



高水水中转比例下的自动化集装箱码头堆场 装卸工艺方案比较

张立斌, 李 刚

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 近年来, 集装箱自动化码头基本形成了典型的堆场装卸工艺方案, 即堆场整体垂直码头布置, 每个箱区配备2台自动化轨道式场桥(ARMG), 分别负责装卸船和陆路外集卡装卸相关作业。但在高水水中转比例的码头, 由于船侧装卸箱量高于陆路进出港箱量, 该方案存在海陆侧 ARMG 作业不均衡而影响装卸船效率的缺点。通过分析该方案在高水水中转比例码头的适应性, 梳理国内外现有的解决方案, 提出新的针对性方案。通过各方案的综合比较, 提出解决思路, 为类似自动化码头的设计提供参考。

关键词: 自动化码头; 水水中转; 集装箱堆场; 装卸工艺

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)05-0078-06

Comparison of container yard handling technology scheme in automated container terminal under high ratio of water to water transshipment

ZHANG Li-bin, LI Gang

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

Abstract: In recent years, the automated container terminal has gradually formed the typical container yard handling technology scheme: the whole container yard is vertical to the terminal, and each yard is equipped with two ARMGs (automated rail-mounted gantry crane) which are responsible for the handling of the shipside and landside operation respectively. However, in the terminal under the high ratio of water to water transshipment, the shipside operation volume is higher than the landside volume, so ARMG handling on the two sides are unbalanced, which affects the ship handling efficiency. Analyzing the inadaptability of the scheme in the high-ratio water to water transshipment terminal, and combining the existing solutions at home and abroad, we propose a new targeted plan. Based on the scheme comparison, we put forward the solution idea, which may serve as reference for the design of similar container terminals.

Keywords: automated terminal; water to water transshipment; container yard; handling technology

自20世纪80年代中期起, 欧洲和日本港口率先规划建设自动化集装箱码头。自1993年世界第一个自动化码头在荷兰鹿特丹港的ECT码头投入运行以来, 至今已建成30多个, 主要集中在欧洲、美国、澳大利亚等地。目前, 主流的自动化

集装箱码头基本形成了典型的装卸工艺, 即堆场垂直码头布置, 采用岸桥负责码头作业, 自动导引运输车AGV(automated guided vehicle)或跨运穿梭车SHC(shuttle carrier)负责水平运输, 箱区配备2台自动化轨道式场桥ARMG(automated rail-

收稿日期: 2018-10-06

作者简介: 张立斌(1979—), 男, 高级工程师, 从事港口装卸工艺设计工作。

mounted gantry crane) 分别负责堆场海、陆侧的作业^[1]。

典型方案对常规的以本地箱为主的集装箱码头适应性较好,但对于水水中转比例较高的码头,其海侧装卸箱量高于陆侧进出港箱量,因此分别负责海、陆侧作业的 ARMG 作业出现了不均衡,最终影响装卸船效率,降低港口的服务质量。在自动化集装箱码头迅速发展之际,高水水中转比例下的堆场装卸工艺方案成为一个亟需研究的典型问题。

通常认为高水水中转比例指中转量占总吞吐量比例超过 20%。水水中转包含国际中转和国内沿海中转,其中国际中转比例是国际枢纽港的重要指标。世界上重要的国际中转港包括新加坡港、香港港、釜山港等。其中,新加坡港是最大的国际中转港,集装箱水水中转量占到总吞吐量的 80% 以上;香港港是我国重要的国际枢纽港,国际水水中转箱量比重达到 60%;釜山港在 2014 年水水中转量已超过 50%,韩国政府更是出台多项政策,力促其 2020 年成为世界第二大中转港^[2]。中国内地主要的集装箱枢纽港如上海港、深圳港、宁波舟山港,水水中转比例均较高,但目前还主要是国内中转,国际中转比例与以上 3 个港口还有不小差距。根据政府部门公布的规划数据,上海港 2020 年水水中转比例计划达到 50% 以上^[3],宁波舟山港计划达到 35%^[4],深圳港计划不低于 25%^[5]。因此,对于我国大型枢纽港口,在国家推动建设绿色港口,鼓励采用水水中转等运能大、能耗小、污染轻的集装箱集疏运方式的背景下,为提升港口国际竞争力,水水中转比例(特别是国际中转)将进一步提升。

