



自动化集装箱码头总体布置

刘广红, 程泽坤, 林浩

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 我国作为世界第一大集装箱生产、运输国, 至今尚未有一座自动化集装箱码头投产运营, 开展自动化码头总体布置研究是自动化集装箱码头建设的关键。结合国内外自动化集装箱码头应用发展状况, 总结自动化集装箱码头几种常见的布置形式和特点, 针对某工程建设设想, 制定全自动化码头总体布置技术方案, 提出相关意见和建议, 可供类似工程参考。

关键词: 集装箱码头; 自动化; 装卸工艺; 港区布置; 交通组织

中图分类号: U 656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)02-0101-07

General layout of automated container terminal

LIU Guang-hong, CHENG Ze-kun, LIN Hao

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

Abstract: As the world's largest container producing and transportation country, there hasn't been one automated container terminal put into production and operation in China. The research on the general layout of automated container terminals is crucial for the container terminal construction. Based on the application and development status of automated container terminals both in China and abroad, several common layout types and characteristics of automated container terminals were summarized, aiming at the construction idea of some project, the technical solution for general layout of automated terminals are developed, and related comments and suggestions are proposed, which can be used for the reference of similar projects.

Keywords: container wharf; automation; handling technology; general layout; traffic organization

我国作为世界第一大集装箱生产和运输国, 至今尚未有一座自动化集装箱码头投产运营。近年来, 随着自动化集装箱码头技术在国际上陆续被成功应用, 国内的部分码头运营单位也分别提出建设自动化集装箱码头的要求。

相对于传统的集装箱码头, 自动化集装箱码头的主要优点表现为: 1) 提高作业的安全性和可靠性, 降低劳动强度, 减少人工成本; 2) 码头前方水平运输距离短, 效率高, 大大改善了港区内交通组织状况; 3) 形成“高密度”集装箱码垛堆场, 场地利用率高, 堆存容量大; 4) 装卸设备采用电驱动, 能耗低, 无废气排放, 噪音小, 等等。

从目前我国集装箱码头建设规模、技术水

平、营运管理能力等方面来看, 建设自动化集装箱码头已具有较为坚实的基础。自动化集装箱码头的建设涉及诸多建港关键技术, 而港区总图、工艺布置无疑是其中最为核心的技术内容之一。为此, 本文结合国内外自动化集装箱码头应用发展状况, 总结了自动化集装箱码头的几种常见布置形式和特点, 针对某工程建设要求, 制定了全自动化码头总体布置技术方案, 提出了相关建议, 可供类似工程参考。

1 自动化集装箱码头应用状况

1.1 国外

自1993年世界上第一座全自动化集装箱泊位

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 刘广红(1976—), 男, 高级工程师, 从事水运工程设计咨询工作。

在荷兰鹿特丹港ECT-Delta集装箱码头建成运营以来，多座自动化集装箱码头相继诞生。国外典型

的自动化集装箱码头见表1。
自动化集装箱码头主要体现在水平运输和堆

表1 国外典型自动化集装箱码头情况

码头名称	投产年	水平运输方式	堆场设备	备注
荷兰鹿特丹ECT	1993	AGV	一高一低可交叉作业的ARMG	堆场垂直于码头布置
荷兰Euromax	2010	AGV	接力式布置的ARMG	堆场垂直于码头布置
德国汉堡 CTA	2004	AGV	一高一低可交叉作业的ARMG	堆场垂直于码头布置
澳大利亚布里斯班	2005	自动跨运车	自动跨运车	堆场垂直于码头布置
英国伦敦Gateway	2013	跨箱搬运车（SC）	ARMG	堆场垂直于码头布置
新加坡巴西班让	1998	集装箱牵引车+半挂车	自动控制的高架桥式起重机	堆场平行于码头布置
日本名古屋Tobishima	2008	集装箱牵引车+半挂车	ARTG	堆场平行于码头布置

场装卸环节，其中水平运输环节主要采用自动导向车（AGV）、跨运车和立体装卸系统，堆场装卸环节主要采用自动控制的轨道式集装箱龙门起重机（ARMG）、高架桥式起重机、自动控制的轮胎式集装箱龙门起重机（ARTG），其中大部分自动化堆场采用ARMG。

