

· 综 合 ·

# 国外自动化集装箱码头应用现状及建设借鉴



程泽坤<sup>1</sup>, 刘广红<sup>1</sup>, 张 斌<sup>2</sup>, 罗勋杰<sup>2</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032; 2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

**摘要:** 介绍国外已经建成投产的全自动化、半自动化集装箱码头总体布置和自动化装卸工艺, 总结几种较为常用的集装箱码头自动化模式及适用条件, 为我国自动化集装箱码头的建设提供借鉴。

**关键词:** 自动化; 智能化; 集装箱码头; 自动化模式

**中图分类号:** U 656. 1<sup>+</sup>35

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2016)09-0003-06

## Application of automatic container terminal abroad and referential function on its construction in China

CHENG Ze-kun<sup>1</sup>, LIU Guang-hong<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>2</sup>, LUO Xun-jie<sup>2</sup>

(1. CCCC Third Harbor Constructions Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. Shanghai International Port( Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

**Abstract:** This paper introduces the master layout and operation technology of automatic & semi-automatic container terminals which have been built and put into operation abroad, and summarizes several commonly used automation modes and adaptable conditions for container terminals to serve as reference for the construction of automatic container terminal in China.

**Keywords:** automation; intelligentization; container terminal; automation mode

自动化集装箱码头包括全自动化和半自动化集装箱码头, 在降低劳动强度、装卸稳定高效、节能减排以及安全生产等方面具有优势, 欧洲、亚洲、北美、澳洲等地应用案例较多。我国自动化集装箱码头建设起步较晚, 随着交通运输部关于港口转型升级指导意见和港口污染防治专项行动实施方案等<sup>[1-2]</sup>颁布实施, 以及港口营运降本增效、节能减排、安全生产等要求的提高, 自动化集装箱码头将是我国港口未来建设的发展方向。本文介绍全球近年来已经建成投产的典型全自动化及半自动化集装箱码头的应用案例<sup>[3]</sup>, 总结集装箱码头几种有代表性的自动化模式及适用条件, 为我国自动化集装箱码头的建设提供借鉴。

### 1 国外典型自动化集装箱码头概况

自1993年全球第1座自动化集装箱码头在荷兰鹿特丹投产后, 到目前为止, 全球建成和在建的全自动化、半自动化集装箱码头超过40座, 主要分布在欧洲、亚洲、北美、澳洲等地区。这些自动化集装箱码头因当地劳动力成本、节能减排、技术和营运等分别采用不同的总体布置和自动化工艺系统。

#### 1.1 荷兰鹿特丹港 Euromax 集装箱码头

荷兰鹿特丹港 Euromax 集装箱码头见图1。该码头岸线长1500 m, 码头前沿水深16.8 m, 陆域面积84万m<sup>2</sup>, 设计年通过能力230万TEU, 是一座全自动化码头。

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 程泽坤(1966—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 从事港口与航道工程设计、咨询、科研和技术管理工作。



图1 鹿特丹 Euromax 码头

该码头布置采用满堂式,堆场垂直于岸线布置 29 个箱区,堆场后方布置铁路装卸区。全自动化工艺系统采用“双小车岸桥+自动导引车+自动化轨道吊”。码头配备 12 台海轮和 4 台驳船双小车岸桥,每块箱区配置 2 台自动化轨道吊分别对海侧和陆侧作业,堆场共配置 58 台,码头海侧水平运输配备 96 辆自动导引车,每条装卸船作业线三者配机比例基本在 1:1.8:6。双小车岸桥起重能力 610 kN,起升高度 43 m,外伸距 70 m,后伸臂下设 4 条自动导引车作业车道;自动导引车可运输 1 个 40 ft (12.2 m) 或 2 个 20 ft (6.1 m) 集装箱;自动化轨道吊起重能力 400 kN,跨距内可堆放 10 排箱,跨运车采用“堆五过六”;陆侧采用集卡提送箱工艺;码头采用智能化闸口。类似全自动化集装箱码头还有鹿特丹 APM Terminal M VII 集装箱码头、德国汉堡港 HHLA CTA 码头等。

