文章编号：2097-5899(2026)04-0050-05　**中图分类号**：U298.3　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202503130001
引用格式：吕江. 集装箱正面吊作业动态监测及安全防护技术研究[J]. 铁路物流，2026，44(4)：50-54.
LYU Jiang. Research on Dynamic Monitoring and Safety Protection Technologies for Container Reach Stacker Operations[J]. Railway Logistics，2026，44(4)：50-54.

集装箱正面吊作业动态监测及安全防护技术研究

吕　江

(中国铁路北京局集团有限公司 天津铁路物流中心，天津　300142)

摘　要：针对集装箱正面吊卸车F-TR锁勾连和装车空重箱混装问题，采用称重传感器、激光测距、箱号智能识别、CAN总线、无线数据传输等技术，研究设计了集装箱正面吊作业动态监测与安全防护系统。该系统采用平膜片结构压电式称重传感器，实现了集装箱超偏载检测功能；采用SSD多尺度端到端目标智能检测算法和SVM分类算法，实现集装箱箱号高效智能识别；利用集装箱称重数据和激光测距值，提出了F-TR锁未脱锁自动判别方法和集装箱空重混装报警方法。该系统在北京局集团公司铁路货场集装箱正面吊上推广应用，为集装箱正面吊装卸作业安全提供了技术支撑。

关键词：集装箱正面吊；F-TR锁；空重箱混装；安全防护；集装箱作业

集装箱正面吊是铁路货场技术较为先进的机电液一体化的集装箱装卸机械，已经成为铁路场站集装箱装卸作业的主型设备，具有起吊能力大、堆码层数高、机动灵活等特点[1-2]。集装箱正面吊在铁路场站逐步广泛应用的同时，在卸车作业中由于集装箱与F-TR锁未能顺利脱开，造成集装箱平车被吊起后脱轨；在全路每年发生的装卸责任事故中，由于F-TR锁未能顺利脱开造成平板车脱轨事故占50%以上，该问题成为货运管理人员关注的焦点[3-5]。而且，当铁路货场集装箱作业量较大时，工作人员为提高效率，违规边卸边装，极易出现空重混装问题[6]，引起车辆偏重偏载，造成安全隐患，易引发安全事故。目前，集装箱作业动态监测及安全防护主要应用于集装箱专用门吊[7-8]，集装箱专用门吊属于电动机械，易于实现集装箱作业的自动化防护，而集装箱正面吊是液压控制设备，精确控制集装箱正面吊吊具起升是难点问题，造成集装箱正面吊F-TR锁作业安全防护研究较少。因此，针对以上问题，设计了集装箱正面吊作业动态监测与安全防护系统。

1　集装箱正面吊作业动态监测与安全防护系统设计

1.1　总体架构设计

集装箱正面吊作业动态监测及安全防护系统由称重传感器、激光测距模组、箱号识别模块、数据采集仪、无线数据传输模块、数据处理终端、显示器等组成。集装箱正面吊作业动态监测及安全防护系统总体架构如图1所示。

1.2　称重传感器

称重传感器选用具有硬中心的平膜片结构压电式传感器，4个称重传感器安装在集装箱吊具4角旋锁装置内，采用5 V直流电供电。按照ISO标准，集装箱最大总重为36 t，超(偏)载能力最大按25%计，则实际集装箱总重有可能达到36 t×1.25=45 t，假设集装箱重

收稿日期：2025-03-13　**修订日期**：2026-01-20
基金项目：中国铁路北京局集团有限公司科研项目(2022BH01)

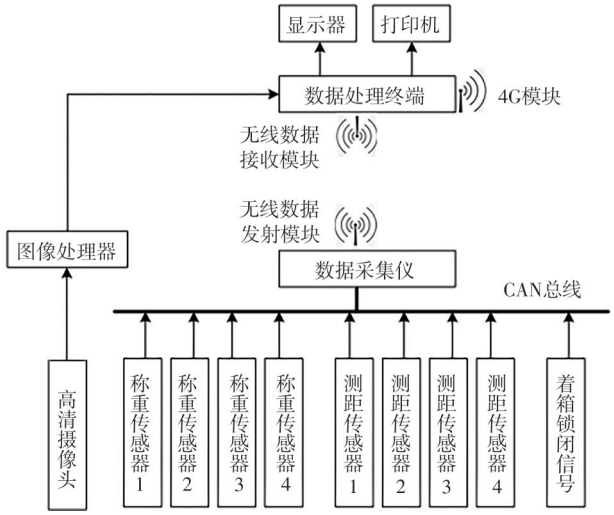


图1　集装箱正面吊作业动态监测及安全防护系统总体架构

Fig.1　Overall architecture of dynamic monitoring and safety protection system for container reach stacker operations

