



罗泾集装箱码头安全隔离创新设计

刘成鑫¹, 胡 坚², 龙 友¹, 钟 毅²

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

摘要: 自动化集装箱码头一般通过平面布局, 结合特定工艺设备实现自动化区与非自动化区在空间或时间上完全隔离, 从而保证生产运营安全、高效。上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程难以将码头和引桥区域智能转运车(AIV)与人工驾驶车辆实现完全隔离。通过总结不同技术路线下自动化集装箱码头安全隔离设施平面布置和安全管理原则, 结合一期工程特点梳理在装卸工艺技术路线、车流组织及堆场管理等方面进行的一系列组合创新实践。对项目自动化区和非自动化区平面布置, 围网和门禁设施布置, AIV 与人工驾驶车辆路径规划原则, 自动化区域内人员、车辆安全管理的创新设计以及未来的优化发展方向进行详细说明, 最终实现了自动化区内 AIV 与港内人工驾驶车辆的混行。

关键词: 车流组织; 混行; 安全隔离

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0041-08

Innovative design on safety isolation for container terminal in Luojing

LIU Chengxin¹, HU Jian², LONG You¹, ZHONG Yi²

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

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

Abstract: To ensure safe and efficient operations, dedicated layout and handling equipment for automated container terminals are generally applied to isolate automated zones from non-automated areas spatially or temporally. It is difficult to achieve complete isolation between automated intelligent vehicle (AIV) and manually operated vehicle in the wharf and approach bridge areas in phase I container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port. By summarizing the layout principles of safety isolation facilities and safety management protocols for automated container terminals under different technical approaches, we organize a series of combined innovative practices in areas such as cargo handling technology routes, traffic flow organization, and yard management combining with the characteristics of the phase I project. We provide detailed explanations regarding the layout of automated and non-automated zones, the arrangement of fencing and access control systems, the path planning principles for AIV and manually operated vehicle, innovative designs for personnel and vehicle safety management within the automated zone, and future optimization directions. Ultimately, mixed operation between AIV and manually operated vehicle within the automated zone is achieved.

Keywords: traffic flow organization; mixed operation; security isolation

自 20 世纪 90 年代, 全球第一座自动化集装箱码头——荷兰鹿特丹港 ECT Delta 集装箱码头建成以来, 自动化集装箱码头的发展已超 30 a。全

球建成和在建的全自动化或半自动化集装箱码头已近 50 座。随着智能化技术日益成熟, 自动化集装箱码头在降低劳动强度、生产运营稳定高效、

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 刘成鑫(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程咨询与设计工作。

环保低碳等方面展现出越来越大的优势,同时能够降低人力成本、提升港口品牌形象,是未来发展的必然趋势^[1]。

近年来随着新一轮自动化技术的发展,尤其是基于人工智能、视觉计算、高精地图、自动导航定位等智能驾驶技术的自动化水平运输设备的应用,自动化集装箱码头在平面总体布局和装卸工艺总体技术路线上也突破了传统模式,朝多样化方向发展,以适应不同项目应用场景的需求(如水水中转比例高,岸线、用地不规则,装卸船设备特定,投资受限等)^[2-3]。在自动化集装箱码头还不能完全实现自动化水平运输设备与外集卡混行的情况下,安全隔离设施布置方案 and 安全管理如何与生产自动化、智能化配合,形成全方位生产防护和监控至关重要。

本文在总结分析当前各种典型自动化集装箱码头安全隔离设施布置和装卸作业安全管控现状的基础上,依托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),针对目前国内唯一“长引桥、岸线一线三用”的总体布局,采用自动化单小车岸桥装卸工艺系统,提出具有一定创新性的安全隔离布置方案,并对自动化作业区域内 AIV 与人工驾驶车辆路径规划原则,人员、车辆安全管理以及未来的优化发展方向进行详细说明。该方案实现了自动化区域内 AIV 与港内人工驾驶车辆混行,减少人工辅助作业对自动化生产运营的影响,对提高自动化集装箱码头生产作业效率以及岸线资源集约节约利用等均具有一定的积极意义。

1 自动化集装箱码头安全隔离布置现状

自动化集装箱码头一般通过不同的平面布局,结合特定工艺设备实现自动化区与非自动化区在空间或时间上完全隔离。在总体技术路线上主要分为 3 类:平面空间隔离+堆场垂直布置+两端交

