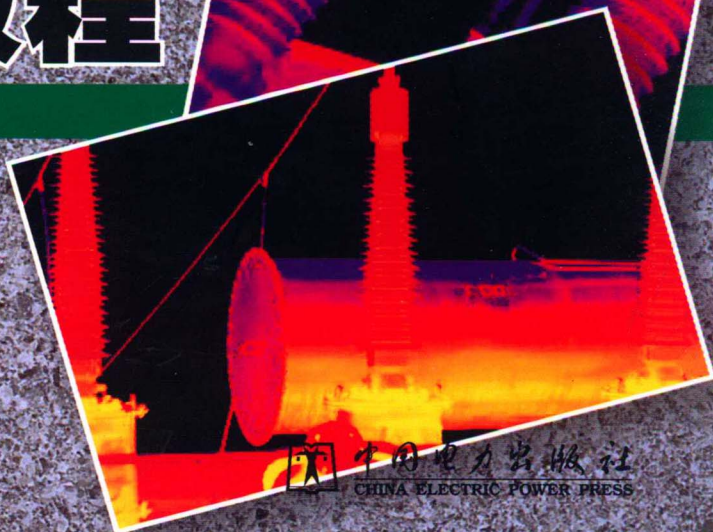


电气设备 红外诊断 实用教程

罗军川 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电气设备 红外诊断 实用教程

罗军川 编

张星海 黄立 审稿



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

随着红外诊断技术在电力系统中的广泛应用,红外诊断技术已成为电气设备状态监测和绝缘技术监督不可或缺的重要技术手段。本书共分六章,第一章~第三章主要介绍红外基本知识、红外测温成像基础理论,阐释了红外检测仪器的主要技术参数及选型配置原则,从而勾画出红外诊断学科的基本轮廓;第四章基于 DL/T 664 基本要求,构建并解读了红外检测专业标准化体系,对现场检测和诊断分析提出了规范性要求;第五章分析探讨了影响红外检测结果的主要因素及解决方案,深入浅出,理论与实践相得益彰;第六章简述了电气设备的结构特征和致热特性,有助于对故障性质和故障位置的准确判断,有助于提高故障检修的针对性和实效性。

本书既可作为红外检测人员的岗前培训教材,也可作为电气设备故障红外诊断及故障检修人员的参考工具书,同时可供电气设备状态管理人员、高等院校师生和红外技术爱好者研习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备红外诊断实用教程/罗军川编. —北京:中国电力出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-5123-3732-9

I. ①电… II. ①罗… III. ①红外技术—应用—电气设备—故障诊断—教材 IV. ①TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 270584 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

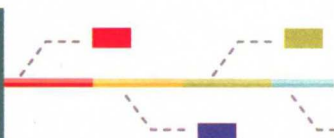
2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷
710 毫米×980 毫米 16 开本 12.25 印张 215 千字
印数 0001—3000 册 定价 60.00 元

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

序



红外诊断技术自 20 世纪 80 年代初期,在我国第一条 500kV 输变电工程——平武输变电工程首次运用以来,对保证电网安全稳定运行发挥了独特的重要作用。特别是近年来,伴随现代红外技术不断成熟和日臻完善,极大地推动了电气设备故障红外诊断技术的普及性应用。

当前,国家电网公司系统正在大力推进电气设备状态检修工作,由于开展状态检修主要依赖于对运行中设备的状态检测以及在线监测技术手段,因此,设备检测是实施状态检修的前提。在诸如绝缘在线监测、局部放电监测、红外诊断技术等带电设备的诊断应用技术中,红外诊断技术以非接触、远距离、不停电为显著特征,使用简单灵活、安全性好、劳动强度低、投入产出比高,且易于发现传统检测方法难以发现的设备缺陷(譬如散热器油路堵塞、漏磁涡流故障等),因此在各国产业界备受推崇。它是利用带电设备的致热效应,采用红外检测仪器获取从设备表面发出的红外辐射信息,进而判断设备状况和缺陷性质的一门综合技术,其技术成熟有效,并具有系统完善的分析判断方法,因此,在国家电网公司《输变电设备状态检修试验规程》中被确定为例行试验项目。

