

探究变电站设备运行维护中红外诊断技术的运用

孙剑宇

国网黑龙江电力有限公司红兴隆供电分公司 黑龙江双鸭山

【摘要】随着电力需求的持续增长，变电站作为电力系统枢纽，其设备运行维护的重要性日渐明显。红外诊断技术凭借非接触、实时监测等优势，在变电站设备运行维护中发挥着关键作用。基于此，本文主要分析红外诊断技术原理、特点及其在变电站设备运行维护中的应用，希望可以为电力行业高效运营提供帮助。

【关键词】变电站设备；运行维护；红外诊断技术

【收稿日期】2025 年 5 月 12 日

【出刊日期】2025 年 6 月 4 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250248

Exploring the application of infrared diagnostic technology in the operation and maintenance of substation equipment

Jianyu Sun

State Grid Heilongjiang Electric Power Co., Ltd. Hongxinglong Power Supply Branch, Shuangyashan, Heilongjiang

【Abstract】 With the continuous growth of electricity demand, the importance of equipment operation and maintenance in substations as the hub of the power system is becoming increasingly apparent. Infrared diagnostic technology plays a crucial role in the operation and maintenance of substation equipment, thanks to its advantages of non-contact and real-time monitoring. Based on this, this article mainly analyzes the principle, characteristics, and application of infrared diagnostic technology in the operation and maintenance of substation equipment, hoping to provide assistance for the efficient operation of the power industry.

【Keywords】 Substation equipment; Operation and maintenance; Infrared diagnostic technology

在现代社会发展中，电力供应稳定性会直接关系到社会生活正常运转。变电站作为电力系统中的变换电压、接受和分配电能的关键环节，其设备稳定运行十分重要。但需要注意的是，变电站设备长时间处在高电压、大电流工作环境中容易出现各种故障，如停电事故。传统设备检测方法（如人工巡检、定期预防性试验等）存在检测效率低、无法实时监测、难以发现早期故障等局限性。随着科技不断进步，红外诊断技术应运而生，其可以为变电站设备运行维护提供全新解决方案。

1 红外诊断技术概述

1.1 技术原理

任何物体只要温度高于绝对零度都会向外辐射红外线，物体温度越高，辐射的红外线能量就越强。红外诊断技术就是基于这一原理，利用红外探测器接收设备表面辐射的红外线，并将其转换为电信号或热图像信号，通过对这些信号的分析处理，就能够得出设备表

面温度分布情况，进而判断的设备是否存在故障^[1]。例如，当设备内部存在局部过热、接触不良等问题时，其表面温度也会随之升高，红外诊断设备可以及时捕捉到这些温度变化，然后以图像或数据形式呈现给运维人员。

1.2 技术特点

（1）非接触检测。无需与设备直接接触，避免因接触检测对设备造成的损坏，同时也可以提高检测安全性，适用于高电压、强电流等危险环境下的设备检测；（2）实时监测。可以对设备进行不间断监测，以便及时发现设备运行中的异常情况，实现故障早期预警，进而为运维人员争取更多处理时间；（3）快速高效。可以快速扫描大面积设备，获取设备表面温度信息，与传统检测方式相比，能够在更短时间内完成对变电站设备的全面检测；（4）直观准确。以热图像或温度数据形式直观展示设备温度分布情况，运维人员能够清晰

看到设备发热部位,以及温度变化趋势,这样便于准确判断故障位置及程度。

2 红外诊断技术在变电站设备运行维护中的应用优势

2.1 有利于提高检测效率

在变电站设备运行维护领域,传统检测方式通常需要停电进行检修,并且还要对设备逐一进行拆卸、检查与测试,流程复杂且耗时较长。这不仅会影响电力供应连续性,也会对社会生产和居民生活带来诸多不便^[2-3]。而红外诊断技术的非接触式检测特性,并不需要中断设备运行就能对变电站内的关键设备进行实时监测。如以一个拥有数十台主设备的中型变电站为例,如果采用传统检测方法,需要分批次停电,并安排多个专业小组配合,从设备停运、检测到恢复供电,整个流程需要数十天时间。运用红外热像仪,技术人员只需要按照既定路线对设备进行扫描,并利用热成像原理就可以快速捕捉到设备表面温度分布情况,仅需要几个小时就可以完成检测。这种方式不仅可以提高检测效率,还可以减少停电时长,进而保障电力系统稳定运行。

