

BIANDIANZHAN SHEBEI
HONGWAI REXIANG JIANCE SHILI FENXI

变电站设备红外热像检测 实例分析

国网河南省电力公司周口供电公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

BIANDIANZHAN SHEBEI
HONGWAI REXIANG JIANCE SHILI FEN

变电站设备红外热像检测 实例分析

国网河南省电力公司周口供电公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书由变电站一次设备（电流型）红外热像典型图例、变电站一次设备（电压型）现场发热红外热像典型图例、变电站二次设备现场红外热像典型图例以及带电设备红外检测需注意的若干问题四个部分组成。

本书提炼了红外检测技术的一些重要知识，因此可作为红外热像检测人员和技术人员在分析和处理故障设备时的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

变电站设备红外热像检测实例分析 / 国网河南省电力公司周口供电公司组编. — 北京：中国电力出版社，2014.12
ISBN 978-7-5123-6461-5

I. ①变… II. ①国… III. ①变电所—电气设备—红外线检测
IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第217206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>）

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年12月第一版 2014年12月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 11印张 168千字

印数 0001—2000册 定价 58.00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

《变电站设备红外热像检测实例分析》

编 委 会

主 任	刘长义				
副 主 任	华 峰	余 翔			
委 员	张洪涛	王自立	宁丙炎	沈 辉	
	韩爱芝	黄小川	张劲光	褚双伟	
	杨光亮	韩金华	王晓辉	张 科	
	薛鸿鹏	石 军	李宏伟	刘守明	
主 编	薛鸿鹏	李 琳			
副 主 编	韩爱芝	王世珠			
编写人员	申志远	陈全兴	魏 涛	殷长亚	
	艾新法	梁啸宇	陈 茜	史宏伟	
	唐 磊	刘 东	张逸凡	张 燕	
	王 博	李卫东	李建军	许海燕	
	刘秋华	杨 陆	张 磊	李汝杰	

PREFACE 前言

红外热像检测技术图像清晰、稳定、不受测量环境中高压电磁场的干扰,具有必要的图像分析功能,具有较高的温度分辨率能满足实测距离的要求,具有较高的测量精确度和合适的测温范围。适用于变电站内所有具有电流、电压致热效应或其他致热效应的设备。

红外热像检测技术是电气安全检测的一种重要手段,因其具有不接触、不停运、不取样、不解体等诸多优点,所以可以做到省时、省力、降低设备维修费用,大大提高了设备的运行可靠性,同时它也是保证状态检修能够顺利开展的主要技术手段。本书通过对变电站内一些发热事件的典型实例进行分析,指导发现各类发热类缺陷和异常情况,为检测人员在开展红外检测工作时提供检测和判断的依据。通过对异常现象的分析及对防范措施的总结,提炼了红外检测技术重要知识,供分析和处理故障设备时参考和借鉴,为状态检测和设备检修打下基础。

本书第1章1.1~1.3及第4章由薛鸿鹏编写;第1章1.4~1.11由申志远编写;第2章由李琳编写;第3章由陈全兴、王世珠编写。

本书在编写过程中,得到了周口供电公司各有关变电站及有关管理部门的大力支持,周口供电公司领导审阅了全书并提出了重要修改意见,在此一并表示衷心的感谢!

由于受理论水平和实践经验所限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2013年6月

前言

第1章

变电站一次设备（电流型）
红外热像典型图例

1.1 变压器	2
1.1.1 变压器中压套管引线座、套管导电杆热熔发热红外热像典型图例	3
1.1.2 变压器低压套管铜铝过渡线夹接触不良发热红外热像典型图例	5
1.1.3 变压器储油柜油位检查红外热像典型图例	8
1.1.4 变压器套管线夹处发热红外热像典型图例	8
1.1.5 变压器10kV低压绕组断股发热红外热像典型图例	10
1.1.6 变压器110kV高压套管缺油发热红外热像典型图例	12
1.1.7 变压器箱体磁屏蔽缺陷引起发热红外热像典型图例	13
1.1.8 变压器高压套管端部连接部件接触不良发热红外热像典型图例	14
1.1.9 变压器套管将军帽接触不良发热红外热像典型图例	17
1.1.10 换流变压器套管受潮发热红外热像典型图例	18
1.1.11 换流变压器套管封堵处涡流发热红外热像典型图例	19
1.1.12 变压器箱体连接螺栓涡流损耗发热红外热像典型图例	20
1.1.13 变压器散热片缺油异常红外热像典型图例	23
1.1.14 换流变压器套管升高座紧固螺栓发热红外热像典型图例	24
1.1.15 磁屏蔽缺陷引发500kV三相一体变压器发热红外热像典型图例	25
1.2 隔离开关	27
1.2.1 隔离开关刀闸口处发热红外热像典型图例	27
1.2.2 隔离开关线夹处发热红外热像典型图例	30
1.2.3 35kV隔离开关设备线夹连接板发热红外热像典型图例	32
1.2.4 电容器外甲隔离开关与铝排连接处发热红外热像典型图例	33