互;平面空间隔离+堆场水平布置/垂直布置+侧边交互;时间隔离+堆场平行布置+侧边交互。当自动化区内需要人工辅助作业时,须划定严格的禁行区,并执行严格的闭环安全管理。

1.1 平面空间隔离+堆场垂直布置+两端交互

在早期已建的自动化集装箱码头中多数采用此技术路线,国内典型的案例主要有上海洋山四期码头和青岛前湾码头^[4-5]。码头总体为满堂式布置,岸线平顺。码头前沿作业地带前方与堆场后方为非自动化作业区,中部堆场及码头前沿作业带后方天然形成封闭自动化作业区。

码头装卸船采用自动化双小车岸桥,以岸桥陆侧轨道为界,陆侧轨道前方为非自动化作业区,主要布置舱盖板区、特种箱区装卸区、行政车道和泊位附属设施区域。陆侧轨道后方为自动化作业区,主要布置装卸区、缓冲区和行驶区。堆场作业线垂直于码头前沿线布置,装卸设备采用重载高速自动化轨道吊,水平运输设备不进入箱区,在堆场两端进行交互作业。

1.2 平面空间隔离+堆场水平布置/垂直布置+侧边交互

采用此技术路线的自动化集装箱码头典型案例主要有广州南沙四期码头和钦州大榄坪码头,均为满堂式布置形式。生产运营上,广州南沙四期码头要求水水中转比例 80% 以上,钦州大榄坪码头陆侧外集卡集中到港规律突出。装卸工艺均采用水平运输设备可直接进入箱区内部,在作业线侧面与轨道吊交互方案。堆场内轨道吊作业任务均衡,可有效减少设备数量,控制投资,同时避免设备高速重载运行,降低生产运营能耗。

广州南沙四期码头装卸船采用自动化单小车岸桥,码头前方为非自动化作业区,岸桥轨内靠海侧车道为特种箱及行政车辆通道,前轨前方为泊位辅助设施区。非自动化作业区与后方自动化

区采用围网物理隔离。自动化作业区自前向后依次布置自动化装卸车道、舱盖板区、拆装锁钮区、缓冲区和陆侧通行车道等。堆场作业线平行码头前沿布置, 前方为单悬臂自动化专用箱区(中转箱专用箱区), 后方设置 1 条双悬臂箱区, 主要用于本地箱作业, 海侧悬臂为内集卡交互区, 陆侧悬臂为外集卡交互区。

钦州大榄坪码头装卸船采用自动化双小车岸桥, 码头前沿作业地带布置模式同 1.1 节。堆场作业线垂直码头前沿布置, 装卸设备采用自动化双悬臂轨道吊。内外集卡分别在箱区两侧交互作业, 外集卡在堆场中装卸行驶车道呈 U 形布置, 返程车道需要占用轨道吊跨内箱位, 与内集卡车道完全物理隔离。

1.3 时间隔离+堆场平行+侧边交互

采用此技术路线的自动化集装箱码头典型案例主要为天津 C 段码头, 总体布置方案与传统非自动化集装箱码头类似^[6-7]。码头装卸船采用自动化单小车岸桥, 堆场采用自动化双悬臂轨道吊, 作业线平行码头前沿布置, 内、外集卡分别在箱区两侧交互作业。

港区纵向主干道需要分别设置自动化水平运输设备和外集卡专用通道, 并用围网物理隔离。内、外集卡行驶路径均可形成环形车流。当自动化水平运输设备与外集卡专用车道交叉时, 采用信号灯管控通行, 在时间上进行隔离, 避免混行。由于内、外集卡均需要专用车道, 同时保证车辆转弯通行安全, 故堆场利用率较低。另外堆场内设置了大量的交通信号灯, 对水平运输效率存在一定影响。

1.4 自动化作业区内人工辅助作业安全管理

自动化集装箱码头的自动化作业区与非自动化作业区通常采用完全隔离方案, 自动化作业区

域内部需要人工辅助作业, 其工作根据采用的技术路线不同而略有不同。当码头装卸船采用自动化双小车岸桥时, 人工辅助作业主要为大机设备等维护保养; 当采用自动化单小车岸桥时, 人工辅助作业还包括集装箱拆装锁钮和舱盖板区的吊装作业等。