实践表明,红外诊断技术是电气设备状态监测和绝缘技术监督不可或缺的重要手段,但这种重要作用与目前红外检测人员的专业知识水平和检测技能不高的现状不相适应,其根本原因在于对红外辐射基本知识知之甚少,红外专业基础薄弱,现场检测经验不足,电气与红外分析脱节,缺陷综合分析判断能力较差,致使红外诊断技术在电力安全生产中的重要作用不能充分显现;此外,目前红外检测仪器本身的水平尚不能完全适应电力安全生产和状态检修的需要,各单位检测仪器配置的数量或档次都难

以满足电气设备红外检测诊断的深化应用要求，影响电气设备故障红外检测诊断工作的持续、规范和有效开展。值得欣慰的是，这些问题在本书中都给予了系统的解决方案。

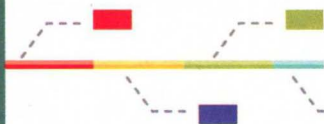
本书最大特点在于：突出知识的系统性，强化应用的规范性；案例生动，内容丰实，深入浅出，适合不同层次、不同要求读者的需要。本书最大创新点在于：为适应国家电网公司标准化建设需要，尝试性构建了红外检测标准化体系，是对技术监督工作标准的补充和完善；以设备状态为中心，集电气结构图、红外图和可见光图三位一体，采用电气与红外有机融合，分析判断准确可靠；补充了新的热缺陷类型谱图，丰富了红外图谱库；运用检测实例阐释诊断要求及诊断分析方法，图文并茂，更易于理解掌握；红外仪器技术特点阐述浅显易懂，提供了选型配置实用建议；理论与实践紧密结合，有利于正确理解与应用提高检测精度的现场解决方案。

希望以 DL/T 664《带电设备红外诊断应用规范》修订实施和本书的出版发行为契机，全面提高各级领导和广大专业技术人员对电气设备红外检测诊断工作的重要性认识，积极促进红外诊断工作规范化及深化应用，初步构建红外专业标准化体系，进而提升红外检测诊断工作的技术和管理水平，着力打造一支训练有素的电力红外检测专业队伍，促进电气设备红外诊断工作持续、规范和卓有成效，为进一步开展电气设备状态检修夯实基础，切实保障电网及设备的安全稳定和经济运行。

四川省电力公司副总经理

王平

前言



随着电气设备状态维修模式的纵深推进，开展探索并积极推广应用成熟有效的状态监测新技术、新方法对提高状态检修工作成效至关重要。在诸多快速发展的在线（带电）监测技术中，尤以安全、快速、直观、准确、实时，且设备不停电、不取样、不解体为特点的红外成像技术以其突出的特点而备受青睐。它不仅能有效诊断电气设备所有外部发热故障和大多数内部过热故障，而且还能发现常规例行试验无能为力的设备缺油、漏磁发热、散热器管路堵塞等一系列特殊性故障。随着红外诊断技术在电力系统的应用越来越广泛，红外检测仪器配置的数量和质量也在逐年提高，红外诊断技术已成为设备状态监测不可或缺的重要技术手段，但是目前有的红外检测人员的专业知识水平和检测技能与现实要求不相适应，主要表现为对红外辐射基本知识知之甚少，现场检测经验积累不足，缺陷综合分析判断能力较差，设备缺陷的漏判和误判情况屡有发生。其根本原因在于红外检测分析人员不熟悉被测设备的结构原理和故障致热特征，不能正确理解及应用红外技术规范、标准，未建立健全有关技术管理规范，红外专业技术管理粗放，致使红外诊断技术在电力安全生产中的重要作用不能充分显现。编写此书，旨在帮助现场红外检测工作者及有关专业技术管理人员了解红外诊断基本原理，正确理解红外检测仪器的技术性能参数，精确解读红外诊断应用规范，逐步提升现场检测和诊断分析水平，尝试构建红外专业标准化操作体系，进而推进电气设备红外诊断和状态维修工作的持续、有效开展，保障设备的安全可靠运行。

本书从电气设备故障的致热特性和状态检修需要出发，论述了红外技术应用于电气设备故障诊断的重要意义；从红外辐射的基本规律引出红外诊断的基本原理，分析了电气设备红外检测基本仪器的成像原理，对红外检测仪器的技

