

变电运维技术培训教材

变电运维一体化技术

(一次设备运维及常用检测技术)

© 漆铭钧 雷红才 主编

 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

变电运维技术培训教材

变电运维一体化技术

(一次设备运维及常用检测技术)

◎ 漆铭钧 雷红才 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书首先介绍了变电设备的常用检测技术,包括红外成像检测、SF₆气体检测与监测,以及噪声检测等,然后分别讲述了变压器、高压断路器、隔离开关、互感器、金属氧化物避雷器、气体绝缘金属封闭开关设备、开关柜、高压并联电容器等设备运维技术,内容包括设备的基础知识、运行巡视内容及要求、带电检测、维护项目及要求、常见异常分析及处理等。

本书可供电力企业从事电网设备运维和检修工作的技术及管理人员使用,也可作为高等院校电气专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

变电运维一体化技术. 一次设备运维及常用检测技术 / 漆铭钧, 雷红才主编. —北京: 中国电力出版社, 2014.10
ISBN 978-7-5123-6564-3

I. ①变… II. ①漆… ②雷… III. ①变电所—一次设备—电力系统运行②变电所—一次设备—检修 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 230054 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>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 10 月第一版 2014 年 10 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 443 千字
印数 0001—2000 册 定价 82.00 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

《变电运维一体化技术》

编 委 会

主 任 戴庆华
副 主 任 张孝军 漆铭钧
编委会成员 李喜桂 周卫华 梁勇超 雷红才

编写人员名单

主 编 漆铭钧 雷红才
副 主 编 李喜桂 彭 斌 毛文奇 黎 刚
编写组成员 张国帆 刘卫东 汪霄飞 叶会生
王中和 段肖力 雷云飞 何智强
帅 勇 王彩福 黄海波 鲁桥林
毕建刚 李 炜 谢 佳 罗志平
万 涛 周 舟 陈昌雷 谢晓骞
李国勇 孙 威 魏力争 阳应伟
彭 斌 林文哲



序

长期以来，我国电力企业变电设备大多采取的是运行人员和检修人员分离作业的管理模式，由运行人员负责设备巡视、倒闸操作等工作，由检修人员负责设备维护、带电检测、缺陷处理、检修试验和技术改造等工作。这种模式，界面比较清晰、职责也很明确，但同时弊端也很明显。当设备出现缺陷或故障时，不管问题大小、复杂程度，一概由运行人员通知检修人员处理，这种做法带来了很多问题：一是流程长、环节多，一个缺陷从发现到消除，往往需要由运行人员将缺陷上报运行主管，再由运行主管通知检修主管，然后由检修主管安排检修人员处理，最后检修人员处理完毕后再通知运行人员进行验收；二是运行人员和检修人员需多次、多人到现场处理缺陷，造成设备维护成本上升、运维效率低下。随着电网规模的日益扩大，企业减人增效压力的加剧，传统运检分离的设备管理模式已难以满足新时期电力企业管理要求。

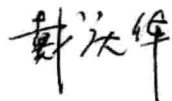
推行变电设备运维一体化，是设备运维管理的“改革”。但凡各项改革，既有内因驱动，更有外因使然。开展变电运维一体化，内因是企业要降低设备运维成本，提高工作效率；外因是提升缺陷处置效率，提高供电可靠性。因此，变电运维一体化的推行，可以说是电力企业内部管理适应外部环境变化的一种必然。

国网湖南省电力公司较早地开展了变电运维一体化工作，尤其是在湖南省检修公司，其成立之初就是以检修为主的单位，具有悠久的历史，检修力量较强。2008年，省检修公司接管第一座500kV变电站运维后，大部分人员是由检修专业转向运维专业，因此也非常顺利地实现了班组的运维一体化。2013年初，国家电网公司系统内宣传介绍了国网湖南省电力公司的运维一体化工作经验后，兄弟单位纷至沓来，我们开门迎客、坦诚相见，通过相互交流和学习，促进了变电运维一体化工作的推进。2013年6月，国网湖南省电力公司再次召开全省变电运维一

