



天津港北港池C段自动化集装箱码头 总体布置设计^{*}

高延辉¹, 陈培¹, 张煜^{2,3}, 唐欣²

(1. 天津港第二集装箱码头有限公司, 天津 300461;

2. 武汉理工大学 交通与物流工程学院, 湖北 武汉 430063; 3. 武汉理工大学韶关研究院, 广东 韶关 512100)

摘要: 针对集装箱码头自动化设备存在无效作业的问题, 对码头合理布置进行研究。在分析码头自动化技术发展现状的基础上, 结合天津港某在建自动化集装箱码头新型工艺, 从码头前沿、堆场布置等方面出发, 综合考虑装卸船、水平运输和堆场作业的设备选型, 制定全自动化码头总体布置技术方案。提出自动化集装箱堆场箱区平行于码头前沿的布置方式, 引入无人驾驶、人工智能、大数据等前沿技术, 采用人工智能运输机器人(ART)替代传统的运输设备, 提升码头运营自动化水平, 为我国自动化集装箱码头的建设发展提供借鉴。

关键词: 自动化集装箱码头; 堆场布置; 无人驾驶技术; 设备选型

中图分类号: U 656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)06-0078-06

General layout design of automated container terminals in section C of North Basin of Tianjin Port

GAO Yan-hui¹, CHEN Pei¹, ZHANG Yu^{2,3}, TANG Xin²

(1.Tianjin Port Second Container Terminal Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2.School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;

3.Shaoguan Research Institute of Wuhan University of Technology, Shaoguan 512100, China)

Abstract: In view of the ineffective operation of automated equipment in container terminals, we study the rational layout of terminals. Analyzing the current development situation of terminal automation technology and the new type of automated container terminals under construction in Tianjin Port, we consider the loading and unloading of ships, horizontal transportation, as well as type selection of yard operation equipment comprehensively from aspects such as the terminal front and yard layout, and propose a general layout plan for automated terminals, in which the container yard is arranged horizontally to the terminal front. To improve the automation level of terminal operation, we introduce several advanced technologies such as unmanned driving, artificial intelligence, and big data, and use artificial intelligent robots of transportation (ART) to replace the traditional transportation equipment. The result may serve as a reference for the construction and development of automated container terminals in China.

Keywords: automated container terminal; yard layout; unmanned driving technology; type selection of equipment

集装箱码头作为水陆联运的枢纽, 其运营效率直接影响集装箱集疏运水平, 在整个集装箱运输流程中占据重要地位^[1]。近年来, 随着经济全球化进程的加快及自动化技术在集装箱码头的成

功应用, 自动化集装箱码头以高效率、全天候、安全可靠、节能环保等优势成为码头发展的主流趋势。

随着自动化装卸设备和装卸工艺的不断更新

收稿日期: 2021-09-25

*基金项目: 国家自然科学基金项目(72174160)

作者简介: 高延辉(1974—), 男, 高级工程师, 从事港口仿真优化研究。

和发展, 自 1993 年以来, 全球建成和在建的全自动化或半自动化集装箱码头已超过 40 座^[2]。全自动化集装箱码头建设投资巨大, 如何通过合理规划堆场布局、调度装卸运输设备, 实现码头资源高效运作引起国内外学者广泛关注。吴邵强等^[3]以垂直岸线布置的多泊位自动化集装箱码头为研究对象, 利用 Flexterm 三维仿真技术, 分析集装箱水-水中转集疏运比例对堆场布置形态选择的影响; 王敏等^[4]结合阿布扎比哈里发港集装箱码头二期工程, 通过对 2 种自动化集装箱堆场布置形式进行对比分析, 确定采用自动化堆场平行于码头岸线的布置方案; 付鹏成等^[5]根据自动化集装箱码头布局以及装卸作业特点, 通过对关键指标的分析, 结合特定的堆场策略, 对生产进行跟踪、分析并加以修正和不断优化; 王施恩等^[6]对国外典型自动化集装箱码头堆场在平面布置、设备选型和功能规划等进行分析的基础上, 提出洋山四期全自动化集装箱码头堆场布局新模式。

