文章编号：2097-5899(2026)05-0031-06　**中图分类号：**U294.6　**文献标识码：**A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202503050001
引用格式：郭元臻，高润泽，郑路，等. 铁路超限货物运输双向检查架及监测装置设计[J]. 铁路物流，2026，44(5)：31-36.
GUO Yuanzhen，GAO Runze，ZHENG Lu，et al. Design of Bidirectional Inspection Frame and Monitoring Device for Railway Out-of-Gauge Freight Transport[J]. Railway Logistics，2026，44(5)：31-36.

铁路超限货物运输双向检查架及监测装置设计

郭元臻[1]，高润泽[2]，郑　路[2]，李亚学[3]，马　冲[2]

(1. 中铁特货大件运输有限责任公司 专列运输项目部，北京　100070；2. 中铁特货大件运输有限责任公司 电力设备项目部，北京　100070；3. 中铁特货大件运输有限责任公司 301项目部，北京　100070)

摘　要：为保障铁路超限货物的运输安全，对于限界条件相对较差、桥隧密集的铁路线段，通常会在正式运输前进行检查架模拟运输试验。针对现行检查架的不足，研究提出双向检查架改进思路：一方面从结构设计的角度出发，重新设计检查架结构，使检查架可以双向运行，解决现存问题；另一方面从监测的角度出发，设计出一套适配的监测装置，在检查架发生碰撞时，在远程视频盯控处报警并记录相应信息，使试验结果有据可依。该双向检查架有效扩大了检查架模拟运输试验的使用场景，其灵活、稳定的特点完全可以覆盖现有的试验需求，也可以在最大程度上保障试验结果的可靠。

关键词：铁路；超限运输；检查架；限界；监测系统

1　概述

伴随着大型发电项目、输电工程的建设发展，大型变压器和发电机定子等超限货物设备的外形尺寸也日益增大，相应的线路限界尺寸愈发紧张。同时，重车在运行时因线路条件、通过速度等因素产生的动态偏移量难以掌握[1-2]，这给铁路特大型超限货物运输带来安全风险。为保障设备的运输安全，对于限界条件相对较差、桥隧密集的铁路线段，通常会在正式运输前进行检查架模拟运输试验[3]。

1.1　检查架工作原理

《铁路超限超重货物运输规则》第三十二条规定，为确保超限货物运输安全，可采用检查架等方法检查确认运输线路或区段的限界能否满足通行安全[4]，同时须满足：①检查架的尺寸应与货物检定断面的实际尺寸相同；②安装检查架的车辆应与拟用车辆的车型相同；③检查架应安装在货物检定断面所在的位置；④使用其他车辆安装检查架的，检查架的尺寸应考虑拟用车辆的偏差量和倾斜量等。

为尽可能模拟还原真实运输场景，便于直接观察排除运输安全隐患，现有铁路检查架模拟运输试验中仍采用实体检查架的方式进行实验，通常会使用与正式运输的拟用车辆相同的车型安装检查架，以确保车辆曲线偏差量和曲线加宽最接近真实情况[5]。检查架主体通常使用钢结构，一般包含固定支架和活动支架2部分，除此之外配套设备还包括加固材料、照明设备、视频采集设备[1,6]。在检查架运输试验期间，会设置专员随车添乘，在车内通过视频监控盯控检查架是否发生剐蹭和碰撞，并记录相应地点和设备，之后通知相关铁路局集团公司主管人员，组织安排前往现场勘查整改[7]。

1.2　检查架改进思路

现行检查架试验模式已经相对成熟，通过开展检查架运输试验来保障专列运输安全的成功案例也有很

收稿日期：2025-03-05

多。但是，在多次参与检查架运输试验后，发现仍有很多问题影响检查架试验结果的准确性，亟待解决，以下列举2个主要问题。

（1）由于结构设计的原因，现行检查架均为单向检查架，即安装后的检查架仅可以向逆车辆前进方向活动[8]。因此，安装检查架时需要提前确定好安装方向，同时，对于中途需要换向的运输径路，需要在有条件的场地重新安装检查架，或者开展多次检查架运输试验。此外，单向检查架回弹装置的活动角度和回弹力度为非线性关系，存在碰撞力度过大时导致无法回弹或者回弹力度太大导致限位偏移的问题。