1.2.5	隔离开关引流线接线板处发热红外热像典型图例	34
1.2.6	隔离开关引线座处发热红外热像典型图例	36
1.2.7	隔离开关静触头铝排连接处发热红外热像典型图例	38
1.3	断路器	40
1.3.1	多油断路器本体发热红外热像典型图例	41
1.3.2	SF ₆ 断路器本体发热红外热像典型图例	42
1.3.3	断路器线夹处发热红外热像典型图例	44
1.3.4	断路器引线座处发热红外热像典型图例	47
1.4	电流互感器	50
1.4.1	电流互感器外部连接部件接触不良发热红外热像典型图例	51
1.4.2	电流互感器变比接线板(串并联连接线)发热红外热像典型图例	53
1.4.3	线路计量装置外部连接件接触不良发热红外热像典型图例	53
1.4.4	电流互感器整体发热红外热像典型图例	54
1.5	电容器	55
1.5.1	并联电容器软母线与铝排连接处发热红外热像典型图例	56
1.5.2	电容器高压熔断器发热红外热像典型图例	57
1.5.3	电容器套管设备线夹、铜铝过渡连接处发热红外热像典型图例	58
1.5.4	电容器放电电压互感器接线端子与铝排连接处发热红外热像典型图例	60
1.5.5	电容器间隔发热检测发热红外热像典型图例	60
1.6	电抗器	62
1.6.1	电抗器铝排连接处发热红外热像典型图例	62
1.6.2	电抗器过负荷本体发热红外热像典型图例	64
1.6.3	电抗器起吊吊环发热红外热像典型图例	67
1.7	电力阻波器	67
1.7.1	阻波器设备线夹发热红外热像典型图例	68
1.7.2	阻波器调谐元件发热红外热像典型图例	69
1.7.3	阻波器避雷器发热红外热像典型图例	69
1.7.4	阻波器内部故障发热红外热像典型图例	70
1.8	电力电缆	71
1.8.1	电缆头接头接触不良发热红外热像典型图例	72
1.8.2	电容器组电缆整体发热红外热像典型图例	73

1.8.3	10kV线路电缆沟内电缆发热红外热像典型图例	74
1.8.4	相邻电缆接头与电缆对比发热红外热像典型图例	75
1.9	高压开关柜	76
1.9.1	KYN开关柜内手车开关与母线排连接处柜体发热红外热像典型图例	77
1.9.2	KYN高压开关柜涡流损耗发热红外热像典型图例	79
1.9.3	KYN开关柜内手车开关上下比动触头接触不良发热红外热像典型图例	83
1.9.4	开关柜发热红外热像典型图例(1)	85
1.9.5	开关柜发热红外热像典型图例(2)	86
1.10	引流线、线夹	87
1.10.1	断路器引流线发热红外热像典型图例	87
1.10.2	阻波器引流线发热红外热像典型图例	88
1.10.3	220kV母线引流线夹发热红外热像典型图例	89
1.10.4	10kV引流线发热红外热像典型图例	90
1.10.5	10kV出线龙门架下线夹发热红外热像典型图例	91
1.10.6	10kV高压柜内铝排连接处发热红外热像典型图例	92
1.10.7	10kV高压柜柜上部穿盘套管处发热红外热像典型图例	93
1.10.8	110kV出线引流线T形夹发热红外热像典型图例	93
1.10.9	变压器110kV侧引流线夹发热红外热像典型图例	94
1.10.10	110kV线路压接线夹连接处发热红外热像典型图例(1)	95
1.10.11	110kV线路压接线夹连接处发热红外热像典型图例(2)	95
1.11	穿墙套管	96
1.11.1	10kV穿墙套管支撑板发热红外热像典型图例	97
1.11.2	10kV穿墙套管处线夹发热红外热像典型图例	97
1.11.3	10kV墙内穿墙套管与铝排连接处发热红外热像典型图例	98
1.11.4	10kV高压室墙外穿墙套管连接处发热红外热像典型图例	99

