

· “青岛港全自动化集装箱码头技术创新”专栏(3) ·



自动化集装箱码头总平面布局设计

张连钢^{1,2}, 杨杰敏², 李波², 宋海涛², 管廷敬², 耿卫宁²

(1. 青岛港国际股份有限公司, 山东 青岛 266500; 2. 青岛新前湾集装箱码头有限责任公司, 山东 青岛 266500)

摘要: 自动化集装箱码头平面布局设计是码头土建施工设计的依据, 总平面布局设计的科学性影响码头建成后运营的作业效率和经济效应。国内自动化集装箱码头平面布局设计研究尚处于空白状态、没有系统分析和深入研究, 针对这一现状, 对自动化码头总平面布局进行研究。使用指数平滑预测算法预估码头运营后的吞吐量, 依据码头吞吐量计算各功能区域相匹配的生产能力。各功能区域的设计须满足各功能区域生产能力的需求; 根据业务流程中物理流的流向与衔接, 确定功能区域的布局。首次采取了维修区前移、分离异步式闸口等独特设计。对国内其他自动化码头的建设和人工码头的自动化升级改造提供借鉴意义。

关键词: 自动化集装箱码头; 作业功能区; 总平面布局

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)10-0014-07

General layout design of automated container terminal

ZHANG Lian-gang^{1,2}, YANG Jie-min², LI Bo², SONG Hai-tao², GUAN Ting-jing², GENG Wei-ning²

(1. Qingdao Port International Co., Ltd., Qingdao 266500, China;

2. Qingdao New Qianwan Container Terminal Co., Ltd., Qingdao 266500, China)

Abstract: Plane layout design of automated container terminal is the basis of civil construction design of wharf. The scientificity of general layout design affects the operational efficiency and economic benefits of operation of wharf after completion. In view of the fact that the domestic research on the layout design of automated container terminals is still in a blank state, and there is no systematic analysis and in-depth study, the general layout of automated container terminals is studied. The throughput after operation is estimated by using the exponential smoothing prediction algorithm, and the matching production capacity of each functional area is calculated according to the throughput of the wharf. The design of each functional area should satisfy the demand of production capacity of each functional area, and the layout of functional area should be determined according to the flow direction and convergence of the physical flows in the business process. For the first time, special designs such as moving the maintenance area forward and separating the asynchronous gate have been adopted. It will provide reference for the construction of other automation wharfs and the automation upgrading and transformation of artificial wharfs in China.

Keywords: automated container terminal; operation area; general layout plan

20世纪90年代, 世界上第一个自动化集装箱码头诞生于荷兰鹿特丹码头, 历经20多年的发展, 目前世界上已建成自动化集装箱码头30余个。随着中国经济、科学技术水平的发展, 在港口转

型发展、建设海洋强港的背景下, 中国各大主要港口兴起建设自动化集装箱码头和传统人工码头自动化改造的热潮^[1]。截至目前, 中国投入运营的有两个自动化码头, 青岛港自动化码头、上海

收稿日期: 2019-02-27

作者简介: 张连钢(1960—), 男, 研究员, 从事港口设备自动化、智能化方面研究。

洋山四期自动化码头运行良好, 并形成稳定生产力; 唐山港京唐港区、广州港南沙四期正在建设自动化码头; 厦门远海集装箱码头、天津五洲集装箱码头的自动化堆场运行稳定。建设自动化码头或传统人工码头自动化升级已成为中国码头发展的新趋势。

我国的自动化集装箱码头发展起步较晚, 自动化码头的建设没有标准的建设规范, 目前最新的码头建设规范为交通运输部 2013 年颁布的 JTS 165—2013 《海港总体设计规范》, 该规范主要针对传统人工码头, 不能完全指导自动化码头的建设。关于自动化集装箱码头总平面布局的研究十分欠缺。平面布局是自动化集装箱码头设计的关键, 影响到施工建设、运营成本、作业效率、自动化水平^[2]。目前国内关于码头平面布局方面的研究多侧重于土建方面, 少有结合码头能力、业务流程、工艺模式等码头生产要素, 自动化码头的平面布局设计必须紧密结合码头能力、业务流程、工艺模式、设备选型等要素, 总平面布局设计必须经过仿真模拟反复检验。

1 总平面布局设计要求

1.1 必须满足业务流程需要

业务流程是影响自动化码头运营成功的重要因素, 科学的业务流程必须满足两个条件: 一是软件层面信息流的顺畅; 二是物理层面集装箱流动的顺畅。物理层面集装箱流动的顺畅的重要因素就是各功能区域布局科学、衔接合理, 科学的平面布局可以确保集装箱每一次移动均为有效移动、增值移动。集装箱码头的作业特点之一是机械密度高, 科学合理的平面布局不仅可以有效解决机械拥堵、车流交叉冲突的问题, 从本质上减少港区内交通事故的发生。

