

# 红外检测技术在电力设备故障诊断中的应用

邢慧珍

国网山西省电力公司朔州供电公司

**摘要:** 红外检测可以对大部分外部过热故障进行在线的监控与诊断,可以有效地预防由于设备损伤而造成的电气设备的损坏以及大范围的停电。本文对电力设备的红外探测技术进行了详细的论述,并结合具体的实例,对其进行了分析。

**关键词:** 红外检测; 故障诊断; 电力设备

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-627X.2022.07.206

## 引言

红外检测技术是研究红外辐射的产生,传递,转换,检测以及在实际工程中的应用。随着科技水平的提高,红外探测技术越来越受到人们的重视。它利用肉眼无法看到的红外光为传输信息的载体,将人的视线带进“看不见”的空间,因而被广泛应用于社会生活的各个方面。在电力设备中,红外测温技术也起着重要作用,现在,大部分的试验研究单位,大型发电厂,以及大部分的供电公司,都装备了这种高级的红外线热成像技术,本系统具有广阔的应用前景,可以有效地提高电气设备的检测和故障诊断能力。

### 一、红外检测技术特点

#### (一) 电气设备的发热来源

在电气设备运行过程中,由于电流、电压等因素的作用,可产生以下3种发热现象:

1. 电阻散热依据焦耳定律,当电流通过此电阻时,便会产生热能,也就是电流作用下发热,这一点在载流电器中得到了充分的体现。

2. 在交变电场作用下,绝缘体由于介质损耗,极化方向不断发生改变,进而消耗电能和发热。

3. 设备回路中,铁芯滞后、涡流等因素使其产生损耗,并产生热量。

#### (二) 电气设备的热故障

本文从红外探测的基本原理出发,将其分为两种类型:一种是外部故障,一种是内部故障。

##### 1. 电气设备的外部接头接触不良

长时间暴露于空气中的各类导电引流件,如开关、线夹、套管等,由于卷曲不良,易产生过热故障。连接质量差的主要原因是:

(1) 设备设计不合理。

(2) 由于材料不合格,以及在加工和安装过程中存在的一些问题,例如连接件的接触面没有清除氧化层和污物,焊接技术不佳,紧固螺母不到位,没有加弹簧垫,没有拧紧,连接件内部导线直径不均匀等。

(3) 在外电场的作用下,导线的机械振动、导线

的周期性过载以及周围的温度周期性变化,都会引起构件的周期性伸缩,同时也会引起构件的接触电阻增大,从而引起局部过热。

(4) 长期暴露在大气中,会受到雨、雪、雾、有害气体和酸碱、盐等多种腐蚀介质的侵蚀和腐蚀,导致接触面材质被氧化。

(5) 负载震动效应。

(6) 使用时间长,导致弹簧老化等。

### 2. 绝缘强度降低

由于表面的污垢和机械压力,使绝缘变差,造成过热破坏。如绝缘子开裂、老化或污染严重,使漏电流增加并产生热量。

这些故障如得不到及时的检测与治理,就有可能导致线路断线、局部烧毁,严重时演变为恶性的设备事故。

### 3. 电气设备的内部故障

它包括固体绝缘、油绝缘和设备外壳内的电路失效以及绝缘材料退化等。但是,由于红外光的穿透能力较弱,红外辐射很难穿透绝缘层和外壳,无法实现对器件的直接检测。不过,由于内部热缺陷的产生时间较长,且相对稳定。故障点处的热能可经导热与对流两种方式传递,并与其附近的导线或绝缘进行传热,使其温升较大,尤其是与其相连的导线也具有良好的传热性能。

值得指出的是,在该条件下,由变压器产生的热量与由于电流损失而产生的热量最大的区别在于,它的热谱没有环路形,而此类缺陷,比如热源过热,往往伴随着变压器油的汽化,这些都可以与油色谱相结合来确定。

从动力装置外部出现的温度分布可以判断以下各种内部故障:

(1) 由于内接或接触不好而造成的故障,一般是由于变压器内接点不牢和二次端子不牢。

(2) 其中,由于内部绝缘材料的潮湿劣化,容易导致介质损耗的增大,同时,由于避雷器及耦合电容的受潮或内部存在缺陷,导致上下连接处的温度场异常。

(3) 绝缘子破断, 裂纹, 零位失效。

(4) 电压分配不均匀或漏流过大等问题。

(5) 磁路涡损增加失效。

(6) 在浸油装置中, 出现了诸如变压器油枕、套管等油不足、散热器阀没有开启等缺油故障。

## 二、电力设备故障诊断原理

### (一) 电力设备故障及主要机理

电器在运行中, 因电流、电压等因素的影响, 会出现如下四种发热原因。

#### 1. 电阻损耗增大故障

在电力系统中, 金属导线均具有一定的阻抗, 负载电流流过时, 根据焦耳-伦兹定律, 有一部份的电能会被损失。该电阻器生成一个热量产生的动力:

$$P=K_f I^2 R$$

式中  $P$  为热功率 (W);  $K_f$  为附加损耗系数;  $I$  为通过的负荷电流 (A);  $R$  为载流导体的直流电阻值 ( $\Omega$ )。

