



自动化集装箱码头堆场调度规则研究与优化

周宇涛, 陈强, 崔希良, 刘耀徽, 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: 堆场作业效率是体现自动化集装箱码头海侧装卸船能力、陆侧收发箱水平的重要指标。针对自动化集装箱码头堆场作业过程中出现的堆场调度工况不合理、效率较低的问题, 进行堆场调度规则研究。通过对堆场各工况实际作业需求进行分析, 确立堆场海侧、陆侧作业调度原则, 优化不同工况调度顺序, 增加自动化堆场作业重进重出比例, 改善自动化码头堆场调度逻辑, 并对比调度规则优化前后的堆场作业效率。结果表明, 优化后的堆场调度规则可以显著提升自动化码头堆场作业效率和对外服务水平, 提高自动化码头核心竞争力。

关键词: 自动化集装箱码头; 堆场; 调度规则; 效率; 重进重出

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0193-04

Research and optimization of yard scheduling rule for automated container terminal

ZHOU Yutao, CHEN Qiang, CUI Xiliang, LIU Yaohui, ZHANG Feng
(Qingdao New Qianwan Container Terminal Co., Ltd., Qingdao 266500, China)

Abstract: The yard operation efficiency is an important index reflecting the sea-side loading and unloading capacity of automated container terminal and the level of receiving and dispatching containers on the land-side. Aiming at the unreasonable and low efficiency problems of yard scheduling condition that occur during the yard operation of automated container terminal, we carry out the research on yard scheduling rule. By analyzing the actual operational requirements of each working condition in the yard, we establish the scheduling principles for sea-side and land-side operations in the yard, optimize the scheduling sequence for different working conditions, and increase the ratio of re-entry and re-exit of automated yard operations to improve the logic of scheduling in the yard of the automated terminal. Then we compare yard operation efficiencies before and after the optimization of the scheduling rules. The results show that the optimized yard scheduling rules can significantly improve the efficiency of automated terminal yard operation and external service level, and improve the core competitiveness of automated terminals.

Keywords: automated container terminal; yard; scheduling rule; efficiency; re-entry and re-exit

自动化集装箱码头堆场调度综合考虑码头规划布局、作业效率、对外服务、成本能耗等因素, 通过建立调度模型和设定调度规则, 决定堆场作业指令的派发顺序和派发方式。自动化堆场作业存在作业量大、调度逻辑复杂的特点, 且无人化作业过程不易监控和感知, 作业人员通常难以发现堆场调度不合理的问题, 从而导致堆场作业效率长期

停滞不前, 难以提升。因此研究和优化堆场调度规则对自动化、无人化堆场作业至关重要。

随着近年来国内外越来越多的自动化码头陆续建成和运营, 堆场作业效率瓶颈愈发成为制约自动化码头进一步发展的关键因素。国内外学者对自动化码头堆场优化进行大量研究和仿真, 如丁一等^[1]建立以最小化集装箱搬运总延误时间为

收稿日期: 2023-09-24

作者简介: 周宇涛 (1981—), 男, 高级经济师, 研究方向为自动化集装箱码头工艺流程优化、生产效率提升、生产组织标准化。

目标的约束规划模型, 设置 3 种任务调度规则, 在港口作业实时性的要求下求解出满足作业要求的调度次序; 林燕等^[2]对自动化集装箱堆场作业单装/卸和装卸混合模式调度问题进行探索研究, 通过启发式算法优化调度问题求解; 唐国磊等^[3]、Han 等^[4]对双场桥协同调度优化研究, 通过建立仿真模型提出最优接力区设置; 黄子钊等^[5]提出一种基于强化学习的超启发式算法得到箱位分配方案, 优化出口箱箱位分配; 郭大伟等^[6]提出影响自动化码头外集卡周转时间 10 项因素, 降低外集卡周转时间; 顾志华^[7]提出进口提箱归并调度策略, 提升陆侧作业效率。本文基于青岛港自动化码头整体规划布局设计^[8], 针对自动化码头堆场普遍存在的调度模式单一和机械化、调度规则不合理、具体工况作业顺序不合理等堆场调度问题, 从码头生产运营实际出发, 研究和分析堆场