为避免进入自动化作业区域内的人员和车辆与岸桥、场桥和自动化水平运输设备等发生交通冲突, 在人员和车辆进入自动化作业区域前预先设定禁行区。禁行区设定后, 处在禁行区内的大机设备停止自动化作业, 水平运输设备驶出禁行区, 有效保障作业人员的安全^[8]。

2 罗泾改造一期工程安全隔离方案及管理创新设计

2.1 工程概况

罗泾改造一期工程主要将原煤炭码头改造为自动化集装箱码头, 改造后码头引桥平面形态呈反 F 形。泊位总长度 1 432.1 m, 分前、后、内三档布置, 共形成 2 个 7 万~10 万吨级和 4 个 1 万吨级集装箱泊位, 岸线资源得到了充分利用, 设计年通过能力 260 万 TEU。总平面布置见图 1。

在充分考虑码头引桥平面布置形态、集疏运特点以及自动化集装箱码头技术装备发展等因素的基础上, 项目采用“自动化单小车岸桥+智能转运车(automated intelligent vehicle, AIV)+自动化轨道吊”堆场平行布置的自动化装卸工艺技术路线。自动化水平运输设备采用 AIV, 通过智慧化水平运输设备路径管理系统(horizontal transportation management system, HTMS)和基于融合定位智能驾驶技术运用, AIV 行驶具备混合交通、精细化避障换道绕行、多车路口交汇博弈通行等功能^[9-10]。

