

[红外测温]

一起变电设备红外检测异常案例的分析

文/胡鹏飞 黄国良 曹哲成 钱 昊 平佳伟 何裕强
国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司

以某220 kV变电站内一台220 kV变压器套管红外检测异常为实例，描述了现场红外测温的基本检测情况，分析了红外测温现场检测的干扰因素，并根据现场实际情况对检测数据作出分析，保持跟踪，成功排除了一起套管的疑似紧急缺陷。

随着电网规模的不断扩大，为保证电网的安全可靠运行，变电设备的带电检测手段越来越丰富。红外线检测技术作为一种常见的带电检测技术，由于操作简便、灵敏度高、高效可靠及安全直观等优点得到广泛应用。在现场检测中，设备的种类繁多、结构复杂、干扰众多，如何排除干扰、准确定性，从而保证检测数据结果的真实性和可靠性成为红外检测技术和经验的关键。

红外测温概述

1. 红外检测原理

任何物体只要温度高于绝对零度就一定会发射出红外线，比如冰块，而且物体的温度越高，它所发射的红外线波长就越长。玻尔兹曼定律 $E = \varepsilon \sigma T^4$ （其中， E 为物体的辐射功率， ε 为材料的比辐射率， σ 为玻尔兹曼常数， T 为物体的绝对温度）给出了物质温度与辐射能量之间的关系，是红外测温最基本的理论和依据。外检测仪器由信号放大器、光电探测器、信号处理器及输出显示器等部分组成，通过将物体表面的红外辐射能量转换成可见图像的设备，实现对变电设备发热情况的检测。

2. 现场干扰因素分析

红外测温的现场检测干扰较多，影响检测的参数也较多，无法进行非常精准的量化，经常出现误

判、漏判等现象，对检测人员的检测经验及电力设备结构的熟悉程度都有较高的要求。变电设备红外测温现场检测的影响因素主要有：

- 1) 大气环境。包括大气吸收影响、大气尘埃及悬浮粒子的影响及风力的影响等，具体到实际中主要是温度、风速、距离、检测仰角及热源等的影响。
- 2) 人为因素。主要体现在对可能的误差进行分析，对相关参数的精确设置调整及对设备结构的熟悉情况。目前红外诊断技术还在经验发展阶段，要求红外检测工作人员通过各种设备内部故障特性，尤其是图谱的研究和实践的积累，不断地积累经验，提高诊断准确性。本文通过对一起疑似缺陷的综合分析及验证，确定了设备的温度异常源自现场的干扰。

案例情况

2017年4月18日21点，检测人员按照规程要求对某变电站设备进行巡视，开展红外线检测项目时发现站内一台220 kV主变压器高压侧套管存在异常发热现象。现场检测时的基本参数见表1。

表1 红外检测现场基本参数

环境温度/ ℃	环境湿度/ (%)	天气	风速/ (m/s)	辐射率	测试距离/ m	负荷电流/ A
18.9	65	晴	4	0.9	6	247.04

检测图谱的温度分布如图1所示。现场环境参考温度为19.1℃，在该主变压器三相套管相同位置进行检测：A相为23.9℃，B相为21.8℃，C相为19.8℃，三相最大温差4.1℃。更换角度对套管的不同部位测温，同相之间温度发生变化，但三相之间温差仍然在4℃左右。该发热部位属于电压致热型，依据DL/T 664—2016《带电设备红外诊断应用规范》附录I可知，高压套管三相温差超出2~3℃即可判断为严重型缺陷，而现场已经高达4℃，甚至超出了严重缺陷的范围，若为紧急缺陷，应立即消除或紧急退出运行。