Euromax 码头投产后,随着生产作业系统的不断优化,作业效率逐年增高,目前岸桥平均作业效率达 30 自然箱/h,峰值达到 33 自然箱/h。

### 1.2 伦敦 Gateway DP World 集装箱码头

伦敦 Gateway DP World 集装箱码头见图 2。该码头岸线长 1 200 m,码头前沿水深 17.0 m,设计年通过能力为 160 万 TEU,是一座按照全自动化设计的码头。



图2 伦敦 Gateway DP World 码头

该码头布置采用满堂式,堆场垂直于岸线布置 20 个箱区,最长箱区设 36 个标准箱位,堆场侧后方布置铁路装卸区。该码头集装箱业务中 40 ft 与 20 ft 集装箱比例 3:1。设计的全自动化工艺系统采用“岸桥+自动化跨运车+自动化轨道吊”。码头配置 12 台双 40 ft 岸桥、40 台自动化轨道吊、28 辆跨运车,每条装卸船作业线三者配机比例基本在 1:1.6:2.3。岸桥起重能力 80 t,起升高度 49 m,外伸距 70 m,后伸臂下设 6 条 4.1 m 宽的跨运车作业车道;每块堆场配置 2 台起重能力 40 t 的自动化轨道吊,可同时分别进行海侧和陆侧作业,跨距内可堆放 10 排箱,堆五过六;堆场海侧水平运输设计采用“堆一过二”跨运车,起重能力 50 t;堆场陆侧水平运输采用集卡倒车提送箱工艺方式;码头大门采用智能化闸口。类似“岸桥+自动化跨运车+自动化轨道吊”工艺系统还有美国洛杉矶 TRAPAC 集装箱码头。

### 1.3 澳大利亚布里斯班港 Patrick 集装箱码头

澳大利亚布里斯班港 Patrick 集装箱码头(图 3)。该码头岸线长 930 m,水深 14.0 m,占地面积 39.27 万  $m^2$ ,设计年通过能力 120 万 TEU,是一座全自动化集装箱码头。



图3 布里斯班港 Patrick 集装箱码头

该码头布置采用满堂式,堆场垂直于岸线布置。全自动化工艺系统采用“单小车岸桥+自动化跨运车”。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,集卡在封闭区域内进行装卸作业。

#### 1.4 日本名古屋港 Tobishima TCB 码头

日本名古屋港 Tobishima TCB 码头见图4。码头岸线长750 m, 前沿水深16.0 m, 2个集装箱泊位, 是一座全自动化码头。

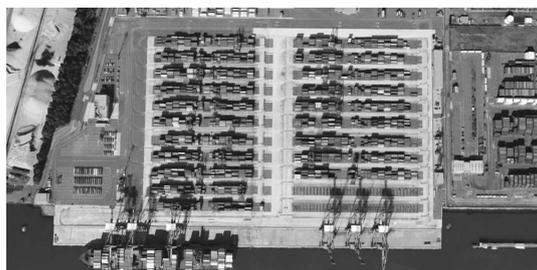


图4 名古屋港 Tobishima TCB 码头

该码头是目前世界上唯一采用全自动轮胎式龙门起重机作为堆场设备的自动化集装箱码头, 码头布置采用满堂式, 堆箱区23个, 堆场平行于岸线布置。全自动装卸工艺系统采用“单小车岸桥+自动导引车+自动化轮胎吊”, 岸桥配备6台, 自动化轮胎吊配置24台, 水平自动导引小车配置33台, 每条装卸船作业线三者配机比例基本在1:3.8:5.5。岸桥轨距30.5 m, 起重能力650 kN, 外伸臂59 m; 水平自动导引小车载重305 kN、速度20 m/s; 堆场采用“堆四过五”的自动化轮胎吊, 下跨6箱。所采用的全自动轮胎式龙门起重机具有精度高、对位准、稳定性好、自动纠偏、光电控制、液压汽缸防摇等功能。码头智能道口系统采用光学字符识别(OCR)技术和无线射频识别(FRID)技术, 可实现集卡车号及集装箱箱号的自动采集。TCB码头的岸桥平均作业效率为33自然箱/h, 集卡在码头提卸箱的平均等待时间基本不超过10 min。

