

# 浅析铁路货车转向架检修新技术

李新元

中国铁路呼和浩特局集团有限公司包头西车辆段

DOI:10.12238/etd.v6i10.17194

**[摘要]** 铁路货车转向架检修新技术聚焦智能化、数字化与模块化革新。通过环形悬挂输送线实现转向架空中传输,减少配件损伤;枕簧智能选配系统运用激光视觉检测,提升选配精度与效率;轴承智能库结合激光测径与AGV搬运,降低损伤率。无损检测技术、三维扫描逆向工程及大数据预测性维护的应用,提升故障识别率与检修前瞻性。模块化检修流程优化及人机协同作业模式,进一步提升作业效率与安全性。

**[关键词]** 铁路货车; 转向架; 检修新技术

中图分类号: U279.3 文献标识码: A

## Analysis of New Technologies for Railway Freight Wagon Bogie Maintenance

Xinyuan Li

Baotou West Depot, China Railway Hohhot Group Co., Ltd.

**[Abstract]** New technologies for railway freight wagon bogie maintenance focus on intelligent, digital, and modular innovations. Circular suspension conveyor lines enable aerial transportation of bogies, reducing component damage; intelligent spring selection systems utilize laser vision detection to improve selection accuracy and efficiency; smart bearing warehouses integrate laser diameter measurement and AGV handling to lower damage rates. The application of non-destructive testing technologies, 3D scanning reverse engineering, and big data predictive maintenance enhances fault identification rates and maintenance foresight. Modular maintenance process optimization and human-machine collaborative operations further improve work efficiency and safety.

**[Key words]** Railway Freight Wagons; Bogie; New Maintenance Technologies

### 引言

铁路货车转向架是列车运行的关键支撑,其性能直接影响货运安全与效率。传统检修方式以人工为主,存在效率低下、误差率高、劳动强度大等弊端,难以满足现代铁路高速重载的发展需求。随着智能制造与数字技术的深度融合,铁路货车转向架检修正朝着智能化、自动化、精准化方向迈进。本文旨在探讨检修新技术的创新应用,分析其对提升检修质量与效率的作用,为行业技术升级提供参考。

### 1 铁路货车转向架技术演进与现状

#### 1.1 转向架技术发展历程

##### 1.1.1 早期二轴转向架的局限性

20世纪中期前,铁路货车普遍采用二轴转向架,其轴距多在1.8-2.4米之间,设计载重仅30-50吨。受结构限制,车辆运行时横向稳定性差,在时速60公里以上易出现蛇行运动,且轮轨磨损严重,难以满足大宗货物长距离、高速度的运输需求,逐渐被更先进的转向架取代。

##### 1.1.2 三大件式转向架的普及

20世纪后期,以转8A型为代表的三大件式转向架成为主流,通过优化侧架与摇枕结构,将载重提升至60吨。该类型转向架结构简单、制造成本低,在我国铁路货运中广泛应用,但存在明显短板—抗菱刚度仅为15-20kN/rad,临界速度普遍低于100km/h,高速运行时易出现轮对偏磨,无法适配现代化货运提速需求。

##### 1.1.3 新型转向架的研发突破

进入21世纪,交叉支撑技术与摆动式技术的应用实现关键突破。转K2、转K6型转向架通过交叉杆装置,将抗菱刚度提升至80-100kN/rad;转K4、转K5型采用摆动式侧架结构,大幅降低轮轨作用力,临界速度突破120km/h,动力学性能显著提升,可满足70吨及以上载重、时速120公里的货运需求,成为当前主流车型。

#### 1.2 当前检修技术瓶颈分析

##### 1.2.1 传统检修模式的缺陷

目前仍以人工目视检测、手工作业为主,单台转向架检修耗时约4-6小时,效率低下。人工检测对裂纹、磨损等缺陷的识别

误差率达15%-20%,且轴箱轴承状态等关键参数依赖经验判断,缺乏精准数据支撑,易埋下安全隐患。

### 1.2.2 关键部件检修难题

交叉杆分解需专用工装,但拆卸效率低,单次分解耗时约30分钟;摇枕内部裂纹需借助内窥镜检测,定位准确率仅70%,易遗漏隐蔽缺陷;枕簧需按刚度分级选配,传统人工筛选方式耗时约1小时/组,且选配精度难以保证,影响转向架组装后的动力学性能。

### 1.2.3 劳动强度与安全风险

检修过程中,侧架、摇枕等大部件需依赖天车吊装,吊装作业占比达30%,存在碰撞、坠落风险;转向架组装需人员登高作业,高空作业时间约1.5小时/台,易发生人员坠落事故,安全管控压力较大。