作业各工况实际需求, 优化堆场调度规则, 为提升自动化码头作业效率和对外服务的管理决策提供依据。

1 自动化堆场及堆场海陆侧交互区布局

青岛港自动化码头堆场布局采用垂直于码头岸线模式, 作业区主要分为岸边装卸区、自动导引车(automated guided vehicle, AGV)运输区、堆场装卸区、外集卡行驶区, 布局见图 1。堆场装卸区每条堆场各有 2 台自动化高速轨道吊 (automated stacking crane, ASC), 分别负责堆场海侧装卸船作业和堆场陆侧收发箱作业。堆场海侧交互区有 5 条 AGV 作业车道, 其中 3 条车道有支架交互位, 其余作业点为轨道吊与 AGV 直接交互作业位, 见图 2a); 堆场陆侧交互区有 5 条外集卡作业车道, 见图 2b)。

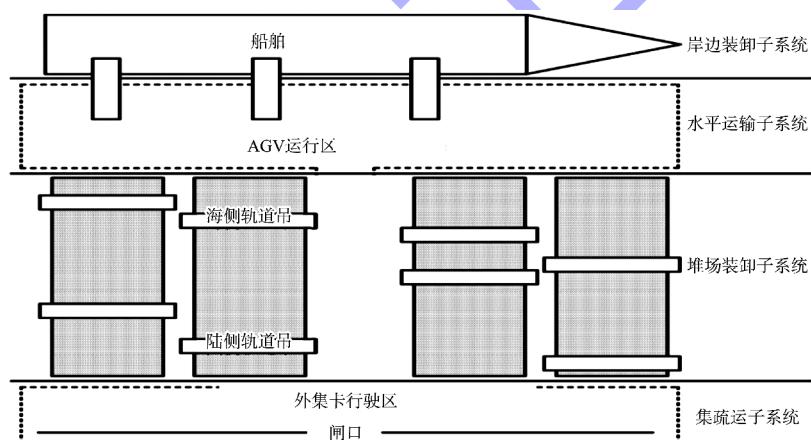


图 1 自动化集装箱码头作业区布局

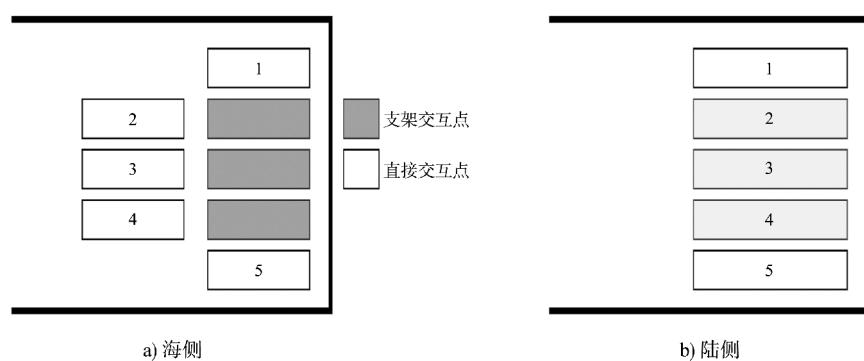


图 2 自动化码头交互区作业位布局

2 自动化堆场海侧调度规则

2.1 卸船堆场调度规则

青岛港自动化码头海侧交互区卸船作业分为直接交互和支架交互, 堆场调度规则遵循2个原则: 1) 尽快释放AGV的原则, AGV继续投入作业; 2) 尽快释放支架的原则, 空出支架位置继续卸船。遵循上述2个原则, 当海侧交互区5个直接交互位和3个支架交互位分别有双小箱和单箱卸船时, 作业顺序见图3。

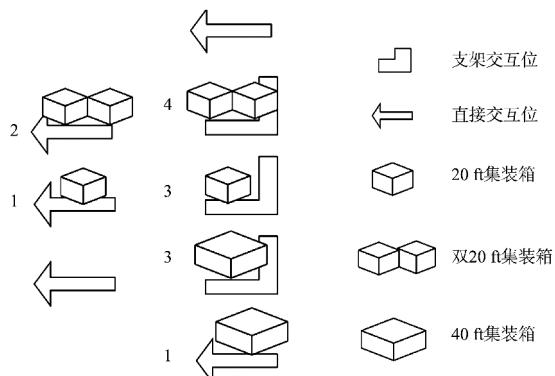


图3 卸船堆场调度规则

2.2 装船堆场调度规则

装船堆场调度规则遵循效率优先原则, 作业顺序按照装船箱桥吊预计装船时间先后排序。但是在实际作业中, 存在同一堆场对多台岸桥集中发装船箱情况, 如严格遵循该作业顺序, 往往会出现某台岸桥特别需要的装船箱不能第一时间从堆场发出, 从而影响船舶作业进度或者单线作业进度。比如影响船舶开船的最后几个箱, 影响船舶关舱、换贝的最后一箱, 影响上层箱装船的打底箱等工况。