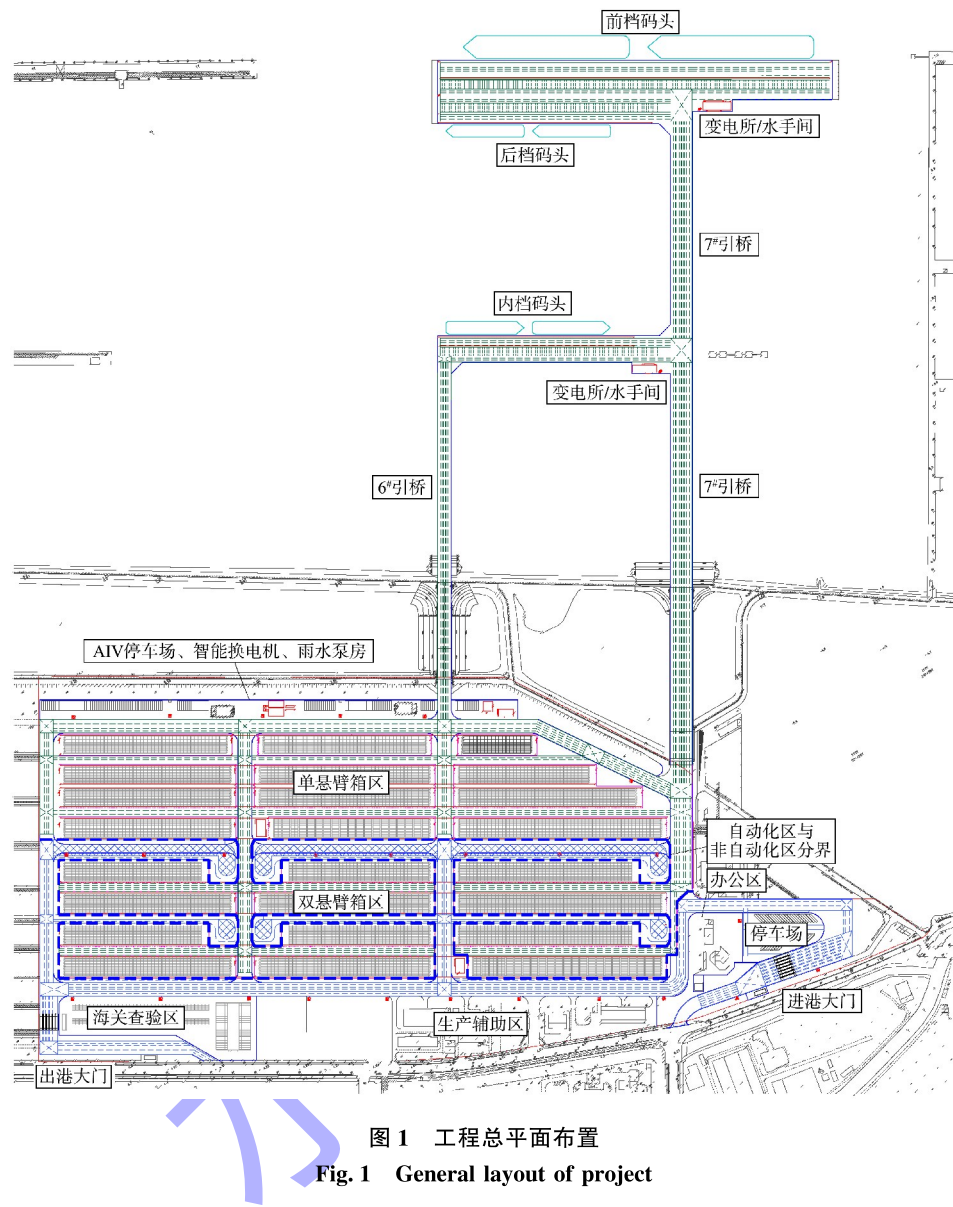


图 1 工程总平面布置

Fig. 1 General layout of project

2.2 平面布置

2.2.1 码头平面布置

项目改造后前档码头为 2 个 7 万吨级集装箱泊位，以 7#引桥为界上游侧双侧靠船，下游侧单侧靠船。上游侧后档为 2 个 1 万吨级集装箱泊位，码头面总体宽度为 115 m。码头平台自前档向后档依次布置前档泊位辅助设施区、前档装卸区、前档舱盖板区(兼锁站区)、行驶区、后档舱盖板区

(兼锁站区)、后档装卸区和后档泊位辅助设施区等。装卸区和行驶区内均为 AIV 与人工驾驶车辆可变车道。岸桥紧邻前轨车道和行驶区两侧车道兼顾超限箱车辆行驶需求。前档码头轨距 30 m，后档和内档码头轨距 16 m，舱盖板区可兼作锁站区，宽度 16 m。下游侧码头面宽度为 71 m。内档码头为 2 个 1 万吨级集装箱泊位，码头面总宽度 48 m。码头改造布置断面见图 2。

