



钦州港全自动化集装箱码头 装卸工艺系统仿真

彭骏骏，麦宇雄，梁 浩

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司，广东 广州 510290)

摘要：为验证钦州港全自动化集装箱码头装卸工艺系统设计的合理性，仿真分析码头整个生产作业状态、设备配置、交通组织，并针对自动化水平运输设备及充电设施配置问题进行敏感性研究。结果表明：码头装卸工艺系统设计和布置基本合理，通过适当增加水平运输设备的方式可进一步提高码头装卸船效率。仿真分析与结论可为码头建设和后续运营提供一定的参考依据。

关键词：全自动化集装箱码头；装卸工艺；仿真

中图分类号：U 656+35

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)10-0181-04

Sytem simulation of fully automated container terminal handing process in the Qinzhous Port

PENG Jun-jun, MAI Yu-xiong, LIANG Hao

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: To verify the rationality of the design of the Qinzhous Port's fully automated container terminal handling process system, we simulate and analyze the whole production status, equipment configuration and traffic organization of the terminal, and conduct sensitivity studies on the configuration of automated horizontal transportation equipment and charging facilities. The results show that the design and layout of the terminal handing process system are basically reasonable, and the handing efficiency of the container terminal can be further improved by appropriately adding horizontal transportation equipment. The simulation analysis and conclusion can provide some reference for the terminal construction and subsequent operation.

Keywords: fully automated container terminal; handing process; simulation

自动化集装箱码头是一个复杂的离散事件动态系统，存在各种不确定因素^[1]。对于自动化码头装卸系统的研究，目前主流的方法是利用计算机仿真技术建立系统模拟模型，通过仿真实验研究码头通过能力、设备配置、交通组织等问题，确保码头装卸工艺系统的合理性^[2]。

钦州港全自动化集装箱码头采用全新的自动化装卸工艺系统及布局模式，该工程相关设计和运营少有案例参考，笔者利用仿真的手段研究钦

州港全自动化集装箱码头装卸工艺系统，确保工程建设的科学性和合理性，并为码头决策提供依据和指导，进一步降低码头后期运营风险。

1 装卸工艺系统布置

钦州港全自动化集装箱码头建设4个泊位，工程岸线总长1301.5 m，码头计划设计吞吐量260万TEU。堆场垂直于码头岸线，堆箱区域总长约563 m，港区范围内共布置21条堆场，采用

重、空箱混堆模式，地面箱位约 1.738 万 TEU。

码头前沿采用自动化双小车岸桥作业，其中岸桥轨内布置舱盖板堆放区和特殊箱作业通道，岸桥陆侧轨后布置自动化水平运输装卸作业通道；集装箱堆场采用自动化双悬臂集装箱轨道龙

门吊(ARMG)作业，近期每条箱区配置 2 台双悬臂 ARMG，港内集装箱水平运输采用智能导引车(IGV)，港外集卡和 IGV 分别在 ARMG 悬臂两侧进行装卸作业。港区主要装卸设备配置见表 1。

表 1 港区主要装卸设备配置

名称	规格	数量/台
自动化双小车岸桥	轨距 35 m, 外伸距 65 m/70 m, 吊具下额定起吊质量 65 t	12
ARMG	双悬臂, 轨距 37 m, 堆 6 过 7, 有效外伸距 4.5 m, 吊具下起吊质量 41 t	42
IGV	载 1×40'/45' 和 2×20' 箱	72

该自动化装卸工艺系统及布置典型特征为：港外集卡在堆场内的装卸运输车道呈 U 形布置，外集卡在 ARMG 一侧悬臂装卸完成后绕至 ARMG 轨内的车道掉头出堆场(图 1)，港外集卡和港内自动化水平运输设备交通组织物理分离、互不干涉。

