Universe Scientific Publishing
Hydropower and Water Resources 水电水利
第 1 卷◆第 1 期◆版本 1.0◆2017 年 7 月
文章类型:论文 | 刊号(ISSN):2529-7821

输电线路红外检测的方法及其应用分析

王英军　姜瑞峰
国网河北省电力公司邢台供电分公司
DOI:10.18686/hwr.v1i1.616

摘　要:随着国民经济的发展与电力需求的不断增加,电力生产的安全问题也越来越突出对于送电线路来讲,输电线路的接头、导线等的测温工作是线路管理部门的一项必备工作,目前我国电力北网大部分地区是采用红外测温法,测试人员到塔底下用红外测试设备对准某点进行测温、记录,然后分析。红外测温能及时判断其位置,可以快速查找故障点,从而进行故障排除, 对保证整个电力系统的安全稳定和经济运行有重要意义而尽快查出故障点是降低故障损失缩短线路故障停运时间的关键。本人根据从事线路输电线路工作经验的积累,对使用输电线路红外检测查找输电线路故障进行总计分析,供大家参考借鉴。
关键词:输电线路;红外检测;分析;诊断

1 输电线路红外检测基础理论及发展

1.1 基础理论

1672 年,人们发现太阳光(白光)是由各种颜色的光复合而成,同时,牛顿做出了单色光在性质上比白色光更简单的著名结论。使用分光棱镜就把太阳光(白光)分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等各色单色光。1800 年,英国物理学家 F. W. 赫胥尔从热的观点来研究各种色光时, 发现了红外线。他在研究各种色光的热量时,有意地把暗室的唯一的窗户用暗板堵住,并在板上开了一个矩形孔,孔内装一个分光棱镜。当太阳光通过棱镜时,便被分解为彩色光带,并用温度计去测量光带中不同颜色所含的热量。为了与环境温度进行比较, 赫胥尔用在彩色光带附近放几支作为比较用的温度计来测定周围环境温度。试验中,他偶然发现一个奇怪的现象:放在光带红光外的一支温度计,比室内其他温度的批示数值高。经过反复试验,这个所谓热量最多的高温区,总是位于光带最边缘处红光的外面。于是他宣布太阳发出的辐射中除可见光线外,还有一种人眼看不见的“热线”,这种看不见的“热线”位于红色光外侧,叫做红外线。红外线是一种电磁波,具有与无线电波及可见光一样的本质,红外线的发现是人类对自然认识的一次飞跃,对研究、利用和发展红外技术领域开辟了一条全新的广阔道路。

红外线的波长在 0.76 ~ 100 μ m 之间,按波长的范围可分为近红外、中红外、远红外、极远红外四类,它在电磁波连续频谱中的位置是处于无线电波与可见光之间的区域。红外线辐射是自然界存在的一种最为广泛的电磁波辐射,它是基于任何物体在常规环境下都会产生自身的分子和原子无规则的运动,并不停地辐射出热红外能量,分子和原子的运动愈剧烈,辐射的能量愈大,反之,辐射的能量愈小。

温度在绝对零度以上的物体, 都会因自身的分子运动而辐射出红外线。通过红外探测器将物体辐射的功率信号转换成电信号后, 成像装置的输出信号就可以完全一一对应地模拟扫描物体表面温度的空间分布,经电子系统处理,

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

传至显示屏上,得到与物体表面热分布相应的热像图。运用这一方法，便能实现对目标进行远距离热状态图像成像和测温并进行分析判断

1.2 发展

1800 年,英国物理学家 F. W. 赫胥尔发现了红外线,从此开辟了人类应用红外技术的广阔道路。在第二次世界大战中,德国人用红外变像管作为光电转换器件,研制出了主动式夜视仪和红外通信设备,为红外技术发展奠定了基础。

二次世界大战后，首先由美国德克萨兰仪器公司经过近一年的探索，开发研制的第一代用于军事领域的红外成像装置,称之为红外寻视系统(FLIR),它利用光学机械系统对被测目标的红外辐射扫描。由光子探测器接收两维红外辐射迹象,经光电转换及一系列仪器处理,形成视频图像信号。这种系统、原始的形式是一种非实时的自动温度分布记录仪，后来随着五十年代锑化铟和锗掺汞光子探测器的发展,才开始出现高速扫描及实时显示目标热图像的系统。

六十年代早期,瑞典 AGA 公司研制成功第二代红外成像装置，它是在红外寻视系统的基础上以增加了测温的功能,称之为红外热像仪。

开始由于保密的原因,在发达的国家中也仅限于军用,投入应用的热成像装置可的黑夜或浓厚幕云雾中探测对方的目标,探测伪装的目标和高速运动的目标。由于有国家经费的支撑,投入的研制开发费用很大,仪器的成本也很高。以后考虑到在工业生产发展中的实用性，结合工业红外探测的特点,采取压缩仪器造价。降低生产成本并根据民用的要求，通过减小扫描速度来提高图像分辨率等措施逐渐发展到民用领域。

六十年代中期,AGA 公司研制出第一套工业用的实时成像系统(THV),该系统由液氮致冷,110V 电源电压供电,重约 35 公斤,因此使用中便携性很差,经过对仪器的几代改进,1986 年研制的红外热像仪已无需液氮或高压气,而以热电方式致冷，可用电池供电;1988 年推出的全功能热像仪,将温度的测量、修改、分析、图像采集、存储合于一体,重量小于 7 公斤,仪器的功能、精度和可靠性都得到了显著的提高。

九十年代中期，美国 FSI 公司首先研制成功由军用技术(FPA)转民用并商品化的新一红外热像仪(CCD)属焦平面阵列式结构的一种凝成像装置,技术功能更加先进,现场测温时只需对准目标摄取图像，并将上述信息存储到机内的 PC 卡上,即完成全部操作,各种参数的设定可回到室内用软件进行修改和分析数据,最后直接得出检测报告,由于技术的改进和结构的改变,取代了复杂的机械扫描,仪器重量已小于二公斤,使用中如同手持摄像机一样,单手即可方便地操作。