目前,国内外部分高水水中转的自动化码头已研究并实施了一些解决方案(如汉堡港、上海洋山港等)。本文针对自动化集装箱码头在高水水中转比例下的堆场装卸工艺进行专题研究,系统梳理已有案例,研究制定针对性的新方案,并通过对各方案的分析、比较,提出解决问题的思路,

为类似自动化码头设计提供参考。

1 高水水中转比例的适应性分析

1.1 常规自动化码头堆场装卸工艺方案

常规自动化码头堆场通常垂直于码头布置,目的是提高水平运输和堆场设备作业效率,便于岸桥后轨至整个堆场区达到无人自动化装卸的要求。

ARMG 实现自动化的程度较高,是自动化码头堆场采用最多的设备类型。ARMG 大车速度较高,为降低重力,并减少 AGV 走行距离,主要采用无悬臂形式,每条自动化集装箱箱区一般布置 2 台共轨的无悬臂 ARMG,分别负责海、陆侧集装箱的堆取作业^[6]。典型自动化集装箱码头布置见图 1。

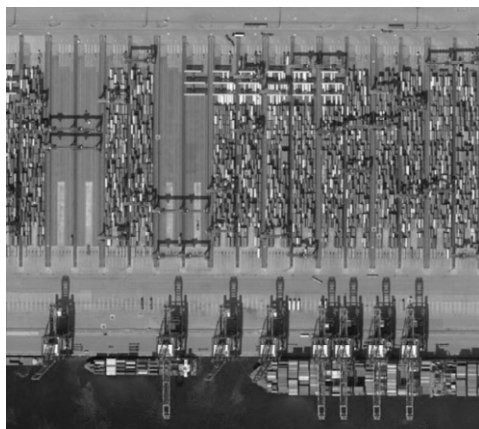


图 1 典型自动化集装箱码头

1.2 常规自动化码头方案对高水水中转比例的适应性

集装箱码头的水水中转指集装箱在本港卸船经堆场暂存后,又经本港水路装船转运至其他港口。水水中转比例较高,则意味着陆路集装箱比例较低,集中反映在海侧装卸船繁忙,而陆路进出港箱量较少,即外集卡装卸量较少。

常规的自动化码头堆场,水平运输无论使用 AGV 还是 SHC,都采用 ARMG 轨道垂直岸线布置的形式,此种布置将堆场区域完全封闭,海陆侧堆场以外的水平运输均在堆场两端完成与 ARMG 的交接,堆场内部的堆、取箱以及水平运输全部由 ARMG 完成。该工艺最大限度地简化了堆场两

侧水平运输设备的作业流程和路径,提高堆场封闭区域的作业计划性、准确性和安全性,是一种适应码头智能化、自动化发展方向的良好方案。但同时,垂直、封闭堆场的设置,也为码头的生产运营带来了一些限制和不足,特别是相对于高水水中转比例存在一定的局限性,主要体现在下述几方面:

1) ARMG 双机、轨道垂直布置的形式,将 ARMG 设备自然划分为海侧与陆侧两类,二者兼容、兼顾受到影响。海侧 ARMG 受箱区限制,在码头高峰作业时段可能出现数量不足,但同时陆侧 ARMG 可能闲置,类似情况对于水水中转作业需求量大的码头尤为明显。