体化专题会议，进一步健全运维一体化管理体系，完善工作机制，加快人才培养，地市公司运维一体化推进工作步入“快车道”。

人才是企业发展不竭动力之源。在变电运维一体化的推进过程中，我们始终将人才培养作为首要任务。《变电运维一体化技术》是公司在变电运维培训教案的基础上编写的一套教材。本套教材从筹划、编写到最后成册出版，历时一年多，数十位参编人员牺牲休息时间，不断修改完善，为之付出的辛劳和汗水，让人感动！

要使学员掌握运维一体化项目技能，不能“纸上谈兵”，仅仅依靠教材所讲述的内容还远远不够，必须结合实际设备进行技能实训才能保证培训效果。衷心祝愿广大学员充分利用好此书，娴熟掌握运维技能，实现岗位成才。

Handwritten signature in black ink, reading '戴庆华' (Dai Qinghua).

2014年9月30日于长沙



前言

2011年伊始，国家电网公司开始了全方位的“三集五大”体系建设。而实施变电运维一体化，是“大检修”体系建设的核心内容之一。为此，国家电网公司于2012年发布了《关于推进变电运维一体化的指导意见》，希望通过对运行和检修人员进行的分工调整，用2~3年时间逐步实现变电运维人员负责实施变电设备巡视、倒闸操作、带电检测、维护性检修等业务，以提升变电运维工作效率。2014年，再次修订发布指导意见，对运维一体化项目进行优化，项目数量扩展到100项，并将设备的C类检修（主要内容为停电例行试验、检查、清扫和维护）调出当前运维一体化项目范围，调整到检修专业化的业务范畴。

实施变电运维一体化后，对运维人员的素质要求比对原运行人员的要求更高，责任也更加重大。设备运维工作事关电网安全和稳定，电网的安全稳定又事关经济社会发展和国民生产、生活，来不得半点虚假和疏忽。推行变电运维一体化，必须健全体系，加强引导，提前培训，试点先行，稳步推进，确保安全。一个单位能否顺利实现运维一体化，关键因素还在于人，运维人员一要肯干，二要能干，缺一不可。本书作为变电运维一体化项目的培训教材，力图解决的就是“能干”问题。

编者旨在通过本书，另配以实训老师对变电运维一体化项目实际操作的讲授，使运维人员掌握变电设备运维实操技能。考虑到变电运维一体化项目并非一成不变，允许各单位结合自身特点和基础进行拓展，因此，本书内容并未局限于国家电网公司变电运维一体化指导意见规定的项目。

在本书编写过程中，得到了国家电网公司运维检修部冀肖彤、徐玲玲、张贺军等领导和专家的指导与鼓励，在此表示致谢！

由于编写水平所限，书中难免存在不妥和疏漏之处，希望广大读者批评指正。

编者

2014年9月30日于长沙



目录

序
前言

第一章 红外成像检测	1
第一节 电气设备过热缺陷	1
第二节 现场红外成像检测	8
第三节 设备红外典型图谱	13
第二章 SF₆气体检测与监测	60
第一节 SF ₆ 气体介绍	60
第二节 SF ₆ 设备检漏	61
第三节 SF ₆ 气体湿度检测	66
第四节 SF ₆ 气体纯度检测	69
第五节 SF ₆ 气体分解产物检测	71
第六节 SF ₆ 气体浓度监测报警装置运维	74
第七节 SF ₆ 气体密度表和密度继电器运维要求	76
第三章 噪声检测	80
第一节 设备噪声检测	80
第二节 站界噪声检测	84
第四章 变压器运维技术	89
第一节 变压器基础知识	89
第二节 变压器运行巡视	115
第三节 变压器带电检测	119
第四节 变压器维护项目及要	126
第五节 变压器常见异常分析及处理	134
第五章 高压断路器运维技术	141
第一节 高压断路器基础知识	141
第二节 高压断路器运行巡视	161
第三节 高压断路器带电检测	163