集装箱跨运车又包括跨运车和跨箱搬运车（SC）2种机型。其中，跨运车一般是堆二过三或堆三过四型，采用跨运车装卸工艺系统的码头，其堆场作业和码头至堆场间的水平运输均由跨运车完成。SC则是在传统跨运车基础上发展而来的一种新的机型，机型高度小，堆一过一，质量相对较轻，可实现无人驾驶；利用其既能装卸又能水平运输的优点，主要被用于码头和堆场之间的水平穿梭搬运作业，只运不堆。

1.2 国内

近年来，连云港港、厦门港、上海港等港口也先后开展了全自动化集装箱码头的研究和应用工作。其中，连云港港是我国最先开展该项研究的港口，其选择的解决方案为“单小车岸桥+立体分配系统+ARMG”，该方案在理念和技术上较为先进，但基于综合造价等因素最终未能实施。厦门港是我国第一个实施全自动化集装箱码头的港口，其选择的解决方案为“双小车岸桥+AGV+ARMG”，该系统也是当今世界应用最为成熟、普遍的系统。近期，上海港正加紧全自动化集装箱码头的研究和探索，为未来建成世界上技术领先、规

模最大的自动化集装箱港区正开展相关研究。

2 自动化集装箱码头布置常用形式

2.1 半自动化码头^[2]

半自动化码头指仅在堆场装卸环节实现自动化，而水平运输环节仍为人工驾驶完成的集装箱码头。主要形式包括“SC（人工驾驶）+ARMG”、“集装箱牵引车+半挂车+ARMG”、“集装箱牵引车+半挂车+ARTG”及“集装箱牵引车+半挂车+高架桥式起重机”几种。从目前应用情况看，第一种形式较为普遍，其余3种形式均为零星应用。

1）“SC（人工驾驶）+ARMG”形式：堆场通常垂直于码头布置，ARMG跨内不设置集卡通道，沿轨道方向分别在海侧、岸侧设置缓冲区，作为前方跨箱搬运车和后方集卡的提、送箱作业区。堆场常见平面布置见图1。



图1 堆场箱区常见平面布置方式

2）其余3种布置形式：堆场布置与传统的非自动化堆场的布置基本相同，水平运输均采用集装箱牵引车+半挂车，堆场其中ARMG的布置方向可选择平行或者垂直于码头的进行布置，ARTG

及高架桥式起重机通常采用平行于码头布置, 每条作业线内均布置1~2条集卡通道。

2.2 AGV全自动化码头^[3]

AGV全自动化码头通常采用满堂布置形式, 工艺采用“双小车岸桥+AGV+ARMG”解决方案, 其装卸作业分别包括码头装卸、水平运输及堆场装卸3个环节。

码头装卸设备通常采用带中转平台的双小车岸桥, 中转平台解决岸桥和AGV之间作业的耦合和拆装集装箱锁销问题。岸桥轨距一般取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。

水平运输设备采用AGV, 即装备有电磁或光学等自动导引装置, 由计算机控制并且能够沿规定的导引路径自动行驶的运输车辆。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, 通常采用在运行路线上设置导向信息媒介的导引方式, 如磁钉等。AGV根据搬运任务要求, 由计算机管理系统优化运算得出最优路径后, 通过控制系统向AGV发出指令信息, AGV接受指令后通过机上的导向探测器检测到导向信息, 对信息实时处理后, 沿规定的运行线路行走, 完成搬运任务。AGV装卸车道布置于岸桥后伸距正下方, 车道数量主要根据最大设计船型同时作业的岸桥数量、类型及生产组织方式综合确定; AGV行驶车道布置在堆场侧, 车道数量根据港区作业量具体确定。码头前方作业区布置见图2。

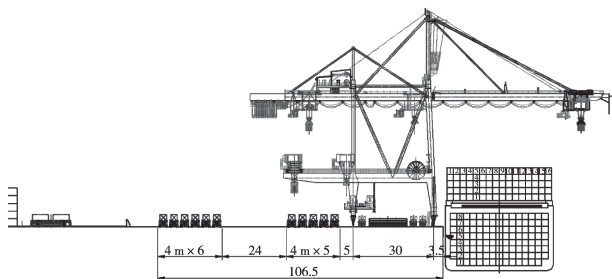


图2 码头前方作业区布置

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。ARMG通常采用垂直于码头布置, 堆箱区采用封闭、无人化管理, 每组ARMG轨道上配置2台ARMG。箱区海侧端为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, 解决水平运输和堆场装卸作业间的耦合问题。箱区陆侧端为集卡交换区, 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。每个箱区在陆侧端可设多个集卡装卸位, 集卡通过倒车方式进入堆区指定的装卸位作业。

