文章编号：2097-5899(2025)08-0020-06　　中图分类号：U169.63；U2　　文献标识码：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202412100002
引用格式：赵华. 铁路集装箱门吊数字化改造及自动化作业研究[J]. 铁路物流，2025，43(8)：20-25.
ZHAO hua. Research on Digital Transformation and Automated Operations of Railway Container Gantry Cranes[J]. Railway Logistics，2025，43(8)：20-25.

铁路集装箱门吊数字化改造及自动化作业研究

赵　华

(中国铁路成都局集团有限公司 遵义车务段，四川 成都　610082)

摘　要：随着经济的快速发展和物流需求的不断增长，铁路物流场站的高效运作和服务质量提升成为了重要的研究课题。以成都局集团公司大弯镇站为例，探讨了铁路集装箱堆场的数字化改造及自动化作业技术，验证数字化和自动化对当前传统铁路集装箱作业模式效率低下、信息流通不畅等问题的改善和能力提升。通过引入光学字符识别、北斗差分定位、门吊小车限位器、集装箱数据采集和堆场数字孪生等技术，实现了箱区箱位精准管理，吊装箱作业效率可提升35%左右。此外，通过减少地面作业人员和引入小车限位器，也有效提升了作业现场的安全性。

关键词：铁路物流场站；光学字符识别；箱号识别；北斗定位；数字化改造

铁路集装箱物流场站作为铁路运输重要的一环，其精准调度和高效装卸作业尤为重要。在铁路集装箱作业数字化转型过程中出现了各种问题，针对遇到的各种问题，提出了一些解决方案。例如，刘冰等[1]研究了铁路集装箱运输经营服务集成平台总体方案，解决了运输经营方面的问题；于雪峤等[2]对铁路集装箱堆场智能管理关键技术进行了研究。但是对于装卸设备门吊如何进行数字化改造，进而实现自动化作业的研究较少。数字化改造能够实现信息的实时采集、分析、处理和传输[3]，使各个环节的运作更加透明和可控。自动化作业则能减少人工干预，提高作业效率和准确性，降低人力成本。由此，对集装箱装卸设备进行数字化改造并实现自动化作业，具有极其重要的现实意义，可以极大提升装卸作业效率，并推动铁路货运向智能化、高效化和可持续化方向发展[4]。

1　铁路集装箱堆场作业现状

1.1　国内铁路集装箱堆场作业存在问题

（1）信息化程度不足。目前铁路集装箱堆场管理以人工管理为主，信息化技术支撑不足，无法实时反馈及追溯集装箱作业信息，导致集装箱堆存信息易出现错漏。

（2）信息交互渠道不畅。大部分集装箱场站作业信息存在传递不及时或出错问题。

（3）管理效率低下。现场作业报表仍以纸质人工填报为主，作业效率和质量有待提升，且未对作业数据进行有效统计分析[5]。

1.2　铁路集装箱门吊数字化改造必要性

数字化改造是提升铁路集装箱堆场管理效率和安全性的关键，传统的人工管理方式已无法满足高效、精准、安全的作业要求。数字化技术的引入可以实现集装箱作业信息的实时反馈和追溯，减少信息错漏，提高作业效率和准确性。此外，通过对传感器数据的有效采集和分析，可以优化集装箱箱态管理，降低安全隐患。数字孪生技术的应用则能提升堆场的使用率和资源配置效率，及时响应动态变化的装卸需求。因此，数字化改造不仅是提升堆场运营效率的必要手段，也是实现高质量发展的必由之路。

收稿日期：2024-12-10
基金项目：中国铁路成都局集团有限公司科技研究开发计划课题(CX24001)

2　铁路集装箱门吊数字化改造研究

2.1　数字化改造关键技术

根据铁路集装箱作业流程，结合作业数据采集需求，数字化改造应从“箱号识别”“装卸箱定位”“小车安全限位”“箱态感知采集”4个方面进行。其中，涉及的硬件、软件、算法都已有大量的数据支撑，并以此为改造方向。

（1）引入箱号识别。使用光学字符识别(OCR)是实现箱号自动识别的核心技术。OCR通过图像处理和模式识别算法，能够从拍摄的图片中准确提取出文字信息。箱号识别的基本原理包括多个步骤，主要使用高清摄像头拍摄集装箱上的箱号图像，再对采集到的图像进行预处理，包括去噪、灰度化和二值化等操作，以提高图像的质量和识别精度。然后将图像中的字符区域分割出来，形成独立的字符图像，并从中提取特征，如边缘、形状和纹理等。通过机器学习和深度学习算法，进行分类和识别，从而识别出每个字符。最后，将识别出的字符组合成完整的箱号，并将结果输出，供后续处理和使用。

