

一种水水中转比例高且可调的自动化集装箱码头 交通分流工艺

余艳英, 夏 剑

(上海振华重工(集团)股份有限公司, 上海 200125)

摘要: 为确保装卸作业安全, 自动化集装箱码头设计的重点在于如何将港内自动化水平运输设备和外集卡交通流分离。水水中转是世界上许多集装箱枢纽港的主要集散方式。水水中转比例不同, 码头海陆侧进出港箱量的比例随之不同, 对水平运输系统的要求也不同。针对目前已建或在建自动化集装箱码头的交通分流工艺对水水中转比例适应性的局限性, 提出了一种水水中转比例高且可调的自动化集装箱码头交通分流工艺, 并对该工艺水水中转比例调整的适应性进行分析, 可为类似自动化集装箱码头的规划建设提供参考。

关键词: 自动化集装箱码头; 水水中转比例; 交通分流; 工艺

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)03-0058-06

A new traffic diversion technology with high and adjustable ratio of water to water transshipment in automated container terminal

YU Yanying, XIA Jian

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

Abstract: To ensure the safety of loading and unloading operations, the design of automated container terminals focuses on how to separate the flow of internal automated vehicles from the flow of external trucks. Water to water transshipment is the main collection and distribution model in many container terminals in the world. The ratio of water to water transshipment is different, the ratio of containers entering and leaving the port on the seaside and landside of the terminal is different, and the requirements for the horizontal transportation system in the port are also different. In view of the limitations of the existing traffic diversion technology schemes in automated container terminals on the adaptability of ratio of water to water transshipment, we propose a new traffic diversion technology with high and adjustable ratio of water to water transshipment in automated container terminal, and analyze the adaptability to water to water transshipment ratio adjustment of the process, which can provide reference for the planning and construction of similar automated container terminals.

Keywords: automated container terminal; ratio of water to water transshipment; traffic diversion; technology

随着自动化集装箱码头的快速发展, 国内外
自动化集装箱码头工艺布局从“空间隔离+堆场垂

直+两端交互”的典型模式^[1]逐步发展为多种多样的
的工艺布局模式, 如洋山四期自动化集装箱码头

收稿日期: 2023-06-30

作者简介: 余艳英 (1986—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口装卸工艺设计和研究。

在采用该典型工艺布局模式的基础上, 针对水水中转比例高达 50% 的特点和互拖箱作业需求, 采用“水水中转箱区侧边交互+非中转箱区两端交互”的方式^[2]; 广州港南沙四期自动化集装箱码头针对水水中转比例高达 90% 及岸线整体布置形态特殊的特点, 采用“空间隔离+堆场平行+侧边交互”的新型工艺布局, 码头前沿作业区与自动化堆场形成一个封闭的自动化装卸作业区域, 用于中转箱区的封闭运营, 在自动化堆场后方与闸口之间设置港内外交互作业区^[3]用于实现非中转箱的港内外交互; 天津北疆 C 段自动化码头采用“时空隔离+水平布置+侧边交互”的工艺布局, 在传统堆场布置方式的基础上, 在堆场纵横向道路上设置外集卡和自动导引车 (automated guided vehicle, AGV) 专用道, 通过在堆场两侧端部进箱区处设置智能交通灯和抬杆控制港内外水平运输设备进出箱区的顺序, 保证作业安全^[4]; 钦州港全自动化集装箱码头基于其陆域纵深大、水水中转比例低、外集卡集中到港情况显著等特点, 采用 U 形装卸工艺布局^[5-6]即“空间隔离+堆场垂直+侧边交互+外集卡 U 行通道”, 整个堆场为开放式, 外集卡和 AGV 通过不同的通道深入堆场进行装卸作业。

多种自动化集装箱码头的工艺布局模式形成了不同的交通分流工艺, 不同分流工艺对水水中转比例的适用性不同。水水中转作为港口三大集疏运方式之一, 是世界上许多集装箱枢纽港的主要集散方式, 而这些港口的水水中转比例相差很大, 如深圳港 2020 年水水中转比例为 27.9%, 2025 年计划达到 35%^[7]; 新加坡港水水中转比例为 85% 以上。本文在分析目前已建或在建的几种自动化集装箱码头交通分流工艺的基础上, 提出一种水水中转比例高且可调的新分流工艺, 并分析其对高水水中转比例调整的适应性。