如今,红外热成像系统已经在电力、消防、石化以及医疗等领域得到了广泛的应用。红外热像仪在世界经济的发展中正发挥着举足轻重的作用。

2 输电线路红外检测的原理及特点

2.1 输电线路红外检测的原理及种类

2.1.1 红外测温仪工作原理

了解红外测温仪的工作原理、技术指标、环境工作条件及操作和维修等是用户正确地选择和使用红外测温仪的基础。光学系统汇集其视场内的目标红外辐射能量,视场的大小由测温仪的光学零件以及位置决定。红外能量聚焦在光电探测仪上并转变为相应的电信号。该信号经过放大器和信号处理电路按照仪器内部的算法和目标发射率校正后转变为被测目标的温度值。除此之外,还应考虑目标和测温仪所在的环境条件,如温度、气氛、污染和干扰等因素对性能指标的影响及修正方法。

一切温度高于绝对零度的物体都在不停地向周围空间发出红外辐射能量。物体的红外辐射能量的大小及其按波长的分布——与它的表面温度有着十分密切的关系。因此,通过对物体自身辐射的红外能量的测量，便能准确地测定它的表面温度,这就是红外辐射测温所依据的客观基础。

黑体辐射定律:黑体是一种理想化的辐射体,它吸收所有波长的辐射能量,没有能量的反射和透过,其表面的发射率为 1。应该指出,自然界中并不存在真正的黑体,但是为了弄清和获得红外辐射分布规律，在理论研究中必须选择合适的模型，这就是普朗克提出的体腔辐射的量子化振子模型,从而导出了普朗克黑体辐射的定律,即以波长表示的黑体光谱辐射度,这是一切红外辐射理论的出发点,故称黑体辐射定律。

物体发射率对辐射测温的影响：自然界中存在的实际物体,几乎都不是黑体。所有实际物体的辐射量除依赖于辐射波长及物体的温度之外,还与构成物体的材料种类、制备方法、热过程以及表面状态和环境条件等因素有关。因此,为使黑体辐射定律适用于所有实际物体，必须引入一个与材料性质及表面状态有关的比例系数,即发射率。该系数表示实际物体的热辐射与黑体辐射的接近程度，其值在零和小于 1 的数值之间。根据辐射定律,只要知道了材料的发射率,就知道了任何物体的红外辐射特性。

影响发射率的主要因素在于材料种类、表面粗糙度、理化结构和材料厚度。当用红外辐射测温仪测量目标温度时首先要测量出目标在其波段范围内的红外辐射量，然后由测温仪计算出被测目标的温度。单色测温仪与波段内的辐射量成比例;双色测温仪与两个波段的辐射量之比成比例。

红外系统:红外测温仪由光学系统、光电探测器、信号放大器及信号处理、显示输出等部分组成。光学系统汇聚其视场内的目标红外辐射能量，视场的大小由测温仪的光学零件及其位置确定。红外能量聚焦在光电探测器上并转变为相应的电信号。该信号经过放大器和信号处理电路,并按照仪器内疗的算法和目标发射率校正后转变为被测目标的温度值。

红外辐射是电磁频谱的一部分,它包括有无线电波、微

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

波、可见光、紫外线、R 射线和 X 射线,其中红外线频谱位于可见光和无线电波之间,具有与无线电波和可见光一样的本质。红外线波长处于 0.76-100rm 之间,一切温度高于绝对零度的物体都在自发地、不断地向周围空间发出红外辐射能量。红外辐射的物理本质是热辐射,而辐射能量的大小及其波长都与物体表面的温度有着十分密切的关系,因此红外测温仪接收多种物体自身发射的红外能量对其进行测量,就可以准确地反映出被测目标的温度。红外检测是一种在线监测(不停电)式高科技检测技术,它集光电成像技术、计算机技术、图像处理技术于一身,通过接收物体发出的红外线(红外辐射),将其热像显示在荧光屏上,从而准确判断物体表面的温度分布情况,具有准确、实时、快速等优点。任何物体由于其自身分子的运动,不停地向外辐射红外热能,从而在物体表面形成一定的温度场,俗称"热像"。红外诊断技术正是通过吸收这种红外辐射能量,测出设备表面的温度及温度场的分布,从而判断设备发热情况。高压输电线路红外线检测就是针对线路导线接头压接管、导线断股及断股修补过的过热缺陷、架空线路杆塔上的引流线夹、跳线夹、耐张线夹等螺丝松动形成的过热故障显示到红外热像仪上,从而对各种问题进行诊断。

利用某种特殊的电子装置将物体表面的温度分布转换成人眼可见的图像,并以不同颜色显示物体表面温度分布的技术称之为红外热成像技术. 这种电子装置称为红外热像仪。红外热像仪是利用红外探测器、光学成像物镜和光机扫描系统接受被测目标的红外辐射能量分布图形,反映到红外探测器的光敏元上,在光学系统和红外探测器之间,有一个光机扫描机构对被测物体的红外热像进行扫描,并聚焦在单元或分光探测器上,由探测器将红外辐射能转换成电信号,经放大处理、转换或标准视频信号通过电视屏或监测器显示红外热像图。(见图 2-1)

