

高压输电线路巡检与故障诊断技术研究及其应用

柳坤全 李春栋

国网江西省电力有限公司九江供电分公司

摘要: 在当前我国社会经济发展新时期背景下,各领域生产建设对电力资源需求不断提升,这就对电力供应稳定性提出明确要求。而高压输电线路作为电能传输重要通道,对其进行有效巡检以及快速及时的故障诊断对保障电能传输可靠性具有重要现实意义。基于此,本文研究中将首先对基于改进Faster-RCNN算法的巡检技术进行分析,随后对高压输电线路故障诊断技术以及应用进行探究。

关键词: 高压输电线路; 巡检; 故障诊断

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6261.2022.08.113

引言

高压输电线路通常由输电线、地线以及绝缘部件等部件组成,尽管相关构件结构简单、种类有限,但庞大的数量规模使得任何环节故障均可能导致全局性的电力中断,对区域供电产生严重影响,严重情况下甚至会引发电力系统整体连锁失效情况。在当前社会发展水平不断提升背景下,输电网络覆盖面日益扩大,然而环境等因素引发的闪络问题发生概率也随之提升,部分地区所面临极端气候和环境条件大幅增加线路维护难度。尤其在强风地带,长距离输电线摆动现象对电力输送稳定性构成严重威胁。为应对相关潜在线路问题,合理利用智能巡检技术,同时强化故障识别能力,成为确保输电系统稳固与高效的重要保障。将智能巡检技术与故障诊断技术相结合,可有效利用各类传感器实时捕捉线路动态,准确获取运行参数,通过智能诊断与分析,实现早期预警潜在风险,有效缩小故障影响范围,从而保障高速电力供应系统的稳定运行,避免突发性危机发生。

一、输电线路在线检测技术概述

1. 在线监测技术简介

输电线路在线监测技术本质为安装于输电线路的系统,其实际运行中可实时监测并记录输电线路运行状态相关参数,并将相关数据发送给终端。该技术应用对于设备状态监测和检修具有重要影响,其应用成效直接关系到输电线路状态检修的实施效果。

2. 在线检测于故障诊断系统应用必要性

在传统输电线路维护中,我国主要采取常规的周期性维护模式,该模式应用中要求对所有输电线进行定期检查,主要工作内容包人工评估设备性能及环境因素等。城市内线路巡查工作相对容易,但高速公路输电线路巡查难度相对较高,其通常会穿越山脉和荒野,且输电塔分布广泛,此情况大幅增加线路日常维护复杂性和工作负荷。一旦线路出现问题,长距离故障查找可能导致电力中断风险显著增大。随着社会进步和经济发展

水平提升,电力需求日益膨胀,输电网络覆盖区域不断扩大,需检测设备数量也随之剧增,传统线路维护模式已无法满足实际需求。为应对该挑战,先进的在线监测和故障诊断技术体系应运而生。通常来说,输电线路故障并非突发,而是有迹可循的渐进过程。输电线路及其构件受环境因素影响,可能出现物理或化学性质微小变化,且临近极限运行状态,导致部分元件逐渐受损。在此过程中,如果在线监测系统可实时捕捉环境数据和设备运行状况,结合故障诊断系统经验学习,即可实现精确识别故障源头,从而大幅缩短故障修复时间,保障高压输电线路运行稳定性。

二、基于改进Faster-RCNN算法的绝缘子检测原理

为提升巡检工作效率以及成效,降低输电线路维护人员工作压力与难度,有技术人员提出利用现代信息技术优势取代人工巡检方式,并提出改进的Faster-RCNN算法,就实际应用角度分析,该算法在高压输电线路绝缘子日常巡检中表现出卓越的检测性能。该算法并非简单沿袭传统Faster-RCNN的特征抽取路径,而是通过深度改造其核心架构,实现增强巡检系统运行稳定性和精确度目标。吉顺人员在对该算法进行研究过程中融合SKNet残差神经网络技术,并将其作为关键的故障特性挖掘模块。该融合策略显著提升模型学习效率,进而提高巡检机器人对故障诊断回归参数的精确度和处理速度,大幅提升检测流程整体效能。

1. 基于SKNet残差神经网络的特征提取

为应对网络深度提升时可能遭遇的梯度弥散、爆发以及性能退化等情况,技术人员在进行算法开发工作中,在Residual Neural Network (RNN)架构中融入SKNet残差神经网络模块,具体如图1所示,以实现增强巡检过程中的特征挖掘能力目的。

