



# 自动化集装箱码头堆场交互区配置优化升级

沈 华

(上海振华重工(集团)股份有限公司, 上海 200125)

**摘要:** 随着新技术尤其是检测与识别技术的发展和成熟, 自动化集装箱码头堆场交互区的配置面临着全面配置升级, 针对此问题, 结合目前检测与识别系统的发展和交互区流程, 提出检测、监控、识别等相关系统配置优化升级方案。采用三维软件相机模拟监控图像, 点云计算方法模拟定位数据以及图像识别方法对模拟的图像进行识别, 且论证了方案的可行性。该自动化集装箱码头堆场交互区配置优化升级方案, 可供实际交互区升级参考。最后, 提出了交互区升级的建议, 待相应的技术成熟后可在交互区进行配置, 进一步增加交互区的功能。

**关键词:** 堆场交互区; 自动化子系统; 堆场设备交互

中图分类号: TP39; U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)07-0083-06

## Optimization and upgrading of yard interaction zone configuration in automated container terminals

SHEN Hua

(Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

**Abstract:** As new technologies, especially detection and identification technologies, develop and become mature, yard interaction zone configuration in automated container terminals needs to be comprehensively updated. In view of this, this paper proposes optimization and upgrading schemes of detection, monitoring, identification, and other related system configuration according to the development of the detection and identification system as well as the interaction zone process. The paper adopts a three-dimensional (3D) software camera to simulate monitored images, uses a point cloud calculation method to simulate positioning data, and employs the image recognition method to identify the simulated image, which thus demonstrates the feasibility of the scheme. The configuration optimization and upgrading scheme of the yard interaction zone in automated container terminals can be applied to the actual interaction zone upgrading. Finally suggestion for further upgrades is put forward. The configuration of the interaction zone can be more upgraded and supports more function after the corresponding technology is mature.

**Keywords:** yard interaction zone; automated subsystem; interaction between yard equipment

### 1 自动化集装箱码头堆场交互区现状

#### 1.1 自动化堆场的布局形式

自动化堆场通常分为平行堆场和垂直堆场。平行堆场的堆场设备(如轨道吊)大车行驶方向平行于海岸线, 而垂直堆场则垂直于海岸线<sup>[1]</sup>。自动化堆场设备可适应两种不同的堆场形式。由于

垂直堆场的自动化和非自动化设备是空间隔离的, 安全性较好, 应用广泛。

两种堆场都可以在堆场两端设置与集卡的交互区, 其中一侧为内部集卡交互区, 搬运设备有AGV(自动导向车)、IGV(智能导引车)、跨运车、无人集卡等; 另一侧为外部集卡交互区。平行堆场

收稿日期: 2022-09-12

作者简介: 沈华(1984—), 男, 高级工程师, 研究方向为机械设备的电气控制、自动化控制、识别及其相关设计。

的交互区见图 1。以洋山自动化堆场为例，垂直堆场的交互区见图 2<sup>[2]</sup>。

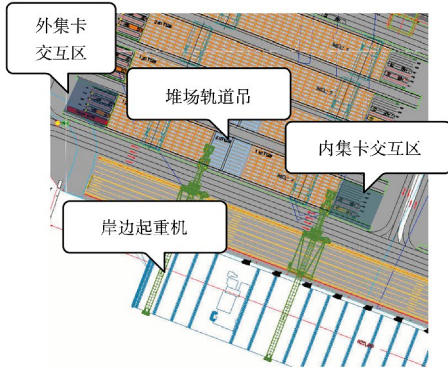


图 1 平行堆场交互区

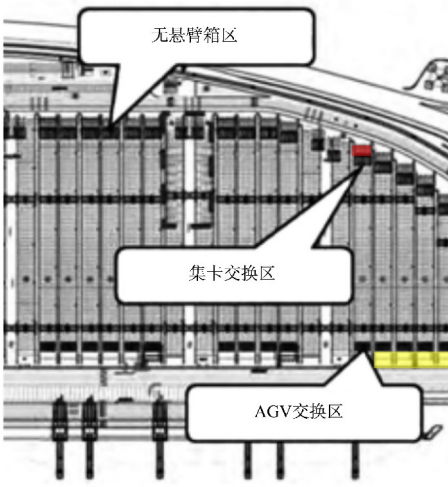


图 2 垂直堆场交互区

### 1.2 现有交互区的配置及功能

目前交互区通常设有摄像头、语音系统(扬声器和电话)、状态指示灯、紧停与确认按钮以及刷卡设备<sup>[3]</sup>。

可通过摄像头观察交互区的情况，也可通过语音系统呼叫交互区的司机。集卡司机采用刷卡设备触发任务，通过状态指示灯观察交互区的设备情况。确认按钮可保证司机不在作业区域，以及实现由集卡司机确认下的自动化运行。紧急的情况下集卡司机可按紧停按钮确保作业安全。

