

地铁车辆检修模式及检修技术研究

边贵鑫

天津一号轨道交通运营有限公司 天津 300000

摘要：地铁车辆检修对保障运营安全与效率至关重要。传统检修模式包括定期检修与故障维修，各有优劣。新型检修模式如状态检修、均衡检修，依托先进技术实现精准维护。检修技术从人工巡检向智能传感、大数据分析等新兴技术演进。检修模式与技术相互影响、协同发展，需结合模式需求研发技术、强化人员培训、完善管理机制、推动跨部门合作，以构建高效智能的检修体系。

关键词：地铁车辆检修；状态检修；智能传感；大数据分析；协同发展

引言：地铁作为城市交通动脉，车辆检修是保障其稳定运行的核心环节。传统检修模式以固定周期或故障触发为主，存在资源浪费与响应滞后问题。随着物联网、人工智能等技术渗透，新型检修模式与智能技术不断涌现，推动检修向精准化、动态化转型。如何实现检修模式与技术的协同创新，成为提升运维效能、降低全生命周期成本的关键课题。

1 地铁车辆检修模式分析

1.1 传统检修模式剖析

定期检修模式按照预先设定的时间周期或行驶里程，对车辆开展系统性检查与部件维护。流程涵盖基础外观检查、关键系统拆解检测、易损件更换及性能参数校准等环节。每次检修需按固定项目清单逐项执行，确保覆盖车辆主要功能模块。这种模式通过规律性干预，能在潜在故障显现前进行处理，对维持车辆基本安全状态起到基础性作用^[1]。固定周期难以匹配不同部件的实际损耗速度，部分状态良好的部件会因到达检修时间被强制拆解检查，造成人力与备件的不必要消耗，频繁的计划性停驶也可能影响运营调度的灵活性。故障维修模式以车辆突发故障为触发点，启动应急维修程序。车辆出现异响、功能失效或报警提示时，先通过初步诊断确定故障范围，再组织人员进行部件更换或系统修复。整个过程聚焦于解决已发生的问题，响应速度直接关系到运营恢复效率。其优势在于维修目标明确，仅在必要时投入资源。故障发生具有随机性，若在高峰时段出现严重故障，可能导致线路中断并引发连锁延误。事后维修往往需要紧急调配备件与人员，长期来看可能推高整体维护成本，部分隐性故障可能在多次突发问题后才被发现。

1.2 新型检修模式探索

状态检修模式依托分布在车辆关键部位的传感器网络，实时采集振动、温度、压力等运行数据。通过数据

传输系统将信息汇聚至分析平台，经算法模型评估部件健康状态。某项参数超出正常阈值时，系统会发出检修提示并明确需关注的部件与检修等级。这种模式能精准捕捉部件劣化趋势，使检修工作仅针对实际需要维护的部位开展。可减少不必要的拆解作业，降低备件库存压力，延长车辆有效运营时间。其实施需搭建完善的监测网络与数据处理体系，对传感器的稳定性和算法的准确性要求较高，初期投入成本较大，部分复杂系统的状态评估仍存在技术难点。均衡检修模式将传统集中式大修任务分解为若干小型维护单元，利用列车非高峰时段的停运间隙完成检修工作。通过梳理车辆各系统的维护需求，制定每日或每周的小型检修计划，使每项维护任务占用的时间控制在运营间隔允许范围内。这种模式能避免列车因集中检修长时间脱离运营序列，保持线路运力稳定。分散的作业安排可使维修人员更专注于具体任务，提升单次检修质量。实施过程中需精确测算各时段的可用检修窗口，合理分配人员与工具，确保分散作业不影响次日正常运营，对调度协调能力提出较高要求。

1.3 不同检修模式的适应性分析

单线短距离运营且车辆数量较少的线路，采用定期检修模式可简化管理流程，通过固定周期维护保障基本安全。客流量大且运营时间长的主干线路，单纯依赖定期检修会因停驶影响运力，结合状态检修能在保障安全的同时减少停运时间。故障维修模式更适用于备用车辆充足的线路，可在故障发生后迅速替换受损车辆，为维修争取时间。线路规模较大且车辆类型多样的网络，可针对核心线路采用状态检修与均衡检修结合的方式，利用夜间间隙完成大部分维护，同时保留少量定期检修窗口处理复杂项目。支线或郊区线路可采用定期检修为主、故障维修为辅的模式，平衡成本与可靠性。当遇到极端天气或重大活动等特殊情况时，可临时强化状态监

