传统四绳轨道龙门吊自动化改造应用

夏　杰
舟山甬舟集装箱码头有限公司　浙江　舟山　316000

摘　要：随着国内智慧港口建设蓬勃发展，传统集装箱码头装卸设备生产效率低，安全隐患多，司机招工难、用工难等矛盾越发突出。为解决以上问题，宁波舟山港甬舟码头对16台轨道龙门吊进行了自动化改造，根据甬舟码头设备特点定制化改造方案，解决了“四绳防摇不稳定”、“跨车道作业”、“多协议兼容”等问题。实现了对箱区及内集卡全自动化作业，外集卡在安全高度以下一键确认作业。将司机从传统驾驶室转移到环境舒适的远程控制室，实现了一人同时控制多台轨道吊作业，极大地降低人力成本，提高了生产效率，同时增强了设备安全性。

关键词：甬舟码头；龙门吊；自动化改造；四绳防摇；协议兼容

引言

当前，我国智慧港口建设已从探索阶段逐步转向成熟，特别是数字化、网络化、智能化的融合发展，对港口装卸设备提出了越来越高的要求，更智能、更高效、更安全是未来装卸设备的主要升级方向。本文以宁波舟山港甬舟码头为例，介绍了甬舟码头轨道龙门吊（下称轨道吊）的自动化升级改造方案和应用情况，为传统码头轨道吊自动化升级改造提供了新的借鉴方案。

1 甬舟码头建设分为两个阶段

目前一阶段已完成2幅重箱堆场建设，共拥有8条街，16个箱区，共16台轨道吊。大车轨道呈平行海岸线布置，轨道吊结构为内跨式，跨距内箱区有8排箱，2条车道，靠近箱区的车道为作业车道，内外集卡共用，靠近轨道侧车道为超车车道，一阶段堆场如图1所示。

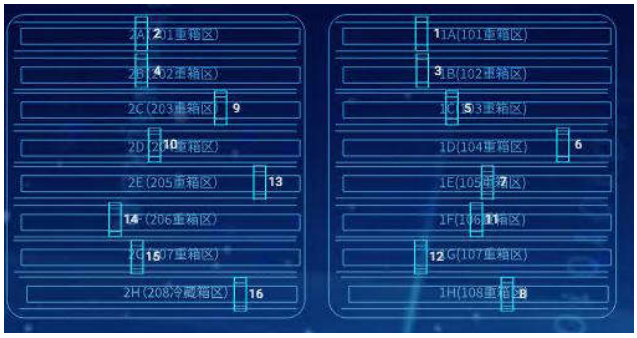

图1 甬舟码头一阶段堆场图

2 技术方案

16台轨道吊均为诺尔公司制造，总体可分为两个批次，时间跨度从09年到16年，基础电控采用西门子产品，包括PLC、传动等。起升缠绕方式采用四绳系统，通过上架液压系统来实现吊具防摇功能。

改造后本项目16台轨道吊将统一接入甬舟二阶段自动化双悬臂轨道吊远控平台，实现一个平台同时调度全场轨道吊的功能。单机轨道吊的作业指令来自TOS，并将设备状态汇报给TOS，轨道吊通过RFID来识别确认作业的内集卡和外集卡。堆场箱区及内集卡无论是装载或者卸载作业，还是箱区内倒箱，所有的操作都自动完成，外集卡在安全高度以下需要手动接管或按键确认，它可实现带路径优化的自动运行、自动着箱等功能。[1]

改造后单机保留司机室，正常情况下为自动化作业，维护时可以在本机司机室、大车操作站、小车架操作站操作或通过在本机下使用无线控制器进行操作。远控台操控比达到1∶4以上，极大地降低人力成本。

2.1 轨道吊单机基础常规电控系统升级：

（1）PLC保留各远程IO站站头模块和IO模块，电气房内的PLC由西门子控制器替换为ABB AC500 PLC控制器，由ABB控制器带原西门子IO模块和变频器，基础电控和自动化控制逻辑由AC500 PLC实现。

