

Application of infrared detection technology in fault diagnosis of low voltage distribution cabinet

Yue Li¹ Zhi Liu²

1. Tianjin Dongli Jincheng Power Supply Service Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

2. State Grid Tianjin Dongli Company, Tianjin, 300000, China

Abstract

As a critical component in power distribution systems, low-voltage distribution cabinets play a pivotal role in ensuring stable and secure electricity supply. Traditional fault diagnosis methods often suffer from low efficiency and potential missed detections. Infrared detection technology, with its non-contact operation, real-time monitoring capabilities, and intuitive accuracy, has become a widely adopted solution for electrical equipment diagnostics. This paper introduces the fundamental principles of infrared detection technology, analyzes thermal characteristics of common low-voltage distribution cabinet failures, outlines practical application workflows for fault diagnosis, and proposes optimization strategies including equipment upgrades, integration of multi-technological approaches, and personnel training programs. The study provides both theoretical frameworks and practical guidance to enhance diagnostic precision and operational efficiency in low-voltage distribution cabinet maintenance.

Keywords

infrared detection technology; low-voltage distribution cabinet fault; diagnostic application

红外检测技术在低压配电柜故障诊断中的应用研究

李悦¹ 刘智²

1 天津市东丽津诚供电服务有限公司, 中国·天津 300000

2 国网天津东丽公司, 中国·天津 300000

摘要

低压配电柜属于电力系统配电环节中的关键设备, 它的运行是否可靠直接关系到电力供应的稳定性和安全性, 传统故障诊断方法存在效率低, 易漏检等问题, 红外检测技术具备非接触, 实时性强, 直观准确的优点, 在电气设备故障诊断方面得到普遍运用。本文介绍了红外检测技术的基本原理, 剖析低压配电柜常见故障的热特征, 梳理红外检测技术在故障诊断中的具体应用流程, 提出设备改进, 多元技术融合, 人员培训等优化措施, 给提高低压配电柜故障诊断的精准度和效率给予理论参照和实际指导。

关键词

红外检测技术; 低压配电柜故障; 诊断应用

1 引言

低压配电柜属于工业生产及民用建筑电力分配的关键设备, 承担着电能传输, 控制, 保护的重要任务, 电力负荷持续增长, 低压配电柜长期处于高负荷运行状态, 接触不良, 绝缘老化, 过载等容易引发故障, 甚至造成火灾, 大面积停电等严重后果, 及时准确地诊断低压配电柜故障具有重要的现实意义, 传统故障诊断依靠人工巡检, 断电检测, 既费时

费力, 又难以察觉早期隐性故障, 红外检测技术利用物体热辐射特性, 可对设备进行无损检测, 弥补传统方法的不足, 本文针对红外检测技术在低压配电柜故障诊断中的应用展开研究, 旨在完善应用体系, 为电力设备安全运维给予支持。

2 红外检测技术基础与低压配电柜故障特征

2.1 红外检测技术核心原理

红外检测技术的关键在于物体的热辐射特性, 任何温度高于绝对零度的物体都会持续向外辐射红外线, 其辐射特性符合普朗克定律、斯蒂芬-玻尔兹曼定律和维恩位移定律等基本物理规律, 普朗克定律描述了物体辐射能量与波长、温度之间的定量关系, 表明物体温度越高, 辐射的红外能量越强, 且峰值波长向短波方向移动; 斯蒂芬-玻尔兹曼定律说明物体单位面积在单位时间内辐射的总能量与绝对温度

【作者简介】李悦(1991-), 女, 中国河北河间人, 本科, 工程师, 从事电气研究。

【通讯作者】刘智(1989-), 男, 中国河北衡水人, 本科, 高级工程师, 从事电气研究。

的四次方成正比, 这为通过红外辐射能量反推物体温度提供了理论依据。红外检测设备依靠光学系统获取物体散发的红外线, 经由红外探测器转化成电信号, 再经信号处理及图像显示技术, 把物体温度分布以热成像图的形式表现出来, 检测人员经由分析热成像图各个区域的温度差别, 判定设备是否出现异常发热情况, 进而找到故障所在。

