ICS 29.240.99
CCS L 52

DL

中 华 人 民 共 和 国 电 力 行 业 标 准

DL/T 664—2025
代替 DL/T 664—2016

带电设备红外诊断应用规范

Application specification for infrared diagnosis of live electrical equipment

2025-12-18 发布　　2026-06-18 实施

国家能源局　　发 布

目　　次

前言 ..... Ⅱ
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　现场检测 3
5　现场操作 4
6　热像仪管理和检验 5
7　红外检测周期 8
8　诊断方法 9
9　诊断判据 10
10　异常分级和处理 10
附录A（资料性）风级、风速关系 11
附录B（资料性）检测仪器基本要求 12
附录C（资料性）红外通用数据存储格式 17
附录D（资料性）常用材料辐射率的参考值 19
附录E（资料性）电力红外检测诊断方法案例 20
附录F（规范性）旋转电机热异常缺陷诊断判据 26
附录G（资料性）电气设备热像异常检测报告及现场检测记录 29
附录H（规范性）高压开关设备和控制设备各种部件、材料和绝缘介质的温度和温升极限 31
附录I（规范性）外部流通类设备热异常缺陷诊断判据 33
附录J（规范性）非外部流通类设备热异常缺陷诊断判据 36
附录K（资料性）电气设备缺陷部分红外典型热像图 43

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DL/T 664—2016《带电设备红外诊断应用规范》，与DL/T 664—2016相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a) 修改了规范性引用文件，增加了GB/T 11022、GB/T 18268.1、DL/T 2224等技术标准，删除了GB/T 11021技术标准（见第2章，2016年版的第2章）；
b) 修改了术语和定义，删除了温差、一般检测和精确检测等术语，增加了巡视性检测、诊断性检测、外部通流类设备（部件）、非外部通流类设备（部件）、同类温差和最小可分辨温差等术语，修改了温差、同类设备等术语定义（见第3章，2016年版的第3章）；
c) 修改了设备热异常缺陷程度的确定及维修建议（见第10章，2016年版的10.1、10.2）；
d) 增加了电力红外检测诊断方法案例（见附录E，2016年版的附录E）；
e) 增加了GIS设备和更新了绝缘子等部分设备的热异常缺陷诊断判据（见附录I、附录J，2016年版的附录I、附录J）；
f) 增加、删除了部分设备或典型缺陷的热像图（见附录K，2016年版的附录K）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会高电压试验技术分技术委员会(SAC/TC 163/SC 1）归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司华东分部、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、中国工程物理研究院流体物理研究所、国家高电压计量站、国网计量中心有限公司、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、内蒙古电力集团内蒙古电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、国网重庆市电力公司电力科学研究院、中国能源建设集团浙江火电建设有限公司、广西电网有限责任公司电力科学研究院、国网吉林省电力有限公司电力科学研究院、国网江西省电力有限公司超高压分公司、国网青海省电力公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司、武汉高德红外股份有限公司、上海热像科技股份有限公司、湖北华中电力科技开发有限责任公司、浙江大立科技股份有限公司、广州飒特红外股份有限公司、浙江天铂云科光电股份有限公司。

本文件起草人：周建国、殷小东、汪泉、汪涛、雷民、张致、刘合金、彭向阳、杜良辉、金鑫、王斯琪、齐聪、车传强、肖嵘、周电波、王谦、邱俊、张磊、杨代勇、徐波、王生杰、蔺菲、黄晟、赵纪民、朱银军、陈红强、张小清、梁川。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2008 年首次发布为 DL/T 664—2008，2016 年第一次修订；

——本次为第二次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化部（北京市白广路二条一号，100761）。

带电设备红外诊断应用规范

1 范围

本文件规定了带电高压电气设备红外诊断的现场检测、现场操作、热像仪管理和检验、红外检测周期、诊断方法、诊断判据、异常分级和处理等。

本文件适用于采用红外热像仪对电流、电压致热效应或其它异常致热效应引起的设备表面温度异常及电气设备SF_6气体泄漏异常进行的检测诊断。

使用其他红外测温工具（如：红外点温仪等）检测诊断的可参考本文件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 11022—2020 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求

GB/T 18268.1 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第1部分：通用要求

GB/T 19870—2018 工业检测型红外热像仪

GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分

GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分

DL/T 2224 电气设备 SF_6气体泄漏红外成像现场测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

表面温差 surface temperature difference

同类设备相对应表面或同一设备不同部位表面的温度之差。

3.2

相对温差 relative temperature difference

两同类设备相对应测点之间的温升之差与其中较高温度点的温升之比的百分数。

3.3

巡视性检测 patrol detection

在巡视检查中使用红外热像仪对电气设备表面温度分布进行的检测。

3.4

诊断性检测 diagnostic detection

对热异常的电气设备状态进行精准判断的检测。

3.5

连续检测/监测 continuous measurement

在一段时间内连续检测某被检设备，以便观察设备表面温度随负载电流、持续时间、环境等因素影响的变化趋势，把握缺陷发展的紧急程度。

3.6

电压致热 voltage-inductive heating

绝缘介质在其所承受电压作用下，因介质损耗、介质泄漏电流等内部因素，或者表面泄漏电流、材料裂纹等外部因素而发热。

3.7

电流致热 current-inductive heating

导体自身和/或导体电接触部位在所通过的电流作用下，因其自身电阻和/或接触电阻而发热。

3.8

综合致热 comprehensive heating

有电压、电流，或者电磁、机械等多种致热因素综合作用下而发热。

3.9

外部通流类设备（部件）exposed equipment with load current

裸露的载流金属导体件、导体接触/连接件、薄层绝缘（漆、纸、橡、塑等）的载流绕组、线缆，干式变压器、干式电抗器等。

3.10

非外部通流类设备（部件）non-exposed equipment with load current

“外部通流类设备”除外的其他设备或部件，包含电压致热型和其他表面温度异常设备。

注：一些外表面异常热像，如：瓷绝缘子（含线路、支柱和套管）污秽表面、渗漏油套管表面的热像异常等，本文件均将其归为非外部通流类设备。

3.11

噪声等效温差 noise equivalent temperature difference；NETD

热像仪观察一个低空间频率的圆形或方形靶标时，当其视频信号的信噪比（S/N）为1时，目标与背景之间的最小可分辨温差。它是评价热像仪探测目标灵敏程度和噪声大小的一个客观参数，单位：mK。

[来源：GB/T 19870-2018，3.3]

3.12

同类设备 congeneric equipment

同工况下同组各相（或直流反相另一极）、或在同相（极）不同安装位置、或本设备连续同材质表面、同结构部件、或其他同型（整体的或分相的）设备。

注：全封闭（组合）电器同类一般指相同设备气室。

3.13

同类温差 congeneric temperature difference

同类设备对应两个相同部位检测点之间的温差。

3.14

空间分辨力 spatial resolution

红外热像仪分辨物体空间几何形状细节的能力。可用探测器像元张角（DAS）或瞬时视场来表示。

[来源：GB/T 19870—2018，3.5，有修改]

3.15

最小可分辨温差 minimum resolvable temperature difference; MRTD

目标与背景的温差，即在特定的空间频率下，观察者刚好能分辨出四杆靶时的温差，是综合评价热像仪温度分辨率与空间分辨力的特征参量，包括观察者的主观影响。

[来源：GB/T 19870—2018，3.13]

4 现场检测

4.1 人员要求

现场红外检测和诊断的工程技术人员应具备以下条件：

a） 熟悉红外检测诊断技术的基本原理和程序，熟悉红外热像仪的工作原理、技术参数和性能，掌握热像仪的操作程序和使用方法；

b） 了解被检设备的内、外部元件构造、性能原理、运行状况和导致设备热异常的基本原因；

c） 熟悉本文件，掌握设备内、外部异常发热的检测和诊断方法；

d） 经电力红外检测技术专业培训，并经电力设备运维单位/部门资格认可。

4.2 安全要求

检测前的安全要求如下：

a） 检测人员应严格执行 GB 26859、GB 26860 相关规定；

b） 应完成工作现场安全规定的学习和培训，并经考核合格；

c） 现场红外检测工作人员应不少于 2 人。

4.3 环境和设备要求

环境和设备要求如下：

a） 被检测设备初始通电时间宜大于 24h，使设备温升波动充分稳定；

b） 应避开视线中的遮挡物；

c） 环境温度宜不低于 0℃（对“外部通流类”检测，环温可低于 0℃），相对湿度宜不大于 85%，巡视性检测时风速宜不大于 5 m/s，诊断性检测时风速宜不大于 1.5 m/s，现场风级观察见附录 A；

d） 白天在室外应避开阳光直射或通过被摄物反射进入仪器镜头；在室内或晚上宜避开有灯光直射入镜，在安全允许的条件下可闭灯检测。户外检测期间，以阴天、多云、晴天日落以后和非恶劣气象（雨、雾、雪和大风等）的夜间天气为佳；

e） 宜通过改变检测角度，避开或减少附近有影响检测结果的强热源辐射所产生的反射干扰；

f） 检测诊断电流致热型设备，宜在不低于 30%的额定负荷条件下进行。

4.4 仪器要求

4.4.1 仪器配置

热像仪配置根据运维单位的电气设备运行检修管理模式、设备电压等级、管理范围和系统规模、以及诊断检测要求等实际情况，采取差异化配置。在线型红外检测（监测）热像仪，还应根据所检测目标的重要性、要求实现的功能和热像仪系统的性价比等因素综合考虑，合理配置。

对高压输电线路绝缘子（瓷绝缘子劣化、复合绝缘子老化破损）等远距离小尺寸设备/部件目标的诊断性检测，在距离目标 10 m、20 m、30 m 内，建议热像仪的空间分辨力分别不应大于 0.68 mrad、0.4 mrad、0.23 mrad。机载热像仪是诊断性检测绝缘子温度异常的一种常用配置。

4.4.2 离线型热像仪

离线型热像仪基本要求如下：

a） 手持式，电池供电；

b） 能实时给出被检目标的温度及温度分布图像信息，配备合适镜头，宜存储和传送图像，具备故障基本分析诊断性检测功能；

c） 能满足开展巡视性检测和/或诊断性检测的性能要求；

基本参数见附录 B.1 和附录 C。

4.4.3 在线型热像仪

在线型热像仪基本要求如下：

a） 在被检测目标距离范围内能进行连续的在线热像检测，并将信号传输至主控后台系统；

b） 具有外部供电及通讯接口，具备长时间连续稳定工作能力，能适应现场的电磁和气象环境条件；

c） 根据应用场景不同，在线型热像仪可配置底座、护罩，或安装于导轨、云台、机器人、无人机等多种形式的载体或载具，实现监测装置移动，完成对多个目标、多个区域和高空设备的热像检/监测；

d） 根据不同应用条件，热像仪应能满足开展巡视性检测和/或诊断性检测的性能要求。

基本参数见附录 B.2 和附录 C。

4.4.4 SF_6气体检漏热像仪

SF_6 气体检漏热像仪基本要求如下：

a） 能对 SF_6气体泄漏进行安全距离以外的非接触式检测；

b） 具有低噪声等效温差和较高气体检漏探测灵敏度；基本要求见附录 B.3。

5 现场操作

5.1 分类

现场红外检测分为：巡视性检测、诊断性检测（含试验通电条件下的检测）。诊断性检测通常是在巡视性检测基础上跟踪进行的检测，也可根据需要直接进行。

5.2 巡视性检测

热像仪开机后应先完成预热及温度的自动检验，当热图像稳定，数据显示正常后方可开始工作。操作方法和具体要求如下：

——可采用自动量程设定;手动设定时，尤其对非外部通流类设备，仪器的温度量程宜设置从 T_0-10℃至 T_0+20℃左右的量程范围,其中 T_0 为被检设备区域的环境温度；对电压致热型等温度差异较小（＜2 K）的设备进行巡检时，应适时调整温度量程，使温差热像清晰显现；

——仪器中输入被检设备现场的环境温度、相对湿度、测量距离等补偿参数。被检设备的辐射率可统一取0.9；

——可按巡视回路或设备区域对被检设备进行测温巡查，发现有温度分布异常特征时即记存热像，并即可完成对视为异常设备而跟进的诊断性检测（现场热像仪等应满足精检要求）；

——采用选择彩色显示方式，宜选择铁红调色板；

——充分利用仪器的有关功能，如图像平均，自动跟踪等，以达到最佳检测效果。对于面状发热部位，如套管压接板，可采用区域最高温度自动跟踪，以发现高温热源；对于柱状发热设备，如避雷器，可采用线性温度分析功能，以发现高温热源等；

——根据环境温度起伏变化、仪器长时间监测稳定性等情况，检测过程中注意对仪器（需要时）重新进行内部温度等参数的设定。

5.3 诊断性检测

5.3.1 在运行条件下

热像仪对地面设备检测宜靠近被检设备，使被检设备（或目标）成像清晰。高空输电线路绝缘子检测诊断宜根据电压等级和测试距离，选用高空间分辨力（0.2 mrad～0.7 mrad）热像仪或无人机配置的热像仪。操作方法要求如下：

——宜选取几个不同的角度和位置观察，一是确定最佳检测位置并记录，其次是避开圆柱、圆环、圆球体等被检物体对来自附近热源辐射后的反射影响；

——正确选择被检设备表面的辐射率，可参考下列数值选取：硅橡胶类可取 0.95，电瓷类可取 0.92，氧化金属导线及金属连接选 0.9。现场实测过程中有多种材质的表面交替出现，即有多种辐射系数交替改变，因此，实测过程仍建议设定一个系数 0.9 进行检测（受此系数影响工程上可以接受），并且若有必要，对记存的数字热像通过软件可重置辐射率后重新做诊断。更多材料、

不同状态表面的辐射率需要时可见附录 D；

——将环境温度、相对湿度、测量距离等补偿参数进行必要的设置修正；

——发现设备可能存在温度分布特征异常时，应再细调温度范围，使异常设备或部位突出显示；

——记录被检设备的现场负荷（有异常或另有需要时，还可记录现场常态满负荷运行时的）电流、运行电压，以及被检物体温度和环境温、湿度值，同时记录热像图和可见光照片（需要时）等；

——确认为外部通流类检测异常发热，宜采用 8.1、8.2 方法诊断；

——确认为非外部通流类检测热异常发热，宜采用 8.3、8.4 方法诊断，设备内通有接触电阻性负荷电流的还可用 8.2 方法辅以分析诊断；

——引用本文件相应的诊断判据的附录判据条款，进行缺陷性质判定。

现场具体操作，以及“外部通流类设备”和“非外部通流类设备”的分类指南见附录E“电力红外检测诊断方法案例”。

5.3.2 在试验通电条件下

通过对被检测设备施加合适的电压或电流的方式，使被检测设备的温度达到检测需要的（或热平衡的）状态，采用诊断性检测的方法对被检测设备进行热像检测。旋转电机（发电机设施含出线母线）的检测和诊断按照附录 F 要求。

6 热像仪管理和检验

6.1 仪器管理

仪器管理应满足以下要求：

a） 有专人负责保管，有完善的使用管理规定；

b） 档案资料完整，具有检验报告、合格证、使用说明、质保书和操作手册等；

c） 存放应有防湿、干燥措施，使用环境条件、运输中的冲击和振动等应符合产品技术条件的要求；

d） 不应擅自拆卸，有故障时须到仪器厂家或厂家指定的维修点进行维修；

e） 定期进行保养，包括通电检查、电池充放电、存储卡存储处理、镜头的检查等，以保证仪器及附件处于完好状态；

f） 仪器应定期进行检验。检验不合格且不能修复的仪器应停止使用。

6.2 仪器检验

6.2.1 检验基本项目及周期

红外热像仪的检验项目、检验周期、检验方法与要求见表1。

表 1 红外热像仪的检验项目、检验周期、检验方法与要求

序号	检验项目	检验周期	检验方法与要求
1	外观与基本功能	1）首次使用时。 2）1年。 3）仪器使用前自检。 4）必要时。	6.2.2.1
2	最大允许误差（准确度）	1）首次使用时。 2）1年。 3）必要时。	6.2.2.2
3	噪声等效温差（NETD）	必要时	6.2.2.3
4	连续稳定工作时间	必要时	6.2.2.4
5	测温一致性	1）首次使用时。 2）1年。 3）必要时。	6.2.2.5
6	环境温度影响	必要时	6.2.2.6
7	最小可分辨温差（MRTD）	必要时	6.2.2.7

6.2.2 检验基本方法

6.2.2.1 外观与基本功能

主机及其各种配件的壳体不应出现明显受损的划伤、凹陷、变形、脱漆。壳体和镜面应清洁无污迹。手动操作调整焦距、调节亮度和对比度、测温和存取图像正常。

6.2.2.2 最大允许误差

将黑体辐射源置于规定的工作距离，调节热像仪使其清晰成像，准确测温。黑体温度设置为热像仪温度范围每一量程的最高、最低和中点，热像仪分别测取温度值，计算各对温度的偏差，应满足测温最大允许误差不超过±2℃或测量值乘以±2%（℃）（取绝对值大者）。

当 $t_2<100$℃时，按公式（2）计算：

$$\theta = t_2 - t_1 \qquad (1)$$

当 $t_2 \geqslant 100$℃时，按公式（3）计算：

$$\theta = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100\% \qquad (2)$$

式中：

θ——最大允许误差；

t_1——黑体设置温度，单位为摄氏度（℃）；

t_2——热像仪测温读数，单位为摄氏度（℃）。

6.2.2.3 噪声等效温差（NETD）

在观察低空间频率标准四杆靶的情况下，当视频信号的信噪比（S/N）为 1 时，观察人员可以分辨的最小目标即目标与背景之间的等效温差。热像仪调至 50 mm 焦距、相对孔径为 1 时，NETD 应不大于 150 mK，SF_6 气体检漏热像仪应不大于 30 mK。

6.2.2.4 连续稳定工作时间

将标准源黑体温度设定为50℃，每隔15 min（离线型）或30 min（在线型）测量一次，不调整测温设置，只读取数据，计算温度的偏差，应满足最大允许误差的要求。测试时间根据热像仪的类型规定为：离线型≥3h；在线型≥24h（也可根据用户要求）。

6.2.2.5 测温一致性

按规定设置测温距离，设定精密低温面黑体温度，将面黑体分九个区域（如图 1 所示），且和热像仪视场区域相对应，面黑体的图像充满视场并清晰成像。记录视场每个区域中心点温度，计算各点对中心区域中心点温度的偏差值。

1	2	3
4	5	6
7	8	9

图 1 测温一致性测温点分布

当 $t_5<100$℃时，按公式（3）计算：

$$\theta_n = t_5 - t_n \qquad (3)$$

n ——第 1-9 区域（n≠5）；
θ_n——测温一致性；
t_n——各区域中心测温读数，单位：℃；
t_5——第 5 区域中心测温读数，单位：℃；
测温一致性应满足：巡视性检测 θ_n 不超过±2℃；诊断性检测 θ_n 不超过±0.5℃（0℃~100℃）。
注：在不用面黑体源的情况下，使用低温腔式精密黑体源进行测温一致性检验。

6.2.2.6 环境温度影响

将热像仪置于恒温恒湿箱内，操作方法如下：
a） 设置黑体温度为热像仪测温范围任一温度；
b） 将可控环境温度的恒温恒湿箱设置到 20℃，待其稳定后，保温 2h 后开启热像仪，15 min 后开始测量黑体的温度；记录该读数 t_0，然后关闭热像仪；
c） 设置恒温恒湿箱的温度为热像仪工作温度范围内的工作温度上限、工作温度下限，保温 2h 后开启热像仪，15 min 后测量黑体的温度，记录该读数 t 。
当 t_0＜100℃时，按公式（4）计算：

$$\varphi = |t - t_0| \quad \cdots\cdots (4)$$

当 t_0≥100℃时，按公式（5）计算：

$$\varphi = \frac{|t - t_0|}{|t_0|} \times 100\% \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

φ——环境温度影响；
t —— 热像仪在试验温度(-20℃~+50℃)范围内的任一环境温度下的测温读数,单位为摄氏度(℃)；
t_0——环境温度为 20℃时的测温读数，单位为摄氏度（℃）。
结果 φ 应不大于 2℃或 23℃±5℃时测量值的绝对值乘以 2%（℃）（两者取大值）。

6.2.2.7 最小可分辨温差（MRTD）

在 0.5 f_0 下，测量的最小可分辨温差应满足：
a） 普通型：小于 1.3K；
b） 高灵敏度型：小于 0. 8K；
c） 高分辨率、高灵敏度型：小于 0. 6K；
具体试验方法按照 GB/T 19870-2018 中 7.2.7 条款。
注：f_0--特征空间频率，单位为周每毫弧度（cy/mrad）。

6.2.3 检验实验室的基本要求

6.3.3.1 环境要求

根据 GB/T 19870 相关要求，实验室室内照明应使图像质量不应受到明显的影响，实验室环境温度 23℃±5℃，相对湿度 40％RH～80％RH，达到清洁要求。

6.3.3.2 标准仪器要求

精密低温面黑体：温度范围为-25℃～+100℃（100 mm×100 mm 面阵）；温度均匀性为±0.05℃；准确度为±0.03℃；辐射率为 0.97±0.02；稳定度为±0.05℃。

腔式低温精密黑体：温度范围为-25℃～+100℃；准确度为±0.2℃；辐射率为 0.99±0.01；稳定度为±0.05℃。

腔式中温精密黑体：温度范围为 50℃～1050℃；准确度为±0.6℃或±0.2％（取绝对值大者）；辐射率为 0.99±0.01；稳定度为±0.1℃。

准直光管（平行光管）：焦距至少大于被测热像仪焦距 3 倍，通光口径大于热像仪接受口径的准直镜，产生平行光束来模拟无穷远处的红外辐射。

恒温恒湿箱：温度范围为-70℃～+90℃；湿度范围为 10%RH～98%RH（在温度 0℃～+60℃范围内）；温度偏差为±1℃，湿度偏差为±2%。

其他应具备：光学平台、靶标切换系统、高分辨率监视器、计算机及信号采集处理系统等设备。

标准仪器设备的允许误差或最大允许误差应不大于被控参数允许误差的 1/3，并应按照国家有关计量法规的要求进行量值溯源。

7 红外检测周期

7.1 检测周期建议

检测周期应根据用户设备在电力系统中的作用及重要性、被检设备的电压等级、负载容量、负荷率、投运时间和设备运维状况等综合因素，由设备运维单位确定。本文件考虑了检测周期和缺陷分级、运维之间的相关联系，给出巡视性检测周期。