2.2 有利于实现早期故障预警

变电站设备在运行阶段,即使出现轻微故障,也会导致热量散发异常,这些细微温度变化就是设备故障的早期征兆。红外诊断技术就好比设备的温度监测仪,可以快速捕捉到设备表面 0.1°C 甚至更小温度差异^[4]。无论是因电气接头接触不良导致的局部发热,还是变压器绕组内部的隐性缺陷引发的温升,红外诊断设备都可以诊断出来。一旦检测到异常温度点,系统会立即触发预警机制,并结合预设温度阈值和历史数据判断故障类型。运维人员在接收到预警信息后,就可以及时安排专业人员对设备进行检查处理。在故障尚处于萌芽状态时就介入,不仅能避免故障恶化,还有助于防止设备突发损坏。

2.3 有利于降低运维成本

红外诊断技术应用能够从多个维度降低变电站运维成本。一方面,通过早期发现设备故障隐患,运维人员就可以提前制定维修计划,并有针对性的准备备品备件,避免因设备故障导致大规模停电事故发生;另一方面,红外诊断技术自动化监测功能,可以使设备巡检不再完全依赖人工逐点排查。原本需要多人、高频次完成的巡检工作,借助红外在线监测系统可减少人力投入和巡检频次。同时,由于可以及时处理设备问题,也能够延长设备使用年限,进而降低设备全生命周期运维成本。

3 分析红外诊断技术在变电站设备运行维护中的应用

3.1 变压器故障检测

变压器是变电站的核心设备之一,其运行状态会直接影响整个变电站正常运行,而运用红外诊断技术可以对变压器多个部位开展检测。其一为绕组故障检测。当变压器绕组出现短路、接触不良等故障时,就会导致局部过热^[5-6]。红外诊断设备可以通过检测绕组表面的温度分布,发现温度异常升高的部位,判断绕组是否存在故障。例如,某变电站利用红外热像仪对变压器进行检测时,发现绕组某一部位温度比正常情况高出 20°C ,经进一步检查确认该部位存在绕组短路故障,通过及时维修避免了故障扩大;其二则是套管故障检测。套管是变压器与外部电路连接的重要部件,其绝缘性能直接影响变压器的安全运行。通过红外诊断技术检测套管的温度,可以判断套管是否存在绝缘老化、局部放电等故障。如套管表面温度不均匀,出现局部高温热点,就说明套管可能存在绝缘缺陷。

3.2 断路器故障检测

断路器运行可靠性会直接关系到电力系统安全稳定,在长期高频率开合操作与大电流冲击下,断路器触头很容易出现各种各样的故障隐患,如接触电阻增大、触头氧化等。在实际运维工作中,红外诊断技术通过两种方式可对断路器进行精准检测。其一为定期巡检模式,即运维人员携带便携式红外热像仪,按照标准化巡检路线对断路器进行扫描。热像仪以每秒25-50帧的采集速度,能快速捕捉设备表面温度分布,生成分辨率为 640×480 像素的红外热图。在检测过程中,技术人员要重点关注触头、接线端子、灭弧室等易发热部位,依据DL/T 664-2016《带电设备红外诊断应用规范》,当触头温度超过环境温度 25K (开尔文),或三相触头温差超过 15K 时,系统自动标记异常并生成预警报告;其二是在线监测系统。在枢纽变电站中,可部署固定式红外在线监测装置,以此对重要回路断路器进行 7×24 小时不间断监测。这些装置配备了高精度红外传感器,测温精度可达 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,能实时采集设备表面温度数据,并上传至智能运维平台^[7]。当监测到触头温度在10分钟内上升速率超过 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$,或温度达到 85°C (铜触头)、 75°C (铝触头)等阈值时,系统立即触发三级预警机制,同时联动视频监控系统进行图像复核,为运维人员提供故障定位。如以某 500kV 变电站为例,通过引入红外诊断技术,2023年成功预判并处理了3起断路器触头过热隐患,其中一起案例为红外热像仪监测

到某断路器 A 相触头温度高达 92℃（正常 B、C 相仅为 45℃），经解体检查发现触头表面存在严重氧化层，接触电阻较正常值升高 3 倍。及时故障处理避免了因触头烧蚀引发的短路事故，据估算，若该故障未被发现，就会造成较大经济损失，同时引发区域电网连锁故障风险。红外诊断技术凭借自身检测优势，已成为保障断路器安全运行的重要技术手段。

