



集装箱码头先进作业工艺系统仿真与对比*

周鹏飞, 杨 云

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

摘要: 作业工艺是集装箱码头规划设计的重要内容之一。针对自动化集装箱码头, 分析基于 AGV/ALV 的码头作业系统和立体轨道式码头作业系统及其平面布局, 并利用模拟仿真分析其作业效率和设备利用率等性能参数; 分析高架桥式码头装卸工艺概念系统; 从作业效率和成本等方面对几种自动化码头工艺进行对比分析。研究成果可为集装箱码头作业工艺设计和优选提供参考。

关键词: 集装箱码头; 自动化; ALV; AGV; 立体轨道; 高架桥

中图分类号: U 656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0071-05

Simulation and comparison of advanced operation system in container terminal

ZHOU Peng-fei, YANG Yun

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The operation process is one of the important contents of container terminal's planning and design. According to the development of advanced container terminal operation system, we discuss the AGV /ALV automation of the container terminal handling system, the spacing rail automatic container terminal system and the layout. We analyze the handling operation performance, including the operation efficiency and the equipment utilization by simulation, discuss a new-type handling systems of automated container terminal, i. e. the viaduct type, and make a comparison of these advanced container terminal operation systems. The research result may serve as reference for the container terminal operation process design and optimization.

Keywords: container terminal; automation; AGV; ALV; spacing rail; viaduct type

作为集装箱码头规划设计的重要内容, 作业工艺直接影响码头作业性能和成本水平。基于集运中转效率、成本和安全要求的发展需要, 作业工艺自动化已成为集装箱码头的发展方向。针对作业工艺自动化的研究主要有: Henry 等^[1]利用多层遗传算法对自动集装箱码头机械设备配比进行优化研究; Seyed 等^[2]以装卸箱时间为目标, 建立了混合整数规划模型, 优化自动集装箱码头的岸桥和 AGV 的协调调度; Hyo Young Bae 等^[3]对 AGV 和 ALV 两种自动装卸设备进行了对比分析;

梁燕等^[4]基于启发式调度规则建立了自动化码头的三维仿真模型; 潘成贤等^[5]基于面向对象随机 Petri 网建模方法, 仿真分析了立体轨道式码头传送系统; 郑见粹等^[6]对自动化集装箱码头装卸工艺系统进行了定性的比较研究。

基于 AGV (自动导引车) 或者 ALV (自动跨运车) 的码头作业系统是重要的自动化码头形式, 在鹿特丹等集装箱码头已得到应用。立体轨道式集装箱码头系统是一类较新的工艺系统, 目前其应用和系统性的研究还未见报道。本文较系统地

收稿日期: 2014-12-01

*基金项目: 国家自然科学基金 (71101014; 71211140349)

作者简介: 周鹏飞 (1977—), 男, 博士, 副教授, 从事港口系统规划与物流运作优化研究。

分析了基于 AGV/ALV 的码头系统、立体轨道式码头系统和高架式码头系统，利用模拟仿真分析其作业效率和成本等性能参数，并进行对比分析，为集装箱码头作业工艺优选提供参考。

1 基于 AGV/ALV 的集装箱码头作业系统

1.1 AGV/ALV 设备与平面布局

自动导引车 AGV (automated guided vehicle) 和自动跨运车 ALV (automated lifting vehicle) 是集装箱码头重要的水平运输设备^[6]。AGV 具有无人驾驶、自动导航、定位精确、路径优化以及安全避障等智能化功能，是目前世界上自动化码头采用最多的形式。但 AGV 方案初期设备投资大、操作管理要求高，不能自行取箱，易增加起吊设备等待时间。而 ALV 可自行从地面取箱，能解决起吊和水平运输作业的耦合问题，大大减少岸桥等待时间，提高装卸效率。另外，ALV 在速度、灵活性上也优于 AGV，受码头平面布局影响较小。

基于 AGV/ALV 的自动化码头平面布局主要有垂直和水平 2 种形式 (图 1)。1) 堆场垂直布局形式：堆场与岸线垂直布置，基本形式如图 1a) 所示。AGV/ALV 在堆场靠近海侧作业，不进入堆场，堆场内的箱作业主要靠场内起吊设备来完成。AGV/ALV 行驶路径短、作业循环时间短，水平运输效率高。德国汉堡港 CTA (container terminal of Altenwerder) 自动集装箱码头采用“双小车岸桥 + AGV + ARMG”工艺的堆场垂直布局形式。堆场起重机为双轨式，堆场区段 AGV 和 ARMG (自动化场桥) 均为无人操作。2) 堆场水平布局形式：堆场与岸线平行布置，其基本形式如图 1b) 所示。AGV/ALV 需行驶到场内，行车路线较长，但场桥搬运箱距离短，场桥负担小。日本 Tobishima 集装箱码头采用“双小车岸桥 + AGV + ARTG”工艺的堆场布局形式，AGV/ALV 在闭环路线上循环作业，场桥移动频度较小。目前我国码头布局大多采用堆场平行于岸线形式。随着集装箱码头自动化的发展，堆场垂直布局形式也在被越来越多的码头所采用。