1.2 必须满足码头吞吐能力和服务水平需要

在码头能力指标中, 吞吐量是一个最基础、最重要的指标, 其他生产指标均服务于它。业内

普遍将码头划分为 4 大主要作业区域: 海侧装卸船作业区、水平运输区、堆场堆码区、陆侧集疏运区。为最大程度发挥码头经济效益, 码头的作业以海侧装卸船作业为核心, 其他环节均服务于海侧装卸船作业, 其他 3 个区域的能力要满足海侧装卸船作业区能力需求。码头的总平面布局设计必须为码头的整体能力服务, 各功能区域的能力必须服务于码头的整体能力, 各功能区域的设计必须服务于该功能区域的能力。

1.3 必须满足码头工艺模式选择和设备选型需要

传统人工集装箱码头土建与工艺模式、设备型号关联度低, 可以先进行土建施工, 再进行工艺模式选择和设备选型。自动化集装箱码头在土建施工前必须先确定工艺模式和设备选型, 工艺模式是总平面布局设计的一个重要因素, 各功能区域设计要严格参照设备选型的功能参数进行土建设计、施工。土建设计的科学性和建设施工的精度也是码头运营后自动化设备是否能达到设计性能的关键。

2 青岛自动化码头主要功能作业区规划设计及相关参数

2.1 码头前沿作业区

码头前沿作业区, 主要是桥吊轨距内的装卸作业区。也就是说桥吊的轨距选择要满足以下的功能需求: 1) 装卸作业需求。舱盖板作业以及超限箱(含大件箱)、危险品箱等特殊集装箱的作业。2) 辅助作业需求。桥吊中转平台台座吊装作业、锁垫筐分配作业。3) 行政作业需求。口岸监管单位、代理、码头巡逻车等行政车辆及人员行走区域。

考虑到船舶大型化的趋势, 舱盖板也随之加大, 最大舱盖板的宽度超过 15 m。此外, 由于自动化集装箱码头对作业高效的要求, 桥吊在海侧和陆侧下横梁上安装了中转平台, 用于进行装卸船主小车和门架小车的接力作业以及放置剪式吊具, 这两个平台占用轨距内的空间(图 1)。

2.4.1 堆码高度设计

堆场的堆码高度将直接影响到堆场的堆存能力和生产运营中的堆场翻倒率。由于 ARMG 吊具是 8 绳形式, 因此堆码高度还影响到集装箱的堆箱间距。

2.4.2 横向堆码宽度设计

横向堆码宽度设计要综合考虑在给定岸线长

度下, 不同横向堆码宽度下可以布置的堆场箱区数量、堆场横向剩余的 length、外集卡在场周转时间、达到岸桥单机目标效率时所需要的 AGV 数量、ARMG 空闲时间占比、达成目标吞吐量下的堆场利用率等因素。表 1 是 1 320 m 岸线, 岸桥单机目标效率为 39 自然箱/h、目标吞吐量为 300 万 TEU 下的堆场横向堆码宽度设计。

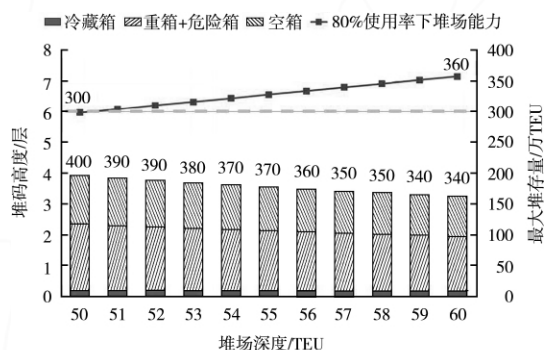
表 1 堆场堆码宽度设计综合对照

宽度/ 列	ARMG 箱区 数量/个	堆场横向 剩余距离/m	外集卡平均 在场时间/min	达到效率 39 自然箱/h 所需 LAGV 的数量/个	ASC 空闲时间 占比/%	300 万 TEU 吞吐量 堆场利用率/%
8	41	22.1	15.7	49	13	75
9	39	13.5	15.5	51	10	70
10	35	10.7	16.0	54	2	70
11	32	25.1	16.6	60	低于 1	72

