

市域郊铁路接触网故障检测与预警系统研究

吴 双¹ 刘彦明¹ 何瑞路²

1. 金华市轨道交通集团运营有限公司 浙江 金华 321015

2. 金华市轨道交通集团有限公司 浙江 金华 321015

摘要：市域郊铁路接触网故障检测与预警系统研究旨在提升铁路运营的安全性和效率。本研究通过集成先进的检测技术、智能算法和通信技术，构建了一套能够实时监测、精准预警接触网故障的智能化系统。该系统能够自动识别故障特征，快速响应并提供维修指导，有效降低故障对铁路运营的影响。本研究还探讨了系统的优化策略，包括算法改进、设备兼容性增强及维护成本降低，为市域郊铁路的可持续发展提供技术支持。

关键词：市域郊铁路；接触网；故障检测；预警系统

1 市域郊铁路接触网系统概述

市域郊铁路接触网系统是市域郊铁路电气化的关键组成部分，主要负责为电力机车提供稳定可靠的电力供应。接触网沿着铁路线路上空架设，由支柱、悬线和承力索等精密组件构成；接触轨由接触轨本体、接触轨支架、膨胀接头、中心锚节等关键部件构成，这些组件协同工作，确保电力平稳、安全、高效地传输给列车^[1]。当电力从变电站出发，经过接触网的巧妙布局，最终抵达列车的受电弓，列车便得以启动并运行。在市域郊铁路中，接触网系统的稳定性和可靠性至关重要。随着智能化技术的发展，市域郊铁路接触网系统的维护和管理正逐渐变得更加智能化和自动化。通过引入先进的智能化设备和系统，可以实时监测接触网的状态，并进行预测性维护，提高设备的可靠性和使用寿命，智能化技术还可以实现远程监控和故障诊断，减少维修时间和成本。

2 市域郊铁路接触网常见故障类型

2.1 机械故障

机械故障是市域郊铁路接触网系统中不容忽视的重要故障类型，其发生往往与接触网结构部件的物理状态密切相关。这些部件，接触网包括支柱、悬线、承力索等；接触轨主要体现在锚段环节，在长期承受自然环境侵蚀（如风雨、雷电、温度变化）、列车运行产生的振动与冲击以及人为因素（如施工不慎、恶意破坏）等多重作用下，容易出现各种形式的损伤和磨损^[2]。例如，支柱可能因长期暴露于户外环境，遭受风雨侵蚀和温度变化的影响，导致材料老化、强度下降，进而产生裂纹或倾斜，严重影响其支撑作用。悬线则可能因为张力设置不当、材料老化或环境因素（如紫外线照射、化学腐蚀）导致的脆化，而出现断裂或松弛现象，这不仅会影响接触网的稳定性，还可能对运行的列车构成安全隐患^[3]。承

力索作为支撑接触线的重要组件，其松动或断裂往往由外力作用（如鸟类筑巢、树木生长挤压、风力过大等）引起，一旦失效，将直接导致接触网局部或整体下垂，影响列车受电弓的正常取电。接触轨膨胀接头因施工未按参数设置或锚节设置不强等因素，导致膨胀接头卡死或拉脱等故障，严重影响列车集电靴取流运行等。

2.2 电气故障

电气故障是市域郊铁路接触网系统中的另一大挑战，它直接关系到电力传输的连续性和稳定性，对列车运行安全构成直接威胁。电气故障的表现形式多种多样，包括但不限于绝缘子击穿、接触线短路、馈线电缆短路等。绝缘子是保证接触网电气绝缘隔离的关键元件，其性能的好坏直接影响到整个系统的绝缘水平。接触网绝缘子在长期暴露于污染、潮湿等恶劣环境下，接触轨绝缘子设置在防护罩内侧，长期受集电靴碳粉覆盖且不易清除，绝缘子表面容易积聚污秽，导致绝缘性能下降，一旦达到击穿电压，就会发生绝缘失效，引发电流泄漏或短路。接触线短路则通常是由于异物（如金属碎片、树枝、塑料袋、氢气球等）侵入接触网区域，或接触网接触线本身因磨损严重、接头不良等原因，使得相邻线段直接或间接接触，形成短路回路，这不仅会导致供电电压下降，还可能引起保护装置动作，切断供电。馈线电缆作为向接触网输送电能的主干线，其短路故障往往源于线路老化、接头松动、外力破坏（如交通事故、施工误伤）等因素，一旦馈线电缆短路，短时间内较难排除故障电缆，将直接影响接触网的供电功能，造成列车运行受阻。