2) 堆场内集装箱海、陆侧间的水平运输全部通过 ARMG 大机带箱运行完成,能耗大、成本高。

3) 空、重箱全部进入自动化堆场,空箱采用与重箱相同的作业设备和作业方式,能耗较高。

2 高水水中转比例下的自动化码头堆场装卸工艺

2.1 大、小轨距 ARMG 混合方案

为解决水水中转比例较高、海陆侧 ARMG 作业不平衡的问题,一个思路是规避海、陆侧 ARMG 作业时的相互干扰,使 2 台 ARMG 均满足全范围作业的需求。

德国汉堡港 HHLA 公司的 CTA、CTB 码头采用了大、小轨距 ARMG 共同在同一箱区运行的方案,是较早应对此问题的案例^[7]。

HHLA CTA 集装箱码头一期工程于 2002 年 6 月投入运营,岸线长度 1 400 m,码头配置 15 台双小车岸桥,水平运输采用 AGV,自动化堆场共有 26 条箱区,垂直于码头布置,每条作业线配置 2 台轨距大小不同的 ARMG,分别在不同的轨道上运行。该方案的主要特点是大、小轨距 ARMG 可以套叠运行(图 2),均可对海侧交换区和陆侧交换区进行全范围作业,从而降低水水中转引起的海陆侧 ARMG 作业不均的影响。



图 2 德国汉堡港 HHLA CTA 集装箱码头双轨距 ARMG

2.2 间插布置单悬臂 ARMG 方案

为解决水水中转比例较高、海陆侧 ARMG 应用不平衡的问题,还可考虑扩大水平运输设备的运行范围,创造陆侧 ARMG 使用条件,从而提高陆侧 ARMG 的使用率。

扩大水平运输设备的运行范围,可考虑配置部分单悬臂 ARMG,在无悬臂 ARMG 堆场中插入单悬臂 ARMG,使 AGV 可进入堆场内,使陆侧 ARMG 在箱区内即可完成 AGV 的装卸,从而提高陆侧 ARMG 的使用率。此解决方案在荷兰鹿特丹港及上海港洋山四期工程中均有采用^[8]。

因上海国际航运中心核心港区的特点,洋山四期工程水水中转比例达到了 50%,集装箱岸线总长度达 2 350 m,吞吐量近期为 400 万 TEU/a、远期为 630 万 TEU/a,计划远期配备双小车岸桥 26 台。为满足该高转水比例和吞吐量需求,自动化堆场共布置了 61 个箱区,其中常规无悬臂箱区 41 个,其余均匀分布有悬臂区 20 个(对称布置共 10 对),悬臂区总体地面箱位数约占总箱位数的 1/3;2 台单悬臂中间间距为 21 m,可满足布置 4 条 AGV 车道需求,保证了 AGV 作业和运行的通畅。洋山四期自动化堆场工艺典型断面见图 3。

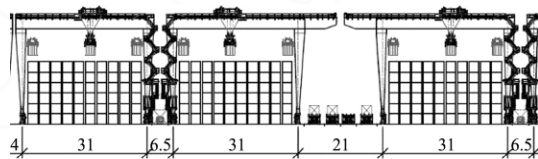


图 3 洋山四期自动化堆场工艺典型断面(单位:m)

2.3 ARMG 平行布置方案

常规集装箱码头通常采用轮胎式场桥 RTG (rubber-tyred gantry crane) 和轨道式场桥 RMG (rail-mounted gantry crane) 平行码头岸线布置的方案,大机负责装卸,集卡深入到箱区内,因此水水中转比例的高低不会对堆场作业效率产生负面影响,而且在高转水比例情况下,内卡作业量增加,还能提高堆场的作业效率。

因此,结合常规码头的经验,探讨在自动化码头中采用平行布置的方案。

2.3.1 已有类似案例分析

1) 台北港半自动化码头。台北港半自动化码头(图4)总体布置与常规人工码头基本一致,仅将 RMG 提升为自动控制或远程控制的 ARMG,并逐步配备集卡自动寻址、车辆自动定位报到等系统。近年部分企业大力发展的无人化集卡,为此类半自动化码头向自动化码头发展提供了越来越多的支持。在高比例水水中转、特别是完全中转码头的情况下,无人化集卡+平行布置 ARMG 是一个研究方向。



