

轨道交通电气设备的状态监测与智能维护

陈旭 陈俊闯

郑州交通发展投资集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 随着轨道交通的快速发展,电气设备的状态监测与智能维护成为保障系统安全、高效运行的关键。本文旨在探讨轨道交通电气设备的状态监测技术、智能化维护方法及其发展趋势,为提升轨道交通电气设备的维护水平和运行效率提供理论支持。

关键词: 轨道交通; 电气设备; 状态监测; 智能维护

引言

轨道交通作为现代城市公共交通的重要组成部分,其安全性和可靠性至关重要。电气设备作为轨道交通系统的核心组成部分,其运行状态直接影响整个系统的安全与效率。随着科技的不断进步,状态监测与智能维护技术逐渐成为保障轨道交通电气设备稳定运行的重要手段。

1 轨道交通电气设备的状态监测技术

1.1 状态监测技术概述

状态监测技术是轨道交通电气设备维护领域中的一项核心手段,它凭借着实时、高效的数据采集与分析能力,为设备的健康管理提供了坚实支撑。该技术通过精密的传感器网络,持续捕捉设备在运行过程中的各项关键指标,如温度波动、振动频率、电流变化及电压稳定性等,从而实现对设备健康状况的全面把控。一旦监测到任何异常信号或潜在故障迹象,系统会立即触发预警机制,为维修人员提供宝贵的提前干预时间。这种做法不仅有效避免了设备突发故障导致的运营中断,大幅度削减了因故障而产生的维修费用,更为关键的是,它确保了轨道交通系统的持续稳定运行,为乘客营造了一个既安全又舒适的出行环境。

1.2 监测方法与技术

轨道交通电气设备的状态监测是确保系统稳定运行、预防故障发生的关键环节。针对不同类型的设备,需采用相应的监测方法与技术,以实现全面、精准的状态监控。

1.2.1 变压器监测

变压器作为轨道交通电气系统的“心脏”,其稳定运行至关重要。针对变压器的状态监测,主要依赖于油中溶解气体分析和局部放电监测两大手段。油中溶解气体分析,又称DGA(Dissolved Gas Analysis),是通过检测变压器油中溶解的氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔等气体种类和含量,来判断变压器内部是否存在过热、放

电等故障。这些气体是变压器内部故障时产生的特征气体,其种类和含量能够反映故障的类型和严重程度。例如,氢气含量的增加可能意味着变压器内部存在局部过热或放电现象;而甲烷、乙烷等烃类气体的出现,则可能预示着变压器内部存在更严重的故障,如电弧放电或热故障。通过定期对变压器进行DGA检测,可以及时发现潜在故障,为维修决策提供科学依据^[1]。局部放电监测则是通过检测变压器内部局部放电产生的电磁波、声波等信号,来评估变压器的绝缘状况。局部放电是变压器绝缘材料在电场作用下局部击穿产生的放电现象,虽然放电能量较小,但长期存在会加速绝缘材料的老化,甚至导致绝缘击穿,引发严重故障。局部放电监测技术能够实时捕捉这些放电信号,通过信号分析,可以定位放电位置,评估放电强度,为及时修复绝缘缺陷提供有力支持。

1.2.2 开关柜监测

开关柜是轨道交通电气系统中的关键设备,其状态监测主要包括温度监测、绝缘性能监测和机械特性监测三个方面。温度监测是开关柜状态监测的重要环节。由于开关柜内部电流大、电压高,设备在运行过程中容易产生发热现象。如果热量无法及时散发,会导致设备过热,甚至引发火灾事故。因此,通过红外测温、光纤测温等技术,对开关柜的关键部位进行实时监测,可以及时发现过热部位,采取相应措施进行降温处理,预防火灾事故的发生。绝缘性能监测则是评估开关柜绝缘状况的重要手段。开关柜的绝缘材料在长期运行过程中,可能会因老化、受潮等因素导致绝缘性能下降。通过测量绝缘电阻、介电损耗等参数,可以评估开关柜的绝缘状况,及时发现绝缘缺陷,为维修或更换绝缘材料提供依据。机械特性监测则主要针对开关柜的操作机构。开关柜的操作机构负责开关的分合操作,其动作速度、行程等参数直接影响开关的可靠性和使用寿命。通过监测操

