



# 洋山四期自动化码头 AGV 在悬臂箱区交互作业设计

王 岩, 金 鑫, 俞迎辉

(上海振华重工(集团)股份有限公司, 上海 200125)

**摘要:** 洋山深水港四期自动化集装箱码头是目前世界上单体规模最大、自动化综合程度最高的自动化集装箱码头。码头的设计吞吐量初期阶段为 400 万 TEU, 最终阶段为 630 万 TEU。洋山四期码头水-水中转比例高达 50%, 为了满足堆场海侧的装卸船作业效率, 同时保障陆侧的集卡运输, 在初期布局设计上采用了无悬臂、单悬臂和双悬臂式轨道吊的混合装卸方式。AGV 不仅在海侧交互区与轨道吊进行交互作业, 还可以深入到箱区边侧与单悬臂式轨道吊进行交互作业, 大大提高了堆场海侧的装卸船作业效率。基于这种作业工况, 开展相关的设计方案研究。结合悬臂箱区的布局设计、AGV 路径规则以及运营过程中出现的技术难点, 对该方案进行系统分析和阐述。

**关键词:** 港口; 洋山四期; 自动化码头; AGV; 悬臂; 交互作业

**中图分类号:** TP 273+.3; U 65

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2021)07-0072-04

## Interactive operation design for AGV in cantilever yard of Yangshan Phase IV automated container terminal

WANG Yan, JIN Xin, YU Ying-hui

(Shanghai Zhenhua Heavy Industry (Group) Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

**Abstract:** The Yangshan Phase IV automated terminal is currently the world's largest single-scale automated container terminal with the highest degree of automation integration. The design throughput of the initial stage is 4 million TEU, and it can eventually reach 6.3 million TEU. The water-to-water transfer ratio of the Yangshan Phase IV container terminal is as high as 50%. To meet the efficiency of loading and unloading operations on the seaside of the yard and to ensure the truck transportation on the land side, mixed operations of no cantilever, single cantilever, and double cantilever ARMG were designed in the initial layout design. The AGV not only interacts with the ARMG in the seaside interactive zone but also can go deep into the side of the yard to interact with the single cantilever ARMG, which improves the efficiency of loading and unloading operations at the waterside of the yard. Based on this operating condition, relevant design scheme research was carried out. Based on the layout design of the cantilever yard, the AGV path rules, and related technical difficulties in the operation process, this paper systematically analyzes and elaborates the scheme.

**Keywords:** port; Yangshan phase IV; automated container terminal; automated guided vehicle (AGV); cantilever; interactive operation

洋山深水港四期自动化集装箱码头(简称洋山四期)坐落于东海大桥以南,处于整个洋山深水港的最西侧。洋山四期共建设有 2 个 7 万吨级泊位

和 5 个 5 万吨级泊位,码头前沿的自然水深在 11~15 m。码头的岸线总长为 2 350 m,总用地面积 223 万 m<sup>2</sup>,设计年通过能力初期为 400 万 TEU,

**收稿日期:** 2020-10-16

**作者简介:** 王岩(1983—),男,硕士,高级工程师,从事自动化码头装卸系统研究。

远期为 630 万 TEU<sup>[1]</sup>。

自动化作业堆场各个堆垛的长度不一, 平均纵深为 396.5 m, 总面积为 94.5 万 m<sup>2</sup>。水平运输区域与码头岸线垂直布置并采用高密度的堆垛方式后, AGV 从岸桥到堆场海侧的运输距离得以大大缩短, AGV 周转率得以提高, 深水岸线和堆场也得到极大的利用。由于码头的水-水转运比例较高, 洋山四期的自动化堆场装卸设备采用了无悬臂、单悬臂、双悬臂 3 种不同形式的轨道吊, 悬臂和无悬臂箱区之间混合布置。无悬臂式轨道吊可在箱区两端与水平运输设备和集装箱卡车分别进行交互作业, 而悬臂式轨道吊除了具有无悬臂式轨道吊的所有功能以外, 还可以与位于悬臂下的水平运输设备进行交互作业。

1 悬臂箱区布置

洋山四期的自动化作业堆场布置(图 1)主要

采取了以下几种措施:

- 1) 整个堆场部分的箱区垂直于岸线, 箱区的海侧设置 AGV 作业交互区, 陆侧设置集卡作业交互区。水平运输设备主要在岸桥和 AGV 交换区之间运输集装箱, 提高了堆存容量和场地的利用率。
- 2) 自动化堆场的箱区采用无悬臂、单悬臂式轨道吊相间布置的方式, 单悬臂箱区内的 2 台轨道吊均可对 AGV 进行交互装卸作业, 有效地解决了洋山四期工程水-水中转比例高、对陆和对海侧作业的不均衡性<sup>[2]</sup>。
- 3) 自动化堆场箱区的最西侧设计一个双悬臂箱区, 可以实现 AGV 通过双悬臂式轨道吊对集卡的直接装卸作业, 提升了中转效率。
- 4) 冷藏箱区坐落于悬臂箱区内, 靠近陆侧位置, 共设计有 7 列。轨道吊带箱穿越此区域时, 吊具移动至其他 3 列位置, 以保证箱区内工作人员的安全。

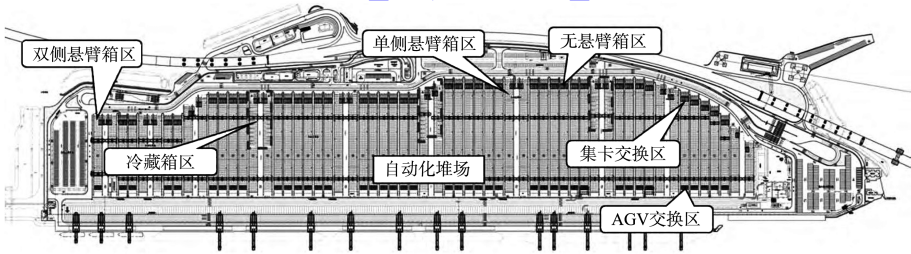


图 1 洋山深水港四期自动化集装箱码头平面布置

根据洋山四期水-水中转比例和堆场容量需求, 码头的自动化堆场共布置 61 个箱区, 其中悬臂箱区 20 个, 无悬臂箱区 41 个<sup>[3]</sup>, 见图 2。悬臂箱区主要堆放水-水中转箱, 同时也堆放部分水-陆转运箱。AGV 的交互作业位置设计在轨道吊的悬臂之下, AGV 运行至悬臂轨道吊下方与其交互作业, 轨道吊的负载运行距离得以大幅减少。位于同一箱区的 2 台悬臂式轨道吊可同时对 AGV 交互作业, 直接为海侧装卸作业服务。平面布局采用两个悬臂箱区单侧悬臂端两两相对的方式, 悬臂下的两侧分别布置 1 条作业通道, 中间布置 2 条 AGV 行驶车道。悬臂箱区的陆侧端可根据需要布置集卡的装卸车位, 使箱区在使用中具有一定灵活性, 避免非自动化与自动化车流的交叉<sup>[4]</sup>。

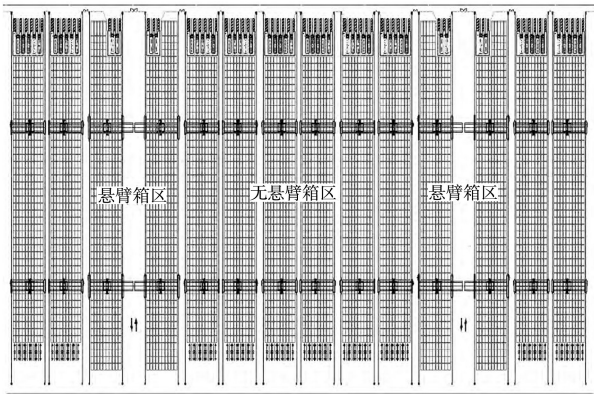


图 2 码头堆场箱区分布

2 悬臂箱区作业通道

堆场 61 个自动化箱区中有 20 个为悬臂箱区, 因此在水平运输区场地中设计了 10 个悬臂式轨道

吊作业通道。单悬臂轨道吊与 AGV 交互作业见图 3。

悬臂式轨道吊作业通道(21 m 通道)的设置见图 4。

1) 该通道中设置有 4 个 AGV 车道, 宽度均为 4 m。

2)4个车道从左至右的流向分别是双向、单向向海侧、单向向陆侧和双向<sup>[5]</sup>。

3) 4 个车道从左至右的功能分别是作业车道、通行车道、通行车道和作业车道。AGV 由通行车道进出 21 m 通道, 通过斜行或 S 弯的运动方式, 在通行车道与作业车道间进行转移。

