

信息化系统在城市轨道交通工程全寿命周期管理中的应用

茆杰

南京地铁建设有限责任公司，江苏南京

DOI:10.62836/gse.v3i2.1288

摘要：城市轨道交通工程的全寿命周期覆盖设计、制造、运营维护直至退役报废的完整阶段，传统分段式管理模式存在信息断裂、协同效率低、故障响应滞后等痛点，难以适配城市轨道交通网络化运营的发展需求。本文围绕信息化系统在城市轨道交通工程全寿命周期管理中的应用展开研究，梳理了全寿命周期各阶段的信息化应用框架，分析了信息化系统通过数据集成共享、智能化故障诊断提升管理效能的具体路径，并针对数据安全、技术迭代等现存挑战提出对应应对策略，最后对其未来发展方向进行展望，为城市轨道交通车辆全寿命周期信息化管理提供参考。

关键词：信息化系统；城市轨道交通工程；全寿命周期管理；应用

The Application of Information Systems in the Full Life Cycle Management of Urban Rail Vehicles

Jie Mao

Nanjing Metro Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu

Abstract: The entire lifecycle of urban rail vehicle engineering encompasses all stages from design and manufacturing to operation, maintenance, and eventual retirement. The traditional segmented management approach suffers from issues such as information fragmentation, low collaboration efficiency, and delayed fault response, making it inadequate for meeting the demands of networked urban rail transit operations. This paper investigates the application of information systems in lifecycle management of urban rail vehicles, outlines an information application framework across each lifecycle phase, analyzes specific pathways through which information systems enhance management effectiveness via data integration, sharing, and intelligent fault diagnosis, proposes corresponding strategies addressing existing challenges like data security and technological iteration, and finally outlines future development directions, providing insights for informatized lifecycle management of urban rail vehicles.

Keywords: information system; urban rail vehicle engineering; full life cycle management; application

1 信息化系统在全生命周期管理中的应用框架

1.1 设计阶段的信息化支持

在城市轨道车辆工程全生命周期管理中，设计是决定整体项目可行性、安全性与全周期成本的核心起始环节，信息化系统为设计环节提供了全流程的技术支撑。依托BIM技术，设计团队可以构建车辆系统与线路适配的三维可视化模型，直观呈现车辆各部件的空间布局、接口参数，精准排查车辆与轨道、供电系统的设计冲突，避免后续施工与运营阶段出现设计变更问题。同时，借助各类模拟仿真工具，设计人员可针对车辆的运行工况、力学性能、能耗水平进行多场景模拟计算，快速对比不同设计方案的性能差异与全生命周期成本，帮助设计团队在方案选型阶段做出更科学的决策，也能为后续制造、运营阶段的信息对接预留统一的数据接口，实现设计数据向全周期各阶段的顺畅传递。

1.2 制造阶段的信息化监控

依托设计阶段输出的标准化统一数据，制造环节可直接打通设计与生产间的数据链路，实现生产全过程的数字化管控。通过物联网感知设备，能够对每一个车辆零部件的加工精度、生产流程进行实时数据采集，同步监控生产进度与产品质量，及时发现加工过程中的偏差并进行调整，避免不合格部件流入下一道工序。同时，信息化系统可对整车装配过程进行动态指引，对照设计模型核对各部件的装配顺序与安装参数，保障装配精度符合设计要求，还能将每一部件的制造信息、装配信息关联录入车辆全生命周期档案，为后续运营维护阶段的部件溯源、故障检修提供完整的基础数据支撑。

1.3 运营维护阶段的信息化管理

依托制造阶段完成信息关联的车辆全生命周期档案，结合车载传感设备与地面监控系统，可实现车辆运行状态的实时在线监测，持续采集列车走行部、制动系统、牵引系统等核心部件的温度、振动、应力等运行数据，动态掌握车辆的健康状态。

当数据出现异常波动时，系统可自动触发告警，并快速定位异常部件的位置与信息，结合历史档案信息辅助检修人员制定排查方案，缩短故障处置时间。针对计划性维护，信息化系统可根据车辆实际运行里程、运行时长和部件损耗数据，自动生成个性化的维护计划，避免过度维护造成的资源浪费，或是维护不及时引发的安全隐患，同时还能对备品备件的库存进行动态管理，根据维护需求自动调度配件，在保障维护需求的同时降低库存成本。此外，系统可持续积累运营维护阶段的各类数据，反馈至设计与制造环节，为后续车型的优化设计、生产质量提升提供数据支撑[1]。

2 信息化系统提升管理效率的具体分析

2.1 数据集成与共享平台建设

2.1.1 数据标准化与集成技术

由于城市轨道交通车辆的全生命周期覆盖设计、制造、运营、维护多个环节，不同阶段、不同业务系统往往由不同厂商搭建，数据格式、编码规则、存储标准不统一，形成了大量信息孤岛，导致跨环节数据无法顺畅流转调用，直接影响全生命周期管理的效率。