### 1.3 现有交互区的作业流程

基于目前的硬件配置，在常规的交互区中，为保证外部集卡司机的安全，进入交互区后，集卡司机通常被要求离开驾驶室。交互区正常作业流程见图 3。

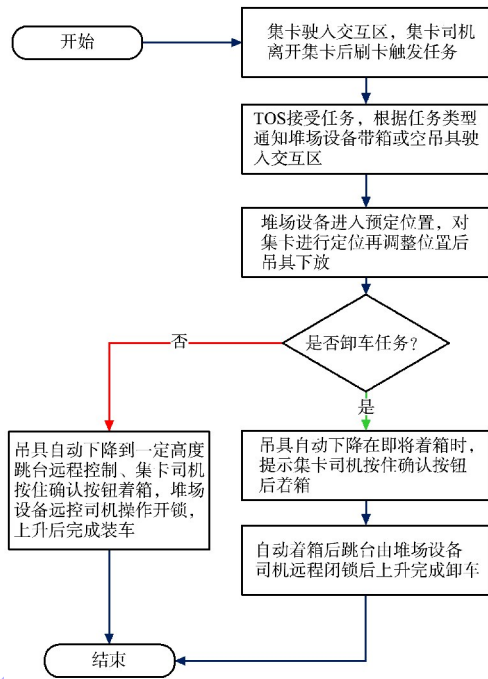


图 3 交互区正常作业流程

### 1.4 现有交互区配置的优化需求

交互区需要集卡司机参与某些工作，如人工刷卡触发任务、人工校验任务等。由于长时间按住确认按钮易产生疲劳，且进入交互区后才开始检测目标集卡或集卡上的集装箱，效率降低。因此需优化交互区的配置，如设置自动触发任务，提高自动校验任务的正确性以及自动化的集成度。

## 2 自动化集装箱码头交互区的配置升级和流程优化

### 2.1 任务优化

为改变人工刷卡触发任务的情况，可使用车牌号识别(外集卡)、车顶号识别(内集卡)、集卡驶入交互区后识别，将结果传给 TOS(码头管理系统)触发任务信息。配合堆场设备配置箱号识别系统，对集装箱箱号进行识别，并起到校验任务信息的作用。

### 2.2 自动化作业优化

目标集卡或集装箱的定位由堆场设备改为交互区系统实现。在集卡驶入交互区后，利用显示屏显示位置信息，引导集卡停至合理的位置，实现对集卡的定位，交互区系统将定位数据传给堆场自动化设备，提前知晓目标位置以提高效率。

### 2.3 人机保护升级

在交互区配置车头定位系统，实现对集卡车头防砸的保护。在外集卡交互区增加集卡旋锁的防吊起检测，当卸车着箱完成后，吊具上升时如发现集卡被吊起，及时停止自动化作业。集卡防吊起的主要功能是检测集装箱和集卡拖板可否正常脱离，如在一定高度仍未正常脱离，则报警停止吊具上升的动作<sup>[4]</sup>。车头防砸和外集卡防吊起的保护由交互区系统与堆场自动化设备通讯协同完成。

