

变压器多维度综合监测边缘计算装置

上海朋禾智能科技有限公司

1 目标和概述

电力设备的安全运行与电气设备的有效检测密切相关，因此如何建立电气设备状态监测系统十分重要。对电气设备运行状态进行实时评估和诊断，能够大幅度提高电网运行的可靠性。电力变压器作为电力系统中的重要组成部分，针对电力变压器的状态感知显得尤为重要。通过调研2020年全国66kV及以上两万多台变压器的事事故率、故障跳闸原因，发现故障类型多样，数量分布平均是最大的特征。现阶段的电力变压器监测方案检测手段较单一，运检人员无法远程监测，且无法较为全面地对变压器进行评估，如何高效精准地判断电力变压器的状态已成为运检人员的痛点。本项目通过引入工业互联网云平台与高性能边缘计算硬件对变压器状态进行评估监测，从局部放电、接地电流、振动，再到红外测温、油色谱，增加了输入数据的多样性，为全局精确判断变压器状态提供数据支撑。然后，通过边缘计算，实现计算能力下沉，以提高站内数据计算的时效性，减少网络传输压力，并建立多源数据融合的变压器状态感知模型，对变压器状态进行多源融合判断与分析，给出健康度评估，增强监测系统的鲁棒性，符合当下边缘计算高可靠性、低时延性、高安全性的特征。

2 方案介绍

变压器多维度综合监测边缘计算装置分为智能感知层、边缘计算层及云端应用层。具体主要包括能够快速检测和故障诊断的多种监测装置及其外置传感器、户外用柜体、移动无线通讯网络以及变压器运行状态评估系统软件，其系统架构及边缘端模型算法如图1所示。



图1 系统架构图

2.1 智能感知层

智能感知层主要指可以对变压器状态进行各类感知的传感器及仪器仪表等。通过高精度传感技术实现对变压器状态的采集，采集信息包括振动传感器、局放超声传感器、局放射频传感器、局放特高频传感器、局放高频电流传感器、铁芯/夹件接地电流传感器、红外摄像头、油色谱IED等。传感器全部采用快速安装方式，比如磁吸附方式和开口式互感器方式等，每种通道数量可灵活配置。

2.2 边缘计算层

边缘计算层主要指站端部署的边缘计算监测装置，负责对各类传感器信号及其他监测的数据进行采集、接收及处理分析。高性能的边缘计算能够有效缓解服务器的压力，对于需要快速响应的事件有较好的效果。不同类型的传感器获取的数据在时域的表现形式是完全不同的。对于比较直观的铁芯接地电流监测，它们经过传感器到信号处理模块再到数据分析模块，其在感知层接收

的数据是随时间小范围波动的曲线，通常只需要设定阈值即可判断出来。而对于高频、特高频、超声波传感器传输的数据，因其频率高，需要经过特定的处理后再传到数据汇聚层。系统内置变压器多维综合分析系统软件，可实现基于综合数据分析的预警报警及相关图谱数据的站端展示，方便站端调试人员及设备维护人员进行就地查看分析。同时，装置负责将处理分析结果通过4G（兼容5G网络）移动无线电力专网实时上送至各应用平台，如站内监测后台、精益信息管理平台或其他信息子站等。

此外，该变压器多维度综合监测边缘计算装置的柜体采用全密封设计，外壳为冷轧钢板材料，满足室外长期运行要求，能够在极端恶劣环境和变电站强电磁干扰环境下安全可靠运行，如图2所示。



图2 边缘计算监测装置

2.3 云端应用层

云端应用层主要包含业务逻辑设计和数据可视化设计两部分，业务逻辑设计包含了边缘端、云端、应用端之间存在的交互逻辑，通过设定合理的判断逻辑，进行信号处理。例如当边缘端检测到故障时便上传至云端，云端再将通知发送至应用端，应用端则针对不同的客户群体推送对应的消息，如图3所示。

数据可视化设计，包括电科院精益信息管理平台或变压器综合监测云平台的可视化设计。数据可视化设计包含了各个系统检测模块状态、检测设备传感器数量、检测系统自身状态、变压器周边环境、变压器系统状态、油气评估结果以及具体故障类型诊断等。通过在线

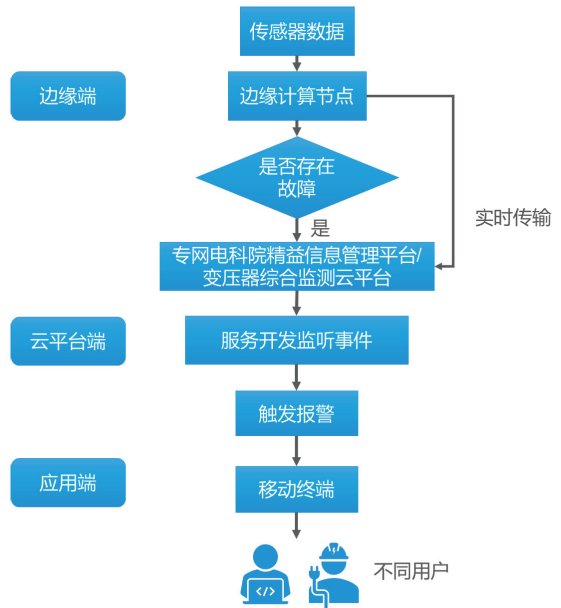


图3 报警触发业务逻辑图

监测的局部放电、振动、油气等大量实时上送的数据，结合离线输入的变压器结构、出厂试验等参数，完成变压器内部故障的进一步分析诊断，实现对变压器运行状态的综合评估，并形成有效的评估诊断结果，为运维人员提供科学有效的参考依据，能够有效延长设备运行时间，制定合理检修计划，防范突发故障的发生。同时，平台可融合大数据智能分析、数字孪生等技术，实现更加数字化、智能化的应用。

