



自动化集装箱码头拆装锁钮工艺布置*

姜桥

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对自动化集装箱码头拆装锁钮布置, 为分析不同拆装锁钮站布置形式对码头系统效率影响, 本文对各种拆装锁钮站工艺优缺点及其适用场景进行系统研究。拆装锁钮是自动化集装箱码头前方作业地带布置的核心影响因素。采用对比分析与仿真验证结合方法, 从岸桥系统效率、设备配比、交通顺畅度、码头前方作业地带尺寸等维度, 确定自动化集装箱码头拆装锁钮工艺最优解。对自动化集装箱码头拆装锁钮布置形式和影响因子进行系统分析, 提出拆装锁钮工艺完整解决方案。研究成果可为自动化集装箱码头工艺布局提供决策依据。

关键词: 自动化集装箱码头; 拆装锁钮工艺; 拆装锁钮机器人; 仿真验证

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0036-07

Layout of twistlocks destuffing processes in automated container terminals

JIANG Qiao

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

Abstract: Regarding the layout of twistlocks destuffing stations for automated container terminals, in order to analyze the impact of different layout types of twistlocks destuffing stations on the efficiency of automated container terminals, this paper systematically studies the advantages and disadvantages of various twistlocks destuffing stations processes and their applicable scenarios. The layout of twistlocks destuffing stations is a core influencing factor of quayside operation area in automated container terminals. This paper adopts a combination of comparative analysis and simulation verification methods to determine the optimal solution for twistlocks destuffing technology in automatic container terminals from dimensions such as the quay crane system efficiency, equipment ratios, traffic smoothness and principal dimensions of quayside operation area. A systematic analysis is conducted on the layout and influence factor of the twistlocks destuffing stations for automatic container terminals, and a complete solution for twistlocks destuffing technology is proposed. The research results can provide decision basis for the process layout of automated container terminals.

Keywords: automated container terminal; twistlocks destuffing technology; twistlocks destuffing robot; simulation verification

自动化集装箱码头三大装卸环节均已实现全自动无人操作, 唯一在码头拆装锁钮环节仍需人工辅助操作。拆装锁钮工艺对水平运输车辆交通组织、岸桥系统效率、水平运输设备配比、码头前方作业地带^[1-2]布置等均有影响, 是自动化集

装箱码头前方作业地带布置的核心影响因素。吴邵强等^[3]介绍了一种移动式地面锁钮站布置方法, 杨荣等^[4]、陆拥军^[5]对自动拆装锁钮技术和应用进行研究, 焦广军等^[6]对单小车岸桥地面集中锁钮站进行研究, 杨楣等^[7]对栈桥式码头自动锁钮

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: 姜桥 (1984—) 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程装卸工艺设计。

机选址及方案进行比选分析。以上研究均针对具体工程项目拆装锁钮工艺，但并未研究锁钮站布置的影响因子及其对码头系统效率和工艺布局的影响。武彬等^[8]、梁燕等^[9]将仿真技术应用于自动化码头锁销站布置验证，朱赟杰等^[10]研究双小车岸桥拆装锁钮平台布置问题。

本文介绍各种典型自动化集装箱码头拆装锁钮站布置案例，研究不同锁钮站布置形式、优缺点和影响因子。采用对比分析与仿真验证相结合，从岸桥系统效率、设备配比、交通顺畅度、码头前方作业地带尺寸等维度，确定自动化集装箱码

头拆装锁钮工艺最优解。研究方法和成果旨在为后续自动化码头建设提供决策依据。

1 拆装锁钮站工艺

1.1 引桥锁钮站模式

码头平面形态采用“码头+引桥”布局的自动化集装箱码头，车流方向通过相邻引桥组成循环路由。锁钮站布置在引桥上，水平运输车辆运行路径上拆装锁钮无需绕行。典型引桥锁钮站(宁波梅东码头)布置见图1。



