

基于智能巡检技术的输变电集电线路状态监测与故障诊断

申竞超

国华投资河北分公司 河北 沧州 061100

摘要：随着电力行业的快速发展，输变电集电线路的安全稳定运行至关重要。本文聚焦于基于智能巡检技术的输变电集电线路状态监测与故障诊断。详细阐述了智能巡检技术中无人机巡检、机器人巡检等多种方式在集电线路状态监测中的应用，通过传感器技术、图像识别技术等获取线路运行的关键参数和设备状态信息。构建了基于机器学习和数据分析的故障诊断模型，实现对集电线路常见故障如短路、断路、设备老化等的快速准确诊断。

关键词：智能巡检技术；输变电集电线路；状态监测；故障诊断

引言：传统的输变电集电线路巡检主要依靠人工巡检方式，这种方式存在劳动强度大、效率低、巡检质量受人为因素影响大等诸多缺点，难以满足现代电力系统对集电线路高可靠性和智能化运维的要求。随着人工智能、传感器、通信等技术的飞速发展，智能巡检技术应运而生。智能巡检技术通过利用无人机、机器人等设备，结合先进的传感器技术、图像识别技术、数据分析技术等，能够实现对输变电集电线路的全方位、实时、精准监测和故障诊断，为保障集电线路的安全稳定运行提供了新的有效手段。

1 输变电集电线路在电力系统中的重要性

输变电集电线路堪称电力系统的中枢命脉，其重要性不言而喻。作为电力输送的核心载体，它以不同电压等级的线路相互交织，搭建起广袤且复杂的输电网络，将分散各地的发电厂所产生的电能，有条不紊地汇聚、升压并传输至千家万户与各类工业场所。在这一过程中，它不仅保障电能持续稳定供应，更是确保电力质量达标，减少电压波动与谐波干扰，为精密设备与敏感用电设备的正常运行提供支撑。一旦集电线路故障，电力供应将瞬间受阻，工业生产因设备停机面临巨额损失，居民生活也会因停电陷入混乱，区域间电力调配失衡，进而影响整个社会的生产生活秩序，可见其对于电力系统稳定运行及社会发展起着无可替代的关键作用。

2 智能巡检技术概述

2.1 智能巡检技术的定义与特点

智能巡检技术是融合先进传感、自动化、数据分

析、人工智能等多领域技术，对目标设备或系统进行自主、实时、精准监测的综合性技术体系。其显著特点是高度自动化，借助无人机、机器人等智能载体，可摆脱人工巡检的时间与空间限制，按预设路线与频率自主完成巡检任务。具备高精度传感能力，能灵敏捕捉设备细微状态变化，如温度、振动、电流等参数。利用图像识别、机器学习算法，可快速处理海量巡检数据，智能诊断设备潜在故障，大大提升巡检效率与准确性，还能通过远程通信实时反馈巡检结果，实现运维人员对设备状态的远程把控。

2.2 智能巡检技术在电力系统中的应用现状

目前，智能巡检技术在电力系统中已广泛应用。在输电线路巡检方面，无人机搭载高清摄像头、红外热像仪等设备，对架空线路、杆塔等进行全方位巡查，及时发现线路断股、绝缘子破损、杆塔倾斜等问题。变电站巡检机器人则能在站内自主巡逻，监测设备温度、声音、气体浓度等指标，保障站内设备稳定运行。此外，基于物联网的智能传感器被部署在电力设备关键部位，实时采集运行数据并上传至监控平台。但不同地区、不同电力企业间应用程度存在差异，部分偏远地区受限于通信条件、资金投入，智能巡检覆盖率较低，且各类智能巡检系统间数据共享与协同仍有待完善。

2.3 智能巡检技术的优势与局限性分析

智能巡检技术优势明显，极大提升巡检效率，大幅缩短巡检周期，相比人工巡检可覆盖更广泛区域。能精准检测故障隐患，降低漏检率，避免因人工疏忽导致的故障风险。还可减少人力投入，降低运维成本，提升电力系统可靠性。然而，它也存在局限性。智能巡检设备依赖复杂技术，初期购置、维护成本高昂，对电力企业

作者简介：申竞超（1996年10月—），男，汉族，河南省郑州市人，本科，研究方向：基于智能巡检技术的输变电集电线路状态监测与故障诊断。

资金实力要求较高。受天气、地理环境影响大,如无人机在暴雨、强风天气无法正常作业,山区信号不佳会干扰数据传输。并且智能算法在面对复杂、罕见故障时,诊断准确率有待提高,需持续优化与完善。

