

· “青岛港全自动化集装箱码头技术创新”专栏(2) ·



自动化集装箱码头堆场规划设计

耿卫宁, 张连钢, 李 波, 王吉升, 隋 晓

(青岛新前湾集装箱码头有限责任公司, 山东 青岛 266500)

摘要: 自动化集装箱码头堆场规划设计的目的是通过堆场的总体规划, 使自动化码头堆场作业能力、作业效率满足自动化码头整体作业能力、作业效率的要求; 通过堆场的设计, 实现自动化堆场的各种功能, 满足堆场安全高效作业的要求。对自动化集装箱码头堆场能力、功能区域、场区数量、场区长度、场区宽度、堆码层高等规划设计要素进行研究, 并以青岛港自动化码头堆场规划设计为例, 阐述自动化集装箱码头堆场的规划设计方法。

关键词: 堆场; 规划; 设计; 作业能力; 功能区域; 堆码层高

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)08-0001-05

Planning and design of automatic container terminal yard

GENG Wei-ning, ZHANG Lian-gang, LI Bo, WANG Ji-sheng, SUI Xiao

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

Abstract: The purpose of the yard planning and design of automated container terminal is to make the yard operation ability and efficiency of the automated terminal, meet the requirements of the overall operation ability and efficiency of the automated terminal through the overall planning of the yard. Through the specific design of the yard, the functions of the automated yard can be realized and the requirement on the yard's safe and efficient operation can be satisfied. The chief planning and design elements including the yard capacity, functional area, number of yards, length, width and stacking level of the automated container terminal are studied. Taking Qingdao Port automation terminal yard planning and design as an example, we expound the planning and design method of the automated container terminal yard.

Keywords: stack yard; planning; design; operation capability; functional area; stack height

自动化堆场的规划设计与人工码头堆场的规划设计截然不同。自动化码头作业模式是对人工集装箱码头作业模式的彻底颠覆。人工码头堆场规划设计灵活性较大, 与码头整体规划、工艺选择、设备选型关联度低, 在建设过程和后期运营过程可以适度调整。而自动化码头堆场的规划必须与码头的整体规划、工艺选择、设备选型同步进行, 在建设过程中尽量避免调整; 必须调整时, 则要充分考虑对其他相关联因素的影响。自动化机械设备作业对环境精度的要求远高于人工设备, 因此自动化码头堆场规划设计的精度要求也远高

于人工码头, 规划设计精度和建设质量直接决定了自动化码头建成后的运行效果。

1 堆场能力规划

集装箱装卸作业是流程化作业, 单一环节能力的提高不仅不能提高整体的作业能力, 反而会造成资源的浪费, 但单一环节能力的不足会导致整体作业能力的降低。因此, 集装箱码头的生产能力匹配必须遵循合理的能力匹配原则。集装箱码头确保主要客户船公司班轮的准班率, 是衡量一个集装箱码头能力的重要指标。在码头系统能

收稿日期: 2019-02-27

作者简介: 耿卫宁 (1980—), 男, 经济师, 研究方向为自动化码头业务流程建设与优化和码头平面布局规划与设计。

力配置时以确保船舶到离港准时作为生产系统能力配置中的控制节点,采用“不平衡配置模式”,即:堆场能力>水平运输能力>岸边装卸能力;堆场能力>闸口集疏运能力^[1]。

集装箱堆场的能力可以分解为 3 个部分:

1) 堆场的堆存能力; 2) 堆场对岸边装卸船的供给能力; 3) 堆场对闸口集疏运的供给能力。堆场的堆码能力是一个静态能力,由堆场平面堆码箱位和堆码层高决定;堆场对岸边装卸船的供给能力和堆场对闸口的集疏运供给能力主要由堆场设备单机效率和设备数量决定,最终能力的匹配通过仿真检验^[2]。

