



# 轮胎式场桥集装箱码头 自动化系统的配置和选择

任小波<sup>1</sup>, 胡旭程<sup>1</sup>, 赵广申<sup>2</sup>, 张立斌<sup>2</sup>

(1. 宁波舟山港股份有限公司, 浙江 宁波 315100; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 轮胎式场桥(RTG)因其自身优势, 应用广泛, 是自动化集装箱码头重要的堆场设备选择方案。系统研究 RTG 方案下的堆场自动化, 以及未来与无人集卡等配合的全自动化方案十分必要, 自动化系统方案的配置和选择是其重要的研究内容。结合工程实例, 对 RTG 以及相关附属功能的自动化系统方案进行梳理和研究, 采用理论设计联合实际建设的方法对实施方案进行改进。结果表明, 最终得出的实施方案既满足自动化能力和效率需求, 并兼顾近远期自动化水平。

**关键词:** 集装箱码头; RTG; 自动化系统

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)08-0074-06

## Configuration and selection of container terminal automation system under RTG scheme

REN Xiao-bo<sup>1</sup>, HU Xu-cheng<sup>1</sup>, ZHAO Guang-shen<sup>2</sup>, ZHANG Li-bin<sup>2</sup>

(1. Ningbo Zhoushan Port Co., Ltd., Ningbo 315100, China; 2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** Because of its own advantages, rubber tyred gantry crane(RTG) is widely used, and is an important yard equipment selection scheme for automated container terminals. The system research on the RTG scheme under the yard automation, as well as the full automation scheme cooperating with unmanned truck is very necessary in the future. The configuration and selection of automation system scheme is an important research content. Combining with an actual project, we sort out and study the automation system scheme of RTG and related auxiliary functions, and adopt the theoretical design and practical construction method to improve the implementation plan. The results show that the final implementation plan meets the requirements of automation capacity and efficiency, and takes into account the short-term and long-term automation levels.

**Keywords:** container terminal; RTG; automation system

近年来, 世界范围内的自动化集装箱码头建设发展迅速, 中国作为集装箱运输的大国, 结合其设计、建设、运营以及港机制造的优势, 建成了(或在建)多种解决方案下的集装箱自动化码头。

在当前自动化建设的大背景下, 新建集装箱码头, 轨道式场桥(RMG)的使用比例较大, 但轮胎式场桥(RTG)因其自身的优势(设备及总体附属

投资成本较低、地基沉降适应性好等), 应用广泛, 是自动化码头建设的一个重要选择方案。近年来主要案例来自于存量码头中的 RTG 改造, 其特点是立足工程现状进行改造和修补, 对系统设置缺少整体性考虑, 而对于大体量的新建码头又缺少实施经验<sup>[1]</sup>。

目前的研究多依托现有码头的 RTG 改造进行

收稿日期: 2022-01-28

作者简介: 任小波(1970—), 男, 高级工程师, 从事集装箱港口生产和建设管理。

局部研究, 缺少对新建码头的机上、机下远控、附属设施的系统化研究。本文结合宁波舟山港梅山港区 6<sup>#</sup>~10<sup>#</sup>集装箱码头工程(梅山二期码头)实例, 对新建大型自动化码头 RTG 方案下的堆场自动化, 以及预留未来与无人集卡配合的全自动化方案进行研究。

梅山二期码头是目前国内设计等级较高的集装箱码头之一, 保证了集装箱自动化方案实施的先进性和可靠性, 该码头的 RTG 自动化系统方案配置和选择可为同类型新建码头建设提供经验参考。

## 1 工程概况

梅山二期码头位于宁波梅山岛东南侧梅山保税港区内, 建设有 5 个专业化集装箱泊位, 水工结构按照 20 万吨级设计, 码头岸线 2 150 m, 设计年吞吐能力 430 万 TEU, 工程在 RTG 方案的基础上开展设备远程自动化操控。

码头装卸船配备单小车双 20 ft 箱岸桥 22 台(远期预留至 30 台); 重箱堆场采用市电 RTG (E-RTG) 作业, 陆域前方布置 14 排重箱场桥箱区, 目前配备 78 台 E-RTG, 远期最大容量预留至 110 台, E-RTG 采用电缆卷筒形式供电<sup>[2]</sup>。