1 现有自动化集装箱码头交通分流工艺

1.1 典型工艺布局模式的交通分流工艺

典型工艺布局模式下港内水平运输设备行驶范围为码头前沿自动化区和堆场海侧交互区, 外集卡行驶范围为堆场陆侧交互区、闸口及港内非自动化区道路, 见图 1。港内自动化水平运输设备和外集卡交通流因封闭的自动化堆场隔开而自然分离。该分流工艺虽然使得港内外水平运输设备作业循环路径短, 但是应用于高水水中转比例的港口则会存在以下问题: 1) 中转箱只经过海侧装卸作业环节而导致海侧轨道吊在装卸船高峰时段明显繁忙, 水水中转比例越高, 越有可能导致海侧轨道吊数量不足; 2) 轨道吊长距离往复搬运集装箱, 能耗高, 设备损耗大; 3) 堆场端部进出箱点数量少, 效率低。

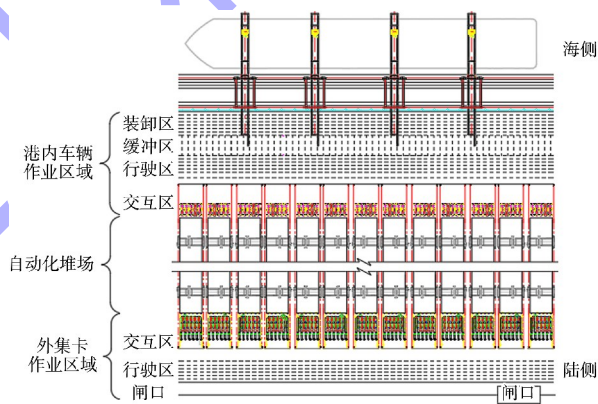


图 1 典型工艺模式交通分流工艺

1.2 洋山四期自动化集装箱码头交通分流工艺

洋山四期自动化集装箱码头将箱区划分为非中转箱区和中转箱区, 非中转箱区采用典型工艺布局模式的交通分流工艺, 中转箱区采用单悬臂轨道吊而使得 AGV 可以通过悬臂下车道深入箱区内部作业^[8], 见图 2。该分流工艺虽然能使中转箱区的轨道吊直接为岸桥服务, 但非中转箱区的工艺系统仍然存在典型工艺模式中轨道吊长距离带箱行走能耗高、设备损耗大、效率低等痛点。

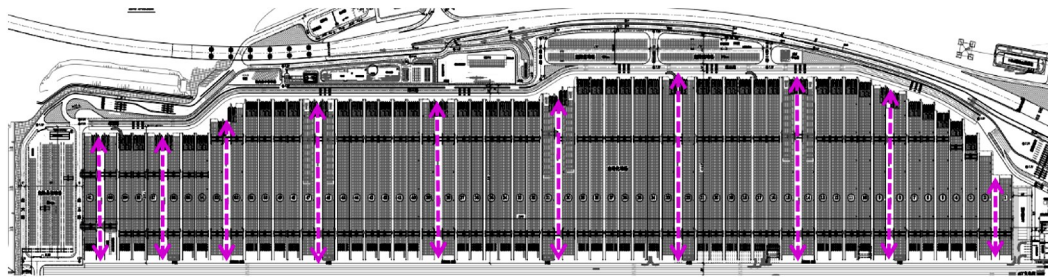


图 2 洋山四期自动化集装箱码头堆场内 AGV 通道

1.3 广州南沙四期自动化集装箱码头交通分流工艺

广州南沙四期自动化集装箱码头在自动化堆场后方与闸口之间设置了一个专用的进提箱堆场作业交互区，其海侧为对 AGV 作业区域，陆侧为对外集卡作业区域。交互区配置双悬臂自动化轨道吊，AGV 与外集卡分别在轨道吊海陆侧悬臂下的车道作业，港内自动化车流和外集卡车流因此实现分离，见图 3。该分流工艺采用堆场侧面装卸模式虽然避开了端部装卸模式的不足，但是只能

布置一条箱区作为港内外交互区，对应的堆场箱容量低，因而较适用于水水中转比例很高的自动化集装箱码头。若水水中转比例不是很高，交互区装卸作业量大和箱容量需求大，则只能通过增加轨道吊数量和二次搬运集装箱缓解装卸作业压力，由此会增加设备能耗和运营管理的难度。此外，大量的外集卡需进出堆场，将增加陆侧交通压力，容易引起拥堵。