1.1 自动化堆场堆存能力规划

集装箱堆场的堆存能力取决于堆场的平面箱位数量和堆码层高。针对码头堆码能力和平面箱位数量计算, JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[3]有明确的计算公式,集装箱码头堆场所需容量及平面箱位数计算公式如下:

$$E_y = \frac{Q_h K_{BK} t_{dc}}{T_{yk}} \quad (1)$$

$$N_s = \frac{E_y}{N_l A_s} \quad (2)$$

式中: E_y 为集装箱堆场容量(TEU); Q_h 为集装箱码头年运量(TEU); t_{dc} 为到港集装箱平均堆存期(d); K_{BK} 为堆场集装箱不平衡系数; T_{yk} 为集装箱堆场年工作天数(d); N_s 为集装箱码头堆场所需地面箱位数(TEU); N_l 为堆场设备堆箱层数; A_s 为堆场容量利用率(%)。

自动化码头堆场堆存能力计算可参考但不能完全按照此公式,应综合考虑自动化流程的变化,例如:堆存量增大翻捣率增高,堆场对岸边装卸船的供给能力和堆场对闸口的集疏运供给能力降低对作业的影响。青岛港自动化码头 2 年的运营实践表明,自动化码头的堆场容量利用率(A_s)明显低于人工码头的堆场容量利用率。自动化码头堆场的容量和平面箱位数的计算是个复杂的课题,涉及的因素很多,且很多因素具有不确定性,目前业内没有成熟的计算方法用于计算自动化码头堆场的容量和平面箱位数。传统测算方法一般采

用趋势外推法、回归分析法、指数平滑法、生成系数法等,近几年仿真技术的迅速发展和码头专业仿真软件的开发应用,为这一问题的解决提供了有益的帮助^[4]。

1.2 堆场对岸边装卸船供给能力和对闸口集疏运供给能力规划

遵循生产能力不平衡配置模式,闸口集疏运能力>堆场对岸边装卸船的匹配能力>水平运输能力>码头岸边装卸能力。码头岸边装卸峰值的准确测算是堆场对岸边装卸船供给能力规划的基础;闸口集疏运峰值的准确测算是堆场对闸口集疏运供给能力规划的基础,闸口集疏运峰值的调控可以通过集卡预约和集疏运计划等手段进行峰谷平衡。

2 堆场布局模式与工艺模式选择

自动化码头堆场布局主要有 2 种形式:一种是堆场垂直于岸线,另一种是堆场平行于岸线。目前,新建的自动化码头堆场多采用箱区垂直于岸线式。该形式的优点是水平运输设备运行距离短;箱区可以将海侧装卸船作业和陆侧集疏运作业隔离。人工码头改造升级后的自动化码头,由于受制于码头原有的基础设施,基本采用箱区平行于岸线式。该形式的弊端是水平运输设备运行距离大,运行路径难以规划,港内港外水平运输设备交叉作业。

集装箱码头有多种工艺系统,比较常见的有 9 种(表 1)。

表 1 集装箱码头工艺系统

堆场装卸方式	堆场布局	设备类型	系统分类
电轮吊+港集卡	平行式	轮胎吊系统	人工系统
悬臂式轨道吊+港集卡		悬臂式轨道吊	半自动系统
悬臂式轨道吊+跨运车			
悬臂式轨道吊+跨运车			
轨道吊+跨运车	垂直式	轨道吊	全自动系统
轨道吊+自动跨运车			
轨道吊+自动导航小车 AGV			
轨道吊+自动起升导航小车 L-AGV			
自动堆垛起重机+铁轨小车+ Lift-AGVs			

工艺模式的选择综合考虑投资成本、运营成本、服务水平、最大堆场承载能力、IT 整合等多方因素。本文仅就堆场模式为堆场垂直于岸线、工艺模式为轨道吊+自动起升导航小车 L-AGV 的当前主流模式展开论述。

3 堆场规划设计

堆场功能区域规划原则: 一是功能齐备; 二是布局合理。堆场功能区域规划必须确保功能齐备, 确保码头运营所需的功能不能遗漏; 各功能区域的布局设计合理, 整个堆场区域形成一个有机整体, 确保各功能区域运转顺畅、不相互冲突。

