

· 智能装备 ·



# 全自动化集装箱码头水平运输方式对比

罗勋杰

(上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

**摘要:** 自动化集装箱码头水平运输方式优选是码头装卸工艺及总平面设计需要解决的问题。基于目前世界全自动化码头水平运输工艺系统应用现状, 围绕技术参数、效率、能力、能耗、成本及技术先进性等要素, 对两种主要的运输方式进行了定性及定量对比分析。

**关键词:** 自动化; 集装箱码头; 水平运输; 装卸工艺; 优选比较

**中图分类号:** U 652.7<sup>+</sup>2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2016)09-0076-07

## Comparison of horizon transportation system of full automatic container terminal

LUO Xun-jie

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

**Abstract:** One of key problems for design of both handling system and the general layout planning of an automatic container terminal (ACT) is to optimize and choose horizon transportation system. Based on current statements of the handling system of full ACT in the world, we present a comparative study between AGV system and (A) SHC system by analysis of both qualitative and quantitative, which is concerned with technical parameters, productiveness, capacities, energy consumption, investment and costs, technical advantages and so on.

**Keywords:** automation; container terminal; horizon transportation; handling system; optimization and comparison

自欧洲鹿特丹港 ECT 码头 1993 年投入运行以来, 自动化集装箱码头取得了巨大进步和长足的发展<sup>[1]</sup>。特别是以堆场作业系统自动化为代表的半自动化码头, 在全球得到广泛应用, 其技术、设备、工艺及其控制系统非常成熟, 主要有两种类型: 自动轨道吊 (automatic rail-mounted gantry crane, ARMG) 和自动轮胎吊 (automatic rubber-typed gantry crane, A-RTG)<sup>[2]</sup>。船舶作业桥吊自动化, 主要采用远程操作 (remote control, 简称 RC) 自动化桥吊实现<sup>[3]</sup>。水平运输系统自动化, 由于涉及许多随机的路由决策和交通规划等智能化问题, 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, 是目前全自动化集装箱码头工艺系统比选的重点和难点。

目前全自动化集装箱码头水平运输自动化系统主要采用两种方式, 即自动导引运输车 (automatic guided vehicle, AGV) 和自动跨运车 (automatic shuttle carrier, A-SHC)<sup>[4]</sup>。根据目前世界范围内两种运输方式实际使用情况, 以及各设备厂商提供的设备技术资料, 围绕设备技术参数、码头作业效率、吞吐能力、投资及成本等方面, 对两种自动化水平运输方式进行分析对比, 最后结合我国实际国情和目前港口发展实际需要, 提出了适合我国自动化集装箱码头水平运输方式优选的原则建议。

**收稿日期:** 2016-06-16

**作者简介:** 罗勋杰 (1967—), 男, 博士, 高级工程师, 从事港口运营管理、港口工程项目及技术管理、港口自动化及信息化、港口交通运输规划等工作。

## 1 自动化集装箱码头水平运输方式现状

### 1.1 装卸工艺方案及其设备选型特点

从目前世界上已投产或在建自动化码头的装卸工艺来看，全自动化集装箱码头的装卸工艺系统主要有3种方案：

1) 桥吊 QC+AGV(自动引导车)+ARMG(自动轨道吊)。

2) 桥吊 QC+L-AGV(带举升的AGV)+ARMG(自动轨道吊)。

3) 桥吊 QC+A-SHC(自动跨运车)+ARMG(自动轨道吊)。

总体来看，堆场自动化设备统一采用自动轨道吊(ARMG)方案，自动化轨道吊技术成熟、安全可靠、环保低碳、效率较高。岸桥形式上有单小车和双小车之分，关键看设计效率要求及水平运输方式。目前水平运输采用AGV的码头大多采用双小车岸桥，而采用跨运车的码头采用单小车岸桥较多<sup>[5]</sup>。同时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上。

