

铁路货车智能检测系统架构设计与全流程应用研究

何世科

中国铁路广州局集团有限公司广州北车辆段，广东 广州 510450

DOI: 10.61369/SSSD.2026030009

摘 要： 当前，铁路货车检测面临着检测系统智能化水平不足，难以满足高速重载铁路对轮轴状态、货物装载安全等关键指标的实时动态监测需求；多源异构数据融合能力薄弱，缺乏对图像、传感器、北斗定位等数据的深度挖掘与协同分析，制约故障预测与主动预警能力的提升。基于此，本文深入探究了铁路货车智能检测系统架构设计基础、TFDS 货车故障图像智能检测系统关键技术、铁路货车智能检测系统全流程应用场景，旨在通过不同的策略，为铁路货运安全保障提供技术支撑。

关 键 词： 铁路货车；智能检测系统；架构设计；全流程应用

Research on Architecture Design and Whole-Process Application of Intelligent Detection System for Railway Freight Cars

He Shike

Guangzhou North Rolling Stock Depot, China State Railway Guangzhou Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510450

Abstract： Currently, the detection of railway freight cars is confronted with two prominent challenges: insufficient intelligence level of the detection system, which makes it difficult to meet the real-time and dynamic monitoring requirements for key indicators such as wheel-set status and cargo loading safety under high-speed and heavy-haul railway operations; and weak capability in fusing multi-source heterogeneous data, with a lack of in-depth mining and collaborative analysis of data from images, sensors, Beidou positioning, etc., which restricts the improvement of fault prediction and active early warning capabilities. Based on this, this paper conducts an in-depth exploration of the foundational basis for the architecture design of the intelligent detection system for railway freight cars, the key technologies of the TFDS (Train Freight Car Detection System) intelligent fault image detection system, and the whole-process application scenarios of the intelligent detection system for railway freight cars. It aims to provide technical support for ensuring the safety of railway freight transportation through various strategies.

Keywords： railway freight cars; intelligent detection system; architecture design; whole-process application

引言

“人工智能 + 交通运输”的实施意见明确指出支持具身智能列车与自主协同控制系统研发，大力推广自感知、自学习、自运行的智慧化、绿色化动车装备，加速列车智能驾驶、群组运行控制、智能供电等技术应用，提升技术装备故障自检、自诊断、自修复等智能运维能力；加快推进中国智能铁路标准体系优化完善，在通信信号、牵引供电、工程装备、客运服务、运输组织、养护维修、安全应急等方面加速智能示范场景赋能，进一步促进铁路旅客和货物的高效安全运输；推进组合辅助驾驶示范，研发智能铁路装备与系统，推进港口智能化升级与智慧航运建设，打造智慧民航，升级邮政快递智能设施，建设交通基础设施智能建养系统，深化联程联运与智慧物流数字^[1]。铁路货车智能检测系统架构的设计应该根据国家的政策性文件进行研究，这样才能够更好地促进自身的发展。

一、铁路货车智能检测系统架构设计基础

（一）分层分布式架构设计

铁路货车智能检测系统采用分层分布式架构，由感知层、传

输层、处理层与应用层构成^[2]。感知层通过部署在轨道旁的高速摄像机、激光传感器及振动监测装置，实时采集货车车体、转向架、制动装置等关键部件的图像与状态数据；传输层依托5G 通信或光纤网络，构建低时延、高可靠的数据传输通道，确保海量数

据实时上传至处理层；处理层集成边缘计算节点与云端服务器，边缘节点负责初步数据清洗与特征提取，云端服务器则完成深度分析与模型训练；应用层面向不同用户角色（如列检人员、调度中心、维修工区），提供故障预警、检修指导、运维决策等定制化服务，形成“端－边－云”协同的闭环系统^[3]。

（二）模块化与标准化设计

系统采用模块化设计理念，将功能划分为数据采集、图像处理、故障识别、决策支持四大核心模块^[4]。数据采集模块支持多类型传感器接入，通过标准化接口实现设备快速替换与扩展；图像处理模块集成去噪、增强、分割等算法库，适配不同光照与天气条件下的图像质量优化；故障识别模块基于深度学习框架，构建可动态更新的故障特征库，支持新故障类型的快速学习与识别；决策支持模块融合规则引擎与专家系统，结合历史数据与实时状态，生成分级预警与处置建议^[5]。

（三）多源数据融合架构

系统构建多源数据融合架构，整合图像数据、传感器数据、列车运行数据及环境数据。图像数据提供部件外观与结构信息，传感器数据（如温度、压力、振动）反映部件运行状态，列车运行数据（如速度、轴重）辅助故障定位，环境数据（如风速、降雨）则用于分析外部因素对检测结果的影响^[6]。通过时空对齐与特征关联技术，系统将多源数据映射至统一时空坐标系，利用机器学习算法挖掘数据间潜在关联，例如，通过振动频谱分析预判轴承故障，或结合图像与温度数据识别制动装置过热隐患，显著提升故障诊断的准确性与全面性。

