

输变电设备 状态检修试验技术

(变压器类)

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编
周卫华 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

输变电设备 状态检修试验技术

(变压器类)

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编

周卫华 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以 Q/GDW 1168《输变电设备状态检修试验规程》为基础,结合当前常用的状态检修试验相关标准,从试验目的、试验原理、试验方法、规程要求、注意事项、试验异常分析与判断六个方面出发,内容基本涵盖了变压器(电抗器)、电流式电压互感器、电磁式电压互感器、电容式电压互感器、高压套管的全部例行和诊断试验项目。结合现场的典型案例对规程的应用进行了深度的解析,力求做到理论联系实际,使读者既能掌握相关的试验原理和方法,也能具备一定的试验异常数据分析与判断能力。

本书可供电力系统状态检修试验工作的一线工作人员及管理人员学习,也可供相关专业大中专院校参考。

图书在版编目(CIP)数据

输变电设备状态检修试验技术(变压器类)/周卫华主编:
国网湖南省电力公司电力科学研究院组编. —北京:中国电力出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5123-8487-3

I. ①输… II. ①周… ②国… III. ①输电—电气设备—检修—试验 IV. ①TM7-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 261637 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 493 千字

印数 0001—2000 册 定价 80.00 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



编 委 会

主 任	张玉福			
副 主 任	谢国胜	赵永生	周卫华	汪霄飞
编委会成员	黄福勇	刘兴文	叶会生	徐 波
	何智强	雷红才	黎 刚	刘 赞
	王 成	齐 飞	晏桂林	黄海波
	段肖力			

编 写 人 员

主 编	周卫华			
副 主 编	黄福勇	叶会生	刘赞	
编写组成员	黄海波	彭 平	段肖力	秦家远
	万 勋	何智强	孙利朋	蒯 强
	周新军	唐民富	赵世华	谢耀恒
	章 彪	姜方财	段建家	周恒逸
	李 欣	胡 阳	毛文奇	周 挺
	彭 钺	周 舟	万 涛	龚尚昆
	范 敏	刘味果	吴水锋	

随着电网规模的扩大,传统的定期检修和故障检修模式与检修力量之间的矛盾日益突出,而且容易造成“陪修”和“失修”,导致人力和财力的浪费。状态检修是当前较为先进的一种检修模式,其以设备当前实际运行工况为依据,合理的制定检修决策,检修针对性和有效性大幅度提高。全面实施电网设备状态检修是国家电网公司生产管理方式的重大变革,是精益化生产的核心内容。

2007年以来,国家电网公司开始全面推进并不断深化状态检修工作,出台了《输变电设备状态检修规程》等多项技术、管理和工作标准。《输变电设备状态检修试验规程》作为国家电网公司开展状态检修工作的纲领性试验标准,自2008年发布以来,在规范和有效开展输变电设备状态检修工作,确保电网安全运行和可靠供电等方面发挥了重要作用。国网湖南省电力公司电力科学研究院作为湖南省电力公司状态检修决策工作的参与者与执行者,全过程参与了状态检修的推进和深化应用工作,在状态检修标准化建设、设备状态定期评价、设备专业化检修、设备状态精益化管理等方面积累丰富的经验,也取得很多成效。近两年,湖南电力科学研究院主持或参与了国家电网公司《变压器检修决策导则》、《输电线路检修决策导则》、《国家电网公司电网设备状态检修管理规定》等多项标准和制度的编制与修订,组织编写了湖南省电力公司九类设备检修决策技术标准,参与制定了湖南省电力公司《高压开关柜全过程管理规定》、《变电专业精益化管理方案》等专业管理文件。在总结提炼工作经验的基础上,湖南电力科学研究院还组织和参与编写了《电力设备红外诊断典型图谱及案例分析》、《电网设备诊断分析及检修决策》等相关书籍。此外,湖南省电力公司运检部委托湖南电科院开展的年度电网设备状态定期评价工作也多次获得国家电网公司的高度认可与肯定。

为进一步推进和深化状态检修工作,加深对状态检修相关标准和制度的理解 and 应用。国网湖南电力科学研究院以《输变电设备状态检修试验规程》为中心,对其进行深度的分析和解读,并结合湖南省多年来开展状态检修试验的经验,组

