

轨道交通车辆全生命周期运维策略探讨

陈金龙

重庆轨道交通运营有限公司, 重庆 401120

[摘要] 传统轨道交通车辆全生命周期运维策略存在维护效率低、问题解决率低、资源消耗大、资金投入高等问题, 无法满足新时期轨道交通运营需求。鉴于此, 文章将以现代信息技术为切入点, 利用监控车辆实时运行状态、开展预测性车辆维护工作、全方位收集车辆内置参数、监测与管理车辆运行能耗的方式, 实现对车辆全生命周期的监控管理, 提高运维员工对轨道交通车辆的诊断感知敏锐度, 有效提升运维检修效率, 为轨道交通车辆的安全稳定运营提供有力支撑。

[关键词] 轨道交通; 车辆全生命周期; 运维策略

DOI: 10.33142/sca.v9i4.19579

中图分类号: U270

文献标识码: A

Discussion on the Whole Life Cycle Operation and Maintenance Strategy of Rail Transit Vehicles

CHEN Jinlong

Chongqing Rail Transit Operation Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract: Traditional rail transit vehicle life cycle operation and maintenance strategies have problems such as low maintenance efficiency, low problem-solving rate, high resource consumption, and high capital investment, which cannot meet the operational needs of rail transit in the new era. In view of this, the article will take modern information technology as the starting point, using real-time monitoring of vehicle operating status, predictive vehicle maintenance work, comprehensive collection of vehicle built-in parameters, and monitoring and management of vehicle operating energy consumption to achieve monitoring and management of the whole life cycle of vehicles, improve the diagnostic perception sensitivity of operation and maintenance staff towards rail transit vehicles, effectively enhance operation and maintenance efficiency, and provide strong support for the safe and stable operation of rail transit vehicles.

Keywords: rail transit; whole life cycle of vehicle; operation and maintenance strategy

引言

轨道交通车辆作为现代化城市公共交通的重要组成部分, 具有出行效益高、操作便捷、安全性强等运营优势, 在缓解当前城市交通压力以及促进社会经济发展等方面具有重要意义。但是在传统的轨道交通车辆运维监测过程中, 运维团队的主要维护流程为定期检修、故障排查、预防性维修等应对性运维措施, 存在着检测不及时、内容不全面、问题锚点不精准等关键问题, 只能保证短期内车辆的安稳运行。为此, 文章将从现代化轨道交通运营角度出发, 探索车辆全生命周期的运维策略。

1 轨道交通车辆全生命周期数字化运维技术

1.1 监控车辆实时运行状态

监控车辆实时运行状态是轨道交通车辆全生命周期的重要运维手段, 该技术旨在利用先进的数字传感器网络

与完善的 IoT 物联网技术, 实时收集车辆行驶过程中的运行数据, 具体内容包括车辆牵引、制动、网络、空调、车门系统等关键部件的实时状态信息^[1]。这些数据经过高速传输至数据处理中心, 借助大数据分析和人工智能算法, 系统能够精准分析车辆的运行状况, 识别出性能下降、磨损加速等问题的早期迹象, 以便于后续运维工作的开展。

这种实时、细致的监控不仅提升了故障诊断的速度和准确性, 还为预测性维护提供了可靠的数据基础, 使得运维团队能够在问题发展成为更严重故障之前, 及时采取修复或更换措施, 极大地减少了列车清客下线、救援、中断运营的风险。同时, 通过智能化运维系统对车辆实时运行数据的深度分析, 还能帮助运维团队在原有基础上进一步优化车辆及零部件的维护周期, 防止因过度维护所产生的不必要资源损耗以及忽视维护所带来的隐性安全风险。此

外,该技术除了能够提高轨道交通运行效率与安全性,还可以通过智能化状态监控帮助车辆运营单位实现资产寿命、能耗管理、车辆评估等项目的技术支持,动态记录车辆性能参数,基于运营单位最优的资源分配、利用模式,进而推动轨道交通高质量发展。

1.2 全方位收集车辆内置参数

全方位收集车辆内置参数,不仅能够提高轨道交通车辆全生命周期运维效率,还在资产管理与资源分配方面具有显著的应用优势,通过对车辆内置参数采集的方式,将传统资产管理模式转变为更加高效的运维数据驱动过程^[2]。该技术旨在利用先进的数据传感器、IoT 物联网系统、大数据分析技术以及 AI 人工智能等科技手段,对车辆进行全生命周期的监控与管理。具体来讲,通过大数据技术 (Big Date) 实时收集车辆的运行数据 (包括但不限于速度、里程、能耗、关键部件磨损情况、其他部件使用情况),这些数据会被大数据技术通过物联网传送到 AI 人工智能处理程序当中,由云平台进行集中分析。

表 1 全方位收集车辆内置参数在轨道交通车辆全生命周期运维过程中的功能特性与具体内容

功能特点	具体内容
实时数据收集	通过传感器、物联网技术实时监测车辆运行数据 (速度、里程、能耗等)。
故障预测与维护需求	基于历史数据和实时分析,预测潜在故障和维护需求。
维护策略优化	利用大数据分析维护记录和故障率,识别最有效的维护措施和资源分配。
资产利用率提高	通过优化维护策略和计划,提高车辆和部件的使用效率。
成本降低	通过精确地维护和资源配置,减少不必要的支出。
服务质量提升	优化的资产管理流程确保了轨道交通系统的高效运行,提升了乘客体验。