4) 不设置固定的 AGV 作业位或停车位。

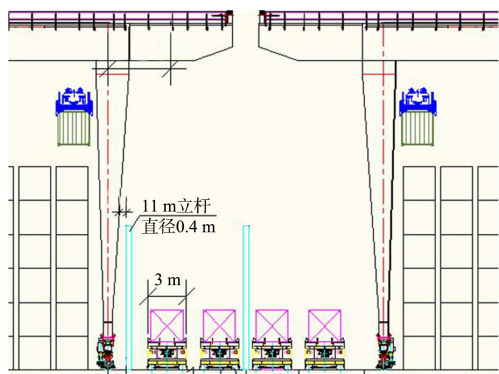


图3 单悬臂轨道吊与AGV交互作业

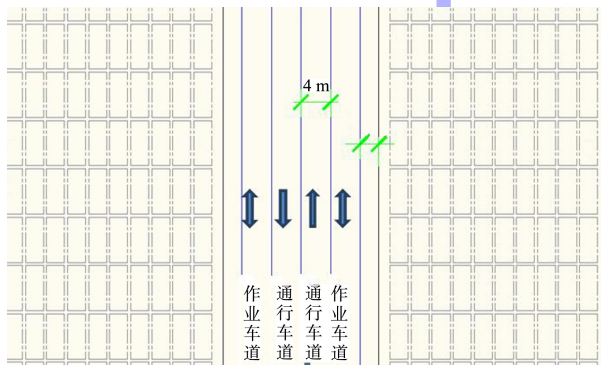


图4 悬臂箱区 AGV 作业车道及进出流向

### 3 悬臂箱区 AGV 路径规划

在自动化堆场中的悬臂式轨道吊堆场,悬臂式轨道吊与 AGV 交互作业位置在其堆场的某一侧。对相同贝位进行作业时,悬臂式轨道吊的大车一般不做移动。而 AGV 需要做主要的移动来适

应悬臂式轨道吊的作业位置。

从图 5 可以看到, 悬臂式轨道吊对 AGV 可以有前箱位、中间箱位、后箱位集中作业位置。这些作业位置影响到 AGV 进出悬臂式轨道吊通道的路径规划以及 AGV 停车等待位置。

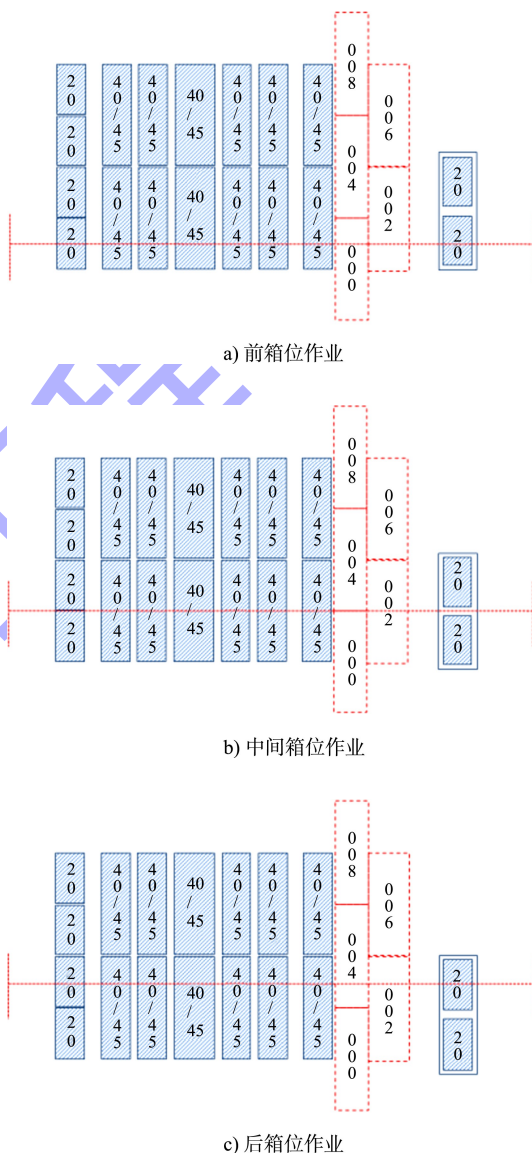


图5 单悬臂轨道吊与AGV交互作业位置

在自动化堆场实际作业过程中, AGV 需要从高速车道转弯进入悬臂式轨道吊箱区。考虑到 AGV 行驶特性和悬臂式轨道吊箱区特点, 采用以下方式进行路径规划:

1)在悬臂箱区通道内,往堆场内通行车道上,靠近高速路附近设一个特殊位置。

2)通道外的 AGV 在接到任务后,规划路径到



这个特殊位置。可以多辆 AGV 同时以这个位置为目标点。

3)AGV 车辆锁闭区触及该指定位置时, 触发系统通知码头生产管理系统车辆即将到达悬臂箱区通道。

4)码头生产管理系统给出目标位置, AGV 更新路径到该目标位置。

AGV 通过悬臂式轨道吊箱区前设定的临时位置来告知码头生产管理系统车辆预到达, 再由码头生产管理系统给出最终作业位置, 形成后决策路径规划方案(图 6)。

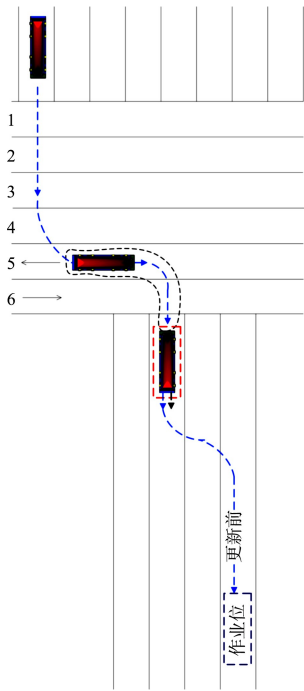
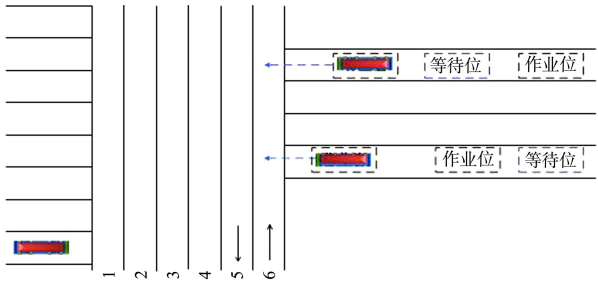
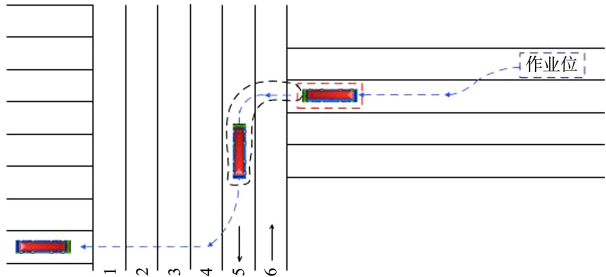


图 6 AGV 进入悬臂箱区路径规划

AGV 在海侧悬臂式轨道吊下完成作业后, 直接从作业车道离开, 进入高速车道区域。AGV 在陆侧悬臂式轨道吊下作业仍然保持完成作业后, 转入通行车道离开, 进入高速车道区域(图 7)。



a) AGV离开海侧



b) AGV离开陆侧

图 7 AGV 离开海侧及陆侧悬臂式轨道吊路径规划

4 异常处理机制

1)任务 AGV 离开停车位去作业位作业时, 如果作业位附近的作业车道上有非任务 AGV 影响其作业, 任务 AGV 的作业相对于非任务 AGV 具有更高的优先级, 则非任务 AGV 须离开该停车位。同时对所有 AGV 的停车位进行重新计划, 或者非任务 AGV 略作部分偏离。如果其他 AGV 的作业优先级高于任务 AGV, 则任务 AGV 等待。

2)在悬臂式轨道吊箱区内由于某些原因画了禁行区或者有 AGV 故障, 导致 AGV 在到达特殊位置后, 无法直接进入悬臂箱区作业通道(图 8)。AGV 会优先选择倒车+S 弯或斜行的路径。如果无法生成路径, 会退回到高速路, 然后从作业车道进入。但是在高速车道车流密集时可能会发生拥堵风险。如果系统提前告知 AGV, 那么 AGV 会直接规划路径从作业车道进入。

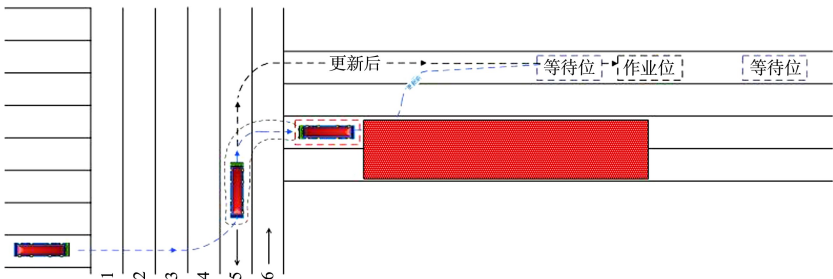


图 8 AGV 无法通过作业车道进入悬臂箱区时路径规划