第四节	高压断路器维护项目及要	168
第五节	高压断路器常见异常分析及处理	173
第六章	隔离开关运维技术	178
第一节	隔离开关基础知识	178
第二节	隔离开关运行巡视	186
第三节	隔离开关带电检测	188
第四节	隔离开关常见异常分析及处理	191
第七章	互感器运维技术	193
第一节	互感器基础知识	193
第二节	互感器运行巡视	208
第三节	互感器维护项目及要	210
第四节	互感器常见异常分析及处理	212
第八章	金属氧化物避雷器运维技术	215
第一节	金属氧化物避雷器基础知识	215
第二节	金属氧化物避雷器运行巡视	218
第三节	金属氧化物避雷器带电检测	219
第四节	金属氧化物避雷器维护项目及要	220
第五节	金属氧化物避雷器常见异常分析及处理	221
第九章	气体绝缘金属封闭开关设备运维技术	223
第一节	GIS 基础知识	223
第二节	GIS 运行巡视	231
第三节	GIS 常见异常分析及处理	232
第十章	开关柜运维技术	236
第一节	开关柜基础知识	236
第二节	开关柜运行巡视	248
第三节	带电检测	251
第四节	开关柜常见异常分析及处置	253
第十一章	高压并联电容器运维技术	260
第一节	高压并联电容器基础知识	260
第二节	高压并联电容器运行巡视	273
第三节	高压并联电容器设备维护项目及要	274
第四节	高压并联电容器设备常见异常分析及处理	276

电气设备运行时通常都会发热，正常的发热对设备安全稳定运行基本没有影响，但是如果出现异常发热，就可能导致设备的电气或机械性能劣化，甚至引发设备故障。本章介绍了电气设备的发热机理，过热缺陷分类、原因及危害，过热缺陷的红外成像检测技术及现场检测方法，最后针对不同设备红外典型图谱，讲述了检测要点及检修建议。通过对本章的学习，使运维人员掌握设备红外成像检测的理论和检测技能。

第一节 电气设备过热缺陷

一、设备发热机理

电气设备在工作时，由于电流、电压的作用，会产生电阻损耗发热、电介质损耗发热、铁磁损耗发热、泄漏电流发热。

1. 电阻损耗发热

电力系统导电回路的金属导体都具有相应的电阻，当通过负载电流时，必然有一部分电能按焦耳—楞次定律以热损耗的形式消耗在电阻上，造成设备发热。

2. 电介质损耗发热

电介质材料是电气设备不可少的材料之一。电介质材料的极性分子在交变电场的作用下会被极化和移动，由此产生能量损耗，造成设备发热。

3. 铁磁损耗发热

载流导体周围的铁磁物质在交变磁场反复磁化作用下，由于内部的不可逆过程而使本身产生损耗，包括磁滞损耗、涡流损耗，在交变磁化下造成设备发热。

4. 泄漏电流发热

高压电气设备（如避雷器和绝缘子等）在正常运行状态下，都有一定的电压分布和泄漏电流，泄漏电流流过设备本体电阻，造成设备发热。

二、设备过热缺陷分类

（一）按过热部位分类

设备过热缺陷根据过热的部位可划分为外部过热缺陷和内部过热缺陷两大类。

1. 外部过热缺陷

外部过热缺陷是指裸露在设备外部的部位异常导致的过热缺陷（如长期暴露在大气环境中工作的裸露电气接头缺陷、设备表面污秽以及金属封装的设备箱体涡流过热等）。这类缺陷

因直接暴露在红外监测仪器的视场范围内,红外检测时能很容易地获取直观的相关缺陷信息。其以局部过热的形态向其周围辐射红外线,例如,各种裸露接头、连接件的热故障的红外热像显现出以故障点为中心的热场分布,从设备的红外热像中可直观地判断是否存在热故障,根据温度分布可准确地确定故障的部位。