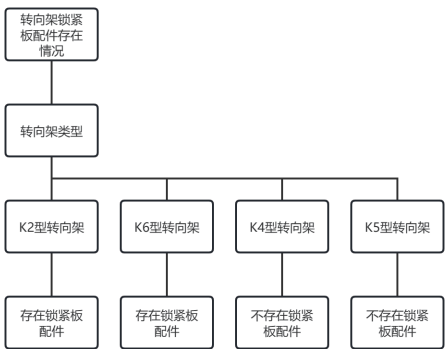
二、TFDS 货车故障图像智能检测系统关键技术

（一）货车运用与智能识别报警融合方法

通过对比分析不同探测站 TFDS 智能识别模型的应用效果，识别影响识别精度的关键因素，并针对性地进行模型参数与算法优化^[7]。

1. 车辆结构知识与智能识别的结合

针对智能识别系统在某些车型上预报配件不存在或位置错误的问题，结合车辆结构知识对预报信息进行梳理，并将规则反馈至模型优化环节。例如，摆动式转向架无锁紧板结构，通过将此类规则嵌入模型参数，系统在识别该类车型时将自动屏蔽相关故障报警^[8]。优化流程如图 1 所示。

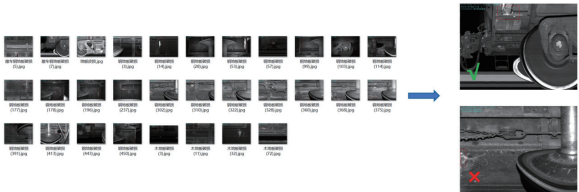


2. 运用经验与智能识别的结合

引入实际运用经验可显著提升智能识别的准确性。针对误报率较高的故障类型，采用多工位或多角度综合判断机制。以“抱闸”故障为例，传统模型仅依据互钩差工位轴链进行判断，易产生误报^[9]。实际运用中需综合轴链、拉杆链、闸调器 A 推值、闸瓦等多维度信息进行综合判定。优化后的模型在该类故障报警数量上显著降低^[10]。

（二）故障数据清洗

高质量的训练数据是智能识别模型准确性的基础。针对 TFDS 系统中存在的虚假故障样本，结合货车运用经验与识别厂商协同开展数据清洗工作^[11]。例如，对“地板破损”类故障，剔除不影响实际运行或非故障形态的图像样本，可有效避免模型在学习过程中的混淆现象，提升故障识别准确率。数据清洗示例如图 3 所示。



（三）多模态学习

目前 TFDS 系统在滚动轴承甩油故障识别中误报率较高，主要原因包括图像难以区分新旧油渍，以及雨水水渍与油渍视觉混淆。为此，本文提出融合 TADS、TPDS、THDS 等多源监测数据的多模态学习方法，通过综合振动、温度、动力学等多维度信息，实现对甩油故障的精准识别与预警，进一步提高系统的鲁棒性与实用性^[12]。

三、铁路货车智能检测系统全流程应用场景

（一）列检作业智能化升级

在列检作业场景中，TFDS 系统能够代替传统的人工进行检查，从而更好地实现“机检为主、人检为辅”的模式^[13]。例如，TFDS 系统会对通过列车的图像进行实时分析，并标记故障部位和生成检测报告，以此来使检车员的技检时间缩短，作业强度降低；TFDS 系统通过与分布式系统的联动，不仅能够更好地进行资源的调度，还能够更好地保障高峰时段的检测效率，从而形成“检测－预警－处置－反馈”的闭环管理，提升列检作业的规范化与标准化水平^[14]。

（二）货运安全动态监控

在货运安全监控场景中，TFDS 系统会与车号识别、轴温检测、超偏载检测等系统进行结合，从而更好地保证货车的生命周期^[15]。例如，TFDS 系统检测到车厢门未关闭或货物偏载时，会将报警信息发送到调度中心，从而使沿线车站能够更好地采取限速或停车的措施；TFDS 系统检测到轴温异常升高时，会结合历史数据判断其是否为制动抱死或轴承故障的问题，从而更好地为

其推送维修站点；TFDS 系统还会定期识别高频故障部件与区域，从而使货运部门能够更好地优化装载方案与检修计划。

（三）应急指挥与决策支持

在应急指挥场景中，TFDS 系统能够更快地调取故障车辆的历史检测记录、当前位置及周边资源信息（如维修工区、救援设备分布），从而使指挥人员能够制定精细的救援方案。例如，TFDS 系统针对制动系统故障问题，不仅会为其推荐附近最近且具备维修能力的站点，还会为其规划最优救援路径，从而为应急救援人员提供信心；TFDS 系统针对重大故障问题，会为其推送多部门联合处置的相关方式和方法，从而更好地为决策人员提供支持；TFDS 系统还会实时更新数据和进行模拟推演（动态调整限速值、停车位置救援参数），从而更好地为使用人员的使用奠定科学的基础。

