

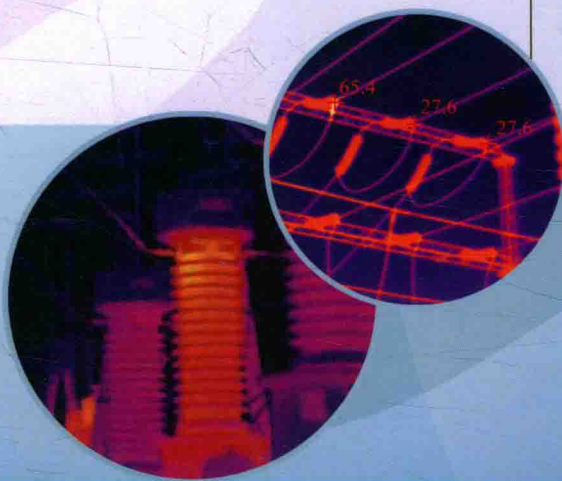
DIANLISEHBEI GUZHANG

DIANXING HONGWAI TUPU FENXI

电力设备故障

典型红外图谱分析

亢建明 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANLISEHBEI GUZHANG

DIANXING HONGWAI TUPU FENXI

电力设备故障

典型红外图谱分析

亢建明 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

国民经济飞速发展,人们生活对电力的依赖程度也越来越高,同时电气设备不断改进,电力行业优质服务不断深化,电网公司设备检修策略从计划性检修向设备状态性检修转变,对供电稳定性及可靠性提出了更高要求。红外线测温诊断技术是当前电气设备在线检测技术中的一种,因其具有快捷、方便、灵敏度高、非接触性远距离测量、无需使被测设备停运或解体等优点并得到电力检修部门的广泛应用。

本书共分12章,按输变电设备分类,以变压器、断路器、电压互感器、电流互感器等设备类型的不同红外成像特征和诊断方法得出不同的结论,并以近几年红外成像仪的成功应用案例为基础,通过大量珍贵的图片资料,给出输变电设备异常发热的典型信息,并分析引起这些发热的可能原因,图文配合,富有逻辑。

本书实用性强、覆盖面广、通俗易懂,可作为电网公司检修专业红外测温专业人员提高设备诊断技能的重要手册,也可作为电力检修和运维人员提高技能水平的应用型教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力设备故障典型红外图谱分析 / 亢建明编著. --
北京: 中国电力出版社, 2016.1
ISBN 978-7-5123-8138-4

I. ①电… II. ①亢… III. ①电力设备-红外线检测-图谱 IV. ①TM4-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第183079号

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016年1月第一版 2016年1月北京第一次印刷
710毫米×980毫米 16开本 7.5印张 100千字
印数0001—3000册 定价 38.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

随着国民经济的飞速发展，人们生活水平的不断提高，用电量急剧升高，人们生活对电力的依赖程度也越来越高，大面积停电已经成为现代社会的灾难；再加上电气设备的不断改进，电力行业优质服务的不断深化，当前国家电网公司系统内的设备检修策略正从传统的计划性检修向设备状态性检修转变，这就对供电稳定性及可靠性提出了更高要求。因此，要求电气设备检修采用更多的在线检测方法并对设备状态有更准确的判断，从而制订停电计划。红外线测温诊断技术就是当前电气设备在线检测技术中的一种，因其具有快捷、方便、灵敏度高、非接触性远距离测量、无需使被测设备停运或解体等优点而得到电力检修部门的广泛应用。

红外成像测温技术在电力检修诊断实践中更加系统化和直观化。本书根据红外成像仪具体的成功应用案例，收集了大量珍贵的图片资料，按输变电设备分类，以变压器、断路器、电压互感器、电流互感器等设备类型的不同红外成像特征和诊断方法得出不同的结论，涵盖了基本输变电设备异常发热的典型信息，并分析了引起这些发热的可能原因，图文配合，便于对照，通俗易懂，希望能为电网公司检修专业红外测温专业人员提高设备诊断技能形成参考。