### 1.2 已投产的自动化集装箱码头水平运输方式选择

目前已投产的自动化集装箱码头，采用AGV和跨运车方案的情况见表1。

### 1.3 在建的自动化集装箱码头水平运输方式选择

目前在建的或即将投产的自动化码头，采用AGV和跨运车(或ASH)水平运输情况见表2。

### 1.4 目前世界自动化集装箱码头水平运输方式现状

1) 全球的自动化集装箱码头水平运输方式基本以AGV与跨运车为主，部分辅以人工操作的集卡运输。

2) 在跨运车方面，从目前各码头运作的实际情况来看，除美国MOL的TraPac码头及澳大利亚布里斯班Patrick码头采用无人自动跨运车(A-SHC)外，其他码头的跨运车运输依然通过人工操作或人工干预操作的方式完成。这些码头实行的是堆场自动化作业模式，而水平运输没能实现自动化模式，即半自动化码头。

表1 已投产自动化码头水平运输方式

码头名称	水平运输方式
汉堡 HHLA-CTA 码头	AGV+ARMG
汉堡 HHLA-CTB 码头	SHC+ARMG
荷兰 ECT 码头	AGV+ARMG
荷兰 Europmax 码头	AGV+ARMG
法国 LE HAVRE 港 SETO-MSA 码头	SHC+ARMG
韩进西班牙 TTI 码头	SHC+ARMG
DPW 比利时泽布鲁日码头	SHC+ARMG
美国 APMT 弗吉尼亚码头	SHC+ARMG
澳大利亚 Patrick 码头	A-SHC 自动跨运车+ARMG
英国泰晤士港	ARMG (CRMG) +集卡
香港 HIT 码头	ARMG+集卡
PSA 新加坡码头	ARMG+集卡
韩国釜山 BNCT 码头	ARMG+SHC
台湾台北港	ARMG+集卡
台湾阳明码头	ARMG+集卡
日本川崎港	ARMG++CRMG+集卡
新加坡港 PSA 班让码头	天车桥式起重机 (ARMG)+集卡
日本东京港万海码头	CRMG+集卡
台湾高雄港长荣码头	CRMG+集卡
日本名古屋港飞岛码头	A-RTG+集卡
英国伦敦 DPW 的 London gateway	ARMG+SHC
澳大利亚布里斯班和黄码头	ARMG+SHC
阿联酋阿布扎比码头哈利法港	ARMG+SHC

表2 在建自动化码头水平运输方式

港口名称	首期投产年份	AGV 或 自动跨运车 (A-SHC)
美国洛杉矶 MOL 的 Trapac 码头	2014	A-SHC+ARMG
荷兰鹿特丹 DPW 的 RWG	2015	RQC+EL-AGV+ARMG
荷兰鹿特丹 APMT MV2	2014	RQC+EL-AGV+ARMG
意大利马士基 Vado 码头	2014	SHC+ARMG
美国东方海外 LBCT	2014	(R)QC+EL-AGV+ARMG
美国新泽西码头	2014	SHC+ARMG
澳大利亚布里斯班 Patrick 码头	2015	A-SHC+ARMG
阿联酋 DPW 迪拜 T3 码头	2015	AGV+ARMG
新加坡 PSA 码头	2016	AGV+ARMG
釜山 2-4/2-6 项目	2018/2020	SHC+ARMG

3) 目前全自动化集装箱码头鹿特丹 RWG、鹿特丹 APMT2、美国长滩 OOCL 的 LBCT 这3个在建码头，以及中国厦门、青岛和上海洋山港，其水平运输方式全部采用了电池驱动带举升AGV(伴侣)。

