

供配电系统预防性运维中的热成像检测技术应用分析

贾振军，赵楠翔

杭州海康威视数字技术股份有限公司，浙江 杭州 310051

摘 要： 本文主要研究了供配电系统预防性运维过程中的热成像检测技术应用。包括热成像检测技术的基本原理以及基于热成像检测技术的供配电系统预防性运维方法。经研究发现，现代供配电系统运维的过程中，表面温度判断、相对温差判断、同类比较以及热像图分析都是热成像检测技术主要的应用策略。希望通过本次的研究，可以为热成像检测技术的应用与现代供配电系统预防性运维工作质量的提升提供一定参考。

关 键 词： 供配电系统；预防性运维；热成像检测技术；热像图分析

Analysis on the Application of Thermal Imaging Detection Technology in Preventive Operation and Maintenance of Power Supply and Distribution System

Jia Zhenjun, Zhao Nanxiang

Hangzhou Hikvision Digital Technology Co., Ltd, Zhejiang, Hangzhou 310051

Abstract： This paper mainly studies the application of thermal imaging detection technology in the preventive operation and maintenance process of power supply and distribution system. It includes the basic principle of thermal imaging detection technology and the preventive operation and maintenance method of power supply and distribution system based on thermal imaging detection technology. It is found that in the process of modern power supply and distribution system operation and maintenance, surface temperature judgment, relative temperature difference judgment, similar comparison and thermal image analysis are the main application strategies of thermal imaging detection technology. It is hoped that this study can provide a certain reference for the application of thermal imaging detection technology and the improvement of the quality of preventive operation and maintenance of modern power supply and distribution system.

Key words： power supply and distribution system; preventive operation and maintenance; thermal imaging detection technology; thermal image analysis

前言：

在对现代供配电系统进行预防性运维的过程中，热成像检测技术是最为先进且常用的一种技术形式。基于此，技术人员一定要明确此项技术的基本原理、主要特征及其检测方法，然后再以此为依据，结合供配电系统实际的预防性运维工作需求，对热成像检测技术加以合理应用。通过这样的方式，才可以使其技术优势得以充分发挥，尽最大限度提升该系统的运维工作质量，避免不必要的系统运行故障出现。

一、热成像检测技术概述

（一）基本原理

热成像检测技术的基本策略是通过红外线热检测元件来检测和记录成像范围之内的物体温度。将热成像检测仪用作主要的热成像检测方法，通过非接触式不停机在线检测技术来诊断供电线路、高低压配电室以及电器柜等设备设施，以此来获取其温度分布图像，对其运行状态做出形象、直观的监测。通常情况下，所

有不处在绝对零度条件下的物体都会产生波长不同的电磁辐射，温度越高的物体原子或分子便会出现越激烈的热运动，在这样的情况下，其红外热辐射也就会越强。而热辐射波长或其频率分布则和物体的温度及其性质之间具有紧密联系，因此，用来衡量物体辐射能力的量便被叫作辐射系数^[1]。通常情况下，表面颜色比较深或黑颜色的物体会具有较大的辐射系数，其热辐射效果会比较强；而表面颜色比较浅或亮颜色的物体会具有较小的辐射系数，其热辐射效果也将比较弱。

人眼一般只能看到一段很窄的电磁辐射,这段电磁辐射叫做可见光,其波长范围在 $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ 之间,对于低于 $0.4\mu\text{m}$ 的波长以及超出 $0.7\mu\text{m}$ 的波长,人眼将无法看到。而在电磁波谱里,红外区域的波长为 $0.7\sim 1.2\mu\text{m}$,此种红外辐射人眼无法看到。对于此类辐射,具体检测时,需借助于红外线热成像检测仪中的物镜来接收,并使其汇聚在光学系统里,经光电转换之后,便可将其转变成电信号,并在取景器上形成相应的热像图。通过这样的方式,便可更加直观地获取到热像图里的温度异常点,从而对被测物体的异常情况做出科学判断。

（二）主要特征

就目前的供电系统预防性运维工作来看,热成像检测技术在其中的主要应用特征体现在以下几方面:1)可使供电系统传统的故障运维与定期运维工作模式转变为预防性运维工作模式,从而及时发现系统中存在的异常,争取在故障发生之前对异常位置做到科学处理,尽最大限度避免不必要的故障产生。2)通过此项技术的应用,可有效降低传统供电系统运维工作中的人力资源消耗情况,只需要通过热成像仪便可对相应的设备异常做出及时、准确的检测,在提升运维工作效率、确保运维工作质量的同时降低人力资源的投入,并为运维检修工作人员的人身安全提供良好保障。3)通过此项技术的应用,可对供电系统中的所有线路以及设备等做到经常性的监测,甚至可以达到实时监测的工作目标,从而为其运行异常的及时发现与及时处理提供有力支持。凭借着这些优势,热成像检测技术在现代供电系统的预防性运维工作中已经得到了广泛应用,而其应用策略也成了电力单位与工作人员的重点关注内容。

