

基于全生命周期的地铁车辆检修设备修程管理

吕福胜

天津一号线轨道交通运营有限公司 天津 300000

摘要：为解决地铁车辆检修设备传统修程管理碎片化、检修策略固化、运维成本偏高且安全隐患突出等问题，本文基于全生命周期管理理论，结合地铁检修设备运维特性，剖析当前修程管理存在的差异化不足、数据割裂、智能化薄弱等核心问题。针对性构建全周期分层修程管理体系，设计动态调整、数据协同等运行机制，配套多元保障措施，实现设备修程精准适配，助力地铁运维提质、降本、增效。

关键词：基于全生命周期；地铁车辆；检修设备；修程管理

引言：随着国内地铁路网规模持续扩张，车辆检修设备日趋精密化、智能化，传统固定化、经验化的修程管理模式已难以适配设备全寿命运维需求，暴露出检修失衡、数据脱节、管理低效等诸多问题。为优化地铁设备运维管理体系，本文引入全生命周期管理理念，立足设备投产、稳行、老化全阶段特性，探究科学精准的修程管理优化路径，为地铁设备安全稳定运行、精细化运维管理升级提供理论与实践支撑。

1 相关理论与基础概述

1.1 全生命周期管理理论

(1) 全生命周期管理核心内涵：以设备全寿命周期为时间维度，系统涵盖规划采购、安装调试、日常运行、检修维护、老化报废等全流程环节，将管理视野从单一运维阶段拓展至设备完整寿命轨迹。该模式以降本增效、提升设备可靠性为核心目标，强调通过全过程数据贯通与策略联动，实现综合效益最大化。(2) 全生命周期管理核心原则：遵循全程统筹、动态适配、效益最优、风险可控四项基本原则。全程统筹要求打破阶段壁垒，实现各环节管理要素的系统整合；动态适配强调根据设备实际状态灵活调整管理策略；效益最优兼顾安全、成本与效能的多目标平衡；风险可控则要求在全过程中建立预警与干预机制。(3) 全生命周期管理应用优势：有效打破传统阶段性碎片化管理弊端，实现设备状态、检修任务、运维成本的全维度一体化管控。通过全周期数据积累与反馈驱动管理持续优化，尤其适配当前地铁车辆检修设备日趋精密化、智能化的运维需求，为修程管理提供系统性的顶层架构支撑。

1.2 地铁车辆检修设备修程管理核心内容

(1) 检修设备分类：将地铁车辆检修设备细分为机

械检修设备、电气检测设备、制动系统检修设备及智能化运维设备等核心类型，明确各类设备的功能定位、技术特性及差异化运维要求，为修程差异化设计奠定分类基础。(2) 修程管理核心要素：修程管理包含检修周期、检修内容、检修标准、检修工艺、质量验收五大核心要素。五者相互关联、层层递进，共同构成保障设备稳定运行的完整管理依据，是修程体系有效运转的基石^[1]。(3) 传统修程管理模式：阐述定期检修与故障事后检修两种主流传统模式。定期检修依据固定周期强制执行，适用于故障规律明确的设备；故障事后检修则在故障发生后响应处理。两种模式在特定场景下具备合理性，但均存在与设备实际状态脱节、过度检修或检修不足等固有短板。

1.3 全生命周期与修程管理的适配性分析

(1) 设备生命周期与修程的对应关系：系统分析设备投入期、稳定运行期、老化衰退期各阶段性能退化规律与故障演化特征，明确不同阶段对检修项目、深度及频次的差异化需求，为修程精准匹配提供依据。(2) 全生命周期视角下修程管理优化价值：将全生命周期理念引入修程管理，有效解决传统模式与设备状态脱节问题。通过全周期数据驱动，推动修程从“固定标准化”向“动态精准化”转变，在保障检修质量的同时合理控制运维成本，实现设备效益与安全水平的整体提升。

2 地铁车辆检修设备修程管理现状及问题分析

2.1 地铁车辆检修设备管理现状调研

(1) 调研对象与调研方案：选取国内一线及新一线城市地铁运维单位作为调研对象，覆盖不同线路制式、不同运营年限的车辆检修设备管理场景。通过实地走访、数据调取及员工访谈相结合的方式，系统收集设