图4 台北港半自动化集装箱码头

2) 名古屋 TCB 码头。RTG 采用轮胎行走,容易跑偏,较难实现自动化,但具有对地基适应性好等优势,目前多个改造和新建的半自动化码头在考虑 RTG 作为堆场设备的解决方案。名古屋 Tobishima TCB 码头(图5)较早采用了自动化 RTG 方案,码头采用了单小车岸桥,港内水平运输采用 AGV, RTG 跨内设置 2 条通道,分别运行 AGV 和外集卡。



图5 日本名古屋 Tobishima TCB 集装箱码头

3) 厦门远海自动化码头。厦门远海自动化码头(图6),维持了原设计的平行布置模式,海、陆侧的交换区分别采用堆场的两端,但仅有一个堆场区块,因此总体性质上与常规自动化码头垂直布置的理念基本一致。当总体规模扩大、包含多个泊位及多块堆场时,此方案须调整外集卡衔接的陆侧交换区的布置。

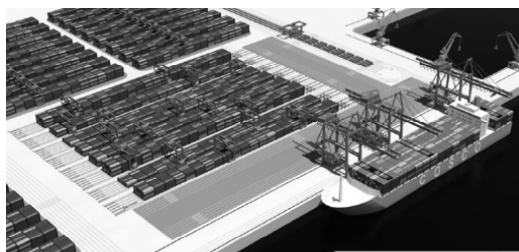


图6 厦门远海自动化码头

2.3.2 ARMG 平行布置方案

为弥补常规垂直布置自动化箱区存在的不足,针对高水水中转比例下的缺点,提出创新方案——自动化集装箱码头 ARMG 平行布置方案^[9]。

方案的总体思路是:在保证目前主流常规自动化码头主体功能(即码头装卸船采用远程遥控岸桥,海侧港内水平运输完全自动化,陆侧交换区方便、高效)的基础上,研究堆场采用平行布置方式,解决水水中转比例较高引起的海、陆侧作业不均的问题。

按以上原则考虑的 ARMG 平行布置方案见图7。本方案包含 3 个 10 万~15 万吨级泊位,水水中转比例按 50% 计,装卸船采用远程操控的双小车岸

本方案中双悬臂 ARMG 因不需带箱高速运行, 轨距选用比常规自动化码头要大, 保证了箱区容量, 同时重、空箱 ARMG 可分别考虑, 本方案重、空箱 ARMG 轨距均按 43 m 考虑, 重箱 ARMG 起重质量 41 t、起升高度堆 5 过 6; 空箱 ARMG 起重质量 7 t, 起升高度堆 6 过 7; 轨内布置 14 排集装箱, 两侧跨外各布置一条 SHC 送取箱作业通道;

