



# 集装箱自动化码头配载系统应用

周宇涛, 宋海涛, 王吉升, 李海洋

(青岛新前湾集装箱码头有限责任公司, 山东 青岛 266500)

**摘要:** 随着港口自动化技术不断发展,越来越多的自动化码头已经投产运营或者正在规划建设。与传统码头配载相比,自动化码头配载拥有很多优势:它通过运用逻辑算法,设置配载策略和参数,快速进行深度运算,实现一键配载,缩短配载时间,提高配载精度,更好地满足船公司差异化配载要求,同时综合考虑码头堆场和机械设备特点,减少堆场拥堵,提高堆场发箱作业效率,从而提升码头整体作业效率。通过对自动配载系统在青岛港自动化码头实际运用情况和效果进行分析,为全自动化集装箱码头配载及装船作业提供参考。

**关键词:** 自动化集装箱码头; 自动配载; 算法; 策略; 应用

**中图分类号:** U 656.1<sup>+</sup>35

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2019)10-0021-05

## Application of auto-stow system in Qingdao automated container terminal

ZHOU Yu-tao, SONG Hai-tao, WANG Ji-sheng, LI Hai-yang

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

**Abstract:** With the development of terminal automation technology, more and more automated terminals are on the construction all over the world. Compared with the traditional manual stowage mode, the automatic stowage has plenty of advantages. By using logic algorithm, allocation strategy and parameters, it achieves “one key stow”, and also shortens stowage time and improves stowage precision, which satisfies the requirements of shipping company’s differentiated stowage. It gives overall consideration to the characteristics of the stacking yard and mechanical equipment, reduces the congestion of yard, improves the efficiency of terminal’s work, and improves the overall efficiency of terminal operation. This paper mainly studies the application and effects of the automatic stowage system in Qingdao automated container terminal, which may serve as reference for the automated container terminal stowage and loading operation.

**Keywords:** automated container terminal; automatic stowage; algorithm; strategy; application

青岛港自动化码头自2017年5月正式运营至今,共作业外贸集装箱船舶超过1 000艘次,目前运营航线包含马士基、中远海运、达飞轮船、长荣海运、赫伯罗特、海洋网联、以星航运等各大船公司,其中单航次配载最大外贸重箱达4 000自然箱,首次配载到位率达98%以上,桥吊平均单机作业效率达到35 move/h。

### 1 自动化码头整体规划设计需要智能化配载模式

传统集装箱码头因为考虑装船时堆场设备(通常指轮胎式龙门起重机 RTG 或者轨道式龙门起重机 RMG)发箱效率和堆场管理整体效益,在集装箱进入码头时,堆场计划员会采用相对集中的收箱方式,即堆场1个垛位(通常6~12排)或相邻几个垛位堆放某一卸货港口的箱子。船舶计划员

**收稿日期:** 2019-02-27

**作者简介:** 周宇涛(1981—),男,经济师,从事集装箱自动化码头船舶配载、堆场管理和生产作业流程。

在进行船舶配载时,为充分利用堆场设备能力、减少堆场设备的移动,会将该卸货港口 1 个或相邻几个垛位的箱子集中、连续地配载到船上位置。这种堆场收箱和配载方式既能减少堆场设备移动距离和次数、节约码头成本,更重要的是能形成相对独立堆场作业单元,不与其他场区作业产生作业交叉,在装船作业时最大程度地发挥堆场设备的能力和效率(图 1)<sup>[1]</sup>。