备台账信息、修程执行记录、故障报修数据及运维成本明细,确保调研结果的代表性与全面性。(2)现有修程管理体系现状:当前各运维单位均已建立基础的修程管理制度体系,编制了覆盖主要设备类别的检修规程文件,明确了各类设备的检修周期、检修项目及验收标准。检修流程整体遵循“计划排定—工单派发—现场作业—质量验收—记录归档”的闭环路径,人员配置按设备类别划分专业检修小组。数据管理主要依赖电子台账或基础版信息系统完成日常记录与统计,但各环节信息录入的规范性与完整性参差不齐,整体精细化程度有待提升。(3)设备全生命周期管控现状:规划采购阶段的设备技术参数、安装调试阶段的试运行数据未能有效传递至运维阶段形成管理闭环;运维过程中积累的状态数据与故障记录亦较少反馈至设备报废更新决策环节,各阶段管理衔接存在明显断层。数据留存分散在不同部门与系统中,缺乏统一归集与深度利用,修程调整多依赖临时安排,尚未形成系统化、周期性的动态运行机制。

2.2 修程管理存在的核心问题

(1)修程设置缺乏生命周期差异化:当前修程管理对所有设备统一执行固定检修周期,未根据设备投用年限、性能退化速率及历史故障规律进行差异化设置与动态调整,导致新设备面临过度检修的资源浪费,老旧设备则因检修深度与频次不足而存在安全隐患。(2)全流程修程衔接碎片化:设备采购、安装调试、运行维护、报废更新各阶段管理信息割裂,前期产生的设备出厂参数、安装精度数据及早期运行特征记录无法有效传递至运维环节用于修程优化,全周期数据链不完整,决策依据缺乏系统支撑。(3)智能化修程管控水平不足:修程制定与调整仍以人工经验为主导,检修数据多采用纸质记录或电子表格存档,缺乏设备状态实时监测、剩余寿命预判及修程动态优化等智能化技术手段,难以实现从经验驱动向数据驱动的管理转型。(4)修程考核与优化机制缺失:尚未建立完善的修程执行质量考核体系,检修效果评价、设备故障率变化等结果性数据无法有效反向作用于修程标准与内容的修订,管理体系缺乏“执行—评价—反馈—优化”的自我迭代闭环能力。

2.3 问题成因深度分析

(1)管理理念滞后:运维团队长期沿用传统经验型管理思维,对全生命周期精细化管理的理念认知不足,管理层与执行层均缺乏从设备全寿命视角审视修程策略的系统意识,导致修程规划的前瞻性与系统性缺位。(2)管理制度不完善:现有管理制度未将全生命

周期理念纳入修程管理规范体系,采购、技术、运维、资产等各部门在全阶段管理中的权责划分模糊,流程衔接缺乏制度性安排与标准接口,部门间协同壁垒明显。(3)技术支撑体系薄弱:设备在线监测终端覆盖不足,数据采集标准化程度低,统一的数据中台与智能分析平台尚未建立,无法为设备状态精准研判及修程动态优化提供可靠的技术基础与数据保障^[2]。(4)人员专业能力不足:运维人员普遍具备传统检修技能,但在全生命周期设备管理理论认知、数据分析方法应用及智能化修程优化工具操作等领域的专业知识和实操能力存在明显短板,制约了管理模式的转型升级与体系的有效落地。

3 基于全生命周期的地铁车辆检修设备修程管理体系构建与实施

3.1 修程管理体系构建原则与目标

(1)构建原则:坚持全程统筹原则,从设备全寿命周期视角系统规划各阶段修程策略,打破采购、运维、报废各环节管理壁垒;坚持状态适配原则,以设备实际运行状态与性能衰减规律作为修程动态调整的核心依据;坚持提质降本原则,在保障检修质量与安全水平的前提下持续优化运维资源配置;坚持智能高效原则,充分运用数字化、信息化手段赋能修程管理全流程;坚持安全可控原则,将设备安全运行与风险防范作为修程管理的根本底线。(2)构建目标:搭建覆盖全流程、贯穿全周期、支撑动态优化的智能化修程管理体系,实现设备各生命周期阶段修程科目、周期及内容的精准适配与科学设置,显著降低设备故障率与非计划停机频次,合理控制全周期运维成本投入,全面提升地铁车辆检修整体效能与精细化管理水平,为地铁安全高效运营提供坚实设备保障。

3.2 基于全生命周期的修程体系分层构建

(1)设备投产初期修程优化:针对设备安装调试与试运行阶段特征,系统制定涵盖安装精度专项验收、运行初期高频状态巡检、核心参数周期性校准等专项修程科目,确保设备以最优技术状态平稳投入正式运营。同步建立设备初始状态档案,完整留存出厂性能参数、安装精度数据、调试过程记录及试运行工况信息,为后续运维阶段修程设置与状态比对提供基准数据支撑。(2)设备稳定运行期修程优化:在设备进入性能稳定期后,依托日常运行状态监测数据与历史故障统计结果,科学评估现有定期检修项目的必要性与作业频率的合理性。在此基础上系统精简冗余检修工序、优化合并同类作业项目,将检修资源精准聚焦于关键功能部件与高故障率

