

基于红外技术的智能变电站电气设备热故障辨识研究

汪笑妮

(华北电力大学 电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 运行在室外暴露环境下的变电站电气设备, 随时间推移可能会发生故障, 导致变电站停止运行, 为此提出一种基于红外技术的热故障辨识方法。利用红外技术采集得到的红外图像, 明确当前设备全局温度, 凭借红外技术下相对温差判断法, 对比得到温度最高点和正常工作状态间相对温差, 判断电气设备热故障类型, 若为全局故障, 则使用发热功率判断设备是电流还是电压故障, 若为局部故障, 可利用临界温度值对比相对温差, 判断局部热故障类型及严重程度。实验结果表明, 所研究方法能够通过红外图像辨识出热故障的区域, 且辨识精度高。

关键词: 红外技术; 智能变电站; 电气设备; 热故障; 故障诊断

中图分类号: TP277.3 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)03-0168-04

Research on Thermal Fault Identification of Electrical Equipment in Intelligent Substation Based on Infrared Technology

WANG Xiao-ni

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206 China)

Abstract: The electrical equipment of the substation running in the outdoor exposed environment may fail over time, leading to the shutdown of the substation. Therefore, a thermal fault identification method based on infrared technology is proposed. It uses the infrared image collected by infrared technology to clarify the current global temperature of the equipment, and compares the relative temperature difference between the highest temperature point and the normal working state by using the relative temperature difference judgment method under infrared technology, judges the type of thermal fault of electrical equipment. If it is a global fault, use the heating power to judge whether the equipment is a current or voltage fault. If it is a local fault, uses the critical temperature value to compare the relative temperature difference to judge the type and severity of local thermal fault. The experimental results show that the proposed method can identify the thermal fault area through infrared images, and the identification accuracy is high.

Keywords: infrared technology; intelligent substation; electrical equipment; thermal failure; fault diagnosis

0 引言

确定变电站电气设备的当前状态是十分重要的, 能够保证工作人员和企业财产安全, 一般可通过红外图像、人工巡检、带电检测等方式获取设备信息, 对存在隐患或者发生故障的部位, 进行危险程度的分类和评估, 及时制定相应的抢险策略。近年来, 红外技术在电力系统中起到重要作用, 作为一种简单易实现的故障检测方法, 红外技术可在不接触、远距离, 不需停电的前提下获取清晰的设备红外图像, 即可确定设备当前温度最高点, 以此判断其是否出现热故障, 为变电站排查隐患、开展带电设备检测提供了有力的支持。

相关领域学者对此展开了深入研究, 文献[1]设计变电站电力设备绝缘外表面激光除锈系统; 文献[2]提出电力变压器 220 kV 端子处测量的非标准过电压波形的统

计分析。以上两种方法都未对变电站热故障类型进行分类分析, 存在热故障监测不明确、图像识别效率过低的问题。为此本文通过红外技术, 结合相对温差判断法, 计算与正常工作状态下温度差, 判断该区域是否发生热故障。若为全局故障, 则通过发热功率公式判断是电流还是电压导致的热故障, 若红外图像呈现为局部发热, 将发热区域相对温差与临界温度值进行对比, 明确热故障发生的严重程度。通过实例应用分析, 本文方法可实时获取 C 相高压套管接头温度, 实现了热故障的有效辨识, 为电力系统安全稳定地运行提供了一种可靠的监测手段。

1 基于红外技术的变电站电气设备热故障辨识

当变电站电气设备出现热故障后, 就会以某一个点为中心, 向四周扩散热量, 同时伴随着能量的辐射^[3]。利用红外技术将热场的分布情况和辐射能量的密度, 以红

外热像图的形式展现出来,找出温度值最高的那个点,也就是热故障点。不仅如此,本文将红外热成像仪与计算机连接在一起,通过设定参数还可直接测量热场内每一个点的温度值,比较每个点温度值的不同可判断得到热故障发生的位置以及严重程度等。

1.1 基于红外技术的变电站电气设备热故障辨识流程

(1) 变电站电气设备分类。对获取到的变电站电气设备红外图像,首先提取其形状特征,然后再利用支持向量机,根据形状不同划分类别,从而实现电气设备的分类^[4-5]。分类是完成热故障辨识最关键的一步,只有明确了电气设备的类别,才能对应红外图像给出相应的热故障处理结果。

(2) 获取设备温度最高点信息。利用红外技术可以得到变电站电气设备图像中的温度最高点信息,将这些信息存储在温度库中,在对设备进行热故障辨识时,可以立即获取温度最高点的相应信息。环境温度信息同样也可存储在温度库中,分析得到其与正常工作温度之间的关系,帮助确定设备热故障。

(3) 根据红外技术进行热故障的辨识。这里本文采用的是相对温差判断法进行电气设备的热故障辨识^[6]。

(4) 得到辨识结果和解决方案。根据相对温差判断法判断设备的热故障类型,凭借热故障发生时对电气设备产生的影响程度,划分为三个等级标准^[7]:危急故障、严重故障和一般故障,按照对应影响程度选择合适的解决方案。