通过这一过程,云平台不仅能够 AI 智能模块的框架下监测车辆的实时运行状态,还能立足车辆历史数据与线性数据预测车辆潜在的故障点与维护需求 (如预测性维护),并将相关内容汇总整理为一份完整的数据报表,为后续运维团队车辆维护工作的开展与决策制定提供真实、科学的数据参考。同时,该技术还能利用内置大数据分析模块,在上述基础上对车辆运维数据进行更加深入的挖掘、处理工作,无死角地站输出运维活动与车辆性能之间的内在激励关联,实现对维护策略与计划生成过程的进一步优化完善,全范围提高轨道交通资产利用率,降低车辆运维成本。例如,该技术通过分析不同轨道交通车辆、车型的内置参数与维护记录,计算出各种车型在不同位置的故障

发生率,并在这一基础上识别出更加容易发生故障的车辆类型与各种部件,同时生成若干可采用的车辆维护措施,进而实现对维护资源的科学分配,重点关注高风险或高价值的交通资产。

1.3 监测与管理轨道车辆能耗

监测与管理轨道车辆能耗,是保证轨道交通车辆全生命周期运维高效开展的重要措施,在实施该运维作业的过程中,应将现代科技带入车辆运维过程,摒弃传统的车辆运维、检修模式,通过安装集成传感器、搭建高级数据分析平台的方式,帮助运维团队实现对轨道交通车辆能源消耗的精准数值监测,实现对运维流程的全面优化、升级^[3]。该技术能够以信息技术为载体实时捕捉车辆的能源损耗数据,具体内容包括:车辆电力消耗、能效比例参数、车辆运行模式等,为轨道交通运营单位提供一个数据全面且内容精准的能源使用框架。随后,云平台会根据框架内容进行深入分析与深度思考,结合 AI 人工智能技术的自然语言处理模块,利用专业语言识别并生成能源使用的模式分析表与发展趋势介绍书,提炼其中节能减排的关键要素,给予运营单位科学、合理的节能建议。

2 轨道交通车辆全生命周期运维策略

2.1 设计与选型

轨道交通车辆全生命周期运维策略的设计与选型,通常指在车辆从最初设计、生产、运营、报废的整个生命周期过程中,根据车辆特性系统性地选择适配的运维技术进行运维方案制定,实现运维手段、管理模式以及支持系统的全面优化升级,最大程度提升轨道交通车辆全生命周期的运营安全性与经济性,推动车辆运营效益最大化。这一理念的核心要素为“从车辆设计之始对后期运维工作进行思考编制”,这种前瞻性的选型工作,能够从工艺角度筛选出最适合车辆全生命周期运维的标准方案,有效降低整体车辆运维成本,进一步提高车辆运营安全性与可靠性。由此可见,该技艺并非简单的技术手段选择,而是一套能连接车辆全生命过程的系统性工程方法理论。

鉴于此,在运维工作落实阶段,应从降低全周期成本 (LCC)、提升运行可靠性与安全性、实现实时数据贯通与资产增值三个角度出发,在关注采购价格的基础上降低使用、维修、能耗以及报废处理等长期支出,且通过技术手段对车辆运行过程进行智能检测与故障预警,依托预测性维护保证车辆稳定运行,同时打破建设、运营、维护之间的信息障碍,确保各主体之间运维信息的快速响应。

第一,在设计阶段,车辆设计时要在选型过程中选择具有模块化设计、标准化接口、易损件可替换性强、传感

器布点规划合理思想特征的车型设计,为后续运维工作提供便利;第二,在车辆制造阶段,应尽量选择耐久性强、制造工艺统一、车辆适配度高且出厂检测智能化的车辆材料,确保车辆出厂状态达到标准阈值,降低早期车辆发生故障的概率,并提供配套的材质档案,为后续运维工作的开展提供完整数据支撑;第三,针对车辆运维阶段,应结合上文数字化运维技术,合理选择适用目标车型的智能化运维系统,依托状态监测系统、故障诊断平台、工单管理工具、智能决策工具等数字技术赋能车辆运维过程,为运维工作赋予跨系统沟通能力,打通车辆运维数据壁垒,推动车辆运维管理进入“大模型时代”。

2.2 修制与修程

“预防为主、养修并重”是针对机械类设备、交通工具等资产,制定一套系统性维修管理制度的核心目标,其目的在于通过周期性的维护计划保证设备安全、高效地长期运行^[4]。这一制度通常体现在以下两个方面:(1)修制:指维修的体制或制度,如计划预防修理制、生产性维修制等,强调维修策略的整体设计与管理逻辑;(2)修程:指具体的维修级别或类别,根据设备运行时间、里程或技术状态划分,如列检、系统修、专项修、架修、大修等,每一级对应不同的检修范围、周期。鉴于此,为了有效提高运维团队的维护作业范围以及车辆运维效率,加强运维工作的精准度与响应时间,提高对车辆突发性问题处理与常规性运维作业的日常需求,运维团队应从修制修程两个角度着手进行维修规划,依托明确的修理计划缩短了运维作业的故障维护时间,从根本上提高运营团队的灵活性与工作效率。