4) 从地域来看，欧洲集装箱码头自动化发展

比较早、也比较快,投入实际运行项目多,亚洲主要以堆场自动化为主。

5) 在水平运输自动化方面,采用AGV的项目比A-SHC项目多,是目前的主流方式。

### 2 自动化码头各水平运输方式单项目比较分析

由于考虑到以实现集装箱码头全自动化运作

管理为目的,以目前已投产或在建码头所采用的水平运输方式为基础,重点对AGV与跨运车两种运输方式在技术参数、码头平面总体布局、运作能力、生产效率、投资成本、运营成本等方面进行单项目比较分析与客观评价<sup>[6]</sup>。

#### 2.1 设备<sup>[7]</sup>

设备基本规格技术参数及特性比较见表3。

表3 AGV与跨运车基本规格技术参数对比

运输方式	驱动方式	设备自质量/t	载质量/t	轮压/kN	轮胎型号	外形尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	最高运行速度	设备功率/kW	能耗指标
AGV/L-AGV(举升)	油电或铅酸电池、锂电池或气电混合	34、39	40、60	185、250	21.00 R25(4个轮子)	14 800×3 000×1 700	前进/后退:6m/s 转弯:3m/s 横行:1m/s	120、288	柴电:7~8 L/h 电池:21 kW·h/h
ASH跨运车	油驱动/油电混合	47	40、50	152、170	480/95-25(6个轮子)	9 350×5 000×10 445	满载:30 km/h, 20 km/h 空载:30 km/h 转弯:5 km/h 起升(F/E): 9 or 13/20 m/min	77、272、350	油:14.5 L/h
导航方式	定位精度/mm	维护工作	自动化程度 <sup>[7]</sup>	环保性能	岸桥衔接	场桥衔接	需要辅助设施		
地面磁钉	±25	与SC相比无起升机构和吊具,维护量较小;如采用电池AGV,维护量更小	自动化程度高、实际应用广泛	使用电池AGV噪声低、无废气排放、环保条件好	需相互等待	通过AGV伴侣或采用提升式AGV可形成缓冲	需充电(气)设施		
DGPS+现场定位雷达	±500	维护工作较大,机构复杂,维护成本高	人工驾驶案例多、自动化刚起步、案例不多	使用柴油发电机驱动、环保条件较差、液压部件多、易漏油污染	箱直接落地、桥吊不需等待、相互不干扰	箱直接落地、不需等待、相互不干扰	需加油设施(车)		

#### 2.2 对码头总平面布置影响

以QC-AGV(SHC)-ASC装卸工艺系统为例,假设3台桥吊同时作业,配备3条水平运输作业线同时作业条件下,堆场箱区采用垂直布置,并配备自动堆场轨道吊ASC时,比较分别采用AGV

和SHC(跨运车)时,码头前沿水平作业运输区域所需平面尺寸<sup>[8]</sup>。

##### 2.2.1 AGV作业区域布置

Cargotec Kalmar根据实际的运作和理论分析给出的有关AGV作业区域布置,见图1。

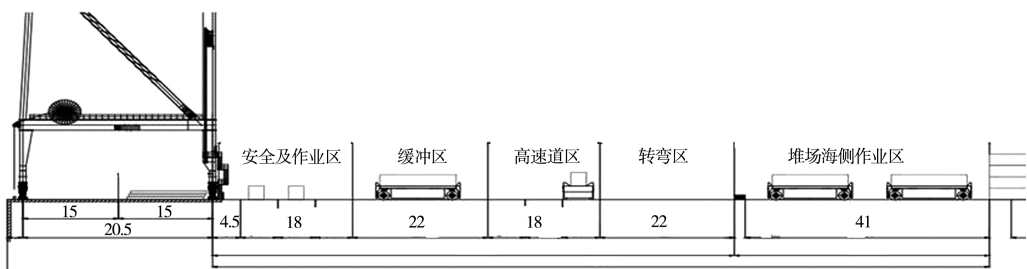


图1 AGV堆场截面布置(单位:m)