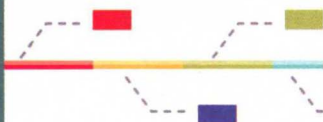
术性能参数进行了解析，并提出选型配置建议；为适应国家电网公司标准化建设需要，促进红外检测工作标准化、规范化和常态化，构建了全过程红外检测标准化体系；运用诊断实例系统诠释了电气设备热缺陷分析判定方法，对影响电气设备红外诊断结果的各种可能因素进行了分析探讨，并提出了有针对性的现场解决方案；以近年在现场采集的典型红外图像为基础，结合电气设备结构原理，对红外诊断电力系统发、输、变、配电设备过热故障的主要类型及相应热像特征进行了全面分析介绍，从而促进电气设备红外诊断技术的规范化应用、有效提高故障识别能力和丰富红外图谱内涵。本书收录的红外图谱特征大多为近年在现场检测到的红外图像，有些为最新发现的热故障谱图，极大丰富了红外图谱库内涵，对于快速、直观、准确识别过热故障，尤其对于分析判断内部热缺陷有重要参考价值。

本书精选的每一幅红外典型图例都凝结了近年来现场红外检测人员和各级技术管理人员大量的心血和智慧。四川省电力公司泸州电业局高级工程师高剑，四川电力科学研究院高级工程师朱天宇、濮俊嵩，彼岸科仪有限公司陈曦，武汉高德红外股份公司方志等同志为本书编写提供了翔实的图像资料，在此一并致谢。全书由四川省电力公司张星海高工及全国红外技术专家黄立共同审稿，并承蒙四川省电力公司广元电业局各级领导和同志们的鼎力支持与帮助，促成本书顺利出版，在此表达诚挚的感谢和崇高的敬意！

由于作者水平所限，加之时间仓促，书中存在的不足及疏漏之处，恳请指正。

编 者

目 录



序 前言

第一章	概论	1
第一节	红外技术在电气设备故障诊断中的应用	1
第二节	电气设备红外诊断的适用范围	7
第三节	红外热像仪的发展及应用	10
第二章	电气设备红外诊断理论基础	13
第一节	电气设备主要故障模式	13
第二节	故障发热对电气设备的危害性	16
第三节	温度测量方法	19
第四节	红外基础知识	21
第五节	红外辐射基本规律	24
第三章	红外仪器工作原理及性能参数	30
第一节	红外探测器	30
第二节	电气设备红外检测基本仪器	39
第三节	红外热像仪性能参数及其意义	51
第四节	红外热像仪选型配置	56
第五节	红外成像的图像处理	62
第四章	电气设备红外诊断的规范化应用	65
第一节	电气设备红外检测标准化体系	65
第二节	电气设备热缺陷分析判定方法及处置策略	80

第五章	红外检测准确性的影响因素及对策	90
第一节	红外检测准确性的影响因素	90
第二节	提高现场检测准确性的对策	91
第三节	红外诊断的软件补偿量测模式	99
第六章	电气设备故障典型图谱特征	101
第一节	红外技术诊断电气设备的故障类型	101
第二节	电气设备故障典型图谱特征	104
附录 A	常用材料发射率的参考值	155
附录 B	便携式红外热像仪的基本要求	156
附录 C	手持式红外热像仪的基本要求	159
附录 D	在线型红外热像仪的基本要求	161
附录 E	FLIR 不同档次便携式红外热像仪主要技术性能参数	163
附录 F	红外热像仪的校验项目、校验周期和校验方法	165
附录 G	油浸式电力变压器和电抗器巡检项目和例行试验项目	166
附录 H	风级、风速的关系表	168
附录 I	电气设备现场检测记录	169
附录 J	电气设备红外检测报告	170
附录 K	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	172
附录 L	电流致热型设备缺陷诊断判据	175
附录 M	电压致热型设备缺陷诊断判据	177
附录 N	红外诊断分析判断方法比较	179
附录 O	发电机定子绕组红外诊断及判据	180
附录 P	变压器高压套管将军帽发热缺陷诊断分析方法	182
参考文献		187