常态化的修制类型有以下两点:(1)计划预防的修理制度:该制度是一种建立在“预防为主”核心目标基础上的一种高效运维制度,旨在通过日常维护、定期检查与周期性的计划修理完成对轨道车辆的运维作业,通过信息技术、预测性维护等多种技术手段对机械设备进行运维方案设计,防止设备在运行过程中突发使用故障。该制度范围较大且内容靶向性较强,适用于大多数铁路工业机械与轨道车辆部件;(2)生产性维修制度:该制度是立足轨道车辆生产性所衍生的“养修并重”核心维修策略,通常采用ABC的多层级分析法对设备进行分类管理,并在其中将重点关注的设备放置核心地位,对其实行针对性的计划预防维护,提升维修资源利用效率,实现对铁路轨道车辆主要部件的保护效能。而修程则与修制不同,修程更倾向于对铁路系统内部设备类型的精细化处理,并根据不同设备制定不同的修程等级,以此来满足对轨道交通车辆的运维

作业要求。如:轨道交通电客车,修程等级通常由日常修(列检、系统修、专项修)、架修、大修三个部分构成,架修、大修通常由专业公司或主机厂负责,其余内容则由现场运维团队完成。由此可见,修程能够根据零部件损伤规律、可靠性数据以及运行环境对维修层级进行动态调整,保证在故障彻底爆发前完成维修,最大程度降低潜在安全隐患。

2.3 提高部件使用寿命

预测性车辆维护工作是轨道车辆全生命周期运维过程中,一种由数据分析与人工智能算法相结合的先进车辆运维方法,能够利用现代信息技术强大的数据处理功能,对车辆当前、历史的运行数据进行采集、分析,从多个角度进行预测梳理,将车辆可能出现的运营故障与维护需求提供给运维团队,最大程度上提高车辆运维效率^[5]。该方法的基础模型以数字化技术赋能为核心,实现对车辆当前状态信息的实时采集,同时能够根据车辆过去的运行数据、性能参数、故障历史以及运维日志进行综合思考,通过人工智能的模式识别与动态趋势分析,精准预测出轨道车辆关键部件在当前运行状态下,可能出现的磨损程度以及潜藏的故障检修点,从而实现反应式维护向靶向性维护的运维模式转变,最大程度上延长车辆关键零部件使用寿命。

与传统基于运维工程师经验的定期检查维护模式不同,预测性维护能够在智能化设备的加持下全面提高维护工作的精准度与实效性,让维护决策能够更加直接、精确地定位到问题锚点,让每一次运维工作都能及时有效地解决车辆问题,避免传统维护作业冗余的检查步骤,降低因故障突发导致车辆紧急停运的运营事故发生频次,从根本上提高轨道车辆运营安全性,同时减少车辆的整体维护成本。

此外,该维护模式还能够就车辆部件当前实际情况进行精准维护方案制定,通过预测维修的方式排除各部件运行过程中潜藏的使用风险,极大程度上降低关键部件爆发危机的概率,在原有的维护基础上进一步提高车辆的可靠性与安全性,最大程度上延长设备的使用寿命。通过将预测性维护工作引入轨道交通车辆全生命周期维护的过程,能够帮助轨道交通运营单位实现对轨道车辆运维工作设计出更加精准、高效的设备维护计划,实现对关键零部件的周期性保养维护,提高车辆的运营效率。

3 结语

综上所述,数字技术在轨道交通车辆全生命周期的运维过程中有着至关重要的作用。通过对车辆实时状态的监控、预测性维护工作的开展、内置参数收集以及车辆能耗的监测与把控等运维策略的研究,将数字技术引入运维工

作不仅能够实现运维效率与运维安全性的同步提升,还能在一定程度上降低车辆运维成本,帮助运营单位实现更加高效的轨道资源分配计划,全面提高能源利用效率,进而实现轨道交通的绿色可持续发展,为轨道交通运维系统提供一个更加高效、安全的系统化管理方案。

[参考文献]

[1]武星宇.轨道交通车辆检修业务信息化管理研究[J].中国设备工程,2025(21):163-165.
[2]中国城市轨道交通协会,同济大学,上海申通地铁集团有限公司.2024 城市轨道交通车辆运维高质量发展研讨会

在上海举办[J].城市轨道交通研究,2024,27(11):154-156.

[3]刘勇.轨道交通车辆智能运维技术研究[J].模具制造,2024,24(8):32-34.

[4]刘斌,刘安,王志云,等.城市轨道交通车辆智能化运维检测措施研究[J].交通科技与管理,2024,5(1):17-19.

[5]宋智翔.城市轨道交通电客车维修策略研究——以北京为例[J].都市快轨交通,2023,36(6):34-39.

作者简介:陈金龙(1985—),男,西南交通大学电气工程及其自动化专业毕业,高级工程师,现就职于重庆轨道交通运营有限公司,任车间副主任。