3.1 箱区数量、箱区宽度、箱区长度、堆码高度、箱区间距

箱区数量、箱区宽度、箱区长度、堆码高度的设计, 首先要满足码头能力的需要, 即满足码头堆码能力和作业能力两方面需求, 其次要考虑土地利用率、设备投资成本、对吞吐量增长的承载能力等因素。所以要综合考虑多种因素并精确测算, 通过模拟仿真系统验证最终确定箱区的数量、箱区宽度、箱区长度、堆码高度^[5]。

箱区数量和箱区宽度主要由码头堆场的宽度决定, 设计时须考虑堆场出箱点数量对装卸船作业和集疏运作业的匹配, 同时须考虑对设备配备数量和单机设备制造成本。理论上, 箱区的宽度决定了箱区的数量, 同一区域, 箱区越宽, 箱区数量就会越少, 堆场总接卸点就会越少, 对海侧装卸船和陆侧集疏运的供给能力就会越低; 箱区数量越多, 堆场出箱点就越多, 对装卸船作业和集疏运作业的供给能力就越强。但是箱区数量多意味着须配备更多的堆场设备量和更大的箱区间距, 堆场土地利用率低, 堆场设备投资大(图1)。

箱区长度设计根据码头的陆域条件, 原则是尽可能提高土地利用率, 同时要满足码头的堆场能力、装卸船效率及陆侧集疏运效率需要。箱区的长度决定了堆场设备的大车运行距离: 箱区越长, 平均单箱运行距离越大, 堆场设备作业效率越低; 堆码高度直接影响堆场堆码能力和堆场设备

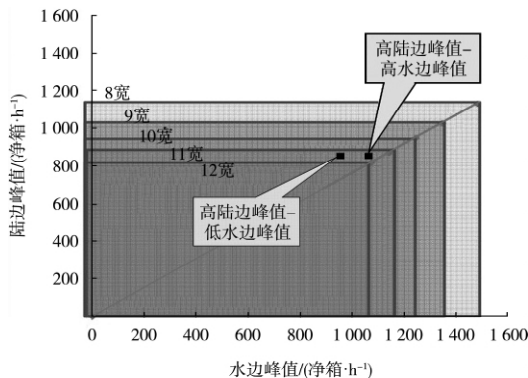


图1 箱区宽度与海陆侧作业峰值测算

作业效率: 堆码越高, 堆码量就会越大, 堆场内翻捣率就会越大, 这将直接导致堆场设备作业效率降低。堆码高度设计不能忽略当地的气象情况, 尤其是风力情况, 设计堆码高度应符合相关安全作业要求。青岛自动化码头通过实践获得如下经验: 因高速轨道吊大车移动速度快, 堆场长度的增加对堆场设备作业效率影响度较低; 因堆码高度增加导致的翻捣率上升对堆场设备作业效率影响较大。

箱区间距主要受设备选型影响。设计时要考虑相邻箱区设备的安全作业距离, 同时要考虑堆场内应急通道和国家对消防通道的强制性要求。

3.2 堆场箱区

3.2.1 普通箱区

普通箱区用于堆码普通集装箱, 地面形式主要有连锁块和箱角梁2种模式, 采取何种模式取决于堆场地质结构。连锁块模式堆场箱位使用比较灵活, 箱角梁模式下堆场箱位相对固化, 规划设计时须精确测试大小箱系数。自动化码头堆场对地面抗沉降要求极其严格, 青岛自动化堆场平整度要求8 ft (2.44 m) 范围内高差 ≤ 10 mm。

3.2.2 冷冻箱区

冷冻箱区可单独设置也可设置于普通箱区内, 冷冻箱箱位数量根据当地进出口冷冻箱数量比例进行设置。因冷冻箱配备的电缆线、电缆插头形式, 导致冷冻箱插拔电尚不能实现自动化作业, 仍须人工操作。因此, 冷冻箱位置的设置要考虑插拔电人员进出安全和冷冻箱作业效率两方面因素。以冷冻箱区设置于普通箱区内模式为例, 冷冻箱箱位的位置目前有2种模式: 一是冷冻箱位