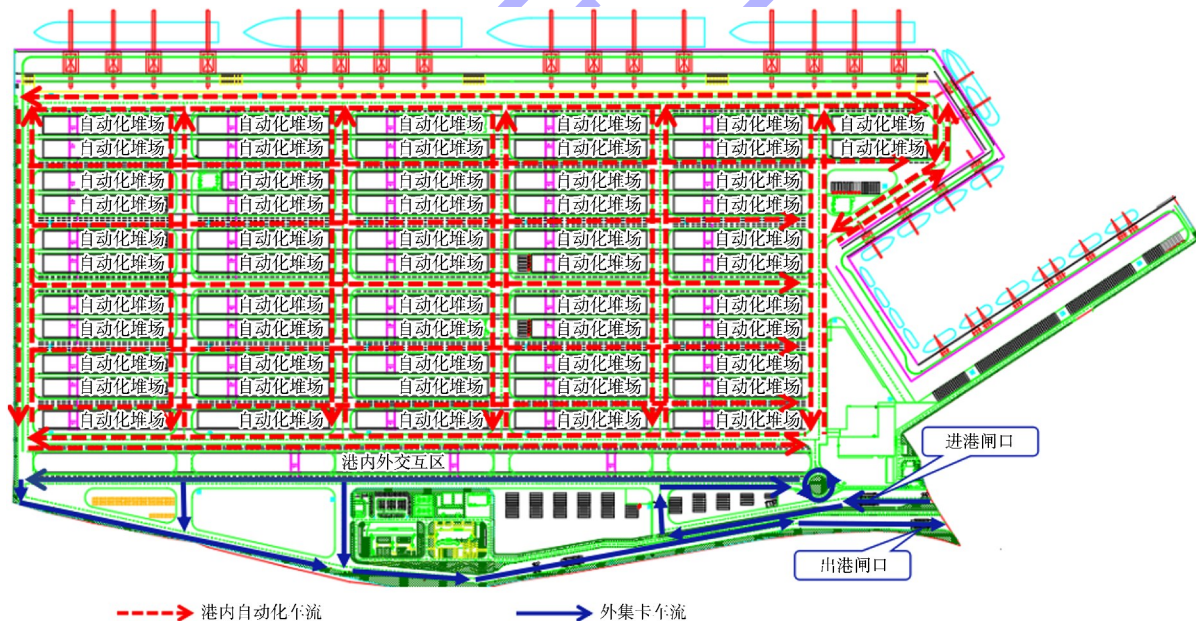


图 3 广州南沙四期自动化集装箱码头交通分流

1.4 天津北疆 C 段自动化码头交通分流工艺

天津北疆 C 段自动化码头将堆场每路纵向主干道划分为 AGV 和外集卡专用道，横向 AGV 车道和外集卡车道分别位于双悬臂轨道吊两侧悬臂下，两者交替布置。在横纵向 AGV 和外集卡车道

交叉处设置交通灯和抬杆进行交通管制。AGV 车流和外集卡车流通过专用道和交通管制实现时空分离。该分流工艺通过时空隔离的方式避免了港内外水平运输设备的混行，但是 AGV 和外集卡专用道占用资源多，AGV 和外集卡运行轨迹存在交

叉, 由于交通的干扰, AGV 和外集卡的行驶路径呈现多段式的特点, 行驶路径的连贯性受到制约, 一方车流通行会造成另一方等待而中断交通流引起拥堵, 比较适用于水水中转比例不高的码头。同时, 若水水中转比例较高, 外集卡交通量减小则造成外集卡车道利用率低, 车道资源存在浪费。

1.5 钦州全自动化集装箱码头交通分流工艺

钦州全自动化集装箱码头采用 U 形工艺, 相邻两个箱区和双悬臂轨道吊为一组。AGV 和外集卡的装卸及通行车道分别布置在轨道吊的两侧悬臂下, 2 个箱区共用 AGV 或外集卡通行车道。在 AGV 的 I 形通道, 充分利用 AGV 可头进尾出的功