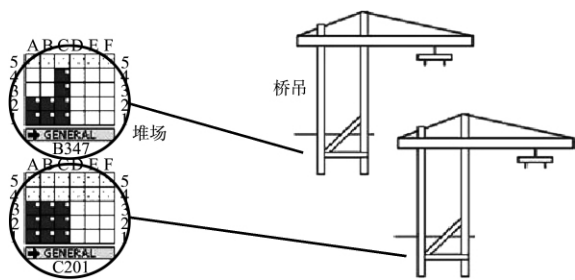


图 1 传统码头装船作业示意

为避免自动化设备、无人作业区域和外集卡车存在交叉作业冲突,目前世界上全自动化集装箱码头堆场布局设计普遍采用垂直于码头岸壁方式,每个堆场各有海陆 2 个作业区域,通常称做海侧交换区和陆侧交换区。每个堆场各有 2 台自动化高速轨道吊设备(ASC),每个堆场只有 1 台 ASC 直接参与装卸船作业,与传统码头装船时内集卡寻找 RTG、RMG 不同,自动化码头 ASC 每次作业都需要移动大车至海侧交换区完成(图 2),因此装船时 1 台 ASC 作业效率会低于 1 台 RTG 或 RMG。

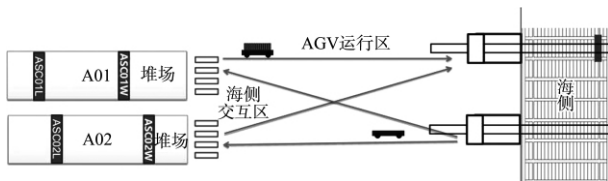


图 2 自动化码头装船作业

在这种模式下,如果仍然采用传统集装箱码头的集中收箱方式,反而会造成装船作业时场区出箱点少、从堆场向码头前沿供货效率低的问题。为此,全自动化集装箱码头改变了传统码头以垛位为单元的收箱模式,采用更精细化的分散式按列堆场收箱模式,即尽可能地将集装箱平均分布在堆场中,以确保更高的作业效率。以 1 条出口 2 000 箱的船舶为例,假设堆场平均层高为 4 层,则按照分散式按列模式收箱,至少要收 500 列,而 500 列集装箱在堆场中分散堆放,人工配载显然已经无法完成由此带来的大数据配载计算,因此,由操作系统进行快速、深度运算的自动化配载便成为解决这一难题的有效方式。

## 2 自动配载系统逻辑算法及配载策略

自动配载系统是一种运用逻辑算法快速进行深度运算的配载系统,它通过设定配载策略和参数,排列和遴选出符合配载要求的箱子,实现自动从堆场选择最优箱子计划到船上合理积载位置,在满足船方配载要求的同时,实现码头作业效率及成本控制的最优平衡<sup>[2-4]</sup>(图 3)。

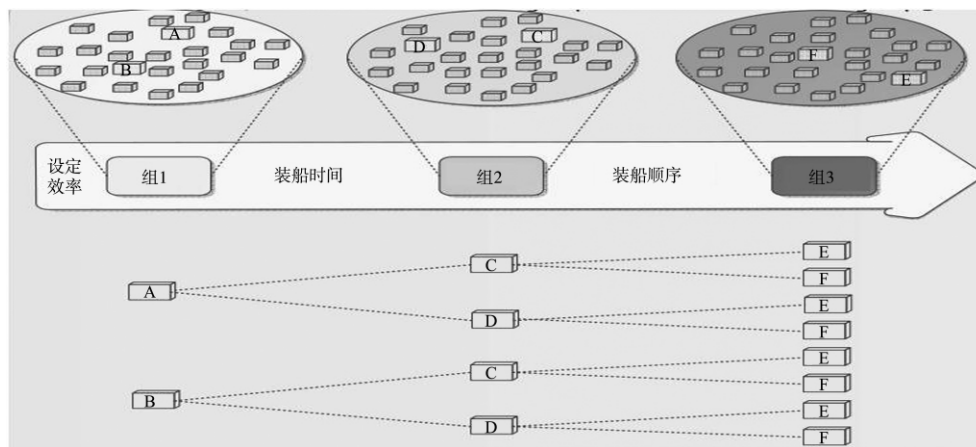


图 3 自动配载逻辑算法

## 2.1 自动配载逻辑算法过程

1) 系统对可以配载到船上各个位置的同一属性集装箱(组 1、组 2、组 3)进行分类;

2) 设定装船作业效率, 通常按照 1 h 装箱数进行设定, 计算出每个箱子的计划作业开始时间;