（2）主机构西门子驱动器保留，电缆卷盘驱动器保留。

（3）主机构电机保留。

（4）电气房低压柜保留，增加ABB PLC控制柜+EH.K1和吊具上架扭转控制柜（含扭转电机变频器），远程增加小车架控制箱、吊具上架控制箱和大车控制箱。

（5）大车按海陆侧轨道电机分组，实现单侧控制，易于实现大车行走纠偏。

（6）CMS替换为ABB CMS起重机监控系统，易于故障监控和诊断功能。

（7）2.2轨道吊单机自动化功能升级（如图2所示）：

（8）主机构定位功能，起升电机侧和卷筒侧、小车车轮主轴、大车近远侧从动轮主轴安装安全级别绝对值编码器。

（9）小车沿轨道侧采用直线编码器实现精准定位。

（10）实现吊具旋转电动控制功能。

（11）小车架和吊具上架安装1套负载定位系统LPS的相机和光源：检测吊具的实际位置和扭转角度。

（12）小车架前后共安装2套目标定位系统TPS：扫描集卡轮廓以及堆场集装箱轮廓。

（13）增加1套集卡引导功能VAS和交通引导指示装置：用于引导集卡司机到达准确的停车位置，含车头防砸保护功能。

（14）增加一套外集卡防吊起保护功能。

（15）RFID识别作业的内外集卡。

（16）大车门腿安装防撞传感器，软硬件共同实现轨道吊防撞保护功能。

（17）自动着箱功能：堆场和内集卡实现自动着箱。

（18）单机远控视频监控系统。

（19）单机登机门禁系统。

（20）增加无线遥控功能。

图2 轨道吊自动化系统图

2.2 远程控制室：

（1）远程控制站RCS和甬舟二期双悬臂项目共用。

（2）RCM远程连接管理系统和甬舟二期双悬臂项目共用。

（3）和甬舟二期双悬臂项目共用2套RCMS。

2.3 机房网络和服务：

（1）和甬舟二期双悬臂项目共用交换机和服务器及存储等。

（2）XJD（轨道吊设备管理系统）和甬舟二期双悬臂项目共用，使用同一接口和TOS对接。

3 改造实施

项目于2021年10月底正式开工，由青岛海西重机有限责任公司负责，第一批改造2台。由于改造轨道吊机型老旧，结构落后，实际实施过程中遇到不少问题。导致第一批次交机投产用时较长，后续随着难题的攻破、方案的成熟，单机交付周期逐渐缩短，在不影响生产作业的情况下，预计2023年底可完成项目整体验收。

3.1 实施难点

（1）原轨道吊液压防摇系统继续使用，导致小车架下方空间紧张，自动化传感器及维修平台定位安装困难，同时起升上下过程中，防摇钢丝绳角度发生变化，会遮挡吊具姿态的扫描。[2]

（2）整机通讯协议复杂，在原西门子的Profibus DP协议上，新增了Profinet、profisafe、TCP/IP、RS232等协议，需要多重协议转换。

（3）原大车一侧驱动与起升共用，起升机构与大车机构无法联动，严重影响效率，需要重新设计大车、起升切换控制逻辑，最终实现三机构联动。

（4）四绳轨道吊结构先天问题，吊具在运行过程中姿态不稳定，抗风性能差，需要增加电子防摇、旋转控制等功能辅助稳关，自动控制逻辑复杂，调试困难。

3.2 难点解决

（1）通过现场不断实验整改，最终确定目标定位系统1、目标定位系统2、负载定位系统传感器安装位置，现场实际安装位置如图3所示。同时在负载定位系统程序内增加障碍物过滤算法，忽略防摇钢丝绳的影响。

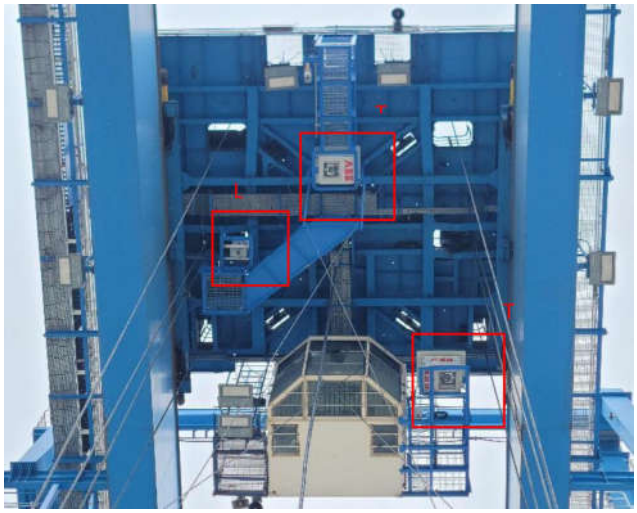

图3 小车架下方自动化子系统安装位置

（2）利用ANYBUS、串口服务器等协议转换器技术融合整机通讯协议，同时重新定义ABB控制PLC与西门子驱动器的通讯字，真正建立整机通讯网络，实现各系统之间的数据交换。在后端采用和甬舟二期双悬臂项目同样的数据接口，能够接入同一远控台，实现两个项目互通互控。

