



# 自动化轨道吊堆场外集卡交接区布置模式比较

罗勋杰

(上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

**摘要:** 合理选择并设置自动化堆场海、陆侧堆场交接区布置形式, 是自动化码头总平面及工艺系统设计中需要解决的关键问题之一。在总结分析国外现有自动化集装箱码头采用垂直布局的自动化轨道吊堆场陆侧集卡交接区类型基础上, 总结归纳出4种布置模式, 比较了其各自的特点。分析外集卡交接区功能配置和作业模式, 轨道吊形式、跨距及高度确定方法, 集卡车位数及参数、司机操作亭及安全控制, 提出了3种轨道吊堆场陆侧交接区标准布置形式、尺寸、作业及控制流程, 并在我国大型全自动化集装箱码头洋山四期工程得到实际应用。

**关键词:** 自动化轨道吊; 自动化堆场; 陆侧交接区; 布置模式

中图分类号: U 652.7<sup>+</sup>2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)09-0027-08

## Comparison of layout models of handling area in landside of automatic RMG's yard

LUO Xun-jie

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

**Abstract:** One of key issues for design of the general layout plan and the handling system for an automatic container terminal is how to reasonable choose and set the layout model of both seaside and landside of automatic yard. Based on summary and analysis of layout models of truck handling area for the automatic RMG yard of exciting automatic container terminals in the world, four layout models are proposed, and their respective characters are compared. The function deployment and operational model are analyzed in handling area in landside of automatic RMG's yard. RMG's types, railway berth and handling height are determined. Track park lanes and related parameters, driver operation kiosks and their safety control measures are decided. The standard layout model, size, operational procedures and control processes of three types RMG's yard are proposed, and the standards are used in Yangshan phase IV project.

**Keywords:** automatic RMG; automatic yard; handling area of land-side yard; model of layout

在自动化码头总体平面布局设计中, 堆场布局形式和工艺系统选择是直接影响投资、成本、效率和安全的关键因素。目前全自动化集装箱码头堆场主要采用自动化轨道吊(RMG)垂直岸线布置形式。如何合理设置海、陆侧堆场交接区布置形式, 特别是陆侧外集卡装卸作业车位设置数、轨道吊控制、交通信号传递和作业安全控制流程确定, 以及如何提高外集卡收发箱作业效率等问题, 是码头工程道堆设计必须解决的问题。围绕

自动化轨道吊垂直岸线布置形式, 通过分析现有国内外自动化码头堆场陆侧布置设计实际案例, 提取设计要素及要点, 分类比较各种模式特点, 提出了标准设计模式, 并实际应用于洋山四期全自动化码头设计方案中。

### 1 国内外自动化码头陆侧(外集卡)交接区布局及控制发展现状

目前自动化集装箱码头堆场主要有两种布置

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。

形式：垂直码头岸线布置和平行布置，其中全自动化码头以垂直布置为主。装卸工艺系统主要有轮胎吊 (RTG)、跨运车 (SHC) 和轨道吊 (RMG) 3 种，其中全自动化码头以轨道吊为主<sup>[1]</sup>。对自动化码头而言，自动化轨道吊工艺系统是主要形式。平行布置自动化轨道吊堆场系统，目前以悬臂轨道吊为主；垂直布置自动化轨道吊堆场系统，目前以无悬臂轨道吊为主、无悬臂和悬臂混合为辅。下面是目前世界典型自动化轨道吊系统垂直布置堆场的陆侧布置形式。

### 1.1 鹿特丹 ECT-Delta 自动化码头——独立区域模式

ECT-Delta 是世界上的第一个自动化集装箱码头，工艺系统采用了“单小车岸桥+AGV+ARMG (垂直码头布置)+跨运车”，堆场的装卸区位于箱区两端。堆场陆侧后方设置集中的外集卡交换区，采用跨运车完成“堆场↔外集卡”的装卸作业。码头前沿、堆场、海侧 AGV 交换区、陆侧集卡交换区布置见图 1。

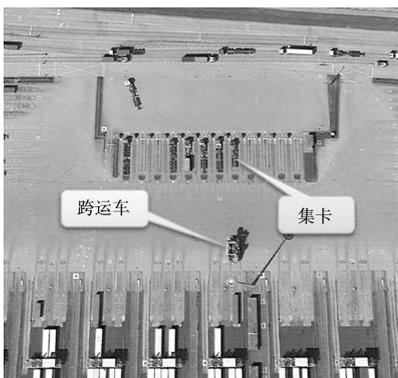
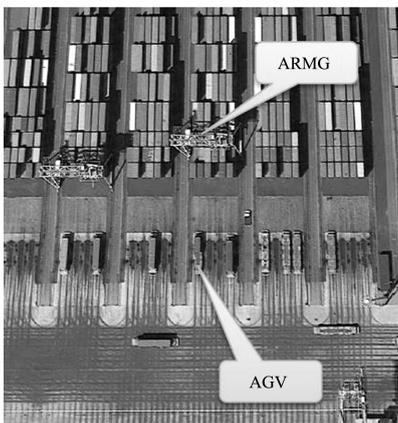


