

城市轨道交通接触网智能运维模式探讨

毛一帆 唐丽华 徐杨文

宁波市轨道交通集团有限公司运营分公司 浙江 宁波 315000

摘要：本文探讨了智能运维模式的定义、核心技术、体系构成以及在城市轨道交通接触网中的具体应用，包括实时监测与预警、故障诊断与预测、维修决策与优化等方面。通过对智能运维模式的效益评估，进一步分析了其在安全、经济和社会效益方面的显著提升，并提出了持续优化智能运维模式的建议，包括技术创新与应用、数据安全与隐私保护、人员培训与能力建设以及制度建设与标准规范。

关键词：城市轨道交通；接触网；智能运维

引言：随着城市轨道交通的快速发展，接触网的运维管理成为确保列车安全、高效运行的关键环节。传统的运维模式存在监测不及时、故障诊断准确性低、维修成本高等问题。探索和应用智能运维模式，对于提高城市轨道交通接触网的运维管理水平具有重要意义。

1 城市轨道交通接触网智能运维模式概述

1.1 智能运维模式的定义

智能运维模式是基于现代信息技术，特别是物联网、大数据、人工智能等前沿科技，对城市轨道交通接触网进行实时监测、数据分析、故障诊断与预测、维修决策与优化的一种新型运维方式。该模式旨在通过智能化手段，实现对接触网设施设备的全生命周期管理，提高运维效率，降低运维成本，确保城市轨道交通系统的安全、可靠、高效运行。

1.2 智能运维模式的核心技术

（1）物联网技术：物联网技术通过各类传感器和通信设备，将接触网的运行状态数据实时采集并传输至数据中心。这些数据包括但不限于电流、电压、温度、振动等关键参数。物联网技术的应用，使得运维人员能够远程监控接触网的状态，及时发现并处理潜在故障。

（2）大数据与人工智能技术：大数据技术用于对海量数据进行存储、处理和分析。在智能运维模式中，大数据技术能够整合来自不同来源的数据，形成全面的运维数据库。人工智能技术则通过机器学习、深度学习等算法，对大数据进行深度挖掘和分析，实现故障预警、故障诊断与预测等功能。（3）图像识别与智能传感技术：图像识别技术通过摄像头等图像采集设备，对接触网的外观进行实时监测。结合智能传感技术，可以实现对接触网缺陷、异物等异常情况的自动识别和报警。

1.3 智能运维模式的体系构成

（1）设施设备在线监测：设施设备在线监测是智能

运维模式的基础。通过物联网技术和图像识别与智能传感技术，实现对接触网设施设备的实时监测和数据分析。这些监测数据不仅用于故障预警和故障诊断，还为后续的维修决策和优化提供了重要依据。（2）生产管理系统的整合与优化：生产管理系统的整合与优化是智能运维模式的核心^[1]。通过大数据与人工智能技术，对监测数据进行深度挖掘和分析，形成全面的运维管理数据库。结合生产管理系统，实现对运维资源的优化配置和运维流程的自动化管理。这不仅可以提高运维效率，还可以降低运维成本。（3）智能监检修设备：智能监检修设备是智能运维模式的重要组成部分。通过引入智能检测装备、智能维修工具等，实现对接触网设施设备的智能化检测和维修。这些设备不仅提高了检测和维修的准确性和效率，还降低了人工操作的难度和强度。

2 城市轨道交通接触网智能运维模式的具体应用

2.1 接触网状态实时监测与预警

2.1.1 实时监测数据的获取与处理

在城市轨道交通系统中，接触网作为电力传输的重要组成部分，其状态直接影响到列车的运行安全和效率。智能运维模式通过实时监测接触网的状态，为运维人员提供了及时、准确的数据支持。实时监测数据的获取与处理是这一模式的关键环节。实时监测数据的获取主要依赖于安装在接触网上的各类传感器。这些传感器包括电流传感器、电压传感器、温度传感器、振动传感器等，能够实时采集接触网在运行过程中的各种参数。电流和电压传感器用于监测接触网的电流和电压变化，以判断其是否处于正常工作状态；温度传感器则用于监测接触网的温度变化，以预防因过热而导致的故障；振动传感器则用于监测接触网的机械振动情况，以检测是否存在松动或损坏等问题。这些传感器采集到的数据需要经过处理才能被有效利用。数据处理过程包括数据清洗、数