由于编者水平和经验有限，在编写过程中难免有疏漏之处，恳请广大读者和各方面专家提出宝贵意见。

编著者

2015年10月24日

目 录

前 言

第 1 章 带电设备红外诊断的基本概念

- 1.1 术语和定义 / 2
- 1.2 检测条件要求 / 3
- 1.3 缺陷类型的确定及处理方法 / 3

第 2 章 变压器

- 2.1 箱体涡流损耗发热 / 6
- 2.2 冷却装置及油路系统异常 / 7
- 2.3 套管 / 11
- 2.4 油枕 / 16
- 2.5 控制柜 / 17

第 3 章 高压断路器

- 3.1 外部接线连接故障 / 20
- 3.2 内部触头连接故障 / 20
- 3.3 断路器操作机构箱异常发热 / 21
- 3.4 本体 / 22
- 3.5 断路器均压电容 / 24
- 3.6 机构 / 24

第 4 章 高压隔离开关

- 4.1 外部连接接触不良 / 34
- 4.2 隔离开关刀口（或触头）处过热 / 34
- 4.3 隔离开关转头部位过热 / 36

第 5 章 电压互感器

- 5.1 电磁式电压互感器内部故障 / 44
- 5.2 CVT 电磁单元内部故障 / 45

第 6 章 电流互感器

- 6.1 外部连接故障 / 50
- 6.2 内部连接故障 / 50
- 6.3 受潮或绝缘故障 / 51
- 6.4 二次回路故障 / 52

第 7 章 电力电缆

- 7.1 出线接头接触不良 / 60
- 7.2 电缆局部绝缘不良 / 60
- 7.3 电缆头内部连接不良 / 61

第 8 章 金属氧化物避雷器

- 8.1 阀片受潮或老化 / 68
- 8.2 避雷器瓷套污秽引起发热 / 69

第 9 章 电力电容器

- 9.1 串 (并) 联电容器 / 72

第 10 章 绝缘子

- 10.1 低值绝缘子 / 82
- 10.2 零值绝缘子 / 82
- 10.3 污秽绝缘子 / 83

第 11 章 高压套管

- 11.1 导电回路连接处接触不良 / 88
- 11.2 套管缺油 / 88
- 11.3 介质损耗增大 / 89
- 11.4 套管污秽 / 90
- 11.5 穿墙套管支撑板发热 / 90

第 12 章 其他载流设备

- 12.1 母线连接部位接触不良 / 104
- 12.2 输电线路线夹部位接触不良 / 104
- 12.3 导线断股异常发热 / 105

第 1 章 带电设备红外诊断的基本概念

1.1 术语和定义

温升：被测设备表面温度和环境温度参照体表面温度之差。如隔离开关刀口（被测设备）温度与其附近断开的接地隔离开关刀口（选取的环境参照体）表面温度之差。

温差：不同被测设备或同一被测设备不同部位之间的温度差。不同被测设备包括同台设备不同相间相同部位温度差（如隔离开关 U 相刀口与 V 相刀口间的温度差）和相同运行环境条件下同类同型号设备相同部位间温度差（如并列运行的两段母线上同型号避雷器相同部位间的温度差）；同一被测设备不同部位之间一般指同一设备具有相同表面属性及致热特性的不同部位间的温度差（如同一根导线两个不同接头之间的温差）。

相对温差：两个对应测点之间的温差与其中较热点的温升之比的百分数。相对温差 δ 可用下式求出：

$$\delta = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \times 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\%$$

式中 τ_1 、 T_1 ——发热点的温升和温度；

τ_2 、 T_2 ——正常的对应点的温升和温度；

T_0 ——环境参照体的温度。

例如：当环境温度 T_0 为 23.7°C 时，设备正常相温度为 27.4°C ，异常相过热点温度为 52.4°C 时，经计算可知，正常相温升 $\tau_2 = 3.7^\circ\text{C}$ ，异常相温升 τ_1 为 28.7°C ，相对温差 $\delta = 87\%$ ，判定为严重缺陷。