图 1 欧洲鹿特丹 ECT-Delta 码头堆场海、陆侧布局形式

### 1.2 德国汉堡港 CTA 码头——半自动化内外集卡混合布置模式

HHLA-CTA 码头采用了“双小车岸桥+AGV+ARMG(2 台大小可穿越式,垂直码头布置)”的装卸工艺方案。自动化堆场垂直码头布置，共布置 26 条箱区，堆箱长度为 37 个贝位。每条箱区配置 2 台轨距和高度不同的套叠式无悬臂 ARMG，可实现相互穿越运行，跨内堆放 10 列箱。水平运输设备不进箱区，在箱区的两端与堆场轨道吊进行作业交接，海侧为 AGV 与轨道吊的交换区，陆侧为集卡与轨道吊的交换区。陆侧交接区直接由 ARMG 完成对集卡的提、落箱作业。集卡交换区共布置有 3 个外集卡和 3 个内集卡装卸车位，集卡需倒车进入装卸位。码头布局、海侧 AGV 交接区、陆侧集卡交换区布置见图 2。



图 2 欧洲德国汉堡港 CTA 码头堆场海、陆侧布局形式

### 1.3 鹿特丹 Euromax 码头——半自动化内外集卡混合布置共用司机亭模式

Euromax 码头采用了“双小车岸桥+AGV+ARMG(2 台接力,垂直码头布置)”的装卸工艺方案。码头堆场装卸配备了 58 台无悬臂 ARMG，共设 29 条箱区，每条箱区配置 2 台相同规格的

ARMG。ARMG 轨内布置 10 列集装箱，堆高 5 层，箱区长度为 36 个贝位。箱区海侧端为 AGV 与轨道吊的交换区，共设 6 个 AGV 装卸车位；陆侧为集卡与轨道吊的交换区，布置有 2 个外集卡和 2 个内集卡装卸车位及轨道吊的吊具检修区。外集卡的 2 个装卸车位共用一个带顶篷的操作站，而内集卡的装卸车位不设操作站，见图 3。

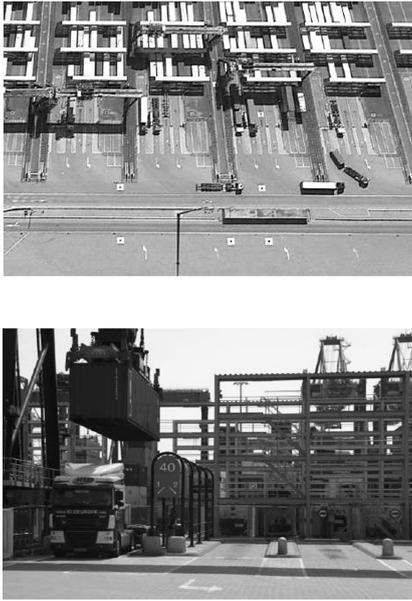


图 3 鹿特丹 Euromax 码头堆场陆侧布局形式

**1.4 西班牙 BEST 码头和美国弗吉尼亚 APMT 码头——半自动化外集卡专用一道一司机亭模式**

在后期一些码头采用“桥吊+人工跨运车+2 台 A-MRG+外集卡”半自动化装卸工艺系统堆场垂直布局，如美国弗吉尼亚 APMT 码头(图 4)和西班牙 BEST 码头(图 5)。其自动化堆场陆侧交界区对外集卡作业采用半自动化方式。其作业流程是：集卡停车到交接区，司机下到地面，司机通过操作亭确认到达，轨道吊自动运行至集卡三方，远程操作 RMG 对集卡作业，司机确认作业结束后离开交界区。美国弗吉尼亚 APMT 码头陆侧交界区布置较为紧凑，RMG 跨距为 8 个箱宽，交接区内设置 5 个集卡装卸作业车位，每车道设有独立的司机操作亭。西班牙 BEST 码头，RMG 跨距为 10 个箱宽，交接区内设置了 6 个集卡装卸作业车位，每车道设有独立的司机操作亭。