其桥吊陆侧轨道到堆场垂直箱区间，主要包括5个部分，即桥吊下AGV作业区、AGV缓冲区、AGV高速运输区、AGV进出箱区转弯区及AGV在堆场海侧装卸作业区。各区间宽度见图1。

### 2.2.2 跨运车 SHC(A-SHC)作业区域布置

CargotecKalmar 根据人工操作的跨运车模式实际应用案例及设备技术参数理论分析，给出跨运车

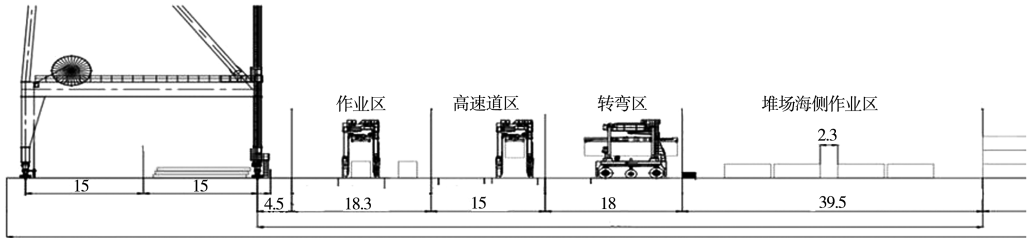


图2 跨运车 SHC 码头前沿堆场截面布置 (单位: m)

### 2.2.3 AGV 与 SHC 跨运车作业区域布置情况对比

从图1、2对比可以得出两种运输方式的布置参数(表4)。为公平起见，在SHC方案2中，将

作业区域布置(图2)。目前澳大利亚布里斯班Patrick码头和美国洛杉矶Trapac码头采用自动化油电混合跨运车，因设备技术参数相同，图2也适用。

其桥吊陆侧轨道到堆场垂直箱区间，主要包括4个部分，即桥吊下SHC作业区、SHC高速运输区、SHC进出箱区转弯区及SHC在堆场海侧装卸作业区。

SHC高速通道从2条调整为3条。对方案1中AGV单条道宽度，按目前实际使用情况进行了调整修正，形成了方案3。

表4 AGV 与跨运车作业区域布置参数比较

水平运输方式	方案编号	QC 陆侧轨道安全间距/m	QC 作业区宽度(3条作业道)/m	缓冲区/m	高速道宽度(3条通道)/m	转弯区域/m	堆场海侧作业区/m	合计/m
AGVV	1	4.5	6×3=18.0	22	6×3=18	22	41.0	125.5
SHC(A-SHC)	2	4.5	6.1×3=18.3	0	7×3+1=22	6+12=18	39.5	102.3
AGV(修正后)	3	5.0	4×4=16.0	22	5×3=15	18	41.0	117.0
方案比较	方案2-方案3	-0.5	2.3	-22	7	0	-1.5	-14.7

从表4中可以发现如下几个异同点：

1) 总体来讲跨运车系统方式占地面积较小，其主要原因是需要设缓冲区，可以节约堆场近2个20ft(6.1m)箱位。

2) AGV由于外形宽度小，在作业区和高速运输区可以多条布置，并能较大节约前沿占地尺寸。

3) AGV方式在大型船舶作业码头优势明显。SHC在中小型船舶作业码头优势明显。

4) SHC方案不设缓冲区，在大型码头特别是大型船舶7条以上QC作业线同时作业一条船时，是否会影响作业效率和作业安全，还需要实践验证。

### 2.3 营运效率

图3是基于荷兰TBA仿真平台测试出的两种水平运输方式所对应的桥吊效率结果对比。1)在岸桥与水平运输低配比(1:2)的情况下，跨运车对应的

岸桥效率为36.6箱/h，优势明显，而AGV对应的岸桥效率仅为30.5箱/h。2)但在高配比(1:5)的情况下，AGV体现出略微的优势。3)在满足桥吊40箱/h效率时，所需的水平运输机械数量不同，ASH需3台，而L-AGV则需要至少4台，ASH跨运车的效率优势更加明显。4)在满足桥吊45箱/h以上效率时，ASH数量增加对提高效率影响不大；但L-AGV随着数量增加，对桥吊效率提高作用明显。

