

# 动车组全生命周期服役性能保障技术研究

董 威 李彦林

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司)

**摘 要:** 我国动车组呈现数量多、运量大、分布地域广、服役环境复杂、网络化等综合特征,给运营安全保障带来严峻挑战,如何保障车辆安全运营,及时发现并处理潜在的异常风险,提升动车组全生命周期服役质量保障、质量追溯能力,保障列车的安全性和稳定性变得异常重要。因此本文开展动车组全生命周期服役性能保障技术研究。针对列车实时状态监测,提出了分级协同的健康管理技术架构,搭建了高实时大带宽列车感知网络。针对列车走行部关键部件监测,提出了基于TRIZ理论的走行部健康监测方案,并通过台架试验、可靠性分析等方法,提出走行部关键部件失效模式,研发故障预警模型。针对一体化协同运维,构建了基于互联网的主动化运维平台和一车一档,实现全生命周期的质量追溯,保障列车安全运营。

**关键词:** 动车组,服役性能保障,质量追溯

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.08.016

## Research on the Lifecycle Service Performance Guarantee Technology of EMUs

DONG Wei LI Yan-lin

(CRRC Qingdao Sifang Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd.)

**Abstract:** China's electric multiple units (EMUs) are characterized by a large number, large traffic volume, wide distribution, complex service environment, networking and other comprehensive characteristics, which bring serious challenges to the guarantee of operational security. How to ensure the vehicle safety operation, timely discover and deal with potential abnormal risks, improve the lifecycle service quality assurance and quality traceability of EMUs, and ensure the safety and stability of EMUs has become extremely important. Therefore, this paper focuses on the research on the lifecycle service performance guarantee technology of EMUs. For real-time train status monitoring, a hierarchical collaborative health management technology architecture is proposed, and a high real-time and large bandwidth train perception network is built. For the monitoring of key components of the train running gear, a health monitoring scheme based on TRIZ theory is proposed. Meanwhile, through bench testing, reliability analysis and other methods, failure modes of key components of the running gear are proposed, and a fault warning model is developed. For integrated collaborative operation and maintenance, an internet-based proactive operation and maintenance platform and one vehicle one document system is constructed to achieve quality traceability throughout the entire lifecycle and ensure safe operation.

**Keywords:** electric multiple units, service performance guarantee, quality tracing

**作者简介:** 董威,高级工程师,主任设计师,研究方向为列车智能化、列车故障预测及健康管理。

## 0 引言

随着我国铁路建设进程加快与“一带一路”倡议、“走出去”重大战略的实施,我国动车组呈现数量多、运量大、分布地域广、服役环境复杂、网络化等综合特征,给运营安全保障带来严峻挑战。转向架是列车的腿和脚,是保证列车在高速下运行安全、平稳最为关键的部件,承担列车走行部以上全部重量、传递牵引和制动力。因此如何监测列车走行部关键零部件的健康程度,及时发现并处理潜在的异常风险,提升动车组全寿命周期服役质量保障、质量追溯能力,保障列车的安全性和稳定性变得异常重要<sup>[1-3]</sup>。国内外轨道交通行业比较发达的国家和地区都非常重视列车走行部故障的诊断与服役性能保障。世界领先的轴承技术供应商斯凯福(SKF)、英国高速列车经营者联盟(AEA)、日本、德国等都研制了相应的走行部故障诊断、预警装置<sup>[4]</sup>,但存在如下问题。

(1) 监测诊断方式单一:传统走行部大多通过车载温度、加速度单一维度进行监测、诊断,诊断系统独立、分散,数据融合应用较少,车-地协同不足,尚不能支撑走行部实时故障预警和预测需求。

(2) 故障模式覆盖不足:受限于实车走行部故障样本稀缺,走行部故障模式积累较少。传统走行部诊断大部分针对当前可预见的、可能会产生严重危害的走行部部件或状态进行监测,如:蛇形失稳、轴承过热抱死等故障,无法有效覆盖部件众多的走行部失效故障。

(3) 主动运维水平不高:传统车辆维保方式以计划修、故障修为主,这种运维方式需要专业技术队伍定期对相关部件进行检查、维护保养;同时,为了确保装备安全、可靠运行,存在大量的过度维护,增加了车辆的维护成本<sup>[5]</sup>。

