

一种新型立体轨道式自动化 集装箱码头及其效能分析

梁燕^{1,2} 吴富生² 叶军²

1. 上海交通大学, 上海, 200240 2. 上海振华重工(集团)股份有限公司, 上海, 200125

摘要:针对集装箱码头的自动化现状及存在的主要问题,介绍了一种新型的立体轨道式自动化装卸系统。该系统具有高效节能、运营成本低等优点。通过仿真方法对立体轨道式装卸系统和现有码头装卸系统在装卸效率和作业能耗两个方面进行了对比分析。分析结果表明,立体轨道式装卸系统无论在装卸效率还是在节能环保方面均具有明显优势。

关键词:节能环保;集装箱;自动化码头;能耗

中图分类号:U169.6;TP271.2

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2012.02.003

Efficiency Analysis of a New Three-dimensional Orbital Automated Container Terminal

Liang Yan^{1,2} Wu Fusheng² Ye Jun²

1. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240

2. Shanghai Zhenhua Heavy Industry Co., Ltd., Shanghai, 200125

Abstract:Based on the automation status and the main problem of container terminals, this paper introduced a new type of three-dimensional orbital automated handling system, which had high efficiency, energy saving and low cost operation. The three-dimensional orbital automated terminal was compared with the existing terminals in handling efficiency and operating energy consumption by using simulation method. The results show that the new terminal has obvious advantages both in handling efficiency and energy saving.

Key words:energy saving; container; automated terminal; energy consumption

0 引言

目前,大部分的集装箱码头采用的是传统的运输模式,即码头前沿与堆场间的水平运输由集卡(Truck)完成。在人口递减、劳动力成本昂贵和熟练劳动力匮乏的地区,自动化集装箱码头首先受到关注。鹿特丹港 ECT 码头、德国汉堡港由 HHLA 码头公司经营管理的 Altenwerder 码头以及 ECT Euromax 码头相继建成了自动化集装箱码头^[1]。自动化码头的岸桥部分与传统码头装卸工艺基本相同,平面运输的方式是二者主要的区别。自动化码头采用内燃机驱动的自动导航小车(automatic guided vehicle, AGV)取代了传统的集卡。AGV 装卸区与后方堆场之间的运输则由堆垛内的自动起重机(automated stacking crane, ASC)来完成,该部分也为无人操作。码头中央控制室对 AGV 和 ASC 进行管理和控制,实现了完全自动化。

传统码头采用集卡实现岸桥与场桥间集装箱的转运,集装箱定位对司机的技术水平要求较高,

对人的依赖性较强,不易实现智能控制,人为造成的故障率高^[2]。目前的自动化码头采用 AGV 实现岸桥与场桥间集装箱的转运,AGV 虽然可以实现自动导航及定位,但由于导航系统及软件昂贵,致使码头前期投资成本高;另外,由于 AGV 小车长距离平面转运,容易引发交通阻塞,影响装卸效率。集卡和 AGV 均采用内燃机驱动,会导致燃油消耗、废气与噪声污染增加,不符合当今能源危机下低碳经济的环保理念。

综上所述,码头前沿与堆场间的转运方式已成为码头发展的一大瓶颈。因此,亟需探索新工艺、研制新设备、开发新系统,彻底改变这种平面转运方式,加快岸桥与场桥间的集装箱周转,实现智能化调度控制,最终在提高码头装卸效率的同时,实现节能环保、安全可靠的装卸。

1 一种新型的立体轨道式装卸系统

立体轨道式自动化码头系统的主要设备包括岸边集装箱起重机(quayside crane, QC)、立体轨道平板小车(frame trolley, FT)、立体轨道起重小车(lifting trolley, LT)、地面平板小车(ground trolley, GT)、轨道式集装箱龙门起重机(rail

收稿日期:2011-02-21

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助重点项目(2009AA043000)

mounted gantry crane, RMG)。立体轨道式自动化码头系统组成如表 1 所示。

表 1 立体轨道式自动化码头系统组成

子系统	功能
集装箱码头管理系统 (terminal operation system, TOS)	制订堆场集装箱堆放计划、船舶配载计划、设备运输计划
装卸设备调度控制系统 (equipment operation system, EOS)	通过对自动化码头设备合理有序的调度来完成作业计划的实施管理,从而提高自动化码头执行效率
视频监控系統 (closed circuit television, CCTV)	实时监视堆场上所有设备的运行情况,及时发现问题并反馈到中控室,为码头无人有序、安全运行提供技术支持,达到自动化管理的目标
自动定位系统 (cell profile switcher, CPS)	负责码头设备的精确定位,是实现装卸无人化、码头自动化的关键技术环节