7.2 变、配电设备

变、配电设备要求如下：

a） 正常运行变配电设备：
   1）1000kV 和±800kV、±1100kV 交、直流特高压变电（换流）站全站设备，每年宜不少于 3 次检测，间隔时间不超过 6 个月；
   2）330kV~750kV 交、直流超高压变电（换流）站全站设备，每年宜不少于 2 次检测，间隔时间不超过 6 个月；
   3）220kV 及以下变、配电站、换流站设备，每年不少于 1 次检测，重要枢纽站或重要供电用户设备可增加检测次数和诊断检测；
b） 运行环境差、运行年久或有缺陷的设备，大负荷运行期间、系统运行方式改变且设备负荷陡增等情况下，应增加检测次数；
c） 新建、改扩建、大修后或停运超过半年的设备，投运带负荷后 1 个月内（至少 24h 以后）进行一次检测；
d） 有条件检测/业主单位宜对主要电气设备做一次红外诊断性检测，或用巡视性检测跟进诊断性检测的方式，建立红外检测（报告和记录）数据库。

注：电气设备热像异常检测报告及现场检测记录格式见附录 G。

7.3 输、配电线路

输、配电线路要求如下：

a） 正常运行的 500kV、直流±400 kV 及以上架空线路和重要的 220（330）kV 架空线路的接续金具（下同），每年宜不少于检测一次；
b） 110（66）kV 线路和其他的 220（330）kV 线路，宜不超过两年检测一次；
c） 配电线路根据需要，如重要供电用户、重负荷线路和认为必要时，宜每年检测一次，其他宜不超过三年检测一次；
d） 新投产和大修改造后的线路，可在投运带负荷后 1 个月内（至少 24h 以后）检测一次；
e） 对电力电缆主要检测电缆终端和可见的中间接头，对于大直径隧道施放的电缆宜全线检测，110kV 及以上每年不少于两次，35 kV 及以下每年一次；
f） 串联电抗器，线路阻波器、线路避雷器等的检测周期与其所在线路检测周期一致；
g） 对运行环境较差、重要和重负荷线路应增加检测次数；
h） 对于输、配电线路瓷绝缘子、复合绝缘子，宜以巡视性检测跟进诊断性检测方式的要求进行，也可结合线路巡线工作进行。

7.4 旋转电机（发电机）

7.4.1 集电环和碳刷、出线母线

集电环和碳刷、出线母线要求如下：

a） 机组带负荷调试阶段至少进行一次检测；
b） 新投产及大修后的机组在带负荷运行 1 个月内进行一次检测；

c） 运行中的机组，宜每 3 个月检测一次，必要时可缩短检测周期。

7.4.2 定子铁心、定子绕组焊接头和转子绕组

定子铁心、定子绕组焊接头和转子绕组要求如下：

a） 当定子铁心进行磁化试验时；

b） 当定子绕组直流电阻超标或者转子直流电阻、交流阻抗和功率损耗超标，怀疑定子绕组有断股、焊接头有开焊，或者转子绕组有匝间短路时。

7.5 SF_6气体绝缘设备

SF_6 气体绝缘设备要求如下：

a） SF_6 气体绝缘设备在投运前、投运后 1 个月内，以及解体检修后，可进行红外检漏检测；

b） 补气间隔明显小于设计规定的，宜进行红外检漏检测；

c） 运行中发现 SF_6 气体绝缘电气设备气室压力下降速率显著时，应进行红外检漏检测。

8 诊断方法

8.1 表面温度/温升法

根据测得的外部通流类设备热源点/面的温度/温升值，结合检测时环境气候条件（可含零下环温）和设备的实际电流（负荷）、正常运行中出现的最大持续负荷电流等，按照附录H、I(红外辐射直接来自发电机出线母线、集电环和碳刷时按照附录F)进行分析判断，且当发热点温升小于15K时不作异常判断。方法适用于外部通流类电流致热型的异常诊断。

8.2 相对温差法

根据 3.2 相对温差的术语定义进行分析判断，相对温差 δ_t 可用公式（6）求出：

$$\delta_t=（\tau_1-\tau_2）/\tau_1\times100\%=（T_1-T_2）/（T_1-T_0）\times100\% \quad \text{.....（6）}$$

τ_1 和 T_1——发热点的温升和温度，τ_1 单位为开尔文（K），T_1 单位为摄氏度（℃）；

τ_2 和 T_2——正常相对应点的温升和温度，τ_2 单位为开尔文（K），T_2 单位为摄氏度（℃）；

T_0——被检设备区域的环境温度，单位为摄氏度（℃）。

方法适用于具有电流致热特征的两同类设备，尤指接触电阻性缺陷，可以提高对电阻性缺陷设备判断的灵敏性；当运行电流（负荷）较小、环境温度低于 0℃时，可降低设备缺陷的漏判率。

当 8.1 表面温度/温升法和 8.2 相对温差法判断同一异常热像作出不同热像异常分级时，以温度较严重判定优先，其他判断（温升超限、相对温差达阈值）较严重于温度判断时，应同时注明运行工况（如“极低环温下”、“低负荷率”等）。

8.3 同类温差法

根据同类设备两个对应部位检测点之间的温差，按照附录 J 进行分析判断。方法适用于非外部通流类电压致热型、设备内部具有温度特征缺陷的表面热像异常诊断。

相对温差法和同类温差法在应用时，若发现比较的同类设备本身就存在热异常，应再另取 1~2 个同类正常设备进行比较，以温度较低者作为同类正常设备。

8.4 图像特征法

根据同类设备的正常状态和异常状态的热像观察比较，判断设备是否异常。它是红外检测目标设备被较先发现异常热像的主要方法。方法适用于寻找发现设备热异常，以及对设备缺、漏油、磁涡流、油气管路堵塞、瓷绝缘子表面干、湿污秽等异常热像的直观判断。

8.5 档案分析法

分析同一设备在不同时期被记存的温度分布热像，发现设备热特征的变化，判断设备是否正常。

8.6 实时分析法

在一段时间内让红外热像仪连续检测/监测需被关注的设备，观察、记录设备温度随负载、时间和

环境等因素的变化，实时进行分析诊断。方法多用于非常态大负荷试验运行、或不能停电的带缺陷运行设备的跟踪监测和分析诊断。

对附录H、I、J中未涉及到的、或多种致热类型于一体的、或现场缺少需要有同类比对的热异常设备/部件时，可按照相应设备/部件异常所属类型，分解检测和分析各部分热异常的不同致热要素，综合运用上述6种诊断方法进行分析诊断。

9 诊断判据

9.1 外部通流类设备热异常缺陷诊断判据

按照附录 I，外部通流类设备部件的温度/温升极限值按照附录 H 要求。

9.2 非外部通流类设备热异常缺陷诊断判据

按照附录 J 要求。

9.3 旋转电机热异常缺陷诊断判据

按照附录 F。

9.4 SF_6气体绝缘设备气体泄漏异常判断

方法按照 DL/T 2224。

10 异常分级和处理

红外检测发现的设备温度异常，建议纳入设备缺陷管理。根据热像异常对电气设备运行的影响程度，本文件给出三种异常等级的处理建议如下：

a） 一般异常：当设备存在热异常，其热像分布有差异但仍正常工作时，一般仅做记录。对有停电计划或周期检修机会，可安排检查处理。对于负荷率低、温升小但相对温差大的通流设备，如果负荷有条件或有机会改变时，在运行负荷电流增大时（需稳定数小时）做复测比较，以分析确定设备缺陷趋势。否则视为一般异常；

b） 严重异常：对外部通流类设备，应有跟进措施，如增加检测次数，关注温度随负荷、环境、时间、最高运行负荷等变化的相关程度等，安排计划或在有年度检修计划时消缺；对非外部通流类设备，检测周期内增加检测次数，并宜采用其它试验手段进行异常原因确诊，安排计划或在有年度检修计划时消缺；

c） 危险异常：对外部通流类设备的热点温度超过附录 H 规定的最高限值温度时，应安排设备消缺处理；对非外部通流类设备，应综合热像诊断和设备专家的意见，进行危险缺陷确认，并宜同时安排更专业的检测（如电气试验、化学分析和解体检查等）手段，明确原因，消缺处理；对可直观判定内部缺陷危险性质的（如充油套管缺油严重、冷却器油阀未打开、SF_6气体严重泄漏等），即应根据现场设备运行规程规定进行处理。

基于电力红外热像检测技术的特点，根据本文件被诊断的绝大多数热异常缺陷均属于非突发性的，因此建议参考上述三种热像异常的分级，结合设备运维规定，有计划、有针对性、适时消除设备异常。

电气设备常见缺陷红外典型热像图见附录K。

附 录 A
（资料性）
风级、风速关系

红外诊断现场的风级、风速关系见表A.1。

表 A.1 风级、风速关系表

风力等级	风速(m/s)	地面特征
0	0～0.2	静烟直上
1	0.3～1.5	烟示风向，树枝略有摆动，但风向标不能转动
2	1.6～3.3	感觉有风，树枝有微响，旗帜开始飘动，风向标能转动
3	3.4～5.4	旌旗展开，树叶和微枝摆动不息
4	5.5～7.9	吹起灰尘，小树枝摆动
5	8.0～10.7	小树摇摆，内陆水面有水波
6	10.8～13.8	电线有声，举伞困难
7	13.9～17.1	步行困难

附 录 B
（资料性）
检测仪器基本要求

B.1 离线型热像仪

离线型热像仪的基本要求见表B.1。

表 B.1 离线型红外热像仪的基本要求

技术内容		技术要求				备注说明
		巡视性检测		诊断性（精确）检测		
		普通型	高灵敏度型		高分辨率、高灵敏度型	
探测器	探测器类型	非制冷焦平面				
成像性能	红外分辨率（像素）	160×120 或 320×240	320×240	320×240 及以上	640×480 及以上	
	视场（FOV）	可选 45°±2°、25°±2°、12°±2°、7°±2°镜头				
	波长范围	7.5μm~14μm				
	空间分辨力	<2.8mrad	<1.4mrad	<0.7mrad		25°镜头
		/	<0.47mrad	<0.24mrad		7°镜头
	噪声等效温差	<80mK	<60mK	<60mK	< 40mK	（23±5）℃时
	最小可分辨温差	< 1.3℃	< 0.8℃		< 0.6℃	在 0.5f_0 下
	图像帧频	不小于 25Hz (非插值法)				
	图像显示	/	热图可见光可有融合显示		融合显示	
	调焦	自动/手动/电动				
	数字变焦	/	2 倍、4 倍连续变焦	1-8 倍连续变焦，具备可更换长焦镜头，且自动识别	1-8 倍连续变焦，具备可更换长焦、广角镜头，且自动识别	
温度测量	测温范围	-20℃~+350℃可分段量程				
	最大允许误差	±2℃或读数的±2%				
	测温一致性	不超过中心值±2℃或读数的±2%（取绝对值大者）		不超过中心值±0.5℃ (0-100℃)		
	测温方式	手动/自动，能设置可移动点，设置区域	手动/自动，能设置数个可移动点、区域，在区域内能设置最高温、最低温，等温线，温差，具有声音报警和颜色报警，同时自动跟踪最高/最低温度点			

表 B.1 离线型红外热像仪的基本要求（续）

技术内容		技术要求				备注说明
			巡视性检测	精确（诊断）检测		
			普通型	高灵敏度型	高分辨率、高灵敏度型	
	大气穿透率校正	/		根据输入的距离、大气温度和相对湿度校正测试温度		
	光学穿透率校正	/		根据内置的温度传感器对探测器周围的温度的漂移和增益(包括仪器本身的温度变化)进行连续的自动检验		
	辐射率校正	0. 1-1.0 可调（0.01 步长），或者从预设菜单中选择				
	背景温度校正	能自动根据输入的温度校正				
仪器其它	内置数码相机	/		不低于 300 万像素、自动对焦、内置目标照明灯、全彩色、红外可见光可切换		
	激光指示器	/		带安全激光，夜间指示观测目标		
	显示器	外置 LCD 液晶显示屏		外置 LCD 液晶显示屏，不低于 3.5 寸	外置LCD液晶显示屏(不低于 3.5 寸)，角度可调节。像素不低于 1024×600	
	视频流记录	/		仪器内可存储影像并传输至记忆卡内		
	数据传输接口	支持 USB		支持 USB，WiFi 或蓝牙可选	支持 USB、WiFi、蓝牙	
	红外图像文件格式	标准 JPEG 格式				
	可见光图像文件格式	/		标准 JPEG 格式，对对应的红外图像自动关联/可进行标识		
	红外数据文件格式	见附录 C				
	工作环境	温度-20℃~+50℃				
	存放温度	-30℃~+60℃				
	外壳防护等级	IP54				
	电磁兼容	GB/T 18268.1				
	抗冲击性/抗振性	25 g / 2 g				
	语音注释	/		语音注释，随图像一同存储		
	文本注释	/		能选择预设文本或设备名信息，与图象一起存储		
	报警功能	可设置报警阈值，自动进行声音或颜色报警				
	信号输出	/		视频输出	视频输出，温度流输出可选	
	整机重量	含电池小于 2kg				
	存储容量	/		不少于 64G		
	电池	可充电电池，单个电池连续工作时间不小于 3 小时				

B.2 在线型热像仪

在线型热像仪要求见表B.2。

表 B.2 在线型红外热像仪的基本要求

技术内容		技术要求		备注说明
探测器	探测器类型	非制冷焦平面		
成像性能	红外分辨率(像素)	320×240 及以上（机载要求 640×480 及以上）		
	视场（FOV）	标准镜头（可选 0.5、2、3 倍镜头）		标准镜头：25° ±2°
	波长范围	7.5μm -14μm		
	空间分辨力	普通	<1.4mrad	
		机载、精检	0.23 – 0.7 mrad（距离≯30m）	
	热灵敏度	<60mK		（23±5）℃时
	图像帧频	在线型：不小于 25Hz (非插值法) 机载、车载型：不小于 50Hz (非插值法)		
	调焦	自动/电动		
	数字变焦	1-4 倍连续变焦		
温度测量	测温范围	-20℃~+350℃可分段量程		
	最大允许误差	±2℃或读数的±2%		
	测温一致性	不超过中心值±2℃或读数的±2% （取绝对值大者）； 线路劣化绝缘子检测：不超过中心值±0.5℃(0-100℃)		
	测温方式	自动跟踪区域内最高/最低温度点		
	大气穿透率校正	根据输入的距离、大气温度和相对湿度校正测试数据		
	光学穿透率校正	根据内置的温度传感器对探测器周围的温度的漂移和增益(包括仪器本身的温度变化)进行连续的自动检验		
	辐射率校正	0. 1~1.0 可调（0.01 步长）		
	背景温度校正	能自动根据输入的温度校正		
仪器其它	数据传输接口	以太网 RJ-45；支持红外数据文件输出（见附录 C）		
	工作温度范围	温度-20℃~+50℃		根据实际情况加护罩可扩展工作温度范围
	防护等级	根据应用场景确定		
	抗冲击性/抗振性	25 g / 2 g		
	电磁兼容	GB/T 18268.1		
	信号输出	在线型：视频输出，温度数据流输出可选 机载、车载型：视频输出		

B.3 SF_6气体检漏热像仪

SF_6气体检漏热像仪要求见表B.3。

表 B.3 气体检漏红外热像仪的基本要求

技术内容		技术要求	备注
成像性能	红外分辨率（像素）	320×240 及以上	320×240 可选(384×288）
	视场（FOV）	25°×19°、15°×11°	±2°
	波长范围	10.3μm~10.7μm, 中心波长 10.55μm	
	空间分辨力	<1.4mrad	标准镜头（25°）
	噪声等效温差	<30mK	30℃时
	气体检漏探测灵敏度	不低于 0.06ml/min	
	图像帧频	不小于 50Hz (非插值法)	
	调焦	自动/手动/电动	
	数字变焦	1~4 倍连续变焦	
温度测量	测温范围	-20℃~+350℃可分段量程	
	最大允许误差	±2℃（0℃-100℃）	
	测温方式	手动/自动，能设置数个可移动点、区域，在区域内能设置最高温、最低温，等温线，温差，具有声音报警和颜色报警，同时自动跟踪最高/最低温度点	
	大气穿透率校正	根据输入的距离、大气温度和相对湿度校正测试温度	
	光学穿透率校正	根据内置的温度传感器对探测器周围的温度的漂移和增益(包括仪器本身的温度变化)进行连续的自动检验	
	辐射率校正	0.01~1.0 可调（0.01 步长）	
	环境温度校正	能自动根据输入的温度校正	
	内置数码相机	不低于 300 万像素、自动对焦、内置目标照明灯、全彩色、红外可见光可切换	
	激光指示器	带安全激光，夜间指示观测目标	
	显示器	显示屏尺寸不低于 3.5 寸，角度可调节。像素不低于 1024×600	
	视频流记录	仪器内可存储影像并传输至记忆卡内	
	数据传输接口	支持 USB、WiFi、蓝牙	
	红外图像文件格式	标准 JPEG 格式	
	可见光图像格式	标准 JPEG 格式，对相应的红外图像自动关联/可进行标识	
	红外数据文件格式	见附录 C	
	工作环境	-20℃~+50℃	
	存放温度	-30℃~+60℃	
	外壳防护等级	IP54	
	抗冲击性/抗振性	25 g / 2 g	
	电磁兼容	GB/T 18268.1	
	语音注释	语音注释，随图像一同存储	
	文本注释	能选择预设文本，与图像一起存储	
	报警功能	对设置的温度值/之上/之下/自动进行声音或/颜色报警	
	信号输出	视频输出	
	整机重量	含镜头、电池小于 3 kg	
	存储容量(可扩展)	不少于 64G	
	电池	可充电电池，单个电池连续工作时间不小于 3 小时	

附录C
（资料性）
红外通用数据文件存储格式

红外通用数据文件存储格式见表C.1。所有数据文件以二进制方式进行存储，文件存储格式中包括unsigned short，unsigned int和int等多字节数据类型均采用小端模式存储。

表 C.1 红外通用数据文件存储格式

名称	名称	数据类型	长度	注释
红外视频截图数据文件	IRImage	二进制数据	/	JPEG 格式的视频截图中至少需要包含柱状温度色标、公司 logo、辐射率、拍摄距离、环境温度、拍摄时间（至少精确到分钟）、现场拍摄时增加的分析区域（例如：点、框等分析区域）及点对应的温度和框对应的最高温度数值和位置。公司 logo、辐射率、拍摄距离、环境温度、拍摄时间等信息可放在视频截图下方。
文件版本	File Version	unsigned short	2	本文件发布时使用 1.0 版本，即 0x0100
温度点阵宽度	Width	unsigned short	2	例如：640
温度点阵高度	Height	unsigned short	2	例如：480
拍摄时间	DateTime	Unsigned char	14	14 字节的时间字符串，格式是 YYYYMMDDHHMMSS，例如“20150812124818”，存储每个字符对应的 ASCII 码
红外温度值点阵数据	IRData	Float	/	红外温度值点阵数据以 float 类型（4 字节）的浮点数直接存储每个像素点的温度，按照从左到右，从上到下的顺序依次存储。
辐射率	Emiss	Float	4	范围 0~1，例如：0.9；该字段必须支持
环境温度	Ambient Temperature	Float	4	单位：摄氏度。例如：25.3℃；该字段必须支持
镜头度数	Len	Unsigned char	1	例如：24，即代表 24° 镜头； 0 代表不支持该参数；
拍摄距离	Distance	Unsigned int	4	单位：米；0 代表不支持该参数；
相对湿度	Relative Humidity	Unsigned char	1	存储百分比，范围 0~100；50 代表 50%； 0 代表不支持该参数；
反射温度	Reflective Temperature	Float	4	单位：摄氏度。例如：25.3℃； 0 代表不支持该参数；
生产厂家	Productor	Unsigned char	32	存储每个字符对应的 ASCII 码，不足位补 0；全部填充 ASCII 码 0 代表不支持该参数；
产品型号	Type	Unsigned char	32	存储每个字符对应的 ASCII 码，全部填充 ASCII 码 0 代表不支持该参数；

表 C.1 红外通用数据文件存储格式（续）

名称	名称	数据类型	长度	注释
产品序列号	Serial NO	Unsigned char	32	存储每个字符对应的 ASCII 码，全部填充 ASCII 码 0 代表不支持该参数；
经度	Longitude	Double	8	例如：120.11896012； 0 代表不支持该参数；
纬度	Latitude	Double	8	例如：30.1581147021； 0 代表不支持该参数；
海拔	Altitude	Int	4	单位：米；例如：20； 0 代表不支持该参数；
备注信息长度	Description Length	Unsigned int	4	0 代表没有存储备注信息；
备注信息	Description Data	Unsigned char	由“备注信息长度”字段指定	备注信息的具体内容； 例如分析结果、诊断结果等；
红外数据的起始偏移地址	IRData Offset	Unsignedint	4	记录“文件版本”字段在整个文件中的偏移地址，用于定位红外数据的起始地址
文件末尾标识	File End Type	unsigned char	16	必须是 0x37 0x66 0x07 0x1a 0x12 0x3a 0x4c 0x9f 0xa9 0x5d 0x21 0xd2 0xda 0x7d 0x26 0xbc