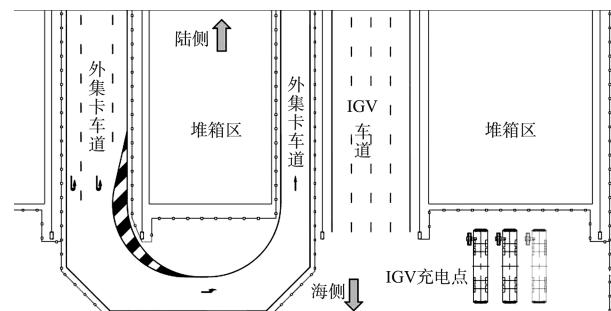


图 1 U 形全自动集装箱码头装卸工艺特征

2 仿真模型构建

根据钦州港全自动化集装箱码头相关设计图纸、装卸工艺流程、道路交通组织、装卸工艺设备等基础设计资料^[3-4]，利用 FlexTerm 仿真软件^[5]建立码头仿真模型(图 2)，模拟码头装卸生产的整个过程。



图 2 钦州港自动化集装箱码头仿真模型

根据钦州港大榄坪港区集装箱的营运特点，并结合周边工程的调研情况，本仿真模型主要输

入数据及逻辑假设如下：

- 1) 到港集装箱标箱折算系数为 1.3 TEU/自然箱。
- 2) 集装箱集疏运流向占比：陆路集疏运 60%、水水中转 30%、铁路集疏运占 10%。
- 3) 到港各类集装箱占比：重箱 68%、空箱 30%、冷藏箱 2%。
- 4) 集装箱在港堆存时间：重箱 7 d、空箱 12 d、冷藏箱 4 d。
- 5) 外集卡进出港装卸数据：进港峰值系数 1.44，平均进港送/提箱数为 1.3 自然箱，又提又送箱的外集卡占比约 25%。
- 6) IGV 充电策略假设：IGV 工作电量区间 20%~90%，该区间内总续航时间为 3 h。当电量剩余 20%~30% 时，IGV 应完成当前作业立刻安排充电；当电量剩余 30%~60% 时，IGV 可根据作业计划灵活安排时间充电；剩余电量为 60%~90% 时，可无作业任务时充电。IGV 电量由 30% 充至 90% 需要 30 min。

- 7) 到港装卸船型假设：到港船舶靠泊装卸优先级外贸班轮 > 内贸班轮 > 驳船，内贸和外贸装卸箱量各占比约 50%。

3 仿真结果分析

3.1 码头前沿作业状态仿真分析

根据仿真模型运行结果，在设计配置的装卸设备条件下，码头可完成 260 万 TEU 的年作业任务量，其中岸桥可取得的平均作业效率为 36.2 TEU/h，泊位占用率约 59% (小于 60%)，岸桥平均工作时

长约为 4 852 h(利用率小于 70%), 码头泊位和岸桥能力均有一定富余。

模拟时间段(8 760 h)内, 码头前沿全部 12 台岸桥同时使用率约占 20.8% (图 3), 全部 12 台岸桥同时使用率相对过高。建议码头合理安排岸桥维修保养计划, 尽量保证作业过程中所有岸桥均处于良好的工作状态。

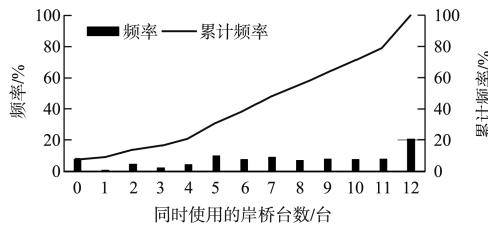


图 3 码头前沿岸桥同时使用率

在既定的船舶靠泊策略条件下(优先级外贸班轮>内贸班轮>驳船), 各类型船舶等待靠泊装卸的时间见表 2, 驳船等待时间明显高于其他类型船舶, 且驳船等待超过 8 h 的船舶占总到港驳船数的 18.7%。