#### 1.5 西班牙巴塞罗那港巴塞南欧码头

西班牙巴塞罗那港巴塞南欧码头见图5。该码头总占地面积132万m<sup>2</sup>, 规划岸线总长2100 m, 码头前沿水深16~18 m, 设计年集装箱吞吐量445万TEU, 工程分2个阶段建设。是一座典型的半自动化集装箱码头。

巴塞南欧码头布置采用满堂式, 堆场平行于岸线布置。半自动化工艺系统采用“单40 ft岸

桥+人工跨运车+自动化轨道吊”, 预留远期改造全自动化的空间。岸桥采用单40 ft岸桥, 岸桥起重能力610 kN, 起升高度41 m, 外伸距66 m, 轨距35 m, 为跨运车与岸桥作业交接区, 陆侧轨道距离集装箱堆场边约93 m, 其中, 陆侧轨道后布置舱盖板堆放区, 其后布置2条跨运车高速车道; 人工跨运车起重能力500 kN, “堆一过二”作业; 每块堆场配置2台起重能力为400 kN的自动化轨道吊, 采用全自动化作业方式, 堆场有效长度约325 m, 布置集装箱位50 TEU, 自动化轨道吊跨距内可堆放9排集装箱, 堆高为“堆五过六”。陆侧堆场采用集卡工艺方式, 每个箱区设有5个集卡箱位, 陆侧堆场边至自动化轨道吊车挡距离约2倍集卡的长度。堆场内和后方均布置有冷藏箱区, 堆场侧面布置特种箱区, 采用跨运车进行水平运输和堆垛, 堆高1层。巴塞南欧码头目前岸桥平均作业效率稳定在34自然箱/h。类似的半自动化集装箱码头有釜山新集装箱码头、美国弗吉尼亚集装箱码头、阿联酋阿布扎比ADPC集装箱码头等。



图5 西班牙巴塞罗那港巴塞南欧码头

## 2 国外集装箱码头自动化工艺模式

### 2.1 模式1: “双小车岸桥+自动导引车+自动化轨道吊”的全自动化工艺模式

该模式可以实现码头装卸船、堆场海侧水平运输、堆场装卸作业等自动化, 是当今较为流行的全自动化集装箱码头工艺模式。码头采用满堂布置形式, 堆场一般采用垂直码头岸线方向布置, 为封闭式; 闸口采用智能化闸口, 可以自动读取集卡、箱号、自动分配集卡任务等。其典型前方作业带布置如图6所示。

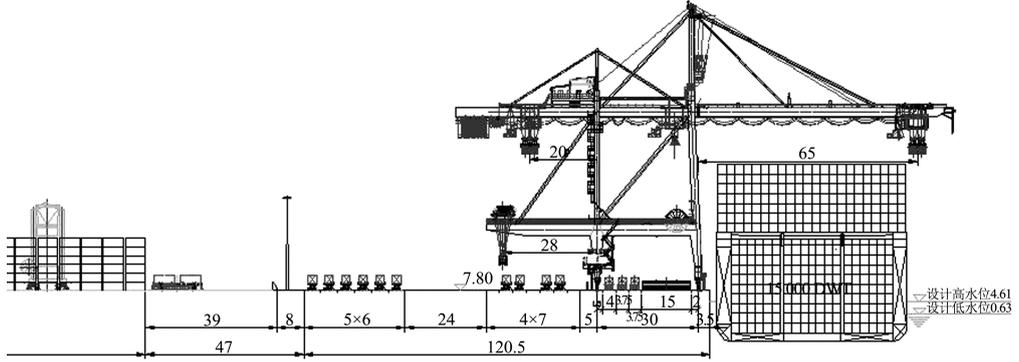


图6 典型前方作业带布置 (单位: m)