2.2 低压配电柜常见故障类型及热特征

低压配电柜的故障种类繁多, 不同故障在运行过程中会表现出独特的热特征, 红外检测技术就是根据这些热特征来诊断故障的。接触不良是低压配电柜最常出现的故障之一, 主要出现在母线接头、断路器触点、接线端子等地方, 因为安装不规范, 长期振动或者氧化腐蚀, 接触电阻会明显增大, 按照焦耳定律, 电流经过电阻的时候会产生大量热量, 致使接触部位温度异常升高, 在热成像图上, 这种故障一般表现为局部点状或者条状的高温区域, 温度差值大概比正常运行温度高出 10 - 20℃, 严重时会出现明显的热斑, 要是不及时处理, 会使得接触电阻进一步增大, 甚至产生电弧放电。绝缘老化也是低压配电柜的常见故障, 主要与设备运行年限、环境温度、过电压冲击等因素有关, 绝缘材料老化后, 其绝缘性能会下降, 可能出现局部绝缘损坏或漏电现象, 进而导致局部温度升高, 这类故障的热特征多表现为区域性的温度上升, 热成像图中会出现不规则的片状高温区域, 温度分布相对均匀, 与接触不良的点状高温有明显区别, 如果绝缘老化继续发展, 可能会引发相间短路, 导致设备严重损坏。过载故障主要是由于负载电流超出配电柜的额定承载能力而引发的, 常见于用电负荷突然增大或者线路设计不合理的情况, 过载时配电柜内部的导体、断路器等部件由于电流过大而产生过量的热量, 造成整个配电柜温度上升, 其热特征表现为配电柜大面积的温度升高, 热成像图上整体色调偏暖, 各个部件的温度普遍高于额定运行温度, 若长期处于过载状态, 会加速设备部件的老化, 缩短设备的使用寿命。

3 红外检测技术在低压配电柜故障诊断中的应用流程

3.1 检测前准备

检测前的充分准备是保证红外检测工作顺利开展和诊断结果准确可靠的必要前提, 要明确检测目标和范围, 梳理低压配电柜的型号、数量、运行年限、负载情况等基础信息, 制定详细的检测计划, 确定检测重点部位, 如母线接头、接线端子、断路器、熔断器等易发生故障的区域。其次要对红外检测设备进行检查和校准, 根据检测需求选择合适的红外热像仪, 选择合适的分辨率和测温范围, 检查设备的电池电量和镜头的清洁度, 保证设备处于正常的工作状态, 为了保证测温的精度, 需要对红外热像仪进行校准, 使用标准黑体对红外热像仪进行校准, 保证红外热像仪的测温误差在允许范围内, 准备辅助工具, 如手电筒、扳手、记录表等, 以便

在检测过程中进行辅助观察和记录。要搞好现场环境的清理和安全保障工作, 清除低压配电柜周围的障碍物, 保证检测人员有足够大的操作空间, 检查检测现场的环境温度, 湿度, 粉尘等状况, 防止恶劣环境干扰检测结果。最后收集与低压配电柜相关的过去数据, 包括以前的故障记录, 检修报告, 红外检测数据等, 通过对比分析, 为本次检测提供参考, 有助于更准确的判断设备的运行状态和故障发展趋势^[1]。

3.2 现场检测实施

现场检测执行要严格依照既定的检测计划和操作规程来开展, 保证检测过程规范, 数据准确。选定恰当的检测角度和距离, 检测人员需按照低压配电柜的结构特性, 选好可清楚看到全部检测部位的角度, 防止因遮挡造成漏检; 还要把控好检测距离, 一般维持在 1-3 米左右, 既保障热成像图的清晰, 又要防止距离太近引发安全风险。检测过程中, 需合理设置红外热像仪的参数, 依据现场环境温度和设备运行温度, 调整热像仪的测温范围, emissivity (发射率) 等参数, 对于低压配电柜的金属部件, 其发射率相对较低, 可粘贴高发射率贴纸或者采用相应的修正方法, 提升测温的准确性, 而且, 选用合适的颜色调色板, 有利于更清楚地辨别不同温度区域的差别。按照先整体后局部、先宏观后微观的原则来检测, 先对低压配电柜整体进行扫描, 查看其整体的温度分布情况, 大概判断是否存在大面积的异常发热; 然后再重点检测容易发生故障的部位, 对母线接头、接线端子、断路器触点等关键部位细致观察, 逐个记录各个部位的温度数据和热成像图, 在检测时要防止外界热源的干扰, 像阳光直射、其他高温设备的辐射等等, 必要时可以采取遮挡措施, 保证检测数据的真实有效。针对检测期间出现的异常高温区域, 要开展多次测量和多角度观察, 确认异常情况的真实性, 还要详细记录异常部位的位置, 温度值, 温度差值, 热像特征等信息, 拍摄对应的热成像图和现场照片, 为后续的数据分析提供完整的原始数据。

3.3 数据分析与故障判定

数据分析和故障判定属于红外检测技术应用的关键环节, 经过对检测数据的仔细分析, 可以准确地找到故障的类型, 位置和严重程度, 首先把收集到的温度数据和热成像图加以整理, 把各检测部位的温度值和设备的额定运行温度, 行业标准以及历史检测数据做比较, 以判定是否存在异常发热情况。依据温度差值判定故障严重程度, 一般把故障分成轻微异常, 一般异常, 严重异常三类, 轻微异常指检测部位温度高于正常运行温度, 但温度差值在 10℃ 以内, 可能是早期隐性故障, 要加大监测力度, 一般异常指温度差值在 10-30℃ 之间, 说明设备存在明显的故障隐患, 要尽快安排检修, 严重异常指温度差值超过 30℃, 或者出现明显的电弧, 热斑等现象, 说明设备故障严重, 随时可能引发安全事故, 要立刻停机处理。依据热成像图的特征分析故障类型, 倘若热成像图中有呈点状或者条状高温的区域, 大概属于接触不