## 2 设计思路

### 2.1 研究范围

在整个集装箱码头及堆场作业区实施自动化, 包括 RTG 远程操控系统及堆场配套系统。通过对 RTG 远程操控系统各项技术的梳理和分析, 确定了堆场大机远程操控系统的技术路线和实施方案, 为自动化决策提供支撑。

### 2.2 设计创新点

受码头及设备现状的限制, 之前改造后的 RTG 自动化码头融合性较差, 造成整体效率偏低。本工程结合了智能闸口、码头操作系统(TOS)、全

场集卡感知系统等智能化系统的改造, 总体提升了码头的运营操作管理水平<sup>[3]</sup>。

### 2.3 作业效率指标

远程操控自动化模式的单机作业效率达到人工操作水平, 系统总体效率按照多机多区块作业模式, 效率提升不低于 20%。

### 2.4 岗位配比

起步工程的 RTG 人机配比暂按 1:2 设计, 后续工程将加大配比至 1:4 及以上。

### 2.5 对箱/着箱操作方式

各种作业推荐的操作方式见表 1。

表 1 对箱/着箱操作方式			
区域	操作方式		
	远程手动	远程确认	全自动
场桥—堆场侧	采用	建议采用	建议采用
场桥—集卡侧	采用	建议采用	-

## 3 总设计方案

远程操控模式下的码头管理与控制系统可以分为 4 个层次, 即智能营运、智能调度、智能作业、智能感知, 见图 1。其中: 1) 智能营运对应 TOS 的计划部分, 包括泊位计划、堆场计划、船舶配载计划和陆侧作业计划等。2) 智能调度对应 TOS 的调度部分, 包括生产调度管理, 在作业过程中负责作业任务管理、RTG、岸桥和集卡的调配。3) 智能作业主要对应设备控制系统(ECS), 负责接收来自 TOS 的作业任务, 统筹调度并管理各类设备, 将指令发送给各单机设备。ECS 系统向上连接 TOS, 向下连接到堆场所有的自动化 RTG。ECS 指挥 RTG 进行各类操作, 并使同一个箱区内的多台 RTG 能够协同作业。ECS 与 TOS 的协同是提高自动化码头生产效率的关键因素。4) 智能感知主要是单台设备上的设备控制系统(ACCS), 接收来自智能作业层的指令, 并将指令拆分成具体的执行步骤和参数, 将命令发送给最底层的硬件层, 并采集设备工作情况, 反馈给上层系统。



图 1 系统总体框架

RTG 机上配置的控制设备包括：1 套自动化系统（PLC）、1 套监控工作站、2 套大车定位系统、2 套小车定位系统、2 套起升定位系统、2 套大车纠偏系统、每梁架至少 2 套大车防撞系统、1 套吊具检测系统（SDS）、1 套目标定位系统（TDS）、单向单车道配置集卡引导系统（CPS）、1 套集卡防吊起系统、1 套箱号识别系统（CNRS）、1 套视频系统、1 套语音系统。

4 子系统方案设计

4.1 RTG 单机控制系统设计

为达到自动化控制的效果和工作效率，计划在 RTG 单机上配置以下单机控制设备。

1) ACCS 一方面接收来自集装箱运输管理系统(BMS)的指令，直接与 RTG 上的 PLC 通讯模块进行实时交互，对起重机各机构运行进行半自动控制；另一方面将设备作业状态回馈至中控服务器。

2) 大车定位系统<sup>[4]</sup>可以实时获取大车在堆场中的位置，ACCS 自动引导大车运行到目标位置，其位置偏差不超过±30 mm。

大车定位系统包括磁钉定位、格雷母线定位和卫星定位等方式：①磁钉的优点是可在恶劣天气下使用、非接触读写、使用寿命长、全密封外

壳、维护量低、单个非连续损坏不影响使用等；缺点是磁钉的读取易被金属干扰，因此要求安装点附近无金属物。旧码头改造，通常采用突出地面形式，见图 2；新码头设计可直接优化跑道梁结构设计。②格雷母线技术采用电磁感应原理和格雷编码原理进行位置检测，是一种连续的非接触式绝对位置检测方式。格雷母线的优点是非接触工作模式、寿命长、抗干扰、定位精度高；缺点主要是读取距离近、造价高。③卫星定位的优点是灵活性高、安装方便；缺点是精度不高、受环境天气因素影响大等。