因此在装船堆场调度规则中引入“关键装船箱”概念, 即不作业该装船箱, 船舶作业就会停止(如完船、关舱、换贝、打底箱等关键作业环节)。优先调度“关键装船箱”, 可以实现装船作业重点箱在堆场作业顺序中优先派发, 避免岸桥等待。

2.3 装卸船堆场调度规则

装卸船堆场调度规则分为非重进重出和重进重出两种模式。非重进重出模式遵循装船箱优先原则, 仍然将“关键装船箱”作为最先顺序选择; 其次选择既满足装船箱优先原则, 又能尽快释放AGV原则的直接交互装船工况; 再次考虑支架交互装船箱与直接交互卸船工况; 支架交互卸船工况排在最后。

装卸船重进重出是采用装船→卸船→装船→卸船循环或卸船→装船→卸船→装船循环的堆场调度规则。通过增加海侧轨道吊重载率, 提高堆场作业效率, 降低设备能耗。以图4为例, 说明装卸船重进重出模式堆场调度规则: 1) 关键装船箱不参与重进重出作业, 优先满足船舶作业效率要求; 2) 完成关键装船箱作业, 若后续指令符合重进重出规则, 进行卸船在先的重进重出作业, 若不符合重进重出作业规则, 执行非重进重出作业规则; 3) 非关键装船箱符合重进重出规则, 若此时轨道吊大车位置靠近装船箱, 进行装船在先的重进重出作业; 4) 非关键装船箱符合重进重出规则, 若此时轨道吊大车位置靠近卸船箱, 进行卸船在先的重进重出作业。