测频率,结合故障维修的快速响应机制,形成动态调整的检修组合策略。不同模式的搭配需依据线路实际负荷、车辆老化程度及运维资源配置情况灵活调整,以实现效能最大化。

2 地铁车辆检修技术研究

2.1 传统检修技术回顾

人工巡检技术是检修人员通过视觉观察车身外部有无划痕变形,车窗玻璃是否完整,连接部件是否松动。用耳朵聆听运行时电机、轴承等部位是否发出异常声响,判断机械运转状态。用手触摸制动系统、管路接口等部位,感受温度是否过高或存在泄漏痕迹。这种方式能直接发现明显的表面损伤、部件脱落等问题,在车辆日常基础检查中发挥着基础作用。但检查结果依赖人员经验与责任心,同一故障可能因不同人员的判断标准产生差异^[2]。对于隐藏在部件内部或需精确量化的缺陷,仅凭感官难以准确识别,检测深度和精度受到明显制约。常规检测技术借助游标卡尺、百分表等量具测量轮对尺寸、制动间隙等关键参数,使用万用表、兆欧表等仪器测试电路通断、绝缘性能。通过专用设备检测制动压力、弹簧弹力等性能指标,将测量结果与标准值比对,判断部件是否符合运行要求。这些技术为车辆关键性能参数提供了量化依据,保障了车辆基本运行条件。然而对于涉及多系统协同的复杂故障,单一的尺寸测量或性能测试难以追溯根本原因。面对间歇性故障或动态变化的隐患,静态检测方式往往难以捕捉到关键信息,检测范围存在一定局限。

2.2 新兴检修技术应用

智能传感与监测技术在车辆转向架、电机、制动系统等核心部件安装微型传感器,持续采集运行过程中的温度变化、振动频率、压力波动等数据。传感器通过无线传输模块将信息实时发送至控制中心,形成动态监测数据流。系统对数据持续分析,某项指标异常波动时自动预警,提示可能的故障风险。能在故障发生前捕捉细微性能变化,为提前干预提供依据,减少突发故障。通过长期监测数据积累,可建立部件劣化模型,使状态评估更具科学性。大数据与人工智能技术将车辆日常运行记录、历史故障信息、检修记录等海量数据整合存储,构建结构化数据库。通过数据挖掘梳理不同运行条件下的故障规律,识别易损部件失效模式。人工智能算法学习历史案例形成诊断模型,车辆异常时快速匹配故障类型及原因。在维修决策方面,算法根据车辆状态、运营计划等,自动生成最优检修方案,提高决策准确性和效率。突破人工分析局限,从复杂数据中发现潜在关联,

为检修提供精准指导。虚拟现实与增强现实技术通过三维建模构建与实体车辆一致的虚拟模型,模拟不同故障场景下的检修流程。检修人员可在虚拟环境中反复练习拆装步骤、故障排查方法,熟悉复杂部件内部结构。增强现实技术通过智能眼镜等设备,将实时车辆图像与预设故障特征、维修指引叠加显示,提供可视化指导。故障定位时,系统直接标注疑似故障点及检查路径,辅助快速找到问题根源。缩短培训周期,降低操作失误率,处理罕见故障时可远程调取经验提供支持。

2.3 检修技术发展趋势探讨

未来检修技术将更注重智能化发展,通过传感器网络与智能算法的结合,实现故障的自主识别与预警。自动化设备将逐步替代人工完成重复性检测工作,如轮对自动测量、制动系统自动测试等,提高检测效率和一致性。精准化成为技术突破的重点,通过更精密的传感技术和更先进的分析方法,实现对微小缺陷的早期发现,提升故障诊断的准确性。新技术的融合应用将大幅提升检修效率,减少人为操作带来的误差,同时降低人员在高空、狭小空间等危险环境中的作业强度。多种技术的协同需要统一的数据标准和接口协议,不同系统间的兼容性成为需要解决的问题。技术升级伴随着对人员技能的新要求,如何培养既懂传统检修又掌握智能技术的复合型人才,是推广新技术过程中面临的现实挑战。技术应用的成本控制与实际效益平衡,也需要在发展过程中不断探索优化。随着绿色理念渗透,低碳检修技术或成新方向,推动检修过程节能降耗,与城市可持续发展相契合。

