



适用于江海联运海港自动化集装箱码头的 总体布置方案

刘 洋, 麦宇雄, 覃 杰

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 针对具有驳船小港池的海港集装箱码头的特点, 结合自动化集装箱码头建设发展的需要, 突破自动化集装箱码头堆场垂直于码头前沿线布置的局限性, 创新提出堆场箱区平行于码头前沿线布置的总体自动化集装箱码头方案。引入智能驾驶与卫星导航等技术, 采用智能驾驶运输车替代传统集装箱卡车, 从而使平面工艺总体方案适用于江海联运吞吐量占比高的运输模式, 同时实现港区自动化, 降低建设与运营成本, 为我国传统集装箱码头的自动化升级改造提供借鉴。

关键词: 江海联运装卸模式; 自动化集装箱码头; 堆场水平布置; 智能驾驶技术; 卫星导航技术

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)09-0119-06

General layout design of fully automated container terminal for river-sea combined transport mode

LIU Yang, MAI Yu-xiong, QIN Jie

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: In view of the characteristics of the harbor container terminal with a barge harbor and combining with the needs of the construction and development of the fully automated container terminal, we propose innovatively the layout scheme for the fully automated container terminal, in which, the container yard is arranged horizontally to the quay line. Introducing the artificial intelligence driving and satellite navigation technology into the smart driving transport vehicle to replace the traditional container trucks, this overall layout is applicable to the transportation of the river and sea intermodal loading & unloading, and realizes the automation of the port area, reduces the construction and operation costs, and serves as reference for the automation upgrading of the existing terminals in China.

Keywords: river and sea intermodal loading & unloading mode; fully automated container terminal; horizontal layout of fully automated terminal yards; artificial intelligence driving technology; satellite navigation technology

自动化集装箱码头以节能环保、安全可靠、效率稳定等特点成为必然发展的趋势。历经 20 多年发展, 自动化技术不断创新, 目前全球在建与建成的自动化集装箱码头已超过 40 座^[1]。近年来, 珠江三角洲河网区域凭借通江达海的区位优势, 大力发展具有驳船小港池的海港集装箱码头, 实现了江海联运的无缝对接^[2]。但目前主流的全自动化集装箱码头技术路线在上述空间形态的集装

箱码头上实现自动化有一定的局限性, 因此, 开展新的自动化集装箱码头技术方案总体研究十分必要。

1 自动化技术路线适应性评估

1.1 具有驳船小港池的海港集装箱码头的工程特点

1) 海轮码头为主泊位, 驳船码头布置在主泊位的侧面岸线挖入式小港池内。以广州港南沙港

收稿日期: 2019-04-16

作者简介: 刘洋 (1982—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计工作。

区为例,海轮码头岸线面对广州港出海主航道,驳船码头布置在海轮码头岸线侧面,呈一定夹角形成挖入式港池,形成分设于相邻两段具有一定夹角的岸线上的空间布置形态。由此,减少货物倒运次数、节省装卸人力物力和缩短运输周期,更环保更节能(图1)。

2) 江海联运吞吐量占比高。在南沙港区集疏运中相比于公路与铁路集疏运,江海联运的吞吐量占比较高。以南沙港区一个码头为例,根据2012—2017年的数据统计,每年江海联运的吞吐量占比均高于80%。

3) 主要装卸工艺流向平行于码头前沿线。以江海联运为主的集装箱码头,堆场采用平行于海轮码头岸线方向布置,不论是海轮码头还是驳船码头,其与堆场之间的交通衔接均十分方便。

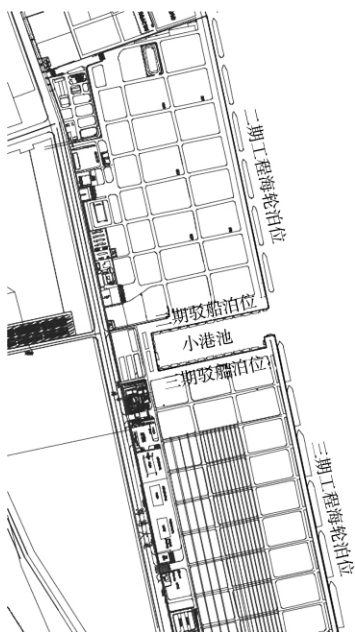


图1 南沙港区海轮泊位搭配驳船泊位布置

1.2 主流全自动化集装箱码头技术路线的适应性

纵观现有主流的全自动化集装箱码头,其平面总体布局与工艺装卸技术均有较大的共性,即堆场箱区垂直于码头前沿线^[3]。若上述空间形态的集装箱码头采用主流自动化集装箱码头既定技术路线,集装箱须通过陆侧交互区给外集卡,再由外集卡运输至驳船码头进行装卸船交互,江海联运的作业流程无法在自动化区域内完成,且交