据去噪、数据归一化等步骤。数据清洗旨在去除无效或错误的数据，确保数据的准确性；数据去噪则用于消除数据中的噪声和干扰，提高数据的可靠性；数据归一化则是将数据转换为统一的格式和单位，以便于后续的分析 and 比较。经过处理后的数据会被传输至数据中心进行存储和分析。数据中心采用先进的数据库技术和数据仓库技术，确保数据的完整性和安全性。数据中心还配备了强大的数据处理和分析工具，能够对实时监测数据进行深度挖掘和智能分析，为运维人员提供有价值的决策支持。

2.1.2 预警机制的建立与实施

基于实时监测数据的分析，智能运维模式建立了完善的预警机制。预警机制的核心在于设定合理的预警阈值和预警规则。预警阈值是根据接触网的正常运行参数和历史故障数据设定的，当实时监测数据超过预警阈值时，系统会触发预警。预警规则则是根据实时监测数据的变化趋势和异常特征设定的，当数据满足预警规则时，系统同样会触发预警。预警机制的实施包括预警信息的发送和预警响应的处理。当系统触发预警时，会自动向运维人员发送预警信息。预警信息可以通过多种方式发送，如短信、邮件、APP推送等，以确保运维人员能够及时收到预警信息。预警信息还会附带相关的数据和分析结果，以便运维人员快速了解故障情况，并采取相应的处理措施。运维人员在收到预警信息后，需要立即对预警进行响应。响应过程包括确认预警信息的真实性、分析故障原因、制定处理方案等步骤。运维人员可以根据预警信息的紧急程度和严重程度，采取相应的处理措施，如立即派遣维修人员前往现场处理、调整运行计划等。运维人员还需要将处理结果反馈给系统，以便系统对预警机制进行持续优化和改进。预警机制的建立与实施，不仅提高了运维人员对接触网状态的关注度，还及时发现并处理了潜在故障，避免了故障进一步扩大对列车运行安全的影响。

2.2 故障诊断与预测

2.2.1 故障诊断的准确性与高效性

智能运维模式利用大数据与人工智能技术，对实时监测数据进行深度挖掘和分析，实现了故障诊断的准确性和高效性。故障诊断过程包括故障特征的提取、故障类型的识别、故障位置的定位等步骤。故障特征的提取是故障诊断的基础。通过对实时监测数据的分析，系统可以提取出与故障相关的特征参数，如电流波动、温度变化、振动异常等。这些特征参数能够反映接触网在运行过程中的异常情况，为故障诊断提供有力的依据^[2]。

故障类型的识别是故障诊断的核心。系统利用机器学习算法，对提取出的特征参数进行训练和分类，以识别出不同类型的故障。例如，通过分析电流和电压的波动情况，可以判断接触网是否存在短路或断路故障；通过分析温度数据，可以预测接触网是否因过热而引发故障等。故障位置的定位则是故障诊断的延伸。系统利用图像识别技术和定位算法，对接触网的外观和内部结构进行实时监测和分析，以确定故障发生的具体位置。这不仅可以提高维修效率，还可以降低维修成本和安全风险。

2.2.2 故障预测的方法与效果

故障预测是智能运维模式的重要功能之一。通过对历史故障数据和实时监测数据的分析，系统可以识别出故障发生的规律和趋势，从而预测未来可能发生的故障类型和时间。故障预测的方法包括时间序列分析、机器学习算法等。时间序列分析是一种常用的故障预测方法，通过对历史故障数据进行时间序列分析，建立故障预测模型，以预测未来故障的发生情况。机器学习算法则通过对历史故障数据进行训练和学习，建立故障预测模型，并根据实时监测数据进行实时更新和优化。故障预测的效果主要体现在两个方面：一是可以提前发现潜在故障，避免故障进一步扩大对列车运行安全的影响；二是可以为维修决策提供依据，优化维修计划和资源配置方案。通过故障预测，运维人员可以提前采取措施对潜在故障进行预防和处理，从而确保城市轨道交通系统的安全运行。故障预测还可以为运维人员提供有价值的决策支持。通过分析故障预测结果和实时监测数据，运维人员可以更加科学、合理地制定维修计划和资源配置方案。例如，可以根据故障预测结果提前准备维修工具和备件；可以根据实时监测数据调整维修人员的配置和调度等。

2.3 维修决策与优化

2.3.1 维修计划的制定与执行

智能运维模式根据实时监测数据和故障诊断结果，为运维人员提供了科学、合理的维修计划。维修计划包括维修时间、维修地点、维修内容等要素。在制定维修计划时，系统会考虑多种因素，如故障类型、严重程度、紧急程度等。系统会根据这些因素自动生成维修任务清单和维修顺序表，以便运维人员按照计划有序地进行维修工作。系统还会根据实时监测数据和故障诊断结果对维修计划进行实时更新和优化，以确保维修计划的准确性和有效性。在执行维修计划时，系统会为运维人员提供实时的技术支持和监测服务。例如，可以通过远程监控和图像识别技术实时监测维修现场的情况；可以