图1 引桥锁钮站(宁波梅东码头)

Fig. 1 Twistlocks destuffing station on approach bridge (Ningbo Meidong wharf)

码头前方作业地带无需考虑人工锁钮站布置，可减小码头平面尺寸。拆装锁钮站在车辆运行路线上无需绕行，可提高水平运输效率。自动化集装箱码头水平运输策略采用最优“自由路径”方式决策运行路线。满堂式码头布置成为主流，引桥布置锁钮站使用情况较少。此外，拆装锁钮站需占用一定引桥宽度，引桥将增加工程投资。上海罗泾集装箱码头、宁波梅东集装箱码头在自动化改造中采用该方式拆装锁钮。

1.2 地面锁钮站模式

1.2.1 岸桥轨内泊位两端平行布置拆装锁钮区

岸桥轨内泊位两端带缆区平行布置拆装锁钮区域，见图2。拆装锁钮区由若干安全岛+停车位组成，人员在安全岛上进行拆装锁作业。船首区拆锁作业，船尾区挂锁作业。考虑船舶组合变化泊位间带缆区位置不固定，采用移动式平台+安全岛

头方式代替固定式锁钮平台。根据自动化水平运输设备所处作业车道自动选择合适的拆装锁位置。针对泊位数量较少的码头，也可在码头岸线两端设置固定锁钮区。

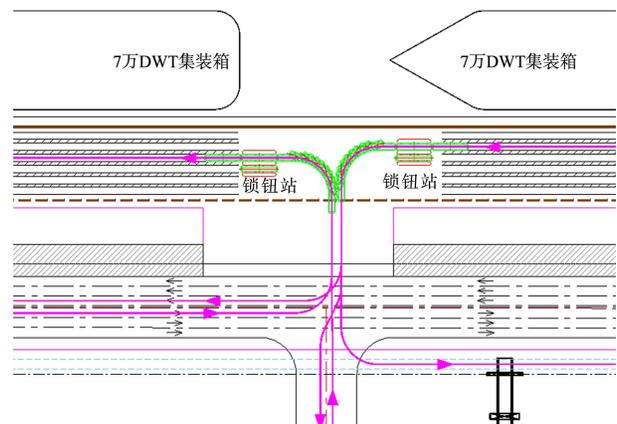


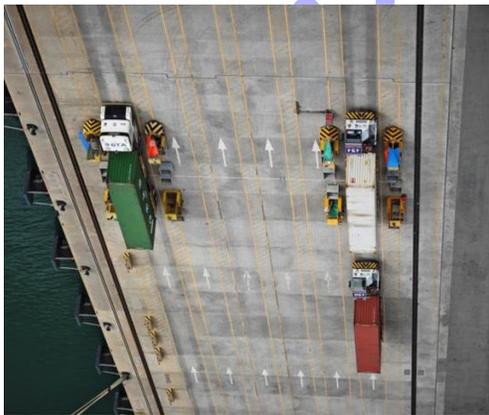
图2 岸桥轨内泊位两端平行布置拆装锁钮区

Fig. 2 Twistlocks destuffing areas arranged in parallel at both ends of berths within quay crane rails

岸桥轨内车辆流向单一，作业模式与传统码头相似。根据岸桥配置数量可灵活调整移动锁钮站数量，但作业前需根据船舶靠泊位置调整锁钮平台位置，影响码头作业效率。移动锁站位于自动化作业区域，人员进出及转运锁钮框叉车进出，对作业人员保护较差。车流量集中在码头前方泊位两端，易形成车辆拥堵点。带缆区需布置挂、摘锁钮区。考虑车辆转弯进出锁钮站要求，会增加带缆区长度，占用码头岸线。泰国林查班港自动化集装箱码头采用该方式拆装锁钮，见图 3。



a) 整体



b) 局部

图 3 泰国林查班自动化集装箱码头拆装锁钮站
 Fig. 3 Twistlocks destuffing station of automated container terminal in Laem Chabang, Thailand