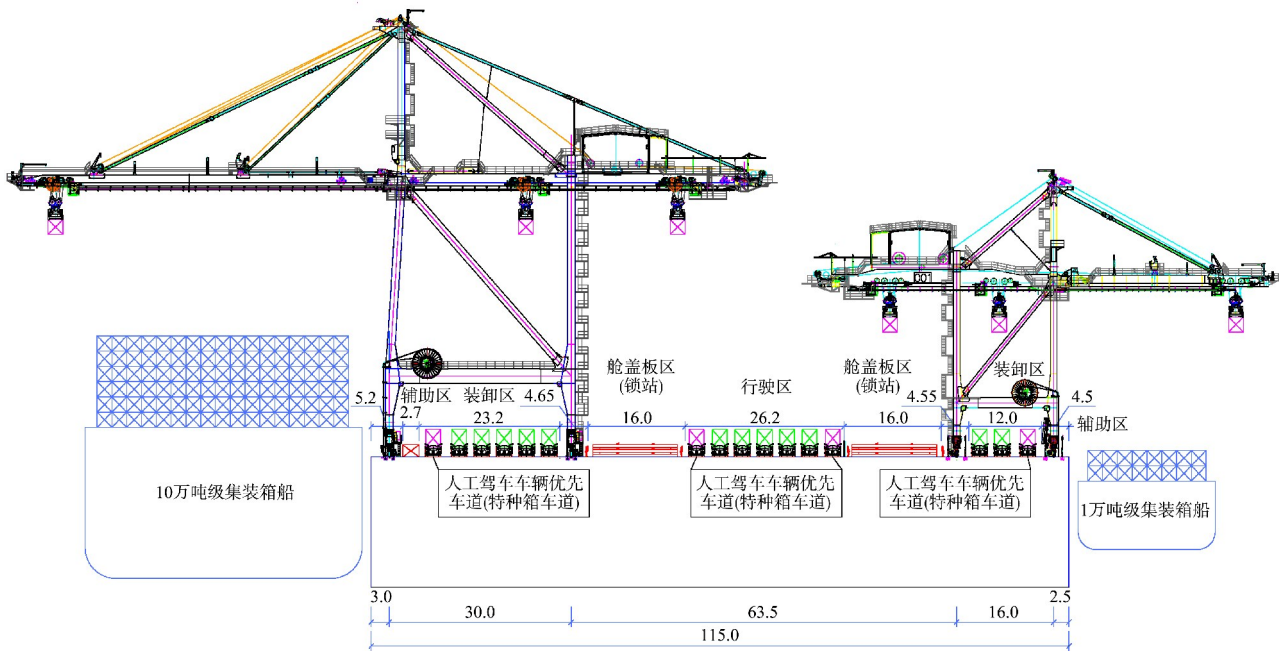


图 2 码头改造布置断面 (单位: m)
Fig. 2 Cross section of wharf renovation (unit: m)

2.2.2 引桥平面布置

码头通过 2 座引桥与陆域相连, 6#引桥宽度 25 m, 兼顾堆场自动化轨道式集装箱龙门起重机 (automation rail mounted gantry crane, ARMC) 整机上岸需求, 布置 5 条通行车道和 3 条锁站区间。

7#引桥宽度 40 m, 布置 8 条通道和 5 条锁站区间。引桥上每条车道均为 AIV 与人工驾驶车辆可变车道, 6#引桥西侧车道和 7#引桥两侧车道兼顾超限箱车辆行驶需求。引桥布置断面见图 3。

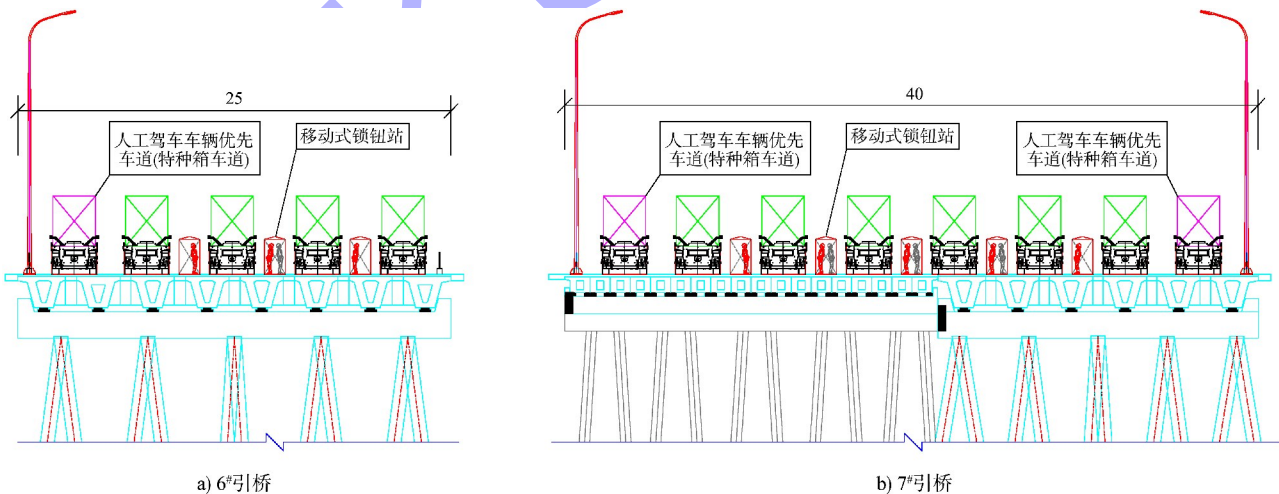


图 3 引桥布置断面 (单位: m)
Fig. 3 Cross section of approach bridge (unit: m)

2.2.3 集装箱堆场平面布置

陆域根据功能分区不同共布置三横四纵主干路网, 横一路与横三路之间为自动化集装箱堆场, 堆场前方和后方为辅助设施区域。堆场采用空重

混堆、分区存放作业模式。堆场作业线平行布置, 水平运输设备可直接驶入箱区相应贝位, 在侧面完成交互作业, 采用单、双悬臂箱区组合布置方案。前方 3 条作业线为单悬臂作业线, 轨距 34 m,