通组织困难、作业效率低、能耗高,可见现有主流自动化技术路线具有一定的局限性。探讨一种全新的具有高度适应性的自动化技术路线是必然趋势。

2 具有驳船小港池的海港自动化集装箱码头总体方案

2.1 工程概况

以位于珠江三角洲出海口的广州港南沙港区某在建的全自动化集装箱码头为例,码头建设4个海轮泊位和配套的12个驳船泊位实现江海联运功能,岸线总长2 664 m。海轮码头结构为5万~10万吨级,布置在正面岸线;驳船泊位形成小型挖入式港池布置于海轮码头的侧面。设计年通过能力为490万TEU,其中,江海联运吞吐量占比超过80%。码头平面总体布局如图2所示。



图2 码头平面总体布局

2.2 自动化技术路线

考虑到现有主流自动化集装箱码头技术路线的局限性,在节省投资和提高港区作业效率的前提下,凭借科技前沿技术的支撑,采用“堆场箱区水平布置+智能导航运输车+单小车自动化岸边装卸桥”的技术方案,对港区平面布局与装卸设备进行升级。

2.3 平面布置

2.3.1 堆场形态布局与功能分区

为满足以江海联运为主且具有驳船小港池的海港码头主要装卸工艺流向的需求,达到在自动化区域内完成作业流程的目的,提出采用与传统

集装箱码头堆场形态布局高度相似的箱区平行于码头前沿线布置的形式(图3),同时引入人工智能和卫星导航等技术,提升港区水平运输设备性能,使其在具有封闭环境特点的港区内,实现无人驾驶定级中L4级的智能驾驶功能,将集装箱运输至每一个堆场箱区内。



图3 堆场箱区平行于码头前沿线平面布局

从平面功能分区看,自动化集装箱码头的自动化装卸工艺流程包括装卸船、堆场、堆场与外集卡交互自动化等,因此与传统的集装箱码头平面布置相比,自动化码头增设了自动化区域。非自动化区域通常包括生产与生活辅建区、仓库、闸口等,主要交通工具为外集卡和工程车辆。港区的自动化区域与非自动化区域通过港内外交互区进行隔离和交互作业(图4)。



图4 功能区域划分

2.3.2 自动化区域前沿作业地带的布置

码头前沿作业地带主要完成船岸之间的集装箱装卸交互。主流自动化码头通常采用岸边装卸桥轨后装卸方式,前沿作业地带总宽度约为135 m,考虑提高土地利用效率,自动化码头前沿作业地带可将宽度优化至90~100 m,并分两大区域,包括岸桥轨内装卸区域与轨外辅助区域(图5)。轨内装卸区域宽度35 m,布置5个集装箱装卸车道和一个工作车辆隔离车道,考虑工作车辆隔离车道属于非自动化区域,采用物理围网进行隔离;轨外辅助区域宽度56.5 m,布置辅助设施放置区、舱盖板区和行车道区,其中辅助设施放置区主要考虑放置临时使用的电动叉车等。