第2章

变电站一次设备(电压型) 现场发热红外热像典型图例

2.1	电压互感器	102
2.1.1	220kV电压互感器内部故障红外热像典型图例	103
2.1.2	35kV电磁式电压互感器内部故障红外热像典型图例(1)	104

2.1.3 35kV电磁式电压互感器内部故障红外热像典型图例(2)	106
2.2 抽压电压互感器	107
2.2.1 110kV线路抽压电压互感器发热红外热像典型图例(1)	108
2.2.2 110kV线路抽压电压互感器发热红外热像典型图例(2)	109
2.2.3 220kV线路抽压装置发热红外热像典型图例	111
2.3 耦合电容器	111
耦合电容器接地端子处发热红外热像典型图例	112
2.4 避雷器	113
2.4.1 线路龙门架处避雷器发热红外热像典型图例	115
2.4.2 母线避雷器发热红外热像典型图例	117

第3章

变电站二次设备现场红外热像 典型图例

3.1 保护屏、测控屏、录波屏	120
3.1.1 故障录波屏二次电流端子发热红外热像典型图例	120
3.1.2 主变压器保护屏二次电流端子发热红外热像典型图例(1)	121
3.1.3 主变压器测控屏二次电流端子发热红外热像典型图例(2)	122
3.1.4 母差保护屏电流端子发热红外热像典型图例	123
3.1.5 35kV线路保护屏电流端子发热红外热像典型图例	124
3.1.6 110kV线路测控屏空气断路器发热红外热像典型图例	125
3.2 机构箱	126
3.2.1 110kV断路器机构箱外壳发热红外热像典型图例	127
3.2.2 机构箱内储能电源负极端子发热红外热像典型图例	128
3.3 端子箱	129
3.3.1 端子箱内电流端子接触不良发热红外热像典型图例	129
3.3.2 端子箱内2Bk1/2Ak1端子封接处松动发热红外热像典型图例	130
3.3.3 端子箱内电流端子氧化发热红外热像典型图例	131
3.3.4 端子箱内电流端子严重发热红外热像典型图例	132
3.3.5 端子箱并联端子老化发热红外热像典型图例	133
3.3.6 端子箱内空气断路器发热红外热像典型图例	134

3.4 低压屏	135
3.4.1 低压屏内熔断器底座引线接触不良发热红外热像典型图例	135
3.4.2 低压屏内熔断器底座本身接触不良发热红外热像典型图例	136
3.4.3 低压屏内引线发热红外热像典型图例	137
3.5 风冷控制箱	138
3.5.1 风冷控制箱内电缆发热红外热像典型图例	139
3.5.2 风冷控制箱内引线端子压接不良发热红外热像典型图例	140
3.5.3 风冷控制箱内熔断器底座引线接触不良发热红外热像典型图例	141
3.5.4 风冷控制箱内空气断路器发热红外热像典型图例	142
3.6 低压电缆	143
3.6.1 低压隔离开关选择不当发热红外热像典型图例	143
3.6.2 主变压器风冷装置电缆发热红外热像典型图例	144
3.7 站用变压器	145
3.7.1 站用变压器运行温度高发热红外热像典型图例	146
3.7.2 站用变压器高压侧套管与电缆头连接处发热红外热像典型图例	147
3.7.3 站用变压器消弧线圈阻尼器发热红外热像典型图例	148
3.8 直流系统	150
3.8.1 直流馈线屏内接触器发热红外热像典型图例	150
3.8.2 蓄电池内部故障发热红外热像典型图例	151

第4章

带电设备红外检测需注意的 若干问题

附录 A 交流高压电器在长期工作时发热相关条款	162
-------------------------------	-----

第1章

变电站一次设备（电流型） 红外热像典型图例

1.1 变 压 器

变压器需要重点检测的电气设备部位及常见故障类型，见表 1-1。

表 1-1 变压器需要重点检测的电气设备部位及常见故障类型

重点检测部位	常见故障类型
储油柜	储油柜缺油或假油位
高压套管及将军帽接头	介质损耗增大；套管缺油；导电回路连接部位接触不良
中、低压套管及接线夹	导电回路连接部位接触不良
外壳及箱体螺栓	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
变压器本体	线圈故障、铁芯多点接地等引起的局部发热
冷却装置及油路系统	潜油泵过热；管道堵塞或阀门未开