码头岸桥采用带中转平台的双小车岸桥负责船舶装卸, 中转平台解决岸桥主、副小车之间作业的耦合和拆装集装箱锁销问题, 轨距一般取 30~35 m, 跨内主要布置舱盖板堆放区及 3~4 条特殊箱装卸车道。堆场装卸设备采用自动化轨道式龙门起重机(简称 ARMG), 高压电缆卷盘供电, 跨内不设置集卡通道, 每个箱区配置 2 台 ARMG; 箱区海侧端设置 AGV 交换区, 海侧 ARMG 主要负责装、卸船作业时船与堆场间集装箱的接收和发放; 箱区陆侧端设置集卡交换区, 陆侧 ARMG 主要负责水-陆转运集装箱的接收和发放, 并通过与海侧 ARMG 的接力完成集装箱在同一箱区海、陆侧间的倒箱。水平运输设备采用 AGV, 通过电磁

或光学等自动导引装置, 能够沿规划的导引路径自动行驶, 具有自动导航、定位精确、路径优化以及安全避障等智能化功能, 可完成堆场箱到岸桥以及堆场箱区间倒箱等作业; AGV 与场桥之间的解耦可以选用提升式 AGV+集装箱支架或 AGV+AGV 伴侣来实现。

**2.2 模式 2: “单小车岸桥+自动跨运车+自动化轨道吊”的全自动工艺模式**

该模式总体布置上与模式 1 相似, 在当今全自动化集装箱码头中有一定的应用, 特别适合于“岸桥+人工跨运车+自动化轨道吊”半自动工艺模式的升级改造。其典型前方作业带布置如图 7 所示。

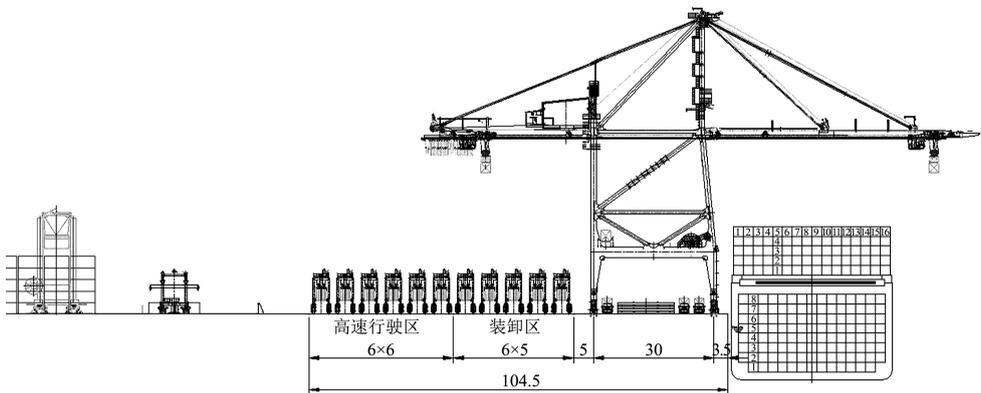


图7 典型前方作业带布置 (单位: m)

相对模式 1, 其区别在于岸桥和水平运输环节。水平运输采用自动跨运车时, 岸桥不需要采用双小车, 可选择单小车岸桥。自动跨运车配备有 GPS 自动导引装置, 由计算机控制并且能够沿规划的导引路径自动行驶。自动跨运车在码头取

箱过程中, 无需等待岸桥或场桥落箱, 可直接从地面取箱后进行运输, 彻底解决了水平运输作业与岸桥或场桥的耦合问题。自动跨运车装卸车道布置于岸桥后伸臂下方, 行驶车道布置在堆场侧。