通过大数据分析为运维人员提供维修建议和解决方案等。这些技术支持和监测服务可以大大提高维修效率和质量,降低维修成本和安全风险。

2.3.2 维修资源的优化配置

智能运维模式还可以根据实时监测数据和故障诊断结果,对维修资源进行优化配置。维修资源包括维修人员、维修工具、维修备件等。在优化配置维修资源时,系统会考虑多种因素,如维修任务的紧急程度、维修人员的技能水平、维修工具的使用情况等。系统会根据这些因素自动调度维修人员、分配维修工具和备件等资源,以确保维修工作的顺利进行。系统还会对维修资源的使用情况进行实时监测和分析。通过对历史维修数据的分析,系统可以识别出维修资源的浪费和短缺情况,并提出相应的优化建议。例如,可以优化维修人员的配置和调度方案;可以优化维修工具和备件的选择和使用方案等。这些优化建议可以帮助运维人员更加科学、合理地利用维修资源,提高维修效率和质量。

3 城市轨道交通接触网智能运维模式的效益评估与持续优化

3.1 效益评估

(1) 安全效益:智能运维模式通过实时监测、预警、故障诊断与预测,显著提升了城市轨道交通接触网的安全管理水平^[3]。能够及时发现并处理潜在故障,有效预防因接触网故障导致的列车停运、事故等安全风险,从而保障了乘客的生命财产安全,减少了因故障造成的经济损失和社会影响。(2) 经济效益:智能运维模式通过优化维修决策和资源配置,降低了运维成本。一方面,可以根据实时监测数据和故障诊断结果,制定科学、合理的维修计划,避免了不必要的维修和过度维修,节约了维修费用。另一方面,通过对维修资源的优化配置,提高了维修效率,减少了维修时间和人力成本。智能运维模式还能通过预测故障,提前准备维修工具和备件,降低了因故障导致的备件短缺和紧急采购成本。(3) 社会效益:智能运维模式的应用,提高了城市轨道交通系统的可靠性和运营效率,减少了因故障导致的列车延误和停运,提升了乘客的出行体验。也降低了运维人员的劳动强度和工作压力,提高了他们的工作效率和满意度。

3.2 持续优化

(1) 技术创新与应用:为了保持智能运维模式的先进性和有效性,需要不断进行技术创新和应用。一方面,要关注物联网、大数据、人工智能等前沿科技的发展动态,将其应用于智能运维模式中,提升系统的监测、分析、预警和诊断能力。另一方面,要针对城市轨道交通接触网的实际情况和需求,开发适合的智能运维系统和工具,提高系统的实用性和可靠性。(2) 数据安全与隐私保护:在智能运维模式中,大量实时监测数据和故障诊断结果需要在网络中进行传输和存储。必须重视数据安全与隐私保护问题。要采取加密、备份、权限控制等技术手段,确保数据的安全性和完整性。(3) 人员培训与能力建设:智能运维模式的应用需要具备一定的专业知识和技术能力。要加强运维人员的培训和能力建设,提高他们的专业素养和技术水平。要定期组织培训课程、技术交流和实操演练等活动,让运维人员熟悉和掌握智能运维系统的使用方法和操作流程。(4) 制度建设与标准规范:为了保障智能运维模式的顺利实施和有效运行,需要建立完善的制度和标准规范。要制定相关的管理制度、操作规范、应急预案等文件,明确运维人员的职责和权限,规范系统的使用和管理流程。

结束语:城市轨道交通接触网智能运维模式的应用,不仅提高了运维效率和质量,降低了运维成本,还显著提升了城市轨道交通系统的安全性和可靠性。随着技术的不断进步和城市轨道交通的持续发展,智能运维模式也需要不断优化和完善。未来,我们将继续关注前沿科技的发展动态,加强技术创新与应用,不断提升智能运维系统的监测、分析、预警和诊断能力,为城市轨道交通的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]谢鑫.城市轨道交通接触网防雷措施研究[J].机电信息.2024.(14):14-15.
- [2]施伟峰.城市轨道交通供电系统中刚性接触网常见故障与优化思考[J].城市建设理论研究(电子版).2023.(13):4-6.
- [3]邱赛.城市轨道交通供电系统接触网残压问题研究[J].工程技术发展.2022.3(4):16-18.