于堆场中间位置,二是冷冻箱位于堆场陆侧端头。冷冻箱区设置于堆场中间,作业时无需经过接力,单侧 ASC 可单独完成作业,有利于节省能源和确保作业效率,但冷冻箱工作人员进出不太便利,采用箱式通道方式会占用部分堆码箱位,采用跨越 ASC 轨道方式,会对 ASC 作业有干扰。冷冻箱区设置于陆侧端头,人员进出安全便利、不占用堆码箱位,但装船作业时冷冻箱须经过一次堆场内接力动作才能到达海侧,影响装船效率。所以,冷冻箱区的设计没有标准的模式,要根据码头的冷箱作业量大小、冷箱进出口比例、堆码箱位的紧张程度等各方面因素综合考虑。

3.2.3 超限箱区、熏蒸区、喷淋区等

当前的自动化技术尚不能实现超限箱的自动化作业,因此超限箱的规划独立于自动化封闭区域,超限箱区的能力要根据当地超限箱作业具体情况进行设计。

熏蒸区、喷淋区的设置须符合当地码头监管部门的要求,原则是此类区域作业不干扰自动化区域作业,此类区域内堆码的集装箱与自动化区域转运方便流畅。

3.3 海侧交互区

海侧交互区域主要功能是 AGV、ASC 交付或接收集装箱,辅助功能是 ASC 维修保养及 ASC 防风锚定停放(图 2)。



图 2 青岛自动化码头海侧交互区

青岛港自动化码头海侧交互区设计长度 39 m,海侧 ASC 可进入锚定位置维修保养,陆侧 ASC 可负责交互区的作业。因青岛港自动化码头采用 Lift-AGV,所以交互区内安装有集装箱支架,解决 AGV、ASC 作业不均衡时的互相等待问题。青岛

自动化码头海侧交互区设计了 3 个支架交互点和 5 个直接交互点,其中 5 号直接交互点在建设施工时预埋了支架安装底座,可根据实际运营后支架使用率情况,选择是否增加支架的配置(图 3)。

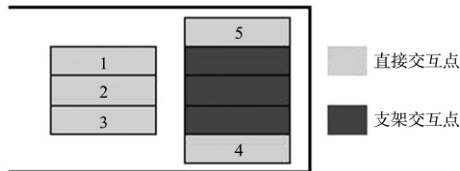


图 3 青岛自动化码头海侧交互区交互点和支架设计

3.4 陆侧交互区

陆侧交互区域主要功能是 AGV、集卡交付或接收集装箱,辅助功能是 ASC 维修保养及 ASC 防风锚定停放(图 4)。



图 4 青岛自动化码头陆侧交互区

青岛港自动化码头陆侧交互区设计长度 41 m,陆侧 ASC 可进入锚定位置维修保养,海侧 ASC 负责交互区的作业。每个交互区设有 5 条车道,每条车道设 1 个通讯亭。集卡到达陆侧交互区后倒车进入交互区,停车后司机进入亭内刷卡,自助完成集装箱交付和接收作业。

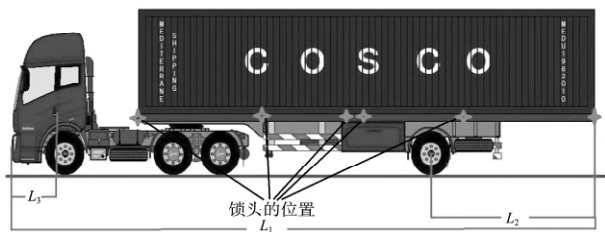
3.4.1 集卡车型

陆侧交互区的设计差异性较大、地域性明显,原则是必须与当地的集疏运运输工具特点相匹配。陆侧交互点的设计要综合考虑作业效率和作业安全,能适应中国集装箱卡车车型繁多的实际情况,掌握本地集卡的车辆资料是陆侧交互区设计的基础。集卡整体长度、车盘后轮距车盘后端的距离、车盘钮锁的位置、驾驶室门的位置等,均是陆侧交互区设计需要掌握的重要数据(图 5)。