图 4 美国弗吉尼亚 APMT 码头陆侧集卡交接区



图 5 西班牙 BEST 码头陆侧交接区

**1.5 马士基 MV2 码头和鹿特丹 RWG 码头——全自动化模式**

2014 年鹿特丹港投产了两个全自动化集装箱码头，即 RWG 码头和 APMT 的 MV2 码头。都采用“双小车远程操作桥吊+自动化 AGV+2 台 A-MRG+外集卡”装卸工艺系统<sup>[2]</sup>。堆场垂直布局，其自动化堆场陆侧交界区对外集卡作业采用全自动化作业方式。

马士基 MV2 的 RMG 跨距为 10 个箱宽，交接区内设置了 4 个集卡装卸作业车位，加上一个维修区，每车道设有独立的司机操作亭(图 6)。RWG 陆侧区域布置同英国伦敦 Gateway 码头(图 7)，为 10 个箱宽 RMG 跨距，交接区内设置了 6 个集卡装卸作业车位，加上一个维修区及每两车道公用司机操作亭<sup>[3]</sup>。



图 6 鹿特丹马士基 MV2 码头集卡区



图7 英国伦敦 Gateway 码头集卡区

## 2 轨道吊自动化集装箱堆场陆侧交接区对比分析及影响因素

### 2.1 现有经典自动化码头堆场陆侧交接区比较分析

通过归纳上述4种布置模式，按工艺系统、是否全自动化码头、RMG宽度、内外集卡是否混合、内外机卡车道数量、维修区、司机亭数量、司机亭模式、安全栏形式、外集卡RMG作业方式等因素进行对比分析(表1)。

表1 经典自动化码头堆场陆侧交接区比较

布局模式	代表码头	桥吊形式	水平运输	堆场及陆侧工艺系统	堆场布置形式	自动化码头	RMG跨宽度/箱宽	陆侧外集卡车位	陆侧内集卡车位	内外集卡是否混合	维修区	司机亭数量	司机亭模式	安全栏形式	外集卡作业方式
集卡独立区域	鹿特丹 ECT-Delta	QC	AGV	1RMG+SC+OTV	垂直	半自动化	6	无	无	否	无	无	无	无	无
内外集卡混合布置	德国 CTA	DT-QC	AGV	2L&S-RMG+OTV	垂直	半自动化	10	3	3	是	无	3	一道一亭	物理围栏	半自动+远程
混合布置共用司机亭	鹿特丹 Euromax	DT-QC	AGV	2RMG+OTV	垂直	半自动化	10	2	2	是	有	1	二道共一亭	安全岛	半自动+远程
外卡专用一车一亭	BEST 弗州 APMT	QC	跨运车 SC	2RMG+OTV	垂直	半自动化	10,8	6,5	无	否	无	6,5	一道一亭	安全岛	半自动+远程
全自动化	APMT MV2	RC-DTQC	EL-AGV	2RMG+OTV	垂直	全自动化	10	4	无	否	有	2	二道共一亭	物理围栏	全自动化

### 2.2 自动轨道吊形式、跨距及高度

从目前自动化码头堆场轨道吊外形结构形式来看，主要有无悬臂、单侧悬臂、双侧悬臂3种。其跨距从7列宽到12列宽都有。跨距确定主要同码头陆域形态、堆场容量要求有关。其高度从“堆4过5”到“堆6过7”都有，主要同堆场容量要求有关。需精确计算或通过仿真试验确定其合理、经济的指标。3种形式如何混合搭配使用，

### 2.2 堆场陆侧交接区功能

陆侧交接区主要功能为：外集卡送提箱停靠及作业、陆侧RMG维修、存场箱维修等。除此以外，有些码头该交接区还有车辆控制管理、外集卡司机位置控制、数据信息采集及交换、遥控操作语音通话、交通流及信号控制、车位自动扫描等功能。

### 2.3 堆场陆侧集卡作业模式

主要有3种作业模式：集卡独立区域作业(ECT-Delta)、RMG半自动作业和RMG全自动作业。目前主流模式为半自动化，即RMG作业采取自动加远程人工操作的作业模式<sup>[4]</sup>。其控制过程为，轨道吊在自动化箱区内的吊箱、大车运行、位置选择、路径选择、翻倒箱作业等完全自动化，但在交接区RMG对外集卡车上的集装箱吊具对位、大车对位、提离或者装上作业时，由轨道吊控制员进行远程操作。目前由于技术进步，RMG对外集卡全自动化作业，其硬件、软件及控制系统日趋成熟，并已投入实际应用，如马士基鹿特丹MV2码头。