3 地铁车辆检修模式与技术协同发展策略

3.1 检修模式对技术选择的影响

定期检修模式以固定周期开展全面检查,依赖标准化检测工具和流程化作业方法。需配备覆盖车辆各系统的通用检测设备,涵盖轮对、制动、电路等关键部位,技术选择倾向成熟稳定的工具,避免因技术波动影响检修进度^[3]。人工操作技术在此模式仍适用,因流程固定,人员可通过反复练习形成稳定操作规范,确保各项检查步骤不遗漏。状态检修模式依赖实时数据判断车辆状态,需动态监测与数据分析技术。在关键部位部署高精度传感器,包括温度、振动、压力等多种类型,搭配高效数据传输与分析系统,优先保证数据采集连续性和分析模型准确性。静态检测技术仅作辅助,用于状态预警后的精准排查,进一步确认故障位置和程度。均衡检修模式将任务分散在运营间隙,需快速检测与小型化设备。工具需便于携带部署,在有限时间内完成检查,兼

顾效率与精度，避免因设备操作复杂占用过多运营间隙。自动化快速检测技术更适配碎片化检修窗口，减少人工操作时间，提升单位时间内的检修完成量。模式转变要求技术配置调整。从定期转向状态检修，需逐步引入监测传感和数据处理系统，降低对传统全面检测工具的依赖，同时保留必要的人工复核环节。采用均衡检修需替换部分大型设备，增加便携式仪器比例，确保能在站台、车库等不同场景灵活作业。技术选择与模式特点匹配，才能实现资源最优利用。

3.2 检修技术对检修模式优化的推动

智能传感技术支撑状态检修模式，实时数据使状态评估摆脱固定周期，动态调整检修时机，避免因周期僵化导致的过度检修或检修不足。传感器微型化和低功耗特性，让长期监测成为可能，扩大状态检修实施范围，从核心部件延伸至次要系统。大数据与人工智能技术为模式优化提供数据基础，分析历史数据识别故障规律，包括不同季节、时段的故障高发类型，为均衡检修任务分解提供依据。算法生成的检修计划精准匹配运营间隙，让模式从经验驱动转向数据驱动，提升调整灵活性和针对性。自动化检测技术拓展检修模式空间，快速设备使均衡检修在短时间内完成更多任务，扩大覆盖范围，减少列车因检修导致的停运时长。自动检测降低人为因素对结果的干扰，推动定期检修向半自动化升级，提升检测结果的一致性。新兴技术融合打破传统模式局限，监测、分析、执行技术协同，使多种模式结合应用成为可能。某系统用状态检修时，其他可实施均衡检修，形成复合型结构提升整体效率。技术进步持续为模式创新提供可能，比如5G技术提升数据传输速度，进一步缩短状态评估滞后时间，边缘计算则加快数据处理效率，推动检修体系向高效智能演进。

3.3 构建协同发展体系的建议

技术研发需结合检修模式需求，邀请运营和维修人员参与需求定义，确保新技术适配现有模式或支撑模式升级，避免技术研发与实际应用脱节^[4]。建立试验平台

测试技术与模式匹配度，收集不同场景下的应用反馈，推动跨领域融合开发一体化解决方案。人员培训兼顾模式理解与技术应用，设计分层计划，基础层侧重传统模式与技术结合应用，进阶层强化新型模式与智能技术协同操作。通过模拟实训提升人员适应能力，模拟不同模式转换时的技术调整过程，将协同应用能力纳入考核指标。管理机制为协同提供保障，制定技术应用与模式调整的联动流程，明确当一方发生变化时另一方的响应方式和时限，确保协同动作有序推进。建立绩效评估体系，从检修效率、成本控制、安全水平等多维度衡量效果，简化审批通道加快体系落地。跨部门合作是协同发展的支撑，建立运营、维修、技术研发部门的定期沟通会议，共享需求信息和技术进展，识别潜在的协同优化点。设立跨部门项目组打破壁垒，针对协同中的难点问题联合攻关，比如解决不同部门数据标准不统一的问题，还可建立轮岗机制促进部门间理解。构建信息共享平台实现数据互通，通过多维度协作形成模式与技术相互促进的良性循环。

结束语

地铁车辆检修模式与技术的协同发展，是应对高密度运营、全生命周期管理挑战的必然选择。通过模式创新与智能技术深度融合，可实现从“被动维修”到“主动预防”的跨越。未来需持续突破技术瓶颈、优化资源配置、完善标准体系，推动检修体系向智能化、绿色化方向演进，为城市轨道交通高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 闫海通.地铁车辆检修模式及检修技术研究[J].车时代,2023(12):10-12.
- [2] 汪兴隆.安全检修系统在地铁车辆检修中的应用实践研究[J].模具制造,2025,25(2):271-273.
- [3] 张恕震,江美霞,李德林.城市轨道交通车辆检修模式及建议[J].工程与建设,2023,37(1):40-42,63.
- [4] 戴杰.地铁运营车辆检修管理模式研究[J].现代城市轨道交通,2024(3):82-89.