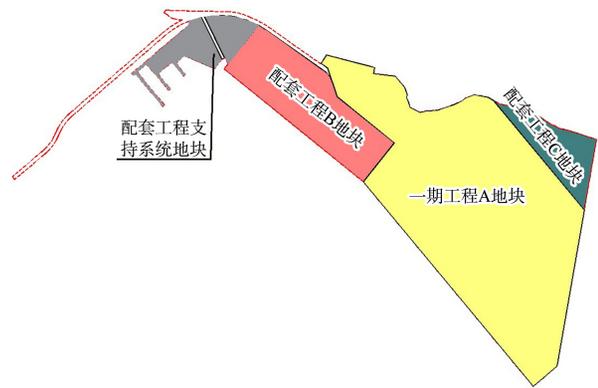


图 1 东作业区总体布置
Fig. 1 Overall layout of east operation area

陆域形态不规则，呈三角形，纵深变化较大，堆场纵深最大处 841.79 m，最窄处仅 173.20 m，堆场横向宽度最窄处 786.30 m，最宽处 1 470.00 m。港区后方为山体，高差较大，难以与外部交通多方衔接，造成对外交通体系集中且单一，易形成交通拥堵，见图 2。A 地块西南侧的 B 地块远期将建设集装箱港区，C 地块区域还需预留铁路进港空间。因此，在港区总体布置和交通组织时需充分考虑对东作业区陆域条件的适应性。



图 2 陆域范围 (单位: m)
Fig. 2 Land area (unit: m)

2.2 陆路集疏运量大,与东立交衔接处易形成交通拥堵

盐田港区主要服务于珠三角腹地及粤东西北、

湖南、江西、广西等地区的外贸集装箱运输,集疏运方式主要为公路(占比85%以上),外贸集装箱比例高。

盐田港区后方集疏运系统较为完善,盐田港中、西作业区已建成明珠立交与后方高速相衔接;东作业区与盐港东立交相衔接。盐港东立交位于盐龙大道、坪盐通道、进港路、盐坝高速交汇处,

共设置12条闸道,是坪山新区连接市中心区的重要通道,也是盐田港东作业区的疏港枢纽节点、集装箱卡车快速进出港的主通道。

盐港东立交在东作业区有上下匝道,但其位置位于东作业区最西部狭窄处,紧挨后方盐梅路山体,见图3。港区与东立交衔接处易形成交通拥堵,集疏运布置应充分考虑此特点,提高通行效率。