### 2.4 配置升级后的作业流程

增加检测系统后，可对交互区作业的正常流程进行修改，见图 4。

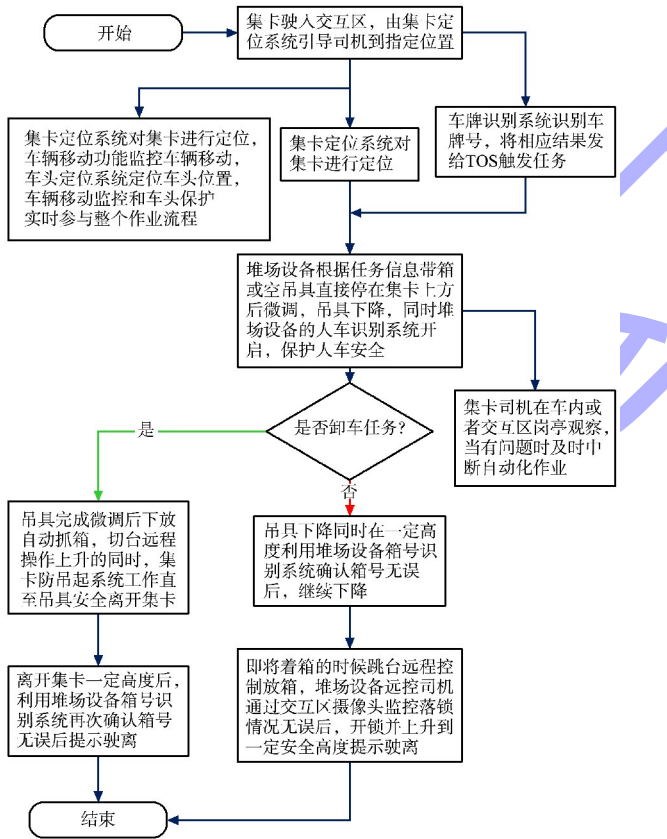


图 4 配置升级后交互区正常作业流程

## 3 自动化集装箱码头交互区配置升级的总体布局、定位、监控及识别

### 3.1 交互区配置升级后的整体布局

在交互区增加用于定位集卡、检测集卡防吊起、识别车牌/车顶号/箱号的相机，进一步验证观察落锁相机的成像。5 车道外集卡交互区的配置升级后的总体布局，见图 5。图中标注了 1 个集卡作

业贝位的相关配置包括：集卡引导屏和入侧观察相机需根据实际交互区的相对位置进行选型；贝位占用指示灯显示该贝位有无集卡占用或任务是否被触发；贝位状态显示屏显示该贝位是否故障；中部观察相机为球机；岗亭内设置常规交互区的相应设备，如电话、显示屏、刷卡设备、紧停按钮等，也可设置压力垫(内置压力传感器的坐垫或站垫)以确认集卡司机的安全。岗亭可能遮挡司机观察集卡引导屏，以及入侧相机观察集卡状态，因此需注意细化设计。

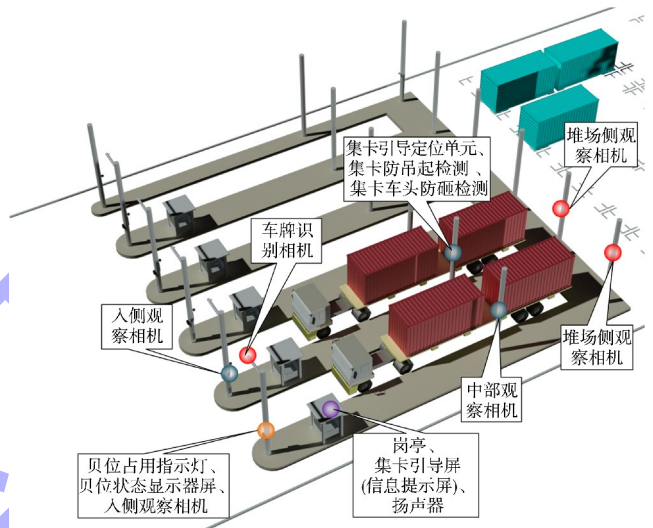


图 5 配置升级后外集卡交互区总体布局

### 3.2 通讯图及数据流

基于单个贝位布局和岗亭内的设备分布，单个交互区的单线示意图 6。

交互区的主要数据分为 3 部分：控制类数据(压力垫、紧停、集卡防吊起、车头防砸、集卡定位等)、用于远程监控的视频数据及图像识别/刷卡等任务相关数据。

通常远控台、堆场自动化设备和交互区贝位的关系均为多对多。建立交互区贝位与轨道吊的绑定关系，堆场自动化设备控制相关自动化系统，并与交互区根据绑定关系进行通讯，远程操作台所需的远控视频数据根据操作台与堆场设备的绑定关系进行通讯。重要的器件(如紧停)可使用硬线连接或安全通讯方式确保安全。交互区图像识别的结果和刷卡数据与任务相关，因此可直接与 TOS 进行通讯。