表 2 各类型船舶靠泊装卸等待时长

船型	船舶等待时间/h	等待超过 8 h 的船舶占比/%
驳船	5.1	18.7
内贸班轮	3.3	5.7
外贸班轮	2.9	4.3

3.2 堆场作业状态仿真分析

根据仿真模型运行结果, 堆场平均占用率约为 64.3%, 完成 260 万 TEU 年任务量条件下, 堆场内 ARMG 的年平均工作时长约为 5 135 h(年设备利用率约 58%), 所布置的堆场能力有一定富余, 但堆场内轨道吊的利用率相对稍高。ARMG 平均作业效率约为 17.3 move/h, 见表 3, 作业过程中平均每小时运行距离约为 1 426 m。

表 3 ARMG 装卸效率及大车运行距离

箱型	平均装卸效率/ (move·h ⁻¹)	单个装卸循环 大车运行距离/ (m·move ⁻¹)
IGV 卸箱	5.3	101
IGV 提箱	5.4	86
外集卡卸箱	2.6	89
外集卡提箱	2.6	75
翻倒箱	1.4	-
合计	17.3	-

3.3 港区交通量仿真分析

港外集卡主要通过港区横二路(图 4)进出集装箱堆场进行送、提箱作业, 经仿真模型模拟统计, 外集卡进出港区最大交通量集中在与进港和出港闸口衔接的路段 1 和路段 2, 其中路段 1 最大交通量约为 192 辆/h、路段 2 最大交通量约为 217 辆/h, 道路通行状况良好。

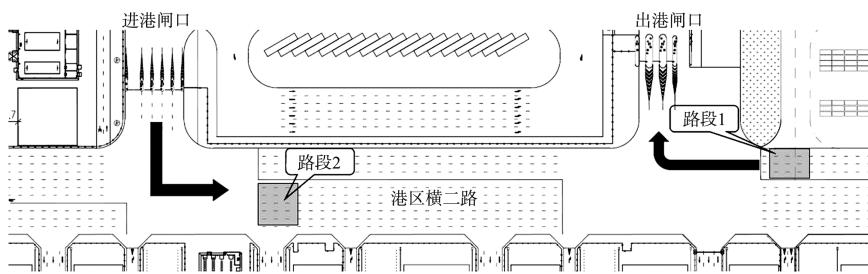


图 4 外集卡车道

根据相关研究成果, 港区单条道路的最大通行能力约为 720 辆/h^[6], 路段 1 为 4 车道、路段 2 实际可用为 5 车道, 考虑车道修正系数(4、5 车道的车道数修正系数分别为 3.2 和 3.7), 从表 4 可知, 港区外集卡车道道路服务水平为一级(道路饱和度小于 0.4 则为一级)。

表 4 重点路段交通量及道路饱和度指标

路段	最大交通量/ (辆·h ⁻¹)	路段最大通行 能力/(辆·h ⁻¹)	道路饱和度
路段 1	192	$720 \times 3.2 = 2\ 304$	0.08
路段 2	217	$720 \times 3.7 = 2\ 664$	0.08

3.4 基于 IGV 配置数量的敏感性仿真分析

集装箱自动化水平运输设备 IGV 是衔接堆场

和码头前沿的纽带，其配置数量决定着码头的装卸效率，基于 IGV 配置数量的不同，对仿真模型进行敏感性分析。

1) 岸桥平均装卸效率随着 IGV 配置数量的增加而逐渐提高(图 5)，增加一定的 IGV 数量能够减少岸桥装卸船过程中等水平运输设备的时间，从而提高岸桥作业效率。

2) IGV 数量增加，ARMG 平均装卸效率也有所增加，但增加得不明显，说明堆场配置的 ARMG 能力发挥得接近饱和。

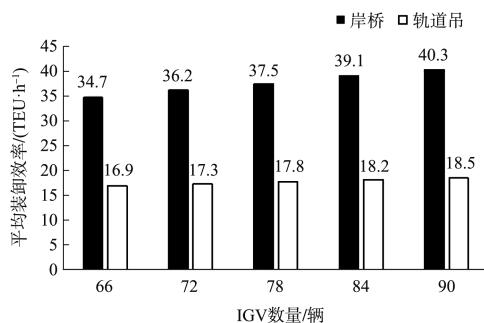


图 5 岸桥/ARMG 装卸效率与 IGV 配置数量之间的关系

3) IGV 运输单个集装箱的平均运距为 920~930 m，随着 IGV 配置数量的增加，IGV 平均运行速度呈下降趋势(图 6)，说明随着 IGV 的增多，IGV 之间相互减速避让的情况增多，但 IGV 速度整体降低不明显。