量均匀分布在4个传感器上，则传感器所需量程为45 t/4=11.25 t，设计传感器时量程按11.5 t考虑。考虑起吊作业时有冲击，传感器最大量程按23 t设计，传感器的结构安全系数取2。称重传感器如图2所示。



a　称重传感器外形
a　Outline drawing of weighing sensor

b　称重传感器安装位置
b　Installation position of weighing sensor

图2　称重传感器

Fig.2　Weighing sensor

1.3　激光测距模组

在集装箱吊具的4个角上安装4个激光测距模组，激光测距传感器采用升级型高分辨率距离测量TOF方法测距，测量精度在10 m范围内为±0.1 mm，防护等级为IP67。为解决激光测距抖动问题，激光测距模组采用全封闭机械滑台，通过电机实现激光装置的自动伸缩，采用24 V直流电供电。因现场工作时集装箱正面吊振动较大，易造成模组上电路部件及结构件损坏，针对此问题，激光测距模组下端增加了橡胶减震结构垫。卸集装箱平车时，激光测距模块的激光传感器自动伸出，自动实时检测集装箱吊起高度。集装箱脱离F-TR锁后，当集装箱与集装箱平车之间的距离超过设定值时，激光测距模组自动缩回，防止激光传感器在其他作业中被损坏。激光测距模组如图3所示。



a　激光探头收回状态
a　Laser probe retraction status

b　激光探头伸出状态
b　Laser probe extended status

图3　激光测距模组

Fig.3　Laser ranging module

1.4　箱号识别模块

箱号识别模块由高清摄像头和图像处理器组成。高清摄像头安装在正面吊大臂下方，用于采集车号和箱号视频数据，其分辨率1 280×720，扫描速度30帧/s，采用可调焦的大广角镜头扩大拍摄范围，拍摄角度150°，防护等级IP67，识别距离8 m。为了满足暗光条件下采集视频数据要求，采用补光灯补光；高清摄像头采用纯金属的镜头，应用螺纹胶防滑防松，满足防震要求。图像处理器采用酷睿TMI5—8265U工控机，内存为8 GB，采用散热风扇散热。高清摄像头采集的视频数据通过网线传输至图像处理器，保证图像传输的及时性。图像处理器对视频数据进行箱号、车号识别后，将识别结果传给数据处理终端。

1.5　CAN总线数据采集和传输

称重传感器称重数据和激光测距数据通过CAN总线采集并传输到数据采集仪，达到数据实时采集、传输和作业控制的目的。早期采用RS485通信方式，该通信方式需要分时独立进行通信数据处理，存在数据处理不及时的问题，影响控制精度。针对该问题，采用CAN总线进行称重和激光测距数据的采集和传输，可完成对通信数据的成帧处理，包括位填充、数据块编码、循环冗余检验、优先级判别，保证了不会出现RS485网络中的系统错误。实践证明，CAN总线的数

据通信具有可靠性、实时性和灵活性，保证了控制精度。数据采集仪安装在集装箱正面吊吊具上，与数据无线发射模块集成在一起，通过数据无线发射模块，将所采集的数据传输到数据处理终端。数据采集仪如图4所示。



图4　数据采集仪

Fig.4　Data acquisition device

1.6　数据无线收发模块

LoRa直序扩频技术具有抗干扰能力强、发射密度功率低、保密性好和极好的抗多径衰落性能优势，适合长距离、低功耗无线通信，传输速率较快。采用LoRa直序扩频技术双433模块进行称重数据、激光测距数据和着箱信号传输，实现称重传感器、激光传感器、集装箱吊具转锁着箱信号与数据处理终端之间的双向无线通信，工作频率为433 MHz。数据无线收发模块与ATmega128单片机结合，设计成微型收发器，能实现高速数据信号传输，并具备打包、检错和纠错处理的功能，工作稳定可靠，体积小巧，安装方便。在数据采集仪上集成数据无线发射模块，在数据处理终端上集成数据无线接收模块。