采用背靠背成对布置模式。后方 5 条作业线为双悬臂作业线，轨距 37 m。单双悬臂侧相邻两条作业线轨道中心线距离 20 m，悬臂下各布置 1 条装卸车道和 1 条通行车道。

2.3 港区交通组织

2.3.1 自动化区和非自动化区划定

考虑到码头和引桥区 AIV 与人工驾驶车辆难以实现完全隔离，港区前方码头和引桥均为自动化作业区；堆场前方单悬臂箱区仅堆存中转箱，外集卡不进入该区域作业，为自动化作业区；双

悬臂箱区既可以堆存中转箱，也可以堆存本地箱，AIV 作业侧为自动化区，外集卡作业侧为非自动化区；外集卡在堆场内装卸行驶路线呈 P 形布置，掉头区利用箱区端头进行布置，纵一路和纵三路后半段为非自动化区，前半段为自动化区，纵二路和纵四路为自动化区；港区后方为生产辅助区，主要包括进出港大门、机修区、海关查验区以及其他辅助区等，为非自动化区。港区水平运输组织见图 4。

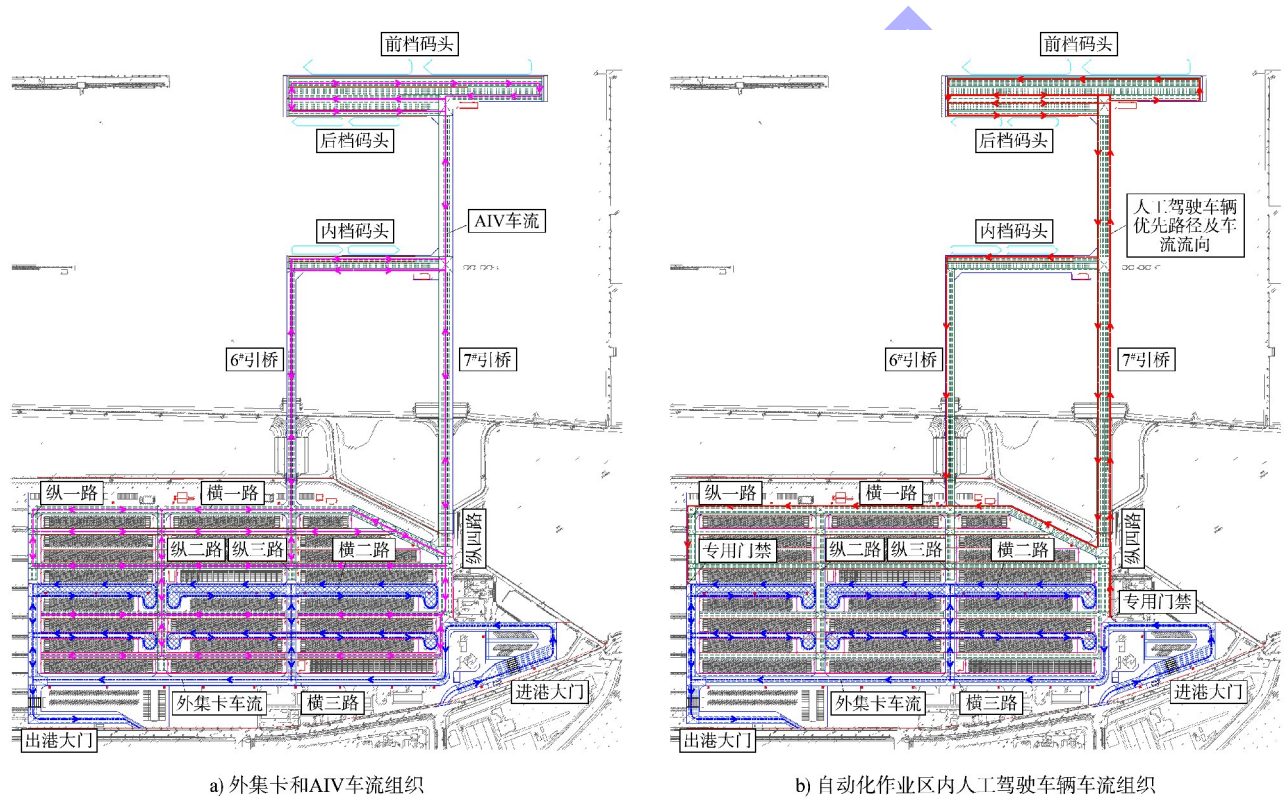


图 4 水平运输车流组织

Fig. 4 Horizontal transportation vehicle flow organization

2.3.2 自动化区交通组织

自动化区域内行驶车辆主要包括：AIV、人工驾车内集卡(特种箱)和其他行政车辆(引导车、交通车、巡逻维修等)。AIV 行驶路径由 HTMS 根据作业任务和道路繁忙情况自动规划设定，AIV 根据规划路径行驶，并负责完成行驶过程中的避障换道绕行、多车路口交汇博弈通行以及实时位置反馈等。