本文以提升动车组全生命周期服役质量保障能

力为目标,围绕动车组安全服役及高效主动运维需求,提出了动车组健康管理技术架构,创新了基于多源数据融合的数理驱动智能诊断预测技术,创建了集成化协同化动车组远程运维服务技术体系和支撑平台,实现列车全生命周期服役性能质量保障和质量追溯,提升列车运维安全性和经济性。

## 1 高速列车健康管理技术架构

针对车地传输网络带宽瓶颈,列车海量运营数据无法完整回传到地面,而车载端进行大规模复杂计算资源有限等因素,建立列车和地面两级健康管理技术架构(如图1所示)。列车端对影响列车运行安全和运营秩序的关键部件进行实时诊断,地面中心集成列车运行历史数据、检修维护及设计数据,评估其性能演变趋势,形成维护方案。通过车地协同,实现在线动车组数据实时物联接入,覆盖设备-列车子系统-整车3个层级,实现从早期诊断、在线监测、故障预测的全方位监测评估,提升列车服役期间质量保障能力。

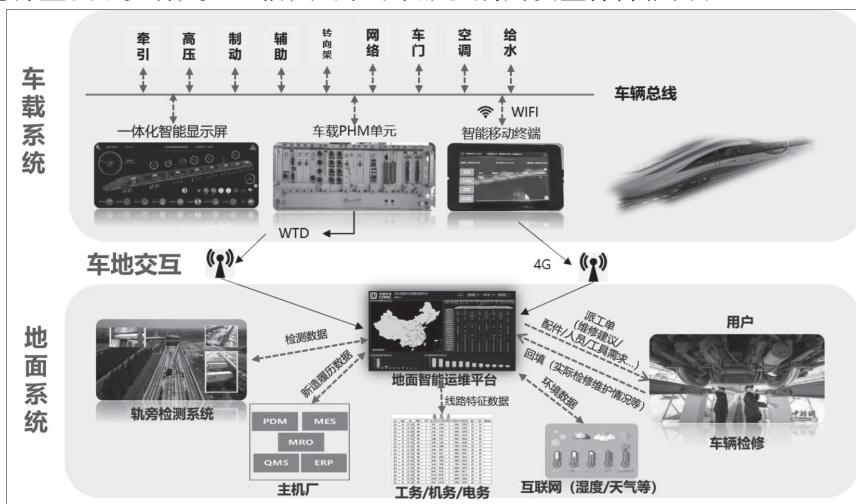


图1 列车-地面一体化健康管理架构

在技术架构基础上,针对动车组感知点分布广、数据类型多样、状态交错关联下的高速实时监测问题,采用分散与集中相结合、以分层多级网络方式构建列车健康监测系统,实现列车振动、温度、电压、电流、压力、声音、图像等10余种维度数据同步获取,车载实时以太网高效传输。

整车层面,突破传统的“WTB+MVB”的TCN列车网络总线形式,构建基于高实时、大带宽、双环网冗余的列车实时以太网总线架构(如图2所示),实现车辆端牵引、制动等关键系统和继电器、开关状态的采集、传输、诊断。列车网络采用“ETB+ECN”的总线形式,两级网络的传输带宽均不低于100Mbps,列车控制的关键信号传输周期不低于20ms。同时,基于传统TCN总线的冗余优势,设计基于双归属的环网架构,实现了控车网和维护的多网融合。

创新提出“1个平台、1个大脑、1个数据池、N类诊断模块”的架构方案,实现了走行部监测轴温、失稳、平稳、振动信号四合一的集约、高效与可靠融合,节省监测成本约20%,节约安装空间41.7%。

## 2 多源数据融合的数理驱动智能诊断预测技术

针对走行部故障模式数据不足问题,提出基于可靠性分析及台架试验的走行部故障诊断设计方

法,通过滚动、振动试验台对走行部正常及故障设备开展故障模式试验研究,完善齿轮箱、轴箱等设备故障模式13类,补充故障模式数据约800GB。在此基础上,引入可靠性分析方法,根据走行部构型,开展走行部失效模式、影响因素及影响程度分析,确定齿轮箱、构架、轴箱和电机为监测对象,可覆盖200~350km/h速度等级列车90%以上的走行部故障(如图4所示)。