3) 假定要装作业序号为 1、2、3 位置的 3 个箱子, 设定允许系统搜索的宽度为 2 层, 深度为 3 层; 序号 1 位置对应包含 A、B 箱在内的同一属性椭圆形(组 1), 序号 2 位置对应包含 C、D 箱在内的同一属性椭圆形(组 2), 序号 3 位置对应包含 E、F 箱在内的同一属性椭圆形(组 3);

4) 选择符合位置 1 最优的 A、B 两箱作为候选;

5) 根据位置 2 作业开始时间, 选择符合位置 2 最优的 C、D 两箱作为候选;

6) 根据位置 3 作业开始时间, 选择符合位置 3 最优的 E、F 两箱作为候选, 并形成 1+2+3 位置 8 条链;

7) 通过自动配载策略参数打分反馈, 比较 1+2+3 位置链打分情况, 确定 1 位置选择 A 箱或者 B 箱;

8) 再次通过上述重新循环计算, 选择出位置 2、位置 3 的最优箱。

## 2.2 自动配载主要策略

自动配载策略分为质量策略、堆场取箱策略、翻捣策略等几大类, 策略间既互有联系又彼此制衡, 因此在参数配置和评估打分上要统筹进行考虑。

### 2.2.1 质量策略

船舶积载质量需要符合船方要求, 保证船舶载质量、吃水、稳性、扭矩、加固等参数达到适航标准, 是船舶配载中最重要的策略。自动配载质量要与船方预配质量一致。但是在实际配载过程中, 为了减少集装箱堆场翻捣、场区冲突, 提高作业效率, 码头配载质量与预配质量不可能完全匹配, 会有一定的上下浮动, 因此在设置质量策略各对应参数时应重点加以考虑。

### 2.2.2 堆场取箱策略

在满足船方配载要求后, 设置合理的堆场取箱策略是保证自动化码头作业效率的重要环节。一要保证岸边设备和堆场设备合理配比, 避免场

地集中出箱冲突; 二要减少堆场到岸边设备的运输距离, 减少作业时间。因此在设置堆场取箱策略参数值时应加大罚分值, 控制不合理的堆场取箱。

设定桥吊作业效率为 35 move/h, ASC 海侧峰值作业效率为 17 move/h 时, 综合考虑到海侧 ASC 还须同时协助陆侧 ASC 进行收发箱, 场地接力、整理箱作业, 因此为保证作业效率, 平均 1 台桥需要 3 个堆场进行协同作业。如图 4a) 显示, 一个堆场同一时间对应 4 部岸边设备, 岸边设备和堆场设备配比严重失衡, 作业效率必然降低, 而图 4b) 显示 3 台堆场设备同时供应 1 台岸边设备, 是相对合理的配比关系。

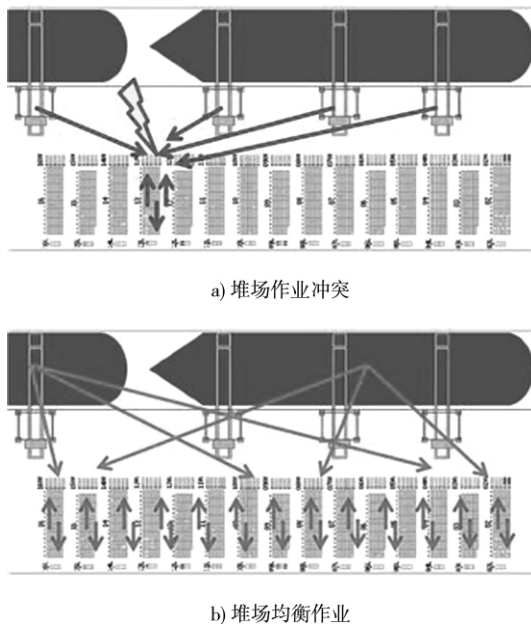


图 4 岸边设备与堆场设备作业配比

堆场出箱点到桥吊作业贝位的距离影响水平载箱运输工具(简称 AGV)的运输时间, AGV 装船平均运行速度为 4 m/s, 每增加 100 m 距离, 会增加 25 s 的运输时间, 以 1 条 300 m 船舶覆盖 600 m 作业堆场范围为例可知: AGV 单程运输最大距离=横向运输距离+纵向运输距离(固定)+拐弯及蟹行距离=600+100+(50~100) > 750 m; 需 3 min 以上时间, 因此越从靠近作业船舶贝位的堆场取箱装船就越会节省作业时间, 提高装船作业效率。