环节的状态检测与精度校验,在保障设备持续高效运行的同时有效降低常规运维成本^[3]。(3)设备老化衰退期修程优化:针对进入性能衰退阶段的设备,适度缩短核心部件专项检修周期并加密状态跟踪检测频次,重点增设关键零部件磨损及疲劳检测、电气系统绝缘性能老化评估、系统综合精度劣化趋势分析等检修科目。依据检测评估结论,及时制定并实施设备针对性整改、系统升级改造或整机报废更新方案,有效防范因设备性能劣化而引发的运行安全事故。

3.3 修程管理体系运行机制设计

(1)动态修程调整机制:以设备运行工况数据、故障报修记录、专项性能检测结果及修程执行反馈信息为多重驱动要素,建立季度滚动评估与年度全面修订有机衔接的动态调整机制,根据设备状态变化趋势及时优化检修项目与作业频率,确保修程策略与设备实际运行状态始终保持精准的动态匹配关系,避免修程设定滞后于设备状态变化^[4]。(2)全流程数据协同机制:统一规划建设设备全生命周期数据管理平台,制定统一的数据采集规范与信息接口标准,纵向贯通设备采购参数、安装调试记录、运维检修履历、故障维修信息及报废评估结论等全阶段数据链,横向打通运维、技术、管理、财务等多部门业务信息流,实现跨阶段、跨部门数据的高效共享与深度挖掘,为修程策略的科学制定与精准优化提供完整、准确、及时的数据决策支撑。(3)多部门协同管控机制:厘清运维、技术、管理、检修等各部门在修程管理全流程中的具体职责边界与协作规范要求,建立修程方案联合会审、执行过程联合监管、验收结果联合确认的协同工作模式,配套建立定期联席会议与信息通报制度,形成从需求识别、方案制定、任务派发、现场执行到效果验证的完整闭环管控链条,杜绝管理盲区与职责推诿现象。

3.4 体系实施保障措施

(1)制度保障:全面制定与修订覆盖设备全生命周期的修程管理规章制度,系统规范各阶段的检修标准、作业流程与质量验收要求,明确各环节操作规范与考核办法,将体系运行各项要求以制度形式予以固化,确保管理工作有章可循、有据可依,为体系有序运行提供坚实的制度基础。(2)技术保障:积极引入设备状态在

线监测终端、大数据挖掘分析工具及设备剩余寿命智能预判模型等先进技术手段,构建集成化、可视化的智能运维管理平台,实现设备状态实时感知、数据智能分析与修程辅助决策的全链条技术覆盖,全面升级技术支撑能力,切实提升修程优化的精准度与时效性^[5]。(3)人员保障:分层分类组织实施专项技能培训计划,建立岗前培训、在岗进修与技能考核相结合的人才培养机制,重点强化运维人员全生命周期管理理念认知、智能设备系统操作维护及数据分析应用等复合型能力,着力打造专业化、高素质的设备运维管理团队。(4)考核保障:建立多维度修程执行绩效考核指标体系,将检修工作质量、设备故障发生率、运维成本控制成效等核心指标纳入考核范畴,实行定期考评与动态跟踪相结合,考核结果与部门绩效及个人激励紧密挂钩,形成有效的激励约束机制,倒逼各项管理要求落实到位并持续改进。

结束语

本文立足设备全生命周期视角,完成地铁车辆检修设备修程管理体系的构建与优化,有效破解了传统修程管理模式的各类痛点,实现修程管理从经验驱动向数据、状态驱动的转变。通过分层修程优化、完善运行机制与多元保障体系,可有效提升设备运维质量、降低运维成本。未来可持续深化智能化技术应用,动态优化修程策略,进一步提升地铁设备运维精细化、智能化管理水平。

参考文献

- [1] 赵静.轨道交通设备全生命周期台账管理与应用研究[J].城市轨道交通研究,2023,26(08):189-192.
- [2] 丁明辉,魏运,朱鸿涛,等.北京地铁智慧车辆段方案研究[J].智慧轨道交通,2024,61(01):61-67.
- [3] 赵婷婷,万国强,宋龙龙,等.基于RCM的轨道车辆检修规程优化分析研究[J].设备管理与维修,2025,6(09):32-35.
- [4] 赵振江,胡方阳,王彩文.南京地铁电客车“数智人+自然人”巡检协作模式研究及应用[J].现代城市轨道交通,2024,13(12):29-35.
- [5] 万宇,刘晨光,刘小虎.状态修技术在车辆检修中的实际应用和效益分析[J].技术与市场,2025,32(05):89-91.