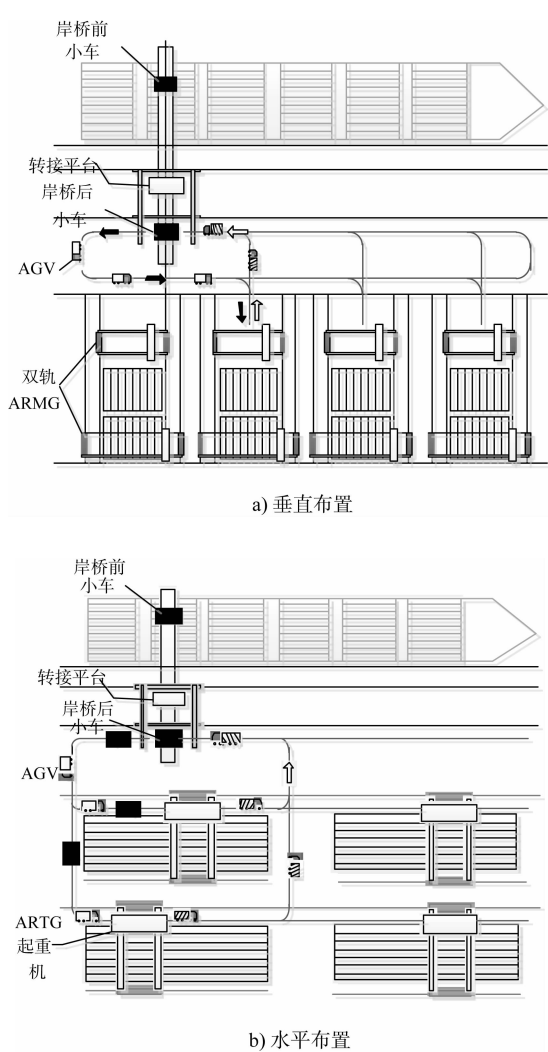


图 1 堆场布置形式

1.2 基于 AGV/ALV 的码头作业性能仿真分析

通过对基于 AGV 和 ALV 的自动化码头作业模拟仿真，对比分析系统性能。主要分析指标为设备利用率和船舶装卸时间。分析基于 AGV 和 ALV 的自动化码头作业流程，在此基础上构建仿真模型。图 2 给出了 AGV 和 ALV 的卸船作业流程。

考虑 AGV/ALV 作业特点，基于以下假设进行仿真建模：1) 以单船为研究对象，不区分箱型 (轻箱或重箱)；2) 堆场起吊设备充足，不考虑 AGV/ALV 在堆场等待时间。不考虑堆场倒箱、翻箱作业；3) AGV/ALV 行驶路径为单循环模式 (沿逆时针方向)；4) 不考虑设备故障和异常；5) AGV/ALV 可同时载运 2 TEU。设定 AGV 满载速度 4 m/s，空载速度 5.5 m/s，加速度 0.5 m/s²；