通过对青岛地区约 1.2 万辆集卡的数据调查,得出集卡数据(表 2)。

表2 集卡数据

车辆数据	L_1 /m	车宽/m	轴的数量/个	L_2 /m	L_3 /m	左右轮中心距/m	锁头数量/个
上限	17.00	2.49	3	2.85	2.60	2.05	12
下限	14.84	2.49	1	1.30	1.15	2.05	10



注: L_1 为车长; L_2 为后轮轴心与车盘尾端距离; L_3 为驾驶室门后沿与车头前沿距离。

图5 集卡车型主要参数

3.4.2 设计要素

1) 车道数量。车道数量的设计主要取决于箱区的宽度,越多的车道数量越有利于应对陆侧集疏运的高峰作业。

2) 车道宽度。车道宽度取决于堆场设备最大纠偏能力、集卡车宽、集卡司机驾驶技能3个因素。理论上,较窄的车道有利于集卡的规范停车及堆场设备的高效作业,但对集卡司机的停车入位效率影响很大。以青岛自动化码头陆侧交互区交互点车道宽度设计为例,综合考虑堆场设备全自动高速轨道吊的吊具纠偏最大值为 5° 、青岛地区运营的各种型号集卡的不同轴距以及青岛地区集卡驾驶员的技能水平等因素,最终确定车道宽度为3 m,即确保驾驶员倒车入位顺利,在极端情况下,集卡车盘最大倾斜度为 2.98° ,满足自动化设备作业要求,达到外集卡倒车入位及自动化高速轨道吊作业效率高的目标。

3) 挡车坎位置。挡车坎位置的设计要考虑各种车型与各种箱型的组合。在极端情况下,例如后轮距车盘尾端最短车型载运最长集装箱时,确保挡车坎仍能起到安全保护作用,避免箱体碰撞车道后方的摄像头、围网等设备设施。

4) 交互亭位置。交互亭的位置首先要避开堆场机械作业时的钩行路线,其次要避免被集卡碰撞,考虑集卡司机在交互亭内对作业过程监护时视线无障碍、集卡司机开关车门的便利性、亭内

一体机屏幕的反光问题等诸多方面。

5) 集卡倒车区域。集卡倒车区域的设计要充分考虑集卡车头和车盘间的非固定式牵引销连接结构这一特点,车头与车盘夹角反方向运行轨迹,为提高集卡入位效率,集卡倒车区域应给集卡司机留有充足的倒车轨迹调整空间。

4 结语

1) 新建的自动化码头堆场多采用箱区垂直于岸线式。人工码头改造升级后的自动化码头,由于受制于码头原有的基础设施,基本采用箱区平行于岸线式。

2) 堆场规划设计须综合考虑箱区的数量、箱区宽度、箱区长度、堆码高度和箱区间距等影响因素,同时兼顾土地利用、设备投资成本、对吞吐量增长的承载能力等,并通过通过模拟仿真系统进行验证。

参考文献:

- [1] 包起帆,罗文斌.现代集装箱码头的建设与运营技术[M].上海:上海科学技术出版社,2006.
- [2] 杨晓明,宓为建,陶其钧.港自动化集装箱码头设计与仿真[M].上海:上海科学技术出版社,2016.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司.海港总体设计规范: JTS 165—2013[S].北京:人民交通出版社,2013.
- [4] LIANG C J, CAO X Q, DAI K M. Study on yard crane scheduling with time windows of container task group in a container terminal [C]//International Association for Information and Management Sciences (IMS). Proceedings of the Twelfth International Conference on Information and Management Sciences.北京:清华大学,2013.
- [5] MARIUSZ D, MICHAŁ D, MIECZYSLAW S, et al. Simulation studies into quayside transport and storage yard operations in container terminals [J]. Polish maritime research, 2017, 24(S1): 46-52.

(本文编辑 郭雪珍)