天津港作为我国北方大型综合性主枢纽港, 其自动化程度较高, 已经实现部分码头装卸及水平运输系统的半自动化作业。但全自动化集装箱码头技术与主流布置形态在天津港的应用仍存在滞后性和局限性。因此, 笔者针对天津港北疆港区 C 段自动化集装箱码头工程的特点与建设要求, 基于平行边装卸方案, 从码头交通组织及配机方案等角度出发, 制定全自动化码头总体布置技术方案, 为码头高效运行提供决策支撑。

1 码头自动化技术体系方案

1.1 工程概况

新建天津港北港池 C 段自动化集装箱码头位于天津港北港池欧亚国际集装箱码头北侧、天津港北港池西侧规划集装箱码头区。码头南侧续接于欧亚国际集装箱泊位, 北侧为已有环球滚装码头, 与滚装码头之间预留规划隧道用地, 陆域西侧至临海路。本项目目标是构建一个全自动化码头, 码头岸线总长 1 100 m, 堆场面积 75 万 m²,

拟建设 3 个泊位, 可同时停靠 2 艘 20 万吨级集装箱船舶, 或同时停靠 2 艘 10 万吨级和 1 艘 7 万吨级集装箱船舶。进港船舶制动水域利用北航道水域, 为保证船舶进出港安全, 在港池边界处设置助航浮标。码头设计吞吐量为每年 250 万 TEU。码头平面总体布局如图 1 所示。

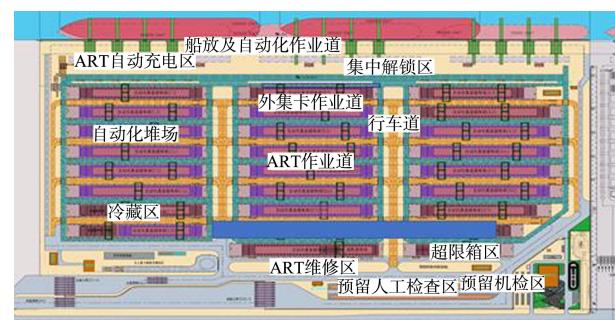


图 1 码头平面总体布局

1.2 自动化技术路线

综合考虑自动化集装箱码头箱型构成比例、货物流向及港区水陆域条件等因素, 在降低成本和提升码头作业效率的前提下, 依靠现有先进科学技术, 从自动化集装箱堆场布置形式、码头装卸设备及水平运输方式等方面出发, 提出采用“堆场箱区水平布置+单小车双 20'(6.1 m) 岸桥+人工智能运输机器人 (Artificial Intelligence Robot of Transportation, ART)+双悬臂轨道桥”的技术方案。避免传统自动化码头水平运输换装主要集中在堆场海陆两侧、堆场内部需采用大机带箱移动的作业模式, 以达到装卸工艺高效、节能、环保的目的。

图 2 为自动化码头的技术路线方案。充分利用现代通信、传感、通讯等技术, 通过 4G/5G 通信模块、相机、毫米波、激光等硬件设备实现港区运营过程的自动检测、自动监测、自动控制与智慧调度, 全面提升港口的自动化水平, 提高了港区作业效率、劳动生产率和经济效益。该方案布局与传统人工码头相似, 所选设备作业流程也与传统码头近似, 具备向传统码头推广的潜力。