（2）引入装卸箱自动定位。基于北斗导航及差分定位技术，对装箱、卸箱、移箱的精确位置进行计算，实现厘米级精准定位。在集装箱堆场中使用北斗＋差分定位技术，可以实时掌握集装箱门吊大车/小车位置，基于智能算法对作业指令动态排序，减少大车/小车走行距离，提升作业效率[6]。

（3）引入小车限位器。小车限位器是一种安全装置，用于限制小车等设备的运动范围，防止超载或超出预定轨道，从而避免事故。小车限位器是作业环境的动态限位，当基于龙门吊作业时，限制龙门吊垂直于股道的移动。小车限位器利用电子传感器和控制系统，能够实时监测设备的状态并采取相应措施，在集装箱堆场中使用小车限位器，可以有效减少因铁路取送车导致的吊箱作业中断，减少汽车等待时间，更好地服务集卡车司机。

（4）引入集装箱数据采集。通过可编程逻辑控制器(PLC)采集和图像识别，可以实时采集集装箱的相关信息，如箱型、吊具锁、重量、限位状态等数据。物联网(IoT)技术的发展使得低成本、低功耗的传感器广泛应用于各种场景，可以实现对集装箱的全程监控，及时发现异常情况，提高装卸过程的安全性和可靠性，技术成熟度较高，实施成本可控[7]。

2.2　数字化改造逻辑结构设计

数字化改造组成基本单元包括：箱号/车号识别单元、PLC数据采集单元、定位数据采集单元、智控主机处理单元、车载终端，并支持扩展单元数据接入，数字化改造逻辑架构如图1所示。