1.2 变电站电气设备全局热故障辨识

通过红外图像能够明确地看出,设备是全局发热还是局部发热,当变电站电气设备出现全局热故障时^[8],就要判断其是出现了电压发热型热故障还是电流发热型热故障。

假设 ω 表示电压角频率, C 表示绝缘介质产生的等值电容,电压发热型产生的发热功率为:

$$P = \tan \theta \times \omega \times C \times U \quad (1)$$

式中, U 表示绝缘介质中的电压值, θ 表示绝缘介质产生的损耗。

电流发热型热故障是在变电站的电气设备中,导电回路通过金属导体导致的,这会在一定程度上对载流产生阻抗作用。在负荷流经电气设备时,利用焦耳定律计算此时设备的发热功率,计算公式为:

$$P = I^2 \times K_i \times R \quad (2)$$

式中, K_i 表示电气设备附加损耗系数^[9], I 表示途径回路的负荷电流大小, R 表示电路中金属导体的直流电阻。

1.3 变电站电气设备局部热故障辨识

相对温差判断法就是在同一工作环境下(负荷电流和电压有效值均相同),在相同类型的变电站电气设备上选

取两个相应测点(较热点和正常点),计算二者之间的温差,假设 T_1 表示较热点的实际温度值, T_2 表示正常点的实际温度值,将温差与电气设备中的较热点进行温升之比的计算。计算公式如式(3)所示:

$$\delta_t = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \quad (3)$$

式中, δ_t 代表的是相对温差, η_1 表示较热点的温升, η_2 表示正常点的温升, T_0 表示环境温度。

当变电站电气设备出现局部热故障时,要利用相对温差判断法对某个部位进行有针对性的辨识^[10]。部分设备辨识标准如表1所示。

表1 部分变电站电气设备相对温差判断法辨识标准

变电站电气设备	一般故障	严重故障	危急故障
高压隔离开关	$\delta_t \geq 35\%$	$\delta_t \geq 80\%$	$\delta_t \geq 95\%$
真空断路器	$\delta_t \geq 20\%$	$\delta_t \geq 80\%$	$\delta_t \geq 95\%$
SF ₆ 断路器	$\delta_t \geq 20\%$	$\delta_t \geq 80\%$	$\delta_t \geq 95\%$
空气断路器	$\delta_t \geq 50\%$	$\delta_t \geq 80\%$	$\delta_t \geq 95\%$
绝缘套管	$\delta_t \geq 20\%$	$\delta_t \geq 80\%$	$\delta_t \geq 95\%$

对相同类型的变电站电气设备上的两个相应测点进行相应温差的判断^[11-12],可以降低其他因素的干扰,直接获取两个参数间内在联系。变电站电气设备热故障辨识规则如图1所示。

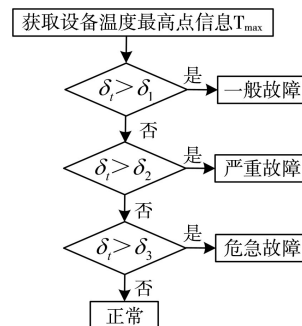


图1 变电站电气设备热故障辨识规则

图1中, δ_1 、 δ_2 、 δ_3 分别表示相对温差判断法的一般故障、严重故障和危急故障临界温度值。

相对温差判断法辨识结果如式(4)所示:

$$\begin{cases} \delta_t > \delta_1, \text{一般故障} \\ \delta_t > \delta_2, \text{严重故障} \\ \delta_t > \delta_3, \text{危急故障} \end{cases} \quad (4)$$

2 应用实例分析

2.1 本文方法热故障辨识仿真

在某变电站内,应用本文方法进行实例分析。2021年8月30日上午9时,对变电站进行巡检时,测得温度数据为:A相42℃,B相52℃,C相68℃。1号主变压器的负荷电流为31 000 kW,对温度过高的部位进行重点观察,