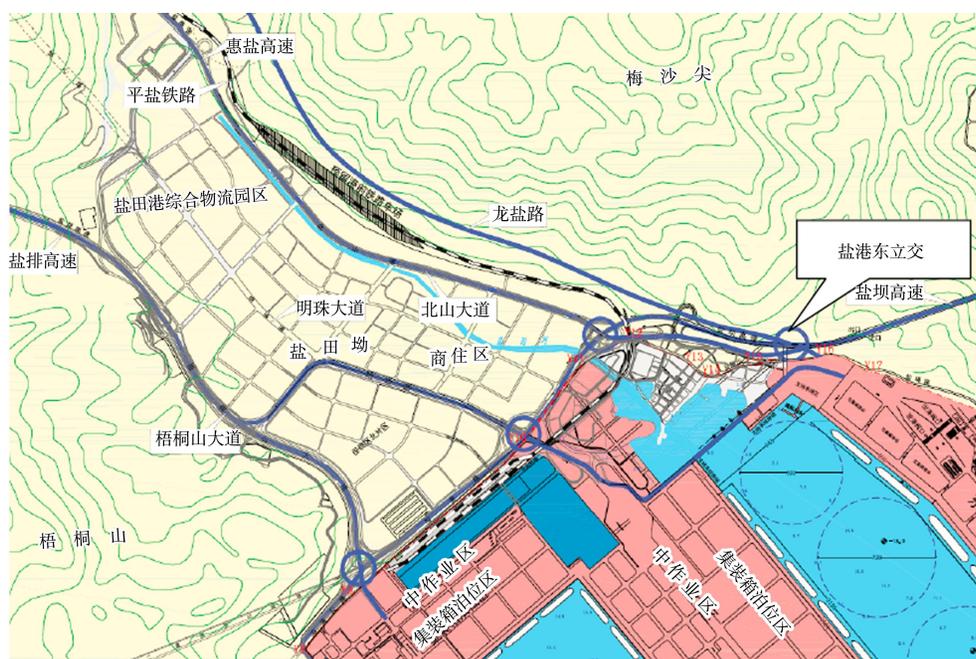


图3 盐田港东作业区后方疏港交通

Fig. 3 Traffic evacuation behind east operation area of Yantian Port

3 闸口布置及仿真模拟

3.1 闸口总体布置

3.1.1 闸口总体布置方式选择

针对工程地形不规则、陆路集疏运量大、港区集疏运接口单一、与东立交衔接处易形成交通拥堵的问题,对进出港闸口集中布置和进出港闸口分开布置的方式进行对比分析^[4]。

进出港闸口集中布置有利于港区运营管理,同时,针对盐田东作业区不规则地块特征,集中布置可以较为合理地利用不规则地块,提升土地的利用效率;港区不规则形态的缺点是进出港车流集中可能会引起闸口前方道路交通拥堵^[5]。

进出港闸口分开布置的方式更为灵活,进港

靠近外部疏港道路,有利于尽快进港;出港闸口可布置于核心堆场后方,有利于外集卡尽快离港。缺点是由于分开布置,增加港区管理成本,地块利用率降低^[6]。

经综合比选,为充分利用不规则地块,有利于港区管理,且利于与B地块衔接,闸口布置选择进出合一的方式对接盐港东立交。

3.1.2 闸口车道数

闸口车道数参考盐田港区现有闸口的实际参数计算确定,同时需综合考虑近远期需求,根据规划,闸口建设规模除满足一期工程300万TEU/a的进出港需求外,还应预留规划约300万TEU/a对闸口的车道数需求。

根据计算，对应的主闸口车道数量为 20 条，按照进港 10 条，出港 10 条布置。外集卡由盐田东立交至闸口之间平直段较短，考虑盐田港已建闸口的实际情况，为避免进港闸口前拥堵导致集卡在立交上排队以及出港闸口区域拥堵，增设 4 条进港车道和 2 条出港车道，即进港主闸口设 14 条车道，出港主闸口设 12 条车道，合计 26 条，满足近远期集卡进出需求。

3.2 进出港闸口布局

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，充分考虑盐田港区作业特点，借鉴国内外自动化码头的经验，港区公路集疏运进港设置二级闸口、出港设置三级闸口，见图 4，该布置方式已在中作业区得到成功应用^[7]。

