



# 自动化集装箱码头堆场策略

付鹏成, 宋海涛, 李强, 周垂剑, 张枫

(青岛新前湾集装箱码头有限责任公司, 山东 青岛 266500)

**摘要:** 研究自动化集装箱码头中堆场管理策略的制定、应用和效果评估。自动化码头新的垂直堆场结构带来堆场使用方式、机械作业模式、交互方式、堆码方式、操作习惯及思维方式的变化, 因此新的堆场管理方式及堆码策略随之孕育而生。通过对作业进行分类, 结合码头内外部情况制定自动化码头堆场策略, 提高堆场空间利用率及作业效率, 降低作业成本, 提升堆场综合能力。

**关键词:** 自动化集装箱码头; 堆场关键指标; 堆场堆码策略

**中图分类号:** U 656.1<sup>+</sup>35

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2019)10-0032-05

## Stacking strategy of automated container terminal

FU Peng-cheng, SONG Hai-tao, LI Qiang, ZHOU Chui-jian, ZHANG Feng

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

**Abstract:** This paper studies the setting, application and effect evaluation of depot management strategy in the automated container terminal. The new vertical stack yard structure brings the changes of the use mode, mechanical operation mode, interaction mode, stacking mode, operation habit and thinking mode brought by the new vertical stacking yard structure of the automatic wharf, and the new stacking yard management mode and stacking strategy are born accordingly. The management strategy of the stack yard of the automated container terminal is made by classifying the operations and combining the internal and external conditions of the terminal, so as to improve the utilization efficiency of the stack yard space and operation, cut down the operation cost, and enhance the comprehensive capacity of the stack yard.

**Keywords:** automated container terminal; key index of stack yard; yard stacking management strategy

集装箱码头在海运物流体系中发挥着重要的作用。作为集装箱码头主要组成部分的集装箱堆场能否被合理、有效地使用, 将集装箱快速放至合理的位置, 对码头的装卸效率、吞吐量及生产成本都具有重要的影响。目前, 关于码头堆场的研究多是关于传统集装箱码头的, 对自动化集装箱码头堆场的研究还在初始阶段。王施恩等<sup>[1]</sup>对国外典型自动化集装箱码头堆场在平面布置、设备选型和功能规划等进行分析的基础上, 提出洋山四期全自动化集装箱码头堆场布局新模式。

伴随着机械作业精度、稳定性以及导航定位

技术的日益完善, 自动化集装箱码头在作业成本、效率、安全方面的优势逐渐体现出来。一个高效、节能、自动、智能的堆场对于自动化集装箱码头作业至关重要。根据自动化集装箱码头布局以及装卸作业特点, 通过对关键指标的分析, 结合特定的堆场策略, 对生产进行跟踪、分析并加以修正和不断优化, 最终达到码头效率、效益目标。

### 1 自动化集装箱堆场关键指标

装卸效率是集装箱码头的核心目标, 集装箱码头堆场管理就是围绕着提高装卸效率<sup>[2]</sup>。主流

**收稿日期:** 2019-02-27

**作者简介:** 付鹏成 (1981—), 男, 助理工程师, 从事码头堆场布局、流程和系统设计及优化工作。

自动化集装箱码头堆场垂直于码头岸线设计。堆场内机械作业模式的改变带来管理目标的相应变化。通过对自动化集装箱码头堆场空间与时间布

局上的统筹分析, 结合作业设备状态实时变化的特点不断优化各项业务指标, 生成一套自动化集装箱码头策略分析体系(图 1)

