

输电设备状态检修技术的应用

何 峰 李辉珊

国网陕西省电力有限公司延安供电公司 陕西 延安 716000

摘 要：输电设备状态检修技术通过实时监测、精准诊断与寿命预测，实现了传统定期检修向“状态导向”模式的革新。本文系统阐述其核心框架：状态监测技术涵盖红外测温、超声波检测、振动监测及在线系统，可动态捕捉设备热缺陷、局部放电、机械故障等异常；故障诊断融合阈值分析、显著性差异评估与智能算法，提升缺陷识别精度；寿命预测则基于概率统计、物理模型与数据驱动方法，实现设备剩余寿命的科学预判。实际应用层面，该技术在输电线路、杆塔基础及变电站等场景中成效显著，有效提升电网运行可靠性与检修效率，为智能电网建设提供关键技术支撑。

关键词：输电设备；状态检修技术；应用

引言：随着电力行业的飞速发展，输电设备在电力系统中的地位愈发关键。其安全稳定运行不仅关乎电力供应的可靠性，更与国民经济的正常运转紧密相连。传统的输电设备检修方式多以定期检修为主，这种方式虽能在一定程度上保障设备运行，但存在检修周期固定、针对性不强等问题，易造成过度检修或检修不足，导致资源浪费和设备潜在故障未及时发现。在此背景下，输电设备状态检修技术应运而生。它基于设备实际运行状态制定检修计划，能够实时掌握设备健康状况，提前预测故障，具有提高检修效率、降低运维成本等诸多优势，成为保障输电设备可靠运行的重要手段。

1 输电设备状态检修技术概述

输电设备状态检修技术是电力系统运维模式的重要革新，其摒弃传统“以时间为周期”的定期检修模式，转而以设备实际运行状态为依据开展针对性维护，有效提升设备管理的科学性与经济性。该技术融合了传感器技术、信号处理、数据分析、人工智能等多学科知识，构建起从状态监测、故障诊断到寿命预测的全链条技术体系。状态检修技术的核心逻辑在于，通过红外测温、超声波检测、振动监测等多样化的状态监测手段，实时捕捉设备运行过程中的温度、振动、局部放电等关键参数，进而利用阈值分析、显著性差异分析等故障诊断方法，结合智能算法对采集数据进行深度挖掘，精准识别设备潜在故障隐患。基于概率统计、物理模型和数据驱动的寿命预测技术，能够预估设备剩余使用寿命，辅助运维人员制定科学的检修计划。该技术的应用有效避免了定期检修导致的资源浪费与检修盲区，降低设备突发故障风险，显著提升输电设备运行可靠性，保障电力系统安全稳定运行，在智能电网建设与数字化转型进程中发挥着关键作用，已成为现代电力运维不可或缺的技术

支撑^[1]。

2 输电设备状态检修技术的关键技术

2.1 状态监测技术

2.1.1 红外测温技术

红外测温技术依托物体热辐射特性，借助红外热像仪接收输电设备表面辐射的红外能量，经转换形成热图像与温度数据，实现对设备温度分布的非接触式检测。当设备出现接触不良、过载或局部放电等故障时，常以温度异常升高为表征。该技术可快速锁定发热位置、精准测量温度值，广泛应用于输电线路导线连接点、开关设备触头等部位的温度监测。其显著优势在于支持远距离、不停电检测，数据直观且检测效率高，能敏锐捕捉设备早期过热隐患，为状态检修提供关键决策依据。

2.1.2 超声波检测技术

超声波检测技术利用超声波在不同介质中的传播特性，对输电设备内部缺陷进行检测。当设备发生局部放电、气体泄漏、机械部件松动等故障时，会产生高频超声波信号。超声波检测仪通过传感器捕捉这些信号，并将其转换为可听声音或可视化数据，帮助运维人员判断故障类型与位置。

2.1.3 振动监测技术

振动监测技术是通过加速度传感器采集输电设备运行过程中的振动信号，分析信号的频率、幅值、相位等特征参数，判断设备的运行状态。变压器的铁芯松动、绕组变形，开关设备的机械传动部件磨损、卡滞等故障，都会引起振动信号的异常变化。利用振动监测技术，结合频谱分析、时频分析等方法，可准确识别故障类型和严重程度。

2.1.4 在线监测系统

在线监测系统是集多种监测技术于一体的综合性监

测平台,通过传感器网络实时采集输电设备的电气参数、机械参数、环境参数等数据,并借助通信网络将数据传输至监测中心。系统运用大数据分析、云计算等技术,对海量数据进行处理和分析,实现对设备状态的实时评估与预警。该系统可整合红外测温、超声波检测、振动监测等多种监测手段的优势,全方位监测输电线路、变压器、开关设备等的运行状态,具备自动化程度高、监测范围广、预警及时准确等特点,为输电设备的状态检修提供全面、可靠的数据支持,推动电力运维向智能化方向发展。