综合比较分析, 在堆场利用率、所需 L-AGV 数量和 ASC 空闲时间方面(留出必要的维修时间), 堆场布置 8 列或 9 列集装箱是最佳的选择。在 300 万 TEU 吞吐量下, 9 列在堆场利用率和堆场横向剩余长度方面比 8 列更有优势。此外, 8 列的箱区只能在海侧交换区设计 4 个交互点, 而 9 列的箱区在海侧交换区可以设计 5 个交互点, 因此堆场列数选择 9。

2.4.3 箱区长度设计

模拟仿真自动化集装箱码头作业过程, 得到年吞吐量达到 300 万 TEU 时箱区长度的最低要求(图 3)。



注: 在 300 万 TEU 下的高峰堆场高度。

图 3 堆场利用率测算

根据图 3 的模拟分析结果可知, 在 34 组堆场箱区情况下, 箱区长度要大于 50 个标准集装箱长度, 堆场的承载能力能满足 300 万 TEU 的

吞吐量。同比例推算得出, 在 38 组堆场箱区情况下, 箱区长度要大于 45 个标准集装箱长度, 堆场的承载能力可以满足 300 万 TEU 的吞吐量。

考虑到泊位吞吐量增大的情况, 比如天气导致的船舶延误率降低, 码头作业效率提升、船舶大型化等因素, 假设吞吐量提高 20%, 即吞吐量达到 360 万 TEU, 所需的箱区长度为 54 个标准集装箱长度。

2.5 陆侧交换区

遵循与海侧交换区同样的设计思路, 陆侧交换区的设计要考虑以下因素:

- 1) ARMG 总宽(设备厂家参数, 15 m)。
- 2) 同场区单台设备维保时, 另一台设备可满足该场区全部作业需求, 即陆侧 ARMG 维修时, 海侧轨道吊可以替代陆侧轨道吊完成集卡靠陆侧 20 ft 集装箱装卸作业。
- 3) 考虑海陆侧 ARMG 的安全距离, 取 0.5 m。
- 4) 集卡车挡位置。
- 5) 陆侧轨道吊的安全缓冲距离, 取 0.5 m。

综合考虑以上因素, 青岛自动化码头陆侧交换区设计长度为 41 m。陆侧交换区设计见图 4。

2.6 闸口布局设计

青岛港自动化集装箱码头闸口在设计过程中吸取了“进出闸集中、一站式处理”闸口所造成

交通拥堵的经验教训,结合当地集疏运特点以及港区与市政道路结合部实际情况,提出了进出闸

分离、多站式异步处理方案^[5]。闸口布局设计见图 5。

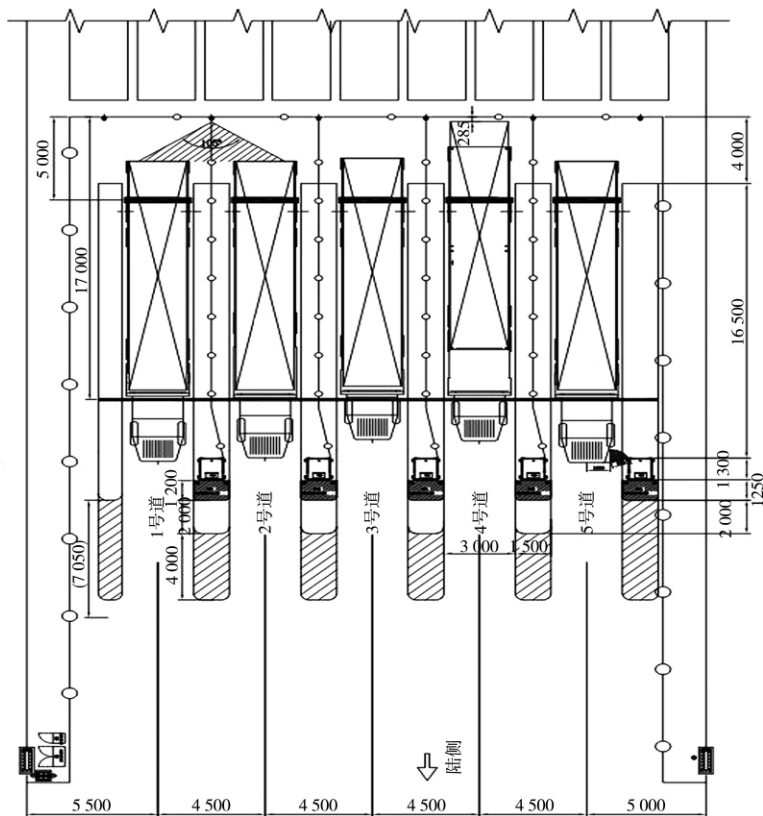


图 4 青岛自动化码头陆侧交换区设计(单位: mm)