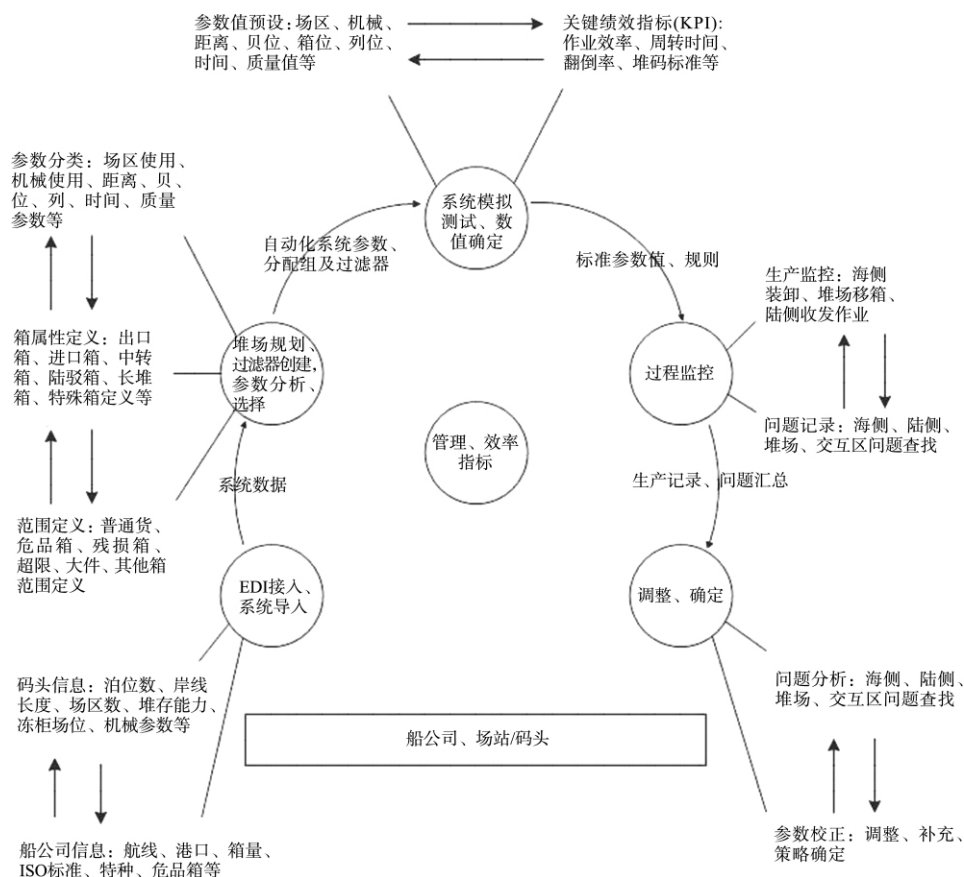


图 1 自动化码头策略分析过程

1) 设备周转时间。当前, 主流的全自动化码头堆场为垂直岸壁设计。主要作业方式由水平运输设备场区内跟随式作业转变为场区海/陆侧端点交互区作业<sup>[3]</sup>。堆场机械作业模式及运行速度的改变, 使影响周转时间的因素发生转变, 集装箱与船或陆侧交互端的距离、堆码方式、集装箱分布等, 都影响设备作业的效率。

2) 设备利用率。自动化码头保证桥吊持续高效的前提是作业区间内的各个自动化堆垛起重机(ASC)都可以连续不断地进行装卸作业, 而堆场间的均衡作业是这一前提的基础。在一个完整的作业过程中, 良好的堆场策略可以保持设备按其设计能力持续进行作业, 不断提高设备的利用率。

3) 堆场利用率。在相同度岸线长度的情况

下, 垂直岸壁比平行岸壁的堆场布局可堆码更多的集装箱, 但集装箱卸船和收箱的随机性以及适应天气等不确定因素影响带来的场区均衡使用要求, 都不同程度地影响自动化码头的堆场利用率, 提高的堆场利用率意味着更多吞吐能力、更多潜力和发展空间。

4) 堆场翻捣率。堆场翻捣率是衡量收箱及配载质量的重要指标。对于码头堆场作业而言, 翻捣是不必要的动作, 付出成本却不带来任何收益, 并且直接影响码头装船及疏运效率。

5) 作业冲突及拥堵时间。人工码头因堆场布局、机械交互方式及交通条件的限制, 进出口场区分开独立布局, 各个时间段内不同场区作业不平衡性十分突出, 机械无法实现合理的使用, 不