织编写完成了《输变电设备状态检修试验技术（变压器类）》一书。

期待本书的出版发行，能对电力同行特别是从事状态检修试验工作的同行提供一些建议和参考，为进一步深化状态检修工作贡献微薄之力。

张玉福

2015年12月

为规范和有效开展输变电设备状态检修工作,国家电网公司在2008年发布了Q/GDW 1168—2008《输变电设备状态检修试验规程》(以下简称规程)作为状态检修工作的纲领性试验标准。为适应电网快速发展和状态检修工作的新形势,2013年,国家电网公司对标准进行修订,形成了最新的Q/GDW 1168—2013,对设备类型、试验项目、试验周期等进行了增加和调整。目前,规程已经成为国家电网公司系统各单位开展状态检修工作的基本文件,得到广泛的应用。为了促进状态检修工作的进一步拓展和深化,湖南省电力公司电力科学研究院组织状态检修试验方面的专家和试验人员编写了《输变电设备状态检修试验技术》一书。

本书以Q/GDW 1168《输变电设备状态检修试验规程》为基础,基本覆盖了规程中各类设备的所有例行试验和诊断性试验项目。本书主要为变压器(电抗器)、电流互感器、电磁式电压互感器、电容式电压互感器等变压器类设备,以及高压套管。

本书力求从规程和相关试验标准出发,在充分解读规程和标准的基础上,结合多年来开展状态检修试验的经验及现场案例,对规程中各试验项目进行解读和分析。本书共八章,前五章为试验部分,分设备对规程中规定的例行试验和诊断性试验项目进行解读和分析;后三章为案例部分,分别为变压器典型案例、互感器典型案例及带电检测典型案例,结合案例阐述对试验数据的判断和分析方法。试验部分主要从试验目的、试验原理、试验方法、规程要求、注意事项、异常试验数据分析与判断等六个方面展开论述,其中重点对后三个方面进行了详细的叙述;案例部分对于每个案例从案例概述、试验数据分析与缺陷处理以及结论与建议三个方面展开分析,重点阐述了对于试验数据的分析和判断过程。

本书的重点在于明确规程要求,强调现场试验过程中注意事项,结合设备结构和试验数据着重分析试验异常数据产生的原因,并给出相应的处理决策,希望能对现场状态检修试验的开展和结果的判断提供参考。另外本书提供了大量的现场案例,通过对案例进行详细的分析,希望能加深试验人员对规程的理解和应用,提高试验数据分析能力。

本书在编写过程中得到了湖南省电力公司运维检修部领导的大力支持,也得到了长沙供电分公司、益阳供电分公司、永州供电分公司、湘潭供电分公司等兄弟单位各位同仁的大量帮助,我们在此致以最深的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，希望广大读者批评指正。

编者

2015年12月

序
前言

第一章 变压器(电抗器)	1
第一节 红外热像检测	2
第二节 油中溶解气体分析	6
第三节 绕组直流电阻测量	15
第四节 变压器绝缘油试验	20
第五节 铁芯接地电流测量(带电)	32
第六节 绝缘电阻、吸收比(极化指数)	35
第七节 绕组电容量和介质损耗因数	39
第八节 有载分接开关试验	44
第九节 空载电流和空载损耗	48
第十节 短路阻抗及负载损耗测量	55
第十一节 感应耐压和局部放电测量	61
第十二节 绕组频率响应分析	69
第十三节 绕组变比试验	75
第十四节 直流偏磁水平检测	79
第十五节 电抗器电抗值测量	80
第十六节 声级测试	82
第十七节 绕组直流泄漏电流测量	84
第十八节 绕组外施耐压试验	87
第十九节 高频局部放电检测	90
第二十节 超声波局部放电检测	93
第二十一节 特高频局部放电检测	96
第二十二节 SF ₆ 气体湿度检测	100
第二十三节 SF ₆ 气体成分分析	102
第二十四节 SF ₆ 气体密度表(继电器)校验	105
第二十五节 SF ₆ 气体密封性检测	108
第二章 电流互感器	112
第一节 红外热像检测	112

第二节	油中溶解气体分析	114
第三节	绝缘电阻	115
第四节	电流互感器的电容量及介质损耗因数测量	117
第五节	SF ₆ 气体湿度检测	120
第六节	相对介质损耗因数和相对电容量比值测量	121
第七节	绝缘油试验	125
第八节	交流耐压试验	127
第九节	局部放电测量	129
第十节	电流比较核	131
第十一节	绕组电阻测量	133
第十二节	SF ₆ 气体密封性检测	135
第十三节	SF ₆ 气体密度表(继电器)校验	135
第十四节	高频局部放电检测	136
第十五节	SF ₆ 气体纯度检测	137