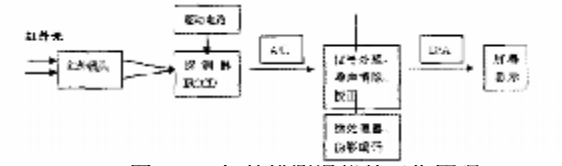

图 2-1　红外线测温仪的工作原理

当带电设施有了热故障,其特点是过热点为最高温度,从而形成一个特定热场并向外辐射。通过红外线成像仪光扫描系统,可以把这一热场直观地反映到荧光屏上,形成显示热辐射能量密度分布状况的红外范围。根据这个热像图很容易找出热场中最高温度点,这个最高温度点就是热故障点。另外,通过热成像仪配置的现场计算机,设定某特定参数后,即可在现场直接测量出热场内任意一点的温度值,从而及时准确地判断出供电设施热故障所在位置及严重程度,从而达到提前发现隐患,避免发生烧断等停电事故。

2.1.2 检测仪器的种类

红外测温仪器主要有 3 种类型:红外热像仪、红外热电视、红外测温仪(点温仪)。60 年代我国研制成功第一台红外测温仪,八十年代初期以后又陆续生产小目标、远距离、适合电业生产特点的测温仪器,如西光 IRT-1200D 型、HCW-Ⅲ型、HCW-Ⅴ型;YHCW-9400 型;WHD4015 型(双瞄准,目标 D40mm,可达 15m)、WFHX330 型(光学瞄准,目标 D50mm,可达 30m)。美国生产的 PM-20、30、40、50、HAS-201 测温仪;瑞典 AGA 公司 TPT20、30、40、50 等也有较广泛的应用。DL-500E 可以应用于 110~500kV 变电设备上,图像清晰,温度准确。红外热像仪,主要有日本 TVS-2000、TVS-100,美国 PM-250,瑞典 AGA-THV510、550、570。国产红外热像仪在昆明研制成功,实现了国产化。目前我们使用的是 ThermaCAMtmP30、E30(见图 2-2)、及 Important information (菲利尔)、FLIRt330 (见图 2-3)。

图 2-2　ThermaCAMtmP30、E30

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

图 2-3　Important information(菲利尔)、FLIR t330

红外测温仪、红外热电视、红外热像仪等等。像红外热电视、红外热像仪(我们目前使用的)等设备利用热成像技术将这种看不见的“热像”转变成可见光图像,使测试效果直观,灵敏度高,能检测出设备细微的热状态变化,准确反映设备内部、外部的发热情况,可靠性高,对发现设备隐患非常有效。

2.2 输电线路的特点

红外检测由于采用非接触测试,具有受气候影响、浪费人力、不能实时检测的特点。现在有先进全新测温方式:GPRS/CDMA 通讯方式,此种方式是在每个接点安装,通过网络监测装置到通讯网络,传到监测中心,费用太高,因此目前没能普及。但是随着现代科学技术不断发展成熟与日益完善,利用红外状态监测和诊断技术具有远距离、不接触、不取样、不解体,又具有准确、快速、遥测、直观、定量测温等特点,实时地在线监测和诊断电气设备大多数故障(几乎可以覆盖所有电气设备各种故障的检测)。它备受国内外电力行业的重视(国外 70 年代后期普遍应用的一种先进状态检修体制),并得到快速发展。红外检测技术的应用,对提高电气设备的可靠性与有效性,提高运行经济效益,降低维修成本都有很重要的意义。

2.2.1 输电线路红外检测应避开阳光及风速的影响

在高压输电线路中,流过导线的负荷电流因电阻损耗而产生热功率,称为运行状态的固有温升。导线通过热辐射形式和对流形式向环境大气散热,高压输电线路导线在运行状态下的温度总是高于环境温度,高压输电线路导线在太阳的直接照射下吸收太阳辐射能量,必然增加导线的温升,称为附加温升。附加温升叠加在固有温升上,会干扰对线路故障接头的红外检测,而对流散热条件主要取决于风速,所以风速会影响红外线检测。因此,红外线检测应该在无风或小风天气,夜间或阴而无雨的天气进行,效果最佳。

2.2.2 输电线路红外检测可以做到不接触、不停电

由于高压输电线路基本采用架空线路方式运行,采用红外检测诊断的时候与设备相隔一定距离(一般在 15m 以上),所以红外检测时可以做到不接触、不停电,从而检测到输电线路在运行情况下的真实状态信息,同时可以保障作业安全可控,省时省力,提高供电可靠性。

2.2.3 输电线路红外检测可大面积快速扫描成像

利用红外测温仪采用不同镜头在同一距离对同一热故障所拍摄到的红外线成像结果形象、直观并且具有较高的准确性。红外线检测时响应速度快,具有很高的数据采样能力,与过去检测高压输电线路接头连接故障及劣质绝缘子的传统人工徒步观测和登高检测方法相比较,采用红外线检测可以大大提高检测效率,不受地理位置的限制,能降低作业强度,保证人员安全。

2.3 红外线成像技术诊断故障的标准

一般取离发热点 1m 远的地方作为导线或线路金具的温度为参考温度 Ta,被测量对象的温度为 T,其温度差 △T=T-Ta。一般情况下,△T 超过 5℃时可认为有轻微接触隐患。△T 超过 l5℃即为重大隐患,△T 超过 40℃为紧急缺陷。其诊断标准见表 2-1。

表 2-1　外部热故障诊断标准（热点与最低温度点的偏差）

热点位置	设备有可疑点	设备有发热隐患	设备有发热故障	设备有严重热故障	设备存在缺陷故障
各种外部裸露接头、将军帽	10～15	15～25	25～40	40～60	60℃以上
隔离刀闸的关节、套管膨胀器	10～15	15～20	25～35	35～55	55℃以上
隔离开关	10～15	15～20	25～35	35～55	55℃以上
处理意见	查明原因后处理	安排处理	必须安排处理	马上停电处理	一定停电处理

3 输电线路红外检测的条件

在高压输电线路运行过程中,经常需要作业人员利用红外仪器间接测试线路的异常处,而红外仪器测试是一项比较专业和复杂的工作,加强红外检测和诊断工作的技术和管理对于规范输电线路红外检测工作非常重要。