码头作业地带 AIV 按照固定流向行驶，引桥

及堆场主干道路均为双向道路；堆场前方单悬臂箱区 AIV 为双向贯通车流；后方双悬臂箱区 AIV 侧为往返式车流流向。自动化区内每条车道均不固定行车方向，HTMS 结合道路通行实际情况智能化分配车道和行驶方向，并在路径规划中优先避让超限车辆可变车道。人工驾驶车辆路径优先选择兼顾超限车辆行驶的可变车道，特殊情况下临时借用其他可变车道行驶，并主动避让 AIV。

2.3.3 非自动化区交通组织

非自动化区内外集卡和其他车辆均按照交通标志和标线右行规则通行，外集卡在箱区内装卸行驶路线呈 P 形布置，通过箱区端部掉头区过渡至相邻箱区进行装卸作业。

2.4 围网和门禁布置

根据码头及堆场功能不同，自动化区域内均不设置物理隔离围网。外集卡行驶的非自动化区与自动化区之间采用物理围网、门禁隔离。另外，堆场箱区内全部为轨道吊行走和吊装作

业范围，为避免人员误入箱区，箱区四周设置安全围网，并在需要跨街作业的端部设置轨道吊进出道闸。

结合箱区围网布置，自动化作业区围蔽范围为：自西侧纵一路中部第 4 条作业线外集卡悬臂侧，沿外集卡行驶轨迹和箱区围网向南绕过纵二路南端延伸至纵三路中部，最后向东在纵四路与进港通道的横三辅路交叉口结束。纵一路和纵四路围网设置自动化区进出专用门禁。围网、门禁布置见图 5。