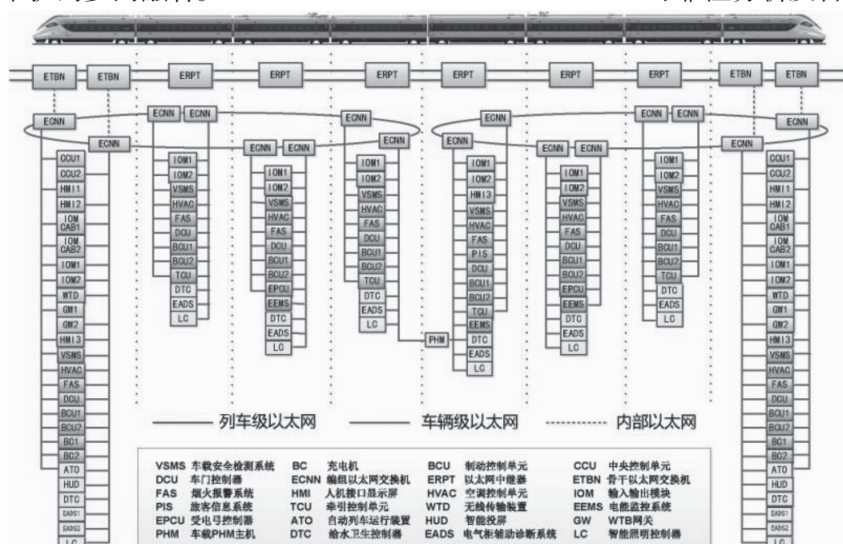


图2 基于实时以太网列车网络拓扑架构

针对列车关键子系统监测,以走行部为例,基于TRIZ理论,构建平台化的高速列车走行部诊断系统(如图3所示),选取TRIZ桥中的思维桥,采用“最理想解+金鱼法+九屏法”的创新思维方法,

针对走行部监测数据离散、多维异构等分析不利因素,提出融入行业专家经验的深度学习+长短周期记忆的多层卷积主干网络,建立以转向架服役状态监测数据流驱动的支持向量密度动态估计模型,实现以数据类别为依据的诊断模型动态自主训练、优化、部署(如图5所示)。模型较传统方