2.2 故障诊断技术

2.2.1 阈值分析法

阈值分析法是一种基于预设标准的基础诊断方法。它通过对输电设备正常运行时的各类参数(如温度、振动幅值、电气量等)进行统计分析,结合设备的设计标准和历史运行数据,设定合理的阈值范围。当设备实时监测数据超出该阈值时,系统即判定设备存在异常。例如,若变压器油温超过设定的上限阈值,可能预示着内部散热故障或过载运行。该方法逻辑简单、易于实现,广泛应用于初步故障筛查。但阈值设定需综合考虑设备特性、环境因素等,否则易出现误判或漏判,通常作为故障诊断的初步环节,为后续深度分析提供线索。

2.2.2 显著性差异分析法

显著性差异分析法通过对比设备当前运行数据与历史正常数据、同类设备数据的差异程度,判断设备是否存在故障。该方法基于统计学原理,计算数据间的差异是否显著超出正常波动范围。例如,分析输电线路绝缘子的泄漏电流数据,若某段时间内电流值与历史同期数据相比出现显著偏离,且排除环境因素影响后,即可认为绝缘子可能存在绝缘性能下降等问题。该方法能有效识别设备参数的渐进性变化,对早期故障诊断具有优势,但需积累大量可靠的历史数据作为参考,且需准确区分正常波动与故障特征差异,以提升诊断准确性。

2.2.3 智能诊断算法

智能诊断算法融合人工智能、机器学习等技术,通过对海量监测数据的学习与训练,实现对输电设备故障的智能识别与诊断。例如,基于神经网络的算法可自动提取数据特征,通过训练构建故障模式识别模型;支持向量机则能通过寻找最优分类超平面,区分不同故障类型。这些算法无需人工设定复杂规则,可自适应处理非线性、高维度数据,对复杂故障的诊断准确率较高。

2.3 寿命预测技术

2.3.1 基于概率统计的寿命预测

基于概率统计的寿命预测方法,通过收集大量输电设备的历史运行、故障及检修数据,运用概率论与数理统计理论,构建设备寿命分布模型。借助威布尔分布、指数分布等数学模型,分析设备失效概率与时间的关系,估算未来故障率和剩余寿命。该方法适用于分析设备群体寿命规律,为设备宏观运维规划提供参考,但难以精准反映单个设备的个性化特征。

2.3.2 基于物理模型的寿命预测

基于物理模型的寿命预测聚焦设备物理化学本质,依托材料特性、热力学等原理,构建老化失效数学模型。以油纸绝缘系统为例,借助热老化动力学方程,融合运行温度、湿度等参数,模拟绝缘材料老化过程,实现剩余寿命预测。该方法物理内涵清晰,可揭示失效机制,不过模型构建需精准掌握设备参数,在实际应用中存在一定难度。

2.3.3 基于数据驱动的寿命预测

基于数据驱动的寿命预测借助机器学习、深度学习算法,对设备实时监测与历史运行数据进行深度挖掘。通过循环神经网络(RNN)分析时序数据,或利用卷积神经网络(CNN)处理图像信号,自动提取与设备寿命相关特征。该方法无需复杂物理模型,可适应数据动态变化,尤其适用于物理参数不明确的场景,是智能化寿命预测的发展方向^[2]。

3 输电设备状态检修技术的实际应用

3.1 输电线路状态检修

3.1.1 绝缘子状态监测

绝缘子作为输电线路绝缘核心,其性能关乎线路安全。采用红外测温技术检测绝缘子异常发热,定位零值或低值绝缘子;超声波检测捕捉内部放电高频信号,识别气隙、裂纹缺陷;在线监测系统实时采集泄漏电流,结合湿度数据评估绝缘性能。多技术协同,可提前发现绝缘子老化、闪络隐患,避免因绝缘失效引发线路跳闸,筑牢线路绝缘防线。

3.1.2 导线状态监测

导线承担电能传输重任,其状态直接影响输电效能。利用光纤光栅传感器监测张力变化,防范覆冰、大风致断线;红外测温检测接头与压接处温度,排查接触不良与过载;无人机搭载高清摄像和激光雷达,分析导线磨损、断股等损伤。多手段结合,精准掌握导线力学与电气状态,为线路维护、改造提供数据支撑,保障输电稳定。

3.1.3 金具状态监测

金具负责导线与绝缘子连接固定,其故障易引发线

路事故。振动分析通过采集风振、电动力下的振动信号,判断线夹、螺栓松动;超声波检测发现内部裂纹;机器视觉巡检利用深度学习算法识别锈蚀、变形。多技术联动,实现金具机械连接与结构完整性全方位监测,防止因金具失效导致导线脱落,确保线路机械结构安全。