附 录 D
（资料性）
常用材料辐射率的参考值

常用材料辐射率的参考值见表D.1。

表 D.1 常用材料辐射率的参考值

材料	温度（℃）	辐射率近似值	材料	温度（℃）	辐射率近似值
抛光铝或铝箔	100	0.09	棉纺织品（全颜色）	-	0.95
轻度氧化铝	25～600	0.10～0.20	丝绸	-	0.78
强氧化铝	25～600	0.30～0.40	羊毛	-	0.78
黄铜镜面	28	0.03	皮肤	-	0.98
氧化黄铜	200～600	0.59～0.61	木材	-	0.78
抛光铸铁	200	0.21	树皮	-	0.98
加工铸铁	20	0.44	石头	-	0.92
完全生锈轧铁板	20	0.69	混凝土	-	0.94
完全生锈氧化钢	22	0.66	石子	-	0.28～0.44
完全生锈铁板	25	0.80	墙粉	-	0.92
完全生锈铸铁	40～250	0.95	石棉板	25	0.96
镀锌亮铁板	28	0.23	大理石	23	0.93
黑亮漆（喷在粗糙铁上）	26	0.88	红砖	20	0.95
黑或白漆	38～90	0.80～0.95	白砖	100	0.90
平滑黑漆	38～90	0.96～0.98	白砖	1000	0.70
亮漆（所有颜色）	-	0.90	沥青	0～200	0.85
非亮漆	-	0.95	玻璃（面）	23	0.94
纸	0～100	0.80～0.95	碳片	-	0.85
不透明塑料	-	0.95	绝缘片	-	0.91～0.94
瓷器（亮）	23	0.92	金属片	-	0.88～0.90
电瓷	-	0.90～0.92	环氧玻璃板	-	0.80
屋顶材料	20	0.91	镀金铜片	-	0.30
水	0～100	0.95～0.96	涂焊料的铜	-	0.35
冰	-	0.98	铜丝	-	0.87～0.88
橡胶（软、硬质）	20	0.95	塑料(PVC)	70	0.93～0.94

附 录 E
（资料性）
电力红外检测诊断方法案例

E.1 红外检测分类

为方便标准的使用者准确掌握红外检测诊断方法，对红外热像进行检测诊断缺陷热异常的多种/类设备、单元或部件进行分类，供学习案例过程中迅速了解掌握电气设备红外检测诊断方法。带电设备红外检测分类指南见表 E.1。

表 E.1 红外检测分类指南

<table>
<tr><td colspan="3">检测分类</td><td colspan="8">适用检测</td></tr>
<tr><td rowspan="9">高压电气设备</td><td rowspan="7">输、配、供电设备</td><td rowspan="3">外部通流类</td><td>裸金属导体</td><td>裸导线、金属器件</td><td>输电导线连接器</td><td colspan="2">电气通流设备接线排、柱、端子</td><td>隔离开关触头、转头</td><td>电容器熔丝、熔丝座</td></tr>
<tr><td>开启式通流绕组线圈、器件、母线（含绝缘母线）</td><td>干式变压器</td><td>干式电抗器</td><td colspan="2">铁芯绕组的金属外壳、螺钉、变压器外壳</td><td>换流阀电抗器、阀片(若可见)</td><td>感应电/漏磁场影响的金属元/部件、GIS 的外壳和连接线、接地线</td></tr>
<tr><td rowspan="4">非外部通流类</td><td>瓷、复合套管的外绝缘电气设备</td><td>PT</td><td>MOA</td><td colspan="2">CVT、耦合电容器</td><td>电容型套管（变压器、穿墙、电缆终端、CT 套管、GIS 套管）</td><td></td></tr>
<tr><td>线路绝缘子</td><td>瓷绝缘子</td><td>复合绝缘子</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>气体绝缘封闭电器</td><td>GIS</td><td>HGIS</td><td colspan="2">GIL</td><td>SF_6落地罐式断路器</td><td></td></tr>
<tr><td>内置通流连接/接触和电磁单元</td><td>断路器触头</td><td>分段式 CT 内联</td><td colspan="2">电缆连接盒</td><td>电磁式 PT</td><td>CVT 电磁单元</td></tr>
<tr><td>其他可检缺陷</td><td>缺、漏绝缘油</td><td>SF_6气体泄漏</td><td>油枕隔膜脱落</td><td>套管窝气</td><td>冷却阀未打开</td><td>油路堵塞</td><td>耦合电容器低压端子热异常</td></tr>
<tr><td rowspan="3">电机类</td><td>蒸汽涡轮同步发电机</td><td>集电环、碳刷</td><td>封闭母线</td><td>定子铁心、绕组；转子绕组</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>水涡轮同步发电机</td><td>集电环、碳刷</td><td>封闭母线</td><td>定子铁心、绕组；转子绕组</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>电动机</td><td>转轴</td><td>外壳</td><td>绕组</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

E.2 110kV电流互感器热像检测诊断（非外部通流类）

110kV 电流互感器热像检测诊断方法如下：

a）红外检测工作任务书：巡视性检测 xx 变电站发现 x 号主变一次侧电流互感器 B 相温升异常，安排对 B 相电流互感器进行红外诊断性检测；

b）现场检测的四项基本要求：根据标准对现场检测在人员、安全、环境、热像仪器条件的要求，确认能够满足。本次检测特点是户外、站内设备，目标条件较好。检测距离 10 米左右，本次检测使用了空间分辨力 0.68 mrad，像素 640x480 热像仪，且考虑诊断性检测对测温一致性的高要求。关于辐射率的选取，本案例涉及到有两种材质表面：顶部一次接线端子箱刷漆铁罩和主体瓷套。从实际应用出发，特别当分析诊断是用同类温差法时，根据标准建议实操取 0.9，影响可接受；

c）现场实操：

1）根据被检具体设备，红外检测技术人员应具备三个基本认识：认识设备正常的热像分布；认识设备主要异常的一些热像特征；认识设备异常的归类和诊断方法。本案例对电流互感器 B 相温升异常需要的认识：1.正常互感器整体温度分布从上到下均匀一致；2.B 相互感器具有 2 处典型异常热像特征反映在：瓷套整体（电压致热型）表面和顶部一次内置连接（电流致热型）铁帽表面（比较 C 相）；3.分析归类属于非外部通流类热异常，诊断主要采用同类温差诊断，并辅以相对温差诊断；

2）具体根据任务书做红外诊断性检测。因被摄热像条件较好，同类温差比较的 B、C 两相互感器，一个异常热像和另一个正常热像可很好的放在了同一幅画面里。反复调整热像拍摄距离、方位和焦距，使 B、C 两相互感器在热像画面中位置完整、充盈，且热像清晰，并避开背景热像和邻近热源反射影响的干扰。一般从初设的 T_0-10(K)至 T_0+20(K)左右（其中 T_0 为被检设备区域的环境温度）连续调整仪器的温宽，使观察所关注的几个热像特征最为清晰，即可标识、记录两异常部位温度值，以及同类 C 相相应部位的温度值；

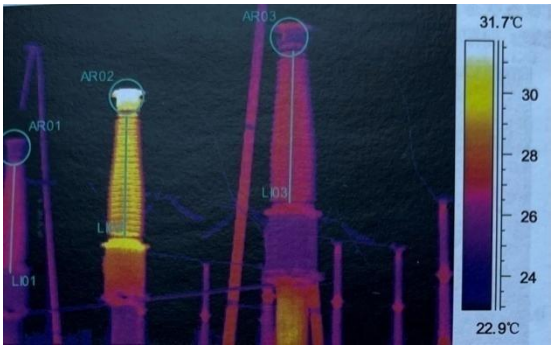
3）判断本案例属于非外部通流类热异常，采用同类温差诊断，从附录 J 分别查表 J.1 电流互感器油浸式瓷套项，和表 J.2 电流互感器内连接项，分别计算同类温差：$\triangle T_{瓷套}$＝30.5-27.4＝3.1℃；$\triangle T_{铁帽}$=38.0-27.7=10.3℃，均分别达到阈值 3 ℃以及 10℃，可以诊断设备有两处存在严重异常；

4）参考附录判据中专业建议，并根据 10.b）中条款，给出相应的处理建议。

以上为红外检测诊断电流互感器 B 相温升异常过程的详细描述，实际根据现场检测完成异常的检测诊断报告如表 E.2。

表 E.2 电气设备红外热像异常检测报告 1

报告编号：　　检测日期：

<table>
<tr><td colspan="8">检测单位/部门：　　设备单位/部门：</td></tr>
<tr><td colspan="8">1.检测工况：</td></tr>
<tr><td colspan="2">厂、站、线路名</td><td colspan="3">xxx单位/xxx变电站</td><td>仪器/编号</td><td colspan="2">xxx/xxx</td></tr>
<tr><td colspan="2">被检设备名称（电压等级）</td><td colspan="3">交流110kV电流互感器/2号主变一次侧/B相</td><td>运行年数</td><td colspan="2">10年</td></tr>
<tr><td colspan="2">图像编号</td><td>xxx</td><td>辐射系数</td><td>0.9</td><td>仪器像素/镜头度数</td><td colspan="2">640x480/25°</td></tr>
<tr><td colspan="2">负荷电流（检测时）</td><td>xxx</td><td>额定电流</td><td>xxx</td><td>测试距离</td><td colspan="2">10 m</td></tr>
<tr><td>天气</td><td>多云</td><td>环 温</td><td>25° C</td><td>相对湿度</td><td>75%</td><td>风 速</td><td>3.0 m/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">检测时间/段</td><td colspan="6">10：20
（注：若有同类比较分别检测，宜在30分钟内类同气象条件下一并测完）</td></tr>
<tr><td colspan="2">2.现场热像温度记录：</td><td>异常部位/部件温度℃</td><td colspan="2">同类相应部位/部件温度℃</td><td colspan="2">备注</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td>1</td><td colspan="2">30.5</td><td colspan="2">27.4</td><td>B、C 相瓷套线温两相对应值（即和异常 B 相点相对应 C 相点）。</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">38.0</td><td colspan="2">27.7</td><td>B、C 相顶部一次内连接铁帽圈温最大值。</td></tr>
<tr><td colspan="3">异常设备热像
 
</td><td colspan="5">同类设备热像、和/或可见光照片
（左图为两相同类 CT 热像图。）</td></tr>
<tr><td colspan="8">3.诊断分析和缺陷性质：
设备热像图比较，热像异常主要有二处，分别属于非外部通流类的电压致热型（套管）和内置通流连接（顶部一次内连接铁帽）热异常。
观察分析热像图发现，B 相 CT 的套管本体及顶部铁帽和同类 C 相比较，明显有几度以上的温差。根据对非外部通流类异常的诊断建议，诊断应用 8.3 同类温差法诊断。参考判据，按照附录 J 中表 J.1 和表 J.2，计算两处同类温差分别是：套管$_{\triangle}T_1$=30.5-27.4=3.1℃；顶部铁帽$_{\triangle}T_2$=38.0-27.7=10.3℃，两处均达各自同类温差阈值 3 ℃和 10℃，均应诊断为严重异常。</td></tr>
<tr><td colspan="8">4.建议：
应加强检测，安排其它试验手段进行原因确诊，如介损、局放、油色谱、回路电阻等。因同时有两项严重异常，建议早做计划，维修消缺。</td></tr>
<tr><td colspan="8">5.备注</td></tr>
</table>

检测报告人:xxx　　审 核：xxx　　日 期：xxxx/xx/xx

E.3 500kV极Ⅰ直流场隔离开关热像检测诊断（外部通流类电流致热型）

500kV 直流场隔离开关热像检测诊断方法如下：

a）红外检测工作任务书：迎峰度夏，对换流站直流场设备进行红外巡视检测，发现极Ⅰ隔离开关热像异常，做诊断性检测；

b）现场检测的四项基本要求：根据标准对现场检测在人员、安全、环境、热像仪器条件的要求，确认能够满足（可对照标准）。本次检测特点是户外站内设备，目标条件较好。该设备检测距离 12 米左右，本次检测使用了空间分辨力 0.68 mrad，像素 640x480 热像仪；

c）现场实操：

1）根据被检具体设备，红外检测技术人员应有三个基本认识：认识设备正常的热像分布；认识设备主要异常的一些热像特征；认识设备异常的归类和诊断方法。本案例对隔离开关温升异常需要的认识：1.正常隔离开关通流回路上所有连接、接触部分的运行温升不应过高，以温升不大于 15℃为正常；2.隔离开关典型异常热像特征通常反映在隔离开关连接触头上；3.分析归类设备缺陷属于外部通流类热异常，诊断主要采用表面温度诊断，辅以相对温差诊断；

2）具体根据任务书做的隔离开关红外巡检，热像显示这台隔离开关触头温度/温升都很高，明显超过 15℃温升值；

3) 进行量化分析，做诊断性检测：调整测温范围（自动设定会）覆盖热像最高、最低段邻近温度值；继续细调热像拍摄距离、方位和焦距，使观察所关注的触头热像特征最为清晰，并用区域分析找到触头最高温度点数值（通常情况下归属外部通流类热异常检测时，诊断缺陷严重程度相对较为简单）；

4) 标识、记录异常部位热像和最高温度值；

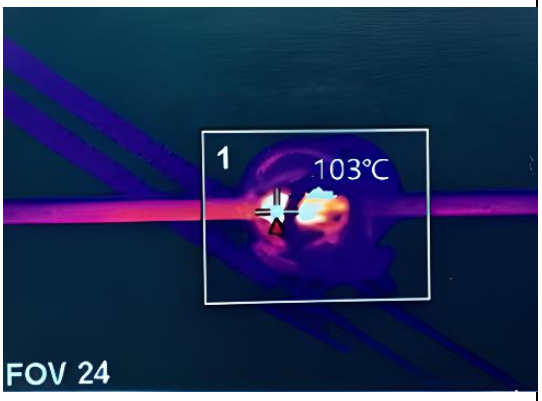
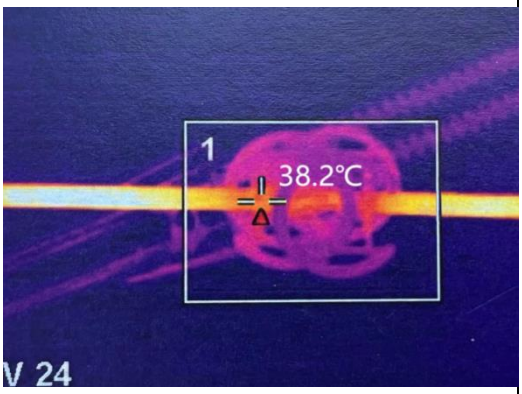
5) 根据标准分析，对外部通流类热异常应采用表面温度诊断或相对温差诊断。对照附录 I，分析诊断异常严重程度，从表 I.1 隔离开关（刀闸）项给出的判据分析计算： 1）“100℃≤热点温度 103℃≤140℃”；2）δ_t＝（T_1-T_2）/（T_1-T_0）×100%=（103-38.2）/（103-25）×100%=82%＞80%，均达到严重异常；

6) 参考附录判据中专业建议，并根据 10.b）中条款给出设备相应的处理建议。

以上为检测诊断隔离开关温升异常过程的详细描述，实际根据现场检测完成异常的检测诊断报告如表 E.3。

表 E.3 电气设备红外热像异常检测报告 2

报告编号：　　检测日期：

<table>
<tr><td colspan="8">检测单位/部门：　　设备单位/部门：</td></tr>
<tr><td colspan="8">1.检测工况：</td></tr>
<tr><td>厂、站、线路名</td><td colspan="2">xxx单位/xxx换流站</td><td colspan="2">仪器/编号</td><td colspan="2">xxx/xxx</td><td></td></tr>
<tr><td>被检设备名称
（电压等级）</td><td colspan="2">±500kV直流场极Ⅰ线路隔离开关</td><td colspan="2">运行年数</td><td colspan="2">10 年</td><td></td></tr>
<tr><td>图像编号</td><td>xxx</td><td>辐射系数</td><td>0.9</td><td>仪器像素/镜头度数</td><td colspan="2">640x480/25°</td><td></td></tr>
<tr><td>负荷电流（A）</td><td>±1000</td><td>额定电流（A）</td><td>±1200</td><td>测试距离（m）</td><td colspan="2">15</td><td></td></tr>
<tr><td>天气</td><td>阴天</td><td>环 温 ℃</td><td>25</td><td>湿 度 %</td><td>75</td><td>风 速（m/s）</td><td>3.0</td></tr>
<tr><td>检测时间/段</td><td colspan="7">10：20 -10：40</td></tr>
<tr><td colspan="2">2.现场热像温度记录：</td><td>异常部位/部件温度（℃）</td><td colspan="3">同类相应部位/部件温度（℃）</td><td colspan="2">备注</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td>1</td><td>103(极Ⅰ)</td><td colspan="3">38.2（极Ⅱ）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td colspan="3"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">异常设备热像
 
</td><td colspan="4">同类设备热像、和/或可见光照片
 
</td></tr>
<tr><td colspan="8">3.诊断分析和缺陷性质：
用区域分析找到极Ⅰ触头最高温度点（右图极Ⅱ是为做同类比较分析而人为标定出和左图高温点的相同部位 ）；
根据标准分析，对外部通流类热异常应采用：1）表面温度诊断；辅以 2）相对温差诊断。对照附录I，分析诊断异常严重程度，从表I.1 隔离开关（刀闸）项给出的判据分析计算：1)“100℃≤热点温度103℃≤140℃”；2）δ_t=（T_1-T_2）/（T_1-T_0）×100%=（103-38.2）/（103-25）×100%=82%＞80%，均达到严重异常。</td></tr>
<tr><td colspan="8">4.建议：
严重异常的隔离开关（外部通流类设备）应有缺陷管理的跟进措施，如增加检测次数，关注温度随负荷、最高运行负荷等变化的相关程度等，安排计划或在有年度检修计划时维修消缺。</td></tr>
<tr><td colspan="8">5.备注</td></tr>
</table>

检测报告人:xxx　　审 核：xxx　　日 期：xxxx/xx/xx

E.4 交流零值瓷绝缘子热像检测诊断（非外部通流类电压致热型）

交流零值瓷绝缘子热像检测诊断方法如下：

a）红外检测工作任务书：对 xxx II 回 110 kV 交流线路进行红外热像巡视检测零值瓷绝缘子；

b）现场检测的四项基本要求：根据标准对现场检测在人员、安全、环境、热像仪器条件的要求，确认能够满足（对照标准）。本次检测特点是高空、户外设备，较远距离即铁帽小目标，以约 15 米距离检测考虑，选取空间分辨力不大于 0.68 mrad，640x480 像数热像仪为佳，运行中的铁帽热辐射率范围为 0.9~0.95 之间，标准建议实操取 0.9；

c）现场实操：

1）根据被检具体设备，红外检测技术人员应具备设备正常热像分布、设备主要异常热像特征、设备各部分异常检测归类和诊断方法的三个认识。例如在表 E.4 对红外检测零值瓷盘式绝缘子的案例中，瓷盘型绝缘子未出现多片上/下表面异常温升时（排除污湿温升对判断的干扰），零值绝缘子的铁帽部分的温升/度比正常同类相邻绝缘子铁帽的温升/温度略低，属于非外部通流类电压致热型异常检测，诊断将主要采用同类温差诊断；

2）具体开始红外巡视检测，热像被检串绝缘子的每个铁帽应清晰可见，且可读出铁帽温度；考虑到劣化瓷绝缘子在通常情况下温差也仅在±（0.5℃～1℃）的范围，本文件对仪器测温一致性的选择要求特别提高到了±0.5℃，以满足需要；

3）反复调整距离和角度，使绝缘子串在热像画面中位置完整、充盈、清晰，并使背景热像不影被检热像的分辨。继续调整以铁帽温度为中心的两端温标条，不断收缩至铁帽热像显现清晰可见，有明暗温差（若有的话，即应跟进诊断性检测），并标识、记录铁帽温度值。注意手持式或无人机热像仪的显示屏在户外强光下给观察细微温差带来的干扰，影响精确判断；

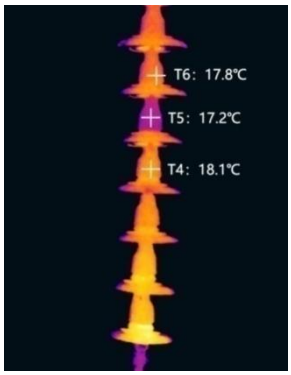
4）绝缘子热像异常属于非外部通流类设备电压致热型热缺陷，应根据同类温差诊断，串中各片热像比较，取低温（暗）片和此片的前后各一片，用低温片温度值去减前后两片温度的平均值，得到负温差<-0.5K～-1K，即可判定该片为零值绝缘子；

5）对参考附录判据中的专业建议进行确认，并给出相应的维修建议。

以上为红外检测诊断劣化零值绝缘子过程的详细描述，实际根据现场检测完成异常检测的报告如表 E.4。

表 E.4 电气设备红外热像异常检测报告 3

报告编号：检测日期：

<table>
<tr><td colspan="8">检测单位/部门：　　设备单位/部门：</td></tr>
<tr><td colspan="8">1.检测工况：</td></tr>
<tr><td colspan="2">厂、站、线路名</td><td colspan="3">xxx单位/xxx线路</td><td>仪器/编号</td><td colspan="2">xxx/xxx</td></tr>
<tr><td colspan="2">被检设备名称（电压等级）</td><td colspan="3">交流110kV瓷盘式绝缘子/杆号xxx/A相</td><td>运行年数</td><td colspan="2">6 年</td></tr>
<tr><td colspan="2">图像编号</td><td>xxx</td><td colspan="2">辐射系数</td><td>0.9</td><td>仪器像素/镜头度数</td><td>640x480/25°</td></tr>
<tr><td colspan="2">负荷电流（检测时）</td><td>/</td><td colspan="2">额定电流</td><td>/</td><td>测试距离</td><td>10~12m</td></tr>
<tr><td>天气</td><td>阴</td><td>环 温</td><td>16° C</td><td>湿 度</td><td>72%</td><td>风 速</td><td>1.5m/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">检测时间/段</td><td colspan="6">14：20- 14：35</td></tr>
<tr><td colspan="2">2.现场热像温度记录：</td><td>异常部位/部件温度℃</td><td colspan="2">同类相应部位/部件温度℃</td><td colspan="2">备注</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>1</td><td>No5：17.2</td><td colspan="2">No4：18.1，No6：17.8</td><td colspan="2">检测部位：铁帽</td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">异常设备热像
 