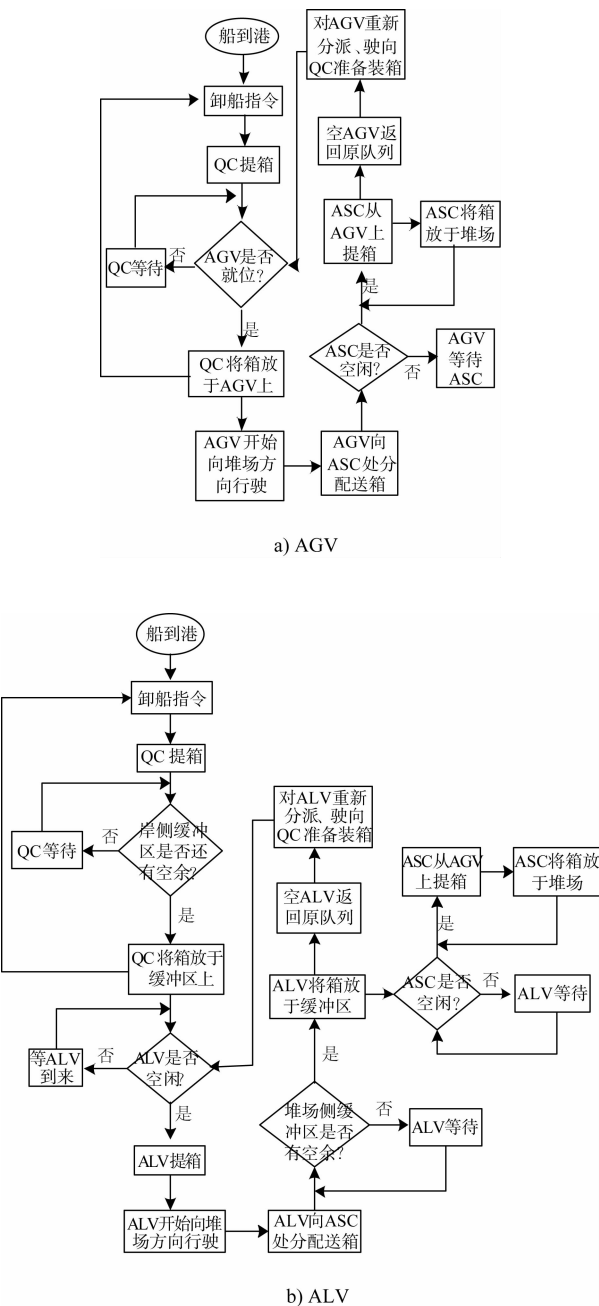


图 2 装卸系统卸船流程

ALV 满载速度 6 m/s, 空载速度 7 m/s, 加速度 0.5 m/s²。仿真实验中行车环形区域为 400 m (200 m, 岸桥装卸箱时间和 GV/ALV 堆取箱时间为均匀分布, 其区间分别为(30 ~ 100 s)和(17.9 ~ 22.1 s), 岸桥与 AGV/ALV 的配比为 1:2 ~ 1:6。

从 3 和图 4 给出了岸桥装卸时间和岸桥利用率的对比变化情况。

从图 3 和 4 可以看出: 1) ALV 较 AGV 的装卸效率高, QC 利用率高。在算例中, AGV 所需最少时间为 2.80 h, 而 ALV 最少为 2.78 h; 2) AGV/ALV 与岸桥配比影响岸桥装卸时间和岸桥利用率, 但过高的配比率将无助装卸效率的提高, 甚至是造成阻塞, 降低装卸效率, AGV 与岸桥的合理配比范围为 5:1 ~ 6:1, ALV 与岸桥的合理配比范围为 3:1 ~ 4:1; 3) 同条件下 ALV 配比要小于 AGV 配比, 但 ALV 价格较高, 码头工艺优选需综合考虑多种因素条件。

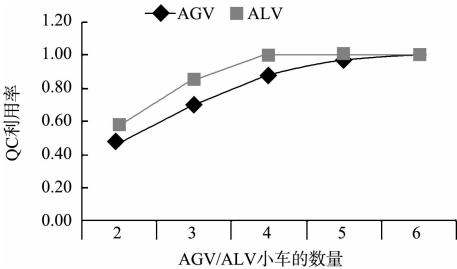


图 3 不同 AGV/ALV 配置下的岸桥装卸时间

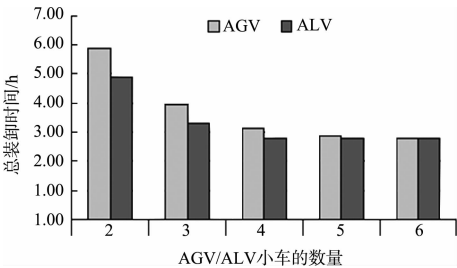


图 4 不同 AGV/ALV 配置下的的岸桥利用率

2 基于立体轨道的集装箱码头作业系统

2.1 立体轨道系统与平面布局

立体轨道式集装箱码头系统是一种新型的集装箱智能传送装卸系统, 主要设备有: 低架桥起重小车 (QV)、低架桥平板小车 (PV) 和地面平板小车 (DV)。岸桥后伸距下布置多条平行于码头岸线的高低立体轨道, 高轨道布置 QV 小车, 低轨道布置 PV 小车, 高低轨道小车可交互通行, 其布局主要采用堆场垂直码头布置形式, 典型布置如图 5 所示。上海振华 (ZPMC) 研发的立体轨道式自动化集装箱码头装卸系统主要采用“双小车岸桥 + QV + PV + DV + ARMG”的装卸方案。