前后排 ARMG 轨间间距 22 m, 除两侧各有一个 SHC 作业通道外, 中间还留有一个 SHC 通行车道。

3 方案比较

对上述 3 个解决方案做定性和定量比较, 分析各方案的适应性(表 1)。

表 1 方案比较

方案	水平运输设备匹配性	海陆侧 ARMG 作业均衡性及相互干扰性	对水水中转比例调整的适应性	堆场布置箱位数
方案 1: 大小轨距 ARMG 混合方案	AGV、SHC 均可	带箱行走时, 大小 ARMG 会产生干涉	水转水比例调整, 本方案基本无影响	布置地面总箱位数约 1.5 万 TEU; 双轨距占用面积较大, 影响地面箱位数
方案 2: 间插布置单悬臂 ARMG 方案	AGV、SHC 均可, 但 SHC 需较宽的通道, 降低堆场容量	海陆侧 ARMG 无相互干扰, 但因与 AGV 存在耦合等影响, 对于装卸船, 据统计陆侧 ARMG 效率仅相当于海侧的 1/3	比例降低可适应, 因建成后单悬臂 ARMG 数量不能变化, 比例提高(提高至 70% 及以上), 将影响装卸船效率	布置地面总箱位数约为 1.7 万 TEU, 布置箱位数最多
方案 3: ARMG 平行布置方案	因需兼顾陆侧外集卡交接等, 宜采用 SHC	无海陆侧之分, 且 ARMG 只负责装卸作业, 不负责带箱行走, 基本无干扰	比例提高不受影响, 比例降低时(降低至 30% 及以下), 对总体布置有影响, 陆侧交接区的装车位需要增加, 地面箱位数将降低	布置地面总箱位数约为 1.5 万 TEU, 双悬臂 ARMG 及 SHC 行走通道占用较多面积, 布置箱位数较少, 但空箱单独布置, 可提高堆高层数, 增加堆存容量
方案	堆场作业效率	堆场及水平运输设备投资	堆场及水平运输设备能耗(电力)	对码头管理系统(TOS)的影响及系统的复杂性
方案 1: 大小轨距 ARMG 混合方案	效率较低, 相对系数为 0.93, 大小轨距 ARMG 均需带箱高速行驶	设备投资相对系数为 1.05, 大小轨距 ARMG 均具备高速带箱行走功能, 单机设备投资高, 且总体数量多	能耗较高, 能耗相对系数为 1.1, 大小轨距 ARMG 均需带箱高速行驶	与常规方案系统基本相当, 仅增加相互干扰碰箱的系统控制
方案 2: 间插布置单悬臂 ARMG 方案	效率居中, 效率相对系数为 1.0, 但在装卸船作业中, 陆侧 ARMG 效率低于海侧	设备投资相对系数为 1.0, ARMG 均具备高速带箱行走功能, 单机设备投资高, 且总体数量多	能耗居中, 能耗相对系数为 1.0, 单悬臂的使用减少了 ARMG 带箱行走	部分 AGV 需深入至箱区作业, 流程较常规自动化多, TOS 系统变量增加, 系统较复杂
方案 3: ARMG 平行布置方案	效率较高, 效率相对系数为 1.15, 减少了大机带箱行走, 且 SHC 与各个环节均无耦合	设备投资相对系数为 0.88, ARMG 不需高速运行, 且空箱大机起重质量低, 加之本方案 ARMG 数量配备较少, 设备投资最低, 同时辅助的地基、轨道基础的投资也较低	能耗最低, 能耗相对系数为 0.92, ARMG 不需带箱行走	SHC 运行流程增加较多, 对 TOS 变量增加较多, 影响较大, 系统要求复杂

以上 3 个方案各有特点: 从对中转比例调整的适应性及 TOS 系统复杂程度看, 方案 1 最优, 但其海陆侧的 ARMG 干涉性也较大, 效率较低; 从箱位布置数量上看, 方案 2 最优, 综合其他指标是一个居中的方案; 方案 3 为创新方案, 具有总投资低、无耦合效率高、能耗较低的优点, 但也存在地面箱位数较少、TOS 系统复杂等缺点, 同时中转比例的降低将减小其优势。

因此, 需结合项目自身特点并参考以上方案, 通过技术经济比选指标选择堆场装卸工艺方案。

4 结语

1) 虽然已建成一批典型的自动化码头并积累了良好的运营经验, 但各港的生产需求、管理模式存在差异, 因此不能照搬照用典型方案。

2) 高水水中转比例下的堆场装卸工艺是当前自动化集装箱码头的典型问题, 通过梳理现有解决方案并提出创新方案, 经综合比较、分析, 提出方案选择的解决思路, 为类似码头的设计提供参考。

(下转第 151 页)