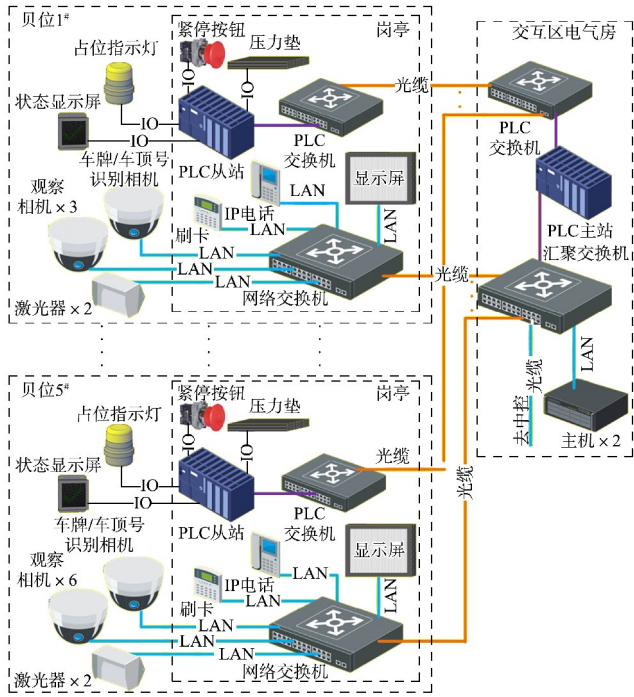


图6 交互区单线示意

### 3.3 集卡定位精度的验证

在交互区的集卡定位检测中，采用传统的3D激光扫描集卡可满足功能要求。相比堆场自动化设备对集卡的定位，交互区的定位不需等到堆场自动化设备到目标集卡上方后进行扫描，提高效率。但交互区的3D扫描器件安装高度低于堆场相同功能的自动化设备。理论上近距离扫描可提高精度，但增大扫描角度又降低了精度。为计算精度的差异，在三维空间坐标系中，建立以集卡骨架式拖板中心在地面的投影为坐标原点，X轴为集卡短边方向，Y轴为集卡长边方向，Z轴为高度方向。均取角精度  $[\delta_x \ \delta_y] = [0.2^\circ \ 0.1667^\circ]$ ，其中  $\delta_x$ 、 $\delta_y$  分别为 X、Y 轴方向的云台根据激光器扫描频率折算的等效角精度<sup>[5]</sup>。根据相对位置关系，可以得出堆场集卡定位设备的光心相对坐标  $[x \ y \ z]$  约为  $[1.5 \ 3.127 \ 20]$ （堆场设备在前 20 ft 作业工况下，其中 1 ft=0.304 8 m）， $[1.5 \ 0 \ 20]$ （堆场设备在中 20/40/45 ft 作业工况下）， $[1.5 \ -3.127 \ 20]$ （堆场设备在后 20 ft 作业工况下）。常用的骨架式集

卡外形数据为：整车数据 
$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \\ z_1 & z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.250 & 1.250 \\ -6.369 & 9.997 \\ 0 & 3.245 \end{bmatrix}。$$

考虑实际作业中的整车及拖板各不相同，取修正

$$\text{后的拖板数据} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \\ z_1 & z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.343 & 1.343 \\ -6.369 & 8.369 \\ 0 & 1.600 \end{bmatrix}。$$

根据相对位置使用旋转光心法的点云模拟计算<sup>[5]</sup>，忽略材质（如车头的玻璃、轮胎的橡胶等）对扫描结果的影响，模拟扫描结果的同视角对比见图7，由于交互区的3D扫描设备相对集卡的位置固定，理论上3种工况结果一致。