### 2.3 模式3:“双小车岸桥+自动导引车+自动化轮胎吊”的全自动化工艺模式

该模式在总体布置上与模式1的区别在于堆场平行于码头岸线布置,堆场采用自动化轮胎吊。代表性码头为日本名古屋TCB集装箱码头。与堆场自动化轨道吊工艺方案相比,自动导引车进堆场作业,使得轮胎吊不带箱高速行驶,利于节能。自动化轮胎吊工艺方案有利于节省码头投资成本。该工艺采用自动导引车搬运集装箱,堆场内的每个箱区均设有1条自动导引车通道,自动导引车通道相互平行。该模式对于我国传统集装箱码头的自动化改造具有借鉴作用。

### 2.4 模式4:“岸桥+人工跨运车+自动化轨道吊”的半自动化工艺模式

该模式与模式2的总体布置相似,区别在于岸桥、跨运车为人工操作,仅堆场为自动化,全封闭作业。该模式适用于半自动化集装箱码头的同时,为全自动化集装箱码头预留改造空间,因此应用较多。

### 2.5 其他半自动化模式

另外,还有一些其他模式,如“岸桥+自动化跨运车”、“岸桥+集装箱牵引车+ARMG”、“岸桥+集装箱牵引车+ARTG”及“岸桥+集装箱牵引车+高架桥式起重机”等<sup>[4]</sup>。从近年来应用情况看,多为改造或试验工程,或零星应用。

## 3 国内自动化集装箱码头建设可借鉴之处

### 3.1 集装箱码头自动化模式选择

集装箱码头自动化模式包括全自动化和半自动化2种模式。

全自动化集装箱码头仅在船舶岸边装卸环节保留部分人工操作,水平运输和堆场环节完全实现自动化,具有最大限度地降低码头运营人工成本、保障码头内部集装箱装卸作业的安全性、节能减排等特点。但是与人工码头相比,目前还存在投资较高、难以达到人工码头的整体装卸效率等不足。从目前全球自动化集装箱码头分布看,全自动化集装箱码头约占自动化码头的1/3,主要

分布人工成本较高的地区。

半自动化集装箱码头仅在堆场环节实现自动化,在水平运输环节仍然保留人工操作,具有节省码头初期投资成本等优势。由于水平运输仍采用人工操作,因此码头前方作业效率与人工操作码头的基本可达相同水平,投资成本低,但是安全性等方面略有不足。半自动化集装箱码头约占自动化码头的2/3,主要分布在人工成本相对高的地区。随着技术的进步以及运营商对降本增效、环保节能的需求,全自动化码头将成为集装箱码头发展趋势,其技术先进性的优势将不断显现。

集装箱码头选择全自动化还是半自动化模式,需要考虑的主要因素包括前期投入、营运人工成本、安全要求、环保节能、作业习惯、场地形状以及作业效率等。对于在人口递减、人工成本昂贵和熟练劳动力匮乏的地区,全自动化集装箱码头应首先受到关注。当初期投资较大时可分阶段进行建设,先行建设半自动化码头,并预留改造升级为全自动化码头的空间。但是必须认识自动化码头的自动化程度是相对的,并非全部无人,目前岸桥还不能实现全部自动操作、箱区内的冷藏箱仍离不开人工接通和切断电源等。

### 3.2 全自动化集装箱码头装卸工艺模式选择

能否设计出符合自身特点的集装箱自动化装卸工艺是决定码头服务质量的关键。全自动化集装箱码头装卸工艺包括岸桥装卸船、水平运输和堆场装卸等作业环节,其中海侧水平运输环节是决定码头自动化程度和装卸工艺优劣的核心之一,堆场装卸工艺模式的选择决定港区的总体布置形式。

全自动化集装箱码头可在模式1~模式3中比较选择。海侧水平运输设备选用自动导引车时,为降低其与岸桥和堆场轨道吊的耦合,码头一般选择作业效率较高的双小车岸桥,堆场海侧端部设置集装箱交接区,采用“自动导引车+伴侣或提升式自动导引车+集装箱支架”实现自动导引车与堆场轨道吊解耦;而对于跨运车来说,其与单小车岸桥匹配作业即可达到码头预期效率,较容易