立体轨道式自动化码头设备的运行指令均由码头中央控制室统一调配,实现了完全自动化。立体轨道式自动化码头与 AGV 自动化码头在设备性能方面的对比分析如表 2 所示。

表 2 自动化码头设备性能比较

	AGV 自动化码头	立体轨道式自动化码头
设备装载能力	一次运载 1 个 40ft 或 2 个 20ft 集装箱	
运行速度 (m/s)	3~5.8	5
导航与定位	使用网格自由定位系统(FROG)进行导航和控制,利用信号电缆和磁感应器定位	平板车沿立体轨道运行,采用光缆和磁尺等现代化手段实现导航及精确定位。
定位精度	在导线系统范围内,AGV 的定位精度为 $\pm 30\text{mm}$;否则,定位精度为 $\pm 50\text{mm}$	定位精度小于 5mm
安全避障	能够感知在全速行驶到停止运行的减速位移范围内的障碍物,避免发生碰撞	可实现有效避障以及紧急情况下的紧停操作
系统柔性	AGV 沿相同轨道运行,易发生阻塞,柔性化程度低	立体装卸系统中设备沿各自轨道、各自方向运行,柔性化程度高

由表 2 可见,立体轨道式自动化码头在设备单次作业能力、定位精度及系统柔性等方面均优于 AGV 自动化码头,此外,以 GPS 导航的自动化码头系统价格昂贵,而立体轨道式装卸系统取消了复杂又昂贵的导航系统,整个系统完全置于轨道上,至少可节约成本 20%。利用电驱动的立体轨道水平运输取消了内燃机驱动的传统转运方式,不仅解决了噪声大、排放超标、污染环境等问题,也可降低运营成本。

2 立体轨道式自动化码头的效率与能耗分析

立体轨道式自动化装卸系统是一种全新的自动化码头模式,在当前的低碳经济时代,为集装箱码头装卸系统开辟了新的出路。为了验证其高效、节能的突出特点,下面分别在装卸效率和作业能耗两个方面,将该立体装卸系统与现有集装箱码头进行对比分析。

2.1 装卸效率对比

港口生产调度水平的高低直接影响港口能耗。高水平的生产调度可以合理配置参加装卸作业的装卸机械,减少待机时间;可以尽可能减少作业中间环节,合理安排工艺流程,缩短运距;可以合理安排作业时间,“削峰填谷”,取得明显的节能效果^[3]。装卸效率直接体现了调度水平的高低,因此,借助计算机仿真方法将立体轨道式自动化码头分别与传统码头和 AGV 自动化码头在装卸效率方面进行了对比分析。

利用 Witness 软件结合 DirectX 工具建立立体轨道式自动化码头三维仿真分析模型,如图 1 所示。按照相同的堆场面积(400m×400m)配置,根据码头经验统计值及仿真修正值,得出不同码头的效率,如表 3 所示。

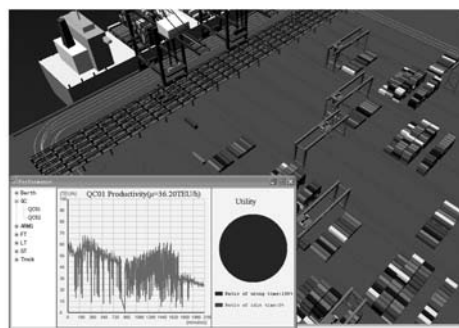


图 1 立体轨道式自动化码头三维仿真模型

表 3 码头装卸效率对比

技术指标	传统码头	AGV 自动化码头	立体轨道式自动化码头	
堆场平面箱位数(TEU)	3120	2700	3808	
设备配置	双 40ft 岸桥(台)	4	4	4
	堆场 RMG(台)	14	18	14
	水平运输	48 辆集卡	24 辆 AGV	10 组立体轨道电动小车、14 台地面电动平板车
泊位效率(TEU/h)	250	180	300	

由表 3 可见,立体轨道式自动化码头相比传统码头和 AGV 自动化码头,堆场利用率分别提高了 22% 和 41%,作业效率分别提高了 20% 和

67%。以卸载完成容量为 4800TEU 的货船为例,不考虑工人换班等因素,立体轨道式自动化码头需 16h,传统码头需 19.2h,AGV 自动化码头需 26.7h。货船在港停靠时间的缩短会降低船东及码头的运营成本,提高码头的竞争力。

2.2 作业能耗对比^[4]

码头装卸流程包含多个作业环节,如岸桥装卸、码头水平运输、码头堆场装卸、码头陆侧运输与装卸等。立体轨道式自动化码头区别于现有码头的显著特点是,码头水平运输设备及工艺不同。因此,为了分析立体轨道式自动化码头相对于现有码头的节能减排优势,只对码头水平运输进行能耗计算。以卸船为例,3 种码头的不同运输设备及工艺如表 4 所示。