（2）检查架运输试验期间需要监测人员全程通过视频采集设备盯控，观察检查架是否发生剐蹭和碰撞。由于监控摄像头观察角度非正对位置，肉眼观察存在视觉错位，导致观察结果存在偏差。此外，人员长时间盯控难免会疲惫走神，造成遗漏碰撞点位。

这2种情况均会造成观察结果的可信度降低，也会使正式运输存在不可控风险。针对以上2项不足，研究提出对现行检查架的改进思路。一方面从结构设计的角度出发，重新设计检查架结构，使检查架可以双向通行，大大增加其使用场景，解决现存问题；另一方面从观察试验结果的角度出发，设计一套适配的监测装置，在检查架发生碰撞时，在远程视频盯控处接收警报并记录相应信息，包括时间、地点、碰撞位置等，使试验结果有据可依。

2　双向检查架设计

2.1　核心设计原理

双向检查架主体框架部分包含固定支架、活动支架、连接转轴和限位回弹4部分。其设计思路，除了可双向通行外，还需要满足以下需求。

（1）整体框架结构稳定，满足铁路装载加固要求，在试验期间不发生晃动和形变。

（2）活动支架碰撞后通过转动有效卸力，避免固定支架承受过量冲击力导致变形或位移，且发生转动后迅速恢复至初始位置，多次碰撞后整体结构不受影响。

（3）各部件尺寸和结构要方便安装、拆卸、运输。

（4）装后尺寸可在适当范围内细微调节，以确保安装、车况等各种因素造成的误差不会影响最终的检查架装后尺寸。

（5）在一定程度内有效对抗暴雨、过隧道的风压等特殊情况。

为满足以上需求，经过多轮讨论设计，确定了采用转动臂和双层支架的方案。该方案的主要原理是将活动支架和固定支架使用转动臂连接，通过限位回弹装置和转动臂的相互作用，使转动臂在受力转动后恢复原位，进而带动活动支架恢复原位。转动臂原理示意图如图1所示，限位回弹装置通过拉力将转动臂保持在竖直位置，当转动臂被碰撞逆时针转动后，限位回弹装置长度伸长，拉力增大，将转动臂顺时针拉动直到拉回初始位置，反方向碰撞后同理被拉回初始位置。

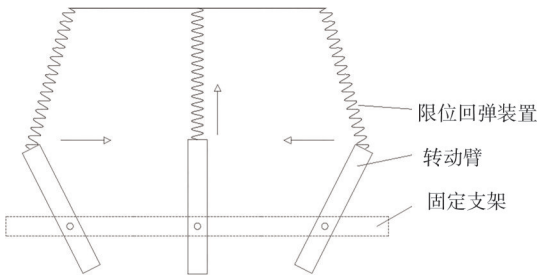


图1　转动臂原理示意图

Fig.1　Schematic diagram of rotating arm principle

在实际操作中，除了限位回弹装置对转动臂的拉力外，还存在其他力会对整个装置产生影响，比如转动臂与固定支架接触处的摩擦力等。要保证该方案能够稳定运行，最重要的是需要保证转动臂在整个转动过程所受的摩擦力要远小于限位回弹装置对其的拉力。要充分减小此处的摩擦力，一种方式是将滑动摩擦替换为滚动摩擦，解决方法是在固定支架和转动臂之间加入压力轴承。压力轴承是一种重要的机械元件，广泛应用于各种机械设备中，压力轴承如图2所示。压力轴承在本设计中有两大作用：一是要承受轴向力，即活动支架和转动臂的重力；二是避免转动轴与固定支架的滑动摩擦，把相对滑动摩擦变为滚动摩擦。