的电缆重力 $G(H)$ 和卷绕半径 $R(H)$ 。变频控制电机根据水位计采取的信号和自身的数据,实时计算收放电缆所需的力矩 $M(H)$ 与转角 $\theta(H)$ 。

$$M(H) = F(H) R(H) + \mu G(H) r + \varepsilon \quad (3)$$

$$\theta(H) = \frac{H_i}{R(H)} \quad (4)$$

式中: μ 为摩擦系数; r 为摩擦面转动半径; ε 为修正值。均可测定。

至此,电缆卷筒可以根据水位信息准确地运行,完成了控制系统在逻辑上的设计。

变频式电缆卷筒由于独特的结构设计和特有的变频控制器,可适应任何复杂工况^[7],该电缆卷筒的系统设计逻辑可较好地在其变频控制器上编辑实现,从而满足工程的需求。

4 结论

1) 基于工程实际,设计了一种适宜大水位差的内河用浮箱岸电设施,该设施基于浮箱随水位同步变化的原理,能够满足不同船舶在不同水位和不同干舷高度下的供电需求。

2) 设计了一种基于变频控制的输缆系统。该系统适用于无人值守的内河锚地或码头,当水位

发生变化时,能够自动地实现电缆的收放,从而保证船舶便利供电。

3) 采集与处理水位信息数据,设计电缆卷筒的变频控制逻辑,分析现有产品的技术性能,论证了岸电交互系统设计的可行性与科学性,为工程的设计提供了理论支撑。

参考文献:

- [1] 张晶,常征,元学庆,等.面向能源互联网的船舶岸电系统研究综述[J].分布式能源,2018,3(2):1-8.
- [2] 徐元潮,李钦奉,魏赛,等.港口岸电电缆提升输送装置设计[J].机械与电子,2018,36(4):33-37.
- [3] 邵勇,白玉峰.船舶岸电应用技术研究[J].广州航海学院学报,2018,26(2):25-28+32.
- [4] 赵伟.船舶岸电电源控制策略研究[D].大连:大连海事大学,2018.
- [5] 周冬生,宗军,张恒.大量程大变率高精度雷达水位计关键技术研究[J].水文,2017,37(1):68-71.
- [6] 刘文字.大型机械设备电缆卷筒的选型方法研究[J].社科论坛,2012(14):298-299.
- [7] 陈汉青.7种电缆卷筒适用范围分析[J].水利电力机械,2007(11):150-151+158.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第83页)

3) 自动化集装箱技术发展日新月异,对于具有类似特点的港口,应该深入分析自身需求,建议进一步借助仿真等手段,在规划、设计前期即组织运营方、设计方、设备供应商、系统供应商等细致策划,深入方案比选,选定适合自身发展的建设方案。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司.大连港大窑湾港区四期工程集装箱码头自动化研究专题[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2016.
- [2] 冯伟.集装箱水水中转之国际经验借鉴[J].中国港口,2017(1):24-26.
- [3] 上海市人民政府.上海市国民经济和社会发展第十三个五年规划[R].上海:上海市人民政府,2016.
- [4] 宁波市港航管理局.宁波市港航管理局贯彻落实《宁

波市交通大物流降本增效专项行动实施方案》的工作要点[R].宁波:宁波市港航管理局,2017.

- [5] 深圳市人民政府.深圳市人民政府关于促进深圳港加快发展的若干意见[R].深圳:深圳市人民政府,2018.
- [6] ZHEN L, LEE L H, CHEW E P, et al. A comparative study on two types of automated container terminal systems[J]. IEEE transactions on automation science and engineering, 2012(1):56-69.
- [7] 王施恩,何继红,林浩,等.自动化集装箱码头堆场布置新模式[J].水运工程,2016(9):23-26+45.
- [8] 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.
- [9] 中交水运规划设计院有限公司.宁波舟山港金塘港区上岙作业区自动化集装箱码头总体建设方案研究[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2017.

(本文编辑 郭雪珍)