第一章

概 论

本章阐述了电气设备故障红外诊断的基本原理，论述了红外诊断技术在电力安全生产和状态检修中的重要作用，指出其适用范围，并概述了红外仪器的发展及应用情况。

第一节 红外技术在电气设备故障诊断中的应用

一、电气设备故障红外诊断的基本原理

自然界中一切温度高于绝对零度的物体，总是在不断地发射红外辐射，同时，这种红外辐射都载有物体的特征信息，这就为利用红外技术判别各种被测目标温度高低与热分布场提供了客观基础。收集并探测这些辐射能，就可以形成与物体温度分布相对应的热图像。热图像再现了物体各部分温度和辐射发射率的差异，能够显示出物体的特征。

电气设备的故障形式多种多样，但从这些故障的红外诊断角度而言，大体上可分为外部故障和内部故障两大类。外部故障是指裸露在设备外部各部位发生的故障，如长期暴露在大气环境中工作的裸露电气接头故障、设备表面污秽以及金属封装的设备箱体涡流过热等。这类故障因能直接暴露在红外检测仪的视场范围内，红外检测时可很容易获得直观的有关故障信息。而内部故障则是指封闭在固体绝缘、油绝缘及设备壳体内部的各种故障。由于故障点密封在绝缘材料或设备外壳中，而红外线的穿透能力较弱，红外辐射基本不能穿透电气绝缘材料和设备外壳，所以通常难以像外部故障那样从设备外部直接获得直观的有关故障信息。但是，内部热故障发热时间一般都较长，而且比较稳定，故障点的热量可通过热传导和对流置换，与故障点周围的导体或绝缘材料发生热传递，引起这些部位的温度升高，尤其是与之有电气连接的导体是传热的良导

体,会引起显著的温升效应,因此可通过对设备的红外检测,获得电气设备内部故障在设备外部显现的温度分布规律或热像特征,对设备内部故障的性质、部位及严重程度作出判断。

运行良好的电气设备按其基本结构特点,一般都伴随着正常的温升及热分布。然而,具有某种缺陷的电气设备在运行中将出现异常的温升及热分布;反之,若某台设备在运行中出现异常的温升及热分布,则可以判定该台设备必然存在某种缺陷,因此根据设备温升及热分布情况可判断设备有无缺陷。利用红外成像仪对运行设备进行红外成像测温,将物体发出的红外辐射转变为可见的热分布图像,从而获得设备的温度及热分布,即设备热像图。热图像与物体表面的热分布场相对应,其上面的不同颜色代表被测物体的不同温度,通过直接观察记录这种红外热图的变异,由此分析判定设备可能存在的各种故障缺陷。

二、红外诊断技术的主要特点

(1) 便捷性。红外测温技术可在一定距离内实时、定量、带电检测发热点的温度,通过扫描,还可以绘出设备在运行中的温度梯度热像图,直观形象,而且灵敏度高,不受电磁场干扰,便于现场使用。红外热像仪坚实、轻巧、易携带,便于进行日常巡检工作。

(2) 安全性。红外测温技术具有远距离、不停电、不接触、不解体等特点,给运行设备在线监测提供了一种有效手段。它能够在仪器允许的范围内安全地读取难以接近的或不可到达的目标温度,还可在测温较为困难的区域进行精确测量。红外检测不需要辅助信号源和装置,从而不会对运行中的设备造成其他损害和负面影响,属于无损检测。

(3) 精确性。红外热像仪可以将探测到的数据精确量化,且精度通常都在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内。它可以在 $-20\sim+2000^{\circ}\text{C}$ 宽量程内以 0.05°C 的高分辨率检测电气设备的致热故障,揭示出如导线接头或线夹发热,以及电气设备局部过热等。红外测温技术除了拍摄红外图像外,还同时捕获一幅数字照片,两者的融合有助于识别和定位故障,从而能够为第一时间准确修复故障提供可靠的数据资料和依据。

(4) 使用面广,效益高。红外诊断技术适用于发电厂、变电站和输配电等所有高压电气设备的各种故障检测,而且可实现大面积快速扫描成像,状态显示快速、灵敏、直观,劳动强度低,检测效率高。