能而封闭该通道的陆侧端部, 在外集卡通道海侧端部设计一条 U 形通道, 使外集卡可以不进入码头前沿作业区而顺畅进出港。港内外水平运输设备的作业通道互不交叉而实现交通分流, 见图 4。该分流工艺实现了港内自动化水平运输设备和外集卡直接进入堆场作业, 既降低了设备能耗, 又提高了装卸效率, 但外集卡 U 形通道贯穿整个箱区且回程道布置在轨道吊轨内, 占用了箱区资源, 比较适用于水水中转比例不高的码头。若水水中转比例较高、装卸船作业量大而集疏运作业量小, 则会因外集卡通道占用箱区资源却比较空闲而造成资源浪费。

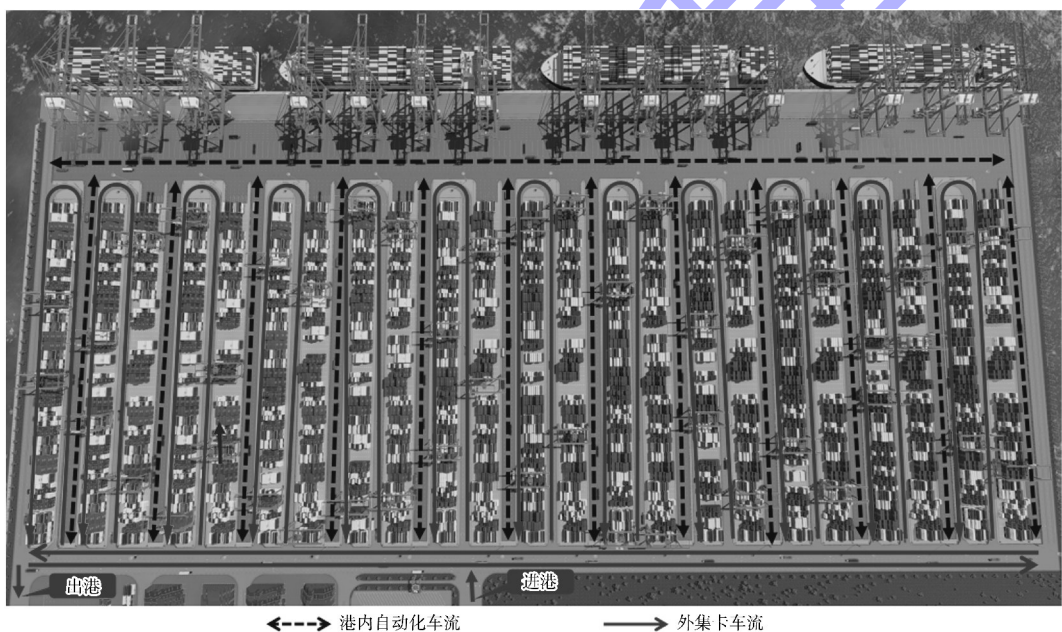


图 4 U 形工艺交通分流

2 自动化集装箱码头交通分流新工艺

2.1 工艺介绍

为了克服现有交通分流工艺对高水水中转比例适应性的不足, 基于 U 形工艺提出一种自动化集装箱码头交通分流新工艺, 见图 5。将堆场箱区划分为中转箱区和非中转箱区, 中转箱区港内自动化水平运输设备 AGV 在自动化双悬臂轨道吊的两侧悬臂下作业, 非中转箱区 AGV 在自动化双悬臂轨道吊的一侧悬臂下作业, 作业路径为 I 形。

外集卡在非中转箱区自动化双悬臂轨道吊的另一侧悬臂下作业, 并在非中转箱区海侧端部掉头, 驶离箱区, 作业路径为 U 形。同一条堆场非中转箱区与中转箱区共用一组 AGV 作业通道, 区别仅在于作业中转箱区的集装箱时, AGV 最远只需行驶到中转箱区陆侧端部箱对应位置。非中转箱区 2 个相邻箱区共用一组外集卡通道和一组 AGV 通道。港内外水平运输设备通过在自动化箱区互不干扰的作业通道而实现交通流分离。