（1）箱号/车号识别单元。通常由多个组件构成，

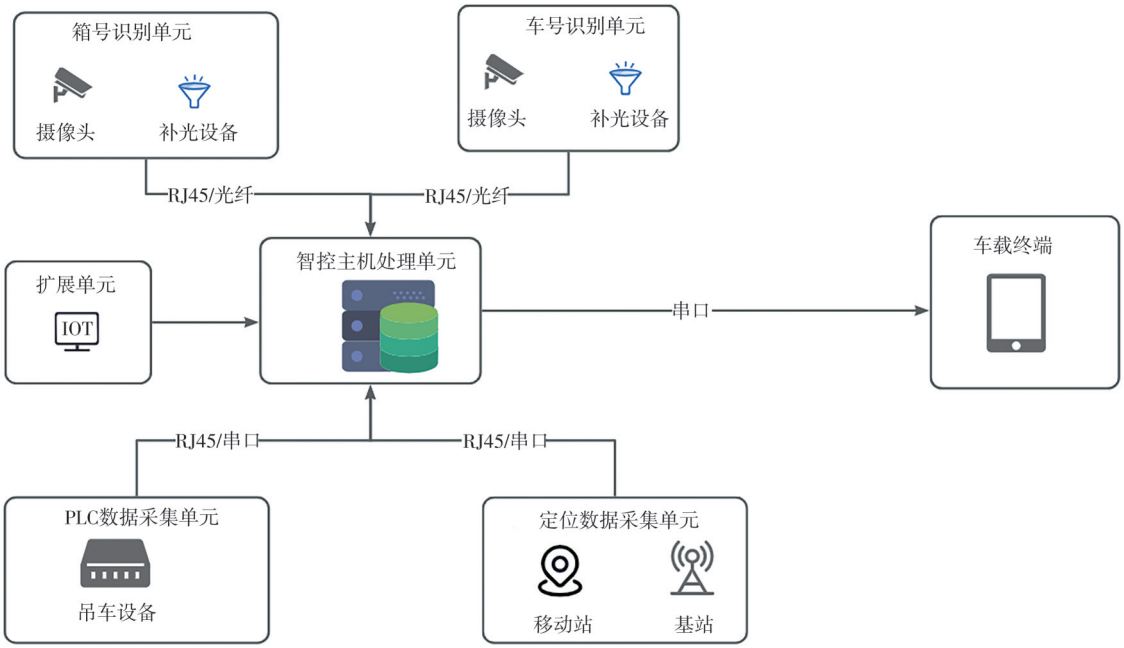


图1　数字化改造逻辑架构

Fig.1　Digital transformation logic architecture

以实现对集装箱箱号、货车车号的准确识别和数据采集。由摄像头模块、补光模块、车号识别算法模块、集装箱箱号识别算法模块、数据存储模块、控制模块、数据传输模块组成。

（2）定位数据采集单元。用于实现精确的北斗定位和数据采集，由RTK基站、移动站、天线、数据传输模块组成。

（3）PLC数据采集单元。主要获取作业指令，并将指令传输给智能主机控制单元。由通信模块、信号转换模块、数据采集模块、数据传输模块组成。

（4）智控主机处理单元。负责将各采集单元的数据进行汇集，然后按照业务要求进行融合处理，最终通过数据传输模块安全地传输给车载终端。由数据融合处理模块、设备状态自检模块、数据存储模块、数据传输调度器、数据传输模块组成。

（5）车载终端。负责给装卸司机提供可视化操作界面，接收智控主机采集数据，实现装卸作业设备采集数据的上传等。由平板电脑、车载支架、供电模块、应用模块组成。

（6）扩展单元。用于支持扩展接入装卸机械数字化需要的其他设备数据，包括F-TR防勾连设备、限位器、门吊防碰撞装置、集装箱正面吊CAN总线、集卡车号识别及定位等，通过智控主机进行相关数据汇聚集成，通过车载终端进行报警提示。

3　铁路集装箱自动化作业研究

3.1　自动化作业的技术路线

自动化是指通过机械设备和控制系统，替代或辅助人工操作，实现铁路堆场内各项作业的自动执行。自动化的核心在于减少人力依赖，提高作业效率和精度，降低运营成本和人为错误。为了实现铁路集装箱自动化作业，在集装箱门吊数字化的基础上，通过技术方法，实现自动化作业[8]。

（1）数据采集。数据采集主要包含箱号、质量、位置、吊具锁状态等数据。其中质量、吊具锁状态均通过PLC接入小车控制总线获得，同时PLC负责将模拟信号转换为数字信号并序列化后传入智控主机。

（2）数据通信。数据通信主要采用有线方式，箱号、北斗定位、PLC采集数据均采用串口通信方式，统一汇聚至智控主机，智控主机通过Type-C接口和车载终端进行连接。串口通信可以实现网络隔离，确保不同子系统之间的数据传输不会互相干扰且拥有优于蓝牙连接的稳定性，符合铁路系统的安全要求；基于所有数据经采集和清洗编码后数据量都较小，也更适合通过串口通信传输。

（3）小车的限位和点动。小车的限位和点动主要融合了光电传感器、PLC、单片机等技术，实现在小车的运动路径上设置限位开关等物理限位装置。当小车达到预定位置时，限位开关触发，小车停止前进，或吊具升降到指定高度后触发限位信号，停止上升。此外使用传感器和控制系统实时监测设备的位置，当达到预定位置时，控制系统发出指令促使小车停止运行。对于点动操作，操作员可以通过按钮或遥控器手动控制设备进行短距离的精确移动，或者控制系统根据预设的参数自动控制设备进行短距离的精确移动。这些技术确保了机械设备在预定范围内安全、准确地操作。

3.2　基于数据驱动的自动化作业设计

车载终端与智控主机连接，实时接收设备采集数据，作业开始自动检索吊箱计划，作业结束自动闭环确认，并语音提示；当出现空重不符、集装箱超重、实际作业和计划不一致等问题时，语音报警，彻底解决空重混装、重当空排等影响运输安全的问题。自动化作业流程如下。

步骤1：吊起，获取锁具状态，弹出自动运行界面，自动识别吊起的箱号。吊起状态如图2所示。



图2　吊起状态

Fig.2　Lift status

步骤2：移动，再次确认箱号及质量。门吊移动状态如图3所示。

步骤3：落箱解锁，获取实际落箱位置，和计划进行校核，如果一致，自动完成，如果不一致，系统提示报警。落箱实际和计划不一致报警如图4所示，落箱实际和计划一致自动完成如图5所示。



图3　门吊移动状态

Fig.3　Crane movement status



图4　落箱实际和计划不一致报警

Fig.4　Alarm for inconsistency between actual and planned container dropping

4　集装箱门吊数字化改造和自动化作业现场实施

4.1　实施设备安装

根据大弯镇场站实际情况，经多次调整和测试结果证明，分别将图像采集摄像机安装在小车两头横梁近箱号端1/3的位置，将侧边摄像机安装于楼梯柱腿及斜方柱腿离地面11 m高度处，是获得更多箱号图像的最佳位置；吊具摄像机则是安装在吊具下方于锁具两端中间位置，且与吊具平面形成10度夹角为最佳。大弯镇站门吊图像采集设备安装示意图如图6所示。