(5) 易于计算机分析,促进智能化发展。红外测温设备配备了功能强大的软件,用于存储和分析热图像并生成专业报告。通过相关软件,可以对热图像中的发射率、反射温度补偿以及调色板等关键参数进行调节,从而进一步提高检测的准确性。

(6) 利于生产管理方式创新。红外检测与故障诊断有助于实现电力设备的状态管理和状态检修体制的过渡,通过对管辖的设备运行状态实施温度管理,根据每台设备的状态演变情况进行有针对性的维修,并通过红外诊断评价设备维修质量。

三、电气设备故障红外诊断应用

1. 电气设备故障产生与演变特点

除了少数突发性事件(如地震破坏、雷击或外部短路等情况,电网出现大幅度过电压或过负荷)引起的突发性事故外,对于绝大多数电气设备而言,各种故障模式都是逐步发生和发展的,并且经过一段时间的恶性循环过程之后才会酿成具有重大损失的事故。因此,首先应该清楚主要故障模式产生与发展的特点,才能科学制定设备维修策略。

(1) 随机性。所谓设备故障的随机性,是指设备发生故障以及故障的分布和影响因素往往是随机的。

(2) 阶段性。所谓故障的阶段性是指除突发、间歇和漂移等故障外,绝大多数故障的发展演变过程,在时间上都是可以分为三个阶段,即设备零件功能(或性能)劣化的潜伏期、发展期和损坏期。

在潜伏期,多数劣化因子对零部件材料的作用是很微弱的,有些甚至是微观变化过程,因此通常的检测手段很难察觉出来。而且,在潜伏期内,微观缺陷的发展演变往往十分缓慢,因而可能被设备的其他故障或换修所掩盖。当劣化因子足够强大,而且微观缺陷积累到一定程度时,逐渐加速微观破坏而进入发展期。

发展期的特点是损伤有明显的发展速度,而且在宏观上显露出缺陷的形貌特征,因此,在这个阶段可以用适当的手段检测到故障的存在,只是故障的严重性尚未达到危急程度而已。这个阶段的时间函数规律可用相应的数学模型进行描述,并可用作寿命预测的依据。

损坏期的特点是劣化因子强度达到劣化零部件所能承受的极限,故障恶化到使零部件面临失效的阶段。损坏期的特征信息就是事故临危报警的依据。损坏期历程长短不等,该阶段历程越短的故障危险性越大,因此,对这类故障进行在线监测的必要性与紧急处理的难度也越大。

(3) 隐蔽性。故障发展在时间上的阶段性,必然在空间尺度上表现为从微观到宏观,从局部到整体,从隐蔽到显露的发展过程。也就是说,故障在潜伏阶段和发展的初期往往是隐蔽地进行着,只有到了事故发生后才被发现,但又往往忽略其微观机理。

故障发生在时间和空间上的隐蔽性给故障分析带来很大困难，因此，人们提出了故障寻因的阶段性和故障定位的层次性问题。

(4) 多发性。设备故障的多发性是指故障的继发与并发的组合，也就是说，前述故障演变的三个阶段是指单一故障，但对于实际中设备（尤其是组件和整机），某一种故障发展到一定程度后可能引发另一个（或几个）故障的发生，被引发的故障还可能引起其他故障，形成故障因果链。

由此可见，电气设备出现故障后，若不及时诊断和排除，则这些故障将逐渐演变发展，最终恶化而形成事故或设备损坏甚至报废。不言而喻，设备缺陷发现越早，其维护检修成本越低，对系统运行造成的影响也越小。从各类故障发展演变过程来看，单纯依靠传统的试验维护方法和技术手段对设备故障的及时准确捕捉存在较大的局限性。为此，应积极运用成熟有效的在线监测或带电检测等新技术新方法，以此提高设备故障的诊断分析水平，及早发现和消除设备事故隐患。

2. 电气设备故障的红外诊断

有关统计资料表明，电气设备故障，其 25% 是由于连接松动引起的。因为大量的电气接头和连接件由于磨损、腐蚀、污秽、氧化、材质不良、工艺设计缺陷等方面的问题都可造成过热。根据电气设备故障产生与演变的特点，电气设备很少事先没有征兆就发生故障，一般来说，电力系统故障设备往往都伴随着表面温升及热像特征的变异，不同于其他相同情况下同类设备的温升及分布特征，因此，在不接触运行设备，进行不停电、不停机的前提下，基于对设备测温成像的红外技术恰好满足了电力系统故障诊断的要求。