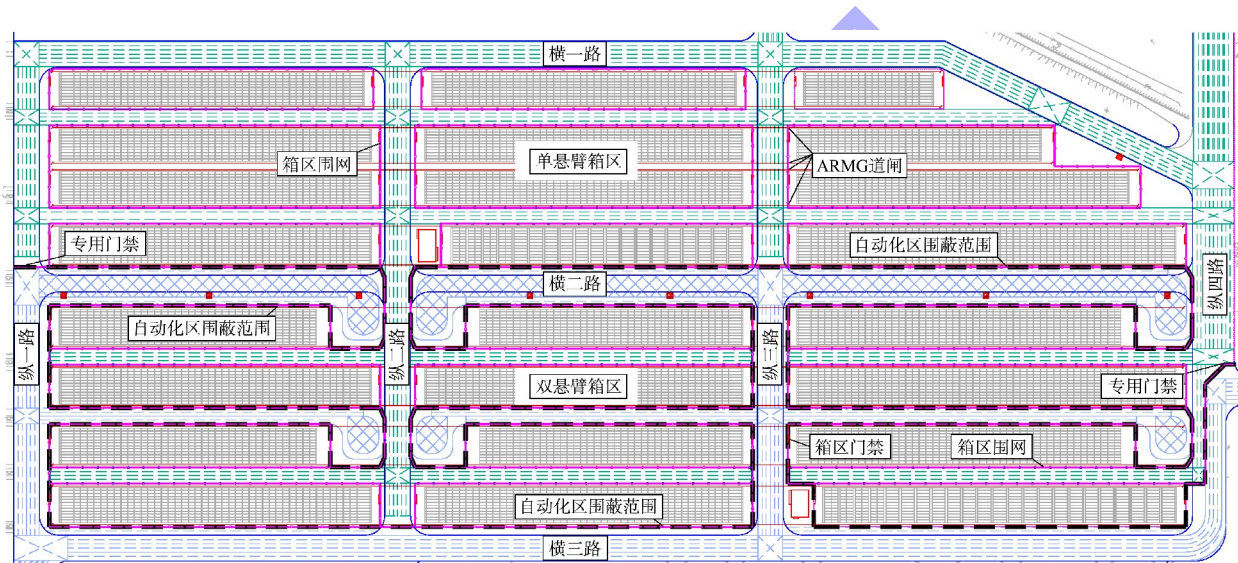


图 5 围网、门禁布置

Fig. 5 Security fence and access control system layout

2.5 自动化作业区内人工辅助作业安全管理

本文工程自动化区内人工辅助作业较多主要包括：船舶辅助作业、舱盖板区吊装作业、集装箱拆装锁钮、冷藏箱插拔电源以及设备设施维护维修等。为避免辅助作业人员与 AIV、岸桥和场桥发生冲突，针对相应的作业区域划定禁行区，包括但不限于泊位辅助设施区、船舶舱盖板吊装区、锁钮站及临时维修区域。

操作人员需要乘坐行政车辆由后方非自动化区或者前方水手间至相应的辅助作业区(禁行区)，并且仅允许在禁行区内完成辅助作业，严禁在区域外行走。特种箱装卸船作业由人工驾驶内集卡完成，港外人员驾驶车辆须由港内引导车引导通

行。进出箱区的人员和车辆须提交申请，经审批后才能进入箱区范围。

2.6 远期改进方向

目前 HTMS 不完全掌握自动化区域内的人员和人工驾驶车辆的实时位置，安全管理主要通过划定禁行区、分别合理规划 AIV 和人工驾驶车辆水平运输路径以及 AIV 单机智能驾驶系统实现安全避让。远期拟为辅助作业人员和车辆配置便携式定位终端设备，联合跨摄像头多目标视觉检测识别技术，通过人工智能学习，对自动化作业区域内车辆和人员进行动态识别，辅助 HTMS 定位人员和车辆，完善系统层面安全管控。

3 结语

1) 自动化集装箱装卸区内新型车流组织、安全隔离和管理模式,有效减少了“长引桥、岸线一线三用”布局下自动化区内较多人工辅助作业对自动化生产运营的影响,提高了自动化集装箱码头生产作业效率以及岸线资源利用率。

2) 新型作业模式实现了自动化集装箱码头自动化区域内水平运输设备与港内人工驾驶车辆混行,丰富和拓展自动化集装箱码头的应用场景。

3) 远期优化后基本可实现自动化区域内人员、行政车辆和 AIV 的实时混行,自动化作业效率可进一步提升。

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] 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 G H, et al. Seletion of overall technical route for automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2022(10): 8-12.
- [3] 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.
- [4] 程泽坤,刘广红,何继红. 洋山港四期全自动化集装箱码头总体布置创新[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(10): 1-7.
- CHENG Z K, LIU G H, HE J H. Innovation on general layout of fully-automated container terminal in Yangshan Port phase IV project [J]. China harbour engineering, 2016, 36(10): 1-7.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 王敏,唐洲,余政. 阿布扎比哈里发港集装箱码头二期项目自动化堆场布置[J]. 水运工程, 2019(5): 98-101.
- WANG M, TANG Z, YU Z. Automated storage yard layout of Khalifa port container terminal phase II in Abu Dhabi [J]. Port & waterway engineering, 2019(5): 98-101.
- [8] 周洁萍,甘子颢,刘菲菲,等. 北部湾钦州自动化码头智慧安防关键技术[J]. 港口装卸, 2025(2): 32-35.
- ZHOU J P, GAN Z X, LIU F F, et al. Key technologies of smart security at Qinzhou automation terminal in Beibu Gulf [J]. Port operation, 2025(2): 32-35.
- [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 in Luoqing port area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [10] 交通部第一航务工程勘察设计院. 海港工程设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- The First Navigation Engineering Survey and Design Institute of the Ministry of Transport. Design manual for seaport engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 1994.

(本文编辑 王璁)