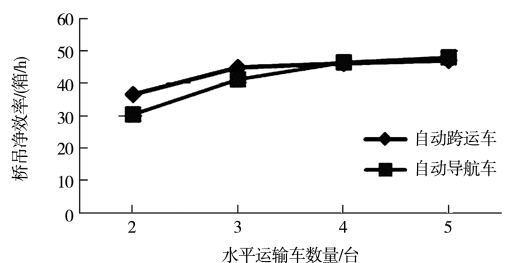


图3 AGV 与跨运车方式下桥吊单机作业效率比较

### 2.4 营运成本

#### 1) 各项成本指标比较分析。

假设2个泊位，每个泊位配4台桥吊，全年码头作业时间为3 333 h(以桥吊平均完成15万TEU/a，或10万Moves/a)，油耗价格为1.00欧元/L。水平

运输设备分别采用自动化柴油跨运车(A-SHC)、燃油AGV或带举升功能的燃油AGV(L-AGV)。通过欧洲码头样本采样，得出如下能耗成本和维修成本的对比比较(表5)。

表5 AGV与跨运车营运成本对比

2个泊位的车队 (2×4岸桥)	配置车辆 总数/台	单车平均小时 油耗/(L/h)	单车年度消耗 成本/(欧元/a)	单作业线年油耗 总成本/欧元	单车年度维修/ (欧元/a)	单作业线年维修 总成本/欧元	合计单作业线年度 总成本/欧元
A-SHC	20	14.5	48 329	966 570	44 200	884 000	1 850 570
AGV	48	7.0	23 331	1 119 888	20 250	972 000	2 091 888
L-AGV	32	10.0	33 330	1 066 560	24 675	789 600	1 856 160

从表5中各项营运成本对比来看，单作业线年度总费用上，自动跨运车A-SHC要比AGV低，但同L-AGV持平(减少了配置数量)。如果AGV全部改用电池驱动，同燃油A-SHC相比，将有非常大的优势。

#### 2) 单箱营运总成本比较分析。

在单箱营运成本比较中，主要比较4项关键成本指标：劳动力、能源、维修保养及资产购置。从图4单箱运营总成本的比较中可以明确看出，不同水平运输方式对应的单箱运营成本分项优势各有不同，单箱总成本比较结果是：AGV>跨运车>L-AGV。尤其明显的是能量消耗和维护成本，SHC明显较高。目前跨运车尚无全电池驱动，运营后发动机保养维修的方式成为其最大的挑战。

里斯班Patrick码头和美国洛杉矶Trapac码头目前正在建设并试用自动跨运车A-SHC，大面积使用还需实践检验。

#### 2) 与岸桥衔接。

AGV无接卸能力，与单小车桥吊配合作业会影响桥吊效率，必须配置双小车桥吊。A-SHC可自行接卸，与单小车桥吊配合作业不会影响桥吊效率。

#### 3) 与场桥衔接。

AGV需等待，可通过AGV伴侣或L-AGV堆场支架解决，缓冲能力弱。A-SHC不需等待，缓冲能力强。

#### 4) 交通组织。

AGV配置数量多，通常情况1台桥机配置5~8台AGV，易造成交通堵塞。A-SHC配置数量少，通常情况1台桥机配置3~4台跨运车，交通组织方便。

#### 5) 能耗比较。

AGV自质量小，能耗较低，可采用锂电池驱动，环保性能好，但用电量高。A-SHC自质量大，配置的动力功率大，单机能耗高于AGV，可采用锂电池驱动。

#### 6) 系统耦合性。

在实时作业中与轨道吊和岸桥两端的耦合性方面，由于跨运车具有自装卸能力，作业中不影响岸桥单机作业效率，系统作业效率提升的空间大；而AGV无接卸能力，必须配置双小车岸桥和L-AGV支架或AGV伴侣，系统作业效率提升的空间受限。