（三）检测方法

在通过热成像检测技术对供电系统进行预防性运维的过程中,电力单位首先需要根据辖区内供电系统的实际情况及其预防性运维需求等,对预防性运维流程及其操作规范加以科学制定,以此来为后续的预防性运维与热成像检测提供足够科学的参考依据。其次是对预防性运维在供电系统故障与灾害发生概率降低方面的影响进行科学分析,并以此为依据,探索热成像检测技术对供电系统生产效率提升方面的积极影响及其规律,以此来实现预防性运维周期的科学确定。最后是合理设置供电系统预防性运维方面的定检机制,通过信息化技术和系统来收集、整理和储存热成像检测数据,以此来为后续的供电系统运维工作提供有力支持。在实际的预防性运维工作中,最为重要但也最具难度的一项内容就是判定系统中的故障源。基于此,在实际的运维过程中,电力单位与工作人员可将热成像检测技术获取到的数据与其他的一些相关理论、公式等有机结合,以此来建立足够合理化的故障评定标准与故障处理规范^[2]。通过这样的方式,便可使供电系统中的各类异常得到及时发现和及时处理,以此来达到足够合理的预防性运维效果,尽最大限度避免不必要的故障产生。

为达到上述目标,具体检测时,工作人员可按以下的方法对供电系统中的线路与设备等热成像检测:1)通过热成像检测仪采集现场所有电器线路以及器件等的热像图数据,将其转变

为纯数据形式,并形成相应的热成像检测报告单。2)通过数据挖掘技术或相关软件在获取到的检测数据中提取5%的最高检测数据值,以此来反应被测线路或元件的温度最高值。3)将获取到的热成像图上各个检测点的文件名与实际检测现场的相应线路或设备名称相对应,以此来实现各个线路或设备热成像检测数据的科学、全面获取,并对其温度数据做出合理的整理与归纳。4)根据整理和归纳出的热成像检测温度数据参数,制作出与检测区域内供电系统相适应的标准热成像检测数据库,将所有检测数据都储存在该数据库中,以此来为后续的系统运维提供参考。5)通过数据库中各类线路与设备热成像检测数据的获取与分析,工作人员便可对其实际运行状态做出科学判断,以此来为后续的线路或设备运维提供有力依据。

二、基于热成像检测技术的供电系统预防性运维方法

在对供电系统进行预防性运维的过程中,热成像检测技术的主要应用方法包括四个方面,第一是通过该技术合理判断线路或设备的表面温度;第二是通过该技术合理判断电路或设备的相对温差;第三是通过该技术进行同类设备运行温度的比较分析;第四是通过该技术获取到的热像图分析来判断和确定相应的系统运行故障。以下是该技术的主要应用措施分析。

（一）表面温度判断

在通过热成像检测技术进行供电系统预防性运维的过程中,表面温度判断是一项重要的运维检测内容。具体检测时,工作人员可直接在拍摄到的热像图上找出温度异常点,并根据热成像检测结果做好其温度标注,再以此为依据,对温度异常升高的点做出科学判断^[3]。比如,在某导线的热成像检测中,分别获取到了P0、P1、P2以及P4四个检测点上的温度值,其中,P0检测点上获取到的温度值是 93.84°C ;P1检测点上获取到的温度值是 59.41°C ;P3检测点上获取到的温度值是 23.50°C ;P4检测点上获取到的温度值是 22.66°C 。经获取到的热像图分析可知,该导线中的P0检测点属于发热源,对于其他部位而言,随着其与发热源之间距离的不断增大,其温度值也越来越低。经热成像检测数据分析发现,P1发热源和周边环境之间的参考温度P2之间相差 81.75K ,而根据当前的供电系统热成像检测标准,如果某一位置与其周边环境之间的温差达到 55K 以上,或其温度超过 75°C ,都可将其判定为异常高温点。基于此,在本次检测中,工作人员便可将P1点判定为异常高温点。

通过这样的方式,便可对供电系统中的线路或设备温度异常升高点做到及时发现,以便及时发现其运行异常,并为其运维工作提供科学参考,尽最大限度防止此类异常所引发的故障问题。