表 4 码头的装卸工艺及设备比较

码头类型	码头海侧水平运输		堆场水平运输	
	设备	工艺	设备	工艺
立体轨道式自动化码头	FT、LT	FT 从 QC 接箱后,运行至目标堆场区端部,由 LT 吊起。FT 返回岸桥执行下一任务	GT	GT 从 LT 接箱后,运行至堆场目标贝位,由 RMG 提箱,然后返回立体轨道下方执行下一任务
传统码头	集卡	集卡由 QC 接箱后,沿环形路线完成水平运输	集卡	集卡沿堆场路线运行至目标贝位,由 RTG 提箱,然后沿环形路线返回 QC 下方执行下一任务
AGV 自动化码头	AGV	AGV 由 QC 接箱后,沿环形轨道完成水平运输,由 RMG 提箱,AGV 然后沿环形轨道返回 QC 下方执行下一任务	RMG	RMG 提箱后沿其轨道完成堆场内的水平运输,将集装箱放至目标位,然后返回堆场区端部执行下一任务

进行能耗对比时,以相同的码头布局为前提,同时以卸船为例,计算利用不同的运输设备完成一个 40ft 集装箱水平运输的能耗。集装箱在堆场的位置不同会影响运输设备的作业路径,从而影响作业能耗。因此,假设在堆场水平及垂直方向的作业路径大小均取平均值,计算运输设备的平均能耗,作业路线如图 2 所示。

在立体轨道式自动化码头中,RMG 对某一贝集装箱作业时,需由当前位置空载移动至目标贝位。以图 2 中堆场布局为例,RMG 大车轨道方向可放置 19 贝 40ft 箱,RMG 在两个相邻 40ft 箱贝位间移动距离为 12.916m,设 RMG 当前位置为 x ,目标位置为 $y(x,y$ 代表 RMG 相对第一贝移动的贝数, $0 \leq x \leq 18, 0 \leq y \leq 18$),则 RMG 空载移动的平均距离

$$\bar{L} = (12.916) \int_0^{18} \int_0^{18} |y-x| dx dy / 18^2 \quad (1)$$

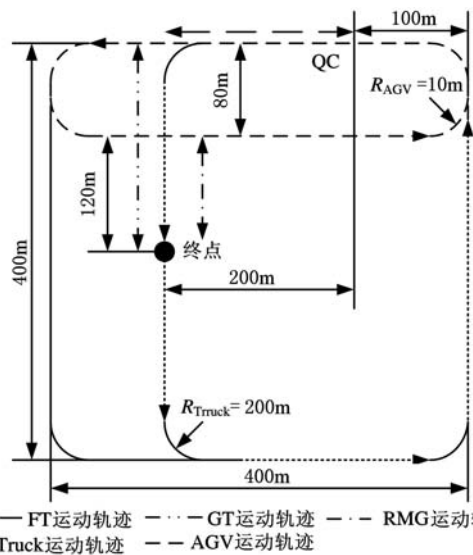


图 2 码头作业路线示意图

$$D: 0 \leq y \leq 18, 0 \leq x \leq 18$$

由式(1)计算得 $\bar{L} = 77.5m$ 。RMG 移动 1 个平均距离后可以装卸多个集装箱,本文在计算 RMG 能耗时按最差情况考虑,即移动一次只装卸 1 个集装箱。

由计算结果得出立体轨道式自动化码头、传统码头以及 AGV 自动化码头完成一个集装箱的水平运输能耗,如表 5 所示,由于水力、风力或太阳能发电过程不产生 CO₂,而火力发电过程产生 CO₂,故表中 CO₂ 排放量为某一区间值;CO₂ 排放量根据文献[5]中的碳排放公式计算。

表 5 码头水平运输能耗对比

码头系统	耗电量 (kW·h)	耗油量 (L)	作业成本 (元)	CO ₂ 排放量 (kg)
立体轨道式自动化码头	4.34	0	2.75	0~3.41
传统码头	0	1.59	11.18	4.29
AGV 自动化码头	6.86	2.93	24.94	7.91~13.30

注:表中电价按 0.633 元/(kW·h),油价按 7.03 元/L 计算。

假设将火电与水电(或风电等清洁能源)按 1:1 配比。由表 5 可见,立体轨道式自动化码头相比与传统码头和 AGV 自动化码头,水平运输能耗成本可分别节约 75.4% 和 89%,CO₂ 排放量分别减少 60.3% 和 83.9%。以完成 4800TEU 货船的装卸为例,立体轨道式自动化码头相对于传统码头和 AGV 码头在水平运输环节可分别节约作业成本 40 466 元和 106 527 元,减少 CO₂ 排放 12 408kg 和 42 720kg。由于立体轨道式装卸系统实现了完全自动化,减少了对司机的依赖,人工费用也将大大降低。