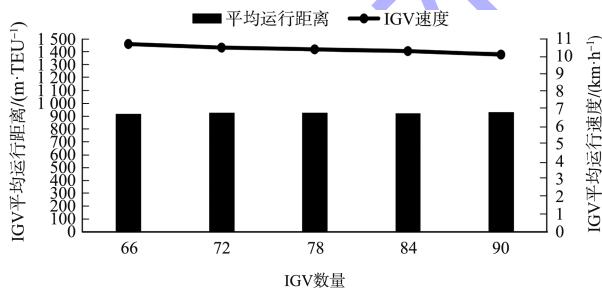


图 6 IGV 运行距离/速度与 IGV 配置数量之间的关系

3.5 基于 IGV 充电桩配置数量的敏感性仿真分析

IGV 充电桩数量若配置得不够，容易导致 IGV 等待充电时间延长，进而影响码头前沿岸桥和堆场 ARMG 的作业效率。港区目前设计配备 16 台 IGV 充电桩，考虑远期 IGV 有可能增配至 84 台的基准条件下，针对充电桩的配置数量进行敏感性分析，见图 7。当 IGV 充电桩数量降低至 8 台时，对岸桥和轨道吊装卸效率有一定影响；当充电桩数量大于或等于 12 台时，岸桥和轨道吊装卸效率

基本无变化。说明港区目前配置的 16 台充电桩可满足 IGV 作业过程中的充电需求。

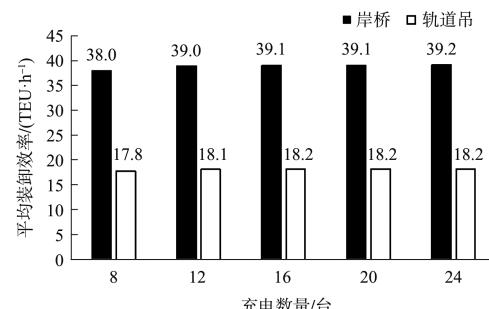


图 7 岸桥/ARMG 装卸效率与 IGV 充电桩配置数量之间的关系

4 结语

1) 仿真分析表明，港区装卸工艺系统及道路交通设计基本合理，可满足码头设计吞吐量 260 万 TEU 的装卸需求。

2) 集装箱堆场堆存能力有一定富余，但目前配置的 ARMG 能力趋于饱和，远期随着吞吐量的增加可考虑适当增加一定的 ARMG 设备。

3) 道路最大交通量集中在港区横二路与进出港闸口的衔接路段，港区交通较为顺畅，且道路整体通行能力有一定富余。

4) 适当增加码头 IGV 数量可进一步提高码头前沿装卸效率和通过能力。

5) 港区 IGV 充电桩配置较为充裕，可满足 IGV 作业过程中的充电需求。

参考文献：

- [1] 丁一, 李甜甜. 自动化集装箱码头 U 型工艺仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(12): 2944-2951.
- [2] 余政, 唐勤华. 基于 eM-Plant 的某集装箱码头工艺系统仿真评估[J]. 水运工程, 2020(5): 177-181.
- [3] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 钦州港大榄坪港区大榄坪南作业区 7#、8#泊位集装箱自动化改造工程初步设计[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2019.
- [4] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 钦州港大榄坪港区大榄坪南作业区 9 号、10 号泊位工程初步设计[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2020.
- [5] 陈天沛, 刘庆辉, 彭骏骏. 基于 Flex Term 软件的集装箱码头仿真试验[J]. 水运工程, 2019(9): 176-180, 226.
- [6] 秦天保. 集装箱码头堆场的道路规划仿真研究[J]. 计算机工程, 2011, 37(2): 13-15, 19. (本文编辑 武亚庆)