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

3.1 检测仪器要求

红外检测设备在携带、图像输出、测量精度和测温范围等方面应满足如下要求:

(1)红外成像仪应操作简单,携带方便,有较好的测温精确度,不受测量中高压电磁场的干扰。

(2)能满足精确检测的要求,测试精度和测试范围都满足现场规定,具有很高的温度识别能力,图像清晰。

(3)分析软件功能丰富,具有图像锁定、记录和输出功能,同时输出规范的分析报告。

(4)具备普通宽视野镜头和远距离窄视野镜头,在现场检测时检测人员根据要求可以随时切换镜头推荐参数如下:测量范围 0℃ ~ 300℃;测量精度 ± 05%;辐射率 04 ~ 10;瞄准方式光学激光瞄准;工作距离 5m ~ 75m;距离系数 10001;分辨率 1° ;使用环境温度 - 30℃ ~ 60℃;测量方位角 360° 、俯角 30° 、仰角 90° ;质量 3kg 以下。

(5) 选择红外测温仪可分为 3 个方面: ①性能指标方面,如温度范围、光斑尺寸、工作波长、测量精度、窗口、显示和输出、响应时间、保护附件等;②环境和工作条件方面,如环境温度、窗口、显示和输出、保护附件等;③其他选择方面,如使用方便、维修和校准性能以及价格等,也对测温仪的选择产生一定的影响。

3.2 检测人员要求

电气设备红外热像检测是直接为保证电力安全生产服务的一项带电检测技术, 从事电气设备红外热像检测人员应具备如下条件:

(1)了解红外热成像诊断技术的基本条件和诊断程序,熟悉红外热成像仪的工作原理,技术参数和性能,熟悉掌握仪器的操作程序和调试方法。

(2)在测温前了解线路的运行状况,特别是线路所带负荷大小和导致设备故障的基本因素。

(3)熟悉《输电设备红外检测技术管理标准》,并经过红外成像仪的现场操作培训。

(4)具有一定的现场工作实际经验,熟悉并能严格遵守电力生产和工作现场的有关安全规程。

(5)在现场红外检测时,遇有温度异常的情况需要登塔确认时,一定在有监护人时登塔检测,并与带电体保持安全距离

3.3 测试环境要求

3.3.1 一般测试要求

(1)被检设备须是带电运行设备,应尽量避开视线中的封闭遮挡物如玻璃窗、门或盖板。

(2)环境温度一般不低于设备适应温度,环境温度一般不宜低于 5℃、空气湿度一般不大于 85%。如低于设备适应温度时,应采取保温措施夜间图像质量最好;不应在雷大雨等气象条件下进行检测,风速一般不大于 5m/s(树叶和微枝摆动不息,旗帜展开相当于 3 级风,3.4~5.4m/s)。在进行红外测温前, 必需先测环境温度、湿度。环境温度表见图 3-1。

图 3-1 环境温度表

(3)气候为阴天、多云为宜,室外晴天要避开阳光直接照射或反射入镜,无雾。在室内检测应避开灯光的直射,最好闭灯检测。

(4)避免测温仪的环境温度发生突变,待它与环境温度平衡后,方能投用,以减少温差造成的误差。

(5)检测电流致热的设备,最好在设备负荷高峰状态下进行,一般不低于额定负荷的 30%。

3.3.2 精确检测要求

除满足一般测试的环境要求外,还需要满足以下要求:

(1)风速风速一般不大于 0.5m/s(烟能表示方向,树叶略有摇动相当于 1 级风,0.3~1.5m/s)。

(2)设备通电时间不小于 6 小时,最好在 24 小时以上。

(3)电压致热设备测试时,应在天气为阴天、夜间或晴天日落 2h 后。

(4)当发现设备有缺陷时,应逐渐靠近被测设备,并从不同角度观察,以避免红外反光的影响造成误判。

3.4 现场操作要求

3.4.1 一般检测

(1)红外热像仪在开机后,需进行内部温度校准,在图像稳定后即可开始。

(2) 红外检测一般先用红外热像仪对所有应测试部位进行全面扫描,发现热像异常部位,然后对异常部位和重点被检测设备进行精确测温。

(3) 热像系统的初始温度量程宜设置在环境温度加 10K-20K 左右的温升范围内进行检测。

(4)有伪彩色显示功能的热像系统,宜选择彩色显示方式,并结合数值测温手段,如高温跟踪,区域温度跟踪等手段进行检测。

(5) 应充分利用红外设备的有关功能达到最佳检测效果,如图像平均,自动跟踪。

(6)环境温度发生较大变化时,应对仪器重新进行内部温度校准(有自校除外),校准按仪器的说明书进行。

(7)被检测电气设备的辐射率一般可取 0.9。

3.4.2 精确检测

(1) 检测温升所用的环境温度参照体应尽可能选择与被测设备类似的物体, 且最好能在同一方向或同一视场中选择。

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

(2)在安全距离保证的条件下,红外仪器宜尽量靠近被检设备,使被检设备充满整个视场。以提高红外仪器对被检设备表面细节的分辨能力及测温精度,必要时,可使用中长焦距镜头,线路检测一般需使用中长焦距镜头。

(3)精确测量跟踪应事先设定几个不同的角度,确定可进行检测的最佳位置,并作上标记,使以后的复测仍在该位置,有互比性,提高作业效率。

(4) 正确选择被测物体的辐射率 (可参考下列数值选取:瓷套类选 0.92,带漆部位金属类选 0.94,金属导线及金属连接选 0.9)。

(5)仪器应有大气条件的修正模型,可将大气温度、相对湿度、测量距离等补偿参数输入,进行修正,并选择适当的测温范围。

(6)记录被检设备的实际负荷电流、电压及被检物温度及环境参照体的温度值。

(7)为了测温,将仪器对准要测的物体,按触发器在仪器的 LCD 上读出温度数据,保证安排好距离和光斑尺寸之比,和视场。红外测温仪使用时应注意的问题:

A.只测量表面温度,红外测温仪不能测量内部温度。

B.波长在 5um 以上不能透过石英玻璃进行测温,玻璃有很特殊的反射和透过特性,不允许精确红外温度读数。但可通过红外窗口测温。红外测温仪最好不用于光亮的或抛光的金属表面的测温(不锈钢、铝等)。

C.定位热点,要发现热点,仪器瞄准目标,然后在目标上作上下扫描运动,直至确定热点。

D.注意环境条件:蒸汽、尘土、烟雾等。它阻挡仪器的光学系统而影响精确测温。

E.环境温度,如果测温仪突然暴露在环境温差为 20℃或更高的情况下,允许仪器在 20 分钟内调节到新的环境温度。

3.5 检测周期要求

(1)带电运行的输电设备红外测试时间,应根据输电线路的重要性电压等级所带负荷和环境条件确定。

(2) 对正常运行的 500 kV 及以上架空线路和重要的 220(330)kV 架空线路耐张线夹、引流板、引流并沟线夹等设备应每年检测一次;110 kV 的输电线路和其他的 220 kV 输电线路,可每两年进行一次测试。

(3)输电线路的检测一般在线路重负荷(超过额定负荷的 80%)前和重负荷运行时进行,对于新建、大修后或改建的线路,应在带电运行后一个月内进行一次红外测试。

(4)对于运行环境差陈旧有缺陷的线路,在重负荷运行期间,需要增加检测次数。

(5)在运行方式调整后,潮流分布改变及大负荷、高温天气、重要节假日等情况,有重点地开展临时检测工作。

(6) 电压致热设备应根据运行年限进行周期测试。第一,复合绝缘子挂网 5 年内至少测试一次,挂网满 5 年不满 10 年的测试周期不超过 3 年, 挂网 10 年以上的应每 1 年测试一次;第二,瓷式绝缘子挂网 10 年内应每 5 年测试一次,挂网满 10 年不满 20 年的应每 3 年测试一次,挂网 20 年以上的应每 2 年测试一次第三, 带间隙避雷器每 2 年测试一次,不带间隙避雷器每年测试一次。

(7) 对于其他监督手段检测发现问题的设备应根据情况随时安排检测。

3.6 基础管理要求

3.6.1 图谱管理

(1) 要求在检测报告中简要叙述被检测设备的运行情况历史背景检测人员完成情况等内容。

(2)说明检测日期和具体时间,被检测设备电压等级、检测时的实际负荷、气象条件、环境条件、仪器型号、检测距离。

(3) 要保留故障点的红外热像图和相应部位的可见光照片, 对其中故障红外热像图必须将红外成像仪中的温度自动指示箭头指示发热中心区域。

(4) 对发热的故障现象, 以通俗易懂的形式对故障属性、确切位置、严重程度定级及故障起因给出相应解释和诊断结论,特别是对于一些典型的故障,需要作出统计分析。

(5) 在一个红外检测周期结束后需要将每一条线路的红外图谱整理后并建立红外图谱库,一起存入技术档案。

3.6.2 仪器管理

(1)红外检测仪器有专人负责,妥善保管,定期进行检查和比对。

(2)仪器档案资料完整,具有出厂合格证、使用说明、质保书、分析软件和操作手册等。厂家应提供仪器校验报告。

(3)红外检测仪器的保管和使用环境条件、以及运输中的冲击、振动必须符合其技术性能的要求。仪器存放应防湿、干燥。

(4)当红外检测仪器发生故障,非专业人员不得擅自拆卸,必须到专业非维修点进行维修。

(5) 对红外检测仪器应定期进行保养, 每年不少于一次,仪器及附件应处于完好工作状态。

(6)红外检测仪器应定期进行校验,每两年送专业检验单位校验或比对一次。

4 输电线路红外检测的检测内容

现在实际应用的线夹大部分是铝合金线夹, 有少部分是普通铸铁线夹。我国电网从 6KV ~ 500KV 线路大部分采用铸铁和螺栓组合的耐张线夹和悬垂线夹,包括防震锤。当电流增大时,磁滞损耗随磁通密度的 1.6 ~ 2.0 次方上升,涡流损耗随磁通密度的 2.0 次方上升。涡流和磁滞损耗产生的热量使线夹内的导线温度升高, 使该处导线的机械强度下降,加之线路振动,导线就会在线夹处断股,缩短了线路的运行年限。导线中通过 400A 电流,铁磁线夹比铝合金温度上升 17 度,耗能多 30W。国外在 40 年代就开始对线路线夹等金具的升温耗能进行研究, 我国直到在 70 年代,在援外电力建设工程中外方在技术条件中提出节能金具的利

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

用问题时，才引起国内有关部门的重视。国家电力公司电力建设研究所、中国电科院、清华大学及南京线路器材厂等都是曾对铸铁线夹和铝合金线夹进行过实验。国内外的测试结果都说明一个问题：铝合金线夹节能显著。但铝合金线夹的机械强度问题在我国一直没有得到解决。进入 90 年代后，随着科技进步和先进技术的引进，铝合金线夹超过了设计标准的要求，后来在线路上大量使用铝合金线夹。铸铁线夹和铝合金线夹温度及导线温升比较就能说明一切。（见表 4-1）