2. 内部过热缺陷

内部过热缺陷则是指封闭在固体绝缘、油绝缘及设备壳体内部的部位异常导致的过热缺陷。由于这类缺陷部位受到绝缘介质或设备壳体的阻挡,所以通常难以从设备外部直接获取直观的相关缺陷信息。但是,根据各种电气设备的内部结构和运行工况,依据传热学理论,分析传导、对流和辐射三种热交换形式沿不同传热路径的传热(多数情况下只考虑金属导电回路、绝缘油和气体介质等引起的传导和对流),并结合模拟试验、大量现场检测实例的统计分析和解体验证,也能够获得电气设备内部过热缺陷在设备外部显现的温度分布规律或热(像)特征,从而对设备内部缺陷的性质、部位及严重程度做出判断。它的发热过程一般都较长,且为稳定发热。与故障点接触的固体、液体和气体将发生导热、对流和辐射,其中与其相连接的导体是良好的导热体,从而将内部故障所产生的热量不断地传送到外壳,改变了设备外表面的热场分布。因此,从设备外部对其相关部位进行红外热像诊断分析,可以诊断出设备的内部故障。

(二) 按过热机理分类

根据导致设备异常过热缺陷的原因,设备过热缺陷可分为电阻损耗增大缺陷、介质损耗(介损)增大缺陷、铁磁损耗(铁损)增大缺陷、电压分布异常和泄漏电流增大缺陷、缺油及其他缺陷。

1. 电阻损耗增大缺陷

电力系统导电回路中的金属导体都存在相应的电阻,因此,当通过负载电流时,必然有一部分电能按焦耳-楞次定律以热损耗的形式消耗掉。由此产生的发热功率为

$$P=K_f I^2 R \quad (1-1)$$

式中 P ——发热功率(W);

K_f ——附加损耗系数;

I ——通过的负载电流(A);

R ——载流导体的直流电阻值(Ω)。

K_f 表明在交流电路中计及集肤效应和邻近效应时使电阻增大的系数。当导体的直径、导电材料电阻率和磁导率越大,以及通过的电流频率越高时,集肤效应和邻近效应越显著,附加损耗系数 K_f 也就越大。

在理想情况下,假如导电回路中的各种连接件、接头或触头接触电阻低于相连接导体部分的电阻,那么,连接部位的电阻损耗发热不会高于(甚至低于)相邻载流导体的发热。然而,一旦某些连接件、接头或触头连接不良,造成接触电阻增大,则该连接部位与周围导体部位相比,就会产生更多的电阻损耗发热功率和更高的温升,从而造成局部过热。

2. 介质损耗(介损)增大缺陷

除导电回路外,由固体或液体(如变压器油)电介质构成的绝缘结构也是许多高压电气设备的重要组成部分。用作电器内部或载流导体附近电气绝缘的电介质材料,在交变电场作用下引起的能量损耗,通常称为介质损耗,由此产生的损耗发热功率表示为

$$P=U^2 \omega C \cdot \tan \delta \quad (1-2)$$

式中 P ——发热功率 (W);

ω ——交变电压的角频率;

U ——施加的电压 (V);

C ——介质的等值电容 (F);

$\tan\delta$ ——绝缘介质损耗因数或介质损耗角正切值。

由于介质损耗产生的发热功率与所施加的工作电压平方成正比,而与负载电流大小无关,因此,称介质损耗发热为电压效应引起的发热。即使在正常状态下,电气设备内部和导体周围的绝缘介质在交变电场作用下,也会有损耗发热。当绝缘介质的绝缘性能出现缺陷时,会引起绝缘的介质损耗(或绝缘介质损耗因数 $\tan\delta$)增大,从而导致介质损耗功率增加,设备运行温度升高。

