

提高动车组运用检修能力方式的研究

郭艺丹

国家铁路局装备技术中心, 北京, 100070

摘要: 随着中国铁路的迅猛发展, 动车组的运营和检修需求急剧增加, 如何提升其运用检修能力成为当前研究的重点。本研究在分析现有检修规程的基础上, 探讨了其中存在的设备智能化不足、预测性维护尚未成熟、流程标准化与个性化冲突, 以及检修与运营调度衔接不畅等问题, 并针对这些问题提出了切实可行的提升策略。为此, 建议引入人工智能技术来实现自动化检修, 建立大数据与物联网平台以增强检修的前瞻性, 并实施模块化与柔性化的检修体系, 更好地满足个性化需求。此外, 还建议推动检修与运营的一体化智能调度系统, 加速实现动态资源配置合理、最优检修计划顺利实施。这样一来, 动车组的运行安全性、检修效率及资源配置的合理性都将得到显著提升。

关键词: 动车组; 运用检修能力; 检修计划

Research on Ways to Improve the Maintenance Capability of China Railway High-speed (CRH) Trains

Guo, Yidan

Equipment Technology Center, National Railway Administration of the People's Republic of China, Beijing, 100070, China

Abstract: With the rapid development of China's railway industry, the demand for the operation and maintenance of CRH trains has increased sharply, and how to improve their maintenance capability has become the focus of current research. Based on the analysis of existing maintenance regulations, this study discusses the problems such as insufficient equipment intelligence, immature predictive maintenance, conflicts between process standardization and customization, and poor coordination between maintenance and operational scheduling. Practical improvement strategies are proposed to address these issues. Therefore, it is recommended to introduce artificial intelligence technology to achieve automated maintenance, establish a big data and Internet of Things platform to enhance the forward-looking nature of maintenance, and implement a modular and flexible maintenance system to better meet individualized needs. Additionally, it is suggested to promote an integrated intelligent scheduling system for maintenance and operations to accelerate the realization of reasonable dynamic resource allocation and the smooth implementation of optimal maintenance plans. In this way, the operational safety of CRH trains, maintenance efficiency, and the rationality of resource allocation will be significantly improved.

Keywords: CRH trains; Maintenance capability; Maintenance plan

DOI: 10.62639/sspis33.20240103

近年来, 随着中国铁路高速发展, 动车组数量及线路运营里程不断攀升, 截至2023年, 中国高铁运营里程已突破4.3万公里, 动车组保有量达到4073组, 占全球三分之二以上。在这种背景下, 如何确保动车组的高效、安全运行成为亟待解决的关键问题。动车组运用检修作为维持列车正常运营的重要一环, 直接关系到运行效率和安全性^[1]。当前, 虽然我国已逐步构建起较为完善的检修体系, 但面对复杂多变的运行环境和车辆状态, 传统的定期检修模式已难以满足日益增长的检修需求, 尤其是智能化、信息化水平仍有待提高。

一、动车组运用检修规程分析

动车组运用检修规程的制定是确保动车组列车能够安全、稳定运行的重要基础。根据《铁路动车组运用维修规则》(铁总运〔2017〕238号)

的相关规定, 动车组检修共分为五个等级, 其中一、二级检修属于运用检修, 主要针对日常维护和状态监测, 确保动车组在运行过程中保持正常工况; 三级及以上则属于高级检修, 针对更为复杂和重要的系统与部件进行分解检修或大修。一般情况下, 在车辆运行一段时间或里程后, 便会依据预定的检修周期进行不同等级的检修。

一级检修通常是在动车检查库内进行, 检查内容包括对外观的检查、简单的清洁和运行状态的评估, 确认列车外部是否存在损伤、驾驶室设备是否运行正常等^[2]。二级检修更注重系统性的检查与养护, 周期性对运行系统进行必要的检测与维护, 如对转向架、车体结构等重要部件的检查与调整。三级及以上检修需要制造厂商的参与, 内容更加复杂, 涉及对转向架、制动系统、电控系统等关键系统的拆解、检查、修复或更换, 目的是确认设备性能是否达到最佳状态。