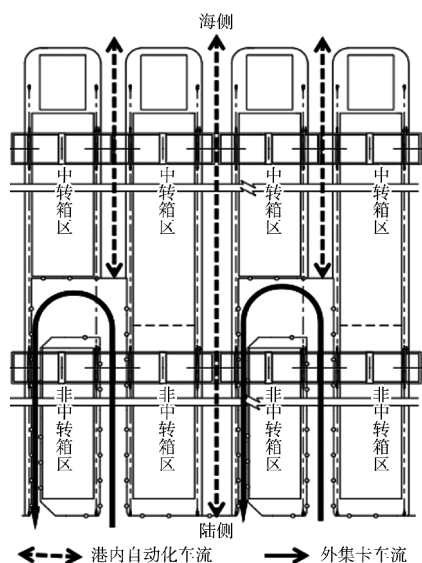


图5 自动化集装箱码头交通分流新工艺

2.2 对高水水中转比例调整的适应性分析

2.2.1 不同高水水中转比例的中转箱容量占比

水水中转箱容量占整个堆场容量的比例可根据式(1)初步计算。高水水中转比例通常指水水中转箱量占总吞吐量的比例高于20%^[9]，根据式(1)可知，高水水中转比例为20%~100%时，水水中转箱容量占整个堆场容量的11%~100%，见图6。

$$E_p = \frac{K_b}{2 - K_b} \quad (1)$$

式中： E_p 为水水中转箱容量占整个堆场容量的比例， K_b 为水水中转比例。

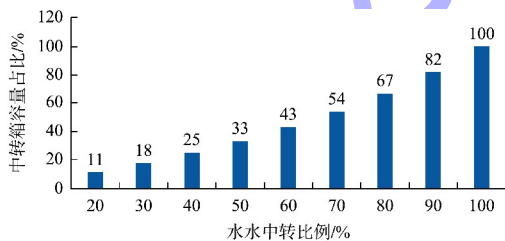


图6 高水水中转比例下的中转箱容量占比

2.2.2 设计阶段对高水水中转比例调整的适应性

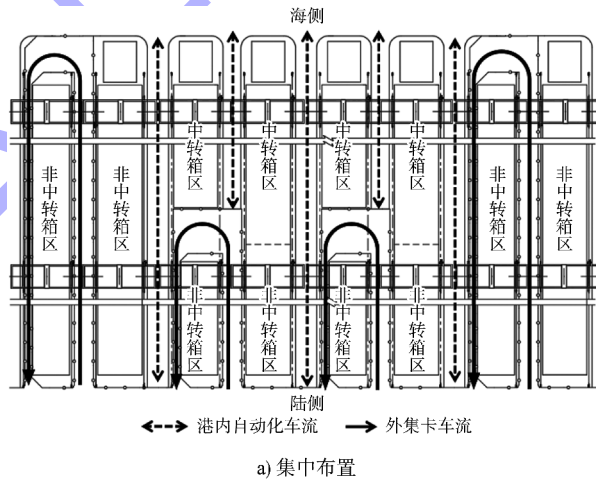
设计阶段针对不同港口高水水中转比例的差异性，新工艺可通过灵活调整中转箱区的长度、数量和位置来满足不同自动化集装箱码头需求。

1) 调整中转箱区的长度。将整个堆场的若干条堆场划分为中转和非中转箱区，中转箱区数量不变时，因中转箱区长度占整条堆场长度的比例

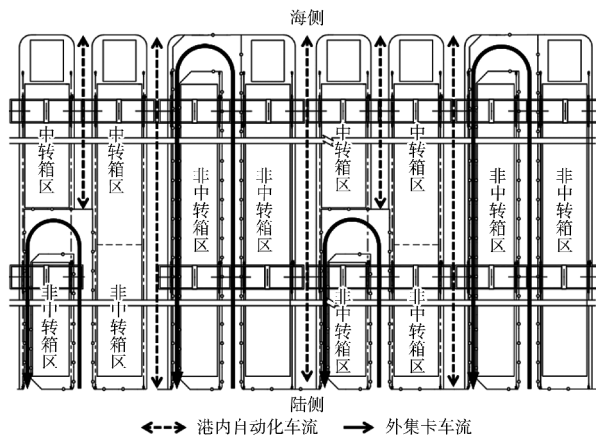
范围大，可通过调整中转箱区长度来满足不同高水水中转比例的自动化集装箱码头堆场箱容量需求。需要注意的是，当水水中转比例很高时，非中转箱区箱容量占比很小，对应的非中转箱区长度需求小，但需满足外集卡进入箱区作业完成后在箱区端部掉头的需要。

2) 调整中转箱区的数量。将整个堆场的若干条堆场划分为中转和非中转箱区，中转箱区长度不变时，因不同数量的中转箱区箱容量占整个堆场容量的比例范围很大，可通过调整中转箱区的数量来满足不同高水水中转比例的自动化集装箱码头堆场箱容量需求。