图2　压力轴承

Fig.2　Pressure bearing

2.2　检查架主体结构设计

以2023年哈电机盘江电厂定子运输项目为例，本次模拟检查架运输试验中使用DA25型凹底平车替代

DQ45型钳夹车[1]。双向检查架整体示意图如图3所示，其中蓝色为固定支架，红色为活动支架，黄色为连接转轴，绿色为限位回弹装置。

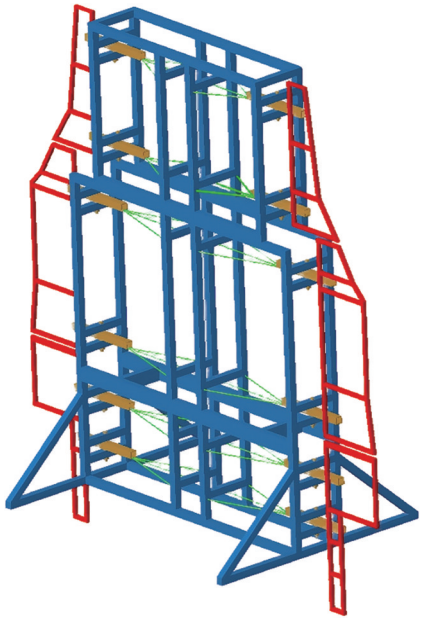


图3　双向检查架整体示意图

Fig.3　Overall schematic diagram of bidirectional inspection frame

2.2.1　固定支架和活动支架设计

固定支架用来保障检查架的整体结构强度，采用60 mm×60 mm×3 mm空心方钢制作，通过焊接、螺栓、钢丝绳拉牵等加固方式安装在车地板上，与车体连接加固。根据实际情况，固定支架可设计分解为多件，以便于制作和运输，如本次试验中将固定支架设计为上、中、下3部分。在安装时，通过M20螺栓将多件固定支架连接为一体。

活动支架用来模拟货物装后检定断面的装后尺寸，并在碰撞后转动卸力再恢复原位准备下次碰撞，需要尽量减少重量以减轻对转轴的压力，便于碰撞后快速转动和回弹复位，因此采用30 mm×30 mm×1.5 mm空心方钢制作碰撞架。本次试验的活动支架尺寸依据货物装后尺寸和固定支架设计，分为上、中、下3段，每段又分为左侧和右侧2块，一共6块。

2.2.2　连接转轴设计

连接转轴是双向检查架的核心部件，连接转轴分解图如图4所示，包含1根M20螺杆和配套的螺栓、2组压力轴承、1根转动臂，2组压力轴承分别安装在转动臂销孔的上部和下部，再用M20螺杆穿过固定支架、2组压力轴承、转动臂将其连接，顶部和底部通过螺栓加固。转动臂采用60 mm×60 mm×3 mm空心方钢制作，其外侧端部与活动支架连接，内侧端部与限位回弹装置连接。每块活动支架通过2套连接转轴与固定支架相连，确保多次碰撞转动不变形，整体检查架共需要12套连接转轴。

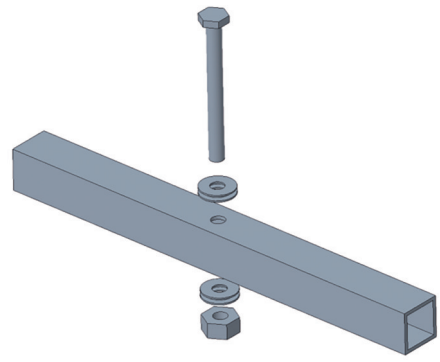


图4　连接转轴分解图

Fig.4　Exploded view of connecting rotating shaft

2.2.3　限位回弹设计

限位回弹装置为转动臂的复位提供拉力，拉力太大则可能导致碰撞后活动支架发生形变，拉力太小则导致活动支架在行驶途中发生晃动影响观测结果，因此，需要将拉力保持在适当的范围内。此结构包含零部件较多，受力情况相对复杂，加上车辆行驶中各种情况下对检查架的惯性力无理论依据，因此不具备条件计算出准确的拉力区间。在这种情况下，研究提出使用高弹性橡胶软管作为拉力材料应用在限位回弹装置中，相较于弹簧等材料，其方便通过调整数量、长度等在现场调整拉力大小，以保障不论任何情况，都可以提供适当的拉力。

在本次检查架试验中使用6 mm×9 mm的橡胶软管，通过多组测试，当使用18股拉伸至3倍长度的橡胶软管时，所提供的拉力最合适，且可以保障在转动臂转动范围内，橡胶软管不会拉伸至极限长度而断裂。在具体安装过程中，将18股橡胶软管均匀分为3组，按照图3所示分别安装。