2.3 跨运车全自动化码头

跨运车全自动化码头通常采用“单小车岸桥+SC+ARMG”解决方案, 其码头平面布置上要求采用满堂布置。相对AGV自动化码头, 其区别在于水平运输环节, 其它方面则大体相同。

SC装备有GPS自动导引装置, 由计算机控制并且能够沿规定的导引路径自动行驶。SC在码头取箱过程中, 无需等待岸桥落箱, 可直接从地面取箱后运输到堆箱区, 很好地解决了岸桥和水平运输作业的耦合问题。因此, 本类码头岸桥通常选择单小车岸桥。SC装卸车道布置于岸桥后伸距正下方, SC行驶车道布置在堆场侧, 车道数量确定原则与AGV相同。码头前方作业区布置见图3。

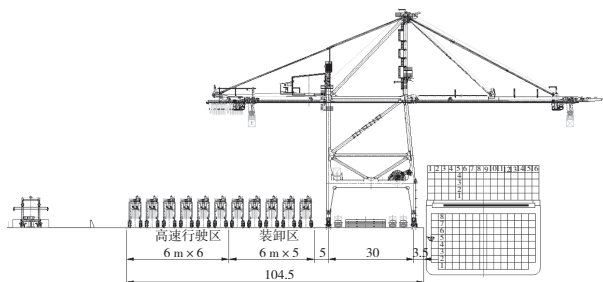


图3 码头前方作业区布置

2.4 立体分配全自动化码头^[1]

立体分配全自动化码头采用“单小车岸桥+立

体分配系统+ARMG”解决方案。

立体分配系统由高架式支承结构系统、起重小车、低架桥平板车、地面平板车组成。卸船作业时，低架桥平板车首先运行至岸桥后伸距下的“卸箱点”进行“接箱”，“接箱”后的低架桥平板车沿高架轨道运行至“转箱点”，集装箱在“转箱点”借助于起重小车将集装箱从低架桥平板车吊运旋转至地面平板小车进场，最后由ARMG取箱堆放。上述各动作的逆行可完成集装箱从堆场至船的装船流程。

立体分配全自动化码头堆场必须采用垂直于码头布置，堆场内装卸设备采用ARMG，根据轨距的不同，轨内布置集装箱和2组轨距为2.5 m的地面平板小车轨道，每组ARMG轨道上配置2台ARMG。因地面平板车可将集装箱送入堆场，故在堆场陆侧端无集卡提送箱时，陆侧的ARMG可与海侧的ARMG一同进行装卸船作业时的堆、拆垛作业，无需接力作业。