3 输变电集电线路状态监测技术

3.1 输变电集电线路概述及其重要性

输变电集电线路作为电力系统的关键构成,是连接发电厂与变电站、变电站与变电站以及变电站与用户端的输电通道。其由杆塔、导线、绝缘子、金具等多种部件组成,通过不同电压等级的线路组合,实现电能的高效传输与分配。在电力系统中,它肩负着将发电厂生产的电能,跨越山川、城市,精准送达各类用电场所的重任。其稳定运行是保障电力可靠供应的基石,一旦集电线路发生故障,将引发大面积停电,严重影响工业生产的连续性,造成巨额经济损失,同时也给居民日常生活带来极大不便,甚至可能对社会秩序产生连锁影响,是电力系统稳定运行的“生命线”。

3.2 状态监测技术的原理与方法

(1) 传感器技术

传感器技术是状态监测的基础。各类传感器,如温度传感器、振动传感器、电流传感器等,依据物理效应,将输变电集电线路设备的运行参数转化为电信号。例如,红外温度传感器利用物体热辐射特性,通过检测设备表面红外辐射强度,精确测量温度,能及时察觉设备因过载、接触不良等导致的异常升温;振动传感器则基于压电效应,把设备振动产生的机械能转变为电信号,分析振动频率、幅度等参数,可判断设备机械结构是否存在松动、磨损等状况,为故障诊断提供关键数据。

(2) 信号处理技术

信号处理技术旨在对传感器采集到的原始信号进行加工。由于原始信号常夹杂噪声,且特征不明显,需经滤波处理去除噪声干扰,提高信号质量。随后运用傅里叶变换、小波变换等数学方法,将时域信号转换到频域,凸显信号中的故障特征频率成分。像通过傅里叶变换分析电流信号的谐波成分,可判断线路是否存在异常电流波动,进而识别潜在故障类型,为后续决策提供清晰、有效的数据支持。

(3) 数据传输与处理技术

数据传输技术负责将传感器采集并经初步处理的信号,借助有线或无线通信网络,传输至数据处理中心。有线传输如光纤,具备高速、稳定、抗干扰强的优势;无线传输像4G、5G技术,灵活性高,适合偏远、布线困难区域。到达处理中心后,利用大数据分析、云计算等

技术,对海量监测数据进行存储、分析与挖掘。通过构建数据模型,对比设备历史数据与正常运行参数,实现对输变电集电线路状态的实时评估与故障预测。

3.3 状态监测技术在输变电集电线路中的应用实践

在输变电集电线路实际运行中,状态监测技术已得到广泛应用。在杆塔监测方面,利用倾斜传感器实时监测杆塔倾斜角度,一旦超过阈值,及时预警,预防杆塔倒塌事故;在导线监测上,通过分布式光纤传感器,可精准定位导线的温度异常点与覆冰位置,以便采取融冰等应对措施。针对绝缘子,利用图像识别技术结合传感器数据,判断其是否存在破损、污秽等情况。这些应用有效提升了集电线路的运维水平,提前发现并解决潜在故障隐患,保障了电力传输的安全与稳定,降低了运维成本与停电风险。

4 基于智能巡检技术的故障诊断方法

4.1 故障诊断的基本原理

故障诊断旨在依据设备运行状态数据,判别设备是否处于正常工作状态,若存在故障,进一步确定故障类型、位置与严重程度。其基本原理是构建设备正常运行的模型,收集设备运行过程中的各类参数,如电流、电压、温度、振动等。当设备实际运行参数偏离正常模型范围时,表明可能存在故障。通过分析参数变化趋势、特征频率等信息,运用数学模型、物理规律以及经验知识,对故障进行推理判断。例如,利用电路原理分析电流异常,结合设备机械结构知识判断振动异常来源,从而精准定位故障,为后续维修提供依据,保障设备稳定运行,减少故障带来的损失。

4.2 智能巡检技术在故障诊断中的应用

(1) 人工智能算法

人工智能算法在故障诊断中发挥着核心作用。机器学习算法,如支持向量机、神经网络等,可对大量历史故障数据和正常运行数据进行学习训练,构建故障诊断模型。以神经网络为例,通过输入层接收设备运行参数,经隐藏层复杂运算,在输出层输出故障类型判断结果。深度学习算法,如卷积神经网络,能自动提取图像数据中的特征,用于识别绝缘子破损、线路放电痕迹等故障图像,无需人工复杂特征提取过程,极大提高故障诊断的准确性与效率,适应复杂多变的输变电集电线路故障场景。

(2) 数据分析与挖掘技术

数据分析与挖掘技术用于从海量监测数据中提取有价值信息。通过统计分析,计算数据均值、方差、极值等,判断数据是否处于正常波动范围。关联规则挖掘可找出不同参数间潜在关联,如温度升高与电流增大的相