1.2.2 岸桥轨后泊位两端垂直布置拆装锁钮区

岸桥陆侧轨后泊位两端舱盖板区域垂直布置拆装锁钮站，见图 4。锁钮站垂直布置于岸桥陆侧轨道与码头前方联络通道间，方便自动化水平运

输设备装卸作业后快速进入锁钮站，提高码头运转效率。

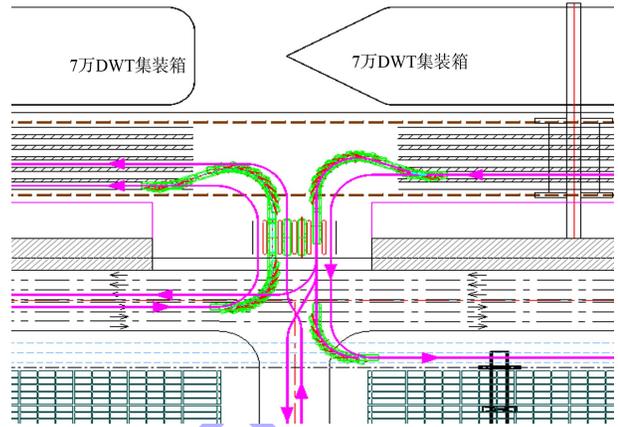


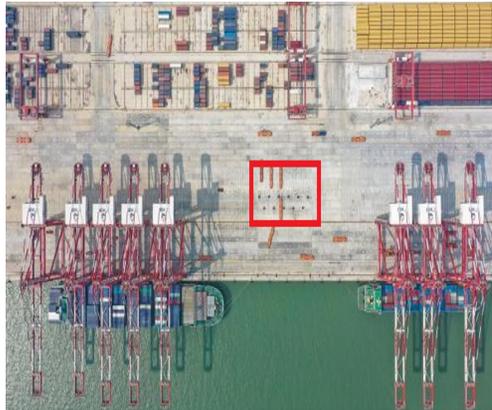
图 4 岸桥轨后泊位两端的集中拆装锁钮区（垂直布置）
 Fig. 4 Centralized twistlocks destuffing areas at both ends of berths behind quay crane rails (vertical layout)

锁钮站布置在水平运输车辆运行路线上，车辆无需绕行。人员进出及转运锁钮框叉车与自动化区域交叉较少，避免车辆在泊位两端排队拆装锁钮造成拥堵。缺点是考虑锁钮站车辆转弯进出，锁钮站布置需增加码头宽度。进出锁钮站车辆与岸桥轨内作业进出车辆及泊位间联系道路车辆路线交叉，形成拥堵点。

广州南沙四期自动化集装箱码头采用该方式拆装锁钮。岸桥陆侧轨后垂直标定多个连续排列标线式安全岛。船舶带缆区位置确定后，锁钮站可移动至带缆区标定锁钮站位置。IGV 载箱后进入锁钮站采用人工方式拆装锁钮，见图 5。