3. 铁磁损耗(铁损)增大缺陷

由绕组或磁回路组成的高压电气设备,由于铁芯的磁滞、涡流而产生的电能损耗称为铁磁损耗或铁损。如果由于设备结构设计不合理、运行不正常,或者由于铁芯材质不良,铁芯片间绝缘受损,出现局部或多点短路,可引起回路磁滞或磁饱和,或在铁芯片间短路处产生短路环流,增大铁损并导致局部过热。另外,对于内部带铁芯绕组的高压电气设备(如变压器和电抗器等),如果出现磁回路漏磁,还会在铁制箱体产生涡流发热。由于交变磁场的作用,电器内部或载流导体附近的非磁性导电材料制成的零部件,有时也会产生涡流损耗,因而导致电能损耗增加和运行温度升高。此类发热属于电磁效应引起的发热。

4. 电压分布异常和泄漏电流增大缺陷

有些高压电气设备(如避雷器和输电线路绝缘子等)在正常运行状态下,都有一定的电压分布和泄漏电流,但是,当出现某些缺陷时,其分布电压 U_d 和泄漏电流 I_g 的大小会改变,并导致其表面温度分布异常,其发热功率表示为

$$P=U_d I_g \quad (1-3)$$

5. 缺油及其他缺陷

充油设备由于渗漏或其他原因(如变压器套管未排气)而造成缺油或假油位,严重时可引起油面放电,并导致表面温度分布异常。这种热特征,除放电时引起外,通常主要是由于设备内部油位面上、下介质(如空气和油)热传导特性不同所致。

除了上述各种主要缺陷模式外,高压电气设备还有由于特殊运行方式,如过载、电压变化过大、单相运行等原因引起的缺陷,此外还有由于设备冷却系统设计不合理、堵塞及散热条件差等引起的热缺陷。

三、设备过热缺陷原因

1. 带电设备过热缺陷原因

(1) 设计、施工工艺不当等因素,使导电回路的接头、触头因接触电阻增大、接触不良造成发热。

(2) 长期受环境温度变化、污秽覆盖、有害气体腐蚀的影响,风、雨、雪、雾等自然力的作用,使绝缘介质老化。

(3) 铁芯和可导磁部位因绝缘不良、设计结构不当而造成短路和漏磁,形成局部涡流过热。

(4) 电压致热型设备内部元器件缺陷,引起电压分布异常,内部受潮后介质损耗增大,其相应的发热功率增大。

(5) 设备内部缺油时会产生两种不同的热效应：一种是缺油时造成绝缘强度降低，引起局部放电，导致发热；另一种是缺油的油面处温度低，由于上、下介质不同，它们的热容系数相差很大，产生热场分布存有差异，为红外诊断设备内部的真实油面提供了条件。