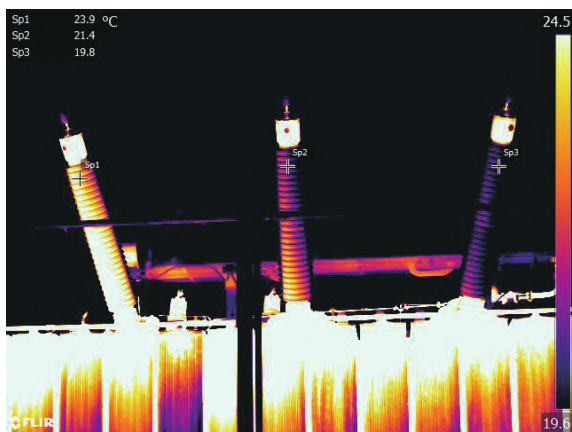


图1 某220 kV主变压器高压侧套管红外图谱

现场排查分析

1. 图谱特征分析

在发现该疑似缺陷后，检测人员结合现场情况对红外图谱及温度分布特征进行分析，发现三相套管下部温度偏高，上部温度偏低，正面偏高，侧面偏低。考虑到套管下部的散热片温度明显高于套管，且从上到下呈梯度分布，判断出该分布特征主要是受散热片的热辐射影响。此外，从高压套管整体来看，站内自西向东按照A、B、C的相序三相温度依次有梯度的减小。由于图谱中存在的温度分布有一定的规律性，引起检测人员对疑似缺陷的进一步怀疑。

2. 图谱特征分析

1) 从图谱中可以发现C相套管整体温度略低于A相，为进一步判断疑似缺陷的真实性，检测人员对设备的油位进行观测，发现三相油位均处于满位指示，而且主变压器的将军帽也处于温度较高的状

态，因此可以排除缺油导致的温度分布异常。

对该主变压器套管升高座进行测温，发现三相升高座的温度分布特征与套管相同，A、B、C三相温度自西向东依次为40.6℃、39.6℃和37.6℃，温差为3℃。如图2所示。



图2 某220 kV主变压器高压侧升高座红外图谱

2) 对该主变压器本体及两侧的散热片进行测温，发现温差均为4℃左右，且A相侧高于C相侧。由于套管中的变压器油与本体中的变压器油相对独立，现场检测结果显示，该变压器整体存在方向性的温差，并非仅套管存在该现象，说明该疑似缺陷的温度异常并非套管内部缺陷导致。

3) 对现场相邻主变压器220 kV套管进行检测发现，该站内相邻主变压器套管为直立式安装，同样存在相同的温度分布特征，如图3所示。对三相套管进行检测：A相22.3℃，B相20.4℃，C相20.5℃，三相最大温差1.8℃。依据DL/T 664—2016《带电设备红外诊断应用规范》附录I判断未达到电压致热型的缺陷，但是从图谱上看与相邻的主变压器套管有同样的温度梯度和温度分布，可以进一步说明是该疑似缺陷的温度为外界干扰导致。

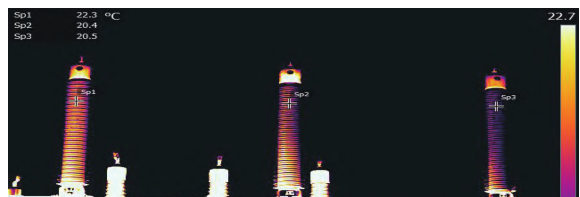


图3 相邻主变压器220 kV套管红外图谱

3. 历史数据分析

检测人员查看该主变压器上次停电试验数据，

发现主变压器三相套管相关的绝缘试验数据均在合格范围内，与出厂值相比无明显变化，说明在上次停电检修役时该套管的绝缘性能良好，无介损超标等异常现象。

4. 红外跟踪检测

为了确保该设备的状态正常，检测人员对该设备进行了一段时间的跟踪，分别选择在不同天气下对该套管进行检测，对三相之间的温差进行监测跟踪，发现温差随天气的变化发生波动，并且与环境及设备的温度呈正相关，在天气晴朗、负荷较大和气温较高时，三相间的温差会更大一些，在阴天测量时温差可降到2 K以下的正常范围，如图4所示。在连续的阴天后，对该套管进行检测：A、B、C三相温度依次为21.8℃、21.1℃和20.3℃，温差可降至1.5℃，证明该套管的温度异常是由外界的影响造成。