电压致热型设备：由于电压效应引起发热的设备。设备承受高电压，通过小电流，发热主要因为电压的作用，如氧化锌避雷器、电容式电压互感器、耦合电容器、绝缘子等发热与负荷大小无关的设备。

电流致热型设备：由于电流效应引起发热的设备。设备通过大电流，承受的电压降小，发热主要因为通过设备的电流在电阻上的发热。如变压器出线接头、套管内外部连接等发热与负荷密切相关的设备。

综合致热型设备：既有电压效应，又有电流效应，或者电磁效应引起发热的设备。设备既通过大电流又承受高电压，如高压套管、电流互感器、电力电缆终端等设备以及变压器箱体的涡流损耗。

1.2 检测条件要求

(1) 环境温度一般不低于 5°C ，相对湿度一般不大于 85%；天气以阴天、多云为宜，夜间图像质量为佳；不应在雷、雨、雾、雪等气象条件下进行，一般检测时风速不大于 5m/s ；精确检测时风速一般不大于 0.5m/s 。

(2) 户外晴天要避免阳光直接照射或反射进入仪器镜头，在室内或晚上检测应避免灯光的直射，宜闭灯检测。

(3) 检测电流致热型设备，最好在高峰负荷下进行。否则，一般应在不低于 30% 的额定负荷下进行，同时应充分考虑小负荷电流对测试结果的影响。

(4) 检测电压致热型故障时，应记录当时的运行电压。

(5) 检测综合致热性设备（如高压套管等）时，当须判断是否为设备绝缘故障时，必要时可降低负荷来进行判断。

1.3 缺陷类型的确定及处理方法

红外检测发现的设备过热缺陷应纳入设备缺陷管理制度的范围，按照设备缺陷管理流程进行处理。根据过热缺陷对电气设备运行的影响程度分为以下三类：

(1) 一般缺陷：指设备存在过热，温差不超过 15K ，不会引起事故的缺陷。这类缺陷一般要求记录在案，注意观察其缺陷的发展，利用停电机机会检修，有计划地安排试验检修消除缺陷。

(2) 严重缺陷：指设备存在过热，程度较重，温度场分布梯度较大，热点温度 $> 80^{\circ}\text{C}$ 或相对温差 $\delta \geq 80\%$ 的缺陷。这类缺陷应尽快安排处理。对电流致热型设备，应采取必要的措施，如加强检测等，必要时降低负荷电流；对电压致热型设备，应加强监测并安排其他测试手段，缺陷性质确认后，立即采

取措施消缺。

(3) 危急缺陷：指设备最高热点温度 $> 110^{\circ}\text{C}$ 或相对温差 $\delta \geq 95\%$ 的缺陷。这类缺陷应立即安排处理。对电流致热型设备，应立即降低负荷电流或立即消缺；对电压致热型设备，当缺陷明显时，应立即消缺或退出运行，如有必要，可安排其他试验手段，进一步确定缺陷性质。

第 2 章 变压器

电力变压器分干式和油浸式两类，主要为油浸式变压器。

变压器故障主要包括外部故障和内部故障。外部故障主要包括导体连接不良、漏磁引起的箱体涡流和冷却装置故障；内部故障主要包括线圈、铁芯、引线、分接开关、本体绝缘、支架等部件存在缺陷。

因变压器是大热容量设备，传热路径复杂，内部故障的发热信息很难准确传递到箱体外部，因此红外成像的方法主要诊断变压器的外部故障。

2.1 箱体涡流损耗发热

变压器内磁回路会存在漏磁通，该漏磁通在箱壳上感应电动势并形成以外壳螺栓为环流路径的环流。热像特征是以漏磁通通过并形成环流的区域（螺栓）为最高温度的热场分布。图 2-1、图 2-2 分别为漏磁通引起的螺栓过热故障时的红外热图像。