</td><td colspan="5">同类设备热像、和/或可见光照片
（本案例选取的同类即为本串相邻绝缘子，进行了温差诊断，无需其他热图和照片。）</td></tr>
<tr><td colspan="8">3.诊断分析和缺陷性质：
根据标准8.4图像特征诊断，巡视性检测观察到有疑似劣化缺陷的绝缘子No.5铁帽热像较暗，即可跟进诊断性检测。绝缘子热像异常属于非外部通流类设备电压致热型缺陷，根据8.3同类温差诊断，参考判据计算：$\Delta T=T_5-(T_4+T_6)/2=17.2-(18.1+17.8)/2=-0.75K$，负温差小于-0.5K，应诊断为零值劣化绝缘子，属严重异常。</td></tr>
<tr><td colspan="8">4.建议：
按绝缘子专业/行业对零值劣化绝缘子管理规定进行处理。</td></tr>
<tr><td colspan="8">5.备注</td></tr>
</table>

检测报告人:xxx　　审 核：xxx　　日 期：xxxx/xx/xx

附 录 F
（规范性）

旋转电机热异常缺陷诊断判据

F.1 检测方法

F.1.1 在机组运行状况下

打开集电环罩，沿轴向方向对集电环和碳刷进行检测；对出线母线，应对出线和套管、敞开式母线、出线附属结构件、封闭母线外壳等进行温度及相间温差检测，对于装有红外观测窗口的出线罩和封闭母线，应检测内部导电杆的温度及相间温差；应记录环境温度、励磁电流、机组负荷，并注意与相同型号、相同结构的发电机在相同负荷条件下的比较。

F.1.2 定子铁心磁化试验

应使用红外热像仪进行铁心温度分布检测和温度测量。试验前应测量铁心初始温度和环境温度，并避免励磁线圈电流产生的热源对铁心温度测量的影响。试验时应监测铁心温度变化，发现异常过热点时应停止试验。应做好热点部位的标记，定时诊断检测。

F.1.3 定子绕组焊接头

试验时应停止冷却系统运行，宜分相通直流电流，试验电流一般为 10%～20%额定电流，时间一般不少于 1h。应先进行巡视性检测，比较各通电焊接头的温差，怀疑有缺陷时，再进行诊断性检测。

F.1.4 转子匝间短路

试验时应将转子静置于定子膛外，对转子绕组施加工频交流电压，但不应超过220V。应先对转子表面及两端护环内侧区域进行巡视性检测，发现有过热区域时，再通过诊断检测进行故障定位。

F.1.5 水内冷发电机进行热水流试验时

可对定子绕组汇水管、绝缘引水管，出线套管绝缘引水管等进行红外辅助诊断检测，通过热像图分析发现缺陷位置。

F.2 判断依据

F.2.1 发电机集电环和碳刷温升或温度限值应符合表F.1的规定。

表 F.1 集电环和碳刷温升或温度限值

机组类型	冷却方式	温升或温度限值		备注
		130（B）级	155（F）级	
透平型同步发电机	空冷	80 K	105 K	考核温升限值，冷却介质为40℃
	氢气间接冷却	80 K	100 K	考核温升限值，冷却介质为40℃
	氢气和水直接冷却	120℃	140℃	考核温度限值
水轮发电机	空冷	75 K	85 K	考核温升限值
	水直接冷却	75 K	85 K	考核温升限值

集电环的典型红外检测图谱见图 K.57。

F.2.2 母线部件的温度和温升限值规定

发电机出线封闭母线各部件的温度和温升限值应符合表 F.2 的规定，且相同位置的相同部件的相间温差不应有明显差异，不应超过 20K。

敞开式母线的温度和温升限值可按照表 F.2 中对封闭母线导电杆的规定，且相同位置的相同部件的相间温差不应有明显差异，不应超过 20K。

对于相同型号、相同结构的发电机，在相同条件下，出线母线相同位置的相同部件的温度之差不应有明显差异，不应超过20K。

表 F.2 封闭母线的温度和温升限值

封闭母线的部件		温度限值（℃）	温升限值（K）
导电杆		90	50
螺栓紧固的导体或外壳的接触面	镀银	105	65
	不镀银	70	30
外壳		70	30
外壳支撑结构		70	30

F.2.3 定子铁心的判断依据

在规定的磁通密度和时间后，铁心最大温升限值应不大于25K，相同部位（定子齿或槽）温差限值应不大于15K。

定子铁心磁化试验铁心过热点的典型红外检测图谱见图K.58。

F.2.4 定子绕组焊接头合格判定

定子绕组焊接头和未包绝缘的焊接头，最高与最低的温度差达 5K 及以上时，温度高者为不合格焊接头；已包绝缘的焊接头，温度差达到 3K 及以上时，应剥去绝缘再作进一步试验判定。

定子绕组焊接头缺陷的典型红外检测图谱见图 K.59。

F.2.5 转子绕组判断依据

当发现有明显过热区域时，应分析转子在该区域存在匝间短路故障的可能性。

转子匝间短路故障点的典型红外检测图谱见图K.60。

附 录 G
（资料性）

电气设备热像异常检测报告及现场检测记录

红外检测作为早期发现电气设备缺陷的重要手段之一，其测试记录和异常诊断报告应详细、全面并妥善保管。可建立红外数据库，将红外检测和诊断信息纳入设备信息管理。

红外检测报告应记录设备业主/用户单位、被检设备名称、仪器编号、检测日期、检测人员、设备名称、现场热像温度记录、异常设备热像、分析诊断及处理建议等内容。

检测报告和检测记录可分别按照表G.1和G.2格式。

表 G.1 电气设备热像异常检测报告（适用于严重、危险异常或需要时）

报告编号：　　检测日期：

<table>
<tr><td colspan="10">检测单位/部门设备单位/部门</td></tr>
<tr><td colspan="10">1.检测工况：</td></tr>
<tr><td colspan="2">厂、站、线路名</td><td colspan="3"></td><td>仪器/编号</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">被检设备名称(电压等级)</td><td colspan="3"></td><td>运行年数/年份</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">图像编号</td><td></td><td>辐射系数</td><td></td><td colspan="2">仪器像素/镜头度数</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">负荷电流（检测时）（A）</td><td></td><td>额定电流（A）</td><td></td><td colspan="2">测试距离（m）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>日期/天气</td><td>/</td><td>环温(℃)</td><td></td><td>湿度(%)</td><td></td><td>风速(m/s)</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">检测时间/段</td><td colspan="8">-　　（若有同类设备作比较检测，宜在30分钟内一起测完）</td></tr>
<tr><td colspan="2">2.现场热像温度记录：</td><td colspan="3">异常部位/件温度/温升℃/K</td><td colspan="3">*同类相应部位/件温度/温升℃/K</td><td>备注</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td>1</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">异常设备热像</td><td colspan="6">同类设备热像、和/或可见光照片</td></tr>
<tr><td colspan="10">3.诊断分析和缺陷性质：</td></tr>
<tr><td colspan="10">4.建议：（可参考引用标准对异常分级中的维修建议，并融合业主方运维相关规定提出）</td></tr>
<tr><td colspan="10">5.备注：</td></tr>
</table>

检测报告人:xxx　　审核：xxx日期：xxxx/xx/xx

注：* 若取多个正常同类进行比较、分析时，温度/温升取正常较低者。

表 G.2 电气设备现场检测记录（编号：　　）

设备单位/厂、站名、线路名：　　天气：　　仪器/编号：　日期：

序号	被检设备名/电压等级	热像异常部位/部件	表面异常温度/温升（℃/K）	同类正常温度/温升（℃）	温差（K）	相对温差(%)	设备环境温度(℃)	负荷电流/额定电流（A）（需要时）	运行电压/额定电压（直流）(kV)	设备正常/异常等级建议	热像/照片图号	时间	检测人员	辐射系数/风速/距离等备注
1														
2														
3														
对检测序号内容等的说明														

检测单位/部门：

检测/记录：

附 录 H
（规范性）
高压开关设备和控制设备各种部件、材料和绝缘介质的温度和温升极限

电气设备中各零部件、材料及绝缘介质的最高允许温度和温升应满足表 H.1 给出的最大值。另外注意：

——按其功能，同一部件可以属于表 H. 1 列出的几种类别。在这种情况下，允许的最高温度和温升值是相关类别中的最低值。

——温度和温升的限值不适用于处在真空中的部件。其余部件不应超过本表给出的温度和温升值。

——应注意保证周围的绝缘材料不遭到损坏。

表 H.1 高压开关设备和控制设备各种部件、材料和绝缘介质的温度和温升极限

部件、材料和绝缘介质的类别(见说明 1、2 和 3)	最大值	
	温度（℃）	周围空气温度不超过 40℃时的温升（K）
1 触头(说明 4)		
裸铜或裸铜合金：		
——在氧化性气体（OG）中(见说明 5)	75	35
——在非氧化性气体（NOG）中(见说明 5)	115	75
——在油中	80	40
镀银或镀镍(见说明 6)：		
——在氧化性气体（OG）中(见说明 5)	115	75
——在非氧化性气体（NOG）中(见说明 5)	115	75
——在油中	90	50
镀锡(见说明 6)：		
——在氧化性气体（OG）中	90	50
——在非氧化性气体（NOG）中(见说明 5)	90	50
——在油中	90	50
2 用螺栓的或与其等效的联结(见说明 4)裸铜、裸铜合金或裸铝合金：		
——在氧化性气体（OG）中(见说明 5)	100	60
——在非氧化性气体（NOG）中(见说明 5)	115	75
——在油中	100	60
镀银或镀镍：		
——在氧化性气体（OG）中	115	75
——在非氧化性气体（NOG）中(见说明 5)	115	75
——在油中	100	60
镀锡：		
——在氧化性气体（OG）中	105	65
——在非氧化性气体（NOG）中(见说明 5)	105	65
——在油中	100	60
3 其他裸金属制成的或其他镀层的触头或联结	(见说明 7)	(见说明 7)
4 用螺栓或螺钉与外部导体连接的端子(见说明 8)：		
——裸的	100	60
——镀银、镀镍	115	75
——镀锡	105	65
——其他镀层	(见说明 7)	(见说明 7)

表 H.1 高压开关设备和控制设备各种部件、材料和绝缘介质的温度和温升极限（续）

部件、材料和绝缘介质的类别(见说明 1、2 和 3)	最大值	
	温度 （℃）	周围空气温度不超过 40℃时的温升 (K)
5 油开关装置用油(见说明 9 和 10)	90	50
6 用作弹簧的金属零件	(见说明 11)	(见说明 11)
7 绝缘材料以及与下列等级的绝缘材料接触的金属材料(见说明 12) ——Y ——A ——E ——B ——F ——瓷漆：油基 合成 ——H ——C 其他绝缘材料	 90 105 120 130 155 100 120 180 (见说明 13)	 50 65 80 90 115 60 80 140 (见说明 13)
8 除触头外，与油接触的任何金属或绝缘件（见说明 14）	100	60
9 可触及表面 正常运行期间人力控制元件的可被触及表面： —— 没有涂层的金属 —— 有涂层的金属 ——非金属 正常运行期间不持续握在于中的其他可被触及表面： —— 没有涂层的金属 —— 有涂层的金属 ——非金属 正常运行期间不必被触及的表面： —— 没有涂层的金属 —— 有涂层的金属 ——非金属	(见说明 15) 55 55 65 65 70 80 80 80 90	(见说明 15) 15 15 25 25 30 40 40 40 50
注：本表中的说明 1~15 见 GB/T 11022—2020，7.5.5.2。		

附 录 I
（规范性）
外部通流类设备热异常缺陷诊断判据

外部通流类设备热异常缺陷诊断判据见表 I.1，其中开启式干式通流线圈设备归属于外部通流类。

表 I.1 电流致热型设备异常诊断判据

设备类别和部位		热像特征	故障特征	缺陷性质			处理建议	备注
				危险异常	严重异常	一般异常		
电器设备与金属部件的连接	接头、接线排	以接头、接线排为中心的热像，热点明显	接触不良	热点温度＞120℃或δ≥95％且热点温度＞90℃	90℃≤热点温度≤120℃或δ≥80％	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	/	图K.9
金属部件与金属部件的连接	接头和线夹	以线夹和接头为中心的热像，热点明显	接触不良	热点温度＞140℃或δ≥95％且热点温度＞100℃	100℃≤热点温度≤140℃或δ≥80％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	/	图K.41
金属导线		以导线为中心的热像，热点明显	松股、断股、老化或截面积不够	热点温度＞120℃或δ≥95％且热点温度＞90℃	90℃≤热点温度≤120℃或δ≥80％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	/	/
输电导线的连接器(耐张线夹、接续管、修补管、并沟线夹、跳线线夹、T 型线夹、设备线夹等)		以线夹和接头为中心的热像，热点明显	接触不良	热点温度＞140℃或δ≥95％且热点温度＞100℃	100℃≤热点温度≤140℃或δ≥80％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	/	图K.42
刀闸	转头	以转头为中心的热像	转头接触不良或断股	热点温度＞140℃或δ≥95％且热点温度＞100℃	100℃≤热点温度≤140℃或δ≥80％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	/	图K.43
刀闸	刀口	以刀口压接弹簧为中心的热像	弹簧压接不良	热点温度＞140℃或δ≥95％且热点温度＞100℃	100℃≤热点温度≤140℃或δ≥80 ％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	测量接触电阻	图K.44

表 I.1 电流致热型设备异常诊断判据（续）

设备类别和部位		热像特征	故障特征	缺陷性质			处理建议	备注
				危险异常	严重异常	一般异常		
套管	柱头	以套管顶部柱头为最热的热像	柱头内部并线压接不良	热点温度＞80℃或δ≥95％且热点温度＞55℃	55℃≤热点温度≤80℃或δ≥80％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	/	图K.30
电容器	熔丝	以熔丝中部靠电容侧为最热的热像	熔丝容量不够	热点温度＞80℃或δ≥95％且热点温度＞55℃	55℃≤热点温度≤80℃或δ≥80％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	检查熔丝	
电容器	熔丝座	以熔丝座为最热的热像	熔丝与熔丝座之间接触不良	热点温度＞80℃或δ≥95％且热点温度＞55℃	55℃≤热点温度≤80℃或δ≥80％但热点温度未达危险异常温度值	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	检查熔丝座	
直流换流阀	电抗器	以铁芯表面过热为特征	铁芯损耗异常	热点温度＞70℃(根据设计运行限值)	温差＞10K,60℃≤热点温度≤70℃	温差＞5K,热点温度未达严重异常温度值	/	图K.62
变压器	箱体	以箱体局部表面、连接螺钉、升高座过热为特征	负荷漏磁涡流引起	热点温度限值＞105℃	85℃≤热点温度≤105℃	δ≥35％但热点温度未达到严重异常温度值	检查油色谱、轻瓦斯动作情况	图K.2
干式变压器、接地变、串联电抗器、并联电抗器、	铁芯	以铁芯局部表面过热为特征	铁芯局部短路	F级绝缘热点温升/温度＞100/140℃；H级绝缘热点温升/温度＞125/165℃；相间温差＞20℃	F级绝缘80/120)℃≤热点温升/温度≤100/140)℃；H级绝缘105/145)℃≤热点温升/温度≤125/165℃；相间温差：10℃~20℃	δ≥35％但热点温升/温度未达到严重异常温度值	测量铁心绝缘电阻	图K.65
干式变压器、接地变、串联电抗器、并联电抗器、阻波器	绕组	以绕组表面有局部过热或出线端子处过热为特征	绕组匝间短路或接头接触不良	F级绝缘热点温升/温度＞100/140℃；H级绝缘热点温升/温度＞125/165℃；相间温差＞20℃	F级绝缘80/120)℃≤热点温升/温度≤100/140)℃；H级绝缘105/145)℃≤热点温升/温度≤125/165℃；相间温差：10℃~20℃	δ≥35％但热点温升/温度未达到严重异常温度值	测量绕组直流电阻，绕组绝缘电阻	图K.56

附录 J
（规范性）
非外部通流类设备热异常缺陷诊断判据

当本附录表 J.1、表 J.2 的电气设备热像同类温差达到阈值时，均宜纳入严重异常等级；超阈值上限 2 倍值时，应在综合热像诊断和设备专业意见后，纳入危险异常等级；当电气设备发生表 J.3 热像异常时，应依据用户现场运行规程做好相应处理。

电压致热型设备缺陷诊断判据见表 J.1。

表 J.1 电压致热型设备缺陷诊断判据

设备类别		热像特征	故障特征	同类温差	专业建议	备注
电流互感器	10kV 浇注式	以本体为中心整体发热	铁芯短路或局放增大	4K	进行伏安特性或局放试验	
	油浸式	以瓷套整体温升增大，且瓷套上部温度偏高	介损偏大	2 K～3K	进行介损、油色谱、油中含水量检测	（含气体绝缘 CT）见图 K.7
电压互感器	10kV 浇注式	以本体为中心整体发热	铁芯短路或局放增大	4K	进行特性或局放试验	
	油浸式	以整体温升偏高，且中上部温度大	介损偏大、匝间短路或铁心损耗增大	2 K～3K	进行介损、空载、油色谱及油中含水量测量	铁芯故障特征相似，温升更明显
耦合电容器,CVT 电容分压器	油浸式	以整体温升偏高或局部过热	介损偏大，电容量变化或局放	2 K～3K	进行介损、电容量测量	见图 K.7, K.12，K.13，K.14
移相电容器		热像一般以本体上部为中心的热像图，正常热像最高温度一般在宽面垂直平分线的三分之二高度左右，其表面温升略高，整体发热或局部发热	介损偏大，电容量变化、老化或局放	2 K～3K	进行介损测量	采用相对温差判别即 δ＞35 % 或有不均匀热像，见图 K.16，K.17
高压套管	电容型	热像特征呈现以套管整体发热热像	介损偏大	2 K～3K	进行介损测量	穿墙套管或电缆头套管温差偏小（端）
		热像为对应部位呈现局部发热区故障	局放故障、油路或气路的堵塞	2 K～3K	/	
氧化锌避雷器		正常为整体轻微发热，分布均匀，较热点一般在靠近上部，多节组合从上到下各节温度递减。同类比较整体（或单节）发热或局部发热为异常	阀片受潮或老化	1K~2K	进行直流和交流试验	合成套管比瓷套温差略小 见图 K.18，K.19，K.20

表 J.1 电压致热型设备缺陷诊断判据（续）

设备类别		热像特征	故障特征	同类温差	专业建议	备注
电缆终端		橡塑绝缘电缆半导电断口过热	内部可能有放电缺陷	5K～10K	/	10、35kV 热缩终端
		以整个电缆头为中心的热像	电缆头受潮、劣化或气隙	1K~2K	/	/
		以护层接地连接为中心的发热	接地不良	5K～10K	/	采用相对温差判别即δ＞35％或有不均匀热像
		伞裙局部区域过热	内部可能有局部放电	1K~2K	/	
		根部有整体性过热	内部介质受潮或性能异常	1K~2K	/	
绝缘子	支柱瓷绝缘子	同类热像呈过热温差，正常整支表面温度分布均匀。	裂缝缺陷	1K~3K	可精细观察外观确认	/
	线路盘式瓷绝缘子	正常绝缘子串各铁帽的温度分布同电压分布规律，即呈现不对称的马鞍型，相邻绝缘子温差很小，低值以铁帽为发热中心的热像图，其比正常绝缘子铁帽温度略高。	低值绝缘子铁帽发热（绝缘电阻在10-500MΩ）	0.5K～1K（相邻片热像正温差）	注意辨别由于瓷盘表面污秽/湿电流引起铁帽温升现象。必要时可用电气的方法对低阻值绝缘子试验确认。	1.不计线侧首片。对被测片和相邻前、后两片的温度平均值求温差（No2 直接减 No3，末片类推）； 2.由于低值绝缘子温差仅约 1K 以内，而对应定义的低值范围又很宽：5-500MΩ,目前技术很难精准对应定量，检测会有一定漏检率。 见图 K.39
		铁帽发热温度比正常绝缘子要低，热像特征呈较暗色调。	零值绝缘子铁帽在串中呈较低温值，红外术语也称失效绝缘子。	-1K～-0.5K（相邻片热像负温差）	必要时可用电气的方法对零值绝缘子试验确认	1.方法同上 1. 2. 注意，5-10MΩ 时可出现检测盲区，热像同正常绝缘子。 零值绝缘子热像图见附录 E 案例指南 3。
	线路复合绝缘子	1.在绝缘正常和绝缘劣化的结合处出现局部过热，随着时间的延长，过热部位会扩展移动； 2.近线路侧金属附件端部的护套部位，劣化热像为多。	伞裙、护套破损劣化或芯棒受潮，球头部位松脱、进水	3K*（3K 三级诊断法）	当同类温差（本绝缘子高温点和低温点、以及高温点和另一正常绝缘子相对应点）均大于 3K 时，有条件可同步跟进精细化外观视检，发现端部密封和/或护套严重破损的绝缘子，依据能源局 25 项反措要求即应及时更换	注意分辨和避免重污、湿下多处表面异常的高温升对诊断的影响。 见图 K.36，K.37

表 J.1 电压致热型设备缺陷诊断判据（续）

复合绝缘子 3K 三级诊断法*：

同类温差（K）	$\Delta T_{端n-中n}$（n 号自身热点温差）	$\Delta T_{端n-端n+}$（同类对应两端点温差）	n 号绝缘子状态	备注
№1	＞3	＜3	一般异常	≯6K
№2	＞3	＞3	严重异常	≯6K
№3	＞6	＜3	严重异常	≯9K
№4	①基于№2 状态下，若自身温差 $\Delta T_{端n-中n}$ 或和另一同类 $\Delta T_{端n-端n+}$ ＞6K，或 ②任何自身或同类温差 ΔT＞9K		危险异常	配合精细化视检确诊