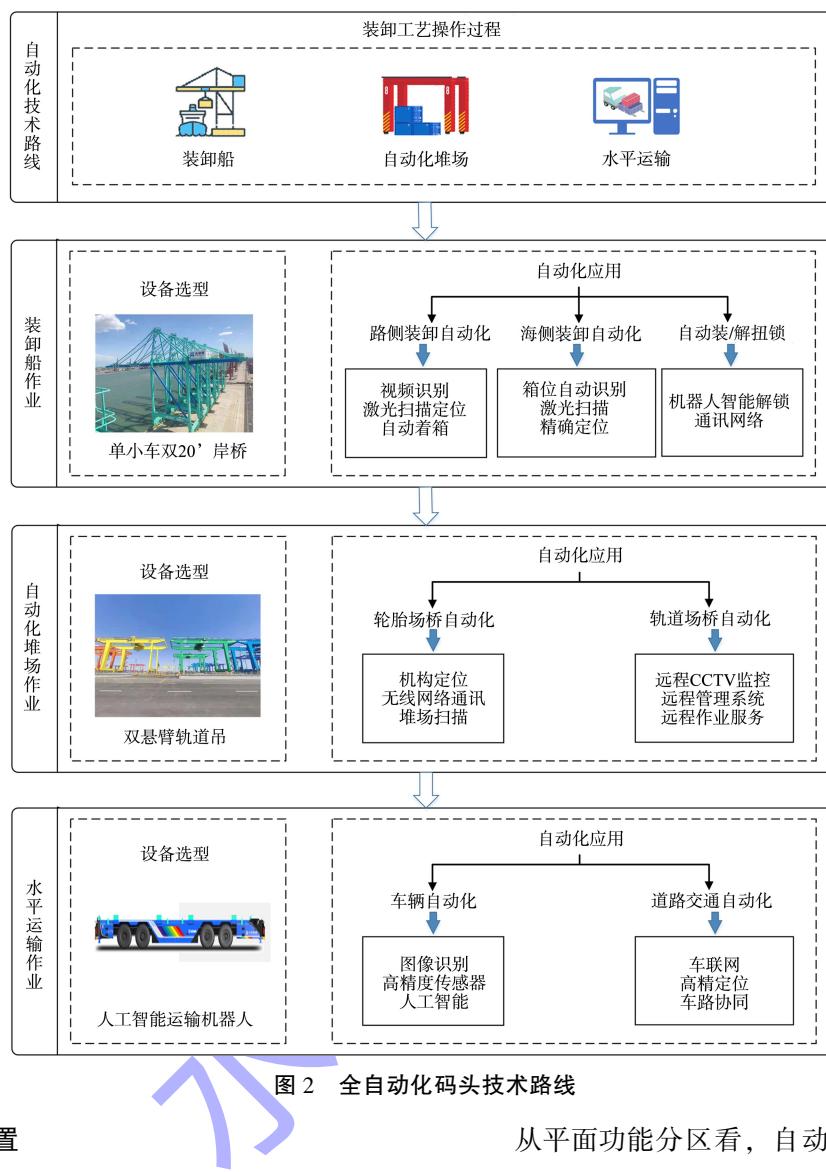


图 2 全自动化码头技术路线

2 码头总平面布置

2.1 堆场布局形态与功能分区

目前，全自动化集装箱堆场多采用垂直于码头前沿线布置的工艺方案，但此种垂直端装卸模式将水平运输装卸箱及外集卡集疏运装卸点集中，装卸点相对较少，导致陆侧交通组织困难，海陆侧装卸作业及集疏运难以互相支援。而传统码头多采取堆场平行于岸线布置，借鉴典型的垂直布置建设方案进行自动化改造，成本高，难度大，无法解决自身自动化建设的难题。

为满足行业发展需求，也为提升自动化区域内作业效率，提出采用堆场平行于码头岸线布置的形式，从距码头前沿线 121 m 处开始，按集装箱箱型组成比例布置自动化堆场。同时引入人工智能等前沿技术，为提升码头作业设备自动化水平提供支撑。

从平面功能分区看，自动化集装箱码头的装卸工艺操作流程包括装卸船、堆场装卸以及水平运输等，因此可将码头区域划分为自动化与非自动化作业区域（图 3）。与传统集装箱码头不同的是，增设的自动化作业区域主要交通工具包括 ART 和外集卡，非自动化作业区域则由码头进出港闸口、缓冲停车场、ART 维修场地、辅建区等组成。

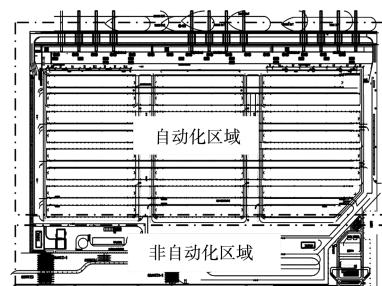


图 3 功能区域划分

2.2 码头前沿作业地带的布置

码头前沿作业区域是船舶与港口进行货物交接的场所,更是装卸设备、车辆船舶等聚集的立体交叉的作业空间。码头满堂式布置,顺接欧亚码头,装卸船作业采用岸边集装箱装卸桥(岸桥)。前沿作业区域可分为岸桥轨内装卸与轨外辅助两大区域(图4)。轨内装卸区域宽35 m,由海侧向陆侧依次布置3条人工车道(用于海关、海事等公务车停放及超限箱、危险品箱拖挂车船放