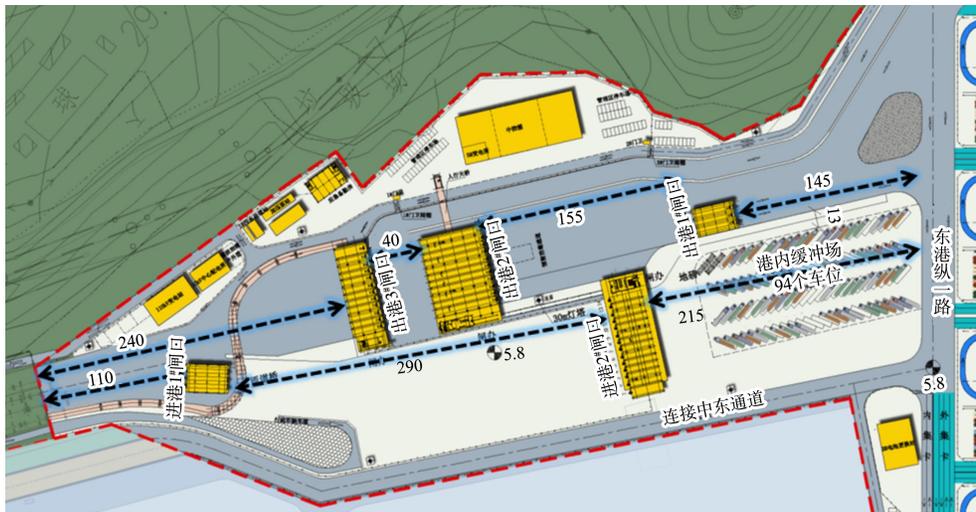


图 4 进出港闸口布置 (单位: m)

Fig. 4 Layout of entrance and exit gates of port (unit: m)

3.2.1 进港方向

进港闸口设置二级闸口。为避免进港车辆拥堵对盐东立交产生影响，沿立交进港匝道从立交设计边界往东约 110 m 设置进港第 1 级闸口，为保证集卡出闸后有足够的直行距离，旋转 15°；在第 1 级闸口北侧设置返回车道，存在问题的集卡可由此返回盐东立交。第 1 级进港闸口主要为已提前网上录入信息的车辆进行数据采集核实，共布置 3 条车道(通过式设计)，车辆可不停车通过完成车号、箱号等相关数据的采集和验残，通过第 1 级闸口识别的车辆可缩短通行第 2 级闸口的时间^[8-9]。

进港第 2 级闸口为进港控制的主闸口，位于第 1 级闸口往东约 290 m，共建设 14 条车道。进港集卡在第 2 级闸口完成相关手续后，根据相应指令进入箱区提送箱，或进入港内缓冲场等待。

进港第 2 级闸口内侧缓冲场面积约 1.28 万 m²，布置约 94 个车位。停车位按八字形布置，提高停车和进出效率，端部布置 2 台地磅，简化自动化堆场内作业内容，降低港区内交通组织难度。

3.2.2 出港方向

出港闸口设置三级闸口。第 1 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，闸口位于距离纵一路约 150 m，为出港车辆预留排队空间，降低对港内作业车辆影响。出港第 1 级闸口外侧还为不需通过第 1 级闸口的集卡留出通道。

第 2 级为验箱闸，与第 1 级闸口之间距离为 160 m，当出港箱存在破损时，可通过闸口边上设置的调头回流车道返回处理，共设 12 条车道。

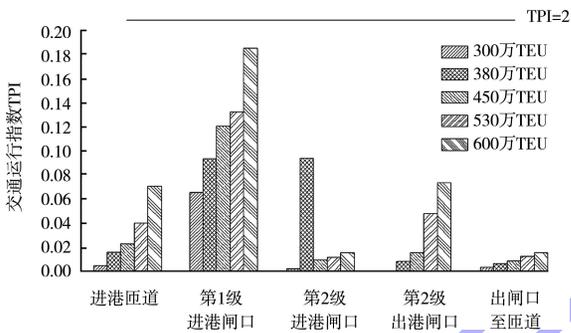
第 3 级为海关查验及出港放行闸口，与第 2 级闸口之间距离为 40 m，共设 12 条车道。第 3 级闸

口距盐东立交约 240 m。

3.3 仿真模拟分析

3.3.1 闸口交通运行指数 TPI

第 1、3 级出闸口及出港匝道没有排队情况, TPI 为 0。进港匝道、第 1、2 级进闸口、第 2 级出闸口及出闸口至匝道路段处的 TPI 最大不超过 0.2。由 TPI 值可将进出港匝道、所有进出闸口的交通畅行指数定为 0~2(畅通级)。当前匝道和闸口布置能够满足码头在远期 600 万 TEU 的年吞吐量需求, 各级闸口的交通畅通, 能够按照道路限速标准正常行驶, 见图 5。