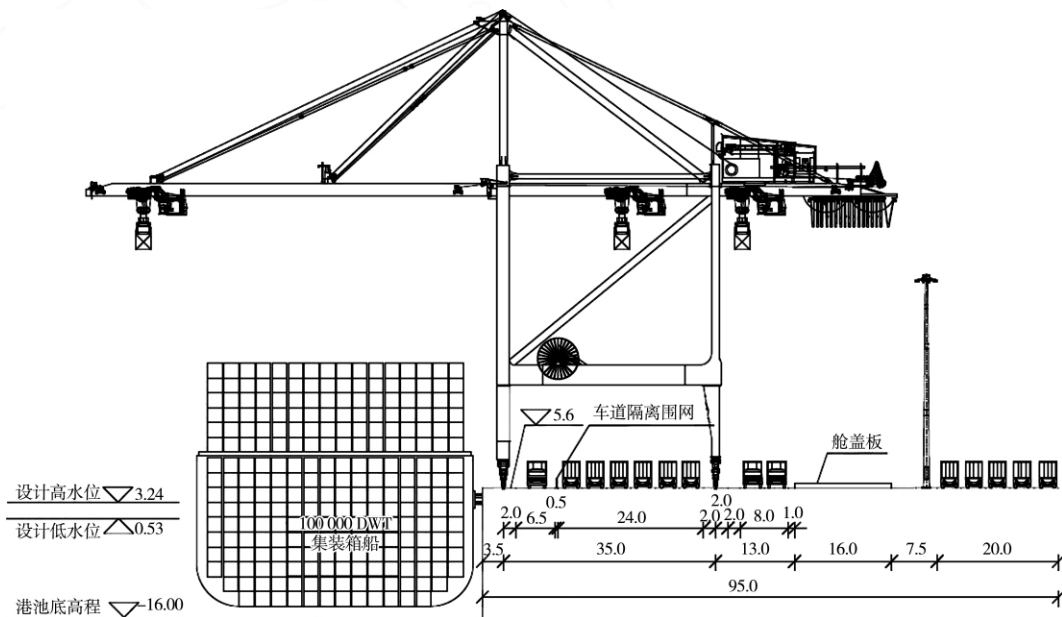


图5 自动化码头前沿作业地带布置(单位:m。下同)

2.3.3 自动化区域堆场的布置

为了缩短海轮码头、集装箱堆场、驳船码头

之间的水平运输距离,采用堆场箱区平行于码头前沿线的布置形式,可实现在自动化区域内完成

海轮←→堆场←→驳船等工艺的自动化工艺作业流程。堆场纵深约 520 m, 共布置 11 排 6 列箱区, 含有重箱、冷藏箱和空箱堆场(图 6), 每条箱区的长度约 220 m。相邻箱区采取“背靠背”模式设

置“背靠背”的无悬臂侧区域的宽度考虑 6.5 m (轨道式龙门吊轨道中心线间距), 内设轨道式龙门吊电缆拖缆槽和临时的设备维修场地; 悬臂侧吊具下方设置一条装卸车道与一条超车道。

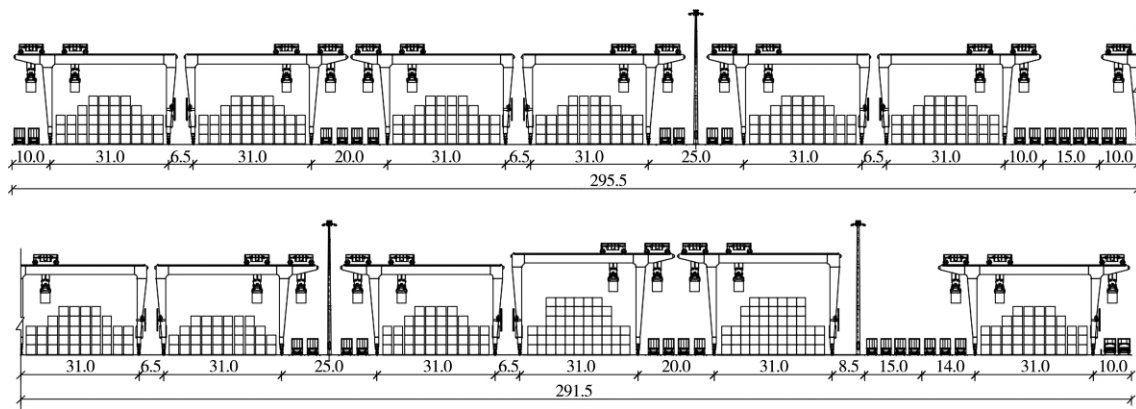


图 6 自动化码头堆场布置

2.3.4 港内外交互区的布置

自动化集装箱码头须设置交互区进行自动化集装箱堆场与港外货主之间的交互作业。不同于主流全自动化集装箱码头的陆侧与海侧交互区形式, 本工程创新性地堆场后方设置适用于江海联运为主的集装箱运输模式下的港内外交互区(图 4), 通过围网将港内水平运输设备与港外车辆隔离。

