

地铁车辆智能运维技术发展及建设路径研究

何兴家 黄巍楠 姚 远

杭州地铁运营有限公司 浙江 杭州 310020

摘 要：地铁车辆智能运维技术发展及建设路径研究，旨在探索利用先进技术和数据分析方法，提升地铁车辆运维效率和可靠性。研究聚焦平台搭建、技术接入、生产应用及数据积累与智能应用等关键环节，通过集成物联网、大数据、人工智能等技术，实现对地铁车辆状态的实时监测、故障预警和智能调度。本研究不仅为地铁运营管理者提供新的思路和解决方案，还促进地铁运营的可持续发展，为城市交通发展做出贡献。

关键词：地铁车辆；智能运维技术；发展历程；建设路径

1 地铁车辆智能运维技术概述

1.1 智能运维技术的定义

智能运维技术是基于物联网、云平台、图像识别、智能传感等技术，实现对地铁车辆设施设备运行状态全面感知的一种新型运维模式。该技术通过大数据、机器学习、人工智能等新技术对数据进行融合及深度分析，实现在线故障预警、诊断及劣化趋势分析，并形成运维方案建议。智能运维技术推动了地铁车辆维护业务从传统的计划修和故障修向状态修以及预测性维修的转变，旨在提升设备可靠性的同时降低成本。

1.2 智能运维技术的功能

智能运维技术具备以下关键功能：（1）设施设备在线监测。对地铁车辆的设施设备状态进行全面感知，利用传感器和图像识别技术实时采集数据，并进行深度融合和智能分析，如同“电子哨兵”时刻紧盯设备的运行状态；（2）智能诊断分析。通过大数据分析和机器学习算法，对采集到的数据进行分析和诊断，能够迅速准确地找出设备的“病症”所在，类似于“智慧医生”的角色；（3）隐患预警与健康度评价。智能运维技术能够提前发现潜在问题，并在问题萌芽阶段发出预警，使工作人员能够提前采取措施，防患于未然。同时对设备的健康度进行评价，为设备维护提供科学依据^[1]；（4）远程日志下载与智能统计。通过远程技术，工作人员可以随时随地获取设备的运行数据，大大提高工作效率。智能统计功能可以对设备故障进行分类管理与智能统计，为运维决策提供支持；（5）优化运维方案。智能运维技术能够基于历史数据和实时数据，制定更加合理的维护方案，减少维修时间和次数，降低运营成本。

2 地铁车辆智能运维技术的关键技术

2.1 物联网技术

物联网技术是地铁车辆智能运维系统的基石。它通

过在地铁车辆上安装各类传感器、RFID标签、摄像头等物联网设备，实时采集车辆运行过程中的各种数据，如振动、温度、压力、图像等。这些数据通过网络传输到中央控制室或云平台，实现了车辆状态的全面感知和实时监控。物联网技术的应用，使得地铁车辆运维人员能够远程获取车辆状态信息，及时发现并解决潜在问题，从而提高了运维效率和安全性。

2.2 大数据分析

大数据分析是地铁车辆智能运维技术的核心之一。通过收集到的海量数据，利用大数据技术进行深度挖掘和分析，可以揭示车辆运行过程中的潜在规律和趋势。大数据分析可以帮助运维人员识别车辆故障的早期征兆，预测故障发生的时间和位置，为预防性维护提供科学依据。通过对历史数据的分析，还可以优化运维策略，提高运维效率，降低运维成本。

2.3 人工智能技术

人工智能技术在地铁车辆智能运维中发挥着至关重要的作用。通过机器学习、深度学习等算法，人工智能可以对车辆运行数据进行智能分析和诊断，准确识别车辆故障类型和原因。人工智能技术还可以实现智能预警和预测，根据车辆状态数据预测未来可能出现的故障，并提前制定应对措施。人工智能技术的应用，不仅提高地铁车辆运维的智能化水平，还大大提升运维的准确性和效率。

3 地铁车辆智能运维系统的建设

3.1 系统架构设计

地铁车辆智能运维系统的建设，首先需从系统架构设计入手，构建一个高效、稳定且易于扩展的平台。在架构设计中，通常采用分层架构模型，将系统划分为多个逻辑层次，包括数据采集层、数据处理层、数据分析层、业务应用层以及用户交互层。数据采集层负责从地