在阻损增加的故障中, 产生的热量是与负载电流的平方成比例, 而与系统的工作电压没有关系。

#### 2. 介质损耗发热

在交流电场的影响下, 电绝缘材料的极化方向会持续变化, 从而产生电能和热量。这样生成的热量产生的动力是:

$$P=U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

式中  $U$ ——施加的电压;  $W$ ——交变电

压角频率;  $C$ ——介质的等值电容;  $\operatorname{tg} \delta$ ——介质损耗角正切值。这种发热为电压效应引起的发热。

#### 3. 铁损增大故障

在励磁回路上加操作电压时, 由于铁芯的磁滞和涡流, 会导致电能的损失, 从而产生热量。

#### 4. 电流分布异常和泄漏电流增大故障

在正常工况下, 一些重要的电器装置, 例如避雷器、绝缘子等, 都会有一定的电压分布, 并有一定的漏电流。器件出现故障后, 器件的分配电压  $U_d$  和漏电流  $I_g$  将发生改变, 从而导致器件表面温度场异常。

### (二) 电气设备的热故障

(1) 因电源装置外部界面接触不良所引起的各种类型的电流引流, 以及高压设备、线路中的连接件等, 都会由于压接不良而导致诸如断路器、线夹、套管等过热故障。

(2) 因表面污物或机械压力等原因导致的绝缘强度下降而导致的过热失效。如绝缘子开裂、老化或污染严重, 使漏电流增加并产生热量。

这些故障如得不到及时的检测与治理, 就有可能导致线路断线、局部烧毁, 严重时演变为恶性的设备事

故。

### (三) 红外诊断的原理

红外线在线测温系统, 是在一个高精度的数字万向平台上, 在室外安装一种高精度的红外线热像仪, 并按照变电站的具体位置以及红外线测温仪的有效测温范围, 将其安装在变电站的设备框架上。通过软件控制系统, 可以对监控角度或对设备的特定位置进行人工调节, 也可以通过设置监控平台的参数, 来自动地对预置点进行自动巡检, 同时还可以自动地存储监控数据和红外线影像, 并由软件自动生成数据报告。设置温度报警界限后, 可对过热装置发出语音警告, 并提示监控员及时查阅报警纪录, 以达到对户外变压器一次装置的工作温度进行红外在线监控的目的。通过对生产 SCADA 系统中的设备负载信息的调用, 并根据周围的温度条件, 对设备的故障特性进行全面的分析, 并对故障的发展趋势进行了预测。

### 三、红外诊断技术应用实例

对于运行中的电力装备, 利用红外探测技术可以对运行中的设备进行非断电状态下的温度场进行远程、实时的诊断, 从而更好地发现与运行电压和负载电流相关的设备故障。所以, 在电力系统中, 采用红外测温进行故障诊断是非常必要的。

#### (一) 发电机内部故障的诊断

在对运行中的发电机进行监控时, 主要是利用红外检测技术中的热图像技术, 对发电机各部件的散热情况进行分析, 以判断发电机是不是发热过高, 或者是冷却不到位, 通过这一点, 就可以确定出是不是发生了什么故障。红外检测技术自带的数据分析软件里, 有发电机端盖, 轴承, 冷却系统等各个部件的功率常数, 若温度值在常值之内, 则说明发电机工作正常。当一个零件的温度超过这个值, 就说明零件有问题, 红外线探测系统会发出警告, 告诉你有什么不对劲的地方。但对定子绕组进行故障诊断时, 只需在其上加对应的电流, 再对其进行测温, 既简便又方便。

#### (二) 高压电气设备内部导流回路故障的诊断

在高压电器设备中, 由于接头质量差、接触电阻增加, 导致内部导电环过热。随着负载电流的变化, 它的产热功率及表面的红外热象也发生了变化。这样, 利用红外线热图像, 就能判断出该装置内的导电回路有无连接。这种类型的故障也被称作“电流式热”故障。

#### (三) 变压器故障的诊断

变压器的正常运行状况为: 高温区为上部, 气温由低到高逐渐降低; 在靠近套管的位置处, 温度是最高的; 物体显示出一幅强烈的红外线热象。判断是否过热通常按以下方法进行: 检查套管端部接触点; 比较三相