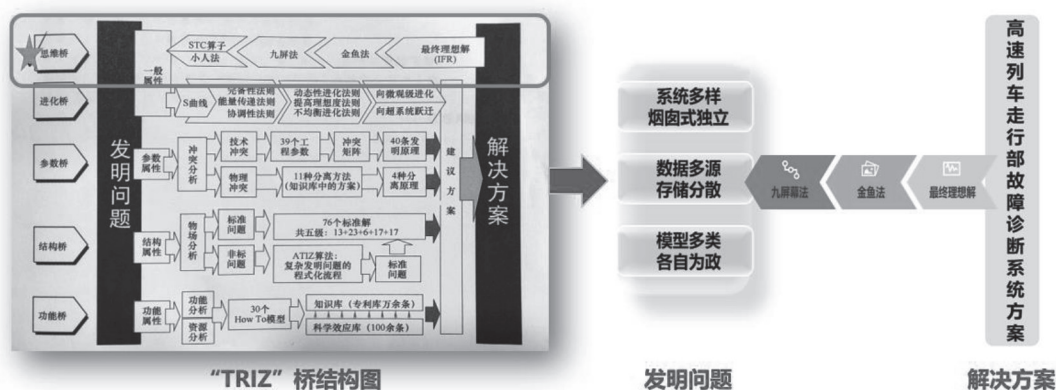


图3 基于TRIZ理论的高速列车走行部故障诊断系统



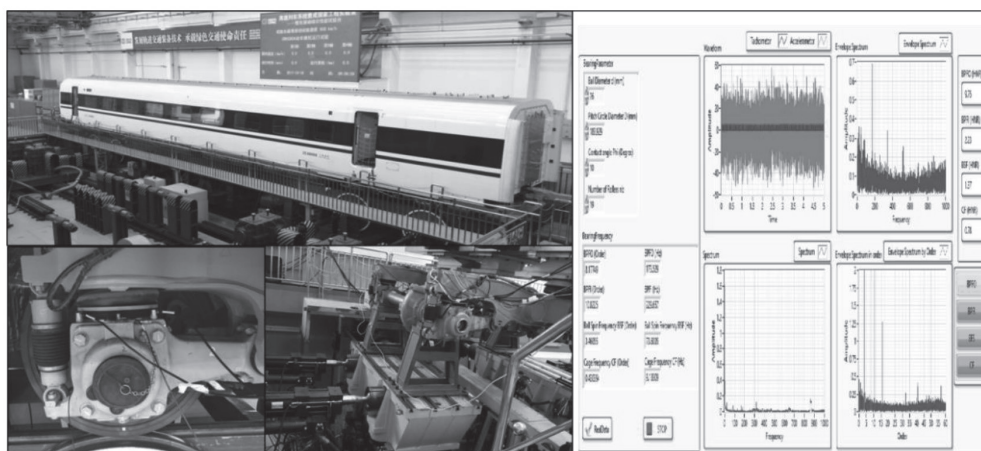


图4 走行部故障失效模式研究及数据分析

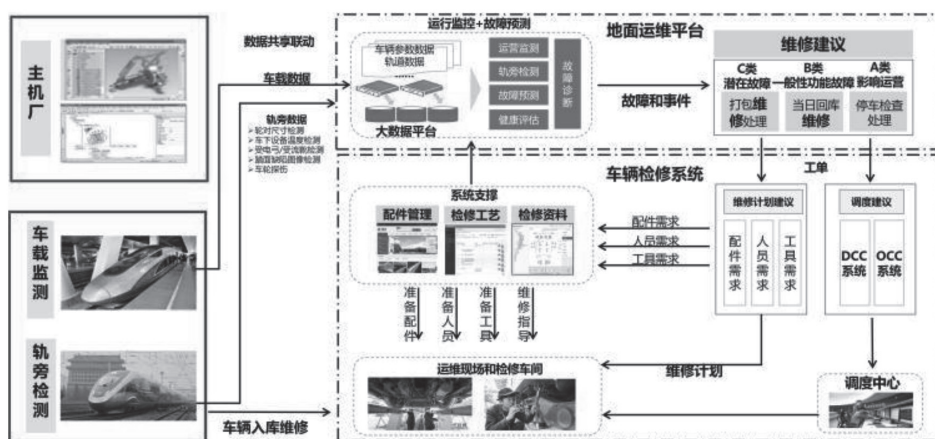


图6 基于数据驱动的动车组智能运维平台

法误报率下降14.3%，漏报率下降15.4%，实现对轮对、齿轮箱、牵引电机等走行部关键部件状态实时监测、故障预警与快速决策。目前已开发应用30余项走行部数理模型，并在1600组列车上全面应用。

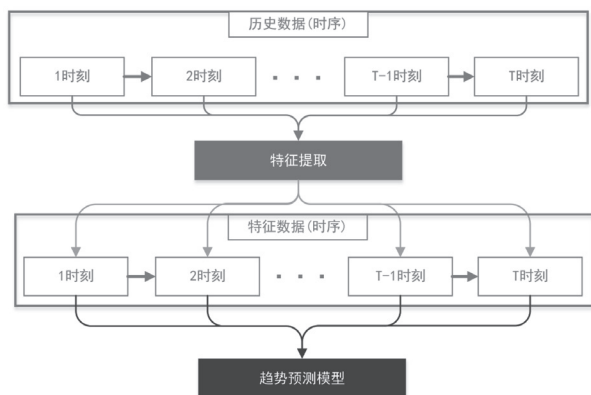


图5 特征提取+趋势预测模型架构

### 3 集成化协同化动车组远程运维服务技术体系

针对动车组数量多、运量大、分布地域广、服役环境复杂等运维挑战，构建集状态监测、故障诊断预测、运维决策于一体的集成化、综合性远程运维服务技术与支撑平台（如图6所示）；创新实时传输+Kafka+Spark的数据接收与解析技术，提出了Spark流与协议相结合、增加过滤规则、协议解析标准化、解析规则配置化、有效性判断简单化、数据分拣自动化“一结一过四化”概念，实现高通量连续性数据的快速处理；创新基于数据驱动的主动化动车组运维服务模式，以故障诊断预测结果为导向，实现专家资源统一调度、人力结构全面优

