

全自动化集装箱码头关键装备技术与发展

罗勋杰

上海国际港务(集团)股份有限公司

摘 要: 自动化集装箱码头经过 20 多年发展,日渐成熟。中国在全自动化集装箱码头成套关键技术方面已处于世界引领地位。总结了目前世界自动化集装箱码头设备及其工艺系统,在分析中国青岛前湾港四期和上海洋山港四期 2 个全自动化集装箱码头项目设备成套关键技术基础上,梳理和归纳了全自动化集装箱码头设施设备关键技术,分析了技术发展趋势,可为未来自动化集装箱码头建设和发展提供参考。

关键词: 自动化; 集装箱码头; 设施设备; 智能港口; 关键技术

Key Technologies and Development of Fully Automatic Container Terminals

Jack Xunjie Luo

Shanghai International Ports(Group) Co., Ltd.

Abstract: The automated container terminals (ACT) have grown and matured after more than 20 years of development, during which China has been playing a leading role in key packed technologies for the fully ACT. Reviewing on the handling cranes and systemes of all of ACTs in the current world, and analysising of the key technologies of two fully automated terminal projects in China Qianwan phase 4 in Qingdao and Yangshan phase 4 in Shanghai, summarizes the key packed technologies of fully ACT. Meanwhile, this paper also analyzes the trend of future development in technology fields, and may ideally provide references for the future construction and development of automated terminals in China.

Key words: automation; container terminal; equipment and facility; intelligent port; key technology

1 引言

自 1993 年世界首座自动化集装箱码头(荷兰鹿特丹 ECT Delta)诞生以来,历经 20 余年的发展,全球已投产自动化集装箱码头已近 50 座,还有将近 60 座正在建设或规划之中^[1]。中国自动化码头发展起步较晚,但成效显著。自厦门港远海码头由一个泊位的传统 RTG 改造而成为半自动化集装箱码头,并于 2014 年投产以来,青岛港前湾港四期和上海洋山深水港四期 2 个全自动化码头成功运营,标志着我国在全自动化码头发展上,实现了“从观望,到试验,到参与,再到引领”的跳跃式发展^[2]。唐山港、日照港、广州港、重庆港、大连港、天津港、南京港、武汉港、宁波港、厦门港、珠海港也致力于自动化集装箱码头建设。但目前针对全自动化集装箱码头装备方面的成套关键技术的总结和提炼,还在不断深化之中。本文在总结全球自动化码头技术发展基础上,以上海洋山深水港四期和青岛前湾四期全自

动化集装箱码头项目为样本,对其装备成套关键技术进行初步梳理和归纳。

2 国内外典型自动化集装箱码头概况

2.1 自动化集装箱码头总平面布局模式

自动化集装箱码头的总体布局主要由所采用的自动化装卸工艺系统所决定,陆域条件、交通条件、投资控制、作业成本等也是重要的影响因素。通过对世界现有自动化集装箱码头进行梳理,可总结出大致 10 种典型的总体布局模式^[3](见表 1)。

以上 10 种典型的自动化集装箱码头布局模式,基本包含了世界已建或在建自动化集装箱码头的的所有类型,其中又以模式三、模式八、模式九最为普遍。

2.2 国外典型全自动化集装箱码头概况

按自动化程度划分,自动化集装箱码头主要分为半自动化和全自动化。就全自动化集装箱码头而言也有 2 种类型,主要差异在水平运输自动化系统设备选型上,即 AGV(Automatic Guided Vehicle, 自

动导引运输车) 和 A-SHC(Automatic Shuttle Carrier, 自动跨运车)。

表 1 自动化集装箱码头布局模式汇总分析表

序号	项目	模式一	模式二	模式三	模式四	模式五	模式六	模式七	模式八	模式九	模式十
1	代表港口	ECT-Delta 荷兰	HHLA-CTA 德国	Euromax 荷兰	厦门远海 中国	Tobishima TCB 日本	振华重工 中国	Patrick 澳大利亚	BEST 韩国	DP World 三期迪拜	Panjang terminal 新加坡
2	自动化程度	全自动化	全自动化	全自动化	全自动化	全自动化	全自动化	全自动化	堆场自动化,跨运车人工驾驶	堆场自动化	堆场自动化
3	适用规模	多泊位	多泊位	多泊位	多泊位	多泊位	1~2 泊位	多泊位	多泊位	多泊位	多泊位
4	适应陆域纵深范围	较小	较小	较小	较小	较小	纵深适应范围广	小	较小	纵深适应范围广	纵深适应范围广
5	港区交通条件	堆场全封闭,交通组织简单,不受外集卡影响				外集卡与 AGV 车流存在交织		堆场全封闭,交通组织简单,不受外集卡影响		外集卡进入堆场,与内集卡车流存在交织	
6	堆箱密度	高	较高	高	高	一般	较高	低	高	一般	一般
7	堆场作业灵活度、可靠度	低	高	较高	较高	高	高	高	较高	高	高
8	工人需求	较少	较少	较少	较少	较少	较少	较少	较多	较多	较多
9	节能环保	跨运车内燃机驱动,有废气排放,能耗大		可采用全电力驱动设备,无废气排放,能耗低				跨运车内燃机驱动,有废气排放,能耗大		集卡内燃机驱动,有废气排放,能耗大	
10	投资密度	一般	高	较高	较高	较低	高	低	一般	较低	高