第三章 电磁式电压互感器 140

第一节	红外热像检测	140
第二节	绝缘电阻	141
第三节	电容量和介质损耗因数测量	143
第四节	油中溶解气体分析	147
第五节	SF ₆ 气体湿度检测	148
第六节	交流耐压试验	149
第七节	局部放电测量	151
第八节	绝缘油试验	152
第九节	SF ₆ 气体成分分析	154
第十节	电压比较核	155
第十一节	励磁特性	156
第十二节	SF ₆ 气体密封性检测	157
第十三节	SF ₆ 气体密度表(继电器)校验	158
第十四节	高频局部放电检测	159

第四章 电容式电压互感器 160

第一节	红外热像检测	160
第二节	分压电容器电容量和介质损耗因数测量	161
第三节	绝缘电阻	165
第四节	局部放电测量	167
第五节	电磁单元感应耐压试验	169
第六节	电磁单元绝缘油击穿电压和水分测量	170

第七节	相对介质损耗因数和相对电容量比值测量	171
-----	--------------------	-----

第五章 高压套管 173

第一节	红外热像检测	173
第二节	绝缘电阻	175
第三节	介质损耗因数 $\tan\delta$ 和电容量测量	176
第四节	SF ₆ 气体湿度检测	178
第五节	相对介质损耗因数和相对电容量比值测量	179
第六节	油中溶解气体分析	180
第七节	交流耐压和局部放电测量	182
第八节	SF ₆ 气体密封性检测	185
第九节	SF ₆ 气体成分分析	186
第十节	高频局部放电检测	187
第十一节	SF ₆ 气体密度表（继电器）校验	187

第六章 变压器典型案例 189

案例一	110kV 变压器低压绕组直阻超标及高压套管末屏悬浮放电	189
案例二	220kV 变压器分接开关接触不良导致直阻超标	193
案例三	220kV 变压器高压套管内部接触不良	197
案例四	220kV 变压器近区短路冲击致绕组受损故障	199
案例五	220kV 变压器近区短路致中低压线圈受损故障	201
案例六	110kV 变压器遭受多次短路累积冲击致使绕组损坏故障	205
案例七	110kV 变压器中性点内绝缘击穿事故	208
案例八	110kV 变压器直阻超标故障	212
案例九	110kV 变压器分接开关故障	214
案例十	110kV 变压器分接开关损坏故障	217
案例十一	110kV 变压器直阻超标	221
案例十二	110kV 变压器绕组变形	223
案例十三	330kV 变压器低压侧出口短路导致绕组损坏故障	228
案例十四	500kV 变压器近区短路致绕组损坏故障	231
案例十五	500kV 变压器内部放电及绕组变形故障	235
案例十六	220kV 变压器近区短路造成绕组损坏故障	241
案例十七	220kV 变压器受短路冲击绕组损坏故障	245
案例十八	110kV 变压器中压侧短路导致中压线圈损坏故障	246
案例十九	110kV 变压器绕组引线绝缘故障	249
案例二十	110kV 变压器线圈遭受短路冲击累积效应致变形损坏	250
案例二十一	变压器交流耐压和局部放电试验计算案例	252

» 第七章 互感器典型案例	257
案例一 500kV SF ₆ 电流互感器内部放电故障	257
案例二 220kV 油浸式电流互感器内部故障	261
案例三 110kV 干式电流互感器末屏接地不良故障	263
案例四 110kV 油浸式电流互感器一次连接不良导致的过热故障	265
案例五 110kV 干式电流互感器进水受潮故障	266
案例六 10kV 穿心式电流互感器局部放电故障	268
案例七 220kV 油浸式电流互感器介损超标故障	271
案例八 励磁特性不良导致电磁式电压互感器损坏	272
案例九 35kV 电磁式电压互感器受潮故障	275
案例十 110kV 电磁式电压互感器进水受潮案例	276
案例十一 35kV 电磁式电压互感器绕组内绝缘故障	277
案例十二 110kV 电容式电压互感器电容元件击穿故障	279
案例十三 220kV 电容式电压互感器阻尼装置发热故障	282
案例十四 35kV 电容式电压互感器电磁单元发热故障	285
» 第八章 带电检测典型案例	289
案例一 高频局部放电检测发现某 500kV 变压器套管末屏缺陷	289
案例二 高频局部放电检测发现 110kV 电容式电压互感器 放电缺陷	291
案例三 特高频局部放电检测发现某 110kV 变压器内部局部放电故障	292
案例四 特高频局部放电检测发现变压器套管绝缘缺陷	293
案例五 超声局部放电检测发现变压器内部磁分路绝缘缺陷	294
案例六 超声局部放电检测发现 500kV 电流互感器放电	296
案例七 高频、特高频及超声波局部放电检测发现 110kV 变压器内部 放电缺陷	298
案例八 介质损耗及电容量带电检测发现电流互感器缺陷	298
案例九 介质损耗及电容量带电检测发现电流互感器电容屏放电缺陷	300
案例十 介质损耗及电容量带电检测发现末屏放电缺陷	302
案例十一 设备红外典型图	304
» 参考文献	310