变压器主要热像特征如下：

(1) 箱体涡流损耗发热。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，其热像特征是以漏磁通穿过而形成环流的区域为中心的红外热像图。

(2) 变压器内部异常发热。当变压器内部出现异常发热时有可能引起箱体局部温度升高。这种红外热像图不具有环流形状。这类缺陷同时伴有变压器内部局部温度场异常，可采用红外诊断与色谱分析相结合的方法进行判断。

(3) 冷却装置及油路系统异常。潜油泵过热时，红外热像图上有明显热区；若管道堵塞或阀门未开，部分管道或散热器无法油循环，在红外热像图上会呈现低温区。

(4) 储油柜缺油或假油位时红外热像图上储油柜内油气分界面清晰可辨。

(5) 高压套管缺陷。这类缺陷的热像特征是套管整体温度偏高，介质损耗增大，正常时同类比较相间温差不应超过 $2 \sim 3\text{K}$ ；套管缺油时，红外热像图上有明显的油气分界面；导电回路连接件接触不良时，热像特征是一个以发热点为中心的红外热像图，可根据相对温差判断法和比较法的有关判据来判断。

1.1.1 变压器中压套管引线座、套管导电杆热熔发热红外热像典型图例

1. 异常简介

2007年4月10日18:30左右,天气晴好,环境温度为22℃,在对某220kV变压器进行红外热像时,发现该变压器110kV侧A相套管将军帽处发热,温度达103℃,B、C相均为30℃(温度正常),三相温度差异很大,当时负荷电流为271A,A相套管将军帽处红外热像图如图1-1所示。随后,对该变压器进行了多次测温跟踪,在环境温度不变的情况下,当负荷电流上升到310A时,A相

的温度为130℃,其套管将军帽处红外热像图如图1-2所示;当负荷电流为280A时,A相的温度为111℃,其套管将军帽处红外热像图如图1-3所示。这说明发热点温度与负荷变化成正相关关系,即负荷越大,温度越高。



图1-1 负荷电流271A时A相套管将军帽处红外热像图



图1-2 负荷电流310A时A相套管将军帽处红外热像图



图1-3 负荷电流280A时A相套管将军帽处红外热像图

2. 异常分析与处理

该变压器三相套管的温差很大,存在明显的发热缺陷,有可能是由于套管将军帽丝扣没有拧紧或导电杆与引线焊接不良造成的。为了保障变压器安全运行,计划将负荷全部转移后进行停电检修。检修时发现,其引线已经无法正常拆卸下来,随后决定将引线座整体进行锯割。经破坏性检查发现,由于导电杆与引线



图 1-4 锯割下来的套管引线座

磷铜焊工艺较差,造成部分连接缺焊,导致 110kV 侧 A 相通流能力不足,再加上该变压器长期负荷较大,造成套管引线座丝扣与导电杆因长期过热相互熔焊,这属于产品质量问题。锯割下来的套管引线座如 1-4 所示。

重新更换了导电杆和引线座,并进行磷铜焊接。变压器修复投运后,对变压器进行多次测温,均正常。2007 年 5 月 22 日上午,天气阴,环境温度为 28 ~ 32℃,变压器 110kV 三相套管将军帽的温度均低于 31℃,且一致性很好,先后两次测得其红外热像图如图 1-5 所示。

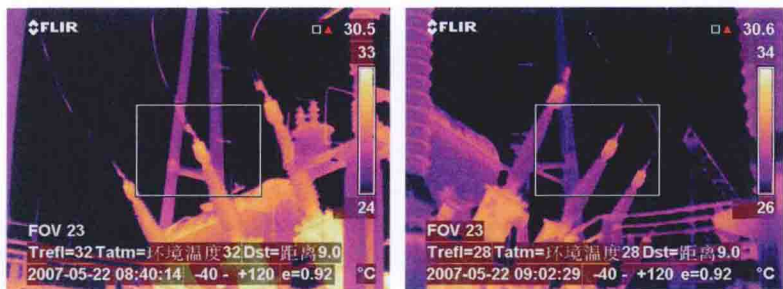


图 1-5 修复投运后变压器 110kV 侧套管红外热像图

3. 预防措施

该变压器异常属于产品质量问题,此类缺陷相对较少。由于没有及时发现异常,且处理不够及时,发生了发热熔焊现象,导致增加了处理难度,浪费了人力、物力、财力。可采取如下预防措施:

- (1) 把好产品监造关,在出厂前及时发现隐患、及时进行处理。
- (2) 把好验收关,对直流电阻的偏差要有敏感性。
- (3) 投运带负荷后要及时对设备进行红外测温,比较三相相同部位的温差,尤其是负荷较大时,若温差明显,即使温度不高也要追踪测温和分析,发现异常及时处理。
- (4) 预防性试验要关注直流电阻的微小变化,再结合红外测温结果进行综合判断。

(5) 运行中定期或不定期对变压器进行红外测温,可以及时发现异常,合理安排计划处理。

(6) 运行人员巡视要仔细、认真,尤其是下雪天气,要观察同类线夹积雪的多少,初步判断是否发热。

1.1.2 变压器低压套管铜铝过渡线夹接触不良发热红外热像典型图例

1. 异常简介

2009年6月25日晚,天气晴好,环境温度为 30°C ,在对某110kV变压器进行红外测温时,发现该变压器10kV侧套管铜铝过渡线夹温度较高,其中A相为 102°C 、B相为 113°C 、C相为 108°C ,当时负荷电流为550A,A、B、C三相的红外热像图如图1-6所示。

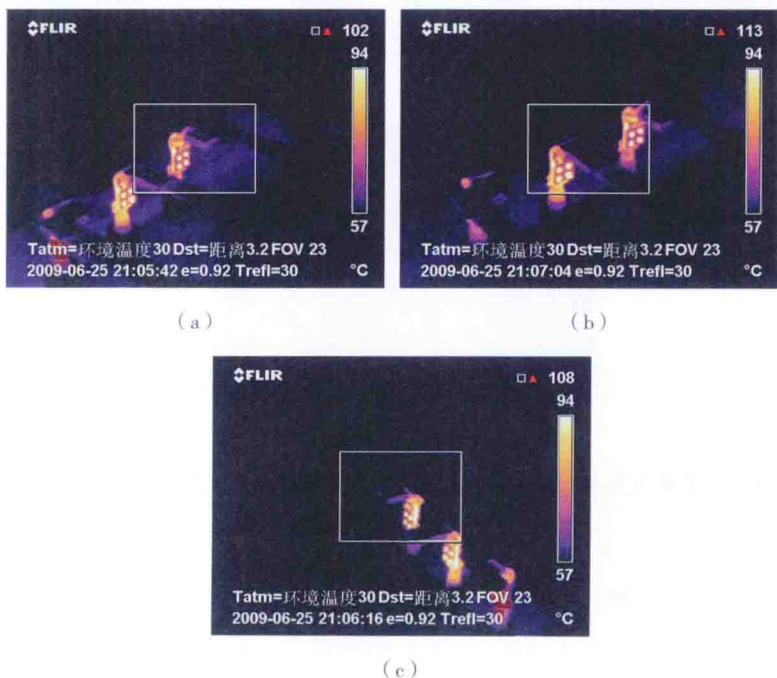


图1-6 负荷电流550A时变压器低压侧三相套管铜铝过渡线夹红外热像图

(a) A相;(b) B相;(c) C相

从图 1-6 可以看出, 紧固螺栓处温度明显偏高。次日晚, 天气晴好, 环境温度为 37°C , 对该变压器进行多次测温跟踪, 负荷电流为 520A 时, A 相为 102°C 、B 相为 107°C 、C 相为 109°C , A、B、C 三相的红外热像图如图 1-7 所示。

从图 1-6、图 1-7 分析可知, 发热点的温度与负荷变化有一定的关系, 即负荷电流变小时, 发热点的温度有所降低。一般来说, 环境温度越高、发热点散热越慢, 对设备越不利, 但与负荷的影响相比要小一些。