作机构的机械特性，可以及时发现机构磨损、卡涩等问题，为维修或更换操作机构提供决策支持。

1.2.3 接触网监测

接触网是轨道交通系统中为列车提供电能的关键设施，其状态监测对于保障列车稳定运行至关重要。接触网的状态监测主要集中在几何参数、悬挂状态和电气参数三个方面。几何参数监测是接触网状态监测的基础。接触网的导高、拉出值等几何参数直接影响列车的受电性能和运行安全。利用激光测量、图像识别等技术，可以精确测量接触网的几何参数，判断其是否符合设计要求。例如，激光测量技术通过发射激光束并接收反射回来的信号，可以准确测量接触网的导高；而图像识别技术则通过处理摄像头拍摄的接触网图像，可以识别并测量拉出值等参数。这些技术的运用，为及时调整接触网几何参数、确保列车稳定运行提供了有力支持。悬挂状态监测则是评估接触网悬挂装置健康状况的重要手段。接触网的悬挂装置包括吊弦、腕臂、定位器等部件，它们负责将接触网悬挂在空中，并保持一定的张力和稳定性。通过张力传感器、振动传感器等监测悬挂装置的受力和振动情况，可以及时发现松动、磨损等问题^[2]。例如，张力传感器可以实时监测吊弦的张力变化，一旦张力异常，就意味着吊弦可能存在断裂或松弛的风险；而振动传感器则可以捕捉悬挂装置的振动信号，通过信号分析可以判断悬挂装置是否存在异常振动或磨损现象。这些监测技术的运用，为及时修复悬挂装置、确保接触网稳定运行提供了有力保障。电气参数监测则是评估接触网供电质量的关键环节。接触网的电压、电流、阻抗等电气参数直接影响列车的受电性能和供电效率。通过实时监测这些参数，可以评估接触网的供电质量，及时发现供电异常或故障。例如，电压监测可以判断接触网的供电电压是否稳定、是否在正常范围内；电流监测则可以反映列车的受电情况，以及接触网是否存在过载或短路等故障；而阻抗监测则可以评估接触网的导电性能，以及是否存在接触不良或绝缘损坏等问题。这些电气参数的监测，为及时调整供电策略、确保列车稳定运行提供了重要依据。

2 轨道交通电气设备的智能维护技术

2.1 智能维护技术概述

智能维护技术是轨道交通电气设备维护领域的一大革新，它深度融合了先进的传感器技术、高精度的监测设备以及强大的数据分析算法。这一技术能够实现对电气系统运行状态的全天候、全方位监测，犹如一双“慧眼”，时刻洞察着系统的细微变化。借助实时监测功

能，智能维护技术能够迅速捕捉设备运行的异常信号，通过精准的数据分析算法，对故障进行快速定位与初步诊断。这一过程的高效执行，极大地缩短了传统维护中故障排查与修复所需的时间，有效避免了因设备故障导致的列车停运或晚点情况，从而保障了轨道交通系统的顺畅运行。智能维护技术的引入，不仅提升了维护效率，更在无形中增强了轨道交通系统的整体稳定性和可靠性。

2.2 智能维护方法

2.2.1 实时监测与诊断

实时监测与诊断是智能维护技术的核心环节。通过在轨道交通电气设备的关键部位和节点安装高精度传感器，如温度传感器、电流传感器、振动传感器等，可以实时采集设备在运行过程中的电压、电流、温度、湿度、振动等多种参数。这些参数如同设备的“生命体征”，反映了设备的实时状态。采集到的参数数据被实时传输至数据中心，通过大数据分析和机器学习算法进行处理和分析。大数据算法能够挖掘数据中的隐藏规律，识别出异常数据和潜在的故障模式。例如，对于牵引电机这一关键部件，智能化维护系统可以监测电机的电流波动、转速变化、振动幅度等参数。当电流异常升高、转速波动增大或振动超过阈值时，系统能够迅速识别出这些异常信号，并初步判断电机可能存在过热、磨损、失衡等故障。机器学习算法则进一步提升了诊断的准确性和效率。通过训练模型，系统能够学习不同故障类型与参数变化之间的关联关系，形成故障识别模型^[3]。当新数据输入时，模型能够自动匹配并识别出故障类型，为维修人员提供准确的故障诊断结果和维修建议。这种实时监测与诊断的方式，大大缩短了故障排查和修复的时间，确保了设备的及时维修和系统的稳定运行。