表 4-1　铸铁线夹及铝合金线夹温度及导线温升

电流/A	耐张线夹/℃				悬垂线夹/℃				导线温升/℃
	铁制 1#	铁制 2#	铝制 1#	铝制 2#	铁制 1#	铁制 2#	铝制 1#	铝制 2#	
50	14	14	14	14	14	14	14	14	14
100	14	14	14	14	14	14	14	14	14
150	14	14	14	14	14	14	14	14	14
200	15	14	17	17	19	16	15	18	14
250	19	20	17	16	20	19	15	18	17
300	22	24	17	17	24	22	18	18	19
350	29	29	18	20	30	29	19	19	24
400	32	37	20	21	36	34	21	21	27
450	44	41	22	22	43	41	23	22	32
500	45	44	22	24	49	48	25	25	34

输电线路红外检测的检测内容主要包括以下几个方面：

4.1 压接型线夹

压接型线夹是利用液压或爆压产生的强大压力将导线与线夹紧紧黏合在一起在压接的过程中，由于各种原因会造成导线断股，特别是在大负荷运行的过程中，很容易使线夹发热，甚至造成断线事故发生。运行人员在红外测试中，对夹板温度高于导线温度 10 ℃以上要的要进行缺陷登记。压接型线夹见图 4-1。

4.2 螺栓型线夹

螺栓型线夹是利用螺栓和线夹将导线连接在一起的一种设备，在连接的过程中由于螺栓连接不紧密或氧化等原因造成螺栓松动，很容易使线夹发热，甚至造成断线事故发生运行人员在红外测试中，对夹板温度高于导线温度 10 ℃以上要的要进行缺陷登记。螺栓型线夹见图 4-2。

4.3 零值低值绝缘子

零值低值绝缘子是失去其应有绝缘性能的绝缘子。根

图 4-1　压接型线夹

图 4-2　螺栓型线夹

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

据红外检测数据分析，零值和低值绝缘子在热像图中主要特征有以下几个方面：低值绝缘子在运行中的热像特征是以钢帽为中心的热像；低值绝缘子在运行中的热像特征是与相邻好绝缘子相比呈暗色调的热像；低值绝缘子在运行中的热像特征是瓷盘温度明显低于钢帽温度。采用红外检测结果判断绝缘子零值低值时，仅作为此项工作的辅助诊断，准确诊断应结合零值测试等方法进行综合判断。零值低值绝缘子按要求是 4 片。零值低值绝缘子见图 4-3。

图 4-3　零值低值绝缘子

4.4 绝缘子污秽检测

在检测瓷质绝缘子的污秽程度时，尽可能地选择黄昏时段测量，这样得出的数据更准确，同时也更能反映出绝缘子的本原特性。

5 复合绝缘子的红外检测

复合绝缘子以其耐污性能强、不测零值、不用清扫、质量轻等优点已广泛使用。运行经验表明，复合绝缘子在防止污闪事故、减轻输电线路维护量等方面起到了重要作用，但是随着运行时间的增长，复合绝缘子逐渐出现了老化异常甚至运行电压下击穿等问题。正常情况下，复合绝缘子表面温度与环境温度相近，根据对复合绝缘子的运行监测，发热绝缘子主要有以下几个特征：发热点不固定，每隔一段时间发热点会转移，但大体发展方向是从高压端逐渐向接地端靠近；发热点集中在环氧玻璃棒表面，硅橡胶合成裙未见发热；温升较高，大大超过表面污秽等引起的发热温度；有明显的电晕声，红外测试中发现有过热情况时，应将测试对象纳入到抽检计划中，进行过热缺陷原因判断。复合绝缘子见图 5-4。

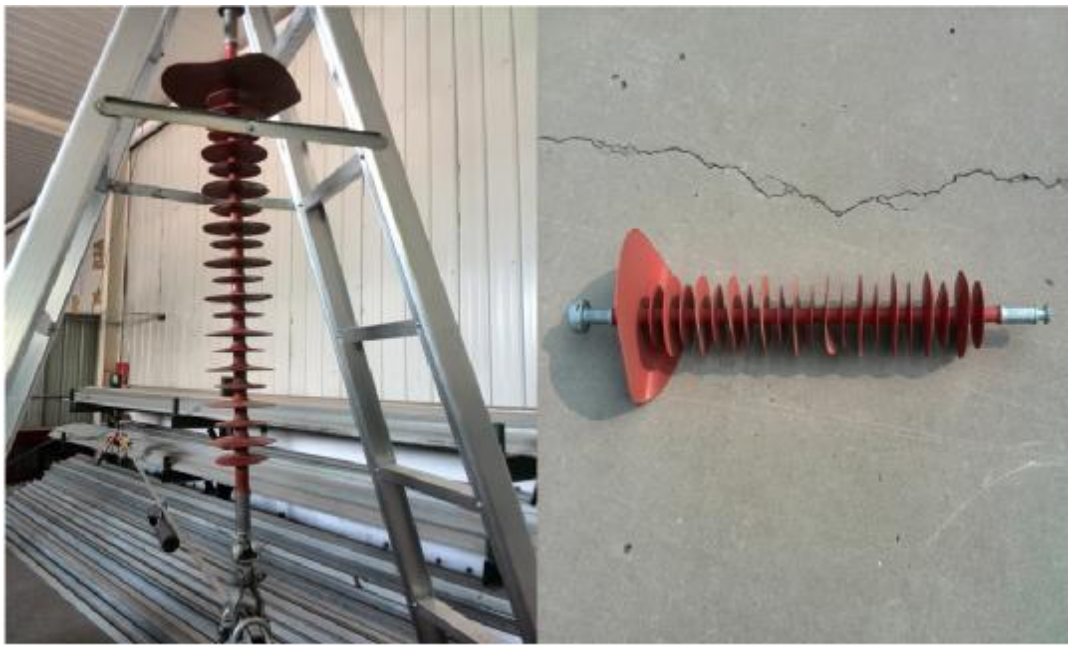

图 5-4　复合绝缘子

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

6 红外检测对输电线路中典型缺陷应用分析

6.1 高压架空输电线路故障诊断实例及原因分析

根据大量红外检测结果看,高压线路中线路金具的热缺陷较多,主要集中在耐张线夹、四分裂变三分裂连接导流板、跳线线夹、接续管等机械连接部分,见图 6-1、图 6-2、图 6-3。图 6-1 中参考点温度 38℃,最高温度 265℃;图 6-2 参考点温度 38℃,最高温度 92℃;图 6-3 参考点温度 24℃,最高温度 60.9℃。