港内外交互区既为重箱堆场也是陆运集装箱的临时堆存作业区。交互区的作业模式有 2 种。1) 堆存交互: 港内水平运输设备从堆场取箱后, 运输到港内外交互区双悬臂轨道吊的内侧装卸车道上, 由轨道吊转堆到港内外交互区的堆场内进行堆存, 外集卡进入港区后行驶到双悬臂轨道吊的外侧装卸车道上, 由轨道吊运输集装箱到外集卡上, 外集卡驶出港区; 2) 直装直取: 对于外集卡送箱与取箱, 还有另外一种工况, 即内集卡与外集卡同时到达港内外交互区, 双悬臂运输集装箱时不落地, 实现内外集卡直接交互。

2.4 港区配机方案

2.4.1 船岸装卸设备采用自动化单小车岸边轨道装卸桥

突破自动化集装箱码头船岸装卸采用自动化双小车岸桥的既定思维^[4], 采用自动化单小车岸桥(图 7)。单小车岸桥装卸路径为“n”型, 相比双

小车岸桥装卸路径“m”型, 作业流程更简化, 装卸效率更高、更精准; 同时, 由于整机质量小, 设备造价较低, 相应基础设施结构造价也较低。本工程码头前沿作业地带共配置 16 台自动化单小车岸桥。



图 7 自动化单小车岸桥

2.4.2 水平运输设备采用智能导航运输车

近年来, 国内外众多互联网科技公司及各大汽车制造商均投入大量精力研究车辆无人驾驶技术, 相对于城市道路、高速公路等开放区域, 集装箱港区具有环境相对封闭、车辆行驶速度低、线路较简单等优点, 是实现车辆无人驾驶 L4 级比较理想的区域。与现有主流全自动化码头采用的自动导航运输车^[5]不同的是, 将人工智能和卫星导航的技术应用于港内水平运输设备上, 称为智能导航运输车(图 8), 取消在码头地面内预埋磁钉, 降低了工程运营期的维护费用; 可将集装箱

运输至每一个堆场箱区内，由小型运输设备代替重型轨道吊，达到节能的目的。智能导航运输车可以实现环境感知、决策规划和车辆控制等智能化功能，根据码头控制系统指令要求自动行驶至码头区任意位置，对基础设施的要求接近传统的集装箱拖挂车，运行方式与传统的集装箱拖挂车基本一致，提高了码头堆场布置的灵活性。本工程港区配置约 150 台智能导航运输车。



图 8 智能导航运输车

2.4.3 堆场作业设备采用自动化常速单悬臂轨道吊
考虑上述平面布置的特点及采用智能导航运输车的优势，堆场内水平运输作业大部分由智能导航运输车承担，因此，不同于现有主流堆场作业设备采用高速自动化双悬臂集装箱轨道式龙门吊^[6]，本工程采用常速自动化单悬臂集装箱轨道吊作业(图 9)，其优势为设备造价较低、对基础设施的不均匀沉降敏感性低、耗能低。重箱、冷藏箱堆场配备 40 台自动化单悬臂集装箱轨道式龙门吊作业，空箱堆场配备 8 台自动化单悬臂空箱轨道式龙门吊作业。



图 9 常速自动化单悬臂轨道吊

2.4.4 港内外交互区作业设备采用自动化常速双悬臂轨道吊

港内外交互区配备 3 台常速自动化双悬臂集装箱轨道吊作业(图 10)。双悬臂轨道吊轨距 31 m，可布 10 排箱，堆五过六。对智能导航运输车可实现全自动抓放箱，对外集卡安全高度以下为远程抓放箱，堆场内全部为全自动作业。