图 2 磁钉埋设

结合 RTG 轮胎行走自身的特点、地基易沉降等因素，本工程适宜采用磁钉定位的方式。

3) 大车自动纠偏是指 RTG 大车自动运行过程中，通过各种检测手段获取大车位置反馈给 PLC，并最终通过调整大车两侧传动装置的速度将偏差控制在一定的偏差范围之内。

大车纠偏系统主要有磁钉、激光测距扫描、图像识别、卫星定位、电磁感应等方式: ①磁钉纠偏的工作原理与大车定位相同, 当在 RTG 一侧安装时, 只能用于定位, 当两侧均布置磁钉时, 可兼顾定位和纠偏功能, 且更多的磁钉可提升定位系统的可靠性。②激光扫描测距纠偏的缺点是反光板的安装需要占用一定堆场空间, 且反光板的使用寿命不确定。③图像识别纠偏的缺点是在 RTG 过街时易受地面异物的影响。④卫星定位纠偏是通过卫星差分定位技术获取大车位置信号, 并与预定线路进行比较, 通过调整大车两侧传动装置的速度将偏差控制在一定的范围之内。⑤电磁感应纠偏的主要优点是引线隐蔽, 不易污染和破损, 引导原理简单而可靠, 对声光无干扰, 适应性强, 可全天不间断工作, 不受雨雪等恶劣天气影响。

结合以上分析及大车定位的选择, 大车纠偏采用磁钉方式。

4) 大车防撞系统。通过 ACCS 控制层、电控机械层和现场感知层实现 RTG 大车三重防撞保护: ①ACCS 控制层是由 ACCS 所掌握的两辆 RTG 的位置、速度的实时数据, 计算、控制它们之间的位置。②电控机械层的原理是安装机械限位, 当两辆 RTG 靠近触碰到各自的机械限位后紧急抱闸停止。③现场感知层是在远程作业大车运行时, 在 RTG 大车支腿外侧安装超声波雷达或激光雷达, 对运行路径上的异物检测, 防止碰撞到人或物。根据工程特点和设备成本, 推荐采用超声波雷达, 在每台 RTG 的 4 个大车位置分别安装 1 台双开关量和 1 台单开关量雷达传感器, 单开关量传感器作为冗余检测, 提高系统的可靠性。

5) 小车定位系统可以实时获取小车在轨道中的位置, ACCS 自动引导小车运行到目标位置。小车定位系统包括磁尺定位、格雷母线定位和激光对射等方式。磁尺定位的优点是不受天气和恶劣环境的影响、非接触式工作方式、寿命长、不受振动影响、精度高。本工程建议采用磁尺定位

的方式。

6) 其他机上控制系统包括: ①SDS 通过红外线 IR 灯的位置确定目标位置信息。②TDS 基于 2D 激光, 有助于实现全自动抓箱、放箱操作。③堆场安全系统(防打保龄系统)采用安装在小车平台的激光器实时扫描 RTG 堆场内小车方向的集装箱或障碍物高度和轮廓信息。④视频采集系统是在 RTG 框架、小车和吊具上安装多台摄像机, 捕获起重机相关视图, 以便操作员通过远程控制台操控场桥。⑤CNRS 是在 RTG 上安装摄像机和时序控制设备, 通过光学字符识别(OCR)的方式对提/放的集装箱箱号进行采集。⑥集卡引导系统利用激光扫描单元对集卡进行识别、定位, 并通过集卡位置显示牌显示方向、距离等信息, 指挥引导起重机下方车辆停靠。

4.2 RTG 远程操控系统设计

1) 远程起重机控制系统(RCCS)一方面与 RTG 的本地 PLC 通讯, 获取 RTG 状态信息, 并下发动作指令; 另一方面与远程操作站分配系统(ROCS)进行通讯, 当 ROCS 指派了远程操作站, 则直接与远程操作站通讯。

2) ROCS 是通过远程操作站遥控现场设备(RTG)的控制系统, 应用于现场设备操作集卡抓放箱以及处理设备故障异常时, 是自动化码头不可或缺的一部分。

3) RTG 远程操控台数量按照 1:4~1:6 进行配置, 近期按照 1:2 配置。

4) 远控通讯系统可分为有线通信系统和无线通信系统。总体上有线通信系统稳定性好、带宽较大, 但安装部署相对复杂; 无线通信系统安装便捷、灵活性高, 但稳定性和带宽都难以完全满足远控的要求。