2. 电力变压器过热故障原因

电力变压器由铁芯、绕组、油箱、储油柜、呼吸器、防爆管、散热器、分接开关、气体继电器、绝缘套管、控制柜等组成。其过热故障主要有：

(1) 套管的将军帽与外部接线板或内部导电杆连接处接触不良。

(2) 套管内部存在绝缘缺陷，运行中导致温度异常。

(3) 套管缺油，缺油部分的温度比充油部分低，可利用设备温度与运行状况不相符的异常红外热像发现故障。

(4) 电容式套管末屏接地不良，导致套管局部温度异常。

(5) 变压器散热器运行异常（主要是由于运行中没有打开散热器与变压器本体的连接阀门，导致变压器本体的油温度不正常升高，而散热器内的油温度低）。

(6) 主变压器因漏磁在局部形成的过热缺陷。

(7) 绝缘子污秽表面放电。

3. 断路器过热故障原因

断路器主要由导流部分、灭弧部分、绝缘部分、操动机构部分组成。断路器过热故障主要有：

(1) 断路器外部接线端子或线夹与导线压接不良引起的接头过热故障。

(2) 断路器内部触头或连接件接触电阻过大引起的过热故障。

(3) 绝缘子污秽表面放电。

4. 隔离开关过热故障原因

隔离开关主要由底座、支柱绝缘子、动静触头（或左右触头）、导电闸刀、导电罩（转帽）、转轴（或转动球头）等构成。隔离开关过热故障主要有：

(1) 隔离开关刀口的触头部分接触不良。

(2) 导线接线线夹接触不良。

(3) 导电罩连接部位接触不良。

(4) 导电杆（管）压接不良。

(5) 绝缘子污秽表面放电。

5. 电流互感器过热故障原因

电流互感器由一、二次绕组，铁芯和绝缘部件组成。电流互感器过热故障原因主要有：

(1) 电流互感器的一次绕组内部接线端与外部接线板部位紧固螺母接触不良。

(2) 内部受潮或绝缘故障。密封不良引起进水受潮，进而导致介质损耗增大发热。

(3) 缺油。

(4) 绝缘子污秽表面放电。

(5) 电流互感器二次回路接线端子接触不良或开路。

6. 电力电容器过热故障原因

电力电容器由箱壳、内部电容元件、液体介质、绝缘部件构成，附属配件有熔断器、导线等。电力电容器主要类型包括并联电容器、串联电容器、断路器均压电容器。电力电容器过

热故障及原因主要有：

(1) 电容器内部故障。

- 1) 电容器质量不良导致内部击穿。
- 2) 电容器密封不严导致内部受潮。
- 3) 电网谐波导致电容器内部损坏。

(2) 电容器外部引线连接部位故障。

- 1) 连接线夹安装工艺不良，压接不紧。
- 2) 熔断器熔丝不匹配或接头压接不紧。
- 3) 绝缘子污秽表面放电。

7. 输电线路过热故障原因

输电线路由基础、杆塔、导线、地线、绝缘子、金具等元件组成。输电线路过热故障主要有：

- (1) 架空线路的线夹、连接头、压接头压接不紧。
- (2) 导线散股、断股、过载。
- (3) 绝缘子污秽表面放电。

8. 载流设备过热故障原因

载流设备包括电力设备的引线、汇流排、母线、电力电缆、电抗器、熔断器、穿墙套管、阻波器等。载流设备过热缺陷主要原因有：

- (1) 设备与导线的接头和线夹接触不良。
- (2) 绝缘子污秽表面放电。

9. 二次设备过热故障原因

二次设备主要包括微机保护、直流设备、计量装置、测量仪表、蓄电池、端子箱、保护屏、二次接线等，是电力系统安全稳定运行的保证。二次设备运行电压低、电流小，连接线多而复杂，在封闭的保护屏与端子箱内运行，不易进行红外成像检测巡视。二次设备过热故障原因主要有：

- (1) 控制屏、保护屏、计量屏、端子箱等端子排安装工艺质量不良。
- (2) 端子接头长时间运行情况下由于振动而引起松动，接触面氧化锈蚀，接触不良。
- (3) 微机保护的元器件质量及微机保护模块因散热不良引起运行异常。

10. 绝缘子过热故障原因

绝缘子由瓷体（或硅橡胶）及金属固定件等组成。在电力系统中绝缘子用来支持和固定载流导体，并使导体与地绝缘，或使装置中处于不同电位的载流导体之间绝缘。绝缘子过热故障原因主要有：

- (1) 厂家制造质量不良，运输与安装过程中造成损伤。
- (2) 运行中受导线重力、结冰、风力、振动、负重等机械力的影响而损伤。
- (3) 发生短路故障、过电压事故，由于导体之间的电动力作用造成损伤，瓷体、金具、涂胶合受到损伤，致使绝缘下降。
- (4) 绝缘子污秽表面放电。