基于SKNet残差神经网络模块,技术人员对传统RNN方法进行革新,增加5层卷积层,以提升提取绝缘子故障图像特征的效率和速度。经过优化,技术人员依托于

图1所示架构进行卷积层优化，最终设计构建出集成通道注意力机制的ResNet变体作为新型的特征提取网络。

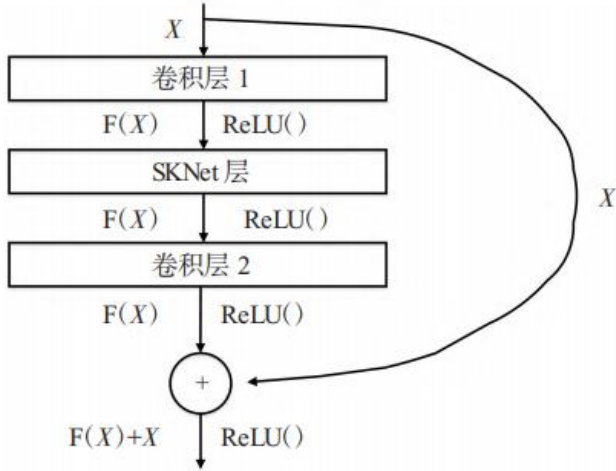


图1 SKNet残差神经网络算法结构

2. 候选区特征提取网络

技术人员在实际工作中，基于Faster-RCNN算法核心区域特征挖掘模块构建出独特的架构，该集成双重功能：识别与定位。首先，分类模块扮演关键角色，其主要通过对候选区域进行深度分析，确定候选区内是否蕴含绝缘体特征，通过输出节点，精确衡量特征提取前后的可能性。其次，回归层则具备强大的预测能力，其并非简单地停留在特征本身，而是精细地预测出故障特征提取所指向的候选区域的精确位置信息，包括中心坐标以及尺寸参数的细微调整等数据参数内容。

三、高压输电线路故障诊断技术类型及应用要点

1. 故障录波数据特征诊断

故障录波数据分析诊断技术在三相短路等线路问题识别方面表现出色，该技术实际应用可从海量监测数据中精炼出零序电压和电流等关键信息，同时结合环境因素开展深度解析。在实际应用该技术进行输电线路故障诊断时，技术人员需掌握三个核心环节：特征提取、特征维数计算和交叉验证的关键要点。具体内容包括如下几方面：

(1) 特征提取。考虑到傅立叶算法在实际应用中存在无法有效剔除衰减直流分量的局限性，技术人员在实际应用中可以采用小波分解法作为替代手段。利用小波基取代传统三角函数基，根据信号频率特性，灵活选择合适的采样步长，随后依照规定顺序，首先要提取零序分量特征，随后时时间域特性，重合闸信号特性和季节性影响。以零序特征为例，技术人员应首先开展尺度和位置分解作业，将录波采样频率定位在基本频率中，随后保留高频部分，对低频信号进行逐级分解，直至达到预设分解级别。

(2) 特征维度计算：技术人员可依托于最大似然估计 (Maximum Likelihood Estimation, MLE) 方法对关键特征数量进行确定，此环节工作目标在于搜寻可精确描绘线路故障的最小特征集。具体工作中应首先构建故障原因高维度空间，在此基础上执行局部搜索，明确搜索范围，同时通过对邻近样本集的欧式距离矩阵，提取核心变量和距离指标。随后，构造对数似然函数模型，通过MLE技术获取样本集统计参数，最后通过平均估计得出所有特征维度。

(3) 交叉验证：基于计算所得结果和已有数据，技术人员可逆向分析输电线路故障发生历程。若推导出结果与诊断一致，说明报告具有实际应用价值，可以开始制定有针对性维修计划，组织西南路运维团队实施现场紧急抢修。若发现不符，技术人员需重新进行特征提取和维度计算流程，以优化分析精度。

2. 图像诊断

图像诊断技术本质为依托于图像特征解析对故障演变历程进行推测并识别故障类型的技术。在高压输电线路故障检测工作开展中，主要依托于红外图像诊断和航空摄影诊断两种方式进行作业。红外图像诊断可通过密集部署红外感应器在输电线路路上，持续监控线路及其附件温度波动，通过分析色调、亮度和饱和度 (HIS色彩空间) 中的温度异常升高点，对所提取信息进行图像融合、帧间差异检测等处理，应据此对故障类别进行识别，定位发热源，该技术适用于检测超温等故障问题，但受限于技术特性，图像诊断无法针对引流管或绝缘子等特定部件进行诊断。

航空拍摄诊断则主要依托于人工操控无人机在输电线路现场上方获取高清图片和航空测量数据，随后利用相应软件对数据进行预处理、图像分析和特征提取，最终生成详细故障诊断报告。然而需注意的，利用航空拍摄诊断技术过程中，输电线路所处复杂环境条件，如树木遮挡和电磁干扰等可能影响图像质量，进而导致诊断结果的可靠性受到影响。为提高诊断精度，图像处理技术在此环节发挥关键作用。利用该技术先对所获取图像信息进行灰度转换、噪声滤除，以及高频与低频成分分离处理等一系列预处理步骤，随后从优化后图像资料中精确提取故障特征，以提升诊断的准确性。

3. 电气数据量诊断

电气参数检测诊断技术是当前应用较为广泛的故障自动诊断技术，其运作机制与开环智能调控系统有着显著共通之处。在高压输电线路日常运维工作中，技术人员需首先构建详尽的故障案例资料库，明确设定线路电流和其他关键运行指标理想值及其可接受波动界限。通