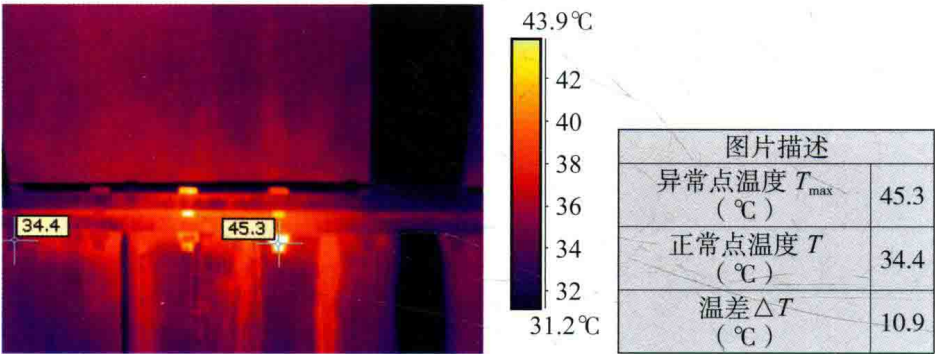


图 2-1 220kV 变压器漏磁引起的螺栓发热

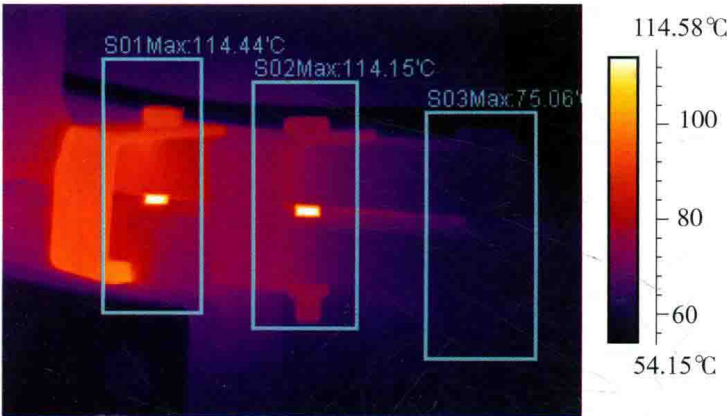


图 2-2 500kV 变压器漏磁引起的螺栓发热

2.2 冷却装置及油路系统异常

冷却装置及油路系统异常主要包括管道堵塞、阀门未开、假油位等。

管道堵塞或阀门未开，热油循环被阻断，热像特征是在无热油循环的部分管道或散热器在热像图上呈现低温区，见图 2-3 散热器部分。

因油的热传导系数与空气之间的差异，变压器油与相邻空气之间有明显的温度差，油位热像特征是在热像图上有明显的油气分界面，见图 2-4 油枕部分。

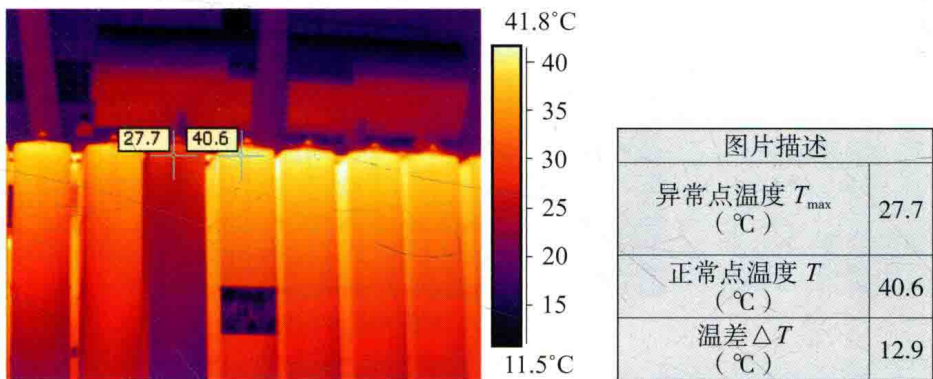


图 2-3 散热器油路不通温度异常降低

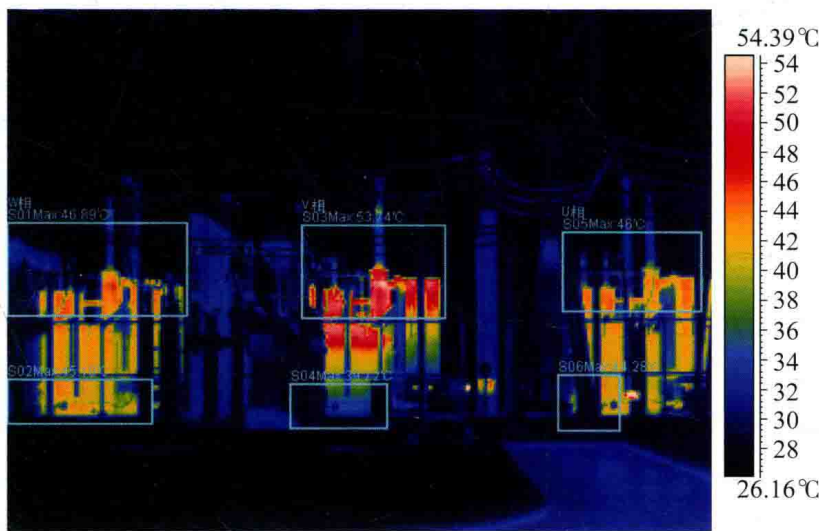


图 2-4 强迫油循环风冷阀门未打开

案例

××供电公司 220kV ×× 变电站 2 号主变压器 7 号散热器运行温度较其他散热器偏低，温差为 11.22K，相对温差为 58%。分析原因为 7 号散热器油阀门未打开，缺陷定性为严重缺陷。经现场检查确为 2 号主变压器 7 号散热器油阀门未打开，打开油阀门后缺陷消除。