3 市域郊铁路接触网故障检测与预警关键技术

3.1 基于机器学习的故障检测技术

随着人工智能技术的飞速发展，基于机器学习的故

障检测技术已成为市域郊铁路接触网故障检测的重要手段。机器学习算法能够从大量数据中自动提取特征,通过训练模型实现对未知数据的预测和分类,从而实现对接触网故障的精准识别。在接触网故障检测中,通过对接触网历史故障数据的分析,可以构建故障预测模型,预测未来可能发生的故障类型和位置。基于机器学习的图像识别技术也在接触网故障检测中发挥了重要作用,通过高清摄像头捕捉接触网的实时图像,利用机器学习算法对图像进行自动分析和识别,可以及时发现接触网的异常状态,如导线断裂、绝缘子损坏及接触面偏磨等。这种技术不仅提高故障检测的效率和准确性,还大大减轻人工巡检的负担。为了进一步提升基于机器学习的故障检测技术的性能,还需要不断优化算法模型,提高模型的泛化能力和鲁棒性,需要加强对故障数据的收集和处理,确保数据的准确性和完整性,为机器学习算法的训练和预测提供有力支持^[4]。

3.2 智能传感器技术

智能传感器技术是市域郊铁路接触网故障检测与预警中的另一项关键技术。在接触网系统中,智能传感器可以安装在关键部位,如支柱、悬线、承力索及膨胀接头等,实时监测其状态变化。例如,通过温度传感器可以实时监测接触网的温度变化,及时发现过热现象,预防因温度过高导致的故障。振动传感器则可以用于监测接触网的振动情况,通过分析振动信号可以判断接触网是否存在松动、断裂及断面错缝等异常状态。智能传感器技术的优势在于能够实时监测和预警接触网的潜在故障,为运维人员提供及时、准确的信息支持^[5]。智能传感器还具有体积小、功耗低、易于安装和维护等优点,适用于各种复杂环境。智能传感器技术的应用也面临一些挑战,传感器的数据传输和处理也需要进一步优化,以确保数据的实时性和准确性。为了解决这些问题,需要加强对智能传感器技术的研发和创新,推动其向更高性能、更智能化、数字化的方向发展。

3.3 大数据分析技术

大数据分析技术在市域郊铁路接触网故障检测与预警中发挥着重要作用。利用大数据分析技术对数据进行处理和分析,可以应用于接触网故障预警的多个环节。首先,通过对历史故障数据的分析,可以挖掘出故障发生的规律和趋势,为故障预测提供有力支持。其次,通过实时监测接触网的运行数据,可以及时发现异常状态,并触发预警机制。另外,大数据分析技术还可以用于故障的智能诊断,通过对故障数据的分析,可以自动判断故障类型和位置,为运维人员提供准确的维修指

导。为了充分发挥大数据分析技术在接触网故障检测与预警中的作用,需要加强对数据的采集和处理。一方面,需要完善数据采集系统,确保数据的准确性和完整性。另一方面,需要优化数据处理算法,提高数据处理的速度和效率。同时还需要加强对大数据技术的研发和应用,推动其向更高层次、更广领域的发展。

3.4 通信技术保障

在市域郊铁路接触网故障检测与预警系统中,通信技术是连接各个监测点和监控中心的重要桥梁。为了确保通信技术的可靠性和稳定性,需要采用先进的通信技术和设备。还需要加强对通信设备的维护和保养,确保其长期稳定运行。在通信技术保障方面,还需要加强对通信协议和标准的研究和制定。通过制定统一的通信协议和标准,可以实现不同监测点和监控中心之间的数据共享和互通,提高故障检测与预警系统的整体性能和效率。还需要加强对通信安全的保障,通过采用加密技术、防火墙等措施,可以确保通信数据的安全性和保密性,防止数据泄露和非法访问。还需要加强对通信网络的监控和管理,及时发现并处理通信故障和异常情况,确保通信网络的稳定运行^[6]。在市域郊铁路接触网故障检测与预警系统中,通信技术还需要与其他关键技术进行深度融合和协同工作。例如,可以与智能传感器技术相结合,实现实时监测数据的快速传输和处理;可以与大数据分析技术相结合,实现故障数据的远程分析和诊断;可以与机器学习技术相结合,实现故障预测模型的远程更新和优化。通过这种深度融合和协同工作,可以进一步提高故障检测与预警系统的性能和效率。

4 市域郊铁路接触网故障检测与预警系统改进策略

市域郊铁路作为连接城市与郊区的重要交通纽带,其接触网系统的稳定运行对于保障列车安全、高效运行至关重要。随着运营时间的增长,接触网故障频发成为制约铁路运营效率和安全性的的重要因素。为了有效应对这一挑战,对市域郊铁路接触网故障检测与预警系统进行持续改进显得尤为重要。