同时, 动车组运用检修规程强调了设备管理

(稿件编号: IS-24-3-4007)

作者简介: 郭艺丹 (1990-01), 男, 汉族, 籍贯: 内蒙古赤峰市, 国家铁路局装备技术中心, 职称: 工程师, 硕士学历, 研究方向: 铁路机车车辆。

与信息化的重要性, 要求引入智能监控和大数据技术, 提前预测潜在故障, 减少因突发问题造成的运营中断。这一规则的实施有效地保障了动车组的安全运行, 也极大提高了检修的效率与科学性。全面贯彻对设备的定期检测和状态评估, 能够有效地延长设备使用寿命, 降低运营维护成本。

二、动车组运用检修存在的问题分析

(一) 检修智能化设备推广不足, 无法实现精细化维护

智能化设备在动车组检修中的应用还未完全普及, 导致检修工作在许多场合仍依赖人工操作, 难以达到精细化维护的要求。尽管智能机器人和数字化平台正在部分车段推广, 但其使用范围和深度有限, 无法有效应对复杂的检修任务^[3]。例如, 一些关键部件的检测仍依赖视觉和手动操作, 智能化技术还未形成全面的替代。要实现精细化维护, 推广更广泛、智能的设备是关键, 但目前高成本和技术限制是主要障碍。

(二) 基于大数据的检修预测模型尚未成熟, 难以提前预警

当前, 大数据技术在动车组检修中的应用仍处于探索阶段, 尤其是故障预测方面尚未成熟。尽管一些动车段已经开始尝试利用数据模型进行设备健康监测, 但实际效果与预期存在差距, 原因在于数据采集与处理的局限性, 无法实时、精准地分析和预警故障。一些复杂系统的多维数据尚未完全整合, 大数据的建模精度和应用深度仍需大幅提升, 特别是在应对突发故障时的准确性和及时性还存在很大的改进空间。

(三) 检修流程标准化与个性化需求冲突, 影响整体效率

动车组的检修标准化流程虽然提高了操作的一致性和安全性, 但面对不同型号列车和多样化运行环境时, 标准化流程难以灵活应对实际需求。标准化与个性化之间的冲突导致检修效率降低, 因为特定故障往往需要更具针对性的处理方式, 而现有流程过于僵化, 难以适应^[4]。此外, 车组的差异性也增加了个性化需求, 迫使检修人员在标准流程之外做出调整, 增加了工作复杂性, 拖慢了进度。

(四) 检修与运营调度衔接不畅, 导致资源浪费与效率低下

检修与运营调度之间的协调不畅是资源浪费和效率低下的主要原因之一。在实际操作中, 检修计划与列车运营的需求经常发生冲突, 导致检修工作不能按时进行, 或者检修后的列车无法及时投入运营。例如, 在高峰时期, 运营调度的压力更大, 使检修资源的分配不合理, 部分动车组过度使用, 其他却闲置。为优化资源分配, 提升运营效率, 必须加强检修与调度的智能化衔接, 实现动态调整和实时响应。

三、提高动车组运用检修能力的策略分析

(一) 引入人工智能技术, 提升自动化检修与实时故障诊断能力

引入人工智能技术提升动车组自动化检修与实时故障诊断能力的关键在于, 该技术能够大幅提升效率, 并减少人工失误。依赖于智能检修机器人、AI 图像识别等技术, 动车组的检修正逐步从传统人工操作转向全自动化。例如, AI 检测系统能够实时对动车组关键部件进行无死角扫描, 生成高精度三维图像, 用于识别和分析潜在的故障问题。这些系统能够识别细微的外观损伤, 还可以根据数据算法进行深度学习, 不断优化自身识别能力, 为动车组的精准维护提供了技术支持。另一方面, 实时故障诊断依托于高速数据传输, 智能化设备将故障信息实时回传至控制中心, 相关问题能够在最短时间内得到解决^[5]。从具体建议来看, 要进一步提升这些系统的应用效果, 首先应推广更多智能检测设备, 较常用的设备有高精度摄像头、传感器网络, 正确利用这些设备, 可以扩大数据采集的范围, 提升质量。智能算法需不断完善迭代更新, 结合更多历史数据和多维故障信息, 保持器在多场景应用中的稳定性。强化人机协作, 将机器人的精确检测与人工的灵活判断相结合, 形成有效的检修闭环, 减少人为疏漏。这一过程中, 还需增强系统的可视化功能, 帮助检修人员更直观地理解故障原因, 做出更快的维修决策。