a) 局部

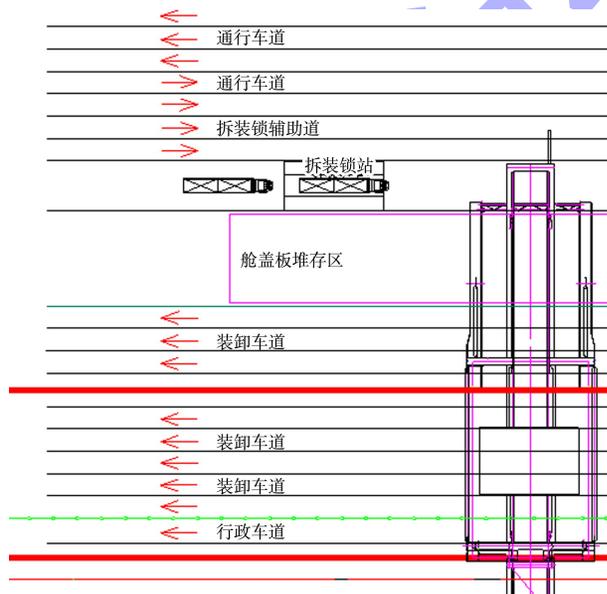


b) 整体

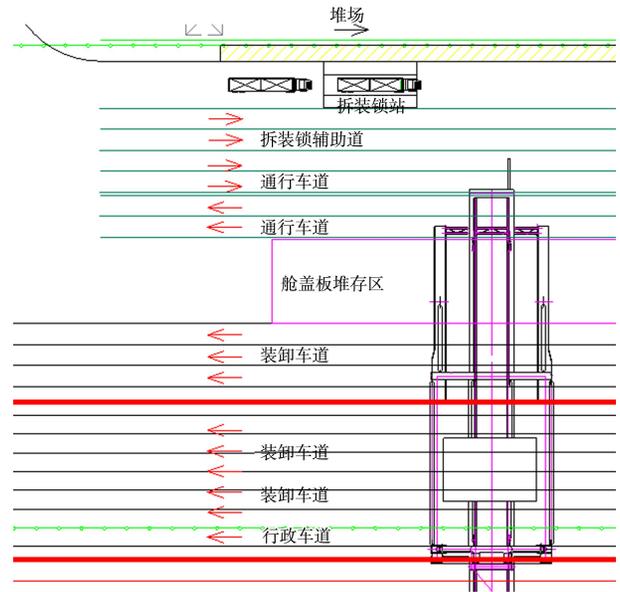
图 5 广州南沙四期自动化集装箱码头拆装锁钮站
Fig. 5 Twistlocks destuffing station of fourth phase automated container terminal in Nansha, Guangzhou

1.2.3 岸桥陆侧轨后平行布置锁钮站

岸桥陆侧轨后方平行码头方向设置拆装锁站，见图 6。根据位置不同，可分为锁钮站布置海侧靠近舱盖板区、陆侧靠近堆场区、泊位间联系道路中间等多种情况。对工艺布局影响主要体现在水平路由交叉点数量、水平运输设备数量配比、岸桥系统效率等。



a) 靠近舱盖板



b) 靠近堆场

图 6 岸桥陆侧轨后平行布置锁钮站
Fig. 6 Twistlocks destuffing station arranged in parallel behind landside rail of quay crane

锁钮站布置岸桥陆侧轨后侧，对岸桥轨内装卸区域影响较小，避免了岸桥轨内车流拥堵，人员进出及转运锁钮框方便。根据码头装卸作业量灵活调整锁钮站数量，对工艺布局没有影响。缺点是车辆需绕行至锁钮站，增加水平运输距离，需要提高岸桥水平配比。拆装锁钮车流与进入码头和堆场区作业车辆形成交叉点，易造成拥堵。岸桥轨内车辆进入锁钮站存在转弯半径不够的情况，影响岸桥轨内作业车辆通行。

天津北疆 C 段自动化集装箱码头采用该方式拆装锁钮。岸桥陆侧轨后靠近舱盖板堆存区水平布置锁钮站。3 个泊位共布置 6 处集中拆装锁区域。操作人员配备移动终端，到达拆装锁区安全隔离带作业位置后按下就位按钮，载箱 ART(人工智能运输机器人, artificial intelligence robot of transportation) 进入拆装锁区停车进行拆装锁作业，完成后操作人员再次按下确认按钮 ART 驶离，如图 7 所示。



图7 天津北疆 C 段自动化集装箱码头拆装锁钮站

Fig. 7 Twistlocks destuffing station of automated container terminal at C-section of Beijing, Tianjin