变 压 器 （ 电 抗 器 ）

变压器作为电力系统中最主要的电力设备之一，其运行状况直接关系着电力系统的安全稳定。随着电力行业的发展，变压器的数量快速增加，变压器性能检测和试验技术也迅速发展。对变压器进行相关检测和试验是保证电力系统安全、稳定、经济运行的重要措施。

依据 Q/GDW 1168《输变电设备状态检修试验规程》，变压器（电抗器）例行试验项目主要有：

- (1) 红外热像检测；
- (2) 油中溶解气体分析；
- (3) 绕组电阻；
- (4) 绝缘油例行试验；
- (5) 套管试验；
- (6) 铁芯接地电流测量（带电）；
- (7) 铁芯绝缘电阻；
- (8) 绕组绝缘电阻、吸收比（极化指数）；
- (9) 绕组绝缘介质损耗因数（20℃）；
- (10) 有载分接开关检查（变压器）；
- (11) SF₆ 气体湿度检测（带电）（SF₆ 气体绝缘变压器）。

变压器（电抗器）诊断试验项目主要有：

- (1) 空载电流和空载损耗测量；
- (2) 短路阻抗测量；
- (3) 感应耐压和局部放电测量；
- (4) 绕组频率响应分析；
- (5) 绕组各分接位置电压比；
- (6) 直流偏磁水平检测（变压器）；
- (7) 电抗器电抗值测量（电抗器）；
- (8) 绝缘油诊断性试验；
- (9) 声级及振动测定（带电）；
- (10) 绕组直流泄漏电流测量；
- (11) 外施耐压试验；

- (12) 高频局部放电检测（带电）；
- (13) 超声波局部放电检测（带电）；
- (14) 特高频局部放电检测（带电）；
- (15) 气体密度表（继电器）校验（SF₆ 气体绝缘变压器）；
- (16) SF₆ 气体成分分析（带电）（SF₆ 气体绝缘变压器）；
- (17) SF₆ 气体密封性检测（SF₆ 气体绝缘变压器）。

本章从试验目的、试验原理、试验方法、规程要求、注意事项、试验异常分析与判断六个方面对上述试验项目进行描述，重点关注试验中注意事项和试验异常分析与判断。为便于说明和阐述，将绝缘油例行试验和绝缘油诊断试验合并为绝缘油试验，铁芯绝缘电阻、绕组绝缘电阻合并为绝缘电阻，而套管试验将在本书第五章单独介绍，在本章不再赘述。电抗器内部结构与变压器较为相似，除电抗值测量外大部分试验项目可参照变压器执行，因此本章不再单独说明。

第一节 红 外 热 像 检 测

一、试验目的

变压器包括本体、冷却装置和出线套管等。在运行过程中，本体局部漏磁、冷却装置堵塞、套管内接触不良等缺陷均可能导致相应部位发热。红外热像检测可及时发现变压器运行缺陷，提醒检修人员及时处理。

二、试验原理

自然界一切温度高于绝对零度的物体，都在不停地向周围空间辐射包括红外波段在内的电磁波，红外波段位于 0.75~100μm。对于理想的辐射源——黑体而言，辐射能量与温度的关系符合普朗克定律，即

$$M_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \quad (1-1)$$

这个公式揭示了辐射能量与黑体温度和响应波长的相互依赖关系，其中 M_{λ} 是 T 温度下、 λ 波长处、单位面积黑体的辐射功率， C_1 、 C_2 为常数， T 为热力学温度。

由式 (1-1) 可知：①随着温度升高，辐射能量增加。这是红外辐射理论的出发点，也是单波段红外热像检测仪的设计依据；②随着温度升高，辐射峰值波长向短波方向移动；③辐射能量在短波处随温度的变化率比长波处大。