(二) 构建基于大数据与物联网的预测性维护平台, 增强检修前瞻性

在动车组的关键部位部署温度传感器、振动传感器和压力传感器等, 采集列车在运行过程中的各种关键数据。这些传感器的精度需达到微秒级, 捕捉实时状态变化, 将温度变化范围控制在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内, 振动传感器的灵敏度不可大于 1g 。将这些传感器将安装在车轮、转向架、制动系统等关键部位, 每 5 秒采集一次数据, 经 5G 网络传输至云端。

数据处理的核心在于物联网平台的构建, 该平台不仅要具备强大的数据处理能力, 还需要与边缘计算架构相结合。在此过程中, 边缘计算节点将负责第一轮数据处理分析, 特别是在网络不稳定或高负载情况下, 边缘节点能够对数据进行初步过滤分析, 减轻中心服务器的计算压力。边缘计算处理的时延必须控制在 10 毫秒以内, 这样才可及时响应突发故障。经物联网平台将这些数据汇总至中央数据中心, 利用 Hadoop 数据挖掘。数据处理层面, 建议使用分类、聚类和回归算法处理历史数据与实时数据^[6]。例如, 分类算法可用于故障类型的快速分类, 聚类算法能够识别出设备的使用模式, 而回归算法可以根据历史数据分析结果预测设备可能将会发生的故障时, 推测发生时间。在实际运用中, 系统必须能够与检修计划无缝对接, 实现预测性维护与日常检修的智能匹配, 当检测到设备异常时, 系统将根据故障严重程度自动生成检修任务, 与现有的

检修计划进行比较,调整检修的优先级和时间安排。为了实现这一功能,系统必须接入动态调度算法,实时分析各检修任务的紧急程度和资源可用性,这样才能在资源紧张的情况下优先处理最紧急的故障。

(三)实施模块化与柔性化检修体系,兼顾不同车型与线路的个性化需求

实施模块化与柔性化检修体系的操作细节在于将动车组的各个系统划分为独立的检修模块,每个模块需具有标准化接口,便于快速拆装和替换。例如,动力系统模块可细分为电机、变频器和电源控制模块,检修人员在发现问题时可以直接替换故障模块,减少拆解时间。每个模块应根据使用频率和故障率设定具体的维护周期,如动力系统模块可设置为每运行2万公里进行全面检查,转向架每运行5万公里进行分解检修。模块库的建立需涵盖所有常用型号的动车组系统,方便根据不同车型灵活调用对应模块,模块更换时间需控制在1小时以内。柔性化检修要求在检修资源调度上具备高度灵活性,首先,需根据列车的实际运行状况与线路特性调整检修计划,针对常年运行于沿海高湿度线路的列车,应在模块中加入不锈钢或耐腐蚀涂层等具有耐腐蚀特性的元件,高速线路上的动车组应重点关注转向架的稳定性,和制动系统的灵敏度,这样列车在高速行驶时各部件均能保持高效运作。针对不同线路,检修人员需具备跨模块检修技能,掌握动力系统与转向架联动检修流程,配备专门的检修工具,及时完成各类模块能够快速安装拆解。智能管理系统的应用可提升柔性化检修的执行效率,该系统应具备实时监控列车运行状态的能力,收集、分析设备数据,及时发出检修通知,根据资源情况自动调整检修计划。例如,系统应在列车运行至某个预定里程时,自动生成检修任务,通知相关人员准备模块替换,根据列车的运营时间和检修场地的使用情况,灵活调整检修窗口,保障检修任务能够在列车停运期间完成。为了缩短停运时间,建议每次检修的预定时间控制在3小时以内,模块更换和测试需在这个时间框架内完成。实际操作中,应针对每个检修单元设定不同的质量控制标准。例如,制动系统的模块在安装后需进行多次压力测试,要能够达到标定的制动效率,振动模块在安装完成后,需使用高精度传感器测量振动频率。所有替换的模块应由专门的软件系统记录下来,至少应包括模块编号、安装时间和检修人员信息,方便后续追踪管理。