（3）重新设计硬件线路，实现大车机构单边/对角控制模式切换功能，当大车跨贝位作业时采用单边驱动模式，此时起升与大车变频器同时工作，各自单独驱动一侧大车机构，结合双侧编码器可实现纠偏控制。当大车

到达作业贝位后，切换为对角驱动模式，此时大车只用1个大车变频器驱动，实现三机构联动，提高自动作业效率。

（4）为了克服四绳轨道吊不稳定问题，系统增加了小车电子防摇系统和电动旋转无极控制系统。在自动运行过程中，通过负载定位系统实时获取吊具姿态，分析吊具运动趋势，通过小车机构和倾转机构实时调整吊具姿态，达到稳关效果，从而保证单机自动化作业效率与质量。[3]

4 项目成果

当前中国社会随着老龄化的加重，中国的人口红利逐渐褪去，港口设备的落后、耗能、低效，码头员工的工资不断攀升，人员流失严重，都严重制约了港口企业的运转效率。由此港口传统机械改造的推行，码头自动化程度的升级已是必然趋势。

（1）作业效率、操控比提升

单机配备机构定位系统、目标扫描系统、负载定位系统、集卡引导系统、RFID系统等多项子系统，系统之间高度协同作业，无缝对接。可实现带路径优化的自动运行、自动着箱、集卡引导等多项功能，全面提升轨道吊的自动化作业程度、作业效率、司机操控比，截至目前，改造轨道吊已作业xxxTEU，自动化率达90%，司机操控比高于1∶6，综合作业效率达20 Mov/H，单机峰值作业效率可达27Mov/H。

（2）安全性提升

安全方面设备配备了集卡防吊起系统、视频监控系统、安全防护系统、设备自检测系统、OCR系统、门禁系统等，可实现大车防撞、集卡防吊、车头防砸、防吊错箱、故障预警、防打保龄等一系列安全功能，全方面保障设备作业安全。

（3）经济效益

该项目轨道吊自动化改造的成功实践，成为浙江省新旧动能转换、工业互联网的典型案例。团队自主科研攻关，完成了传统集装箱堆场全自动布局、生产业务流程、全自动化轨道吊等关键核心技术的设计、研发与应用，推动物联网、大数据、人工智能等先进技术在港口的深层应用，成功实现了传统人工作业集装箱堆场全自动化升级，多次刷新了改造集装箱堆场综合作业效率记录。

5 发展前景及展望

轨道吊自动化的优势在于快速的响应和稳定的高效率，劣势在于各环节严苛的操作标准以及缺乏极限效率冲击能力。自动化作业恰好是堆场策划方式革新的契机。分散式堆场策划方式更适合自动化设备的运行特点（作业人员没有生理疲劳期、不会抱怨频繁的跑动和翻捣，速度恒定、效率稳定并及时响应任务指令等）。分散式堆场策划方式是与自动化操作匹配最佳的配套工艺，可以此挖掘设备整体的潜力。与以前的传统人工轨道吊相比，自动化轨道吊能够降低工作风险，提高工作安全性，并使得工作免除了人工失误的可能性，既提高了码头工作的可靠程度，又使得码头的人工雇佣的费用减少了很多。

当前国内外港口堆场龙门吊自动化改造升级项目，多以轮胎吊为改造对象，但由于其先天性的结构设计问题，其大车运行机构为轮胎自由转向设计较轨道吊有明显劣势，导致其有大车定位精度低，速度运行速度低、吊具稳定性差等诸多问题。该种机型改造后自动化作业效率、操控比、自动化率大幅低于行业先进水平。而我司轨道吊自动化改造项目，选用轨道吊为改造对象，是当前行业内自动化改造的理想机型，改造后可充分发挥轨道吊自身的优势，结合先进的单机先进的自动化子系统，各项指标均达到了行业内的先进水平。

结束语

当前国内存在大量的四绳结构人工作业轨道吊，本项目是国内第一个大批量四绳结构轨道吊自动化改造项目，该项目取得了巨大的成功，作业效率及自动化率均创改造龙新高，且获得了教育部科技查新工作站出具的科技查新报告，可为行业内其他轨道吊改造项目提供经验借鉴及思路，助推中国港口事业智能化发展。

参考文献

[1]朱健荣.自动化技术在集装箱空箱轨道龙门吊上的应用[J].港口科技,2019,(04):57-59.

[2]蔡超.传统码头轮胎吊改造和自动化升级探讨[J].中国设备工程,2021,(09):129-130.

[3]何业科,刘政刚.广州港南沙港区四期自动化集装箱码头建设方案[J].集装箱化,2021,32(09):5-7.