1.7　数据处理终端

数据处理终端采用ATmega128单片机开发，通过LoRa无线数据接收模块接收数据采集仪采集的称重数据、测距数据和着箱信号数据，以及通过有线方式接收箱号识别模块识别出的集装箱箱号，并将这些数据转换为直观、可读的数据，具有数据存储功能，以便用户在本地回顾历史数据。数据处理终端对这些数据进行综合处理，计算出集装箱重量、偏载偏重值，判断F-TR锁是否脱锁、集装箱是否空重混装，并发出对应的控制指令。数据处理终端的监测数据也可以通过4G模块发送到云平台，用户可以借助互联网远程查看和分析数据，提升了集装箱作业数据监测的便捷性。

1.8　显示器和打印机

显示器和打印机安装在集装箱正面吊司机室内，显示器与数据处理终端集成在一起，打印机与数据处理终端采用RS232接口相连。显示器提供了图形显示功能，司机可直观监测集装箱作业数据。打印机打印集装箱重量值、偏载值和偏重值。

2　集装箱正面吊作业动态监测与安全防护系统功能

2.1　集装箱超偏载检测功能

安装在集装箱吊具上的称重传感器分别测量出集装箱4角的质量，然后通过集装箱4角的质量，换算出集装箱的质量和偏载数值。在显示屏上，显示集装箱总重、4个称重点的质量以及集装箱横向偏载值、纵向偏重值，测量数据显示如图5所示。



图5　测量数据显示

Fig.5　Measurement data display

2.2　箱号识别功能

集装箱箱号识别是集装箱智能化装卸作业的基本功能之一[9]。以高清摄像头采集的集装箱图像为基础，标注集装箱箱号图像数据，建立集装箱箱号标注数据集，并且定期远程传回图像新增到数据库中，着重处理破损、遮挡个别字符的图像。以深度学习理论为基础，设计基于深度卷积神经网络的箱号位置检测方法和箱号OCR识别网络，采用集装箱箱号标注数据集进行训练，形成集装箱箱号识别模型，最终实现箱号的自动扫描识别录入。针对光线干扰、车身倾斜、箱号污损、箱号遮挡等复杂情况，首先对图像倾斜文本区域进行矫正，利用SSD多尺度端到端目标智能检测算法[10]，快速实现文本的精确定位和分割；然后利用几何相似度度量和基于梯度统计特征的SVM分类器对箱号进行智能识别，箱号识别准确率达99.5%。集装箱箱号经过图像处理器识别后，传输到数据处理终端进行管理，再传输到显示器上显示。

2.3　F-TR锁未脱锁防护功能

F-TR锁未脱锁防护功能是根据称重传感器检测的集装箱4角受力和测距传感器测量的集装箱4角与车辆地板相对高度值，综合判断脱锁情况并监控锁头安全性。当卸集装箱平车时，集装箱正面吊司机通过操作司机室仪表，启动称重传感器测力和激光测距模组伸出后测距，当吊起集装箱时集装箱某个角与集装箱平车地板之间距离不变且小于脱锁距离，集装箱每个角受力异常变化量也超过设定值时，可判定该集装箱角件与F-TR锁勾连，语音提示未脱锁，仪表有未脱锁标识提示，这时控制系统控制集装箱正面吊实行机械、电气和液压联锁保护，切断动力，集装箱吊具不能上升，只能下降，在重新调整集装箱与F-TR锁的位置关系后，再次起吊集装箱，直到完全脱锁。集装箱与F-TR完全脱锁后，根据集装箱与集装箱平车地板的距离自动控制激光测距模组缩回。该功能具有操作简便、测量精度高、反应速度快、抗干扰性好、控制精准度高等特点。

