

变电运维中红外测温技术的应用与故障预警对策

申 军

国能长源湖北新能源有限公司 湖北广水 432700

摘 要: 当前变电设备过热故障频发,传统接触式测温存在停电操作、检测局限大等问题,难以满足电网高可靠性运维需求。本文针对此开展红外测温技术应用研究,先阐明其热辐射原理、技术优势及精度影响因素,再分析多设备场景应用,结合故障案例提炼热特征,构建三级预警与智能联动机制。实例验证该技术可精准识别过热缺陷,推动运维模式转型,为电网安全运行提供支撑。

关键词: 变电运维; 红外测温技术; 故障预警; 热特征识别; 设备状态监测

引言

电力系统逐步向高电压、大容量、智能化演进,变电设备作为核心组成,其安全运行直接关系电网供电可靠性。设备发热故障常引发停电事故,传统接触式测温需停电、检测范围窄且无法实时监测,难以适配复杂运维场景。红外测温技术依托热辐射原理,可非接触、远距离实时检测,直观呈现设备温度分布并发现隐蔽过热缺陷,近年在变电运维中应用深化,推动运维模式转型。开展该技术原理、应用场景及故障预警机制的研究,对提升变电运维智能化水平具有重要意义。

一、红外测温技术的基本原理与技术特点

(一) 红外测温的物理基础

红外测温技术的物理基础围绕热辐射特性与设备成像机制展开。所有高于绝对零度的物体均会辐射红外线,其辐射功率遵循斯蒂芬-玻尔兹曼定律,通过检测该辐射能量可反推物体表面温度;红外热像仪则借助光学系统收集红外信号,经探测器、信号处理单元转化处理,最终以灰度或伪彩色热图像呈现设备温度分布,实现温度可视化。

(二) 技术优势分析

红外测温技术在变电运维中优势显著,具体如下表:

表1 红外测温技术的技术特点

优势	具体详情
非接触、远距离、实时在线检测	无需接触设备,可在设备带电运行时检测,避免停电影响供电。 ·检测距离可达数米至数十米,满足高压、高空设备测温需求。 ·部分在线系统支持24小时连续监测温度变化。
全面可视化温度分布,直观识别“热点”	相比传统单点测温,红外热像仪可呈现设备整体温度场。 ·快速定位局部过热区域,便于判断故障位置与严重程度。
适用于复杂环境	具备良好的抗电磁干扰能力,可在强电磁环境下稳定工作。 ·耐受温度范围广(-30℃~60℃),适应户外恶劣气候。 ·满足不同地域变电站运维需求。

二、红外测温在变电运维中的主要应用场景

(一) 变压器类设备检测

在变电运维红外测温应用中,变压器类设备检测是重要一环。主变套管作为连接变压器与外部电网的关键部件,内部绝缘老化或接头接触不良易致局部过热,红

外测温可监测其法兰与接线端子温度,同侧温差超10℃需警惕故障,高压、低压侧接头异常及散热器积灰堵塞也能通过红外热像识别。此外,油浸式变压器冷却系统故障致油温升高时,红外测温可监测散热器与油温差值,超5℃~8℃即显异常;干式变压器则可通过监测绕组温度分布,判断冷却风扇及风道状态。

(二) 开关类设备检测

在变电运维红外测温场景中,开关类设备检测是关

作者简介: 申军(1978.01-),男,汉,湖北荆门,本科,助理工程师,研究方向:电力新能源方向。

键环节。断路器动静触头长期运行易因磨损、氧化增大接触电阻，合闸时伴随过热，红外测温可实时监测其温度，超环境温度30℃需排查接触故障；导电回路母线、接线板螺栓松动引发的局部过热，也能通过热图像点状或条状高温区域快速定位。隔离开关因操作频繁致触头磨损氧化、接触不良，合闸时触头与母线温差超15℃需处理；负荷开关灭弧室故障致温升，红外热像可辅助确定故障位置，为维修提供方向。