红外热像检测的原理是把红外辐射信号转换成电信号，经放大处理后，得到可供直接观看和分析的红外热像图，从而判断设备发热情况如图 1-1 所示。

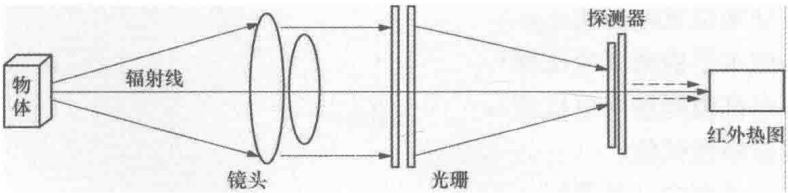


图 1-1 红外热像检测原理

三、试验方法

变压器的红外热像检测可分为一般检测和精确检测，一般检测主要针对电流致热型部件，如套管出线线夹、柱头等；精确检测主要针对电压致热型和综合致热型部件，如套管本身、器身、冷却器等。

（一）一般检测

（1）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。

（2）一般先远距离对所有被测设备进行全面扫描，发现有异常后，再有针对性地近距离对异常部位和重点被测设备进行精确检测。

（3）仪器的色标温度量程宜设置在环境温度加 10~20K 的温度范围。

（4）有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、区域温度跟踪等手段。

（5）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。

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

（7）作为一般检测，被测设备的辐射率一般取 0.9 左右。

（二）精确检测

（1）准确测量环境参照体温度。环境温度参照体应尽可能选择与被测设备类似的物体，且最好能在同一方向或同一视场中选择。

（2）在安全距离允许的条件下，红外热像仪器宜尽量靠近被测设备，使被测设备（或目标）尽量充满整个仪器的视场，以提高仪器对被测设备表面细节的分辨能力及测温准确度。必要时，可使用中、长焦距镜头。

（3）事先设定几个不同的方向和角度，确定最佳检测位置，并可做上标记，以供后续复测，提高互比性和工作效率。

（4）正确选择被测设备的辐射率，特别要考虑金属材料表面氧化对选取辐射率的影响。

（5）将大气温度、相对湿度、测量距离等补偿参数输入，进行必要修正，并选择适当的测温范围（5~10K 左右）。

（三）判断方法

（1）表面温度判断法。主要适用于电流致热型和电磁效应引起发热的部件。根据测得的部件表面温度值，对照各种部件、材料及绝缘介质温度和温升极限的有关规定，结合环境气候条件、负荷大小进行分析判断。

（2）同类比较判断法。根据同组三相设备、同相设备之间及同类设备之间对应部位的温差进行比较分析。对于电压致热型部件，应结合图像特征判断法进行判断。对于电流致热型部件，应结合相对温差判断法进行判断。

（3）图像特征判断法。主要适用于电压致热型部件。根据同类变压器部件的正常状态和异常状态的热像图，判断设备是否正常。应尽量排除各种干扰因素对图像的影响，必要时结合电气试验或化学分析的结果，进行综合判断。

（4）相对温差判断法。相对温差是指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。计算相对温差时环境参照体的选择非常重要，现场测量时选择与被测设备状况相同或基本相同（设备型号、安装地点、环境温度、表面状况）且未带电的设备作为参照体。

相对温差判断法主要适用于电流致热型部件，特别是对小负荷电流致热型设备，采用相对温差判断法可降低小负荷缺陷的漏判率。

四、规程要求

依据 Q/GDW 1168，红外热像检测为变压器例行试验项目，应按周期对变压器油箱、套管、引线接头及出线电缆等进行检测。具体检测周期和要求如表 1-1 所示，分析方法参考 DL/T 664《带电设备红外诊断应用规范》。

表 1-1 油浸式变压器红外热像检测周期及判断标准要求

检 测 周 期	要 求
330kV 及以上：1 月	无异常温升、温差和/或相对温差
220kV：3 月	
110（66）kV：半年	
35kV 及以下：1 年	

五、注意事项

(1) 检测时环境温度一般不低于 5℃、空气湿度不大于 85%，不应在有雷、雨、雾、雪的情况下进行，风速一般不大于 5m/s，以阴天、多云气候为宜，晴天要避开阳光、夜间要避开灯光直接照射或反射入镜。

(2) 检测最好保持测试角在 30°之内，不宜超过 45°；当不得超过 45°时，可适当调低辐射率进行修正。

(3) 变压器应重点关注箱体、储油柜、套管、冷却器、引线接头部位。

(4) 热像系统的测温量程宜设置在环境温度加温升（一般检测 10~20K；精确检测 5~10K）之间进行检测。

(5) 精确测温要求：风速一般不大于 0.5m/s，被检测变压器通电时间不小于 6h，一般在 24h 以上，检测时间为晴天日落后 2h。被检测变压器周围应具有均衡的背景辐射，测温时应避开临近的热辐射源。