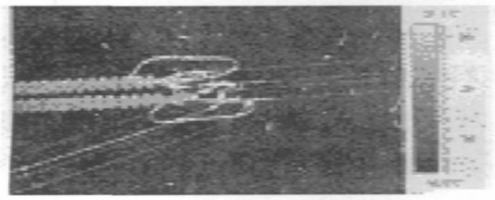

图 6-1　调整板、二线、耐张线夹多处过热

图 6-2　间隔棒与跳线连接处过热

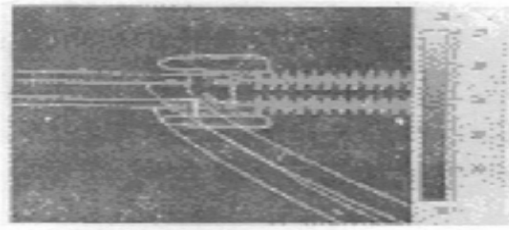

图 6-3　耐张线夹过热

6.1.1 耐张线夹压接管氧化腐蚀造成的热缺陷示例分析

2014 年 7 月 23 号在 220kv 康吕线进行红外测温时发现,18# 塔中相小号侧耐张压接管温度为 78.7℃,根据相对温升法分析,相对差判断改设备可视为紧急缺陷,经停电处理后发现线夹由于压接管氧化腐蚀使得接触面积变大,造成局部发热缺陷,由于发现处理及时,避免了事故的发生。见图 6-4。

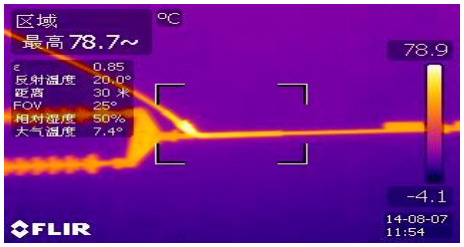

图 6-4　耐张线夹压接管氧化腐蚀造成的热缺陷

6.1.2 耐张线夹压接管松动造成的热缺陷示例分析

2014 年 7 月 31 日早 8 点,户芝 I 线(负荷 4.8 万)进行红外测温时发现,7 号塔大号侧上线和 7 号小号侧中线耐张线夹温度分别为 98.8℃和 130℃。在 2014 年 7 月 31 日中午 12 点 24 分对该线路进行跟踪复测,温度仍然居高不下,工区紧急安排检修人员上塔检查,发现其耐张线夹发热原因均为耐张线夹螺丝松动造成耐张线夹的热缺陷,在进行有针对性的检修后,于当日进行红外复测后显示 7 号塔大号侧上线和 7 号小号侧中线正常运行。见图 6-5。

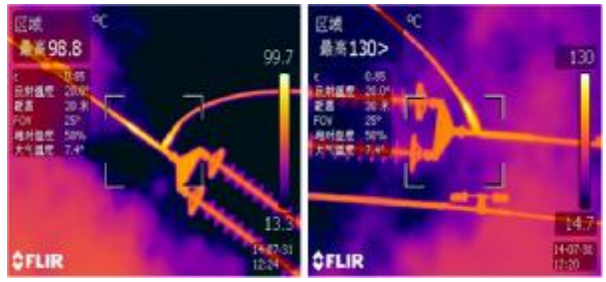

图 6-5　耐张线夹压接管松动造成的热缺陷

6.1.3 引流板发热造成的热缺陷示例分析

220kV 柏宁线红外测温情况,14 年 8 月 1 日,220kV 柏宁线负荷在 67.23%,属于 220kV 线路负荷最大一条,输电运检室按照负荷大小制定测温计划,8 月 5 日测温中发现柏宁线 74 号引流板发热,初步分析原因为防振锤跑位,造成导线振动引起引流板螺丝松动后发热,查看现场能够进行带电作业。由于发现及时,不然此处很可能弓子线松断而造成事故。见图 6-6。

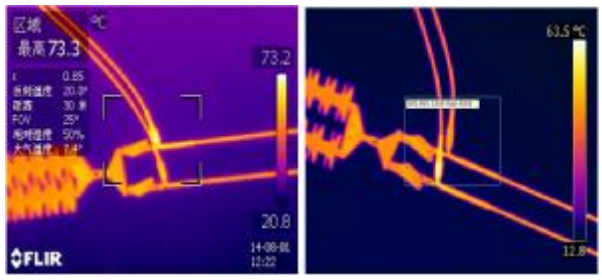

图 6-6　引流板发热造成的热缺陷

6.1.4 钢管耐张引流联板发热缺陷示例分析

2014 年 8 月 5 日,110kV 张任线 58 号耐张塔 A 相小号侧引流联板发热 102°。违反《红外测温检测技术应用》,环境温度 35°,导线温度 35°,联板超过导线温度 100°,易造成引流联板熔断事故发生。缺陷性质:严重。见图 6-7。

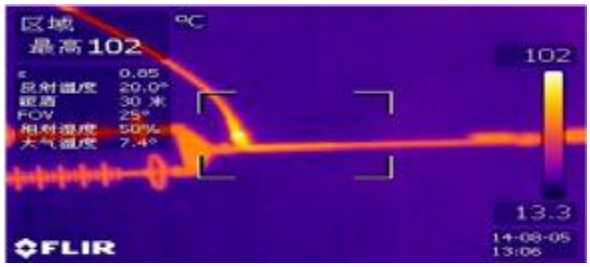

图 6-7　钢管耐张引流联板发热缺陷

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.