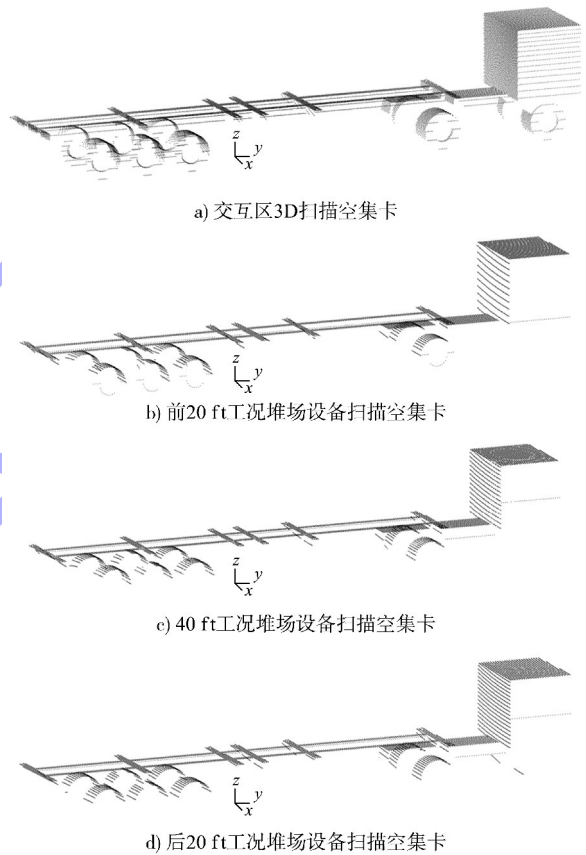


图7 交互区与堆场设备模拟扫描点云对比

由图7可知，所有3D扫描均可扫到顶面，因此Z方向的误差不讨论。在同等效角精度、同样3D扫描时间的条件下，在交互区地面的相对堆场自动化设备上，3D扫描空集卡的点云更多。根据激光器扫描特性，在空间某一点附近的相邻光斑之间的距离由激光器角精度决定，并认为是扫描理论的最大误差。其X方向值为：

$$\Delta x = r_x [\tan(\alpha_x + \delta_x) - \tan \alpha_x] \quad (1)$$

$$\text{其中：} \quad r_x = \sqrt{(y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (2)$$

式中： $y_0$ 、 $z_0$  为激光器光心坐标， $m$ ； $\alpha_x$  为某点与光心的角度， $(^\circ)$ 。同理求得  $Y$  方向值。由式(1)可知，对于边缘特征的检测，其误差不仅与光心和物体表面边缘的距离有关，还与光心和物体表面边缘的夹角有关。取  $X$ 、 $Y$  方向边缘点坐标进行计算，在各种工况下对空集卡骨架进行  $X$ 、 $Y$  方向边缘扫描的理论最大误差，见表 1。

表 1 由角精度决定的理论最大误差计算结果

位置(工况)	理论最大误差/mm	
	X 方向 [ $\Delta x_1$ $\Delta x_2$ ]	Y 方向 [ $\Delta y_1$ $\Delta y_2$ ]
交互区	[31 37]	[42 45]
堆场设备 (前 20 ft 作业工况下)	[65 67]	[68 58]
堆场设备 (中 20/40/45 ft 作业工况下)	[65 67]	[55 74]
堆场设备 (后 20 ft 作业工况下)	[68 69]	[60 65]

由表 1 可知，在同等角精度的前提下， $X$ 、 $Y$  方向由角精度决定的交互区扫描理论最大误差小于堆场设备的扫描理论最大误差。堆场设备的扫描无法扫到侧面，存在由角精度导致理论最大误差的可能性。此结论与实际应用中出现大于 5 cm 的误差相互印证。如交互区扫描到集卡就近的骨架长边侧面，此时误差仅取决于激光器的检测误差，检测精度将进一步提高。综上，在交互区 3D 扫描的  $X$ 、 $Y$  方向的扫描精度均好于在堆场设备进行的扫描，且满足自动化的精度需求，而堆场设备的扫描可能产生不满足自动化精度的情况。

### 3.4 远程监控系统成像的模拟

根据入侧相机的相对安装位置与相机参数，模拟成像效果，见图 8。



图 8 交互区入侧摄像头成像模拟

根据中部观察相机位置及不同工况，调整球机角度，对齐所需观察的锁孔位置并选择合理的视野，选取在前 20 ft 即中部观察相机和堆场侧观察相机视野较远，此时的成像模拟见图 9。中 20/40/45 ft 作业效果同前 20 ft 作业效果。前 20 ft 工况模拟的成像效果满足远控操作的要求，同理后 20 ft 工况也满足要求。