### 2.2.3 翻捣策略

减少堆场翻捣箱是码头降低成本、提高效率的重要因素, 翻捣策略与堆场收箱策略密切关联,

因此堆场收箱策略应在均衡堆场收箱、安排质量等级、进行场地整理等方面与自动配载策略协调一致、优化平衡,共同减少堆场翻捣比例。

#### 2.2.4 双箱策略

因为自动化码头收箱分散性模式,在双 20 ft (1 ft=0.305 m) 集装箱实际装船作业中,时常出现 AGV 分别到 2 个不同堆场取箱装船,作业时间和运输距离会明显高于在同一场区取箱装船,因此在 20 ft 箱较多的船舶作业中,应增加双箱策略参数的罚分值,降低 AGV 到不同场区取箱装船的比例。

#### 2.2.5 评估检查策略

在完成自动配载后,系统会自动生成自动配载评估报告(表 1),显示超过设置罚分值各项内容的数量及累计总罚分,计划员可通过调整参数罚分值,重新进行局部自动配载或者人工微调,以达到配载质量的提高和完善。

表 1 自动配载主要内容评估报告

内容	出现数量	总罚分值
质量不匹配	5	73 655
质量倒置	7	21 000
违反列重	11	10 678
连续相同场地	15	112 682
异场区双 20 ft 箱	35	125 269
场地翻捣	6	36 954
场区冲突	3	8 567
水平运输距离	20	97 638

表 2 堆场发箱效率提升情况

出箱 时间/s	场区冲 突率/%	出口翻 捣率/%	同场地连续 出箱率/%	异场区双 20 ft 箱率/%	同列箱对应 不同桥吊率/%	桥吊装船单机作业 效率/(move·h <sup>-1</sup> )
120	15.0	12.0	5	40.0	20.0	27.13
80	7.0	5.5	2	19.0	9.5	35.22
提升幅度/%	53.3	54.1	60	52.5	52.5	29.80

#### 3.2 降低时间成本

表 3 显示配载箱量越大,人工配载与自动配载时长差距越大,自动配载的优势越明显。以人工配载方式下,船舶计划员平均每小时能够完成配载 500 箱计算,完成 1 条 2 000 箱的集装箱船舶配载需要 4 h 左右,但是自动配载,30 min 就可以全部完成配载工作,并且在系统运算时可以空出时间去做其他工作,工作效率提升 70% 以上,岗

### 3 自动配载的实践运用

#### 3.1 提升堆场发箱效率

场区冲突:设定单场区海侧峰值为 17 箱/h,以每 15 min 为时间单位,单堆场发箱不应多于 4 箱,超过 4 箱即表明 ASC 无法按照计划时间进行发箱,从而影响装船时堆场发箱效率。

出口翻捣:执行出口发箱作业时,应确保其上方无其他集装箱,否则需要将其上方集装箱移除后再进行装船任务,翻捣率过高会降低堆场发箱效率。

同场地连续出箱:同一桥路下,连续作业顺序集装箱从同一堆场发箱,会造成 ASC 集中发箱,桥吊等待 ASC 作业情况,影响装船作业效率。

异场区装双 20 ft 箱:双 20 ft 集装箱从不同堆场出箱装船,增加 AGV 运输距离,影响装船作业效率。

同列箱对应不同桥吊:堆场同一列集装箱对应多台桥吊作业计划,容易造成在作业计划发生变化时,产生场地翻捣,从而影响堆场发箱效率。

表 2 显示堆场发箱效率提升情况。通过对表 2 中影响堆场发箱效率的 5 项主要指标进行分析改善,5 项指标均提升 50% 以上,目前已将堆场平均每箱出箱时间由原先的 120 s 降低至 80 s,桥吊装船平均单机作业效率由 27.13 move/h 提升至 35.22 move/h。