码头前方作业区断面布置示意图4，平面布置示意图5。

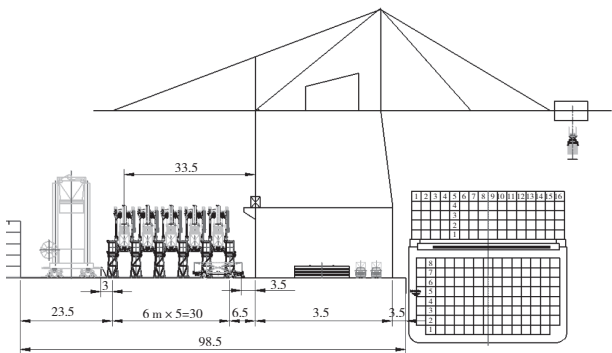


图4 码头前方作业区断面布置

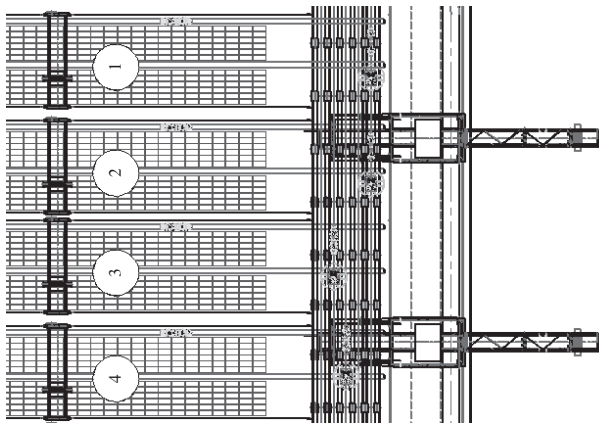


图5 平面布置

2.5 特点比较

自动化集装箱码头特点对比见表2。

表2 自动化集装箱码头特点对比

项目	适用规模	自动化程度	港内交通组织	同箱区多机作业	工人数量	环保节能	设备维护	设备投资
堆场自动化码头 (半自动化)	多泊位	堆场内自动化，水 平运输人工操作， 自动化程度低	堆场不能封闭，交 通组织较复杂，存在干扰	设备数量与堆场采用的 设备类型相关，通常同 箱区不超过两台作业	较多	水平运输仍采用燃 油设备，有废气排 放，能耗大	较低	较低
AGV全自动化 码头	多泊位	堆场、装卸船水平 运输实现全自动 化，自动化程度高	堆场全封闭，交 通组织简单，不 受外来车辆影响	同箱区限两台作业，存 在两机接力作业	较少	采用电力驱动设 备，无废气排放， 能耗低	较低	高
跨运车全自动化 码头	多泊位	同AGV全自动化码 头，自动化程度高	堆场全封闭，交 通组织简单，不 受外来车辆影响	同箱区限两台作业，存 在两机接力作业	较少	水平运输环节采用 燃油设备，有废气 排放，能耗较大	较高	较高
立体分配全自动 化码头	1~2个 泊位	同AGV全自动化码 头，自动化程度高	堆场全封闭，交 通组织简单，不 受外来车辆影响	同箱区限两台作业，不 存在两机接力作业	较少	采用电力驱动设 备，无废气排放， 能耗低	较低	最高

3 某集装箱港区全自动化码头总体布置研究

某集装箱港区拟建设一座世界技术一流、规模最大的全自动化集装箱码头，码头岸线长度2 350 m，布置7个5万~10万吨级集装箱泊位，年

设计吞吐能力达500万TEU。港区陆域为一条状地块，平均纵深约500 m。港区陆域北侧紧邻港外交通干道，港区对外交通主要通过疏港道路上预留的2处上、下匝道完成（图6）。

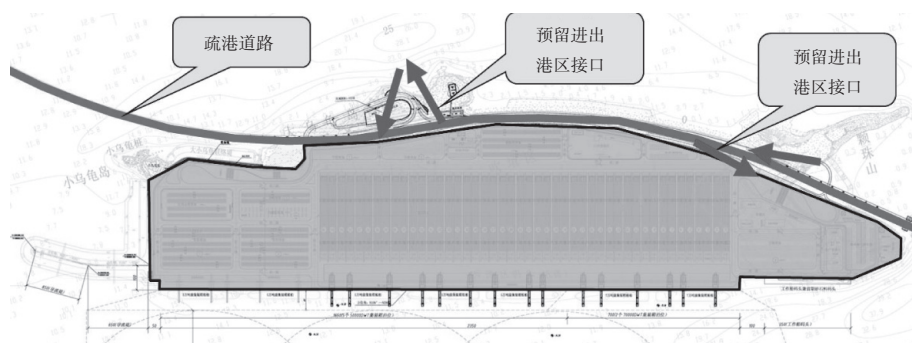


图6 港区平面状况

全自动化码头主要实现的是水平运输及堆场装卸环节的全自动化。鉴于本港区的建设规模已达7个泊位,在全自动化码头总体布置形式中,立体分配全自动化码头已不能适用,因此主要在AGV全自动化码头和跨运车全自动化码头两种形式的进行比选研究。

3.1 AGV全自动化码头方案

根据该港区陆域及港外交通条件,为适应全自动化装卸工艺系统的作业特点,港区总体布局采用“东进西出”的布置形式。该布置形式港外交通组织简单、顺畅,进、出港车流有序;港内交通冲突点大为减少,提高了通行效率。