作业)、5条ART作业自动化车道(其中第5、7为超车道;第4、6、8为装卸作业车道),人工与自动化车道通过围栏进行物理隔离,以保障作业安全;轨外辅助区域依次布置舱盖板堆存区、解挂锁区、ART等待区、4个ART通行车道及ART充电区,其中ART等待区布置有16处解挂锁区域,每处解挂锁区均为“4隔离岛+1通行车道”布置形式。每组(4个)隔离岛均可灵活启用和移除。

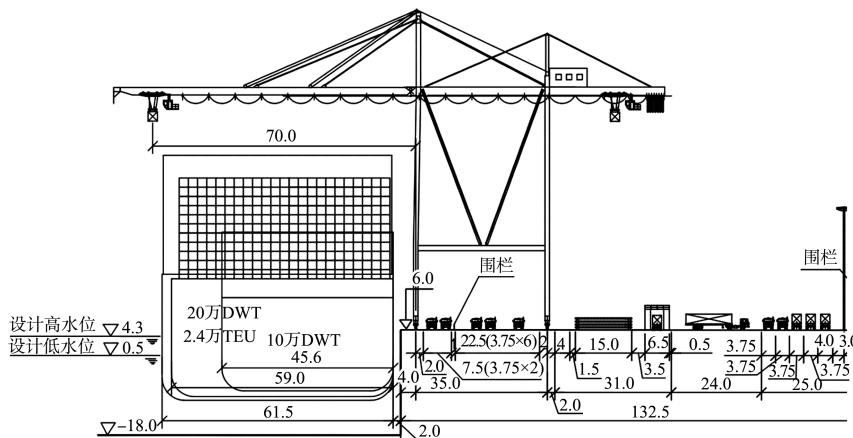


图4 自动化码头前沿作业区域布置(单位:m)

2.3 堆场的布置

堆场采用平行于码头岸线的布置形式(图5),可提升交通组织和生产运营管理效率。自动化堆场空、重箱混堆,占用陆域纵深441.5 m,共布置8条24个垛区,其中冷藏箱分3块分散布置。为了更好地适应天津港集装箱运输“大进大出”的物流特点,选用双悬臂轨道桥(ARMG)平行于码头岸线的边装卸作业方式,使海陆侧分开作

业,分别对应航运作业和陆运作业,实现自动区与人工区隔离,航运作业全自动无人干预,整个码头装卸工艺系统的自动化程度高、效率高、节能环保效果优。双悬臂ARMG轨距34.0 m,轨距内布置11排箱,堆箱高度“堆6过7”,两侧悬臂下各布置1条作业车道及1条超车道,相邻2条堆场轨道中心距离分别为19.5 m和23.0 m。

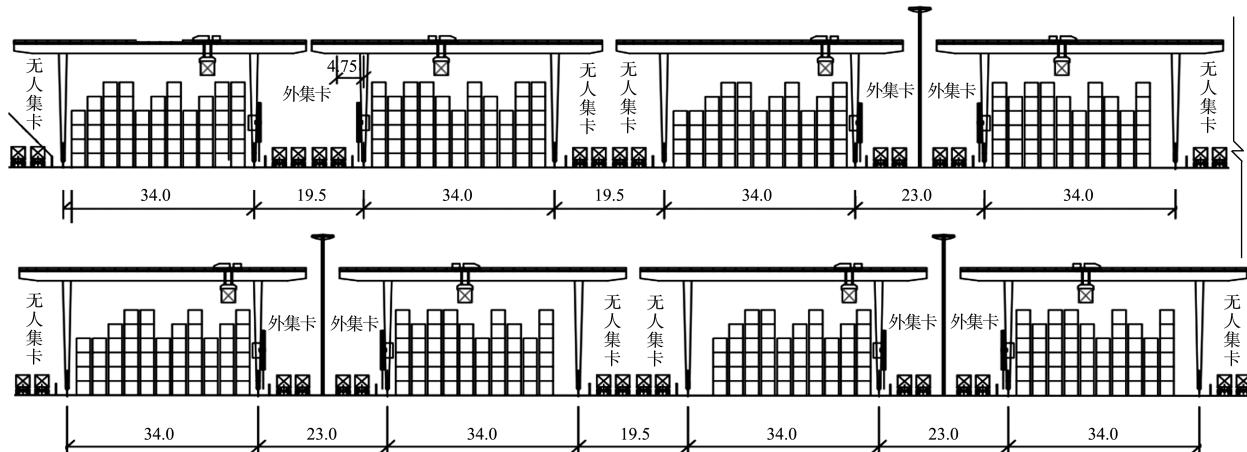


图5 自动化码头堆场布置(单位:m)