## 2 铁路货车转向架检修新技术

### 2.1 智能化检修装备创新

#### 2.1.1 环形悬挂输送线

(1)结构组成。采用双层直线布局设计,整体系统包含主线输送轨道、横向平移轨道、液压升降装置及12台独立检修小车,小车搭载重量传感器与定位芯片,可实时反馈转向架重量及位置信息,轨道间距按标准转向架尺寸定制,确保输送过程稳定。(2)功能特点。通过空中悬挂输送方式,实现转向架从分解工位到组装工位的全程不落地传输,避免传统地面搬运导致的配件磕碰损伤,同时输送线与各检修工位精准对接,减少人工转运环节,提升作业流程流畅性<sup>[1]</sup>。(3)应用效果。相比传统人工搬运模式,检修效率提升40%,单班(8小时)日检修量从18辆提升至26辆,且配件损伤率从5%降至0.3%,大幅降低检修成本与返工率。

#### 2.1.2 枕簧智能选配系统

(1)技术原理。集成激光视觉检测模块与六轴机械臂,激光设备通过360°扫描获取枕簧高度、直径、刚度等参数,数据实时传输至控制系统,系统自动匹配转向架装配需求,机械臂按匹配结果完成抓取与分拣,全程无需人工干预。(2)性能指标。单台枕簧选配时间从传统人工的60分钟缩短至3分钟,测量精度达±0.5mm,远高于人工测量的±2mm误差,且刚度匹配准确率提升至99.8%,有效避免因选配不当导致的转向架动力学性能问题。(3)效益分析。每套系统可减少2名操作人员,按人均年薪25万元计算,年节约人工成本约50万元;同时降低枕簧报废率3%,年减少配件损耗成本约12万元,综合经济效益显著。

#### 2.1.3 轴承智能库及选配系统

(1)功能模块。由立体货架存储单元、轴径自动测量单元、智能匹配单元及精准输送单元组成。立体库可存储500套以上轴承,测量单元通过激光测径仪自动采集轴径数据,匹配单元基于尺寸参数快速筛选适配轴承,输送单元通过AGV小车将轴承精准送至压装工位。(2)技术优势。测量精度达0.001mm,确保轴承与轴径的完美配合;单套轴承选配时间从人工的8分钟缩短至4分钟,效率提升50%;全程自动化搬运避免人工搬运导致的轴承磕碰损伤,损伤率从3%降至0.1%,同时减少轴承库存积压,提升资金周转率<sup>[2]</sup>。

### 2.2 数字化检修工艺革新

#### 2.2.1 无损检测技术

(1)超声波探伤。采用多通道超声波检测仪,配备定制探头,可对摇枕、侧架等关键部件进行全方位检测,能精准识别内部 $\phi$ 2mm平底孔大小的裂纹,检测深度达300mm,相比传统检测方式,缺陷检出率提升25%,且检测结果可数字化存储,便于追溯。(2)磁粉探伤。结合荧光磁粉与紫外线灯,对转向架表面及近表面缺陷进行检测,磁粉覆盖率达100%,缺陷识别灵敏度提升至 $5\mu\text{m}$ ,同时引入图像识别系统,自动标记缺陷位置与大小,避免人工判断误差,裂纹识别率从人工的85%提升至99%。

#### 2.2.2 三维扫描与逆向工程

(1)应用场景。主要用于磨损严重的转向架部件(如轮对、轴箱)尺寸复原,以及异形配件(如特殊型号侧架)的数字化建模。通过三维扫描仪对部件进行全尺寸扫描,获取完整点云数据,再利用逆向工程软件构建三维模型,为配件修复或复刻提供精准数据支撑。(2)精度指标。扫描点云数据密度 $\geq 500$ 点/ $\text{cm}^2$ ,确保模型细节完整;三维模型重建误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ,可满足高精度修复需求。相比传统手工测绘,建模效率提升80%,且模型可直接用于3D打印或数控加工,大幅缩短配件修复周期<sup>[3]</sup>。

#### 2.2.3 大数据驱动下的预测性维护

(1)数据采集。在转向架关键部位(如轴承、弹簧、轮对)安装振动传感器、温度传感器及应力传感器,实时采集运行过程中的振动频率、温度变化、应力分布等参数,数据通过5G网络传输至云端数据库,实现24小时不间断监测。(2)分析模型。基于机器学习算法(如随机森林、神经网络)构建部件寿命预测模型,通过历史故障数据与实时监测数据训练模型,可精准预测轴承、弹簧等部件的剩余寿命,预测准确率达92%以上,提前制定针对性检修计划,避免突发故障导致的运输中断。

### 2.3 模块化检修流程优化

#### 2.3.1 分段检修策略

(1)主线工位。承担转向架分解、基础部件检查、组装等短周期作业,设置6个连续工位,每个工位作业时间控制在30分钟内,通过标准化作业流程确保效率,如分解工位专注于螺栓拆卸与部件分离,检查工位集中进行外观检测与基础参数测量。(2)辅线工位。负责交叉杆更换、大部件焊修、轴承压装等长周期作业,设置3个独立工位,每个工位配备专用设备,如交叉杆更换工位配备液压拆卸机,焊修工位采用自动焊接机器人,作业时间可灵活调整,避免影响主线流程<sup>[4]</sup>。(3)调度逻辑。通过横向平移装置连接主线与辅线工位,当主线部件需进行长周期作业时,平移装置自动将部件转运至辅线,待作业完成后再转回主线,减少工位等待时间,主线停工率从15%降至3%,整体检修周期缩短20%。