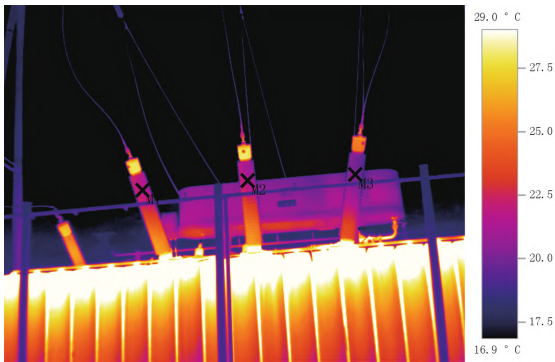


图4 连续阴天后跟踪检测红外图谱

原因综合分析

通过现场观察及相关检测数据可知，该主变压器220 kV套管温度异常属于外界干扰导致，无须立即消缺或紧急退出运行。相比于相邻的主变压器，由于该套管倾斜放置，距散热片和本体较近，当本体温度受日照影响时，具有东西侧方向性的温度差辐射至套管使其温差增加，致使A相的整体温度比C相高，有时达到紧急缺陷的标准引起误判。此外，该主变压器（型号为SSZ11-180000/220）属于自冷式散热，温度平衡速度缓慢，同时，检测时常存在朝西的风向，在日落后几个小时内，变压器本体及散热片各处的油温无法快速达到平衡，影响套管的温度分布。在实验室中检测试验的数据表明：试品表面受外部环境辐射时，即使设备内部结构呈轴对称，由于背景辐射的不均匀性，试品表面温升存

在明显差异，即存在各向异性，可带来1~6℃的温差。在后继对具有相同情况的主变压器检测中也发现类似的问题，更进一步说明该疑似缺陷主要是由环境形成的间接热辐射导致的异常温差分布。

后续验证

2018年3月，结合该变电站的例行停电检修，对该套管进行了停电试验，电气试验数据及套管油色谱数据见表2及表3。数据证实，该套管绝缘状态正常，可以继续运行。

表2 某主变压器三相套管上次停电试验数据

相别	铭牌电容量/pF	实测电容量/pF	介损tanδ	电容量误差(%)	导芯对地绝缘电阻/MΩ	未屏对地绝缘电阻/MΩ
220 kV A	391	389.1	0.003 21	-0.49	-	5 000
220 kV B	392	395	0.003 66	0.77	-	5 000
220 kV C	386	382.3	0.003 55	-0.96	-	5 000

表3 某主变压器三相套管油色谱数据

相位	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CH	CO	CO ₂
A	6.85	9.99	5.4	5.9	0	21.29	127.12	406.94
B	3.98	5.42	2.59	0.58	0	8.59	154.2	365.39
C	5.17	5.64	2.49	0.16	0	8.29	126.17	346.59

结束语

红外检测是变电设备检测中应用非常广泛的一项带电检测技术，电压致热型缺陷允许的温差范围很小，但缺陷性质严重，现场的干扰容易导致误判。本案例通过检测数据及图谱的特征分析，结合横向检测比较、现场设备的查看，以及纵向试验数据的分析，判定疑似缺陷为环境因素造成设备本体的热辐射干扰，证明了一起疑似电压致热型的严重缺陷，避免立即消缺、紧急停电的安排，提高了设备供电的可靠性，为现场红外检测现场干扰的判断排除提供了一定的参考。EA

（收稿日期：2023-11-09）

参考文献

[1] 谢伊霖. 关于变电运行工作中红外成像检测技术的应用探讨[J]. 低碳技术. 2016, (11).
[2] 邝文明, 李浩等. 基于红外技术的一起110 kV CVT内部发热故障分析[J]. 电力讯息. 2016.