6.2 影响红外测温结果在输电线路热缺陷检测中准确性的因素

6.2.1 杆塔结构对测量结果的影响

输电线路杆塔由角钢组成的行架结构比较复杂，相对于其对地距离来说,之间的距离往往较小,在地面上进行同杆多个接点测量时，因为测量角度的问题往往容易受到杆塔本体钢构件的阻挡,从而对测量结果产生影响。

6.2.2 杆塔金具材料对测量结果的影响

测量过程中，由于比辐射率是根据材料性质查表进行确定的，与线路上实际环境中金具材料真实的比辐射率有一定的误差,因此会影响测量结果,尤其当线路上金具材料在使用相当长一段时间后,由于污秽和氧化的作用,对测量结果的影响更大。

6.3 红外检测注意事项

6.3.1 与被测物的距离要求

红外检测时热成像仪尽量与被测物保持较小的距离,一般不宜大于 50m(以说明书为准),由于热成像仪的型号、厂家、批次不同,温度距离系数不同,在使用过程中,应不断地总结每台热成像仪的温度距离系数，以保证缺陷分析的准确性。同时对带有调焦功能的成像仪在使用时应将图像调整到最清晰状态。

6.3.2 分析方法

(1)电流致热元件检测。在普通检测时,为了提高工作效率一般在铁塔下采用相对温差判断法进行，发现检测点与正常导体有温差,需进行登塔检测,确定实际的温度和温差。被确定有发热缺陷的点:相对温差小于 35%,表面温度小于 70℃可按一般缺陷对待进行档案法跟踪分析;相对温差小于 80%,表面温度小于 200℃可按严重缺陷对待,应及时处理;当相对温差大于 80%时应按危急缺陷马上处理。

(2)电压致热元件检测。电压致热元件检测以相对温差法进行分析,由于电压致热元件一般为绝缘子类,一旦发热主要是棒芯电蚀或绝缘子零值或劣质，所以凡发现存在温差,并跟踪分析确定为本体发热者,应按严重缺陷马上处理。

(3)检测环境。电流制热元件检测时不宜在雷、雨(雪)天气进行；电压致热元件检测不宜在雷、雨、雪、风速大于 0.5m/s 天气进行,宜于在环境湿度大情况下进行。检测时宜在无阳光的天气进行，有阳光的天气不得将成像仪对准太阳。环境温度低于 0℃时,应保证成像仪在开机的正常状态,一般在开机后 20min 方可正常工作。综上所述,输电线路分布在高山大岭、河流湖泊,外部环境受气候影响非常大。

7 红外检测优势

输电线路是电力系统的主动脉，它的性能直接决定着电力系统的安全和输电性能，而红外线检测技术可以提供科学有效的数据参数，能动态地掌握高压输电线路的运行状态，对设备运行管理的水平和电网安全优质供电能起到积极地推进作用,红外检测优势主要体现在以下两个方面:

7.1 红外检测是一种便捷先进的检测手段

红外线成像仪测温技术具有不停电、不接触、远距离等特点,同时也具有测试简单、微机处理、图像保留等优点,此技术为电力系统线路状态的隐患诊断提供了一种先进的手段。

7.2 红外检测是一种高效准确的检测手段

红外诊断技术是一项实践证明有效性较高的带电检测项目,为早期诊断电力设备故障隐患,特别是为检测电力设备过热性缺陷提供了方便快捷的测试手段。邢台供电分公司经过大量的输电线路带电红外诊断应用，发现了许多发热缺陷,及时组织进行了处理,保证了邢台电网安全运行。

8 红外检测管理办法

为了加强输电线路红外检测与诊断工作，进一步规范电网红外检测工作，保障红外测温设备能够有效的发挥作用,充分发挥红外检测技术对电网安全运行的作用,建议开展以下为主要内容的红外检测管理工作:

(1) 红外检测工作应纳入各级技术监督和输电运行与检修的管理范围,由单位巡线组负责。

(2)制定出红外检测工作的各项标准、制度和规定,并建立红外诊断缺陷数据库。

(3)定期组织召开红外的检测工作会议,审查红外检测报告。组织过热缺陷分析,提出分析处理意见,重大缺陷应及时向上级部门汇报。

(4) 检测人员必须了解红外诊断技术的基本条件和诊断程序,掌握仪器的操作方法。及时了解被检测设备的结构特点、外部接线、运行状况和导致设备故障的基本因素,并且应熟悉红外图谱数据录入和数据库日常维护工作。

(5)对于重要设备、陈旧设备、缺陷设备,或负荷突然增加的设备,需增加检测次数。输电线路每年检测 1 次,对有异常的部位应进行精确或跟踪检测以确定缺陷性质。

(6) 按照基础管理中仪器管理要求加强对红外检测仪器的管理。

参考文献:

[1]董其国.红外线诊断技术在电力设备中的应用[M].北京:机械工业出版社,1998.

[2]陈衡,侯善敬.电力设备故障红外诊断[M].北京:中国电力出版社,1999.

[3]胡世征.电气设备的红外诊断的相对温差的判断法及判断标准[J].电网技术,1998.

[4]R 万兹蒂.红外技术的实际应用[M].北京:科学出版社,1981.

[5]关荣华,曹春梅,陈衡.工业设备内部缺陷的红外热诊断研究[J].激光与红外,2001.

[6] 张庆静. 红外线成像仪在高压输电线路中的应用[J].科技创新与生产力.2011.

[7]戴文进.高压输电线路的红外诊断技术[J]电力建设 2011.

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attibution-NonCommercial 4.0 International License.