设备运行中，红外检测往往可找到一些看似无关大局的小问题，允许在正常停机检修过程中分别给予解决，当我们逐个解决了这些小问题后，也就避免了大多数严重问题的发生，改善了电气设备的运行状况。为了保障电网安全可靠运行，所有的电气设备每年都得投入一定量的运行维护成本，用于维修或更换那些由于过热故障损坏的设备。如将同样的资金投入或通常是少得多的投入，用在更合理的红外检测方面，就可以预防这样的过热故障，且同时提高了系统的安全性、可靠性和用户的满意度，降低了设备全寿命周期管理运维成本。

红外诊断技术对运行中的老旧设备、刚投运的新设备以及大修后的设备都一样行之有效。对运行中的老旧设备，它可以找出其失效部件，最大限度地减少它对整个系统造成的损害，设备的寿命得以延长，灾难性故障可以避免，同时可以确定检修的具体部位，避免了整个系统的关闭；对刚投运的新设备，虽然并不一定能找出任何严重的问题，但可为运行人员提供有价值的原始数据资

料；对那些已完成修理的设备，它的检测可以确信它们工作的正常有效，从而进一步增加设备的工作效率。可以说，红外检测提供了一个预防潜在电气故障有效而安全的方法。

红外检测技术在线监测和诊断电气设备的绝大多数故障，而且还能发现其他常规检测手段无能为力的一些设备缺陷，例如设备缺油、漏磁致热、散热管油路堵塞，以及大量超高压输电线路接头的普查等，所以特别适合电气设备的故障诊断，以其独特优势备受国内外电力行业的青睐。比利时电力公司定期由红外检测服务部门对变电站检测，效果明显，其设备故障率从 1971 年的 2.35% 下降到 1977 年的 0.24%，如图 1-1 所示。

法国始于 1976 年应用热像诊断技术，认为它是一个有效的故障诊断武器，并成立了一个专门机构以保证工业生产的安全与经济，其主要检测手段是红外测温；巴西在 1979 年已有 25 台热像仪用于变电设备的检测。

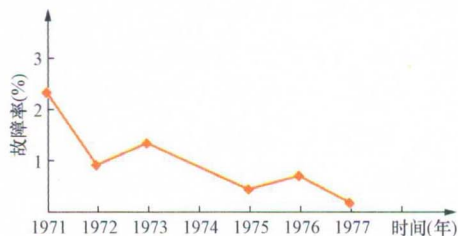


图 1-1 比利时电力公司设备故障率下降曲线

四、红外诊断技术与状态检修

设备检修方式一般可分为故障后检修和预防性检修两类。预防性检修中又可严格地区分为以时间为基础的预防检修和以状态为基础的预防检修两种方式。对于以状态为基础的检修方式，又称为“预知检修”或“状态检修”。在欧洲，它被称为“状态基础的检修”（Condition Based Maintenance, CBM），在美国它被称为“预知检修”（Predictive Maintenance, PRM），从而可看出预知检修不仅具有“预知”机能，而且还包括“按设备状态检修”的含义。

人们以往说的预防检修，实质上是以时间为基础的计划检修，这是在 20 世纪 50~80 年代盛行的检修方式。这种检修方式存在很多问题，往往是进行了预防检修的设备，还会发生不同程度的故障，或在某一时间出现故障率上升的现象，而且过剩检修的情况较多，尤其是定期的预防检修，对提高生产率有影响。随着电网建设的步伐加快，电网科技含量的提升，新技术、新装置的大规模应用，以及企业自身发展要求和社会供电服务承诺工作的推进，对安全生产，提高供电可靠性和优质服务提出了更高的要求，改变原有周期检修的固定模式，寻求设备检修新思路成为一种必然。状态检修不是简单的延长设备的检修周期，也可能是缩短检修周期。状态检修是在保证设备安全的基础上，通过状态评价结果直