2.4 堆场后方区域的布置

自动化堆场后方布置码头进出港闸口、缓冲停车场、ART 维修场地、辅建区等，纵深 80.0~162.5 m。其中，辅建区内设有集控中心、生产水池、污水处理等设施。为便于办公行政人员进出，辅建区的出入口直接与临海路对外连接，不与集卡进出港车流交汇。结合北港池集装箱码头一体化及外部集疏运车辆流向，进出港闸口均为两道自动化闸口，采用分开、平行于堆场的布置形式，

集中布置于场区西北侧，避开临海路交通拥堵路段的影响使区域交通顺畅。

如图 6 所示，进港闸口顺接于新港六号路端头，共建设 S 形 5 道进港预闸口和 11 道进港主闸口，采用集中、平行于堆场的布置形式，布置于堆场后方。设场内缓冲停车场，集卡进港后供车辆停车及处理问题、场内装卸车设备繁忙时等待作业使用。同时在 ART 维修场地内建设 5 处充电设施。

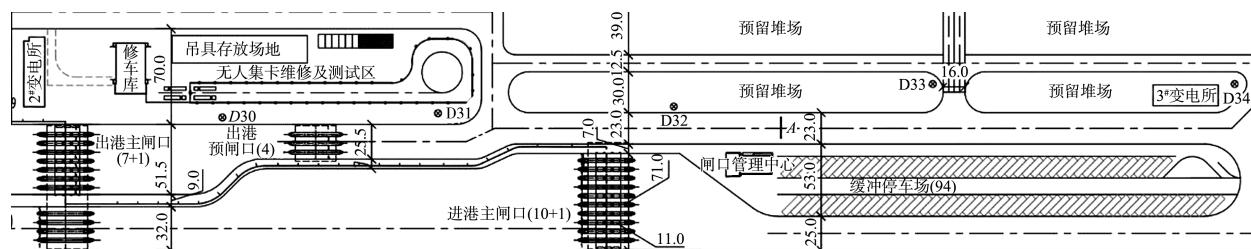


图 6 堆场后方区域布置 (单位: m)

出港闸口布置于进闸口东侧，与进闸口平行布置，出口位于新港 6 号路。共建设 4 道出港预闸口和 8 道出港主闸口，采用集中、平行于堆场的布置形式，避免车流交叉，以此提升交通组织通畅性。

2.5 交通组织

码头内部交通方面，将装卸船 ART 及集疏运司机驾驶的外集卡分道隔离运行(图 7)。纵向主干道与横向装卸车道通过物理隔离实现分道，外集卡从进闸口→堆场提送箱作业形成外圈顺时针

环路(图 7 中 1 号路线)，ART 码头装卸船→堆场装卸箱形成内圈逆时针环路(图 7 中 2 号路线)。为减少运输设备从纵向车道转入横向装卸车道的交叉点，相邻 2 台双悬臂 ARMG 间背靠背布置同种类型集卡车道，形式为“1+2+1”，车道类型按照 ART-外集卡交替进行。为保证行车安全，横纵向 ART 与外集卡交叉点通过智能交通管控系统进行交通管制，即于交叉点增设自动交通灯和抬杆，ART 优先于外集卡，ART 通过接收系统指令和自身视觉系统先判断后通行。