2.3　检查架尺寸调整方式

由于各种不可控的原因，例如检查架制作公差、安装位置偏移、车辆车地板不平整等，均会导致安装完的检查架装后尺寸与设计尺寸存在偏差，造成试验结果不准确[7]。因此，检查架的装后尺寸需要在安装过程过中在适当范围内调整，来避免上述情况造成的装后尺寸偏差。

在本检查架设计中，特别设计了尺寸调整合页如

图5所示，该合页使用M8螺栓来加固转动臂和活动支架。通过调整合页和转动臂的加固位置来调整活动支架的水平方向尺寸，通过调整合页和活动支架的加固位置来调整活动支架的竖直方向尺寸。



图5　尺寸调整合页

Fig.5　Size adjustment hinge

3　监测装置

在检查架运输试验中，除了检查架本身外，通常会在车体上安装照明、视频采集等设备，对检查架状态进行全程记录和监测，以便于记录刮碰发生位置。通过视频采集设备，监测人员可以在客车内观察监测，为补充人员监测不足，确保试验结果准确，在双向检查架的基础上，设计此配套监测装置。

3.1　工作原理

监测装置是一种专门用于记录行程开关触发事件的设备。其工作原理是检测多个行程开关的状态变化，一旦开关被触发，相应的事件信息将实时通过RS485通信协议传输到控制箱上集成的串口屏幕，同时会触发位于控制箱上的灯光、蜂鸣声提醒监测人员。这些重要事件信息也会被记录在控制箱内的SD卡上，并且在串口屏幕和SD卡中都会同步显示当前时间以及事件信息，确保准确可靠地记录每次触发事件。其中，事件信息包含每次行程开关状态变化的时间、GPS定位以及被触发开关的编号。另外，还可以利用可调旋钮来设置限定时间内的触发次数，从而更好地应对各种不同场景下的监测需求。

整套监测装置连接顺序如图6所示，包含行程开关、处理箱和控制箱。行程开关安装在检查架上，为每个活动支架配备安装一个行程开关；处理箱安装在检查架底部位置，衔接全部行程开关和控制箱，将行程开关的工作状态和触发事件信息汇总处理后传输到控制箱；控制箱放置在客车内，监测人员通过控制箱盯控行程开关和检查架的工作状态。

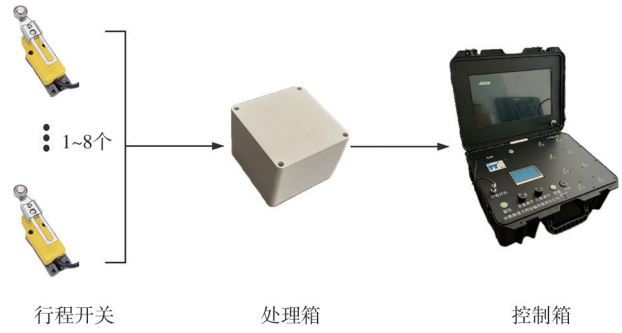


图6　监测装置连接顺序

Fig.6　Connection sequence of monitoring device

3.2　硬件设计

监测装置的设计思路基于多个行程开关状态检测技术和RS485通信技术，旨在实现对触发事件信息的准确记录和显示[9]。通过检测行程开关的状态变化，设备能够精确捕获触发事件并及时传输相关信息至控制箱上集成的串口屏幕，实现实时显示。同时，在检测到行程开关触发时，还能够进行灯光和声音触发，提供直观的视觉与听觉反馈，并且监测人员可以通过可调旋钮来灵活调节蜂鸣器音量以适应不同环境需求。

因此，监测装置的硬件设计按照功能模块划分，包含：显示模块、蜂鸣器模块、指示灯模块、GPS模块、SD存储模块、控制模块、供电模块。显示模块、蜂鸣器模块、GPS模块和指示灯模块用来展示触发事件具体信息，包含每次行程开关状态变化的时间、GPS定位以及被触发开关的编号。SD存储模块用来存储和导出全部的触发事件信息，以便后续数据分析和存档。控制模块包含复位、触发次数调节和监测3部分，复位按钮可将系统由报警状态恢复至监测状态；触发次数调节旋钮用来设置需求触发次数，即从第1次触发开始计时，只有在5 s内的触发次数达到设定值，才会触发系统报警，此模块设计利用双向通行检查架的特殊结构，即正常碰撞会导致活动支架往返多次摆动，而检查架的晃动等因素只能造成单次摆动，以此来排除误报，提高报警准确性，保证监测装置的稳定可靠；检测按钮可以模拟生成行程开关的触发事件信号，触发警报，用来随时确保整个系统处于稳定运行状态。