1.3 岸桥平台锁钮站模式

地面锁钮站存在操作人员与自动化水平运输设备交汇安全问题，通过自动化双小车岸桥可以有效解决。双小车岸桥在门腿平台拆装锁，与地面车流完全隔离。拆装锁时间分散在主、副小车的作业配合中，拆装锁耗时对岸桥作业效率几乎无影响。双小车岸桥将 1 台小车完成的整个作业循环分配给海侧主小车和陆侧副小车并行完成，缩短主小车作业循环时间，可提高岸桥装卸效率 10%~20%。双小车岸桥装卸作业在陆侧轨后进行，水平运输车辆无需进出锁钮站，自由选择最优路线行驶提高转运效率。双小车岸桥(带门腿平台)及典型门腿平台布置见图 8、9。



图8 自动化双小车岸桥

Fig. 8 Automated dual-trolley quay cranes

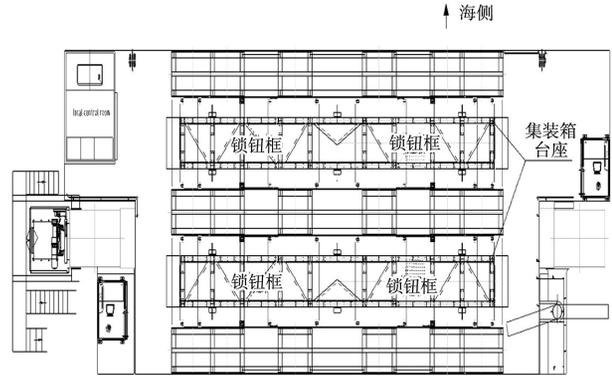


图9 岸桥门腿平台拆装锁钮站布置

Fig. 9 Layout of twistlocks destuffing station on platform of portal legs of quay crane

双小车岸桥设备费用较高、设备荷载和投资较大。新型“单小车+门腿平台”岸桥可解决平台拆装锁钮问题，与同规格双小车岸桥相比，荷载和投资更小，目前已逐步被自动化码头采纳使用。澳大利亚 VICT 码头(维多利亚国际集装箱码头)、小洋山北作业区 2 万吨级泊位均有应用案例。

2 自动化拆装锁钮技术

自动化集装箱码头已全面无人化，唯一在拆装锁钮上仍然需要人工作业。自动化集装箱码头正积极试验自动拆装锁钮技术。青岛前湾四期双小车岸桥门腿平台上布置拆装锁钮机器人，天津北疆 C 段地面布置自动拆装锁钮站。

自动化拆装锁钮系统由自动拆装装置、位置识别系统、传送带和控制系统等组成。系统能够自动识别目标位置，锁钮机器人可根据不同类型的锁钮更换相应的夹具，机器人通过浮动装置补偿定位误差，精确控制夹具完成锁钮的定位、抓取、拆卸和安装，见图 10。

集装箱扭锁具体构造没有统一的国际标准，实际使用的种类多达六大类 100 多种。目前自动锁钮机器人只能针对部分常用锁钮种类完成操作，拆装成功率总体为 80%~90%。自动化拆装锁钮技术距大规模推广应用仍需时日。