2.2.1 荷兰鹿特丹港马士基 APMT MV2

荷兰鹿特丹港马士基 APMT MV2 一期集装箱码头岸线总长 1 500 m,3 个泊位(500 m 支线和 1 000 m 干线)。堆场共布置 28 个箱区,分成 3 个功能区: 支线泊位对应的自动化箱区 3 个,海侧与陆侧均采用 AGV; 干线泊位对应自动化箱区 18 个,海侧采用 AGV 作业,陆侧为集卡作业; 陆侧铁路中转作业对接的自动化箱区 7 个,海侧与陆侧均采用 AGV 作业。该项目设计能力 270 万 TEU,2011 年动工建设,2015 年 4 月投产。

该码头是一座典型的“QC + AGV+ ARMG”工艺系统的全自动化码头。在设备配置上,支线泊位布置 2 台 QC(Quay Crane, 支线桥吊),干线泊位布置 8 台大型双小车自动化远程超控 QC; 28 个箱区布置 56 台 ARMG(Automatic Rail-Mounted Gantry Crane, 自动轨道吊),起重能力 40 t,跨距内可堆放 10 排箱,“堆五过六”。水平运输采用带起升功能自动换电池的 BL-AGV,共 62 台。

类似码头还有鹿特丹 RWG 码头、美国长滩 LBCT 码头、德国汉堡港 HHLA CTA 码头、厦门远海、青岛前湾港四期和上海洋山深水港四期等。

2.2.2 澳大利亚布里斯班港 Patrick

该码头岸线长 930 m,水深 14.0 m,占地面积 39.27 万 m²,设计年通过能力 120 万 TEU,是一座采用“单小车岸桥+自动化跨运车”工艺系统的全自动化集装箱码头。

该码头布置采用满堂式,堆场垂直于岸线布置。空、重箱和冷藏箱均进自动化堆场,码头前沿配置单小车岸桥 4 台,堆场和堆场海侧水平运输采用自动化跨运车进行作业,跨运车采用“堆二过三”,共配置 27 台。跨运车在岸桥的后伸臂范围内作业,自动化轨道吊在封闭区域内进行装卸作业。

类似码头还有美国洛杉矶 Trapac 码头和澳大利亚 VICT 码头等。

2.3 中国典型自动化集装箱码头概况

2.3.1 青岛前湾四期全自动化集装箱码头

青岛前湾四期自动化码头规划 6 个泊位,岸线总长 2 088 m,纵深 784 m,码头前沿水深-20 m,年通过能力 520 万 TEU。码头一期 660 m 的 2 个泊位,设计吞吐能力 150 万 TEU,配备 7 台单起升双小车桥吊、38 台纯电动带举升自动导引车(BL-AGV)、38 台全自动高速轨道吊(ARMG),2015 年 1

月开工建设,2017年5月投产。

该项目建设具有低成本、短周期、高起点的特点,在技术方案方面具有全智能、高效率 and 零排放的特点,在规划设计方面具有自主设计、自主研发、自主集成的特点。

该项目关键技术主要有:①自主构建自动化码头生产管理与控制的智能化系统整体方案和新一代全自动化码头设备控制系统;②首创新型 L-AGV 自动循环充电技术,重量最轻、续航时间无限制;③首次创新应用了基于精准定位技术的轨道吊“一键锚定”系统;④优化桥吊主梁后伸距设计,首创非等长后伸距双小车岸桥,有效降低码头建设成本及设备制造成本;⑤首次研制成功了机器人自动拆装集装箱扭锁;⑥应用了基于自动化码头工艺流程的智能监管新模式。

2.3.2 上海洋山四期全自动化集装箱码头

上海洋山深水港四期自动化码头位于小洋山岛最西侧,东海大桥以南,共建设7个泊位,岸线总长2 350m,纵深平均460 m,码头前沿水深-17.1 m,年通过能力630万TEU。码头一期设计能力400万TEU,配备16台单起升双小车桥吊、88台纯电动自动换电带举升AGV、88台ARMG,2014年12月开工建设,2017年12月投产。远期将配置桥吊26台,自动轨道吊120台,AGV130台。