本工程推荐采用光缆有线通讯系统。

4.3 堆场智能门禁系统

在每个箱区的入口处设置门禁系统和集卡车号采集设备, 当集卡车号与后台计划匹配时, 门禁系统抬杆放行。为堆场无人作业的安全性考虑,



建议在集卡车道与堆场区之间设置围网。堆区封闭后，RTG 可利用闲时进行倒箱作业。

4.4 全场集卡感知系统

港区内集卡的实时定位和信息交互通过管理平台实现相关功能。对于外集卡，建议依托交通运输部组织建设的全国道路货运车辆公共监管与服务平台获取出入梅山港区外集卡的实时位置信息，并实现与外集卡的信息交互。

4.5 TOS 与 ECS 的接口

宁波舟山港现有的 TOS 是基于常规作业方式开发的，随着半自动化系统的上线，将增加 ECS。TOS 的指令将通过 ECS 下达给大机半自动化系统，作业反馈也将通过 ECS 回传给 TOS。因此 TOS 系统需要增加与 ECS 系统的接口。

4.6 配套设施

4.6.1 道堆

远程操控 RTG 对地面沉降控制要求较高，堆场地面平整度应控制在 2‰ 以内。此外，在跑道梁设计中，将磁钉埋设区域附近的钢筋进行避让设计，直接将磁钉植入跑道梁中，见图 3。

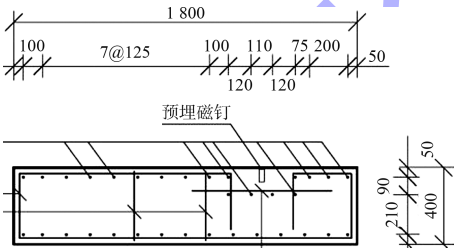


图 3 预埋磁钉结构（单位：mm）

4.6.2 远程操控室

远程操控室建议与中控室集中设置，并按照不同工种划分相对独立的办公区，如计划区、中控调度区、远程操控区和机修调度区，既方便办公区的统一规划设计和日常沟通，各区又能有相对独立的空间。

4.6.3 室外管网和线路

所有场桥和岸桥的接电坑应与港区通信管网连通，并预先敷设满足使用要求芯数的光缆。箱区端部（集卡进入方向）预留供电和通信电缆井，用于堆场智能门禁系统。

5 工程实施改进

5.1 RTG 机上设施改进

5.1.1 采用视频流主动监控模式

视频流防撞技术实现了 RTG 由传感器式防撞转为视频防撞的重大变革，是 RTG 传统安全防护的一次技术提升；RTG 视觉防撞系统通过增加小车架下方的防撞识别功能，提高了 RTG 自动化作业时的防撞安全级别，降低安全事故的风险。其次可对车辆及人员进行区别检测，并进行分类报警。该系统具有自学功能，持续优化算法，不断提高识别准确率，形成了“主动监控”模式，实现从传统防撞到自动化防撞的转变，是现代化港口和专业化港口的发展趋势<sup>[5]</sup>。

5.1.2 采用 TDS 静态扫描和动态纠偏

通过使用 TDS 激光器静态扫描工况，重新扫描并计算、更新 TDS 控制点坐标，优化因为小车速度问题和扫描角度问题导致的 TDS 动态扫描误差的问题。此外由于自动化堆场存在操控人员本地作业的情况，导致底层箱偏差过大，上层箱无法自动抓放。对此优化自动叠箱流程，在 TDS 控制点坐标与基准值偏差过大时，自动微调大小车位置，使自动化设备能正常抓放箱。

5.1.3 实现自动开底功能

开底系统只在堆场自动化开底时使用，即在地面上放第 1 层箱时使用，其检测传感器与 TDS 目标位置检测系统共用。采用光源识别、大车定位、坐标计算等技术实现大、小车精准定位以及吊具姿态控制，从而提高检测的准确率，达到在传统堆场内自动化 RTG 箱区底层自动放箱的目的。自动放箱功能在自动化 RTG 中应用后，不仅提高了自动化 RTG 在传统堆场内底层放箱工艺，而且降低远程操控人员介入的时间以及降低远控操作台占用率。