（四）车辆段检修流程优化

在车辆段检修场景中，TFDS 系统能够更好地实现全流程的检修，从而全面提高相关零部件的使用寿命。检修前，TFDS 系统能够为检修人员生成故障类型、位置及严重程度的检修清单，从而更好地使检修人员进行工作，避免出现过度检修或漏检的问题；检修中，TFDS 系统会与智能工具（如自动拧紧机、探伤设备）进行联动，也就是实时将检修数据上传到云端，从而更好地保证检修的质量；检修后，TFDS 系统不仅会对检修结果进行复

核，还会生成检修报告单，将其纳入不同种类车子的档案中，从而更好地为后面的检修工作奠定基础。TFDS 系统的应用，不仅能够提高车辆检修的效率，也能够降低检修的成本。

（五）跨局协同与资源共享

在跨局运输场景中，TFDS 系统能够更好地将信息进行融合，从而使有需要的铁路货车在系统上查看系统检测到的检测数据（如图像、故障记录、检修建议）等方面。例如，若 A 局检测到有货车出现制动梁裂纹，则将这个信息推送给 B 局、C 局等相关单位，并标注故障处理状态（如“已限速运行”“待入段检修”），从而更好地使相关人员进行处理；若 A 局检测到检修能力不足时，会将其问题上传到平台当中请求其他局支援，以此来更好地进行维修。

四、结束语

铁路货车智能检测系统架构设计与全流程应用研究，立足铁路货运安全与效率提升需求，通过构建分层化、模块化的智能架构，融合多源数据感知、边缘智能分析与云端协同决策技术，实现了检测流程的自动化、精准化与智能化。未来，随着技术迭代与场景拓展，该系统将进一步赋能铁路货运数字化转型，为构建安全、高效、绿色的现代铁路运输体系提供坚实保障。

参考文献

[1] 叶涛, 陈璐, 王帆, 等. 基于行为检测的叉车安全监控系统的设计与实现 [J]. 中国修船, 2024, 37(S1): 23-27.

[2] 张书豪. 基于驾驶行为谱的重点营运货车近碰撞驾驶行为预判研究 [D]. 北京交通大学, 2024.

[3] 周永华, 高善兵, 李玉东, 等. 基于 TFDS 智能检测技术的铁路货车技术交接平台研究 [J]. 科技与创新, 2023, (17): 45-47.

[4] 马学涛, 高暨衡, 林耀, 等. 基于 BIM 的铁路重载货车轮对检测设备智能运维系统设计 [J]. 铁道标准设计, 2023, 67(10): 221-226.

[5] 李林俊, 张欢, 厉伟, 等. 基于 YOLO 的智能化铁路货车搭扣缺陷检测系统设计与实现 [J]. 铁道货运, 2023, 41(07): 60-70.

[6] 牛浩. 基于无监督学习的车辆异物检测算法研究 [D]. 北京交通大学, 2023.

[7] 李镇宇. 基于机器视觉的智能物流仓储能效管理研究 [D]. 上海应用技术大学, 2023.

[8] 王兴, 郑颺默, 张晋源, 等. 高速重载铁路货车轮轴智能检测系统的研究 [J]. 高技术通讯, 2023, 33(02): 176-184.

[9] 李权福, 夏惠兴, 华洪斌, 等. 铁路货车车辆转向架无源无线振动传感与监测系统 [J]. 铁道车辆, 2023, 61(01): 124-130.

[10] 石磊. 铁路货车装载状态标准图像智能识别技术体系设计研究 [J]. 铁道货运, 2022, 40(11): 34-39+48.

[11] 于忠宁, 曹伟华. 铁路货车装载加固状态智能检测系统的研发与应用 [J]. 铁道车辆, 2022, 60(04): 115-119.

[12] 冶静. 青藏铁路运行货车故障诊断系统与智能图像检测方法 [D]. 中国铁道科学研究院, 2022.

[13] 王正杰. 铁路货车转向架轮对轴承盖拆卸装备机械设计 [D]. 西南交通大学, 2022.

[14] 文志雄. 编组区段站货车列尾装置故障应急处置存在问题分析及其对策 [J]. 减速顶与调速技术, 2022, (01): 14-17.

[15] 李传翔, 杨兵, 杨顺. 铁路货车转向架弹簧视觉检测及机器人智能选配系统研究 [J]. 铁道机车车辆, 2021, 41(06): 35-39.