(四)推动检修-运营一体化智能调度系统,实现动态资源配置与最优检修计划

推动检修与运营一体化智能调度系统的操作重点在于所有资源是否得到高效调配、检修计划的制定是否科学。首先,系统必须实时采集和分析列车运行状态及设备健康数据,为实现这一目标,列车需要配备高精度传感器,监测温度、振动、压力等关键参数,每5秒钟向调度中心传输一次数据。调度系统应具备大数据处理能力,能够在接收到的数据量达到每小时百万级别时仍保持高

效运行,经数据建模和分析来预测设备潜在故障。若系统检测到某列车有故障隐患,需要立即将该列车列入优先检修队列。调度系统需与列车的运营计划紧密集成,尽可能避免高峰期对正常运营的影响。在实施资源分配时,系统应根据每列车的运营时间表、线路需求及可用检修人员和设备数量来自动生成最优的检修安排。例如,高峰时段列车密度较大,调度系统需提前对低峰期列车进行检修,最大化列车利用率。系统还需具备应急处理能力,当突发故障时,能够在10分钟内调整人员、工具和维修车间,使故障列车得到快速修复,在最短的时间内恢复运营。建议利用人工智能技术构建预测性调度模型,模型应基于过去至少5年的检修历史数据,结合实时数据,预测不同设备的故障概率。例如,使用机器学习的回归算法可以根据当前温度和振动变化趋势预测出下一次故障的可能时间,系统会在故障发生前提前分配检修资源,防止停运。最后,要实现柔性调度,关键在于根据每列车的运营条件和线路特点优化检修时间与内容。

四、结语

总而言之,提升动车组运用检修能力是保障其运行安全性与稳定性的核心任务。为此,首先应全面分析现有的检修规程,并结合动车组的不同级别检修需求,逐步实现精细化与智能化维护。借助人工智能和大数据技术的应用,检修效率可以得到显著提升,同时也能实现实时故障诊断和预测性维护目标,为日常运维提供有力的技术支撑。此外,模块化与柔性化的检修体系将更加灵活地适应不同车型和线路的个性化需求中,使资源配置得以优化。与此同时,引入智能化调度系统,将有效地协调检修与运营,避免出现资源浪费现象,促使检修计划能够更为合理地实施。由此可见,要想真正意义上提升动车组检修能力,仅仅依赖于技术的创新进步是远远不够的,还需梳理当前在管理流程上存在的不足,进行深度优化,这样才可保障运维体系更加高效,并具有前瞻性。

参考文献:

- [1] 师光洲, 裴德堂, 黄乾兴. 基于岗位能力的动车组检修实训设备开发与应用[J]. 内燃机与配件, 2022, (17): 123-125.
- [2] 李波, 李渊, 代歧, 张志文. 关于CRH2A/2C/380A平台动车组120万km三级检修调试项目的研究及优化[J]. 铁道车辆, 2024, 62(04): 154-162.
- [3] 何发胜, 钟金, 李亨博. CRH1A-A型动车组意外解钩故障原因及防控措施研究[J]. 高速铁路新材料, 2024, 3(02): 76-79.
- [4] 张民明. 动车组轮对轴端部件兼容检修流水线的设计与实践[J]. 高速铁路新材料, 2023, 2(06): 47-51.
- [5] 张民明, 蔡振东, 刘军, 张安, 邓士林. 基于智能物流技术的动车组齿轮箱兼容检修工艺布局研究[J]. 高速铁路新材料, 2023, 2(05): 64-69.
- [6] 刘晨亮. 关于高原双源动力集中型动车组一体化运用检修工作的思考与建议[J]. 铁道机车与动车, 2023, (08): 34-37+42+6.