图 10 常速自动化双悬臂轨道吊

2.5 技术路线对比

适应江海联运的自动化集装箱码头技术路线与主流自动化码头技术路线有较大的差异，如表 1 所示。

表 1 自动化集装箱码头技术路线对比

码头类型	前沿作业地带布置	堆场布置	交互区布置	船岸装卸设备	水平运输设备	堆场装卸设备	借鉴意义
适应于江海联运的自动化集装箱码头	轨内作业，总宽度 90~100 m，提高土地利用率	箱区平行于码头前沿线，码头布局适用性高	堆场后方设置港内外交互区	自动化单小车岸桥，设备与基础结构造价较低，耗能低	采用智能导航运输车，可多点作业，耗能小，效率高	自动化常速单悬臂轨道吊，设备造价较低、对基础设施的不均匀沉降敏感性低、耗能低	为现有传统集装箱码头的自动化改造升级提供宝贵的技术支持
主流自动化集装箱码头	轨后内作业，总宽度约 135 m	箱区垂直于码头前沿线	海侧与陆侧交互区	自动化双小车岸桥	采用高速轨道吊，作业点固定，耗能大，效率较高	自动化高速双悬臂轨道吊，数量多	传统集装箱码头的堆场布置形式为水平布置，若改造成垂直形式，其基础设施改造费用高，且需停止运营

3 仿真成果

仿真研究以南沙港区周边同类型码头实际运

营为依据,采用 Felxterm 仿真软件进行 1:1 比例建模,在设计工况下仿真成果如表 2 所示。

表 2 设计工况下仿真成果

码头 类型	泊位占 用率/%	重箱堆场 占用率/%	空箱堆场 占用率/%	设备利用率/%	临时堆场日平均 占用率/%	设备 利用率/%	
海轮码头	63.5	52.7	59.1	53.3(重箱 ARMG)	55.8(堆存期统计值 0.53 d,堆高 3 层)	74.4(双悬臂轨道吊)	
驳船码头	62.7			51.0(空箱 ARMG)			
码头 类型	港外车辆 等待队长		陆侧交 通量/辆	闸口平均最大 排队车辆数	平均等待 进港闸时间/s	路段单小时 最大交通量/辆	完成吞吐量/ 万 TEU
海轮码头	平均 13 辆,峰值 22 辆		172	2	14.2	342 (堆场和岸桥陆侧轨之间)	312.73
驳船码头	(1 h 统计值,外集卡预约)						191.00

通过仿真研究可知,仿真时间运行 335 d,设计工况下码头总通过量可达 504 万 TEU,码头工艺布置与设备配置可以满足码头的通过能力,码头泊位、堆场、道路交通、闸口布置及装卸设备的运行性能指标均表现良好,配置合理。

码头港内外交互区轨道吊利用率在 74%以上,设备利用率较高,在高峰作业的过程中会出现集卡排队现象,因此后期运营的过程中,可根据实际情况适当增设轨道吊数量,减少外集卡在港区的排队现象。

4 结语

1) 引入搭载人工智能和北斗卫星导航等先进科技系统的智能导航运输车,取消在码头地面内预埋磁钉的导航方式,降低了工程的建设成本与维护费用;

2) 智能导航运输车代替主流自动化码头堆场重型高速轨道吊的水平运输工作,达到节能的目的;

3) 智能导航运输车可将集装箱运输至每一个堆场箱区内,使堆场箱区平行于码头前沿线布置形式可行,有利于江海联运的作业流程在自动化区域内完成;

4) 由于单小车自动化岸桥整机质量小,设备造价较低,相应基础设施结构造价成本也较低,而且耗能较低;

5) 堆场自动化常速单悬臂轨道吊造价较低,对基础设施的不均匀沉降敏感性低,耗能低;

6) 我国正在运营的主流集装箱码头与本工程海港自动化码头总体布置形式高度相似,此工程的建设对我国现有传统集装箱码头的自动化升级改造有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 朱连义,安国利,董席亮.世界自动化集装箱码头发展现状及启示[J].集装箱化,2015,26(1):7-10.
- [2] 叶俊,郑栋敏.长江“江海联运”集装箱运输现状及发展策略[J].浙江海洋学院学报:(人文科学版),2017,34(2):19-24.
- [3] 刘广红,程泽坤,林浩.自动化集装箱码头总体布置[J].水运工程,2015(2):101-107.
- [4] 金毅,黎志勇,田晓峰.自动化码头双 40 ft 桥吊上架形式比选[J].水运工程,2016(9):107-110.
- [5] 吴沙坪,何继红,罗勋杰.洋山四期自动化集装箱码头装卸工艺设计[J].水运工程,2016(9):159-162+166.
- [6] 林浩,唐勤华.新型集装箱自动化码头装卸工艺方案探讨[J].水运工程,2011(1):158-163.

(本文编辑 郭雪珍)