#### 2.3.2 人机协同作业模式

(1)操作界面。采用10英寸触控显示屏,以图形化、中文数字化方式展示作业流程、参数标准及故障提示,集成故障诊断系统,当设备出现异常时,界面实时弹出故障原因与解决方案;同

时内置工艺指导视频,新员工可快速掌握操作要点,培训周期缩短50%。(2)安全防护。配备机械防撞装置与光电感应开关双重保护,当人员进入设备作业区域时,光电开关触发设备紧急停机,机械防撞装置可避免设备间碰撞;此外,关键操作需双人授权确认,防止误操作,检修事故率从2%降至0.2%,保障人员与设备安全。

### 3 铁路货车转向架检修的挑战与未来发展方向

#### 3.1 现存挑战分析

##### 3.1.1 技术融合难题

当前智能化装备与传统工艺存在明显适配断层。例如环形悬挂输送线、枕簧智能选配系统等新设备,需与既有检修车间的地面布局、供电系统兼容,改造过程中常出现设备接口不匹配、数据传输中断等问题。部分传统手工检修工序(如摇枕焊修)难以融入自动化流程,导致“自动化孤岛”现象,未能充分发挥新技术体系的协同效应。

##### 3.1.2 数据安全风险

检修过程中产生的部件检测数据、设备运行参数等核心信息,需通过网络传输至云端或本地数据库。但当前数据加密技术未完全覆盖传输、存储全环节,存在黑客攻击、数据泄露的风险。同时,不同检修系统(如无损检测系统、预测性维护平台)数据格式不统一,易形成“数据烟囱”,增加数据管理与安全防护难度。

##### 3.1.3 人员技能缺口

新技术体系对检修人员提出“技术+操作+数据”的复合型能力要求。现有人员多熟悉传统机械检修,缺乏智能化装备运维、数据分析等技能,如对三维扫描设备的参数调试、机器学习模型的结果解读能力不足。而院校相关专业课程设置滞后,企业内部培训周期长(约6-8个月),导致复合型人才供给速度远低于技术更新速度,制约检修效率提升。

#### 3.2 未来发展趋势

##### 3.2.1 AI深度应用

将深度学习算法融入故障诊断系统,通过分析历史检修数据与实时运行参数,构建精准的故障预测模型,可提前1-2个月预判轴承磨损、摇枕裂纹等潜在问题,预测准确率有望突破95%;同时开发自主决策功能,系统可根据故障类型自动生成检修方案,实现“故障识别-方案制定-资源调度”全流程自动化,减少人工干预。

##### 3.2.2 5G+工业互联网

依托5G低延迟、高带宽特性,搭建检修设备远程监控平台,技术人员可在中控室实时查看各工位设备运行状态,远程排查故障,响应时间缩短至10秒内;同时实现多车间、跨区域协同作业,如甲地检测的部件数据可实时共享至乙地检修车间,提前备好适配配件,提升跨区域检修效率30%以上<sup>[5]</sup>。

##### 3.2.3 绿色检修技术

推广低碳环保材料,如采用可回收合金替代传统钢材制作侧架,降低材料损耗;引入节能工艺,将烘干、焊接等工序的能耗降低20%;建立废弃物循环利用体系,对废旧轴承、弹簧等部件进行拆解、修复与再利用,资源回收率提升至60%,减少环境污染与资源浪费。

##### 3.2.4 全生命周期管理

构建覆盖转向架“设计-制造-检修-报废”的一体化数据平台,整合各环节数据,形成唯一的产品身份编码。通过平台可追溯转向架设计参数、制造工艺、历次检修记录,精准评估部件剩余寿命,在报废阶段还能分析材料可回收价值,实现全流程数据化管控,提升转向架整体运营效率与经济性。

## 4 结束语

铁路货车转向架检修新技术的推广应用,显著提升了检修效率与质量,为铁路货运安全提供了坚实保障。智能化检测、数字化管理以及模块化检修模式的融合,不仅降低了劳动强度与成本,更推动了行业向精准化、高效化迈进。未来,应持续深化新技术研发,强化跨领域技术协同,完善标准体系与人才培养机制,以创新驱动引领铁路货车检修迈向更高水平,为交通强国建设贡献力量。

### [参考文献]

- [1]李海峰.铁路货车的转向架检修方法及结构优化对策探索[J].科技创新导报,2020(3):77-78.
- [2]王文刚.重载铁路货车转向架智能检修系统研制[J].中国高新科技,2022(16):83-85.
- [3]张卫华,高红星,王勇.智能制造在轨道交通装备检修中的应用展望[J].机车电传动,2020(4):61-62.
- [4]王世猛.铁路货车的转向架检修方法分析[J].内燃机与配件,2020(14):98-99.
- [5]邵瑾珑.铁路货车转向架检修新技术研究[J].建筑技术科学,2021(12):78-80.