可见光照片（见图 2-5）：



图 2-5 变压器散热器可见光图

故障热像图（见图 2-6）：

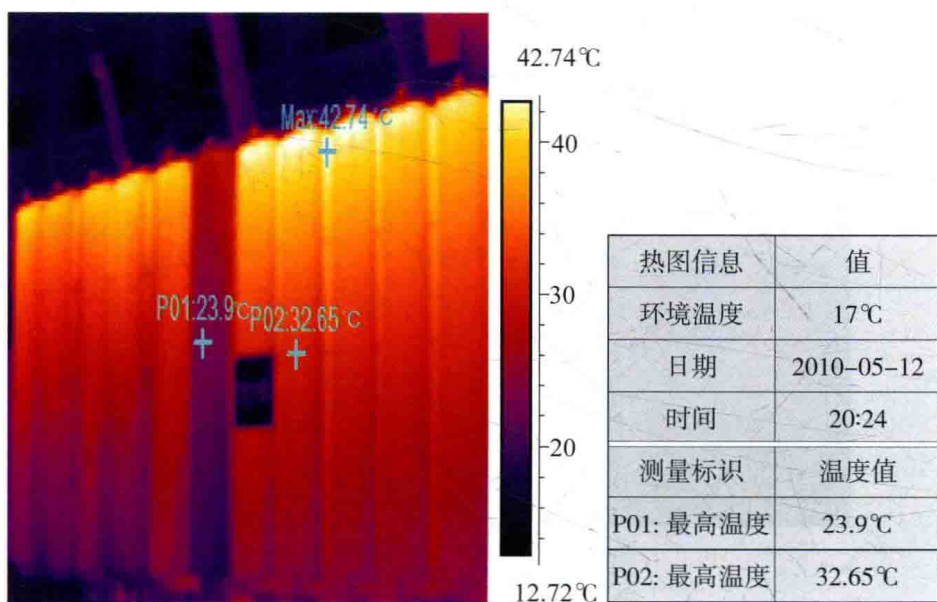


图 2-6 7 号散热器发热红外图

处理后的正常热像图（见图 2-7）：

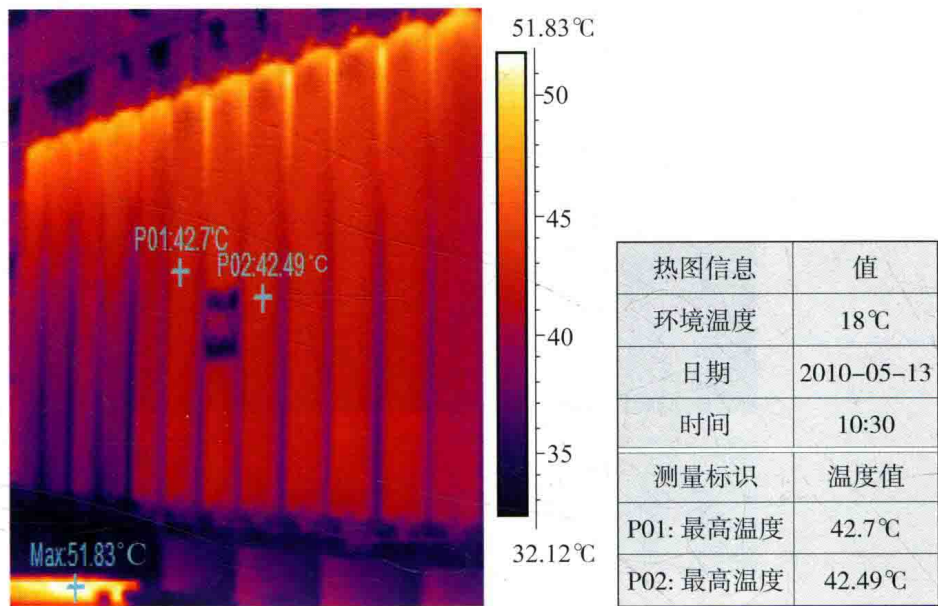


图 2-7 7 号散热器正常运行红外图

案例

××供电公司 110kV××变电站 2 号主变压器本体底部连接螺栓发热，最高温度高达 61℃，局部温差为 19.4K，相对温差为 54%。分析原因为变压器漏磁通导致螺栓发热，缺陷定性为一般缺陷。在停电检修前加强运行巡视，缩短红外检测周期。

可见光照片（见图 2-8）：

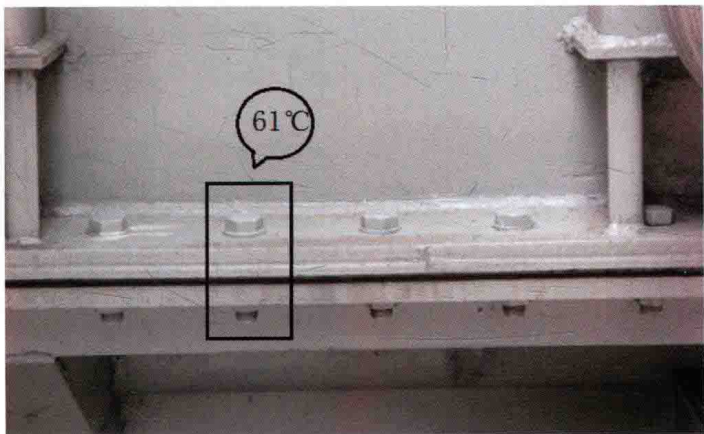


图 2-8 变压器本体底部可见光图

故障热像图（见图 2-9）：



热图信息	值	测量标识	温度值
环境温度	25℃	P01: 最高温度	61.0℃
日 期	2010-06-11	P02: 最高温度	43.0℃
时 间	19:22:10	P03: 最高温度	41.6℃

图 2-9 变压器本体底部螺栓发热红外图

案 例

××供电公司 110kV ×× 变电站 1 号主变压器本体南侧发热，最高温度达到 51.1℃，同一水平线最大温差为 11.1K。分析原因为变压器内部无磁屏蔽导致发热，缺陷定性为一般缺陷。计划在变压器大修时，在内壁加装磁屏蔽；在大修之前加强变压器运行巡视，缩短红外检测周期。

可见光图片（见图 2-10）：



图 2-10 变压器本体一侧可见光图

故障热像图（见图 2-11）：



图 2-11 变压器本体一侧发热红外图

2.3 套管

变压器套管与引线接触不良或松动、内部接触不良时会产生过热，热像特征是以接触不良部位为最高温度的热场分布。



图 2-12 相间温升在 15°C 以上，接头接触不良