港区陆域按功能可划分为码头前方作业区、全自动化堆场、非自动化重箱堆场(冷藏箱、超限箱)、危险品箱堆场、空箱堆场及生产辅助设施区。

码头采满堂式布置,前方作业区布置总宽度为106.5 m,见图2所示。其中,码头岸桥轨距30 m,轨内设3条作业通道及舱盖板堆存区。岸桥陆侧轨道与堆场间分别布置5 m安全距离(含围网)、5个AGV装卸车道、调头及等待区域、6个AGV行驶车道。

全自动化堆场位于码头前方作业区后方,采用垂直码头布置形式,内设62条ARMG作业线。ARMG轨距为31m,跨内布置10列箱;相邻ARMG作业线的间距分别为4m和6.5m。每条ARMG箱区轨道上配置2台ARMG。箱区海侧、陆侧分别设置AGV交换区和集卡交换区。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。为解决水平运输和堆场装卸作业间的耦合问题,每个AGV交换区布置有若干套AGV伴侣,当AGV进入该区装卸集装箱时可无需等待ARMG的及时服务,由AGV伴侣及时对AGV进行起、落箱以减少AGV在堆场区的等待时间,然后再由ARMG对AGV伴侣进行装卸从而完成集装箱的进、出场作业。同时,在两套AGV伴侣之间布置有1条AGV 应急装卸道,以便在AGV 伴侣出现故障时ARMG可直接对AGV 进行装卸作业。AGV交换区也可作为海侧自动化轨道吊的故障维修区。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。每个箱区在陆侧端设4个集卡装卸位,集卡通过倒车方式进入堆区指定的装卸位。集卡交换区也可作为陆侧自动化轨道吊的故障维修区,轨道长度满足陆侧轨道吊出现故障后海侧轨道吊可对集卡作业的工况。AGV交换区和集卡交换区布置见图7。

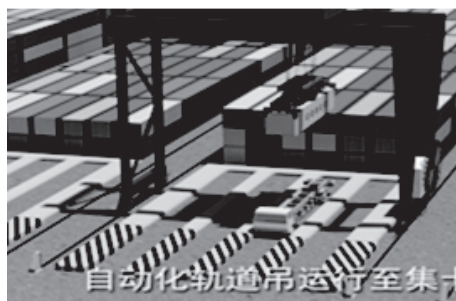


图7 AGV交换区和集卡交换区布置

对于非自动化重箱堆场、空箱堆场的布置考虑尽可能利用陆域北侧、东侧地块,陆域的

中心地块则最大程度地供给全自动化堆场。危险品箱堆场布置于夏季常风向的下游，即港区陆域的西北角。非自动化重箱堆场采用ERTG装卸工艺，ERTG跨距23.47 m，布置形式为（6+1）、

（1+6），即每条作业线跨下布置6列集装箱和一条集卡通道。危险品箱堆场采用正面吊进行装卸，空箱堆场采用空箱堆高机进行装卸。AGV全自动化码头方案平面布置见图8。

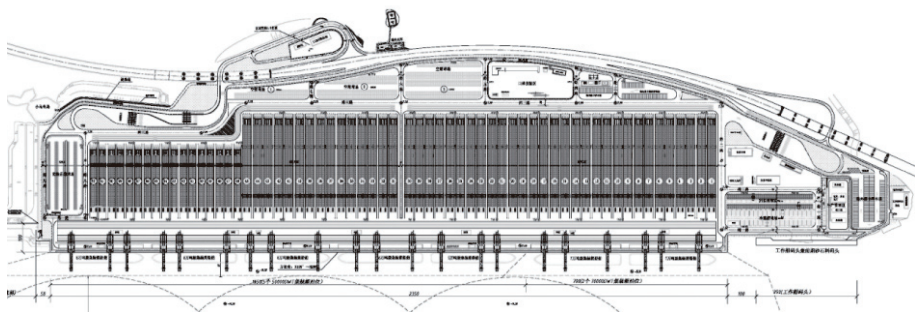


图8 码头平面布置

3.2 跨运车全自动化码头方案

跨运车全自动化码头方案的布置相对于AGV全自动化码头，主要差别在于码头前方作业区的布置。本方案码头前方作业区布置总宽度为104.5 m。其中，码头岸桥轨距及轨内布置与AGV方案相同。岸桥陆侧轨道向岸分别布置5 m安全距离（含围网）、装卸区5个SC车道、高速行驶区6个SC车道（图3）。