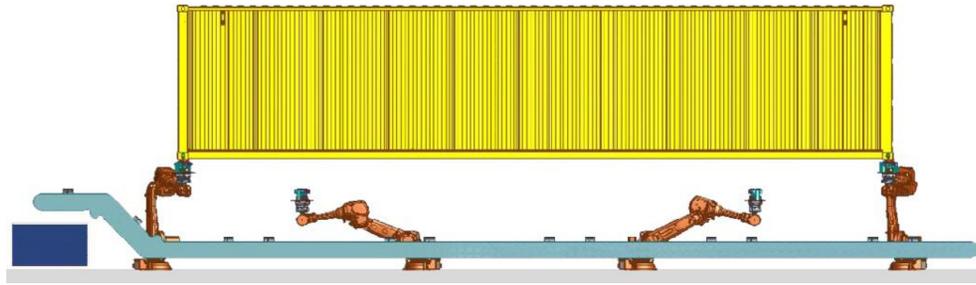


图 10 自动拆装锁钮机器人

Fig. 10 Automatic twistlocks destuffing robots

3 仿真验证优化

理论分析确定拆装锁钮站和码头前方作业区布置初步方案后，仿真软件验证是检验工艺方案和流程优化的重要环节。仿真软件继承于真实码头系统中的控制逻辑与算法，通过设定相关的码头原始数据参数，保证仿真结果的有效性和可靠性。

目前广州南沙四期码头、天津北疆 C 段码头、深圳盐田港东作业区一期工程集装箱码头和小洋山北作业区自动化集装箱码头等多个大型自动化

集装箱码头在设计阶段均采用仿真方式，验证优化拆装锁钮和码头前方作业区布置方案的合理性。

图 11 为盐田港东作业区工程案例仿真模型。码头共建设 3 个 20 万吨级集装箱泊位，采用满堂式布置形式。设计中考考虑多种拆装锁钮站和前方作业区布置方案。系统仿真从码头前方作业区尺寸、岸桥集卡配比、岸桥综合效率、交通顺畅度等多个维度进行比选权衡，见表 1。

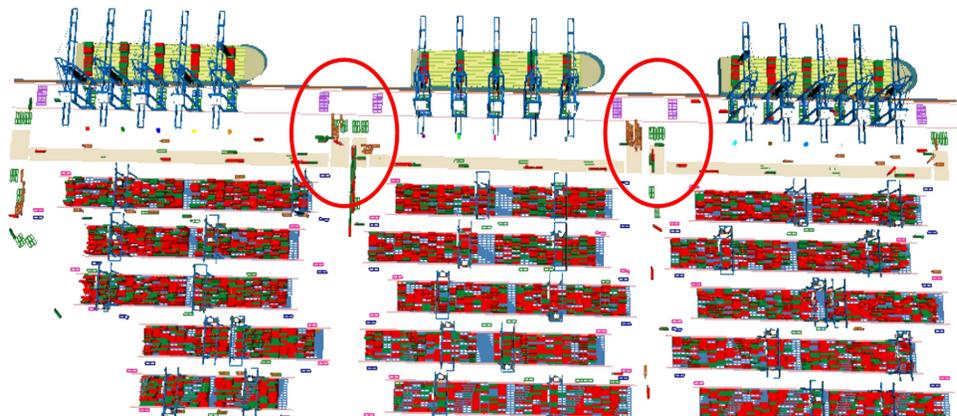


图 11 盐田港东作业区自动化集装箱码头工艺及交通仿真模型

Fig. 11 Process and traffic simulation model of automated container terminal of east operating area in Yantian Port

表 1 仿真验证结果

Tab. 1 Simulation verification results

方案	岸桥集卡配比	岸桥卸船效率/ ($\text{box} \cdot \text{h}^{-1}$)	岸桥装船效率/ ($\text{box} \cdot \text{h}^{-1}$)	岸桥综合效率/ ($\text{box} \cdot \text{h}^{-1}$)	交通拥堵 点/个	车道最小 转弯半径/m	码头前方 作业区尺寸
锁站轨内平行布置	1:7	35.42	26.84	31.75	0	41	长度增加 90 m
锁站陆侧轨后垂直布置	1:7	33.05	26.54	30.50	2	24	宽度增加 15 m
锁站陆侧轨后靠陆侧平行布置	1:8	35.42	25.30	30.40	4	16	宽度增加 12 m
锁站陆侧轨后海陆侧中间平行布置	1:8	35.42	27.53	32.10	2	38	宽度增加 12 m
锁站陆侧轨后靠海侧布置	1:8	33.33	25.53	30.02	3	24	宽度增加 12 m
双小车岸桥	1:7	36.04	31.29	34.34	0	28~36	0