铁车辆上安装的各类传感器、RFID标签、摄像头等物联网设备中收集数据；数据处理层则对采集到的原始数据进行清洗、转换和存储，为后续分析提供可靠的数据基础；数据分析层利用大数据和人工智能技术，对处理后的数据进行深度挖掘和分析，实现故障预测、状态监测等功能；业务应用层则根据分析结果，触发相应的运维业务流程，如维修任务派发、备件管理等；用户交互层则提供友好的界面，方便运维人员实时监控车辆状态、查看分析报告和下达运维指令^[2]。系统架构设计还需考虑系统的可扩展性和兼容性。随着地铁车辆技术的不断发展和运维需求的不断变化，系统应具备灵活扩展的能力，以适应新的传感器、算法和业务流程，系统应支持多种通信协议和数据格式，确保与不同厂家、不同类型的地铁车辆设备的兼容。

3.2 数据采集与分析

数据采集与分析是地铁车辆智能运维系统的核心功能之一。数据采集层通过物联网技术，实时采集地铁车辆在运行过程中的各类数据，包括振动、温度、压力、图像等。在数据分析阶段，采用大数据技术和人工智能技术，对采集到的数据进行深度挖掘和分析。首先，利用大数据技术，对海量数据进行预处理，去除噪声、填补缺失值等，以提高后续分析的准确性。利用机器学习算法，对数据进行分类、聚类、关联分析等操作，揭示车辆运行过程中的潜在规律和趋势。通过构建故障预测模型，对车辆状态数据进行实时分析，预测未来可能出现的故障类型和程度。另外还利用图像识别技术，对车辆图像数据进行处理和分析，实现车辆外观损伤、部件缺失等问题的自动识别。这大大提高运维人员的工作效率，减少人为判断的主观性和不确定性。

3.3 故障预测与诊断

故障预测与诊断是地铁车辆智能运维系统的重要应用之一。通过大数据分析和人工智能技术，可以对车辆状态数据进行实时分析，预测未来可能出现的故障类型和程度。在故障预测方面，构建了基于时间序列分析和机器学习算法的预测模型。这些模型可以根据车辆历史数据和实时监测数据，预测未来一段时间内车辆各部件的故障概率和故障程度。运维人员可以根据预测结果，提前制定维修计划，避免故障发生或减轻故障对地铁运营的影响。在故障诊断方面，利用深度学习算法和专家系统，对车辆故障数据进行智能分析和诊断。通过训练深度学习模型，使其能够自动识别故障特征和故障类型。结合专家系统的知识库和推理机制，为运维人员提供准确的故障诊断结果和维修建议。

3.4 维修调度与管理

维修调度与管理是地铁车辆智能运维系统的关键环节之一。通过智能运维系统，可以实现维修任务的自动派发、维修进度的实时监控和维修质量的评估。在维修任务派发方面，系统根据故障预测和诊断结果，自动生成维修任务，并自动派发给相应的维修团队。维修团队可以根据任务信息，提前准备维修工具和备件，确保维修工作的顺利进行。在维修进度监控方面，系统通过实时采集维修现场的数据，如维修时间、维修步骤、维修结果等，对维修进度进行实时监控和反馈。运维人员可以通过系统界面，实时查看维修进度，了解维修工作的进展情况。在维修质量评估方面，系统通过收集维修后的车辆状态数据，对维修质量进行评估。如果维修质量不达标，系统将自动触发重新维修的流程，确保车辆的安全和稳定运行。智能运维系统还可以实现备件管理的智能化，通过实时监测备件库存和消耗情况，系统可以自动预测备件需求，并提前进行采购和储备。这大大降低了备件短缺的风险，提高备件的使用效率。

4 地铁车辆智能运维技术的建设路径

4.1 平台搭建

地铁车辆智能运维技术的建设，首先需从平台搭建开始，这是整个智能运维体系的地基。平台搭建主要包括硬件基础设施建设和软件平台构建两部分。硬件基础设施建设方面，需考虑数据中心的建设，包括高性能服务器、大容量存储设备以及网络安全设备的部署，以确保数据的存储、处理和传输的安全与高效。同时还需在地铁车辆上安装各类传感器、RFID标签、摄像头等物联网设备，这些设备将作为数据采集的源头，实时收集车辆运行过程中的各类数据^[3]。软件平台构建方面，需开发一套集数据采集、处理、分析、应用于一体的智能运维管理系统。该系统应具备高度的可扩展性和兼容性，能够支持多种通信协议和数据格式，确保与不同厂家、不同类型的地铁车辆设备的无缝对接。软件平台还应提供友好的用户界面，方便运维人员实时监控车辆状态、查看分析报告和下达运维指令。在平台搭建过程中，还需注重标准化和规范化工作，制定统一的数据采集、处理和分析标准，以确保数据的准确性和一致性，还需建立完善的系统运维和安全管理体系统，确保平台的稳定运行和数据的安全。