（二）相对温差判断

在供电系统的预防性运维检测工作中,相对温差判断也是热成像检测技术中最为常见的一种判断方法。相对温差指的是工作条件相同时,同种类型电器设备或三相对称电路里相应两个检

测点间的温度差值和其中比较热一点之间的温升百分比。比如，在某供电系统电器设备预防性运维中，工作人员主要通过热成像检测仪对某电器设备中的 P4 和 P5 两个检测点进行了测温，经检测得出，P4 检测点的温度值是 46.03℃，P5 检测点的温度值是 35.84℃，检测区域内的环境温度是 33℃。具体检测时，工作人员可按照以下公式来计算该电器设备的相对温差：

$$\delta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% \quad (1)$$

其中， δ_t 代表相对温差；T1 的值是 46.03℃；T2 的值是 35.84℃；T0 的值是 33℃。经计算得出，此次测量中的相对温差是 78.2%。经进一步判断得出，该电器设备的缺陷属于接近严重缺陷的一般缺陷。

通过这样的方式，便可对供电系统中的电力线路或电器设备相对温差做出科学检测，以此来合理判断其主要的缺陷类型，从而为其缺陷处理与故障预防工作提供科学参考，尽最大限度避免此类异常所导致的线路或设备故障。

（三）同类比较

对于供电系统的预防性运维工作而言，在热成像检测技术的实际应用中，同类比较也是一项至关重要的检测措施。具体检测时，其主要的检测方法是在同一个电器回路里，使三相电流对称以及三相负载用电设备处于相同的运行状态下，并对其三相电流制热器件所对应位置的温度升高值进行比较判断^[4]。比如，在某电器回路里，P1 和 P2 设备的三相电流对称，且三相负载用电设备具有相同的运行状态，经热成像检测发现，P2 检测点的温度值是 71.13℃，P4 检测点的温度值是 81.84℃，而与这两点相邻的 P3 检测点温度则只有 38.63℃。通过热成像检测数据对比分析可知，P2 检测点以及 P4 检测点的温度值都比 P3 检测点明显高出很多。同时，经进一步分析可知，P4 检测点属于熔断器座，其温度已经达到了 80℃ 以上，属于危急类型的缺陷，需立即进行运维处理。

通过这样的方式，便可对供电系统中的电器设备缺陷做出科学合理的对比分析，以便及时发现相应的设备运行缺陷，使其得到及时有效的运维处理。这样才可以尽最大限度避免因设备运行缺陷所导致的设备故障问题，从而为供电系统的安全稳定运行提供良好保障。

（四）热像图分析

在通过热成像检测技术进行供电系统的预防性运维时，热像图分析是最为关键的一项技术措施。基于此，具体检测时，工作人员一定要对此做到足够重视，通过热像图的科学全面分析来确定供电系统中相应的线路或设备异常情况。为达到这一目标，工作人员首先需要明确相应被测线路与设备在正常运行状态下的热像图情况。然后再将实际检测中获取到的热像图与其进行对比，通过两幅热像图是否存在显著差异来判断线路或设备的运行是否正常，并对其异常程度做出合理判断^[5]。比如，在某供电系统预防性运维工作中，工作人员发现其中间电容器的热像图与原来的热像图存在明显差异，经进一步分析可知，其温度显著高于两侧的设备温度，由此便判断该电容器存在温度异常升高情况，并及时对其进行了更换处理。经更换之后的进一步热成像检

测发现，该中间电容器与相邻的其他两个电容器运行温度基本一致，其整体热像图也与原来的热像图基本一致，由此可判断其故障已经消除。

通过这样的方式，才可以对供电系统中的线路与设备异常做出及时、有效的判断，以便工作人员及时采取合理的措施进行运维处理，从而进一步提升异常部位的运维检修效率与质量，确保整体供电系统的安全稳定运行。

（五）场景应用

热成像网络摄像机系列产品，能够实时监控被测物温度变化情况，并且可以设定被测物最低和最高温度点，让实际被测物体温度差一目了然。当被测物的温度未在所设置的温度区间内就会触发报警，现场表现为声光结合形式，通过网络或者电平方式发出报警，提示相关人员进行干预，并对报警事件进行抓拍和录像。