注：* 实用中，$T_{中n}$取本根n号绝缘子护套正常段温度低值，$T_{端n}$取本根n号绝缘子护套异常段温度高值，$T_{端n+}$是同类另一支绝缘子对应$T_{端n}$点护套位置的温度值。这样就可用本方法对任一复合绝缘子整串的任何一个部位温度异常进行诊断（尽管大多数缺陷发生在导线侧端部护套）。

全封闭电气设备、内置通流连接、电磁单元设备等的缺陷诊断判据见表 J.2

表 J.2 全封闭电气设备、内置通流连接、电磁单元设备等的缺陷诊断判据

设备类别		热像特征	缺陷原因	同类温差	专业建议	备注
组合电器（GIS/HGIS/GIL）	母线气室、隔离开关气室、断路器气室（含SF_6落地罐式断路器）	气室上部温度最高。	连接触头接触不良。	3K	测量回路电阻	见图K.48, K.49, K.50
	电流互感器气室	二次线部位或气室上部温度最高。	电流互感器局部放电、电流互感器二次开路。	3K	/	见图K.51
	电压互感器气室	气室上部温度最高。	电压互感器受潮、绝缘老化介损增大、二次回路绝缘损坏、连接触头接触不良、铁芯励磁发热。	2K	进行带电局部放电检测	/
	电缆进出线气室	电缆本体或气室上部温度最高。	电缆终端头制做工艺不良产生局部放电、电缆终端头端部金属件或内部接地引出线接触不良发热。	2K	进行带电局部放电检测	见图K.52, K.53
	避雷器气室	气室上部温度最高。	避雷器阀片劣化。	2K	测量避雷器阻性电流	/
组合电器（GIS/HGIS/GIL）	套管	套管局部温度过热，一般为下部局部异常发热。	套管电容屏存在局部放电异常发热。	2K	进行带电局部放电检测	见图K.54
断路器	动静触头	以顶帽和下法兰为中心的热像（顶帽温度大于下法兰温度）。	压指压接不良。	10K-15K 或δ≥80%或2K-3K（同类瓷套表面）	测量接触电阻	见图K.45,K.46
	中间触头	以下法兰和顶帽为中心的热像（下法兰温度大于顶帽温度）。	压指压接不良。	10K-15K 或δ≥80%或2K-3K（同类瓷套表面）	测量接触电阻	见图K.46
电流互感器	内联接	以串并联出线头或大螺杆出线夹为最高温度的热像或以顶部铁帽发热为特征。	连接排、螺杆接触不良。	10K-15K 或δ≥80%	测量一次回路电阻	见图K.10
电缆连接	电缆连接盒	连接盒表面发热为特征。	内连接质量存疑。	10K-15K 或δ≥80%		见图K.28
CVT电磁单元	电磁单元	油箱外壳发热为特征。	电磁组件故障。	2K~5K	绕组间及对地绝缘电阻检测	见图K.8
电机	电动机	电机外壳、轴承过热为特征。	绕组、铁芯、轴承缺陷。	10-20 K（同类同负载下）	线圈电阻、损耗试验，风槽、轴承润滑检查	见图K.61

其他异常热像特征见表 J.3。

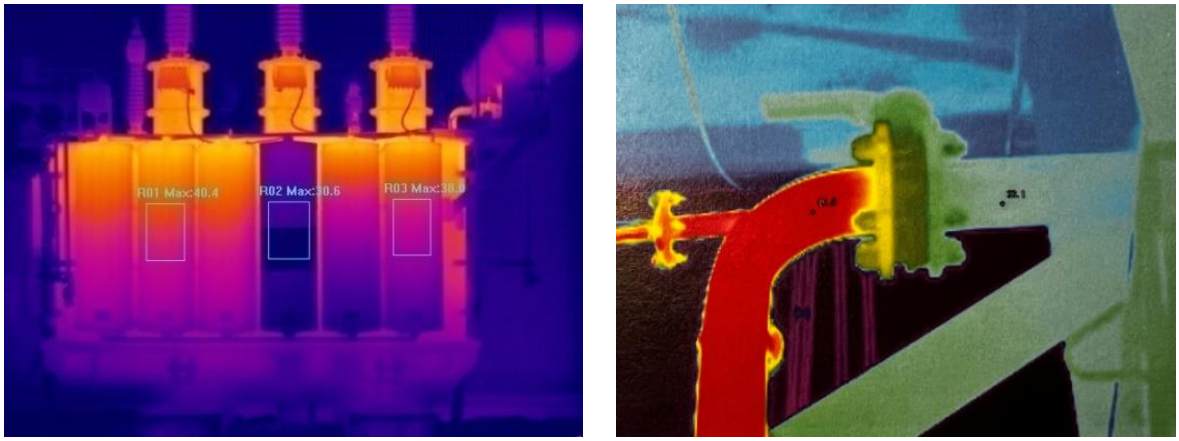
表 J.3 其他异常热像特征

设备类别		热像特征	缺陷原因	典型热像	备注
变压器	油枕	油位温度线呈弯曲热像特征	油枕隔膜脱落	图K.6	/
	箱体外部油路管道阀门	阀门两侧油管高低温差特征明显；阀门未开散热器温度较低热像特征	油管阀门未打开	图K.1	/
	套管	套管内油面温度界线分明热像特征	套管内缺、渗漏油	图K.30	/
35kV电抗器	中性套管	套管低温热像特征	套管窝气	图K.35	/
SF_6气体绝缘设备	封闭金属外壳	喷出气态状低温热像特征	封闭金属材料有沙眼或密封缺陷	图K.63	/
	GIS外壳	气室间连接件（排、螺栓）、盆子导流排、设备构/支架、接地排高温热像特征	电/漏磁感应电场/电流、感应接地电流	图K.55	热点温度限值≥70℃（人可触及部位）；热点温度限值≥80℃（人不会触及部位）
耦合电容器	低压端子	接头高温热像特征	接地接触不良，放电	图K.15	/
瓷绝缘子（含支柱、套管）	绝缘子伞裙	多裙边的上/下表面呈温升圈热像特征	表面干、湿污秽	图K.31，K.38	/