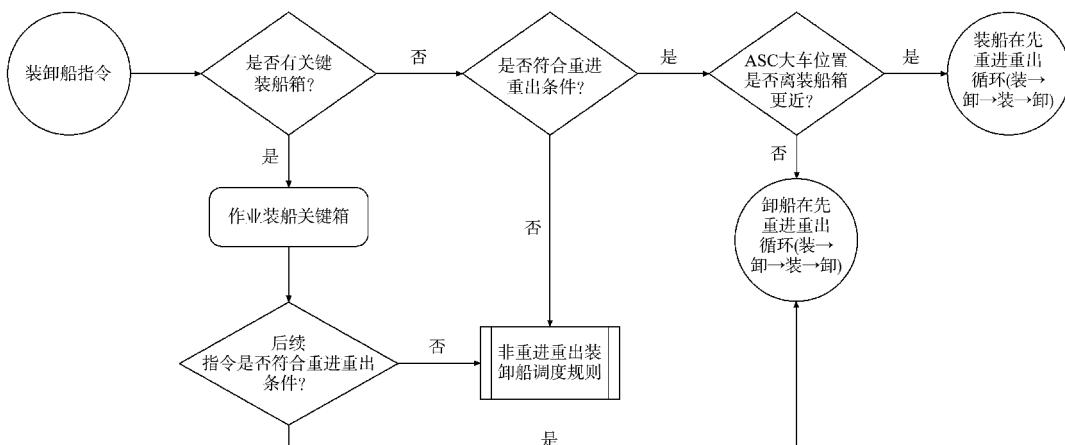


图4 装卸船重进重出循环流程

3 自动化堆场陆侧调度规则

收发箱堆场调度规则也分为非重进重出和重进重出两种模式。非重进重出模式遵循先到先干原则，即先到达陆侧交互区的外集卡先进行作业。

收发箱重进重出模式类似于装卸船重进重出，采用收箱→发箱→收箱→发箱循环或发箱→收箱→发箱→收箱循环的堆场调度规则。以图 5 为例，说明收发箱重进重出模式堆场调度规则：1) 假设陆侧交互区 5 条车道都有收发箱作业， D 为发箱， R 为收箱， $1 \sim 5$ 代表外集卡到达的先后顺序， D_1 为第 1 辆到达陆侧交互区的发箱车辆， R_2 为第 2 辆到达的收箱车辆，以此类推， D'_1 为 D_1 在堆场堆存的位置；2) $ASC_1 \sim ASC_3$ 为轨道吊接收到当前作业任务时大车所处不同位置，即 ASC_1 所处位置在陆侧交互区， ASC_2 所处位置靠近陆侧交互区， ASC_3 所处位置靠近 D'_1 ；3) 考虑轨道吊作业第 1 箱时大车当前位置， ASC_1 、 ASC_2 都是先作业收箱，作业顺序依次为 R_2 、 D_1 、 R_4 、 D_3 、 R_5 ；而 ASC_3 先

作业发箱，作业顺序依次为 D_1 、 R_2 、 D_3 、 R_4 、 R_5 。

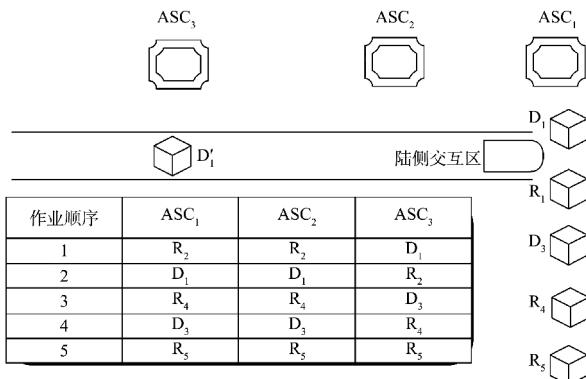


图 5 收发箱重进重出循环

4 自动化堆场调度规则汇总

自动化集装箱码头堆场作业主要围绕海侧装卸船、陆侧收发箱核心工况进行。在此过程中也会产生堆场内移箱、场地整理归并等辅助性作业工况。遵循核心工况优先原则，定义堆场调度规则为核心工况优于辅助作业工况。综上，汇总自动化堆场调度规则见表 1。

表 1 自动化堆场调度规则

堆场调度类型	调度工况	调度原则	优先级
堆场海侧调度	卸船	尽快释放 AGV 和支架	直接交互单箱作业>直接交互双小箱作业>支架交互单箱作业>支架交互双小箱作业
	装船	效率优先	关键装船箱>桥吊预计装船作业时间顺序
	装卸船非重进重出	装船箱优先	关键装船箱>直接交互作业装船箱>支架交互作业装船或直接交互卸船箱>支架交互卸船箱
堆场陆侧调度	装卸船重进重出	整体效率和成本	装船→卸船→装船→卸船或卸船→装船→卸船→装船
	收发箱非重进重出	先到先干	外集卡到达陆侧交互区时间顺序
辅助作业调度	收发箱重进重出	整体效率和成本	收箱→发箱→收箱→发箱或发箱→收箱→发箱→收箱
	堆场移箱、整理归并	核心工况优先	辅助作业调度<堆场海、陆侧调度

5 自动化堆场作业效率比较

通过优化堆场调度规则并增加重进重出调度模式，对堆场作业效率进行对比，见图 6。可以看出，海侧、陆侧堆场效率均有较大幅度提升。16~21 周的优化前堆场效率，单周海侧平均作业时间为 3.81 min，陆侧平均作业时间为 4.88 min；22~27 周的优化后堆场效率，单周海侧平均作业时间为 3.27 min，较优化前提升 14.2%，陆侧平均作业时间为 4.31 min，较优化前提升 11.7%。

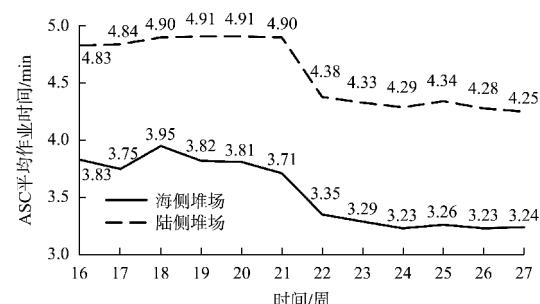


图 6 堆场作业效率对比

(下转第 210 页)