仅降低了作业效率而且增加了生产能耗。根据自动化堆场布局及机械的特点,在进出口箱在同场区共存的情况下,通过综合分析、策略制定、模拟仿真、实践应用、优化改进,形成较为完善的堆场策略,实现集装箱在一定范围的堆场内均衡分布,使机械使用更加合理,从而降低堆场内的冲突及拥堵情况。

提升自动化码头堆场的各项指标,意味着更高的效率、更强的灵活性和适应性,以及更好的对外服务能力,可满足码头不同阶段的生产发展需要。

## 2 自动化集装箱堆场策略

自动化堆场策略的制定,目的是为了集装箱能够在码头内部高效流转、提高堆码质量、避免或减少作业冲突,高效地将集装箱送至场内或交互区进行作业;集装箱位置的计算,是为了提高场区末端交互区的效率,箱目位置及作业环境不同,相应的算法也有不同<sup>[4]</sup>。

自动化集装箱码头的堆场策略需要结合码头口岸环境、地域特点、道路运输状况、航线状况、码头布局、作业设备特点等综合因素而制定,需要对集装箱、堆场、设备、位置、距离、翻捣等重要部分进行定义,作为分析及计算的依据,具体因素如下:

1) 场区的属性定义及范围的划分: 对大件箱、特种箱、残损箱、冷藏箱、空箱、重箱、罐式箱的流向及数量分别进行界定。因集装箱作业的动态及不确定性,单位时间内作业的集装箱(特别是出口集装箱)的组合无法准确预知,所以各种集装箱范围需要一定的弹性,为满足不同箱区间需要,可兼容设置。

2) ASC 作业路径优化: 按照码头参数、机械

能力、吞吐量及流向进行定义,建立模型并选择算法,对不同作业类型(装、卸、集、疏等)设置不同阈值,得出 ASC 优先权规则及避让方案,以满足各种情况下生产作业需求。

3) 箱属性及堆码设置: 对集装箱的船名航次、卸货港、箱长、箱高、特殊积载、质量等关键属性进行排列组合,生成特有的唯一属性的字段,结合堆场策略的场区状态、机械状态、距离、位置、时间、质量等相关参数进行平衡,得出集装箱堆码的最优位置。

4) 翻捣策略: 自动化集装箱码头因船舶位置调整、改船改港、提箱、装船、收箱模式、极端天气等情况,可能导致当前堆场堆码状态无法满足未来安全或者生产的需求,需要进行集装箱翻捣移箱作业。翻捣产生的主要原因是堆码质量、堆场利用率及作业效率三者之间的矛盾。通过策略制定,避免或减少矛盾的产生,突破堆场使用的局限性,使得堆场灵活性更高;并在吞吐量(利用率)达到一定值后,仍然保持高效运转。

5) 距离策略: 以是否满足目标效率为判断基础,以均衡使用堆场为条件。设备对堆场的使用维度越广,产生的冲突时间越短,结合成本及效益要求,对作业范围及距离进行限制,达到效率、效益双赢的目的。

6) 防风设置: 因自动化集装箱码头与传统集装箱码头堆场布置方式的不同,防风的侧重点从垂直于码头岸线转变为平行于码头岸线,并结合码头地形、天气及进出口作业的特点,将近海侧区域布置出口重箱,场区中间位置布置出口空箱,临近陆侧箱区布置顺序为: 进口 20 ft (1 ft = 0.305 m)、进口 40 ft, 重箱放置在强风侧,并将空箱包围。单场区堆码及防风布局见图 2。



图 2 单场区堆码及防风布局

7) 用电策略: 自动化堆场的作业模式是海、陆侧按比例接力式作业方式, 有着较强的适应性, 可按不同地区作业习惯及用电成本的差异进行调整, 装卸及集疏运作业可结合码头自身条件向用电平、谷区间靠拢, 即可在满足效率目标的情况下, 最大限度地节能降耗。