11. 电压互感器过热故障原因

电压互感器分为电容式与电磁式两种。电压互感器过热故障原因主要有：

(1) 电压互感器内部受潮、绕组及铁芯故障、悬浮电位放电。

(2) 缺油。

(3) 绝缘子污秽表面放电。

(4) 二次回路接线端子或熔断器接触不良。

12. 避雷器过热故障原因

避雷器主要由阀片及外绝缘护套组成。避雷器过热故障原因主要有：

(1) 避雷器密封系统不良使内部受潮，非线性电阻阀片老化等故障。

(2) 绝缘子污秽表面放电。

13. 耦合电容器过热故障原因

耦合电容器主要由内部电容单元元件、内部支持绝缘支架及外绝缘件组成。耦合电容器过热故障主要有：

(1) 内部受潮、介质老化、支架或连接片脱焊放电、浸渍不良局部放电。

(2) 缺油。

(3) 绝缘子污秽表面放电。

(4) 一、二次接线端子接线不良。

四、设备过热缺陷危害

1. 绝缘性能降低

导体和电器绝缘的耐热性是决定其绝缘性能的主要因素。导体的允许电流、电器的额定功率实际上决定于绝缘在运行中所能承受的最高温度。绝缘材料的耐热性可用耐热温度来衡量。(所谓绝缘材料的耐热温度，是该类材料所能承受而不致使其机械特性和电气特性降低的最高温度)

按我国的相关标准，电气绝缘材料按其耐热温度分为七级，其长期工作下的极限温度见表 1-1，材料在该温度下应能工作 20 000h 而不致损坏。对大部分绝缘材料来说，可以用所谓的“八度规则”经验规律来估算其寿命，即温度每上升 8℃，则其寿命降低 1/2。

表 1-1 各级绝缘材料的耐热温度

等级	耐热温度(℃)	相应的材料
Y	90	木材、纸、棉花及其纺织品等
A	105	沥青漆、漆布、漆包线及浸渍过的 Y 级绝缘材料
E	120	玻璃布、油性树脂漆、聚酯薄膜与 A 级绝缘材料的复合、耐热漆包线
B	130	玻璃纤维、石棉、聚酯漆、聚酯薄膜等
F	155	玻璃漆布、云母制品、复合硅有机树脂漆和以玻璃丝布、石棉纤维为基础的层压制品
H	180	复合云母、硅有机漆、复合玻璃
C	>180	石英、玻璃、电缆、补强的云母绝缘材料等

2. 机械强度下降

当温度高达一定的允许值后，金属材料的机械强度将显著下降，这是因为载流导体长期处于高温状态，会使其慢性退火，并丧失机械强度。当机械强度丧失后，会导致其变形或破坏。为了保证导体可靠地工作，需使其发热温度不超过一定限值，这个限值叫作最高允许温

度。按照有关规定，导体的正常最高允许温度，一般不超过 70℃；短路最高允许温度可高于正常最高允许温度，对硬铝可取 200℃，硬铜可取 300℃。

3. 导体接触部分性能变坏

发热使导体接触面氧化并生成氧化薄膜，增加了接触电阻。氧化速度与触头表面温度有关，当发热温度超过某一临界温度时，氧化过程加速，接触部分的弹性元件会被退火，压力降低，接触电阻增加，恶性循环加剧，最后导致连接状态遭到破坏，严重时造成局部过热火灾。

