



自动化集装箱码头装卸工艺系统 应用现状与展望

何继红

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 装卸工艺系统是影响自动化集装箱码头总体布局、作业效率和营运成本的关键因素, 是设计时需首先考虑的问题。为把握自动化装卸工艺系统的技术发展方向, 在论述现有自动化集装箱码头工艺系统应用现状及技术特点的基础上, 根据自动化锁销拆装装置、岸桥远程操控、智能驾驶、新能源、自动化轮胎吊等装备技术的发展分析自动化工艺系统的发展趋势, 可为自动化集装箱码头的规划建设提供参考。

关键词: 自动化技术; 集装箱码头; 装卸工艺

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2018)06-0199-05

Application and development trend of handling process system in automated container terminal

HE Ji-hong

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The handling process system is the key factor affecting the general layout, efficiency and cost of automated container terminals, thus it is the matter to be considered at first in design. To grasp the technical development direction of the automatic handling process system, this paper introduces the present application and technical features of existing automated container terminals. According to the development of equipment and technological improvements of the automated twist lock handling machine, remote controlling for quay crane, intelligent driving, new energy, as well as the automatic rubber-tired gantry, the paper analyzes the development trend of the automation process system to provide reference for the planning and construction of automated container terminals.

Keywords: automation technology; container terminal; handling technology

自1993年世界上第一座自动化集装箱码头投入运营以来, 特别是随着集装箱运输船舶的日益大型化和人力成本的上升, 全球自动化集装箱码头建设进入快速发展阶段。本文对现有自动化码头的装卸工艺系统应用现状进行梳理, 并根据码头装备相关技术的发展分析自动化集装箱码头的发展趋势。

1 自动化集装箱码头装卸工艺系统应用现状

1.1 典型工艺系统

自动化集装箱码头装卸工艺系统主要由码头装卸、堆场装卸和水平运输3个作业环节组成, 其中水平运输环节是形成不同自动化工艺系统的关键^[1]。目前码头与堆场间的水平运输设备有自动导引运输车(简称“AGV”)、跨运车和集卡3种,

收稿日期: 2017-11-08

作者简介: 何继红(1970—), 女, 教授级高级工程师, 从事港口装卸工艺设计。

并已逐步形成以下 3 种典型工艺系统。

1) 岸桥+AGV+自动化轨道吊。该工艺系统码头与堆场间的水平运输采用无人驾驶的 AGV, 码头装卸船作业大多采用双小车岸桥, 堆场作业采用自动化轨道吊。具有代表性的码头为鹿特丹 ECT 码头、汉堡 CTA 码头、鹿特丹 Euromax 码头、Maasvlakte II 码头和 RWG 码头, 国内已建成投产的厦门远海、青岛前湾四期和上海洋山四期 3 座自动化码头也采用了该工艺系统。其中鹿特丹港 4 座不同时期建设的自动化码头代表了该工艺系统的发展历程, 按照建成时间和技术特点可将其分为 3 代。该工艺系统的典型布局如图 1 所示。



图 1 “岸桥+AGV+自动化轨道吊”工艺系统典型布局

①第一代: ECT 码头为采用这类工艺系统的第一代自动化集装箱码头, 实现了水平运输和堆场装卸的自动化, 大大降低了对劳动力的依赖和人力成本, 对集装箱码头的技术发展具有划时代的意义。码头装卸采用单小车岸桥, 司机室操作; 水平运输采用柴油内燃机驱动的 AGV, 最初运行速度限制在 3 m/s 以内; 堆场垂直码头布置, 装卸作业采用自动化轨道吊, 每条箱区配置 1 台设备。外集卡提送箱作业区设在自动化堆场外, 采用人工驾驶的跨运车作业。码头上 AGV 装卸区位于岸桥门框内, 堆场的装卸区位于箱区端部, AGV 不进入堆场, 由码头中控室对 AGV 和堆场轨道吊进行调度管理, 实现自动化装卸作业。受当时的计算机技术、信息处理和通信技术水平的限制, 自动化系统虽实现了无人、自动化操作, 但智能化、信息化水平不足, 导致其水平搬运效率及作

业效率较常规集装箱码头低; 由于 AGV 的装卸区位于岸桥轨内, 所有 AGV 均须在泊位端部转弯进出岸桥门框, 路由固定且冗余度小, 对码头的总体装卸效率形成制约, 同时, 受 AGV 环形作业通道所限, 岸桥在相邻泊位间的自由调度也受到制约。