过不断收集实时性能数据，将相关数据与预设标准进行横向对比。当检测到数据偏离超出预设阈值，技术人员可依据偏差趋势解析故障类别，并依据数据流源头定位故障的具体位置。

就实践经验角度分析，利用电气参数诊断技术具备明显优势，其不仅可迅速生成故障分析报告，而且具备实时监控故障动态的能力。一旦故障状况产生变化，系统会立即触发警报，及时将更新信息传递给管理层以及现场运维人员，确保故障处理的及时性和准确性。

4. 人工经验诊断

当故障诊断系统无法精准输出诊断结果时，供电企业即需回归传统人工经验故障解决路径，通过派遣专业运维团队进行实地响应。团队成员运用多元化的故障识别策略，如直观评估、设备测验和元器件更换，来识别故障类别并定位问题源头。随后，技术人员会将人工诊断报告与系统分析结果进行双重确认，确保诊断的准确性。

人工经验诊断技术对维修人员专业素质水平要求相对较高，其实际工作中需对各种可能的故障迹象有深入理解，并能熟练应用正确的诊断技术。比如面对高阻故障，维修人员会关注线路断裂或接触障碍等典型信号。维修人员会在现场详细检查输电线路安装细节，特别关注线路老化状况、结构完整性和是否存在外部损害因素，以此来定位故障问题根源。

四、强化高压输电线路故障检测能力的对策

1. 强化输电线路性能稳定性

在当前新时期背景下，各领域发展建设对电力能源供应稳定性显著提升，停电事故可能会对正常生产生活秩序造成影响，由此在实际进行高压输电线路设计时应做到如下要求：

首先，在保护措施方面，进线线路可配置双重过流保护，第一级保护应考虑到最低200ms的响应延迟，而贯通线路则采用光纤差动保护，确保在最短的150ms内即可完成精确定位并隔离故障目标。此外，为增强系统应急响应能力，还可在输电网络中增设快速合闸机制，确保故障处理同时，其他区域供电不受影响。

其次，电源切换策略可采用双冗余电源设计，一旦主电源发生故障，能够立即无缝切换到备用电源，确保不间断供电。

最后，通信技术在保障安全供电中扮演重要角色。为充分落实实时、广域范围控制闭锁备自投功能，数据采集单元（DTU）需通过光纤以太网环网交换机进行高效连接。在人工操作跳转联络电源过程中，务必通过该通信网络实现对备自投功能和远程通信的精准锁定，防

止误操作带来的潜在风险。

然而，上述三方面要素实现的关键前提在于，构建起有效的在线监测系统。若缺乏在线监测系统支持，操作延迟将显著增加。因此，选择合适的输电线路检测参数具有重要意义。监测参数过多意味着需要更多传感器，虽然数据丰富，但也可能导致无效监测，加大不必要资源消耗量。比如，在风力微弱地区，无需对风速进行持续检测，仅确保输电线路在允许的风速下安全运行即可。在线监测主要通过收集数据对设备工作状况进行判断，一旦发现异常可迅速发出警报，定位故障位置，并启动供电系统保护策略，防止故障影响扩散。比如，当隧道电力线路出现问题时，如果在线监测系统已经提前识别出故障点，即可在断电前平滑地切换至备用电源，而非在故障发生后采取补救措施，如此可极大地提升隧道照明系统运行可靠性与稳定性。

2. 合理利用智能算法

尽管当前输电线路故障智能诊断技术潜力巨大，但在实现故障精准判断目标过程中依旧面临严峻的科研挑战，此环节关键在于构建精确的故障识别数学模型，而此目标的实现很大程度上受限于现有在线监测数据匮乏，报警阈值的设定缺乏坚实的科学理论支持。近年来，模糊控制和神经网络等前沿智能策略开始崭露头角，其开始被广泛应用于输电线路实时监控研究领域。神经网络算法以其卓越特征挖掘和模式解析能力，成功地实现线路状态的深度理解与故障类型的精准诊断，从而显著提升故障检测的精确度和效率。

总结

综上所述，在当前新时期背景下，高压输电线路智能巡检以及故障检测技术得到广泛应用，其在提升输电线路运行可靠性与稳定性方面发挥重要作用，要求电力行业在未来发展中继续加大对相关技术的研究力度，为保障电力能源供应稳定性提供必要保障。

参考文献

- [1]程亮亮. 基于载波相位差分定位的输电线路无人机自主巡检研究及应用[J]. 机电信息. 2021, (24). 1-3.
- [2]郑仟, 李宁. 输电线路无人机巡检智能管理系统的研究与应用[J]. 电子设计工程. 2019, (9). 74-77, 82.
- [3]孙耀南, 赵宝河. 输电线路无人机巡检技术应用与研究[J]. 电力系统装备, 2022(12): 140-142.
- [4]卞红伟. 特高压输电线路无人机巡检的安全技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(7): 4.