接为制订检修计划提供明确的依据,改变以往不顾设备状态、“一刀切”地定期安排试验和检修,纠正状态检修概念混乱,盲目延长试验周期的不当做法。而红外测温技术作为一种先进的检测手段,能在运行中有效的监测和诊断电力设备的过热缺陷,对电气设备的早期故障缺陷及绝缘性能做出可靠的预测,为设备的状态评价提供有效依据,是实现设备状态检修的有效手段之一。

对运行中的高压电气设备来说,由于红外诊断技术能在不停电状态下,通过运行设备的热分布以扫描成像的方式进行远距离实时在线诊断,这比传统的停电预防性试验更能有效地检测出与运行电压、负荷电流有关的设备缺陷。电力系统中大多数运行的电气设备往往会由于故障导致设备运行温度的异常变化,因此检测电力设备温度或热场分布可为设备故障诊断提供依据。而红外测温故障诊断技术为测量这种温度异常提供了一种方便直观的检测方法,进而在电力行业得到了广泛应用。

在我国,状态检修的探索与实践,始于 90 年代,由于当时可靠有效的监测技术手段较少,设备状态的评价局限于经验和定性推断,因此还不算是完全意义上的状态检修模式。2008 年以来,国家电网公司制定了一系列有关状态检修管理和技术的标准化体系。按照状态检修工作要求,充分利用成熟先进的设备带电检测手段,对设备运行状态进行检(监)测,及时收集掌握设备的状态信息,开展设备动态评价,根据设备状态评价结果制定有针对性的检修策略,使状态检修体制具有科学性、系统性和规范性。由此可见,实施状态检修的前提是采用必要的监测手段,对设备开展全方位技术诊断,全面、准确、及时收集设备运行状态信息,而红外诊断技术可达到经济和有效地诊断电气设备过热性故障,为开展设备状态评估和科学制定检修策略提供重要保证。

河北某电业局,为转变单纯以时间为基础的设备维修制度成为以状态监测为基础的设备维修制度,将红外检测规定为电力设备检修前必做的一项准

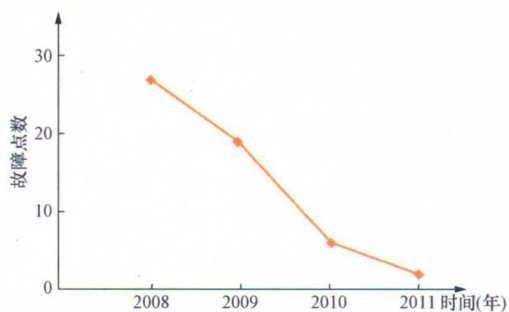


图 1-2 红外诊断消缺实效

备工作。自 2003 年起,红外诊断出的缺陷数量从 2003 年度的 566 处下降到 2006 年度的 378 处,4 年中缺陷数量减少 1/3。四川某 500kV 变电站应用热像诊断指导检修,取得显著实效,从 2008~2011 年度发现的热缺陷数量呈逐年递减趋势,如图 1-2 所示。

早在 1990 年国际大电网会议 (CIGRE) 上, 电气设备运行状态的红外诊断就得到了高度的重视和肯定, 并明确指出检修对电力设备的安全有效运行有着重要的作用, 而状态监测和诊断试验是开展状态检修工作的重要措施。近年来我国电气设备的检修管理模式正向状态检修转变, 依据每个设备的工作状况进行定期的监测, 根据其劣化和损害程度来进行检修, 实现了这种预知检修, 设备才会获得更高的运行可靠性, 并能降低企业检修成本。对运行中的高压电气设备来说, 由于红外诊断技术能在不停电状态下, 通过运行设备的热分布以扫描成像的方式进行远距离实时在线诊断, 这比传统的停电预防性试验更能有效地检测出与运行电压、负荷电流有关的设备缺陷。红外监测技术是对绝缘监督手段的补充和完善, 而红外诊断技术能否完全取代传统的停电预防性试验, 主要在于能否解决内部热故障的诊断。