②第二代: 2008 年建成投产的 Euromax 码头为采用该类工艺系统的第二代自动化码头代表, 该码头较 ECT 码头在岸桥形式、工艺布置、水平运输等方面进行了优化, 提高了自动化码头的整体工艺水平和装卸效率。码头装卸船采用双小车岸桥, 主小车采用司机操作, 副小车为自动化操作, 将自动化装卸延伸到码头装卸环节; AGV 采用柴油发电、电力驱动, 速度提高到 6 m/s; AGV 装卸区改为岸桥的后伸距下方, 使 AGV 可在任意合适处转弯; 调度系统采用了更灵活高效的调度池决策构架, 路线可按最优化路径行驶; 堆场每个箱区配置 2 台相同规格的轨道吊, 箱区海侧端部为 AGV 交接区, 陆侧端部为集卡交接区, 与 ECT 码头相比, 将自动化作业环节延伸到对集卡的作业, 进一步降低了人力成本; 海陆侧的作业可以同时进行, 也可以通过接力方式提高繁忙侧的作业效率。

③第三代: 采用这类工艺系统的第三代自动化码头以 2015 年建成的 Maasvlakte II 和 RWG 码头为代表。与 Euromax 码头相比, 这 2 座码头在技术、效率和绿色环保方面进一步优化, 主要体现在: 码头装卸采用双 40 ft (12.2 m) 双小车岸桥, 主小车采用自动化+人工确认的远程操控、副小车采用全自动化的作业方式, 码头装卸船效率和自动化程度进一步提升; AGV 动力采用电池, 更为节能、环保; AGV 载箱平台具有升降功能, 使 AGV 能对固定的集装箱支架主动取、放箱, 不需要在堆场被动等待轨道吊装卸车, 有效提高了 AGV 的运输效率。

2) 岸桥+跨运车+自动化轨道吊。该工艺系统

码头与堆场间的水平运输采用跨运车, 码头装卸采用司机操作的单小车岸桥, 堆场作业采用自动化轨道吊。堆场均为垂直码头岸线布置。跨运车和外集卡分别在箱区的两端与轨道吊进行作业交接。由于跨运车的导航及定位精度相对 AGV 较低, 因此目前采用该工艺系统的自动化码头, 除个别码头外大多采用了分步实现自动化的策略, 即近期水平运输采用人工驾驶, 以保证作业安全和效率, 工艺系统 3 个环节中仅实现堆场作业的自动化, 待相关技术进一步成熟后跨运车再升级为无人驾驶, 实现水平运输和堆场作业的自动化。其代表性码头为伦敦 Gateway 码头、西班牙 BEST 码头、比利时安特卫普 DPW 码头等。该工艺系统的典型布局如图 2 所示。



图2 “岸桥+跨运车+自动化轨道吊”工艺系统典型布局

3) 岸桥+集卡+自动化轨道吊。该工艺系统定位于仅实现堆场作业自动化, 码头装卸采用单小车岸桥, 水平运输采用集卡, 堆场作业采用带悬臂的轨道吊, 轨内堆放集装箱, 悬臂下为集卡作业车道。通常优先采用双悬臂轨道吊, 使内、外集卡分别在两侧悬臂下作业。目前轨道吊在场内堆取箱和对内集卡的作业为全自动化, 对外集卡作业时采用人工远程操控模式, 以确保作业安全。堆场一般为平行于码头岸线布置。该工艺系统的应用主要集中于人力成本相对较低的亚洲地区, 其代表性码头为台湾高雄高明码头和 Evergreen 码头、阿联酋迪拜 DPworld 三期码头等, 国内正在建设中的深圳妈湾海星码头、太仓四期集装箱码头也采用了该工艺系统。该工艺系统的典型布局如图 3 所示。



图3 “岸桥+集卡+自动化轨道吊”工艺系统典型布局

1.2 其他工艺系统

除以上 3 种典型工艺系统外, 在自动化码头的发展里程中也出现了其他形式工艺系统的零星应用。

1) 岸桥+AGV+自动化轮胎吊。日本名古屋 Tobishima 码头为节省工程投资和减小地震危害, 堆场采用自动化轮胎吊, 港内水平运输采用 AGV, 堆场平行码头岸线布置。轮胎吊跨内设 6 列箱和 AGV 车道、外集卡车道各 1 条。箱区采用围网封闭, 在对应集卡车道的入口与出口处均设有门禁, 控制外集卡车辆的安全进出, 解决 AGV 与集卡运行路线的平面交叉问题。