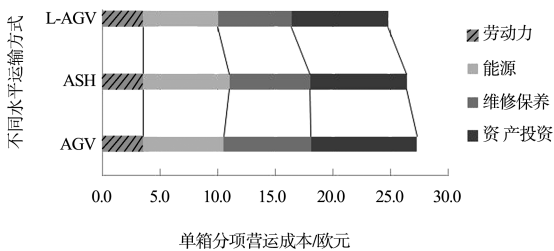


图4 AGV、L-AGV与跨运车(ASH)单箱营运成本对比

## 3 自动化集装箱码头各水平运输方式综合比较

### 3.1 系统性综合比较

#### 1) 自动化应用。

AGV：自动导航，技术成熟，实际使用案例比较多。

SHC：目前基本为人工驾驶，仅澳大利亚布

7) 操控模式

SHC 跨运车可采用人工/自动双控模式，增加码头作业的兼容性，在自动化码头投产初期，系统操作管理不稳定时，可平稳过渡。AGV 只能采用自动模式。

3.2 设备 KPI 指标综合比较

从表 6 可以看出，跨运车用能高、对环境污

染大，同时车队管理系统目前大规模应用少，全自动操作的系统应用案例少。此外，维修费用比其他水平运输系统都高。相比之下，提升式的 AGV 在投资费用和性能上都优于普通的 AGV，同时电能提升式 AGV 比柴油机的 AGV、跨运车在环境保护上更有优势。

表 6 KPI 指标对比

设备类型	硬件系统	车队管理	燃料/电能使用	环保	岸桥生产效率	维修费用	投资	人力成本	安全性
D-AGV	好	好	一般	一般	一般	一般	差	好	好
E-AGV	好	好	好	好	一般	好	差	好	好
DL-AGV	一般	好	一般	一般	好	一般	一般	好	好
EL-AGV	一般	好	好	好	好	好	一般	好	好
SHC 跨运车	差	差	差	差	好	差	一般	好	好

3.3 系统综合评价比较

从表 7 可以看出，RMG/CRMG+跨运车工艺系统目前在操作性、IT 系统和项目应用上大规模应

用仍然不成熟，同时在运营成本上其能源消耗和修理费用较高。

表 7 系统综合评价对比

工艺方案	安全性	操作复杂性	堆存能力	运营成本	投资成本	场内车和轨道吊的混合	IT 复杂性	项目应用情况	码头运行情况
跨运车	好	差	一般	差	一般	好	差	差	差
EL-AGV	好	一般	好	好	差	好	一般	好	一般
L-AGV	好	好	好	好	一般	好	一般	好	好

4 自动化集装箱码头水平运输工艺系统比较结论及选择要点

1) 从目前全球自动化集装箱码头主流趋势来看，跨运车 SHC 水平运输方式是半自动化码头主流方式，AGV 在全自动化码头采用的比较多。

2) 从绿色环保低碳角度出发，EL-AGV 将是最好选择。目前 SHC 还处于油或者油电混合动力阶段。

3) 从全自动化码头的 TOS 和 ECS 系统控制复杂和成熟程度来看，目前 AGV 控制系统因应用案例多，比 SHC 成熟度有优势。

4) 从桥吊作业效率来看，因 SHC 在 QC 和 ASC 两端不需等待，系统耦合性好，效率相对较高。但因 SHC 自质量大，其载质量不能满足 61 t 双 20 ft 同时作业需要，也限制了未来其效率提高的空间。