仿真验证结果表明：盐田港东作业区工程条件下，双小车岸桥方式拆锁钮对水平运输设备配比、岸桥效率、系统效率、码头工程投资等方面综合评价最优，采用双小车作为该项目的拆装锁钮解决方案。

4 结论

1) 拆装锁钮工艺是布置自动化集装箱码头前方作业区的核心影响因素，对码头系统效率有直接影响。

2) 尽管自动拆装锁钮技术发展迅速，但受限于锁钮规格多样，自动拆装锁钮机器人目前难以取代人工拆装锁钮，自动化集装箱码头仍要立足于人工拆装锁钮工艺。

3) 锁钮站布置可根据工程特点选择引桥锁钮站、码头地面锁钮站和岸桥拆装锁钮平台等多种方式。仿真模拟可多维度优化验证，选择最优拆装锁钮工艺布置方案。

参考文献：

- [1] 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.
CCCC First Harbor ConsultantsCo., Ltd., Design manual for seaport engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 1994.
- [2] 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, 2019.
CCCC Third Harbor ConsultantsCo., Ltd., China Ports & Harbours Association. Design specification for automated container terminals: JTS/T 174-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.
- [3] 吴邵强, 刘汉东, 梁浩. 自动化集装箱码头拆装锁钮工艺设计[J]. 水运工程, 2022(10): 73-78.
WU S Q, LIU H D, LIANG H. Design of twistlock destuffing technology for automated container terminal[J]. Port & waterway engineering, 2022(10): 73-78.
- [4] 杨荣, 易应强. 自动化集装箱码头新型转锁拆装工艺设计[J]. 集装箱化, 2014, 25(12): 33-36.
YANG R, YI Y Q. Design of a new type of lock disassembly and assembly process for automated container terminals[J]. Containerization, 2014, 25(12): 33-36.
- [5] 陆拥军. 码头集装箱锁销自动化拆装技术研究[J]. 港口装卸, 2019(2): 16-19.
LU Y J. Research on automatic disassembly technology of lock pin of terminal container [J]. Port operation, 2019(2): 16-19.
- [6] 焦广军, 郭建睿. 智能化集装箱码头地面解挂锁工艺方案研究[J]. 港工技术, 2023, 60(3): 29-32.
JIAO G J, GUO J R. Research on process of dis-assembly and assembly of ground lock pin for intelligent container terminals[J]. Port engineering technology, 2023, 60(3): 29-32.
- [7] 杨楣, 黄秀松, 陈斌. 栈桥式码头自动锁钮机选址方案分析[J]. 港口科技, 2022(4): 8-12, 42.
YANG M, HUANG X S, CHEN B. Analysis of site selection scheme for automatic lock button machine in pier style wharf[J]. Port science & technology, 2022(4): 8-12, 42.
- [8] 武彬, 张凯, 张煜, 等. 考虑前后缓冲区的地面锁站动态布置仿真分析[J]. 水运工程, 2022(6): 178-183.
WU B, ZHANG K, ZHANG Y, et al. Simulation analysis of dynamic layout of ground locking stations considering front and rear buffers [J]. Port & waterway engineering, 2022(6): 178-183.
- [9] 梁燕, 陈阳, 金建明. 自动化码头单小车岸桥锁销站布置工艺仿真研究[J]. 水运工程, 2024(2): 175-179, 185.
LIANG Y, CHEN Y, JIN J M. Simulation of layout technology of twist lock station with single trolley quay cranes in automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2024(2): 175-179, 185.
- [10] 朱赞杰, 张晓龙, 刘树, 等. 自动化码头双小车岸边起重中平台布置[J]. 水运工程, 2016(9): 96-101.
ZHU Y J, ZHANG X L, LIU S, et al. Layout of double-trolley QC transfer platform in automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 96-101.

(本文编辑 赵娟)