5.2 场地遥控系统和远控室改进

5.2.1 设置 RTG 大车集中监控台

为了减少 RTG 频繁移动大车导致操作台占用率过高的情况，部署了专门的操作台用于远程控制 RTG 大车并监控大车行走过程，将动大车类的

跳台请求做单独区分, 同时将此类请求全部分配至大车集控操作台以减少大车行走对于操作台资源占用并且确保相关环节的安全。

5.2.2 优化自动跳台程序

为了解决远控作业过程中跳台响应过慢影响作业效率, 将原有的操作台分配系统进行升级优化, 更改了 ROCS 软件的相关功能及逻辑。当出现跳台请求时, 将对当前可用的操作台进行轮询, 且将时间控制在毫秒级。当前跳台环节从生成请求至分配完成, 平均耗时从之前的 10 s 缩短至 1.04 s 左右, 显著提升了分配效率。

5.2.3 部署自动化集装箱码头商业智能分析平台 (TBI)

为了进一步掌握远控 RTG 作业的各环节耗时, 快速定位并解决作业环节中存在的问题、提升作业效率, 部署了 TBI 作业过程回溯及分析系统, 通过采集单机动作、系统交互等环节中的各关键节点, 将远控设备作业中的各环节有效串联, 形成清晰直观且可展示的作业循环。通过该系统能够快速定位远控作业中的各类问题。通过数据对比分析, 针对远控 RTG 进行多项提效优化工作, 效率较投产初期提升约 90 s。

5.3 其他配套系统的改进

堆场智能门禁系统的优点是可以减少因集卡司机走错箱区造成的异常处理, 极大减轻 RTG 远控系统的压力, 提升箱区作业效率。对无人集卡当前规则下的使用, 可起到物理隔离的效果, 但也存在对主干道形成交通压力的影响, 以及扩大主通道宽度的需要, 因此近期使用中预留, 根据未来无人集卡全自动化的建设需要进行配置。

6 结语

1) 本工程的建设达到了原有设计要求, 满足单机作业和系统总体效率的需求。从理论上对 RTG 方案下自动化系统方案的配置和选择进行重

点研究, 同时依托工程实施过程的系统优化, 将自动化设备采购、工程土建施工做到了同步实施, 为同类型码头工程积累了经验。

2) 对于新建 RTG 方案下的远控自动化工程, 须综合考虑系统的复杂度和实施中可能出现的问题, 设计时应充分考虑系统可靠性、冗余性、易用性、可维护性等因素。

3) 为测试真实生产环境的数据量和性能需求, 避免测试对已上线生产系统的影响, 建议按照 1:1 标准配置测试环境的软硬件系统。既可以获取最直接的测试结果, 又可在生产系统出现问题时有一套后备系统投入使用。

4) 随着远控自动化系统对堆场平整度要求的提高, 堆场配套设施日常维护区域和频度随之上升, 应优化协调生产组织, 避免由此带来堆场可用度的下降。

5) 操控台的比例可随技术进步不断提高, 对于大型码头应考虑分期实施方案, 初期可按照 1:2 比例配置, 后期可适当提高配比, 按照 1:4 甚至更高比例配置, 避免浪费前期操控台的投入。

参考文献:

[1] 陈鹏元, 李书强, 宋祥吉. RTG 设备自动化改造研究[J]. 港口装卸, 2019(4): 9-12.

[2] 中交水运规划设计院有限公司. 宁波-舟山港梅山港区 6<sup>#</sup>~10<sup>#</sup>集装箱码头工程施工图设计说明(信息自控系统)[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2018.

[3] 中交水运规划设计院有限公司. 宁波-舟山港梅山港区 6<sup>#</sup>~10<sup>#</sup>集装箱码头工程设备远程操控技术方案[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2017.

[4] 胡旭程. 远程控制技术在电缆卷盘龙门吊上的应用[J]. 港口科技, 2019(8): 40-44.

[5] 宁波梅东集装箱码头有限公司. 宁波-舟山港梅山港区 6<sup>#</sup>~10<sup>#</sup>集装箱码头工程智能化码头应用研发报告[R]. 宁波: 宁波梅东集装箱码头有限公司, 2019.

( 本文编辑 王璁 )