

城市轨道交通车辆运行故障智能诊断系统的构建与应用

任 斌 党永伟

济南轨道交通集团有限公司 山东 济南 250014

【摘 要】：城市轨道交通车辆运行过程中，复杂的系统结构和多样化的运行环境使得故障发生具有隐蔽性与突发性，给安全运营和维护管理带来严峻挑战。构建智能诊断系统能够实现运行数据的实时采集、特征提取与模式识别，进而快速定位故障类型与位置，有效提升诊断准确率和效率。通过引入人工智能与大数据分析技术，该系统不仅可在早期发现潜在风险，还能为维修策略提供科学依据，从而降低故障率与维护成本。智能诊断系统在轨道交通运营中具有广阔应用前景，可为城市轨道交通的安全、高效运行提供重要技术支撑。

【关键词】：城市轨道交通；故障诊断；智能系统；大数据；人工智能

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.013

引言

城市轨道交通作为缓解大城市交通压力的重要方式，其运行安全和可靠性始终受到高度关注。运行过程中，车辆的机械、电气和控制系统相互作用复杂，传统的人工检测与定期维护方法往往存在滞后性和局限性，难以满足现代化运营的需求。近年来，人工智能、物联网与大数据等新兴技术的发展为轨道交通车辆故障诊断提供了新的思路与工具。通过建立智能诊断系统，可以实现数据的实时监测与动态分析，帮助管理者及时发现潜在问题并制定精准维护措施。这不仅提升了运营的安全性及效率，也推动了轨道交通领域的智能化发展。本文将围绕系统构建与应用展开探讨，力求为相关研究与实践提供参考。

1 城市轨道交通车辆运行故障的特点与诊断需求

城市轨道交通车辆属于复杂的机电系统，其运行状态受车体结构、牵引供电、制动装置与信号控制等多重因素影响。复杂环境和频繁负荷波动使故障模式呈现多样化特征，其中一些具有隐蔽性和渐进性，如制动片磨损、轴承裂纹及控制单元干扰等，早期难以发现，却会逐步威胁运行安全。传统依赖人工巡检和定期维护的方法存在明显局限，难以适应高密度线路实时安全需求。建立高效诊断机制已成为保障运营稳定与提升全寿命管理的重要基础。

在车辆运行故障的表现形式中，机械性故障、电气性故障与软件逻辑故障交织共存。机械性故障常见于轮对磨损、转向架裂纹、空气弹簧泄漏等方面，这类问题一旦积累过度可能引发车体晃动甚至脱轨风险。电气性故障则主要涉及牵引系统过热、信号传输中断、电源短路等问题，这些情况往往会造成车辆失去动力或失效停车。软件逻辑故障主要出现在自动控制系统中，如列车运行控制系统信号延迟或算法误判，导致车辆不能按照预定曲线运行。这些不同性质的故障都对诊断技术提出更高要求，要求能够跨学科融合机械工程、电气工程、计算机

科学等领域的知识进行综合分析。

面对复杂的运行环境与多源故障模式，城市轨道交通对智能化故障诊断系统的需求愈加迫切。运营企业希望通过引入人工智能、大数据和物联网等先进技术，实现对车辆运行参数的实时采集与动态监控。基于这些数据进行深度学习建模与模式识别，可以在故障尚未显现严重后果前及时给出预警，从而缩短故障响应时间，降低系统停运风险。智能诊断系统还能为维护计划提供科学决策依据，推动由“事后维修”向“预测性维护”转变，提高资源利用率并降低全生命周期成本。由此可见，建立完善的故障诊断体系已成为城市轨道交通安全与高效运营的重要保障。

2 智能诊断系统的构建方法与关键技术应用

构建高效的智能诊断系统，需要从数据采集层、分析处理层以及决策反馈层三个方面进行整体设计。在数据采集环节，传感器技术和车载监测设备起着至关重要的作用。车辆在运行过程中产生的速度、加速度、振动、电流、电压、温度等多维度参数需要通过高灵敏度传感器实时采集，并通过车载网络传输至中央控制平台。为保证数据的完整性与准确性，系统通常需要采用冗余布置与多通道校验机制，以避免因单一传感器故障而造成误判。车地无线通信系统必须具备高带宽与低延迟特性，以满足海量数据的快速传输需求，为后续的数据处理奠定基础。