五、带电设备红外检测的重点部位

带电设备红外诊断重点部位见表 1-2。

表 1-2 带电设备红外诊断重点部位

设备名称	重点诊断部位	常见缺陷类型
变压器	储油柜	储油柜缺油或假油位；储油柜内有积水
	高压套管及将军帽接头	介质损耗增大；电容式末屏引线脱落，套管缺油；导电回路连接部位接触不良；绝缘子污秽放电
	中、低压套管及接线夹	导电回路连接部位接触不良；绝缘子污秽放电
	外壳及箱体螺栓	有载（无载）分接开关接触不良；变压器漏磁通产生的涡流损耗引起箱体或部分连接螺栓发热
	过载、冷却装置及油路系统	本体温度高，潜油泵过热；管道堵塞或阀门未开
高压断路器	外部接线夹及瓷套	外部连接部位接触不良；绝缘子污秽放电
	内部触头部分	动静触头及静触头座接触不良
电磁式电压互感器	本体	内部受潮，介质损耗异常；缺油；绝缘子污秽放电
电容式电压互感器	分压电容器	整体或局部有明显发热，上中部出现明显的温度梯度；内部缺油
	中间变压器	内部受潮，介质损耗异常；缺油
电流互感器	本体	缺油；外壳整体与局部发热
	顶部接线端	外部、内部连接部位接触不良，表现在出线端或顶部温度异常
避雷器	本体	内部受潮；裂纹；绝缘子污秽放电
电力电容器	本体	缺油；绝缘子污秽放电
	连接端子	端子连接松动
耦合电容器	本体	内部受潮介质损耗异常；缺油；绝缘子污秽放电
隔离开关	动静触头、接线夹、转动端头	合闸位置不当；导电组件装配不当；压接质量差；绝缘子污秽放电
母线、导线	连接头、压接头	连接部位接触不良；绝缘子污秽放电
穿墙套管	连接头、套管支撑板	连接螺栓松动发热，大电流运行穿墙套管的支撑铁板引起涡流损耗发热；绝缘子污秽放电
绝缘子	瓷绝缘子	低值绝缘子；零值绝缘子；污秽放电
GIS 组合电器	穿墙套管处	涡流发热，连接部位接触不良；绝缘子污秽放电
	隔离开关（伸缩节处）	局部有明显发热
	桶体器身	局部发热
电缆	出线接头	接触不良
	电缆头	局部、整体绝缘不良
	电缆头出线套管	绝缘不良
	电缆整体	过载，整体发热

续表

设备名称	重点诊断部位	常见缺陷类型
微机保护及二次回路	端子排、背板插件、保护连接片（模块）	接线端子、背板插件接触不良，保护连接片、保护模块运行异常发热
直流回路蓄电池	直流母线接线端	连接点接触不良
	蓄电池内部及外部接线端、熔断器	缺电解液；内部、外部接线端连接不良
电抗器	导线连接接头	接触不良
	绕组	内部损耗发热
	固定支架	漏磁损耗发热
输电线路	导线线夹	连接部位接触不良
	绝缘子	低值绝缘子，零值绝缘子，污秽放电
支柱及悬式绝缘子	本体	绝缘子裂纹，污秽放电
阻波器	出线接头	接触不良
	避雷器	受潮发热

第二节 现场红外成像检测

一、红外成像仪介绍

红外线是一种电磁波，具有与无线电波和可见光一样的本质。温度高于绝对零度的物体都会发出红外线，且其辐射能量与物体自身温度的四次方成正比，辐射出的波长与其温度成反比。因此，可以通过对物体辐射能大小的测量，实现对物体表面温度的检测。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为红外热成像技术。这种电子装置就是红外成像仪。它由红外探测器、光学成像物镜和光机扫描系统（目前先进的焦平面技术则省去了光机扫描系统）等部分组成。红外成像检测得到的热像图与被测目标表面的热分布场相对应；实质上是被测目标各部分红外辐射的热像分布图。

红外成像仪在军事和民用方面都有广泛的应用。多年的实际应用表明，它是电力设备最有效的带电检测手段之一。

二、现场检测分类

1. 一般检测

仪器在开机后需进行内部温度校准，待图像稳定后即可开始工作。

一般先对所有被测设备进行远距离扫描，发现有异常后，再有针对性地对异常部位和重点被测设备进行近距离准确检测。

仪器的色标温度量程宜设置在环境温度加 10~20K 左右的温升范围。

有伪彩色显示功能的仪器，宜选择彩色显示方式，调节图像使其具有清晰的温度层次显示，并结合数值测温手段，如热点跟踪、区域温度跟踪等进行检测。

应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。

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，校准方法按仪器的说明书进行。

作为一般检测，被测设备的辐射率一般取 0.9 左右。