数据标准化工作首先需要统一全流程的数据规范，针对车辆零部件信息、设计参数、制造检测记录、运行监测数据、维护检修记录等不同类型数据，制定统一的编码规则、分类标准和格式要求，明确不同阶段数据的交互接口规范，让原本分散在各系统的异构数据能够实现互通识别。在此基础上，通过数据抽取、转换、加载等集成技术，将设计阶段的CAD模型数据、制造阶段的生产检测数据、运营阶段的实时采集数据、维护阶段的检修记录等多源数据整合到统一数据平台，打通各环节的数据壁垒。

依托标准化集成后的数据，管理人员可以一键调取任意车辆从设计到报废的全链条信息，无需在多个系统间来回切换、手动核对整理，既减少了数据对接的误差，也为后续的信息共享、智能分析提供了高质量的数据基础，保障全生命周期管理各项功能的稳定运行。

2.1.2 信息共享机制构建

完成数据标准化与整合后，需要搭建适配城市轨道交通车辆全寿命周期管理的信息共享机制，打破不同主体、不同阶段之间的信息壁垒。地铁运营方、车辆制造企业、零部件供应商、设计单位等多方主体，依托统一数据平台设置分级授权的访问权限，不同责任主体可根据管理需求调取对应权限内的数据：设计单位可获取运营阶段车辆部件的实际损耗数据，优化后续车型的设计方案；制造企业可跟踪批量车辆的质量表现，针对性调整生产工艺；维护团队可直接获取车辆原始设计参数与制造检测记录，快速定位故障问题。这种跨主体、跨阶段的信息共享，改变了以往各环节数据单向传递、信息断层的问题，减少了信息沟通成本，避免了重复录入数据造成的资源浪费。同时，机制明确了数据更新与维护的责任主体，要求各环节在产生新数据后及时完成平台上传更新，保障平台内全寿命周期数据的实时性与完整性，为后续全链条的数据分析、管理决策提供持续可靠的支撑[2]。

2.2 智能化故障诊断与维护预测

2.2.1 故障诊断算法应用

依托集成的全寿命周期数据，智能化故障诊断算法可对城市轨道交通车辆运行状态进行实时监测与精准研判，解决传统人工巡检易漏检、诊断滞后的问题。目前常用的算法包括数据驱动类算法与深度学习类算法，其中基于振动信号分析的故障诊断算法，可通过采集轴箱、电机等关键转动部件的运行振动数据，与正常状态下的信号特征做比对，快速识别部件的早期异常磨损；基于深度学习的卷积神经网络算法，则可自动提取车辆电气系统、制动系统等多源运行数据中的故障特征，无需人工梳理故障规则，对多类型耦合故障也能实现精准区分。在实际应用中，算法可对接车辆已部署的车载传感器网络，直接读取实时采集的运行数据，完成在线诊断，一旦识别到异常特征，立即向地面运维控制平台推送预警信息与故障位置、初步成因，帮助运维人员快速响应处置。这种算法驱动的诊断模式，既

提升了故障识别的准确性，也将传统故障诊断从“事后抢修”转向“事前预警”，大幅缩短了故障排查与处置的时长，降低故障对线路运营的影响。同时，诊断结果还可同步存入全寿命周期数据平台，不断丰富故障特征样本库，反向优化算法的识别精度，形成数据与算法相互促进的正向循环。

2.2.2 维护预测模型开发

可依托故障诊断积累的历史异常数据、实时运行数据以及部件全寿命周期损耗规律，结合车辆部件的设计寿命、运行载荷、运维记录等多维度信息，构建基于概率统计或机器学习的剩余使用寿命预测模型。该模型可以根据部件当前的健康状态，精准计算部件剩余可用时长，提前预判故障发生的时间窗口，辅助运维团队合理编排检修计划，在保障运营安全的前提下，避免过度检修造成的资源浪费，也能规避突发故障导致的运营中断，实现基于状态的预防性维护，进一步提升城轨车辆运维的精细化水平，降低整体运维成本[3]。

3 信息化系统带来的挑战与应对策略

3.1 数据安全与隐私保护

城轨车辆全寿命周期信息化系统存储了大量运营数据、线路信息乃至乘客相关关联数据，这些数据不仅关乎城市轨道交通的运营安全，还涉及公共服务领域的信息隐私，一旦发生数据泄露、篡改或丢失，不仅会干扰正常运营秩序，还可能引发严重的安全风险与隐私纠纷。一方面，系统接入的多源数据来自设计、制造、运维等多个环节，物联网设备的广泛部署也扩大了数据接入的攻击面，外部网络攻击、内部违规操作都可能成为数据安全的隐患；另一方面，当前部分城轨运维数据的权限管控机制仍不够完善，不同层级运维主体的数据访问边界不够清晰，增加了数据违规流转的风险。针对这些问题，首先需要建立全链路的数据安全防护体系，对存储数据进行分级分类管理，通过端到端加密技术保障数据传输与存储安全，同时搭建入侵检测与应急响应机制，在发生异常访问时及时启动处置流程。其次要完善数据访问权限管控，落实最小