在数据分析与处理环节，人工智能与大数据分析技术的引入显著提升了故障识别的准确率与实时性。通过对历史故障案例与运行数据的深度学习训练，模型能够识别出不同故障的特征模式，并与实时采集到的数据进行比对，从而实现快速诊断。基于卷积神经网络的振动信号分析能够检测出转向架裂纹的早期征兆，基于循环神经网络的时序建模能够捕捉牵引系统电流波动的异常趋势。数据挖掘与聚类算法能够对异常数据进行

分类,识别出潜在的复杂故障耦合关系。

在决策反馈环节,智能诊断系统不仅需要给出故障识别结果,还需生成对应的处理建议。系统通过与车辆维护数据库和维修经验库的结合,能够为不同类型的故障提供个性化的维修方案,辅助运维人员快速制定决策。部分先进系统还实现了与自动控制平台的联动,当检测到严重故障时,可以直接触发紧急制动或限速运行指令,以保障乘客安全。系统还能够生成可视化报表与运行健康指数,为长期的资产管理和风险评估提供数据支持。通过构建这一完整的技术链条,智能诊断系统逐渐成为城市轨道交通运营的重要保障手段。

3 智能诊断系统在城市轨道交通中的应用成效与发展方向

在实际应用中,智能诊断系统已经在多个城市的轨道交通线路中得到验证,其成效表现在运行安全性、运维效率和经济效益等多个方面。通过对车辆关键部件的实时监测与智能分析,系统能够显著降低突发故障发生率。在某些城市轨道交通线路中,应用智能诊断平台后,车辆的非计划停运率下降了近三分之一,事故风险得到有效控制。这不仅提高了乘客出行的安全性与舒适性,也增强了公众对轨道交通系统的信任度。对于运营企业而言,这类系统减少了因故障引发的运营中断,确保了高峰期列车的准点率,为城市交通提供了坚实保障。

在运维效率方面,智能诊断系统推动了维护模式的革新。传统定期检修往往存在资源利用不合理的问题,部分设备在仍可正常运行的情况下被提前拆卸和更换,不仅增加了工作量,也造成了材料浪费。智能诊断系统通过对车辆运行状态的实时

监测与分析,实现了由经验性检修向状态导向检修的转变。依据实际运行参数制定检修计划,可以延长部件的使用寿命,避免不必要的维护操作,使维修工作更加有针对性和科学性。通过形成闭环的运维管理机制,车辆管理逐渐实现精细化与高效化目标。

展望未来,智能诊断系统的发展方向主要集中在多源信息融合、边缘计算应用以及智能决策优化等方面。多源信息融合将使系统不仅依赖车辆自身的数据,还能结合轨道、环境和乘客行为数据,构建更加全面的运行健康模型。边缘计算的应用将使得部分诊断任务可以在车载终端实时完成,减少对中心平台的依赖,提高系统的响应速度。智能决策优化则意味着系统不仅能够给出故障诊断结果,还能在综合考虑运行状态、维修资源与经济成本的前提下,自动生成最优维护方案。这些发展趋势表明,城市轨道交通车辆运行故障智能诊断系统将在未来继续深化应用,为轨道交通行业的安全与高效运营提供更为坚实的技术支撑。

4 结语

本文围绕城市轨道交通车辆运行故障的特点、智能诊断系统的构建方法及应用成效进行了深入探讨。复杂多变的运行环境和多样化的故障模式,使得传统检修方式难以满足现代化运营需求,而智能诊断系统通过多源数据采集、人工智能算法和决策支持机制,为运行安全和维护效率提供了有力保障。随着技术的持续发展,该系统将在轨道交通的预测性维护、智能决策以及全寿命周期管理中发挥更加重要的作用,对推动行业的安全性和智能化水平具有现实意义。

参考文献:

- [1] 刘志远,陈晓东.城市轨道交通车辆智能故障诊断方法研究[J].铁道科学与工程学报,2023,20(5):112-120.
- [2] 周凯,孙宇航.基于大数据的轨道交通车辆运行状态监测与诊断系统[J].中国安全科学学报,2022,32(9):145-153.
- [3] 何建华,郑晓峰.人工智能在城市轨道交通设备故障预测中的应用[J].交通运输工程学报,2021,21(4):88-96.