2.4　空重集装箱混装报警功能

通过软件设计，实现集装箱空重混装报警功能。集装箱正面吊装卸作业前，通过高清摄像头拍摄待装集装箱图片，智能识别待装集装箱箱号，集装箱箱号与车辆箱位对应。装卸作业时，必须完成一辆车作业后，方可进行下一车作业；当一辆车装载1个集装箱后，显示屏上提示等待装载第2箱，在装载完成第2箱时，比较2个集装箱的质量偏差，当超过设定值时自动判别为空重混装；在空箱作业模式下，重箱不能被吊起，在重箱作业模式下，空箱不能被吊起；通过这些限制措施，防止漏装、错装和漏卸问题。同时，在司机室显示屏上，通过图形及颜色实时显示列车装车状态，方便司机直观操作。当用红色表示车辆箱位时，表示该箱位已经装了集装箱，装车合格；当车辆箱位为绿色时，表示箱位为空；当2个箱位为灰色时，表示空重混装，装车不合格。空重集装箱混装判别及显示如图6所示。

2.5　点动起升功能

点动起升是集装箱平车卸车作业的标准作业流程[11]，它是为了防止集装箱装卸机械起升作业太快而造成集装箱与F-TR锁勾连，进而造成集装箱平车脱轨或损坏。当集装箱正面吊卸重箱作业时，集装箱正面吊轮胎产生较大变形，用于抵消集装箱质量，这个过程中集装箱并未起升；当集装箱正面吊轮胎变形抵消掉集装箱质量后，集装箱才开始脱离集装箱平车地板面。通过软件智能判别集装箱脱离集装箱平车地板面后，采用4次慢速点动技术控制集装箱起升量，每次点动起升量设为30 mm，当点动起升量≥120 mm时，集装箱角件脱离F-TR锁成功，从而实现F-TR锁未脱锁防护。

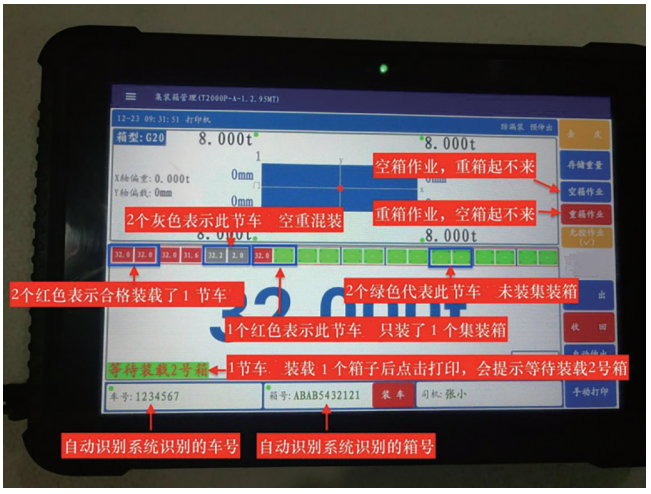


图6　空重集装箱混装判别及显示

Fig.6　Identification and display of mixed loading of empty and heavy containers

2.6　语音报警功能

在数据处理终端上加装语音芯片，当集装箱未脱锁，集装箱超载、偏载或偏重，集装箱空重混装时，数据处理终端会发出对应的中文语音报警，集装箱正面吊司机根据语音报警选择对应操作，起到安全互控的作用。设计控制按钮，在空箱作业时，重箱不能起吊；重箱作业时，空箱不能起吊。

3　结束语

随着铁路集装箱多式联运的快速发展，集装箱作业安全已经成为铁路物流安全关注的重点方向，现场不断强化集装箱作业安全关键环节和风险项点的智能管控，提升铁路集装箱装卸作业安全水平。应用集装箱正面吊作业动态监测与安全防护系统，可实现集装箱超偏载检测，从源头上通过控制集装箱超偏载达到控制车辆均衡装载的目的；通过F-TR锁未脱锁自动判别和点动起升方法，能有效预防集装箱勾连F-TR锁，防止铁路车辆脱轨事故的发生；通过集装箱空重混装报警，有效预防了空重集装箱混装现象，避免了铁路车辆超偏载。该系统在北京局集团公司铁路货场集装箱正面吊上推广应用，为集装箱正面吊装卸作业安全提供了技术支撑。

参考文献：

[1] 杨广全，梁永刚，李　瑞. 铁路集装箱正面吊安全监管平台设计研究[J]. 铁道货运，2017，35(12)：45-49.
YANG Guangquan，LIANG Yonggang，LI Rui. Research on Design of Safety Monitoring and Management Platform of Railway Container Reach Stackers[J]. Railway Freight Transport，2017，35(12)：45-49.