（三）连接与接续部位检测

在变电运维红外测温工作中，连接与接续部位检测是保障设备安全的重要内容。耐张线夹负责固定导线，压接缺陷或内部锈蚀会增大接触电阻并引发过热，红外测温可监测其温度，当线夹与导线温差超10℃时需排查故障；电缆终端头绝缘老化、密封失效产生的热点，以及母排连接点紧固不到位导致的过热，也能通过红外测温及时发现。此外，用于导线分支连接的并沟线夹易因安装工艺、材质问题出现接触不良，引流线接头易因受力不均松动，依托红外测温可实时监控这些部位温度，避免断线事故。

（四）绝缘设备检测

在变电运维红外测温的应用中，绝缘设备检测是防范故障的重要环节。瓷质绝缘子串若含零值绝缘子，会因泄漏电流增大引发局部过热，红外测温可检测各片温度，零值绝缘子较正常绝缘子温度高10℃~20℃；绝缘子表面附着污秽且环境潮湿时，易形成导电通道致发热，热图像中可见其表面整体温升。复合绝缘子内部有气泡、杂质或芯棒老化，会使绝缘性能下降、局部电场集中并过热，红外测温能捕捉伞裙、芯棒温度异常，缺陷处较正常区域高5℃~15℃，需结合其他手段明确缺陷类型。

（五）其他关键设备

在变电运维红外测温场景中，其他关键设备检测是重要组成部分。电抗器运行时，若铁芯饱和或绕组短路易引发局部过热，红外测温可实时监测铁芯与绕组温度分布，正常时温度需均匀，出现热点则需排查铁芯故障或绕组缺陷；电容器组单台故障会致整组温度不均，红外热像能快速定位故障电容器，防止故障扩大。接地网、接地极连接点锈蚀或松动会增大接地电阻，故障时易过热，红外测温可在设备运行或预防性试验时检测其温度，超环境温度20℃需排查接触不良或腐蚀问题。

三、典型故障案例分析与热特征识别

（一）接触不良引发的过热故障

某220kV变电站110kV隔离开关日常红外测温时，检出A相触头温度达85℃，环境温度25℃，温差60℃超正常阈值，停电检查确认触头表面氧化形成氧化层，导致接触电阻增大、运行产热过量。其热像特征为触头区域显红色高温点，与周围部件温差显著，高温区集中于触头接触部位且范围小，温度随负荷电流升高，无整体升温趋势。

（二）设备过载运行

某110kV变电站主变低压侧母排长期处于过载状态，实际负荷达额定负荷的120%，红外测温显示母排整体温度65℃、环境温度28℃、温差37℃，且母排与断路器连接部位温度达72℃，存在局部过热风险。热图像中母排呈均匀黄橙色温度分布，无明显单点热点，温度随负荷变化波动，连接部位因接触电阻与过载叠加略高温，形成温差梯度但无极端高温点。

（三）内部缺陷与老化故障

某220kV变压器高压侧套管红外测温时，检出根部温度达78℃，同侧其他套管温度为42℃，温差36℃，停电解体检查确认套管内部密封胶老化，致绝缘油渗漏、局部绝缘性能下降引发过热。热图像中过热区位于套管根部，呈不规则片状，温度分布非对称且隐蔽，需近距离多角度检测，受负荷影响小、随缺陷发展升温。

（四）绝缘劣化故障

某500kV线路绝缘子串雨后红外测温时，发现3片绝缘子温度达55℃，其余为30℃、温差25℃，停电检测确认这3片为零值绝缘子，绝缘性能丧失，雨后表面污秽受潮形成导电通道引发泄漏电流发热。热图像中零值绝缘子呈沿伞裙分布的条状热点，温度自顶向底升高，热点与污秽分布一致，潮湿环境下异常更明显，绝缘子串温度分布不均且分界清晰。