图6　大弯镇站门吊图像采集设备安装示意图

Fig.6　Installation of gantry crane at Dawanzhen Station



图5　落箱实际和计划一致自动完成

Fig.5　Actual and planned container dropping automatically completed in accordance with the plan

4.2　实施过程

2023年11月，在大弯镇站首次进行航拍测绘，并于2个工作日后出图。在此基础上进行差分基准站的安装，根据无电磁干扰、地基稳定、信号无遮挡、易于维护等要求，最后安装于业务厅楼，并进行小车移动定位测试，效果良好。

同期进行移动站安装，最初安装到门吊驾驶员上方机房旁，经多次测试后，发现当门吊运行时移动站处于小车稳固横梁下时，偶有丢帧现象发生，再经多次验证后确定为稳固横梁遮挡卫星信号所致，随后增加移动站天线来解决该问题。

待差分基准站和移动站安装完毕后，进行安装图像采集摄像机和网络布线工作，主要困难点在于随行线缆的铺设、随行线缆的抗拉强度和屈服强度，同时摄像机安装机位和角度的调整也较为耗时。

在设备安装完毕后，进行了系统集成测试，主要对摄像机环境光照度、背光、焦距等参数的微调，以及网络稳定测试、定位偏移量参数调整等。

4.3　测试效果

（1）箱号识别。箱号识别如图7所示。



图7　箱号识别

Fig.7　Box number identification

（2）集装箱定位。集装箱定位如图8所示。



图8　集装箱定位

Fig.8　Container positioning

（3）数据采集自动报点。数据采集自动报点如图9所示。

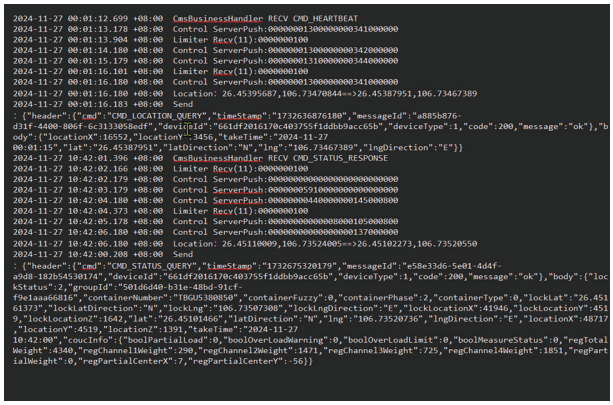


图9　数据采集自动报点

Fig.9　Automatic reporting of data collection points

4.4　实施评价

（1）效率提升。在未使用装卸自动化时操作逻辑：以卸车为例，小车驾驶员将吊具移动到集装箱上方，通过地面人员报出当前作业箱号，小车驾驶员根据该箱号找到计划工单并选中，移动到目标箱位落箱，再次在平板上点击“报点”按钮。当实际落箱位置与计划位置不一致时，小车驾驶员还需要“选中”实际落箱位置并选择“修改”，以实现真实落箱位置的上报。

使用装卸自动化后，相同卸车操作，驾驶员无任何平板操作，通过自动箱号识别和自动定位自动匹配工单，并在落箱后自动“报点”。相较于非自动化卸车过程，自动化模式少了搜索工单、地面人员和驾驶员对讲沟通、平板修改落箱位置等操作，平均工单完成时间可节省35%。

（2）保障安全。传统的作业方式需要地面人员观察并报出箱号，这不仅增加了人力成本，还存在较大的安全隐患。自动箱号识别技术的应用，使得地面人员无须再进行箱号报读，减少了他们在作业现场的暴露时间，从而降低了人为因素导致的事故风险。自动化后不仅提高了作业效率，更重要的是保障了地面人员的安全[9]。

5　结束语

研究探讨了铁路集装箱堆场的数字化改造及自动化作业技术，以大弯镇站实施改造为例，展示了数字化和自动化技术在提高铁路物流效率、降低成本、提升安全性、增强竞争力等方面的关键作用。该技术方案仍有进一步改进和扩展空间，未来研究应进一步提

升吊箱指令的精准性，实现更高效的协同工作，减少系统的复杂性和维护成本。同时应探索人工智能技术在铁路集装箱堆场中的应用，如门吊远控和AGV无人小车等，实现作业堆场的整体无人化和自动化[10]。

参考文献：

[1] 刘　冰，亢巨龙，张国彬，等.面向数字化转型的铁路集装箱运输经营服务集成平台总体方案研究[J].铁道货运，2024，42(6)：26-32.
LIU Bing，KANG Julong，ZHANG Guobin，et al. Study on Overall Scheme of Integrated Platform for Railway Container Transport Operation Services Oriented to Digital Transformation[J]. Railway Freight Transport，2024，42(6)：26-32.