3) 调整中转箱区的位置。如图7所示，当码头为单岸线且中转箱区的长度和数量已定时，可根据码头需求将中转箱区集中布置在堆场中部区域或间隔布置在整个堆场区域。



a) 集中布置



b) 间隔布置

图7 调整中转箱区实现交通分流

当码头为多岸线且岸线之间呈一定夹角、正面和侧面岸线泊位之间存在高比例水水中转时, 可将水水中转箱区集中布置在 2 条岸线夹角的临近区域, 并将中转箱区与非中转箱区间设置为侧面岸线服务的 AGV 贯通道。每个水水中转条形箱

区两侧分别布置为正面和侧面岸线泊位服务的 AGV 通道, 为侧面岸线泊位服务的 AGV 箱区通道和贯通道形成环形, 为正面岸线泊位服务的 AGV 通道为 I 形, 两者不共用车道, 形成不同的交通流, 提高了各自通行的效率, 见图 8。

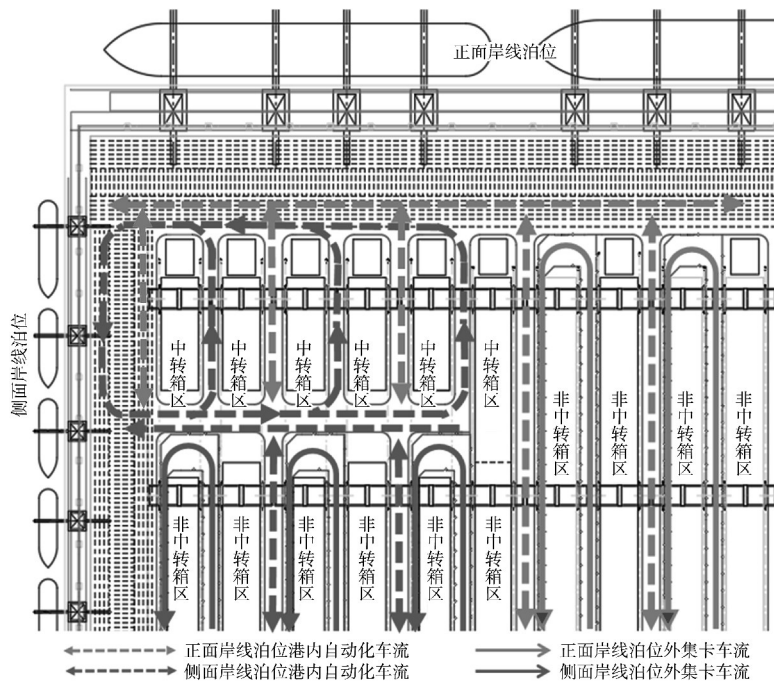


图8 多岸线时交通分流

2.2.3 运营阶段对高水水中转比例调整的适应性

码头建成运营后, 随着政策和码头业务的变化, 如水水中转比例较设计阶段增减幅度较大, 当前箱区布置不能满足中转和非中转箱堆场容量需求, 新工艺可以通过对中转箱区的长度、数量或位置进行针对性的调整来适应码头新的需求。因为这些调整不涉及堆场主体结构的变动, 只是堆场功能区域的重新定义, 所以堆场改动灵活, 工程量小。

3 结语

1) 在 U 形工艺的基础上, 提出一种水水中转比例高且可调的自动化集装箱码头交通分流工艺, 将堆场箱区划分为中转箱区和非中转箱区, 中转箱区 AGV 作业通道为 I 形, 非中转箱区 AGV 和外

集卡作业通道分别为 I 形和 U 形, 港内外水平运输设备因作业路径不交叉而实现分流。

2) 新分流工艺在码头设计和运营阶段可以通过调整中转箱区的长度、数量或位置来适应码头不同的高水水中转比例需求, 为所有高水水中转比例的自动化集装箱码头规划建设提供了一个可行方案。

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.
- [2] 何继红, 林浩, 罗勋杰, 等. 多种形式轨道吊在自动化集装箱堆场的应用[J]. 水运工程, 2016(9): 83-86, 95.
- [3] 梁浩, 吴邵强. 广州港南沙四期自动化集装箱码头新型装卸工艺系统设计[J]. 港口装卸, 2020(3): 55-58.

(下转第 146 页)