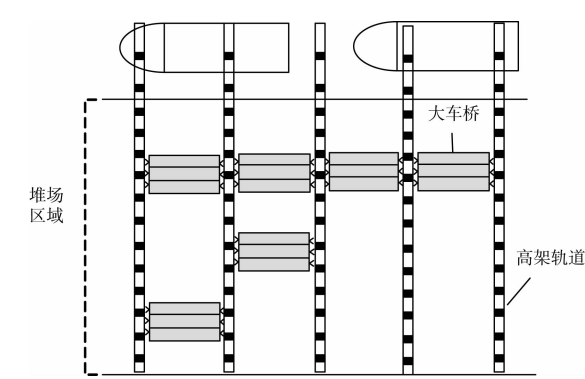


图 7 高架桥式全自动化码头平面布局

和多机作业的协调问题; 2) 翻箱效率高: 多小车系统协同作业完成翻箱, 可由协同小车吊起阻碍箱, 移位等待, 由主小车提取目标箱后, 再将阻碍箱归位, 节省了起吊和对位操作; 3) 堆场利用率高: 由桥吊代替了集卡搬运, 节省了集卡车道,

并允许更高的堆箱高度, 堆场平面利用率更高, 可减少堆场规划面积; 4) 精确定位、自动化程度高: 采用全轨道式模式, 设备位置精度高, 易于实现自动化控制, 可根据箱位高度合理控制吊具速度, 在保证安全的同时提高效率; 5) 初始投资高、运行成本低: 增设的高架轨道以及较大数量大车桥和吊具小车使得初期投资相对较高, 但系统运行成本会相对较低, 且采用全电力驱动和全自动化形式, 人力资源成本较低, 环保节能。

4 几种自动化集装箱码头装卸工艺定性对比

码头装卸工艺与系统选定需考虑多方面的因素, 结合定量和定性方法进行综合分析。表 2 列出了 3 种自动化集装箱码头装卸工业和系统定性特点对比。

表 2 3 种自动化集装箱码头的定性特点

形式	适用规模	自动化、智能化程度	装卸效率	动态特性	灵活性	环保节能	设备维护	总设备投资
AGV 式	多泊位	半或全自动、部分智能化	高	好	高	电力设备, 无污染排放, 能耗低	低	较高
ALV 式	多泊位	半或全自动、部分智能化	较高	好	更高	内燃驱动, 有污染排放, 能耗高	高	较高
立体轨道式化头	1~3 个泊位	半或全自动、智能化	更高	差	一般	电力驱动设备, 无污染排放, 能耗低	低	高

5 结语

集装箱码头作业工艺改进和作业系统的自动化是改善集装箱码头装卸效率的关键。在当前较为成熟的自动化集装箱码头系统中, AGV 方案相对成熟, 应用也最为广泛; ALV 方案起步较晚, 在设备配比和效率方面较 AGV 有明显优势; 立体轨道式集装箱码头自动化程度更高, 在装卸效率、设备成本、能耗环保等方面均优于 AGV/ALV 方案, 但方案实施技术要求较高, 难度也较大; 高架桥式集装箱码头装卸系统是一种全新的自动化集装箱码头方案, 适用于集装箱吞吐量大、班轮发班密度高的全自动化码头。

参考文献:

[1] Lau H Y K, Zhao Y. Integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 112(2): 665-682.

[2] Sadeghian S H, Mohd Ariffin I M K A, Tang S H, et al. Integrated scheduling of quay cranes and automated lifting vehicles in automated container terminal with unlimited buffer space[J]. Advances in Systems Science, 2014, 240: 599-607.

[3] Bae H Y, Choe R, Park T, et al. Comparison of operations of AGVs and ALVs in an automated container terminal[J]. J Intell Manuf, 2011, 22: 413-426.

[4] 梁燕, 吴富, 生叶军. 立体轨道式自动化码头设备调度策略仿真分析[J]. 起重运输机械, 2012(2): 1-6.

[5] 潘成贤, 王俊丽, 赵晓东, 等. 立体轨道式码头传送系统建模与仿真[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(31): 230-234.

[6] 郑见粹, 李海波, 谢文宁. 自动化集装箱码头装卸工艺系统比较研究[J]. 水运科学研究, 2011(7): 26-33.

[7] 赵越超. 高架桥式集装箱装卸系统的设计与特性分析[J]. 世界海运, 2011, 34(2): 9-15.

(本文编辑 郭雪珍)