2.2.2 预测性维护

预测性维护是一种基于数据驱动的维护策略，它通过对设备历史数据的分析和模型预测，提前预测设备可能出现的故障，并在故障发生前进行预防性维护。这种维护方式改变了传统“事后维修”的被动局面，实现了“事前预防”的主动维护。在预测性维护中，首先需要设备的运行数据进行长期监测和收集，包括设备的运行时间、维修记录、故障历史等。这些数据为建立设备的老化模型和故障预测模型提供了基础。通过对数据的深入分析，可以揭示设备性能随时间的变化规律，以及故障发生的概率和趋势。基于这些数据，利用统计分析和机器学习算法，可以建立设备的故障预测模型。模型能够预测设备在未来一段时间内出现故障的概率和可能的故障类型。当预测结果显示设备存在较高的故障风险

时,系统会提前发出预警,提醒维修人员进行预防性维护。这种维护方式不仅能够避免突发故障带来的损失和安全隐患,还能够优化维护计划,降低维护成本。以变压器和开关柜为例,通过对它们的运行数据进行长期监测和分析,可以建立设备的老化模型。模型能够预测设备在不同时间点的性能衰退情况,以及可能出现的故障类型。当预测结果显示变压器或开关柜的性能即将达到临界点时,系统会提前安排维修或更换计划,避免设备在关键时刻出现故障。

2.2.3 维护资源优化管理

智能化维护技术不仅能够实现对设备状态的实时监测和故障预测,还能够实现对维护资源的优化管理。维护资源包括维修人员、备件、维修工具等,它们的合理配置和高效调度对于提高维护工作的效率和质量至关重要。在智能化维护系统中,维护任务、人员、备件等资源都被纳入信息化管理系统。系统能够根据故障的类型、严重程度和紧急程度,自动分配维修人员和调配所需的备件。例如,当系统检测到某台设备出现故障时,它会根据故障的类型和维修难度,自动匹配具有相应技能和经验的维修人员。同时,系统还会检查备件的库存情况,确保所需备件充足且能够快速调配到维修现场。此外,智能化维护系统还能够规划最佳的维修路径。通过综合考虑维修地点的地理位置、交通状况、维修人员的行程安排等因素,系统能够制定出最优的维修路径和行程规划^[4]。这不仅减少了维修人员的路途时间,还提高了维修工作的效率。维护资源的优化管理还体现在对维修过程的实时监控和跟踪上。系统能够实时记录维修人员的操作过程、维修结果和备件使用情况等信息,为后续的维修工作提供宝贵的数据支持。通过对这些数据的分析,可以不断优化维修流程和提高维修质量,确保设备的长期稳定运行。

3 发展趋势

随着科技的不断进步,轨道交通电气设备的智能化

维护技术正迎来新的发展机遇。5G通信技术的崛起,为数据的高速传输提供了强有力的支持。借助5G的高速率、低延迟特性,轨道交通电气系统能够实时传输海量的监测数据,从而大幅提升实时监测和诊断的实时性与准确性。这意味着,维修人员可以更快地获取到设备的运行状态,对潜在故障进行迅速响应,有效缩短故障处理时间,提升系统的整体运行效率。与此同时,物联网技术的广泛应用将进一步推动设备间的互联互通。通过物联网技术,轨道交通电气系统中的各个设备可以形成一个紧密的智能网络。设备之间可以实时交换数据,实现信息的共享与协同。这种高度的智能化互联,不仅提升了系统的整体智能化程度,还为设备的远程监控、智能调度和协同维护提供了可能。维修人员可以远程监控设备的运行状态,及时发现并处理潜在问题,从而确保轨道交通电气系统的持续稳定运行。

结语

轨道交通电气设备的状态监测与智能维护是保障轨道交通安全、高效运行的重要手段。通过先进的监测技术和智能维护方法,可以实时掌握设备的运行状态,及时发现并处理潜在故障,降低维修成本,提高运行效率。未来,随着技术的不断进步和创新,智能化维护技术将在轨道交通领域发挥越来越重要的作用,为人们的出行提供更加安全、便捷、舒适的体验。

参考文献

- [1]邓波,徐建军,高建,等.城市轨道交通智能运维建设监测内容分析[J].甘肃科技纵横,2022,51(03):4-8+11.
- [2]汪波,腾骞,鲍枫,等.城市轨道交通设施安全智能监测预警系统设计[J].都市轨道交通,2021,34(06):58-64.
- [3]曾德尚.关于城市轨道交通工程自动化监测智能集成技术的应用[J].低碳世界,2021,11(01):199-200+218.
- [4]周湘杰.轨道交通安全用电智能监测系统研究[J].通信电源技术,2020,37(06):30-31+34.