(6) 测量时应准确记录额定电流、负载电流、运行电压、环境温度、环境湿度、环境参照体温度等信息，以便综合分析判断。

六、试验异常分析与判断

检测变压器箱体、储油柜、套管、冷却器、引线接头及电缆终端等，红外热像图显示应无异常温升、温差和/或相对温差。

(一) 本体

变压器本体由铁芯、线圈、油箱、绝缘油等组成。由于体积大、内部油循环，很难通过红外检测发现变压器内部故障或缺陷。正常情况下要求本体箱壁温度从上至下梯度递减，同一高度处温度无明显差异。在某些特殊情况下也能通过红外热像检测检测本体的异常温升、温差。本体常见的发热缺陷如下。

1. 本体温度未呈上热下冷梯度递减分布

若横向比较有明显的温度差异，应检查强油循环是否打开或损坏、冷却器是否存在故障，并结合油中溶解气体分析，判断发热严重程度及设备是否有内部故障。

2. 本体油箱存在局部发热点

红外检测发现变压器本体局部存在明显发热点，可能原因为内屏蔽不良产生漏磁、涡流损耗导致局部发热。

根据局部发热程度并结合油色谱进行分析。若油色谱异常，应尽快停电查明原因，处理缺陷。若油色谱正常，但局部发热达到 DL/T 664 规定的“严重”及以上缺陷时，则应尽快对发热缺陷进行处理。

3. 本体钟罩与法兰螺栓发热

本体钟罩与法兰螺栓发热的原因漏磁、涡流。可根据发热严重程度进行检修决策，带电加装短路环或更换为非导磁材料螺栓。

(二) 套管

变压器套管是将变压器内部高、低压绕组引线引到油箱外部的绝缘套管。它不但作为引线对地绝缘，还担负着固定引线、长期通过负载电流的作用。变压器套管按结构可分为电容式、充油、纯瓷套管。电容式套管由导电杆、电容屏、绝缘油、外瓷套等组成，多用于 35kV 以上电压等级变压器，其故障发生几率较高。正常情况下，变压器同侧三相套管之间相同部位温度无明显差异；套管顶部、瓷套、末屏（电容型套管）等部位无明显发热点；上下之间温度分布均匀。红外检测能有效发现部件接触不良、套管缺油、绝缘介损偏大、末屏接地不良、表面污秽或局部放电等各类缺陷。常见发热原因见本书第五章第一节。

(三) 冷却器

变压器常见冷却方式有自冷、风冷、强油风冷等。冷却器主要由散热片、联管、阀门、风扇、潜油泵等组成。正常情况下各散热片相同部位之间无明显温差，同一散热片温度从上至下呈均匀递减。红外热像检测可发现散热器阀门未打开（或联管堵塞）、散热器表面污垢、冷却风扇异常等缺陷。

1. 散热器阀门未打开（或联管堵塞）

若红外图像显示某散热片较其他散热片相比温度偏低，且无从上至下温度递减现象，此散热片往往存在阀门未打开（或联管堵塞）的缺陷。若是由于阀门未打开，应立即打开阀门。若是由于管路不畅通导致，当缺陷尚为一般缺陷时，可进行跟踪检测，如缺陷达到严重或危急缺陷应尽快或立即对冷却器管路进行处理。

2. 散热器表面污垢

表面污垢导致散热器效果不佳，红外热像图中呈现明显的明暗相间斑点，原因为变压器冷却器散热片风道被异物严重堵塞（温度偏低部分），达不到预期散热效果。发现此类缺陷应带电检测散热片堵塞情况，对堵塞的散热器进行冲洗。

3. 冷却风扇异常

红外检测发现风扇电动机温度与其他风扇相比明显偏低或偏高，一般分两种情况：一种是风扇电动机损坏或未开启，电动机温度较正常电动机温度偏低；另一种是电动机带缺陷运行，电动机温度较正常电动机的温度高。应立即对冷却装置控制系统回路和冷却电动机进行检查处理。

(四) 储油柜

变压器储油柜按照结构可分为敞开式、隔膜式、胶囊式、金属波纹式。红外检测过程中应结合储油柜结构进行分析。一般情况下储油柜内充油部位的温度较其他部位温度要高。红