3.3 互感器故障检测

互感器是变电站中实现高压、大电流转换隔离的重要设备，承担着电力参数测量、继电保护等功能，这一设备一旦出现故障，就会影响到变电站功能发挥。而红外诊断技术检测特征已成为互感器故障早期预警的关键手段，一方面为内部过热监测。互感器内部绕组短路、铁芯磁滞损耗异常等故障，往往会使温度逐渐升高。在运维实践中，技术人员可以采用“分层扫描+温差比对”的检测策略，可使用高精度红外热像仪（测温精度 ±2℃，空间分辨率达 0.5mrad）对互感器进行全方位扫描，重点关注绕组出线端、铁芯接缝处等易发热区域。通过生成的红外热图自动计算设备表面各点与环境温度的差值，当局部温差超过 25K（开尔文）或三相设备温差超过 15K 时，触发初步预警。对于疑似故障设备，运维人员可以进一步结合历史温度数据和负荷曲线进行分析。例如，某 220kV 变电站在例行巡检中，红外热像仪显示一台电流互感器 B 相整体温度比 A、C 相高 18℃，最高温度达 72℃（正常运行温度约 50℃）。通过调取该设备近 30 天的温度数据，发现其温度呈持续上升趋势，日均增幅达 0.5℃。经停电解体检查，确认内部绕组存在匝间短路，然后在此基础上对故障进行了及时处置，进一步避免了因绝缘击穿引发的设备损毁；另一方面为绝缘性能检测。互感器出现绝缘老化、受潮等问题，就会增加绝缘介质损耗，进而引发局部发热。红外诊断技术可对绝缘性能进行量化评估，在过程中运维人员可利用红外热像仪对互感器瓷套、环氧树脂绝缘件等部位进行检测，设备内置智能算法能够自动识别表面温度分布的异常梯度^[8]。当绝缘层某区域温度较相邻部位高出 8-10℃，且存在明显“热斑”特征时，系统判定绝缘性能下降。在某 500kV 变电站的在线监测案例中，红外在线监测系统发现一台电压互感器的瓷套中部出现局部温度异常，最高温度达 65℃（环境温度 25℃），形成明显的“环状热区”。经介损测试验证，该区域介质损耗因数（ $\tan \delta$ ）从正常的 0.3% 骤升至 1.8%，确认存在绝缘受潮问题。通过更换绝缘

部件，避免了因绝缘崩溃导致的设备爆炸风险，很好的为电力系统安全稳定运行提供了保障。

4 结束语

结合全文，红外诊断技术是一种先进的非接触式检测模式，在变电设备运行维护中具有明显优势，通过对关键设备温度监测和故障诊断，可以及时发现设备故障隐患，进而实现早期预警及预防性维修，这对于提高电力系统供电质量有一定帮助。随着科技的不断进步，红外诊断设备还应朝着高精度、智能化方向发展，通过大数据分析及人工智能算法对设备运行状态进行实时评估预测，以便提前制定维护策略，长此以往，可以为电力系统可持续发展奠定强有力的基础。

参考文献

- [1] 张玉超. 大数据下智能变电站设备运维检修系统设计与实现[J]. 电力设备管理, 2025, (01): 108-110.
- [2] 温嘉焯, 徐国栋, 齐保振, 等. 基于 WAPI 网络的变电站智能运维场景实现与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2024, 22(12): 83-89.
- [3] 朱冬剑. 基于提升 500kV 变电站设备运维效率的多维数据在线监测系统的研究与应用[J]. 科技与创新, 2024, (24): 167-169.
- [4] 华晓杰. 配网自动化技术在变电站一次设备运维中的应用[J]. 电子产品世界, 2024, 31(12): 58-60+68.
- [5] 叶强, 姜之栋, 张亮. 变电运维中红外测温技术应用与故障诊断[C]//中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(六). 国网乌鲁木齐供电公司, 2024: 44-46.
- [6] 杨可军, 张可, 黄文礼, 等. 基于数字孪生的变电设备运维系统及其构建[J]. 计算机与现代化, 2022, (02): 58-64.
- [7] 王敏, 李雪松, 王堃, 等. 人工智能技术在电力设备运维检修中的研究及应用[J]. 信息记录材料, 2022, 23(01): 116-118.
- [8] 黄炎. 试析变电站 GIS 设备的故障诊断及检修[J]. 电子测试, 2019, (24): 104-105.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