5) 从船舶效率稳定性来看，AGV 的稳定性比 SHC 要高。

6) 从设备总投资角度来看，SHC 因每条作业

线配置数量少，不需要使用电池，其投资较少。

7) 从营运成本来看，SHC 维修成本及故障率比 AGV 高；能源成本方面 SHC 比 AGV 高；劳动力成本 AGV 有优势。

8) 从土地节约来看，因 SHC 不需要缓冲区，比 AGV 具备一定优势。

5 结语

1) 绿色港口方面。以 LNG 或氢气清洁能源为特征的混合气电驱动动力系统或纯气驱动系统发展，可真正实现码头 CO<sub>2</sub> 零排放。

2) 能源技术方面。随着电池材料(如锂、钛锂及石墨烯等新材料)以及充电技术(快速充电、机会充电、无线充电)的发展，为其降低成本、提高效率创造了很大空间。

3) 自动化设备硬件方面。新型合金材料发展使 AGV 和 SHC 逐渐轻型化，载质量也逐渐提高，降低营运成本。

4) 自动化设备软件方面。随着算法、IT 技术、人工智能和现代通讯和网络技术发展, 以及移动互联应用水平提高, 将大大推动设备控制系统 (equipment control system, ECS) 智能化发展, 从而提高作业效率、降低成本、提高码头安全性。

5) 运输工艺系统方面。全自动化 A-SHC 在全自动化码头应用比例将不但提升。

6) 设计与优化技术方面。仿真技术及公共仿真测试平台广泛应用于码头工程设计、工艺系统改进与优选、码头建成后的日常生产组织优化。

7) 码头智能化作业管理系统方面。云计算、大数据及移动互联等新技术的发展, 不断推动自动化码头作业管理系统 (terminal operations system, TOS) 向更高端智能化、智慧化方向发展。

**参考文献:**

[1] North Carolina State Ports Authority, CH2M Hill. North Carolina international terminal infrastructure report [R].

USA: North Carolina State Ports Authority, 2008.

[2] Zhen L, Lee L H, Chew E P, et al. A comparative study on two types of automated container terminal systems[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2012(1): 56-69.

[3] 赵彦虎. 新型自动化集装箱码头装卸工艺系统研究[J]. 港口装卸, 2009(3): 22-24

[4] Bae H Y, Choe R, Park T, et al. Comparison of operations of AGVs and ALVs in an automated container terminal[J]. Intelligent and Manuf, 2011, 22: 413-426.

[5] 彭传圣. 以跨运车代替拖挂车的集装箱码头工艺方式[J]. 水运工程, 2005(10): 21-27.

[6] 杨瑞, 谢文宁. 自动化集装箱码头的装卸工艺及设备[J]. 集装箱化, 2010(3): 2-4.

[7] 李海波. 集装箱自动引导车系统的应用及技术特性分析[J]. 港口装卸, 2010(3): 15-18.

[8] 林浩, 唐勤华. 新型集装箱自动化码头装卸工艺方案探讨[J]. 水运工程, 2011(1): 158-163.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 75 页)

6) 放射性监测设备: 设备布置于四期港内出场闸口两条通过式车道, 置于淋消毒设备前沿。使用岛头前沿的 OCR 识别设备辅助完成此项业务。不同于传统码头, 该设计无需检验检疫人员现场监控, 提升作业效率, 降低用工成本, 改善作业人员的工作环境。

**3 结语**

1) 分析洋山一、二、三期传统码头检验检疫查验设施布置方式, 发现其存在设施无法完全满足业务需求、留验病房设置过于简易、人力成本高、作业环境差等缺点。

2) 对查验平台、留验病房、查验区围网等布置方式进行创新, 以提升码头土地资源利用率, 实现码头检验检疫全覆盖。

**参考文献:**

[1] 俞文波. 海港口岸对外开放检验检疫基本需求条件研究[J]. 经营管理者, 2015(11): 52-57.

[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四期工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2014.

[3] 郭子成. 综合保税区的功能解析及空间组织模式[J]. 规划师, 2012, 28(S1): 75-79.

(本文编辑 郭雪珍)