主要考虑码头箱量、箱型、水水中转比例、海铁中转比例等因素来确定，其合理性也必须借助仿真试验。

### 2.5 外集卡装卸作业车位数量与参数

外集卡车道数量同RMG形式、跨距宽度、码头中转箱比例及作业模式有很大关系。高中转比例码头设置数量少，有海铁联运功能码头配置也少些。

悬臂轨道吊主要适合水水中转作业, 其箱区陆侧最好也能配置合理集卡作业通道。

## 2.6 司机操作亭设置及隔离安全护栏

国外自动化码头陆侧交接区司机操作亭, 一般设置在集卡装卸作业车道之间的安全岛上, 并配有安全隔离护栏。有些码头在每个安全岛上设置一个司机操作亭, 每个操作亭供一个指定车道上集卡使用, 如西班牙 BEST 码头; 有些码头则是相邻的两个车道共用一个司机操作亭, 如荷兰 Euromax 码头。

## 2.7 外集卡作业效率

本区域作业受外集卡影响较大, 作业效率没有保障。其影响因素有: 陆侧等待作业集卡数、等待作业集卡类型、外集卡停车是否到位, 以及外集卡是否按要求按着压力按钮或踩着压力地毯等, 各方面的因素都影响陆侧轨道吊作业及其作业效率。

## 2.8 陆侧交接区作业安全控制

轨道吊陆侧交接区作为人机混合作业区, 为保证作业安全, 采取下列措施:

- 1) 在外集卡作业车道间设置安全围栏;
- 2) 司机操作亭设置压力按钮或压力地毯(如鹿特丹 RWG 码头, 图 8), 只有司机按着压力按钮或踩着压力地毯时, 轨道吊才会对外集卡进行作业, 否则轨道吊将停止作业;

3) 将作业区域完全封闭(如澳大利亚布里斯班码头), 布里斯班码头采用跨运车作业模式, 外集卡司机停好车, 打开车板上的底锁, 离开作业区域, 安全门关上后, 跨运车才会从另一侧的安全门进入开始作业。



图 8 司机操作亭

## 3 自动化轨道吊堆场交接区标准布置尺寸及作业控制流程

自动化轨道吊堆场陆侧交接区布置模式同轨道吊形式相关。目前垂直布局堆场自动化轨道吊主要有 4 种形式: 大套小可穿越式、无悬臂、单侧悬臂和双侧悬臂。不同轨道吊, 其对应外集卡作业模式及陆侧布局模式会不一样, 同时其控制流程也不相同。

### 3.1 无悬臂箱区的海侧交接区布置

该交接区主要负责对 AGV 运输的集装箱进行装卸作业, 与海侧交接区布置相关的设备参数见表 2<sup>[5]</sup>。

表 2 AGV+ARMG 垂直布局堆场海陆侧交接区设计相关设备参数

设备类型	参数
AGV 车体长度	15 m
AGV 车体宽度	3 m
AGV 转弯半径	10 m
AGV 定位精度	±25 mm
AGV 支架(伴侣)长度	~15 m
ARMG 机宽	15.5 m
车挡长度	1~1.2 m

1) 自动化堆场海侧交接区的平面尺度主要考虑以下工况: 当海侧 ARMG 出现故障后移至轨道端部, 由陆侧 ARMG 对 AGV 支架作业, 按此工况, 海侧交接区长度为 39 m。

2) 集装箱支架的结构总宽度为 4.3 m, 轨道吊的轨距为 31 m, 故在轨内布置 5 个 AGV 作业通道, 并相应布置 5 个集装箱支架。每个 AGV 作业通道的宽度为 5.4 m。

### 3.2 无悬臂箱区的陆侧交接区布置优选

#### 1) 陆侧交接区长度。

陆侧交接区的轨道长度主要考虑以下工况: 当陆侧 ARMG 出现故障后移至轨道端部, 由海侧 ARMG 对集卡作业, 按此工况, 陆侧交接区的轨道长度为 41 m。

陆侧端交接区从海侧至陆侧依次布置 3 m 安全距离(含围网)、16 m 集卡装卸区、15 m 集卡待转区和 12.9 m 的转弯区, 故陆侧交接区的长度为 46.9 m。具体布置见图 9。