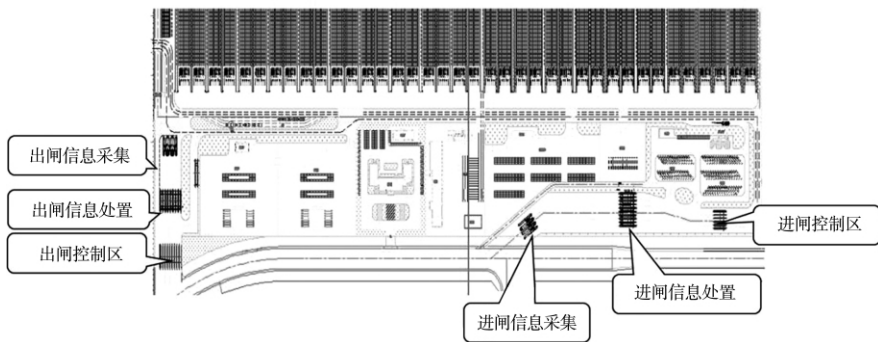


图 5 青岛自动化码头闸口布局设计

进港、出港闸口以三站道口形式布置。第 1 站为信息采集区,采取动态不停车的方式通过图像识别技术采集集车牌和集装箱箱号、尺寸箱型、集装箱在集卡上的位置等信息。第 2 站为信息处置区,进行集卡司机、集卡车号以及集卡取送箱箱号的绑定,码头系统向司机提供提送箱场位;对进港集卡进行分流处理,符合条件的车辆可以

进入第 3 站道口,不符合条件的车辆则进入缓冲区停车场进行例外处理。第 3 站是控制区,对集卡再次进行核实,进港时防止不符合条件的集卡进入到码头作业区域,影响到正常的生产作业;出港时防止不符合海关或者码头规定的进口集装箱提离码头。

此外,在港内还需要设立闸口缓冲区用于处

理例外情况, 比如集卡司机未经过码头安全培训, 或者集卡、集装箱信息有问题等例外情况。另外考虑到堆场垂直码头形式布置情况, 同时间允许进入同一场区陆侧交换区的集卡数量有限, 若出现某个堆场大批量进行收发箱作业时, 就需要集卡在缓冲区等待, 否则会造成集卡在堆场后方车道拥堵, 不利于保证码头作业的安全和稳定。

为了满足集卡进行特殊处理事宜, 缓冲区设计了返回车道, 需要进一步人工处理的集卡可通过返回车道进入到闸口待检区请求人工处置。根据模拟仿真, 青岛港自动化集装箱码头的闸口布置可以满足 1 h 处理 600 辆集卡而不发生拥堵^[6]。

2.7 超限作业区设计

基于安全的考虑, 同时受限于当前自动化技术水平现状, 自动化集装箱码头依旧需要单独堆场区域用于堆存超限集装箱。自动化码头超限堆场的设计须满足以下要求: 1) 能够满足超限箱吞吐要求。2) 能够进行远程操控作业。3) 与集卡车流保持一致, 最大限度地避免车流交叉。

为满足以上要求, 青岛港自动化集装箱码头采用有别于国内外其它自动化集装箱码头在后辅区设置超限堆场的传统做法, 创新性地提出了超

限堆场垂直布置、使用远程操控轨道吊作业的新设计理念。

2.8 机务维修区

青岛港自动化集装箱码头布置了 2 个机务维修区: 1) AGV 维修区。考虑到需要与自动化作业进行无缝衔接, AGV 维修区布置在自动化堆场的西侧, 超限场区的端头。为提高土地资源利用率, 提出了 AGV 测试区与 AGV 作业区共享的设计方案。根据码头作业情况, 将 AGV 作业区作为测试区进行 AGV 维修后投入作业前的测试以及新开工况的测试。2) 后辅维修区, 布置在码头后方辅建区, 主要用于集装箱吊具、正面吊和叉车等设备的维修与保养工作。

3 采用先进的仿真技术验证、改进总平面布局设计

近几年仿真技术的发展为码头总平面布局设计的科学性验证提供了一种良好的手段, 但自动化码头的复杂性决定了不可能通过一种仿真技术、一个仿真软件就可以得到真实准确的结果。单纯的随机分布和概率仿真已不能满足自动化码头仿真的需求, 必须使用不同的仿真软件、仿真原理, 不断调整参数、不断精修模型, 以得到较为真实的仿真结果(图 6、7)。