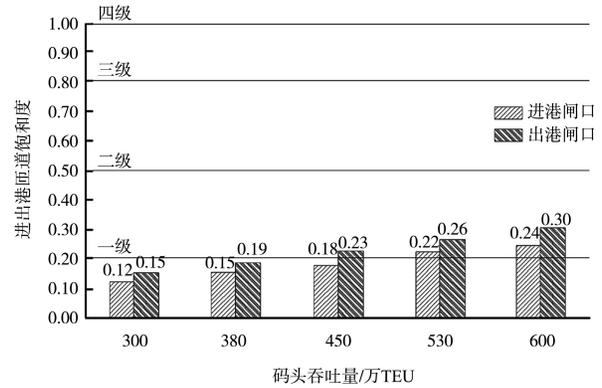
注: TPI 是用于量化道路网交通运行状况的指标: 0~2 为畅通, 2~4 为基本畅通, 4~6 为轻度拥堵, 6~8 为中度拥堵, 8~10 为严重拥堵。

图 5 各工况下各级闸口 TPI

Fig. 5 TPI of each level gate under various conditions

3.3.2 匝道服务水平

在远期码头吞吐量为 600 万 TEU 时, 进、出港匝道的饱和度分别为 0.24 和 0.30, 不超过 0.50, 达到了二级服务水平, 见图 6。



注: 匝道服务水平饱和度是用于衡量匝道交通运行状况的重要指标: 0~0.20 为一级服务水平, 车流密度很小, 车辆自由行驶; 0.20~0.50 为二级服务水平, 车辆排队率很小, 车辆行驶速度仍很快; 0.50~0.80 为三级服务水平, 车流出现不稳定现象, 车辆行驶速度明显下降; 0.80~1.00 为四级服务水平, 排队现象严重, 甚至可能超出匝道的容纳范围。

图 6 各工况下进出港匝道饱和度

Fig. 6 Saturation degree of entrance and exit ramps under different conditions

通过对盐港东立交与拟建东港区各条匝道交通量预测及通行能力分析, 以及闸口仿真模拟分析^[10], 公路集疏运量未超过盐港东立交的设计能力。

4 行政车辆专用进出港路径分析

受地形限制, 为避免影响远期工程与 B 地块之间的交通衔接, 港区主要闸口配套区域主要布置在出港闸口北侧, 其中包括中控楼, 对于行政车辆进出中控楼区域, 针对从地面道路和盐东立交进港两种情况分别提出解决方案。