良的故障,要是有片状的区域存在高温,很可能是绝缘老化或者过载引发的,要是某个元件处在局部高温的情况,大概就是元件本身出毛病了,再结合设备的运行参数,历史故障记录等等信息,实施综合分析,排除误判的可能。

4 应用优化措施

4.1 改进检测设备性能

检测设备的性能直接影响到红外检测技术在低压配电柜故障诊断中的应用效果,所以要持续改进检测设备的性能,一方面,加大红外检测设备的研发投入,提升设备的核心技术指标,开发高分辨率,高灵敏度的红外探测器,提高热成像图的清晰度和温度测量的精度,可以更准确地捕捉设备的细微温度变化,及时发现早期隐性故障,另一方面,扩大设备的功能,增加图像自动识别,数据自动分析,故障预警等智能化功能,提高检测效率,减小人为操作误差。另一方面,改善设备的便携性和适应性,针对低压配电柜检测现场环境复杂多样的特点,研发体积小、重量轻、操作简便的红外热像仪,方便检测人员在狭小空间内进行作业,提升设备对恶劣环境的适应能力,增强设备的防水、防尘、抗干扰性能,保证设备在不同环境条件下都能正常工作,推进检测设备的国产化进程,降低设备成本,提升设备的普及率,使更多的电力运维单位能够采用先进的红外检测设备开展故障诊断工作^[2]。

4.2 结合多元检测技术

单一的红外检测技术在有些情况下会存在限制,譬如很难精确界定绝缘老化的具体程度,无法识别非发热类故障之类的,所以若将红外检测同别的检测技术联合起来,创建起多元的检测体系之后,便可以提高故障诊断的全面性和精确性。可将红外检测技术同超声波检测技术结合,超声波检测技术可检测设备内部的局部放电,绝缘裂纹等故障,红外检测技术擅长检测发热型故障,两者相辅相成,能对低压配电柜故障实施全方位的诊断,比如在检测绝缘老化故障时,红外检测可以发现局部温度升高,超声波检测可以进一步判断绝缘老化的程度和有无裂纹,为故障处理给予更为详尽的根据。同时采用局部放电检测技术,局部放电是造成绝缘老化的常见原因,采用局部放电检测设备检测到设备内部局部放电信号,并结合红外检测的温度数据,可以更准确的判断设备的绝缘状况,提前预警可能的故障,可以结合在线监测技术,实时监测低压配电柜的运行状况,及时捕捉设备的异

常变化,避免因定期检测的时间间隔导致的漏检^[3]。

4.3 加强人员专业培训

检测人员的专业水平是保证红外检测技术有效应用的关键,所以要强化人员的专业培训,提升其技术水平和操作能力,先要开展系统的理论培训,让检测人员深入理解红外检测技术的基本原理,相关的物理定律,设备的工作原理等专业知识,还要了解低压配电柜的结构组成,工作原理,常见故障类型和特征,电力安全操作规程以及相关的行业标准,为实际检测工作打下扎实的理论基础。其二,加强实操技能培训,安排检测人员到现场开展实操训练,使其熟练掌握红外检测设备的操作方法,涵盖设备参数的设定,热成像图的拍摄与分析,数据的记录与处理等技能,经由模拟各种故障场景,培养检测人员识别异常热像特征,判定故障的能力,提升其应对复杂情况的实战经验,而且,可邀请行业专家展开案例剖析和技术指导,分享实际工作中的成功经验和典型事例,助力检测人员积累经验,提升解决实际问题的能力。创建起完备的考核与认证体系,对培训结束后的人员实施严格的考核,考核合格的人员会拿到相应的资格证书,保证检测人员具备从事红外检测工作的资质,还要创建起持续学习的机制,促使检测人员关注行业里的新技术,新设备的动态发展,定时参加行业研讨会,技术培训班之类的活动,持续更新知识结构,提升专业技能,从而符合电力设备故障诊断工作不断发展的需求。

5 结语

综上所述,红外检测技术凭借自身优势,在低压配电柜故障诊断上有着重要地位,给电力设备安全稳定运行带来有力保障,本文经由对红外检测技术基础,应用流程以及优化措施的研究,创建起相对完备的应用体系,经由实践可知,恰当利用红外检测技术,可以尽早察觉低压配电柜的早期故障,削减故障出现率和维修成本。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 马海伟,魏凯,王超峰,等.红外检测技术在电力系统变压器套管绝缘故障检测中的应用[J].电气技术与经济,2024,(11):151-153+158.
- [3] 陈淼.变电检修中红外检测技术的应用研究[J].电气技术与经济,2023,(10):100-102.