权限访问原则,根据不同岗位配置差异化的数据访问权限,留存全流程操作日志方便溯源审计。此外还需建立常态化的数据安全核查机制,定期排查系统安全漏洞,不断迭代防护策略,平衡数据开放利用与安全防护的关系[4]。

3.2 技术更新与人员培训

随着物联网、人工智能等技术的快速迭代,城轨全寿命周期管理领域的信息化系统也需要持续更新升级,才能适配不断变化的管理需求。一方面,新型感知设备、数据处理技术不断涌现,如果系统不能及时完成技术迭代,就会逐渐跟不上城轨车辆运营维护、设计制造阶段的管理要求,甚至会出现系统兼容性不足、功能滞后等问题,影响整体管理效率;另一方面,现有运维、管理团队的技术能力,也需要跟随系统升级同步更新,不少一线城轨运维人员对新型信息化工具的操作能力不足,对智能化功能的应用逻辑理解不到位,无法充分发挥信息化系统的效能。针对这一挑战,首先需要建立信息化系统的动态迭代机制,结合城轨运营管理的实际需求,定期更新系统功能、引入适配的新技术,同时对接入的各类软硬件设备进行兼容性升级,保障系统整体的运行稳定性。其次要搭建分层分级的人员培训体系,针对管理、运维、技术等不同岗位的需求,设置差异化的培训内容,对一线运维人员重点开展信息化系统操作实操训练,对技术人员侧重开展新技术应用、系统维护能力培训,同时建立常态化的考核机制,确保培训内容落地,帮助全团队快速适配更新后的信息化系统,充分释放信息化管理的效能[5]。

4 未来展望与发展趋势

4.1 信息化系统与物联网、大数据的深度融合

未来城市轨道交通工程全寿命周期管理中,各类传感器、定位标签等物联网设备将进一步覆盖车辆从设计、制造到运营报废的全流程各个环节,实现车辆状态、环境数据、运维操作等多类信息的实时全面采集,打破以往不同阶段的数据采集盲区,解决不同系统间的数据孤岛问题。在此基础上,大

数据技术将对全量多源数据进行深度清洗、整合与挖掘,打通设计阶段的参数数据、制造阶段的生产检测数据、运维阶段的状态故障数据之间的关联,让信息化系统能够从全寿命周期视角为城轨车辆管理提供更精准的决策支撑,进一步提升管理效率与车辆运行可靠性。

4.2 人工智能在信息化系统中的更广泛应用

随着人工智能技术的不断迭代,其在城轨车辆全寿命周期信息化管理中的应用边界将持续拓展。依托海量全寿命周期数据的训练,人工智能模型可实现更高精度的故障自动识别与智能诊断,替代人工完成大部分常规运维分析工作,大幅压缩故障响应与处置时长;同时,生成式人工智能还可辅助设计人员快速完成车辆设计方案的参数优化、性能模拟,依据过往运营故障数据迭代优化设计细节,从源头提升车辆设计的可靠性与运维便利性。人工智能还将推动信息化系统从“数据记录、辅助分析”向“主动决策、自动执行”升级,进一步释放管理效能,降低人工成本。

4.3 绿色、可持续的信息化管理系统发展

随着双碳目标的提出与城轨行业绿色转型需求的升级,信息化管理也将向绿色低碳方向持续升级。依托全寿命周期数据的整合分析,信息化系统可实现对车辆全寿命周期碳排放的精准核算与动态追踪,辅助管理者优化车辆运维方案、延长车辆服役寿命,科学规划车辆报废与回收流程,提升老旧零部件的回收利用率,从全链条降低城轨车辆的环境影响。同时信息化系统本身也会通过算力优化、资源动态调度等方式降低系统运行的能源消耗,推动管理模式与技术应用的双向绿色化,助力城轨行业的可持续发展。

5 结语

综上,信息化系统贯穿城轨车辆工程设计、制造、运维直至报废回收的全寿命周期,通过搭建数据共享平台、引入智能化诊断技术,打通了各阶段的信息壁垒,有效提升了城轨车辆全寿命周期的管

理效率，助力城轨运营降本增效。同时，信息化管理也面临数据安全、技术适配等挑战，需要行业通过完善防护体系、加强人才建设逐步应对。未来，伴随着大数据、人工智能技术的渗透以及绿色发展理念的深化，信息化系统将持续迭代升级，为城轨行业高质量发展提供坚实的管理支撑。

参考文献

[1] 沈华,王巍.基于新时代下城市轨道交通信息系统建设初

探[J].长江信息通信,2022(12).

[2] 沈峰.智慧城市轨道交通运营管理信息化建设研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(08):220-222.

[3] 张兰玲,柯柏峰,李春芳,等.基于信息化技术的城市轨道交通双重预防机制建设[J].综合运输,2022(02).

[4] 陈乃海,韩佳栋,曹双胜,等.城市轨道交通智能运维生产组织优化研究[J].现代城市轨道交通,2025(01):14-19.

[5] 何鹏飞.轨道交通智能运维建设研究[J].城市轨道交通,2022(05):32-34.