综上所述,立体轨道式自动化码头无论在装卸效率还是节能环保方面均具有明显优势。其高

磁粉性能对磁粉离合器特性影响分析研究

王 程^{1,2} 常思勤¹

1. 南京理工大学, 南京, 210094

2. 淮阴工学院, 淮安, 223003

摘要:研究了磁粉离合器转矩传递的工作机理,建立了磁粉离合器磁场场域的分析模型,重点分析研究了磁粉的磁性能和粒径对磁粉离合器转矩传递特性的影响关系,仿真结果与磁粉离合器实际工作特性相吻合。研究表明,通过提高磁粉材料磁性能、减小磁粉粒径可有效提高磁粉离合器转矩传递性能。

关键词:磁粉离合器;磁粉性能;磁场;仿真

中图分类号:U463.2

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2012.02.004

Study on Effects of Magnetic Particle Properties on Performance of Magnetic Particle Clutch

Wang Cheng^{1,2} Chang Siqin¹

1. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094

2. Huaiyin Institute of Technology, Huai'an, Jiangsu, 223003

Abstract: On the basis of studying the working mechanism of magnetic particle clutch in depth, a magnetic field analysis model of magnetic particle clutch was established herein. It gave a thorough analysis of the influence of magnetic particle property and diameter of the magnetic particles on the magnetic particle clutch torque—transferring characteristics. And the simulation results are consistent with the actual work properties of magnetic particle clutch. The results show that the development and application of the nanocrystalline soft magnetic alloy magnetic particle with high performance may raise torque—transferring characteristics of the magnetic particle clutch.

Key words: magnetic particle clutch; magnetic particle property; magnetic field; simulation

0 引言

磁粉离合器是通过励磁电流形成“磁粉链”来传递转矩的一种电磁离合器,除了具有一般电磁离合器体积小、结构紧凑、动作灵敏、消耗功率小、操作方便等优点外,还具有线性调节范围广、传递扭矩与滑差率无关、过载保护等优点,能有效提高

传动系工作性能,近年来,在工业控制领域得到了广泛的研究和运用。文献[1]对工作间隙磁粉的磁感应强度与单位面积剪切力的关系进行了分析,由于分析仅考虑了磁粉离合器的静特性,故与实际情况出入较大。文献[2]利用磁粉颗粒间的库仑定律建立了磁粉离合器的磁力关系,由于采用近似理论公式,故无法精确反映磁粉性能对磁粉离合器特性的影响关系。文献[3-4]在电磁场域数值计算分析理论的基础上,建立了磁粉离合器电磁

收稿日期:2011-02-28

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK2008414),淮安市科技支撑计划(工业)资助项目(HAG2010041)

效性可以满足日益增长的集装箱运量的飞速发展以及集装箱船舶的大型化发展趋势,同时其节能环保性能可以很好地应对当前能源危机,符合低碳经济的环保理念。

参考文献:

- [1] 彭传圣. 集装箱码头的自动化运转[J]. 港口装卸, 2003(2):1-6.
- [2] Cao Jinxin, Shi Qixin, Lee Der-Horong. A Decision Support Method for Truck Scheduling and Storage Allocation Problem at Container[J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13(S1):211-216.
- [3] 交通节能网. 港口能源消耗的主要因素及节能建议[EB/OL]. (2008-01-08) [2011-02-15]. [http://](http://www.china-esi.com/pat/6587.html)

www.china-esi.com/pat/6587.html

- [4] 梁燕, 吴富生, 金建明. 立体轨道式自动化集装箱码头作业能耗分析[J]. 起重运输机械, 2010(11):1-6.
- [5] 碳排放计算公式[EB/OL]. [2011-02-15]. <http://trans.wenweipo.com/gb/paper.wenweipo.com/2010/01/03/NS1001030006.html>

(编辑 张 洋)

作者简介:梁 燕,女,1982年生。上海交通大学机械与动力工程学院博士后研究人员,上海振华重工(集团)股份有限公司陆上重工设计院工程师。主要研究方向为生产系统仿真与优化,集装箱码头调度、仿真与优化。吴富生,男,1975年生。上海振华重工(集团)股份有限公司海上重工设计院高级工程师。叶 军,男,1967年生。上海振华重工(集团)股份有限公司电气开发事业部高级工程师。