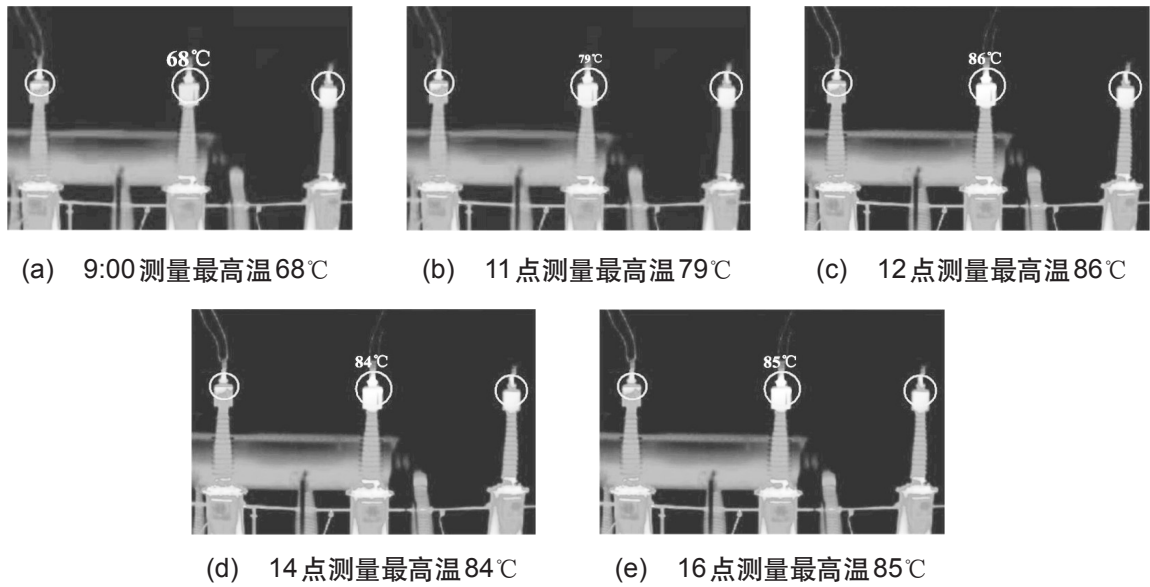


图2 不同时刻主变压器温度

每隔一段时间测量一次温度,利用本文方法得到红外图像,如图2所示。

将测温结果与环境温度进行对比,结果如图3所示。

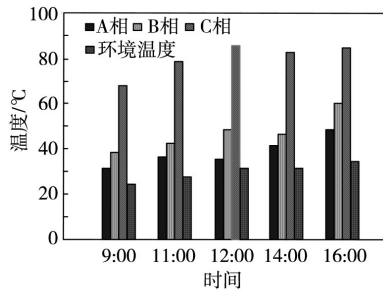


图3 主变压器套管接头处温度与环境温度对比情况

如果按照这种情况继续发展下去,很有可能因为个别部位的热故障导致该区域出现大面积断电事故。对于发生热故障的1号主变压器进行抢修,再对三相套管接头至中性点套管接头展开了回路电阻测试,结果如图4所示。

在16:35分时,1号主变压器恢复了正常,运行1个小时后,再次对变压器进行测量,测得温度数据为:A相40°C, B相42°C, C相51°C,此时环境温度为30°C,主变负荷电

流为25 700 kW。在之后的测温中,C相的温度一直保持在50°C~60°C之间,为正常工作温度。

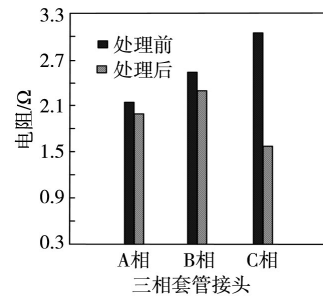


图4 热故障修复前后回路电阻对比结果

2.2 三种算法热故障辨识对比

为了进一步验证本文方法在变电站热故障辨识中的有效性,与引言中提到的融合算法和均值漂移类两种方法展开了对比仿真实验,结果如图5所示。

从图5中可以看出,与其他两种方法相比,利用本文方法检测到的红外故障图像与实际故障区域最相似,其他两种方法均出现了不同程度的检测失误。由此可以说明,本文方法在变电站热故障辨识方面具有最高的辨识精度。

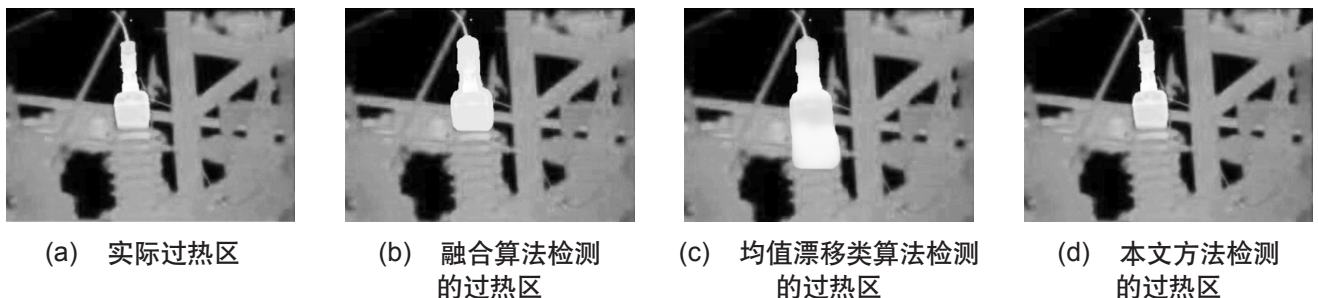


图5 三种算法热故障辨识对比结果

(下转第175页)