3.1.4 雷电监测与定位

雷电是威胁输电线路的重要灾害。雷电监测系统通过多探测站组网,基于电磁脉冲信号时差与方向定位算法,精准计算雷击位置、时间,分析雷电流参数评估绝缘冲击风险。结合历史雷击与气象预报数据,预测雷电高发区域时段,辅助运维优化防雷措施,降低雷击跳闸率,提升线路抵御自然灾害能力。

3.2 杆塔及基础状态检修

3.2.1 杆塔倾斜监测

杆塔倾斜监测采用高精度传感器与智能分析系统结合的方式。通过在杆塔关键位置安装倾角传感器和 GNSS 监测设备,实时采集杆塔倾斜角度和位移数据。倾角传感器利用重力加速度原理,精确感知杆塔微小的角度变化;GNSS 设备则通过卫星定位,监测杆塔在水平和垂直方向的位移。数据传输至后台后,系统运用机器学习算法分析历史数据与实时变化趋势,一旦发现杆塔倾斜速率异常或超过安全阈值,立即触发预警。该技术能有效应对地质沉降、强风等因素导致的杆塔倾斜风险,提前防范倒塔事故,保障输电线路稳定运行。

3.2.2 杆塔腐蚀检测

杆塔腐蚀检测综合运用多种无损检测技术。超声波测厚仪通过发射高频超声波,测量杆塔钢材的剩余壁厚,根据声波反射时间差异,精准计算出钢材腐蚀后的厚度变化,判断腐蚀程度;涡流检测则利用电磁感应原理,在钢材表面产生感应电流,当钢材表面及近表面存在腐蚀缺陷时,涡流分布发生改变,检测探头捕捉变化信号并分析,确定缺陷位置和大小。此外,还可采用红外热成像技术辅助检测,通过分析钢材表面温度分布异常,发现潜在的腐蚀隐患,从而制定针对性的防腐维护方案,延长杆塔使用寿命。

3.2.3 基础沉降监测

基础沉降监测借助静力水准仪和光纤光栅传感器实现精准感知。静力水准仪通过连通管原理,监测多个测量点的液位变化,以此反映基础的相对沉降情况,可直观呈现基础各部位的沉降差异;光纤光栅传感器则利

用光的波长变化,实时测量基础结构的应变和位移,当基础发生不均匀沉降时,光纤光栅的物理形变导致反射光波长偏移,通过解调仪解析波长变化量,便能获取基础沉降数据。两种技术协同工作,结合大数据分析模型,可对基础沉降趋势进行预测,一旦出现异常,及时发出预警,便于运维人员采取加固措施,确保杆塔基础稳固。

3.3 变电站设备状态检修

3.3.1 电气设备局放监测

电气设备局放监测通过在变压器、GIS 等设备上部署专业监测装置实现。高频电流传感器安装于设备接地线上,捕捉局部放电产生的高频脉冲电流信号;特高频传感器则利用设备内部局部放电激发的特高频电磁波,检测信号强度和频率特征。这些传感器将采集到的信号传输至数据分析系统,运用脉冲序列分析、相位模式识别等算法,对放电信号的幅值、相位、频次等参数进行深度分析。

3.3.2 接地系统状态检测

接地系统状态检测依赖专业仪器与现场检测相结合的方法。接地电阻测试仪采用四极法或钳表法,测量接地装置的接地电阻值,判断其是否符合安全标准;土壤电阻率测量仪通过向土壤注入电流,测量土壤的导电性能,评估土壤特性对接地系统的影响。此外,运用探地雷达技术对地下接地体进行扫描,通过分析雷达回波图像,检测接地体的腐蚀、断裂和分布情况;结合开挖检查,直接观察接地体的实际状况^[3]。

结束语

输电设备状态检修技术打破传统运维模式局限,通过多技术融合实现设备健康状态的精准把控。从红外测温、智能诊断到寿命预测,该技术显著提升了电网运行的可靠性与经济性,有效降低了突发故障风险和运维成本。随着物联网、大数据与人工智能技术的不断革新,状态检修技术将朝着更智能、更高效的方向发展,进一步实现设备全生命周期管理。

参考文献

- [1]李明.输电线路状态检修技术分析[J].中国高新技术企业,2022(29):108-109.
- [2]李庆兴,吴翔,吴伟,叶辉,廖志斌.输电线路状态检修及维护分析[J].中国高新技术企业,2021(27):171-172.
- [3]黄锐,冉建.输电线路状态检修工作探讨[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2022(08):183-184.