### 3 青岛港自动化集装箱码头案例分析

#### 3.1 平面布局及工艺系统配置

青岛港自动化集装箱码头的自动化集装箱作业堆场位于码头前沿线 130 m 后, 堆场采用垂直

岸线形式布置。整个堆场区内共布置有 19 条堆场箱区和 1 条特种箱区, 普通重箱、空箱及冷藏箱均堆放在 19 条自动化箱区内。每条箱区内配置海侧、陆侧 2 台自动化集装箱轨道吊 (ARMG); 特种箱区配置 1 台轨道式集装箱龙门起重机 (RMG)。整个堆场共布置 38 台 ARMG 和 1 台 RMG。为了降低集装箱 AGV 和 ASC 衔接过程中的等待时间、提高生产效率, 码头采用具有起升功能的 L-AGV, 在自动化场区的海侧交换区设有支架, 满足 L-AGV 与 ARMG 间的解耦作业。自动化堆场布局见图 3。

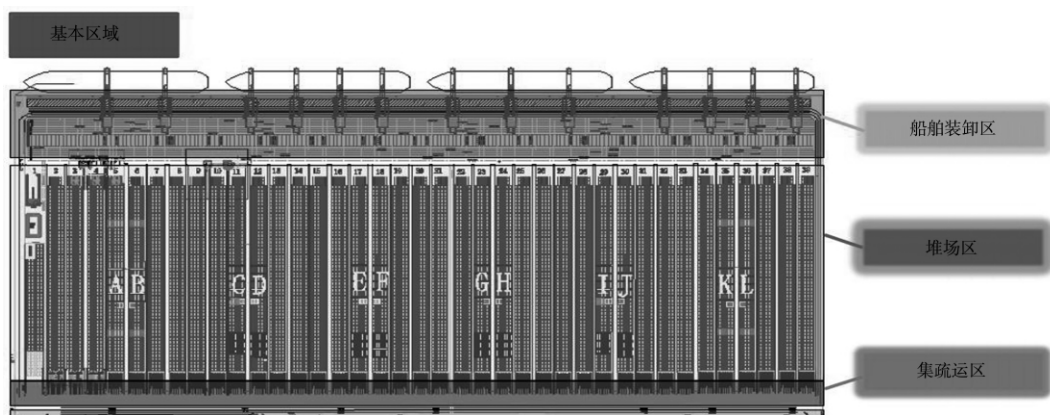


图 3 自动化堆场布局

#### 3.2 堆场策略

1) 堆码策略。基于出口箱堆场箱位分配的近船原则、最小拥塞原则、集中原则和最少翻捣原则, 建立出口箱堆场分配的整数规划模型。在降低装船时水平运输设备走行距离的基础上, 平衡各箱区 ARMG 作业量, 提高码头整体作业效率,

从而完成对出口箱箱位分配的优化<sup>[5]</sup>。

2) 分配策略。集装箱在堆场内的分布是以确定的船舶作业窗口为基础, 以船舶中心点为原点, 以桥吊、AGV、ASC 及场区容量的配比计算的距离为半径  $R$ , 使得单位场区距离船舶中心位置都  $\leq R$ , 如图 4 所示。