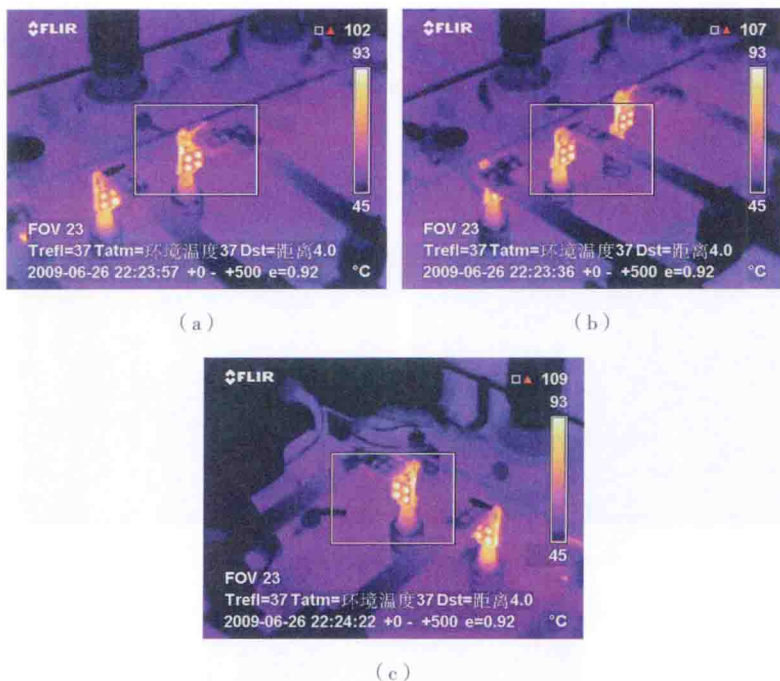


图 1-7 负荷电流 520A 时变压器低压侧三相套管铜铝过渡线夹红外热像图

(a) A 相; (b) B 相; (c) C 相

2. 异常分析与处理

该变压器低压侧三相铜铝过渡线夹的温差不明显, 但与母线桥温度相比, 存在明显的温度差异, 这说明三相均存在发热缺陷, 有可能是过渡线夹螺栓松动所致。

发现温度异常后, 及时转移负荷, 将变压器停电检修。检查发现, 变压器低

压侧三相铜铝过渡线夹紧固螺栓多处松动,有可能是2009年6月初变压器周期性试验时,变压器低压侧三相铜铝过渡线夹恢复时紧固螺栓没有拧紧,加之该变压器低压侧负荷电流较大,导致温度异常。由于及时发现缺陷,没有对设备造成严重损害,将变压器低压侧所有螺栓紧固后,恢复送电。

变压器运行后经多次测温,低压侧三相铜铝过渡线夹温度基本一样,如测温的环境温度为 37°C 时,当时负荷电流在 550A 左右,该变压器低压侧A、B、C相套管铜铝过渡线夹处温度在 $31\sim 34^{\circ}\text{C}$ 之间,与母线桥温度相比基本一样,说明缺陷已得到处理。检修后2009年7月18日、9月22日所测红外热像图分别如图1-8、图1-9所示。



图1-8 检修后2009年7月18日
变压器低压侧套管铜铝过渡线夹
红外热像图

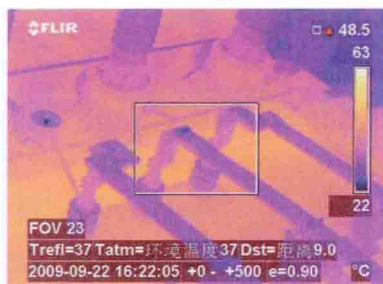


图1-9 检修后2009年9月22日
变压器低压侧套管铜铝过渡线夹
红外热像图

3. 预防措施

变压器低压侧套管铜铝过渡线夹发热是比较常见的缺陷,主要是安装、维护质量方面的问题。该缺陷由于发现及时、处理及时,避免了设备损坏,节约了人力、物力、财力。可采取如下预防措施:

- (1) 安装、检修维护单位要加强施工管理,严格控制施工工艺,确保连接处螺栓紧固到位,降低接触电阻。
- (2) 变压器套管安装或检修后,严格落实三级验收制度,确保接头接触良好。
- (3) 变压器安装、检修后,带负荷运行后及时进行红外测温,检验施工质量。
- (4) 运行中定期或不定期进行红外测温,及时发现缺陷,尽早安排计划处理。
- (5) 对工作人员进行责任心教育,并实行安装、检修质量责任追究制度。