2.4 声电联合监测功能

为了解决变压器局部放电脉冲特征提取过程中易受电力现场电磁干扰的问题，系统采用一种多维数据融合的变压器局部放电干扰抑制方法。该方法首先对布置于变压器外部的射频传感器、布置于变压器铁芯接地处的高频电流传感器及套管处的声发射传感器进行数据采集；然后采用基于稳定时延最大脉冲数的脉冲点定位算法剔除高频中与射频数据同源的脉冲，并采用该算法对剩余高频脉冲数据和不同位置处的声发射数据进行同源脉冲捕捉，实现对高频信号中外空线上的放电干扰、随机电磁干扰等的抑制，并可根据不同位置处声发射数据的最大脉冲数对应时延确定局放发生位置。



本算法主要包括四步:

(1) 对布置在变压器特定位置的射频传感器、高频电流传感器、声发射传感器进行数据采集和信号预处理, 得到对应类型传感器的脉冲最大幅值序列 $\{A\}$ 、最大幅值点对应工频相位序列 $\{P\}$ 、最大幅值点对应时间戳序列 $\{t\}$;

(2) 对高频脉冲点附近满足条件 $|t_h - t_{rf}| \leq t_l$ 的射频信号脉冲点进行剔除, 得到提纯高频脉冲点, 其中 t_h 、 t_{rf} 分别为高频和射频脉冲发生的时刻。由于在整个周期的时间历程中, 脉冲信号具有一定的稀疏性, 当射频和低频信号同时出现或时间较为接近时, 可近似认为二者为相同信号源激发, 本步骤利用该特性实现二者的信息融合;

(3) 对提纯高频脉冲点附近满足条件 $|t_h - t_{ae}| \geq \tau$ 且 $|t_h - t_{ae}| \leq (\tau + dt)$ 的声发射信号进行数目统计, 其中 t_{ae} 为声发射脉冲发生时刻, $\tau < t_l$, dt 可取 $\frac{t_l}{100}$, 得到满足条件的数目最大脉冲对应时延 τ 及脉冲序列, 并依次对不同位置的声发射传感器数据进行上述处理;

(4) 进行PRPD及PRPS (Phase Resolved Pulse Sequence) 谱图绘制, 得到去除外界周期干扰和随机干扰的脉冲谱图。当该谱图具有局部放电特点时, TDOA (Time Difference of Arrival) 定位, $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ 依次为三个声发射传感器安装位置, 综合不同位置处声发射信号的时延 τ 即可确定局放位置。

算法原理如图4所示。

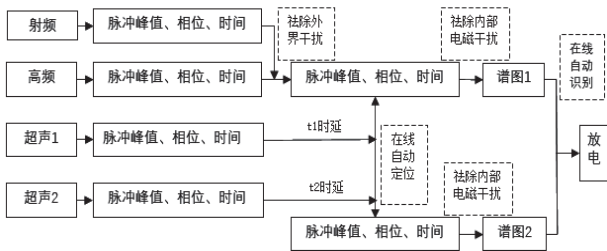


图4 算法原理图

2.5 声纹振动监测算法

变压器过载、不平衡负载、谐波负载、严重过热、直流偏磁、局部放电、绕组铁心松动、附件松动等多种缺陷均与变压器运行声音及振动有关。常见的变压器状态监测与故障诊断方法所采用的状态量包括: 油色谱、

电磁、温度等, 通常诊断发现时设备缺陷和故障已经形成, 因此诊断存在滞后性。可听噪声与振动伴随变压器运行产生, 声音与振动的幅值、时域波形、频谱特性、其运行电压、电流、机械状态、励磁状态、绝缘状态等密切相关, 可及时反映设备运行状态变化。

声纹监测具有以下技术优势:

- (1) 无需接触带电设备, 不改变设备运行状态, 安装方便;
- (2) 能够实时跟踪设备运行状态变化, 检测灵敏度高;
- (3) 补充了现有监测状态量的缺失, 增加了声振低频20Hz~20kHz范围内的故障诊断方案。

一般而言, 变压器的声音在短期内不会发生显著变化, 可认为是准平稳信号。对比正常情况, 异常情况下变压器频谱分布特性发生显著改变。从声谱图中提取能够反映变压器运行状态的关键特征参数, 并据此对变压器运行状态进行评价。

经过长期的研究积累, 总结能够对变压器运行状态故障进行监测和故障诊断的多个核心特征, 该声纹特征参数对于变压器状态评价效果较好, 不同声纹特征参数均在一定程度上反映了变压器的运行状态。

3 代表性及推广价值

该方案已成功部署在河北、山东、天津、内蒙的变电站, 通过声电联合监测与声纹振动监测准确地揭露了多地变压器存在的问题, 向巡检人员给出预警, 在带电检测的证实下, 提升了巡检人员的巡检效率, 降低了巡检的成本, 帮助该变电站提高对变电站主设备的远程智能监控和管理水平, 提高供电能力和供电可靠性, 降低主设备故障发生率, 提高对主设备告警应急处理能力, 满足相关企业标准和反措要求, 保障变电站安全可靠运行。同时也建立变电站主设备工作运行声音的诊断分析方法, 通过采集多通道的变电站主设备运行时的音频数据, 研究声音降噪、量化、分析方法, 并将声音与现有的监测手段相结合, 实现设备运行状态的全天候、自动化、综合性诊断, 对保障无人值守条件下变电站的安全稳定运行, 具有重要的现实意义。 **AP**