四、基于红外测温的故障预警机制构建

（一）预警等级划分标准

结合变电设备运行规程与红外测温数据特征，将故障预警划分为三个等级：（见下表2）

（二）数据管理与趋势分析

1. 建立设备红外测温档案

针对变电站内变压器、断路器、绝缘子串等每台关键设备，需单独建立红外测温档案。档案中需详细记录每次检测的具体时间、环境温湿度、风速等条件，同时

表2 红外测温故障预警等级划分标准

预警等级	温差范围/温度要求	风险程度	处置原则
一般缺陷	局部与正常区域温差 10-15℃	无明显安全风险	关注温度变化趋势，纳入常规运维计划处理
严重缺陷	局部与正常区域温差 15-40℃	存在一定安全风险，可能影响设备短期运行	限期处理，72小时内安排停电处置，避免缺陷扩大
危急缺陷	局部与正常区域温差 > 40℃；或绝对温度超设备耐受阈值	存在立即跳闸风险，可能导致设备烧毁或引发火灾	立即停电处理，紧急消除故障隐患

涵盖测量距离、测量角度、获取的温度数据及对应的热图像信息。每季度、每年度需对历史检测数据进行系统汇总，梳理形成设备温度变化曲线，为后续开展温度对比分析、掌握设备温度波动规律提供数据支撑。

2. 结合负荷曲线进行温度变化趋势预测

需将红外测温获取的温度数据与设备负荷曲线（如变压器实际负荷、线路运行电流）开展关联分析，构建“温度-负荷”数学模型。以主变绕组为例，可通过历史数据拟合其温度与负荷电流的线性关系，当负荷出现增长时，依托该模型能预测绕组温度变化趋势，提前识别因过载可能引发的过热风险；若实际温度变化与模型预测结果存在偏差，则需进一步排查设备是否存在内部缺陷。

(三) 智能预警系统建设

1. 红外图像自动识别与异常报警功能

依托深度学习算法搭建红外图像自动识别系统，该系统可对采集到的热图像开展智能化分析，自主完成热点区域定位、温差计算及缺陷等级判定工作。当系统识别出严重缺陷或危急缺陷时，会立即启动多渠道预警机制，通过声光报警、短信通知及运维平台信息推送等方式，向运维人员实时传递预警内容，有效压缩故障响应周期，为及时处置隐患创造条件。

2. 与PMS数据联动，实现闭环管理

推动红外测温预警系统与生产管理系统（PMS）的对接融合，使预警信息能够自动同步至PMS的缺陷管理模块。运维人员可在PMS系统内接收缺陷处置任务，结合实际情况制定处理方案并详细记录整个处置流程。待缺陷处理完毕后，借助红外测温手段进行效果复核，再

将复核结果录入PMS系统，构建起“预警发起-任务处理-结果复核”的完整闭环管理流程，保障每一项缺陷都能得到彻底有效的处置。

结语

红外测温技术以非接触、可视化、实时化优势，成为变电运维故障检测核心技术，在关键设备过热故障识别中作用突出。分析典型故障热特征可精准定位问题，构建相关预警机制能推动运维从被动检测转向主动预警，提升电网安全运行水平。未来需深化其与人工智能、大数据融合，优化算法、加强多源数据联动，推进云边协同，为智能变电站与新型电力系统建设提供支撑。

参考文献

[1] 李荪. 基于红外测温技术的变电设备温度异常检测研究 [J]. 电气技术与经济, 2024 (10): 57-59.

[2] 卢尧, 傅慧华, 姜春娇. 基于红外测温技术的变电运维管理与故障诊断方法研究 [J]. 电工技术, 2024 (S2): 686-688. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2024.26.234.

[3] 陈玺冰, 霍建东. 红外测温技术在变电运维电压致热型缺陷检测中的应用 [J]. 光源与照明, 2024 (12): 86-88.

[4] 刘怡. 红外测温技术在变电运维电压致热型缺陷检测中的应用 [J]. 光源与照明, 2025 (07): 120-122.

[5] 范胜国, 李泰. 电力变电设备红外测温技术在故障诊断中的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2025 (18): 173-175.