双光谱热成像网络摄像头除了进行被测物体红外热成像温度检测还增加了可见光图像和视频检测的功能，使摄像机的两个通道可以对一个物体进行测温与可见光检测。

热成像代表产品为：DS-2TD2967T-7X/P 热成像双光谱防爆筒机

此类型是集网络远程监控功能、视频服务器功能和高清摄像机功能为一体的新型热成像网络摄像机。

摄像机内置高灵敏度红外探测器，采用先进的被动红外热成像技术，在雨、雾等恶劣天气应用时，具有探测距离远、容易发现目标等特点。不受光照环境影响，在无光、逆光等环境下获取丰富的图像信息，真正实现全天 24 小时监控。

摄像机内置小型 WebServer 服务器、网络视频服务器、解码器及机芯，性能可靠稳定，通过浏览器或者客户端可实现远距离传输、预览及配置等操作，摄像机安装方便、使用简单，不需要繁琐的综合布线。

摄像机满足本安设计要求，外壳采用全不锈钢结构，防护等级达到 IP67 级，可广泛应用于石油、化工、码头、港口、航空、粮食加工等场所。

变电站在公司生产运行的整个电网支撑中处于核心环节，担负着所在区域的供电任务。变电站的有效安全管理至关重要，直接影响辖区电网的用电安全。在变电环节中，变压器、套管、线夹、隔离开关等关键器件，使用量大，工作可靠性要求高，一旦发生过热故障，很容易引起事故，对变电所的安全运行影响较大。所以在变电站生产与运行中合理规划与应用双光谱热成像网络摄像机产品尤为重要，只需通过网络即可实现远端监控的场景布局，实现点对点方式远程监控，随时检测变电站内各设备运行状态。在电网具体设备的应用中，热成像仪在电网中置柜设备中使用，通过红外探测和可见光对电网中置柜（户内金属铠装移开式开关柜）设备电缆室进行监视，包括：热成像图像采集装置。安装与传输方式：热成像仪安装中置柜的柜体内，采用带 POE 功能交换机供电及传输采集中置柜电缆室的图像信息；通过网络传输至监控终端，监视页面会显示中置柜状态及最高温度、平均温度，当发现温度异常时发出报警提醒。采用热成像设备对电网中

置柜监视、测温，解决了工作人员不能对中置柜运行状态进行实时监视的问题。

双光谱热成像网络摄像头在变电站应用中另一种检测场景方式为提供图像信息，达到及时预警的作用，有效减少变电站充油设备发生火灾。异常保护模块对变电站充油设备进行保护，减少变电站充油设备出现损坏。并且温度红外热成像双光监测装置，属于变电站消防安全领域，包括壳体，壳体内设置有可见光图像采集模块、红外图像采集模块、图像融合模块和中央处理器，可见光图像采集模块的输出端、红外图像采集模块的输出端分别与图像融合模块的输入端连接，图像融合模块的输出端连接于中央处理器的输入端；还包括异常保护模块，异常保护模块包括油位告警单元和降温单元，油位告警单元与中央处理器连接；降温单元与中央处理器连接，且降温单元用于对充油设备的表面进行降温。



> 变压器和 GIS 设备



> 10KV 中置柜

结束语：

综上所述，在当前的供配电系统预防性运维工作中，热成像检测技术是一种先进且有效的技术形式。通过该技术的合理应用，不仅可显著降低此项工作中的人力资源消耗，同时也可以实现其整体工作效率、质量与安全性的显著提升，从而进一步提升电力单位的供电服务质量，增加其经济效益。基于此，在具体的预防性运维过程中，电力单位与相关工作人员一定要对此项技术做到足够了解，并结合实际情况，将其合理应用到实际的预防性运维工作中，以此来实现系统运行异常位置及其异常情况的科学检测，为后续的系统运维工作提供有力的技术支持。通过这样的方式，才可以进一步提升现代供配电系统的运维工作效果，确保其良好运行与发展。

参考文献：

- [1] 武汉新朗光电科技有限公司，北京朗森科技发展有限公司. 一种红外热成像帧率检测系统及其使用方法 :CN202310444374.1 [P]. 2023-09-12.
- [2] 毛俊，郑欣宇，李怡萱. 端子热成像检测系统工艺研发方案 [J]. 内江科技，2022(12):132-133.
- [3] 刘鹏. 基于双目成像技术的电力设备监测系统设计 [D]. 浙江 : 浙江理工大学，2018.
- [4] 广州赛宝计量检测中心服务有限公司. 变配电系统综合检测装置以及数据机房供配电系统 :CN201721538512.9 [P]. 2018-05-29.
- [5] 张勇刚，王怡. 基于红外热成像技术的配电网设备温度在线监测系统设计 [J]. 电气时代，2018(4):114-116.