面吊作业方便的角度，将内集卡装卸车位布置在轨内靠无悬臂侧。

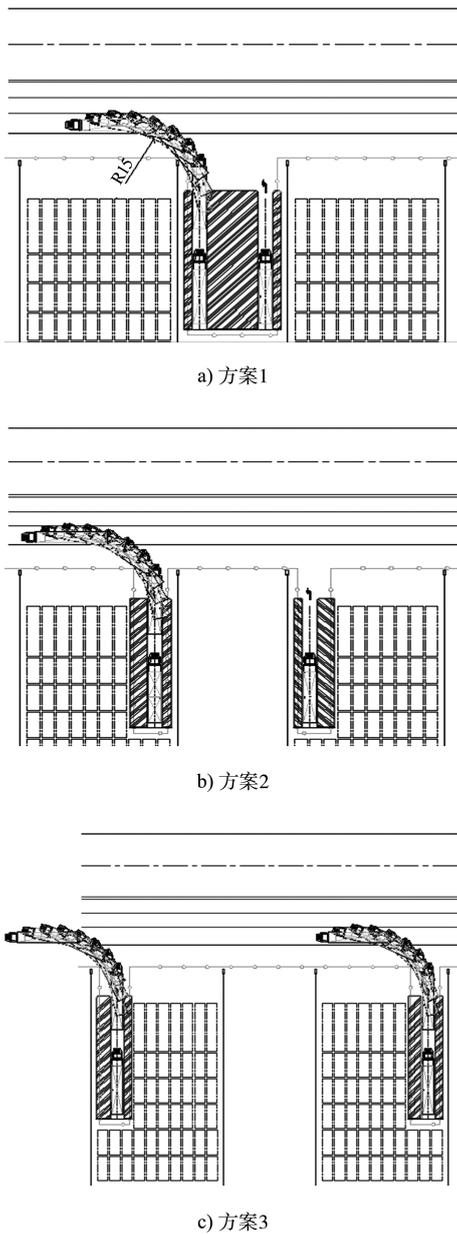


图 11 车位及隔离围栏布置方案

### 3.4 总体作业及控制流程(半自动化)

1) 外集卡同时有进箱和提箱作业时，允许在进场道口一次性办理，TOS 系统优化进提箱位置，尽量安排在同一箱区作业，并利用缓冲停车场进行调控，使陆侧轨道吊作业能够尽量均衡。

2) 车道上的安全门或栏杆在轨道吊正常情况下开着，外集卡司机到达指定箱区后，倒车进入装卸作业车道。

3) 车道上车号识别系统识别车号，将集卡停放车道信息上传给 TOS 系统。

4) 停车指示系统指挥外集卡停好车，司机下车打开车板底锁，走到司机操作亭，扫描作业小票上的条形码（或二维码）。

5) TOS 系统接到信息后，通知安全门或栏杆控制系统，关闭安全门或栏杆。

6) TOS 系统同时优化所有轨道吊指令，分配给轨道吊最优作业任务。

7) 轨道吊接到指令后进行作业。

8) 车道上集卡左右作业都完成后，TOS 系统通知安全门或栏杆控制系统打开安全门或栏杆。

9) 安全门或栏杆打开后，司机关闭车板底锁，将车辆驶离陆侧交接区。

车道上安全门或栏杆也可以根据当地外集卡管理安全要求取消而不设置，或采用红外光栅代替。

## 4 应用实例

目前洋山四期工程道堆工程接近尾声，本码头采用“双小车远程操作桥吊+自动化 AGV+2 台 A-MRG+外集卡”装卸工艺系统及堆场垂直布局。堆场 RMG 采用“无悬臂+单侧悬臂+双侧悬臂”组合工艺系统<sup>[6]</sup>。其自动化堆场陆侧交界区对外集卡作业采用全自动化作业方式。RMG 跨距为 10 个箱宽，交接区内设置了 5 个集卡装卸作业车位，加上一个维修区，每车道设有独立的司机操作亭（图 12）。海侧交接区布置方式（图 13）。

1) 外集卡装卸作业车位设置。

无悬臂轨道吊陆侧设置 5 个外集卡装卸车位，悬臂轨道吊下设置 1 个外集卡装卸车位，在悬臂轨道吊内靠近维修通道一侧，集卡车道宽度为 3 m。

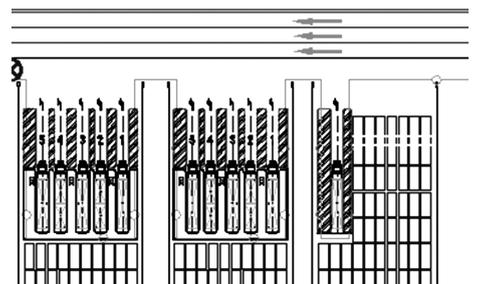


图 12 陆侧交接区设计方案