关性,辅助故障判断。聚类分析将相似运行状态的数据归为一类,识别异常数据簇,发现潜在故障模式。利用时间序列分析预测参数未来变化趋势,提前察觉故障隐患,为及时采取维护措施提供数据支撑,优化输变电集电线路运维策略。

(3) 故障预警与定位技术

故障预警与定位技术借助智能巡检设备与算法实现。基于实时监测数据,结合设备故障模型,运用阈值预警、趋势预警等方法,在故障发生前及时发出警报。例如,当温度传感器监测到设备温度接近异常阈值时,系统即刻预警。故障定位方面,利用分布式传感器网络,通过信号时差定位、阻抗定位等技术,精确确定故障点位置。如在输电线路中,根据不同位置传感器接收到故障信号的时间差,计算出故障点与传感器的距离,快速锁定故障区段,缩短故障排查时间,提升电力系统故障响应速度。

4.3 故障诊断方法的优化与改进

为提升故障诊断准确性与时效性,需持续优化与改进方法。一方面,融合多种诊断技术,如将人工智能算法与物理模型相结合,利用物理模型解释人工智能诊断结果,提高诊断可信度。另一方面,不断更新训练数据,及时纳入新出现的故障案例,使诊断模型能适应新故障类型。此外,优化算法参数,采用自适应学习率、正则化等方法防止过拟合,提升模型泛化能力。同时,利用边缘计算技术,在智能巡检设备端进行初步数据处理与故障判断,减少数据传输量,降低通信延迟,实现更快速、精准的故障诊断,保障输变电集电线路可靠运行。

5 智能巡检技术在输变电集电线路状态监测与故障诊断中的综合应用

5.1 智能巡检系统的设计与实现

智能巡检系统架构采用分层设计,涵盖感知层、传输层与应用层。感知层部署各类传感器,全方位采集输变电集电线路设备运行参数与状态图像。传输层运用有线、无线通信技术,将数据高速、稳定传输至应用层。应用层设有数据管理、故障诊断、可视化展示等功能模块。在关键技术与算法应用上,引入深度学习算法用于图像识别,精准判别设备部件缺陷;利用大数据分析算法处理海量监测数据,挖掘潜在故障规律。同时,采用智能决策算法,依据诊断结果生成合理运维建议,实现对输变电集电线路的智能化、自动化巡检。

5.2 智能巡检技术在状态监测与故障诊断中的协同作用

实时监测与数据分析方面,智能巡检设备持续采集线路运行数据,数据分析模块及时处理,通过对比历史数据与标准阈值,实时掌握线路状态。一旦发现异常,立即启动故障诊断流程。故障预警与应急响应协同紧密,基于数据分析结果,系统提前发出故障预警,运维人员迅速响应。利用故障定位技术精准锁定故障点,结合应急预案,调配人力、物力资源,快速实施抢修,将故障影响降至最低,确保电力供应稳定,提升电力系统整体可靠性与安全性。

5.3 智能巡检技术的实施效果评估与优化建议

实施效果评估从巡检效率、故障诊断准确率、运维成本降低等维度开展。经实践,智能巡检大幅缩短巡检周期,提高故障诊断准确率,显著减少人力投入,降低运维成本。然而,仍存在部分问题,如复杂环境下设备稳定性不足、算法对罕见故障诊断能力有限。优化建议包括加强设备防护,提升其在恶劣环境中的可靠性;持续更新算法训练数据,融入罕见故障案例,优化算法结构,增强对复杂故障的诊断能力,进一步挖掘智能巡检技术潜力,推动输变电集电线路运维水平持续提升。

结语

智能巡检技术为输变电集电线路的状态监测与故障诊断带来了革命性变革。通过构建分层架构的智能巡检系统,综合运用多种先进技术与算法,实现了对线路运行状态的精准感知、高效数据传输以及智能诊断决策。在实际应用中,智能巡检技术在状态监测与故障诊断的协同作业成效显著,极大提升了电力系统的可靠性与安全性,切实降低了运维成本,提高了巡检效率与故障诊断准确率。尽管目前在复杂环境适应性与罕见故障诊断方面尚存挑战,但随着技术的不断迭代升级,加强设备防护与算法优化,智能巡检技术必将在输变电集电线路领域持续发挥更大效能,为保障电力稳定供应、推动电力行业智能化发展注入强劲动力,成为电力系统安全可靠运行的坚实保障。

参考文献

- [1]李阳,赵宇等.新型传感器在输变电集电线路状态监测中的应用研究[J].电气设备研究,2024
- [2]王强,李华.智能巡检技术在输变电集电线路中的创新实践[J].电力科技前沿,2024(5):45-52.
- [3]张悦,陈晨.大数据驱动的输变电集电线路故障诊断优化策略[J].现代电力,2024(4):89-96.