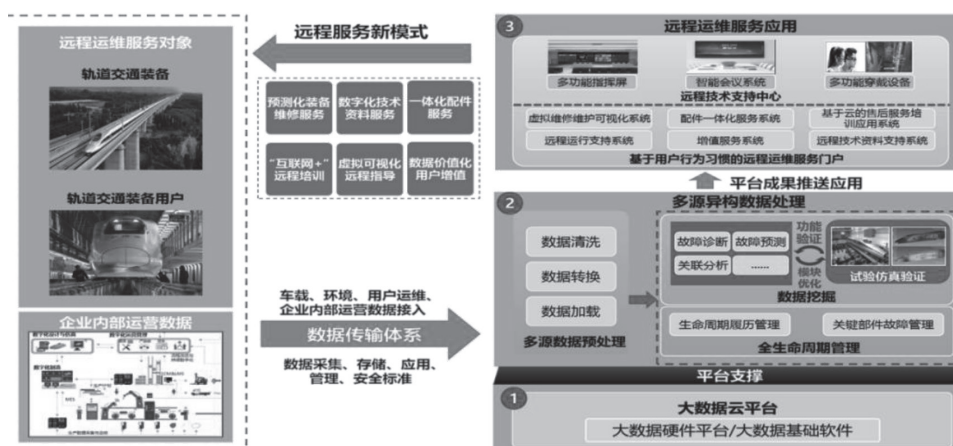


图7 基于一车一档全生命周期管理

化、备品备件统一管理、维修指导手册精准推送。

为更好地实现列车全生命周期的质量追溯，建立车辆一体化数据传输体系，打通动车组从设计、制造、检修运维全生命周期数据，链接上游供应商、主机厂与下游客户，形成端到端的数据链接；整合车辆运行状态、故障情况、运用信息、检修信息、历史装车信息、运行工况信息等数据，通过列车构型将动态和静态数据进行有机融合，形成基于一车一档的全生命周期档案，提升车辆质量追溯能力（如图7所示）。

## 4 结语

本文在分析列车服役现状及走行部监测系统现状的基础上，结合智能化列车发展需要和走行部监测需求，开展了动车组全生命周期服役性能保障技术研究。从动车组全生命周期健康管理的多维状态感知、故障诊断预测、运维决策3个方面，提出了高速广域全天候工况下的动车组健康管理

技术架构，实现列车走行部关键系统全场景在线实时主动感知和安全预警，提升列车服役质量保障能力；开展了基于多源数据融合的数理驱动智能诊断预测技术研究，实现走行部全生命周期状态演化实时监控与重大运营故障预防；搭建了集成化协同化动车组远程运维服务技术体系和支撑平台，建立基于一车一档的全生命周期档案，实现质量追溯闭环。本文研究成果在武汉、广州等12个路局推广，全面应用在和谐号、复兴号系列车型，并向城际、高速磁浮等项目推广，有力保障了车辆运营安全，进一步提升了我国轨道交通产业的自主创新水平和国际化竞争能力。

未来，随着大数据、人工智能、机器学习等技术的不断成熟和深化应用，结合列车及关键部件的全生命周期数据的进一步全面覆盖，通过全过程的实时交互和虚实映射，构建部件级、系统级数字孪生模型，刻画整车数字画像，实时评估车辆健康状况及部件剩余寿命，实现车辆全生命周期的自感知、自诊断、自决策、自修复，打造数字列车。

## 参考文献

- [1] 何华武. 高速铁路运行安全检测监测与监控技术[J]. 中国铁路, 2013, 000(003):1-7.
- [2] 何华武, 朱亮, 李平, 等. 智能高铁体系框架研究[J]. 中国铁路, 2019, 681(03):1-8.
- [3] 李平, 邵赛, 薛蕊, 等. 国外铁路数字化与智能化发展趋势研究[J]. 中国铁路, 2019, 680(02):31-37.
- [4] 王同军. 中国智能高速铁路体系架构研究及应用[J]. 铁道学报, 2019(11).
- [5] 梁建英, 刘韶庆, 范龙庆, 等. 大数据在我国高速动车组运维中的应用[J]. 控制与信息技术, 2019.