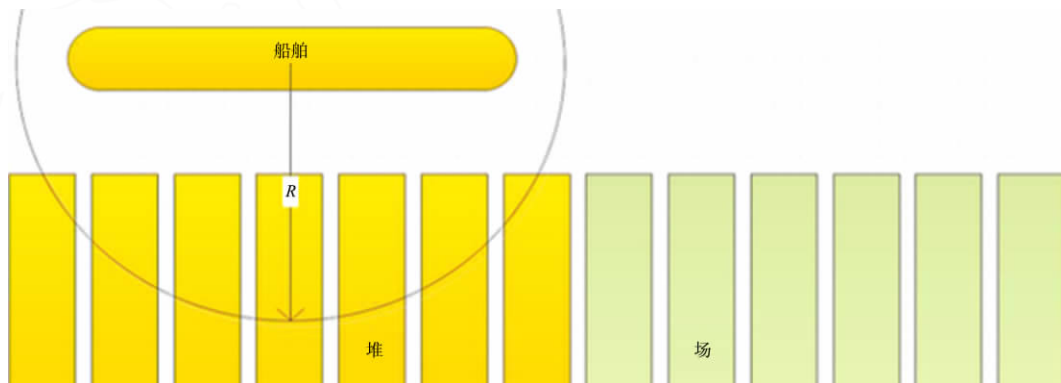


图 4 堆场分布策略

岸桥单作业线配置堆场箱区数应根据设备作业效率确定。若码头岸桥作业效率为  $A$ 、ARMG 作业效率为  $B$ ，则岸桥与 ARMG 的理想配比应为  $B:A$ ，即满足效率  $A$  所要使用堆场箱区的数量。通过对码头靠泊船型进行分析可知，单船平均岸桥作业线数到最大使用作业线数间的偏差取值  $C$ ，则单船所需分配的堆场箱区个数为  $D = CA/B$ ， $D$  值可根据码头实际堆场配置及 AGV 数量配比做出相应的调整，最后确定收箱场区的理想范围。

例：码头岸桥目标效率  $A = 35$  moves/h，ARMG 作业效率  $B = 15$  moves/h，则岸桥与堆场作业设备的配比为 1:2.3，单船桥吊使用数量  $C = 5$ ，因此单船所需分配的堆场箱区个数为  $D = 12$ 。

装卸船作业应以场区间均衡、场区内相对集中为原则。充分利用各场区作业设备资源，规避或降低作业冲突。当船舶泊位发生变化时，现有泊位相对原泊位的位移距离  $E$ ，单位场区距船舶中心距离  $F$ ，为避免单位场区距离船舶中心位置过大影响船舶作业效率和场区间平衡，设置以米为单位的距离系数  $G$  和容忍值  $H$ （根据效率及成本因素设定的阈值）。当  $(R+E-F) - H \leq 0$  时，认为在合理区间，不进行罚分。当  $(R+E-F) - H > 0$  时，使用  $[(R+E-F) - H] \cdot G$  公式动态计算在每个箱区内的罚分，将箱移动至罚分最低的场区。进出口可用相同的方法，取不同值分开计算。

#### 4 结论

1) 根据典型自动化码头堆场特点，整理提出自动化堆场的 5 项关键指标，即设备周转时间、

设备利用率、场地利用率、堆场翻捣率和作业冲突及拥堵时间，对码头数据积累提供参考，为后续自动化堆场研究提供方向。

2) 结合典型的自动化集装箱码头堆场布局，对策略及堆码方法的分析归纳，对自动化场区、机械、集装箱的属性要素进行梳理。

3) 船舶作业半径及堆场作业范围由岸桥、ASC 及 AGV 的作业效率进行确定，得出各个机械的合理配比和场区使用数量，单位时间、距离内提供足够数量的机械作业，可以保证码头高效、节能地运行。

4) 自动化堆场策略突破传统集装箱码头模糊式作业、潮汐式作业的瓶颈，最大限度地合理使用码头资源，降低复杂劳动带来的人为失误风险，为提高自动化集装箱码头综合作业效率、降低码头装卸作业成本提供了很大的帮助。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 顾志华.自动化码头提箱归并策略[J].港口装卸,2019(1):45-49.
- [3] 熊玲燕,杨勇,王晓磊.青岛港前湾港区迪拜环球码头自动化装卸工艺设计[J].港工技术,2018,55(S1):10-13.
- [4] 梁承姬,刘浩,张悦.自动化集装箱码头动态堆场堆存策略研究[J].计算机应用与软件,2018,35(10):1-8.
- [5] 陶莎,胡志华.集装箱堆场出口箱箱位分配的多策略集成优化[J].大连海事大学学报,2012,38(3):59-63.

(本文编辑 郭雪珍)

## 著作权授权声明

全体著作权人同意：论文将提交《水运工程》期刊发表，一经录用，本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。