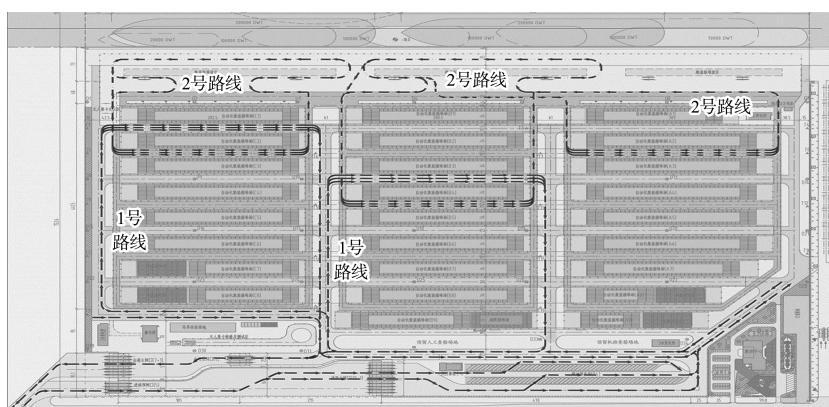


图 7 行车路线

3 码头配机方案

码头配机方案包括装卸船设备选型、水平运

输设备选型及堆场作业设备选型，设备参数如表 1 所示。

表 1 码头配机方案

码头设备	类型	数量/台	规格	设备图片
装卸船	单小车双 20' 岸桥	6	轨距 35 m、吊具下起重质量 65 t、轨顶上起升高度 49 m、外伸距 70 m、后伸距 18 m	
水平运输	人工智能运输机器人	76	额定载质量 61 t	
堆场作业	双悬臂自动化轨道吊	42	轨距 34 m, 吊具下起重质量 41 t, 堆 6 过 7	

3.1 装卸船设备选型

集装箱码头装卸船作业普遍采用岸边集装箱装卸桥，自动化集装箱码头也不例外。本工程为降低能耗减低运营成本，选用自动化单小车岸桥完成装卸船作业。考虑到天津港集装箱货类结构特点、装卸效率要求及堆场布置形式等因素，采用单小车岸桥中的单小车双 20' 岸桥完成作业，一次可同时吊起 2 个 20' 箱，此机型轮压较小、单机造价低、维修简单，并具有成熟的制造和操作使用经验。码头 3 个泊位共配备 12 台单小车双 20' 岸桥，且新增岸桥轨道与欧亚现有岸桥轨道连通，可实现集装箱从抓取到放置全流程装卸作业自动化，保证两类岸桥装卸船作业能统筹调配，提高设备利用率及作业效率。

3.2 水平运输设备选型

近年来，智能驾驶受到国内外众多互联网及汽车制造商的关注，无人集卡、智慧型导引运输车等各类智能车辆应运而生^[7]。与现有码头采用的自动导航车不同的是，本工程将人工智能与卫星导航等技术应用到堆场水平运输设备上，并称为人工智能运输机器人(ART)。该设备配备有一套智能可视化管理系统，具有三维可视化界面、远程状态监测、维保动态管理等功能，在无人干预的情况下，自动完成道路行驶、精确停车、集装箱装卸、障碍物响应等指定动作，实现集装箱装卸船的全程自动驾驶水平运输。ART 的运用不仅提高了码头堆场布置的灵活性，还为全球港口自动化升级改造提供一种全新的、低成本的水平运输自动化解决方案。

3.3 堆场作业设备选型

目前，国内外自动化集装箱堆场中 ARMG 应用较为广泛，技术成熟，在作业效率、安全性、调度策略、系统适应性及投资成本等方面均有较明显的优势。考虑到堆场平面布置的特点，本工程采用双悬臂 ARMG 平行于码头岸线的布置方式完成自动化堆场装卸作业。可实现海侧、陆侧分开作业，有效提升堆场全自动化作业水平。自动化堆场共配备 42 台双悬臂自动化轨道吊作业。

4 结语

1) 传统集装箱码头向自动化码头升级改造是大势所趋，而堆场平行于码头岸线布置方式能解决传统码头改造的技术难题，故堆场平行布置是集装箱码头布置模式的发展趋势。

2) 码头总体布置自动化技术路线为：装卸船设备采用单小车双 20' 岸桥，水平运输设备采用 ART，堆场和双悬臂 ARMG 走行方向平行于码头岸线布置。

3) 上一代全自动化码头方案受限于当时自动化技术及思维影响，投资大、能耗高、人工码头难以复制，本方案作为新一代全自动化码头解决方案，解决了地面解锁难题，应用自动驾驶及人工智能水平运输系统，是自动化水平更高、更具潜力、效益更好的工艺方案，为我国传统集装箱码头的自动化升级改造提供借鉴。平行边装卸方案布置码头，可在不改变传统码头堆场布置形式的前提下完成自动化码头改造。