3.3 方案比选及推荐

经对AGV全自动化码头及跨运车全自动化码头方案的比较，AGV全自动化方案在节能、环保、使用成本、应用经验等方面具有一定的优势，而跨运车全自动化码头在设备投资上具有一定优势，研究推荐本工程采用AGV全自动化方案。该全自动化集装箱码头年设计通过能力可达500万TEU。

4 结语

1) 全自动化集装箱码头技术已为世界上越来越多的港口所采用，必然成为集装箱港口未来的发展趋势。相对于传统的集装箱码头，其主要优点包括作业的高安全性和可靠性，低劳动强度和人工成本；水平运输效率高、港内交通组织状况好；通过“高密度”集装箱码垛堆场提高堆存容量和场地利用率；装卸设备电气化，节能环保优

势明显。

2) 全自动化集装箱码头通常采用满堂布置形式，码头岸桥轨内主要用于布置特殊箱作业通道及舱盖板堆存区，岸桥与堆场之间用于布置水平运输设备作业通道、行驶车道及调头、等待区域，堆场通常采用垂直于码头布置。

3) 目前世界上应用或在研的全自动化码头技术解决方案主要包括AGV、跨运车及立体分配3种形式。

其中，AGV方案是当今世界应用最广也是唯一完全意义上的全自动化码头方案，其码头装卸、水平运输及堆场装卸均采用电气化设备并实现无人操作，在节能、环保及运营成本上相对传统集装箱码头具有较大的优势，但另一方面其也存在设备投资大、操作管理要求高等不足。

跨运车方案也为世界上多个码头所应用，但目前仍未实现完全意义的全自动化，因其水平运输环节（SC）虽从技术上可实现无人操作，但尚不成熟，目前仍采用人工操作。跨运车方案相对AGV方案在水平运输设备与岸桥及ARMG的耦合性上具有较大优势，不需要配备双小车岸桥，跨运车本身的数量也相对AGV大为减少，因此整个装卸系统的设备投资要大为减少，其不足主要是因SC为内燃机驱动，且自动化控制技术尚不成熟，在节能和自动化程度上稍显不足。

立体分配方案是我国自主研发的一种自动化解决方案,其水平运输通过低架和地面轨道式平板小车完成,整个装卸过程实现全电气化、自动化,装卸效率高,技术上较为先进。但相对前两种方案,其工艺系统较为复杂、设备投入高、水平运输系统对地基要求高且只能适用于2个泊位以内的建设规模,目前仍未有成功应用经验。

4)在类似工程咨询决策过程中,应结合工程自身的建设条件及需求,选择适用的自动化码头解决方案,同时应综合考虑建设投资、效益、效率、操作人员素质以及对于集装箱码头投资关注的焦点等因素。

参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港港庙岭三期突堤工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2005.
- [2] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 上海国际航运中心洋山深水港区三期工程装卸工艺方案[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2006.
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 厦门远海集装箱码头全自动化改造一期工程工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

(本文编辑 郭雪珍)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

自动化集装箱码头具有提高作业的安全可靠性、减少人工和降低劳动强度,缩短水平运输距离、效率高、改善港区内交通组织,集装箱码垛高效精准、堆场利用率高以及节能环保等多方面突出的优点。

本文结合国内外自动化集装箱码头应用发展状况,详细分析和比较了自动化集装箱码头的3种典型布置形式和工艺特点。还以国内某拟建港区为例,按照其技术世界一流、规模最大的自动化集装箱码头的建设要求,通过不同方案的比较,推荐了AGV全自动化码头总体布置技术方案,并在归纳总结的基础上提出了相关建议,对我国发展和提升自动化集装箱码头的建设水平具有很好的借鉴意义。

✓
金国强

2014年12月

评委简历:



金国强,男,教授级高工,浙江省交通规划设计研究院副总工程师。

主持或主要参与了数十项港口与航道项目的前期研究和设计工作,如舟山煤炭中转码头、乐清电厂码头与航道工程、京杭运河(浙江段)三级航道整治工程等,有近15项技术成果获得省、部和国家级咨询成果及优秀设计奖;在国家核心期刊上发表论文10余篇。