[2] 杨广全，杨　旭. 铁路集装箱正面吊技术发展方向研究[J]. 铁道货运，2021，39(3)：32-36，41.
YANG Guangquan，YANG Xu. Technical Development Direction of Reach Stacker for Railway Container[J]. Railway Freight Transport，2021，39(3)：32-36，41.

[3] 刘雪斐. 铁路集装箱F-TR锁卸车作业未脱锁防护技术研究与应用[J]. 铁路物流，2025，43(3)：60-64.
LIU Xuefei. Research and Application of Non-Release Protection Technology for Railway Container F-TR Lock Unloading Operations[J]. Railway Logistics，2025，43(3)：60-64.

[4] 李思佳，孔德顺，姜会增. 基于正面吊计量检测的集装箱装卸作业信息化研究与应用[J]. 铁道运输与经济，2023，45(3)：103-110.
LI Sijia，KONG Deshun，JIANG Huizeng. Research and Application of Container Handling Informatization Based on Measurement and Detection of Reach Stacker[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(3)：103-110.

[5] 杨广全，杨　旭，史　村. 集装箱正面吊人机安全防撞行人智能检测算法研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(10)：215-222.
YANG Guangquan，YANG Xu，SHI Cun. Intelligent Pedestrian Detection Algorithm for Human-Machine Safety and Collision Avoidance of Container Reach Stacker[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(10)：215-222.

[6] 钟彦鹏. 集装箱作业流程智能化控制系统设计与研究[J]. 铁道货运，2023，41(11)：54-60.
ZHONG Yanpeng. Design and Research of Intelligent Control System for Container Operation Process[J]. Railway Freight Transport，2023，41(11)：54-60.

[7] 黄嘉怡，汤银英，郭赫臣，等. 基于深度学习的铁路货场作业安全状态识别与监控技术研究[J]. 铁道货运，2024，42(8)：41-49.
HUANG Jiayi，TANG Yinying，GUO Hechen，et al. Identification and Monitoring of Operation Safety Status in Railway Freight Yard Based on Deep Learning[J]. Railway Freight Transport，2024，42(8)：41-49.

[8] 王帮琪. 铁路货运F-TR锁装卸事故技防方案研究[J]. 铁道货运，2022，40(8)：30-38.
WANG Bangqi. Research on Technical Prevention Scheme of F-TR Lock Loading and Unloading Accidents for Railway Freight Transport[J]. Railway Freight Transport，2022，40(8)：30-38.

[9] 唐晓勇，刘　浩. 基于深度学习的集装箱箱号识别系统设计[J]. 集装箱化，2022，33(10)：18-22.

[10] LIU W，ANGUELOV D，ERHAN D，et al. SSD：Single Shot MultiBox Detector[C]//Computer Vision-ECCV 2016. Cham：Springer International Publishing，2016：21-37.

[11] 中国铁路总公司. 铁路货物装卸安全技术规则：TG/HY 108—2015[S]. 北京：中国铁道出版社，2015：83-84.

（责任编辑：魏　然）

Research on Dynamic Monitoring and Safety Protection Technologies for Container Reach Stacker Operations

LYU Jiang

(Tianjin Railway Logistics Center，China Railway Beijing Group Co.，Ltd.，Tianjin 300142，China)

Abstract: To address the problems of F-TR lock hook connection during container reach stacker unloading and mixed loading of empty and heavy containers during loading, a dynamic monitoring and safety protection system for container reach stacker operations was studied and designed using technologies such as weighing sensors, laser ranging, intelligent container number recognition, CAN bus, and wireless data transmission. The system adopted piezoelectric weighing sensors with a flat diaphragm structure and realized the detection function of container overload and unbalanced loading. The SSD multi-scale end-to-end intelligent object detection algorithm and SVM classification algorithm were adopted to realize the efficient and intelligent recognition of container numbers. Based on the container weighing data and laser ranging values, an automatic discrimination method for unlock failures of F-TR locks and an alarm method for mixed loading of empty and heavy containers were proposed. The system was promoted and applied to the container reach stackers in the railway freight yards of China Railway Beijing Group Co., Ltd., providing technical support for the safety of container reach stacker loading and unloading operations.

Keywords: Container Reach Stacker; F-TR Lock; Mixed Loading of Empty and Heavy Container; Safety Protection; Container Operation