4.1 行政车辆经由地面道路进出港

港区设置专用行政车辆进出口, 紧邻盐东立交建设地面连接道路与盐梅路衔接, 见图 7。

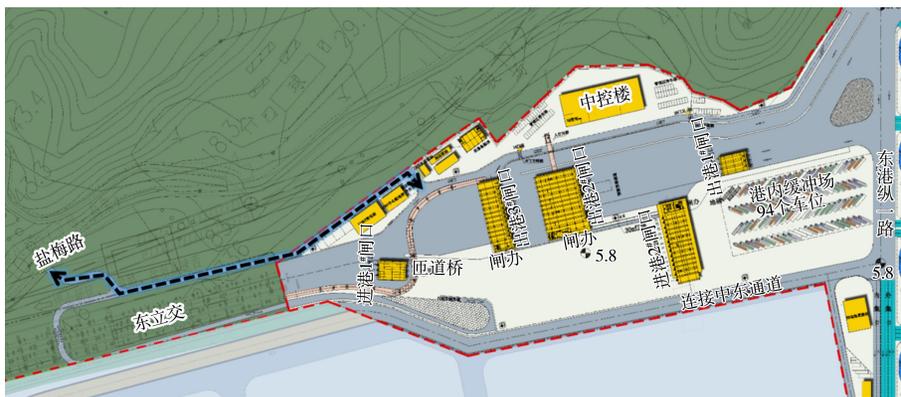


图 7 地面连接道路布置

Fig. 7 Layout of ground connecting roads

4.2 行政车辆经由盐港东立交进港

行政车辆若由盐港东立交进港，为确保进港后与集卡车流隔离，避免影响集卡通行效率和增加安全隐患，提出以下两种布置方式连通东立交和中控楼区域。

连通方式 1：通过盐港东立交落地后，向前行驶掉头(行政车辆和集卡行驶区域不重叠，且设置

隔离措施)，由盐港东立交南侧地面道路穿越盐港东立交，经北侧地面道路进入中控楼区域，见图 8。

连通方式 2：通过盐东立交落地后，通过 1# 闸内侧新建专用匝道桥穿越进港 1# 闸口区后进入中控楼区域。匝道桥在穿越闸口区区域保证 5.5 m 以上净空，确保集卡通行不受限制，见图 9、10。

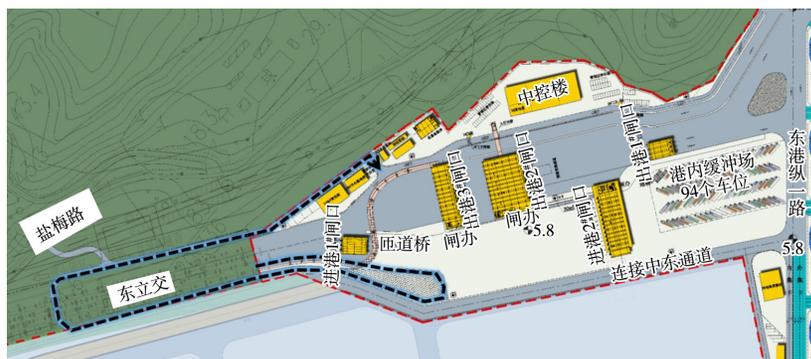


图 8 掉头方案
Fig. 8 U-turn plan



图 9 匝道桥设置
Fig. 9 Setting of ramp bridge



图 10 匝道桥穿越闸口区效果
Fig. 10 Effect of ramp bridge crossing gate area

5 中、东作业区连通布置

盐田港东作业区是盐田港区的重要组成部分, 位于现盐田港区中作业区的东侧, 一期工程岸线与中作业区三期扩建工程东侧岸线平行, 两段岸线相距 1 040 m, 共用回旋水域。

本工程与中作业区的连通将通过拟建中东通道桥进行, 在港区进港闸口南侧和 B 地块之间专门设置 16 m 宽的专用通道与中东通道桥连通, 可实现与远期 B 地块以及中作业区的统筹运营和相关设施的共享共用, 见图 11。



图 11 中、东作业区连通布置

Fig. 11 Connection layout between central and east operation areas

6 结语

1) 针对陆域形态不规则, 外部接口单一, 水陆转运比例高等特点, 设计进出合一的闸口对接盐港东立交, 并引入二级进港闸口和三级出港闸口的多级智能闸口布置新模式, 有效分散车流压力。

2) 在闸口区域设置足够的通行空间和缓冲空间, 提高集卡通行效率, 使公路集疏运更顺畅, 避免高架拥堵, 通过仿真验证匝道通行达到二级服务水平以上。

3) 设置穿越闸口区的专用匝道桥等多种方式的行政车流通道, 实现行政车辆与进出港集卡车

流的物理隔离, 避免车流交叉, 提高集卡通行效率和港区安全性。

4) 在港区进港闸口南侧专门设置 16 m 宽的专用通道与中东通道桥连通, 可实现与中作业区的统筹运营和相关设施的共享共用, 优化港区整体物流效率。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王夏宇, 刘璐, 李歆娅, 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 plans for major automated container terminals along China's coast [J] Containerization, 2021, 32 (8): 9-12.
- [3] 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 for Phase I of Container Terminal Project in east operation area of Yantian Port Area, Shenzhen Port [R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., 2022.
- [4] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中国港口协会. 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., China Ports & Harbours Association. Design code of automated container terminal: JTS/T 174—2019 [S]. Beijing: China Communications Press, 2020.

(下转第 55 页)