位人员配置减少一半。

表 3 人工与自动配载用时比较

箱量/箱	配载时间/min		节省时间/ min
	人工	自动	
500~1 000	60~120	15	45~105
1 000~1 500	120~180	20	100~160
1 500~2 000	180~240	25	155~215
2 000~2 500	240~300	30	210~270
>2 500	>300	<40	>260

### 3.3 提高配载精度

传统码头对船舶质量及加固等适航、适货配载要求往往不能满足,会造成船公司配载中心或者船舶大副检查码头配载图后要求进行调整而造成码头被动改变作业计划、增加场地翻捣、再次进行确认等额外成本。其原因在于,传统码头无法完全按照配载中心的质量要求进行箱箱匹配。

而自动配载解决了这一传统难题。通过设定质量等级,实现箱箱匹配,将各主要航线首次配载到位率提升 8%,减少了因为 2 次调整所带来的额外成本。表 4 显示在各主要航线的配载到位率上,自动配载比人工配载精度更高。

表 4 主要航线人工配载与自动配载到位率 %

航线	人工配载	自动配载	差值
西北欧	85	95	10
地中海	89	98	9
美西	87	97	10
美东	93	98	5
波斯湾	92	99	7
中南美	88	97	9
非洲	93	99	6
日本	92	98	6
平均	90	98	8

### 4 结论

1) 因为全自动化集装箱码头与传统码头在规划设计及收箱策略上的明显不同,自动配载是全自动集装箱码头船舶配载的必然选择。

2) 自动配载具备实现较大数据运算的能力,能够更合理地完成集装箱从堆场到船上的逻辑计算,从而提高码头作业效率,降低码头作业成本。

3) 自动配载通过合理设定配载策略和参数,能够快速进行深度运算,缩短配载时间,节省人力资源,提高配载精度和配载效果。

### 参考文献:

- [1] 柴佳祺,张亚涛.自动化集装箱码头装船发箱序列决策问题研究[J].起重机械,2017(7):40-48.
- [2] 牛王强,褚建新,张耀周,等.基于数学规划方法的集装箱船舶自动配载研究进展[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015,39(3):519-522+528.
- [3] 宓为建,张晓华,秦翌,等.集装箱码头装船贝内发箱顺序决策[J].中国工程机械学报,2016,14(4):369-374.
- [4] LIPNITSKII A A. Use of genetic algorithms for solution of the rectangle packing problem [J]. Cybernetics and systems analysis, 2002, 38(6): 943-946.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 13 页)

3) 长江南京以下 12.5 m 深水航道工程的建成,使江苏沿江港口将海运功能向内陆延伸近 300 km,成为中上游地区物资运输与对外交流的重要门户。沿江港口必将抓住这一机遇,强化港口的货运枢纽功能,提升水运在长江经济带综合交通立体走廊中的地位和作用。

### 参考文献:

- [1] 司马华伟,翟剑峰.长江江苏段深水航道综合经济效益分析研究[J].中国港口,2011(1):42-43+55.
- [2] 徐元,黄志扬.长江下游南通至南京段深水航道设计通航标准研究[J].水运工程,2014(1):1-9.

- [3] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司.长江南京以下 12.5 米深水航道二期工程初步设计报告[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司,2013.
- [4] 应翰海,车军,谭志国.长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程效益分析[J].水运管理,2017,39(10):27-29+33.
- [5] 中设设计集团股份有限公司,东南大学.长江南京以下 12.5 米深水航道工程效益分析研究[R].南京:中设设计集团股份有限公司,2019.
- [6] 高晓月,王甜,封学军.基于 12.5 m 航道的南京港集装箱江海联运效益分析[J].水运管理,2013,35(11):14-16+24.

(本文编辑 郭雪珍)