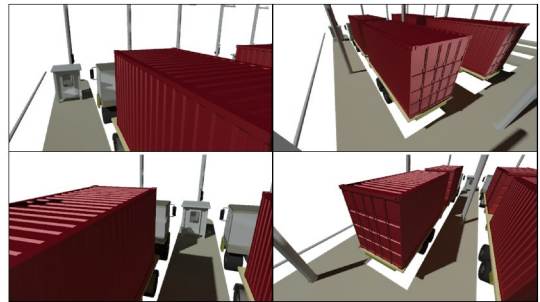


图 9 交互区前 20 ft 成像模拟


### 3.5 车牌识别的可行性验证

考虑兼顾车顶号识别，可将车牌识别相机预定在高约 7 m 的位置，集卡长度方向距拖车中心 18.1 m，短边方向为中心距 1.1 m，车牌识别相机模拟见图 10。截取车牌部分用软件测试(忽略中间“·”符号的影响)，结果见表 2。因此，对于常规集卡在此位置设置车牌识别相机可行，详细设计中可根据交互区长度更改位置。



图 10 车牌识别相机模拟图像

表 2 车牌识别结果

车牌部分截取图片	识别结果	是否正确
	沪 Z-PMCEZ	正确

### 3.6 可行性验证结论

经可行性验证，在交互区升级以后，交互区的集卡定位可提前检测集卡位置，定位精度优于

在堆场设备上的检测。集卡落锁观察相机可使远控司机观察落锁情况。增加的识别系统替代集卡司机进行任务的触发和校验。安装车头防砸和集卡防吊起设备可提供有效的保护，提升交互区的安全性。

#### 4 自动化集装箱码头交互区的后续升级建议

##### 4.1 正确落锁检测

因为没有成熟的方法识别正确落锁，放箱作业没有形成完整的保护。需在交互区对应的位置安装相机识别正确落锁。目前在图像识别领域，还没有对应这种工况的识别技术。但随着更多的技术进入自动化集装箱码头堆场，未来一定可实现对正确落锁的检测。届时交互区的自动化将实现对集卡的全流程自动化保护。

##### 4.2 无接触的交互区作业

为了交互区内的人车安全，集卡司机仍需离开集卡到交互区岗亭观察。疫情当下，无接触式作业概念慢慢兴起，在自动化码头堆场作业中也可引入此概念来改变作业方式。

集卡司机已不需要参与触发任务，只需在车内外观察作业安全即可。因此，无接触的作业是可行的。为确保人车安全，需在交互区增加用于检测车门打开的传感器，以及检测交互区内有无人员的传感器，进一步加强车头防砸的保护，并结合自动化堆场设备的电子围栏功能，综合保护人车安全。同时设置户外的显示屏，显示原岗亭内提供的相关作业信息、优化后的集卡引导信息、箱车号识别信息以及作业流程的提示信息。

#### 5 结语

1) 分析自动化集装箱码头堆场交互区流程，得出其配置优化升级需考虑自动触发任务，提高自动校验任务的正确性以及自动化的集成度，在优化流程中更多地融入交互区系统。

2) 基于上述优化考虑，并经模拟方法可行性认证，具体方案为：增加交互区的集卡定位系统、视频监控、相应的人车保护及辅助系统（包括岗亭内设备、集卡车头防砸及集卡防吊起）。其中集卡定位系统实现引导并替代堆场自动化设备的检测定位功能，且精度高于堆场自动化设备，提高效率。使作业更安全、更智能，减少人工介入，中控司机的监控也更为全面。为相关码头的交互区升级提供参考。

3) 自动化集装箱码头堆场交互区配置优化升级使用成熟技术，待正确落锁检测方案成熟后可融入交互区系统，进一步加强交互区的安全保护，实现交互区全流程保护及无接触式作业。正确落锁检测可作为一个研究方向供参考。

#### 参考文献：

- [1] 魏梦娇, 张剑, 刘仲松. 自动化集装箱码头海陆侧交换区设计简析[J]. 港工技术, 2016, 53(5): 26-29.
- [2] 刘广红, 程泽坤, 罗勋杰, 等. 洋山四期工程全自动化集装箱码头总体布置[J]. 水运工程, 2016(9): 46-51.
- [3] 马矜, 孙滔然. 无人堆场陆侧集卡作业区域控制交互技术[J]. 港口装卸, 2019(5): 56-58.
- [4] 童巍, 吴翔. 轮胎起重机集卡防吊起系统的研究与应用[J]. 起重运输机械, 2017(12): 95-97.
- [5] 沈华, 徐力. 关于激光器扫描结果模拟计算的研究[J]. 机电信息, 2022(8): 29-34.

( 本文编辑 赵娟)