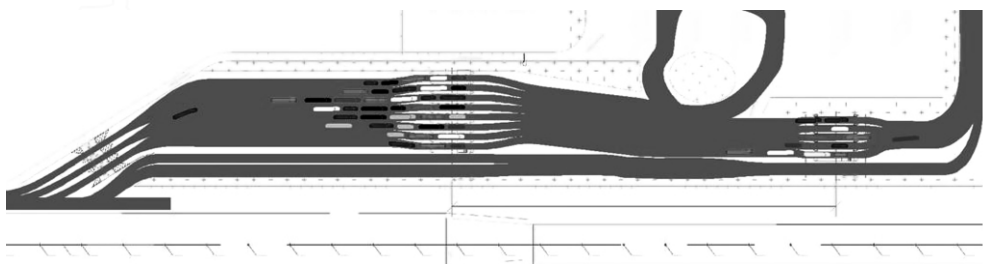


图 6 3 条 OCR 车道位于入口区域仿真效果

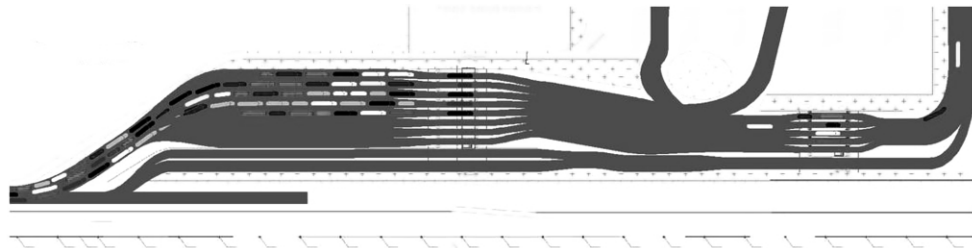


图 7 5 条 OCR 车道位于业务闸处仿真效果

4 结论

1) 先确定业务流程、工艺模式、设备选型再进行总平面布局设计,这是自动化码头与传统人工码头布局设计最大的区别。人工码头业务流程可以根据平面布局调整,土建完成后再选择工艺模式、设备选型;自动化码头的平面布局必须满足业务流程需要,必须在平面布局设计之前选择工艺模式,确定设备选型。

2) 自动化码头总平面布局的设计必须紧密围绕设计吞吐量和服务水平,各功能区域的设计必须满足基于码头总吞吐量和服务水平分解至各功能区域的能力指标。

3) 具体布局设计应结合码头陆域地形、码头操作习惯等因地制宜,综合考虑码头作业船舶类型、货物流行类别、物流集疏运特点等当地实际情况,总体布局的设计要留有冗余。码头内车流的设计、闸口与市政道路的衔接是设计的难点,应重点研究。

4) 总平面布局的科学性必须通过仿真验证,

仿真建模数据的采集要广泛真实,仿真模型要不断完善改进。不能采用单一的仿真逻辑、仿真软件,必须通过“仿真—改进—仿真—改进”多重循环取得更真实的仿真结果。

参考文献:

- [1] 郑功怡.集装箱自动化码头发展趋势分析[J].科技资讯,2016,14(4):47+49.
- [2] 周鹏飞,邢小伟.一种新型自动化集装箱码头工艺布局仿真[J].大连理工大学学报,2018(4):363-370.
- [3] 张煜,王少梅.自动化集装箱码头中自动导引小车的交通策略研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2007(4):641-644.
- [4] 李培钰.新型集装箱码头堆区分配问题研究[D].上海:上海交通大学,2013.
- [5] 胡磊.集装箱港口闸口及堆场作业优化研究[D].上海:上海交通大学,2013.
- [6] 王超,陈磊,董琳,等.集装箱码头集卡智能化实时调度方案[J].中国港口,2008(10):51-52.

(本文编辑 武亚庆)

• 消 息 •

京杭运河浙江段航道整治项目主体完工

近日,中交四航局承建的京杭运河浙江段三级航道整治项目主体结构完工。

项目位于浙江省杭州市钱塘江两侧,其中北岸施工区位于江干区,加固总长度为5 965 m,南岸施工区位于萧山区,加固总长度为4 728 m。工程施工内容主要包括标准塘加固、丁坝加固、口门整治及新建丁坝等工程。此次完成的主体结构施工内容包括钻孔灌注桩791根、预应力U形板桩2 705根、新建丁字坝12条、护岸护坦1 673 m。

作为浙江省重点工程,项目建成后对改善京杭运河出口通航条件,满足千吨级船舶通航水深要求具有重要意义。

http://www.ccccltd.cn/news/jcxw/jx/201909/t20190904_97690.html (2019-09-04)