该项目建设目标为“高可靠,高效率,绿色环保,世界最先进、世界最大规模”的全自动化集装箱码头,致力于成为全球港口行业科技进步引领者;在技术方案方面具有智慧港口、绿色港口、科技港口、效率港口的特点;在规划设计方面具有世界规模最大,一次全自主规划,一次全自主设计,一次完成土建施工,完全软硬件自主研发,完全软硬件自主集成调试,一次规模化投产成功的特点。

该项目关键技术主要有^[4]:①自主研发的智能化码头操作系统和设备管控系统技术;②大规模成套自动化设备资源管控、任务分配、路径优化等智能决策模型和仿真测试调试平台技术;③全电驱动的设备及基于仿真平台个性化设计的设备参数与结构;④世界首创的61 t双20 ft箱自动化轨道吊及陆侧外集卡全自动化作业系统;⑤超大规模全自动化AGV换电机器人系统及集成化BMS管控技术;⑥自动化堆场多种形式轨道吊混合使用及调试集成技术;⑦基于机器人技术的桥吊中转平台自动装卸锁钮技术;⑧超大规模多机种集成化设备维保车间布局模式;⑨基于大数据、云平台、5G通讯技术的智能口岸监管系统。

3 全自动化集装箱码头关键技术发展

3.1 装卸作业系统自动化技术发展特征

3.1.1 堆场作业系统自动化

自动化码头发展初期,基本上是通过堆场作业ASC(Automatic Stock Crane,自动化堆场吊)来实现码头的半自动化作业,即堆场箱区内部的取箱、翻倒、放箱及箱区内大小车行走,由设备自动完成,但水平运输设备的集装箱交接作业,还需通过人工进行远程操作。

目前,自动化集装箱码头的ASC主要有2种类型:ARMG和A-RTG(Automatic Rubber-Tyred Gantry Crane,自动轮胎吊)。自动化跨运车和自动化堆场仓库系统目前还在实验或试用之中。堆场的ASC技术、设备、工艺及其控制系统已经成熟,对水平运输设备直接自动化作业的全自动化ASC也开始出现并得到实际应用。

3.1.2 船舶作业系统自动化

RC-QC(Remote Control Quay Crane,远程操控自动化桥吊)主要有远程控制单小车自动桥吊和远程控制双小车自动桥吊2种类型^[5]。

目前,除吊具吊箱进出舱口、大车行走及特种箱作业需人工远程操作外,自动化桥吊其他运行动作与过程都全部实现自动化,其中的关键技术包括:自动箱号识别、自动舱口及车道定位、门架和主小车自动定位、自动吊具防摇和纠偏、集装箱装卸AGV自动对位、小车自动经济轨迹运行、吊具自动安全运行高度判定及设置、船型扫描技术,电控技术及QC-MS系统技术等。双小车带有转运平台的自动化桥吊、副小车(门架小车)可以实现全自动化操作,包括在平台上取放箱作业和对AGV取放箱作业。中转平台自动摘取和安装锁钮技术,目前也取得阶段性进展。

3.1.3 水平运输系统自动化

由于涉及随机的路由决策和交通规划等智能化问题,水平运输系统自动化需要高度可靠的自动定位、大容量信息处理和无线通信技术支撑,与堆场自动化相比技术难度较大,是自动化码头作业效率、总投资、营运成本、环境安全及吞吐能力的关键影响因素之一,也是全自动化集装箱码头工艺系统比选的重点和难点。

全自动化集装箱码头水平运输自动化系统主要有2种方式^[6]:AGV和A-SHC。自动驾驶集卡仍在研发之中,成熟应用案例不多。

水平运输系统自动化关键技术主要体现在动力

能源技术、电池电芯技术、电池管理系统(BMS)、导航技术、定位技术、路径算法技术、资源调度算法技术、集成调试技术、安全控制技术、识别技术等方面。

3.1.4 装卸工艺系统集成化

从目前已投产或在建全自动化集装箱码头的装卸工艺系统来看,主要有3种集成方案:

- (1) QC + AGV + ARMG。
- (2) QC + L-AGV (带举升的AGV) + ARMG。
- (3) QC + A-SHC + ARMG。

总体而言,堆场自动化设备较多采用ARMG方案,该方案技术成熟、安全可靠、环保低碳、效率较高。岸桥有单小车和双小车之分,目前水平运输采用AGV的码头大多采用双小车岸桥,而跨运车码头采用单小车岸桥较多,并且岸桥的操作模式也决定了双小车的合理性和适用性,其最大的不同仍然在于水平运输方式的选择。