附录 K
（资料性）
电气设备缺陷部分红外典型热像图

K.1 变压器类设备

变压器类设备见图K.1至K.6。



a）变压器散热器进油阀未打开　　b） 油枕进油管阀门未打开

图 K.1　变压器散热器进油阀未打开



图 K.2　变压器漏磁涡流引起箱体局部异常发热

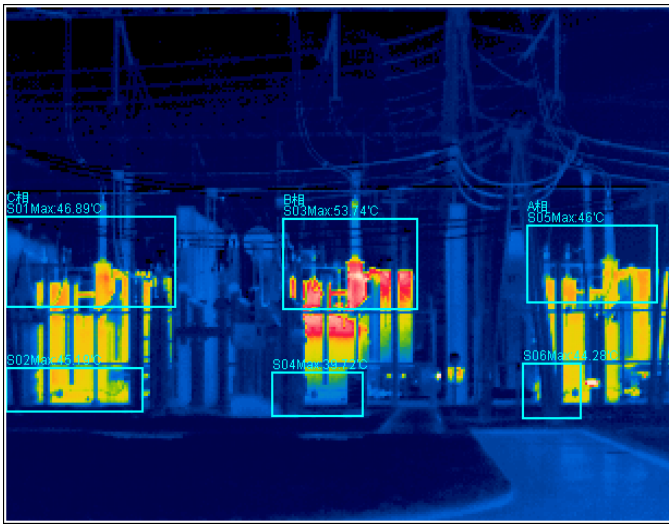


图 K.3　500kV 主变本体三相温度分布不一致 B 相强油循环没开启

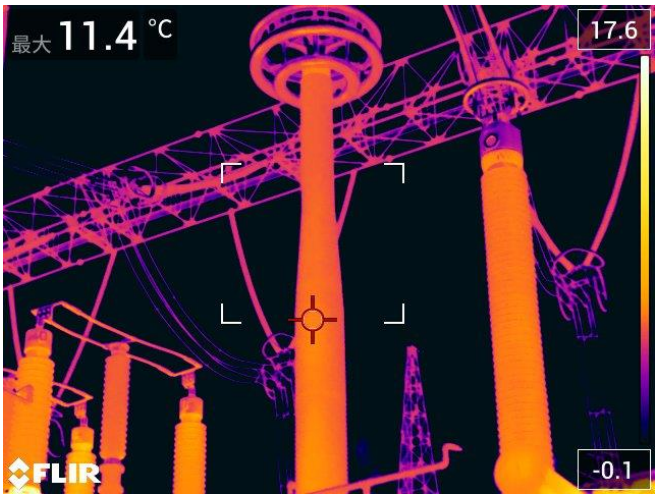


图 K.4　1000kV 变压器高压套管正常热像

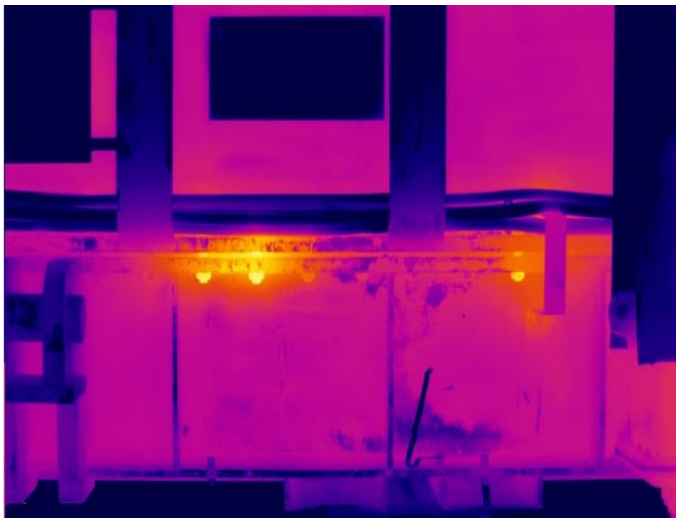


图 K.5　变压器漏磁通引起的螺栓发热

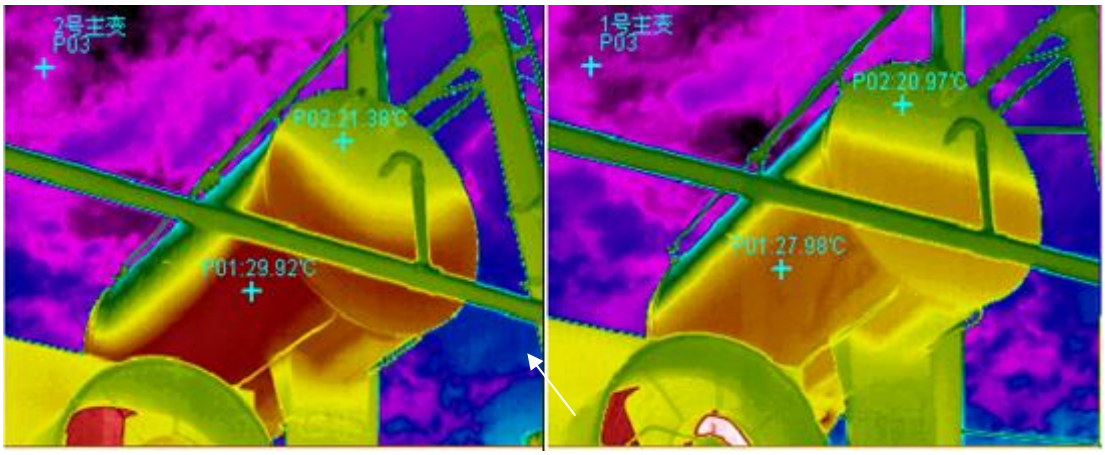


图 K.6　220kV 主变压器油枕左图胶囊位置有异，右图正常

K.2 互感器类设备

互感器类设备见图K.7至K.11。

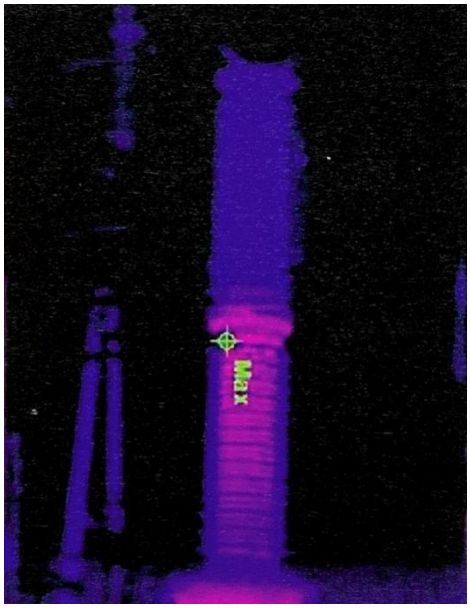


图 K.7　220kV CVT 电容分压器下节介损超标发热，上下节温差 4K

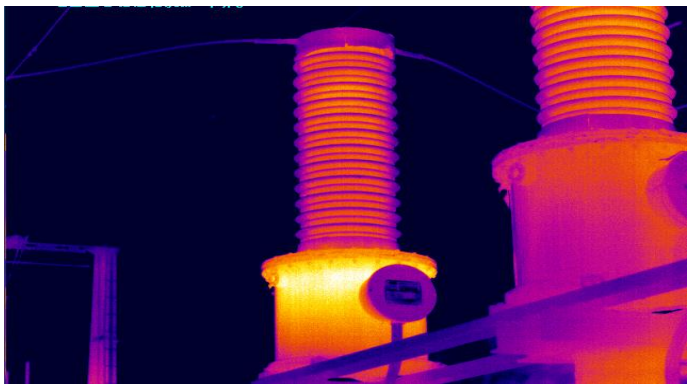


图 K.8　CVT 电磁单元异常发热

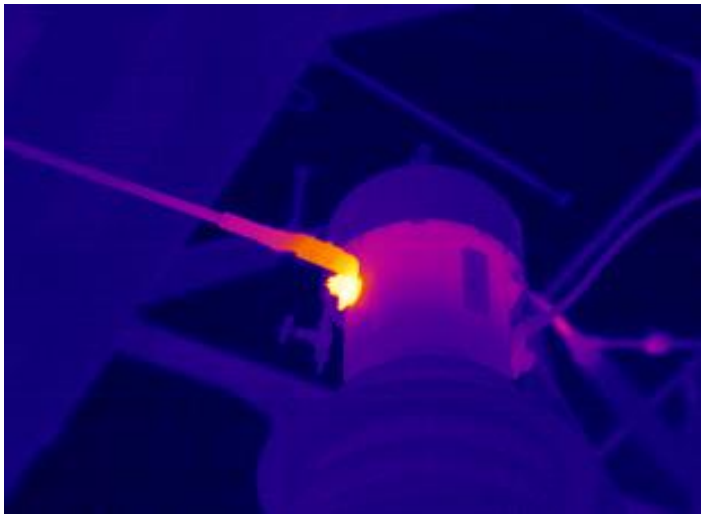


图 K.9　电流互感器外接头发热

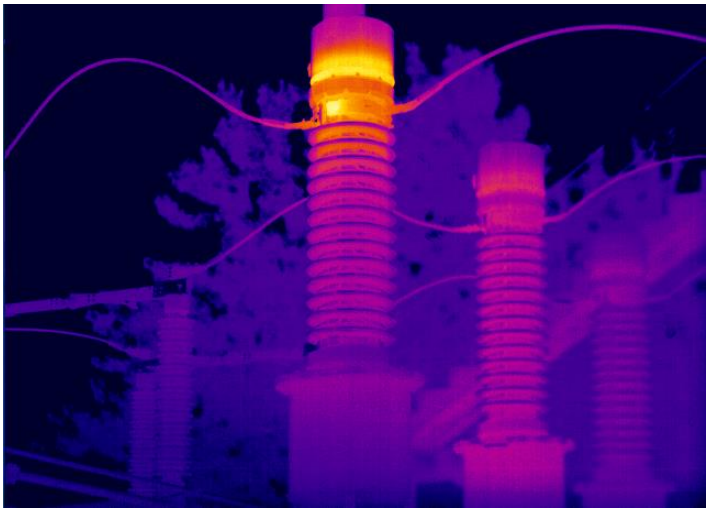


图 K.10　电压互感器内联接头发热

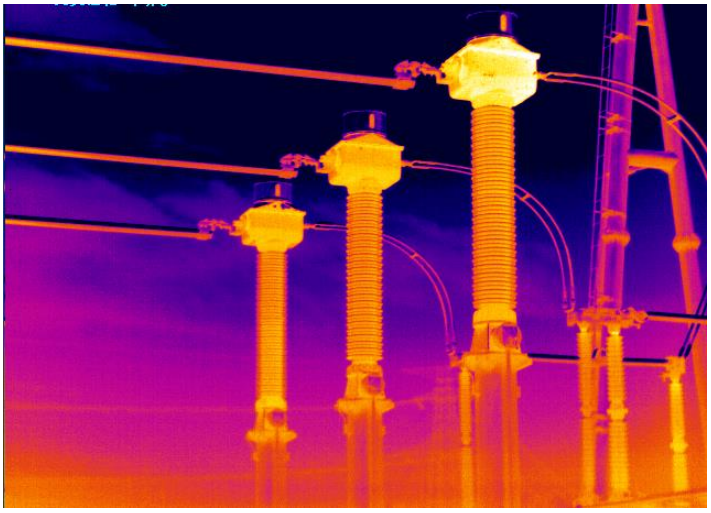


图 K.11　220kV 倒立式电流互感器置顶油箱异常发热（内连接缺陷）

K.3 电容器类设备

电容器类设备见图K.12至K.17。

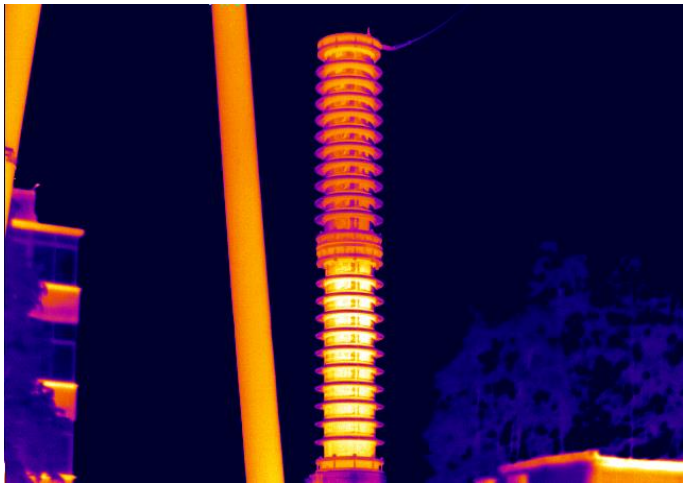


图 K.12 耦合电容器电容芯缺陷引起异常发热

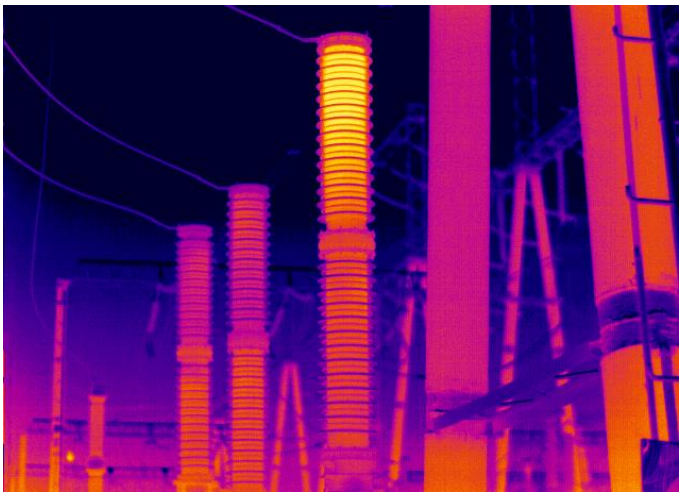


图 K.13 耦合电容器介损超标异常发热

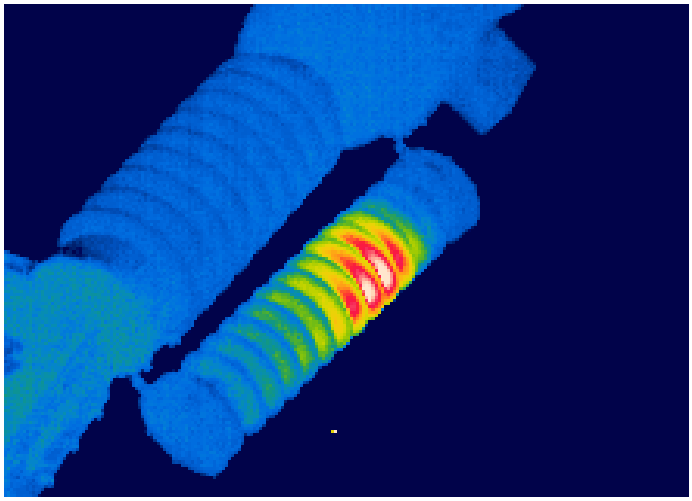


图 K.14 高压断断器均压电容局部异常发热

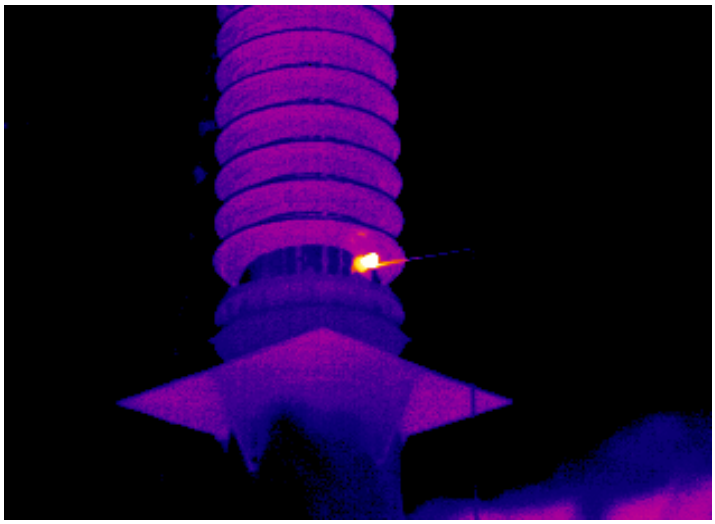


图 K.15　耦合电容器低压端子异常发热

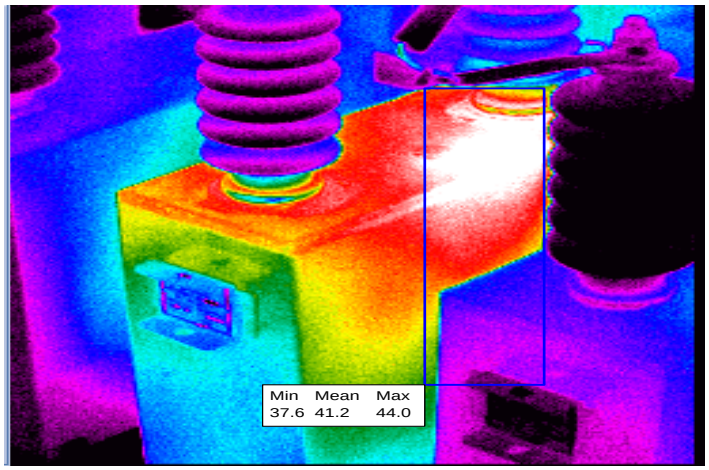


图 K.16　电容器内部缺陷引发热异常

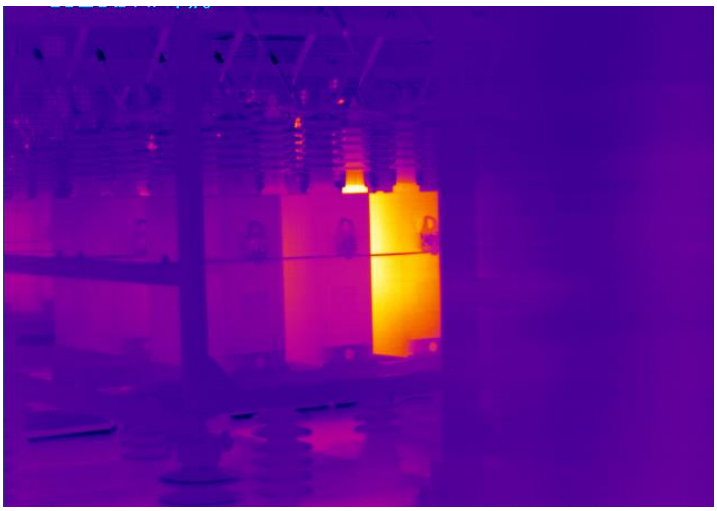


图 K.17　一电容器介损偏大引起整体异常发热

K.4　避雷器类

避雷器类见图 K.18 至 K.20。

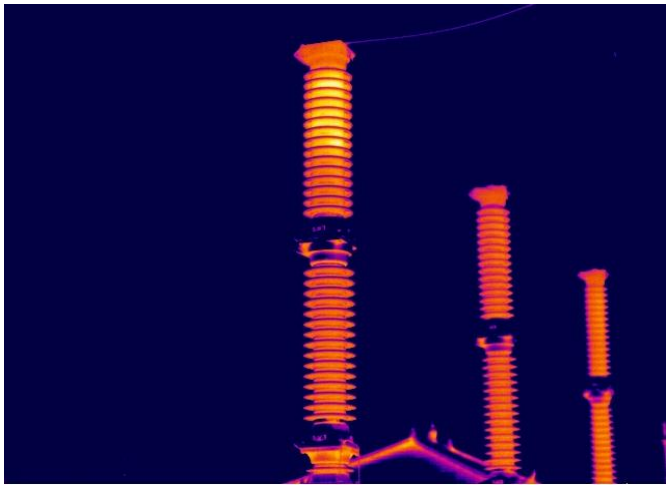


图 K.18　220kV 避雷器前相上节温度分布异常



图 K.19　10kV 避雷器异常发热

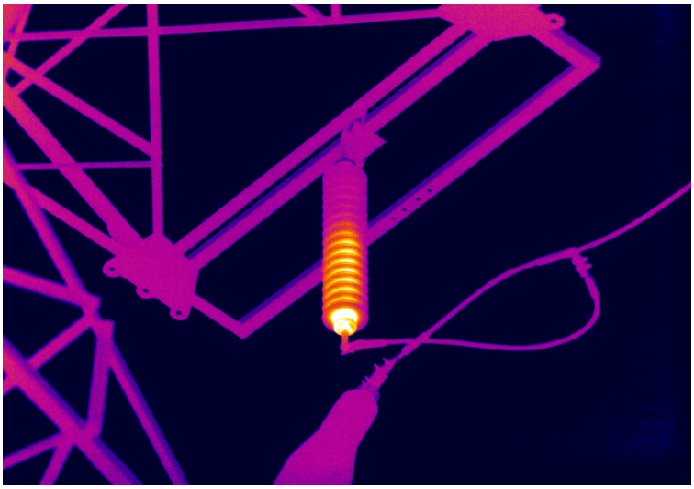


图 K.20　110kV 线路避雷器异常发热

K.5 电缆类

电缆类见图K.21至K.29。

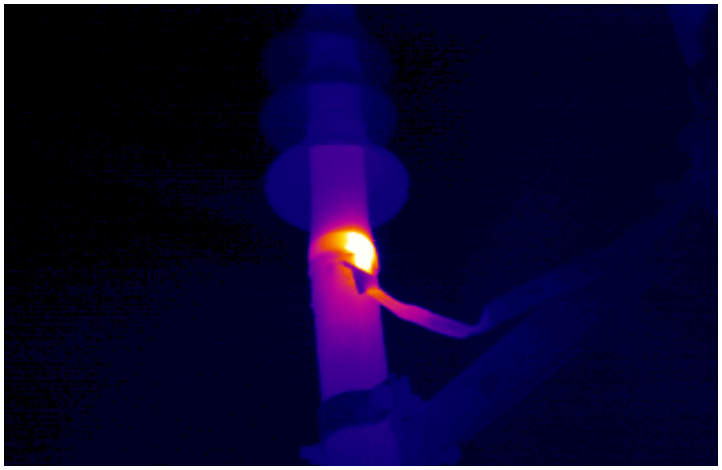


图 K.21 电缆屏蔽层异常发热，电场不均匀

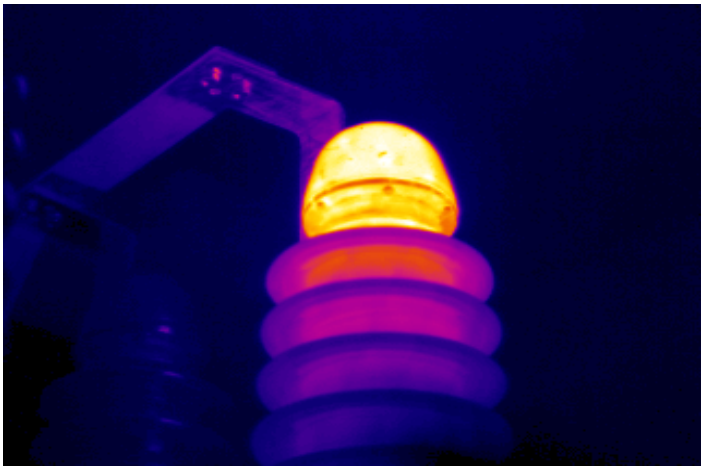


图 K.22 电缆接头异常发热，连接不良

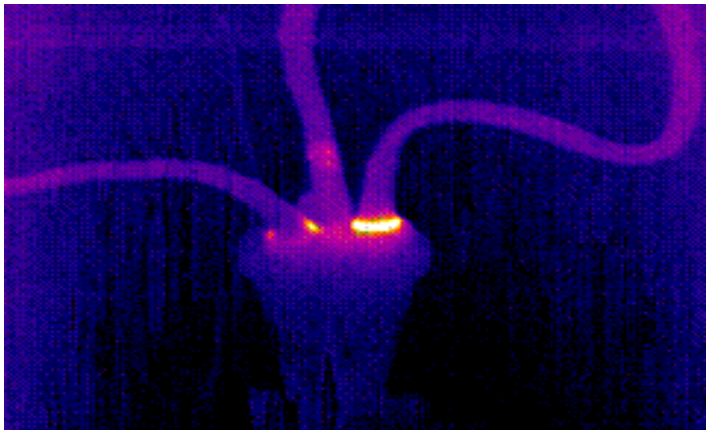


图 K.23 10kV 油纸电缆终端分相处异常发热，电容放电

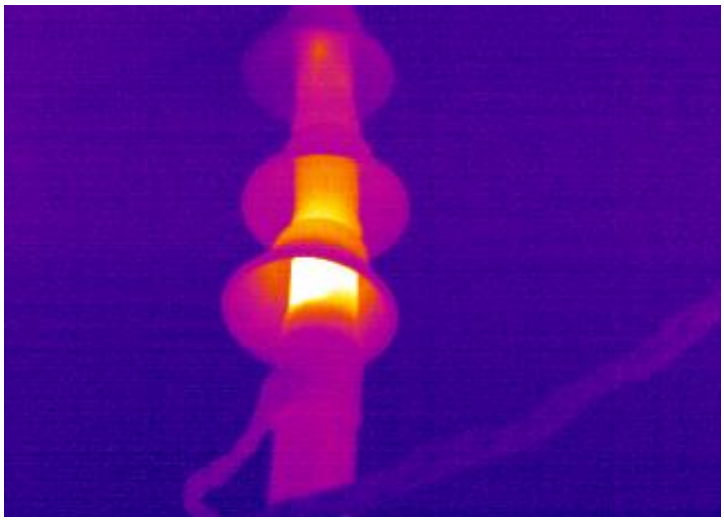


图 K.24　电缆头包接不良，异常发热

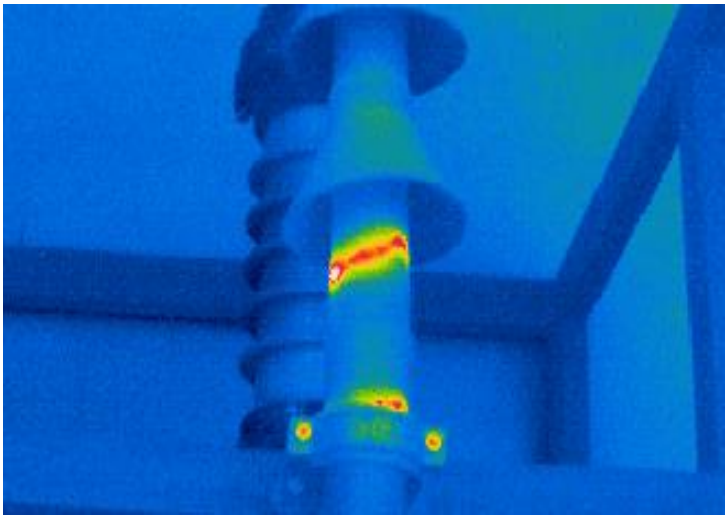


图 K.25　电缆护套受损，异常发热

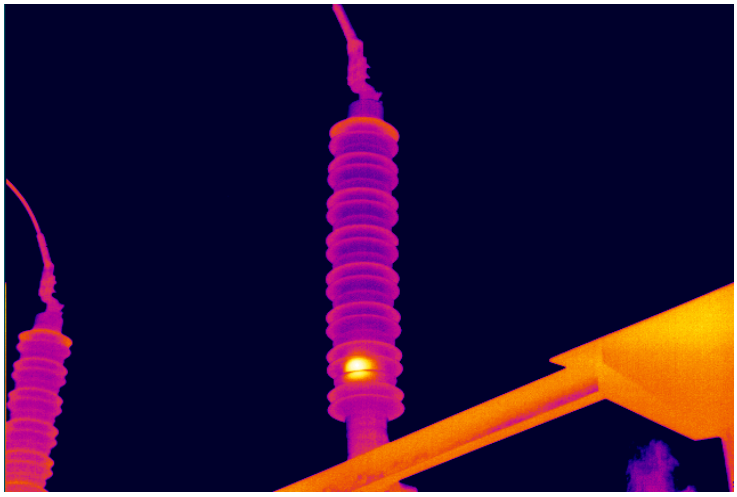


图 K.26　110kV 瓷瓶电缆终端局部异常发热

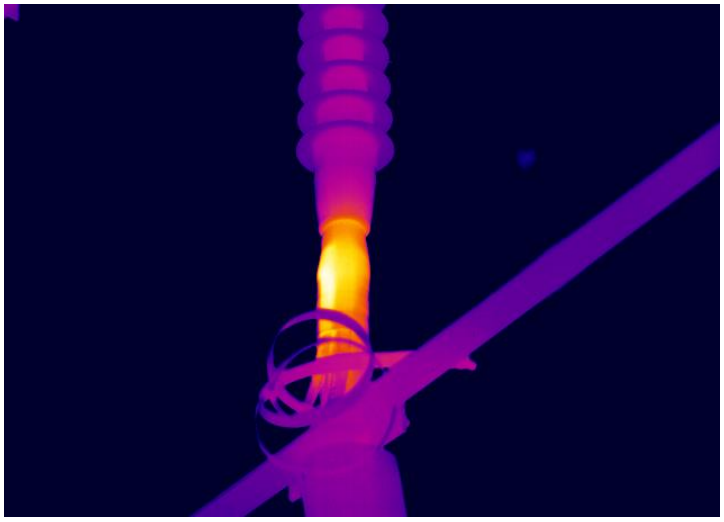


图 K. 27　35kV 电缆终端连接端部异常发热

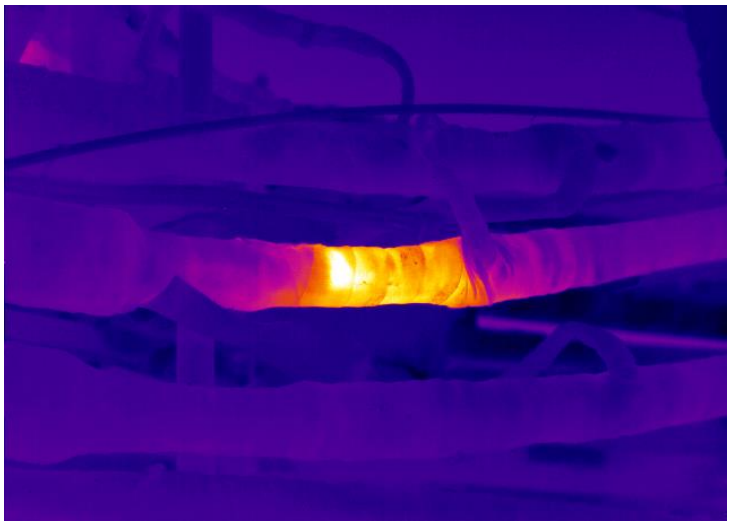


图 K. 28　电缆中间接头缺陷异常发热

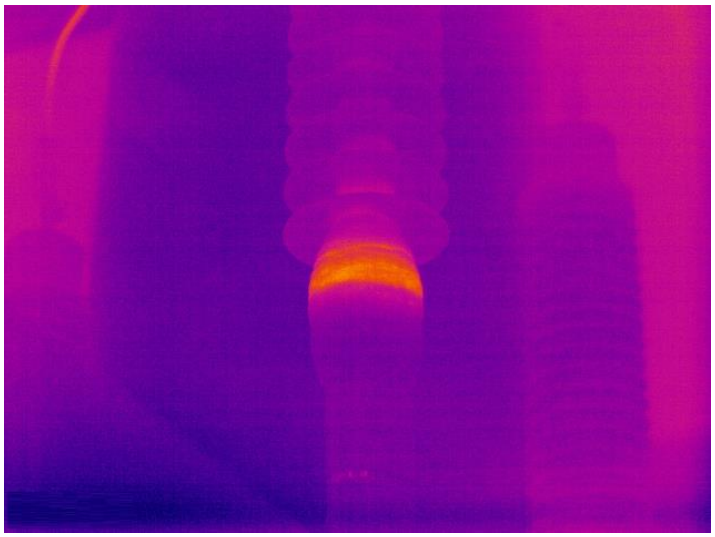


图 K. 29　电缆终端均压结构异常发热

K.6 套管类

套管类见图K.30至K.35。

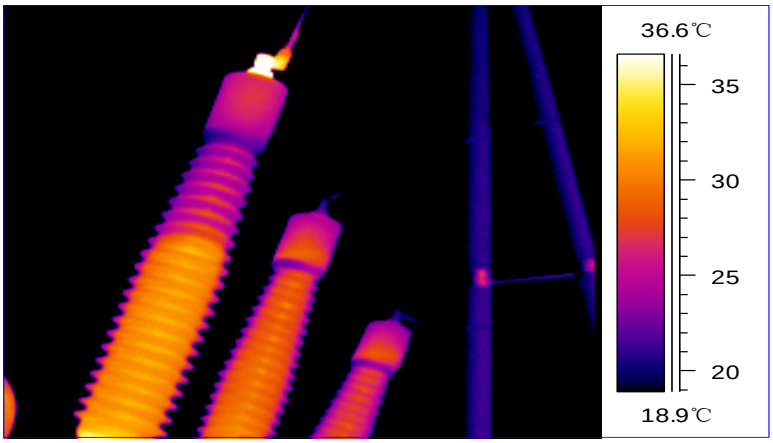


图 K.30 变压器套管发热套管缺油及柱头异常发热

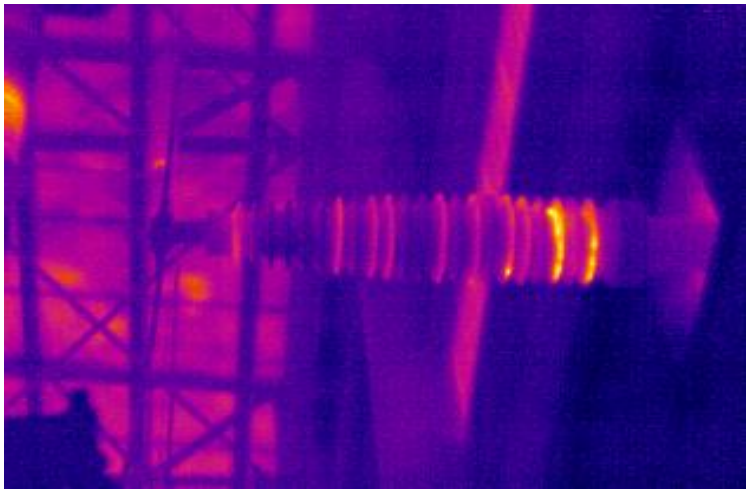


图 K.31 穿墙套管发热，套管外表污秽

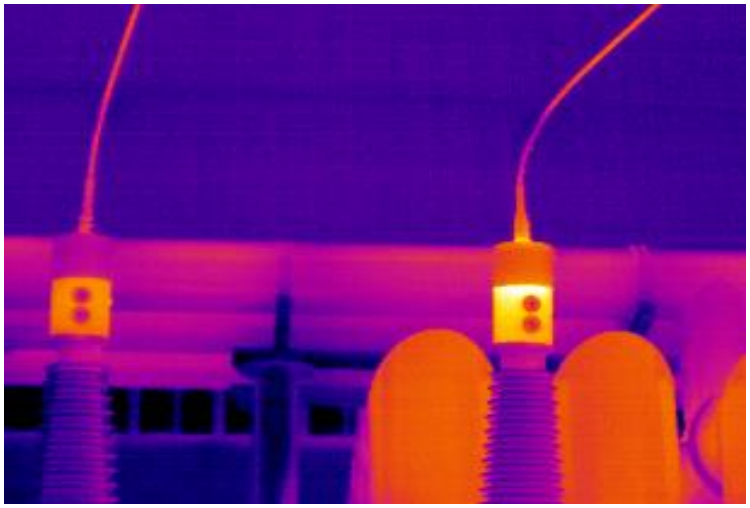


图 K.32 套管柱头内联接接触不良异常发热

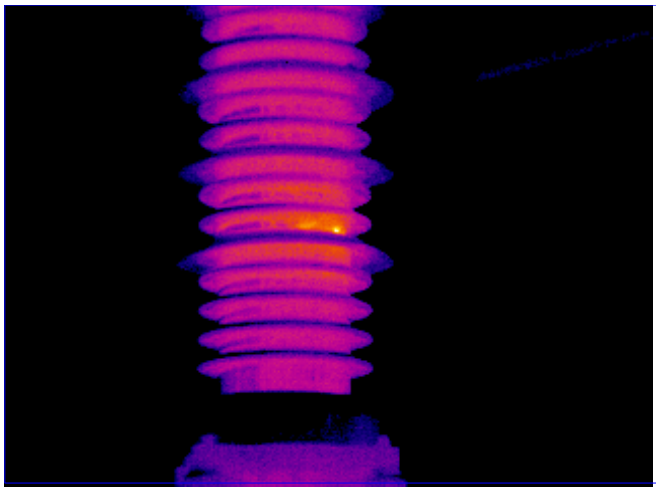
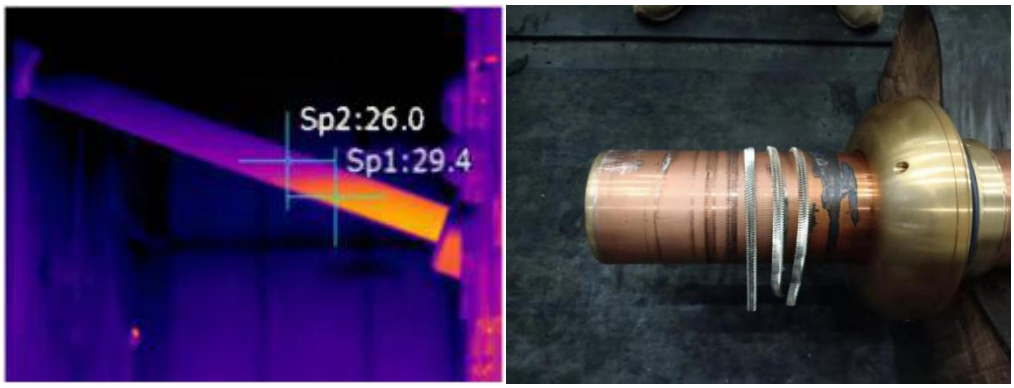