1999 年, DL/T 664《带电设备红外诊断技术应用导则》(2008 年修订为《带电设备红外诊断应用规范》) 颁布实施, 2008 年国家电网公司企业标准 Q/GDW 168《输变电设备状态检修试验规程》正式将红外检测项目列为运行设备例行试验的重要内容之一, 并要求将红外热缺陷录入 SG186 生产管理系统设备状态评价信息库, 结合辅助决策系统对设备进行状态评价, 标志着红外检测工作已步入规范化、常态化和信息化的轨道, 对电力系统的安全运行和电气设备检修制度的变革将起到较大的推动作用。

第二节 电气设备红外诊断的适用范围

电气设备在运行状态下, 都会存在正常的发热现象, 并具有相应的热场分布规律, 当出现故障或缺陷时, 由于电流、电压效应或传热途径发生变化, 必然伴随有异常的温升及热场分布, 只要红外检测仪能够探测到设备异常的温升及热场分布, 设备运行中存在的任何过热故障就能被发现。从这个意义上来说, 红外方法原则上可以覆盖所有电气设备各种故障的诊断。但是, 由于实际运用中的电气设备结构特点和运行环境复杂多样, 某些大型复杂的电气设备, 以及某些内部故障发热难以在设备表面产生明显的热场特征, 红外方法就显得无能为力。这时, 必须创造适合的检测条件, 并结合其他常规试验方法诊断分析。

一、红外诊断的适用范围

1. 导流回路连接不良故障

高压电气设备电流回路因连接不良, 接触电阻增大而出现过热, 故障的发热功率与回路中负荷电流的平方成正比, 并通过特定的传热途径在设备表面相

关部位形成局部特征性热场分布或红外热像。当改变负荷电流时,其发热功率和表面红外热像也随之改变,所以通过扫描记录设备表面的红外热像,不仅可以分辨设备导流回路有无连接不良故障,而且还可以判定连接故障的具体位置。且根据设备表面温升值大小,运用红外相关分析判定方法,可定量判定导流回路连接不良缺陷性质。

导流回路连接不良故障包括设备外连接故障和内连接故障两种类型。外连接故障主要指外界可以直接观测到的、长期暴露在大气中的各种裸露电气接头因接触不良等原因引起的过热故障。红外方法诊断这类故障常见于电器设备和输配电线路各种连接线夹、接头,隔离开关刀口、球头转动结合部位等;内连接故障指故障点密封在设备绝缘材料或金属外壳中,外界不能直接观测到的设备部位所发生的连接不良故障。这类故障常见于发电机定子绕组线棒接头焊接不良,变压器套管内部引线连接不良,高压断路器内部动静触头、静触头基座及中间触头接触不良,电流互感器内部一次绕组端部接头、大螺杆接头和串联接头连接不良,电缆头内部焊接不良等。

2. 绝缘故障

高压电气设备的内部绝缘由于密封不良,进水受潮或者因绝缘介质老化,介质损耗增大,导致电气绝缘性能下降,甚至会出现局部放电或击穿。绝缘故障的外部特征往往是设备整体性发热,且表现为温度上高下低(或表面温度场等温线呈倒三角)的热场分布;且温度高于正常运行的发热,并在出现局部放电时还会叠加有相应的局部发热特征;发热功率与运行电压的平方成正比,而与负荷电流大小无关,在改变负荷的情况下外部红外热像无明显变化。

红外方法诊断电气绝缘故障常见于发电机定子绕组主绝缘劣化、脱壳与击穿,变压器套管或避雷器进水受潮,高压油断路器受潮或油质劣化,电力电容器受潮、绝缘介质老化或介损增大,电压互感器整体受潮、绝缘老化和局部放电,电流互感器整体受潮、绝缘老化、放电及电容屏部分击穿,电力电缆进水受潮、绝缘老化、击穿或相间放电等。

3. 铁磁损耗或涡流故障

具有磁回路的电气设备,由于设计不合理或运行不正常而造成漏磁,或者由于铁芯质量不良或片间局部绝缘破损,引起短路环流和铁损增大,可分别导致铁制箱体涡流发热或铁芯局部过热。例如,发电机和电动机定子铁芯过热故障,变压器、电抗器、电压互感器和电流互感器铁芯片间短路故障,变压器和电抗器箱体涡流发热,电流互感器二次回路阻抗过大引起的过热等。此类故障发热的特点都是形成以环流和涡流中心为最高温度的过热区。其中,除发电