3.2 中国自动化集装箱码头装备成套关键技术

随着国内外自动化集装箱码头建设的加速,加之中国“交通强国”战略实施,越来越多的港口在港口规划、码头设计、设备选型、港口操作和安全风险管控等各个环节采取有效措施促进“效率、智能、智慧、绿色”发展和转型升级。中国全自动化码头设施设备成套关键技术主要包括4个方面^[7]。

3.2.1 全自动化智能装备

(1) 远程操控双起升双小车岸桥成套技术

码头装卸设备采用全自动双起升双小车集装箱岸桥,主小车配置双40 ft吊具,副小车配置双20 ft吊具,将常规单小车岸桥作业循环分配给海测主小车和陆侧副小车分别完成,主副小车通过2个40 ft箱位台座的中转平台进行缓冲。

岸桥上不设置驾驶室,配备多角度、全覆盖的船型扫描、箱号识别和电子监控设备,主小车作业可实现远程操控,副小车可实现全自动化作业。相比传统码头,远程操控双起升双小车岸桥可有效减少设备等待时间,降低设备能源消耗。

(2) 远程操控自动化轨道吊成套技术

自动化堆场垂直于码头前沿线布置,装卸设备具有远程操控功能的自动化轨道吊,每个箱区海陆侧各布置一台轨道吊,采用全电驱动,不设置驾驶室。

大车、小车和起升位置的检测装置,以及控制管理系统可实现轨道吊自动运行、自动定位、自动着箱功能,陆侧轨道吊可实现人工远程操控,海侧可实现全自动作业模式。相对传统柴油机驱动、人工操作的RTG,可大大降低设备能源消耗,减少对环境

污染,二氧化碳排放为0,无主要污染物排放,自动化轨道吊可有效提高劳动生产率、节约劳力、保障安全等。

(3) 全锂电换电提升式AGV成套技术

AGV设备软硬件技术具有无人驾驶、自动导航、定位精确、路径优化以及安全避障等智能化特征,可有效减少营运成本、提高作业效率、降低能源消耗。

绿色环保全锂电池技术,为设备提供全绿色动力,相比传统柴油发动机驱动,具有自重轻,能耗较小,能源效率系数高等优势,二氧化碳排放为0,无主要污染物排放,绿色环保,且维护成本低,可获得良好节能减排效果。

提升式AGV技术能实现直接对设置在堆场交接区固定集装箱支架起、落箱,可有效解决水平运输与堆场作业间的“解耦”问题,同时AGV无需被动等待堆场设备赶来装卸,直接放置在支架上,可大大降低因相互等待而造成的能源消耗。

3.2.2 高效节能辅助装备能源系统关键技术

(1) 可分离式上架和吊具自动更换平台技术

根据港区船舶双吊具作业实际情况,岸桥主小车吊具系统可采用灵活的可分离式上架,并在岸桥联系梁位置设立吊具自动更换平台,用于放置可分离式上架和备用吊具,可随时根据生产作业需求合理使用双吊具,在平台上实现吊具更换全自动操作。平时主小车以单吊具进行作业,备用吊具放置在平台上,可大大降低整体装机容量,降低设备载荷,减少设备能源消耗。相比传统码头,吊具自动更换平台可缩短吊具更换时间,提高作业效率,有效降低吊具拖运安装过程中相关设备能源消耗。

(2) 海侧轨道吊双20 ft吊具技术

为配合TOS智能化发展,结合海侧交接区支架可放置双20 ft集装箱的实际特点,堆场海侧交接装卸设备采用双20 ft自动化轨道式龙门起重机作业模式。该作业模式可提高集装箱堆场装卸效率,提高整个自动化码头系统运行效率,进一步降低整体作业能耗,降低运营成本。

(3) 远程操作电动轮胎式集装箱龙门起重机技术

在危险品堆场、特种箱作业区等区域采用电缆卷盘式全电动轮胎式龙门起重机,进一步减少传统柴油RTG对环境的污染。全电驱动轮胎式集装箱龙门起重机二氧化碳排放为0,无主要污染物排放,绿色环保^[5]。

(4) 节能新光源技术

结合码头照明实际和自动化控制特点,将绿色、节能的新光源充分利用到码头堆场、房建、道路、停车场等部位的照明,改变传统钠灯照明能源消耗大的问题。岸桥投光灯采用陶瓷金卤投光灯,其他照明采用LED照明灯;轨道吊投光灯采用LED照明;自动化堆场不设置照明;高杆灯采用陶瓷金卤投光灯等。节能新光源的使用可大大降低照明能源消耗,相比普通的高压钠灯在同样照度下功耗下降近70%^[6]。