图 K.33　硅橡胶增爬伞裙套粘接间隙发热



a）　平波电抗器阀侧套管热成像图　　b）平波电抗器阀侧套管可见光图

导电杆铜铝过渡接头烧蚀痕迹，下部接头对中接触不良导致接触电阻增大发热

图 K.34　500kV 平波电抗器阀侧套管温度分布异常，界面阶跃温差 3.4℃

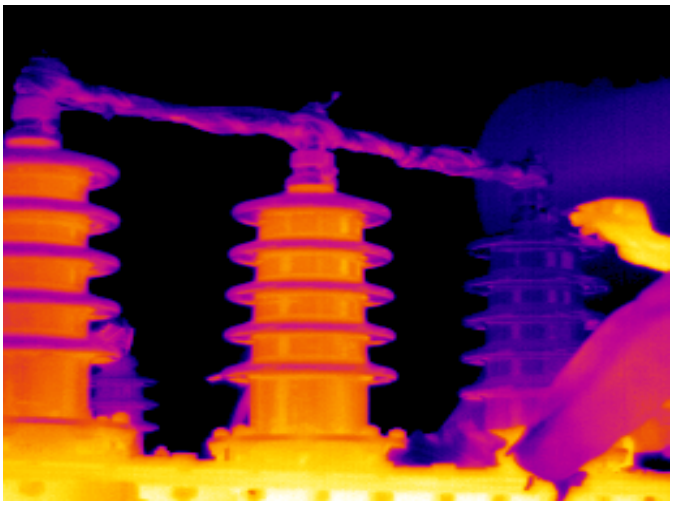


图 K.35　35kV 电抗器一中性套管发暗，瓷套管窝气现象（图示停电时手在排气）

K.7　绝缘子类

绝缘子类见图K.36至K.40。

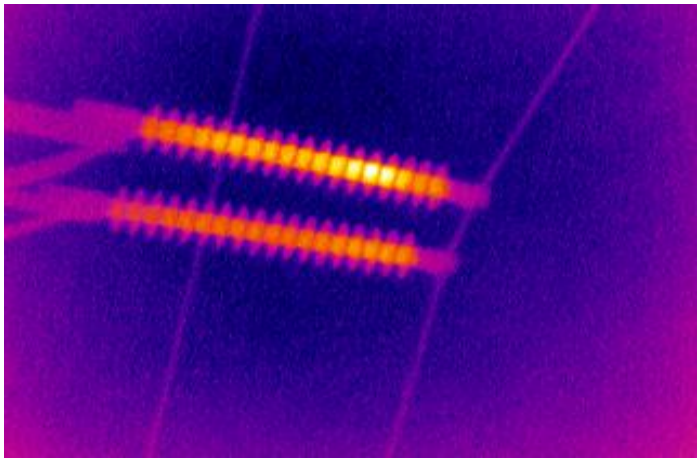


图 K.36　110kV 横担合成绝缘子（上）内部芯棒受潮，异常发热

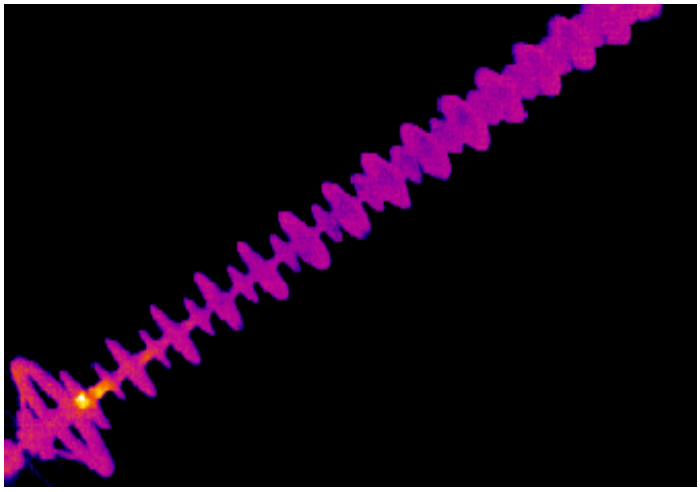


图 K.37　500kV 合成绝缘子端部护套缺陷芯棒受潮，异常发热

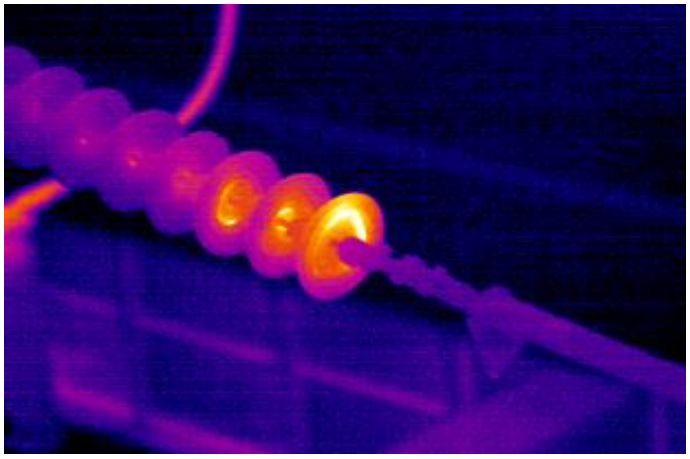


图 K.38　表面污秽瓷绝缘子发热

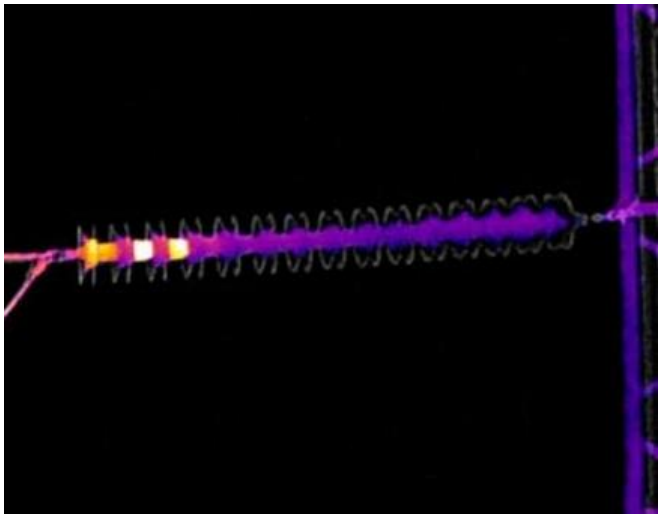


图 K.39　瓷绝缘子铁帽发热，低值绝缘子（No2、No3 片）

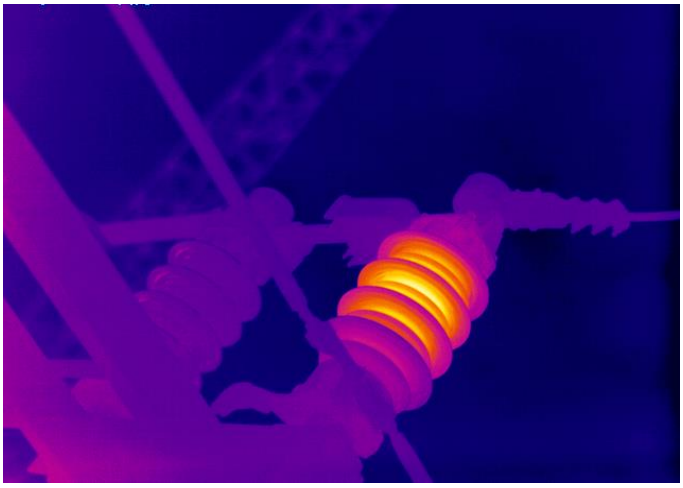


图 K.40　35kV 隔离开关支撑绝缘子异常发热

K.8　金属连接类

金属连接类见图K.41至K.44。

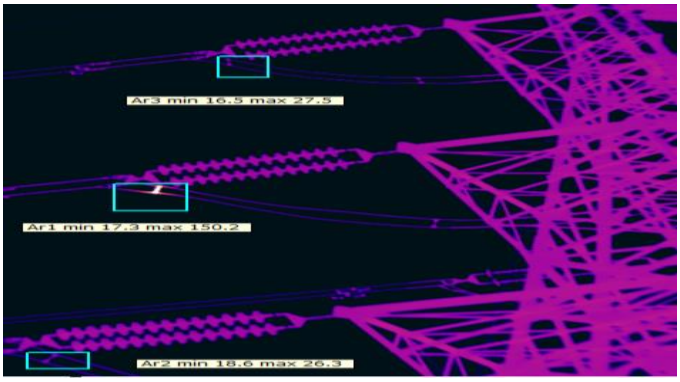


图 K.41　220kV 线路中间相引流线间隔棒发热 150 度

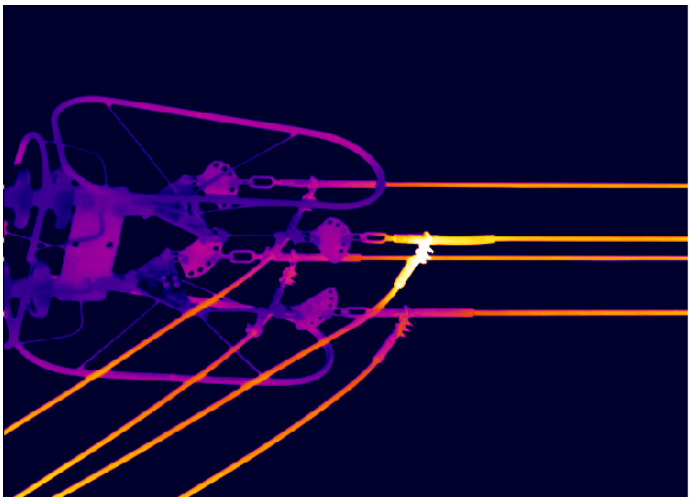


图 K. 42　500kV 线夹异常发热，接触不良

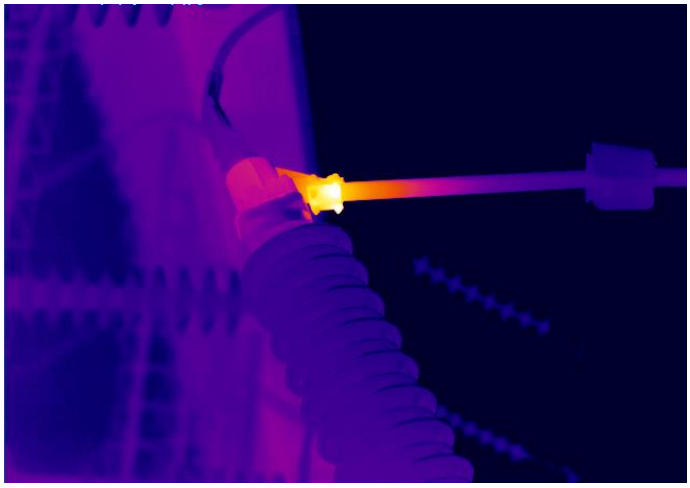


图 K. 43　刀闸内转头异常发热，接触不良

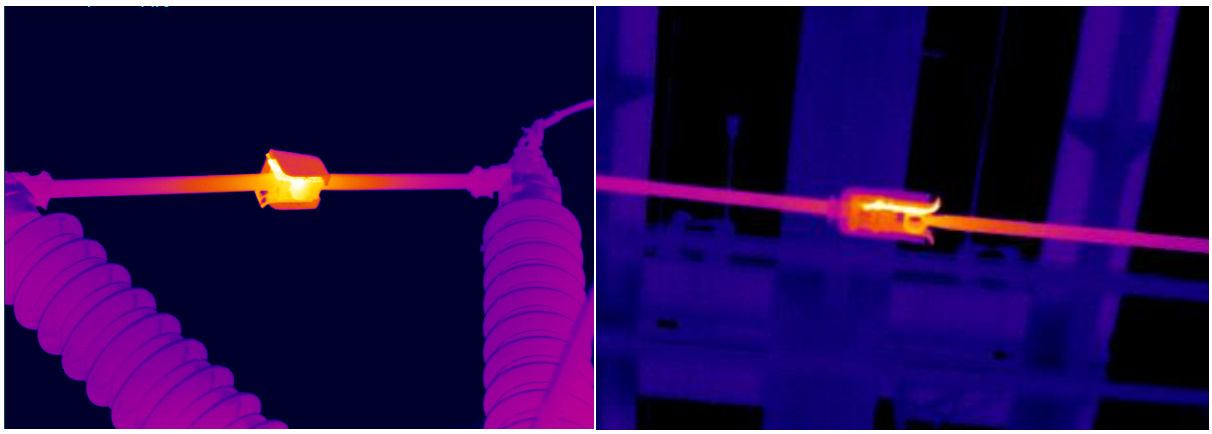


图 K. 44　刀闸刀口异常发热，刀口弹簧压接触不良

K.9　断路器/GIS类

断路器/GIS 类见 K.45 至 K.55。

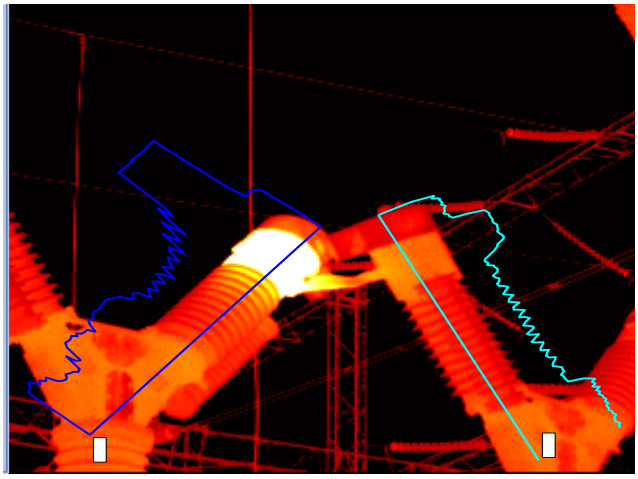


图 K.45　断路器内静触头发热，接触不良

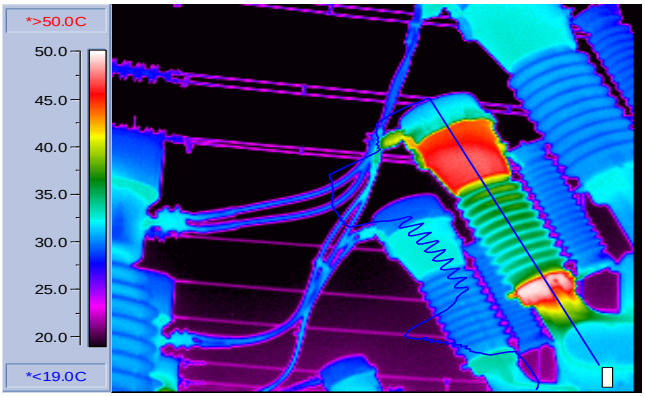


图 K.46　中相断路器内中间触头发热，接触不良

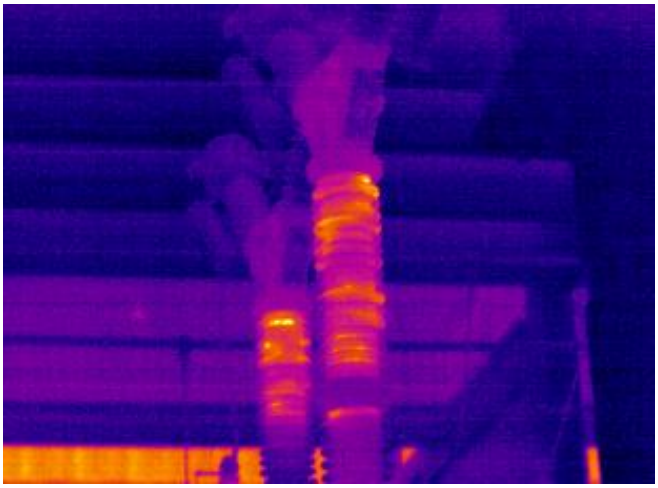
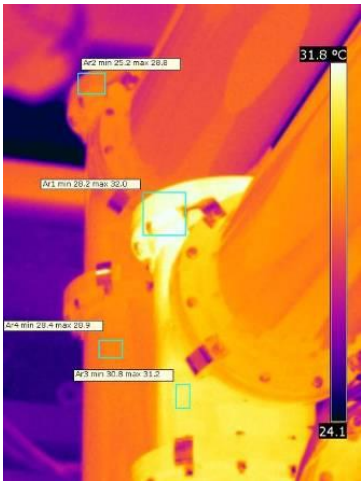


图 K.47　断路器支柱发热，支柱瓷套污秽

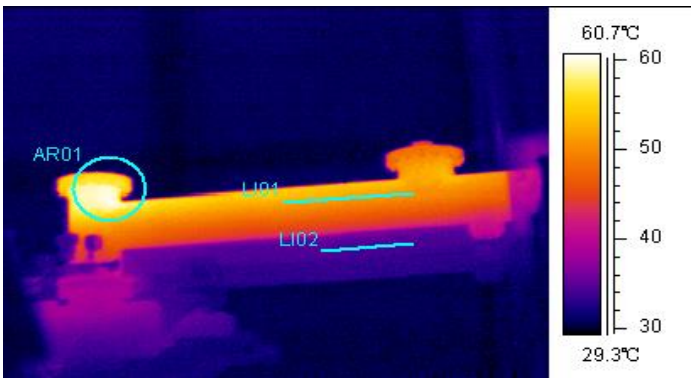




a） GIS 母线联络气室转角筒壁温度异常热像图　　b）GIS 母线联络气室转角筒壁可见光图

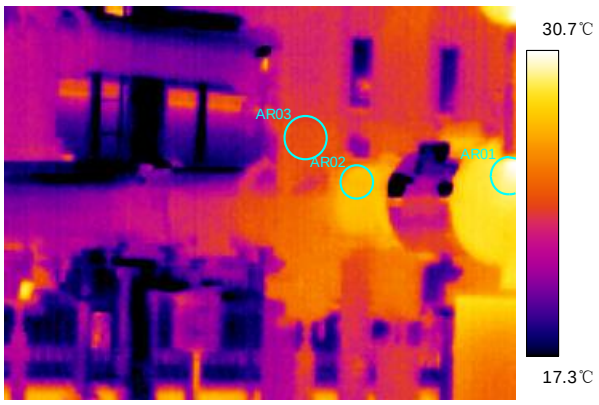
AR1:32.0℃（B相）；AR2:28.8℃（C相），同类温差3.2K

图 K.48　220kV GIS 母线联络 B 相气室转角筒壁温度异常热像图



AR01:61.3℃；LI01:52.5℃；LI02:35.3℃，同类（LI01，LI02）温差17.2℃

图 K.49　110kV GIS Ⅰ回刀闸母线气室过热图谱

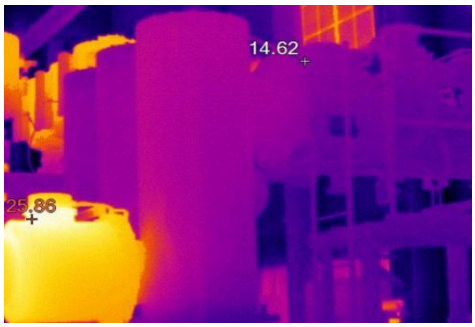




a） GIS 变压器间隔热像图　　b）GIS 变压器间隔内部隔离开关-母线连接触头

AR01:30.7℃；AR02:25.1℃；AR03:21.9℃

图 K.50　220kV GIS 变压器间隔热像图及内部隔离开关-母线连接触头状况



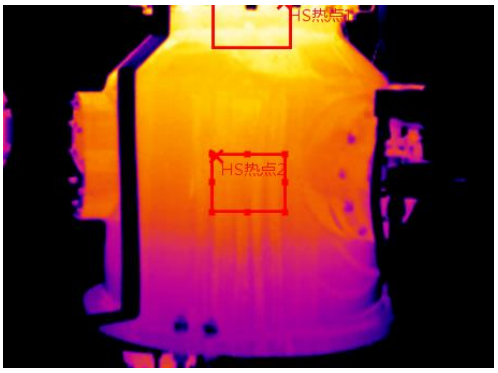
a） GIS 电流互感器气室发热异常热像图



b）GIS 电流互感器气室可见光图

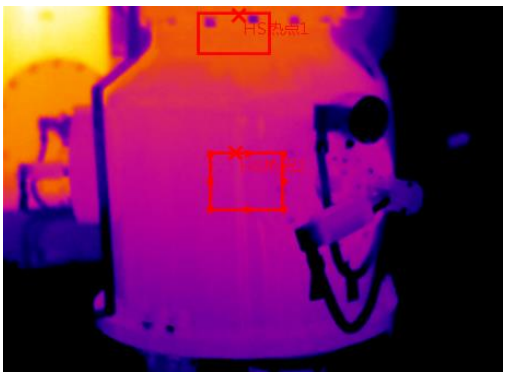
断路器母线侧CT:25.86℃；断路器出线侧CT:14.62℃，同类温差11.24K