2) 岸桥+自动化跨运车。澳大利亚布里斯班 Patrick 码头采用了与传统跨运车码头类似的装卸系统和平面布局, 水平运输和堆场装卸均采用无人驾驶的自动化跨运车, 堆场的堆箱高度为 2 层, 堆场面积利用率较低。外集卡在自动化堆场陆侧端的封闭区域进行提、送箱。

3) 岸桥+集卡+自动化高架桥式起重机。新加坡巴西班让码头由于后方场地较小, 为扩大堆存量采用安装在混凝土架空梁柱上的自动控制高架桥式起重机, 跨内布置 10 列箱+2 条集卡车道, 堆高 8 层, 与采用轨道吊的工艺系统相比, 堆场固定基础设施投资较大。

由于这几种工艺系统的选用都是为满足项目的特定条件, 存在一定的局限性, 故在后续的自动化码头建设中未被沿用。

2 自动化集装箱装卸工艺系统发展趋势

2.1 自动化锁销拆装装置

目前, 即使在自动化码头, 装卸船过程中集

装箱锁销的拆装仍需人工操作。对此 RAM 公司和 ZPMC 公司等均在研发自动化锁销拆装装置^[2], 并已取得了一定的成果。锁销拆装装置的基本原理相似, 均采用机械臂模拟人手旋转锁销的下部, 通过连轴带动锁销的上部旋转实现锁销的拆装。由于锁销的具体构造在国际上没有统一的标准, 故实际使用的种类多达 6 大类 100 多种。目前, 自动化锁销拆装装置还无法涵盖全部, 而且在装锁销时仍需要人工辅助作业。但随着自动化锁销拆装技术的逐步完善和成熟, 码头岸桥上配备自动化锁销拆装装置、进一步提升码头装卸环节的自动化将成为现实。

2.2 岸桥远程操控技术

自动化码头中岸桥的操作模式由最初的人工操作到主小车司机操作、副小车自动化, 目前已能实现除主小车吊具在精确对位、着箱、开闭锁和起吊时采用人工确认的远程操控外, 其他均为自动化的操作模式, 自动化程度越来越高, 进一步降低了设备操作人员的劳动强度、改善了工作环境。随着远程操控技术的逐渐成熟和作业效率的提高, 该技术将在各类集装箱码头上得到广泛应用。

2.3 智能驾驶技术

水平运输系统的自动化涉及大量随机的路由决策和交通规划等智能化问题, 是自动化码头总投资、作业效率等的主要影响因素。

AGV 的导航利用呈矩阵方式埋设在其运行区域的磁钉, 由车载天线读取磁钉的位置信息来进行车辆定位, 并由计算机控制沿规定的导引路径自动行驶, 而跨运车则通常采用差分全球定位系统 DGPS 与现场定位雷达相结合的导航方式。

近年来, 汽车领域的智能驾驶技术发展迅速。无人驾驶技术主要通过车辆的智能化和道路交通的智慧化来实现: 通过车辆自身的图形摄取、图像识别和高精度传感器使汽车具有感知周边驾驶环境的能力, 并通过人工智能技术针对不同的环境得出相应的驾驶策略; 而车联网技术则使车辆之间能够交换包括速度、位置、方向和制动状态等在内的所有信息, 还能实现车辆与交通系统之

间的通信, 如路况、道路信息等, 为车辆提供完善的驾驶环境信息。

虽然真正实现各类车辆无人驾驶还有很长一段路, 但随着智能驾驶技术的障碍被逐一扫除, 采用集卡的半自动化集装箱码头将通过采用智能驾驶技术实现水平运输的自动化升级改造, “岸桥+集卡+自动化轨道吊”的工艺系统将重新受到关注。

智能驾驶技术在 AGV 和跨运车上的应用也将使现有水平运输的导航、控制技术得到跨越式发展, 将使自动化码头的水平运输环节在现有基础上实现更高效率、更低成本的运行, 智能驾驶技术将给自动化集装箱码头带来新的发展机遇。

2.4 新能源

在自动化码头的发展进程中, 水平运输设备正向节能环保方向发展。AGV 的动力由最初的柴油内燃机驱动、柴油发电电力驱动发展到如今的锂电池, 使码头作业无污染、零排放, 同时降低了设备的噪声, 改善了作业环境。锂电池一次充满后可提供至少 8 h 的续航时间, 随着包括锂电池在内的高性能电池技术的快速发展、续航时间的延长和投资成本的下降, 动力电池将在水平运输设备上得到广泛应用。