套管的表面温度，判断其是否存在缺陷；散热器的表面温度是否均匀，因此可以判断油路是否堵塞。

#### （四）电流互感器故障的诊断

电流互感器在正常工作状态下，其所发射的温度值用陶瓷外壳来指示，即采用红外线探测时，可根据它的温度值来判断是否存在故障。

由于电流互感器的瓷套工作温度一般比外界环境温度高，因此，通过测量一个电流互感器的瓷套的正常工作温度，可以获得一个温度常数，从而判断其工作状况。在某些情况下，顶罩的温度要比瓷套高。采用这种方法，在特定的红外线测试时，可以通过对陶瓷外壳的表面和顶部的温度进行测量，然后将两者进行比较，从而确定电流互感器有没有出现异常的发热。如果有不正常的发热情况，就有可能是电流互感器的内部损耗比较大，也有可能是短路。

#### （五）其他故障的诊断

在电力系统中，还可以利用红外线热像来诊断其他的故障现象：铁磁损耗或涡流故障的诊断；电压分布异常和泄漏电流增大故障的诊断；油浸电气设备缺油故障的诊断；电力带电作业、安全工器具内部缺陷和金属导体接件的诊断；火电厂锅炉运行状态诊断；热力系统破损及漏热诊断等等。

#### 四、红外检测技术在电力公司具体的应用

近年来，我们对34个变电所采用红外探测技术对其绝缘进行了测试，结果显示出较多的电流型和电压型两种致热缺陷：在多油断路器的油箱中产生热量，在整个联接电容器和末端屏幕上都会产生热量，在少油型断路器中会出现油不足，支柱绝缘子会被污染，在变压器和电抗器的高压套管中会产生热量，会导致高压电缆接头会发热。

通过对变电站外的红外线测量，分析了220 kV变电所220 kV母线220 kV母联27001开关和220 kV I段母线 A相 T形卡头出现了不正常的发热现象，温升高达53.8℃，为一般的发热问题。为了跟踪裂纹的发展，本文利用变电所室外红外在线监测系统，对裂纹的形成过程进行24小时在线监测，掌握裂纹的演变过程。将该发热点放置在监测系统“预置位”上，根据负荷的变化趋势，选取三个时段，对其进行实时跟踪监测，以便及时掌握缺陷的变化情况。2019年1月2号假日假期，在0点26分，在自动驾驶的过程中，检测到有缺陷的位置温度高达111.7℃，已发展成危险的缺陷，监控系统自动发出警报，并对其进行了红外图像采集。节假日值班监控人员立即将此情况报告给了公司的技术部门，通过对现场操作方法进行了及时的调整，使得该点位的温度恢复到了正常。2019年2月12日，按照省公司的检修方案，

由线路工区的带电班组负责对该处进行维修，经处理后，此区域的工作温度已恢复正常。

#### 五、经验与体会

随着科技的不断发展和进步，光纤传感技术的广泛使用和推广，使红外探测技术获得了长足的发展。使用一般的红外热像仪，在探测器的探测头上加上一根光导光纤，在探测器的前端安装一只小角度的透镜，使被探测目标的辐射能量通过光导光纤进入光纤，再通过光纤内的几次反射，传输到探测器上，就能测出被遮挡的角落和其他区域的温度，达到了无死角。光纤传感器具有很高的耐高温性能，适用于高温环境；同时，它采用光纤进行红外能量的传输，将红外探测器和电子处理模块隔离开来，减少对外界环境的影响；同时，它还可以将红外辐射和热量传递到中高频装置中，从而极大地简化了对电磁环境的探测和诊断。由于其精确，便捷，快速，直观，便于电脑处理，在电力设备的故障诊断中占有举足轻重的地位。

红外在线温度测量系统的研制和应用，旨在提升电力传输设备的运行状况，为电力传输设备的视情维修工作提供可靠的技术支撑。该系统可以有效地解决人工红外测温所需的设备多、工作量大、离变电站较远等问题，为企业节约了大量的人力、物力。

#### 结语

用电设备的正常运转对生产和生活产生了很大的影响，但同时也给生产生活造成了很大的负面影响。根据这一点，相关部门应该在电气设备的故障查找方面运用红外诊断技术，在工作中贯彻电力安全生产的精神和要求，同时也要注意对检测人员的专业技能和素质文化水平进行培训，其次，政府部门要增加对电网建设的投资，让国家的电力公司也能跟上，这样就能继续改进用电设备，减少故障的发生率，促进国家电力事业的整体发展。

#### 参考文献

- [1]周茵.红外测温技术的应用[J].电力系统装备, 2018, 31(6).
- [2]崔炳哲.电机测试技术[M].北京:中国社会科学出版社, 2018.
- [3]王伟,白羽,梁之林.红外热像仪检测电气设备电流致热缺陷判定应注意的问题[J].吉林电力, 2021.
- [4]陈达,唐文虎,牛哲文.基于深度学习的电力设备红外图像故障诊断方法[J].广东电力, 2021, 34(1): 97-105.

作者简介:邢慧珍,女,1995年11月,籍贯:山西朔州,民族:汉,学历:硕士研究生,现职称:助理工程师,研究方向:变电站运维。