图 K.51　220kV GIS 电流互感器气室发热异常图



HS1:27.6℃；HS2:26.1℃

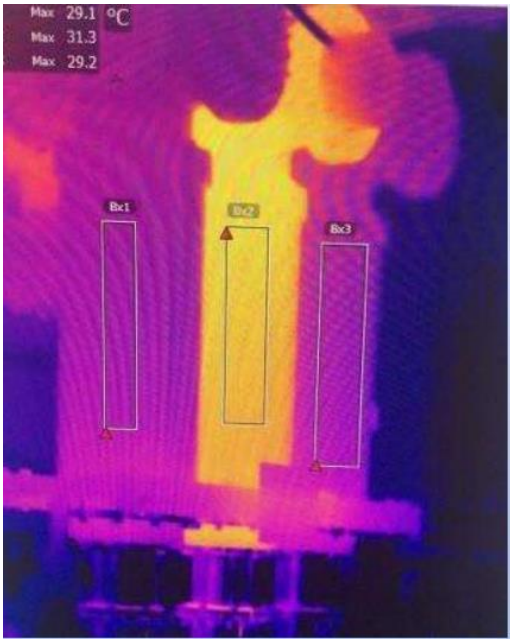
a） 一号主变二次电缆终端气室（异常发热）



HS1:23.5℃；HS2:22.2℃

b） 二号主变二次电缆终端气室（正常）

图 K.52　66kV GIS 电缆终端气室发热异常热像及正常气室热线图



a） 电缆终端气室发热异常热像图



b） 电缆终端气室可见光图

Bx1:29.1℃；Bx2:31.1℃；Bx3:29.2℃,同类温差 2K

图 K.53　GIS 电缆终端气室发热异常热像图



a） 套管电容屏发热异常热像图　　b） 套管电容屏可见光图

Bx1:4.3℃；Bx2:2.1℃；Bx3:2.0℃,同类温差2.3K

图 K.54　1000kV GIS 出线套管电容屏发热异常图

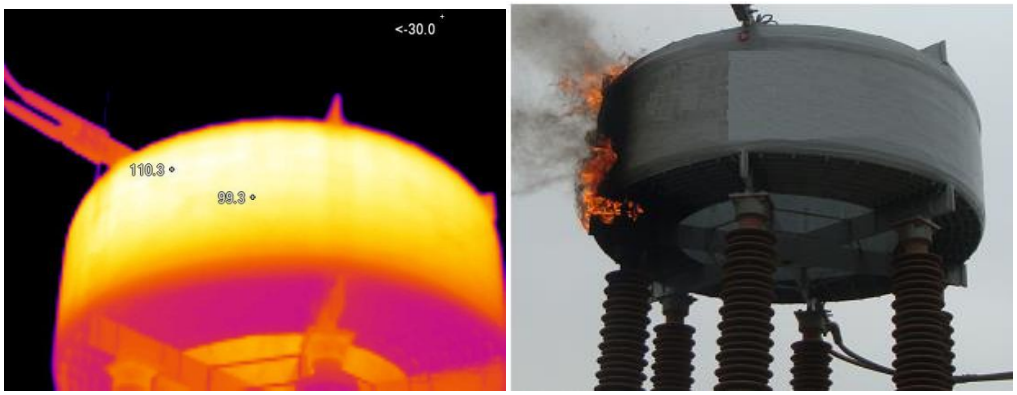


a)盆子导流排发热 78.8℃　　b)接地排与支架连接发热 67.4℃　　c)CT 气室外罩连接件发热 77.2℃

图 K.55　因电/漏磁感应电场/电流、接地问题引起的 500kV GIS 外部构件异常热像（本案中同类构件正常热像平均温度 35 度）

K.10 电抗器

电抗器见图K.56。

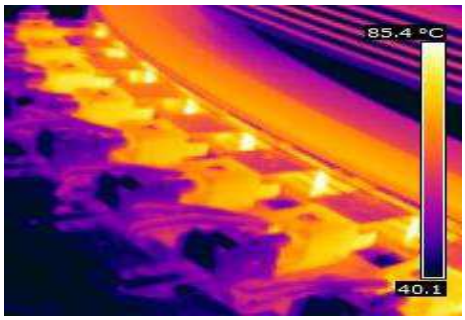


a)干抗严重异常高温热像　　b)高温持续下起火照片

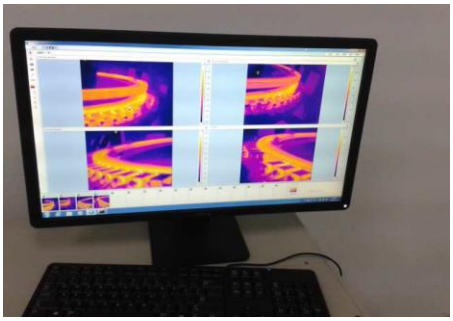
图 K.56　干式电抗器本体表面严重异常高温热像和着火图

K.11发电机/ 电动机

发电机/电动机见图K.57至K.61。



a） 水轮发电机碳刷和集电环检测热像图



b) 热像在线监测



c) 发电机集电环过热典型红外图

图 K. 57　发电机集电环红外热像图

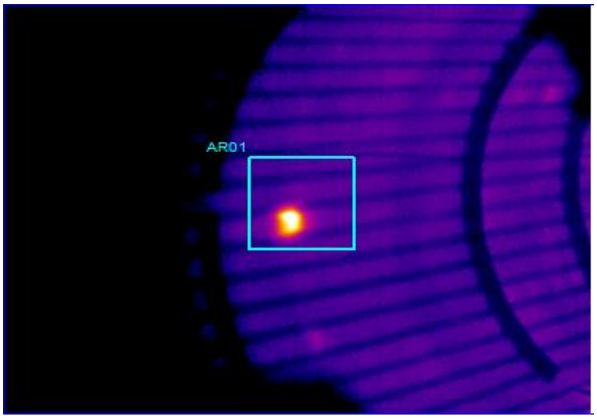


图 K. 58　定子铁心磁化试验铁心过热点典型红外图

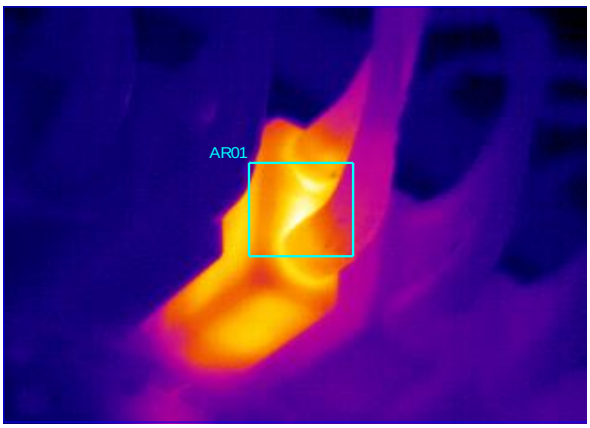


图 K. 59　发电机定子绕组焊接头缺陷典型红外图

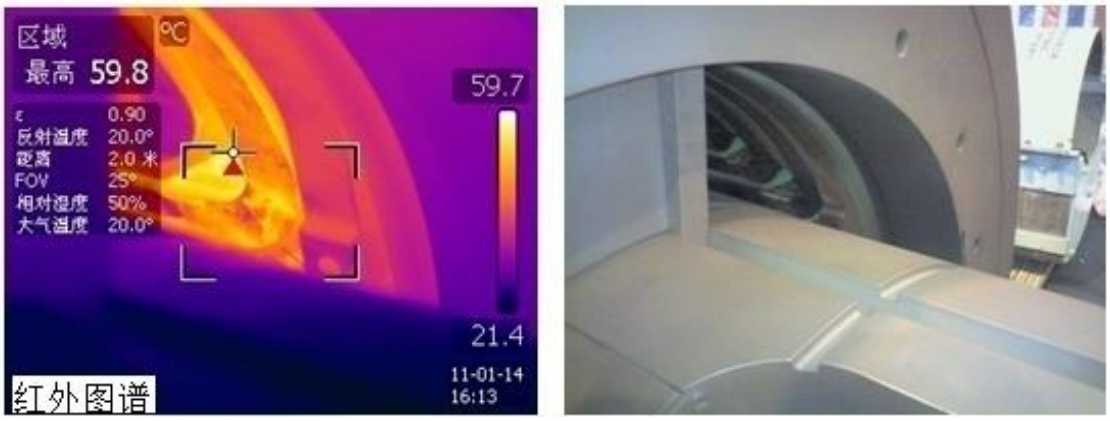
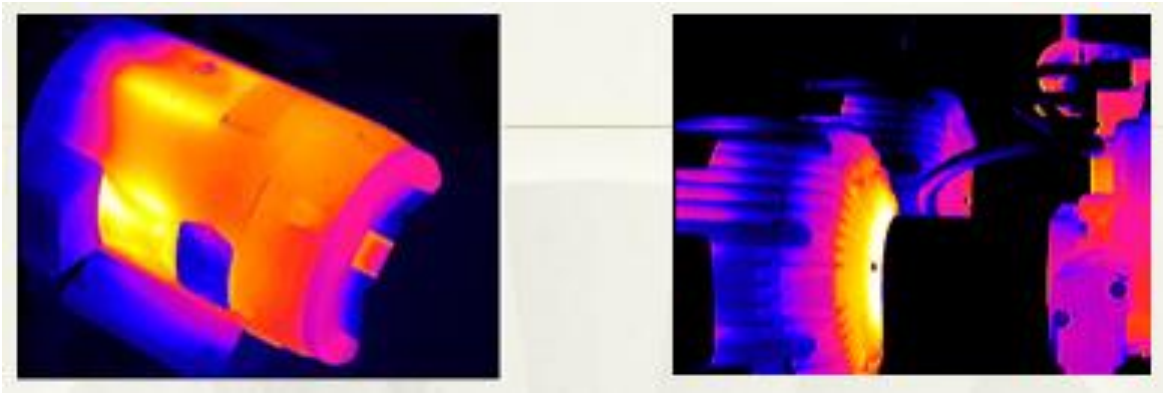


图 K.60　转子匝间短路故障点典型红外图



a)电机外壳热像异常，定子/绕组缺陷　　b）比较两台马达 前台轴承部位高温异常

图 K.61　电动机运转异常热像图

K.12　直流换流阀

直流换流阀见图K.62。

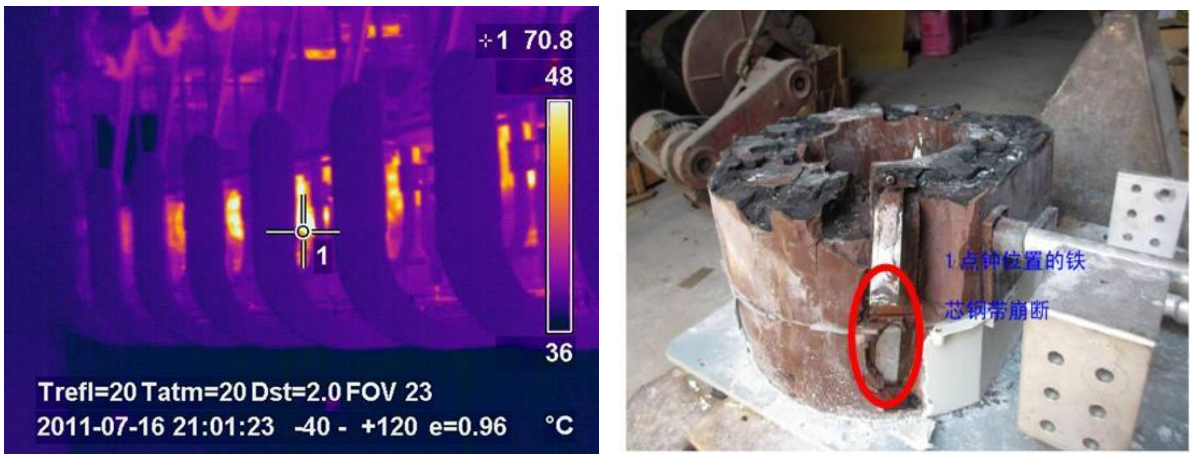


图 K.62　换流阀阳极电抗器异常过热，表面温度超过设计运行限值（70℃）。右图为其内部焦痕和崩断钢带

K.13 SF_6 气体泄漏检测

SF_6 气体泄漏检测见图K.63。



图 K.63 GIS 电压互感器气室 SF_6 气体泄漏

K.14 配电设备及其他

见图K.64至K72。

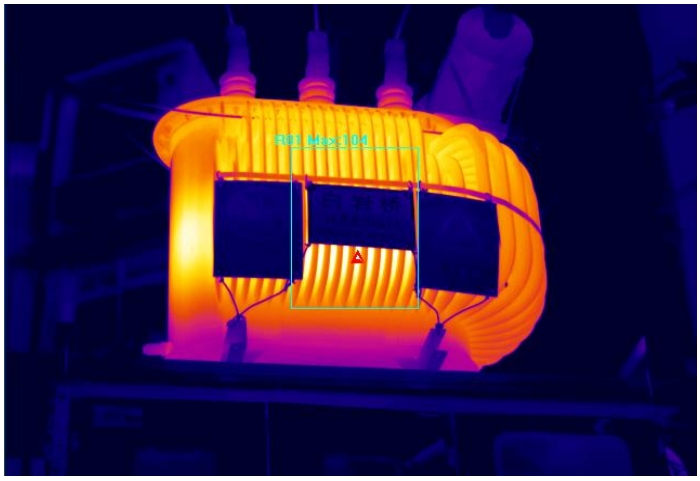
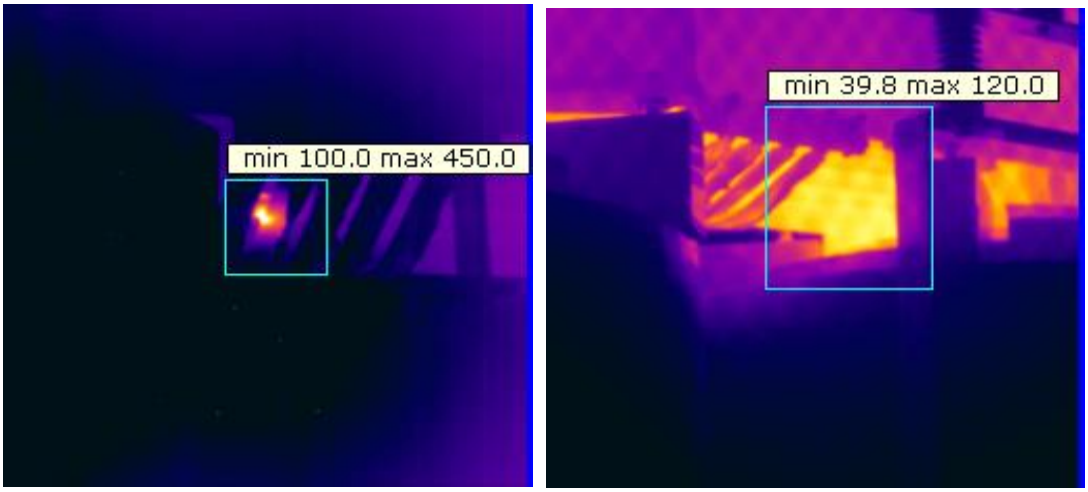


图 K.64 配电变压器高负载运行热像



a) 35kV干式配变铁芯局部短路热点异常高温　　b) 35kV干式配变铁芯温度正常

图 K.65 35kV 干式配变铁芯温度热像图

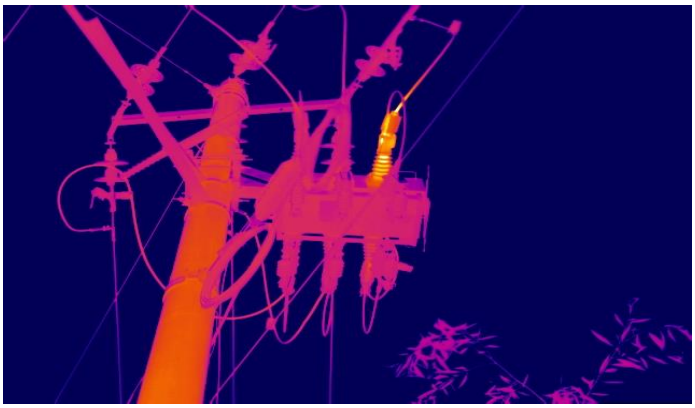


图 K.66　10kV 柱上右边相断路器异常发热

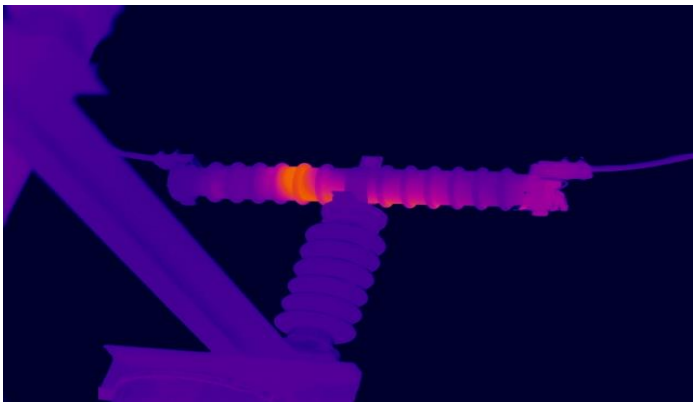
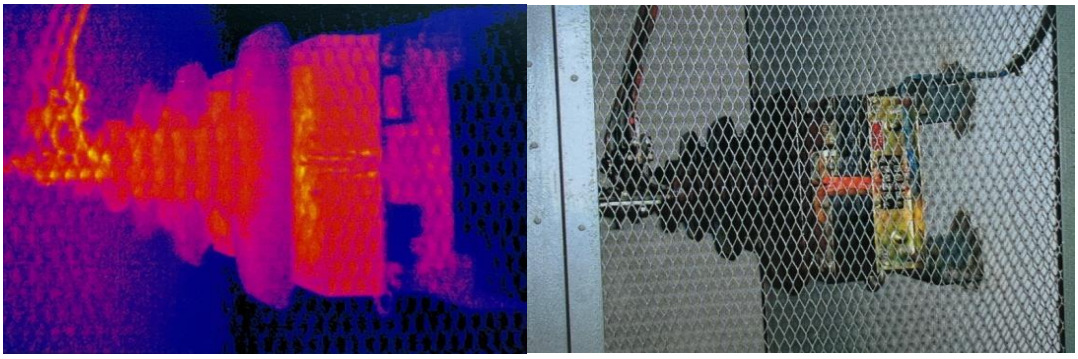


图 K.67　高压熔断器异常发热



图 K.68　35kV SF_6断路器内部触头接触不良



图K.69　35kV电流互感器正常热像（隔网检测）

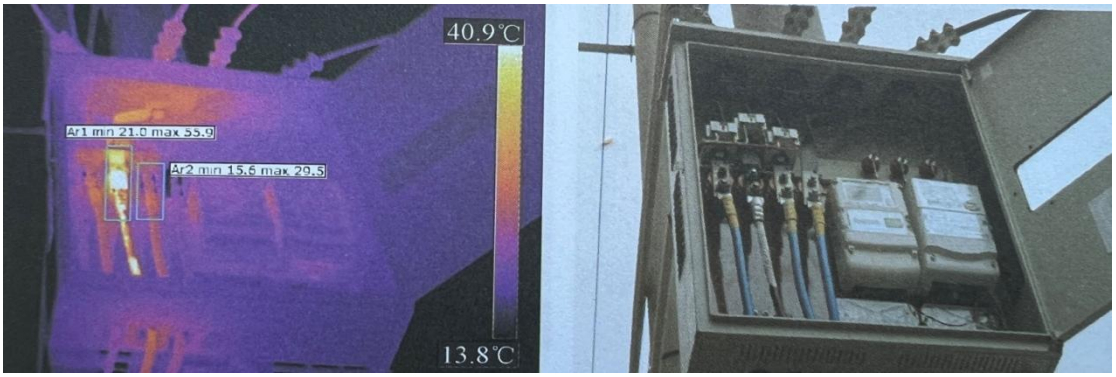


图 K.70　10kV 配电变压器低压侧电量采集箱 B 相引流线夹接触不良热异常

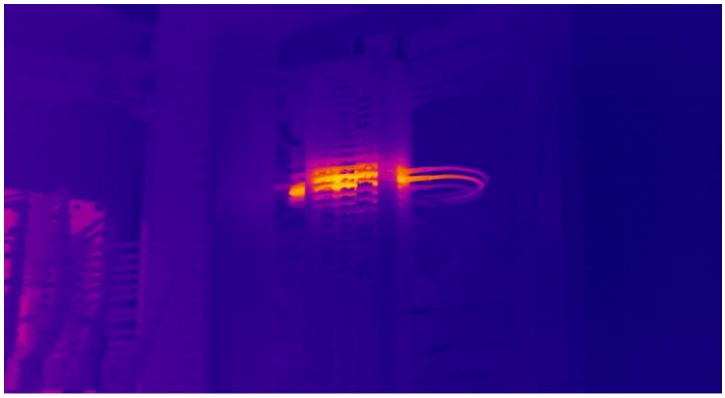


图 K.71　线路保护屏端子排异常热图

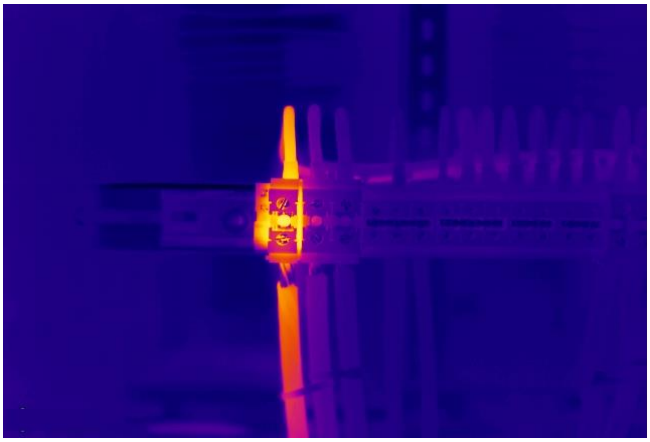


图 K.72　端子箱接线端子异常发热