4.2 技术接入

技术接入是地铁车辆智能运维技术建设的关键环节。在这一阶段，需要将各类物联网设备、大数据分析平台、人工智能技术等接入到智能运维管理系统中，实

现数据的互联互通。物联网设备的接入,主要通过无线网络或有线网络将传感器、RFID标签、摄像头等设备采集到的数据实时传输到智能运维管理系统。这些数据包括车辆的振动、温度、压力、图像等实时状态信息,是后续分析和诊断的基础。大数据分析平台的接入,主要利用大数据技术,对采集到的海量数据进行清洗、转换、存储和分析。通过构建数据仓库和数据挖掘模型,实现数据的深度挖掘和价值发现。大数据分析平台能够提供车辆状态监测、故障预警、趋势预测等功能,为运维决策提供科学依据。人工智能技术的接入,主要通过机器学习、深度学习等算法,对车辆状态数据进行智能分析和诊断。通过训练模型,使其能够自动识别故障特征和故障类型,为运维人员提供准确的故障诊断结果和维修建议。人工智能技术还可以实现智能预警和预测,根据车辆状态数据预测未来可能出现的故障,并提前制定应对措施。在技术接入过程中,注重技术的集成和融合,确保各技术模块之间的无缝连接和协同工作。还需建立完善的接入标准和规范,以确保数据的一致性和准确性。

4.3 生产应用

生产应用是地铁车辆智能运维技术建设的实践环节。在这一阶段,需要将智能运维管理系统应用于地铁车辆的实际运维过程中,验证技术的可行性和效果。在生产应用过程中,需对智能运维管理系统进行功能测试和性能测试,确保其满足实际运维需求。选择部分地铁车辆作为试点,将智能运维管理系统接入到这些车辆的运维流程中。通过实时监测车辆状态、预警潜在故障、提供维修建议等方式,验证智能运维管理系统在实际运维中的效果。建立反馈机制,收集运维人员的意见和建议,对智能运维管理系统进行持续优化和改进。通过不断的迭代和优化,使智能运维管理系统更加符合实际运维需求,提高运维效率和准确性。在生产应用过程中,还需注重安全管理和风险控制,制定完善的安全管理制度和操作规程,确保智能运维管理系统的安全稳定运行。

4.4 数据积累与智能应用

数据积累与智能应用是地铁车辆智能运维技术建设的深化环节。在这一阶段,需要不断积累车辆状态数据,并利用大数据和人工智能技术进行深入分析和挖掘,实现更加智能化的运维应用。数据积累方面,需建

立完善的数据存储和管理机制,确保车辆状态数据的完整性和准确性。同时对数据进行定期备份和恢复,以防止数据丢失或损坏^[4]。通过不断积累数据,为后续的智能应用提供丰富的数据源。智能应用方面,主要利用大数据和人工智能技术,对积累的车辆状态数据进行深度挖掘和分析。通过构建更加精细的预测模型和诊断模型,提高故障预测的准确性和故障诊断的精度。还可以利用人工智能技术实现智能调度和优化运维策略等功能,进一步提高运维效率和准确性。在智能应用过程中,还需注重技术的创新和突破,不断研究新的算法和模型,提高智能运维管理系统的智能化水平,还需加强与高校、科研机构等的合作与交流,引进先进的智能运维技术和理念,推动地铁车辆智能运维技术的不断发展和创新。建立完善的智能运维生态系统。通过整合各方资源和技术优势,形成协同创新的良好氛围。同时加强与地铁运营企业的合作与交流,推动智能运维技术在地铁行业的广泛应用和推广。这将为地铁车辆的安全、稳定和高效运营提供有力保障,推动地铁行业的持续健康发展。

结束语

综上所述,地铁车辆智能运维技术的发展及建设路径研究,对于提升地铁运营效率、确保运营安全具有重要意义。随着技术的不断进步和应用场景的拓展,智能运维系统将在地铁行业中发挥越来越重要的作用。未来,应继续深化技术研究,加强跨领域合作,推动智能运维技术的不断创新和应用,为城市交通的智能化发展贡献力量。

参考文献

- [1]李大勇,陈明可,栾林昊,邓举明.转向架在线监测与诊断系统在青岛地铁的应用[J].都市快轨交通,2021,34(03):34-39.
- [2]李聪聪,袁婉琳,雷彦怡,钟艾廷,梁炜诗.地铁车辆转向架智能运维技术发展趋势研究[J].科学技术创新,2021,9(02):141-142.
- [3]白丽,王石生,姚湘静,等.城市轨道交通综合智能运维平台研究与设计[J].铁路计算机应用,2020,(11):62-65.
- [4]王冰,李洋,王文斌,赵正阳.城市轨道交通智能运维技术发展及智能基础设施建设方法研究[J].现代城市轨道交通,2020,(08):75-82.