目前, 使用液化天然气替代柴油的集卡已在上海、宁波等各大港口推广应用, 取得了很好的节能减排效果。以液化天然气为动力的技术在轮胎吊上也已试验成功, 采用液化天然气或气、电混合动力的 AGV、跨运车也正在研发中。

因此, 随着新能源及相关技术的发展, 水平运输设备的动力必将向高性能电池及液化天然气等清洁能源发展。

2.5 自动化轮胎吊技术

由于行走机构的不同, 与轨道吊相比, 轮胎吊行走时容易跑偏, 且轮胎容易变形, 作业时会产生高低变化, 较难保证目标位置的定位精度, 因此实现自动化控制相对困难, 需要解决集装箱堆积位置距离检测、高精度堆积控制和大、小车自动向目标位置移动及确认等一系列控制技术。目前国内相关厂商及深圳港赤湾码头、上海港沪

东码头等都在积极尝试轮胎吊的自动化, 并已取得一定成果^[3]。

国内现有的集装箱码头大多采用轮胎吊进行堆场作业, 随着人力成本的上升和轮胎吊自动化技术的逐步成熟, 传统集装箱码头堆场自动化改造将是必然趋势。

3 结语

1) 经过多年的技术积累, 自动化集装箱码头技术在不断优化中逐步走向成熟, 实现的自动化装卸环节由堆场装卸、水平运输逐渐扩展到码头装卸。自动化技术已由最初的自动化无人操作向智能、高效、绿色、节能、安全方向发展。

2) 随着相关技术的成熟与完善, 远程操控技术、自动化锁销拆装装置将在岸桥上广泛应用, 码头装卸环节将进一步提高自动化水平、装卸效

率和作业安全。

3) 水平运输设备的动力将向高性能电池及液化天然气等清洁能源发展。

4) 随着汽车行业智能驾驶技术的发展和应用, 自动化集装箱码头将迎来新的发展机遇。

5) 随着轮胎吊自动化技术的逐步成熟, 国内传统集装箱码头堆场自动化改造将是必然趋势。

参考文献:

- [1] 李金龙. 中国自动化集装箱码头的发展与挑战[J]. 中国港口, 2016(2): 17-20.
- [2] 杨荣, 易应强. 自动化集装箱码头新型转锁拆装工艺设计[J]. 集装箱化, 2014, 25(12): 33-36.
- [3] 薄海虎, 张氢, 孙远韬. 集装箱码头 RTG 远程半自动化操作堆场实现方法研究[J]. 起重运输机械, 2015(4): 12-15.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 184 页)

4.3 基床整平工效

通过现场测试挖机整平能达到 6 m/h, 按照每个工作日 12 h 计算, 工效达到 576 m²/d。该工效为铲斗宽度 2 m 时的工效, 根据施工中挖机油缸的压力情况, 2 m 刮刀整平的刮铲阻力远小于挖机的额定刮铲力, 如制作 3 m 宽的铲斗, 则每刮一次有效进尺 2 m, 跟现有的 2 m 刮刀相比, 整平的工效能够极大提高。

5 结语

1) 船载挖机整平设备采用改造的长臂挖机搭载驳船, 其建造时间比大型整平船的短, 投入的费用低, 其整平不受水深、流速的影响, 配备补抛石溜筒, 相比较人工整平和步履式基床整平, 能极大提高整平的精度和效率, 成效显著。

2) 船载挖机水下自动化基床整平技术采用全球卫星定位监测技术与丰富的设计控制软件相结合, 是一种新型可行的浮式智能控制水下基床整平的施工技术, 无需挖机人工操作, 软件显示的基床整平信息量完整、丰富。可调取铲尖高程的轨迹曲线, 查看基床整平的情况, 实现基床整平

自动化控制和检验。

3) 通过对挖机自动化基床整平精度分析, 综合考虑各种因素的影响, 铲斗斗尖高程精度能很好地控制在允许偏差范围以内, 其整平精度完全符合 ± 5 cm 的规范要求, 其用于深水航道整治工程施工, 可为类似水深条件下航道整治工程基床整平施工提供借鉴, 具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程施工图[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2015.
- [2] 邵海荣, 曹根祥. 步履式水下基床整平机及施工工艺的开发[J]. 水运工程, 2006(S2): 110-112+133.
- [3] 张树明. 坐底式基床整平船及施工工艺的开发[J]. 水运工程, 2006(S2): 99-102.
- [4] 中交第一航务工程局有限公司, 福建省交通基本建设工程质量监督检测站. 水运工程质量检验标准: JTS 257—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

(本文编辑 武亚庆)