3.2.3 智慧生产过程控制系统成套关键技术

自动化码头生产过程控制系统主要包括计算机管理系统、桥吊上箱号识别及验残系统、堆场辅助控制系统、智能闸口系统、冷藏集装箱监控系统、中央控制室系统、照明控制系统、码头堆场沉降监测系统、危险品堆场喷水监控系统等。系统运营结合RFID、OCR、CCTV、LED、EDI及实时控制等技术,降低货损货差及安全隐患,实现全天候24h作业,提高码头资源利用率。相比传统系统方案,码头装卸效率可提高20%以上。

生产过程自动化系统的发展主要有5个方面:港口作业过程智能自主控制系统、港口物流链全流程智能协同优化控制系统、智能优化决策系统、智能安全运行监控与自优化系统、工业过程虚拟管控系统。由这5个主要系统构成两层结构的现代集成智能控制系统,即智能优化决策系统和供应链流程智能化控制系统,取代由ERP、MES和PCS(DCS)组成的三层结构集成生产系统。

3.2.4 其他关键技术

(1) 船舶岸基供电技术

相比传统码头而言,岸电系统能满足船舶在港区航行及靠港期间的用电需求,减少大量重油或柴油的燃烧,最大限度降低向大气中排放大量污染性气体,净化空气,同时缓解船舶在港期间对当地大气环境的影响,有效改善区域环境,生态效益十分明显。

(2) 电网高压动态无功补偿技术

针对供电网络常处于高负荷状态实际情况,使用高压动态无功补偿装置进行动态无功补偿,可稳定电网电压,改善供电系统供电的电能质量,保证供电系统运行的安全性。高压动态无功补偿技术能提高供电质量,减少送变电过程的线路损耗,节省能源消耗,同时充分考虑无功补偿,减少发、供电设备的设计容量,节约投资,例如当功率因数0.8增加到0.95时,装1kvar电容器,可节省设备容量0.52kW。

(3) 水网系统远程读数流量计

针对码头用水点分布广、人工抄表不便、普通水表计量精度等因素造成的水损计量不准确情况,在给水管网中的进水管路总表和各用水点分表增设远程读数流量计,实现用水情况的实时全监控。当总表与各用水点读数之和不一致时,即可判断管网存在漏损,从而减少能源消耗,有利于港区的节能。此外,实时记录读数可避免因人工抄表时差导致的结算差,减少统计上的误差,有利于能耗的日常管理。

(4) 面向“绿色港口”的办公建筑区域电能监控系统

针对码头候工楼、办公楼和中控塔等生活、工作区域耗能较大的实际情况,引入绿色、智能化建筑理念,电能监控系统可实现对建筑物内的高低压配电设备进行统一监视和智能化管理,同时结合办公建筑区域人员办公实际和特点,实现对办公系统管理的智能化,以智能化管理促进能源的节约,降低建筑能耗,节约能源。

4 结语

全自动化集装箱码头在通过能力、装卸效率、安全可靠,尤其是节能减排、环境环保等方面相对于传统码头具有较为突出优势。未来随着新材料、新技术、新标准规范的发展,会不断完善和优化全自动化码头,进一步促进智慧港口技术不断迭代升级。

参考文献

- [1] 程泽坤,刘广红,罗勋杰.国外自动化集装箱码头应用现状及建设借鉴[J].水运工程,2016(9):3-8.
- [2] 刘广红,韩时捷.洋山四期自动化集装箱码头设计创新[J].水运工程,2016(6):189-194.
- [3] 刘广红,程泽坤,林浩,等.自动化集装箱码头总体布局模式对比分析[J].水运工程,2016(9):14-18.
- [4] 韩胜红,尹婧,潘小辉,等.自动化集装箱码头海事监管服务应对研究[J].水运工程,2016(5):34-37.
- [5] 陈建明,任松,陈维斗.自动化集装箱码头双小车岸桥主小车作业效率优化[J].集装箱化,2018(10):10-12.
- [6] Jack 罗勋杰.全自动化集装箱码头水平运输方式对比[J].水运工程,2018(6):76-82.
- [7] 方怀瑾,罗勋杰,周维峰.自动化集装箱码头环境保护分析与展望[J].水运工程,2016(9):9-13.

罗勋杰: 201306,上海市浦东新区同汇路1号

收稿日期: 2018-12-28

DOI: 10.3963/j.issn.1000-8969.2019.01.001