[2] 于雪峤，叶　飞，王丹竹，等.铁路集装箱堆场智能管理关键技术研究[J].铁道货运，2020，38(12)：1-6.
YU Xueqiao，YE Fei，WANG Danzhu，et al. Key Technologies for the Intelligent Management of Railway Container Yard[J]. Railway Freight Transport，2020，38(12)：1-6.

[3] 吴志伟，高　达.基于数字孪生的铁路货运站场资源可视化系统[J].铁路计算机应用，2023，32(9)：54-58.
WU Zhiwei，GAO Da. Railway Freight Station Yard Resource Visualization System Based on Digital Twins[J]. Railway Computer Application，2023，32(9)：54-58.

[4] 唐　浩，于晓东，吴志伟，等.铁路货场货运组织作业优化的探讨[J].铁道货运，2024，42(7)：7-11，17.
TANG Hao，YU Xiaodong，WU Zhiwei，et al. Operation Optimization of Freight Organization in Railway Freight Yards[J]. Railway Freight Transport，2024，42(7)：7-11，17.

[5] 王丹竹，叶　飞，田宏业，等.铁路集装箱场站调度协同优化体系构建研究[J].铁道运输与经济，2020，42(12)：38-42，48.
WANG Danzhu，YE Fei，TIAN Hongye，et al. Collaborative Optimization System for Railway Container Yard Scheduling[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(12)：38-42，48.

[6] 周志飞，张越强.中鼎物流园自动化集装箱场站的功能与成效分析[J].铁道货运，2019，37(9)：41-45.
ZHOU Zhifei，ZHANG Yueqiang. A Study on the Performance of the Automated Container Yard at the Zhongding Logistics Park[J]. Railway Freight Transport，2019，37(9)：41-45.

[7] 俞武骏.上海铁路集装箱中心站运输能力提升对策研究[J].铁道货运，2023，41(12)：12-18.
YU Wujun. Countermeasures to Improve the Transportation Capacity of Shanghai Railway Container Center Station[J]. Railway Freight Transport，2023，41(12)：12-18.

[8] 孙海龙.港口集装箱堆场的数字化架构[J].港口科技，2022(10)：1-5，24.

[9] 柯向喜.南宁国际铁路港智能化运营管理体系设计[J].铁道货运，2022，40(8)：39-45.
KE Xiangxi. Design of Intelligent Operation Management System for Nanning International Railway Port[J]. Railway Freight Transport，2022，40(8)：39-45.

[10] 唐　浩.铁路物流基地智能化运营管理体系设计[J].铁道运输与经济，2021，43(3)：25-30.
TANG Hao. Design of Intelligent Operation Management System of Railway Logistic Center[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(3)：25-30.

（责任编辑：吴文娟）

Research on Digital Transformation and Automated Operations of Railway Container Gantry Cranes

ZHAO Hua

(Zunyi Train Operation Depot，China Railway Chengdu Group Co.，Ltd.，Chengdu 610082，Sichuan，China)

Abstract: With rapid economic development and growing logistics demands, enhancing the operational efficiency and service quality of railway logistics terminals has become a crucial research focus. Taking Dawan Town Station of the Chengdu Railway Group Co., Ltd. as an example, this paper explored the digital transformation and automated operation technologies for railway container yards. It verified how digitalization and automation addressed inefficiencies and information flow bottlenecks in traditional railway container operations, thereby improving overall capabilities. By implementing technologies such as optical character recognition (OCR), Beidou differential positioning, gantry crane trolley limiters, container data acquisition, and the yard's digital twins, precise management of container blocks and slots was achieved. This increased the efficiency of lifting and container handling operations by approximately 35%. Furthermore, safety at the operation site was significantly enhanced through the reduction of ground-level personnel and the introduction of trolley limiters.

Keywords: Railway Logistics Terminal; Optical Character Recognition; Container Number Identification; Beidou Positioning; Digital Transformation