3.3　软件设计

监测装置采用STM32F103RCT6单片机作为主控

制芯片[10]，实现的功能包含RTC时钟断电启动、RS485远程通信、串口屏显示、SD卡写入、编码器读取、可调电阻音量调节、上位机时间修改、蜂鸣器报警等。系统上电后完成初始化，并进入主循环程序。在该循环中，控制箱内的STM32单片机通过RS485电路及自定义通信协议，实时读取并处理来自处理箱内1~8个行程开关的开关量状态。为满足系统对实时监控与快速响应的要求，该设计确保了状态查询与事件处理的高效性，所有输入量均在毫秒级周期内完成扫描。当检测到开关量状态变化时，系统立即向主板发送触发事件信息，主板进行相应的报警处理：控制箱上8个LED灯中与被触发行程开关对应的LED灯会由绿色变为红色，同时蜂鸣器报警5 s，事件信息记录到串口屏上，包含当前触发位置和触发时间，SD卡也会记录当前触发事件信息。

4　结束语

该双向检查架有效扩大了检查架模拟运输试验的使用场景，其灵活、稳定的特点完全可以覆盖现有的试验需求，与监测装置配合使用，也可以在最大程度上保障试验结果的可靠。后续需要在更多的场景下全方位验证检查架和监测装置的配合使用情况，尤其是剧烈碰撞、连续碰撞等特殊情况下，进一步验证其使用的可靠程度，为下一步的改良和优化提供方向。

参考文献：

[1] 梁力东，王宏杰，李亚学. 铁路超限货物检查架模拟运输研究[J]. 铁道货运，2016，34(6)：47-51.
LIANG Lidong，WANG Hongjie，LI Yaxue. Study on Simulated Transportation of Examining Rack for Railway Out-of-Gauge Goods[J]. Railway Freight Transport，2016，34(6)：47-51.

[2] 郭元臻，旷　绚，李亚学，等. 长大货车限界距离快速核算方法的研究[J]. 铁道货运，2022，40(5)：39-45.
GUO Yuanzhen，KUANG Xuan，LI Yaxue，et al. Fast Calculation Method for Gauge Distance of Oversize Freight Car[J]. Railway Freight Transport，2022，40(5)：39-45.

[3] 卢　斌. 渝怀及沪昆线超限货物大件运输模拟限界检测[J]. 铁路采购与物流，2010，5(11)：57-59.

[4] 中国铁路总公司. 铁路超限超重货物运输规则：TG/HY 106—2016[M]. 北京：中国铁道出版社，2016.

[5] 韩　梅，韩伯领，李红艳，等. 铁路超限货物限界距离计算方法[J]. 中国铁道科学，2011，32(1)：122-126.
HAN Mei，HAN Boling，LI Hongyan，et al. Calculation Method of the Distance between Railway Out-of-Gauge Goods and Structure Gauge[J]. China Railway Science，2011，32(1)：122-126.

[6] 张国虎. 焦柳铁路超限坡区间扩能改造方案研究[J]. 铁道货运，2020(1)：39-43.
ZHANG Guohu. A Study on the Capacity Expansion and Renovation Plans of the Over-Limit Slope Section of the Jiaozuo-Liuzhou Railway[J]. Railway Freight Transport，2020(1)：39-43.

[7] 李　鹏，陶敬倩，梁习锋，等. 一种改进的铁路超限货物运输模拟限界检测方法[J]. 中南大学学报(自然科学版)，2017，48(2)：547-552.
LI Peng，TAO Jingqian，LIANG Xifeng，et al. An Improved Detection Method for Railway Clearance in Transportation of Out-of-Gauge Freight[J]. Journal of Central South University (Science and Technology)，2017，48(2)：547-552.