4.1 优化检测与预警算法,提高系统准确性

在市域郊铁路接触网故障检测与预警系统中,检测与预警算法是系统的核心。算法的性能直接关系到系统能否准确、及时地识别故障,从而采取有效措施进行干预。优化检测与预警算法,提高系统准确性是改进策略的首要任务。首先,应加强对现有算法的研究和分析,找出其存在的不足之处。针对这一问题,可以考虑引入先进的信号处理技术和机器学习算法,以提高算法的抗干扰能力和识别精度。通过训练模型,让算法能够自动

适应不同环境条件下的监测数据,从而更准确地识别故障特征。其次,应注重算法的创新与研发,随着人工智能技术的快速发展,深度学习、神经网络等算法在故障检测领域展现出巨大的潜力。可以尝试将这些算法应用于接触网故障检测中,通过构建复杂的模型来捕捉故障数据的细微变化,进一步提高预警的准确性和及时性。最后,应建立完善的算法验证和评估机制,在实际应用中,对算法的性能进行持续跟踪和评估,及时发现并解决问题。根据实际应用场景和需求,对算法进行不断的调整和优化,以确保其始终保持良好的性能。

4.2 加强系统兼容性设计,推动设备与系统标准化

市域郊铁路接触网故障检测与预警系统涉及多种设备和系统的集成与协同工作。为了确保系统的稳定性和可靠性,需要加强系统的兼容性设计,推动设备与系统标准化。一方面,应加强对不同厂家、不同型号设备的兼容性测试。在实际应用中,不同设备之间的接口协议、数据格式等可能存在差异,这可能导致数据传输不畅或处理错误。因此在系统设计和选型时,应充分考虑设备的兼容性,确保各设备之间能够无缝对接、协同工作。另一方面,应积极推动设备与系统标准化工作。通过制定统一的标准和规范,可以确保不同厂家生产的设备在接口、通信协议、数据处理等方面保持一致。这不仅有助于降低系统集成难度和成本,还能提高系统的可维护性和可扩展性^[7]。在实现设备与系统标准化的过程中,需要政府、行业协会、企业等多方面的共同努力。政府可以出台相关政策引导和支持标准化工作;行业协会可以组织专家制定和完善相关标准;企业可以积极参与与标准化工作,推动自身产品和技术标准化进程。

4.3 降低系统维护成本

市域郊铁路接触网故障检测与预警系统的长期稳定运行离不开有效的维护和管理。然而高昂的维护成本往往成为制约系统应用和推广的重要因素。因此降低系统维护成本是改进策略的重要一环。应注重系统的可靠性和稳定性设计,通过采用高质量的硬件设备和先进的软件技术,确保系统在恶劣环境条件下仍能稳定运行,减少因设备故障导致的停机时间和维修成本。加强对系统

运维人员的培训和管理,通过提供专业的培训和技术支持,提高运维人员的专业技能和故障处理能力,确保他们能够及时、准确地解决系统故障。建立完善的运维管理制度和流程,规范运维人员的操作行为,降低因人为因素导致的故障率。应积极探索智能化运维技术,通过引入物联网、大数据、人工智能等先进技术,实现系统的远程监控、智能预警和自动修复等功能。这不仅可以提高系统的运维效率和质量,还能显著降低运维成本。例如,通过大数据分析技术,可以对系统的运行状态进行实时监测和分析,提前发现潜在故障并采取措施进行干预;通过人工智能技术,可以实现故障的自动诊断和修复,减少人工干预和停机时间。

结束语

通过对市域郊铁路接触网故障检测与预警系统的深入研究,认识到技术创新在提升铁路运营安全性和效率方面的重要作用。本研究不仅为接触网故障检测提供了智能化解决方案,还探讨了系统优化的关键路径。未来,随着技术的不断进步,有理由相信,市域郊铁路接触网故障检测与预警系统将更加智能、高效,为铁路行业的安全运营和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]张芳志.适用于市域轨道交通的120km/h 接触轨系统技术研究[J].中国高新技术企业.2016,(11).
- [2]毛建辉.电气化铁路接触网故障分析及防护措施[J].工程技术研究.2018,(12).
- [3]潘利科.电气化铁路接触网电连接装置检测标准及方法研究[J].高速铁路技术,2023,14(02):33-37.
- [4]张迪,王磊.城市轨道交通接触轨受流方式应用分析[J].铁道运营技术.2021,(1).
- [5]方志国.高速铁路接触网刚性吊弦疲劳试验台研究[J].电气化铁道,2023,34(02):51-54.
- [6]闵锋,侯泽铭.铁路接触网主要部件检测方法[J].计算机工程与设计,2022,43(10):2911-2917.
- [7]王国强.电气化铁路高压电缆智能诊断及故障预警技术探索[J].电气化铁道,2023,34(S02):50-52.