实现其与岸桥和堆场轨道吊的解耦。无论选择何种模式,自动化水平运输设备的路径规划和系统控制是整个码头运营效率提升的关键,此技术成熟、可靠是决策首要考虑的要点。

绝大部分自动化堆场采用自动化轨道吊工艺。考虑大型集装箱港口水-水中转量、港区间相互拖箱等因素以及集中作业的特点,自动化堆场可以采用无悬臂、单悬臂、双悬臂轨道吊混合布置的工艺模式,堆场布置时可根据上述因素的权重,通过混合布置不同轨道吊箱区的数量来满足堆场装卸系统效率和装卸环节能力匹配要求。对于20 ft集装箱业务量占比较大的码头,堆场应考虑双20 ft集装箱作业装卸工艺,以提升作业效率。

### 3.3 自动化集装箱码头核心系统的构建

自动化集装箱码头的核心系统应是具有高可靠性、高安全、高效率的管控一体化系统,包括码头操作系统和码头设备控制系统。其构建涉及识别、信息、管理、控制等多种技术。码头操作系统是各种指令生成及各类设备运行的指挥系统,是保证自动化码头高效运行的最重要组成部分;码头设备控制系统是码头操作系统指令的执行者,同时也是设备状态的反馈者,其在现场相当于操作员的角色。在自动化集装箱码头建设过程中,生产效率的提高、泊位通过能力的提升和综合能耗的降低主要决定于该核心系统的性能,应引起营运单位的高度关注,自动化集装箱码头的核心系统应选用成熟的技术,以提升作业安全性、可靠性和效率。

### 3.4 传统人工操作集装箱码头改造的思路

传统人工操作的集装箱码头在我国分布较广,多采用堆场平行于码头岸线布置,工艺系统采用“单小车岸桥+RTG+集卡”。随着国内用工成本增加以及节能减排的控制要求,许多码头营运单位都计划进行集装箱码头自动化升级改造。为进一步降低初期投资,一种有效途径是可先期利用现有设施进行堆场半自动化改造,而后择机进行全自动化改造。模式3即日本名古屋TCB码头的总体布局和工艺模式可为国内一些集装箱码头的自

动化改造提供借鉴,其堆场平行码头岸线布置,采用自动化轮胎吊工艺、自动导引车进堆场的方式来缩短自动化轮胎吊带箱行走距离,提高自动化程度的同时大大降低能耗,值得借鉴。

### 3.5 自动化集装箱码头建设标准

根据我国港口转型升级发展要求,我国作为世界集装箱港口大国,自动化集装箱码头的建设受到了港口运营商的关注,但是我国自动化集装箱港口建设起步较晚,缺乏有关技术规范和标准的系统指导,虽然国外自动化集装箱码头应用可以提供有益借鉴,但是系统性不够,因此,应在充分借鉴国外自动化集装箱码头应用的基础上,总结经验,在集装箱码头总体布置模式、自动化装备、工艺、控制技术、环保节能等方面形成行业技术标准,指导我国自动化集装箱码头的建设,实现我国自动化集装箱港口建设技术的跨越式发展。

## 4 结语

由于自动化集装箱码头在节省码头人力成本、提高港口通过能力、降低设备能源消耗、安全性等方面具有显著优势,因此在欧洲、亚洲、美洲及澳洲等地广泛应用。随着国内用工成本不断攀升以及全社会环境保护意识的增强和环保要求的提高,自动化集装箱码头已成为国内主要港口和码头运营商的关注焦点。了解国外自动化集装箱码头总体发展状况,对我国的自动化集装箱码头开发建设以及技术进步具有重借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 交通运输部.船舶与港口污染防治专项行动实施方案[R].北京:交通运输部,2015.
- [2] 交通运输部.关于推进港口转型升级的指导意见[R].北京:交通运输部,2014.
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.洋山深水港区四期工程自动化集装箱码头调研资料[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2013.
- [4] 刘广红,程泽坤,林浩.自动化集装箱码头总体布置[J].水运工程,2013(10):73-78.