[8] 旷　绚，王宏杰，王铁军. 关于铁路超限货物运输尺寸测量的探讨[J]. 铁道货运，2018，36(2)：46-50，56.
KUANG Xuan，WANG Hongjie，WANG Tiejun. Tentative Study on the Measurement of Out-of-Gauge Goods for Railway Transportation[J]. Railway Freight Transport，2018，36(2)：46-50，56.

[9] 张　微，王韵琪，杨博云. 基于STM32的RS-485数据通信稳定性分析[J]. 科技视界，2019，9(29)：94-95.
ZHANG Wei，WANG Yunqi，YANG Boyun. Stability Analysis of RS485 Data Communication Based on STM32[J]. Science & Technology Vision，2019，9(29)：94-95.

[10] 杜　娟. 基于STM32F103RCT6单片机的智能节水控制系统设计与应用[J]. 无线互联科技，2024，21(7)：37-41.
DU Juan. Design and Application of Intelligent Water-Saving Control System Based on STM32F103RCT6 Microcontroller[J]. Wireless Internet Technology，2024，21(7)：37-41.

（责任编辑：吴文娟）

Design of Bidirectional Inspection Frame and Monitoring Device for Railway Out-of-Gauge Freight Transport

GUO Yuanzhen[1]，GAO Runze[2]，ZHENG Lu[2]，LI Yaxue[3]，MA Chong[2]

(1. Special Train Transportation Project Department，China Railway Special Transport Heavy Haul Co.，Ltd.，Beijing 100070，China；
2. Electrical Equipment Project Department，China Railway Special Transport Heavy Haul Co.，Ltd.，Beijing 100070，China；
3. 301 Project Department，China Railway Special Transport Heavy Haul Co.，Ltd.，Beijing 100070，China)

Abstract: To ensure the safety of railway out-of-gauge freight transport, inspection frame simulation tests are typically conducted before formal transport on railway sections with relatively poor clearance conditions and a high density of bridges and tunnels. To address the shortcomings of existing inspection frames, this paper proposed improved design ideas for a bidirectional inspection frame: On the one hand, from the perspective of structural design, the inspection frame structure was redesigned to enable bidirectional operation, solving existing problems; on the other hand, from the perspective of monitoring, a compatible monitoring device was designed to trigger an alarm and record relevant information at the remote video monitoring station when the inspection frame collides, making the test results evidence-based. This bidirectional inspection frame effectively expands the application scenarios of inspection frame simulation tests, and its flexible and stable characteristics can fully cover existing test requirements and ensure the reliability of test results to the greatest extent.

Keywords: Railway; Out-of-Gauge Transport; Inspection Frame; Clearance; Monitoring System

（上接第 15 页）

Research on Optimization Strategies for Cross-Border Rail-Air Intermodal Transport Based on Urumqi

LI Jiajie[1,2], XU Chao[3], REN Xiaorui[4], HOU Tong[4]

(1. Urumqi Free Trade Work Bureau（Urumqi Port Management Office）, Xinjiang 830099, Urumqi, China; 2. Safety Supervision and Management Department, China Railway Container Transport Co., Ltd., Beijing 100055, China; 3. Marketing Department, China United International Rail Containers Co., Ltd., Beijing 100055, China; 4 Transportation & Economic Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: Leveraging Urumqi's pivotal role in connecting Eurasia, optimizing multimodal rail and air transport services, and developing cross-border e-commerce cargo import/export products under the "Guangdong–Urumqi Express Line" and cargo charter flight models are key measures to implement the national strategy of building a western-oriented open gateway. This study reviewed existing air-rail intermodal transport operations in Urumqi, summarized the advantages of such services in terms of demand scale, cost efficiency, and timeliness, and identified challenges in transport coordination and industry regulations. It also proposed optimization strategies for rail-air intermodal transport services. These include enhancing freight organization, improving hub service capabilities, upgrading logistics digitalization, strengthening transport-industry integration, and refining supporting documentation services, so as to effectively reduce costs, improve quality, and boost efficiency in transport logistics.

Keywords: Guangdong–Urumqi Express Line; Rail-Air Intermodal Transport; Multimodal Transport; One Order System; Cross-Border E-Commerce